

## Od Autora

Nienotowany nigdy wcześniej rozwój systemów magazynowania, przesyłania i przetwarzania informacji, który dokonał się w ostatnich 50 latach, skłonił wielu badaczy i publicystów do ogłoszenia, że dla mieszkańców naszej planety rozpoczął się okres zmian, nazwany **czwartą rewolucją przemysłową**, prowadzący do przesilenia cywilizacyjnego. Zmianom tym poświęcę w tym miejscu kilka uwag.

W trakcie trwającego ponad 200 lat skoku technologii zbudowaliśmy na powierzchni globu kilka struktur fizycznych mających charakter sieci. Jedną z nich jest gęsta sieć połączeń komunikacyjnych – bardzo złożona i dobrze funkcjonująca sieć kolejowa, bardzo złożona sieć połączeń drogowych i autostrad, uzupełniona siecią połączeń lotniczych, a także sieć towarowych połączeń morskich. Stworzyliśmy ogromną sieć elektrowni spalinowych, wodnych, jądrowych i wiatrowych, wraz ze złożoną siecią linii przesyłowych, aby doprowadzić energię do każdego mieszkania, biura, latarni drogowej i tam gdzie potrzeba. Oba te systemy przeniosły nas do innej cywilizacji.

Równolegle budowaliśmy krok po kroku sieć połączeń telegraficznych i telefonicznych, którą 120 lat temu wzbogaciły transmisje radiowe. Ostatnie trzy dekady stały się czasem ogromnego przyspieszenia rozwoju tego systemu. W rezultacie stworzyliśmy globalną w swych wymiarach przestrzeń utworzoną przez sieć transmisji światłowodowych, systemy bezprzewodowej transmisji telefonii komórkowej wraz z siecią transmisji satelitarnych. Sieć ta służy do transmisji najróżniejszych informacji i wspomagana jest ciągle rozbudowywaną siecią obserwacji, opartą na fotokamerach i sensorach rejestracji rozmaitych danych, bardzo rozbudowaną i różnorodną sieć komputerów analizujących dane (sztuczna inteligencja!) i złożoną sieć pamięci o ogromnej pojemności do rejestracji i przechowywania informacji. Ten bardzo złożony i ciągle powiększany system nazywany jest **infosferą**, gdyż, podobnie jak atmosfera i biosfera, ma wymiar i znaczenie globalne. Dokonane i dalej postępujące zmiany w charakterze naszej pracy, edukacji, sposobie myślenia i życia skłoniły wielu z nas do przekonania, że tworzymy **cywilizację informacyjną**, odmienną od wcześniej istniejącej.

W programach wielu kierunków studiów inżynierskich wprowadzono przedmioty, które zapoznają studiujących z podstawami wiedzy o zasadach działania współczesnych systemów telekomunikacyjnych. Obok telekomunikacji, elektroniki i informatyki przedmioty takie pojawiły się na kierunkach: elektrycznym i energetyki, mechanicznych, lotnictwa i transportu. Jednym z nich jest przedmiot Technika transmisji sygnału, oferowany na kierunku informatyka już w roku 2008.

Z myślą o pomocy studiującym ten obszar wiedzy opublikowałem w roku 2018 książkę-podręcznik *Podstawy telekomunikacji optofalowej*, jako pomoc dydaktyczną w zrozumieniu działania współczesnych systemów światłowodowych. Teraz można ją uznać za drugi tom podręcznika na temat współczesnej telekomunikacji. Książka *Podstawy telekomunikacji mikrofalowej*, którą tu przedstawiam, jest pierwszą częścią podręcznika, w sumie kompletującą materiał przedmiotu. W jego programie najpierw prezentowany jest materiał dotyczący telekomunikacji mikrofalowej, a potem optofalowej. Odwrócona kolejność wydania książek skutkuje obecnością pewnej liczby powtórzeń. Kilka rozdziałów zarówno jednej, jak i drugiej publikacji wychodzi poza ramy programu przedmiotu, zachęcając do dalszych studiów.

W tytułach obu książek użyłem terminów „telekomunikacja mikrofalowa” i „telekomunikacja optofalowa”. Systemy telekomunikacji optofalowej wykorzystują zakresy częstotliwości bliskiej podczerwieni i ostatnio coraz częściej światła widzialnego. Systemy telekomunikacji mikrofalowej wykorzystują zakresy długości fal od kilometrów do milimetrów. W tych zakresach częstotliwości pracują tranzystory, wykonując funkcje generacji, modulacji i wzmacniania. Tranzystory nie pracują w pasmach optycznych. Podstawowe dla działania systemów transmisji w pasmach optycznych funkcje generacji, detekcji, modulacji i wzmacniania realizowane są przez lasery, specjalnej konstrukcji modulatory i fotodiody. Rozwój telekomunikacji optofalowej oparto na innych przyrządach i innych technikach. Ta różnica narzędzi i technologii skłoniła mnie do rozdzielenia materiałów i umieszczenia ich w oddzielnych książkach, chociaż cele transmisji informacji są w obu przypadkach te same.

Równoległe z rozwojem technik transmisji informacji rosła liczba publikacji naukowych prezentowanych na konferencjach i w czasopiśmie. Rosła też lista wydanych książek i podręczników akademickich. Większość z tych prac publikowanych jest w języku angielskim i wiele z nich dostępnych jest w formule *open source*. W wykazie publikacji wymieniłem jedynie niektóre z nich, z których może skorzystać Czytelnik pragnący pogłębić wiedzę.

Studenci studiujący na polskich uczelniach na tyle dobrze znają język angielski, aby korzystać z tej globalnej biblioteki. Jak więc argumenty skłoniły mnie do napisania obu książek w języku polskim? Jak nadmieniłem w przedmowie do wydania *Podstaw telekomunikacji optofalowej*, wieloletnie doświadczenie nauczyciela akademickiego wskazuje mi, że w okresie studiów uczący powinien przyswoić sobie rozległą terminologię w języku polskim. Poza tym działanie złożonych układów i funkcjonowanie systemów staje się szybciej zrozumiałe, gdy czytamy ich opisy w rodzimym języku. To jest jedna z najważniejszych przyczyn podjęcia decyzji o wydaniu w języku polskim obu książek o podstawach telekomunikacji.

Aparat pojęciowy, terminologia i aparat matematyczny użyty w kolejnych rozdziałach tej książki powinny być znane studentowi 3. roku, który wcześniej pogłębił na studiach wiedzę z fizyki, poznał podstawy analizy matematycznej, teorii obwodów i mikroelektroniki półprzewodnikowej. Materiał zawarty w książce jest kolejnym składnikiem typowego ciągu przedmiotów studiów inżynierskich: Techniki transmisji sygnałów bądź Podstawy telekomunikacji. Jednakże materiał rozdziałów 4, 5, 7, 10 i 14 został poszerzony i w kilku punktach wychodzi poza obszar programu tych przedmiotów. Zadaniem wykładowcy jest określić tematy przewidziane programem przedmiotu. Mogą one być pomocne przy opanowaniu materiału kolejnych, zaawansowanych przedmiotów.

W przyjętym w książce modelu opisowym ważną rolę zajmują rysunki z licznymi schematami układów. To one tworzą logiczny ciąg kolejnych problemów i ich rozwiązań, wspomagany opisem tekstowym i opisem matematycznym. Praktyka wykładowcy akademickiego wskazywała mi na korzyści użycia takiego modelu, by ułatwić studiującemu zrozumienie przekazywanych treści. Rysunki przedstawiane w kolejnych rozdziałach były przygotowywane z wielką starannością i wielokrotnie poprawiane i uzupełniane.

Zadania i problemy przykładowo rozwiązane oraz do rozwiązania, a także pytania sprawdzające umieszczono w rozdziale 15, ostatnim. Zapoznanie się z rozwiązanymi zadaniami ułatwi zrozumienie studiowanego materiału, a umiejętność odpowiedzi na pytania może być miarą gotowości egzaminacyjnej.

Chciałbym zakończyć to krótkie wprowadzenie podziękowaniami.

Teorii linii długiej i jej roli w systemach radiokomunikacyjnych poświęcono w tej książce wiele miejsca. Uznałem za celowe użycie i polecenie studiującym prostego, ogólnie dostępnego programu edukacyjnego, jakim jest *Circuit Design with Smith Chart V4.1*. Program ten opracował i udostępnił prof. Fritz Dellsperger. Korzystam z okazji, aby raz jeszcze podziękować mu za to użyteczne narzędzie.

Książka ta wiele zawdzięcza pracy mojej Żony, dr Hanny Górkiewicz-Galwas. Jej praca nad rękopisem tej książki pozwoliła usunąć nie tylko wiele błędów, pomyłek i powtórzeń, ale poprawić i uzupełnić argumentację wielu wywodów i uzasadnień, ułatwiając ich zrozumienie. Bardzo Jej za tę wielką pracę dziękuję.

Gorące podziękowania składam także recenzentom, prof. Józefowi Modelskiemu i dr. Krzysztofowi Madziarowi, za wnikliwe recenzje, uwagi i rady, które pozwoliły poprawić tekst opisów i uzupełnić je dodatkowymi wyjaśnieniami.



# Wykaz ważniejszych skrótów

ADC	(Analog-to-Digital Converter)	Przetwornik analog – cyfra
AM	(Amplitude Modulation)	Modulacja amplitudy
ASK	(Amplitude-Shift Keying)	Binarne kluczowanie amplitudy
BER	(Bit Error Rate)	Bitowy współczynnik błędu w transmisji cyfrowej
CATV	(Cable Television)	Telewizja kablowa
CPW	(Coplanar Waveguide)	Linia koplanarna
DAC	(Digital-to-Analog Converter)	Przetwornik cyfra – analog
DFB	(Distributed Feedback)	Rozłożone sprzężenie
DPSK	(Differential Phase-Shift Keying)	Różnicowe kluczowanie fazy
DSBSC	(Double-Sideband Suppressed Carrier)	Modulacja dwuwstęgowa z wytłumioną nośną
DSP	(Digital Signal Processing)	Cyfrowe przetwarzanie sygnału
FDM	(Frequency-Division Multiplexing)	Multipleksacja z podziałem częstotliwości
FET	(Field-Effect Transistor)	Tranzystor polowy
FM	(Frequency Modulation)	Modulacja częstotliwości
FSK	(Frequency Shift Keying)	Binarne kluczowanie częstotliwości
LAN	(Local Area Network)	Sieć lokalna
MAG	(Maximum Available Gain)	Maksymalne dysponowane wzmocnienie mocy
MAN	(Metropolitan Area Network)	Sieć metropolitarna
MSG	(Maximum Stable Gain)	Maksymalne stabilne wzmocnienie mocy
MSM	(Metal Semiconductor Metal)	Metal – półprzewodnik – metal
NF	(Noise Figure)	Współczynnik szumów
OOK	(On-Off Keying)	Binarne dwustanowa modulacja mocy
PAM	(Pulse Amplitude Modulation)	Impulsowa modulacja amplitudy
PLL	(Phase-Locked Loop)	Pętla stabilizacji fazowej
PM	(Phase Modulation)	Modulacja fazy
PSK	(Phase-Shift Keying)	Binarne kluczowanie fazy
QAM	(Quadrature Amplitude Modulation)	Kwadraturowa modulacja amplitudy
QPSK	(Quadrature Phase Shift Keying)	Kwadraturowe kluczowanie fazy
RF	(Radio-Frequency)	Częstotliwość pasma radiowego
RIN	(Relative Intensity Noise)	Względne natężenie szumów
SCM	(Sub-Carrier Multiplexing)	Multipleksacja na podnośnych
SDM	(Space-Division Multiplexing)	Multipleksacja przestrzenna
SNR	(Signal-to-Noise Ratio)	Stosunek mocy sygnału do szumu
SSB	(Single-Sideband Modulation)	Modulacja jednowstęgowa
SSB-SC	(Single-Sideband Suppressed Carrier)	Modulacja jednowstęgowa z wytłumieniem nośnej
TDM	(Time-Division Multiplexing)	Multipleksacja z podziałem czasowym



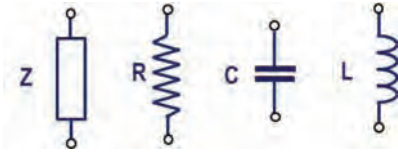
# Wykaz ważniejszych oznaczeń

$a, b$	Zespolone, znormalizowane amplitudy fal w przewodnicy falowej
$B$	Pasma częstotliwości, susceptancja
$c$	Prędkość światła w próżni
$C$	Pojemność
$d, D$	Średnica, wymiar, długość
$e$	Ładunek elektronu
$E$	Natężenie pola elektrycznego
$f, F$	Częstotliwość
$G$	Wzmocnienie, konduktancja
$G_T$	Skuteczne wzmocnienie mocy
$G_A$	Dysponowane wzmocnienie mocy
$G_U$	Unilateralne wzmocnienie mocy
$h$	Stała Plancka
$H$	Natężenie pola magnetycznego
$i, I$	Natężenie prądu
$j$	$\sqrt{-1}$
$k$	Stała Boltzmana, współczynnik sprzężenia
$K$	Współczynnik stabilności
$l$	Długość
$L$	Indukcyjność, długość
$m, n$	Liczby naturalne
$m$	Współczynnik głębokości modulacji
$n$	Współczynnik załamania ośrodka
$P$	Moc
$r$	Promień
$R$	Rezystancja
$S$	Gęstość mocy
$t$	Czas
$T$	Temperatura w skali bezwzględnej
$[S], [T], [Z]$	Macierze: rozproszenia, transmisyjna, impedancyjna
$u, U$	Napięcie
$v, V$	Napięcie
$v_i, v_g$	Prędkości fazowa i grupowa
$z$	Odległość
$Z$	Impedancja
$Y$	Admitancja
$x, y, z$	Współrzędne

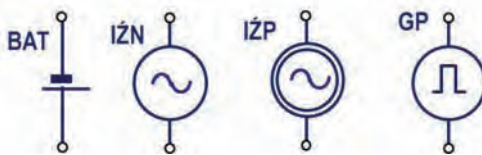
$X$	Reaktancja
$Q$	Dobroć obwodu rezonansowego
$\alpha$	Stała tłumienia
$\beta$	Stała fazowa
$\gamma$	Stała propagacji
$\Gamma$	Współczynnik odbicia
$\Delta$	Różnica
$\varepsilon$	Przenikalność elektryczna
$\Sigma$	Suma
$\phi, \psi, \vartheta$	Kąty
$\mu$	Przenikalność magnetyczna
$\pi$	Kąt półpełny
$\lambda$	Długość fali
$\tau$	Czas
$\omega, \Omega$	Pulsacja



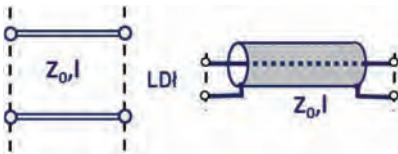
# Wykaz ważniejszych oznaczeń na rysunkach



Elementy obwodów:  
 $Z/Y$  – impedancja/admitancja  
 $R$  – rezystancja,  $C$  – pojemność  
 $L$  – indukcyjność



Źródła prądowe w obwodach:  
 BAT – bateria prądu stałego  
 IŻN – idealne źródło napięciowe  
 IŻP – idealne źródło prądowe  
 GP – generator impulsów



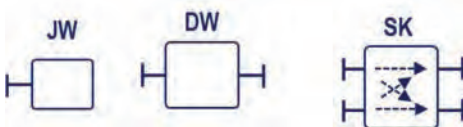
Obwody zastępcze odcinków linii  
 długich o impedancji  
 charakterystycznej  $Z_0$  i długości  $l$



Diody półprzewodnikowe:  
 DS – dioda Schotky'ego  
 DW – dioda waraktorowa



Tranzystory:  
 TB – tranzystor bipolarny  
 FET – tranzystor polowy



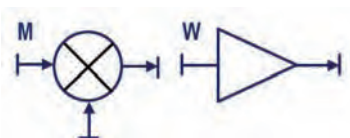
Wielowrotniki:  
 JW – jednowrotnik  
 DW – dwuwrotnik  
 SK – sprzęgacz kierunkowy  
 czterowrotnik



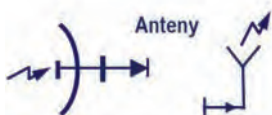
Rezonatory mikrofalowe:  
 RO – rezonator sprzężony odbiciowo  
 RT – rezonator sprzężony transmisyjnie  
 RR – rezonator sprzężony reakcyjnie



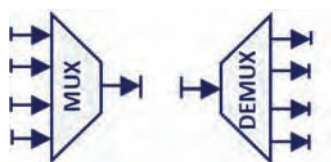
Filtry:  
 FPP – filtr pasmowoprzepustowy  
 FDP – filtr dolnoprzepustowy  
 FGP – filtr górnoprzepustowy



Elementy obwodu:  
 M – mieszacz mikrofalowy  
 W – wzmacniacz



Anteny mikrofalowe



Przyrządy multipleksacji:  
 MUX – multiplekser  
 DEMUX – demultiplekser

*Książkę tę dedykuję moim wnukom –*

*Hani, Marcie i Stasiowi*