

Spis Treści

Wstęp	21
Rozdział I.	
Podstawowe informacje o dźwięku	23
Prosta sinusoida	24
Opis fali sinusoidalnej	25
Rozchodzenie się dźwięku	27
„Taniec” cząsteczek	28
Rozchodzenie się fali dźwiękowej	29
Dźwięk w przestrzeni swobodnej	31
Długość fali i częstotliwość	33
Fale złożone	35
Harmoniczne	35
Faza	37
Tony składowe	38
Oktawy	40
Pojęcie widma	40
Analogie elektryczne, mechaniczne i akustyczne	44
Rozdział II.	
Poziom głośności dźwięku a decybele	47
Stosunek a różnica	47
Wartości liczbowe	49
Logarytmy	50
Decybele	50
Poziomy odniesienia	52
Porównanie postaci logarytmicznej i wykładniczej	54
Moc akustyczna	55
Korzystanie z decybeli	58
Przykład: Poziom ciśnienia akustycznego	58
Przykład: Poziom ciśnienia akustycznego (SPL)	58
Przykład: Dane techniczne mikrofonu	59
Przykład: Wzmacniacz liniowy	59
Przykład: Wzmacniacz ogólnego zastosowania	60
Przykład: Sala koncertowa	60
Przykład: Dodawanie decybeli	61
Stosunki i oktawy	61
Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego	63

Rozdział III.

Ucho ludzkie i odbieranie dźwięków	65
Czułość ucha	65
Budowa ucha ludzkiego	66
Małżowina — Koder kierunkowy dźwięku	67
Kierunkowość odbioru dźwięku — ćwiczenie	68
Przewód słuchowy	68
Ucho środkowe	69
Ucho wewnętrzne	72
Stereocilia	73
Głośność a częstotliwość	74
Regulacja głośności	77
Obszar słyszalności	77
Głośność a poziom ciśnienia akustycznego	79
Głośność i szerokość pasma	81
Głośność impulsów	84
Zmiany głośności	86
Wysokość dźwięku a częstotliwość	86
Doświadczenie	88
Barwa dźwięku a widmo	88
Lokalizacja źródeł dźwięku	89
Lokalizacja za pomocą pary uszu	92
Harmoniczne powstające w uchu — Doświadczenie nr 1	93
Harmoniczne powstające w uchu — Doświadczenie nr 2	94
Brakująca składowa podstawowa	95
Ucho jako analizator	95
Ucho jako narzędzie pomiarowe	95
Analiza słuchowa — doświadczenie	96
Mierniki a ucho	98
Efekt pierwszeństwa	99
Percepcja dźwięku odbitego	101
Głuchota zawodowa i wynikająca ze spędzania wolnego czasu	102
Podsumowanie	105

Rozdział IV.

Fale dźwiękowe w polu akustycznym swobodnym	109
Pole akustyczne swobodne — definicja	109
Rozchodzenie się dźwięku	110
Przykłady: Rozbieżności dźwięku w polu swobodnym	111
Odwrotność kwadratów w przestrzeniach zamkniętych	113
Półkolista propagacja fal	114

Rozdział V.

Mowa, muzyka i szum	115
Układ głosowy	115

Sztuczna krtka	115
Spektrograf akustyczny	116
Dźwiękowe źródła mowy	119
Narząd głosu	120
Powstawanie głosek dźwięcznych	120
Powstawanie głosek bezdźwięcznych	121
Syntezywanie mowy	123
Cyfrowe syntezyatory mowy	123
Kierunkowość mowy	125
Muzyka	126
Instrumenty dęte	127
Nieharmoniczne tony składowe górne	128
Zakres dynamiczny mowy i muzyki	129
Moc mowy i muzyki	130
Zakres częstotliwości mowy i muzyki	131
Przyszłe wymagania dla zakresu dynamicznego	131
Obszar słyszalności	133
Szum	135
Dobry rodzaj szumu	136
Szum losowy	137
Szum biały i różowy	138
Zniekształcenia sygnału	141
Zniekształcenia harmoniczne	142

Rozdział VI.

Przetwarzanie sygnału analogowego i cyfrowego	147
Rezonans	148
Filtry	150
Filtry aktywne	152
Filtry analogowe a filtry cyfrowe	154
Digitalizacja	154
Kwantyzacja	154
Filtry cyfrowe	155
Zastosowania cyfrowej obróbki sygnału	155
Zastosowanie cyfrowej obróbki sygnału do korekcji akustycznej pomieszczenia	156

Rozdział VII.

Pogłos	159
Pogłos i drgania normalne	160
Narastanie dźwięku w pomieszczeniu	162
Zanik dźwięku w pomieszczeniu	164
Model narastania i zanikania dźwięku	165
Czas pogłosu	165
Pomiar czasu pogłosu	167

Impulsowe źródła dźwięku	167
Źródła stałe	169
Sprzęt	169
Przebieg pomiarów	170
Analiza przebiegu czasu zaniku poziomu dźwięku w pomieszczeniu	171
Zmienność zanikania drgań własnych	173
Szybkość zapisu	174
Efekt częstotliwości	176
Zmiany czasu pogłosu w zależności od lokalizacji	177
Przestrzeń akustycznie powiązane	177
Przestrzeń powiązane elektroakustycznie	178
Tempo tłumienia	178
Eliminowanie fluktuacji tłumienia	179
Wpływ pogłosu na mowę	179
Wpływ pogłosu na muzykę	181
Optymalny czas pogłosu	182
Wzrost niskich tonów w czasie pogłosu	184
Czas pogłosu pomieszczenia mieszkalnego	186
Sztuczny pogłos — przeszłość	188
Sztuczny pogłos — przyszłość	188
Opóźnienie pierwszego odbicia	191
Wzór Sabine'a	191
Obliczenia pogłosu — Przykład 1	193
Obliczenia pogłosu — Przykład 2	194
Pole pogłosowe	195

Rozdział VIII.

Zakłócenia	199
Źródła hałasu i pewne rozwiązania	199
Hałas przenoszony drogą powietrzną	201
Hałas przenoszony przez konstrukcję	201
Hałas przenoszony przez drgania	202
Izolacyjność akustyczna ścian	202
Materiały porowate	203
Klasyfikacja STC	204
Porównanie konstrukcji ścian	206
Podwójne okna	208
Drzwi dźwiękoszczelne	209
Hałas a rezonans w pomieszczeniu	211
Aktywne metody redukcji hałasu	212

Rozdział IX.

Pochłanianie dźwięku	213
Rozpraszanie energii dźwiękowej	213

Ocena pochłaniania dźwięku	215
Metoda pomiaru współczynnika pochłaniania w warunkach pola pogłosowego	215
Pomiar w rurze Kundta	217
Metoda krótkich impulsów tonowych	220
Montaż materiału pochłaniającego	221
Porowatość a pochłanianie średnich i wysokich częstotliwości	222
Włókno szklane — izolacja budynków	223
Włókno szklane — płyty	224
Płytki akustyczne	224
Wpływ grubości materiału dźwiękochłonnego	225
Wpływ pustki powietrznej za materiałem dźwiękochłonnym	226
Wpływ gęstości materiału pochłaniającego	226
Pianki o porach otwartych	227
Zastony jako materiały pochłaniające dźwięk	228
Dywan jako materiał pochłaniający dźwięk	232
Wpływ rodzaju wykładziny na pochłanianie	233
Wpływ podkładu wykładziny na pochłanianie	234
Współczynniki pochłaniania dźwięku wykładzin	237
Pochłanianie dźwięków przez ludzi	237
Pochłanianie dźwięku w powietrzu	238
Pochłanianie w zakresie niskich częstotliwości spowodowane rezonansem	239
Przeponowe ustroje dźwiękochłonne	240
Przestrzenne ustroje dźwiękochłonne	245
Konstrukcja ustrojów przestrzennych	248
Membranowe ustroje dźwiękochłonne	249
Rezonatory Helmholtza	251
Perforowane płyty dźwiękochłonne	255
Listwowe ustroje dźwiękochłonne	261
Lokalizacja materiałów	262
Czas pogłosu rezonatorów Helmholtza	263
Rozwiązywanie problemów z drganiami własnymi pomieszczenia	264
Zwiększanie czasu pogłosu	266
Moduły	267

Rozdział X.

Odbicia dźwięku	271
Odbicia od powierzchni płaskich	271
Podwojenie ciśnienia przy odbiciu	273
Odbicia od powierzchni wypukłych	273
Odbicia od powierzchni wklęsłych	273
Odbicia od powierzchni parabolicznych	274
Odbicia wewnątrz walca	277

Fale stojące	278
Odbicia dźwięku wynikające z nieregularności impedancji	278
Odbicia dźwięku od dwóch powierzchni prostopadłych do siebie - reflektor kątowy	279
Echosonda	280
Zauważalny wpływ odbić	280

Rozdział XI.

Dyfrakcja fal dźwiękowych	281
Propagacja prostoliniowa	281
Dyfrakcja a długość fali	282
Dyfrakcja dźwięku na dużych i małych otworach	283
Dyfrakcja dźwięku na przeszkodzie	285
Dyfrakcja dźwięku na szczelinie	287
Dyfrakcja na soczewce dźwiękowej	287
Dyfrakcja wokół ludzkiej głowy	287
Dyfrakcja na krawędzi obudowy głośnika	289
Dyfrakcja na różnych obiektach	290

Rozdział XII.

Refrakcja dźwięku	293
Refrakcja dźwięku	294
Refrakcja dźwięku w ciałach stałych	295
Refrakcja dźwięku w atmosferze (zjawisko inwersji)	296
Refrakcja dźwięku w oceanie	300
Refrakcja dźwięku w pomieszczeniach zamkniętych	302

Rozdział XIII.

Rozpraszanie dźwięku	305
Doskonale rozproszone pole akustyczne	305
Ocena rozproszenia w pomieszczeniu	306
Pomiary stanu ustalonego	306
Nierównomierności (dudnienia) charakterystyki czasu pogłosu	308
Zanik poziomu dźwięku o charakterze wykładniczym	308
Jednorodność przestrzenna czasu pogłosu	310
Kształty przebiegów zaniku poziomu dźwięku w pomieszczeniu (czasu pogłosu)	314
Kierunkowość mikrofonu	314
Kształt pomieszczenia	314
Zmiana kąta powierzchni w pomieszczeniu	320
Pomieszczenia o kształcie różnym od prostokąta	320
Nieregularności geometryczne	322
Pojedyncze elementy pochłaniające	323
Powierzchnie wklęsłe	326

Powierzchnie wypukłe — przestrzenny ustrój dźwiękochłonny	326
Powierzchnie płaskie	328

Rozdział XIV.

Dyfuzor (rozpraszacz) Schroedera	329
Pierwszy dyfuzor akustyczny Schroedera	330
Ciągi maksymalnej długości	332
Dyfuzory RPG — Reflection-Phase-Grating (bazujące na siatkach zmieniających fazę odbicia)	333
Dyfuzory oparte na sekwencji residuum kwadratowego	334
Dyfuzory oparte na sekwencji pierwiastka pierwotnego	337
Zastosowania sekwencji residuum kwadratowego	337
Działanie dyfuzorów bazujących na siatce dyfrakcyjnej	341
Nowe modele dyfuzorów QRD	345
Rozwiązywanie problemów z „drżeniem” dźwięku	345
Zastosowanie fraktali	348
Rozpraszanie w trzech wymiarach	350
Betonowe bloki akustyczne	352
Pomiar skuteczności rozpraszania	353
Porównanie „siatek” z rozwiązaniami konwencjonalnymi	355

Rozdział XV.

Rezonanse drgań własnych w pomieszczeniach zamkniętych	361
Rezonans w rurze	362
Akustyka w łazience	364
Odbicia w pomieszczeniu	364
Rezonans między dwiema ścianami	366
Fala i promienie	367
„Obszary” częstotliwości	368
Podział widma akustycznego	370
Akustyka falowa	371
Obliczanie rezonansów — przykład	373
Weryfikacja doświadczalna	376
Identyfikacja drgań własnych	378
Tłumienie drgań własnych	378
Szerokość pasma rezonansu	382
Wykresy ciśnienia drgań własnych	385
Gęstość drgań własnych	387
Odstęp między drganiami własnymi i „zakolorowania” dźwięku	388
Doświadczenia z zakolorowaniami	391
Uproszczona analiza rezonansów osiowych	392
Kryterium Bonella	394
Kontrolowanie problematycznych drgań własnych	395
Podsumowanie drgań własnych	396

Rozdział XVI.

Odbicia dźwięku w pomieszczeniach zamkniętych	401
Prawo dźwięku bezpośredniego	401
Średnia droga swobodna	402
Pojedyncze odbicia	402
Percepcja odbić dźwięku	403
Percepcja przestrzenności	404
Zmiany obrazu dźwiękowego	405
Wyraźne echa	406
Wpływ kąta padania na słyszalność odbić	406
Wpływ rodzaju sygnału na słyszalność odbić	406
Wpływ widma na słyszalność odbić	407
Wykorzystanie informacji o odbiciach	407
Duże przestrzenie	408
Echa	408
Przestrzenność	409

Rozdział XVII.

Filtr grzebieniowy	411
Czym jest filtr grzebieniowy?	411
Superpozycja dźwięku	412
Sygnały tonalne i filtry grzebieniowe	413
Łączenie sygnałów muzyki i mowy	416
Łączenie dźwięku bezpośredniego i odbitego	418
Filtry grzebieniowe i pasma krytyczne	420
Filtry grzebieniowe przy odbiorze stereofonicznym	423
Zakolorowania i przestrzenność	424
Filtry grzebieniowe w sygnale mikrofonu stereofonicznego	424
Słyszalność efektów filtru grzebieniowego	425
Filtry grzebieniowe w praktyce	426
Ocena wpływu efektu filtru grzebieniowego	431

Rozdział XVIII.

Poziom tła akustycznego w studiu	435
Krzywe NCB	436
Szum wentylatora	438
Stowarzyszenie ASHRAE	439
Hałas urządzeń	440
Prędkość powietrza	441
Wpływ elementów wyposażenia	442
Tłumienie „naturalne”	442
Wykładzina w kanale	443
Tłumiki absorpcyjne	443
Gotowe tłumiki fabryczne	444
Tłumiki refleksyjne	445

Thumik rezonansowy	446
Lokalizacja kanału	446
Kilka porad praktycznych	446

Rozdział XIX.

Akustyka pomieszczenia odsłuchowego	451
Środowisko akustyczne	452
Akustyka małego pomieszczenia	453
Rozmiar pomieszczenia	454
Proporcje pomieszczenia	454
Czas pogłosu	455
Pomieszczenie odsłuchowe — niskie częstotliwości	456
Sterowanie rezonansami drgań własnych	459
Pułapki basowe w pomieszczeniach odsłuchowych	460
Zakolorowania	462
Pomieszczenie odsłuchowe — częstotliwości średnio-wysokotonowe	462
Identyfikacja i adaptacja punktów odbicia	465
Odbicia poprzeczne — kontrola przestrzenności	467

Rozdział XX.

Akustyka małego studia nagraniowego	469
Charakterystyka akustyczna studia	470
Pogłos	472
Projekt studia	473
Kubatura studia	473
Proporcje pomieszczenia	476
Czas pogłosu	477
Rozpraszanie	478
Hałas	478
Procedura projektowania studia	479
Wybrane cechy studia	479
Elementy wspólne dla wszystkich studiów	482

Rozdział XXI.

Akustyka w reżyserce	485
Opóźnienie pierwszego odbicia	485
Część niewy tłumiona	488
Odbicia a rozpraszanie	489
Rezonanse niskotonowe w reżyserce	491
Opóźnienie pierwszego odbicia w praktyce	492
Odbicia	494
Reżyserka ze strefą pozbawioną odbić	495
Zakres częstotliwości w reżyserce	498
Zewnętrzna konstrukcja reżyserki	498
Wewnętrzna konstrukcja reżyserki	499

Przykładowe reżyserki	500
Kilka rozwiązań europejskich	501
Konsultanci	506
Rozdział XXII.	
Akustyka dla potrzeb nagrywania wielośladowego	511
Elastyczność	512
Zalety zapisu wielośladowego	513
Wady zapisu wielośladowego	514
Separacja ścieżek	516
Akustyka studia	516
Odległość między wykonawcami	517
Mikrofony	517
Przegrody	517
Separacja elektroniczna	518
Instrumenty elektroniczne	518
Przyszłość zapisu wielośladowego	519
Automatyzacja	519
Rozdział XXIII.	
Pomieszczenia do obróbki audiowizualnej	521
Wybór miejsca — czynniki zewnętrzne	522
Wybór miejsca — czynniki wewnętrzne	522
Adaptacja pomieszczenia	522
Przykład miejsca pracy	523
Ocena rezonansów pomieszczenia	523
Kontrola nad rezonansami pomieszczenia	525
Adaptacja pomieszczenia	525
Obliczenia	525
Problemy z dźwiękiem w kabinie spikera	528
Wytłumienie jednej części studia	529
Kabina do rejestracji narracji	529
Quick Sound Field™	530

Rozdział XXIV.	
Zmienne warunki akustyczne	533
Zasłony	533
Regulowane panele — pochłanianie	536
Regulowane panele — Abffusor™	536
Panele na zawiasach	539
Panele z żaluzjami	540
Zmienne urządzenia rezonansowe	541
Obracanie elementów	543
Moduły przenośne — Tube Trap™	544
Moduły przenośne — Korner Killer™	549

Rozdział XXV.

Zniekształcenia akustyczne	551
Zniekształcenia akustyczne i odbiór dźwięków	551
Źródła zniekształceń akustycznych	552
Sprężenie drgań własnych pomieszczenia	552
Interferencje między głośnikiem a powierzchniami otaczającymi	553
Filtr grzebieniowy	556
Słabe rozpraszanie	561
Wnioski	563

Rozdział XXVI.

Oprogramowanie do pomiarów akustyki pomieszczenia	565
Rozwój technik pomiarowych	566
Tworzenie lepszego analizatora	568
Techniki pomiarowe TDS (Time-Delay Spectrometry)	568
Techniki pomiarowe MLS	572
Program ETF firmy AcoustiSoft	573
Pomiary charakterystyki częstotliwościowej	577
Pomiary rezonansów	582
Pomiary w pasmach węższych od oktawy	585
Pomiary krzywej zależności energii od czasu	586
Czas pogłosu	590
Wnioski	591

Rozdział XXVII.

Optymalizacja pomieszczenia	593
Wprowadzenie	593
Drgania własne	594
Interferencje między głośnikiem a powierzchniami otaczającymi	597
Optymalizacja	598
Teoria	600
Przewidywanie charakterystyki pomieszczenia	600
Proces optymalizacji	606
Parametr kosztu	608
Procedura optymalizacji	610
Wyniki	614
Konfiguracja stereofoniczna	614
Zestawy głośnikowe w układzie stereo z dwoma głośnikami niskotonowymi w każdym zestawie	615
Kino domowe THX	618
Muzyka wielokanałowa	621
Subwoofer	623
Wnioski	626

Rozdział XXVIII.

Prezentacja dźwięku	629
Wstęp	629
Proces prezentacji akustycznej	634
Podsumowanie	648
 Dodatek	 651
Słownik	653