

# Obsah

Úvod .....	11
1 Akustické pole v plynech a kapalinách.....	13
1.1 Úvod.....	13
1.2 Vlnová rovnice v kartézských souřadnicích .....	18
1.2.1 Úvod.....	18
1.2.2 Eulerova rovnice.....	20
1.2.3 Rovnice kontinuity .....	24
1.2.4 Stavová rovnice .....	26
1.2.5 Vlnová rovnice .....	27
1.3 Řešení vlnové rovnice pro rychlostní potenciál závislý na jedné prostorové kartézské proměnné.....	31
1.3.1 Úvod.....	31
1.3.2 Metoda postupných vln .....	31
1.3.3 Popis postupné vlny.....	33
1.3.4 Harmonická vlna .....	35
1.3.5 Metoda oddělení proměnných .....	38
1.3.6 Hustota zvukové energie v postupné rovinné vlně .....	41
1.3.7 Intenzita zvuku v akustickém poli harmonické postupné rovinné vlny .....	43
1.4 Rovinné vlny v kartézských souřadnicích .....	44
1.4.1 Postupná rovinná vlna .....	44
1.4.2 Metoda oddělených proměnných (stojaté vlny).....	47
1.4.3 Vlastní kmity pravoúhlého netlumeného prostoru (dutého kvádrů) .....	47
1.5 Pole kulových vln .....	56
1.5.1 Úvod.....	56
1.5.2 Řešení vlnové rovnice pro kulovou vlnu .....	59
1.5.3 Rozbíhavá (divergentní) sférická vlna.....	64
1.5.4 Intenzita v akustickém poli harmonické kulové rozbíhavé vlny.....	67
1.6 Pole válcových vln.....	69
1.6.1 Úvod.....	69
1.6.2 Řešení vlnové rovnice pro válcovou vlnu.....	71
1.6.3 Rozbíhavá válcová vlna.....	76
1.6.4 Intenzita v akustickém poli harmonické válcové rozbíhavé vlny .....	77
1.7 Akustické vysílače.....	78
1.7.1 Úvod.....	78
1.7.2 Pulzující koule. Sférický vysílač 0. řádu .....	79
1.7.3 Oscilující koule.....	85
1.7.4 Sférické vysílače vyšších řádů.....	94
1.7.5 Soustavy bodových zdrojů.....	97
1.7.6 Přímkový zdroj .....	102
1.7.7 Válcové vysílače.....	107
1.7.7.1 Pulzující válec. Cylindrický monopól .....	107
1.7.7.2 Cylindrický vysílač 1. řádu. Cylindrický dipól .....	109
1.7.7.3 Oscilující válec.....	110
1.7.8 Výkon zdroje .....	114

1.8	Zdroje umístěné na rovinné stěně a v její blízkosti .....	118
1.8.1	Úvod .....	118
1.8.2	Zdroj umístěný ve stěně. Rayleighův integrál.....	119
1.8.3	Blízké a vzdálené pole v ose kruhového pístově kmitajícího zářiče umístěného v nekonečně rozlehlé rovinné stěně .....	121
1.8.4	Vzdálené pole kruhového pístově kmitajícího zářiče umístěného v nekonečně rozlehlé rovinné stěně.....	124
1.8.5	Vyzařovací impedance rovinného pístově kmitajícího zdroje umístěného v nekonečné stěně. Helmholtzův integrál .....	127
2	Akustické pole v pevných látkách .....	134
2.1	Vlny v elastickém izotropním neohraničeném prostředí.....	134
2.1.1	Podélná vlna.....	135
2.1.2	Příčná vlna .....	136
2.1.3	Obecná vlnová rovnice.....	138
2.1.3.1	Úvod .....	138
2.1.3.2	Zobecněný Hookův zákon .....	142
2.1.3.3	Vztahy mezi izotropními elastickými konstantami.....	146
2.1.3.4	Rovnováha sil na hmotném elementu.....	150
2.1.3.5	Vlnová rovnice ve vektorovém tvaru.....	152
2.1.3.6	Skalární a vektorový potenciál výchylky.....	152
2.1.3.7	Řešení vlnové rovnice pro rovinnou vlnu v neohraničeném prostředí.....	153
2.1.3.8	Rovinná vlna. Jednotkový vektor šíření a výchylky .....	155
2.1.3.9	Rovinná harmonická vlna uniformní a neuniformní (nehomogenní).....	157
2.1.3.10	Přehled rovnic v kartézských, sférických a cylindrických souřadnicích... 161	
2.1.4	Energie a výkon přenášený rovinnou harmonickou vlnou .....	167
2.1.5	Skupinová (grupová) rychlost .....	170
2.2	Rovinné vlny v poloprostoru.....	172
2.2.1	Úvod .....	172
2.2.2	Odraz (reflexe) a lom (refrakce) vln .....	173
2.2.2.1	Úvod .....	173
2.2.2.2	Odraz P-vlny.....	178
2.2.2.3	Rozdělení energie při odrazu na volném rozhraní .....	186
2.2.2.4	Odraz SH-vlny .....	188
2.2.2.5	Odraz SV-vlny .....	189
2.2.2.6	Odraz a lom SH-vlny .....	198
2.2.3	Rayleighova povrchová vlna.....	201
2.2.4	Povrchové vlny na rozhraní pevná látka–kapalina (plyn) a pevná látka–pevná látka .....	209
2.3	Vlny ve vlnovodech v pevných látkách .....	211
2.3.1	Šíření vln ve vrstvě .....	211
2.3.1.1	SH-vlna ve vrstvě s volnými rozhraními .....	211
2.3.1.2	Výkon přenášený SH-vlnou ve vrstvě .....	218
2.3.1.3	Loveho vlny.....	222
2.3.1.4	Skalární a vektorový potenciál vln ve vrstvě s výchylkami v rovině (1,3). 223	
2.3.1.5	Rayleighova–Lambova frekvenční rovnice. Lambovy vlny .....	228
2.3.2	Šíření vln ve válcovém vlnovodu.....	239
2.3.2.1	Základní vztahy ve válcových souřadnicích.....	239
2.3.2.2	Frekvenční spektrum válcového vlnovodu pro longitudinální vlny.....	245
2.3.2.3	Aplikace jednorozměrného řešení na válcový vlnovod .....	249
2.3.2.4	Válcový vlnovod s vnitřním tlumením .....	252

2.3.3	Vlnovody proměnného průřezu .....	255
2.3.3.1	Úvod.....	255
2.3.3.2	Kuželový vlnovod .....	257
2.3.3.3	Exponenciální vlnovod.....	262
2.3.3.4	Besselovy vlnovody .....	268
2.3.3.5	Hyperbolické a goniometrické vlnovody .....	278
3	Mechanické soustavy se soustředěnými a rozprostřenými prvky .....	282
3.1	Úvod .....	282
3.2	Lineární mechanické translační soustavy se soustředěnými prvky .....	284
3.2.1	Úvod.....	284
3.2.2	Symbolická a analogická schémata .....	287
3.3	Lineární mechanické rotační soustavy se soustředěnými prvky .....	296
3.3.1	Úvod.....	296
3.3.2	Symbolická a analogická schémata .....	297
3.4	Lineární mechanické soustavy s rozprostřenými parametry .....	300
3.4.1	Mechanický vlnovod konstantního průřezu.....	300
3.4.2	Ohybově kmitající nosníky konstantního průřezu .....	303
3.4.3	Vlastní ohybové kmity destičky oboustranně vetknuté .....	307
3.4.4	Vlastní ohybové kmity destičky jednostranně vetknuté .....	310
3.4.5	Vlastní kmity destičky obdélníkového průřezu .....	313
3.4.6	Vynucené ohybové kmity destičky konstantního průřezu. Přibližné řešení .....	314
3.5	Tenkové membrány .....	321
3.5.1	Tenká kruhová membrána .....	321
3.5.2	Ekvivalentní obvod tenké kruhové membrány .....	332
3.5.3	Tenká obdélníková membrána.....	337
3.5.4	Ekvivalentní obvod tenké pravoúhelníkové membrány.....	344
3.5.5	Kmity tenkého pásku.....	347
3.5.6	Ekvivalentní obvod tenkého pásku.....	350
3.5.7	Tenká kruhová membrána zatížená dutinou .....	352
3.5.8	Čtvercová membrána při nízkých kmitočtech zatížená dutinou .....	354
4	Akustické soustavy se soustředěnými a rozprostřenými prvky.....	358
4.1	Úvod .....	358
4.2	Prvky lineárních akustických soustav se soustředěným elementy .....	363
4.2.1	Úvod.....	363
4.2.2	Akustický inektor .....	363
4.2.3	Akustický elastor .....	364
4.2.4	Akustický rezistor.....	366
4.2.5	Vnitřní tření v plynech.....	366
4.2.6	Akustický odpor trubice kruhového průřezu při nízkých kmitočtech.....	370
4.2.7	Akustický odpor trubice obdélníkového průřezu při nízkých kmitočtech .....	372
4.2.8	Impedance trubice (štěrbin) obdélníkového průřezu .....	374
4.2.9	Impedance válcové trubice .....	379
4.3	Symbolická a analogická schémata .....	382
4.3.1	Řešení akustických soustav .....	382
4.3.2	Směšované soustavy.....	384
4.4	Akustické vlnovody .....	386
4.4.1	Úvod.....	386
4.4.2	Kuželový rozbíhavý (divergentní) vlnovod nekonečné délky .....	388

4.4.3	Kuželový rozbíhavý (divergentní) vlnovod konečné délky .....	389
4.4.4	Exponenciální rozbíhavý (divergentní) vlnovod nekonečné délky .....	390
4.4.5	Náhradní schémata akustických vlnovodů .....	391
4.5	Vzduchové mezery .....	393
4.5.1	Úvod .....	393
4.5.2	Vzduchová mezera se středovým vyústěním .....	394
4.5.3	Vzduchová mezera s vyústěním na obvodě .....	398
4.5.4	Vzduchová mezera s obvodovým a středovým vyústěním.....	402
4.5.5	Odpor vzduchové mezery se středovým vyústěním .....	403
4.5.6	Odpor vzduchové mezery s obvodovým vyústěním .....	405
4.5.7	Akustické vlastnosti vzduchových mezer .....	407
5	Měníče .....	414
5.1	Úvod.....	414
5.2	Elektrodynamický měnič .....	417
5.2.1	Princip měniče .....	417
5.2.2	Popis měniče .....	418
5.3	Elektromagnetický měnič .....	420
5.3.1	Princip měniče .....	420
5.3.2	Kvazistatická stabilita měniče.....	423
5.3.3	Rovnice elektromechanické přeměny .....	425
5.3.4	Náhradní schéma měniče .....	427
5.4	Piezelektrické látky a měniče.....	429
5.4.1	Úvod .....	429
5.4.2	Popis piezelektrických látek.....	433
5.4.2.1	Elastické vlastnosti .....	433
5.4.2.2	Dielektrické a piezelektrické vlastnosti .....	436
5.4.2.3	Lineární piezelektrické stavové rovnice .....	439
5.4.2.4	Činitel elektromechanické vazby .....	444
5.4.2.5	Piezelektrický element jako dvojbran .....	446
5.4.3	Druhy piezelektrických látek .....	455
5.4.3.1	Krystalické piezelektrické látky .....	455
5.4.3.2	Piezelektrická keramika.....	465
5.4.3.3	Piezelektrické polymery .....	468
5.4.4	Uniformní rovinná vlna v piezelektrických látkách .....	472
5.4.4.1	Úvod .....	472
5.4.4.2	Vlnová rovnice v piezelektrických látkách.....	473
5.4.4.3	Vlny v krychlové soustavě.....	475
5.4.5	Vidy kmitání piezelektrických tyčinek .....	481
5.4.5.1	Úvod .....	481
5.4.5.2	Podélně kmitající tyčinka s elektrickým polem kolmým k rovině (1,2) .....	482
5.4.5.3	Podélně kmitající tyčinka s vektorem elektrického pole ve směru šíření vlny.....	487
5.4.5.4	Ploušťkové vidy tenkých piezelektrických destiček.....	492
5.4.6	Náhradní obvody.....	494
5.4.6.1	Úvod .....	494
5.4.6.2	Náhradní obvod podélně kmitající tyčinky s vektorem elektrického pole kolmým k rovině (1, 2).....	494
5.4.6.3	Náhradní obvod podélně kmitající tyčinky s vektorem elektrického pole rovnoběžným s jednotkovým vektorem šíření a výchylky .....	499

5.4.6.4	Náhradní obvod tloušťkově kmitající destičky .....	503
5.4.6.5	Náhradní obvod tloušťkově střižně kmitající destičky .....	505
5.4.6.6	Náhradní obvod interdigitálního měniče .....	507
5.5	Elektrostatický měnič .....	511
5.5.1	Jednočinný elektrostatický měnič .....	511
5.5.2	Kvazistatická stabilita jednočinného měniče .....	513
5.5.3	Vlastnosti jednočinného měniče .....	522
5.5.3.1	Rovnice elektromechanické přeměny jednočinného měniče .....	522
5.5.3.2	Vliv parazitní kapacity na režim jednočinného měniče .....	524
5.5.3.3	Výchylka membrány elektrostatického měniče vyvolaná elektrostatickou přitažlivou silou .....	530
5.5.4	Jednočinný elektrostatický měnič s kruhovou membránou a nerovinnou nepohyblivou elektrodou .....	537
5.5.5	Dvojčinný elektrostatický měnič .....	543
5.6	Akustické přijímače .....	548
5.6.1	Úvod .....	548
5.6.2	Gradientní přijímače .....	551
5.6.2.1	Úvod .....	551
5.6.2.2	Gradientní přijímače 0. řádu .....	553
5.6.2.3	Gradientní přijímače 1. řádu .....	558
5.6.2.4	Gradientní přijímače 2. řádu .....	560
5.6.2.5	Kombinované přijímače .....	561
5.6.3	Vlnové přijímače .....	562
	Literatura .....	567
	Rejstřík .....	570