

# Obsah

Obsah elektronické přílohy na DVD . . . . .	9
Předmluva . . . . .	11
<b>1 Lineární kmitání . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1 Kmitání, oscilátory . . . . .	13
1.2 Volné kmity netlumených lineárních oscilátorů . . . . .	16
1.2.1 Lineární pružinový mechanický oscilátor . . . . .	16
1.2.2 Torzní oscilátor . . . . .	17
1.2.3 Elektromagnetický oscilátor . . . . .	17
1.3 Řešení pohybové rovnice harmonického oscilátoru . . . . .	18
1.4 Řazení pružin . . . . .	20
1.4.1 Paralelní řazení . . . . .	20
1.4.2 Sériové řazení . . . . .	21
1.5 Energie mechanických harmonických kmitů . . . . .	22
1.5.1 Výpočet mechanické energie oscilátoru . . . . .	22
1.5.2 Energetická metoda řešení volných kmitů mechanického oscilátoru . . . . .	23
1.5.3 Aplikace energetické metody . . . . .	26
1.6 Volné kmity tlumených lineárních oscilátorů . . . . .	32
1.6.1 Tlumený mechanický oscilátor . . . . .	32
1.6.2 Tlumený elektromagnetický oscilátor . . . . .	32
1.6.3 Elektromagnetický oscilátor z hlediska energie . . . . .	33
1.6.4 Řešení pohybové rovnice tlumených oscilátorů . . . . .	33
1.6.5 Disipace energie tlumeného oscilátoru . . . . .	36
1.6.6 Oscilátor tlumený smykovým třením . . . . .	38
1.7 Nucené kmity oscilátorů . . . . .	39
1.7.1 Pohybová rovnice nucených kmitů oscilátorů . . . . .	39
1.7.2 Řešení pohybové rovnice nucených kmitů . . . . .	40
1.7.3 Stav rezonance . . . . .	42
1.8 Elektro-mechanická analogie . . . . .	44
1.9 Kmity dvou sprzęžených mechanických oscilátorů . . . . .	45
1.9.1 Pohybová rovnice a její řešení . . . . .	45
1.9.2 Základní (normální) kmity sprzęžených oscilátorů . . . . .	47
1.9.3 Variantní řešení pohybové rovnice . . . . .	49
1.10 Kmity vázaných elektromagnetických oscilátorů . . . . .	51
1.10.1 Vazby oscilátorů . . . . .	51

1.10.2	Řešení kmitů oscilátorů s induktivní vazbou . . . . .	52
1.11	Volné kmity soustav o $n$ stupních volnosti . . . . .	53
1.12	Symbolické znázornění kmitů . . . . .	54
1.12.1	Vektorová interpretace kmitů . . . . .	54
1.12.2	Znázornění kmitů komplexními čísly . . . . .	55
1.13	Superpozice kmitů . . . . .	57
1.14	Superpozice dvou kmitů o stejném směru . . . . .	58
1.14.1	Harmonické kmity o stejné frekvenci . . . . .	58
1.14.2	Harmonické kmity o různých frekvencích . . . . .	60
1.15	Superpozice dvou vzájemně kolmých kmitů . . . . .	62
1.15.1	Harmonické kmity o stejné frekvenci . . . . .	62
1.15.2	Harmonické kmity o různých frekvencích . . . . .	63
1.16	Harmonická analýza . . . . .	65
1.17	Úlohy ke kapitole 1 . . . . .	70
<b>2</b>	<b>Nelineární a samobuzené kmitání</b>	<b>79</b>
2.1	Vznik a klasifikace nelineárního kmitání . . . . .	79
2.2	Nelinearita direkční síly . . . . .	80
2.3	Vlastnosti vlastního kmitání nelineárních oscilátorů . . . . .	83
2.3.1	Symetrická direkční síla . . . . .	83
2.3.2	Asymetrická direkční síla . . . . .	84
2.4	Vlastnosti nuceného kmitání nelineárních oscilátorů . . . . .	86
2.5	Samobuzené kmitání . . . . .	88
2.6	Příklady samobuzených oscilátorů . . . . .	89
2.7	O energii a stabilitě samobuzeného kmitání . . . . .	92
2.8	Karmánovy víry v tekutinách a samobuzené kmitání . . . . .	96
2.9	Elektromagnetické samobuzené generátory . . . . .	104
2.9.1	Přehled generátorů . . . . .	104
2.9.2	Samobuzené elektromagnetické oscilátory . . . . .	104
2.9.3	Kmitání van der Polova oscilátoru . . . . .	108
2.9.4	Relaxační generátory . . . . .	110
2.10	Oscilace jako univerzální dynamický jev . . . . .	113
2.10.1	Obecné vlastnosti dynamických systémů . . . . .	113
2.10.2	Oscilace v chemických soustavách . . . . .	115
2.10.3	Oscilace v biologických soustavách . . . . .	116
2.10.4	Oscilace v sociálních a ekonomických systémech . . . . .	119
<b>3</b>	<b>Registrace a měření kmitů</b>	<b>121</b>
3.1	Registrační systémy pro kmitání . . . . .	121
3.2	Pasivní snímače mechanických kmitů . . . . .	124
3.2.1	Odporový snímač kmitů . . . . .	124

3.2.2	Odporové tenzometry . . . . .	125
3.2.3	Induktivní snímač kmitů . . . . .	128
3.2.4	Kondenzátorový snímač kmitů . . . . .	129
3.3	Aktivní snímače mechanických kmitů . . . . .	130
3.3.1	Elektrodynamický snímač kmitů . . . . .	130
3.3.2	Piezoelektrické snímače kmitů a tlaku . . . . .	131
3.4	Měření frekvence kmitů . . . . .	132
3.5	Harmonická analýza tónu na počítači . . . . .	134
3.6	Seismický snímač kmitů . . . . .	137
3.7	Observatorní seismologie . . . . .	140
3.7.1	Seismické signály a seismická pozorování . . . . .	140
3.7.2	Elektromechanické kyvadlové seismometry . . . . .	142
3.7.3	Širokopásmové zpětnovazební seismometry . . . . .	146
3.7.4	Seismické stanice České republiky . . . . .	149
<b>4</b>	<b>Vlnění</b>	<b>151</b>
4.1	Vznik vlnění a jeho druhy . . . . .	151
4.2	Postupné vlnění v jednorozměrném kontinuu . . . . .	153
4.2.1	Rovnice postupného vlnění . . . . .	153
4.2.2	Fáze harmonické vlny, fázová rychlost . . . . .	155
4.3	Superpozice dvou vlnění, grupová rychlost . . . . .	157
4.4	Vlnová rovnice pro jednorozměrné kontinuum . . . . .	160
4.5	Šíření podélných postupných vln v tyči . . . . .	162
4.6	Šíření postupných vln v tekutinách . . . . .	163
4.6.1	Kapalina . . . . .	164
4.6.2	Plyn . . . . .	165
4.7	Šíření torzních a příčných postupných vln v tyči . . . . .	166
4.8	Šíření příčných postupných vln ve struně . . . . .	166
4.9	Šíření postupných elektromagnetických vln ve dvou vodičovém vedení . . . . .	168
4.10	Stojaté vlnění v jednorozměrném kontinuu . . . . .	171
4.10.1	Odraz vlnění . . . . .	171
4.10.2	Interference vlnění po odrazu na volném konci . . . . .	173
4.10.3	Interference vlnění po odrazu na pevném konci . . . . .	173
4.11	Podélné stojaté vlnění na tyči . . . . .	175
4.11.1	Oba konce tyče jsou pevné . . . . .	175
4.11.2	Oba konce tyče jsou volné . . . . .	176
4.11.3	Jeden konec volný, druhý pevný . . . . .	177
4.12	Stojaté vlnění v plynovém sloupci . . . . .	178
4.13	Příčné stojaté vlnění na struně . . . . .	179
4.14	Stojaté elektromagnetické vlnění na dvou vodičovém vedení . . . . .	180

4.14.1	Odraz vlnění . . . . .	180
4.14.2	Vedení s otevřeným koncem . . . . .	180
4.14.3	Vedení s oběma otevřenými konci . . . . .	182
4.15	Elektromagnetické vlnění na otevřeném vedení, dipól jako anténa . . . . .	183
4.16	Šíření vlnění v prostoru . . . . .	184
4.16.1	Rovnice postupného vlnění . . . . .	184
4.16.2	Vlnová rovnice . . . . .	185
4.17	Huygensův princip . . . . .	186
4.18	Jevy provázející šíření vlnění . . . . .	188
4.18.1	Odraz a lom vlnění . . . . .	188
4.18.2	Stín a ohyb vlnění . . . . .	189
4.18.3	Interference vlnění . . . . .	190
4.19	Dopplerův jev . . . . .	191
4.19.1	Zdroj vlnění se pohybuje vzhledem k zemi, pozorovatel je v klidu . . . . .	191
4.19.2	Zdroj vlnění je v klidu vzhledem k zemi, pozorovatel se pohybuje . . . . .	193
4.19.3	Zdroj vlnění i pozorovatel se pohybuje vzhledem k zemi . . . . .	193
4.19.4	Zdroj vlnění, pozorovatel i prostředí se pohybuje vzhledem k zemi . . . . .	193
4.19.5	Relativistický Dopplerův jev . . . . .	194
4.20	Intenzita vlnění . . . . .	196
4.21	Seismické vlnění . . . . .	198
4.21.1	Elastické vlny v neomezeném prostředí . . . . .	198
4.21.2	Seismické vlny a jejich šíření . . . . .	200
4.21.3	Účinky seismického vlnění . . . . .	204
4.22	Úlohy ke kapitole 4 . . . . .	206

## 5 Akustika 209

5.1	Členění akustiky . . . . .	209
5.2	Zvuk, jeho vlastnosti a zdroje . . . . .	209
5.3	Fyzikální akustika . . . . .	211
5.3.1	Akustická výchylka a rychlost . . . . .	211
5.3.2	Akustický tlak . . . . .	212
5.3.3	Akustický výkon a akustická intenzita . . . . .	213
5.3.4	Akustická impedance, Ohmův zákon akustiky . . . . .	214
5.3.5	Objemová hustota akustické energie . . . . .	214
5.4	Fyziologická akustika . . . . .	215
5.4.1	Sluchový orgán . . . . .	215
5.4.2	Hladiny akustické intenzity a hlasitosti . . . . .	216

5.4.3	Audiometrie a měření hlasitosti . . . . .	222
5.5	Hudební akustika . . . . .	227
5.5.1	Tón – jeho výška a barva . . . . .	227
5.5.2	Hudební stupnice . . . . .	227
5.6	Prostorová akustika . . . . .	232
5.6.1	Akustika exteriéru . . . . .	232
5.6.2	Akustika interiéru . . . . .	233

Řešení úloh	237
-------------	-----

Literatura	245
------------	-----

## Obsah elektronické přílohy na DVD

1. *Kmitání a vlnění* – text učebnice Bohumila Vybírala ve formátu PDF, 248 str.
2. Numerické řešení pohybových rovnic kmitů v programu EXCEL – popis a příklady
3. Numerické řešení pohybové rovnice kmitů matematického kyvadla při konečných výchylkách v programu EXCEL – popis a graf závislosti periody na amplitudě
4. Superpozice dvou kmitů o stejném směru na PCi – popis a příklady
5. Superpozice dvou vzájemně kolmých kmitů na PC – popis a příklady
6. Generování nesinusových kmitů na PC – popis a příklady
7. Harmonická analýza na PC užitím *rychle Fourierovy transformace (Fast Fourier Transform: FFT)* – příklady použití programu FFT
8. Visuté mosty (pojednání s popisem tří mostů: \* *most Golden Gate* – technický div světa, \* *most Akaši-Kaikjó* – nejdelší visutý most světa, \* *Tacoma Bridge* – havarovaný most při samobuzeném kmitání)
9. Kmitání visutého mostu Tacoma: o Popis konstrukce, dynamické situace, havárie a obnovy mostu. \* Vědecké pojednání: K. Y. Billan, R. H. Scanian: Resonance, Tacoma Narrows bridge, and undergraduate physics textbooks. *Am. J. Phys.* **59** (2), February 1991, s. 118 -124. \* Videozáznam zřícení mostu při samobuzeném kmitání v roce 1940
10. Měření frekvence a frekvenčního spektra akustických zdrojů na PC s využitím programu *Visual Analyser* – popis a příklady