

O B S A H

	Strana
PŘEDMLUVA	9
1. ÚVOD	11
1.1. Co je modální analýza?	11
1.2. Jak se používá?	11
1.3. K čemu je užitečná?	13
1.4. Historické poznámky	14
2. TEORETICKÉ ZÁKLADY	17
2.1. Základní pojmy, označování a závislosti pro soustavu o jednom stupni volnosti	17
2.1.1. Tlumení viskózního typu	17
2.1.1.1. Volné kmitání	17
2.1.1.2. Vynucené kmitání	19
2.1.2. Hysterezní tlumení	23
2.1.3. Názvosloví přenosů	25
2.2. Soustava s více stupni volnosti a pojem modální analýzy	26
2.2.1. Vlastní frekvence a vlastní tvary kmitu netlumené soustavy	27
2.2.2. Ortogonalita vlastních vektorů	29
2.2.3. Normování vlastních vektorů	30
2.2.4. Modální transformace pohybových rovnic	31
2.2.5. Proporcionální tlumení	34
2.2.6. Hysterezní tlumení	35
2.3. Obecný případ viskózního tlumení	39
2.3.1. Vlastní frekvence a vlastní vektory	39
2.3.2. Ortogonalita vlastních vektorů	42
2.3.3. Ortonormování vlastních vektorů	43
2.3.4. Pravostranné a levostranné vlastní vektory	46
2.3.5. Modální transformace	47
2.3.6. Frekvenční přenos	48
3. EXPERIMENTÁLNÍ URČOVÁNÍ FREKVENČNÍCH PŘENOSŮ	56
3.1. Základní poznatky z teorie náhodných procesů	57
3.1.1. Užití Fourierovy transformace	57
3.1.2. Chyby při zpracování signálů	59
3.2. Budící účinky	63
3.2.1. Přehled	63
3.2.2. Přenesení silového účinku na soustavu	66
3.2.3. Cejchování	67

3.3. Ovlivnění signálů vstupními obvody	67
3.3.1. Náhradní elektrické obvody	67
3.3.2. Citlivost snímačů	69
3.3.3. Zpracování signálu silového pulsu	71
3.3.4. Rektifikace fázového zkreslení	72
3.4. Příprava soustavy k měření	73
3.4.1. Volba bodů identifikace	73
3.4.2. Poloautomatické generování prostorových souřadnic daného objektu	75
3.4.3. Zachycení soustavy v prostoru	77
3.4.4. Volba referenčního bodu	78
3.5. Měřicí zařízení	79
3.5.1. Instalace měřicí aparatury	79
3.5.2. Příprava analyzátoru k měření	80
3.5.3. Ověřovací měření	81
3.5.4. Příprava k ukládání výsledků měření	82
3.6. Odměření spekter frekvenčních přenosů	83
4. URČOVÁNÍ MODÁLNÍCH PARAMETRŮ Z NAMĚŘENÝCH HODNOT	84
4.1. Soustava s jedním stupněm volnosti	85
4.1.1. Znázorňování frekvenčního přenosu v Nyquistově diagramu	85
4.1.2. Geometrický přístup k úloze vyhlazení	87
4.1.3. Regrese použitelné pro nalezení modální konstanty	87
4.1.3.1. Regrese podle kružnice procházející počátkem	88
4.1.3.2. Regrese podle kružnice neprocházející počátkem	88
4.1.4. Regrese použitelné pro nalezení modální frekvence a tlumení	89
4.1.4.1. Přímý odhad vlastního čísla	90
4.1.4.2. Regrese podle tangenty	90
4.1.4.3. Regrese podle kubického polynomu	92
4.1.4.4. Užití interpolační formule	93
4.2. Soustava s více stupni volnosti	95
4.2.1. Složitá soustava jako sjednocení více soustav s jedním stupněm volnosti	95
4.2.2. Zjednodušený simultánní výpočet reziduí	96
4.2.3. Simultánní výpočet vlastních čísel a reziduí	98
4.2.4. Globální vyhlazení	100
4.3. Kontrolní syntéza frekvenčního přenosu	101
4.4. Určení modálního tvaru z výsledků regresního výpočtu	101
4.5. Kritérium modální věrnosti	103

5. VYUŽITÍ MODÁLNÍCH MODELŮ	104
5.1. Grafická interpretace tvarů kmitu	104
5.1.1. Znázornění prostorových objektů	104
5.1.2. Sestrojení normály k ploše	105
5.1.3. Vynášení výchylek ve směru normály	106
5.1.4. Znázornění bodu konajícího obecný harmonický pohyb	107
5.2. Strukturální dynamická modifikace	108
5.2.1. Teoretické základy	108
5.2.1.1. Použité předpoklady a formulace úlohy	108
5.2.1.2. Algoritmus výpočtu	110
5.2.2. Postup při praktickém použití	112
5.3. Modelování odezev	113
5.4. Identifikace budících silových účinků	113
5.5. Strukturální stroboskopie	114
6. PŘÍKLAD PROGRAMOVÉHO PROJEKTU PRO MODÁLNÍ ANALÝZU	116
6.1. Stručná charakteristika dílčích programů	118
6.2. Užívané datové soubory	120
7. PŘÍKLADY	123
7.1. Vyšetření modálních vlastností nosníku	123
7.1.1. Odměření frekvenčních přenosů	124
7.1.2. Zjištění modálních vlastností	126
7.1.3. Srovnání a zhodnocení výsledků	129
7.2. Strukturální modifikace nosníku připojením hmoty	132
7.3. Strukturální modifikace desky připojením žebra	134
7.4. Modální vlastnosti prostorového rámu	137
7.5. Modální vlastnosti lopatky proudového stroje	141
7.6. Modální vlastnosti krycího kotouče radiálního kompresoru	142
7.7. Vyšetření provozních kmitů ruční vrtačky	144
<u>DODATKY</u>	146
D 1. Použití modálního rozkladu pro analýzu příčného kmitání nosníku	146
D 1.1. Výpočet vlastních frekvencí a tvarů kmitu	146
D 1.2. Sestavení výrazu pro dynamickou poddajnost mezi dvěma body nosníku	148

D 2. Parametry rázového buzení a jejich vzájemné souvislosti	150
D 2.1. Průběh síly při rázu	150
D 2.2. Spektrum silového pulsu	152
SEZNAM LITERATURY	154