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 viskozního 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. Měřící 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. Simultální 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

DODATKY 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