

kraftmaschine

**Herausgegeben von
Hans List und Anton Pischinger**

**Neue Folge
Band 4**

Torsionsschwingungen in der Verbrennungs- kraftmaschine

K. E. Hafner/H. Maass

**Springer Verlag
Wien New York**



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	i
1.1	Das Torsionsschwingungsproblem der Kurbelwelle	1
1.2	Berechnung der Torsionsschwingungen	4
1.3	Begrenzung der Torsionsschwingungen	5
1.4	Bemerkungen zu den FORTRAN-Programmen	7
2	Parameter des Torsionsschwingungsmodells der Kurbelwelle	9
2.1	Massenträgheitsmoment des Motortriebwerks	9
2.1.1	Rotierende Bauteile	9
2.1.2	Einfaches und geschränktes Schubkurbelgetriebe	28
2.1.3	Indirekt angelenktes Schubkurbelgetriebe	37
2.1.4	Massenträgheitsmomente ausgeführter Kurbelkröpfungen	43
2.2	Torsionssteifigkeit von Kurbelwellen	55
2.2.1	Das Steifigkeitsproblem der Kurbelwelle	55
2.2.2	Torsionssteifigkeit von Wellen mit Kreisquerschnitt	57
2.2.3	Empirische Formeln zur Berechnung der Torsionssteifigkeit einer Kurbelkröpfung	66
2.2.4	B.I.C.E.R.A.-Verfahren zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit einer Kurbelkröpfung	69
2.2.5	Torsionssteifigkeiten ausgeführter Kurbelkröpfungen	88
2.3	Eigendämpfung des Motortriebwerks	90
2.3.1	Mögliche Ursachen der Motordämpfung	90
2.3.2	Untersuchung der Ölverdrängungsdämpfung eines Grundlagers	95
2.3.3	Dämpfungskoeffizienten ausgeführter Triebwerke	113
3	Erregung der Torsionsschwingungen	HG
3.1	Äußere Kräfte und Momente des Motortriebwerks	116
3.2	Gaskrafterregung	119
3.3	Massenkrafterregung	125
3.4	Resultierende Erregung	130
3.5	Approximation der Harmonischen des Gas-Tangentialdrucks	133
3.6	Tabellen der Harmonischen des Gas-Tangentialdrucks	137

4	Berechnung der Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen von Torsionsschwingungssystemen	150
4.1	Vorbemerkungen	150
4.2	Prinzip der Restgrößenverfahren	152
4.3	Ermittlung der Restgröße für offen verzweigte Torsionsschwingungssysteme	156
4.4	Iterative Ermittlung der Eigenfrequenzen	166
4.5	Torsionsschwingungssysteme mit Symmetrieeigenschaften	172
4.6	Torsionsschwingungssysteme mit geschlossenen Zweigen	178
4.7	FORTRAN-Programm zur Ermittlung der Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen von Torsionsschwingungssystemen	182
4.8	Abhängigkeit der Torsionseigenfrequenz der Kurbelwelle von Motorgröße und Bauart	208
	 Bewertung der Resonanzdrehzahlen der Torsionsschwingungen von Kurbelwellen	 215
5.1	Vorbemerkungen	215
5.2	Von der Schwingungserregung in Resonanz geleistete Arbeit	216
5.2.1	Erregungsarbeit	216
5.2.2	Ermittlung der Zündwinkel	223
5.2.3	Ermittlung der Vektorsummen	226
5.2.4	Beispiele zur Anwendung des Programms 501	231
5.3	Näherungsweise Berechnung der Resonanzamplituden	235
5.3.1	Dämpfungsarbeit	235
5.3.2	Schwingungserregung in Resonanz	238
5.3.3	Resonanzamplituden	242
5.3.4	Beispiele zur Anwendung des Programms 505	245
5.4	Ermittlung der Koeffizienten der Motordämpfung aus Schwingungsmessungen	251
5.4.1	Theoretische Grundlagen	251
5.4.2	Programm 506	253
5.4.3	Beispiel zur Anwendung des Programms 506	257
	 Berechnung der durch Gas- und Massenkräfte des Motortriebwerks erzwungenen periodischen Torsionsschwingungen	 260
6.1	Vorbemerkungen	260
6.2	Erzwungene harmonische Torsionsschwingungen offen verzweigter Systeme	262
6.2.1	Lösungsansatz für die Drehwinkelamplituden	262
6.2.2	Koeffizientenmatrix des linearen Gleichungssystems	263
6.2.3	Rechte Seite des linearen Gleichungssystems	266
6.2.4	Lösung des linearen Gleichungssystems	268
6.2.5	Amplituden der Torsionsmomente	269
6.2.6	Beschreibung des FORTRAN-Programms 601	270
6.3	Erzwungene harmonische Torsionsschwingungen von Systemen mit geschlossenen Zweigen	276

6.4	Beschreibung des FORTRAN-Programms 602 zur Berücksichtigung geschlossener Systemzweige	281
6.4.1	Programmbeschreibung	281
6.4.2	Prüfbeispiel: System mit 3 geschlossenen Zweigen	292
6.4.3	Beispiel: 4-Zylinder-Viertakt-Dieselmotor mit Hilfsantrieben	295
6.5	Statisches Momentengleichgewicht bei Torsionsschwingungssystemen	295
6.6	Erzwungene periodische Torsionsschwingungen	300
6.6.1	Beschreibung der FORTRAN-Programme 603 und 604	301
6.6.2	Beispiel 1: 6-Zylinder-Viertakt-Dieselmotor	309
6.6.3	Beispiel 2: 4-Zylinder-Viertakt-Dieselmotor mit Hilfsantrieben	313

7 Einfluß der periodischen Schwankungen der Massenträgheitsmomente auf die erzwungenen Torsionsschwingungen der Kurbelwelle 320

7.1	Vorbemerkungen	320
7.2	Periodische Koeffizienten der Bewegungsgleichungen	321
7.3	Stabilitätsproblem der Torsionsschwingungen von Kurbelwellen	323
7.4	Iterative Berechnung der erzwungenen Torsionsschwingungen von Systemen mit zeitabhängigen Massenträgheitsmomenten	333
7.5	Praktische Auswirkung der zeitabhängigen Massenträgheitsmomente auf das Ergebnis der Torsionsschwingungsberechnung	334

8 Ermittlung und Begrenzung der Torsionsbeanspruchung von Kurbelwellen 330

8.1	Vorbemerkungen	339
8.2	Analyse der Ergebnisse der Torsionsschwingungsberechnung einer Kurbelwelle	341
8.3	Einfluß der Massenträgheitsmomente von Schwungrad und Riemenscheiben auf die Torsionsbeanspruchung der Kurbelwelle	348
8.4	Einfluß der Zündfolge auf die Torsionsbeanspruchung der Kurbelwelle	354
8.5	Kriterien für die Notwendigkeit von Torsionsschwingungsdämpfern	360
8.6	Gummidrehschwingungsdämpfer	361
8.6.1	Konstruktion und Funktion des Gummidrehschwingungsdämpfers	361
8.6.2	Rechnerische Abstimmung durch Variation der Torsionssteifigkeit der Gummifeder	363
8.6.3	Einfluß des Massenträgheitsmomentes der Dämpfermasse	367
8.6.4	Problem der Nichtlinearität der Dämpfung der Gummifeder	370
8.6.5	Abhängigkeit der Torsionssteifigkeit des Gummidrehschwingungsdämpfers von seiner Beanspruchung	371
8.6.6	Praktische Auslegung des Gummidrehschwingungsdämpfers	374
8.7	Viskosedrehschwingungsdämpfer	380
8.7.1	Konstruktion und Funktion des Viskosedrehschwingungsdämpfers	380
8.7.2	Ermittlung des Dämpfungs- und Steifigkeitskoeffizienten des Viskosedrehschwingungsdämpfers	382
8.7.3	Ermittlung der Temperatur des Silikonöls	389
8.7.4	Auslegung und Abstimmung des Viskosedrehschwingungsdämpfers	394
8.7.5	Beispiel: 12-Zylinder-V-Schiffsdieselmotor	398

X

8.8	Weitere Konstruktionsformen von Torsionsschwingungsdämpfern oder Tilgern .	409
8.8.1	Ölgummidämpfer	409
8.8.2	Ölverdrängungsdämpfer	410
8.8.3	Reibungsschwingungsdämpfer	411
8.8.4	Fliehkraftpendel	412
8.9	Einfluß von Zylinderausfällen auf die Torsionsschwingungen der Kurbelwelle . .	417
9	Verzeichnis der FORTRAN-Programmlisten	423
10	Literaturverzeichnis	427
11	Sachverzeichnis	430