

Technische Schwingungslehre

Karl Klotter

Technische Schwingungslehre

Erster Band: Einfache Schwinger

Dritte, völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage
Herausgegeben mit Unterstützung durch G. Benz

Teil A: Lineare Schwingungen

Mit 175 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1978

Dr.-Ing. KARL KLOTTER

em. o. Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt

Dr.-Ing. GÜNTER BENZ

Akadem. Direktor am Institut f. Mechanik der Universität Karlsruhe (TH)

ISBN 978-3-662-39301-7 ISBN 978-3-662-40340-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-40340-2

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek **Klotter, Karl** Technische Schwingungslehre. – Berlin, Heidelberg, New York : Springer. Bd. 1. Einfache Schwinger. Teil A. Lineare Schwingungen. – 3., völlig neubearb. u. erw. Aufl. / hrsg. mit Unterstützung durch G. Benz. – 1978.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1938, 1951 and 1978

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1978.

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1978

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zur Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Offsetdruck: fotokop wilhelm weihert kg, Darmstadt · Bindearbeiten: Konrad Triltsch, Würzburg
2060/3020-543210

Vorwort

Vom ersten Band der "Technischen Schwingungslehre", der die Schwinger von einem Freiheitsgrad behandelt, war die erste Auflage im Jahre 1938, die zweite im Jahre 1951 erschienen. Beide Auflagen waren jeweils recht bald nach ihrem Erscheinen ausverkauft und somit wieder vom Markt verschwunden. Der Band steht im Antiquariatshandel seit Jahren hoch auf der Desideratenliste. Die dritte Auflage wird hier nun erst nach rund 25 Jahren vorgelegt. Die zweite Auflage einfach unverändert zu reproduzieren, ging nicht an: Eine Schwingungslehre auch nur des "einfachen Schwingers" darf sich nicht mehr mit den linearen Vorgängen begnügen; die nichtlinearen bilden nun schon seit vielen Jahren einen wesentlichen Bestandteil des Stoffes, den der Benutzer braucht und sucht. Diese Feststellung begründet auch das Anwachsen des Umfangs, der sogar dazu zwang, den ersten Band jetzt in zwei Unterteile zu zerlegen: Teil A enthält die linearen Schwinger, Teil B die nichtlinearen. Wie die früheren Auflagen wendet sich auch diese an Benutzer, die eine verständliche, systematische, verlässliche und genügend ausführliche Unterrichtung vor allem über mechanische Schwingungen suchen. Es sind dies insbesondere die Maschinen- und Bauingenieure und die technischen Physiker.

Es gibt viele, vor allem einführende Bücher über Schwingungsprobleme. Für den interessierten Benutzer hören die meisten jedoch "zu früh auf". Das vorliegende Werk soll ihm auch dann noch weiterhelfen, wenn seine Probleme über die in den meisten Lehrbüchern gezogenen Grenzen hinausreichen. Ein kennzeichnendes Beispiel: Bei den erzwungenen Vorgängen werden im allgemeinen vorzugsweise oder gar ausschließlich Schwingungen unter periodischen Einwirkungen betrachtet. Der Teil A enthält dagegen (im Hauptabschnitt 4.5) auch eine ausführliche Darstellung der Vorgänge unter stoßartigen

Einwirkungen.

Über die Einzelheiten des Inhalts und der Einteilung gibt das Inhaltsverzeichnis Auskunft. Dazu noch zwei Anmerkungen:

1) Das Kapitel 2 über die Bewegungsgleichungen, vor allem die Systematik ihres Aufstellens, ist im wesentlichen aus didaktischen Gründen aufgenommen. Meine rund fünfzigjährige Lehrerfahrung zeigte mir unausgesetzt und nachdrücklich, daß den meisten Lernenden und auch noch vielen "Praktikern" nicht so sehr das Lösen von Gleichungen, sondern das zuvor notwendige Aufstellen der Bewegungsgleichungen eines Problems die größeren Schwierigkeiten bereitet. Hier soll das Kapitel 2 helfen.

2) Systematische Vollständigkeit würde erfordern, daß dem Kapitel 4 über erzwungene Schwingungen ein weiterer Hauptabschnitt oder ein weiteres Kapitel beigefügt wird, wo noch eine ganz besondere Art von nicht-periodischen Schwingungen behandelt wird: Die Schwingungen unter Zufalls- (oder regellosen) Erregungen ("Random Vibrations"). Aus Gründen teils praktischer, teils didaktischer Art, nämlich wegen der hierfür erforderlichen besonderen Methodik, wurde auf diese Ergänzung verzichtet. Ersatzweise ist ein ganz kurzes, mit knappen kommentierenden Bemerkungen versehenes Literaturverzeichnis aufgenommen. Es möge dem Leser helfen, die für ihn etwa in Betracht kommenden Quellen zu finden und auszuwählen. Die Eintragungen sind als Anhang dem Literaturverzeichnis zum Kapitel 4 angeschlossen und (obgleich keine Bezugsstellen in Kapitel 4 bestehen) mit den Kennzeichen Lit.4.6/1 bis Lit.4.6/11 versehen.

Die Arbeit an dieser dritten Auflage hat sich über viele Jahre erstreckt. Sie wäre mir trotzdem nicht möglich gewesen, hätte ich mich nicht der tatkräftigen Mitarbeit einer Anzahl kenntnisreicher und wohlmeinender Fachgenossen erfreuen dürfen. An einzelnen oder an vielen Stellen des Manuskriptes (von Teil A und/oder Teil B) haben entscheidend mitgewirkt: Prof. Dr. Eberhard Brommundt (jetzt in Braunschweig), Dr.-Ing. Dieter Ottil (jetzt in Braunschweig), Dr.-Ing. Karl-Ernst Meier-Dörnberg (in Darmstadt), Dr.-Ing. Gert Kemper (jetzt

in Berlin), ferner zeitweilig Dr.-Ing. Hans-Jürgen Bangen (jetzt in Friedrichshafen) und Dr.-Ing. Richard Schwertassek (jetzt in München). Ihnen allen bin ich zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Eigens hervorgehoben sei, daß der Inhalt des schon erwähnten Hauptabschnitts 4.5 über die stoßartigen Belastungen zum größten Teil auf originäre Arbeiten von Dr.-Ing. Meier-Dörnberg zurückgeht.

Trotz aller dieser Hilfen beim Manuskript war das Unternehmen lange Zeit gefährdet, und das Buch wäre nicht zustande gekommen, hätte nicht Dr.-Ing. Günter Benz in Karlsruhe (neben sorgfältiger und aufmerksamer Überwachung des Inhalts) die technisch schwierige und überaus mühselige Arbeit der Herstellung der reproduktionsfähigen Vorlage auf sich genommen. Daß wir das Buch heute konkret in der Hand haben können, verdanken wir seinem tapferen Entschluß und seiner aufopfernden Arbeit. Dr. Benz gebührt deshalb die besonders lebhafteste Dankbarkeit aller Benutzer.

Neben den namentlich genannten Mitarbeitern hat sich während der langen Zeit eine große Anzahl von Helfern und Helferinnen in eifriger Weise bei der Anfertigung erst des Manuskriptes und dann der Druckvorlage verdient gemacht. Auch sie seien in den Dank eingeschlossen.

Darmstadt, im April 1978



Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Allgemeine (phänomenologische) Schwingungslehre

1.1	Schwingungen; periodische Schwingungen	1
1.11	Einleitung	1
1.12	Periodische Schwingungen	3
1.13	Die Phasenebene	6
1.2	Harmonische Schwingungen	9
1.21	Definition und Bestimmungsstücke	10
1.22	Die erzeugende Kreisbewegung	13
1.23	Komplexe Schreibweise, Drehzeiger; Phasenverschiebung .	14
1.24	Zusammensetzen harmonischer Schwingungen	19
1.25	Produkte harmonisch schwingender Größen	20
1.3	Sinusverwandte Schwingungen	23
1.31	Modulierte Schwingungen	23
1.32	Schwebungen	27
1.4	Fourier-Reihen; Fourier-Transformation; Spektraldarstellung von Schwingungen	30
1.41	Fourier-Summen, Fourier-Reihen	30
1.42	Fourier-Analyse	31
1.43	Komplexe Darstellung der Fourier-Reihe	39
1.44	Fourier-Transformation; Spektraldichte	41
1.45	Laplace-Transformation	49

Kapitel 2: Bewegungsgleichungen

2.1	Vorbetrachtungen	54
2.11	Reales Gebilde und mechanisches Modell; Zustandsgrößen; Phasenraum und Bewegungsraum	54

2.12	Beispiele für Bewegungsgleichungen von mechanischen Gebilden und in elektrischen Schaltkreisen	57
2.2	Das systematische Aufstellen von Bewegungsgleichungen; die Prinzipie der Mechanik	63
2.20	Vorbemerkungen und Kinematik	63
2.21	Das Newtonsche Prinzip	68
2.22	Gleichgewichtsbetrachtung mit d'Alembertschen Kräften; das d'Alembertsche Prinzip	71
2.23	Das Prinzip der virtuellen Arbeiten (mit d'Alembertschen Kräften)	73
2.24	Die Lagrangesche Vorschrift	75
2.25	Das Hamiltonsche Prinzip	80
2.26	Herleitung der Bewegungsgleichung aus dem Energiesatz .	81
2.3	Erörterungen über die Bewegungsdifferentialgleichungen . . .	82
2.31	Einteilung und Benennungen	82
2.32	Linearisieren	86
2.33	Dimensionslose Schreibweise	91

Kapitel 3: Freie Schwingungen linearer Systeme

3.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	97
3.10	Lösung der Bewegungsgleichung; Einteilung der Schwinger	97
3.11	Punktkörperpendel im Schwerfeld; Kreispendel (mathematisches Pendel), Zykloidenpendel	99
3.12	Punktkörperpendel am Umfang einer rotierenden Scheibe (Welle)	102
3.13	Starrkörperpendel (physikalisches Pendel)	105
3.14	Weitere Arten von Pendeln: Translatorisches Pendel, Mehrfadendrehpendel, Rollpendel	110
3.15	Schwingungen in und von Flüssigkeiten: Tauchschwingungen, Schwingungen einer Flüssigkeitssäule	116
3.16	Reduzierte Pendellängen	118
3.17	Elastische Schwinger	119
3.18	Federsteifigkeiten verschiedener Anordnungen	125
3.2	Freie gedämpfte Schwingungen	136

3.20	Bewegungsgleichungen und ihre Lösungen	136
3.21	Starke Dämpfung; kriechendes Abklingen	140
3.22	Schwache Dämpfung; schwingendes Abklingen	141
3.23	Drehzeiger und Phasendiagramm	146
3.24	Dämpfung durch Coulombsche Reibkräfte	152
3.25	Quadratische und andere Dämpfungskräfte; Hinweise . . .	156
3.3	Freie Schwingungen kontinuierlicher Gebilde	157
3.30	Übersicht, Einteilung	157
3.31	Der homogene längsschwingende (ungedämpfte) Stab und seine Analoga; Ränder fest oder frei	159
3.32	Der homogene längsschwingende Stab mit anderen Rand- bedingungen	165
3.33	Der längsschwingende Stab mit ortsabhängigen Parametern	170
3.34	Der querschwingende Balken	178
3.35	Balkenschwingungen; Beispiele für verschiedene Rand- bedingungen	183
3.36	Angenäherte Berechnung der niedrigsten Eigenfrequenz . .	188

Kapitel 4: Fremderregte Schwingungen linearer Gebilde

4.1	Vorbetrachtungen	197
4.11	Benennungen; Einteilung der Einwirkungen	197
4.12	Störfunktionen ohne spezifizierten Verlauf; Duhamel- Integral; Faltungsintegral	198
4.13	Beispielschwinger	202
4.2	Periodische Einwirkungen über Störfunktionen	205
4.20	Die erzwungene Schwingung; Dauerschwingung und Ein- schwingvorgang	205
4.21	Die erzwungene harmonische Schwingung in komplexer Schreibweise; zwei Tripel von Vergrößerungsfaktoren \underline{V}_k .	210
4.22	Darstellung und Diskussion der Vergrößerungsfaktoren \underline{V}_k : Ortskurven, Beträge und Winkel, Resonanzbereich, Winkelresonanz und Halbwertsbreite	216
4.23	Die logarithmische Darstellung der Vergrößerungsfak- toren; die "Schwingungstapete"	226

4.24	Einfluß der Systemparameter auf die Schwingungsamplituden	236
4.25	Vergrößerungsfunktionen in der Meß- und Registrier-technik; Fehlerbetrachtungen	245
4.26	Das Abschirmen von Schwingungen; die Übertragungsfunktion V_T ; Aktiv- und Passiv-Isolierung	253
4.27	Allgemein periodische Anregungen: Fourier-Komponenten der einwirkenden und der resultierenden Funktion	263
4.28	Erzwungene Schwingungen von Gebilden mit verteilter Masse und verteilten Erregerkräften	266
4.3	Periodische Einwirkungen auf Systemparameter; parametererregte Schwingungen	278
4.31	Einführendes Beispiel; Bewegungsgleichungen mit zeitabhängigen Koeffizienten	278
4.32	Lösungen der homogenen Differentialgleichung mit periodischen Koeffizienten; Theorem von Floquet, Stabilitätsbetrachtungen	282
4.33	Hillsche Differentialgleichungen; charakteristische Multiplikatoren, Stabilitätskarten	290
4.34	Lösungen der inhomogenen Differentialgleichung mit periodischen Koeffizienten	300
4.35	Hinweise zur Berechnung der Lösungen	307
4.36	Beispiele für Schwinger mit rheolearen Bewegungsgleichungen	309
4.4	Nicht-periodische (aber schwingende) Einwirkungen durch Störkräfte; Anlaufen, Auslaufen, Resonanzdurchgang	326
4.41	Die Gebilde, ihre Bewegungsgleichungen und deren Integrale	326
4.42	Erregerkraft mit konstanter Amplitude	331
4.43	Unwuchterregung	337
4.5	Nicht-periodische, stoßartige Einwirkungen	342
4.50	Übersicht	342
4.51	Die Bewegungsgleichung und ihre Lösungsansätze; Faltungsintegral, Fourier-Integral	344
4.52	Stoßartige Vorgänge sowie ihre Beschreibung durch Zeitfunktionen und Spektralfunktionen	350
4.53	Das Schocknetz und das Schockpolygon; Klassifizierung von Schockeinwirkungen	363

4.54 Umformungen der Lösungsgleichungen	370
4.55 Die Lösungen bei Einwirkungen von unendlich kurzer Dauer (Einschaltfunktionen)	375
4.56 Näherungen für die Maximalwerte der Systemantwort bei stoßartigen Einwirkungen von kurzer ("mäßiger") Dauer; eine anschauliche Deutung des Faltungsintegrals	381
4.57 Stoßartige Einwirkungen von nicht eingeschränkter Dauer; "exakte" Lösungen	386
4.58 Die Systemantwort; das bewertete Schockpolygon (Schockantwortpolygon)	392
4.59 Die Schockverträglichkeitsgrenzen eines Systems; das Schockverträglichkeitspolygon	405
Literaturverzeichnis	413
Sachverzeichnis	419

Inhalt von Teil B

Kapitel 5: Autonome Schwingungen nicht linearer Gebilde

5.1 Übersicht

5.11 Gegensatz linear - nichtlinear; Benennungen; Klassifikationen der Systeme

5.12 Dimensionslose Veränderliche

5.13 Hinweise

5.2 Bewegungsraum und Phasenebene

5.20 Zustandsgrößen; Differentialgleichung zweiter Ordnung; System von Differentialgleichungen erster Ordnung

5.21 Bewegungsraum, Phasenebene, Phasenzylinder; reguläre und singuläre Punkte

5.22 Klassifikation der singulären Punkte

5.23 Geschlossene Phasenkurven; Grenzzykel; Poincaréscher Index

5.3 Stabilität

5.30 Sprachgebrauch, Benennungen

5.31 Definitionen der Stabilität

5.32 Bemerkungen zur Untersuchung auf Stabilität

5.4 Periodische Schwingungen konservativer und aktiver Gebilde; ihr Zeitverlauf

5.40 Die Differentialgleichungen konservativer Schwinger

5.41 Schwinger vom Grundtyp $x'' + f(x) = 0$

5.42 Grundtyp; ungerade Funktionen $f(x)$

5.43 Grundtyp; stückweise lineare Kennlinien

5.44 Grundtyp; Zusammenhang zwischen Periodendauer und Kennlinie, isochrone Schwingungen nichtlinearer Schwinger

5.45 Konservative Schwinger, die nicht zum Grundtyp gehören

5.46 Aktive Schwinger mit Grenzzykeln oder Scharen von Lösungen

- 5.5 Schwinger mit "Schaltern"; Differentialgleichungen mit Unstetigkeitsstellen
 - 5.50 Begriffe: Echte und unechte Schalter
 - 5.51 Behandlung in der Phasenebene
 - 5.52 Abschnittsweise lineare Differentialgleichungen
 - 5.53 Differentialgleichungen mit Gliedern vom Typ $\text{sign}(\dot{x})\dot{x}^2$
 - 5.54 Der Schwinger mit quadratischer Dämpfungskraft
 - 5.55 Die "modifizierten van der Polschen" Differentialgleichungen
 - 5.56 Reibschwinger
- 5.6 Näherungen für Phasenkurven
 - 5.60 Vorbemerkungen
 - 5.61 Die Methode der Isoklinen
 - 5.62 Eigentlich graphische Verfahren; δ -Methode, Liénardsche Verfahren
 - 5.63 Entwickeln in Potenzreihen
 - 5.64 Lösungsansätze mit noch freien Parametern
 - 5.65 Entwickeln nach einem kleinen Parameter
 - 5.66 Iterationsverfahren
- 5.7 Näherungen für die Zeitfunktionen bei Differentialgleichungen mit nicht kleinen Parametern
 - 5.70 Vorbemerkungen
 - 5.71 Differentialgleichungen und Variationsprobleme; das Verfahren von W. Ritz
 - 5.72 Das Verfahren von Galerkin; Fourier-Abgleich
 - 5.73 Schwinger vom Grundtyp $x'' + \text{sign}(x)|x|^n = 0$, strenge Lösung und Näherungslösungen
 - 5.74 Weitere parabolische Näherungen
 - 5.75 Bewegungsgleichungen vom Typ $x'' + \text{sign}(x)\sum a_k|x|^k = 0$; Sonderfälle
 - 5.76 Schwinger vom Grundtyp mit nicht ungerader Rückstellfunktion
 - 5.77 Beispiele zum Fourier-Abgleich
 - 5.78 Hinweise auf weitere Beispiele

- 5.8 Näherungen für die Zeitfunktionen bei Differentialgleichungen mit einem kleinen Parameter
 - 5.80 Übersicht
 - 5.81 Die Störungsrechnung; das Verfahren von Lindstedt
 - 5.82 Die Lindstedtsche Idee im Zusammenhang mit einem Iterationsverfahren
 - 5.83 Das Verfahren von Krylov-Bogoliubov (das Verfahren "K-B I"); die primäre Näherung
 - 5.84 Die primäre Näherung: Harmonische und energetische Balance; Stabilität
 - 5.85 Die primäre Näherung: \mathcal{K} -Transformationen; äquivalente Linearisierung (das Verfahren "K-B II")
 - 5.86 Beispiele zur primären Näherung: Das Abklingverhalten von Schwingungen bei verschiedenen Dämpfungsgesetzen
 - 5.87 Beispiele zur primären Näherung: Selbsterregte Schwinger, ihr periodisches und ihr transientes Verhalten
 - 5.88 Verbesserungen der primären Näherung: Echte Näherungen erster Ordnung, Hinweise für Näherungen zweiter Ordnung; Beispiele
 - 5.89 Schwinger mit Totzeiten; Differenzen-Differentialgleichungen

Kapitel 6: Nicht-autonome Schwingungen nicht-linearer Gebilde

- 6.1 Vorbemerkungen; Inhalt, Einteilung
 - 6.11 Die dimensionslosen Größen Zeit, Periodendauer, Frequenz
 - 6.12 Differentialgleichungen und Erregerkräfte; starke und schwache Nichtlinearitäten
- 6.2 Passive Gebilde, schwach nichtlineare Differentialgleichungen: Harmonische Erregerfunktion (Störfunktion); die Grundharmonische der Lösung als Näherungslösung; Responsekurven
 - 6.21 Ungerade Kennlinien; allgemeiner Fall, Näherungslösungen durch Galerkin-Verfahren (Fourier-Abgleich)
 - 6.22 Diskussion der Amplituden-Responsekurven für den ungedämpften Schwinger
 - 6.23 Diskussion der Responsekurven für den gedämpften Schwinger; Sprungphänomene
 - 6.24 Harmonische Näherungslösungen mit Hilfe des Verfahrens "K-B I"

- 6.25 Stabilitätsbetrachtungen
- 6.26 Nicht-ungerade Kennlinien
- 6.3 Schwach nicht-lineare Dämpfungskräfte
 - 6.31 Einer Potenz der Geschwindigkeit proportionale Dämpfungskräfte
 - 6.32 Werkstoffdämpfung; Element- und Bauteildämpfung
 - 6.33 Werkstoffdämpfung: Das "ersetzende lineare Dämpfungsmaß"
- 6.4 Schwach nicht-lineare Differentialgleichungen; Periodische Erregerfunktionen; periodische Lösungen; Störungsrechnung
 - 6.40 Störungsrechnung bei nicht-autonomen Differentialgleichungen
 - 6.41 Der Nicht-Resonanzfall
 - 6.42 Der Resonanzfall
 - 6.43 Weitere Verfahren und Hinweise
 - 6.44 Kombinationsschwingungen
- 6.5 Stark nicht-lineare Differentialgleichungen; pseudo-autonome Systeme
 - 6.51 Die Erregerfunktion $M_i(\sigma)$ und $S_i(\sigma)$
 - 6.52 Punktkörper auf zwei schiefen Ebenen; Behandlung im Zeitbereich
 - 6.53 Schwinger vom "Grundtyp" mit Störfunktionen $M_i(\sigma)$ und $S_i(\sigma)$; Behandlung in der Phasenebene
 - 6.54 Lineare Schwinger vom "Grundtyp"
 - 6.55 Nicht lineare Schwinger vom "Grundtyp"
 - 6.56 Schwinger mit Dämpfung; Störfunktion $M_i(\sigma)$
- 6.6 Stark nichtlineare Differentialgleichungen; stückweise lineare Systeme
 - 6.61 Beispiel I: Ball hüpft auf schwingender Platte
 - 6.62 Stabilitätsuntersuchung zum Beispiel I
 - 6.63 Beispiel II: Stoß-Schwingungsdämpfer (Bericht)
 - 6.64 Schwinger mit Reibkräften
 - 6.65 Schwinger mit Reibkräften und sinusförmiger Erregerkraft
 - 6.66 Schwinger mit Reibkräften und linearen Dämpfungskräften ("kombinierte Dämpfung") bei sinusförmiger Erregerkraft

- 6.67 Schwinger mit kombinierter Dämpfung bei periodischer Erregerkraft
- 6.68 Andere stark nichtlineare Differentialgleichungen
- 6.7 Aktive Systeme; Mitnahme
 - 6.70 Beispiele, Definition
 - 6.71 Mitnahme bei einer nicht-linearen Differentialgleichung, die abschnittsweise linear ist
 - 6.72 Mitnahme bei der van der Polschen Differentialgleichung

Einige Formelzeichen, die in mehrfacher Bedeutung vorkommen

a	Trägheitsfaktor	α	Nullphasenwinkel
a	Amplitude	α	Phasenverschiebungswinkel
a	Beschleunigung	α	Widerstandsbeiwert
b	Amplitude	γ	Amplitude des period. Koeffizienten
b	Dämpfungsparameter	γ	Nichtlinearitätsbeiwert
G	Gewichtskraft	δ	Abklingkoeffizient
G	Gleitmodul	δ	stat. Absenkung
i	imaginäre Einheit	ζ	normierte Erregerfrequenz
i	Stromstärke	ζ	Massenzuschlagsfaktor
k	Kreiswellenzahl	Θ	Dämpfungswinkel
k	Trägheitsarm	Θ	Massenträgheitsmoment
k	Trägheitskraft	κ	Amplitude des period. Koeffizienten
M	Masse	κ	Kennkreisfrequenz
M	(Dreh-)Moment	λ	Mittelwert des period. Koeffizienten
q	(el.) Ladung	λ	Wellenlänge
q	(generalisierte) Koordinate	μ	charakteristischer Exponent
q	Lastfunktion	μ	imaginäre Kreisfrequenz
R	(el.) Widerstand	μ	Massendichte [M/L]
R	Federrückstellkraft	μ	Nichtlinearitätsbeiwert
R	Radius	μ	Reibungskoeffizient
R	Reibkraft	ρ	Dichte
r	Radius	ρ	Krümmungsradius
r	Ruck	τ	dimensionslose Zeit
S	Lastamplitude	τ	Integrationsvariable
S	Schwerpunkt	φ	Phasenwinkel
S	Spannkraft (Saite)	φ	Winkelkoordinate
s	bezogene Kraft	Ω	Erregerkreisfrequenz
s	Bogenlänge	Ω	Winkelgeschwindigkeit
s	charakt. Multiplikator		
s	Schwerpunktsabstand		