

DIE HARMONISCHE LINEARISIERUNG

I Einführung, Schwingungen, nichtlineare Regelkreisglieder

VON

RUDOLF STARKERMANN

DR. SC. TECHN.

AG BROWN BOVERI & CIE, BADEN/SCHWEIZ



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/WIEN/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALT

Band I

1. <i>Einführung.</i>	9
1.1 Lineare, nichtlineare Phänomene.	9
1.2 Lineare und nichtlineare Systeme.	12
1.2.1 Einleitung.	12
1.2.2 Mathematische Kennzeichen linearer und nichtlinearer Schwingungssysteme.	13
1.2.3 Kennzeichnung linearer und nichtlinearer Übertra- gungssysteme.	14
1.3 Die klassische Linearisierung und ihre Grenzen.	20
1.4 Nichtlineare Methoden.	24
1.5 Die Erweiterung des Stabilitätsbegriffs.	28
1.6 Sonderheiten linearer und nichtlinearer Systeme.	32
1.7 Einteilung nichtlinearer Systeme.	36
1.7.1 Nichtlineare Schwingungssysteme.	36
1.7.2 Nichtlineare Übertragungselemente in Regelsystemen	37
1.7.3 Nichtsymmetrische Nichtlinearitäten.	40
1.8 Das Verfahren und die Voraussetzungen für die harmonische Linearisierung.	41
1.9 Die Typen von Beschreibungsfunktionen, die Erläuterung ihrer Berechnung und ihres Sinnes.	46
2. <i>Schwingungen.</i>	54
2.1 Einführung.	54
2.2 Die Einteilung der Schwingungssysteme.	54
2.3 Autonome Schwingungssysteme.	56
2.3.1 Konservative Schwingungssysteme.	56
2.3.2 Systeme gedämpfter Schwingungen.	68
2.4 Vollständiger Ansatz.	74
2.5 Systeme selbsterregter Schwingungen.	78
2.6 Heteronome Schwingungssysteme.	83
2.6.1 Erzwungene Schwingungen.	83
2.6.2 Parametererregte Schwingungen.	92
2.7 Koppelschwingungen.	95

3. Nichtlineare Regelkreisglieder.	1TM
3.1 Einführung	104
3.2 Bestimmung des Übertragungsverhaltens nichtlinearer Regelkreisglieder bei harmonischem Eingangssignal.	107
3.3 Der Berechnungsweg der Beschreibungsfunktion.	H6
3.4 Die Berechnung einer Beschreibungsfunktion ohne Imaginärteil.	121
3.5 Die Berechnung der ersten und der dritten Harmonischen am Beispiel eines Übertragungselementes mit linearer Charakteristik, Ansprechempfindlichkeit und Sättigung	128
3.5.1 Das Übertragungssystem mit Ansprechempfindlichkeit	135
3.5.2 Das Übertragungssystem mit Sättigung.	130
3.5.3 Das Übertragungssystem mit Ansprechempfindlichkeit und Sättigung.	140
3.6 Die Lose.	141
3.7 Der Unterschied zwischen Sinus- und Cosinusansatz	148
3.7.1 Der Sinusansatz $x_e = x_e \sin wt$	149
3.7.2 Der Cosinusansatz $x_e = x_e \cos \omega t$	149
3.7.3 Komplexer Ansatz	150
3.8 Zusammenstellung von Beschreibungsfunktionen.	152
3.8.1 Eindeutige Kennlinien.	152
3.8.2 Mehrdeutige Kennlinien.	162
3.9 Nichtlinearität als trockene und quadratische Reibungskraft	174
3.9.1 Trockene Reibung eines autonomen Schwingers	174
3.9.2 Trockene Reibung eines Übertragungssystems	176
3.9.3 Die geschwindigkeitsquadratische Reibung.	177
3.10 Regelkreisglieder mit dynamischem Anteil.	178
3.10.1 Die Funktion von der Form $x_a = F(x_e, x_e, x_e, \dots, x_e^{(m)})$	179
3.10.2 Die Funktion von der Form $x_e = G(x_a, x_a, x_a, \dots, x_a^{(n)})$	181
3.10.3 Die Funktion von der Form $F(x_e, x_e, x_e, \dots, x_e^{(m)}) = G(x_a, x_a, \dots, x_a^{(n)})$	188
Literaturangaben.	197
Sachregister.	198

DIE HARMONISCHE LINEARISIERUNG

II Nichtlineare Regelsysteme

VON

RUDOLF STARKERMANN

DR. SC. TECHN.

AG BEOVN BOVERI & CIE, BADEN/SCHWEIZ



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/WIEN/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

Band II

4. <i>Regelsysteme mit einem nichtlinearen Element ohne dynamischen Anteil.</i>	7
4.1 Bemerkung zur Filterwirkung	7
4.2 Der Stabilitätsrand und die Stabilitätsbedingung	9
4.3 Die Stabilitätsanalyse an einem Beispiel	11
4.4 Allgemeines zum Stabilitätskriterium	14
4.5 Nichtlineare Spannungsregelung	19
5. <i>Regelsysteme mit einem nichtlinearen Element von dynamischem Anteil.</i>	26
5.1 Allgemeine Betrachtung	26
5.1.1 Regelsysteme mit einem nichtlinearen dynamischen Element, dessen Nichtlinearität nur statischen Charakter hat	26
5.1.2 Regelsysteme, die ein Übertragungselement enthalten, das eine der drei Gleichungstypen 3.10.1 bis 3.10.3 aufweist	28
5.2 Untersuchung der Stabilität einer Dauerschwingung	30
5.2.1 Theoretische Stabilitätsbetrachtung	30
5.2.2 Bildliche Stabilitätsbetrachtung	35
6. <i>Regelsysteme mit mehreren nichtlinearen Elementen.</i>	37
7. <i>Der fremderregte Regelkreis.</i>	42
8. <i>Analyse eines Regelkreises.</i>	46
8.1 Der Regelkreis mit einem P-Regler	46
8.2 Der Regelkreis mit einem idealen Schalter	48
8.3 Verbesserung des nichtlinearen Kreises mit linearen Gliedern	50
8.3.1 Die Serienschaltung	50
8.3.2 Die Parallelschaltung	52
8.3.2.1 Parallelschaltung eines P-Gliedes	53
8.3.2.2 Parallelschaltung eines Verzögerungsgliedes	54
8.3.2.3 Parallelschaltung eines Integralgliedes	62

8.3.3 Die Kreisschaltung	64
8.3.3.1 Kreisschaltung mit einem P-Glied	64
8.3.3.2 Kreisschaltung mit einem Verzögerungsglied	65
8.3.3.3 Kreisschaltung mit einem Integralglied	66
9. Grenzyklen bei einer Nichtlinearität in einem Zweigrößensystem	68
9.1 Beschreibung des Systems.	68
9.2 Die Grenzyklen.	69
9.3 Das System im Analogrechner.	71
10. Dauerschwingungen bei unsymmetrischen Kennlinien.	75
10.1 Einführung	75
10.2 Das unsymmetrische Relais.	75
10.3 Behandlung eines geschlossenen Regelkreises.	78
Literaturangaben.	82
Sachregister.	83