

Peter F. Orlowski

# Praktische Regeltechnik

Anwendungsorientierte Einführung für  
Maschinenbauer und Elektrotechniker

7., bearbeitete Auflage



Springer

# Inhaltsverzeichnis

|   |                                                               |     |
|---|---------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Grundbegriffe der Regeltechnik .....                          | 1   |
|   | 1.1 Steuerung .....                                           | 1   |
|   | 1.2 Regelung .....                                            | 3   |
|   | 1.3 Begriffe und Definitionen .....                           | 5   |
|   | 1.4 Wirkschaltplan, Blockschaltplan .....                     | 7   |
| 2 | Berechnung von Regelkreisen .....                             | 10  |
|   | 2.1 Stationäres Verhalten .....                               | 10  |
|   | 2.1.1 Verstärkungen .....                                     | 10  |
|   | 2.1.2 Störgrößen .....                                        | 12  |
|   | 2.1.3 Statische Kennlinien .....                              | 18  |
|   | 2.2 Dynamisches Verhalten .....                               | 26  |
|   | 2.2.1 Differentialgleichungen .....                           | 27  |
|   | 2.2.2 Sprung-, Rampen- und Fahrkurvenfunktion .....           | 29  |
|   | 2.2.3 Komplexe Rechnung .....                                 | 36  |
|   | 2.2.4 Carson-Laplace-Transformation .....                     | 38  |
|   | 2.2.5 Übertragungsfunktion und Frequenzgang .....             | 47  |
| 3 | Regelkreisglieder.....                                        | 60  |
|   | 3.1 Lineare Regelkreisglieder .....                           | 64  |
|   | 3.1.1 P-Glied .....                                           | 64  |
|   | 3.1.2 I-Glied .....                                           | 67  |
|   | 3.1.3 D-Glied .....                                           | 72  |
|   | 3.1.4 PI-Regler .....                                         | 73  |
|   | 3.1.5 PD-Regler .....                                         | 78  |
|   | 3.1.6 PID-Regler .....                                        | 82  |
|   | 3.1.7 PT <sub>1</sub> -Glied .....                            | 87  |
|   | 3.1.8 PT <sub>2</sub> -Glied und PT <sub>n</sub> -Glied ..... | 94  |
|   | 3.1.9 PT <sub>t</sub> -Glied .....                            | 105 |
|   | 3.1.10 PT <sub>a</sub> -Glied .....                           | 109 |

|       |                                                 |     |
|-------|-------------------------------------------------|-----|
| 3.2   | Nichtlineare Regelkreisglieder .....            | 120 |
| 3.2.1 | Linearisierung .....                            | 120 |
| 3.2.2 | Beschreibungsfunktion .....                     | 123 |
| 3.3   | Umformen von Blockschaltplänen .....            | 135 |
| 3.3.1 | Regeln für lineare Regelkreisglieder .....      | 135 |
| 3.3.2 | Regeln für nichtlineare Regelkreisglieder ..... | 136 |
| 4     | Komponenten der Automatisierung .....           | 141 |
| 4.1   | Regler .....                                    | 141 |
| 4.1.1 | Aufbau Wirkungsweise .....                      | 142 |
| 4.1.2 | Praktische Reglereinstellung .....              | 147 |
| 4.2   | Sollwertgeber .....                             | 154 |
| 4.3   | Stellgeräte .....                               | 159 |
| 4.3.1 | Stromrichter .....                              | 159 |
| 4.3.2 | Ventile .....                                   | 164 |
| 4.3.3 | Stellmotoren .....                              | 167 |
| 4.3.4 | Schütze, Relais .....                           | 170 |
| 4.4   | Meßeinrichtungen .....                          | 172 |
| 5     | Stabilitätskriterien und Optimierung .....      | 177 |
| 5.1   | Stabilitätsbegriff .....                        | 177 |
| 5.2   | Bode-Diagramm .....                             | 181 |
| 5.3   | Nyquist-Kriterium .....                         | 196 |
| 5.4   | Zwei-Ortskurven-Verfahren (Z.O.V.) .....        | 211 |
| 5.5   | Regelkreisoptimierung .....                     | 224 |
| 5.5.1 | Integralkriterien .....                         | 224 |
| 5.5.2 | Symmetrisches Optimum .....                     | 233 |
| 5.5.3 | Aufhebungskompensation .....                    | 240 |
| 5.5.4 | Störgrößenaufschaltung .....                    | 245 |
| 5.5.5 | Kaskadenregelung .....                          | 248 |
| 5.5.6 | Adaptive Regelung .....                         | 253 |
| 5.5.7 | Abtastregelung .....                            | 257 |

|       |                                                     |     |
|-------|-----------------------------------------------------|-----|
| 6     | Ausgewählte Beispiele der Regeltechnik .....        | 265 |
| 6.1   | Kontinuierliche Regelungen .....                    | 265 |
| 6.1.1 | Temperaturregelungen .....                          | 265 |
| 6.1.2 | Stoffgemischregelungen .....                        | 273 |
| 6.1.3 | Zwei- und Dreipunktregelungen .....                 | 281 |
| 6.1.4 | Geschwindigkeitsregelung für Schachtförderer .....  | 291 |
| 6.1.5 | Drehzahlregelung von Asynchronmaschine .....        | 298 |
| 6.1.6 | Regelung von Wickelantrieben für Stoffbahnen .....  | 305 |
| 6.1.7 | Banddickenregelung .....                            | 321 |
| 6.1.8 | Regelung einer Streckrichteinheit .....             | 328 |
| 6.2   | Zeitdiskrete Regelungen .....                       | 332 |
| 6.2.1 | Piezoelektrische Regelung einer Meßtischachse ..... | 332 |
| 6.2.2 | Regelung von Roboterantrieben mit Rechner....       | 336 |
| 6.2.3 | Regelung von Asynchronmotoren mit Rechner .....     | 341 |
| 6.2.4 | Digitale Regelung von Fräsmaschinen mit CNC .....   | 345 |
| 6.2.5 | pH-Wert-Regelung zur Abwasser-Neutralisation .....  | 350 |
| 7     | Rechner-Simulation und -Optimierung .....           | 354 |
| 7.1   | Das Programmpaket SIMLER-PC .....                   | 354 |
| 7.1.1 | Hardware und Schnittstellen .....                   | 355 |
| 7.1.2 | Menü-Führung und Programm-Handhabung .....          | 356 |
| 7.1.3 | Identifikation und Regler-Optimierung .....         | 359 |
| 7.1.4 | Stabilitätsaussage .....                            | 362 |
| 7.2   | Anwendungen .....                                   | 363 |
| 7.2.1 | Das Bode-Diagramm .....                             | 363 |
| 7.2.2 | Das Nyquist-Diagramm .....                          | 366 |
| 7.2.3 | Das Übergangsverhalten .....                        | 369 |
| 8     | Lösungen zu Aufgaben und Klausuren .....            | 400 |
| 8.1   | Aufgaben .....                                      | 400 |
| 8.2   | Klausuren .....                                     | 456 |

|    |                                                      |     |
|----|------------------------------------------------------|-----|
| 9  | Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne .....        | 473 |
| 10 | Literaturverzeichnis .....                           | 476 |
|    | 10.1 Mathematische und Elektrotechnische Grundlagen  | 476 |
|    | 10.2 Bücher zu den Grundlagen der Regeltechnik ..... | 477 |
|    | 10.3 Vertiefende Bücher zur Regeltechnik .....       | 478 |
|    | 10.4 Aufsätze und Datenblätter .....                 | 479 |
|    | 10.5 Zum Rechnergestützten Regelkreisentwurf .....   | 481 |
|    | 10.6 Kleine Wegbegleitung .....                      | 482 |
| 11 | Sachverzeichnis .....                                | 483 |