

Thomas Beier, Petra Wurl

# Regelungstechnik

Basiswissen, Grundlagen, Beispiele

2., neu bearbeitete Auflage

Mit 290 Bildern, 30 Tabellen, 31 Aufgaben und Lösungen



**Fachbuchverlag Leipzig**  
**im Carl Hanser Verlag**

# Inhalt

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung in die Regelungstechnik .....</b>        | <b>11</b> |
| 1.1      | Grundbegriffe der Regelungstechnik .....               | 12        |
| 1.1.1    | Steuern oder Regeln? .....                             | 12        |
| 1.1.2    | Die Größen des Regelkreises .....                      | 14        |
| 1.1.3    | Die Regelkreisglieder .....                            | 16        |
| 1.2      | Darstellung von Regelkreisen .....                     | 19        |
| 1.2.1    | Das Übertragungsglied .....                            | 19        |
| 1.2.2    | Der elementare Regelkreis .....                        | 24        |
| 1.2.3    | Darstellung in Fließbildern .....                      | 30        |
| 1.3      | Übungen .....  | 32        |
| <b>2</b> | <b>Das stationäre Verhalten von Regelkreisen .....</b> | <b>34</b> |
| 2.1      | Die Kreisverstärkung .....                             | 35        |
| 2.2      | Das Führungsverhalten .....                            | 37        |
| 2.3      | Der stationäre Regelfehler .....                       | 40        |
| 2.4      | Das Störverhalten .....                                | 42        |
| 2.4.1    | Störgrößen im Vorwärtszweig .....                      | 43        |
| 2.4.2    | Störgrößen in der Rückführung .....                    | 47        |
| 2.5      | Übungen .....  | 50        |
| <b>3</b> | <b>Untersuchung von Übertragungsgliedern .....</b>     | <b>53</b> |
| 3.1      | Das Bode-Diagramm .....                                | 55        |
| 3.2      | Reihenschaltung von Frequenzgängen .....               | 61        |
| 3.3      | Übertragungsfunktion .....                             | 66        |
| 3.4      | Ortskurve .....  | 66        |
| 3.5      | Untersuchung im Zeitbereich .....                      | 70        |
| 3.6      | Die Laplace-Transformation .....                       | 72        |
| 3.7      | Modellbildung und Simulation .....                     | 76        |
| 3.8      | Übungen .....  | 79        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>Regelstrecken</b> .....                                      | <b>80</b>  |
| 4.1      | Regelstrecken mit Ausgleich .....                               | 80         |
| 4.1.1    | Regelstrecken mit Ausgleich ohne Verzögerung .....              | 81         |
| 4.1.2    | Verzögerungsglieder erster Ordnung .....                        | 84         |
| 4.1.3    | Verzögerungsglieder höherer Ordnung .....                       | 91         |
| 4.1.4    | Verzögerungsglieder zweiter Ordnung .....                       | 100        |
| 4.1.5    | Regelstrecken mit Totzeitverhalten .....                        | 104        |
| 4.2      | Regelstrecken ohne Ausgleich .....                              | 108        |
| 4.2.1    | Regelstrecken ohne Ausgleich und ohne Verzögerung .....         | 108        |
| 4.2.2    | Regelstrecken ohne Ausgleich mit Verzögerung .....              | 115        |
| 4.3      | Zusammengesetzte Regelstrecken .....                            | 119        |
| 4.4      | Übungen .....   | 122        |
| <b>5</b> | <b>Regeleinrichtungen</b> .....                                 | <b>125</b> |
| 5.1      | Regler mit Proportionalverhalten .....                          | 126        |
| 5.2      | Regler mit integralem Verhalten .....                           | 129        |
| 5.3      | Regler mit PI-Verhalten .....                                   | 132        |
| 5.4      | Regler mit PD-Verhalten .....                                   | 137        |
| 5.5      | Der PID-Regler .....  | 142        |
| 5.6      | Übungen .....   | 149        |
| <b>6</b> | <b>Anforderungen an einen Regelkreis</b> .....                  | <b>151</b> |
| 6.1      | Stabilität von Regelkreisen .....                               | 151        |
| 6.2      | Übungen .....   | 160        |
| <b>7</b> | <b>Bestimmung von Reglern</b> .....                             | <b>162</b> |
| 7.1      | Integrale Gütekriterien .....                                   | 163        |
| 7.2      | Praktische Entwurfsverfahren .....                              | 165        |
| 7.2.1    | Frequenzkennlinienverfahren .....                               | 166        |
| 7.2.2    | Kompensationsverfahren .....                                    | 170        |
| 7.2.2.1  | Entwurf mit einem PI-Regler .....                               | 171        |
| 7.2.2.2  | Entwurf mit einem PID-Regler .....                              | 174        |
| 7.2.3    | Betragsoptimum .....  | 177        |
| 7.2.3.1  | Ansatz des Betragsoptimums nach Typ 1 .....                     | 178        |
| 7.2.3.2  | Ansatz des Betragsoptimums nach Typ 2 .....                     | 184        |
| 7.2.4    | Allgemeine Optimierung nach dem Dämpfungsgrad .....             | 186        |
| 7.2.5    | Reglerentwurf nach dem Betragsoptimum für Prozessstrecken ..... | 190        |
| 7.2.6    | Symmetrisches Optimum .....                                     | 192        |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 7.2.7   | Einstellregeln nach Ziegler und Nichols .....                                    | 197 |
| 7.2.7.1 | Reglerbestimmung an der Stabilitätsgrenze.....                                   | 197 |
| 7.2.7.2 | Reglerbestimmung mittels Sprungantwort nach Ziegler und Nichols.....             | 200 |
| 7.2.8   | Reglerbestimmung mittels Sprungantwort nach Chien, Hrones und Reswick (CHR)..... | 202 |
| 7.3     | Vermaschte Regelkreise .....   | 204 |
| 7.3.1   | Störgrößenaufschaltung .....   | 204 |
| 7.3.2   | Vorregelung .....  | 205 |
| 7.3.3   | Regelung mit Hilfsstellgröße .....   | 206 |
| 7.3.4   | Kaskadenregelung .....   | 207 |
| 7.4     | Übungen .....  | 210 |

**8 Unstetige Regler ..... 212**

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.1   | Zweipunktregler .....   | 213 |
| 8.2   | Zweipunktregler mit P-T <sub>1</sub> - und Totzeitglied ..... | 219 |
| 8.3   | Zweipunktregler mit Regelstrecken höherer Ordnung .....       | 223 |
| 8.4   | Optimierung von Zweipunktreglern .....                        | 225 |
| 8.4.1 | Zweipunktregler mit Rückführung .....                         | 225 |
| 8.4.2 | Zweipunktregler mit verzögert-nachgebender Rückführung.....   | 226 |
| 8.5   | Dreipunktregler .....   | 228 |
| 8.6   | Übungen .....   | 234 |

**9 Digitale Regler ..... 236**

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.1   | Realisierung eines idealen PID-Reglers..... | 239 |
| 9.1.1 | P-Anteil.....                               | 239 |
| 9.1.2 | I-Anteil .....                              | 240 |
| 9.1.3 | D-Anteil .....                              | 241 |
| 9.1.4 | PID-Algorithmus.....                        | 242 |
| 9.2   | Der Bildbereich für Abtastsysteme .....     | 244 |
| 9.3   | Der reale PID-Algorithmus .....             | 246 |
| 9.4   | Wahl der Abtastperiode .....                | 248 |
| 9.5   | Einstellregeln .....                        | 249 |
| 9.6   | Übungen .....                               | 249 |

**10 Lösungen zu den Übungen ..... 251**

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 10.1 | Einführung in die Regelungstechnik.....         | 251 |
| 10.2 | Das stationäre Verhalten von Regelkreisen ..... | 251 |

|  |            |
|--|------------|
| 10.3 Untersuchung von Übertragungsgliedern ..... | 253        |
| 10.4 Regelstrecken.....                          | 256        |
| 10.5 Regeleinrichtungen .....                    | 257        |
| 10.6 Anforderungen an einen Regelkreis .....     | 260        |
| 10.7 Bestimmung von Reglern.....                 | 262        |
| 10.8 Unstetige Regler .....                      | 266        |
| 10.9 Digitale Regler.....                        | 268        |
| <b>Verwendete Formelzeichen .....</b>            | <b>270</b> |
| <b>Literatur.....</b>                            | <b>273</b> |
| <b>Index.....</b>                                | <b>275</b> |