

|  |  |  |
|--|--|--|
| Hochschule Darmstadt                         | Thema A für C22 Team-Projektarbeit                   | Sommersemester 2021                                |
| Fernstudium Master of Science Elektrotechnik | Bode-aided Design (BAD)                              | <a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a> |
| Prof. Dr. S. Zacher                          | <a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a> | Stand 10.04.2021                                   |

## Thema A

### Bode-aided Design einer Temperaturregelung

Das Thema A ist für Studierende geeignet, die sich für die Regelungstechnik interessieren und auch selbst einen Beitrag zur Weiterentwicklung eines neuen Verfahrens leisten möchten.

Die Projektaufgabe ist aus dem Grundkurs „Regelungstechnik“ bekannt und einfach formuliert: **Es soll ein Standard-Regler (P-, PI-, PD- oder PID- Regler) für eine gegebene physikalische Temperaturregelstrecke ausgelegt werden.**

Auch die Lösung ist bekannt und in zahlreichen Regelungstechnik-Lehrbüchern beschrieben, nämlich, die Regler-Auslegung erfolgt wie folgt:

**Identifizierung:** Die physikalisch vorhandene Regelstrecke wird getrennt vom Regler separat untersucht bzw. identifiziert, d.h. es wird die Übertragungsfunktion  $G_S(s)$  der Strecke nach Messwerten bestimmt. Dies erfolgt entweder nach der Sprungantwort (Wendetangenten-Verfahren, Zeit-Prozentkennwert-Verfahren) oder nach dem Bode-Diagramm (siehe [1]). Im ersten Fall wird zum Strecken-Eingang ein Sprung der Stellgröße eingegeben und der Ausgang der Strecke (Sprungantwort) wird gemessen. Im zweiten Fall, also für das Bode-Diagramm, wird zum Eingang der Strecke eine harmonische Sinus-Schwingung mit verschiedenen Frequenzen eingegeben und am Strecken-Ausgang wird wiederum die harmonische Schwingung aufgezeichnet. Aus dem Verhalten zwischen Amplituden und Phasen der Ein- und Ausgangsschwingungen wird das Bode-Diagramm  $G_S(j\omega)$  der Strecke ermittelt, woraus die Übertragungsfunktion  $G_S(s)$  der Strecke resultiert.

**Regler-Entwurf:** Es wird einen Reglertyp mit der Standard-Übertragungsfunktion  $G_R(s)$  gewählt und mit der oben identifizierten Übertragungsfunktion  $G_S(s)$  der Strecke verknüpft, d.h. es wird die Übertragungsfunktion  $G_0(s) = G_R(s)G_S(s)$  des offenen Regelkreises bestimmt. Die einfachen Regelkreise kann man in 6 Standardtypen aufteilen (Betragsoptimum, Typ A oder B, symmetrisches Optimum usw.) und die Reglerparameter  $K_{PR}$ ,  $T_n$ ,  $T_v$  nach der  $G_0(s)$  direkt nach bereits fertigen Formeln berechnen. Gehören aber die Regelkreise zu keinem Standardtyp A, B, ..., soll entweder die Übertragungsfunktion  $G_w(s)$  des geschlossenen Regelkreises ermittelt werden, die entsprechende charakteristische Gleichung gelöst und die somit gefundenen Polstellen zu gewünschten Stellen der s-Ebene verschoben werden (Pole-placing bzw. Polzuweisung). Alternativ kann man das Bode-Diagramm  $G_S(j\omega)$  der Strecke mit das Bode-Diagramm  $G_R(j\omega)$  des Reglers verknüpfen, das Bode-Diagramm des  $G_0(j\omega) = G_R(j\omega)G_S(j\omega)$  des offenen Regelkreises zeichnen und daraus die Reglerparameter  $K_{PR}$ ,  $T_n$ ,  $T_v$  nach Nyquist-Stabilitätskriterium bestimmen.

**Gegenüberstellung:** Vergleichen wir nun beide Lösungen, in der s-Ebene nach der  $G_w(s)$  und im Frequenzbereich nach  $G_0(j\omega)$ , miteinander. Es ist klar, dass die Identifizierung nach Bode-Diagramm mit 10-20 Versuchen für verschiedene Frequenzen viel aufwändiger als die Identifizierung mit 1-2 Versuchen nach der Sprungantwort ist. Dagegen ist der Regler-Entwurf mit  $G_0(j\omega)$  im Bode-Diagramm viel einfacher und leichter zu realisieren als der Entwurf in der s-Ebene nach  $G_w(s)$ .

**Fazit:** beide Verfahren verlangen fast gleicher Projektierungsumfang!

|  |  |  |
|--|--|--|
| Hochschule Darmstadt                         | Thema A für C22 Team-Projektarbeit                   | Sommersemester 2021                                |
| Fernstudium Master of Science Elektrotechnik | Bode-aided Design (BAD)                              | <a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a> |
| Prof. Dr. S. Zacher                          | <a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a> | Stand 10.04.2021                                   |

Die Projektgruppe, die sich für dieses Thema entscheidet, wird sicherlich überrascht, dass der Regler im Bode-Diagramm nicht nach 10-20 Versuchen, sondern nach einem einzigen Versuch ausgelegt wird, und zwar ohne Identifizierung der Strecke bzw. ohne Bestimmung von Übertragungsfunktion  $G_S(s)$  der Strecke!

Das Verfahren heißt *Bode-aided Design* (BAD) und ist aus Stabilitätskriterien ZBV (Zwei-Bode-Plots-Verfahren) und (Drei-Bode-Plots-Verfahren) hergeleitet (siehe [2 - 4]).

Nun kann die Projektaufgabe genau formuliert werden.

1. Die Regelstrecke wird als digitaler Zwilling einer realen physikalischen Anlage (OSLO mit FieldController von ABB) zur Verfügung gestellt (siehe Anhang). Es soll ein Punkt des Bode-Diagramms der Strecke für die harmonische Sinus-Schwingung mit einer Amplitude  $A$  und einer Frequenz  $\omega$  bestimmt werden.
2. Nach dem BAD sollen die Reglerparameter  $K_{PR}$  und  $T_n$  des PI-Reglers bestimmt werden.
3. Abschließend soll die Reglereinstellung des vorherigen Punktes mittels einer Simulation des Regelkreises getestet werden.

#### Die Liste von Links:

[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/11\\_Fingerprint\\_DBV.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/11_Fingerprint_DBV.pdf)

[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/38\\_ZBV.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/38_ZBV.pdf)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Fingerprint/Flyer\\_Fingerprint.pdf](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Fingerprint/Flyer_Fingerprint.pdf)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Fingerprint/Kurzbericht\\_Fingerprint.pdf](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Fingerprint/Kurzbericht_Fingerprint.pdf)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Fingerprint/Kurz\\_PraesentationFingerprint.pdf](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Fingerprint/Kurz_PraesentationFingerprint.pdf)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Fingerprint/Fingerprint.mp4](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Fingerprint/Fingerprint.mp4)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Fingerprint/MyAppInstaller\\_web.zip](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Fingerprint/MyAppInstaller_web.zip)

[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/FingerPrint-App.7z](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/FingerPrint-App.7z)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Digitaler\\_Zwiling\\_L\\_H/DZLH.mp4](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Digitaler_Zwiling_L_H/DZLH.mp4)

[https://www.zacher-international.com/C22\\_Team\\_Projekt/Digitaler\\_Zwiling\\_L\\_H/Kurzbericht\\_DZLH.pdf](https://www.zacher-international.com/C22_Team_Projekt/Digitaler_Zwiling_L_H/Kurzbericht_DZLH.pdf)

Bei einem erfolgreichen Abschluss sind die Ergebnisse der Projektarbeit für einen Tagungs-Vortrag oder/und ein wissenschaftliche Publikation in einer renommierten Fachzeitschrift geeignet.

#### Literatur:

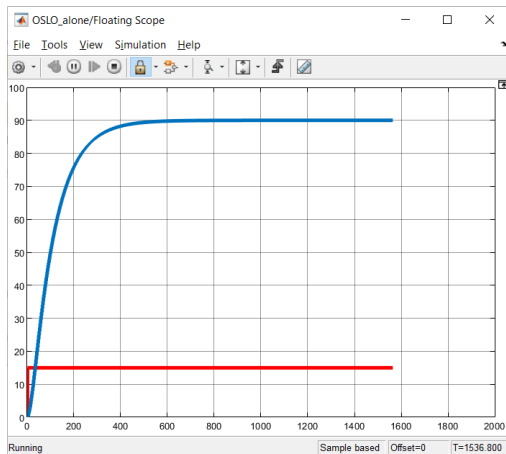
1. S. Zacher: *Regelungstechnik für Ingenieure*, 15. Auflage, Springer Vieweg Verlag, 2017
2. S. Zacher: *Das zweite Leben des Zweiortskurvenverfahrens*. 2018, Stuttgart, Verlag Dr. Zacher, ISBN 978-3-937638-36-2
3. S. Zacher: *Zwei Bode-Plots-Verfahren*. 2018, Stuttgart, Verlag Dr. Zacher, ISBN 978-3-937638-37-9
4. S. Zacher: *Drei Bode-Plots-Verfahren*. 2020, Springer Vieweg Verlag

|  |  |  |
|--|--|--|
| Hochschule Darmstadt                         | Thema A für C22 Team-Projektarbeit                   | Sommersemester 2021                                |
| Fernstudium Master of Science Elektrotechnik | Bode-aided Design (BAD)                              | <a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a> |
| Prof. Dr. S. Zacher                          | <a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a> | Stand 10.04.2021                                   |

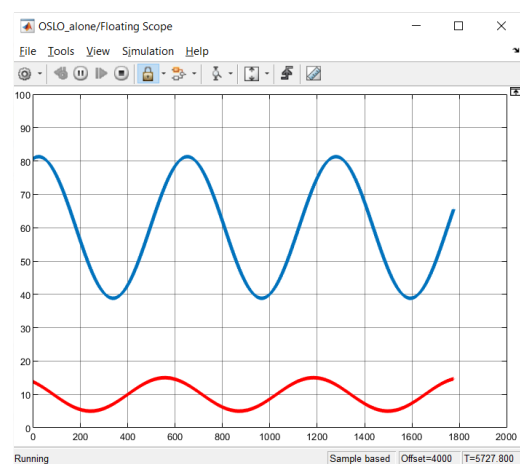
## Anhang:

### Digitaler Zwilling der Temperaturregelstrecke (OSLO mit FieldController von ABB)

Step



Sinus



Lissajous-Figur zur Ermittlung der Amplitude und Phase

