

1. Einführung

In diesem Versuch geht es um:

- Theoretische und experimentelle Ermittlung der Frequenzgänge verschiedener Übertragungsglieder (Regelstrecke, offener Regelkreis).
- Darstellung der Frequenzgänge als Nyquist-Ortskurven.
- Reglerentwurf anhand des Frequenzganges des offenen Regelkreises.

2. Versuchsanordnung

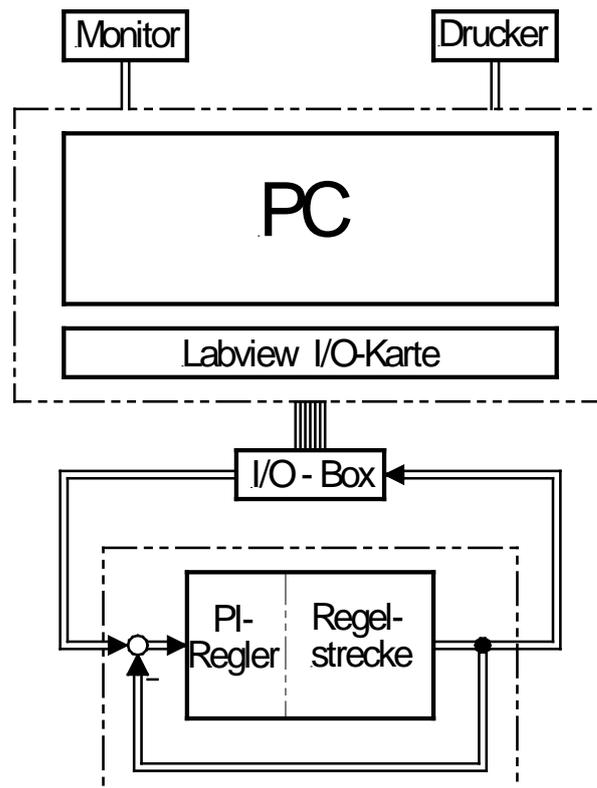


Abb. 1: Schematische Versuchsanordnung

Für die Versuchsdurchführung steht ein PC-gesteuerter Messplatz nach Abb. 1 zur Verfügung.

Die Labview I/O-Karte liefert die Eingangsspannung (Testsignal) für das zu identifizierende Übertragungsglied. Ein- und Ausgangsspannung des Übertragungsgliedes werden erfasst. Die Anschlüsse, entsprechend gekennzeichnete BNC-Buchsen, befinden sich an der externen I/O-Box (BNC2110) von National Instruments.

Mit dem PC werden aus den Messreihen der Ein- und Ausgangsspannung Betrag und Phase des Frequenzgangs $G(j\omega)$ bestimmt. Die Messung der Übergangsfunktion erfolgt durch Anlegen einer sprunghaft ansteigenden Gleichspannung an das Signalübertragungsglied.

Das zu untersuchende Übertragungsglied ist als Reihenschaltung von vier Einzelgliedern realisiert.

Anlage 1 zeigt den Aufbau des Signalübertragungsglieds sowie der Einzelglieder. Eine Einweisung in die Software befindet sich in Anlage 2.

3. Theoretische Voruntersuchungen

Aufgabe 1: Die Definition für den Frequenzgang lautet:

$$G(j\omega) = \frac{u_a}{u_e} = \frac{|u_a|}{|u_e|} e^{j(\varphi_a - \varphi_e)} = |G| e^{j\angle G}$$

a) Welche Werte für Betrag und Phase ergeben sich bei der Frequenz $\omega_1 = \frac{1}{T}$?

b) Zeichnen Sie die Ortskurve des Signalübertragungsglieds im Frequenzbereich $0 \text{ 1/sec.} \leq \omega \leq 25 \text{ 1/sec.}$ (Radius Einheitskreis = 10 cm).

Aufgabe 2: Ermitteln Sie den Anfangs- und Endwert der Übergangsfunktion von G.

Aufgabe 3: Das Signalübertragungsglied wird mit einem P-Regler zu einem geschlossenen Regelkreis zusammengeschaltet.

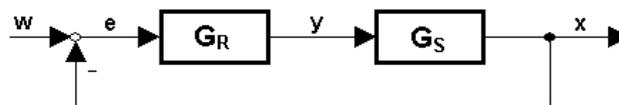


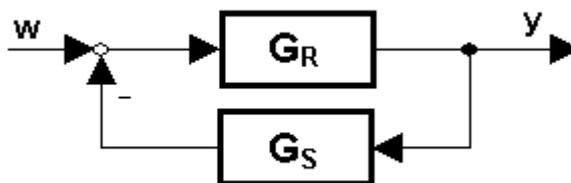
Abb. 2: Schema des Regelkreises aus Strecke mit Regler

- Mit welcher Frequenz $\omega_{\text{krit,P}}$ schwingt der Kreis?
- Wie groß ist $G_R = K_P = K_{P,\text{Krit}}$ zu wählen, damit der Regelkreis an der Stabilitätsgrenze schwingt?

Aufgabe 4: Es soll ein Amplitudenrand $A_R = 1.1$ eingestellt werden.

- Wie groß ist K_p zu wählen?
- Welcher Phasenrand ergibt sich?
- Wie groß ist die Durchtrittsfrequenz?

Wie lautet der **Stellfrequenzgang** des Systems?



$$G_{\text{stell}}(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{W(j\omega)} \quad (W = \text{Einganggröße}, Y = \text{Ausgangsgröße}).$$

Aufgabe 5: Das Signalübertragungsglied wird mit einem I-Regler zu einem geschlossenen Regelkreis zusammengeschaltet.

- Mit welcher Frequenz ω_{Krit} schwingt der Kreis?
- Wie groß ist K_i zu wählen, damit der Regelkreis an der Stabilitätsgrenze schwingt?

Aufgabe 6: Stellen Sie den Phasenrand auf $\varphi_R = 30^\circ$ ein.

- Wie groß ist in diesem Fall K_i zu wählen?
- Welcher Amplitudenrand ergibt sich?
- Wie groß ist die Durchtrittsfrequenz?

| | | | |
|------------------------|------------------------------------|-----------|--|
| | Versuch Nr. 1 | 30.9.2019 |  HOCHSCHULE RAVENSBURG-WEINGARTEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES |
| Labor Regelungstechnik | Frequenzgang und Übergangsfunktion | | |

4. Experimentelle Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen werden mit LabVIEW –Programmen durchgeführt.

Die theoretischen Vergleichsberechnungen werden mit Matlab erstellt.

Eine kurze Beschreibung der Programme finden Sie in Anlage 2.

Einstellungen von K_p und T_n siehe Anlage 3

Aufgabe 7: Legen Sie mit dem LabVIEW-Programm V1-EINZELSINUS eine sinusförmige Spannung mit der Frequenz $f = 0.5$ Hz und einer Amplitude von 5V an das Übertragungsglied. Nehmen Sie die Ein- und Ausgangsspannung auf und geben diese auf dem Drucker aus.

- Ermitteln Sie grafisch Betrag $|G|$ und Phase φ .
- Tragen Sie das Ergebnis jeweils in die unter Aufgabe 1b und später in die unter Aufgabe 9 ermittelten Ortskurven ein.

Aufgabe 8: Überprüfen Sie das Ergebnis von Aufgabe 1 mit dem PC:

- Berechnung** der **Ortskurve** der Strecke im Frequenzbereich $0.01 \text{ 1/s} \leq \omega \leq 25 \text{ 1/s}$, Schrittweite 0.1 1/s .
- Messung** der **Ortskurve** der Strecke mit der Messschaltung nach Abb. 1 im Frequenzbereich 0.5 - 20Hz, Schrittweite 0.5Hz.
(LabVIEW-Programm V1-WobbleSinus)

Aufgabe 9: Überprüfen Sie die Ergebnisse von Aufgabe 3 und Aufgabe 4 mit dem PC:

- Berechnung der Ortskurve** des offenen Regelkreises mit P-Regler im Frequenzbereich $0.01 \text{ 1/s} \leq \omega \leq 25 \text{ 1/s}$, Schrittweite 0.1 1/s .
(1) für $K_p = K_{p,Krit}$ (2) für $K_p = K_{p(AR=1.1)}$
- Messung der Ortskurve** des offenen Regelkreises mit P-Regler im Frequenzbereich 0.5 - 20Hz, Schrittweite 0.5Hz.
(1) für $K_p = K_{p,Krit}$ (2) für $K_p = K_{p(AR=1.1)}$
Einstellung von K_p : siehe Anlage 3 (LabVIEW-Programm V1-WobbleSinus)

Aufgabe 10: Überprüfen Sie die Ergebnisse von Aufgabe 5 und 6 mit dem PC:

Berechnung der Ortskurve des offenen Regelkreises mit I-Regler im Frequenzbereich $0,01 \text{ 1/s} \leq \omega \leq 25 \text{ 1/s}$, Schrittweite 0.1 1/s .

- für $K_i = K_{i,Krit}$
- für $K_i = K_{i(\varphi R=30^\circ)}$

Aufgabe 11: Messen Sie die **Übergangsfunktion** der **Strecke**.

$K_p = 1$ einstellen und Spannungssprung 5V an Führungseingang $w(u)$ einspeisen.

(LabVIEW-Programm V1-Sprung)

Aufgabe 12: Messen Sie die **Führungsübergangsfunktion** des **geschlossenen Regelkreises** durch Anlegen eines Spannungssprungs 5V an den Führungseingang $w(u)$.

- mit P-Regler:
 - $K_p = 1$
 - $K_p = K_{p(AR=1.1)}$
 - $K_p = K_{p,Krit}$
 - Bitte passen Sie den Widerstand R_1 so an, dass tatsächlich der kritische Punkt erreicht wird. Wie kann die Abweichung von dem berechneten Wert erklärt werden?
- mit I-Regler:
 - $T_n = 1 \text{ sec.}$
 - $T_n = T_{n(\varphi R=30^\circ)}$
 - $T_n = T_{n,Krit}$
 - Bitte passen Sie den Widerstand R so an, dass wieder der kritische Punkt erreicht wird.

Anlage 1

Übertragungsglied G_1

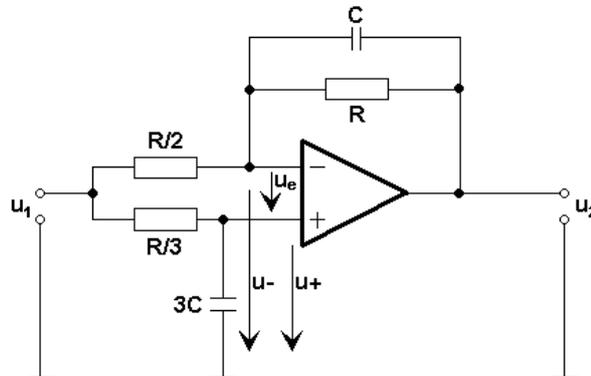


Abb. 3: Schaltbild des Übertragungsglieds G_1

$$G_1 = \frac{u_2(j\omega)}{u_1(j\omega)}$$

Ermittlung von $U_2 = f(U_1)$ über die Näherungsbeziehung
 $U_e(j\omega) = 0$, d.h. $U_-(j\omega) = U_+(j\omega)$

- a) $U_+(j\omega)$: Bestimmung mit Spannungsteileransatz
- b) $U_-(j\omega)$: Bestimmung mit Superpositionsansatz
 Es wirken 2 Anteile:
 Wirkung von U_1 : $U_2 = 0$
 Wirkung von U_2 : $U_1 = 0$
 daraus ergibt sich: $U_-(j\omega) = U_-(U_1) + U_-(U_2)$

Ergebnis:

$$G_1 = \frac{1 - j\omega T}{(1 + j\omega T)^2} \quad \text{mit } T = R \cdot C = 64,38 \text{ ms}$$

Übertragungsglied G_2 :

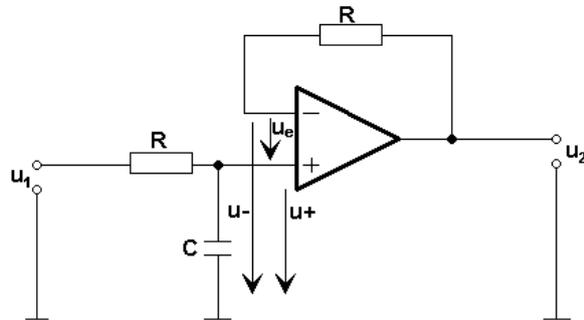


Abb. 4: Schaltbild des Übertragungsglieds G_2

Ermittlung von U_+ und U_- über Spannungsteileransatz ($Z_e \rightarrow \infty$)
 $U_e = 0$, d.h. $U_+ = U_-$

Ergebnis:

$$G_2 = \frac{1}{1 + j\omega T} \quad \text{mit } T = R \cdot C = 64,38 \text{ ms}$$

Übertragungsglied G :

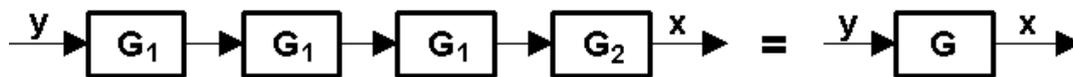


Abb. 5: Reihenschaltung der Übertragungsglieder G_1 und G_2

$$G = G_1^3 \cdot G_2 = \frac{(1 - j\omega T)^3}{(1 + j\omega T)^7}$$

Betrag: $G = \frac{1}{[1 + (\omega T)^2]^2}$

Phase: $\varphi = -10 \cdot \arctan(\omega T)$

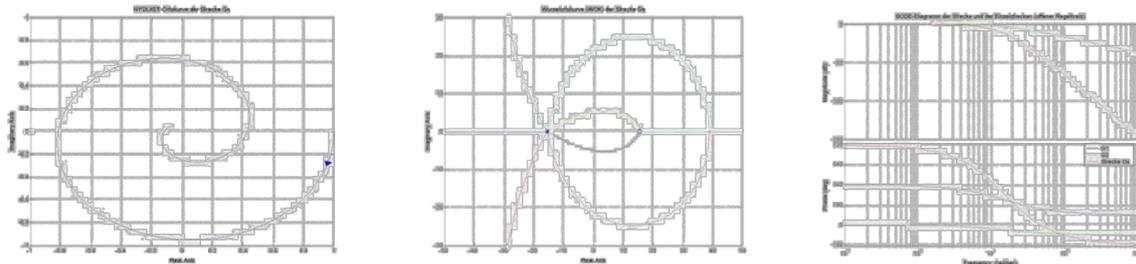
Anlage 2

Beschreibung Matlab- und LabVIEWprogramme

Matlabprogramm V1-Berechnung:

V1_Berechnung ist ein M-File zur Berechnung der NYQUIST-Ortskurven zum Versuch 1, Frequenzgang und Übergangsfunktion anhand der Aufgaben zu den experimentellen Untersuchungen aus Kap. 4 von Versuch 1.

Das Programm führt nach der Eingabe der jeweiligen Werte aus den Vorbereitungsaufgaben die entsprechenden Berechnungen aus und stellt die Ergebnisse graphisch zur Verfügung.

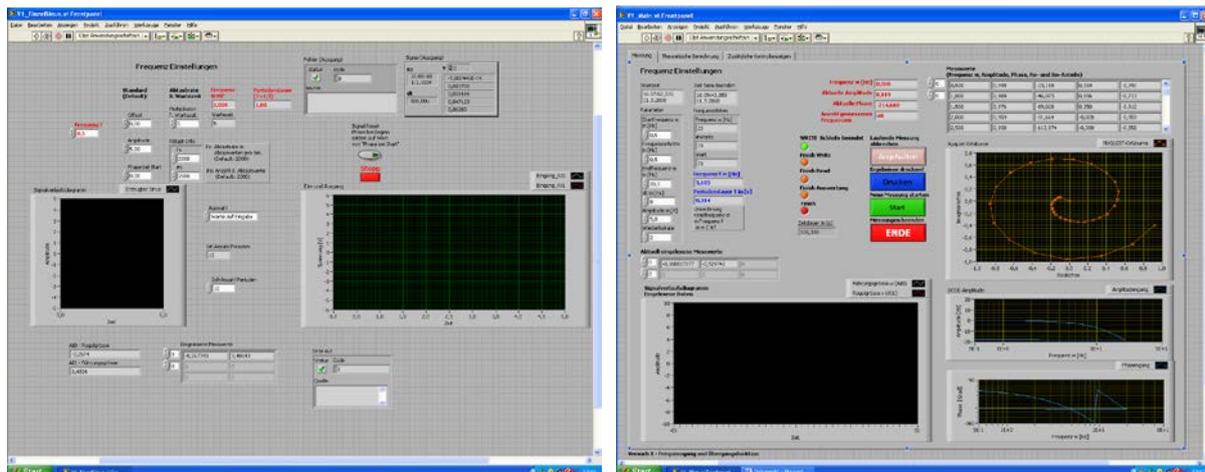


LabVIEW-Programme:

Für die experimentellen Messungen werden die Signale für die erforderlichen Funktionen mit drei LabVIEW-Programmen erzeugt:

V1-WobbleSinus; V1-Sinus und V1-Sprung

Nach dem starten des jeweiligen Programmes gibt LabVIEW über eine Anschlußbox die Signale als Führungsgröße auf den Regler und die Strecke und liest die Rückführgröße wieder ein.



Der Frequenzgang des PID-Reglers in Produktform lautet:

$$G_R = K_P \cdot \frac{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)}{j\omega}$$

Anlage 3

Zu Aufgabe 12b):

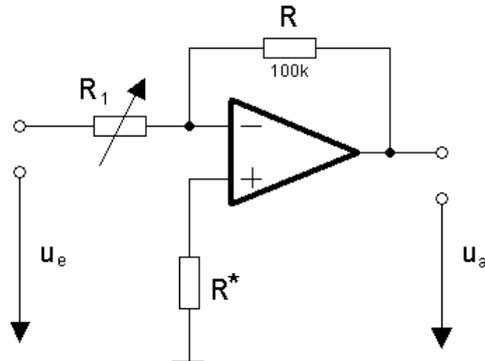


Abb. 6: Schaltbild zur Einstellung von K_P

$R_{1,max} = 100k\Omega$ (entspricht Potistellung 10)

$$K_P = -R / R_1$$

⇒ mögliche Werte für K_P : $K_P > 1$

Zu Aufgabe 15b):

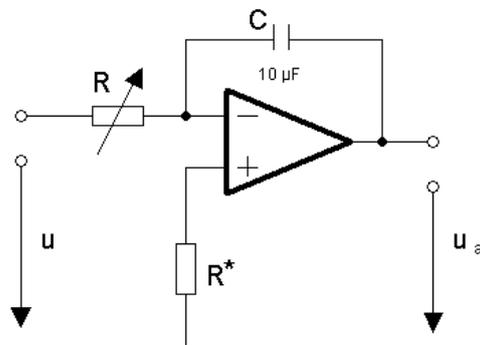


Abb. 7: Schaltbild zur Einstellung von K_i bzw. T_n

$R_{max} = 100k\Omega$ (entspricht Potistellung 10)

$$T_n = R \cdot C; \quad K_i = 1 / T_n$$

⇒ mögliche Werte für T_n : $T_n < 1 \text{ sec.}$