

# Versuch 1

## Regelkreissimulation mit WINFACT

Das Arbeitsziel ist das Kennenlernen eines typischen Software-Werkzeuges zur Parametrierung linearer Regler.

### 1. Simulationsumgebung

Das Programmpaket WINFACT (**W**indows **F**uzzy **A**nd **C**ontrol **T**ools) enthält Programme für die Simulation technischer Systeme, darunter auch für die Analyse und Synthese regelungstechnischer Probleme.

Die Ermittlung der Reglerkennwerte als eine typische regelungstechnische Aufgabe setzt voraus, dass ein mathematisches Modell der Regelstrecke bekannt ist, und Anforderungen an das Verhalten des geschlossenen Regelkreises formuliert werden können.

Der Entwurf einschleifiger, linearer Regelkreise nach den Einstellregeln von *Chien*, *Hrones* und *Reswick* beruht auf der Auswertung der gemessenen Übergangsfunktion der Regelstrecke nach dem Wendetangenten-Verfahren.

Die Ermittlung der Kenngrößen im Programm BORIS (**B**lock**OR**ientierte **S**imulation) kann manuell oder automatisch erfolgen. Dazu muss zuerst die Sprungantwort der Strecke einem Zeitverlauf-Block zugeführt werden. Im PID-Entwurf werden die Näherungswerte  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_S$  automatisch ermittelt. Die manuelle Methode nutzt den Messmodus im Block *Zeitverlauf*.

Die Anforderungen an das Verhalten des linearen Regelkreises werden durch qualitative Eigenschaften der Übergangsfunktion des geschlossenen Kreises bei Führung und Störung mit oder ohne Überspringen berücksichtigt. Die berechneten Reglerkennwerte werden übernommen.

Der interaktive grafische Struktureditor gestattet die blockweise Eingabe der Teilsysteme und Verbindungen des zu untersuchenden Systems in Form eines Blockschaltbildes.

## 2. Versuchsvorbereitung

☞ Das Kolloquium zur Versuchsvorbereitung erfolgt mündlich in der Gruppe, ohne Unterlagen. Die Rechnungen werden nicht abgefragt.

1. Wie ermittelt man die Stabilität, Schwingungsfähigkeit und Sprungfähigkeit aus der Übertragungsfunktion?
2. Ermitteln Sie die Kennwerte der beiden Regelstrecken, und tragen sie diese ein!

	Verstärkung	Dämpfung	Eigenkreisfrequenz
$G_{S1}(s) = \frac{0,5}{s^2 + 2s + 0,25}$			
$G_{S2}(s) = \frac{4}{s^2 + 0,8s + 4}$			

3. Untersuchen Sie die Regelstrecken hinsichtlich ihrer Stabilität, Schwingungsfähigkeit und Sprungfähigkeit.

	Stabilität	Schwingungsfähigkeit	Sprungfähigkeit
$G_{S1}(s) = \frac{0,5}{s^2 + 2s + 0,25}$			
$G_{S2}(s) = \frac{4}{s^2 + 0,8s + 4}$			

4. Zeichnen sie den prinzipiellen Verlauf der Übergangsfunktionen der Strecken.
5. Lassen sich auch die Zeitkonstanten dieser Strecken bestimmen?

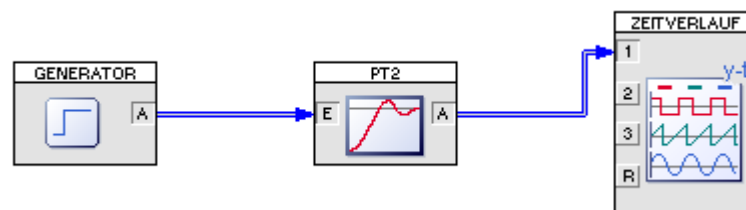
## 3. Versuchsdurchführung

### 3.1. Reglerentwurf nach Faustformeln

Für die Regelstrecke  $G_{S1}(s)$  sind die Kennwerte eines PI-Reglers nach den Einstellregeln von *CHR* so zu ermitteln, dass der geschlossene Regelkreis gutes Führungsverhalten ohne Überschwingen zeigt.

#### 3.1.1. Ermittlung der Kennwerte der Regelstrecke

- Starten Sie, falls noch nicht geschehen, das Programm BORIS  
(Startmenü → Alle Programme → WinFACT 8 → Blockorientierte Simulation BORIS)!
- Legen Sie eine neue Datei an (Menü *Datei* → *Neu*)!
- Wählen Sie im Menü *Systemblöcke* nacheinander folgende Blöcke aus:
  - Quellen* ..... Generator
  - Funktionsblöcke*..... Verknüpfen
  - Dynamische Blöcke* ..... PID-Regler und P-T2-Glied-schwingungsfähig
  - Senken*..... Zeitverlauf
- Öffnen Sie den Dialog *Simulationsparameter* (Menü *Simulation* → *Parameter* ⚙) und stellen Sie eine *Simulationsdauer* von 50 s und eine *Schrittweite* von 0,05s ein!
- Öffnen Sie durch Doppelklick auf den P-T2-Block dessen Parameterdialog und geben Sie die im Rahmen Ihrer Versuchsvorbereitung ermittelten Werte ein!
- Verbinden Sie die *Generator*, *P-T2-Glied-schwingungsfähig* und *Zeitverlauf* wie folgt:





**Hinweis:** Zum Verbinden zweier Blockanschlüsse klicken Sie mit der linken Maustaste zuerst auf den Ausgang eines Blockes. Ziehen Sie danach den Mauszeiger zum Eingang des Zielblockes, das Mauszeigersymbol nimmt dabei das Bild eines stilisierten LötKolbens an. Ist der Zeiger richtig über einem Eingangsanschluss positioniert, wird der stilisierte „LötKolben“ schwarz ausgefüllt. Betätigen Sie an dieser Stelle erneut die linke Maustaste und die Verbindung wird automatisch gezogen.

- Um das Diagrammfenster *Zeitverlauf* anzuzeigen, wählen Sie bitte aus dem Menü *Ansicht* den Befehl *Alle Anzeigefenster anzeigen*!
- Starten Sie die Simulation (▶)! Im Fenster *Zeitverlauf* wird die Übergangsfunktion der Regelstrecke angezeigt.
- Maximieren Sie das Fenster *Zeitverlauf*! Wählen Sie im Menü *Messung* nacheinander die Befehle *Aktivieren* und *Tangente einzeichnen*! Legen Sie Wendetangente durch Verschieben der senkrechten Linien an den Wendepunkt der Übergangsfunktion und ermitteln Sie damit die Näherungsparameter  $K_S$ ,  $T_u$  und  $T_g$ !

### 3.1.2. Automatischer Reglerentwurf

- Wählen Sie aus dem Menü *PID* den Dialog *PID-Entwurf*! Klicken Sie im Register *Streckenparameter* auf den Button *Automatisch bestimmen* und vergleichen Sie die Ergebnisse mit den zuvor grafisch ermittelten Werten!
- Wählen Sie im Register *Optimierungskriterien und Reglertyp* den **PI-Regler** für ***gutes Führungsverhalten*** und ***mit Überspringen*** aus!
- Wechseln Sie zum Register *Reglerparameter*, betätigen Sie den Button *Reglerparameter berechnen* und danach den Button *Parameter übernehmen*! Die soeben automatisch bestimmten Reglerparameter wurden damit vom PID-Regler-Block übernommen!
- Verkleinern Sie das Fenster *Zeitverlauf*! Trennen Sie die bisherigen Verbindungen (siehe nachfolgender Hinweis) und ziehen Sie neue, so dass ein einschleifiger Regelkreis entsteht, achten Sie dabei auf das Vorzeichen am Verknüpfen!

**Hinweise:** Zum Entfernen einer Verbindung klicken Sie mit der rechten Maustaste auf einen Anschluss und wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl *Verbindung löschen*. Um einen Block zu drehen oder zu löschen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Block und wählen den entsprechenden Befehl aus dem Kontextmenü. Die Rechenoperation eines Verknüpfers sowie die Vorzeichen der Eingänge lassen sich im Parameterdialog (Doppelklick auf den Block) ändern (Vorzeichenänderung durch Doppelklick auf das entsprechende Vorzeichen).

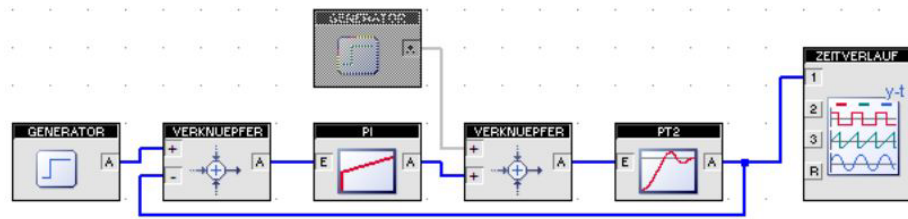
- Starten Sie die Simulation ()! Die Übergangsfunktion des Regelkreises wird angezeigt.
- Frieren Sie im Fenster *Zeitverlauf* die aktuelle Kurve ein (Button )!
- Wiederholen Sie den Entwurf mit *PI-Regler* für *gutes Führungsverhalten*, aber *ohne Überspringen*!
- Analysieren und vergleichen Sie die Ergebnisse!

## 3.2. Regelkreissimulation

Die Regelstrecke mit der Übertragungsfunktion  $G_{S2}(s)$  soll mit einem PI-Regler mit den Kennwerten  $K_r = 0,5$  und  $T_n = 3$  geregelt werden. Das Verhalten des geschlossenen Regelkreises ist zu simulieren.

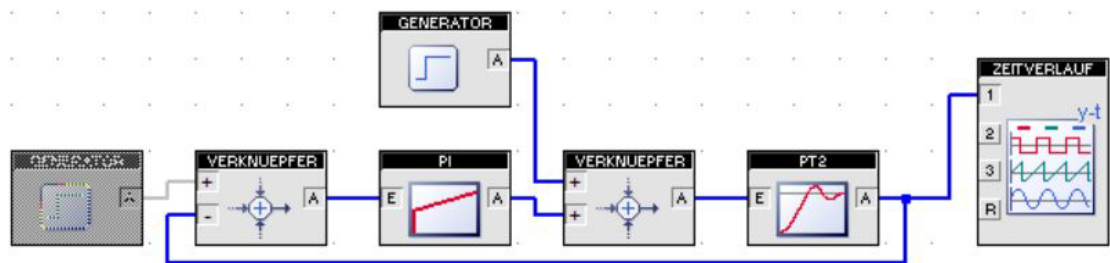
### 3.2.1. Führungsverhalten des Regelkreises

- Löschen Sie die Blöcke *P-T2*, *ANALYZER* und *Güteindex*! Fügen Sie einen passenden Block für die Regelstrecke  $G_{S2}(s)$  ein und stellen Sie dessen Parameter ein, die Werte Dämpfungsgrad  $D$ , Kennkreisfrequenz  $\omega$  und Übertragungsbeiwert  $K_S$  des P-T<sub>2</sub>-Schwingungsgliedes entnehmen Sie Ihrer Vorbereitung!
- Fügen Sie einen weiteren *Generator*-Block als Störquelle und einen *Verknüpfen* zur Einkopplung des Störsignals ein! Schalten Sie die Störquelle mit der rechten Maustaste zunächst passiv!
- Stellen Sie die Parameter des Reglerblockes ein!
- Verbinden Sie die Blöcke so wie in folgendem Wirkungsplan angegeben!



- Starten Sie die Simulation!
- Frieren Sie die aktuelle Kurve im Fenster *Zeitverlauf* ein!
- Wiederholen Sie die Simulation mit den Reglerparametern  $K_r = 1$  und  $T_n = 3$ ! Vergleichen Sie die Ergebnisse!
- Bestimmen Sie die Eigenfrequenz der beiden Einschwingprozesse!

### 3.2.2. Störverhalten des Regelkreises



- Schalten Sie den Generator für die Führungsgröße passiv, den für die Störgröße aktiv!
- Starten Sie die Simulation!
- Stellen Sie am Regler die ursprünglichen Werte  $K_r = 0,5$  und  $T_n = 3$  ein! Starten Sie die Simulation erneut und vergleichen Sie!
- Schalten Sie im Regler eine *Vorhaltzeit*  $T_v$  von  $1s$  ein! Wiederholen Sie die Simulation!
- Ändern Sie die *Kennkreisfrequenz*  $\omega$  der Regelstrecke auf  $0,5s^{-1}$ ! Wiederholen Sie die Simulation und werten Sie die Veränderung aus!
- Ändern Sie die *Dämpfung*  $D$  der Regelstrecke auf  $0,7$ ! Wiederholen Sie die Simulation und werten Sie die Veränderung aus!
- Notieren Sie sich die wesentlichen Effekte!

## 4. Zusatzaufgabe: Automatische Parameteroptimierung

Während beim empirischen Faustformelverfahren die Anforderungen an den geschlossenen Regelkreis durch die jeweilige Auswahl - Führung/Störung bzw. mit/ohne Überschwingen - berücksichtigt werden, erfolgt die Parameteroptimierung auf Basis der Güteintegrale (Standardkriterien) oder eines speziellen Gütekriteriums.

*Lineare Regelfläche*       $J = \int e(t) dt$       *IE*

*Betragslineare Regelfläche*       $J = \int |e(t)| dt$       *IAE*      bzw.       $J = \int |e(t)| t dt$       *ITAE*

*Quadratische Regelfläche*       $J = \int e^2(t) dt$       *ISE*      bzw.       $J = \int e^2(t) t dt$       *ITSE*

In speziellen Gütekriterien wird das Verhalten der Übergangsfunktion des geschlossenen Regelkreises bei Führung oder bei Störung nach dem Toleranzband, der bleibenden Regeldifferenz  $e_\infty$ , der Überschwingweite  $x_m$ , der Ausregelzeit  $T_a$  (Einschwingzeit  $T_{ein}$ ) und der maximal erforderlichen Stellgröße  $y_{max}$  bewertet. Die Parameter sind optimal, wenn das jeweilige Kriterium minimal ist.

Die numerische Optimierung von Systemparametern erfolgt bei BORIS mit Hilfe von Evolutionsstrategien, die in der Lage sind, das gesuchte globale Optimum auch bei unstetigen Gütekriterien mit hoher Zuverlässigkeit zu finden. Dazu dient ein Güteindex-Block, der wie ein gewöhnlicher Systemblock eingefügt wird. Das Eingangssignal am Güteindex-Block ist der jeweilige Wert des Gütekriteriums.

Optimieren Sie die Reglerkennwerte für eine Regelgenauigkeit (Toleranzband) von 5% .

1. Fügen Sie aus dem Menü *Systemblöcke* → *Sonstige* den Block *Sprungantwortanalyse* in Ihr Blockschaltbild ein und verbinden Sie die Blockeingänge ( $x$ =Regelgröße;  $w$ =Sollwert;  $y$ =Stellgröße) mit den entsprechenden Ausgängen im Regelkreis! Stellen Sie die Block-Parameter ein! Fügen Sie aus dem Menü *Optimierung* einen *Güteindex-Block* hinzu
2. Starten Sie die Simulation und fragen Sie am Block *ANALYZER* die Ausgabewerte ab, indem Sie die Maus auf den jeweiligen Ausgang bewegen! Notieren Sie die interessierenden Werte *Überschwingweite* und *Ausregelzeit* (*Einschwingzeit*).
3. Aktivieren Sie im Parameterdialog des Reglers die Option *Exportieren*.
4. Verbinden Sie den *Güteindex-Block* mit dem untersten Ausgang (*I*) des Blocks *ANALYZER*.
5. Wählen Sie im Parameterdialog des Blocks *ANALYZER* ein Gütekriterium.
6. Öffnen Sie im Menü *Optimierung* den Dialog *Optimierungsparameter*! Deaktivieren Sie den Parameter Vorhaltzeit *TV* (Spalte *Aktiv* → *Wert auf 0 setzen*).
7. Starten Sie im Menü *Optimierung* die Optimierung und beobachten Sie die Veränderungen in der Übergangsfunktion des geschlossenen Regelkreises.
8. Bewerten Sie die Güte der Regelung anhand der Ausregelzeit, des Überschwingens und der bleibende Regelabweichung.