Lernziel:

Dimensionierung eines PID-Reglers nach Kessler und mit Hilfe des Bode-Diagramms. Umgang mit Matlab-Simulink. Führungs- und Störverhalten von Regelkreisen. Anwendung von m-Files. Aufbau und Funktion eines zeitdiskreten PID-Reglers.

1. Allgemeines

Siehe unter Kapitel 1. in der Anleitung zu Versuch 2.

2. Simulation einer PID-Regelung

Geregelt werden soll eine Strecke bestehend aus 3 PT1-Gliedern.

Für die Berechnung des PID-Reglers gilt folgende Übertragungsfunktion:

$$F_{(p)} = K_R \cdot \frac{(1 + pT_{R1}) \cdot (1 + pT_{R2})}{p}$$

Durch ausmultiplizieren ergibt sich (s. Vorlesung RT I):

$$F_{(p)} = K_R \cdot (T_{R1} + T_{R2}) \cdot \left[1 + \frac{1}{(T_{R1} + T_{R2})} \cdot \frac{1}{p} + \frac{T_{R1} T_{R2}}{(T_{R1} + T_{R2})} \cdot p \right]$$

Entstanden aus:

$$F_{(p)} = K_p + K_I \cdot \frac{1}{p} + K_D \cdot p = K_P \cdot (1 + \frac{1}{T_N} \cdot \frac{1}{p} + T_V \cdot p)$$

Durch Koeffizientenvergleich erhält man

$$K_P = K_R \cdot (T_{R1} + T_{R2}) \qquad T_N = (T_{R1} + T_{R2}) \qquad T_v = \frac{T_{R1} \cdot T_{R2}}{T_{R1} + T_{R2}}$$

Aus dem Bode-Diagramm bestimmt man $\mathbf{K_R}$.
Die restlichen Parameter berechnen sich wie folgt:

$$K_R = K_I = \frac{K_p}{T_N} \qquad K_D = K_p \cdot T_V$$

3. Einsatz eines diskreten PID-Reglers mit quasikontinuierlichem Reglerentwurf (siehe Vorlesung Zeitdiskrete Regelungssysteme Prof. Dr. Nuß)

Bisher wurden zum Simulieren Blöcke der continous-Form, also quasi kontinuierliche Übertragungsglieder verwendet. Für digitale Regler, die z. B. mit Mikrocontrollern realisiert werden, werden im Programm die Regelalgorithmen in zeitdiskreter Form eingegeben.
Beim quasikontinuierlichen Reglerentwurf werden die Reglerparameter bei vorgegebener Reglerstruktur vollständig unter der Annahme der zeitkontinuierlichen Reglerrealisierung entworfen. Das daraus hervorgehende zeitkontinuierliche Regelgesetz wird anschließend diskretisiert, d.h. in Form von Differenzengleichungen dargestellt. Damit der so entworfene geschlossene zeitdiskrete Regelkreis stabil und mit dem gewünschten dynamischen Verhalten arbeitet, muss die Abtastzeit $\boldsymbol{T}$ gegenüber den maßgeblichen Streckenzeitkonstanten hinreichend klein sein.

Idealer diskreter PID-Regler

Annahme: Für die Regelstrecke wurde bereits ein zeitkontinuierlicher Regler entworfen.

Aufgabe: Das zeitkontinuierliche Regelgesetz muss in einen zeitdiskreten Algorithmus umgesetzt werden.

<u>Zeitkontinuierliches Regelgesetz</u>:

$$Y(s) \;=\; \left(K_P + \frac{K_I}{s} + K_D\, s\right) \cdot X_d(s) \qquad (3.1)$$

$$y(t) \;=\; K_P \cdot x_d(t) + K_I \cdot \int_0^t x_d(t')\, dt' + K_D \cdot \dot{x}_d(t) \qquad (3.2)$$

Einführung der Integriererausgangsgröße $y_I(t)$:

$$y_I(t) \;=\; K_I \cdot \int_0^t x_d(t')\, dt' \;=\; y_I(t_0) + K_I \cdot \int_{t_0}^t x_d(t')\, dt' \qquad (3.3)$$

mit

$$y_I(t_0) \;=\; K_I \cdot \int_0^{t_0} x_d(t')\, dt'$$

$$\rightarrow y(t) \;=\; K_P \cdot x_d(t) + y_I(t) + K_D \cdot \dot{x}_d(t) \qquad (3.4)$$

<u>Zeitdiskretes Regelgesetz</u>:

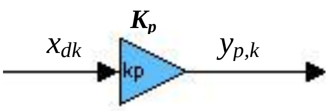
$$t = kT \;\overset{(4.4)}{\rightarrow}\; y_k \;=\; K_P \cdot x_{d\,k} + y_{I,k} + K_D \cdot \frac{x_{d\,k} - x_{d\,k-1}}{T}$$

mit $$y_{I,k} \;=\; y_{I,k-1} + K_I \cdot T \cdot x_{d\,k-1} \qquad (4.6)$$

Realisierung:

P-Regler: der einfachste Fall, wie bei der kontinuierlichen Form auch:

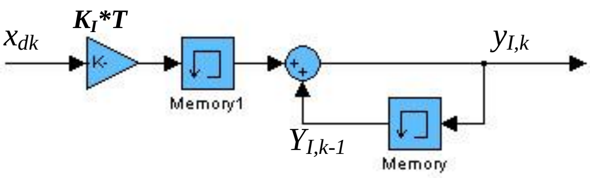
$$y_{p_k} = K_P \cdot x_{dk}$$



I- Regler:

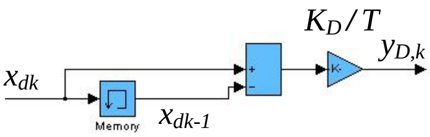
$$y_{Ik} = x_{dk-1} \cdot K_I \cdot T + y_{Ik-1}$$

T ist die Abtastzeit



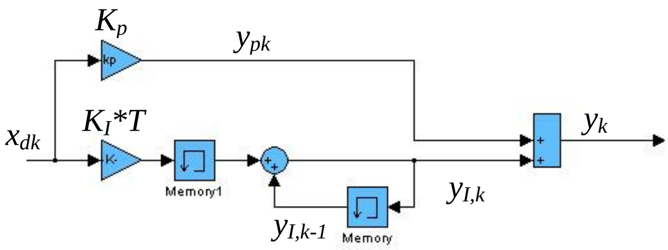
D- Regler:

$$y_{Dk} = \left(x_{dk} - x_{dk-1}\right) \cdot \frac{K_D}{T}$$



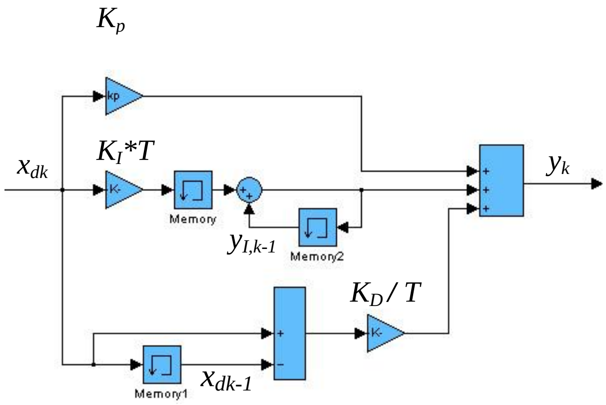
PI-Regler

$$y_k = K_p \cdot x_{dk} + K_I \cdot T \cdot x_{dk-1} + y_{I,k-1}$$



PID-Regler Version1

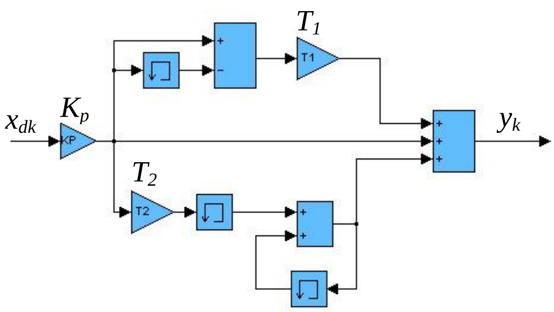
$$y_k = K_p \cdot x_{dk} + K_I \cdot T \cdot x_{dk-1} + y_{I,k-1}$$
$$+ (x_{dk} - x_{dk-1}) \cdot \frac{K_D}{T}$$



PID-Regler Version (K_P wie in der Norm vorgeklammert)

$$T_1 = \frac{T_V}{T}$$

$$T_2 = \frac{T}{T_N}$$



4. Versuchsdurchführung

4.1 PID-Regler

Vorbereitung Zuhause:

Dimensionieren Sie einen **PID- Regler** mit Hilfe des Bode-Diagramms (siehe Kapitel 2) auf optimales Führungsverhalten (Phasenreserve 60°) für die unten angegebene Strecke. Dimensionieren ebenso Sie einen **PID- Regler** nach dem **Kessler-Verfahren**.
Gegeben ist eine Strecke mit drei Verzögerungsgliedern 1. Ordnung mit den Zeitkonstanten

T_1 = 180 ms T_2 = 100 ms T_3 = 30 ms

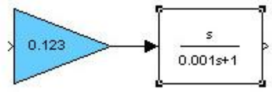
Wenn Sie diese Vorbereitungen zum Labortermin nicht mitbringen, können Sie die Versuche nicht zeitgerecht durchführen. Sie erhalten dann einen Ersatztermin an einem anderen Tag.

Verwenden Sie zur Realisierung im Labor **m-files**, die Sie schon Zuhause mit einem Editor oder in WORD schreiben können.

Im Labor am Versuchstag:

Arbeitsstation User-Name **Versuch3**, kein Password.
Achten Sie darauf, dass Sie im Matlab-Control-Window das zum Versuch passende Arbeitsverzeichnis „D:\Versuch3“ eingestellt haben.

4.1.1 Starten Sie MATLAB SIMULINK und **laden sie die gegebene Strecke** mit dem Namen ***StreckeV3.mdl***. Ergänzen Sie diese mit Ihrem PID-Regler. Die einzelnen Komponenten dazu (Summierer, Integrierer, Gain,) finden Sie im Simulink-Library-Browser unter Math Operations und Continuous. Speichern Sie die Struktur unter neuem Namen.
Als Differenzierer verwenden Sie aus der Datei ***D_real.mdl*** den dortigen Verstärker für K_D und den Block (icon) **D real**. Dieser entspricht einem realen D-Glied. Siehe Bild rechts.



K_D D real

4.1.2 Nehmen Sie nun die Sprungantwort (Übergangsfunktion) der geregelten Strecke nach Kessler und nach Bode in einem passenden Zeitbereich auf und stellen Sie die Einschwingzeit fest. Ermitteln Sie den maximalen Überschwinger in % zur Führungsgröße **w** (**w** =1).

4.1.3 Schalten Sie einen Störgrößensprung zwischen Regler und Strecke. Störgröße **z** =1.
Führungsgröße = 0. Im icon „Step“ kann mit „Step time“ der Beginn der Störung (z. B. 0.05s) passend eingestellt werden. Nehmen Sie die Sprungantwort der Störung auf.

4.2 Diskreter PID-Regler.

Beim Einsatz eines diskreten Reglers muss man den Analogwert x (Regelgröße) auf einen Analog-Digital-Wandler (ADC) aufschalten (in der Simulink Library unter Discrete als „Zero Order Hold“ vorhanden). Der Ausgang des zeitdiskreten Reglers liefert logisch wieder eine Treppenfunktion.
Am Ausgang der drei PT1-Glieder entsteht auf Grund der Glättung wiederum eine analoge Ausgangsgröße. Der diskrete Regler enthält somit Schieberegister (in der Simulink Library unter Discrete als „Memory-Module“ vorhanden), die den zum Abtastzeitpunkt am Eingang anstehenden Wert über einen Abtastschritt $\boldsymbol{T}$ speichern. Der gespeicherte Wert steht somit um einen Abtastschritt verzögert wieder am Ausgang zur Verfügung. Hinweis: Im **z**-Bereich entspricht der Wirkung des Schieberegisters die Multiplikation mit $\mathbf{z}^{-1}$.
Dies bedeutet bekanntlich die Verzögerung um einen Abtastschritt.
Hier **z** nicht mit der Störgröße **z** verwechseln.

4.2.1 Nehmen Sie nun die Sprungantworten wie unter 4.1.1 bis 4.1.3 auf. Verwenden Sie dazu die Dimensionierung der Reglerparameter nach Kessler.

4.2.2 Vergleichen Sie die Sprungantwort des kontinuierlichen mit der des diskreten PID-Reglers. Es ist vorteilhaft, beide Methoden in einem Model zu simulieren und die Ergebnisse gemeinsam zu plotten.

4.2.3 Kurze Diskussion der Ergebnisse.