**Hochschule Reutlingen**
**Fakultät Technik**
**Studiengang Mechatronik Bachelor**

# Praktikum – Regelungstechnik II

## Versuch 1 – Grundlagen

**Name:** Marius Ketterer

Gruppe: ____________________

Mitarbeiter: ____________________

**Endtestat**: ____________________

Datum: ____________________

**Praktikum durchzuführen mit Simulationssoftware WinFact**

## Abtasten zeitkontinuierlicher Signale:

Ein zeitkontinuierliches Sinussignal mit der Funktion $x(t)=\sin(wt)$ und der Kreisfrequenz $\omega$=50 Hz soll mittels eines Abtast-Haltegliedes so abgetastet werden, dass es eindeutig rekonstruiert werden kann.

a) Wie lautet die Bedingung, nach der laut Abtasttheorem ein zeitkontinuierliches Signal durch seine Abtastwerte eindeutig rekonstruiert werden kann?

Die Abtastfrequenz muss mindestens doppelt so groß sein, wie die des abgetasteten Signals

b) Berechnen Sie die Abtastzeit mit der das Sinussignal mindestens abgetastet werden muss um es eindeutig zu beschreiben.

Abtastzeit = 1/(2*w) = 1/100Hz = 0,01s = 10ms

c) Simulieren sie die Abtastung für die Abtastintervalle $T_A$ = 0.12 s ,$T_A$ = 0.09 s , $T_A$= 0.06 s und $T_A$ = 0.02 s.
Drucken Sie für jedes Abtastintervall den Zeitverlauf des Eingangssignals und des abgetasteten Signals (in einem Diagramm) aus.

d) Welcher Effekt lässt sich hierbei beobachten und wodurch wird er hervorgerufen?

Hierbei lässt sich der Alias-Effekt beobachten, dieser Effekt tritt auf wenn die Abtastfrequenz zu gering ist. Durch diesen Effekt kann es dazu kommen dass das Abgetastete Signal so aussieht als hätte es eine andere Frequenz.

e) Simulieren Sie mit WinFact die Abtastung des Sinussignals im Zeitbereich von [0;...1sec], wobei das abgetastete Signal mittels eines Tiefpassfilters 1.Ordnung wieder als zeit- kontinuierliches Signal mit ausgegeben werden soll.

Verwenden Sie ein Tiefpasselement für das gilt: $G(s)=\frac{1}{sT_I+1}$

mit $T_1=0.05s; T_A=0.02s$

f) Welcher Unterschied ist zwischen Eingangs- und Ausgangssignal bezüglich des zeitlichen Verlaufs festzustellen?

Das Abgetastete und gefilterte Signal weißt eine geringere Amplitude auf und ist gegenüber dem ursprünglichen Signal Phasenverschoben.

## Digitale Übertragungsglieder

Modellieren und testen Sie folgende digitalen Übertragungsglieder (Filter) in WinFact.

1. **Tiefpass 1.Ordnung (IIR) -> PT1-Glied** mit $K_p$ =3 und $T_1$=4s
2. **Hochpass 1. Ordnung (IIR) -> DT1-Glied** mit $K_D$=3s und $T_1$=4s

   Vorgehensweise:
   - Aufstellen der Übertragungsfunktionen im s-Bereich inklusive Halteglied
   - Transformation in den z-Bereich über Korrespondenztabelle (normierte Darstellung)
   - Darstellung als Strukturplan (Direktstruktur 2)
   - Aufbau eines Simulationsmodells in WinFact
   - Test mit je zwei sinnvollen Testsignalen

3. **PID- Regler (IIR)** mit $K_P$=3 und $T_N$=4s und $T_V$=1s

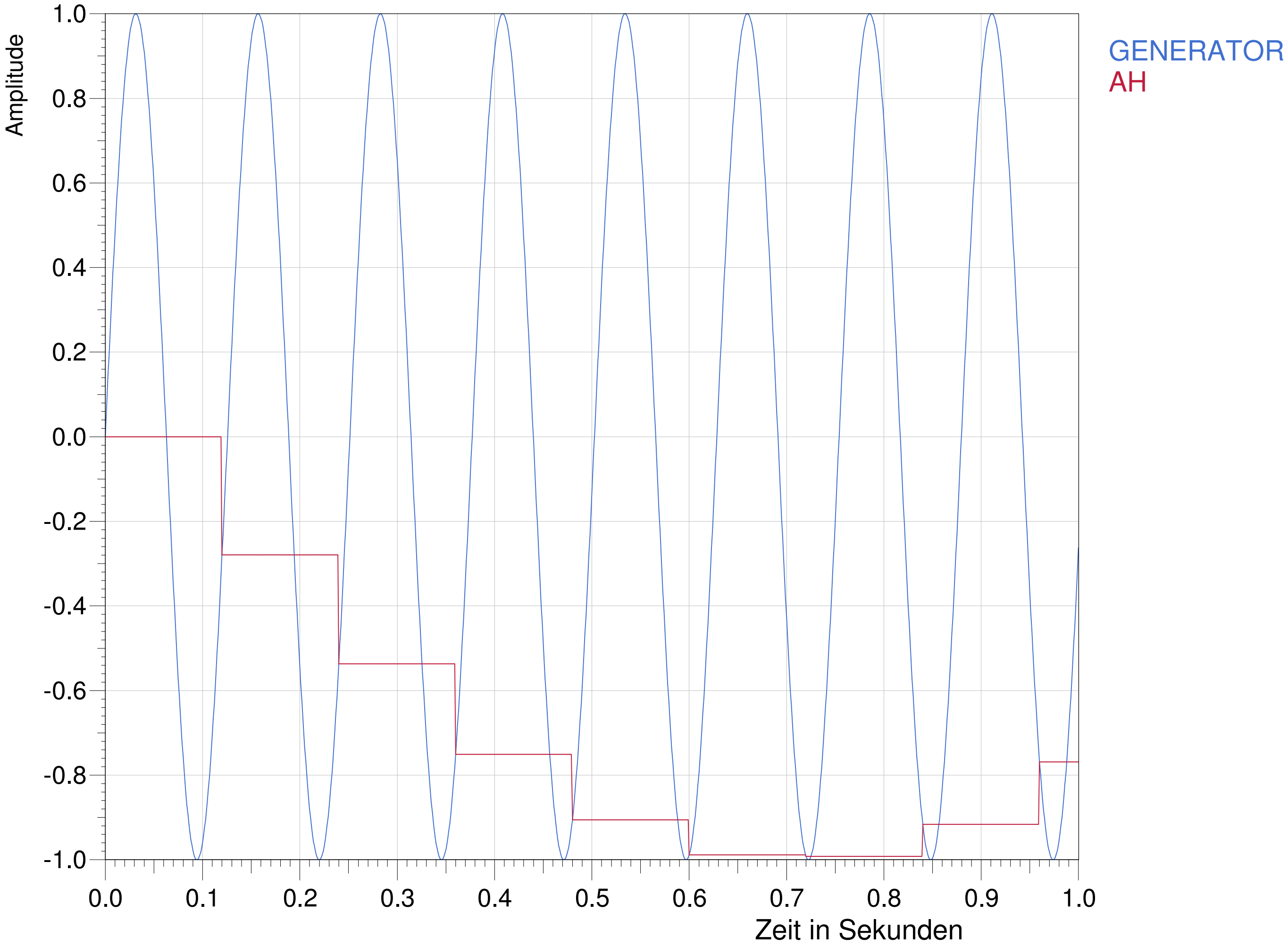
   Vorgehensweise:
   - Aufstellen der Übertragungsfunktion im s-Bereich (additive Darstellung)
   - Transformation in den Z-Bereich über die Rechteckregel Typ II
   - Aufstellen des Bildungsalgorithmus
   - Darstellung als Strukturplan (Direktstruktur 2)
   - Aufbau eines Simulationsmodells in WinFact
   - Test mit je zwei sinnvollen Testsignalen

**4. Gleitender Mittelwertbilder über 4 Werte (FIR)**
   - Aufstellen Bildungsalgorithmus
   - Darstellung als Strukturplan
   - Aufbau eines Simulationsmodells in WinFact
   - Test mit je zwei sinnvollen Testsignalen

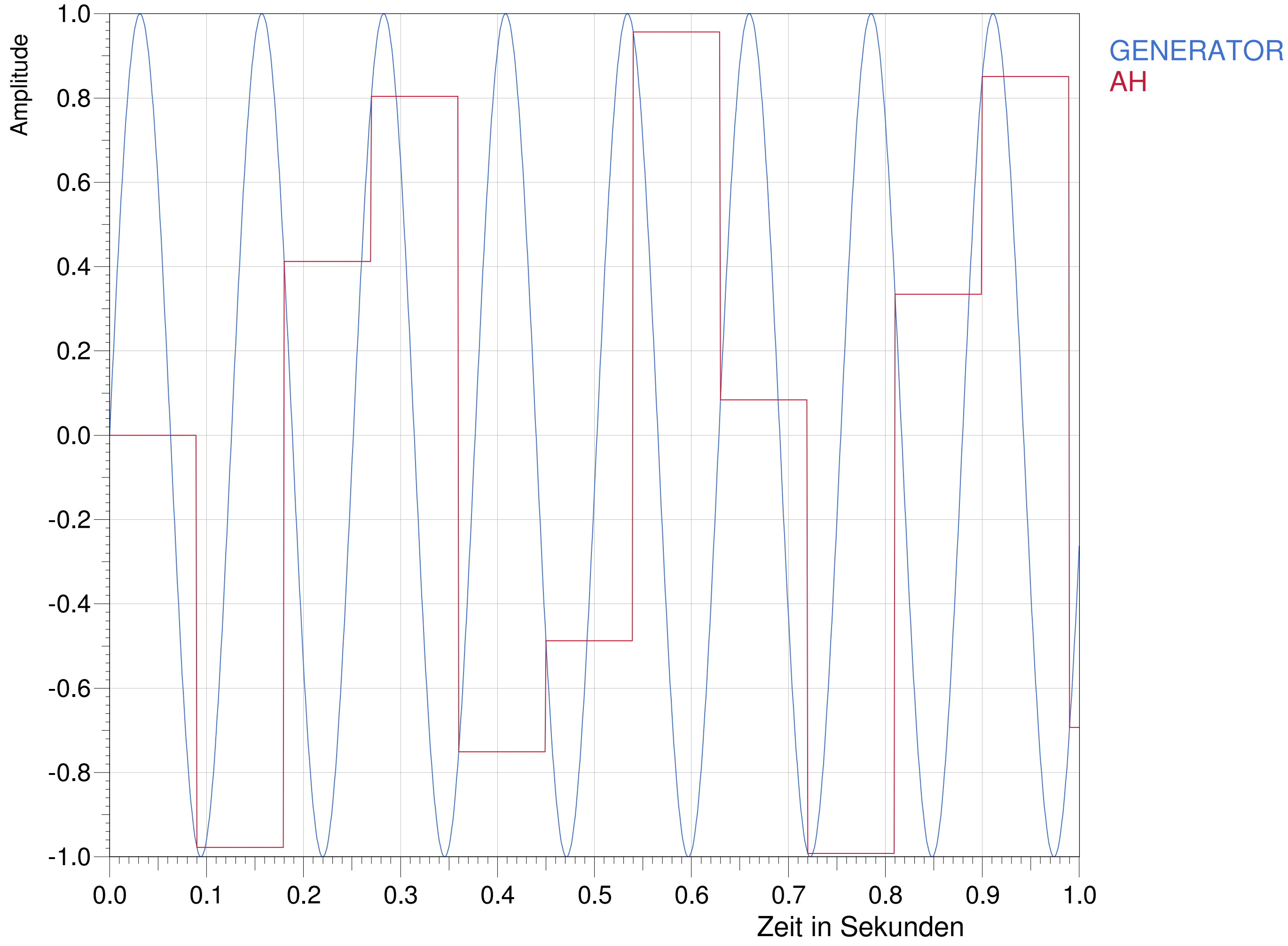
Notieren Sie ihre Berechnungen / Ergebnisse der **Punkte 1-4** jeweils auf einem Zusatzblatt und kommentieren Sie kurz ihre Ergebnisse. Speichern Sie bitte sämtliche Winfact- Programme ab und drucken Sie die Sprungantwort jedes Übertragungsgliedes aus.

## Hinweise:

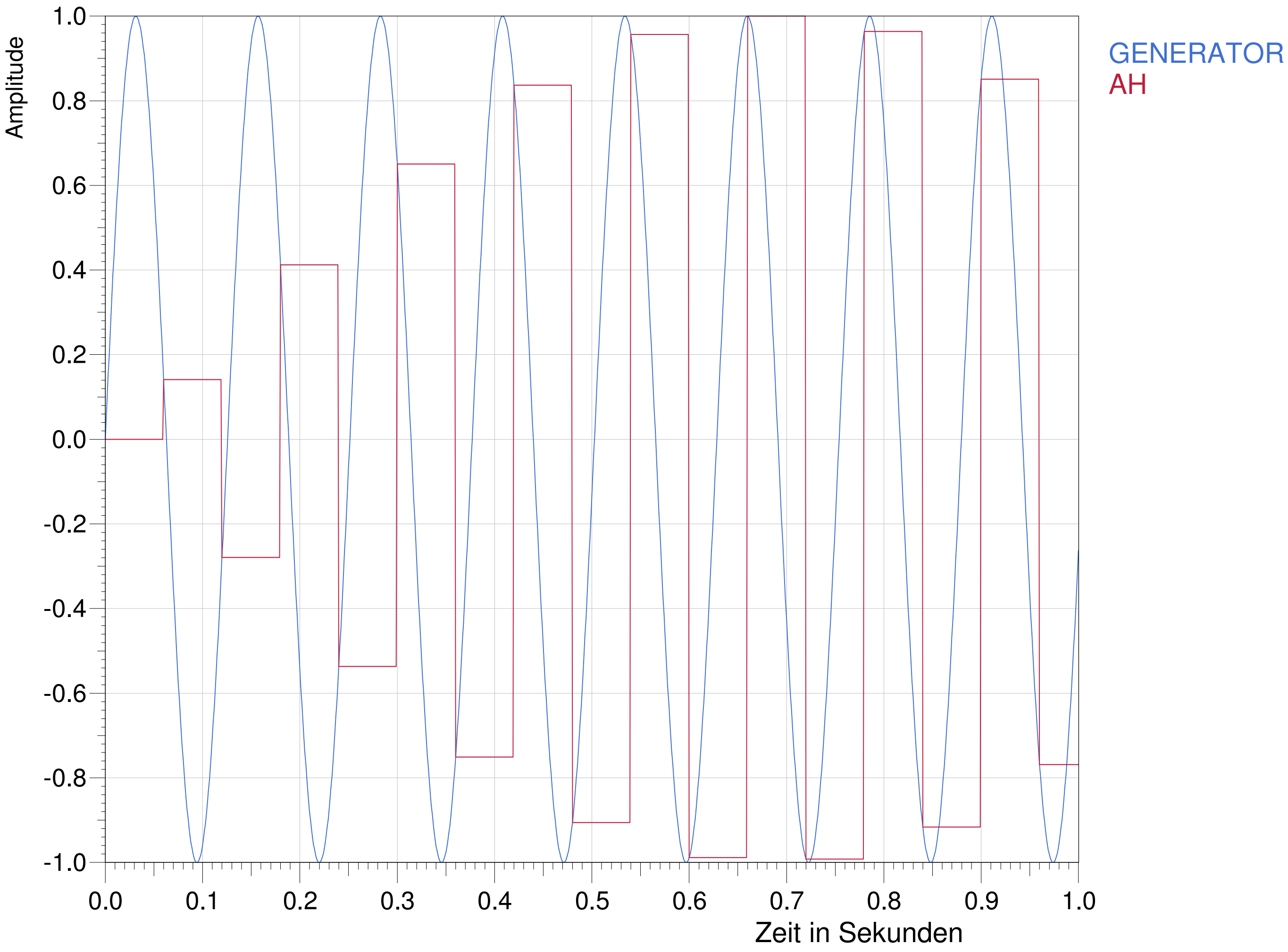
- Verwenden sie zur Modellierung den von ihnen erstellten Strukturplan
- Passen Sie die Simulationsparameter (Simulationsschrittweite, Simulationsdauer) jeweils an.
- Verwenden sie als **Abtastzeit T = 0,5s**.
- Zur Überprüfung ihrer Ergebnisse: Vergleichen sie s- und z-Bereich in der Simulation



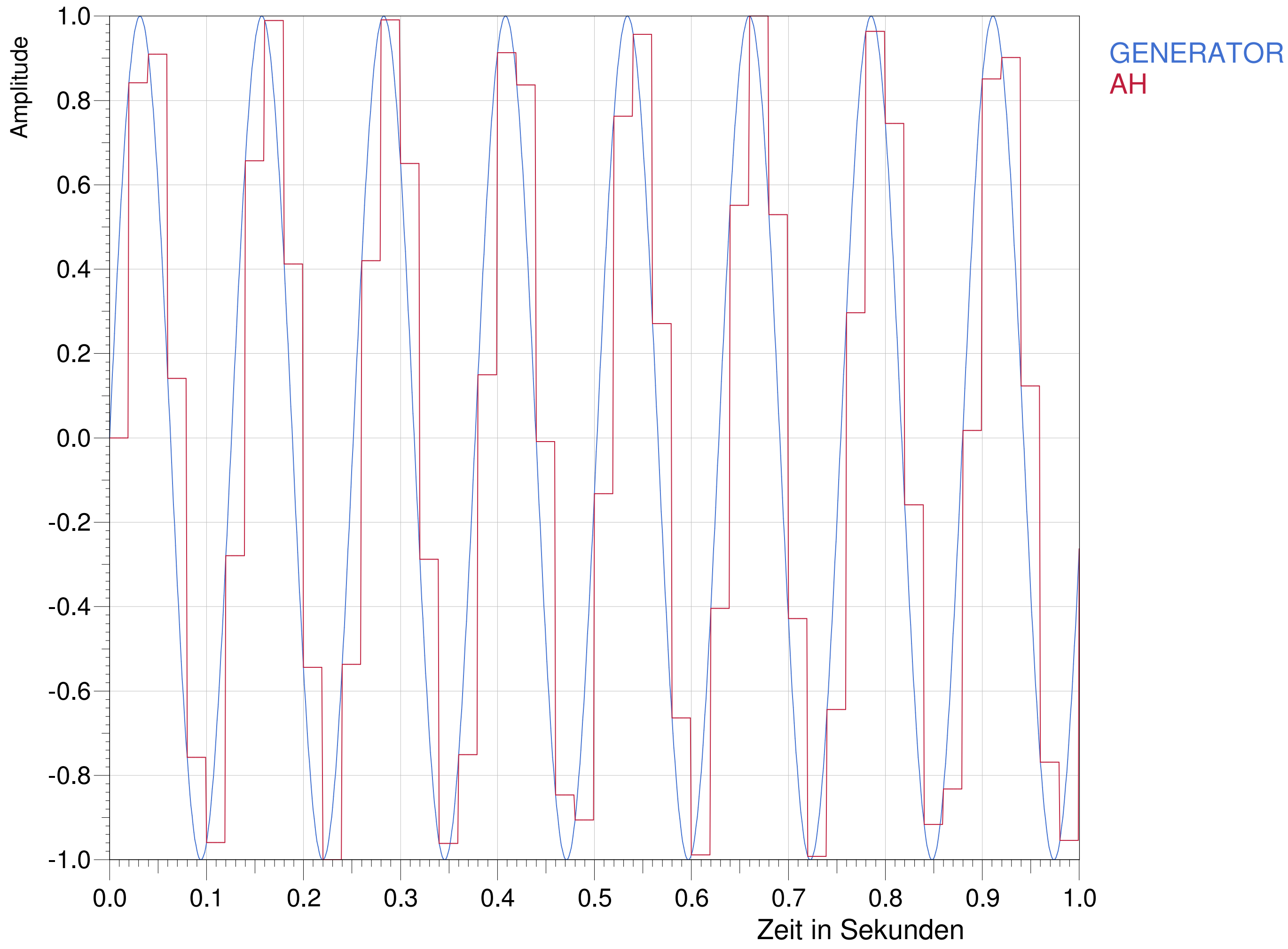
Amplitude
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
Zeit in Sekunden
GENERATOR
AH

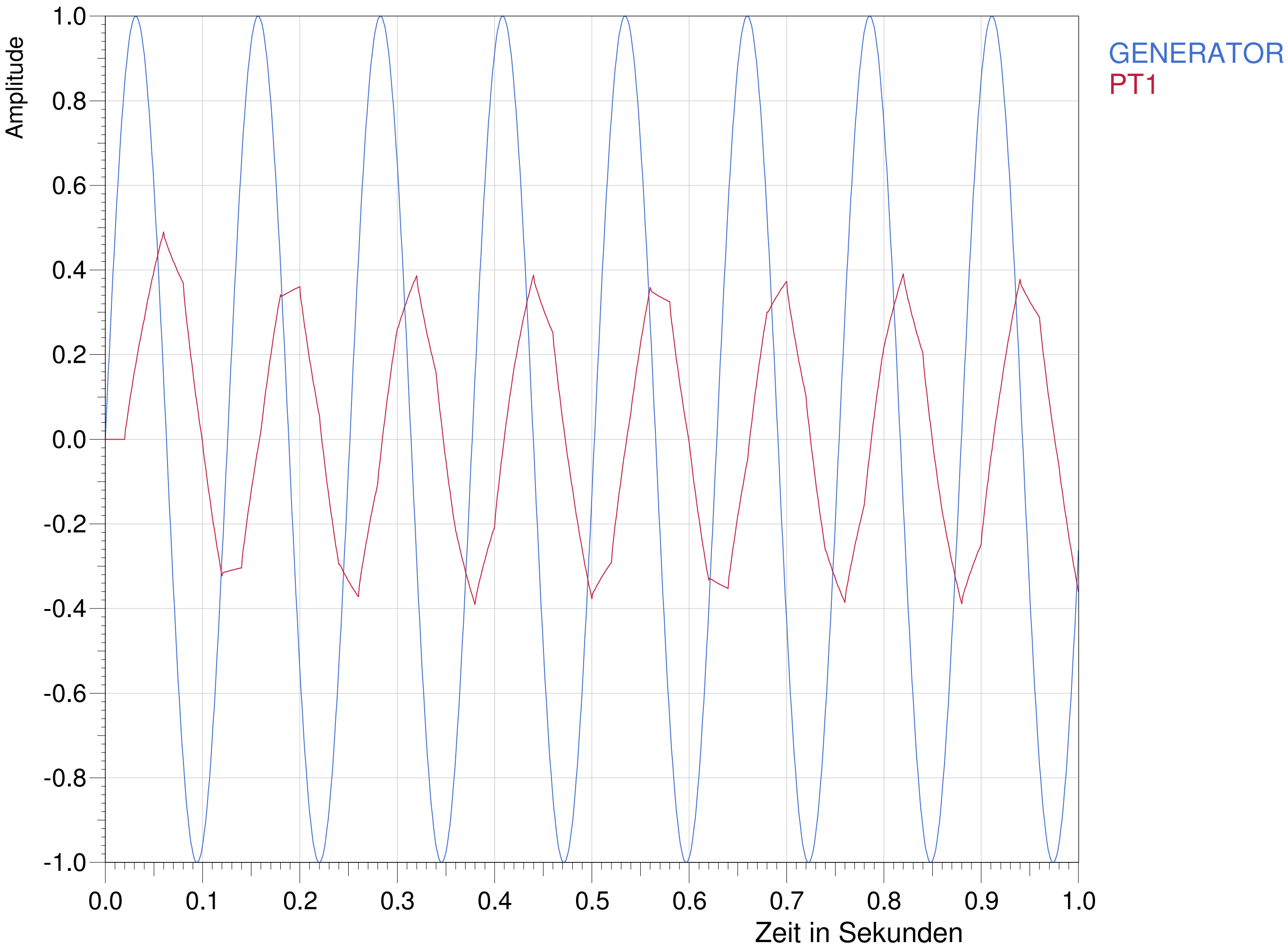


Amplitude
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
Zeit in Sekunden
GENERATOR
AH



GENERATOR
AH
Amplitude
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
Zeit in Sekunden


GENERATOR
AH
Amplitude
Zeit in Sekunden
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0



GENERATOR
PT1
Amplitude
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
Zeit in Sekunden

# Praktikum Regelungstechnik 2 Abgabe Versuch 1 Digitale Übertragungsglieder

Marius Ketterer

20. Juni 2016

# Inhaltsverzeichnis

# Kapitel 1

# Tiefpass 1.Ordnung

## 1.1 Aufstellen der Übertragungsfunktionen im s-Bereich inklusive Halteglied

Aufstellen der Übertagungsfunktionen

$$G_{PT1}(s) = \frac{K}{1+Ts} \tag{1.1}$$

$$H(s) = \frac{1-e^{-T_A s}}{s} \tag{1.2}$$

Aus der Reihenschaltung von $H(s)$ und $G_{PT1}(s)$ ergibt $G(s) = H(s) * G_{PT1}(s)$

## 1.2 Transformation in den z-Bereich über Korrespondenztabelle

Will man diese Übertragungsfunktion nun in den z-Bereich transformieren geht man folgendermaßen vor.

$$G(z) = \mathcal{Z}\{\mathcal{L}^{-1}\{H(s) * G_{PT1}(s)\}\}|_{kT_A} \tag{1.3}$$

Nun wird $H(s)$ eingesetzt:

$$G(z) = \mathcal{Z}\left\{\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{(1-e^{-T_A s}) * G_{PT1}(s)}{s}\right\}\right\}|_{kT_A} = \mathcal{Z}\left\{\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{G_{PT1}(s)}{s}\right\}\right\} - \mathcal{Z}\left\{\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{G_{PT1}(s)}{s} * e^{-T_A s}\right\}\right\}|_{kT_A} \tag{1.4}$$

Eine Multiplikation mit $e^{-T_A s}$ bedeutet eine Rechtsverschiebung um $T_A$ was im im z-Bereich eine Multiplikation mit $z^{-1}$ entspricht.

$$G(z) = \mathcal{Z}\left\{(1-e^{-T_A s}) * \frac{G_{PT1}(s)}{s}\right\} = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{G_{PT1}(s)}{s}\right\} \tag{1.5}$$

Somit lässt sich generell sagen, dass die z-Transformierte Übertragungsfunktion einer Reihenschaltung eines Übertragungsgliedes $G(s)$ und eines Haltegliedes, sich folgendermaßen berechnen lässt.

$$G(z) = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\} \tag{1.6}$$

Setzt man nun auch $G_{PT1}(s)$ ein erhält man folgendes

$$G(z) = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{K}{s(1+Ts)}\right\} = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{K\frac{\frac{1}{T}}{s(\frac{1}{T}+s)}\right\} \tag{1.7}$$

Transformieren mit Hilfe der Korrespondenzentabelle(Nr.8)

$$G(z) = K * \cancel{(1 - z^{-1})} * \frac{(1 - e^{-\frac{T_A}{T}})z^{-1}}{\cancel{(1 - z^{-1})}(1 - e^{-\frac{T_A}{T}} z^{-1})} \tag{1.8}$$

Daraus ergibt sich:

$$G(z) = \frac{K * z^{-1} - K * e^{-\frac{T_A}{T}} z^{-1}}{1 - e^{-\frac{T_A}{T}} z^{-1}} \tag{1.9}$$

Einsetzen der Werte

$$K = 3; T = 4; T_A = 0,5s \tag{1.10}$$

$$G(z) = \frac{3z^{-1} - 3 * e^{-\frac{0,5}{4}} z^{-1}}{1 - e^{-\frac{0,5}{4}} z^{-1}} = \frac{0,352z^{-1}}{1 - 0,882z^{-1}} = \frac{Y}{X} \tag{1.11}$$

$$Y - 0,882z^{-1}Y = 0,352z^{-1}X \tag{1.12}$$

Nach $Y$ aufgelöst ergibt das:

$$\Rightarrow Y = 0,352z^{-1}X + 0,882z^{-1}Y \tag{1.13}$$

## 1.3 Darstellung als Strukturplan

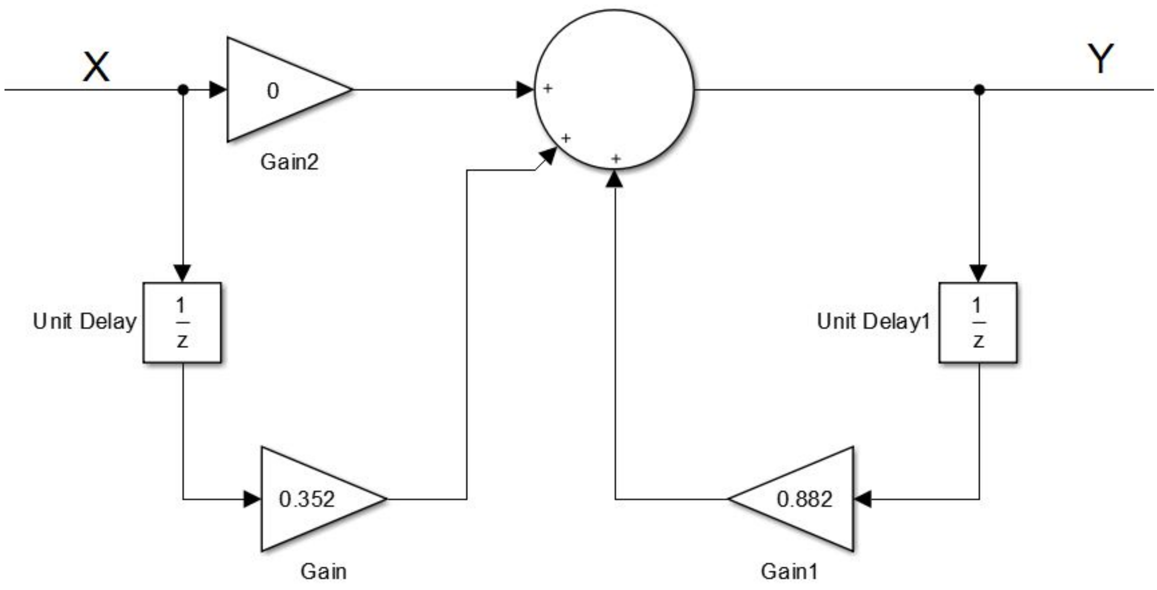



Abbildung 1.1: Struckturplan PT1

## 1.4 Simulationsergebnisse

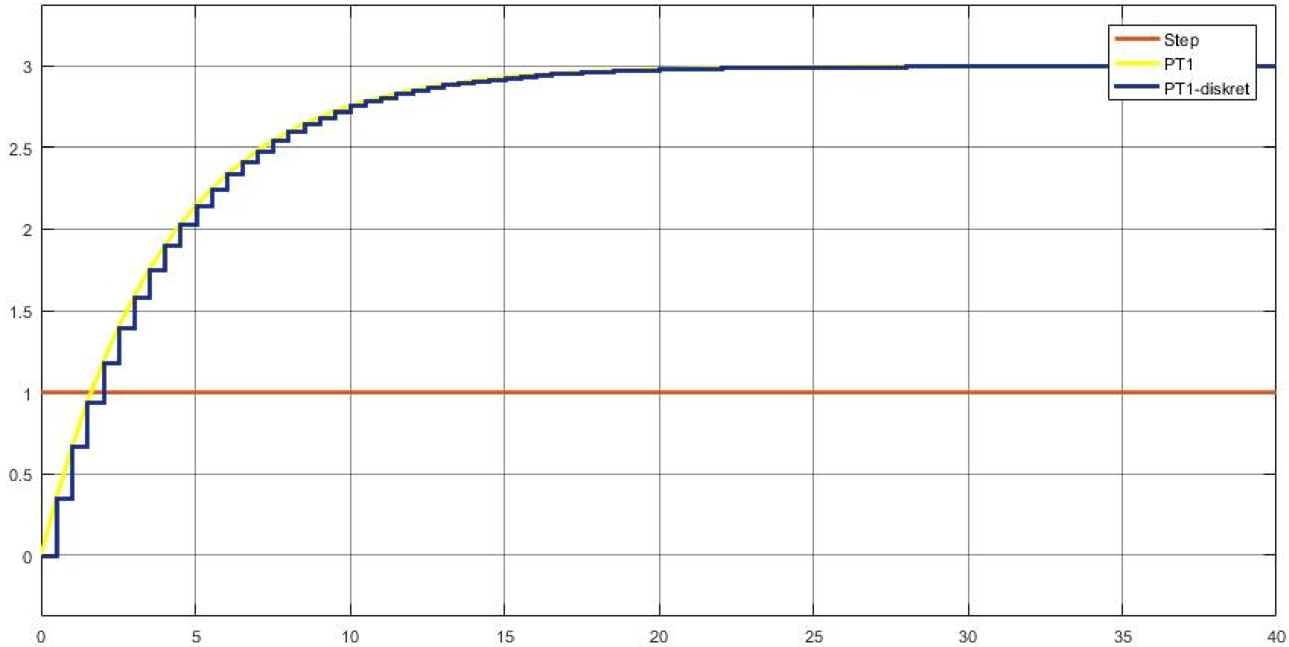



Abbildung 1.2: Sprungantwort des diskreten PT1-Filter

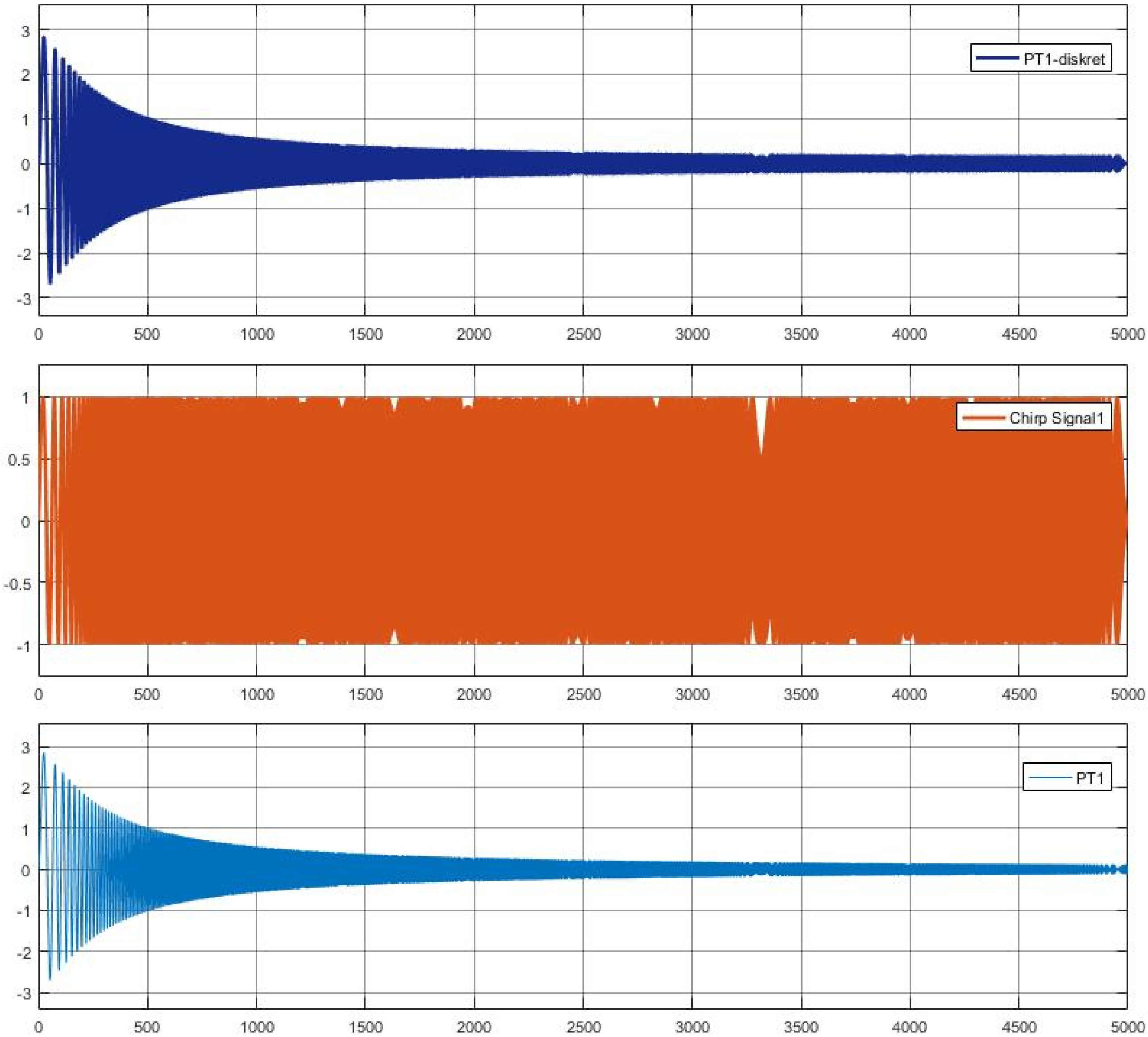



Abbildung 1.3: Chirpsignal auf den diskreten PT1-Filter

# Kapitel 2

# Hochpass 1. Ordnung

## 2.1 Aufstellen der Übertragungsfunktionen im s-Bereich inklusive Halteglied

Aufstellen der Übertagungsfunktionen

$$G_{DT1}(s) = \frac{Ks}{1+Ts} \tag{2.1}$$

Transformieren in den Z-Bereich. Dazu wird die Formel 1.6 angewendet

$$G(z) = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{G_{DT1}(s)}{s}\right\} = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{K\cancel{s}}{\cancel{s}(1+Ts)}\right\} = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{K}{(1+Ts)}\right\} \tag{2.2}$$

$$G(z) = (1-z^{-1}) * \mathcal{Z}\left\{\frac{K}{T}\frac{1}{s+\frac{1}{T}}\right\} \tag{2.3}$$

## 2.2 Transformation in den z-Bereich über Korrespondenztabelle

Transformieren mit Hilfe der Korrespondenzentabelle(Nr.4)

$$G(z) = \frac{K}{T} * (1-z^{-1}) * \frac{1}{1-e^{-\frac{T_A}{T}}z^{-1}} \tag{2.4}$$

Daraus ergibt sich:

$$G(z) = \frac{K - K * z^{-1}}{T - e^{-\frac{T_A}{T}}z^{-1} * T} \tag{2.5}$$

Einsetzen der Werte

$$K = 3; T = 4; T_A = 0,5s \tag{2.6}$$

$$G(z) = \frac{3 - 3 * z^{-1}}{4 - e^{-\frac{0,5}{4}}z^{-1} * 4} = \frac{3 - 3 * z^{-1}}{4 - 3,53z^{-1}} = \frac{Y}{X} \tag{2.7}$$

$$4Y - 3,53z^{-1}Y = 3X - 3z^{-1}X \tag{2.8}$$

Nach $Y$ aufgelöst ergibt das:

$$4Y = 3X - 3z^{-1}X + 3,53z^{-1}Y \tag{2.9}$$

$$\Rightarrow Y = \frac{3}{4}X - \frac{3}{4}z^{-1}X + 0,8825z^{-1}Y \tag{2.10}$$

## 2.3 Darstellung als Strukturplan

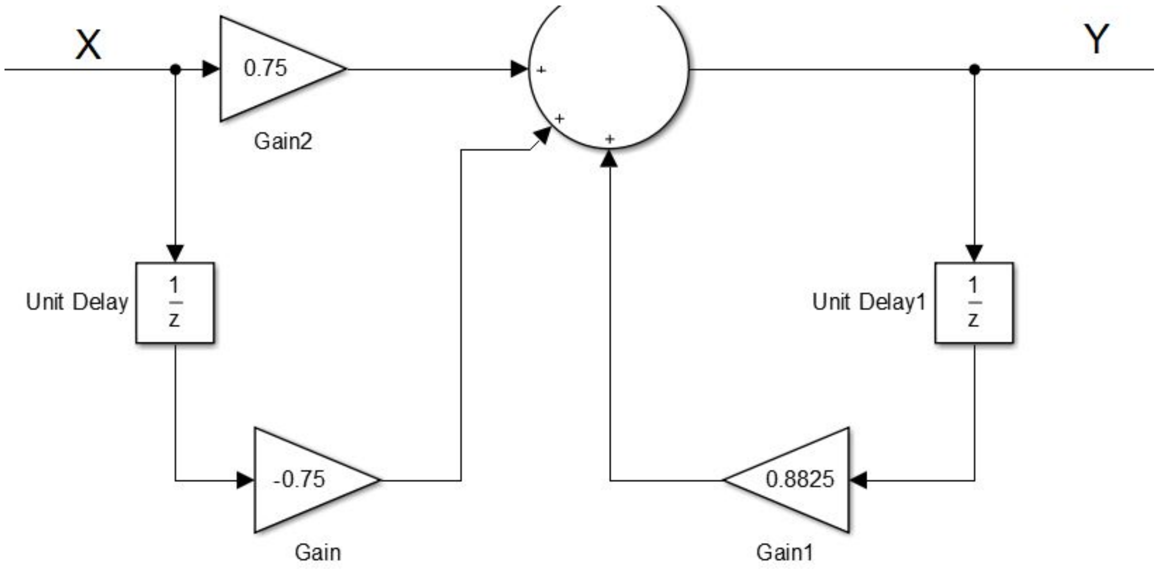



Abbildung 2.1: Struckturplan DT1

## 2.4 Simulationsergebnisse

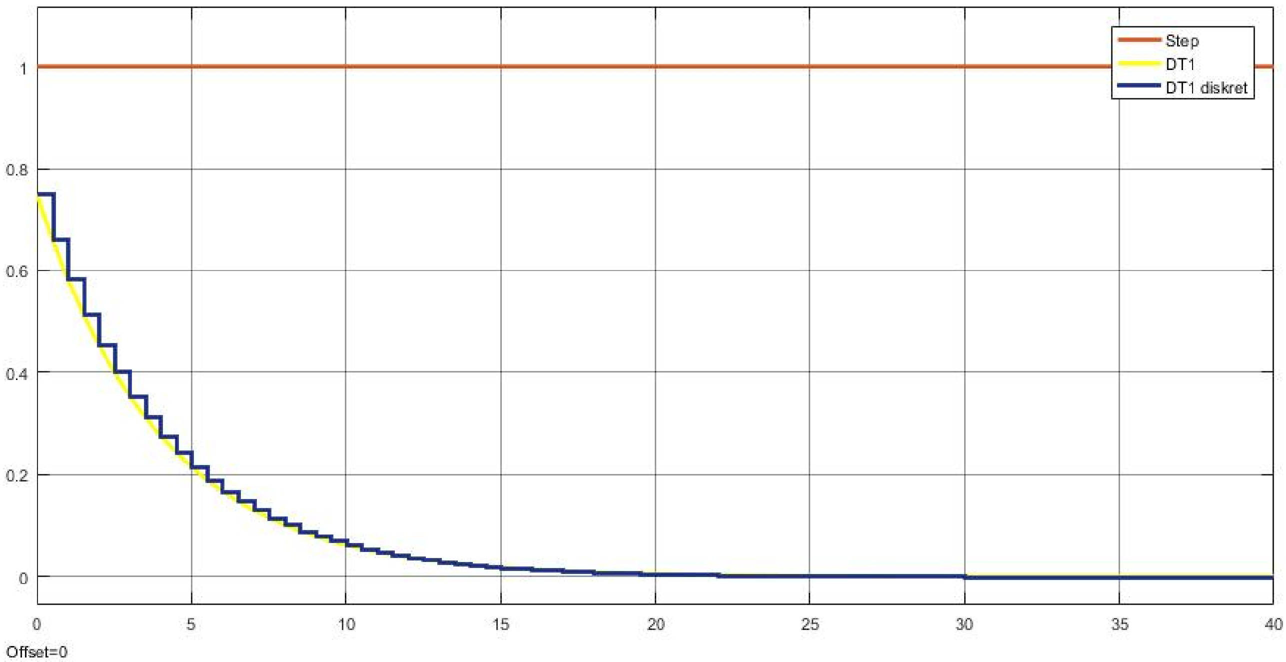



Abbildung 2.2: Sprungantwort des diskreten DT1-Filter

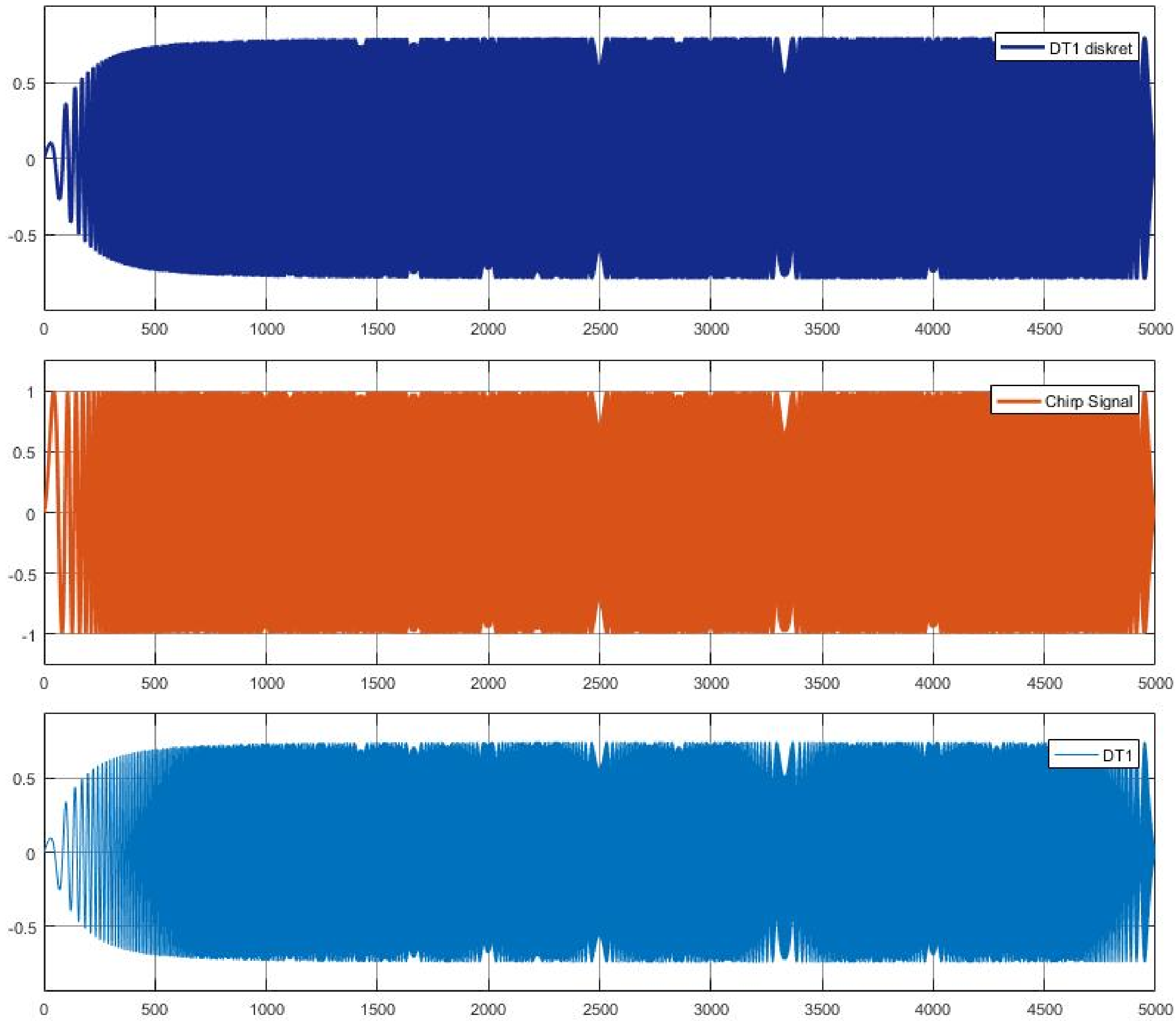



Abbildung 2.3: Chirpsignal auf den diskreten DT1-Filter

# Kapitel 3

# PID-Regler

$$G_{PID}(s) = K_P * \left(1 + \frac{1}{T_N s} + T_V s\right) \tag{3.1}$$

$$y(t) = K_R \left[e(t) + \frac{1}{T_N} \int e(t)dt + t_V \frac{de(t)}{dt}\right] \tag{3.2}$$

$$y_k = K_R \left[e_k + \frac{1}{T_N} \sum_{i=0}^{k-1} e_i T_A + T_V \frac{e_k - e_{k-1}}{T_A}\right] \tag{3.3}$$

Nun wird $y_{k-1}$ berechnet:

$$y_{k-1} = K_R \left[e_{k-1} + \frac{1}{T_N} \sum_{i=0}^{k-2} e_i T_A + T_V \frac{e_{k-1} - e_{k-2}}{T_A}\right] \tag{3.4}$$

Die Differenz aus den beiden ergibt:

$$y_k - y_{k-1} = K_R \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T_A}{T_N} e_{k-1} + \frac{T_V}{T_A}(e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2})\right] \tag{3.5}$$

$$y_k = y_{k-1} + K_R \left[\left(1 + \frac{T_V}{T_A}\right) e_k - \left(1 - \frac{T_A}{T_N} + 2\frac{T_V}{T_A}\right) e_{k-1} + \frac{T_V}{T_A} e_{k-2}\right] \tag{3.6}$$

Daraus ergeben sich folgenende Koeffizienten:

$$a_1 = 1, b_0 = K_R \left(1 + \frac{T_V}{T_A}\right), b_1 = -K_R \left(1 - \frac{T_A}{T_N} + 2\frac{T_V}{T_A}\right), b_2 = K_R \frac{T_V}{T_A} \tag{3.7}$$

Nun hat man die Übertragungsfunktion:

$$G(z) = \frac{b_0 * z^2 + b_1 * z + b_2}{z^2 - a_1 * z} = \frac{b_0 + b_1 * z^{-1} + b_2 * z^{-2}}{1 - a_1 * z^{-1}} = \frac{Y}{X} \tag{3.8}$$

$$(b_0 + b_1 * z^{-1} + b_2 * z^{-2}) * X = Y - a_1 * z^{-1} Y \tag{3.9}$$

Nach Y aufgelöst

$$Y = (b_0 + b_1 * z^{-1} + b_2 * z^{-2}) * X + a_1 * z^{-1} Y \tag{3.10}$$

Nun werden in die Werte $K = 3; T_N = 4; T_V = 1$ und $T_A = 0,5$ in die Koeffizientengleichungen eingesetzt. Man erhält:

$$b_0 = 9; b_1 = -14,625; b_2 = 6 \tag{3.11}$$

Diese werden nun in die Gleichung eingesetzt und der Struckturplan erstellt.

## 3.1 Darstellung als Strukturplan

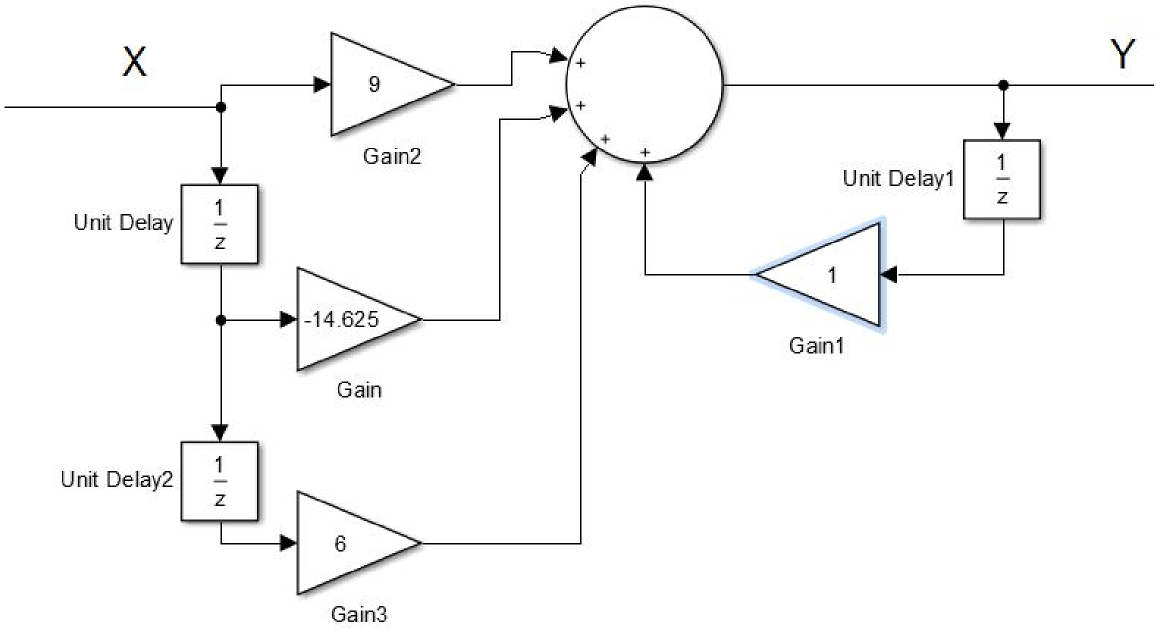



Abbildung 3.1: Struckturplan PID

## 3.2 Simulationsergebnisse

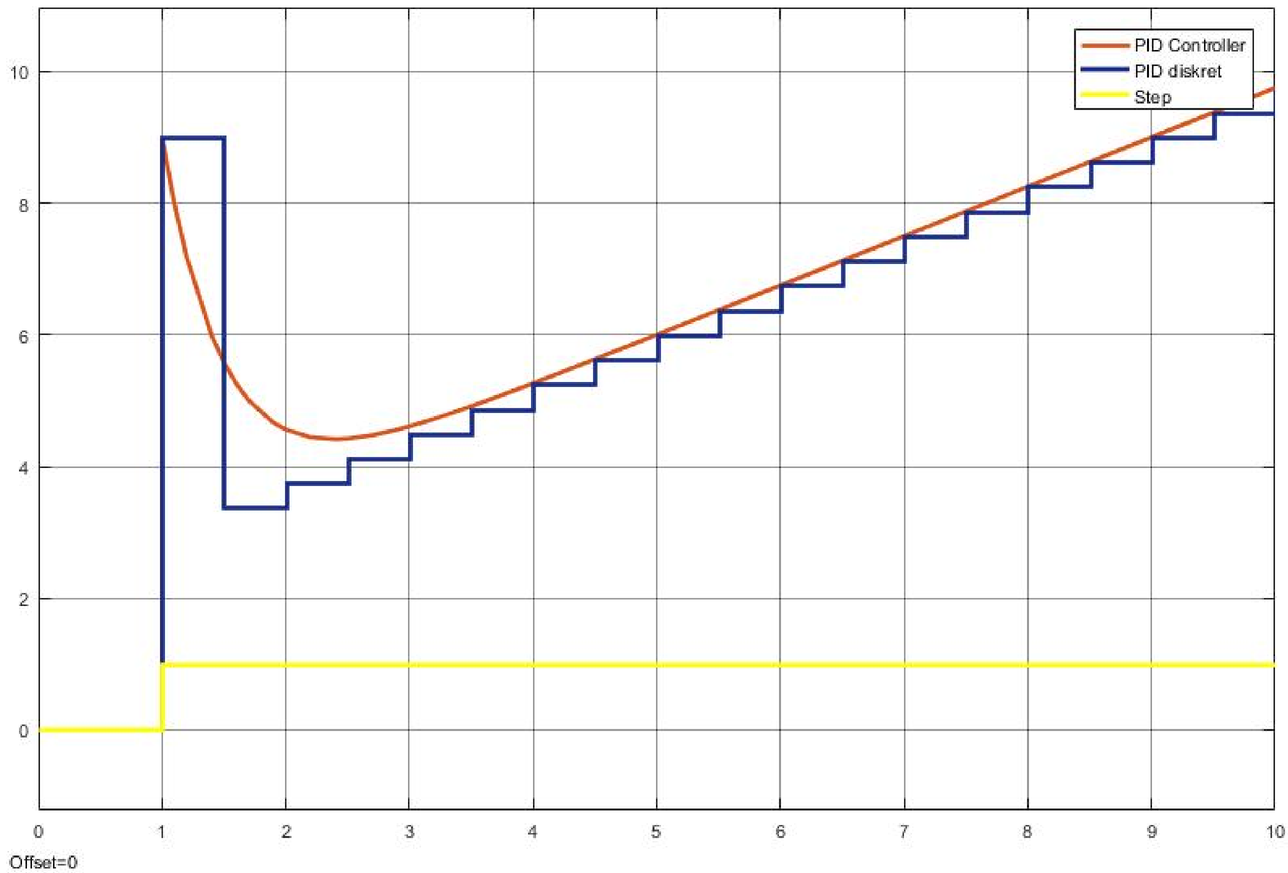



Abbildung 3.2: Sprungantwort des diskreten PID-Reglers

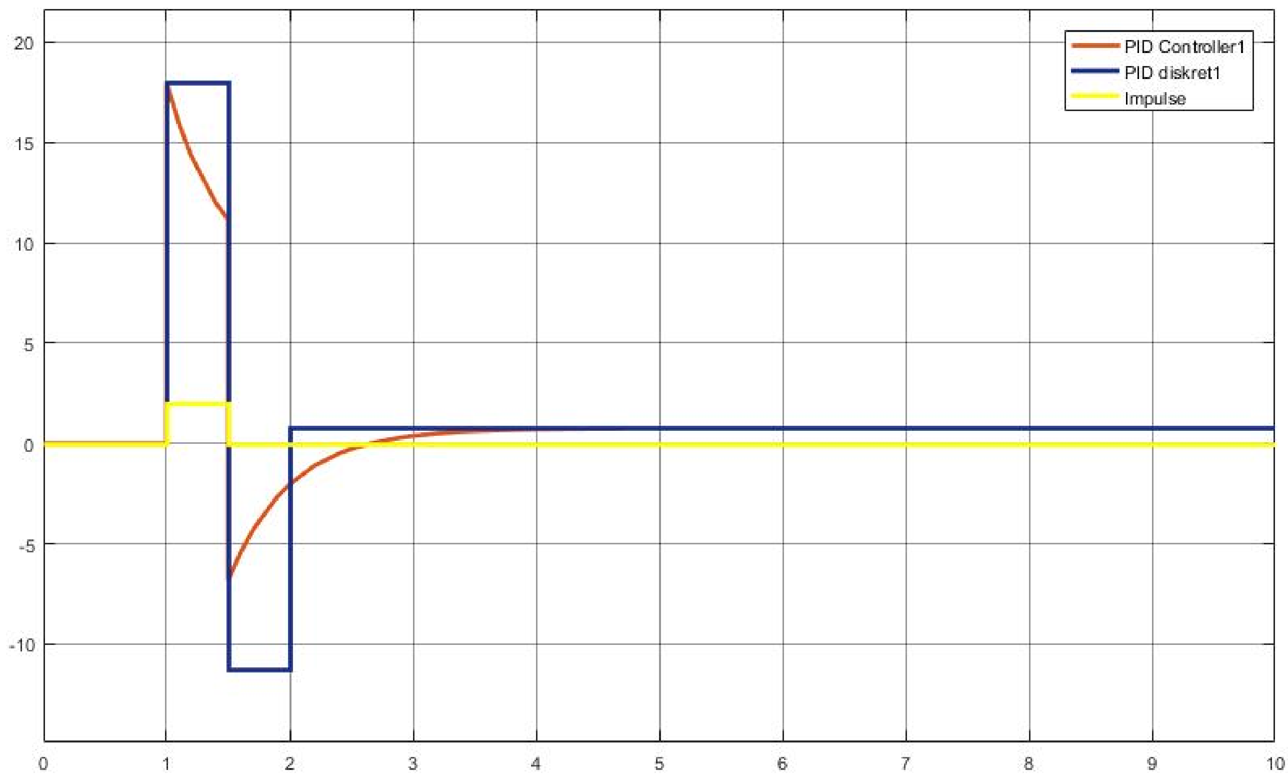



Abbildung 3.3: Impulseantwort des diskreten PID-Reglers

# Kapitel 4

# Gleitender Mittelwertbilder(FIR)

$$Y = \frac{1}{4} X * (1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3}) \tag{4.1}$$

## 4.1 Darstellung als Strukturplan

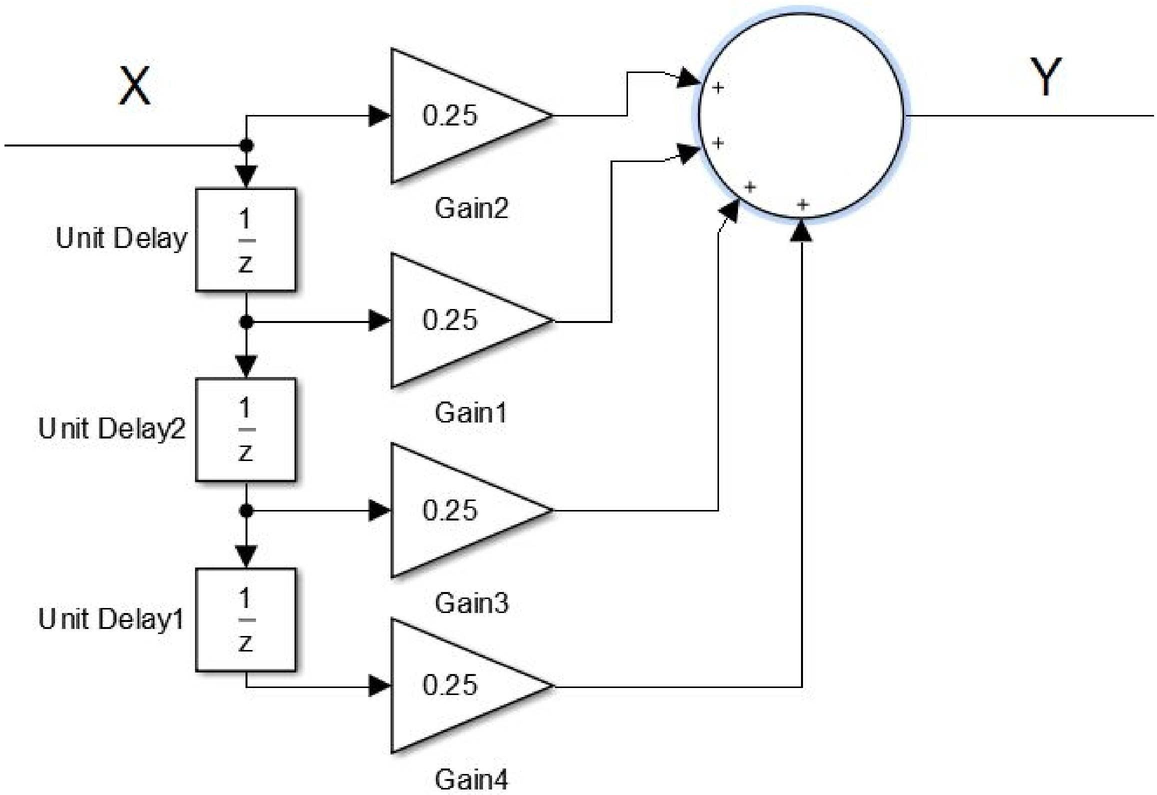



Abbildung 4.1: Struckturplan FIR

## 4.2 Simulationsergebnisse

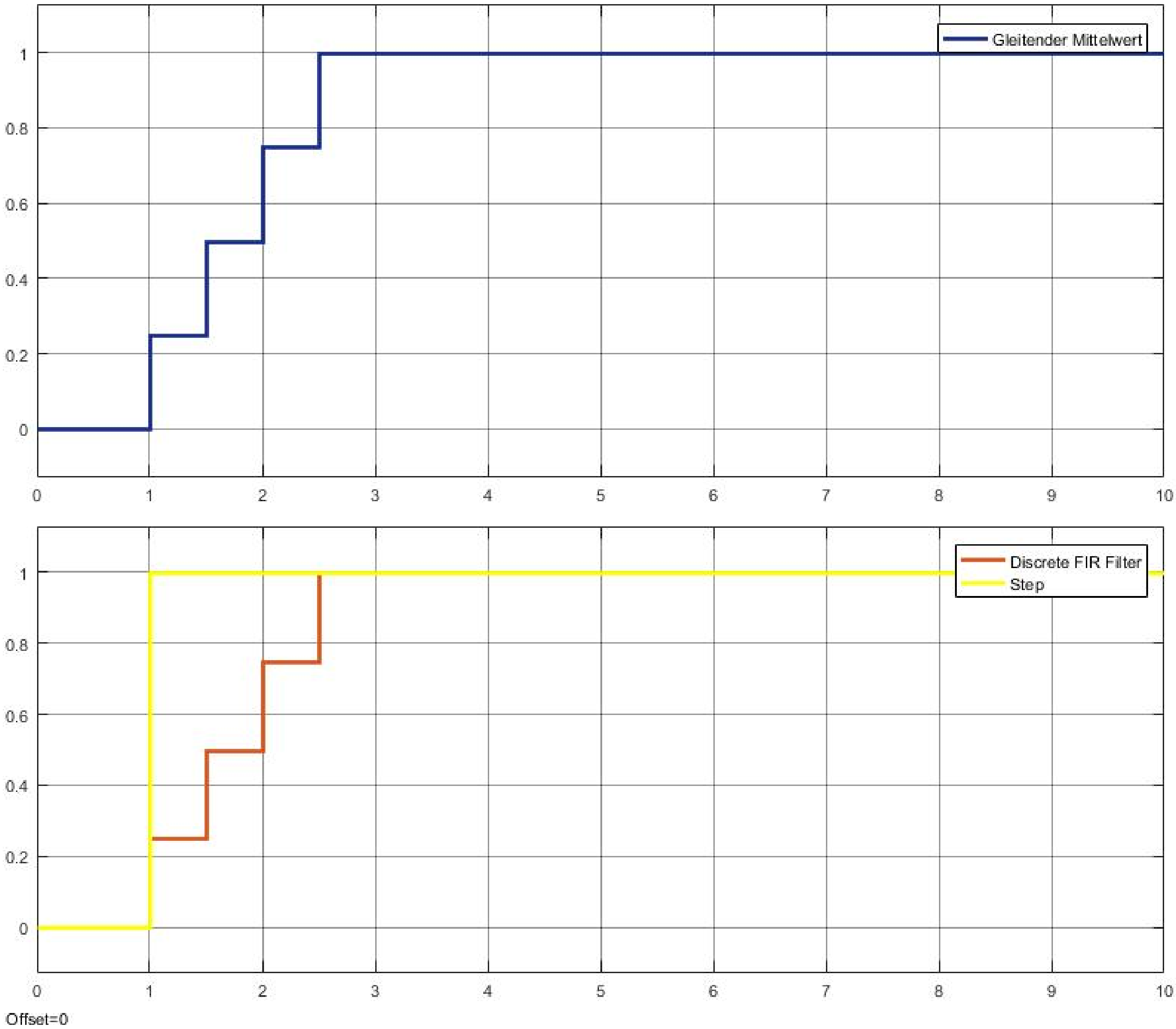



Abbildung 4.2: Sprungantwort des diskreten FIR-Filters

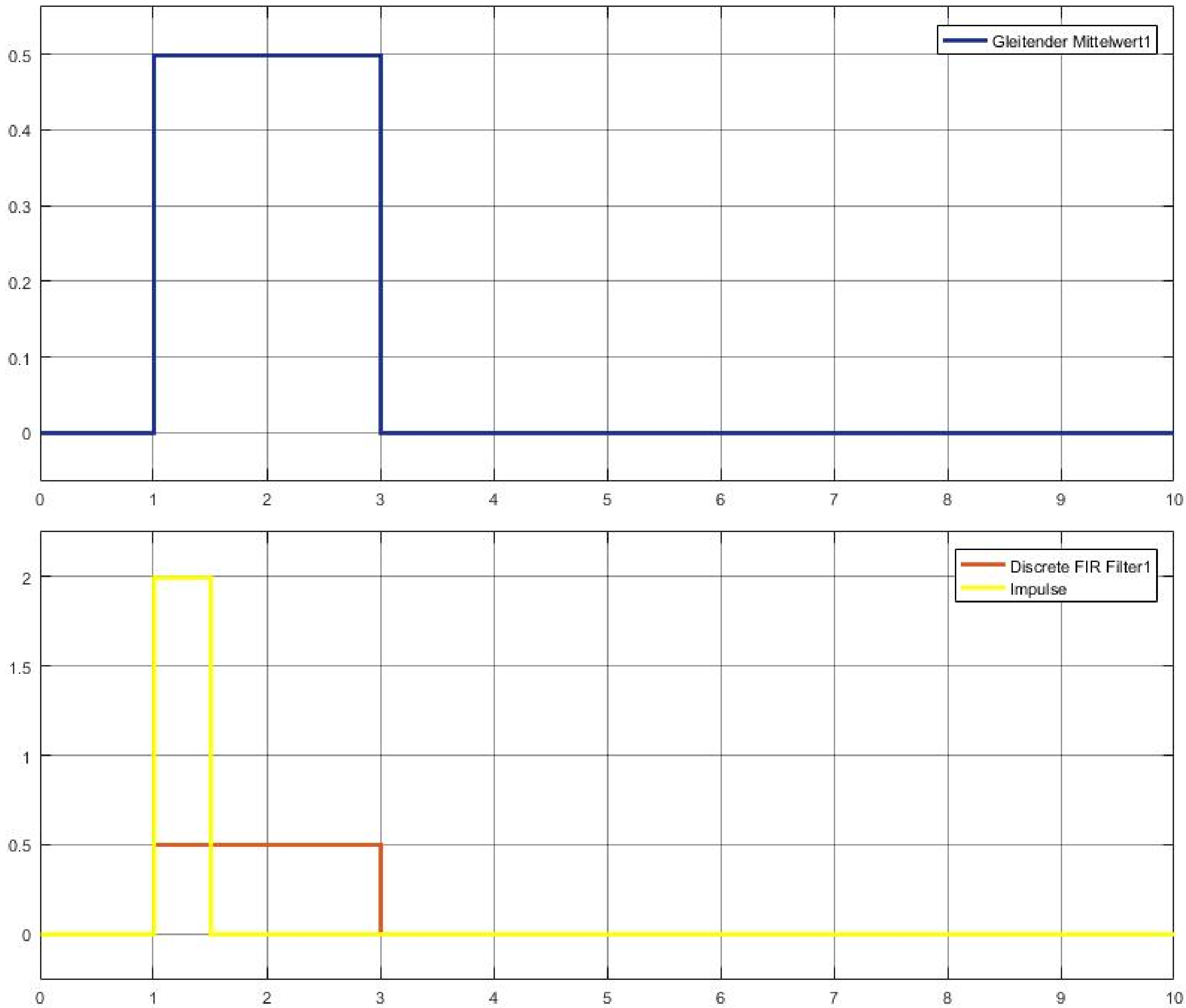



Abbildung 4.3: Impulseantwort des diskreten FIR-Filters