

Digitale Regelung?

Thierry Prud'homme

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Outline

① Prinzipien

Outline

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer

Outline

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer
- ③ Shannon Abtasttheorem

Outline

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer
- ③ Shannon Abtasttheorem
- ④ Anti-Aliasing Filter

Outline

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer
- ③ Shannon Abtasttheorem
- ④ Anti-Aliasing Filter
- ⑤ DA-Umsetzer

Lernziele (1/2)

- Die Studierende können die verschiedenen Implementierungsmöglichkeiten eines digitalen Reglers erläutern.
- Die Studierende können die Vorteilen der digitalen Regelung erklären.
- Die Studierende können die verschiedenen Komponenten eines digitalen Regelkreises auflisten und Ihre Role erklären.
- Die Studierende können die verschiedenen Merkmale von AD und DA-Umsetzer erklären.

Lernziele (2/2)

- Die Studierende können das Shannon Theorem erklären.
- Die Studierende können eine richtige Abastzeit für ein bestimmtes Signal wählen.
- Die Studierende können das Problem des Anti-aliasing erklären und eine Lösung zu diesem Problem finden.

① Prinzipien

Vorteile - Nachteile

Schematische Darstellung

Implementierungsmöglichkeiten

② AD-Umsetzer

③ Shannon Abtasttheorem

④ Anti-Aliasing Filter

⑤ DA-Umsetzer

Vorteile - Nachteile

Vorteile

- Anpassungen der Reglerparameter durch Softwareänderung
- platzsparende und kostengünstige Implementierung (Mikrorechner, FPGA)
- nicht limitiert an PID, komplexere Regler denkbar (RST, MPC)
- Der Rechner kann anderen Aufgaben übernehmen.

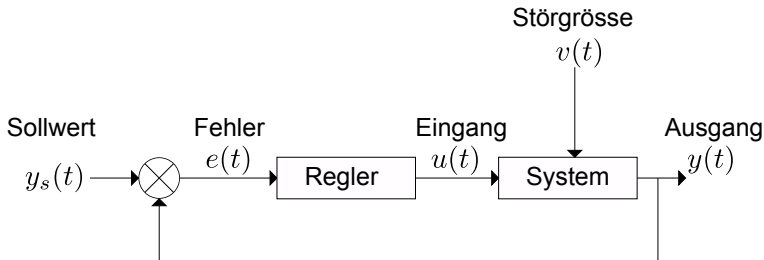
Vorteile - Nachteile

Nachteile

- Diskretisierung nicht vernachlässigbar im Design des Reglers
- Minderung der dynamischen Leistungen
- Konzepten weniger intuitiv als in der analogen Welt

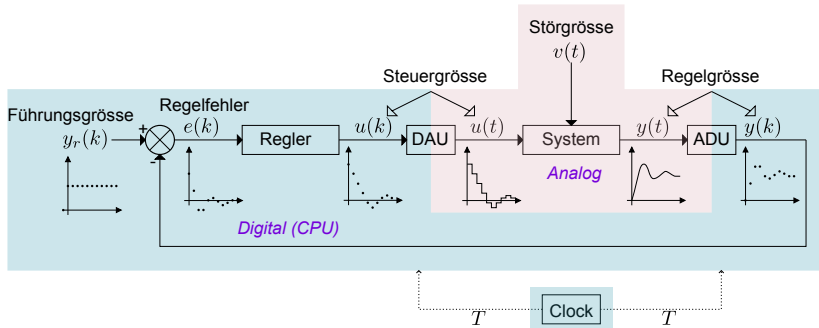
Schematische Darstellung

System mit analogen Regelung



Schematische Darstellung

System mit digitaler Regelung



Implementierungsmöglichkeiten

System mit digitalen Regelung

Mögliche hardware für die Implementierung der Regelung

- (Industrial) PC mit Echtzeitbetriebssystem

▶ Beckhoff Industrial PC

Zentralisiert - Feldbus

Implementierungsmöglichkeiten

System mit digitalen Regelung

Mögliche hardware für die Implementierung der Regelung

- (Industrial) PC mit Echtzeitbetriebssystem
 - ▶ Beckhoff Industrial PC
- Mikrokontroller - Eingebettete Systeme
 - ▶ TI Microcontrollers

Zentralisiert - Feldbus

Implementierungsmöglichkeiten

System mit digitalen Regelung

Mögliche hardware für die Implementierung der Regelung

- (Industrial) PC mit Echtzeitbetriebssystem
 - ▶ Beckhoff Industrial PC
- Mikrokontroller - Eingebettete Systeme
 - ▶ TI Microcontrollers
- Speicherprogrammierbare Steuerung
 - ▶ Siemens Simatic

Zentralisiert - Feldbus

Implementierungsmöglichkeiten

System mit digitalen Regelung

Mögliche hardware für die Implementierung der Regelung

- (Industrial) PC mit Echtzeitbetriebssystem
 - ▶ Beckhoff Industrial PC
- Mikrokontroller - Eingebettete Systeme
 - ▶ TI Microcontrollers
- Speicherprogrammierbare Steuerung
 - ▶ Siemens Simatic

Zentralisiert - Feldbus

- Zentralisiert: ADU und DAU im Mikrokontroller, AD/DA Karte für PC, I/O Modulen für SPS

Implementierungsmöglichkeiten

System mit digitalen Regelung

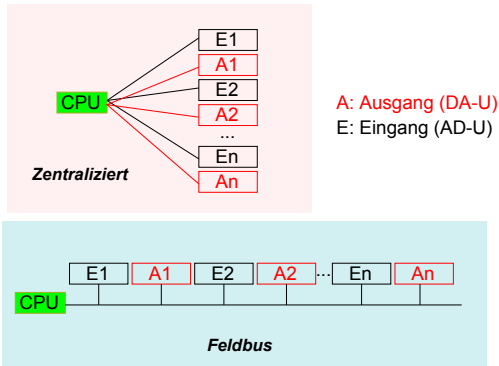
Mögliche hardware für die Implementierung der Regelung

- (Industrial) PC mit Echtzeitbetriebssystem
 - ▶ Beckhoff Industrial PC
- Mikrokontroller - Eingebettete Systeme
 - ▶ TI Microcontrollers
- Speicherprogrammierbare Steuerung
 - ▶ Siemens Simatic

Zentralisiert - Feldbus

- Zentralisiert: ADU und DAU im Mikrokontroller, AD/DA Karte für PC, I/O Modulen für SPS
- Feldbus: Profibus, CAN/CANOpen, EtherCat, usw.

Zentralisiert - Feldbus



① Prinzipien

② AD-Umsetzer

- Prinzip
- Umsetzzeit
- Beispiele

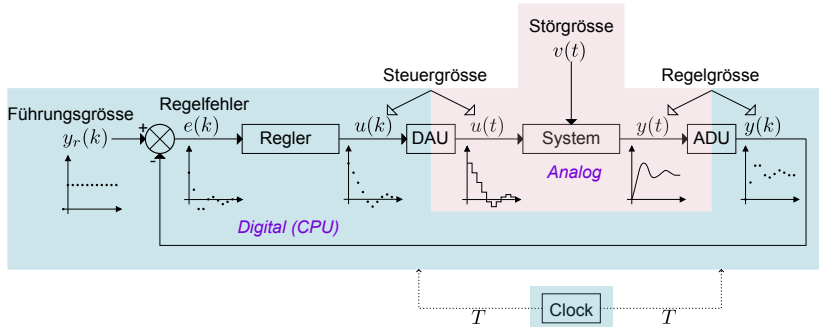
③ Shannon Abtasttheorem

④ Anti-Aliasing Filter

⑤ DA-Umsetzer

Schematische Darstellung

System mit digitalen Regelung

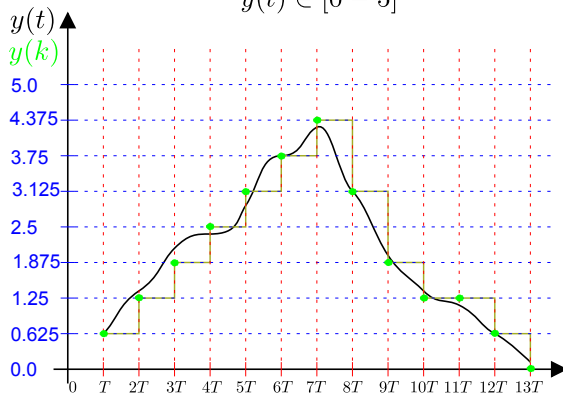


AD-Umsetzer

Prinzip

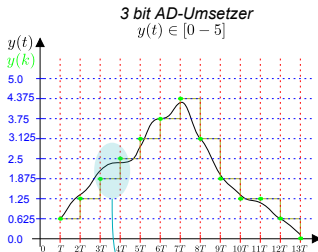
3 bit AD-Umsetzer

$$y(t) \in [0 - 5]$$

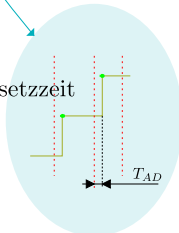


AD-Umsetzer

Umsetzzeit



T_{AD} : Umsetzzeit



AD-Umsetzer

Beispiele

Kritische Komponente

- Auflösung (8 bit)
- Umsetzzeit

Beispiele

- Low-Cost USB Karte mit ADU [▶ USB DAQ Karte](#)
- ADU direkt auf dem Mikrokontroller [▶ TI Microcontrollers](#)
- Siemens Module für SPS [▶ Siemens](#)
- Feldbus Modulen [▶ Beckhoff EtherCat](#)

① Prinzipien

② AD-Umsetzer

③ Shannon Abtasttheorem

Wichtigkeit einer richtigen Taktzeit für ein geregeltes System
Theorem
Wahl der Taktzeit in der Praxis

④ Anti-Aliasing Filter

⑤ DA-Umsetzer

Analogien

System mit digitalen Regelung

- Wagen fahren mit geschlossenen Augen und nur regelmässige Öffnung
- Raumtemperatur Regeln / Drehzahl eines Motors regeln
- Musik CD (Abtastfrequenz)

Theorem

System mit digitalen Regelung

Theorem (Shannon)

Ein kontinuierliches, bandbegrenztes Signal $y(t)$, mit einer Minimalfrequenz von 0 [rad/s] und einer Maximalfrequenz ω_{\max} [rad/s], muss mit einer Frequenz ω_e größer als $2\omega_{\max}$ abgetastet werden, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal y_k das Ursprungssignal ohne Informationsverlust (aber mit unendlich großem Aufwand) exakt rekonstruieren und (mit endlichem Aufwand) beliebig genau approximieren kann.

$$y(t) \rightarrow y(k)$$

$$\omega_e > 2\omega_{\max}$$

Wahl der Taktzeit in der Praxis

System mit digitalen Regelung

Perfekte theoretische Rekonstruktion unmöglich

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y(kh) \frac{\sin \frac{\omega_e(t-kh)}{2}}{\frac{\omega_e(t-kh)}{2}}$$

Praxis

$$\omega_e > [10 - 20] \omega_{max} \quad (1)$$

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer
- ③ Shannon Abtasttheorem
- ④ **Anti-Aliasing Filter**
 - Motivation
 - Prinzip
 - Typische Anti-Aliasing Filter
- ⑤ DA-Umsetzer

Motivation

Bandbegrenzte Signale existieren nicht !!

Theorem (Shannon)

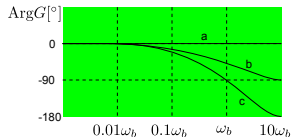
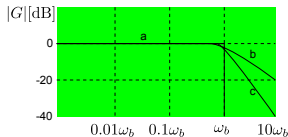
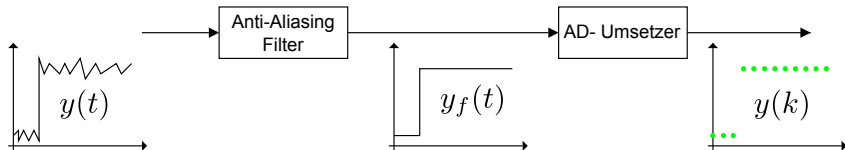
Ein kontinuierliches, **bandbegrenztes** Signal $y(t)$, mit einer Minimalfrequenz von 0 [rad/s] und einer Maximalfrequenz ω_{\max} [rad/s], muss mit einer Frequenz ω_e größer als $2\omega_{\max}$ abgetastet werden, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal y_k das Ursprungssignal ohne Informationsverlust (aber mit unendlich großem Aufwand) exakt rekonstruieren und (mit endlichem Aufwand) beliebig genau approximieren kann.

$$y(t) \rightarrow y(k)$$

$$\omega_e > 2\omega_{\max}$$

Prinzip

Analoges Tiefpassfilter



- a: Ideal Filter
- b: Butterworth, n=1
- c: Butterworth, n=2

Typische Anti-Aliasing Filter

Butterworth Filter

Übertragungsfunktion

$$G_{b,1} = \frac{1}{\frac{1}{w_b}s + 1}$$

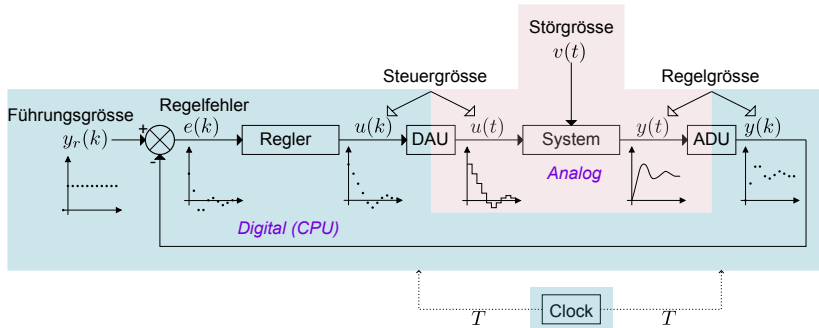
$$G_{b,2} = \frac{1}{\frac{1}{w_b^2}s^2 + \frac{\sqrt{2}}{w_b}s + 1}$$

$$G_{b,4} = \frac{1}{\frac{1}{w_b^4}s^4 + \frac{2.6131}{w_b^3}s^3 + \frac{3.4142}{w_b^2}s^2 + \frac{2.6131}{w_b}s + 1}$$

- ① Prinzipien
- ② AD-Umsetzer
- ③ Shannon Abtasttheorem
- ④ Anti-Aliasing Filter
- ⑤ **DA-Umsetzer**
 Problematik
 Halte-Glied Prinzip

Schematische Darstellung

System mit digitalen Regelung



Rekonstruierung

Rekonstruierung

Perfekte theoretische Rekonstruierung unmöglich

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y(kh) \frac{\sin \frac{\omega_e(t-kh)}{2}}{\frac{\omega_e(t-kh)}{2}}$$

Alternative

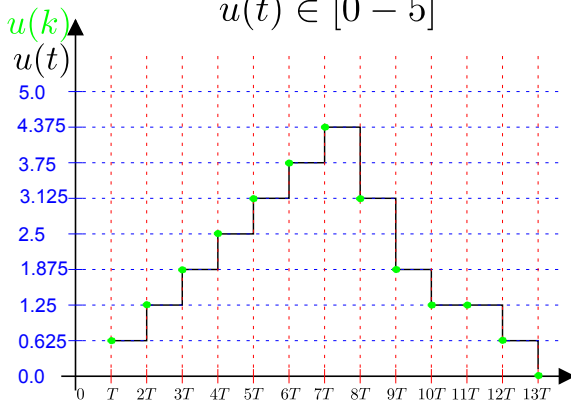
Halte-Glied, Sample and Hold (in den meisten Fällen)

DA-Umsetzer

Halte-Glied Prinzip

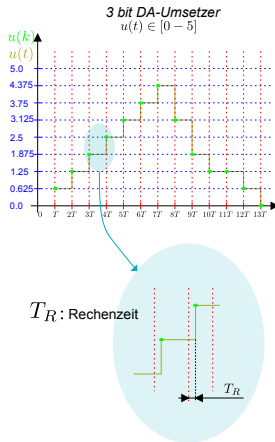
3 bit DA-Umsetzer

$$u(t) \in [0 - 5]$$



DA-Umsetzer

Rechenzeit



DA-Umsetzer

Beispiele

Kritische Komponente

- Auflösung (8 bit)
- Rechenzeit

Beispiele

- Low-Cost USB Karte mit DAU ▶ USB DAQ Karte
- DAU direkt auf dem Mikrokontroller? Sehr oft PWM.
▶ TI Microcontrollers
- Siemens Module für SPS ▶ Siemens
- Feldbus Modulen ▶ Beckhoff EtherCat