MTRS-Skript

Leopold Götsch

Inhaltsverzeichnis

Willkommen zum Skript

Dieses Skriptum dient zu Unterstützung und Ergänzung der Inhalte aus dem Unterricht. Der "rote Faden" im Unterricht ist in den jeweiligen Klassennotizbüchern zu finden. Darin sind auch Links zu den passenden Kapiteln in diesem Skript zu finden. Das Skriptum wird ständig erweitert und verbessert. Input ist willkommen.

Verbessern

Ich freue mich über alle Fehlerkorrekturen und Verbesserungsvorschläge die mich erreichen. Am einfachsten ist dies via Mail.

Mitwirken

Wer am Skriptum mitarbeiten möchte kann mich gerne kontaktieren. Meine Kontaktdaten sind auf der Homepage der HTL-Anichstrasse zu finden.

Viel Vergnügen mit MTRS und dem interaktiven Quarto Book!

Teil I.

Messtechnik und Sensorik

1. Messung der Zeit, Frequenz und Periode

1.1. Warum die Frequenz messen

Es gibt primäre Gründe die Frequenz zu messen wie zum Beipiel in der Frequenztechnik. Dort will man sicherstellen, dass die geqünschte Frequenz auch tatsächlich eingestellt ist. So soll ein WLAN Signal im $2,4$ GHz Bereich auf Kanal 1 zwischen $2399,5$ MHz und $2424,5$ MHz funken. Dies muss Messtechnisch sicherhgestellt werden.
Da sich Frequenzen aber hervorragend digitalisieren lassen sind Frequenzen auch sehr beliebt als Messignale anderer physikalischer Größen. Zum Beispiel lässt sich die Geschwindigkeit als Frequenz übertragen, wenn bekannt ist, dass jede Periode einem definierten Weg entspicht.

$$Geschwindigkeit = \frac{Weg\ pro\ Periode}{Periodendauer} = Weg\ pro\ Periode \cdot Frequenz$$

Noch einfacher ist es die Durchflussmenge mittels Frequenz zu übertragen. Dazu muss aus dem Datenblatt gelesen werden wie viel Volumen einer Periode entspricht.

$$Durchlussmenge = Anzahl\ der Perioden\ \cdot Volumen\ pro\ Periode$$

1.2. Periodische Signale

Bevor mit der eigentlichen Messung begonnen wird soll hier noch einmal auf die Grundlagen eingegangen werden. Man spricht von einem periodischen Signal wenn es sich nach einer bestimmten Zeitdauer, der Periodendauer, wiederholt. Ein Sinussignal ist ein Beispiel dafür.

Die Einheit der Frequenz ist das Herz f. In SI-Baisiseinheiten ausgedrückt ist es der Kehrwert der Zeit $\mathrm{Hz} = 1/\mathrm{s}$. Der Zusammenhang zwischen der Periodendauer und der Frequenz lässt sich bereits aus der Einheit der Frequenz ablesen. Es ist wiederum der Kehrwert $f = 1/T$.

1.3. Messung

Sowohl die Periodendauer als auch die Frequenz können mit einem ähnlichen Messaufbau gemessen werden.

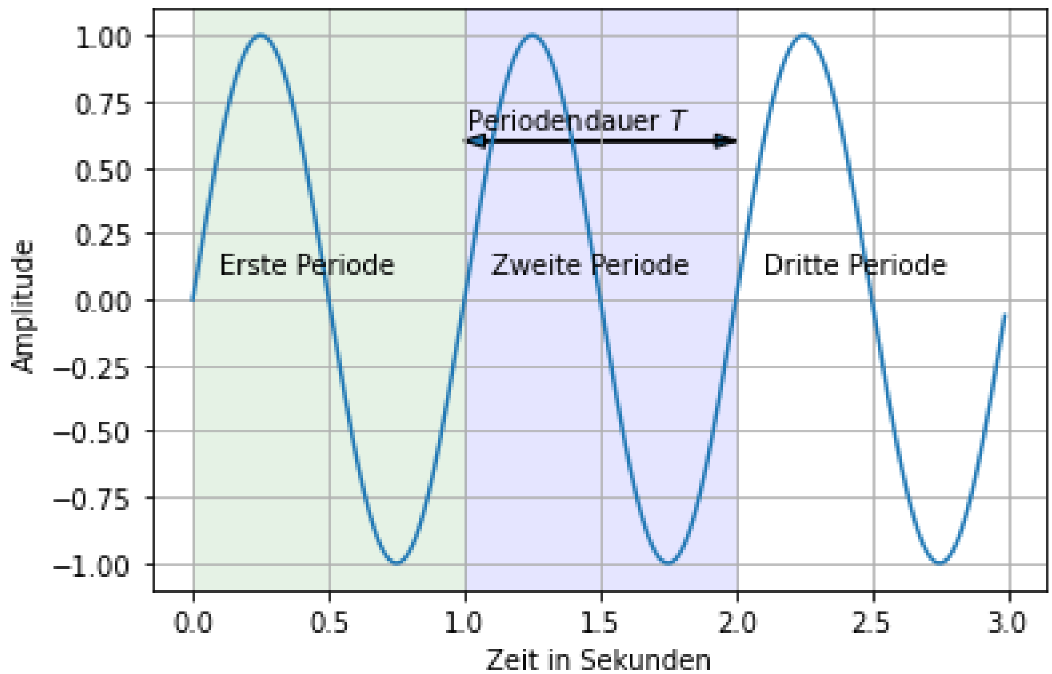


Abbildung 1.1.: Sinussignal mit drei Perioden

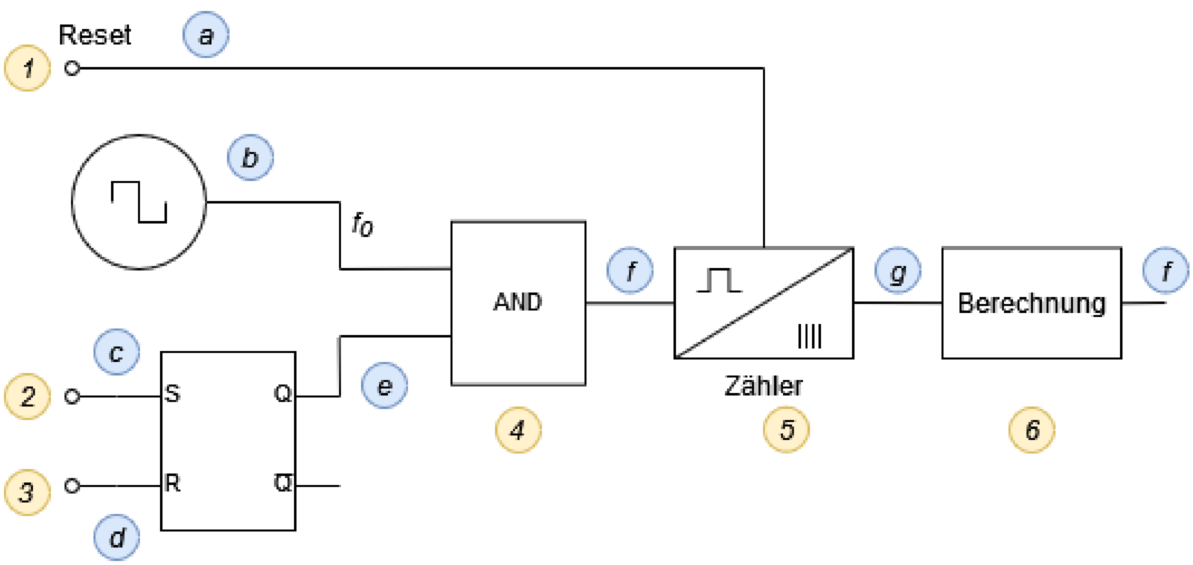


Abbildung 1.2.: Blockschaltbild der Frequenzmessung

Mit der Information des Zählers und der Frequenz des Taktes kann nun die Frequenz des Signales berechnet werden.

1.3.1. Frequenzmessung

Die Messung benötigt einen Zähler und einen Takt mit bekannter Periodendauer. Wenn die Anzahl der Perioden in einer bestimmten Zeit gezählt werden, kann daraus die Frequenz und die Periodendauer berechent werden. Die dargestellte Quelle ist symbolisch für das zu messende Signal. Vorraussetzung ist, dass es sich um ein periodisches Signal handelt. Es muss kein Sinussignal sein. Es kann zum Beispiel auch ein Rechteck- oder Sägezahnsignal sein. Sollange das Signal periodisch ist funktioniert die Messung.

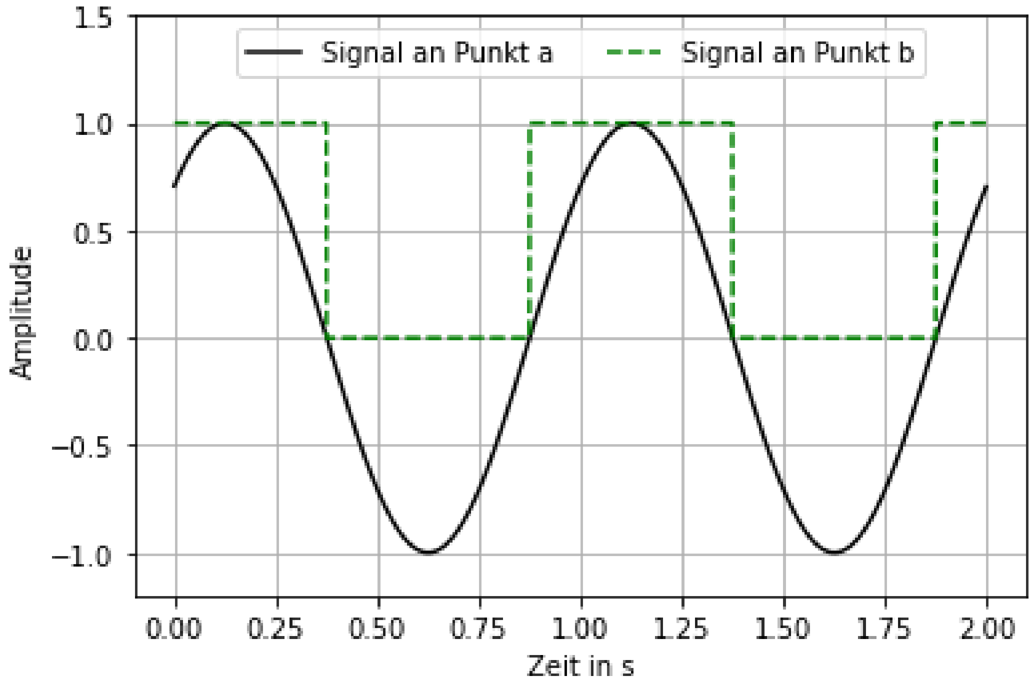


Abbildung 1.3.: Eingangssignal

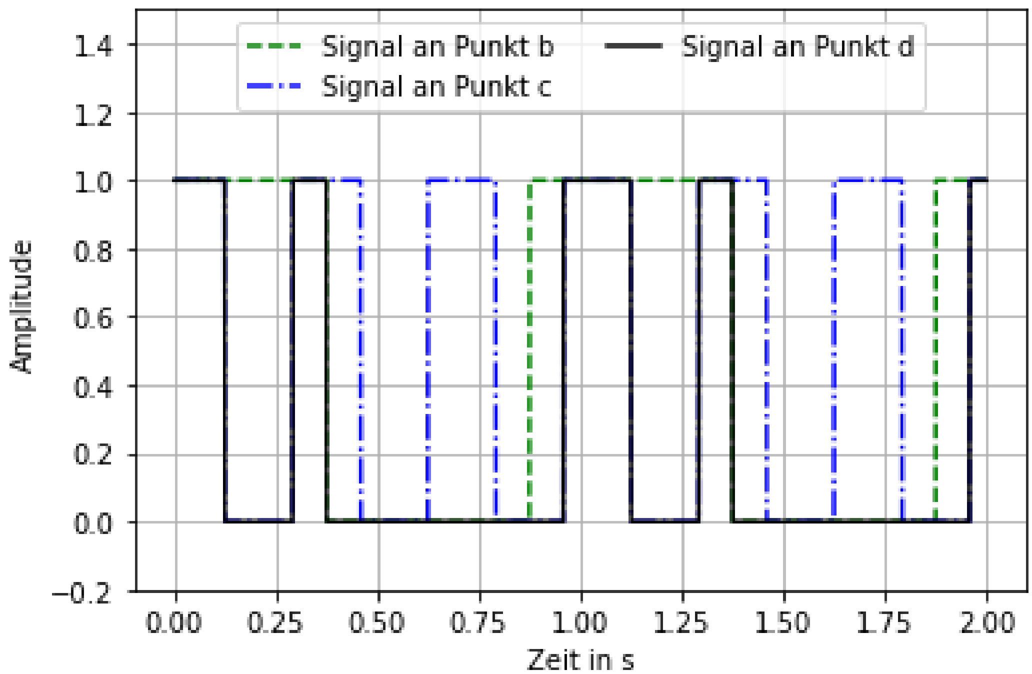


Abbildung 1.4.: Taktsignal und logische Verknüpfung

Teil II.

Drehstrom

BlaBla

2. Mathematische Grundlagen der 3-Pahsen-Drehstromtechnik

$\underline{U}_{12}$ ... Spannung zwischen Phase L1 und L2

$\underline{U}_{23}$ ... Spannung zwischen Phase L2 und L3

$\underline{U}_{31}$ ... Spannung zwischen Phase L3 und L1

$\underline{U}_{1N}$ ... Spannung zwischen Phase L1 und N

$\underline{U}_{2N}$ ... Spannung zwischen Phase L2 und N

$\underline{U}_{3N}$ ... Spannung zwischen Phase L3 und N

$$\underline{U}_{1N} = U_{ss} \tag{2.1}$$

$$\underline{U}_{2N} = U_{ss}e^{\frac{2i\pi}{3}} \tag{2.2}$$

$$\underline{U}_{3N} = U_{ss}e^{-\frac{2i\pi}{3}} \tag{2.3}$$

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N} \tag{2.4}$$

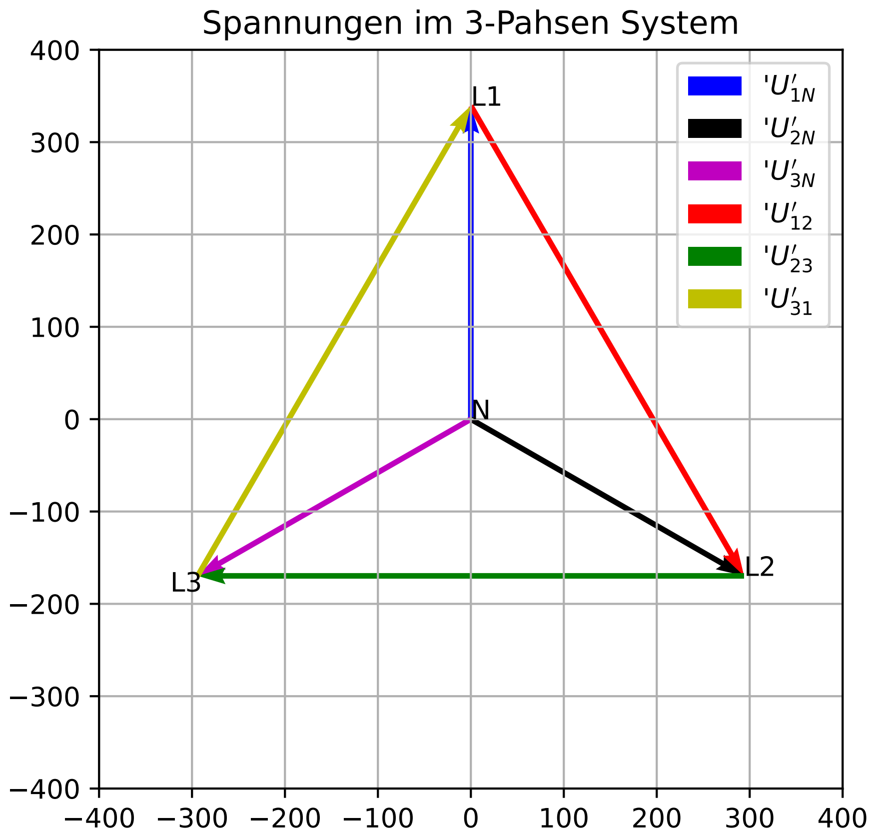
$$\underline{U}_{12} = U_{ss} - U_{ss}e^{\frac{2i\pi}{3}} \tag{2.5}$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{U}_{2N} - \underline{U}_{3N} \tag{2.6}$$

$$\underline{U}_{23} = U_{ss}e^{\frac{2i\pi}{3}} - U_{ss}e^{-\frac{2i\pi}{3}} \tag{2.7}$$

$$\underline{U}_{31} = -\underline{U}_{1N} + \underline{U}_{3N} \tag{2.8}$$

$$\underline{U}_{31} = -U_{ss} + U_{ss} e^{-\frac{2i\pi}{3}} \tag{2.9}$$



Teil III.

Steuer- und Regelungstechnik

In diesem Kapitel geht es darum wie wir Maschinen und Schaltungen dazu bringen, ein gewünschtes Verhalten zu zeigen. Zum Beipiel soll ein Roboterarm ein Werkstück von der Position A zur Position B stellen. Oder eine Drohne trotz Windes ihre Postion halten.
Wir sprechen von **Steuern**, wenn wir eine Befehlskette vorgeben und keine Möglichkeit haben auf Störungen einfluss zu nehmen.
Von **Regeln** sprechen wir, wenn wir Informationen über das zu erreichende Ziel erhalten und damit auf Störungen eingehen können. Es gibt beim Regeln daher eine Feedbackschleife oder auch Rückkopplung genannt.

3. Regelungstechnik

In diesem Teil des Skriptums geht es darum wie wir Maschinen und Schaltungen dazu bringen, trotz Störeinflüssen das gewünsche Verhalten zu Zeigen. Zum Beipiel soll ein Tempomant des Autos die Geschwindigkeit halten, trotz starkem Gegenwindes. Es werden die Grundlagen der Regelungstechnik vermittelt. Dabei wird das theoretische Wissen anhand konkreter Anwendungen erarbeitet.

3.1. Warum wir regeln

Viele Aufgaben von Maschinen können auch durch Steuern umgesetzt werden. Eine Regelung erlaubt es aber auf unerwünschte Einflüsse, sogenannte Störgrößen, zu reagieren. Als Beispiel soll der Tempomat, Geschwindigkeitsregelanlage, des Autos dienen. Die Aufgabe des Tempomates ist es, die Geschwindigkeit, Regelgröße, konstant zu halten. Als unerwünschte Einflüsse, Störgrößen, sind alle physikalischen Größen zu betrachten, welche die Geschwindigkeit beeinflussen. Beispiele sind die Steigung der Straße und Wind.
Die Geschwindigkeit des Autos wird über die Leistung, Stellgröße, bestimmt. Führt die Straße Bergauf wird mehr Leistung für die gleiche Geschwindigkeit benötigt. Es muss also die Leistung laufend angepasst werden, um eine konstante Geschwindigkeit zu erhalten.
Bei einer Steuerung würde eine Leistung eingestellt werden und sich daraus eine Geschwindigkeit ergeben. Dieses wäre jedoch nur für einen voreingestellten Fall identisch mit der gewünschten Geschwindigkeit.

3.2. Wie wir regeln - Der Standardregelkreis

Regeln ist ein Vorgang, bei dem der IST-Wert einer Größe gemessen und, durch Nachstellen der Stellgröße, dem SOLL-Wert angeglichen wird.
Dazu wird das Ergebnis an den Eingang zurück geführt und vom Sollwert subtrahiert. Es entsteht eine Rückkopplung. Durch das negative Vorzeichen handelt es sich um eine Rückkopplung im Spezialfall einer Gegenkopplung. Die Differenz aus dem Sollwert und dem zurückgeführten Istwert ist die sogenannte Regelabweichung welche über den Regler zur Stellgröße wird. Die Stellgröße ist nun die physikalische Größe die die Regelstrecke zum gewünschten Verhalten führt.

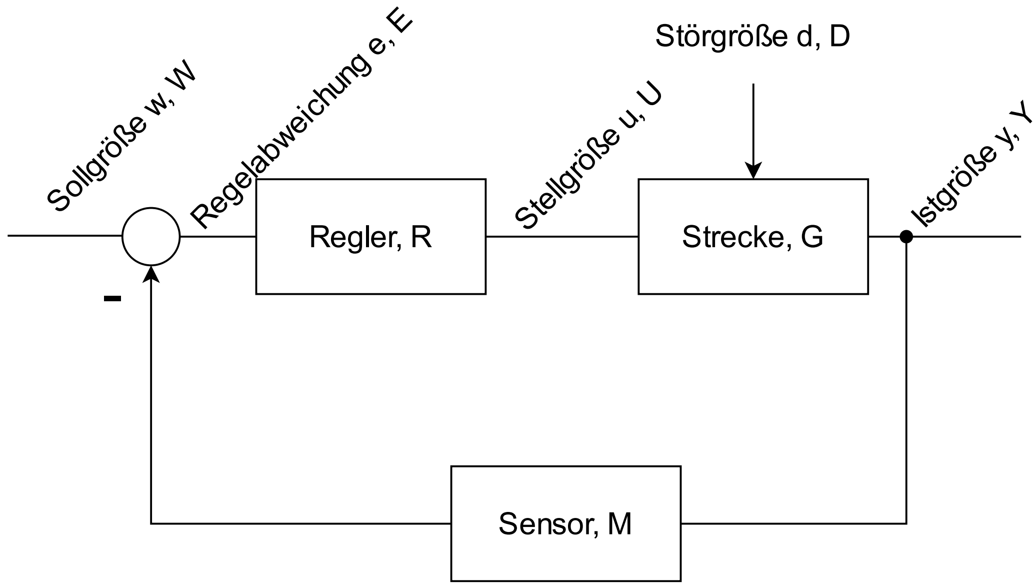


Abbildung 3.1.: Standardregelkreis

3.2.1. Reglertypen

Es kann zwischen zwei Arten von Reglern unterschieden werden. Erstere sind einfache Regler die die Stellgröße nur zwischen verschiedenen Zuständen hin und her Schalten können. Zum Beispiel Ein / Aus. Oder die Gänge eines Automatikgetriebes. Diese Regler werden **unstetige Regler** genannt. Unstetige Regler können gut mittels Hysteresen beschrieben werden.
Der zweite Typ von Regler kann die Stellgröße kontinurierlich anpassen. Diese Regler werden **stetige Regler** genannt. Stetige Regler können gut mit mathematische Gleichungen im Laplacebereich beschrieben werden.

3.3. Unstetige Regler

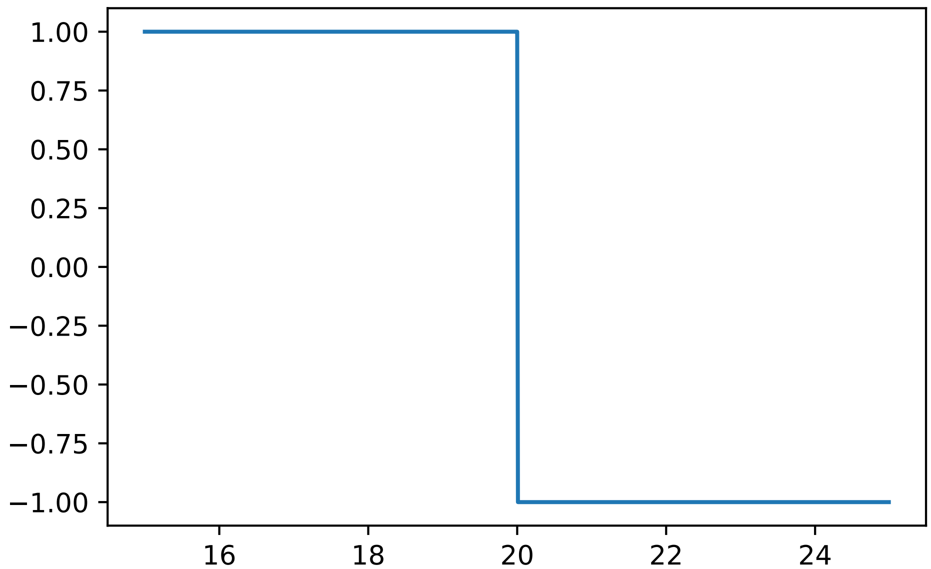
Klassische unstetige Regler sind Bimetallschalter. Diese werden zum Beipiel bei Heizlüftern eingesetzt. **TODO**

ΔT_{aus} ... Ausschaltschwelle

ΔT_{ein} ... Einschaltschwelle

T_{ref} ... Referenz Temperatur

T ... Temperatur



3.3.1. Zweipunktregler

Der Zweipunktregler kann, wie der name schon sagt, die Stellgröße zwischen zwei Zuständen schalten. Zum Beipiel die Heizung einschalten wenn die Temperatur zu niedrig ist und wieder Abschalten wenn die Temperatur hoch genug ist.
Die Schaltpunkte werden über eine Hysterese definiert.

3.4. Stetige Regler

Für das Verständnis von stetigen Reglern ist es hilfreich die Regelungstechnik mathematisch zu betrachten, da sich die ein Regler sehr gut mit Formeln beschreiben und erklären lässt. In einem eigenen Kapitel soll bewhandelt werden wie Regler praxisnahe implementiert werden können.
Der oben gezeigte Regelkreis, Abbildung 3.1, lässt sich mathematisch als Übertragungsfunktion beschreiben. Hier werden ausschließlich SISO (Single Input Single Output) Systeme betrachtet. Das Bedeutet Systeme die einen Eingang und einen Ausgang haben. Jeder Block kann einzeln mit einer Übertragungsfunktion, analog der Vierpoltheorie aus KSN, beschrieben werden. Wie auch in der Vierpoltheorie kann aber auch eine Verschaltung von Blöcken als Übertragungsfunktion beschrieben werden. Ein Block wird in der Regelungstechnik auch als **Strecke** bezeichnet.

3.4.1. Die Übertragungsfunktion

Die Übertragungsfunktion Beschreibt den Zusammenhang zwischen Ausgang und Eingang. Um die Mathematik möglichst einfach zu halten wird in der Regelungstechnik im Laplace Bereich gearbeitet. Dadurch ist es nicht notwendig die Diffenrentialgleichung bei physikalischen Systemen, die durch eine Differentialgleichung beschrieben werden, zu lösen.

$$V = \frac{A}{E} \tag{3.1}$$

E ... Eingang

A ... Ausgang

V ... Verarbeitung, die Übertragungsfunktion

Gängige Bezeichnungen der Übertragungsfunktion der einzelnen Blöcke ist wie folgt.

R ... Übertragungsfunktion des Reglers

G ... Übertragungsfunktion der zu Regelnden Strecke

M ... Übertragungsfunktion des Sensors

3.4.2. Die Laplace Transformation

oder die Anstrengung der Faulen.

3.4.2.1. Warum Laplace

Um eine Übertragungsfunktion zu Berechnen muss der Ausgang durch den Eingang dividiert werden. Wird das physikalische System durch eine lineare Gleichung beschrieben ist das sehr Einfach möglich und die Laplace Transformation ist nicht notwendig. Ein Beispiel dafür is das Ohm'sche Gesetz.

$$R_{ohm} = \frac{U}{I} \tag{3.2}$$

I ... Strom am Widerstand als Eingang

R_{ohm} ... Ohm'scher Widerstand als Übertragungsfunktion

U ... Spannung am Widerstand als Ausgang

Wird das physikalische System aber durch eine Differentialgleichung beschrieben, wie zum Beispiel bei einem Tiefpass, so wäre es notwendig zuerst die Differentialgleichung zu lösen um die Übertragungsfunktion zu berechnen. Hier bietet die Lapalce Transformation eine erhebliche erleichterung.

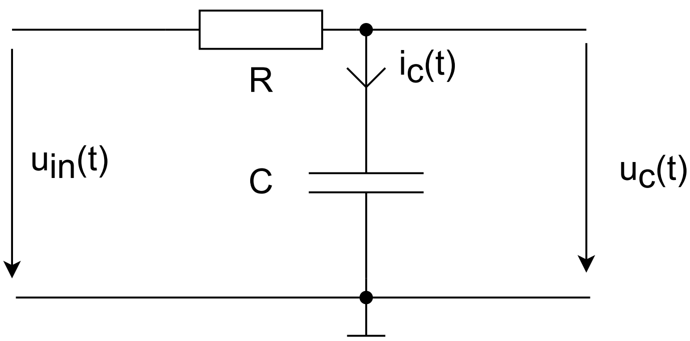


Abbildung 3.2.: Tiefpass

$$i_c(t) = \frac{\frac{d}{dt}u_c(t)}{C} \tag{3.3}$$

$$i_c(t) = \frac{-u_c(t) + u_{in}(t)}{R_{ohm}} \tag{3.4}$$

Durch Gleichsetzten von Gleichung 3.3 und Gleichung 3.4 ergibt sich die allgemeine Differenzialgleichung 1. Ordnung für den Tiefpass.

$$\frac{d}{dt}u_c(t) + \frac{u_c(t)}{CR_{ohm}} = \frac{u_{in}(t)}{CR_{ohm}} \tag{3.5}$$

C ... Kapazität

R_{ohm} ... Ohmscher Widerstand

t ... Zeit

$u_{in}(t)$ ... Eingangsspannung

$i_c(t)$ ... Strom

$u_c(t)$ ... Ausgangsspannung

Müsste nun von dieser Differentialgleichung die Übertragungsfunktion, also $G = Ausgang/Eingang$, angegeben werden, so müsste zunächst die Differentialgleichung gelöst werden.
Die Laplace Transformation bietet hier einen alternativen Weg der mit weiteren Vorteilen verbunden ist wenn es darum geht Blöcke miteinander zu kombinieren oder Aussagen über das System zu treffen.

3.4.2.2. Wie Laplace

Die tiefere Mathematik der Laplacetransofrmation überlassen wir hier den Mathematiker:innen und den ersten Semstern eines Studiums. Wir wollen die Laplacetransformation lediglich als Werkzeug zur vereinfachung unserer Arbeit verwenden. Dazu benötigen wir folgende Grundregeln.
Vereinfacht ist die Laplacetransformation als eine Übersetzung aus dem Zeitbereich, also mit der varaible t, in den Frequenzbereich mit der Variable s zu verstehen. Die Übersetzung erfolgt in vielen Fällen sehr einfach mittels Tabelle. Hier wird die Transformation nur für ausgewählte Signale und mathematische Operationen angeführt.

Zeitbereich x(t)	Frequenzbereich X(s)	Bemerkung
$\frac{d\ x(t)}{d\ t}$	$s \cdot X(s) - x(0)$	Transformation der Ableitung nach der Zeit, $x(0)$ ist dabei der Wert zum Zeitpunkt Null. Bei einem Kondensator wäre dies zum Beispiel der Ladezustand zu Beginn.
$\int x(t)\, d\ t$	$\frac{1}{s} \cdot X(s)$	Transformation der Integration über der Zeit
$\delta(t)$	1	Transformation des Impulses
$\sigma(t)$	$\frac{1}{s}$	Transformation des Sprunges
e^{at}	$\frac{1}{s-a}$	
$\frac{1}{a}e^{\frac{-t}{a}}$	$\frac{1}{1+as}$	

3.4.3. Zusammenschaltung von Blöcken

Werden Blöcke kombiniert können die resultierenden Übertragungsfunktionen berechnet werden.
Zur vereinfachung kann die Übertragungsfunktion des Sensors mit $M = 1$ angenommen werden, $M = 1$, wenn dieser im Verhälnis zur Strecke und zum Regler vernachlässigbar ist. Dies ist zum Beispiel der Fall wenn der Sensor viel schneller ist als die Strecke und der Regler. Diese Vorraussetzung ist für viele Systeme gegeben.

Für den Regelkreis, Abbildung 3.1, ergebn sich folgende Möglichkeiten.

3.4.3.1. Die Führungsübertragungsfunktion

Die Führungsübertragungsfunktion gibt das Verhältnis zwischen Sollgröße und Istgröße an. Sie Beschreibt damit das Verhalten des Regelkreises mit der Sollgröße als Eingang und der Istgröße als Ausgang. Ist eine Regelstrecke ideal so ist die die Führungsübertragungsfunktion gleich Eins.

$$F_w = \frac{GMR}{GMR + 1} \tag{3.6}$$

F_w ... Führungsübertragungsfunktion

3.4.3.2. Die Schleifenübertragungsfunktion

Die Schleifenübertragungsfunktion ist die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises, also ohne Rückkopplung und ist im Laplace Bereich eine einfache Multiplikation.

$$F_o = GR \tag{3.7}$$

F_o ... Schleifenübertragungsfunktion

3.4.3.3. Die Störübertragungsfunktion

Die Störübertragungsfunktion beschreibt wie sich die Störgröße auf den Ausgang auswirkt.

$$F_s = \frac{G}{F_o + 1} \tag{3.8}$$

F_s ... Störübertragungsfunktion

References