

A man in a light blue shirt is shown from the side, holding a tablet computer. The tablet displays a software interface with various charts and data. The background is a blurred industrial factory floor with machinery and equipment.

SIEMENS

Prozessregelungen mit dem Technologieregler des SINAMICS G120 und G120P

Applikationsbeschreibung • 05/2014

<http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/92556266>

Dieser Beitrag stammt aus dem Siemens Industry Online Support. Es gelten die dort genannten Nutzungsbedingungen (www.siemens.com/nutzungsbedingungen).

Vorsicht

Die in diesem Beitrag beschriebenen Funktionen und Lösungen beschränken sich überwiegend auf die Realisierung der Automatisierungsaufgabe. Bitte beachten Sie darüber hinaus, dass bei Vernetzung Ihrer Anlage mit anderen Anlagenteilen, dem Unternehmensnetz oder dem Internet entsprechende Schutzmaßnahmen im Rahmen von Industrial Security zu ergreifen sind. Weitere Informationen dazu finden Sie unter der Beitrags-ID 50203404.

<http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/50203404>

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	4
2	Grundlagen Regelungstechnik	5
2.1	Komponenten des Regelkreises	5
2.2	Regelstrecke	6
2.2.1	Zeitverhalten der Regelstrecke	6
2.2.2	Regelstrecken mit Ausgleich	7
2.2.3	Strecken ohne Ausgleich.....	8
2.2.4	Praktische Ermittlung der Streckengrößen	9
2.3	Stellglied, Stelleinrichtung, Stellantrieb	9
2.4	Messeinrichtung, Messglied	9
2.5	Regler	9
2.5.1	Übersicht	9
2.5.2	Reglertypen	10
2.5.3	Regelparameter für das dynamische Verhalten	10
3	Der Technologieregler des SINAMICS G120.....	13
3.1	Einzelmodule	13
3.1.1	Sollwertvorgabe.....	13
3.1.2	Sollwertkanal	15
3.1.3	Istwertkanal	16
3.1.4	Technologieregler.....	17
3.1.5	Begrenzung, Freigabe, und Ausgangsverschaltung	20
4	Besondere Funktionen der Control Unit CU230P-2	22
4.1	Schlafmodus.....	22
4.2	Mehrzonenregelung	22
4.3	Kaskadenregelung	23
4.4	Freie Technologieregler	24
5	Einstellregeln für den Technologieregler.....	26
5.1	Praktische Regeln	26
5.1.1	Wahl eines geeigneten Reglers	26
5.1.2	Optimierung des Regelungsverhaltens	26
5.2	Optimierung nach Ziegler und Nichols	26
5.2.1	Schwingungsverfahren.....	26
5.2.2	Wendetangentenverfahren.....	27
5.3	Optimierung nach Chien, Hrones Reswick	27
5.3.1	Strecken mit Ausgleich.....	27
5.3.2	Strecken ohne Ausgleich.....	28
6	Glossar.....	30
7	Literaturhinweise	31
7.1	Literaturangaben	31
7.2	Internet-Link-Angaben.....	31
8	Historie.....	32

1 Einführung

Beschreibung der Automatisierungsaufgabe

Die Frequenzumrichter der Reihe SINAMICS G120 enthalten einen Technologieregler, mit dem man die Drehzahl für den angeschlossenen Motor in Abhängigkeit von Soll- und Istwert beeinflussen und verändern kann.

Mit dem Technologieregler können Regelkreise für Prozessgrößen realisiert werden z. B.:

Regelung des Füllstandes, der Temperatur, des Druckes, des Durchflusses, der Luftqualität, und vieles mehr

Diese Unterlage gibt Empfehlungen zur Projektierung, Parametrierung und Optimierung von Regelkreisen mit dem PID-Regler.

Abgrenzung

Diese Applikation enthält keine Anleitung zur

- Parametrierung
- Inbetriebnahme
- Optimierung

der Regelungen des Antriebes wie Lageregelung, Drehzahlregelung, Stromregelung.

Der Technologieregler des SINAMICS G120 ist ein stetiger linearer PID-Regler. Auf nichtlineare Regelungen mit Fuzzy-Regler, adaptiven Reglern, Extremwertreglern, und nicht stetigen Regelungen mit Zwei- und Dreipunktreglern wird in dieser Applikation nicht eingegangen.

Beispiele für die Implementierung von Regelungen auf Basis des Technologiereglers finden Sie in den Applikationen:

- Lüfter zur Regelung der Zuluft, Beitrags-ID: 43296889
- Lüfter zur Regelung der Abluft, Beitrags-ID: 77490904
- Regelung eines Tunnel-/Parkhauslüfters, Beitrags-ID: 77491575
- Regelung eines Treppenhauslüfters, Beitrags-ID: 77491576
- Lüfter zur Regelung des Kühlkreislaufes, Beitrags-ID: 43297078
- Pumpen zur Regelung des Kühlkreislaufes, Beitrags-ID: 43297284
- Druckgeregelte Pumpen, Beitrags-ID: 43297279
- Füllstandsgeregelte Pumpen, Beitrags-ID: 43297280
- Druckgeregelter Kompressor, Beitrags ID: 77491582
- Druckgeregelte Vakuumpumpe, Beitrags-ID: 77491905

Diese Applikationen beinhalten auch ablauffähige Skripte für das Inbetriebnahme Tool STARTER zur vollständigen Parametrierung der Regelkreise im geführten Dialog.

Vorausgesetzte Kenntnisse

Grundlegende Kenntnisse über die Parametrierung und Inbetriebnahme von Antrieben mit dem Tool STARTER werden vorausgesetzt.

2 Grundlagen Regelungstechnik

In der Prozesstechnik, der Verfahrenstechnik, aber auch in der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie der Wasserwirtschaft gibt es Prozesse, bei denen physikalische Größen wie z.B. die Temperatur, der Druck, der Durchfluss, etc. auf einem konstanten Wert gehalten werden müssen. Dazu vergleicht man den gemessenen Istwert mit dem gewünschten Sollwert und gleicht die Differenz über einen Regler und das Stellglied aus. Da es sich dabei um ein geschlossenes System handelt, spricht man von einem Regelkreis.

2.1 Komponenten des Regelkreises

Im Regelkreis wird eine physikalische Größe (Regelgröße x) einem gewünschten Wert (Führungsgröße, Sollwert w) ständig angeglichen. Dazu müssen Sollwertänderungen und Störeinflüsse (Störgröße z) ausgeregelt werden. Der Wert der Regelgröße x (Istwert) wird mit der Messeinrichtung ermittelt. Der Regler vergleicht die Differenz zwischen Sollwert und Istwert (Sollwertabweichung, Regeldifferenz e) und bildet eine Stellgröße y , die die Regelstrecke so beeinflusst, dass die Regeldifferenz minimal bleibt.

Das vereinfachte Blockschaltbild in Abbildung 2-1 gibt einen Überblick über die Komponenten des Regelkreises.

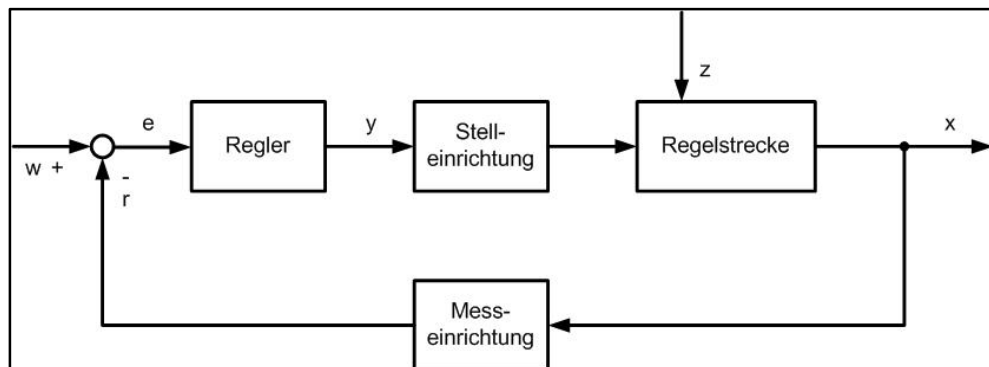


Abbildung 2-1: Komponenten des Regelkreises

w	Führungsgröße
r	Rückführgröße
e	Regeldifferenz
y	Stellgröße
z	Störgröße
x	Regelgröße

Hinweis

Historisch bedingt werden in der Fachliteratur auch andere Symbole verwendet, die teilweise auf der DIN 19226 basieren. Die DIN 19226 wurde 2006 zurückgezogen und 2008 durch die DIN EN 60027-6 sowie die DIN EN 60050-351 ersetzt. Die in dieser Unterlage verwendeten Begriffe und Symbole basieren auf den beiden aktuellen Normen. Unterschiedliche Begriffe sind im Glossar in Kapitel 6 aufgeführt.

2.2 Regelstrecke

2.2.1 Zeitverhalten der Regelstrecke

Die Regelstrecke ist der Teil des technologischen Prozesses, der vom Technologieregler beeinflusst wird. Die Regelstrecke beginnt dort, wo das Stellglied (Pumpe, Lüfter, Kompressor) unmittelbar einwirkt, und endet an der Messeinrichtung.

Regelstrecken werden nach ihrem Zeitverhalten beurteilt. Zur Bestimmung der Kenngrößen einer Regelstrecke (Verstärkungsfaktor, Zeitkonstanten) wird das im Ruhezustand befindliche System mit einem definierten Eingangssignal (Sprung der Stellgröße y) beaufschlagt und das Ausgangssignal (Regelgröße x) als Funktion der Zeit ermittelt. Dieses Signal ist die so genannte Sprungantwort.

Entsprechend der Sprungantwort des Systems werden Regelstrecken gemäß nachfolgender Tabelle unterteilt. Die Tabelle ist unvollständig in Bezug auf weitere mögliche Kombinationen der Übertragungsglieder, z.B. IT_1 -Glieder, PDT_1 -Glieder usw.

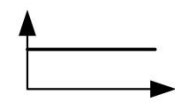
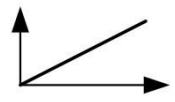

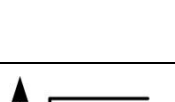
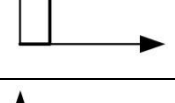
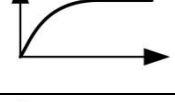

Übertragungsverhalten der Regelstrecke	Kurzbezeichnung	Sprungantwort
proportional wirkende Strecke ohne Verzögerung Beispiel: Regelgröße Durchfluss.	P-Glied	
integrierend wirkende Strecke (Strecke ist ohne Ausgleich) Beispiel: Regelgröße Füllstand.	I-Glied	
differenzierend wirkende Strecke Beispiel: Das ideale D-Glied mit Sprungantwort von unendlich hoher Amplitude und unendlich kurzer Zeit (Impuls) ist real nicht existent, Kombinationen mit Verzögerungsgliedern sind real.	D-Glied	
proportional wirkende Strecke mit Totzeit Beispiel: Regelgröße Fördermenge nach Transportband oder nach langen Gasleitungen mit kompressiblem Gas.	Totzeitglied PT_t -Glieder	
proportional wirkende Strecke mit Verzögerung (Ausgleich) 1. Ordnung Beispiel: Strecke mit einem (zeitbestimmenden) Energiespeicher, z.B. Regelgröße Temperatur.	PT_1 -Glieder	
proportionale wirkende Strecke mit Verzögerung (Ausgleich) 2. Ordnung Beispiel: Strecke mit zwei in Reihe liegenden Energiespeichern.	PT_2 -Glieder	
Strecke mit Verzögerung (Ausgleich) höherer Ordnung (allgemein)	z.B. PT_1T_t -Glieder	

Tabelle 1: Übertragungsverhalten von Regelstrecken

2.2.2 Regelstrecken mit Ausgleich

Entspricht die Sprungantwort einer Regelstrecke mit Ausgleich höherer Ordnung der nachstehenden Abbildung 2-2, so kann das Verhalten der Regelstrecke mit dem folgenden Modell beschrieben werden:

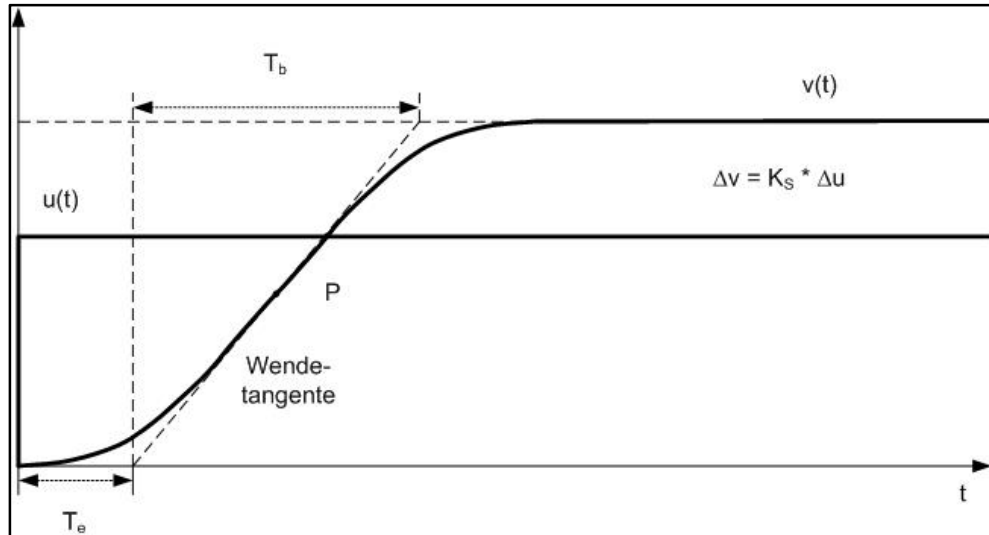


Abbildung 2-2: Wendetangentenverfahren

P	Wendepunkt
u(t)	Eingangsgröße
v(t)	Ausgangsgröße
K_S	Streckenverstärkungsfaktor
T_e	Verzugszeit / Ersatztotzeit
T_b	Ausgleichszeit

Diese Kenngrößen lassen sich auf einfachem Weg durch Anlegen der Wendetangente grafisch bestimmen.

Streckenverstärkung K_S

Wirkt auf eine Strecke mit Ausgleich eine konstante Eingangsgröße Δu , so stellt sich ein stationärer Endwert der Ausgangsgröße Δv ein:

$$\Delta v = K_S \times \Delta u$$

Damit ergibt sich K_S :

$$K_S = \frac{\text{Änderung Ausgangsgröße}}{\text{Änderung Eingangsgröße}} = \frac{\Delta v}{\Delta u}$$

Ausgleichszeit T_b

In diesem Modell ist die Ausgleichszeit die Zeit, die die Ausgangsgröße v für den Übergang vom Anfangswert zum neuen stationären Endwert benötigt unter der Annahme eines Verlaufs entlang der Wendetangente. Nach DIN 19226 wird dieser Wert auch mit T_g bezeichnet.

Verzugszeit T_e

Die Verzugszeit T_e ist die Zeit, die die Ausgangsgröße v für eine Reaktion auf den Sprung der Eingangsgröße u benötigt unter der Annahme eines Verlaufs der

Sprungantwort entlang der Wendetangente. Die Verzugszeit wird bestimmt durch Totzeit und Verzögerungsglieder der Strecke. In der Praxis ist es schwierig Totzeit T_t und Verzugszeit T_e getrennt zu bewerten, weshalb die Totzeit der Verzugszeit zugeordnet wird. So wird T_e auch als Ersatztotzeit bezeichnet. Nach DIN 19226 wird dieser Wert auch mit T_u bezeichnet.

Regelbarkeit der Strecke, Schwierigkeitsgrad

Die Zeitkonstanten T_b und T_e sind Kenngrößen für die Trägheit der Strecke bis zum Erreichen des stationären Endwertes nach dem Anlegen des Sprungs am Eingang der Strecke. Sie kennzeichnen die Dynamik eines Systems und die Regelbarkeit der Strecke. Für die Regelbarkeit der Strecke wird auch der Begriff "Schwierigkeitsgrad" verwendet. Er berechnet sich aus dem Verhältnis von Verzugszeit T_e zu Ausgleichszeit T_b , siehe auch Kapitel 5.1.1.

2.2.3 Strecken ohne Ausgleich

Regelstrecken ohne Ausgleich sind Strecken mit integrierendem Verhalten. Anstelle der Wendetangente wird eine Asymptote an die Sprungantwort angelegt.

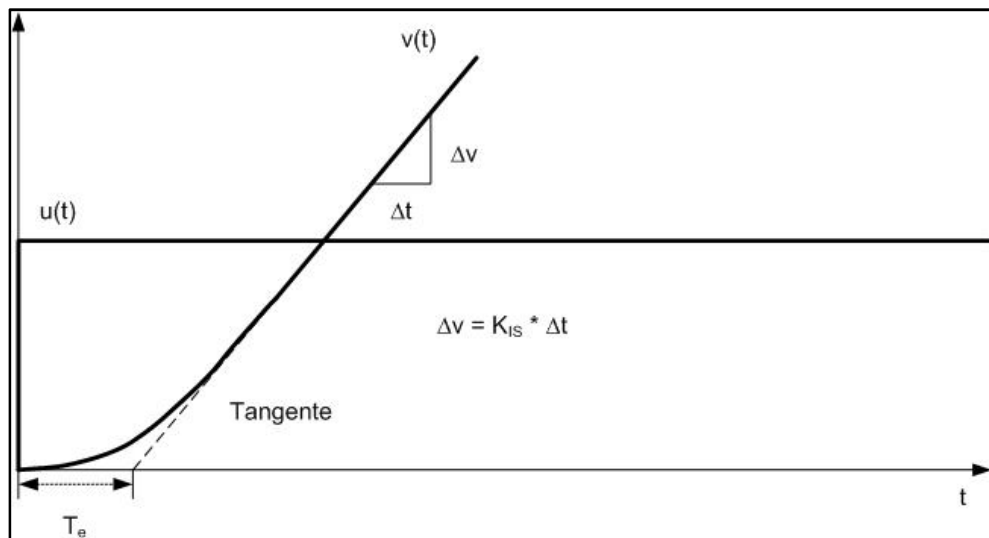


Abbildung 2-3: Modellierung der Strecke ohne Ausgleich

$u(t)$	Eingangsgröße
$v(t)$	Ausgangsgröße
K_{IS}	Integrierbeiwert
T_e	Verzugszeit

Integrierbeiwert K_{IS}

Die Steigung der Tangente stellt den Integrierbeiwert der Strecke K_{IS} dar. K_{IS} wird auch als Übertragungsbeiwert der Strecke ohne Ausgleich bezeichnet. Die Steigung lässt sich grafisch durch Messen der Koordinatenabschnitte ermitteln.

K_{IS} ergibt sich aus:

$$K_{IS} = \frac{\text{Änderung Ausgangsgröße}}{\text{Änderung Zeit}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Verzugszeit T_e

Aus dem Schnittpunkt der Tangente (Asymptote) mit der Zeitachse ergibt sich die Verzugszeit T_e . Die Verzugszeit enthält auch die Totzeit der Strecke.

2.2.4 Praktische Ermittlung der Streckengrößen

Zur Ermittlung der Streckenverstärkung und der Streckenzeitkonstanten betreibt man den Umrichter ohne Technologieregler im gesteuerten Betrieb. Aus einem stabilen Betriebspunkt heraus wird ein Sollwertsprung z.B. über die Festsollwerte auf das System gegeben und die Reaktion der Strecke aufgezeichnet.

2.3 Stellglied, Stelleinrichtung, Stellantrieb

Der Regler steuert meist nicht direkt die Regelstrecke, sondern eine Stelleinrichtung. Die Stelleinrichtung ist eine (elektro-) mechanische Einrichtung, die aus dem Ausgangssignal des Reglers die Stellgröße bildet, die auf die Regelstrecke wirkt.

Wird die von der Stelleinrichtung benötigte Hilfsenergie von außen zugeführt, bezeichnet man diese auch als Stellantrieb. Die Stelleinrichtung kann in die Komponenten Stellantrieb und Stellglied untergliedert werden, oft wird aber auch die gesamte Stelleinrichtung nur als Stellglied bezeichnet.

2.4 Messeinrichtung, Messglied

Die Messeinrichtung besteht aus Sensoren, die aus der Regelgröße (Istwert) die Rückführgröße für den Regler als normierten Wert bereitstellen.

2.5 Regler

2.5.1 Übersicht

Der Regler ermittelt aus Soll- und Istwert die Regeldifferenz (Sollwertabweichung) und formt die Stellgröße so, dass Sollwertänderungen und Störungen, die auf die Regelstrecke einwirken, in der gewünschten Weise ausgeglichen werden.

Das dynamische Verhalten der Regler entspricht dem Übertragungsverhalten von Übertragungsgliedern der Regelstrecke und deren Kombinationen.

Oft verwendete Reglertypen sind

- P-Regler - proportional wirkend
- PI-Regler - proportional-integrierend wirkend
- PID-Regler - proportional-integrierend-differenzierend wirkend

Hinweis

Der Technologieregler des SINAMICS G120 ist ein stetiger linearer PID-Regler. Auf nichtlineare Regelungen mit Fuzzy-Regler, adaptiven Reglern, Extremwertreglern, und nicht stetigen Regelungen mit Zwei- und Dreipunktreglern wird im Weiteren nicht eingegangen.

2.5.2 Reglertypen

P-Regler (Proportionalregler)

Die Stellgröße y ist immer proportional zur erfassten Regeldifferenz. Das führt zu einer schnellen Stellwirkung. Eine Stellgröße wird nur bei vorliegender Regelabweichung erzeugt, es erfolgt somit keine Arbeitspunkteinstellung. Ständig einwirkende Störgrößen lassen sich nie vollständig ausregeln und führen zu einer bleibenden Regelabweichung. Ein großes K_P bewirkt kleinere Regelabweichung, führt aber zur größeren Schwingungsneigung.

I-Regler (Integralregler)

Regelabweichungen werden in jedem Arbeitspunkt vollständig ausgeregelt. Es erfolgt ein Nachregeln der Stellgröße bis die Regelabweichung Null wird. Im ausgeregelten Zustand (Regeldifferenz = 0) bleibt die Stellgröße des I-Reglers auf ihrem Wert, was mit einer automatischen Arbeitspunkteinstellung vergleichbar ist.

D-Regler (Differentialregler)

Die Stellgröße y wird aus der Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz gebildet. Der Regler reagiert deshalb schneller als der P-Regler, schon kleine Regeldifferenzen führen zu großen Stellgrößen. Auf eine konstante Regelabweichung reagiert der D-Regler nicht. Deshalb wird er praktisch nur in Reglerkombinationen eingesetzt.

PD-Regler

Diese Kombination hat eine höhere Regeldynamik als der P-Regler. Die Schwingungsneigung des Regelkreises wird durch die stabilisierende Wirkung des D-Anteils verringert. Damit kann K_P größer gewählt werden, woraus eine Verringerung der bleibenden Regelabweichung folgt.

PI-Regler

Dieser Regler kompensiert die Nachteile des P- und I-Reglers. Er ist ein stabiler und schneller Regler ohne bleibende Regelabweichung.

PID-Regler

Mit dem PID-Regler ist eine höhere Regeldynamik als beim PI-Regler erreichbar. Bevorzugter Einsatz bei Strecken mit großen Verzögerungen (träge Regelstrecken) und bei hohen Dynamikanforderungen.

2.5.3 Regelparameter für das dynamische Verhalten

Der PID-Regler formt die Stellgröße durch Überlagerung der proportional, integrierend und differenzierend wirkenden Anteile. Das dynamische Verhalten des Reglers bei einem Sprung der Eingangsgröße ist in Abbildung 2-4 dargestellt.

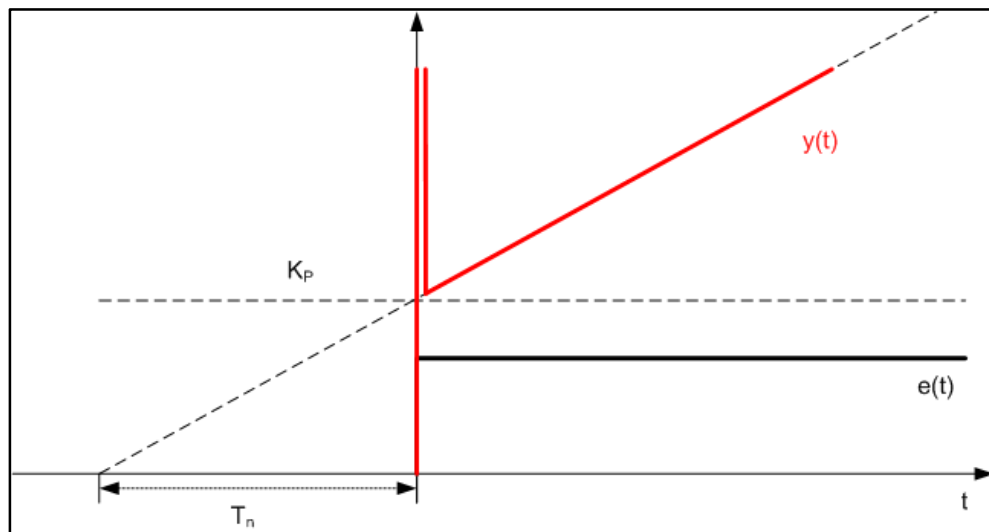


Abbildung 2-4: Dynamisches Verhalten des PID-Reglers

e(t)	Eingangsgröße
y(t)	Ausgangsgröße
K_P	Proportionalverstärkung
T_i	Nachstellzeit
T_d	Vorhaltzeit

Proportionalverstärkung K_P

Die Proportionalverstärkung K_P kennzeichnet den proportional wirkenden Anteil des Reglers. Die Stellgröße y ist immer proportional zur Regeldifferenz e (Führungsgröße e minus Rückführgröße r).

Es gilt die Beziehung

$$y(t) = K_P \times e(t)$$

Veränderungen von K_P wirken wie folgt auf den Regelkreis:

- K_P (p2280) verkleinern führt zu einem stabileren, aber trägeren Verhalten.

Nachstellzeit T_i

Die Nachstellzeit T_i kennzeichnet den integrierend wirkenden Anteil des Reglers. Die Stellgröße y wird gebildet durch zeitliche Integration der Regeldifferenz e mit einer Gewichtung durch die Nachstellzeit T_i .

Es gilt die Beziehung

$$y(t) = \frac{1}{T_i} \times \int_{t_0}^t e(t) \times dt$$

Veränderungen von T_i wirken wie folgt auf den Regelkreis:

- T_i vergrößern bedeutet den I-Anteil zu verkleinern. Das führt zu einem stabileren, aber trägeren Verhalten.

Vorhaltzeit T_d

Die Vorhaltzeit T_d kennzeichnet den differenzierend wirkenden Anteil des Reglers. Die Stellgröße y wird gebildet aus der Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz e mit einer Gewichtung durch die Vorhaltzeit T_d .

Es gilt die Beziehung

$$y(t) = T_d \times \frac{d}{dt} e(t)$$

Als Sprungantwort liefert ein D-Glied theoretisch eine Stoßfunktion unendlicher Größe, real kommt eine Verzögerung in Form eines PT₁-Gliedes hinzu. Dadurch hat die Sprungantwort einen endlichen Maximalwert und klingt nach einer e-Funktion auf null ab. Ein linearer Anstieg der Regeldifferenz liefert eine konstante Stellgröße.

Veränderungen von T_d wirken wie folgt auf den Regelkreis:

- T_d vergrößern bedeutet den D-Anteil vergrößern. Beim Regelvorgang erkennt der D-Anteil die steigende Differenz von Führungsgröße und Istwert und gibt unmittelbar eine Stellgröße aus, die zum P-Anteil addiert wird. Die Größe dieses zusätzlichen Stellgrades ist abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz. Somit wird die Dynamik des Regelkreises erhöht.
- Beim Technologieregler des SINAMICS G120 kann der D-Anteil wahlweise mittels p2263 in den Kanal der Regeldifferenz oder des Istwertes geschaltet werden. Damit kann das Verhalten des Regelkreises auf gutes Führungsverhalten bzw. gutes Störverhalten optimiert werden.

3 Der Technologieregler des SINAMICS G120

3.1 Einzelmodule

Der Technologieregler ist hochkonzentriert im Funktionsplan 7958 der Parameterliste abgebildet. Um die Funktionen verständlicher zu machen, werden die einzelnen Teile separat beschrieben.

Zum Regeln von Prozessgrößen wird der Technologieregler als Hauptsollwert für den Frequenzumrichter verwendet. Dazu ist der Parameter p2251 auf 0 „Technologieregler als Drehzahl-Hauptsollwert“ zu setzen. Weiterhin muss der Technologieregler über Parameter p2200 freigegeben werden.

3.1.1 Sollwertvorgabe

Es lassen sich praktisch alle möglichen Varianten der Sollwertvorgabe als Führungsgröße einsetzen

- Analoge Sollwerte über die analogen Eingänge
- Serielle Sollwerte über die Prozessschnittstelle
- Festsollwerte binär und dezimal codiert
- Motorpotenziometer

Analoge Sollwertvorgabe

Zur Sollwertvorgabe mittels analoger Werte 0 ... 10V oder 0/4 .. 20mA können je nach verwendetem Umrichter und CU-Baugruppe bis zu drei analoge Eingänge verwendet werden. Die entsprechenden Ausgänge der analogen Eingänge werden in die Sollwerte 1 und 2 des Technologiereglers eingetragen.

Serielle Sollwertvorgabe über die Prozessschnittstelle

Je nach Telegrammlänge und Vorbelegung des verwendeten Protokolls können die Daten des PZD2 bis PZD8 als Sollwert für den PID-Regler verwendet werden.

Festsollwerte Binärauswahl

Durch Anwahl der vier Parameter p2220, p2221, p2222, und p2223 lassen sich bis zu 15 verschiedene Technologiesollwerte p2201 bis 2215 im Bereich +/- 200% anwählen. Die Festsollwerte können nur einzeln angewählt und nicht kombiniert werden.

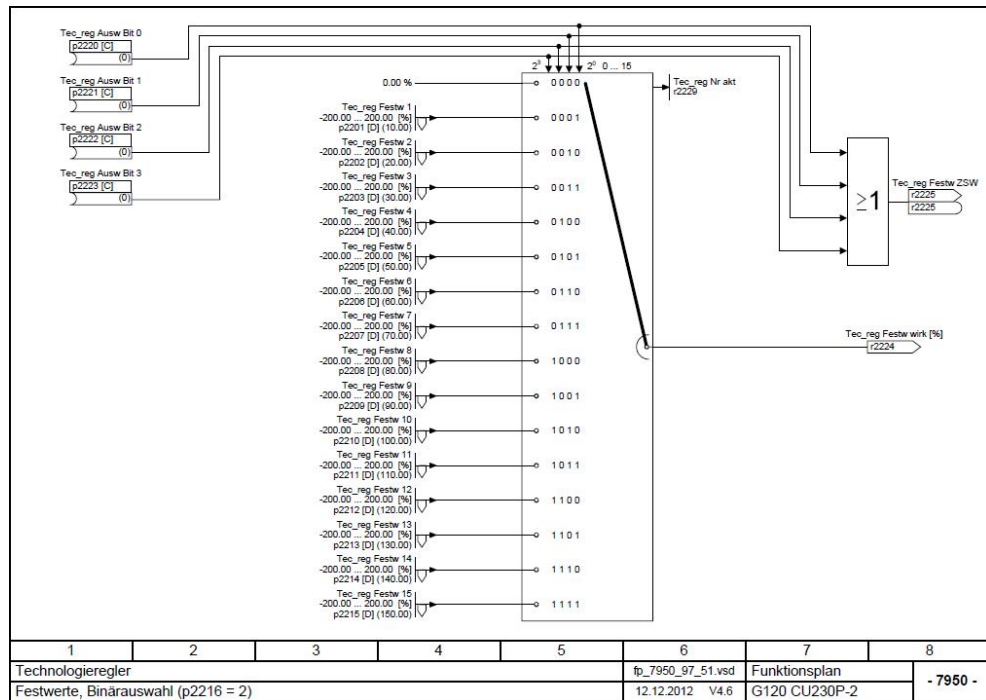


Abbildung 3-1: Funktionsplan Festsollwerte Technologieregler Binärauswahl

Festsollwerte Direktanwahl

Durch Anwahl der vier Parameter p2220, p2221, p2222, und p2223 lassen sich 4 verschiedene Technologiesollwerte p2201 bis 2204 im Bereich +/- 200% anwählen. Die Festsollwerte können beliebig miteinander kombiniert werden.

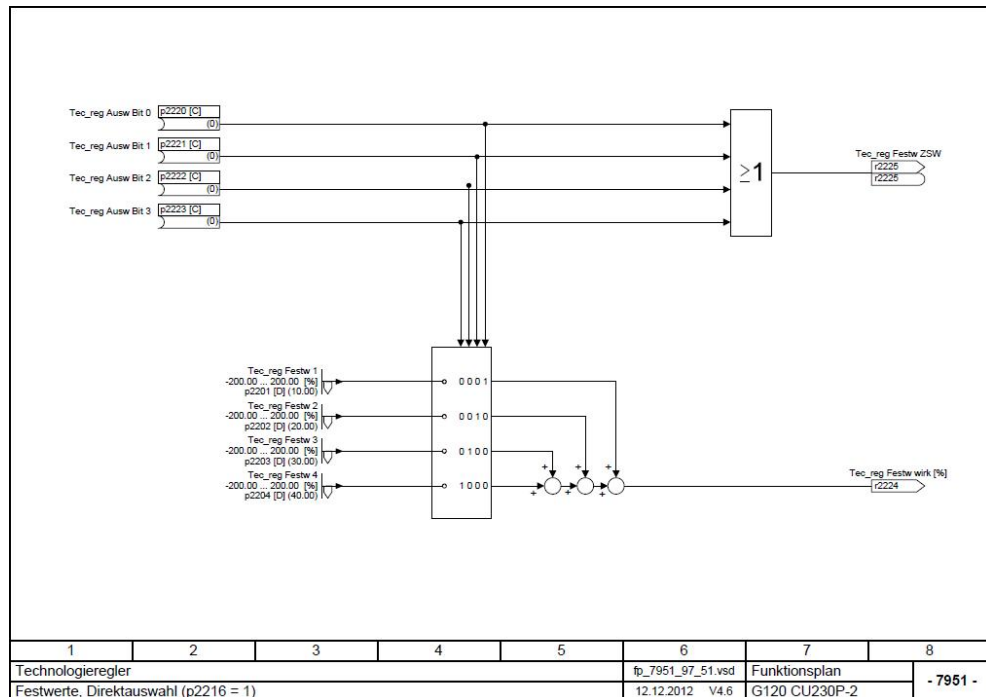


Abbildung 3-2: Funktionsplan Festsollwerte Technologieregler Direktanwahl

Motorpotenziometer

Der Technologieregler besitzt sein eigenes Motorpotenziometer, das über Höher- und Tiefer-Taster angesteuert werden kann.

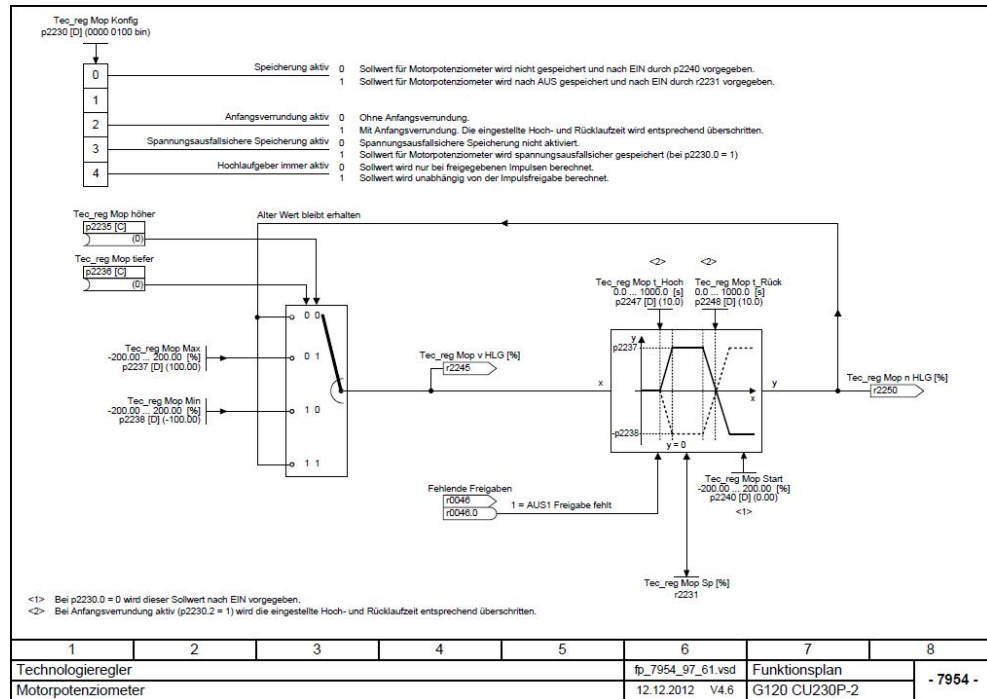


Abbildung 3-3: Funktionsplan Technologieregler Motorpotenziometer

3.1.2 Sollwertkanal

Der Sollwertkanal des Technologiereglers besteht aus einem Summationspunkt von Technologiesollwert 1 und 2, einem Hochlaufgeber, und einem Filter für das Sollwertsignal. Beide Technologiesollwerte können im Bereich 0 ... 100% skaliert werden. Der Hochlaufgeber besitzt separat einstellbare Rampen für die Hoch- und Rücklaufzeit im Bereich von 0.00 ... 650.00sec. Der Filter kann im Bereich 0.00 ... 60.00sec eingestellt werden. Mit dem Beobachtungsparameter r2262 lässt sich das gesamte gefilterte Sollwertsignal ansehen.

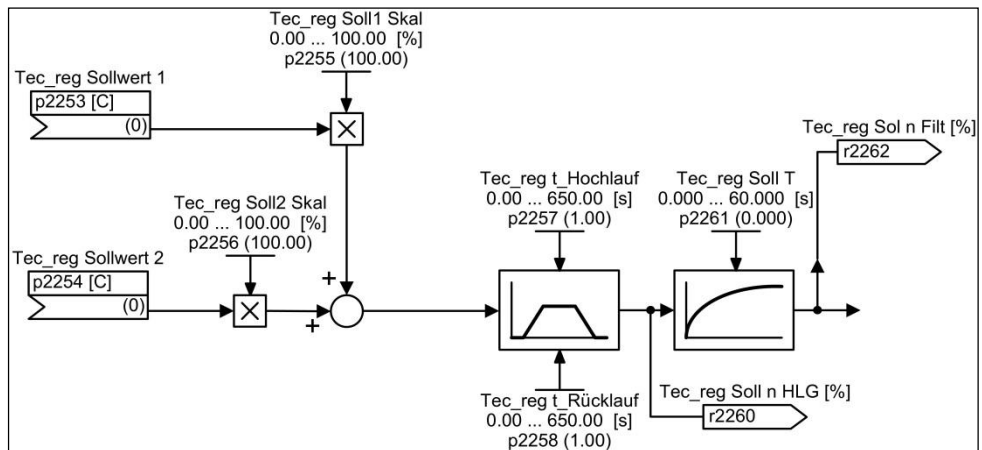


Abbildung 3-4: Sollwertkanal des Technologiereglers

3.1.3 Istwertkanal

Rückführgrößen für den Technologieregler werden typischerweise über analoge Eingänge eingelesen. Je nach verwendetem Umrichter und CU-Baugruppe können bis zu 4 analoge Eingänge verwendet werden.

SINAMICS G120C:

- 1 analoger Eingang AI0

SINAMICS G120 modular:

- Control Unit CU240B-2 – 1 analoger Eingang AI0
- Control Unit CU240E-2 – 2 analoge Eingänge AI0 und AI1
- Control Unit CU250S-2 - 2 analoge Eingänge AI0 und AI1

SINAMICS G120P:

- Control Unit CU230P-2 – 4 analoge Eingänge AI0 ... AI3, wobei AI3 nur für den direkten Anschluss von Temperatursensoren NI1000/Pt1000 vorgesehen ist.

Die Ausgänge der analogen Eingangsmodule werden in p2264 eingetragen und dadurch mit dem Istwertkanal verbunden. Im nachfolgenden Istwertfilter kann das Istwertsignal mit einer Zeitkonstanten p2265 im Bereich von 0.000 bis 60.000sec geglättet werden. Der Begrenzungsbaustein begrenzt das Istwertsignal im Standard auf -100 ... +100%, bei Überschreitung wird eine Fehlermeldung durch das Statuswort des Technologiereglers ausgegeben.

Istwertsignale, die nicht die volle Amplitude erreichen, können mit Parameter p2269 angepasst werden.

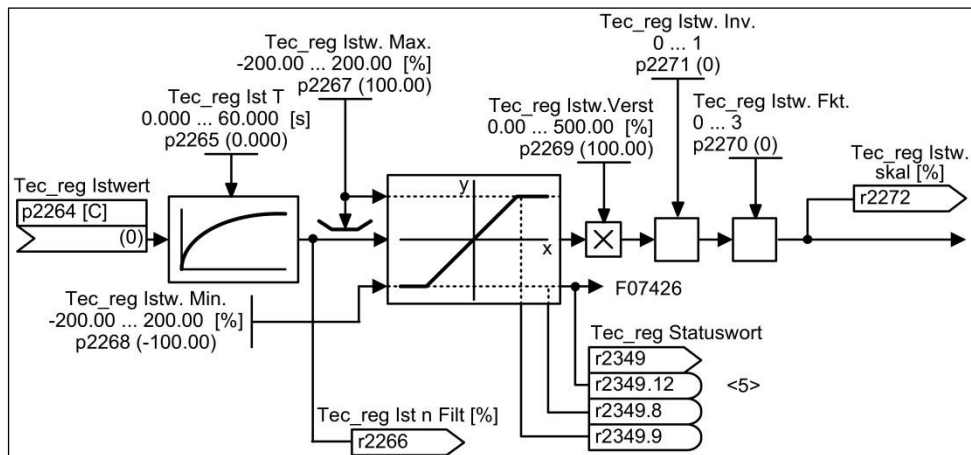


Abbildung 3-5: Istwertkanal des Technologiereglers

Modifikation des Istwertes

Eine Modifikation des Istwertes kann durch den Parameter p2270 „Technologieregler Istwert Funktion“ vorgenommen werden.

Parameter	Wert	Bemerkung
p2270	0	Keine Funktion keine Wirkung auf den Istwert
	1	Wurzelfunktion \sqrt{x}
	2	Quadratfunktion x^2
	3	Kubikfunktion x^3

Die Wurzelfunktion wird zum Beispiel angewendet, wenn ein Druckgeber zur Durchflussmessung (Stauraohr, Staudrucksonde) eingesetzt wird.

$$\text{Durchfluss} = k \times \sqrt{\text{Druck}}$$

Bei der Durchflussmessung im Lüftungskanal wird die Konstante k durch den Kanalquerschnitt und den Luftdichtefaktor bestimmt.

Die Quadrat- und Kubikfunktion ist für vergleichbare Spezialfälle vorgesehen und dient zur Linearisierung des Istwertes.

3.1.4 Technologieregler

Der letztendliche Sollwert für den Technologieregler ist in Parameter r2262 abzulesen, der entsprechende Istwert in Parameter r2272. Nach dem Summationspunkt von Soll- und Istwert wird mittels Parameter p2306 ausgewählt, ob der Regelsinn des Prozesses normal oder invers ist.

Normaler/Inverser Regelsinn

Pumpen, Lüfter und Kompressoren können nur in eine Richtung fördern. Aus diesem Grunde ist das Verhalten des Reglers an die technologische Aufgabenstellung und den Einbauort des Aggregates anzupassen.

Wenn mit zunehmender positiver Sollwertabweichung (Regeldifferenz $e = \text{Führungsgröße } w - \text{Rückführgröße } r$) die Förderleistung des Aggregates erhöht werden muss, liegt ein normaler oder direkter Regelsinn vor.

Wenn andererseits bei einem Istwert, der den Sollwert übersteigt, die Förderleistung zu erhöhen ist, liegt ein inverser Regelsinn vor.

Die Invertierung des Regelsinns wird einfach durch Vorzeichenumkehr der Regeldifferenz (Regeldifferenz $e =$ Rückführgröße $r -$ Führungsgröße w) erreicht. Durch die Invertierung wird der Sollwert vom Istwert subtrahiert.

Die Regeldifferenz wird beim G120 als "Technologieregler Fehler" (r2273) bezeichnet. Die Invertierung der Regeldifferenz erfolgt mit dem Parameter p2306 "Technologieregler Fehlersignal Invertierung".

Nachfolgende Beispiele veranschaulichen den Regelsinn.

Normaler Regelsinn

Beispiel: Eine Pumpe füllt einen Behälter, z.B. Trinkwasserspeicher, und wird auf einen bestimmten Füllstand geregelt. Solange der Füllstand kleiner ist als die Führungsgröße w , fördert die Pumpe, ist die Führungsgröße w erreicht oder überschritten, wird die Regeldifferenz e negativ und der Antrieb bleibt stehen.

Der Antrieb läuft, solange die Führungsgröße w größer ist als die Rückführgröße r , d.h. Führungsgröße $w -$ Rückführgröße $r =$ Drehzahl Pumpe/Lüfter. Wenn die Rückführgröße r gleich oder auch größer ist als die Führungsgröße w , läuft der Antrieb auf Minimaldrehzahl und wird eventuell durch den Schlafmodus abgeschaltet.

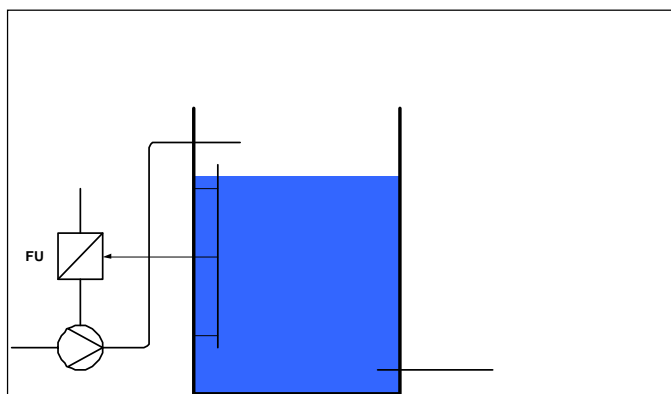


Abbildung 3-6: Normaler Regelsinn mit Pumpe im Zulauf

Inverser Regelsinn

Beispiel: Eine Pumpe leert einen Behälter, z.B. ein Regenwasserauffangbecken. Solange das Becken leer ist bzw. ein gewisser Pegel nicht erreicht ist, ist die Regelabweichung definitionsgemäß positiv (Regeldifferenz = Sollwert minus Istwert), aber die Pumpe muss stehen. Steigt der Füllstand über den zulässigen Sollwert an, wird die Regelabweichung negativ, aber die Pumpe muss anlaufen und das Becken leeren. Um dieses Regelverhalten zu erreichen, wird das Vorzeichen der Regelabweichung negiert.

Der Antrieb läuft, solange die Rückführgröße r größer ist als die Führungsgröße w , d.h. Regeldifferenz $e =$ Rückführgröße $r -$ Führungsgröße $w =$ Drehzahl Pumpe/Lüfter. Wenn die Rückführgröße r gleich oder auch kleiner ist als die Führungsgröße w , läuft der Antrieb auf Minimaldrehzahl und wird eventuell durch den Schlafmodus abgeschaltet.

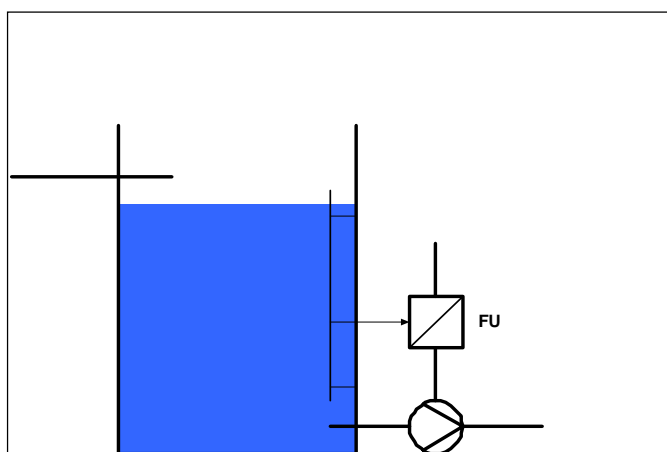


Abbildung 3-7: Beispiel Inverser Regelsinn mit Pumpe im Ablauf

Reglerparameter

Mittels Parameter p2263 kann festgelegt werden, ob ein eventuell aktiver D-Anteil auf die gesamte Regelabweichung oder nur auf die Rückführgröße wirkt. Wenn der D-Anteil nur auf die Rückführgröße wirkt, werden größere Sollwertänderungen davon nicht betroffen. Die Reglerparameter Td, Kp, und Ti werden über p2274, p2280 und p2285 eingegeben.

Sperren des I-Anteils

Mit dem Parameter p2286 „Technologieregler Integrator anhalten“ wird die Signalquelle für das Sperren des Integrators vom Technologieregler eingestellt.

Der I-Anteil Reglers wird gesperrt, um den so genannten Wind-Up-Effekt zu verhindern. Auch wenn sich der Reglerausgang in der Begrenzung befindet, integriert der I-Anteil des Reglers eine positive Regelabweichung weiter auf, der Ausgangswert des Integrators wird intern weiter erhöht. Wenn nun im weiteren Verlauf die Rückführgröße die Führungsgröße überschreitet, die Regelabweichung negativ wird, sollte die Stellgröße verringert werden. Der Integrator baut nun seine Stellgröße ab, liegt aber zunächst weiterhin oberhalb der Stellgrößenbegrenzung. Daraus folgt ein starkes Überschwingen des Istwertes. Dieser Effekt kann durch Sperrung des I-Gliedes vermieden werden. Der I-Regler arbeitet damit nur im Arbeitsbereich der Stellgröße. Durch Verdrahtung des Signals r2349.1 „Technologieregler in der Begrenzung“ zusätzlich zum Signal r0056.13 „Strom-/Drehmomentenbegrenzung“ in den Parameter p2286 „TechReg_Integrator Stop“ kann verhindert werden, dass der Integrator bei Erreichen der Strom-/Momentenbegrenzung und der maximalen Drehzahl weiter integriert.

Parameter	Wert	Bemerkung
p20046[0]	0056.13	OR 0 Eingang 0
P20046[1]	2349.1	OR0 Eingang 1
P20048	1	Ablaufgruppe 1
P20049	60	Ablaufreihenfolge
P2286	20047	Eingang TechReg Integrator Stop

Hinweis

Die Verschaltung mehrerer Funktionen auf den Integrator Stop ist nur bei SINAMICS G120 mittels der freien Funktionsbausteine möglich, bei SINAMICS G120C ist dies nicht möglich.

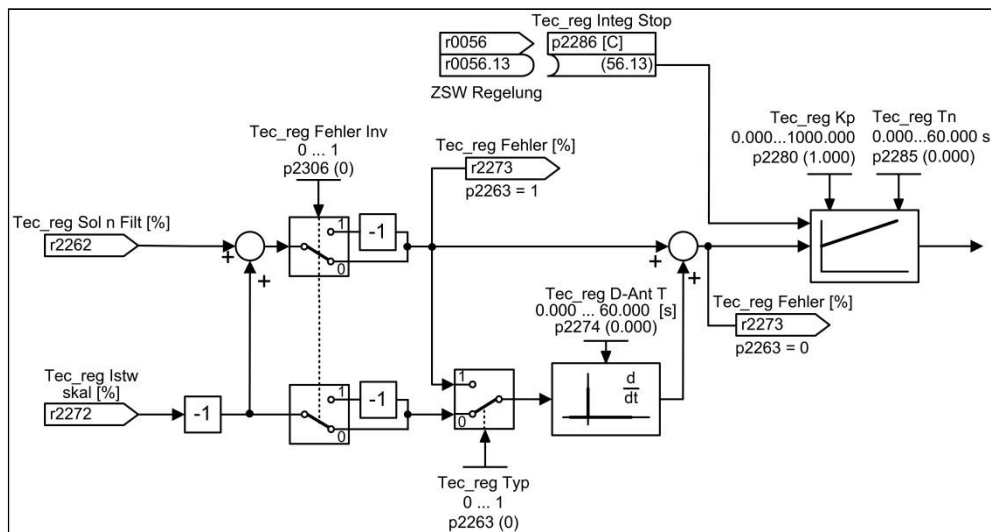


Abbildung 3-8: Funktionsplan Technologieregler

3.1.5 Begrenzung, Freigabe, und Ausgangsverschaltung

Der Ausgang des PID-Reglers wird auf einen oberen und einen unteren Wert begrenzt. Diese Grenzwerte lassen sich als Drehzahlwerte eingeben, können alternativ aber auch als Prozentwerte eingegeben werden. Beim Einschalten des Umrichters bzw. bei Freigabe des Technologiereglers befinden sich die Begrenzungen auf null, über einen Hochlaufgeber mit einstellbarer Rampe werden die Begrenzungen auf die vorgesehenen Maximal- und Minimalwerte gefahren.

Parameter	Wert	Bemerkung
p2293	0,00 ... 100,00s	Hoch-Rücklauf rampe Begrenzungen
p2297	r1084 p2291	Obere Begrenzung durch maximale Drehzahl Obere Begrenzung durch Festwert in %
p2298	r1087 p2292	Untere Begrenzung durch minimale Drehzahl Untere Begrenzung durch Festwert in %

Technologieregler Fehlerreaktion

Für den Fall, dass der Istwert in die Begrenzung geht, kann eine Fehlerreaktion für den Technologieregler aktiviert werden. Es besteht die Möglichkeit, entweder auf den drehzahlgeregelten Betrieb ohne PID-Regler umzuschalten, weiterhin kann auf einen frei wählbaren Sollwert umgeschaltet werden.

Parameter	Wert	Bemerkung
p2345	0	Funktion gesperrt
	1	Bei Fehler: Umschalten auf r2344 (oder p2302)
	2	Bei Fehler: Umschalten auf Festsollwert p2215

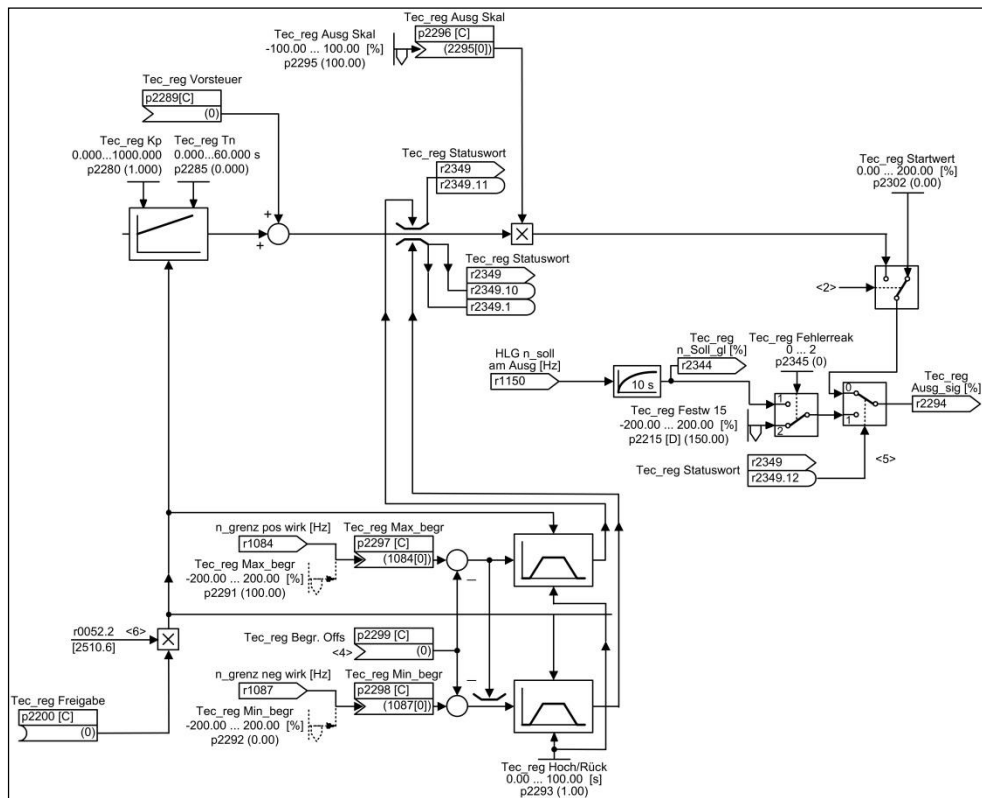


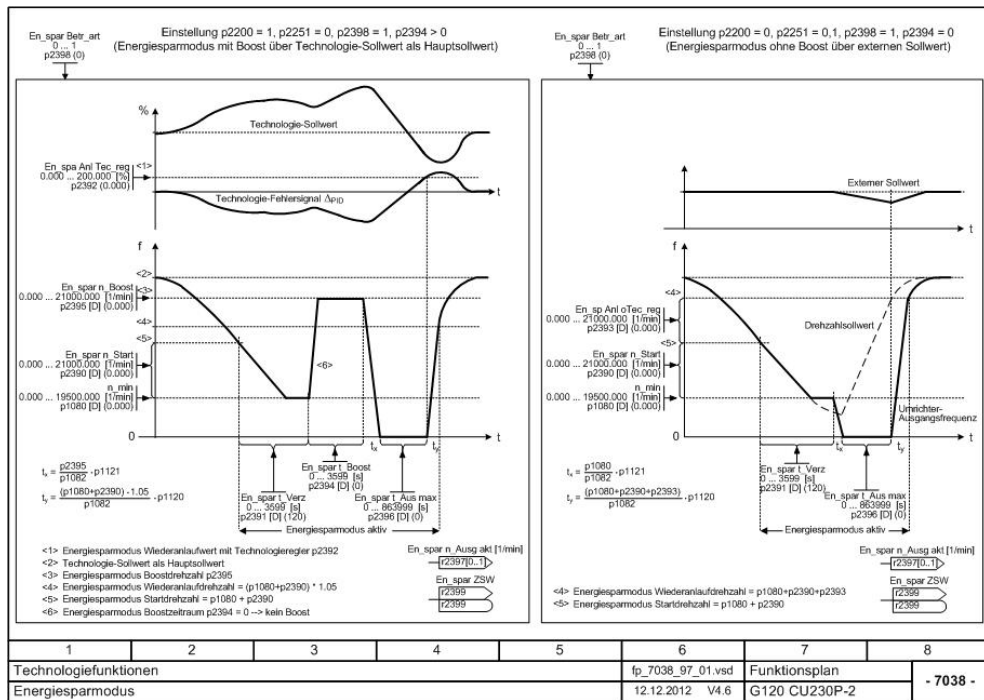
Abbildung 3-9: Funktionsplan Begrenzung des Technologiereglers

An r2294 wird abschließend das Ausgangssignal des PID-Reglers in den Sollwertkanal des Umrichters gegeben.

4 Besondere Funktionen der Control Unit CU230P-2

4.1 Schlafmodus

Der Schlafmodus sorgt dafür, dass der Frequenzumrichter abgeschaltet wird, wenn er aus Sicht des Technologiereglers nicht benötigt wird. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Regelabweichung r2277 negativ ist. Im Falle eines normalen Regelsinnes ist dann der Istwert höher als der Sollwert (in einem Behälter ist der Füllstand höher als geplant, in einem Druckbehälter der Druck höher als notwendig), bei einem inversen Regelsinn ist der Istwert niedriger als der Sollwert (der Füllstand in einem Regenauffangbecken ist unterhalb der Minimalhöhe). Durch die negative Regelabweichung integriert der Ausgang des Technologiereglers nach Null, der Antrieb fährt auf Minimaldrehzahl. Nach einer einstellbaren Zeit kann der Frequenzumrichter abgeschaltet werden. Der Technologieregler bleibt weiterhin aktiv, sobald die Regeldifferenz wieder positive Werte erreicht, wird der Umrichter wieder zugeschaltet.



Copyright © Siemens AG 2014 All rights reserved

4.2 Mehrzonenregelung

Eine Mehrzonenregelung liegt vor, wenn der Technologieregler mehrere Soll- und Istwerte auf ein gemeinsames Optimum ausregeln soll.

Bei diese Regelungsart werden in Summe maximal zwei Soll- und bis zu 4 Istwerte berücksichtigt. Die Limitierung resultiert aus der Anzahl der Analogeingänge (r0755[0...2], AI0 bis AI3) der CU320P-2.

Für die Mehrzonenregelung sind drei Regelungsvarianten einstellbar:

- Ein Sollwert und ein, zwei oder drei Istwerte mit Istwertaufbereitung als Mittelwert, Maximalwert oder Minimalwert

- Zwei Soll-/Istwertpaare als Höchstwertregelung (Kühlen)
- Zwei Soll-/Istwertpaare als Mindestwertregelung (Heizen)

Zusätzlich ist eine Tag- und Nachtumschaltung einstellbar

Über die Tag-/Nachtumschaltung können für bestimmte Zeiten andere Sollwerte vorgegeben werden. Die Steuerung der Tag-/Nachtumschaltung kann z.B. über ein externes Signal oder über freie Bausteine und Echtzeituhr erfolgen.

Die Konfiguration der Mehrzonenregelung erfolgt über die drei Parameter

- p31020 Mehrzonenregelung Verschaltung (d.h. Aktivierung / Deaktivierung)
- p31021 Mehrzonenregelung Konfiguration (Wahl der Regelungsvariante)
- p31022 Mehrzonenregelung Istwert-Aufbereitung

Durch Einstellen dieser Parameter findet eine Folgeparametrierung statt, so dass die aufbereiteten Werte der Analogeingänge 0 bis 3 auf den Soll- und Istwerteingang des Technologiereglers gelegt werden, siehe Abbildung 4-1.

Nähere Erläuterungen zur Mehrzonenregelung finden Sie in der Betriebsanleitung SINAMICS G120 Frequenzumrichter mit den Control Units CU230P-2 HVAC, CU230P-2 DP, CU230P-2 CAN, 01/2011. Dort ist auch ein Beispiel für die Parametrierung einer Temperaturregelung in einem Großraumbüro mit drei Messstellen aufgeführt.

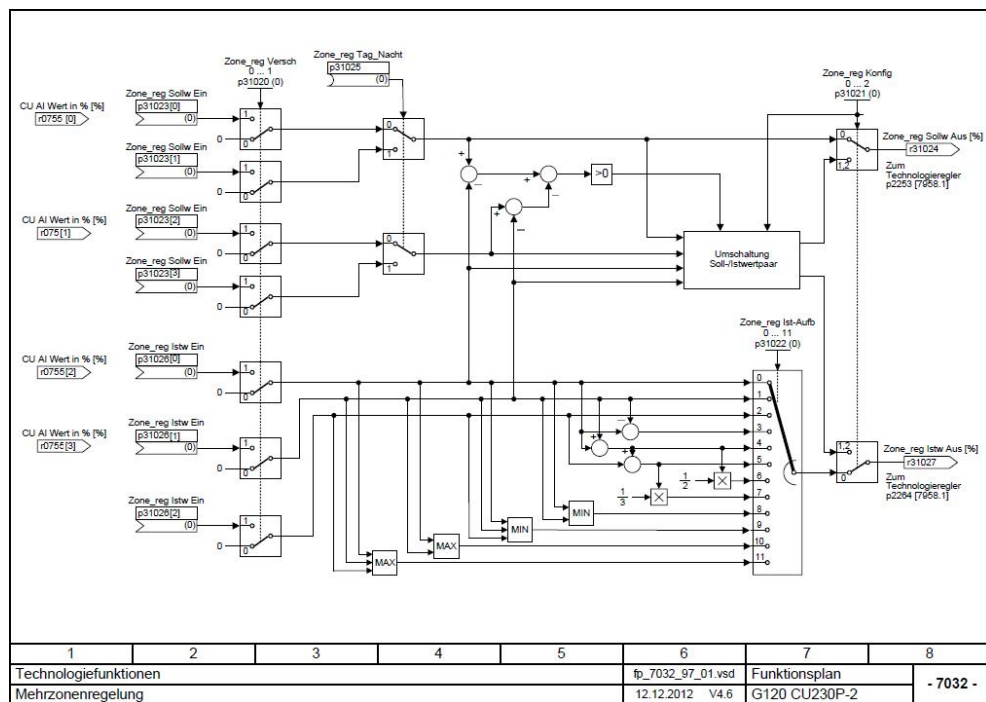


Abbildung 4-1: Mehrzonenregelung

4.3 Kaskadenregelung

Die Kaskadenregelung wird in Anwendungen eingesetzt, die lastabhängig den gleichzeitigen Betrieb von einem bis zu vier Motoren erfordern, um z. B. stark variierende Druckverhältnisse oder Durchflussmengen ausregeln zu können.

Die Kaskadenregelung besteht aus dem drehzahlgeregelten Hauptantrieb und bis zu drei weiteren Antrieben, die über Schütze oder Motorstarter entweder nach

einer festen Zuordnung oder abhängig von den Betriebsstunden zu- oder abgeschaltet werden.

Nähere Erläuterungen zur Kaskadenregelung finden Sie im der Betriebsanleitung Umrichter SINAMICS G120 mit den Control Units CU230P-2, 10/2013.

In der Applikation „Druckgeregelte Pumpen SINAMICS G120P_CU230P-2“, Beitrags-ID 43297279, finden Sie auch ein Makro für das Inbetriebnahme Tool STARTER, mit dem im geführten Dialog die Kaskadenschaltung für bis zu vier Pumpen parametrierbar werden kann.

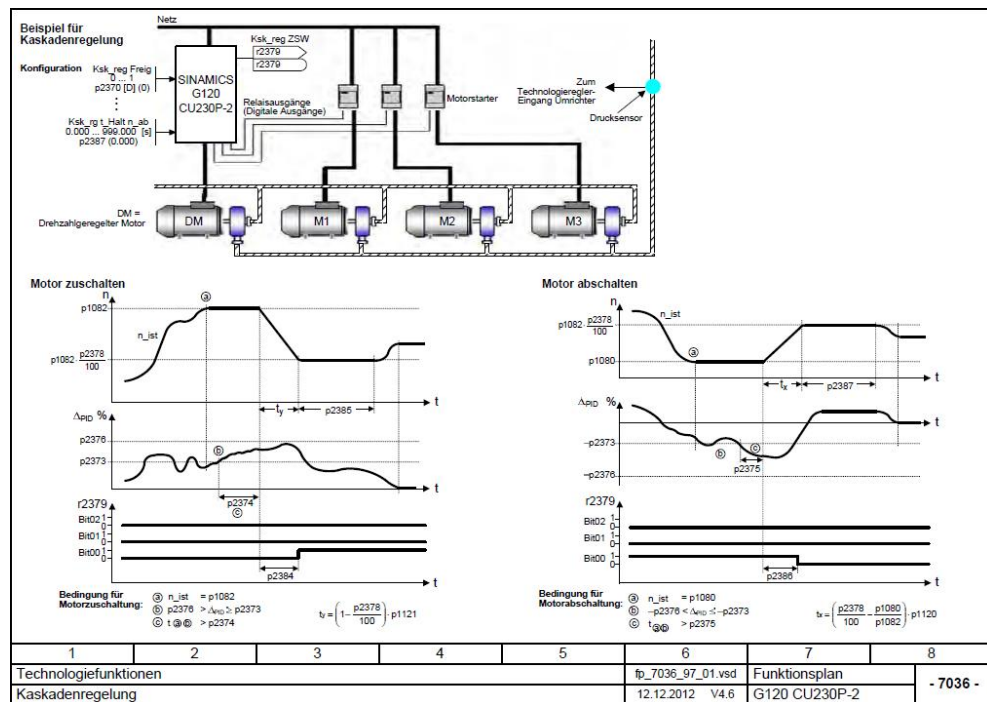


Abbildung 4-2: Funktionsdiagramm Kaskadenregelung

4.4 Freie Technologieregler

Die Control Unit CU230P-2 besitzt zusätzlich zu dem Technologieregler zur Drehzahlsteuerung drei weitere frei verschaltbare Technologieregler. Diese freien Technologieregler entsprechen im Wesentlichen dem Hauptregler, sie sind aber etwas einfacher aufgebaut. Diese freien Technologieregler können dazu verwendet werden, zusätzliche Prozessgrößen zu regeln. Beispielhaft ist eine Klimaanlage mit Heiz- und Kühlregister für die Luftaufbereitung. Der Hauptregler wird in diesem Fall die Drehzahl des Lüfterantriebes regeln, die zusätzlichen Technologieregler steuern über die beiden verfügbaren analogen Ausgänge die Kühlung bzw. die Heizung. Auf diese Weise können über den Kommunikationsanschluss des Frequenzumrichters mehrere Prozessgrößen geregelt werden. Durch die freie Verdrahtbarkeit lassen sich auch ablösende oder gegenseitig begrenzte Regler aufbauen.

4 Besondere Funktionen der Control Unit CU230P-2

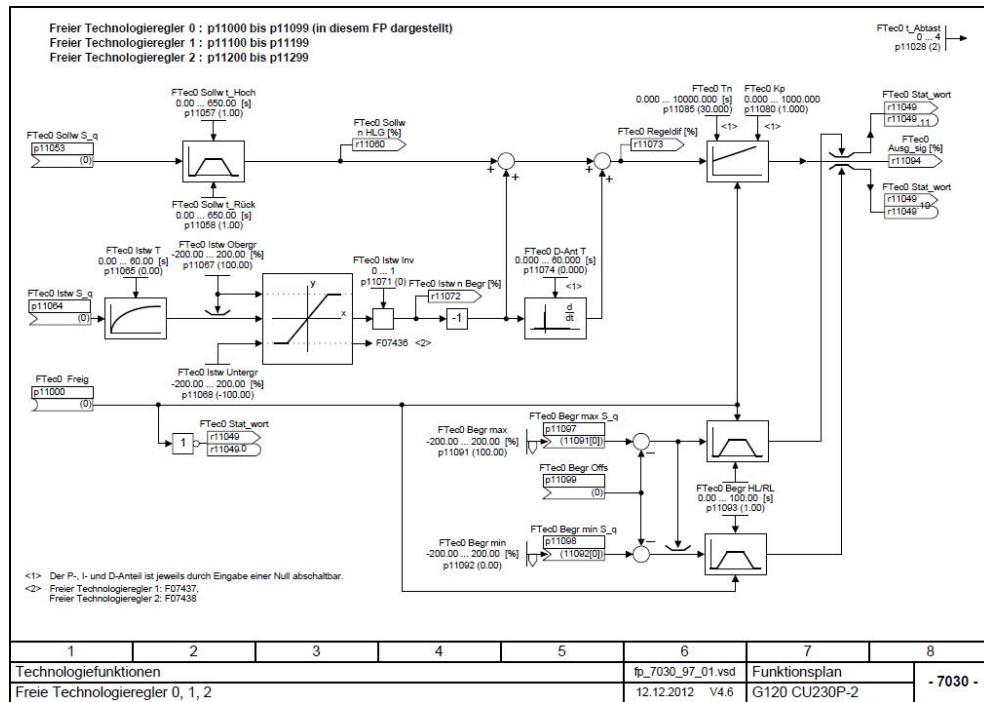


Abbildung 4-3: Funktionsplan freie Technologieregler

5 Einstellregeln für den Technologieregler

5.1 Praktische Regeln

5.1.1 Wahl eines geeigneten Reglers

Bei einer Regelstrecke mit Ausgleich höherer Ordnung kann zur Wahl eines geeigneten Reglertyps das Verhältnis von Ausgleichszeit T_G zur Verzugszeit T_U betrachtet werden:

Regelbarkeit der Strecke	T_b/T_e	Wahl des Reglers
gut regelbar	> 10	P-Regler
regelbar	10 ... 3	PI-Regler
schlecht regelbar	< 3	PID-Regler

Tabelle 5-1: Auswahl des geeigneten Reglers

5.1.2 Optimierung des Regelungsverhaltens

Für die Anpassung eines Reglers an eine Regelstrecke und die Optimierung des Regelungsverhaltens wurden mehrere Einstellregeln entwickelt.

Für die Optimierung nach Ziegler und Nichols gibt es einmal das Schwingungsverfahren für schnelle Regelstrecken, zum anderen für Regelstrecken höherer Ordnung mit Ausgleich die Optimierung nach dem Wendetangentenverfahren.

Die Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick sind eine Weiterentwicklung der Optimierungsmethode nach dem Wendetangentenverfahren von Ziegler und Nichols.

5.2 Optimierung nach Ziegler und Nichols

5.2.1 Schwingungsverfahren

Das Verfahren kann bei relativ schnellen Regelstrecken eingesetzt werden, z.B. Drehzahlregelstrecken, setzt aber voraus, dass der Regelkreis bewusst instabil gemacht werden kann.

Die Kennwerte werden am Stabilitätsrand des Regelkreises praktisch ermittelt. Der Regelkreis wird nur mit dem proportionalen Anteil des Reglers betrieben. Die Proportionalverstärkung des Reglers wird solange erhöht, bis der Regelkreis bei konstanter Führungsgröße eine Dauerschwingung mit der Periode T_{krit} bei der Reglerverstärkung $K_{P,krit}$ ausführt.

Ablauf

- Einstellung des Reglers als P-Regler, $T_d = 0$ und $T_i = \infty$. Die Parameter p2274 und p2285 sind auf null zu setzen
- Erhöhung von K_P (p2280) bis zur Stabilitätsgrenze $\rightarrow K_{P,krit}$. Die Regelgröße x beginnt bei $K_{P,krit}$ mit der Periodendauer T_{krit} zu schwingen

- Mit den Werten $K_{P\text{ krit.}}$ und $T_{\text{krit.}}$ werden die Reglerparameter K_P , T_n , T_V entsprechend der nachfolgenden Tabelle festgelegt

	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P	$0,50 \times K_{P\text{ krit.}}$		
PI	$0,45 \times K_{P\text{ krit.}}$	$0,83 \times T_{\text{krit.}}$	
PID	$0,60 \times K_{P\text{ krit.}}$	$0,50 \times T_{\text{krit.}}$	$0,125 \times T_{\text{krit.}}$

Tabelle 5-2: Reglereinstellung nach dem Schwingungsverfahren

Anmerkung: Tabellenwerte aus /1/.

5.2.2 Wendetangentenverfahren

Im zweiten Optimierungsverfahren nach Ziegler Nichols wird davon ausgegangen, dass eine Regelstrecke höherer Ordnung als Übertragungsglied erster Ordnung mit Totzeit (PT_1T_1 -Glied) näherungsweise beschrieben werden kann. Dazu müssen die nach dem Wendetangentenverfahren ermittelten Werte der Streckenverstärkung K_S , der Verzugszeit T_e und der Ausgleichszeit T_b bekannt sein. Diese Optimierungsmethode soll die kürzeste Ausregelzeit bei einem zulässigen Überschwingen der Regelgröße von ca. 20% erzielen. Die Einstellwerte können der Tabelle 5-3 entnommen werden.

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$1/K_S \cdot T_b/T_e$		
PI-Regler	$0,9/K_S \cdot T_b/T_e$	$3,33 \cdot T_e$	
PID-Regler	$1,2/K_S \cdot T_b/T_e$	$2 \cdot T_e$	$0,5 \cdot T_e$

Tabelle 5-3: Reglereinstellung nach dem Wendetangentenverfahren

Anmerkung: Tabellenwerte aus /1/.

5.3 Optimierung nach Chien, Hrones Reswick

Die Optimierung nach Chien, Hrones und Reswick bietet den Vorteil, dass die Reglerparameter alternativ für ein günstiges Störverhalten oder für ein günstiges Führungsverhalten festgelegt werden können. Weiterhin kann die Art des Einschwingens aperiodisch (ohne Überschwingen) oder mit einem Überschwingen von 20% festgelegt werden. Auch für dieses Optimierungsverfahren müssen die Werte der Streckenverstärkung K_S , der Verzugszeit T_e und der Ausgleichszeit T_b bekannt sein bzw. nach dem Wendetangentenverfahren ermittelt werden.

5.3.1 Strecken mit Ausgleich

Die Einstellwerte für die Reglerparameter sind in den nachfolgenden Tabellen angegeben.

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,3/K_S \cdot T_b/T_e$		
PI-Regler	$0,35/K_S \cdot T_b/T_e$	$1,2 \cdot T_b$	
PID-Regler	$0,6/K_S \cdot T_b/T_e$	T_b	$0,5 \cdot T_b$

Tabelle 5-4: Reglereinstellung – aperiodisch – günstiges Führungsverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,3/K_S \cdot T_b/T_e$		
PI-Regler	$0,6/K_S \cdot T_b/T_e$	$4 \cdot T_e$	
PID-Regler	$0,95/K_S \cdot T_b/T_e$	$2,4 \cdot T_e$	$0,42 \cdot T_e$

Tabelle 5-5: Reglereinstellung – aperiodisch – günstiges Störverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,7/K_S \cdot T_b/T_e$		
PI-Regler	$0,6/K_S \cdot T_b/T_e$	$1 \cdot T_b$	
PID-Regler	$0,95/K_S \cdot T_b/T_e$	$1,35 \cdot T_b$	$0,47 \cdot T_e$

Tabelle 5-6: Reglereinstellung – 20% Überschwingen – günstiges Führungsverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,7/K_S \cdot T_b/T_e$		
PI-Regler	$0,7/K_S \cdot T_b/T_e$	$2,3 \cdot T_e$	
PID-Regler	$1,2/K_S \cdot T_b/T_e$	$2 \cdot T_e$	$0,42 \cdot T_e$

Tabelle 5-7: Reglereinstellung- 20% Überschwingen – günstiges Störverhalten

Anmerkung: Tabellenwerte aus /2/.

5.3.2 Strecken ohne Ausgleich

Die Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick lassen sich im Wesentlichen auch für Strecken ohne Ausgleich anwenden, wenn $T_b = 1$ und $K_S = K_{IS}$ gesetzt wird.

Hinweis

Für das Erzielen eines günstigen Führungsverhaltens sind nach Orlowsky /3/ PI- und PID-Regler ungeeignet.

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,3/K_{IS} \cdot 1/T_e$		

Tabelle 5-8: Reglereinstellung – aperiodisch – günstiges Führungsverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,3/K_{IS} \cdot 1/T_e$		
PI-Regler	$0,6/K_{IS} \cdot 1/T_e$	$4 \cdot T_e$	
PID-Regler	$0,95/K_{IS} \cdot 1/T_e$	$2,4 \cdot T_e$	$0,42 \cdot T_e$

Tabelle 5-9: Reglereinstellung – aperiodisch – günstiges Störverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,7/K_{IS} \cdot 1/T_e$		

Tabelle 5-10: Reglereinstellung – 20% Überschwingen – günstiges Führungsverhalten

Regler	Proportionalverstärkung K_P	Nachstellzeit T_i	Vorhaltzeit T_d
P-Regler	$0,7/K_{IS} \cdot 1/T_e$		
PI-Regler	$0,7/K_{IS} \cdot 1/T_e$	$2,3 \cdot T_e$	
PID-Regler	$1,2/K_{IS} \cdot 1/T_e$	$2 \cdot T_e$	$0,42 \cdot T_e$

Tabelle 5-11: Reglereinstellung - 20% Überschwingen – günstiges Störverhalten

Anmerkung: Tabellenwerte aus /2/.

6 Glossar

Kenngrößen und Symbole des Regelkreises

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die in diesem Dokument verwendeten Kenngrößen und Symbole des Regelkreises. Die Unterschiede resultieren im Wesentlichen aus Festlegungen der Normen durch die bis 10/2006 gültige DIN 19226 und die ab 04/2008 gültige DIN EN 60027-6.

Bezeichnung	DIN 19226	DIN EN 60027-6 DIN EN 60050-351
Einganggröße		u
Ausgangsgröße		v
Stellgröße	y	y
Regelgröße	x	x
Rückführgröße	r	r
Führungsgröße	w	w
Störgröße	z	z
Regeldifferenz, Sollwertabweichung	e	e
Totzeit	T_t	T_L
Verzugszeit, Ersatztotzeit	T_U	T_e
Ausgleichszeit	T_g	T_b
Nachstellzeit	T_N	T_i
Vorhaltzeit	T_V	T_d

Tabelle 6-1: Glossar

7 Literaturhinweise

7.1 Literaturangaben

Diese Liste ist keinesfalls vollständig und spiegelt nur eine Auswahl an geeigneter Literatur wieder.

	Themengebiet	Titel
/1/	Regleroptimierung nach Ziegler, Nichols	Taschenbuch der Regelungstechnik: Mit MATLAB und Simulink Autoren: Professor Dr.-Ing. Holger Lutz, Professor Dr.-Ing. Wolfgang Wendt Verlag: Deutsch Harri GmbH; Auflage: 9 (2012) ISBN: 978-3-8171-1895-3 Kapitel 10.3.2, Seite 478
/2/	Regleroptimierung nach Chien, Hrones, Reswick	Taschenbuch der Regelungstechnik: Mit MATLAB und Simulink Autoren: Professor Dr.-Ing. Holger Lutz, Professor Dr.-Ing. Wolfgang Wendt Verlag: Deutsch Harri GmbH; Auflage: 9 (2012) ISBN: 978-3-8171-1895-3 Kapitel 10.3.3, Seite 479
/3/	Regleroptimierung nach Chien, Hrones, Reswick (Strecke ohne Ausgleich)	Praktische Regeltechnik: Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer Autor: Professor Dipl.-Ing. Peter F. Orlowski Verlag: Springer; Auflage: 9 (2011) ISBN: 978-3-642-19216-6 Kapitel 4.1.2, Seite 148

Tabelle 7-1: Literaturangaben

7.2 Internet-Link-Angaben

Diese Liste ist keinesfalls vollständig und spiegelt nur eine Auswahl an geeigneten Informationen wieder.

	Themengebiet	Titel
\1\	Referenz auf den Beitrag	http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/BeitragsID
\2\	Siemens Industry Online Support	http://support.automation.siemens.com
\3\	Faustformelverfahren	http://de.wikipedia.org/wiki/Faustformelverfahren_(Automatisierungstechnik)
\4\	Regelungstechnik	http://de.wikipedia.org/wiki/Regelungstechnik

Tabelle 7-2: Internet Links

8 Historie

Version	Datum	Änderung
V1.0	05/2014	Erste Ausgabe

Tabelle 8-1: Historie