



(10) **DE 10 2020 124 499 A1** 2021.03.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 124 499.1**
 (22) Anmeldetag: **21.09.2020**
 (43) Offenlegungstag: **25.03.2021**

(51) Int Cl.: **G05B 19/04 (2006.01)**
G05B 13/04 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
16/577,718 **20.09.2019** **US**

(71) Anmelder:
FISHER-ROSEMOUNT SYSTEMS, INC., Round Rock, TX, US

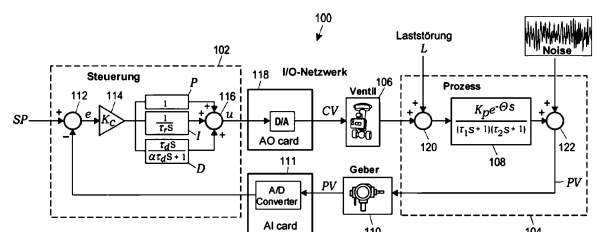
(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

(72) Erfinder:
Xu, Shu, Austin, TX, US; Nixon, Mark J., Round Rock, TX, US; Beall, James, Bryan, TX, US; Blevins, Terrence L., Round Rock, TX, US; Maras, Todd, Georgetown, TX, US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **PROZESSSTEUERUNGSDESIGN MIT PROZESSNÄHERUNG UND LAMBDA-ABSTIMMUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Entwerfen und Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung umfasst das Annähern eines Prozesses als Prozess zweiter Ordnung, jedoch auf eine Weise, die die von verschiedenen Geräten im E/A-Netzwerk eingeführten Effekte oder Eigenschaften umfasst, und das Verwenden eines Lambda-Abstimmverfahrens, um Abstimmungsparameter oder -koeffizienten für die PID-Steuerung zu bestimmen. Das verbesserte Steuerungsdesign- und -abstimmungsverfahren bietet eine systematische Möglichkeit zur Leistungsverbesserung von PID-Steuerungen innerhalb eines Prozessleitsystems und ist wirksam bei der Bewältigung von Herausforderungen, die sich aus dem Signal-Aliasing, der Verwendung der Anti-Aliasing-Filterung und den Auswirkungen verschiedener E/A-Einstellungen sowohl traditioneller als auch erweiterter E/A-Rangierarchitekturen ergeben.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Prozessleitsysteme und insbesondere das verbesserte PID-Steuerungsdesign (Proportional-Integral-Derivativ-Steuerungsdesign), das ein erweitertes Prozessnäherungsverfahren und Lambda-Abstimmung verwendet.

STAND DER TECHNIK

[0002] Prozessleitsysteme, z. B. verteilte oder skalierbare Prozessleitsysteme wie jene, die bei Chemie-, Erdöl- oder anderen Prozessen verwendet werden, umfassen typischerweise eine oder mehrere Prozesssteuerungen, die kommunikativ miteinander verbunden sind, mit zumindest einem Host- oder Bedienerarbeitsplatz kommunikativ verbunden sind und über analoge, digitale oder kombinierte analoge/digitale Busse mit einem oder mehreren Feldgeräten kommunikativ verbunden sind. Die Feldgeräte, die z. B. Ventile, Ventil-Stellungsregler, Schalter und Sender (z. B. Temperatur-, Druck- und Durchflusssensoren) sein können, übernehmen Funktionen innerhalb des Prozesses, wie z. B. das Öffnen oder Schließen von Ventilen und das Messen von Prozessparametern. Die Prozesssteuerung empfängt Signale, die Prozessmessungen anzeigen, die von den Feldgeräten durchgeführt wurden und/oder andere Informationen, die die Feldgeräte betreffen, und verwendet diese Informationen, um eine Steuerroutine zu implementieren, um Steuersignale zu erzeugen, die über die Busse an die Feldgeräte gesendet werden, um den Betrieb des Prozesses zu steuern. Informationen von den Feldgeräten und der Steuerung werden in der Regel einer oder mehreren Anwendungen bereitgestellt, die von einem Bedienerarbeitsplatz ausgeführt werden, damit ein Bediener eine gewünschte Funktion in Bezug auf den Prozess ausführen kann, wie z. B. Anzeigen des aktuellen Prozesszustands, Modifizieren des Prozessbetriebs usw.

[0003] Einige Prozessleitsysteme, wie das von Emerson Automation Solutions vertriebene DeltaV®-System, verwenden Funktionsblöcke oder Gruppen von Funktionsblöcken, die als Module in der Steuerung oder in verschiedenen Feldgeräten bezeichnet werden, um Steuerungsoperationen auszuführen. In diesen Fällen kann die Prozesssteuerung oder ein anderes Gerät einen oder mehrere Funktionsblöcke oder -module enthalten und ausführen, von denen jeder Eingänge von anderen Funktionsblöcken empfängt und/oder Ausgänge an andere Funktionsblöcke liefert (entweder innerhalb desselben Geräts oder innerhalb verschiedener Geräte), und einige Prozessoperationen durchführen, wie z. B. das Messen oder Erfassen eines Prozessparameters, das Steuern eines Geräts oder das Durchführen einer Steuerungsoperation, wie z. B. die Implementierung einer Proportional-Integral-Derivativ-(PID) Steuerroutine. Die verschiedenen Funktionsblöcke und Module innerhalb eines Prozessleitsystems sind im Allgemeinen so konfiguriert, dass sie miteinander kommunizieren (z. B. über einen Bus), um einen oder mehrere Prozessregelkreise zu bilden.

[0004] Darüber hinaus sind Prozesssteuerungen typischerweise so programmiert, dass sie einen anderen Algorithmus, eine andere Unteroutine oder einen anderen Regelkreis (die alle Steuerroutinen oder Steuermodule sind) für jeden von mehreren verschiedenen Regelkreisen ausführen, die für einen Prozess definiert sind oder in einem solchen enthalten sind, wie z. B. Flussregelkreise, Temperaturregelkreise, Druckregelkreise usw. Im Allgemeinen enthält jeder dieser Regelkreise einen oder mehrere Eingabeblocke, wie beispielsweise einen Analogeingabe-(AI) Funktionsblock, einen Einzelausgabe-Steuerblock, wie beispielsweise einen Proportional-Integral-Derivativ-(PID) oder einen Fuzzy-Logik-Steuerfunktionsblock und einen oder mehrere Ausgabeblocke, wie z. B. einen Analogausgabe-(AO) Funktionsblock. Steuerroutinen und die Funktionsblöcke, die solche Routinen implementieren, wurden gemäß einer Reihe bekannter Steuerungstechniken konfiguriert, einschließlich PID-Steuerung, Fuzzy-Logik-Steuerung und modellbasierten Techniken wie einem Smith Predictor oder einer modellprädiktiven Steuerung (Model Predictive Control, MPC).

[0005] Um die Ausführung der Steuerroutinen zu unterstützen, verfügt eine typische Industrie- oder Prozessanlage über eine zentrale Leitstelle, die kommunikativ mit einer oder mehreren verteilten Prozesssteuerungen und Prozess-E/A-Subsystemen verbunden ist, die wiederum mit einem oder mehreren Feldgeräten verbunden sind. Traditionell wurden analoge Feldgeräte über Zweidraht- oder Vierdraht-Stromschleifen sowohl für die Signalübertragung als auch für die Stromversorgung mit der Prozesssteuerung verbunden. Ein analoges Feldgerät, das ein Signal an eine Steuerung (z. B. einen Sensor oder Sender) sendet, moduliert den durch die Stromschleife fließenden Strom derart, dass der Strom proportional zur erfassten Prozessgröße ist. Andererseits werden analoge Feldgeräte, die eine Aktion unter der Steuerung einer Steuerroutine oder eines Steuermoduls ausführen, durch die Stromstärke über den Regelkreis gesteuert.

[0006] Einige Feldgeräte wurden so konfiguriert, dass sie digitale Daten in der Stromschleife, die zur Übertragung der analogen Signale verwendet wird, überlagern. Beispielsweise verwendet das HART[®]-Protokoll (Highway Addressable Remote Transducer-Protokoll) die Schleifenstromstärke zum Senden und Empfangen von analogen Signalen, überlagert jedoch auch das Stromschleifensignal mit einem digitalen Trägersignal, um eine bidirektionale Feldkommunikation mit intelligenten Feldinstrumenten zu ermöglichen. Ein anderes Protokoll, das allgemein als FOUNDATION[®]-Fieldbus-Protokoll bezeichnet wird, definiert vollständig digitale Protokolle, die unterschiedliche Datenübertragungsraten unterstützen, während an das Netzwerk gekoppelte Feldgeräte mit Strom versorgt werden. Mit diesen Arten von Kommunikationsprotokollen unterstützen Smart-Feldgeräte, die normalerweise alle digitaler Natur sind, eine Reihe von Wartungsmodi und erweiterten Funktionen, die von älteren Steuerungssystemen nicht bereitgestellt werden.

[0007] Mit der zunehmenden Datenübertragung zwischen Feldgeräten und Prozesssteuerungen besteht ein besonders wichtiger Aspekt beim Entwurf von Prozessleitsystemen in der Art und Weise, in der Feldgeräte kommunikativ miteinander, mit den Prozesssteuerungen und mit anderen Systemen oder Geräten innerhalb eines Prozessleitsystems oder einer Prozessanlage gekoppelt werden. Im Allgemeinen werden die verschiedenen Kommunikationskanäle, -Verbindungen und -pfade, die es den Feldgeräten ermöglichen, innerhalb des Prozessleitsystems zu funktionieren, üblicherweise zusammen als Eingabe/Ausgabe-(E/A) Kommunikationsnetzwerk bezeichnet.

[0008] Die Topologie des E/A-Kommunikationsnetzwerks und die physischen Verbindungen oder Pfade, die zum Implementieren eines E/A-Kommunikationsnetzwerks verwendet werden, können einen erheblichen Einfluss auf die Robustheit oder Integrität der Feldgerätekommunikation haben, insbesondere wenn das Netzwerk widrigen Umgebungsfaktoren oder rauen Bedingungen ausgesetzt ist. Diese Faktoren und Bedingungen können die Integrität der Kommunikation zwischen einem oder mehreren Feldgeräten und der Steuerung beeinträchtigen. Die Kommunikation zwischen den Steuerungen und den Feldgeräten ist besonders empfindlich gegenüber solchen Störungen, da die Steuerungen typischerweise regelmäßige Aktualisierungen der Prozessgrößen für jede Iteration der Steuerroutine erfordern. Eine beeinträchtigte Steuerungskommunikation kann daher zu einer verringerten Effizienz und/oder Rentabilität des Prozessleitsystems und zu übermäßigem Verschleiß oder Beschädigung der Ausrüstung sowie zu einer beliebigen Anzahl potenziell schädlicher Fehler führen.

[0009] Um eine robuste Kommunikation zu gewährleisten, wurden E/A-Kommunikationsnetzwerke, die in Prozessleitsystemen verwendet werden, in der Vergangenheit über Kabel hergestellt. Leider führen Netzwerke über Kabel zu einer Reihe von Komplexitäten, Herausforderungen und Einschränkungen. Beispielsweise kann sich die Qualität von Netzwerken über Kabel im Laufe der Zeit verschlechtern. Darüber hinaus ist die Installation von E/A-Kommunikationsnetzwerken über Kabel in der Regel teuer, insbesondere in Fällen, in denen das E/A-Kommunikationsnetzwerk mit einer großen Industrieanlage oder -einrichtung verbunden ist, die über ein großes Gebiet verteilt ist, z. B. einer Ö raffinerie oder einer Chemiefabrik, die mehrere Acres Land erfordert. Die Installation der erforderlichen langen Verkabelung ist typischerweise mit erheblichem Arbeits-, Material- und Kostenaufwand verbunden und kann zu einer Signalverschlechterung führen, die sich aus Verkabelungsimpedanzen und elektromagnetischen Störungen ergibt. Aus diesen und anderen Gründen ist es im Allgemeinen schwierig, E/A-Kommunikationsnetzwerke über Kabel neu zu konfigurieren, zu ändern oder zu aktualisieren.

[0010] In jüngerer Zeit wurden drahtlose E/A-Kommunikationsnetzwerke eingeführt, um einige der Schwierigkeiten von E/A-Netzwerken über Kabel zu beseitigen. So wurde beispielsweise das WirelessHART[®]-Kommunikationsprotokoll entwickelt und wird verwendet, um die drahtlose Kommunikation zwischen Prozesssteuerungen und Feldgeräten durchzuführen. Diese drahtlosen Netzwerke unterscheiden sich in der Regel von dem E/A-Kommunikationsnetzwerk über Kabel und sind in gewisser Weise komplexer. In einigen Fällen kann ein E/A-Kommunikationsnetzwerk sowohl drahtlose Komponenten als auch Komponenten über Kabel enthalten.

[0011] Wichtig ist, dass eine moderne Prozesssteuerung eine zuverlässige Datenkommunikation zwischen der Steuerung und den Feldgeräten erfordert, um optimale Steuerungsstufen zu erreichen. Tatsächlich führen typische Prozesssteuerungen Steuerungsalgorithmen mit schnellen Raten aus, um unerwünschte Abweichungen im Prozess schnell korrigieren oder auf Sollwertänderungen reagieren zu können. Leider können Umgebungsfaktoren oder andere Bedingungen zu intermittierenden Interferenzen führen, die die schnelle Kommunikation behindern oder verhindern, die zur Unterstützung einer solchen Ausführung von Steuerungsalgorithmen erforderlich ist. Aufgrund der zusätzlichen Komplexität moderner E/A-Netzwerke können diese E/A-Netzwerke Zeitverzögerungen, Jitter und Rauschen in die Datenkommunikation innerhalb eines Prozessregelkreises einbringen. Beispielsweise enthalten viele Feldgeräte oder E/A-Netzwerke Anti-Aliasing-Filter, wie z. B. Tiefpassfilter, um Hochfrequenzrauschen und Übersprechen (Aliasing) innerhalb der Kommunikationsnetzwerke

zu reduzieren. Solche Filter führen jedoch auch zu zeitlichen Verzögerungen bei der Kommunikation. Darüber hinaus führt die Verwendung komplexerer Eingabe-/Ausgabegeräte innerhalb des E/A-Kommunikationsnetzwerks, wie z. B. E/A-Geräte, die eine Kommunikationsprotokollkonvertierung, A/D-Konvertierung, Konvertierung von drahtloser zu leitungsgebundener Kommunikation usw. durchführen, auch zu Zeitverzögerungen. Zusätzlich können digitale Kommunikationskomponenten in den E/A-Netzwerken ihre Werte aktualisieren oder Daten im Netzwerk mit verschiedenen unterschiedlichen Scanraten übertragen und so weitere Zeitverzögerungen und Jitter in der Datenkommunikation verursachen.

[0012] Es gibt viele verschiedene Arten von Prozesssteuerungen, die in einer Anlage zur Steuerung verschiedener Prozessgrößen und -geräte verwendet werden können, einschließlich Proportional-Integral-Derivativ-(PID) Steuerungen (die im Allgemeinen auch die Unterkategorien von Proportional-(P) Steuerungen, Proportional-Derivativ-(PD) Steuerungen und Proportional-Integral-(PI) Steuerungen umfassen) modellbasierte Prozesssteuerungen, Fuzzy-Logik-Steuerungen usw. In realen Chemieanlagen machen PID-Steuerungen jedoch etwa 98 Prozent der industriellen Regelungsanwendungen aus. Theoretisch sind PID-Steuerungen vielseitig und robust, da sie während des Betriebs des Prozesses abgestimmt oder neu eingestellt werden können. Das Abstimmen einer PID-Steuerung umfasst im Allgemeinen das Bestimmen eines Satzes von Abstimmungsfaktoren, einschließlich im Allgemeinen einer Verstärkung für die Proportional-Steuerungskomponente und einer Zeitkonstante (ein Zurücksetzen und eine Rate) für jede der Integral- und Derivativ-Steuerungskomponenten. Die Kombination dieser Abstimmungsfaktoren beeinflusst oder bestimmt die Reaktionseigenschaften der PID-Steuerung, und natürlich hängt der optimale Satz von Abstimmungsfaktoren sehr stark von der Prozessdynamik und den gewünschten Reaktionseigenschaften (z. B. der gewünschten Reaktionszeit) des Prozessregelkreises ab.

[0013] Das Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung kann in vielen Prozessregelkreisen etwas kompliziert sein oder es kann schwierig sein, sie optimal zu implementieren. Daher ist es sehr gängig, dass viele, wenn nicht alle, PID-Steuerungen in einer typischen Chemieanlage meistens eine unterdurchschnittliche Leistung erbringen (nicht optimal abgestimmt sind). Insbesondere die Qualität der PID-Steuerung (und die Abstimmung der PID-Steuerung) wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, darunter die Art der in der Anlage verwendeten Eingabe-/Ausgabeverbindungen oder Netzwerke sowie die in den Eingabe-/Ausgabernetzwerken der Anlage verwendeten Scanraten, die Prozesssteuerungsmodul-Modulausführungsraten, Rausch-Aliasing und Zeitverzögerungen, die im Prozess vorhanden sind. Darüber hinaus erschweren die Kompromisse zwischen hoher Leistung (d. h. schnelle und reibungslose Sollwertverfolgung und Störungsunterdrückung) und Robustheit (d. h. anwendbar auf einen weiten Bereich von Prozessbedingungen) die Abstimmung von PID-Steuerungen weiter, was zu einer Situation führt, in der viele PID-Steuerungen schnell verstimmt werden und daher nicht auf einem optimalen Niveau arbeiten können. In vielen Fällen wird der Bediener einen der PID-Abstimmungsfaktoren (z. B. die Steuerungsverstärkung) als Reaktion auf Änderungen im Prozess oder Laststörungen manuell abstimmen, was zu einer verstimmten oder nicht optimal abgestimmten Steuerung führt. Solche leistungsschwachen Prozesssteuerungen können zu erheblichen Prozessvariabilitäten, geringen Produktionseffizienzen und Produktionsraten sowie hohen Energiekosten führen.

[0014] Wie oben erwähnt, hängt die optimale Abstimmung einer PID-Prozesssteuerung von der Prozessdynamik ab. Aufgrund der oben beschriebenen Kommunikationsfaktoren ist die Dynamik realer industrieller Prozesse jedoch komplex und wird häufig am besten durch Übertragungsfunktionen höherer Ordnung plus Zeitverzögerung beschrieben. Infolgedessen ist es schwierig, die optimalen Abstimmparameter für eine PID-Steuerung basierend auf einer ursprünglichen Prozessübertragungsfunktion, die mehr als eine Übertragungsfunktion zweiter Ordnung ist, mathematisch auszuwählen.

[0015] Darüber hinaus wirken sich andere Prozesssteuerungs- und Eingabe-/Ausgabernetzwerk-Designparameter auf die ordnungsgemäße Abstimmung einer PID-Steuerung aus. Insbesondere die verschiedenen Scanraten, die im Eingabe-/Ausgabernetzwerk verwendet werden, und die Ausführungsrate der Prozesssteuerung können wesentliche Faktoren beim Abstimmen einer Prozesssteuerung sein (da diese Faktoren zu Effekten höherer Ordnung in der Prozessübertragungsfunktion führen). Da beispielsweise digitale Computer üblicherweise in der Anlagensteuerung verwendet werden, werden kontinuierliche Messungen von einem Analog-Digital-Wandler (ADC) in digitale Form umgewandelt, und diese kontinuierlichen Messungen können von Scannern oder Messgeräten mit unterschiedlichen Raten abgetastet werden. Darüber hinaus werden diese Messungen, wie oben erwähnt, zwischen verschiedenen Geräten innerhalb des E/A-Kommunikationsnetzwerks übertragen, einschließlich im Allgemeinen Übertragungen zwischen einem Messgerät und einem oder mehreren Eingabe-/Ausgabe-Rangiergeräten (E/A-Rangiergeräten) und zwischen den E/A-Rangiergeräten und einer Prozesssteuerung. Darüber hinaus werden Steuerungsausgänge oder Steuersignale, die zur Beeinflussung von Geräten in der Anlage verwendet werden (z. B. Öffnen und Schließen von Ventilen, Bewegen von

Aktuatoren usw.), von der Prozesssteuerung an die Feldgeräte übertragen, die die Steueraktion über ein oder mehrere andere E/A-Rangiergeräte und E/A-Netzwerkkommunikationspfade ausführen. Die E/A-Rangiergeräte können mehrere verschiedene Geräte enthalten, die jeweils eine Funktion ausführen, z. B. das Konvertieren von Signalen von einem Protokoll in ein anderes Protokoll, das Konvertieren von digitalen Signalen in analoge Signale oder umgekehrt, und somit als Gateway zwischen einem leitungsgebundenen und einem drahtlosen Netzwerk oder Signalpfad wirken usw. Jede dieser Verbindungen im E/A-Netzwerk kann auch eine andere Scanrate verwenden und so im Allgemeinen Signalisierungsverzögerungen in die Leistung des Prozessregelkreises einführen. Ebenso enthalten einige E/A-Geräte schaltbare Filter, wie Hochpass- oder Tiefpassfilter, um Signalstörungen (Übersprechen) zu verringern oder andere Kommunikationseigenschaften zu verbessern. Solche Filter können jedoch weitere Signalisierungsverzögerungen einführen (und somit Effekte höherer Ordnung in die Prozessnetzwerkübertragungsfunktion einführen). Solche Verzögerungen (und Effekte höherer Ordnung) beeinträchtigen die Stabilität und Dämpfung des Prozessleitsystems oder des -regelkreises, insbesondere wenn die Scan- oder Ausführungsraten der Steuerung niedrig sind. Im Allgemeinen können diese Verzögerungen und andere Eigenschaften beim Entwerfen oder Abstimmen eines typischen Prozessregelkreises nicht berücksichtigt werden.

Beschreibung

[0016] Ein Verfahren zum Entwerfen und Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung umfasst das Annähern eines Prozesses als Prozess zweiter Ordnung, jedoch auf eine Weise, die die von verschiedenen Geräten im E/A-Netzwerk eingeführten Effekte oder Eigenschaften umfasst, und das Verwenden eines Abstimmverfahrens, wie eines Lambda-Abstimmverfahrens, um Abstimmparameter oder -koeffizienten für die PID-Steuerung zu bestimmen. Das verbesserte Steuerungsdesign- und -abstimmungsverfahren bietet eine systematische Möglichkeit zur Leistungsverbesserung von PID-Steuerungen innerhalb eines Prozessleitsystems und ist wirksam bei der Bewältigung von Herausforderungen, die sich aus dem Signal-Aliasing, der Verwendung der Anti-Aliasing-Filterung und den Auswirkungen verschiedener E/A-Einstellungen sowohl traditioneller als auch erweiterter E/A-Rangierarchitekturen ergeben.

[0017] Insbesondere nähert das Steuerungsdesign- und -abstimmungsverfahren zuerst einen industriellen Prozess basierend auf einem „Halbregel“-Näherungsverfahren an, das einen Prozess unter Verwendung einer Totzeit plus Zeitkonstantennäherung zweiter Ordnung annähert, aber dies schließt auch die Zeitverzögerungen (oder Zeitkonstanten) und Scanraten verschiedener E/A-Geräte innerhalb des Prozessregelkreises ein und entwirft dann eine Lambda-Abstimmungsregel basierend auf dem resultierenden angenäherten System. Wichtig ist, dass das Prozessnäherungsverfahren verschiedene Zeitverzögerungen höherer Ordnung berücksichtigt, z. B. solche, die von verschiedenen E/A-Rangiergeräten und Kommunikationsnetzwerken in das System eingespeist werden, die Verwendung von Anti-Aliasing-Filtern, und die Verwendung unterschiedlicher Scan- und Ausführungsraten durch die E/A-Netzwerkkomponenten und die Prozesssteuerung; durch Einbeziehen der mit diesen Komponenten verbundenen Zeitverzögerungen in die Totzeitnäherung und in die Berechnung der ersten und zweiten Zeitkonstanten der Prozessnäherung zweiter Ordnung. Dieses Steuerungsdesign- und -abstimmungsverfahren ermöglicht es, eine PID-Prozesssteuerung auch bei Vorhandensein dieser verschiedenen unterschiedlichen Effekte höherer Ordnung des Prozess- und E/A-Kommunikationsnetzwerks, das zur Durchführung der PID-Regelung verwendet wird, optimal abzustimmen, was zu einer besseren, effizienteren und robusteren Steuerung in einem PID-Steuerungsnetzwerk führt.

[0018] In einer Ausführungsform umfasst ein Verfahren zum Abstimmen einer Proportional-Integral-Derivativ-(PID) Prozesssteuerung zur Verwendung bei der Steuerung eines Prozesses, wenn die PID-Prozesssteuerung über ein Eingabe-/Ausgabennetzwerk mit dem Prozess verbunden wird, wobei die PID-Prozesssteuerung, das Eingabe-/Ausgabennetzwerk und der Prozess einen Prozessregelkreis bilden, das Bestimmen eines oder mehrerer Merkmale der PID-Prozesssteuerung durch Bestimmen einer Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung und Bestimmen eines oder mehrerer Merkmale des Prozesses durch Bestimmen einer oder mehrerer Zeitkonstanten des Prozesses und einer oder mehrerer Prozesstotzeiten des Prozesses. Das Verfahren umfasst auch das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises, einschließlich des Bestimmens mindestens einer von einer oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten und einer oder mehreren zugeordneten Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten mit dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe/Ausgabe-Netzwerks des Prozessregelkreises und einer oder mehreren Eingabe-/Ausgabebetzeiten, die dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe/Ausgabe-Netzwerks zugeordnet sind. Das Verfahren schätzt dann den Prozessregelkreis als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit durch Bestimmen von Zeitkonstanten erster und zweiter Ordnung des geschätzten Prozesses als Funktion der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und Bestimmen der Totzeit des ge-

geschätzten Prozesses als Funktion der einen oder mehreren Totzeiten des Prozesses, der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten, der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten, der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten, der Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabebetzeiten. Darüber hinaus bestimmt das Verfahren einen Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den geschätzten Prozesszeitkonstanten und der geschätzten Prozesszeit und stimmt dann die PID-Steuerung unter Verwendung des bestimmten Satzes von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung ab.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Prozessleitsystems mit einer Steuerung, die konfiguriert ist, um eine oder mehrere Steuerroutinen unter Verwendung eines hierin beschriebenen Steuerungsdesign- und Abstimmungsprozesses zu implementieren.

Fig. 2 zeigt eine Darstellung eines PID-Prozessregelkreises und der verschiedenen Rauschquellen und Zeitverzögerungen, die in den Regelkreis eingeführt werden können.

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung der Entwicklung eines Prozessregelkreismodells oder einer Übertragungsfunktion basierend auf der Existenz und Verwendung verschiedener Elemente im Regelkreis.

Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm eines PID-Steuerungsdesign und/oder -abstimmungssystems, das verwendet werden kann, um ein verbessertes PID-Steuerungsdesign- oder -abstimmungsverfahren innerhalb des Prozessleitsystems von **Fig. 1** zu implementieren.

Fig. 5 zeigt eine beispielhafte Benutzerschnittstelle, die durch das PID-Steuerungsdesign oder -abstimmungssystem von **Fig. 4** implementiert werden kann.

Detaillierte Beschreibung

[0019] **Fig. 1** veranschaulicht ein Prozessleitsystem **10**, das verwendet werden kann, um ein neues PID-Steuerungsdesign- und -abstimmungsverfahren zu implementieren, wie hierin ausführlich beschrieben. Das Prozessleitsystem **10** umfasst eine Prozesssteuerung **11**, die mit einem Datenhistoriker **12A**, einer Konfigurationsdatenbank **12B** und einem oder mehreren Host-Arbeitsplätzen oder einem oder mehreren Computern **13** verbunden ist (die eine beliebige Art von Personalcomputern, Arbeitsplätzen usw. sein können), wobei sie jeweils einen Anzeigebildschirm **14** aufweisen. Die Prozesssteuerung **11** ist auch mit den Feldgeräten **15-22** über Eingabe-/Ausgabe-(E/A) Karten **26** und **28** und mit einem Satz von drahtlosen Feldgeräten **60-66** über Eingabe-/Ausgabe Karten **68** und **70** und drahtlosen Sendern/Antennen **72** und **74** verbunden. Der Datenhistoriker **12** kann ein beliebiger gewünschter Typ einer Datenerfassungseinheit mit einem beliebigen gewünschten Speichertyp und einer beliebigen gewünschten oder bekannten Software, Hardware oder Firmware zum Speichern von Daten sein. Der Datenhistoriker **12** kann von (wie in **Fig. 1** dargestellt) einem der Arbeitsplätze **13** getrennt oder ein Teil davon sein. Ferner kann die Konfigurationsdatenbank **12B** Konfigurationsdaten über das Prozessleitsystem **10** und seine Komponenten speichern, einschließlich Informationen bezüglich der Geräte (z. B. Steuerungen und Feldgeräte) innerhalb des Prozessleitsystems **10**, der Software oder Firmware, die in den Geräten des Prozessleitsystems **10** gespeichert und ausgeführt wird, der Einstellungen oder Konfigurationsparameter dieser Geräte und Software- oder Firmware-Komponenten, der in den Steuerungen des Prozessleitsystems **10** ausgeführten Steuermodule, der Identität verschiedener Regelkreise innerhalb des Prozessleitsystems **10** usw.

[0020] Die Steuerung **11**, die beispielsweise die von Emerson Automation Solutions vertriebene DeltaV-Steuerung sein kann, ist über einen Ethernet-Bus kommunikativ mit den Host-Computern **13**, dem Datenhistoriker **12A** und der Konfigurationsdatenbank **12B** oder Kommunikationsverbindung **29** oder irgendein anderes gewünschtes Kommunikationsnetzwerk verbunden. Die Steuerung **11** ist auch kommunikativ mit den Feldgeräten **15-22** verbunden, wobei entweder ein Kommunikationsschema über Kabel oder ein drahtloses Kommunikationsschema verwendet wird, wie ferner hierin beschrieben. In jedem Fall kann jede gewünschte Hardware, Software und Firmware verwendet werden, um die Steuerschemata der Steuerung **11** zu implementieren, die beispielsweise Standardgeräten mit 4 bis 20 mA (wenn über Kabel verdrahtet) und/oder einem beliebigen intelligenten Kommunikationsprotokoll wie zum Beispiel als FOUNDATION® Fieldbus-Protokoll, HART®-Protokoll, Profibus-Protokoll, CAN-Protokoll usw. zugewiesen sind. In der in **Fig. 1** gezeigten beispielhaften Ausführungsform umfasst die Kommunikation zwischen der Steuerung **11** und den Feldgeräten **15-22** Verbindungen über Kabel, könnte jedoch stattdessen oder zusätzlich drahtlose Kommunikationsverbindungen umfassen, wie jene, die unter Verwendung des WirelessHART®-Kommunikationsprotokolls implementiert sind.

[0021] Allgemeiner gesprochen, kann es sich bei den Feldgeräten **15-22** um beliebige Gerätetypen wie Sensoren, Ventile, Messumformer, Stellungsregler usw. handeln, während die E/A-Karten 26 und 28 beliebige Typen von E/A-Geräten sein können, die jedem gewünschten Kommunikations- oder Steuerungsprotokoll entsprechen. In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform sind die Feldgeräte **15-18** Standardgeräte 4-20-mA-Standardgeräte oder HART-Geräte, die über analoge Leitungen oder kombinierte analoge und digitale Leitungen mit der E/A-Karte 26 kommunizieren, während die Feldgeräte **19-22** intelligente Geräte, wie z. B. Fieldbus-Feldgeräte, sind, die über einen digitalen Bus über Fieldbus-Protokollkommunikation mit der E/A-Karte 28 kommunizieren. Natürlich können die Feldgeräte **15-22** anderen gewünschten Standards oder Protokollen entsprechen, einschließlich allen in Zukunft entwickelten Standards oder Protokollen.

[0022] Ferner sind die drahtlosen Feldgeräte **60-67** innerhalb des Prozessleitsystems **10** angeordnet, um darin Steuerungsfunktionen auszuführen, und kommunizieren mit der Prozesssteuerung **11** unter Verwendung zumindest teilweise drahtloser Kommunikation, die einem beliebigen gewünschten Protokoll entsprechen kann, wie zum Beispiel dem WirelessHART[®]-Kommunikationsprotokoll. In dem Beispiel von **Fig. 1** können die Eingabe-/Ausgabegeräte **68** und **70** kommunikativ mit der Steuerung **11** und dem Satz von drahtlosen Feldgeräten **60-64** über Sender/Empfänger **65**, **67**, **70** und **74** gekoppelt sein, die als Sender (z. B. Messfeldgeräte) dargestellt sind. In diesem Beispiel kann das Modul oder das Gerät **66** ein drahtloser Router sein, der gemeinsam die drahtlose Kommunikation für die Sender **61-64** handhabt, während der Sender **60** ein eigenständiges Feldgerät mit einer eigenen Antenne **65** ist. In einigen Fällen können die Sender **60-64** die einzige Verknüpfung zwischen den Prozesssensoren und der Leitstelle darstellen und als solche genaue Signale an das Steuerungsnetzwerk senden, um sicherzustellen, dass die Produktqualität und der Produktfluss nicht beeinträchtigt werden. Somit können die Sender **60-64**, die oft als Prozessgrößentransmitter (PVTs) bezeichnet werden, eine signifikante Rolle in dem Prozessleitsystem **10** spielen.

[0023] Es versteht sich, dass jeder der Sender **60-64** oder andere Feldgeräte ein Prozesssignal, das eine jeweilige Prozessgröße (z. B. einen Durchfluss, einen Druck, eine Temperatur oder einen Pegel) anzeigt, zur Verwendung in einem oder mehreren Regelkreisen oder Routinen an die Steuerung **11** sendet/senden. In einigen Fällen könnten die Sender **60-64** jedoch Steuersignale von der Steuerung **11** empfangen, um eine Steueraktion in dem Prozess auszuführen. Im Allgemeinen kann die Steuerung **11** eine Anzahl von Elementen enthalten, die zur Unterstützung der drahtlosen Kommunikation und insbesondere des Empfangs der Prozesssignale gerichtet sind. Die Elemente können beispielsweise Softwareroutinen umfassen oder darstellen, die in einem Speicher **24** gespeichert sind, oder Hardware oder Firmware, die an anderer Stelle in der Steuerung **11** residiert. In jedem Fall kann die Art und Weise, in der die drahtlose Kommunikation empfangen wird (z. B. demoduliert, decodiert usw.), jede gewünschte Form annehmen und wird hier nur allgemein angesprochen.

[0024] Wie in **Fig. 1** gezeigt, enthält die Steuerung **11** einen Prozessor **23**, der eine oder mehrere Prozesssteuerrouninen (oder ein beliebiges Modul, einen Block oder eine Unteroutine davon) implementiert oder überwacht, die in einem Speicher **24** gespeichert sind. Die im Speicher **24** gespeicherten Prozesssteuerrouninen können Regelkreise enthalten oder diesen zugeordnet sein, die in dem Prozessleitsystem **10** implementiert sind. Im Allgemeinen kommuniziert die Steuerung **11** mit den Geräten **15-22** und **60-64**, den Host-Computern **13**, dem Datenhistoriker **12A** und der Konfigurationsdatenbank **12B**, um einen Prozess auf irgendeine gewünschte Weise zu steuern. Zu beachten ist, dass beliebige der hier beschriebenen Steuerrouninen oder Module von verschiedenen Steuerungen oder anderen Geräten umgesetzt oder ausgeführt werden können, sofern dies gewünscht ist. Ebenso können die hier beschriebenen Steuerrouninen oder -module, die in dem Prozessleitsystem **10** implementiert werden sollen, irgendeine Form annehmen, einschließlich Software, Firmware, Hardware usw. Für den Zweck dieser Diskussion kann ein Steuermodul ein beliebiger Teil oder Abschnitt von einem Prozessleitsystem sein, einschließlich beispielsweise einer Routine, eines Blocks oder eines beliebigen Elements davon, das auf einem beliebigen computerlesbaren Medium gespeichert ist. Steuerrouninen, die Module oder ein Teil einer Steuerprozedur sein können, wie eine Unteroutine, Teile einer Unteroutine (wie Codezeilen) usw., können in jedem gewünschten Softwareformat implementiert werden, wie z. B. durch objektorientierte Programmierung, Kontaktplan, Ablaufsprachen, Funktionsblockdiagrammen oder durch Einsatz jedweder anderer Software-Programmiersprachen oder jedweder anderer Design-Paradigmen. Ebenso können die Steuerrouninen zum Beispiel in einem oder mehreren EPROMs, EEPROMs, anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs) oder anderen Hardware- oder Firmware-Elementen fest eingebaut sein. Darüber hinaus können die Steuerrouninen unter Verwendung beliebiger Designwerkzeuge entworfen werden, einschließlich grafischer Designwerkzeuge oder anderer Arten von Software-/Hardware-/Firmware-Programmier- oder Designwerkzeugen. Somit kann die Steuerung **11** so konfiguriert werden, dass eine Steuerungsstrategie oder Steueroutine in jeder gewünschten Weise umgesetzt werden kann. Während in **Fig. 1** nur eine Prozesssteuerung **11** dargestellt ist, könnten in ähnlicher Weise mehrere Prozesssteuerungen mit

denselben oder verschiedenen Feldgeräten innerhalb des Prozessleitsystems **10** verbunden sein, um eine Steuerung wie hierin beschrieben durchzuführen.

[0025] In einigen Ausführungsformen implementiert die Steuerung **11** eine Steuerungsstrategie oder ein Schema mit Hilfe von sogenannten Funktionsblöcken, wobei jeder Funktionsblock ein Objekt oder ein anderer Teil (z. B. ein Unterprogramm) einer übergreifenden Steuerroutine ist, die in Verbindung mit anderen Funktionsblöcken (über Kommunikationswege, die als Links bezeichnet wird) arbeitet, um Prozessregelkreise innerhalb des Prozessleitsystems **10** umzusetzen. Funktionsblöcke führen in der Regel eine Eingabefunktion aus, wie sie beispielsweise mit einem Sender, einem Sensor oder einem anderen Prozessparameter-Messgerät assoziiert ist, eine Steuerungsfunktion, beispielsweise eine solche, die einer Steuerroutine zugeordnet ist, welche eine PID-, Fuzzy-Logik- usw. -Steuerung ausführt, oder eine Ausgabefunktion, welche den Betrieb eines beliebigen Geräts, beispielsweise eines Ventils, steuert, um eine physikalische Funktion innerhalb des Prozessleitsystems **10** auszuführen. Natürlich existieren auch hybride und andere Typen von Funktionsblöcken und sie können hier verwendet werden. Die Funktionsblöcke können in der Steuerung **11** gespeichert und von ihr ausgeführt werden, was in der Regel der Fall ist, wenn die Funktionsblöcke 4-20-mA-Standardgeräten zugeordnet sind und einige Arten von intelligenten Feldgeräten wie HART-Geräte verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich können die Funktionsblöcke in den Feldgeräten selbst gespeichert und von diesen implementiert werden, was bei Fieldbus-Geräten der Fall sein kann. Während die Beschreibung des Steuerungssystems **10** hier unter Verwendung einer Funktionsblocksteuerstrategie bereitgestellt wird, können die offenbarten Techniken und Systeme auch unter Verwendung anderer Konventionen wie Kontaktplan, Ablaufsprachen usw. oder unter Verwendung einer anderen gewünschten Programmiersprache oder Paradigma implementiert oder entworfen werden.

[0026] Wie durch den explodierten Block **30** von **Fig. 1** dargestellt, kann die Steuerung **11** eine Anzahl von Einzelregelkreis-Steuerroutinen enthalten, die als Routinen **32** und **34** dargestellt sind, und kann, falls gewünscht, einen oder mehrere erweiterte Regelkreise implementieren, die als Regelkreis **36** dargestellt sind. Jeder solcher Regelkreis wird typischerweise als Steuermodul bezeichnet. Die Einzelregelkreis-Steuerroutinen **32** und **34** sind so dargestellt, dass sie eine Einzelregelkreissteuerung unter Verwendung eines Einzeleingabe-/Einzelausgabe-PID-Steuerblocks ausführen, der mit geeigneten Funktionsblöcken für Analogeingänge (AI) und Analogausgänge (AO) verbunden ist, die Prozesssteuerungsgeräten wie Ventilen, Messgeräten wie Temperatur- und Drucktransmittern oder jedem anderen Gerät innerhalb des Prozessleitsystems **10** zugeordnet werden können. Die PID-Steuerblöcke können jedoch auf Wunsch auch andere Eingänge verwenden, und das hier beschriebene PID-Abstimmverfahren ist nicht auf die Verwendung mit AO- und AI-Eingabe-/Ausgabeblöcken beschränkt. Der erweiterte Regelkreis **36** enthält einen erweiterten Steuerblock **38** mit Eingängen, die kommunikativ mit einem oder mehreren AI-Funktionsblöcken verbunden sind, und Ausgängen, die kommunikativ mit einem oder mehreren AO-Funktionsblöcken verbunden sind, obwohl die Ein- und Ausgänge des erweiterten Steuerblocks **38** mit anderen gewünschten Funktionsblöcken oder Steuerelementen verbunden sein können, um andere Arten von Eingängen zu empfangen und andere Arten von Steuerausgängen bereitzustellen. Der erweiterte Steuerblock **38** kann jede Art von Steuerschema mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen implementieren und kann einen MPC- (Model Predictive Control) -Block, einen Modellierungs- oder Steuerblock für neuronale Netze, einen Fuzzy-Logik-Steuerblock mit mehreren Größen bilden oder umfassen. Es versteht sich, dass die in **Fig. 1** dargestellten Funktionsblöcke von der Steuerung **11** ausgeführt werden können oder alternativ in einem anderen Verarbeitungsgerät, wie etwa einem der Arbeitsplätze **13** oder eines der Feldgeräte **19-22** oder **60-64**, angeordnet sein und von diesem ausgeführt werden können.

[0027] Wie oben erwähnt, weisen aktuelle Prozessleitsysteme viele Komplexitäten auf, die durch die sich ändernde Prozessdynamik selbst sowie durch die Verwendung verschiedener Eingabe-/Ausgabernetzwerkgeräte, die zur Durchführung der Steuerung verwendet werden, eingeführt werden, was zu Zeitverzögerungen und Rauschen in den Prozesssteuerungssignalen führt, die zur Durchführung der Prozesssteuerung verwendet werden. Solche Komplexitäten oder Rausch- und Verzögerungsquellen umfassen beispielsweise die Verwendung von Analog-Digital-Wandlern, Anti-Aliasing-Filtern und verschiedenen unterschiedlichen Eingabe-/Ausgabekonfigurationen, die verschiedene Geräte in der Eingabe-/Ausgabernetzwerkette verwenden, die Verwendung verschiedener Scanraten nach verschiedenen Komponenten im Eingabe-/Ausgabernetzwerk usw. Diese Komplexität macht es sehr schwierig, einen PID-Prozessregelkreis auf der Grundlage aktueller Abstimmtechniken optimal abzustimmen, wobei davon ausgegangen wird, dass ein Prozessregelkreis als einfaches System zweiter Ordnung plus Totzeit beschrieben werden kann. Infolgedessen können PID-Regelkreise anfänglich abgestimmt werden und für einige Zeit sogar einigermaßen funktionieren.

[0028] Wenn sich jedoch die Prozessdynamik ändert, wenn sich Prozessleitsystem-Geräte innerhalb eines Prozessregelkreises verschlechtern (wodurch Zeitkonstanten geändert werden), wenn neue Eingabe-/Ausga-

begeräte in einem Prozessregelkreis hinzugefügt werden, wenn Anti-Aliasing-Filter ein- oder ausgeschaltet werden, wenn sich die Scanraten ändern usw. werden diese PID-Regelkreise verstimmt und sind nicht mehr optimal, was zu einer verringerten Leistung und Reaktionsfähigkeit der Prozesssteuerung auf Systemänderungen (z. B. Änderungen der Sollwerte, Unterdrückung von Laststörungen usw.) führt. Beispielsweise kann ein Prozessregelkreis länger als gewünscht dauern, um eine stationäre Reaktion zu erreichen, länger als gewünscht, um einen neuen Wert zu erreichen, kann unannehmbar einen gewünschten Prozesswert überschreiten, kann überdämpft werden und die gewünschten Prozesswerte nicht erreichen, kann möglicherweise nicht gut auf Laststörungen reagieren usw. Als Antwort auf diesen nicht optimalen Betrieb stellt ein Prozessbediener die Verstärkung der PID-Steuerung im Allgemeinen manuell ein, um die Steuerungsantwort zu beschleunigen oder zu verlangsamen oder um den endgültigen Ruhepunkt des Steuersignals zu ändern. Diese manuelle Abstimmung korrigiert zwar eine bestimmte Prozesssteuerungsdynamik, versetzt den Prozessregelkreis jedoch normalerweise in einen nicht optimalen Zustand, wodurch die Gesamtprozessleistung oder -qualität verringert wird. Diese Verringerung der Qualität und der Leistung gilt insbesondere dann, wenn mehrere der in einem Prozess verwendeten Prozessregelkreise nicht optimal ausgelegt oder abgestimmt sind.

[0029] Um eine optimalere Abstimmung eines PID-Regelkreises in einem Prozess, beispielsweise in einem chemischen Prozess, zu ermöglichen, wird zunächst ein neues PID-Prozesssteuerungsdesign und/oder eine neue Abstimmungsmethode oder -technik dem industriellen Prozess (und dem zur Regelung dieses Prozesses verwendeten Regelkreis) basierend auf einer modifizierten Form der sogenannten „Halbregel“-Prozessnäherung angenähert und eine Abstimmungsregel, wie beispielsweise eine Lambda-Abstimmungsregel, wird basierend auf dem resultierenden angenäherten System entworfen. Das PID-Steuerungsdesign oder -abstimmungsverfahren oder -system verwendet dann die resultierende Regel, um die in der PID-Steuerung zu verwendenden Abstimmungsparameter zu bestimmen, und kann diese Abstimmungsparameter der PID-Steuerung zur Verwendung während des Betriebs des Prozesses bereitstellen.

[0030] Wie in **Fig. 2** besser dargestellt, können tatsächliche industrielle Prozesse durch Definieren oder Modellieren der einzelnen Komponenten davon modelliert werden. **Fig. 2** veranschaulicht beispielsweise einen einfachen Prozessregelkreis **100** mit einer PID-Steuerung **102**, die mit einem Prozess **104** zum Steuern des Prozesses **104** gekoppelt ist. In diesem Fall sendet die PID-Steuerung **102** ein Steuersignal U an ein Ventil **106**, um eine Regelgröße (CV), z. B. eine Ventilposition, zu bewirken, und die Änderung der Regelgröße CV beeinflusst den Prozess **104**. Im Allgemeinen wendet die Mechanik/Chemie des Prozesses **104** eine Übertragungsfunktion **108** basierend auf der Regelgröße CV an, um den Wert einer Prozessgröße (PV) als Reaktion auf die Änderung der Regelgröße zu definieren. Die Prozessgröße PV wird von einem Messgerät gemessen, das als Sender **110** dargestellt ist und die gemessene Prozessgröße PV an die Steuerung **102** sendet. Im Allgemeinen enthält die Steuerung **102** oder der Regelkreis ein AI-Modul (Analogeingabe-Modul) oder eine Karte **111**, die sich in einer Eingabe-/Ausgabekarte befinden kann, die die gemessene PV empfängt (und in einigen Fällen dieses Signal mit einer Scanrate digitalisiert, um eine digitale Version der gemessenen Prozessgröße zu erzeugen). Die Karte **11** liefert den digitalen Wert der gemessenen Prozessgrößen an einen Sollwertsummierer **112**, der ein Fehlersignal (e) erzeugt, das den Fehler oder die Differenz zwischen einem Sollwert SP und der Rückkopplungsmessung der Prozessgröße (PV) anzeigt. Das Fehlersignal e wird einem Satz von PID-Steuerungskomponenten bereitgestellt, einschließlich einer Verstärkungseinheit **114**, die das Fehlersignal e mit einer Steuerungsverstärkung (K_c) multipliziert und das modifizierte (verstärkte) Fehlersignal für jede Proportional-(P), Integral-(I) und Derivativ-(D) Steuerungskomponente bereitstellt. Die P-, I- und D-Steuerungskomponenten führen eine Verarbeitung durch und wenden im allgemeinen Sinne eine Übertragungsfunktion auf das gewonnene Fehlersignal an, um jeweils eine Ausgabekomponente eines Steuersignals zu erzeugen, und die Ausgänge der P-, I- und D-Steuerungskomponenten werden in einem Summierer **116** summiert, um das Steuersignal U zu erzeugen. Das Steuersignal U wird an einen AO-Block oder eine Karte **118** (in diesem Fall) gesendet, die das Steuersignal U in ein analoges Signal umwandeln und dieses Signal an das Ventil **106** senden kann, um den Betrieb des Prozesses **104** in Bezug auf die zu steuernde Prozessgröße PV zu beeinflussen oder zu steuern.

[0031] Wie auch in **Fig. 2** dargestellt, gibt es verschiedene Fehlerquellen, Störungen und Zeitverzögerungen, die in den Prozessregelkreis **100** eingeführt werden. Insbesondere können nicht gemessene Laststörungen L eingeführt werden, wie durch einen Summierer **120** modelliert. Rauschen, z. B. Hochfrequenzrauschen, kann in die Prozessgröße PV eingeführt werden und wird durch einen Summierer **122** modelliert. Ebenso führen die AI- und AO-Karten **111** und **118** sowie das Eingabe-/Ausgabennetzwerk, einschließlich der Verkabelung und anderer physikalischer Schichten, die die Steuerung **102** mit dem Ventil **106** und dem Sender **110** verbinden, Zeitverzögerungen in den Prozessregelkreis **100** ein. Insbesondere führen die Scanrate oder Abtastrate der AI- und AO-Karten **111** und **118**, die Verarbeitungszeit dieser Karten, die Netzwerkkommunikationszeiten usw. Zeitverzögerungen in den Prozessregelkreis **100** ein. Insbesondere wird nach dem Durchlaufen des A/D-

Wandler (in der AI-Karte **111** oder im Sender **110**) die Prozessgröße (PV) von einem Eingabe-/Ausgabescanner mit einer benutzerdefinierten Rate gescannt, bevor sie in das E/A-Netzwerk, das mit der Steuerung **102** kommuniziert, gesendet wird. Wenn beispielsweise die Scannerrate auf 500 ms eingestellt ist, wartet der Eingabe-/Ausgabescanner der Karte **111** alle 500 ms, bevor er eine Datenbank durchsucht, um den PV-Wert zu aktualisieren. In ähnlicher Weise kann die PID-Steuerung **102** abhängig von der Einstellung der Scanrate alle 100/500/... ms warten, bevor die Aktualisierung der Steuerbewegungen erfolgt. Dieselben Arten von Verzögerungen können durch die AO-Karte **118** und das Ventil **106** eingeführt werden. Diese Verzögerungen können zunehmen, wenn die AI- oder AO-Karten **111** und **118** komplexer sind und beispielsweise aus verschiedenen Geräten bestehen, die miteinander kommunizieren, Protokollkonvertierungen durchführen oder als Gateways oder Multiplexer im E/A-Netzwerk fungieren, Anti-Aliasing-Filter enthalten oder implementieren müssen usw.

[0032] Darüber hinaus kann die Laststörung L jederzeit während dieser möglicherweise unterschiedlichen Scanperioden auftreten. Somit kann die Qualität der PID-Regelkreissteuerung durch viele Faktoren beeinflusst werden, einschließlich der E/A-Typen, E/A-Scanraten, Modulausführungsraten, Rausch-Aliasing und Zeitverzögerungen, die durch Filter und Kommunikationspfadkomponenten eingeführt werden. Ebenso ist dem Prozess **104** im Allgemeinen eine Totzeit zugeordnet. Wenn die Steuerung **102** mit einer langsamen Rate ausgeführt wird, kann diese Steuerung **102** nicht effektiv auf hochfrequentes Rauschen und Störungen innerhalb des Prozesses **104** reagieren.

[0033] Wie oben erwähnt, gibt es viele Faktoren, die die Steuerleistung der Steuerung **102** beeinflussen, einschließlich Rauschen, Aliasing, Kommunikationspfadverzögerungen und Anti-Aliasing-Filterung. Zusätzlich gibt es viele Quellen von Prozess- und elektrischem Rauschen, die die vom Sender **110** durchgeführte Messung beeinflussen. Wenn beispielsweise die Strömung mit einer nicht ordnungsgemäß installierten Blende gemessen wird, d. h. wenn nicht genügend gerades Rohr stromaufwärts verläuft, können Strömungsturbulenzen eine Quelle für Prozessgeräusche sein, die sich auf die Strömungsmessung auswirken. Wenn sich die Stromkabel zu nahe an der Instrumentenkabel befinden, kann das von den Instrumentenkabeln übertragene 4-20-mA-Signal verzerrt sein und als Rauschen im Steuerungssystem angesehen werden. Obwohl Aliasing normalerweise beim Digitalisieren von analogen Signalen am wichtigsten ist, kann es auch vorkommen, dass ein digitales Signal langsamer erneut gescannt wird, z. B. wenn die Ausführung des Steuermoduls langsamer ist als der E/A-Scan. Bekanntlich bietet die PID-Steuerung nur eine effektive Steuerung von Informationen, die unterhalb der Nyquist-Frequenz ($1/2$ der PID-Ausführungsrate) übertragen werden. Einerseits kann elektrisches Rauschen in einem Hochfrequenzband das Signal unterhalb der Nyquist-Frequenz verzerren und zu einem verfälschten Steuerverhalten führen. In diesem Fall reagiert die PID-Steuerung **102** nicht auf einige wichtige Frequenzkomponenten bei der PV-Messung, da das Signal auf niedrige Frequenzen ausgerichtet ist. Um das Aliasing durch elektrisches Rauschen von 50 bis 60 Hz zu verhindern, verfügen viele herkömmliche analoge Eingabekarten und andere Eingabe-/Ausgabekomponenten über integrierte Anti-Aliasing-Filter. Beispielsweise enthält eine herkömmliche analoge Eingabekarte ein zweipoliges RC-Filter (-3 dB Frequenz bei etwa 3 Hz) vor dem A/D-Wandler, um elektrische Störungen zu entfernen, die bei der Feldverkabelung auftreten können. Darüber hinaus bietet dieser Hardwarefilter einen gewissen Anti-Aliasing-Schutz gegen Prozessrauschen, wenn das Modul, das die Analogeingabe verwendet, für die Ausführung bei 100 ms konfiguriert ist. Andere analoge Eingabegeräte können so ausgelegt sein, dass sie elektrisches Rauschen mithilfe eines FIR-Filters (-3 dB Frequenz bei etwa 14,8 Hz) entfernen, das in den A/D-Wandler integriert ist. Diese Filter verschlechtern jedoch die Zeitsteuerungsdynamik mit zusätzlichen Zeitverzögerungen und Komplexitäten.

[0034] In jedem Fall kann, wie in **Fig. 3** dargestellt, der Prozessregelkreis **100** von **Fig. 2** als eine Reihe von Funktionsblöcken beschrieben oder modelliert werden, einschließlich einer Übertragungsfunktion hoher Ordnung plus Totzeit (für den Prozess selbst), niedriger Übertragungsfunktionen für Passfilter für die im E/A-Netzwerkpfad verwendeten Anti-Aliasing-Filter, Transportverzögerungs-Übertragungsfunktionen usw. In dem Beispiel von **Fig. 3** kann der Betrieb tatsächlicher industrieller Prozesse und ihrer zugehörigen Prozesssteuerungsnetzwerke durch eine Reihe miteinander verbundener Funktionsblöcke beschrieben werden, einschließlich einer Übertragungsfunktion **200** höherer Ordnung plus Totzeit (für den Prozess selbst), Tiefpassfilterübertragungsfunktionen **202** und **204** (für verschiedene Tiefpass- oder Anti-Aliasing-Filter, die im Prozessregelkreis angeordnet sind), Prozess- und Kommunikationstotzeiten **206**, anderer Prozessdynamik **208**, und Transportverzögerungen **210**, die beispielsweise durch das E/A-Kommunikationsnetzwerk eingeführt werden, insbesondere durch erweiterte oder kompliziertere Eingabe-/Ausgabernetzwerke, die heute verwendet werden. Weiterhin beeinflusst eine Prozesssteuerungs-Übertragungsfunktion **212** den Betrieb des Prozessregelkreises **100**.

[0035] Wie oben erwähnt, approximieren ein Abstimmungsverfahren und -system den Prozess zunächst als ein Modell zweiter Ordnung plus Totzeit, basierend auf einer Anpassung der von Skogestad vorgeschlagenen „Halbregel“-Prozessnäherung, um ein konsistentes Design und Abstimmen von PID-Steuerungen in die-

ser Umgebung durchzuführen, siehe „Simple Analytic Rules for Model Reduction and PID Controller Tuning.“ Journal of Process Control, 13, 291 (2003). Insbesondere kann der Prozess (G_p) als Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit unter Verwendung der folgenden Gleichung (1) geschätzt werden:

$$G_p = \frac{K_p e^{-\theta_d s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (1)$$

wobei:

$$\tau_1 = \tau_{10}; \tau_2 = \tau_{20} + \frac{\tau_{30}}{2}; \theta_d = \sum_{i \geq 0} \theta_i + \frac{\tau_{30}}{2} + \sum_{i \geq 4} \tau_{i0} + \sum \rho_i / 2.$$

[0036] In einem anderen Fall kann der Prozess (G_p) angenähert werden, um inverse Zeitkomponenten einzuschließen, wobei:

$$\tau_1 = \tau_{10}; \tau_2 = \tau_{20} + \frac{\tau_{30}}{2}; \theta_d = \sum_{i \geq 0} \theta_i + \frac{\tau_{30}}{2} + \sum_{i \geq 4} \tau_{i0} + \sum_j T_{j0}^{inv} + \sum \rho_i / 2.$$

[0037] In beiden Fällen sind die Zeitkonstantenbegriffe τ_{i0} die Zeitkonstanten der verschiedenen Geräte in dem Prozesssteuerungsnetzwerk oder dem Prozessregelkreis, einschließlich der Prozesszeitkonstanten (Zeitkonstanten, die mit dem Betrieb des Prozesses selbst verbunden sind), der Zeitkonstanten, die Filtern oder anderen Geräten in den Eingabe-/Ausgabe-Rangiergeräten zugeordnet sind, der Zeitkonstanten, die mit der Dynamik von Sendern, Ventilen, Aktuatoren usw. innerhalb des Prozessregelkreises usw. verbunden sind.

[0038] Zusätzlich sind die τ_{i0} -Begriffe die Zeitkonstanten der verschiedenen Systemkomponenten in absteigender Reihenfolge (vom Maximum zum Minimum, wobei τ_{i0} die größte Zeitkonstante ist, τ_{20} die zweitgrößte Zeitkonstante ist usw.) Ferner bezeichnet der Begriff T_{j0}^{inv} die inversen Antwortzeitkonstanten und die Begriffe ρ_i sind die Scanraten der PID-Prozesssteuerung, der Eingabe-/Ausgabe-Rangiergeräte (der Eingabe-/Ausgabekarten oder anderer Geräte im E/A-Netzwerk, einschließlich beispielsweise, der Messgeräte oder Sender, Scanraten der Ventileingänge usw.), die A/D-Wandler in den Eingabe-/Ausgabegeräten usw.

[0039] Ebenso sind die θ_i -Faktoren die Totzeiten des Prozessregelkreises, einschließlich der Totzeiten, die mit der Übertragungsfunktion des Prozesses selbst verbunden sind, mit Verzögerungen (Totzeiten), die durch Filter und Scangeräte innerhalb der Eingabe-/Ausgabegeräte in dem Eingabe-/Ausgabereglerkreis oder Struktur des Prozessregelkreises eingeführt werden usw. Beispielsweise kann ein Sender eine Totzeit aufgrund einer Abtastverzögerung oder einer A/D-Wandlerverzögerung oder einer anderen Verarbeitungsverzögerung einführen, ein Eingabe-/Ausgabe-Rangiergerät kann eine Totzeit aufgrund von Zeitverzögerungen einführen, die mit der Durchführung von Protokollkonvertierungen, Abtastverzögerungen, Verarbeitungsverzögerungen, der Konvertierung von leitungsgebundenen zu drahtlosen Protokollen oder umgekehrt, der Übertragung von Signalen über ein komplexes drahtloses Netzwerk usw. verbunden sind.

[0040] Darüber hinaus können Filter, wie z. B. Anti-Aliasing-Filter in den Sendern und E/A-Rangiergeräten, Totzeiten aufweisen (zusätzlich zu Zeitkonstanten). Somit können die Zeitkonstanten τ_{i0} aus der realen Prozessdynamik, dem Betrieb von Ventilen und Aktuatoren im Prozess, dem Betrieb von Filtern in den E/A-Netzwerkgeräten usw. stammen. Ebenso können die Totzeitbegriffe θ_i aus der realen Prozesstotzeit, Totzeiten, die durch den Betrieb von Ventilen, Aktuatoren, Filtern, E/A-Rangiergeräten, Kommunikationsnetzwerken usw. innerhalb des Prozesssteuerungs-E/A-Netzwerks verursacht werden, stammen. Darüber hinaus können die Scanratenbegriffe ρ_i von den Scanraten des E/A-Netzwerkgeräts, der Scan- oder Aktualisierungsrate der digitalen Steuerung, den Scanraten des Senders, den Scanraten des E/A-Rangiergeräts usw. stammen.

[0041] Es ist auch anzumerken, dass gemäß Gleichung (1) die Zeitkonstante zweiter Ordnung der Prozessnäherung τ_2 die zweitgrößte Zeitkonstante des gesamten Regelkreises (τ_{20}) plus die Hälfte der drittgrößten Zeitkonstante des gesamten Regelkreises (τ_{30}) einschließt, die den sogenannten „Halbregel“-Aspekt dieser Prozessnäherung hervorruft. Darüber hinaus wird angemerkt, dass die Prozesstotzeit eine Summierung der Totzeiten jeder der Komponenten im E/A-Netzwerk plus eine Summe der Hälfte der drittgrößten Zeitkonstante und aller anderen Zeitkonstanten höherer Ordnung und eine Summierung der Scanraten jedes der verschiedenen Geräte im Prozessregelkreis ist.

[0042] Im Gegensatz zum Original-Essay von Skogestad enthalten die obigen Berechnungen die Zeitkonstanten der einzelnen Filter (z. B. die Anti-Aliasing- und Tiefpassfilter), die in den einzelnen Scan- und anderen Eingabe-/Ausgabegeräten verwendet werden, sowie andere diesen Geräten zugeordnete Zeitkonstanten, sowohl in den Zeitkonstantenberechnungen zweiter Ordnung (t_1 und t_2) als auch in der geschätzte Prozesstotzeit θ_d -Berechnung. Zusätzlich werden die Totzeiten und Scanraten mehrerer der verschiedenen Geräte im E/A-Netzwerk in der Prozesstotzeitnäherung berücksichtigt oder mitberechnet. Das Original-Essay von Skogestad berücksichtigte nicht mehrere Scanraten und Totzeiten verschiedener Geräte und berücksichtigte keine Zeitkonstanten von Eingabe-/Ausgabegeräten innerhalb eines Prozessregelkreises oder eines Eingabe-/Ausgabernetzwerks eines Prozessregelkreises oder Zeitkonstanten, die diesen zugeordnet oder von diesen eingeführt wurden. Wichtig ist jedoch, dass das hier beschriebene Abstimmungsverfahren die Tatsache berücksichtigt, dass die Zeitkonstanten, Totzeiten und Scanraten der E/A-Netzwerkkomponenten ebenso wichtig sein können, um das System als Ganzes abzustimmen, wie jede dieser Zeitkonstanten dominant sein oder die Dynamik der Prozesssteuerung negativ beeinflussen können. Tatsächlich können in dieser Gleichung eine oder mehrere der Zeitkonstanten des Eingabe-/Ausgabekommunikationsnetzwerkgeräts in den Komponenten erster oder zweiter Ordnung der Prozessnäherung erscheinen. Das heißt, die im E/A-Kommunikationsnetzwerk des Prozessregelkreises verwendeten Anti-Aliasing- oder Tiefpassfilter-Zeitkonstanten können die Faktoren τ_{10} oder τ_{20} oder τ_{30} sein (d. h. die höchsten Zeitkonstanten innerhalb des Prozessregelkreises). Darüber hinaus werden die Totzeiten und Scanraten der verschiedenen Eingabe-/Ausgabegeräte und die mit diesen Geräten verbundenen Zeitverzögerungen in die pi-Berechnungen einbezogen und beeinflussen somit die Totzeitschätzung in der Prozessnäherung oder tragen dazu bei. Diese Faktoren waren im Original-Essay von Skogestad nicht vorhanden oder wurden nicht auf diese Weise berücksichtigt. Das hier beschriebene Abstimmungsverfahren liefert somit eine genauere und bessere Prozessnäherung, die gut funktioniert, um eine ordnungsgemäße Abstimmung zu ermöglichen, wenn die Eingabe-/Ausgabernetzwerkgeräte erhebliche negative Auswirkungen auf den Rückkopplungsregelkreis haben, beispielsweise wenn Anti-Aliasing-Filter verwendet werden, wenn Aliasing vorhanden ist, wenn Eingabe-/Ausgabegeräte relativ niedrige oder langsame Scanraten aufweisen, wenn drahtlose Kommunikation verwendet wird, die Zeitverzögerungen usw. einführt.

[0043] Nachdem der Prozess angenähert wurde, kann das System oder Verfahren dann die PID-Steuerungsabstimmungsfaktoren unter Verwendung beispielsweise eines Lambda-Abstimmungsverfahrens bestimmen. Während es viele verschiedene Ansätze für die Steuerungsabstimmung gibt, ist die Lambda (λ)-Einstellung in diesem Fall vorzuziehen, da sie sowohl einfache als auch komplexe Prozessdynamiken berücksichtigt und zu den am einfachsten zu verstehenden und zu implementierenden gehört. Bei einer Lambda-Abstimmung für einen selbstregulierenden Prozess ist das „Lambda“ die Zeitkonstante erster Ordnung einer Stufensollwertänderung des Regelkreises. Die Lambda-Abstimmung ermöglicht die Charakterisierung des Verhaltens des geschlossenen Regelkreises mit einer einzelnen Zahl λ , die auch als Zeitkonstante des geschlossenen Regelkreises bezeichnet wird. Die Gesamtzeit des Regelkreises (Prozess-, Mess- und Stellglied) begrenzt die Regelleistung eines Regelkreises. Die Auswahl des Lambdas als Faktor mal der Totzeit bietet ein konsistentes Abstimmverfahren, die die negativen Auswirkungen einer erhöhten Totzeit auf die potenzielle Steuerungsleistung des Regelkreises aufzeigt.

[0044] In einem Beispiel kann für einen selbstregulierenden Prozess die Steuerung so abgestimmt werden, dass die Übertragungsfunktion mit geschlossenem Regelkreis für eine Sollwertänderungsantwort die eines Tiefpassfilters erster Ordnung mit einer Zeitkonstante von λ ist:

$$\frac{PV}{SP} = \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (2)$$

[0045] Die Übertragungsfunktion mit geschlossenem Regelkreis für die Unterdrückung von Laststörungen kann so eingestellt werden, dass sie die eines Hochpassfilters erster Ordnung mit einer Zeitkonstante von λ ist:

$$\frac{PV}{L} = \frac{\lambda s}{\lambda s + 1} \quad (3)$$

[0046] Einer der vielen Vorteile der Lambda-Abstimmung besteht darin, dass die Leistung des geschlossenen Regelkreises durch Einstellen des Werts von λ leicht spezifiziert werden kann. Darüber hinaus kann das Verfahren verwendet werden, um die Reaktion verwandter Regelkreise zu koordinieren und die Wechselwirkung zwischen den Regelkreisen zu minimieren.

[0047] In jedem Fall sind für ein Prozessmodell zweiter Ordnung plus Zeitverzögerung oder eine Prozessnäherung gemäß Gleichung (1) die Lambda-Abstimmungsgleichungen für die Standardform der PID sowohl für die Lastabweisung als auch für die Sollwertantwort gleich und sind wie folgt:

$$K_c = \frac{1}{K_p} \frac{\tau_1 + \tau_2}{\lambda + \theta_d} \quad (4)$$

$$\tau_r = \tau_1 + \tau_2 \quad (5)$$

$$\tau_d = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad (6)$$

[0048] Hier gilt: K_c ist die Steuerungsverstärkung der Proportional-Steuerungskomponente, τ_r ist die Rücksetzzeitkonstante der integralen Steuerungskomponente und τ_d ist die Ratenzeitkonstante der abgeleiteten Steuerungskomponente.

[0049] Das Lambda-Abstimmungsverfahren ist daher ziemlich einfach. Zunächst bestimmt das System oder Verfahren die Prozessverstärkung (K_p), die Totzeit (θ_d) und die Zeitkonstanten (τ_1 , τ_2) unter Verwendung von Standardverfahren (für die Prozessverstärkung K_p) und Gleichung (1) für die Zeitkonstanten (τ_1 , τ_2) und die Totzeit (θ_d). Dann berechnet das System oder Verfahren die Steuerungsrücksetzung und die Rate (τ_r , τ_d), d. h. die Abstimmungsfaktoren für die Integral- (I) und Derivativ- (D) Steuerungskomponenten unter Verwendung der Gleichungen (5) und (6). Dann bestimmt das System oder Verfahren einen Lambda-Wert (λ) und die Steuerungsverstärkung (K_c) wird unter Verwendung von Gleichung (4) berechnet.

[0050] In der Praxis kann das System oder die Methode auf die Notwendigkeit verzichten, Regelkreisantworten zu koordinieren oder die Interaktion zu minimieren, und die folgende anfängliche Auswahl von Lambda verwenden, um die Robustheit sicherzustellen:

$$\lambda = 3 \max(\tau_r, \theta_d) \quad (7)$$

[0051] Mit anderen Worten, in diesem Fall kann Lambda (λ) so gewählt werden, dass es dreimal so groß ist wie die geschätzte Prozesstotzeit oder die Rücksetzzeitkonstante.

[0052] Danach liefert das System oder Verfahren die Steuerungsabstimmungsparameter K_c , τ_r , τ_d an die PID-Steuerung, und die PID-Steuerung verwendet diese Abstimmparameter für Steuerungsberechnungen.

[0053] Wie bereits erwähnt, beeinträchtigen Zeitverzögerungen die Stabilität digitaler Steuerungssysteme. Die hier beschriebene verbesserte PID-Design- und Abstimmungsstrategie addiert diese Verzögerungen θ_i direkt zur Totzeitznäherungslaufzeit θ_d . Es ist dann ersichtlich, dass mehr Verzögerungen in dem Prozessleitsystem-Regelkreis zu einem größeren θ_d und damit zu einer konservativeren Einstellung der Steuerungsverstärkung K_c führen, was notwendig ist, um eine zufriedenstellende Steuerleistung basierend auf Gleichung (4) zu gewährleisten. Darüber hinaus vereinfacht das verbesserte PID-Entwurfs- und Abstimmverfahren unter Einbeziehung der hier beschriebenen modifizierten „Halbregel“-Prozessnäherung die Prozessdynamik und verwendet eine Übertragungsfunktion zweiter Ordnung plus Zeitverzögerung als Ersatz. Die daraus resultierende Vereinfachung zeigt nicht nur, wie verschiedene Prozessdynamiken (wie Durchflussänderung, Ventilbewegung, Filter usw.) leicht angenähert werden können, sondern legt auch die Grundlage für das PID-Steuerungsdesign, indem eine einfachere Abstimmungsmethode bereitgestellt wird.

[0054] Somit bietet das hier beschriebene neue und verbesserte PID-Steuerungsdesign und -abstimmungsverfahren ein systematisches Werkzeug zum Erzielen einer Leistungsverbesserung von PID-Steuerungen innerhalb eines Prozessleitsystems. Ein solches Verfahren und System kann Herausforderungen bewältigen, die sich aus dem Signal-Aliasing und der Anti-Aliasing-Filterung sowie aus den unterschiedlichen Konfigurationen und Einstellungen sowohl traditioneller als auch erweiterter oder verbesserter Eingabe-/Ausgabernetzwerke ergeben. Darüber hinaus können dieses Verfahren und System für verschiedene Arten von Prozessen, für Prozesse mit unterschiedlichen Scanraten, für Systeme mit Variationen in Zeitverzögerungen (Jitter) und für Prozesse verwendet werden, die Aliasing innerhalb der Steuerungsleistung aufweisen.

[0055] Fig. 4 veranschaulicht ein beispielhaftes PID-Steuerungsdesign oder -abstimmungssystem, das verwendet werden kann, um das hier beschriebene Steuerungsdesign oder Abstimmungsverfahren zu implementieren. Insbesondere zeigt Fig. 4 ein Konfigurationssystem 300, das eine PID-Prozesssteuerungsdesign- oder Abstimmungsanwendung 302 enthält, die kommunikativ mit einer oder mehreren Benutzerschnittstellen 304 und einer Konfigurationsdatenbank 306 verbunden ist. Zusätzlich kann die Anwendung 302 mit einer oder mehreren Prozesssteuerungen 311 verbunden sein, die beispielsweise PID-Prozesssteuerungen oder Steuermodule sein können, die zum Steuern eines oder mehrerer Prozessregelkreise in einer Prozessanlage verwendet werden. Falls gewünscht, kann die Anwendung 302 in einem Speicher eines Prozessors gespeichert sein und auf einem Prozessor eines Computers ausgeführt werden, z. B. einem Arbeitsplatz oder einem anderen Konfigurationsgerät 13 von beispielsweise Fig. 1. Zusätzlich können die Benutzerschnittstellengeräte 304 Schnittstellengeräte sein, die einem Prozessanlagenkonfigurationssystem oder Bedienerystem wie den Schnittstellengeräten 14 von Fig. 1 zugeordnet sind. In diesem Fall kann die Anwendung 302 Teil eines Anlagendesign- oder -konfigurationssystems sein, in dem eine oder mehrere PID-Prozesssteuerungen in einer Anlage entworfen oder implementiert werden, oder kann Teil eines Anlagenbetriebs- und -steuerungssystems sein, in welchem Fall die Anwendung 302 verwendet oder aufgerufen werden kann, um eine Abstimmung an einer oder mehreren PID-Steuerungen durchzuführen, die derzeit in einer Prozessanlage ausgeführt werden. Zusätzlich kann die Konfigurationsdatenbank 306, die die Konfigurationsdatenbank 12B von Fig. 1 sein kann, Informationen über die Konfiguration der Prozessanlage und insbesondere die Geräte und logischen Elemente (z. B. Steuerroutinen, Regelkreise usw.) innerhalb einer Prozessanlage speichern. Die Konfigurationsdatenbank 306 kann Informationen speichern, die die Identität, Fähigkeiten, Zusammensetzung und Konfiguration verschiedener Geräte in einem oder mehreren Prozessregelkreisen angeben, die von einer oder mehreren PID-Steuerroutinen oder Steuermodulen gesteuert werden. Somit kann die Konfigurationsdatenbank 306 Informationen bezüglich der Identität und Zusammensetzung verschiedener Anti-Aliasing-Filter speichern, die in verschiedenen Sendern und Eingabe-/Ausgabegeräten verwendet werden, unabhängig davon, ob diese Filter derzeit in der Anlage verwendet werden usw. Die Konfigurationsdatenbank 306 kann ferner Informationen speichern, die angeben, wie verschiedene Feldgeräte (z. B. Ventile, Sender usw.) mit einer Prozesssteuerung in einem Prozessregelkreis verbunden sind, einschließlich der Eingabe-/Ausgabegeräte, die zum Herstellen der Verbindungen verwendet werden, die A/D-Wandler in diesen Geräten, die Scanraten dieser Geräte, Transportverzögerungen, die mit diesen Geräten verbunden sind, und andere Informationen, die Zeitverzögerungen oder Rauschen oder Jitter anzeigen, die von diesen Geräten eingeführt werden können, sowie Zeitkonstanten, die mit dem Betrieb dieser Geräte verbunden sind. Ebenso kann die Konfigurationsdatenbank 306 Informationen bezüglich der in den PID-Prozessregelkreisen innerhalb der Anlage verwendeten Prozesssteuerungen, der Scanraten dieser Steuerungen oder Steuermodule usw. speichern. Die Konfigurationsdatenbank 306 kann auch Informationen über die Dynamik des Prozesses, der gesteuert wird, einschließlich verschiedener Prozesszeitkonstanten und Totzeiten sowie Prozessverstärkungen für verschiedene Regelkreise des Prozesses speichern.

[0056] Wie in Fig. 4 dargestellt, kann die Anwendung 302 mit einer oder mehreren Prozesssteuerungen 311 verbunden sein und mit diesen Steuerungen 311 kommunizieren, um Informationen von diesen Steuerungen oder von Feldgeräten und Eingabe-/Ausgabegeräten abzurufen, die mit diesen Steuerungen verbunden sind, um Informationen von diesen Geräten abzurufen oder um Informationen oder Befehle an diese Geräte zu senden.

[0057] Die Design- und Abstimmungsanwendung 302 kann Unterroutinen, Module oder Komponenten aufweisen, die verschiedene Operationen ausführen, die einem PID-Steuerungsdesign- oder -abstimmungsverfahren zugeordnet sind, wie hierin beschrieben. Die Anwendung 302 kann zum Beispiel eine oder mehrere Routinen oder Module oder Komponenten enthalten, die Informationen abrufen oder bestimmen, die den Prozess betreffen, definieren oder beschreiben (z. B. Prozesszeitkonstanten, Totzeit(en)), die Informationen abrufen oder bestimmen, die die PID-Steuerung betreffen, definieren oder beschreiben (z. B. die Identität der PID-Steuerung, die entworfen oder abgestimmt wird, der Prozessregelkreis und die Prozessausrüstung, die zur Steuerung des Prozesses durch die PID-Steuerung verwendet werden, die Aktualisierungs- oder Scanrate der PID-Steuerung, usw.) und die Informationen abrufen oder bestimmen, die Geräte, die im E/A-Netzwerk des Prozessregelkreises gesteuert werden, betreffen, definieren oder beschreiben (z. B. Scanraten, Totzeiten oder Verzögerungen dieser Geräte, Zeitkonstanten, die mit Filtern, Ventilen, Aktuatoren usw. in dem Regelkreis usw. verbunden sind). Diese Routinen können diese Informationen abrufen oder bestimmen, indem sie dem Benutzer ermöglichen, diese Informationen über eine Benutzerschnittstelle, aus der Konfigurationsdatenbank oder von den verschiedenen Geräten selbst einzugeben. Die Anwendung 302 kann auch Unterroutinen, Module oder Komponenten enthalten, die dann den Prozessregelkreis als Ganzes schätzen, einschließlich der Verwendung von Parametern oder Variablen, die den Betrieb des Prozesses, die PID-Steuerung und die verwendeten Geräte im E/A-Netzwerk beschreiben, die im Prozessregelkreis verwendet werden, um den gesamten Prozessregelkreis

als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit zu schätzen. Die Anwendung **302** kann eine oder mehrere Unterroutinen, Module oder Komponenten aufweisen, die dann ein Abstimmungsverfahren unter Verwendung der geschätzten Prozessgrößen durchführen, wie beispielsweise Module, die ein Lambda-Abstimmverfahren implementieren, um optimale Abstimmungsparameter für eine PID-Steuerung basierend auf dem geschätzten Prozess zu bestimmen (das Element aus der PID-Steuerung, dem Prozess und dem E/A-Netzwerk enthält, die im Prozessregelkreis verwendet werden). Diese Routinen oder Module können es einem Benutzer ermöglichen, ein Abstimmungsverfahren auszuwählen oder einen Wert für das Lambda in einem Lambda-Abstimmverfahren auszuwählen, oder die Routinen können automatisch einen Wert für das Lambda unter Verwendung eines voreingestellten Werts oder einer voreingestellten Methode auswählen oder berechnen. Zusätzlich kann die Anwendung **302** eine oder mehrere Routinen enthalten, die den Betrieb des Prozessregelkreises basierend auf den berechneten Abstimmparametern schätzen und die diesen Vorgang einem Benutzer zeigen oder anzeigen, damit der Benutzer die Eigenschaften der entworfenen und abgestimmten Steuerung sehen kann und um die Abstimmungsparameter oder -methoden zu ändern, falls gewünscht. Die Anwendung **302** kann auch eine oder mehrere Routinen enthalten, die dann die berechneten Abstimmparameter herunterladen oder an die PID-Steuerung senden, um sie von der PID-Steuerung bei der Durchführung der Steuerung während des Betriebs des Prozesses zu verwenden.

[0058] Somit kann die Anwendung **302** während des Betriebs initiiert werden, um ein PID-Steuerungsdesign zu implementieren, beispielsweise beim Konfigurieren einer Prozessanlage oder beim Hinzufügen eines neuen Regelkreises zu einer Prozessanlage, oder kann initiiert werden, um eine bereits entworfene und installierte PID-Steuerung abzustimmen, zum Beispiel, wenn ein Prozessregelkreis, der von einem PID-Steuermodul einer Steuerung gesteuert wird, nicht ordnungsgemäß funktioniert. In jedem Fall kann die Anwendung **302** anfordern, dass die Identität des Steuermoduls oder der PID-Steuerung entworfen oder abgestimmt wird, und kann nach Empfang dieser Informationen mit der Konfigurationsdatenbank **306**, mit einem Benutzer über eine Benutzerschnittstelle **304** oder mit der Prozesssteuerung **311** kommunizieren, die das identifizierte PID-Steuermodul speichert und implementiert, um Informationen über die PID-Steuerung und den Regelkreis abzurufen, einschließlich der Scanrate oder Ausführungsrate des PID-Steuermoduls, der Verbindungen oder Prozessgrößen, die vom PID-Steuermodul gesteuert werden, der Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks, aus denen der Prozessregelkreis besteht, der vom PID-Steuermodul verwendet und gesteuert wird, usw. Falls gewünscht, kann die Anwendung **302** diese Informationen vom Benutzer direkt über eine Benutzereingabe an einem der Benutzereingabegeräte **304**, aus der Konfigurationsdatenbank **306**, von einer der Steuerungen **311** oder einer beliebigen Kombination dieser Geräte abrufen.

[0059] Nach dem Empfang von Informationen über das PID-Prozesssteuerungsmodul, das erstellt oder abgestimmt wird, und dem Bestimmen der Geräte (und des E/A-Netzwerks) innerhalb des dem Prozessmodul zugeordneten Prozessregelkreises kann die Anwendung **302** spezifische Informationen abrufen, die jedes der Geräte in dem Regelkreis und jedes der relevanten Merkmale von jedem der Geräte identifizieren, einschließlich Scanraten der Geräte, Filterzusammensetzung oder Koeffizienten der Geräte oder Komponenten der Geräte (z. B. A/D-Wandler innerhalb der Geräte), unabhängig davon, ob Anti-Aliasing-Filter aktiviert sind oder nicht und unabhängig von Aufbau oder Konfiguration dieser Filter. In einem Fall kann die Anwendung **302** diese Informationen systematisch und automatisch von der Konfigurationsdatenbank **306** oder von den Prozesssteuerungen **311** abrufen oder einen Benutzer über eine der Benutzerschnittstellen **304** nach diesen Informationen fragen (wenn beispielsweise diese Informationen nicht in der Konfigurationsdatenbank **306** oder von den Steuerungen **311** verfügbar sind).

[0060] Fig. 5 veranschaulicht ein Beispiel einer Bildschirmanzeige **400**, die von der Anwendung **302** bereitgestellt werden kann, um den Benutzer aufzufordern, eine Identifikation des Prozessmoduls oder des Prozessregelkreises bereitzustellen, der entworfen oder abgestimmt wird (die über ein Dropdown-Menü in einem Eingabefeld **402**, falls gewünscht, bereitgestellt oder ausgewählt werden kann). Wenn eine bestimmte PID-Steuerung oder ein bestimmter PID-Regelkreis ausgewählt ist, kann das System verschiedene Geräte oder Komponenten innerhalb des ausgewählten Regelkreises (an den Eingabefeldern **404**) anzeigen und dem Benutzer ermöglichen, diese Geräte zu ändern, neue Geräte in den Regelkreis einzufügen usw. Diese Geräte oder Komponenten können eine Spezifikation der Prozesskomponente, der verschiedenen E/A-Gerätekomponenten und der PID-Steuerungskomponente enthalten. Für jede der spezifizierten Komponenten kann das System die verschiedenen Zeitverzögerungen, Zeitkonstanten, Filtereigenschaften, Scanraten, Totzeiten usw. der identifizierten Geräte oder Komponenten in einem Prozessregelkreis, der an den Eingabefeldern **406** entworfen oder abgestimmt wird, abrufen und anzeigen. Wie oben erwähnt, können einige oder alle Eingabeinformationen automatisch von der Anwendung **302** aus der Konfigurationsdatenbank **306** oder von einer der Prozesssteuerungen **311** (oder von den Eingabe-/Ausgabe- und Feldgeräten, die mit den Prozesssteuerungen **311** verbunden sind, oder sogar von den Feldgeräten allein) oder über die direkte Eingabe des Benutzers in die

Eingabefelder **402**, **404** und **406** abgerufen werden. Die Anwendung **302** kann dem Benutzer auch Dropdown-Felder oder Popup-Felder bereitstellen, die verschiedene Auswahlmöglichkeiten angeben, die der Benutzer für jedes dieser Elemente haben kann, und diese Auswahlmöglichkeiten können beispielsweise aus Geräteinformationen in der Konfigurationsdatenbank **306** oder den Prozesssteuerungen **311** oder den Eingabe-/Ausgabegeräten oder den Feldgeräten abgerufen werden.

[0061] Sobald die Anwendung **302** Informationen erhält, die sich auf jedes der Geräte in dem Prozessregelkreis beziehen, der entworfen oder abgestimmt wird, kann die Anwendung **302** den Prozess unter Verwendung der Halbregele zweiter Ordnung plus Totzeitnäherung von Gleichung (1) approximieren. Hier kann die Anwendung **302** die dominantesten Zeitkonstanten t_{10} und t_{20} zur Verwendung in diesen Gleichungen aus den Informationen über den Prozessregelkreis, der entworfen oder abgestimmt wird, einschließlich der Filter und Scaneigenschaften der Eingabe-/Ausgabegeräte, des Prozesses und der Prozesssteuerung innerhalb des Regelkreises bestimmen. Ebenso kann die Anwendung **302** die Totzeit des angenäherten Prozesses unter Verwendung aller Scan- und Ausführungsraten der verschiedenen Geräte, wobei der Prozessregelkreis erstellt und abgestimmt wird, und die Zeitkonstanten höherer Ordnung bestimmen.

[0062] Darüber hinaus kann die Anwendung **302** vor oder nach dem Ausführen der geschätzten Prozessregelkreisberechnung, d. h. dem Annähern des Prozessregelkreises unter Verwendung von Gleichung (1), den Benutzer auffordern, ein bestimmtes Abstimmungs- oder Steuerungsdesignverfahren auszuwählen, das zum Bestimmen des PID-Steuerungsdesign- oder Abstimmungsparameters verwendet werden soll. Eine Wahl eines Abstimmungsverfahrens kann durch das Eingabefeld **410** von **Fig. 5** bereitgestellt werden. In einigen Fällen kann die Anwendung **302** einfach eine Lambda-Abstimmungsmethode wie oben beschrieben verwenden, in anderen Fällen kann sie dem Benutzer jedoch andere Abstimmungsoptionen oder -methoden bereitstellen, die basierend auf der Prozessnäherung verwendet werden können (z. B. über ein Dropdown- oder Popup-Feld in **Fig. 5**). Wenn die Anwendung **302** ein Lambda-Abstimmungsverfahren verwendet oder der Benutzer ein Lambda-Abstimmungsverfahren auswählt, kann die Anwendung **302** den Benutzer auffordern, den Lambda-Wert in dem Feld **408** anzugeben, oder kann alternativ einen Lambda-Wert unter Verwendung beispielsweise der obigen Gleichung (7) berechnen. In jedem Fall kann die Anwendung **302** beim Drücken des Rechenabstimmknopfes **412** das PID-Steuerungsdesign oder -abstimmungsparameter einschließlich der Steuerungsverstärkung K_c und der Rücksetzzeitkonstante τ_r und der Ratenzeitkonstante τ_d unter Verwendung der oben genannten Gleichungen (4)-(6) berechnen. Die Anwendung **302** kann die Eigenschaften der PID-Steuerung (in einem separaten Satz von Diagrammen oder Listen) modellieren oder anzeigen, wenn der Benutzer die Schaltfläche **414** für die Anzeigeeigenschaften auswählt. Darüber hinaus kann die Anwendung **302** diese Design- oder Abstimmungsparameter dem PID-Steuermodul innerhalb der Prozesssteuerung **311** bereitstellen, die den PID-Regelkreis implementiert (beispielsweise nach Genehmigung durch den Benutzer). Die Anwendung **302** kann diese Schritte dann für andere (z. B. alle anderen) PID-Steuermodule oder -regelkreise innerhalb der Prozessanlage oder innerhalb eines Abschnitts der Prozessanlage wiederholen.

[0063] Falls gewünscht, kann die Anwendung **302** die Prozesssteuereigenschaften des entworfenen oder abgestimmten Prozessregelkreises modellieren oder schätzen und diese Schätzungen einem Benutzer (über die Benutzerschnittstelle **400**) bereitstellen, nachdem der Benutzer beispielsweise die Schaltfläche **414** für die Anzeigeeigenschaften in **Fig. 5** gedrückt oder ausgewählt hat. Diese Prozesssteuereigenschaften können als Faktoren und/oder als ein oder mehrere Diagramme bereitgestellt werden, damit der Benutzer das Steuerungsverhalten der abgestimmten PID-Steuerung anzeigen kann, um beispielsweise Sollwertänderungen und/oder Laststörungen festzustellen. Der Benutzer kann dann das in den Berechnungen verwendete Lambda ändern, wenn dies gewünscht wird, und die Anwendung **302** kann die Abstimmungsberechnungen und Prozessregelkreisschätzungen basierend auf dem neuen Lambda-Wert neu abstimmen. Zusätzlich oder alternativ könnte der Benutzer Geräte oder Gerätefunktionen der im E/A-Netzwerk verwendeten E/A-Geräte ändern, indem er beispielsweise über den Bildschirm **400** von **Fig. 5** neue oder andere Geräte oder Gerätefunktionen in dem E/A-Netzwerk und die Totzeiten, Scanraten und Zeitkonstanten dieser neuen oder anderen Geräte oder Gerätefunktionen spezifiziert. Das Abstimmungs- oder Designsystem kann dann eine neue Prozessregelkreis-Näherung berechnen, eine Abstimmung an dieser neuen Prozessregelkreis-Näherung durchführen und dann Modelle ausführen oder realisieren (d. h. den Betrieb des neu entworfenen Regelkreises modellieren) und die Prozesssteuereigenschaften mit diesem neuen oder anderen Prozess-E/A-Regelkreis beispielsweise über Grafiken oder Diagramme veranschaulichen. Zum Beispiel könnte ein Benutzer den Bildschirm **400** von **Fig. 5** verwenden, um Filtereinstellungen zu ändern, Filter in verschiedenen E/A-Geräten ein- oder auszuschalten, E/A-Geräte zu ändern (oder Typen von E/A-Geräten, z. B. von der Verwendung eines 4-20-mA-Geräts zu einem Smart-Gerät, das keine A/D-Wandler usw. verwendet), verschiedene Anti-Aliasing-Filter oder andere Geräteeigenschaften hinzuzufügen oder zu entfernen, Totzeiten, Scanraten usw. von Geräten zu ändern, um festzustellen, ob der neu entworfene Prozessregelkreis eine bessere Leistung als das aktuelle Design erzielen

würde. Auf diese Weise kann der Benutzer anzeigen, wie sich das Ändern von Geräten, Gerätekomponenten und Filtereinstellungen auf die Steuerung auswirkt.

[0064] Die Anwendung **302** implementiert und stellt eine konsistente und einfach zu verwendende Methodik zum Entwerfen oder Abstimmen von PID-Regelkreisen oder Modulen innerhalb einer Prozessanlage bereit, die eine bessere oder optimalere Steuerung ermöglicht, da diese Methodik ein breiteres Spektrum der Faktoren berücksichtigt, die derzeit die Leistung des Prozessregelkreises in komplexen Prozessleitsystemen beeinflussen, die verschiedene Typen von Geräten und Filtern in den Eingabe-/Ausgabernetzwerken des Regelkreises verwenden.

[0065] Der Begriff „Feldgerät“ wird hier im weiteren Sinne verwendet, um eine Anzahl von Geräten oder Kombinationen von Geräten (d. h. Geräte, die mehrere Funktionen bereitstellen, wie beispielsweise einen Sender/Aktuator-Hybrid) sowie alle anderen Geräte, die eine Funktion in einem Steuerungssystem ausführen, einzuschließen. In jedem Fall können Feldgeräte beispielsweise Eingabegeräte umfassen (z. B. Geräte wie Sensoren und Instrumente, die Status-, Mess- oder andere Signale liefern, die Prozesssteuerungsparameter anzeigen, wie beispielsweise Temperatur, Druck, Durchflussrate usw.) sowie Steuerungsoperatoren oder -aktuatoren, die Aktionen als Antwort auf Befehle ausführen, die von Steuerungen und/oder anderen Feldgeräten empfangen werden.

[0066] Nach der Implementierung kann jede der hier beschriebenen Software in jedem computerlesbaren Speicher, z. B. auf einer Magnetplatte, einer Laserplatte oder einem anderen Speichermedium, in einem RAM oder ROM eines Computers oder Prozessors usw. gespeichert werden. Gleichmaßen kann diese Software an einen Benutzer, eine Prozessanlage oder einen Bedienerarbeitsplatz unter Verwendung jedes bekannten oder gewünschten Übermittlungsverfahrens geliefert werden, einschließlich z. B. auf einer computerlesbaren Platte oder einem anderen transportablen Computerspeichermechanismus oder über einen Kommunikationskanal wie eine Telefonleitung, das Internet, das World Wide Web, ein anderes lokales Netzwerk oder ein Weitverkehrsnetzwerk usw. (wobei die Übermittlung als gleich oder austauschbar mit der Bereitstellung dieser Software über ein transportables Speichermedium angesehen wird). Darüber hinaus kann diese Software direkt ohne Modulation oder Verschlüsselung bereitgestellt werden, oder sie kann vor der Übertragung über einen Kommunikationskanal mit jeder geeigneten Modulationsträgerwelle und/oder Verschlüsselungstechnik moduliert und/oder verschlüsselt werden.

[0067] Obwohl die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf spezifische Beispiele beschrieben wurde, die nur veranschaulichend sein und die Erfindung nicht einschränken sollen, ist es für den Durchschnittsfachmann offensichtlich, dass Änderungen, Hinzufügungen oder Streichungen zu den offenbarten Ausführungsformen möglich sind, ohne vom Geist und Umfang der Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abstimmen einer Proportional-Integral-Derivativ-(PID) Prozesssteuerung zur Verwendung bei der Steuerung eines Prozesses, wenn die PID-Prozesssteuerung über ein Eingabe-/Ausgabernetzwerk, die PID-Prozesssteuerung, das Eingabe-/Ausgabernetzwerk und den Prozess, der einen Prozessregelkreis bildet, mit dem Prozess verbunden wird, wobei das Verfahren umfasst:

Bestimmen eines oder mehrerer Merkmale der PID-Prozesssteuerung, einschließlich Bestimmen einer Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung;

Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften des Prozesses, einschließlich Bestimmen einer oder mehrerer Zeitkonstanten des Prozesses und einer oder mehrerer Prozesstotzeiten des Prozesses;

Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabernetzwerks des Prozessregelkreises, einschließlich des Bestimmens mindestens einer von einer oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten und einer oder mehreren zugeordneten Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten mit dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabe-Netzwerks des Prozessregelkreises und einer oder mehreren Eingabe-/Ausgabebetzeiten, die dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabe-Netzwerks zugeordnet sind;

Schätzen des Prozessregelkreises als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit, einschließlich Bestimmen von Zeitkonstanten erster und zweiter Ordnung des geschätzten Prozesses als Funktion der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und Bestimmen der Totzeit des geschätzten Prozesses als Funktion der einen oder mehreren Totzeiten des Prozesses, der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten, der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten, der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten, der Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabebetzeiten;

Bestimmen eines Satzes von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den geschätzten Prozesszeitkonstanten und der geschätzten Prozesstotzeit; und
 Abstimmen der PID-Steuerung unter Verwendung des festgelegten Satzes von Abstimmungsfaktoren der PID-Prozesssteuerung.

2. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach Anspruch 1, wobei die Abstimmungsfaktoren der PID-Prozesssteuerung eine Steuerungsverstärkung, eine Rücksetzzeitkonstante und eine Ratenzeitkonstante umfassen.

3. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Bestimmen des Satzes von Abstimmungsfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den geschätzten Prozesszeitkonstanten und der geschätzten Prozesstotzeit das Verwenden eines Lambda-Abstimmverfahrens umfasst; insbesondere wobei das Verwenden eines Lambda-Abstimmverfahrens das Ermöglichen eines Benutzers zum Auswählen des Lambda-Werts in dem Lambda-Abstimmverfahren umfasst; und/oder insbesondere wobei das Verwenden eines Lambda-Abstimmverfahrens das automatische Auswählen des Lambda-Werts in dem Lambda-Abstimmverfahren umfasst.

4. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Verwenden eines Lambda-Abstimmverfahrens das Verwenden des Lambda-Werts in dem Lambda-Abstimmverfahren als einen Faktor multipliziert mit dem Maximum des Abstimmungsfaktors der Rücksetzzeitkonstante und der geschätzten Prozesstotzeit umfasst; insbesondere wobei der Faktor drei beträgt.

5. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung das Ermöglichen der Eingabe eines oder mehrerer Merkmale der PID-Prozesssteuerung durch einen Benutzer umfasst; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung das Abrufen der einen oder mehreren Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung aus einer Konfigurationsdatenbank umfasst; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabe-Netzwerks des Prozessregelkreises das Ermöglichen der Eingabe eines oder mehrerer Merkmale des einen oder der mehreren Geräte durch einen Benutzer innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks umfasst.

6. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen des einen oder der mehreren Merkmale des einen oder der mehreren Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks aus der Konfigurationsdatenbank umfasst; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabe-Netzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen des einen oder der mehreren Merkmale des einen oder der mehreren Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks aus dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks umfasst; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten umfasst, die einem oder mehreren Filtern innerhalb der einen oder der mehreren Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind.

7. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten umfasst, die einem oder mehreren Aktuatoren innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten umfasst, die einem oder mehreren Ventilen innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind; und/oder wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabe-

totzeiten umfasst, die einem oder mehreren Aktuatoren innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind.

8. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabebetzeiten umfasst, die einem oder mehreren Kommunikationsnetzwerken innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind; und/oder

wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabebetzeiten umfasst, die einem oder mehreren Rangiergeräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind; und/oder

wobei das Bestimmen einer oder mehrerer Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingangs-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises das Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabebetzeiten umfasst, die einem oder mehreren Filtern innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind.

9. Verfahren zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner umfassend das Modellieren des Betriebs der PID-Steuerung in dem Prozessregelkreis unter Verwendung der PID-Abstimmparameter, um eine oder mehrere Prozesssteuereigenschaften des Prozessregelkreises zu bestimmen und die eine oder mehreren Prozesssteuereigenschaften für einen Benutzer bereitzustellen;

insbesondere ferner umfassend Befähigen eines Benutzers, ein oder mehrere der Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zu ändern, eine oder mehrere der Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zu ändern, einen geänderten Prozessregelkreis zu bilden, Schätzen des geänderten Prozessregelkreises als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit, Bestimmen eines neuen Satzes von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung für den geänderten Prozessregelkreis, Modellieren des Betriebs der PID-Prozesssteuerung im geänderten Prozessregelkreis unter Verwendung der neuen PID-Abstimmparameter, um eine oder mehrere neue Prozesssteuereigenschaften des neuen Prozessregelkreises zu bestimmen und Bereitstellen an einen Benutzer der einen oder mehreren neuen Prozesssteuereigenschaften.

10. System zum Abstimmen einer Proportional-Integral-Derivativ-(PID) Prozesssteuerung zur Verwendung bei der Steuerung eines Prozesses, wenn die PID-Prozesssteuerung über ein Eingabe-/Ausgabennetzwerk, die PID-Prozesssteuerung, das Eingabe-/Ausgabennetzwerk und den Prozess, der einen Prozessregelkreis bildet, mit dem Prozess verbunden wird, einschließlich:

eine erste Komponente, die über einen Computerprozessor eine oder mehrere Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung bestimmt, einschließlich einer Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung;

eine zweite Komponente, die über einen Computerprozessor eine oder mehrere Eigenschaften des Prozesses bestimmt, einschließlich das Bestimmen einer oder mehrerer Zeitkonstanten des Prozesses und einer oder mehrerer Totzeiten des Prozesses;

eine dritte Komponente, die über einen Computerprozessor eine oder mehrere Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabe-Netzwerks des Prozessregelkreises bestimmt, einschließlich des Bestimmens mindestens einer von einer oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten und einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabebetzeiten, die dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zugeordnet sind;

eine vierte Komponente, die über einen Computerprozessor eine Schätzung des Prozessregelkreises berechnet, durch Bestimmen von Zeitkonstanten erster und zweiter Ordnung des geschätzten Prozessregelkreises als Funktion der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und durch Bestimmen einer Totzeit des geschätzten Prozessregelkreises als Funktion der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten und der Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabebetzeiten und der einen oder mehreren Prozessbetzeiten;

eine fünfte Komponente, die über einen Computerprozessor, einen Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den geschätzten Prozessregelkreis-Zeitkonstanten und der geschätzten Prozessregelkreis-Totzeit bestimmt; und

eine sechste Komponente, die der PID-Steuerung den festgelegten Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung zur Verwendung durch die PID-Steuerung während des Betriebs eines Prozesses zur Verfügung stellt.

11. System zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach Anspruch 10, wobei die fünfte Komponente die Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung als Steuerungsverstärkung, eine Rücksetzzeitkonstante und eine Ratenzeitkonstante bestimmt.

12. System zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die fünfte Komponente den Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den geschätzten Prozesszeitkonstanten und der geschätzten Prozesszeit unter Verwendung eines Lambda-Abstimmverfahrens bestimmt; insbesondere wobei die fünfte Komponente es einem Benutzer ermöglicht, den Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren auszuwählen; und/oder insbesondere wobei die fünfte Komponente einen voreingestellten Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren verwendet; und/oder insbesondere wobei die fünfte Komponente einen Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren als einen Faktor, multipliziert mit dem Maximum des Abstimmungsfaktors der Rücksetzzeitkonstante und der geschätzten Totzeit des Prozessregelkreises, verwendet.

13. System zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die erste Komponente eine oder mehrere Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung bestimmt, indem sie einem Benutzer ermöglicht, die eine oder mehreren Eigenschaften der PID-Prozesssteuerung einzugeben; und/oder wobei die dritte Komponente eine oder mehrere Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgangsnetzwerks des Prozessregelkreises bestimmt, indem sie einem Benutzer ermöglicht, die eine oder mehreren Eigenschaften des einen oder mehreren Geräte(s) innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks einzugeben; und/oder wobei die dritte Komponente eine oder mehrere Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises aus einer Konfigurationsdatenbank bestimmt.

14. System zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei die dritte Komponente eine oder mehrere Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises aus dem einen oder den mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks bestimmt; und/oder wobei die dritte Komponente die eine oder mehreren Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises durch Bestimmen einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten bestimmt, die einem oder mehreren Filtern zugeordnet sind, die in einem oder mehreren Geräten innerhalb des Eingabe-/Ausgangsnetzwerks des Prozessregelkreises verwendet werden.

15. System zum Abstimmen einer PID-Prozesssteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, ferner umfassend eine siebte Komponente, die den Betrieb der PID-Steuerung in dem Prozessregelkreis unter Verwendung der PID-Prozesssteuerungs-Abstimmungsparameter modelliert, um eine oder mehrere Prozesseigenschaften des Prozessregelkreises zu bestimmen, und eines oder mehrere Prozesssteuerungsmerkmale für einen Benutzer bereitstellt; insbesondere wobei die dritte Komponente einen Benutzer befähigt, ein oder mehrere der Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zu ändern, eine oder mehrere der Eigenschaften eines oder mehrerer Geräte innerhalb des Eingabe-/Ausgabennetzwerks des Prozessregelkreises zu ändern, einen geänderten Prozessregelkreis zu bilden, wobei die vierte Komponente den geänderten Prozessregelkreis als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit schätzt, wobei die fünfte Komponente einen neuen Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung für den geänderten Prozessregelkreis bestimmt, wobei die siebte Komponente den Betrieb der PID-Prozesssteuerung im geänderten Prozessregelkreis unter Verwendung der neuen PID-Abstimmparameter modelliert, um eine oder mehrere neue Prozesseigenschaften des neuen Prozessregelkreises zu bestimmen, und die eine oder die mehreren neuen Prozesseigenschaften an einen Benutzer bereitstellt.

16. Prozessleitsystem zum Steuern eines Abschnitts eines Prozesses unter Verwendung eines Prozessregelkreises, umfassend:
eine Proportional-Integral-Differential (PID)-Prozesssteuerung;
mehrere Eingabe-/Ausgabekommunikationsgeräte, die zwischen der PID-Prozesssteuerung und dem Prozess verbunden sind, um eine oder mehrere Prozessgrößen zu messen und die gemessenen Prozessgrößen an die PID-Prozesssteuerung zu übermitteln und ein oder mehrere Steuersignale von der PID-Prozesssteuerung an ein gesteuertes Gerät in dem Prozess zu senden; und
einen Prozesssteuerungs-Tuner, umfassend;
einen Prozessor,

eine Prozesssteuerungs-Abstimmroutine, die in einem Speicher gespeichert und angepasst ist, um auf dem Prozessor ausgeführt zu werden, um Folgendes auszuführen:

- (1) Schätzen des Prozessregelkreises als Prozess zweiter Ordnung plus Totzeitprozess durch;
 - (a) Bestimmen von Zeitkonstanten erster und zweiter Ordnung des geschätzten Prozessregelkreises als Funktion einer oder mehrerer Prozesszeitkonstanten, die dem Betrieb des Prozesses zugeordnet sind, und einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten, die dem Betrieb eines oder mehrerer Eingabe-/Ausgabekommunikationsgeräte zugeordnet sind und
 - (b) Bestimmen der Totzeit des geschätzten Prozessregelkreises als Funktion der einen oder mehreren Prozesszeitkonstanten und der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten und einer oder mehrerer Eingabe-/Ausgabegerät-Scanraten und der Ausführungsrate der PID-Prozesssteuerung und eine oder mehrere Prozesstotzeiten und eine oder mehrere Eingabe-/Ausgabegerät-Totzeiten, die einem oder mehreren der Eingabe-/Ausgabegeräte zugeordnet sind; und
- (2) Bestimmen eines Satzes von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den ersten und zweiten geschätzten Prozessregelkreis-Zeitkonstanten und der geschätzten Prozessregelkreis-Totzeit.

17. Prozessleitsystem nach Anspruch 16, wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine die Steuerungsabstimmungsfaktoren als eine Steuerungsverstärkung, eine Rücksetzzeitkonstante und eine Ratenzeitkonstante bestimmt.

18. Prozessleitsystem nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine den Satz von Abstimmungsfaktoren der PID-Prozesssteuerung aus den ersten und zweiten geschätzten Prozessregelkreis-Zeitkonstanten und der geschätzten Prozessregelkreis-Totzeit unter Verwendung eines Lambda-Abstimmverfahrens bestimmt; insbesondere wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine es einem Benutzer ermöglicht, den Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren auszuwählen; und/oder insbesondere wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine einen voreingestellten Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren verwendet; und/oder insbesondere wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine den Lambda-Wert in dem Lambda-Abstimmverfahren als einen Faktor multipliziert mit dem Maximum eines Abstimmungsfaktors der Rücksetzzeitkonstante und der geschätzten Prozessregelkreis-Totzeit berechnet.

19. Prozessleitsystem nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine mindestens eine der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten bestimmt, die dem Betrieb eines oder mehrerer der Eingabe-/Ausgabegeräte zugeordnet sind, basierend auf den Eigenschaften eines Filters in einem der mehreren Eingabe-/Ausgabegeräte; und/oder wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine mindestens eine der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabezeitkonstanten bestimmt, die dem Betrieb einer oder mehrerer der Eingabe-/Ausgabegeräte zugeordnet sind, basierend auf den Eigenschaften eines Analog-Digital-Wandlers in einem der mehreren Eingabe-/Ausgabegeräte; und/oder wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine mindestens eine der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabescanraten bestimmt, die dem Betrieb eines oder mehrerer der Eingabe-/Ausgabegeräte zugeordnet sind, basierend auf einer Scanrate eines Messgeräts innerhalb des Prozessregelkreises.

20. Prozessleitsystem nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine mindestens eine der einen oder mehreren Eingabe-/Ausgabescanraten bestimmt, die dem Betrieb einer oder mehrerer der Eingabe-/Ausgabegeräte zugeordnet sind, basierend auf einer Aktualisierungsrate eines Eingabe/Ausgangssignal-Rangiergeräts innerhalb des Prozessregelkreises; und/oder wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine den Betrieb der PID-Prozesssteuerung in dem Prozessregelkreis unter Verwendung der PID-Prozesssteuerungs-Abstimmparameter weiter modelliert, um eine oder mehrere Prozesssteuereigenschaften des Prozessregelkreises zu bestimmen und die einen oder mehreren Prozesssteuerungsmerkmale an einen Benutzer bereitzustellen; und/oder wobei die Prozesssteuerungs-Abstimmroutine einem Benutzer ferner ermöglicht, ein oder mehrere der Eingabe-/Ausgabekommunikationsgeräte des Prozessregelkreises zu ändern, eine oder mehrere der Eigenschaften eines oder mehrerer der Eingabe-/Ausgabekommunikationsgeräte zu ändern, einen geänderten Prozessregelkreis zu bilden, den geänderten Prozessregelkreises als geschätzter Prozess zweiter Ordnung plus Totzeit schätzt, einen neuen Satz von Abstimmfaktoren der PID-Prozesssteuerung für den geänderten Prozessregelkreis bestimmt, den Betrieb der PID-Prozesssteuerung im geänderten Prozessregelkreis unter Verwendung der neuen PID-Abstimmparameter modelliert, um eine oder mehrere neue Prozesssteuereigenschaften des neuen Prozessregelkreises zu bestimmen und einem Benutzer die eine oder mehreren neuen Prozesssteuereigenschaften bereitstellt.

21. Ein computerlesbares Medium mit gespeicherten Instruktionen, die, wenn durch mindestens einen Prozessor ausgeführt, den mindestens einen Prozessor veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zu implementieren.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

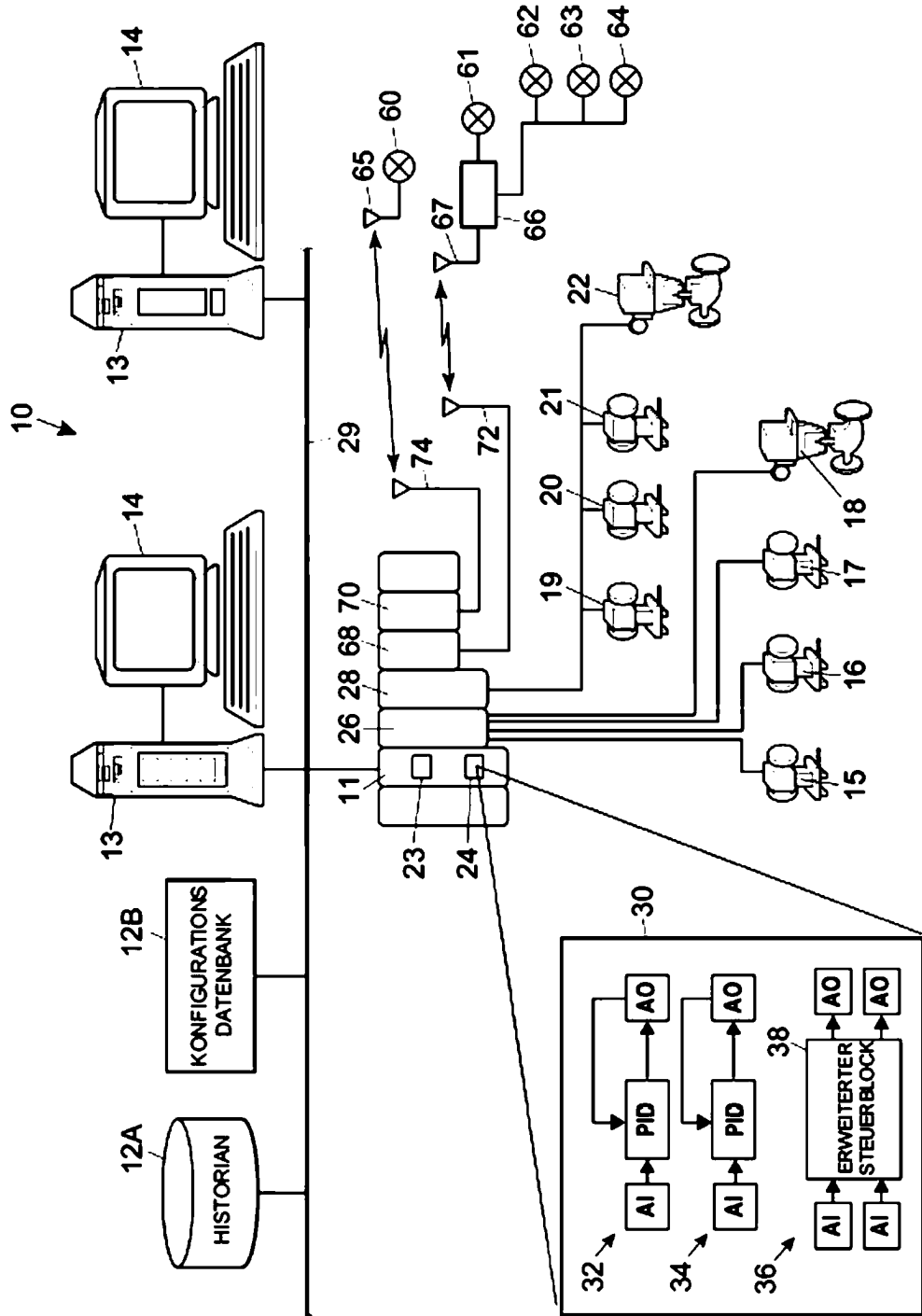


FIG. 1

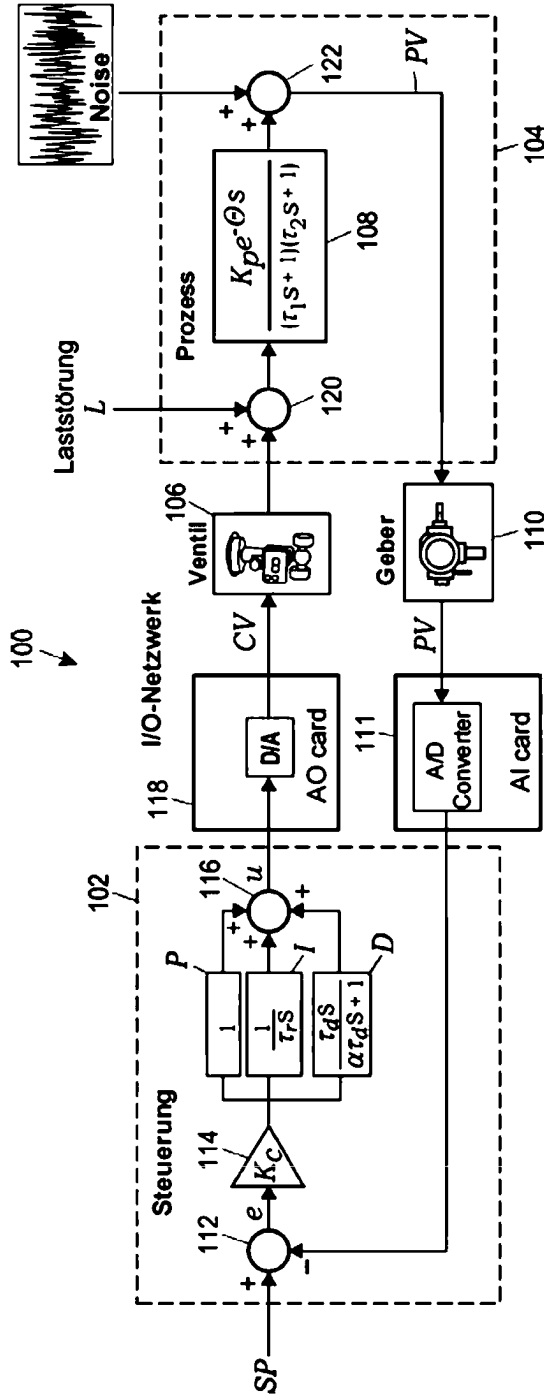


FIG. 2

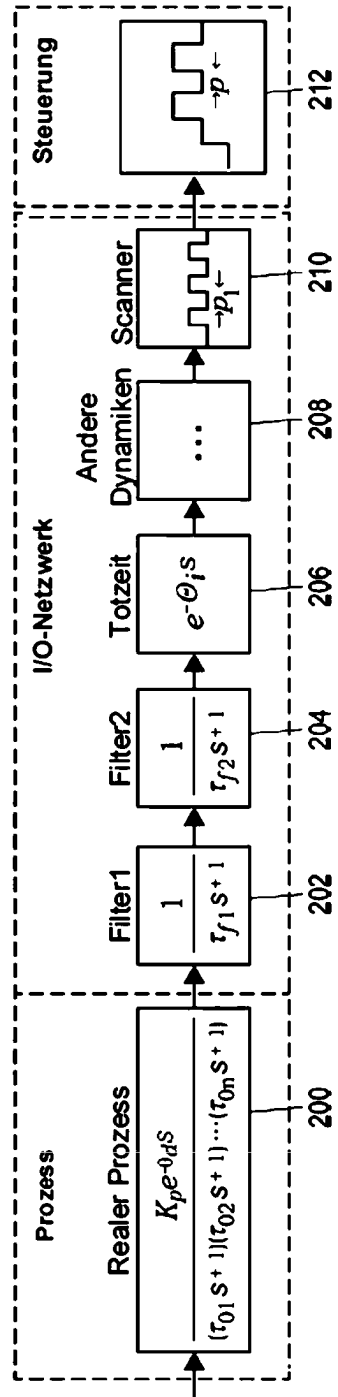


FIG. 3

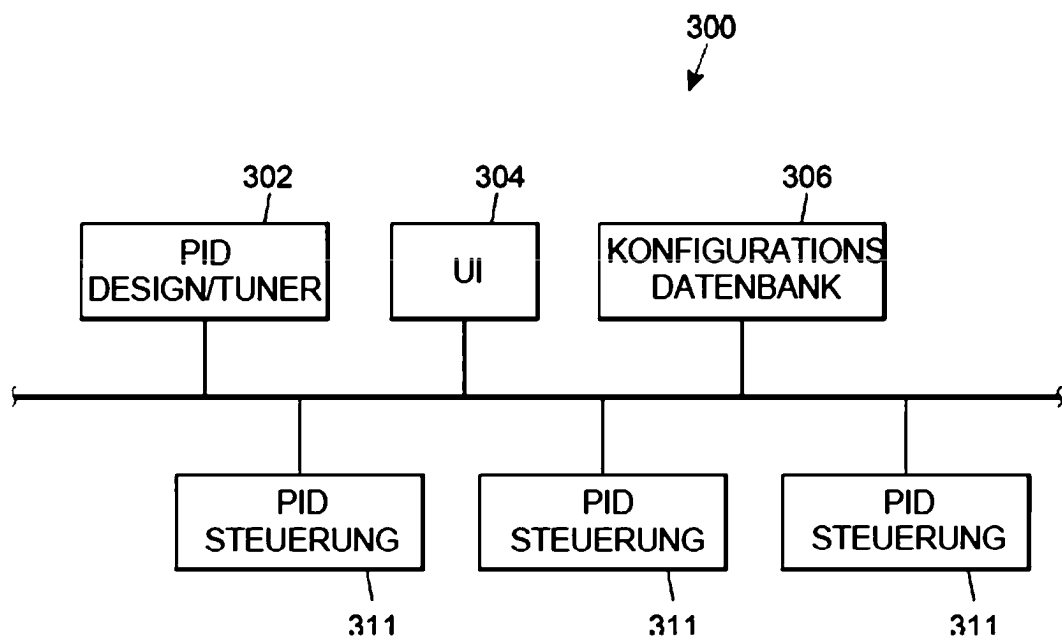


FIG. 4

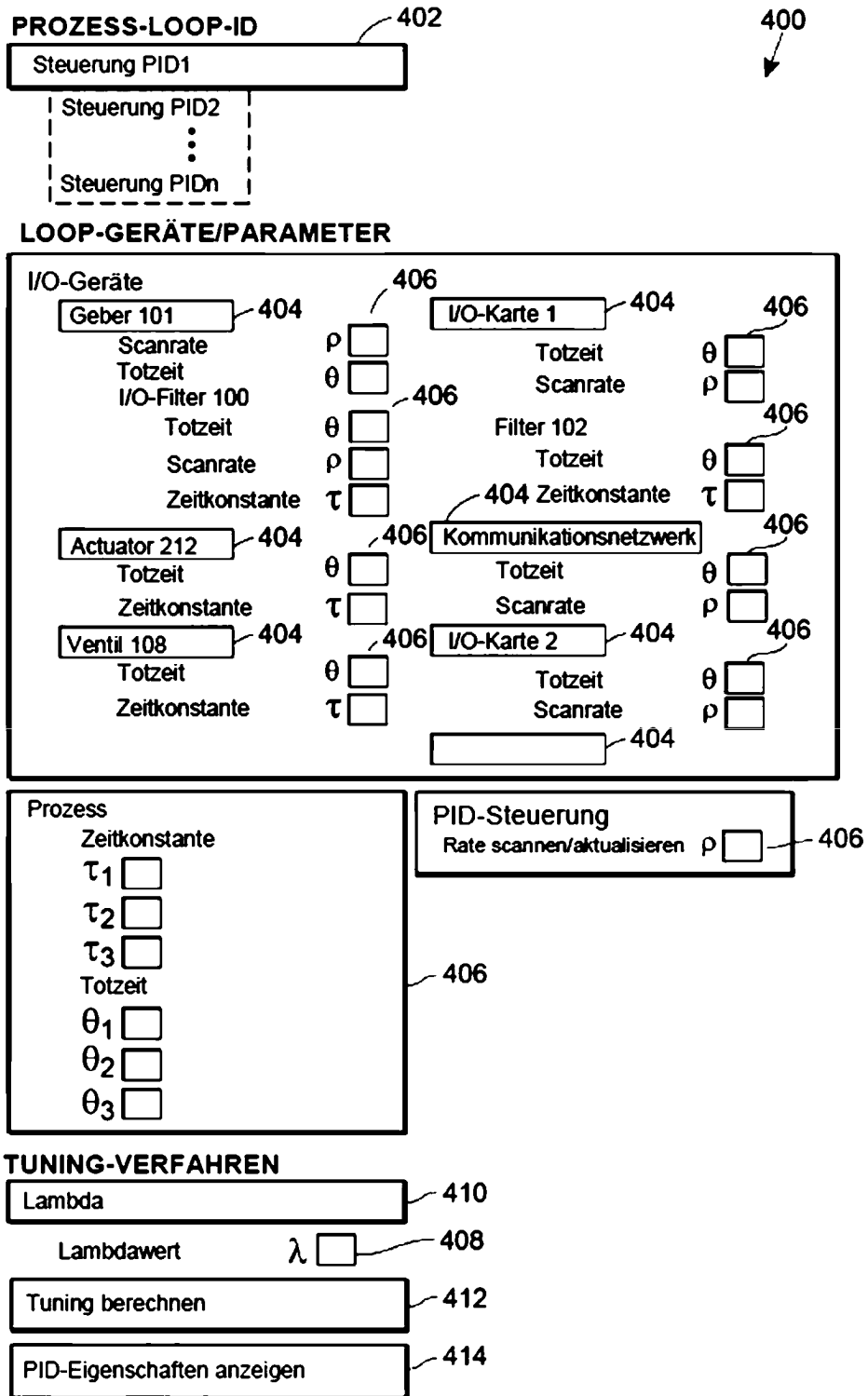


FIG. 5