



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 36 649 T2** 2008.07.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 359 487 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G05D 7/06** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 36 649.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 016 602.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.11.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **03.10.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.07.2008**

(30) Unionspriorität:

350744 09.07.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

Celerity, Inc., Austin, Tex., US

(72) Erfinder:

**Tinsley, Kenneth E., Plano, TX 75074, US; Tariq,
Faisal, Allen, Texas 75002, US**

(74) Vertreter:

**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines digitalen Massendurchflussreglers**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein elektronisches Regelsystem gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen des Massenflusses durch einen Massendurchflussregler gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 11.

[0002] Ein solches elektronisches Regelsystem und ein solches Verfahren sind aus der Druckschrift EP 890 828 bekannt. Ferner betrifft die Druckschrift EP 834 723 einen Massendurchflussregler und offenbart einen Prozessor, der Software-Befehle ausführt. Gemäß der Druckschrift EP 834 723 kann in dem System Rückkopplung eingesetzt werden.

[0003] Diese Erfindung betrifft allgemein Systeme und Verfahren zum Betreiben eines Massendurchflussreglers (MFC) in einem geschlossenen Regelsystem, welches einen fortgeschrittenen digitalen Regelalgorithmus verwendet. Insbesondere stellt die vorliegende Erfindung ein geschlossenes Regelsystem zum Betreiben eines Massendurchflussreglers bereit, bei welchem alle mathematischen Operationen innerhalb eines digitalen Prozessors ausgeführt werden.

[0004] Viele Herstellungsprozesse erfordern, dass die Raten zum Zuführen von Prozessgasen in eine Prozesskammer streng geregelt werden. Diese Prozessstypen verwenden Massendurchflussregler (MFCs), um die Flussrate von Gasen zu regeln. Bei den Massendurchflussreglern des Stands der Technik treten viele Probleme auf.

[0005] MFCs sind mit hohen Unterhaltskosten aufgrund der unregelmäßigen Wartung der Werkzeuge, in welchen der MFC eingerichtet sind, verbunden. Oft gibt es keinen Hinweis auf eine bestimmte Art des Ausfalls. Es ist deshalb üblich, den NEC auszutauschen, da er als dynamisches Gerät von vorneherein als unzuverlässig angesehen wird. Als Folge hiervon wird eine signifikante Zahl MFCs an das Werk zurückgegeben und es wird festgestellt, dass sie wie gewünscht arbeiten, was zu der Ausfallsanalyse führt, dass kein Problem gefunden wurde.

[0006] Der Mangel an einer internen Diagnostik oder die mangelnde Fähigkeit einen Fernservice für den MFC und Ferndiagnostik anzubieten, erfordert, dass ein gut ausgebildeter Service-Ingenieur oder Anwendungsingenieur den Kunden vor Ort besuchen muss, um eine technische Vor-Ort-Unterstützung und Ausfallsanalyse zu machen, wenn ein NEC einmal eingerichtet worden ist. Ein weiterer Mangel ist, dass die individuelle Geräteleistung, spezifische Genauigkeit und Antwortzeit oder Momentanleistung von einem zeitraubenden, arbeitsintensiven, manuellen Kalibrier- und Einstellprozess abhängt, bei dem Po-

tentiometer oder variable Widerstände verwendet werden.

[0007] Heutzutage ist der Herstellungsprozess ein in hohem Maße manueller Vorgang, der es erforderlich macht, dass ein Techniker verschiedene Geräte, wie Oszilloskope, verschiedene sekundäre Flussmessgeräte und dergleichen, benutzt und diese Geräte zum Bestimmen bestimmter Signale visuell betrachtet und die Potentiometer zu seiner Zufriedenheit einstellt.

[0008] Dies verlangt eine Gerätschaft, welche von dem Personal abhängt, das die Geräte einstellt. Die Geräte sind oft nicht einheitlich und von einer Einheit zu nächsten nicht austauschbar, was eine komplexe Prozessverarbeitung und Charakterisierungsprobleme verursacht, da jedes Gerät sein eigenes, zu dem Gerät gehörendes, spezifisches Verhalten zeigt. Das MFC-Verhalten ist direkt von dem manuellen Einstellprozess und dem den Prozess durchführenden Techniker abhängig. Zudem ist die Momentantwort herkömmlicher Massendurchflussregler nicht einheitlich. Die Leistung von zum Beispiel 0 oder 10% des Sollwerts ist verschieden von 0–100%. Diese variierende Antwort erzeugt ein von den Geräten abhängendes Problem der Prozessregelung. Die spezifische Antwort eines einzelnen Geräts zwingt die Ingenieure ein einzelnes MFC-Geräteverhalten zu charakterisieren, um der Variabilität und den Antwortzeiten, welche von bestimmten Situationen abhängen, Rechnung zu tragen. Dieser Charakterisierungsprozess ist sowohl teuer als auch zeitraubend.

[0009] Derzeitige MFCs sind empfindlich auf den Einlassdruck. Der Massendurchflussregler erfordert eine bestimmte Einlassdruckspezifizierung und der differenzielle Druck wird normalerweise auf ungefähr 45 PSID eingestellt, so dass die Leistung bestehender MFC-Geräte typischer Weise auf einen bestimmten Druck optimiert ist. Wenn der Einlassdruck über einen bestimmten Druckbereich variiert wird, entstehen Verluste, was zu einer stärkeren Variabilität der Antwortzeit und Charakterisierung eines Geräts führt.

[0010] Eine Lösung für die Einlassdruckempfindlichkeit erfordert, dass der Nutzer oftmals teure Druckregler einrichtet.

[0011] In den Gasleitungen, welche das Gas dem MFC zuführen, wäre es vorteilhaft, einen Massendurchflussregler zu haben, welcher nicht empfindlich auf Druckschwankungen ist, so dass auf eine teure Druckreglerausrüstung verzichtet werden kann. Ferner weist jedes Gerät einen Druckwandler nahe dem Druckregler auf, dessen einziger Zweck darin liegt, anzuzeigen, dass der Druckregler funktioniert.

[0012] Ferner ist es notwendig, zukünftige Standards bezüglich der offenen Kommunikation und In-

strumentierung zu erfüllen. EIARS485 ist ein offener Standard für Multi-Drop, welcher jedoch nur die physikalische Schicht beschreibt. So ist der Software-Protokollstapel Gegenstand eigener Implementierungen des eines oder anderen Herstellers. So ist es wünschenswert, Massendurchflussregler zu haben, die für einen Hochleistungskommunikationsservice geeignet sind, und die offene Protokolle implementieren, ohne dass Flussregelparameter aufgegeben werden.

[0013] Eine leistungsfähige Lösung zum Verständnis unbekannter oder wenig verstandener Prozesse liegt darin, von dem Prozess durch Regressionsanalyse zu lernen. Die Regressionsanalyse ist ein strukturierter Ansatz, welcher sorgfältig gestaltete Experimente nutzt, um multivariable technische Prozesse zu optimieren. Diese Technik ermöglicht, dass ein Prozess verstanden und gegebenenfalls durch eine Reihe von Experimenten ausgenutzt wird. Die übliche Methode der Abschätzung für das Regressionsmodell ist die der mittleren geringsten Quadrate (OLS).

[0014] Die Regressionsanalyse erlaubt auch die Schaffung von Diagnostikprozeduren, welche die vorhergesagten Werte mit den tatsächlichen Werten vergleichen, um die Leistungsfähigkeit der Regressionsschätzungen durch die Verwendung von Abweichungen zu bestimmen.

[0015] Die generelle Aufgabe liegt darin, die bestmögliche Flussregelleistung bereitzustellen, während andere Punkte, wie Kommunikation, Mehrfachgaskalibrierungen und Unterhaltskosten nicht aufgegeben werden.

[0016] Diese Aufgabe wird durch ein eingangs genanntes elektronisches Regelsystem mit den kennzeichnenden Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Bezüglich eines eingangs genannten Verfahrens wird diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 11 gelöst.

[0017] Die vorliegende Erfindung zeigt ein System und Verfahren zum Betreiben eines Massendurchflussreglers, durch welche Nachteile und Probleme von zuvor entwickelten Systemen und Verfahren zum Betreiben eines Massendurchflussreglers im Wesentlichen beseitigt oder verringert werden.

[0018] Der gewählte Aufbau der vorliegenden Erfindung gibt nicht die Flussregelung zugunsten der Eignung ein Kommunikationsnetzwerk zu unterstützen auf.

[0019] Die vorliegende Erfindung stellt eine innerhalb des gewählten Aufbaus bzw. Systems eingebettete Diagnostik bereit. Insbesondere überwacht der digitale Mechanismus der vorliegenden Erfindung in

diskreter Weise die Systemvariablen. Diese Variablen umfassen, sind jedoch nicht eingeschränkt auf den Flusssollwert, den Spulenstrom, die Umgebungstemperatur, den Widerstand des Flusssensors und den Einlassdruck, der durch einen externen Druckwandler gemessen werden kann. Mehrere dieser Variablen sind eine wertvolle Informationsquelle um die MFC-Druckempfindlichkeit zu überwachen und zu verringern. Der digitale Mechanismus überwacht auch die Stromversorgungsspannungen.

[0020] Die Systemarchitektur mit einem eingebetteten, internen, digitalen Massendurchflussregler zielt insbesondere auf eine Verbesserung der Leistung eines MFC in Bezug auf Systeme des Stands der Technik ab und fügt mehrere wertvolle Merkmale hinzu.

[0021] Der Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung enthält keine variablen, manuellen Einstellungen. Dies hat den Vorteil, dass jegliche Kalibrierung und Einstellung über eine Speicherung eines einzelnen Satzes von Konstanten, die in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert werden, digital vervollständigt wird. Ein Zugriff zu den relevanten Speicherorten wird über die zugewiesene RS485-Schnittstelle bereitgestellt. Der Kalibriersystemhost, auf welchem die geeignete Software ausgeführt wird und eine Schnittstelle zu spezifischen Flussmessinstrumenten hat, kann der Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung für eine einheitlich wiederholbare Leistung bei statischem und transientem Fluss automatisch kalibrieren und einstellen. Diese einheitlichen Momentanantworten ergeben einen zusätzlichen Vorteil der vorliegenden Erfindung. Diese einheitlichen Momentanantworten werden durch Verwenden der Rechenleistung, welche von dem ausgewählten und in dem gewählten Aufbau angewendeten digitalen Signalprozessor bereitgestellt wird, erzielt. Dieser Aufbau ermöglicht, dass 100% der Regelalgorithmen über Software implementiert werden. Diese Software-Algorithmen können Mechanismen enthalten, um einzelne, fallabhängige oder situationsbedingte Parameter aufzurufen, die ausgewählt oder eingestellt werden können, um eine einheitliche und wiederholbare transiente Antwort zu erhalten.

[0022] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist es, dass keine Notwendigkeit für teure, stromaufwärts angeordnete Druckregler innerhalb einer Gaszuführung vorliegt. Der digitale Mechanismus der vorliegenden Erfindung kann den Einlassdruck über einen verfügbaren A/D-Eingang diskret überwachen. Es ist wünschenswert, den Eingangsdruck zu überwachen und die Massenflusseigenschaften des Ausgangs der vorliegenden Erfindung unempfindlich zu machen.

[0023] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass sie mehrere, autonome, zugewiesene,

digitale Kommunikationsanschlüsse enthalten kann. Dieser Aufbau ermöglicht, dass multiple, digitale Netzwerke simultan unterstützt werden. Spezifische Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen, dass ein Netzwerk ein RS485-Netzwerk ist. Der gewählte DSP umfasst ein eingebettetes UART-Peripheriegerät, welches zur Unterstützung von RS485-Netzwerken dient. Ein zusätzliches Netzwerk kann über Lesen und Schreiben auf einen Zweifachanschluss-SRAM unterstützt werden. Die Auswahl des Zweifachanschluss-SRAM als eine Kommunikationspartition ermöglicht die Unterstützung von austauschbaren Schnittstellen. Die vorliegende Erfindung ist nicht notwendigerweise auf diese beiden Kommunikationsanschlüsse eingeschränkt. Mehrfachkommunikationsanschlüsse verschiedener Kommunikationsprotokolle, welche den Fachleuten bekannt sind, können in der vorliegenden Erfindung angewendet werden, um autonome, austauschbare Schnittstellen zu realisieren.

[0024] Ein zusätzlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass das eingebettete System Ereignisse auf Basis des Empfangs von Probanddaten des Flusssignals in genauen, diskreten Intervallen von 1,68 Millisekunden verwaltet. Aufgrund der Rechenleistung des gewählten Aufbaus beendet der Regelalgorithmus seine Aufgabe in weniger als 30% dieses Zeitraums.

[0025] Ein besseres Verständnis der vorliegenden Erfindung und deren Vorteile kann durch die folgende Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen erlangt werden, in denen gleiche Bezugswahlen gleiche Elemente bezeichnen, wobei:

[0026] [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm für eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0027] [Fig. 2](#) ein Zeitdiagramm der Ereignisverarbeitung in der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0028] [Fig. 3](#) zwei Sätze Flussdiagramme enthält, welche das Verfahren der vorliegenden Erfindung veranschaulichen;

[0029] [Fig. 4](#) Speicherinteraktionen in der vorliegenden Erfindung beschreibt;

[0030] [Fig. 5](#) einen Überblick der zu einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gehörenden Kommunikationen gibt;

[0031] [Fig. 6](#) ein Verfahren und System zum Bereitstellen einer automatischen Kalibrierung des Massendurchflussreglers der vorliegenden Erfindung beschreibt; und

[0032] [Fig. 7](#) einen Überblick über diagnostische Fähigkeiten der vorliegenden Erfindung angibt.

[0033] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den Figuren angegeben, wobei gleiche Bezugswahlen verwendet werden, um gleiche und entsprechende Teile der verschiedenen Zeichnungen zu bezeichnen.

[0034] Die vorliegende Erfindung zeigt ein Aufbausystem für ein Regelsystem eines digitalen Massendurchflussreglers, welches eine innerhalb des Regelsystems eingebettete Diagnostik umfasst. Insbesondere überwacht der digitale Mechanismus der vorliegenden Erfindung diskret spezifische Systemvariablen zum Zwecke einer Verbesserung der Problemlösung und vorsorgender Wartungsprogramme. Diese Variablen umfassen, sind jedoch nicht eingeschränkt auf den Flusssollwert, den Spulenstrom, die Umgebungstemperatur, den Basiswiderstand des Flusssensors und den Einlassdruck, der durch einen externen Druckwandler gemessen werden kann. Diese Variablen sind eine wertvolle Informationsquelle, um die MFC-Druckempfindlichkeit zu überwachen und zu verringern. Der digitale Mechanismus überwacht auch Stromversorgungsspannungen.

[0035] Die überwachten Variablen werden verwendet, um eine genauere Flussmessung innerhalb der MFC der vorliegenden Erfindung zu bestimmen.

[0036] Die vorliegende Erfindung verwendet einen digitalen Mechanismus, was einen digitalen Signalprozessor, der eine Schnittstelle zu einem A/D-Wandler aufweist, meint. Insbesondere ist in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Aufbau bzw. ein digitaler Signalprozessor, der 16 Kanäle einer 10 bit A/D-Wandlung aufweist, gewählt worden. In diesem Aufbau werden eingebettete A/D-Kanäle verwendet, um die gewünschten Daten einzuholen. Die vorliegende Erfindung verwendet einen externen, intelligenten A/D-Wandler, um den Sensorausgang zu digitalisieren, da er eine höhere Auflösung als 10 bit erfordert. Zusätzlich zu diesen überwachten Parametern werden mehrere Flussregelereignisse überwacht, einschließlich des Fließgleichgewichtsfehlers. Ferner wird die Genauigkeit der Massendurchflussregler in Bezug auf den von dem Anwenderwerkzeug bereitgestellten Sollwert kontinuierlich überwacht. Die vorliegende Erfindung misst auch die Ventilleckrate.

[0037] Die vorliegende Erfindung enthält einen einzelnen Algorithmus, der von einem digitalen Mechanismus ausgeführt wird. Der spezifische Algorithmus bestimmt, ob der Sollwert für die Flussregelung Null ist und ob der gemessene Fluss größer als 2% des Vollausschlags ist, was einen Industriestandard darstellt, um eine Warnung auszugeben, dass das Ventil leckt. Eine herkömmliche Versagensweise einer MFC ist ein ausgefallener Aktuator oder Ventil. Dieser Ausfall manifestiert sich entweder als Leck oder eine Unfähigkeit zur Regelung. Deshalb würde man

den Fließgleichgewichtsfehler und das Ventilleck messen, und feststellen, ob ein signifikantes Überschießen der Antwort beim Ansteigen oder Abfallen der Sollwerte vorliegt. Wenn man zum Beispiel den Sollwert 2,0 von Null bis 100% Vollausschlag beobachtet und wenn der Sollwert überschießt oder die Antwort einen vorbestimmten Wert übersteigt, dann wird eine Warnung an den Nutzer ausgegeben. Das Bereitstellen von Zugriff auf alle dieser überwachten Parameter reduziert die Zeit und das unnötige Entfernen von MFC-Geräten, die ansonsten gut funktionieren. Der Aufbau der vorliegenden Erfindung minimiert die erforderliche Zeit zum Warten und Reparieren der nicht ordentlich funktionierenden MFC-Geräte durch das Ausmaß der bereitgestellten Diagnostik um das volle Analyseverfahren auf bestimmte Bereiche zu lokalisieren.

[0038] Es ist wünschenswert, dass offene Kommunikationsnetzwerke, wie Devicenet™ und dergleichen, zur Regelung des Geräts für das Flussregelprozessmanagementsystem verfügbar sind. Ein weiterer Kommunikationsanschluss ist der Wartung gewidmet. Deshalb ist ein RS485-Anschluss oder ein anderer gleichartiger Anschluss der Wartung zugewiesen. Deshalb wird eine Kommunikation über den offenen Kommunikationsanschluss zur Prozessregelung eingerichtet. Es gibt ein zugewiesenes RS485-Netzwerk, das ein proprietäres Kommunikationsnetzwerk aufweist, das mit dem OSI-Modell zur Netzwerkverbindung in der vorliegenden Erfindung kompatibel ist.

[0039] Ein OSI-Modell für eine Netzwerkverbindung ist ein offenes System. Das OSI-Modell ist ein Verfahren, das oft zur Vernetzung von PCs verwendet wird. Dieses Modell ist ein verbreitetes Modell zum Implementieren offener Systemverbindungen für PCs auf niedrigem Niveau.

[0040] Der zugewiesene Fabrikwartungsanschluss ermöglicht der vorliegenden Erfindung Ferndiagnostik bereitzustellen. Der Anschluss kann verwendet werden, um eine lokale Überwachung einzurichten, wenn er mit einem zugewiesenen Laptop, Notebook oder PC verbunden ist. Eine Netzwerküberwachung über den Anschluss kann implementiert werden, indem ein Laptop, Notebook oder PC mit der RS485-Schnittstelle verbunden wird und indem ein Modem in den PC eingebaut oder integriert wird. Deshalb kann sich ein Ingenieur mit Modemzugriff in den lokalen Computer einwählen und die vorliegende Erfindung, welche für die Flussregelereignisse offen ist, abfragen. Ferner kann die eingebettete Diagnostik von diesem Ingenieur verwendet werden, um einen höheren Detailgrad in Bezug auf mögliche Ausfallsarten bereitzustellen.

[0041] Die Figuren stützen die von der vorliegenden Erfindung angesprochenen Probleme und veran-

schaulichen, warum der Aufbau der vorliegenden Erfindung Vorteile und Merkmale liefert, welche eine Lösung der zum Stand der Technik gehörenden Probleme bieten.

[0042] [Fig. 1](#) zeigt ein Blockdiagramm für eine Ausführungsform des eingebetteten Systems bzw. Aufbau der vorliegenden Erfindung. Block **12** stellt den Flusssensor dar. Ein A/D-Wandler **14** überwacht den Flusssensor **12**. Der A/D-Wandler **14** ist über eine Schnittstelle mit einem 16-bit-Mikroregler bzw. digitalen Signalprozessor (DSP) **16** verbunden.

[0043] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet einen Texas Instrument TMS320F240 DSP als DSP **16**. Dieser DSP enthält einen eingebetteten Flash-Speicher, welcher ermöglicht, dass der Softwarekode innerhalb des DSP von einer externen Netzwerkverbindung erneuert wird.

[0044] Der DSP **16** speichert einen internen Algorithmus bzw. Software, welcher ausgeführt werden kann, um ein geschlossenenkreisiges Regelsystem einzurichten. Der DSP **16** liefert ein elektronisches Signal **72** zu dem Ventilsteuermodul **18**. Das Ventilsteuermodul **18** liefert seinerseits Strom zur Spule **20**. Die Spule **20** dient als Aktuatormechanismus für das Regelventil **22**.

[0045] Der Block **24** stellt dem A/D-Wandler **14** eine Referenzspannung bereit. Der A/D-Wandler **14** ist in dem Flussregler bzw. DSP **16** eingebettet.

[0046] Es gibt zwei Typen von A/D-Wandlern: (1) jene, die im Flussregler bzw. DSP **16** eingebettet sind, und (2) A/D-Wandler, die zur externen Instrumentierung gehören. Benachbart zur Spannungsreferenz befindet sich ein serieller, elektronisch löschbarer, programmierbarer Nur-Lesespeicher (EEPROM) oder nicht-flüchtiger RAM (NVRAM) **26**. Der EEPROM **26** wird verwendet, um einzelne Kalibrier- und gasspezifische Daten mit Seriennummer, Wartungsdaten und verschiedene diagnostische Codes zu speichern. Diagnostik ist eines der wesentlichen Merkmale, welche der Aufbau der vorliegenden Erfindung mit sich bringt. Zur rechten Seite des DSP **16** befindet sich ein zweifarbiger LED-Kreis **28** und ein statischer Speicher bzw. SRAM **30**. Zusätzlich zum SRAM **30** ist ein externer Zweifachanschlussspeicher **32** (DPRAM) angeordnet. Der DRAM **32** ist mit dem Kommunikationskoprozessor **34** verbunden. Der Kommunikationskoprozessor **34** ist über eine Schnittstelle mit einem Sensorbusnetzwerk mit dem Sender-Empfänger **36** verbunden. Dieses Sensorbusnetzwerk kann ein DeviceNet, LonWorks, Profibus, Ethernet oder anderes ähnliches Netzwerk sein, wie den Fachleuten bekannt ist.

[0047] Eine zusätzliche Netzwerk-Schnittstelle ist über einen RS485-Sender-Empfänger **38**, der in der

Massendurchflussregler bzw. DSP **16** eingebettet ist, angeordnet.

[0048] Die obigen Blöcke stellen die wesentlichen Funktionsblöcke dar, die innerhalb des eingebetteten Systems einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angeordnet sind.

[0049] Verschiedene Netzwerke können eine Schnittstellenverbindung zur vorliegenden Erfindung haben. Die obige Ausführungsform zeigt zwei Netzwerkverbindungen. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf zwei Verbindungen eingeschränkt und kann zusätzliche Netzwerkverbindungen enthalten. Das Multi-Drop-Netzwerk **40** kann eine Schnittstellenverbindung mit dem RS485-Anschluss **38** haben. Das Multi-Drop-Netzwerk **40** und DeviceNet-Netzwerk **42** sind Beispiele möglicher Netzwerkverbindungen. Das Multi-Drop-Netzwerk **40** benötigt einen lokalen PC **44**, um als Host zu wirken. Der lokale PC-Host **44** kann eine Modemverbindung **48** enthalten, welche ermöglicht, dass auf die vorliegende Erfindung über ein weiteres Modem **48**, das sich im entfernten PC **50** befindet oder über eine Schnittstelle damit verbunden ist, zugegriffen wird.

[0050] Das DeviceNet-Netzwerk **42** kann entweder ein Peer-to-Peer- oder ein Peer-to-Host-Netzwerk sein. Wenn das Netzwerk einen Peer-to-Host-Anschluss in Bezug auf das DeviceNet-Netzwerk **42** aufweist, kann der PC-Host auch das Netzwerk überwachen. Dieser PC-Host kann der PC **44** sein, muss jedoch nicht vom dem PC **44** überwacht werden. Deshalb wird dieser möglicherweise getrennte PC als PC **52** bezeichnet. Dieser bestimmte PC-Host **52** kann auch eine Schnittstellenverbindung zu einem Modem **54** haben. Das Modem **54** kann über eine Telekommunikationsverbindung verbunden sein, welche das entfernte Modem **48** und den zugehörigen entfernten PC **50** verbinden kann.

[0051] Mehrere Signale und zugehörige Pfade sind innerhalb dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthalten. Zunächst wird der Flusssensor **12** mit einer Stromquelle **13** gespeist, welche ungefähr 11 Milliampere erzeugt. Unter Verwendung von Gesetzen der Wärmeübertragung, die den Fachleuten bekannt sind, wird die Massenflussrate erfasst. Das Signal **15**, das von dem Flusssensor **12** erzeugt wird, wird von dem A/D-Wandler **14** überwacht. Dieser A/D-Wandler ist intelligent. Nicht nur, dass der A/D-Wandler **14** das Flusssignal überwacht; der A/D-Wandler **14** ist auch in Bezug auf die Auflösung und Erfassungsfrequenz programmierbar.

[0052] Die für eine Ausführungsform gewählte Probenentnahmefrequenz beträgt 610 Hz. 610 Hz ergibt eine Probenentnahmeperiode von 1,6 Millisekunden. Es ist wichtig festzustellen, dass der A/D-Wandler **14** ein Datenendsignal aufweist, welches den Mikroreg-

ler unterbricht, um ihm mitzuteilen, dass er einen vollen Satz Probenentnahmedaten hat. Dies ist bei einem eingebetteten Mehrfachaufgaben-System wichtig, das mehrere Eingabe/Ausgabe-Funktionen unterstützt. Das Datenendsignal unterbricht die gesamte Software und minimisiert den Effekt von Zeitverzögerungen, welcher ungenaue Flussprobenentnahmen bewirkt. Das abgegebene Datenendsignal ist der hauptsächliche Trigger für den Hauptfunktionssoftwareblock bzw. Softwaremechanismus. Als nächstes kann ein Datensignal über eine serielle Schnittstelle **56** des A/D-Wandlers **14** gesendet werden, welche eine SPI™-Schnittstelle sein kann.

[0053] Über die serielle Schnittstelle **56** überwacht die Massendurchflussregler **16** den A/D-Wandler **14** und holt eine für das gemessene Flusssignal **15** repräsentative Probe ein. Dies wird jedes Mal wiederholt, wenn das Datenendsignal anzeigt, dass der A/D-Wandler **14** eine neue Probe hat. In einer Ausführungsform macht der A/D-Wandler **14** dies in Abständen von genau 1,6 Millisekunden. Jedoch sei bemerkt, dass dieser Abstand programmiert und deshalb flexibel ist. 1,6 Millisekunden wurden für diese Ausführungsform gewählt, weil der Flusssensor **12** eine effektive Bandbreite von ungefähr 100 bis 120 Hz hat. Deshalb wurden 610 Hz als eine effektive Probenentnahmefrequenz gewählt, um das Flusssignal durch die analog-zu-digital Wandlung in geeigneter Weise wiederzugeben. Zudem wurden 610 Hz gewählt, um genug Zeit zum Unterstützen anderer Funktionen bereitzustellen, in einer Weise, welche das Datensignal nicht unterbricht oder andere unterstützte Ereignisse stört. Dies ermöglicht ein Mastersignal als Trigger zu verwenden, was Zeit zum Unterstützen anderer Ereignisse lässt.

[0054] Auf der linken Seite des Massendurchflussreglers **16** werden mehrere externe Signale bzw. analoge Signale **58–68**, die entweder von einer zur vorliegenden Erfindung internen oder externen Quelle kommen, überwacht oder über eine Schnittstelle verbunden. Ein Beispiel ist ein analoger Sollwert **58**. Der Sollwert **58** ist eine Anfrage von dem Host durch den Nutzer für die beabsichtigte Flussrate. Typisch wird dieser Sollwert **58** von einem Waferverarbeitungswerkzeug eines Nutzers bereitgestellt, wenn die vorliegende Erfindung im Umfeld der Halbleiterbearbeitung verwendet wird. Zudem werden ein digitales 5 Volt-Signal **60**, ein +15 Volt-Spannungsversorgungssignal **62**, ein –15 Volt-Spannungsversorgungssignal **64**, ein Einlassdruck **66** des Nutzers und eine interne Umgebungstemperatur **68** innerhalb des Gehäuses des Massendurchflussreglers durch den DSP **16** überwacht.

[0055] Das Signal für die interne Umgebungstemperatur **68** kann als zusätzliche Funktion durch das Spannungsreferenzgerät **24** bereitgestellt werden. Deshalb kann das Spannungsreferenzgerät **24** zu-

sätzlich zu einem Temperatursensor eine genaue 2,5 Volt-Referenz dem A/D-Wandler **14** zur Verfügung stellen. Eine Ausführungsform des Spannungsreferenzgeräts **24** weist eine eingebaute Bandlückenreferenz und temperaturunterstützte Komponente bzw. Platinenwiderstand auf, sowie eine Übertragungsfunktion, welche eine Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur in Grad Celsius erstellt. Deshalb ergibt eine Messung bei Raumtemperatur in Verbindung mit der Übertragungsfunktion eine Echtzeit-Auslesung der internen Gehäusetemperatur.

[0056] Auf der Leitung **72** konditioniert der Ventilsteuerkreis **18** das Signal **72** zum Steuern einer Spule, jedoch führt er auch den momentanen Spulenstrom **70** für Erfassungszwecke zurück. Der erfasste Spulenstrom **72**, das Sollwertsignal **58** und der gemessene Fluss **15** können verwendet werden, um Beziehungen zu erzeugen, die eine schnellere Diagnose von Problemen ermöglichen.

[0057] Ein Universeller Asynchroner Sender-Empfänger (UART) wird verwendet, um ein Halbduplex zu erzeugen, wobei eine Schnittstelle zu einem externen Host, wie beispielsweise ein PC RS485-Netzwerk, verwendet wird. Dieser UART-Kreis macht mehrere Dinge. Der Kreis verschafft während der Herstellung Zugriff zu allen Kalibrierungs- und Einstellungsparametern. Der UART ist auch ein weiteres Mittel für einen Nutzer, um die MFC der vorliegenden Erfindung zu regeln.

[0058] [Fig. 2](#) zeigt ein Zeitdiagramm der Ereignisverarbeitung. Der UART des Massendurchflussreglers **16** ist mit einer Übertragungsleitung **74** und Empfangsleitung **76** an das RS485 gekoppelt. TX bezeichnet ein übertragenes Signal und RX bezeichnet ein empfangenes Signal von dem Hostsystem des Massendurchflussreglers und DSP **16**.

[0059] Eine 9600 Baud-Halbduplex, zyklisch-abgefragte Protokollleitung koppelt das RS485 XCVR **38** an das Multi-Drop-Netzwerk **40**. 9600 Baud wurden in einer zur Probenentnahmefrequenz ähnlichen Weise gewählt. Dies stellt eine Schnittstelle für einen externen Host bereit. Diese Geschwindigkeit erlaubt einen Sicherheitsabstand in Bezug auf andere Ereignisse, welche unterstützt werden, wobei solche anderen Ereignisse nicht gestört werden. Mehrere Ereignisse innerhalb des Massendurchflussreglers werden überwacht, um eine Diagnostik bereitzustellen. Eine lokale Anzeige des Status solcher Ereignisse wird über einen zweifarbigen LED-Kreis **28** bereitgestellt, der entweder rot oder grün sein kann. Wenn der LED-Kreis **28** rot aufleuchtet, dann ist ein überwachter Zustand bzw. Ereignis oberhalb einer Warnbedingung oder einer Warnschwelle. Wenn der LED-Kreis **28** dauerhaft rot ist, dann ist die Warnung zu einem Alarm geworden. In den meisten Fällen zeigt ein Alarmzustand an, dass der Massendurch-

flussregler eine nicht behebbare Störung aufweist.

[0060] Der Massendurchflussregler, DSP **16**, versucht weiterhin in Funktion zu bleiben. Das Ereignis, welches den nicht behebbaren Zustand verursacht hat, wird in dem nichtflüchtigen Speicher gespeichert. Deshalb kann auf das Ereignis über den RS485-Sender-Empfänger **38** zugegriffen werden.

[0061] Ein strombegrenzender Widerstand stellt einen Rückkopplungspfad von dem zweifarbigen LED-Kreis **28** zu einem zweiten IO-Anschluss an dem Massendurchflussregler **16** bereit. Die Farbe des zweifarbigen LED-Kreises **28** wird durch die Richtung des Stromflusses durch den LED-Kreis **28**, bereitgestellt durch die beiden IO-Anschlüsse des DSP **16**, geregelt.

[0062] Ein eingebetteter Pulsbreitenmodulator (PWM) wird verwendet, um das angegebene Flusssignal **80** zu erzeugen. Der gleiche Typ Kreis wird auch verwendet, um den erfassten Spulenstrom **82** wiederherzustellen.

[0063] Der DSP **16** weist eine externe Speicherschnittstelle auf. Die externe Speicherschnittstelle stellt eine Schnittstellenverbindung zum SRAM **30** her. Dieser SRAM wird während des Hochfahrens verwendet und empfängt den Inhalt eines seriellen EEPROM **26** für einen schnelleren Zugriff.

[0064] Der Sender-Empfänger **36** kann entweder zu einem DeviceNet-Netzwerk gehören oder kann durch einen anderen Typ Netzwerk, wie LonWorks, Profibus, Ethernet oder andere, welche den Fachleuten bekannt sind, verbunden werden.

[0065] Zusätzlich zur Unterstützung bestehender Drop-In-Anwendungen, die analog sind, können ein zukünftiges Standard-Digitalprotokoll oder mehrere konkurrierende Protokolle durch den Aufbau der vorliegenden Erfindung unterstützt werden. Dies ermöglicht eine volle Kompatibilität bei Änderungen in der Netzwerktechnologie und der Protokolle. Die vorliegende Erfindung stellt eine autonome Schnittstelle bereit, derart, dass das Flussregelsystem durch modulare Kompatibilität in einem modularen Schema nicht beeinträchtigt ist. Der DPRAM stellt eine digitale Partition zwischen dem DSP **16** und einem zu bestimmenden Sensor-Bus-Netzwerk **84** bereit.

[0066] Der SRAM **30** ist nicht ausschließlich extern. Ein Teil oder der gesamte SRAM **30** kann als interner SRAM in den DSP **16** bzw. den digitalen Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung eingebaut werden.

[0067] In der gezeigten Ausführungsform ist der SRAM in zwei Teile unterteilt, den externen SRAM **30** und den internen SRAM innerhalb des Flash-Spei-

chers des DSP **16**. Die Verwendung des SRAM innerhalb des DSP **16** des digitalen Massendurchflussreglers ermöglicht, dass alle Regelfunktionen innerhalb des DSP **16** ausgeführt werden.

[0068] Wesentliche Merkmale des oben beschriebenen Aufbaus machen manuell eingestellte Potentiometer unnötig. Dies wird in der vorliegenden Erfindung erreicht, indem ein Aufbau mit einer ausreichenden digitalen Bandbreite gewählt wird, um Flusssensoren zu überwachen, Regelsignale zu erzeugen, wie gemeinsame Differentiatoren und Proportionalintervallregler, und mehrere Kalibrierkonstanten zu speichern, wobei ein Zugriff auf solche Konstanten in Echtzeit bereitgestellt wird. Weiterhin hängt der digitale Massendurchflussregler nicht von mehreren Potentiometern zum Einstellen des Regelsystems ab, vielmehr hängt die vorliegende Erfindung von mehreren Variablen, die als Konstanten erklärt sind, ab. Ein Zugriff auf diese Variablen wird über den RS485-Kommunikationsanschluss **38** bereitgestellt.

[0069] Digitale Kommunikationsdienste, wie das Unterstützen eines RS485-Host oder eines DeviceNet-Host, beeinflussen Flussregelereignisse nicht. Der DPRAM **32** ermöglicht eine Unterstützung auf Basis eines Schemas.

[0070] Mehrere Punkte werden für die Diagnostik überwacht. Einem Nutzer wird eine visuelle Rückkopplung über den zweifarbigen LED-Kreis **28** bereitgestellt, welcher zwei Anzeigegrade aufweist, entweder Warnung oder Alarm, blitzend oder dauerhaft leuchtend. Die gleiche Information ist von dem RS485-Anschluss erhältlich und kann durch eine Software-Anwendung erhalten werden, die innerhalb eines PC in einer GUI-Schnittstelle ausgeführt wird. Regelsystemfunktionen werden über Software implementiert. Die vorliegende Erfindung bietet Vorteile gegenüber herkömmlicher Technik, welche analoge Kreise verwendet, die empfindlich auf Alterungseffekte und Temperatur sind, um das geschlossenenkreisige Regelsystem aufzubauen.

[0071] Der Aufbau der vorliegenden Erfindung erlaubt, dass die gesamte ausführbare, eingebettete Software über den RS485-Anschluss programmiert wird. Ein neuer Code kann eingerichtet werden, ohne den Massendurchflussregler zu entfernen. Es ist wichtig festzuhalten, dass der im DSP **16** eingebettete Flash-Speicher nicht verwendet wird, um irgendwelche Kalibrierkonstanten oder einzelnen Daten für den Flussregler zu speichern. Diese Daten werden in einem externen, seriellen EEPROM gespeichert. Das Flussregelsystem der vorliegenden Erfindung schafft Unabhängigkeit und Kompatibilität zu bestehenden und zu bestimmenden Kommunikationsprotokollen, wie zum Beispiel DeviceNet.

[0072] [Fig. 2](#) betrifft technische Vorteile der Ereignisverarbeitung innerhalb des Aufbaus der vorliegenden Erfindung. [Fig. 2](#) zeigt die Ereigniszeitabfolge, welche von dem A/D-Wandler **14** von [Fig. 1](#) ausgeführt wird. Wenn der A/D-Wandler **14** Daten eingeholt hat und bereit ist, die eingeholten Daten über den Daten-Bus an den DSP **16** zu senden, wird ein Fertigsignal gesendet.

[0073] Die gesamte Datenverarbeitung findet innerhalb des Zeitrahmens A-B statt, wenn die Daten erst einmal von dem A/D-Wandler **14** übertragen worden sind. Dies ist der Zeitumfang, der von dem Regelsystem für die gesamte Datenverarbeitung beansprucht wird. Zwischen den Ereignissen B und C ist genug Zeit für andere durchzuführende Aufgaben übrig. Die DeviceNet-Unterbrechung **112**, die Echtzeit-Unterbrechung **114** und die RS485-Unterbrechung **116** erfolgen, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, zwischen den Ereignissen B und C. Wenn diese Unterbrechungen zwischen den Ereignissen A und B erfolgen, hat das Verarbeiten von gesammelten Daten noch Vorrang. Somit werden diese Unterbrechungen noch zwischen den Ereignissen B und C verarbeitet.

[0074] [Fig. 3](#) enthält zwei Sätze von Flussdiagrammen. [Fig. 3](#) beschreibt und führt Einzelheiten der zuvor in dem in [Fig. 2](#) gezeigten Taktdiagramm gezeigten Unterbrechungen aus. Ein Verfahren der vorliegenden Erfindung beginnt bei Schritt **100**. Alle Initialisierungen des DSP **16** und von Peripheriegeräten erfolgen in Schritt **101**. Während des Initialisierungsschritts **101** des DSP und zugehöriger Peripheriegeräte wird der A/D-Wandler **14** programmiert Proben bei einer spezifischen Frequenz zu entnehmen. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden für diese Frequenz 610 Hz gewählt. Diese 610 Hz sind ein Signal zum Starten des Einholens von Datenproben von dem A/D-Wandler **14** und ist der Trigger für die externe ADC-Unterbrechung zu Schritt **105**. In Schritt **103** ist der Softwarecode der vorliegenden Erfindung kontinuierlich in einer Schleife und wartet auf eine von vier Unterbrechungen. Diese Unterbrechungen umfassen die externe ADC-Unterbrechung, die alle 1,68 Millisekunden erfolgt, die Echtzeit-Unterbrechung, die alle 1,04 Sekunden erfolgt, eine DeviceNet-Unterbrechung und eine RS485-Unterbrechung. Die externe ADC-Unterbrechung **105** ermöglicht, dass die gesamte Datenverarbeitung während des Unterstützens der ADC-Unterbrechung erfolgt.

[0075] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung braucht die Datenverarbeitung ungefähr 30% der Gesamtzeit zwischen ADC-Unterbrechungen, 1,68 Millisekunden. Während dieser Zeit holt der Massendurchflussregler in Schritt **102** alle ADC-bezogenen Daten von dem A/D-Wandler **14** von [Fig. 1](#) ein. Als nächstes werden in Schritt **104** diese Daten linearisiert. Ein solches Verfahren zum Linearisieren

ist in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/350,747 mit dem Titel "System and Method for Sensor Response Linearization", eingereicht am 9. Juli 1999 von Thomas Pattantyus, et al., im Einzelnen ausgeführt. In diesem Linearisierungsverfahren werden zuvor bestimmte Koeffizienten verwendet, um eingeholte ADC-Daten auf einen genaueren Flusswert zu beziehen. In Schritt **106** werden linearisierte Daten und Werte zur Regelsystemsleife gesendet, welche den Massendurchflussregler regeln, um die gewünschte Massenflussrate zu erzielen.

[0076] Schritt **108** betrifft den zweifarbigen LED-Kreis **28** von [Fig. 1](#). Abhängig vom Zustand des Massendurchflussreglers **16** leuchtet der LED-Kreis **28** in geeigneter Weise entsprechend einem Signal und einer Stromrichtung, welches dem zweifarbigen LED-Kreis **28** in Schritt **108** zugeführt wird.

[0077] In Schritt **110** wird eine Diagnostik durchgeführt. Diese Diagnostik ist direkt auf den angezeigten Zustand des zweifarbigen LED-Kreises **28** bezogen. Die Handhabung des DeviceNet erfolgt in Schritt **112**. In Schritt **114** werden Daten von dem seriellen EEPROM **26** ausgewählt oder gelesen. Diese Daten können Kalibrierkonstanten, gasspezifische Daten, Seriennummern des Massendurchflussreglers und zugehöriger Regelvorrichtungen, Wartungsdaten und Diagnostikkodes umfassen. In Schritt **116** werden Daten von der RS485-Schnittstelle eingeholt. In Schritt **118** zählt oder integriert der Zähler die Zeit und Flussmessungen innerhalb des Massendurchflussreglers **16**. In Schritt **120** können verschiedene organisatorische Funktionen erfolgen, nach welchen eine Rückkehr von dieser Vorrangsunterbrechung erfolgen kann.

[0078] Der Rückkehr von der externen ADC-Unterbrechung **105** folgend, kehrt der Prozess zum Anfangsschritt **100** zurück.

[0079] Alle zusätzlichen erfassten Daten, die zusätzliche bzw. andere Unterbrechungen verursachen würden, wie die Echtzeit-Unterbrechung **126**, die DeviceNet-Unterbrechung **122** oder die RS485-Unterbrechung **130**, werden während der externen ADC-Unterbrechung **105** gehalten. Die externe ADC-Unterbrechung **105** nimmt eine Vorrangstellung gegenüber allen anderen Datenverarbeitungen ein. Während der Verarbeitungszeit von ungefähr 50 Millisekunden werden Daten, die zu anderen Unterbrechungen gehören, in dem SRAM **30** bzw. dem innerhalb des DSP **16** angeordneten internen RAM gespeichert. Ungeachtet dessen, welcher Unterbrechungsprozess erfolgt, kehrt das Verfahren der vorliegenden Erfindung zu Schritt **103** zurück, wenn der Unterbrechungsprozess beendet ist, und wartet auf eine zukünftige Unterbrechung.

[0080] Die Echtzeit-Unterbrechung **124**, die Device-

Net-Unterbrechung **126** und die RS485-Unterbrechung **130** ermöglichen allesamt, dass Daten gelesen, in Variablen geschrieben und innerhalb des DSP **16** gespeichert werden. Minimale Operationen erfolgen während dieser Unterbrechung, um diese Daten zu verarbeiten. Die eigentliche Verarbeitung dieser Daten erfolgt, wenn auf sie während der externen ADC-Unterbrechung **105** zugegriffen wird. Ein zusätzlicher denkbarer Weg ist, dass diese Unterbrechungen ein durch Speicherorte verbundenes, objektorientiertes System bereitstellen. Deshalb werden, wenn eine Unterbrechung erfolgt, Daten in dem geeigneten Speicherort gespeichert bis die externe ADC-Unterbrechung **105** erfolgt und die Daten verarbeitet werden.

[0081] [Fig. 4](#) beschreibt Speicherinteraktionen innerhalb der vorliegenden Erfindung. Diese Figur beschreibt, wie der SRAM **30**, der EEPROM **26** und der DPRAM **32** interagieren. Für die Zwecke dieses Diagramms wird kein Unterschied gemacht zwischen Daten-RAM bzw. SRAM **30**, zwischen internem RAM, welcher auf dem Flash-Speicher des DSP **16** angeordnet ist, oder externem SRAM **30**, auf welchen der DSP **16** zugreifen kann. Der SRAM **30** beschreibt in diesem Fall lediglich einen Speicherort zum Speichern von Daten. Während der Initialisierung werden alle EEPROM-Daten in den SRAM **30** kopiert, wie durch die Verknüpfung **142** angegeben ist. Zusätzlich werden die oberen 1 K EEPROM-Daten während der Initialisierung über die Verknüpfung **144** in den DPRAM **32** kopiert.

[0082] Eine zusätzliche Verknüpfung **146** erfolgt zwischen dem EEPROM **26** und dem SRAM **30**, wobei kritische Daten während der Initialisierung in den SRAM **30** kopiert werden. Diese zweite Verknüpfung ist gezeigt, weil das Kopieren von Initialisierungsdaten in den DPRAM **32** ein zweistufiger Prozess ist. Die EEPROM-Daten können nicht direkt in den DPRAM **32** kopiert werden. Deshalb werden EEPROM-Daten zunächst in einen Ort innerhalb des SRAM **30** kopiert. Von dem SRAM **30** werden diese Daten dann über die Verknüpfung **144** in den DPRAM **32** kopiert. Kritische Daten, die während der Initialisierung in den SRAM **30** kopiert werden, würden Regelsystemdaten, welche zu dem internen Speicherplatz übertragen werden, und Daten für Zähler und dergleichen, enthalten.

[0083] Eine dritte Verknüpfung **150** gibt Daten an, die von dem SRAM **30** zu dem EEPROM **26** übertragen werden. Diese Verknüpfung ermöglicht, dass Zähler- und Diagnostikdaten während der DSP 16-Operation übertragen werden. Die Verknüpfung **152** ist eine Zweiwegeverknüpfung zwischen dem SRAM **30** und dem RS485-Kommunikationsanschluss **38**, welche ermöglicht, dass Daten von dem SRAM **30** gelesen und auf diesen geschrieben werden können.

[0084] Ein zweiter Kommunikationspfad existiert zwischen dem EEPROM **26** und dem RS485-Kommunikationsanschluss **38** über die Verknüpfung **154**, welcher ermöglicht, dass die gesamten Daten von dem RS485-Kommunikationsanschluss **38** in den EEPROM **26** geschrieben von diesem und gelesen werden können. Deshalb ermöglicht die vorliegende Erfindung einen vollen Zugriff auf Daten von sowohl dem EEPROM **26** als auch dem SRAM **30**.

[0085] Die vorliegende Erfindung ermöglicht, dass auf die gesamten Daten innerhalb des SRAM **30** und des EEPROM **26** über den RS485-Kommunikationsanschluss zugegriffen werden. Jedoch kann ein Nutzer von dem vollen Zugriff auf EEPROM- oder SRAM-Daten ausgeschlossen werden. Die kann aus Sicherheitsgründen erfolgen, um sicherzustellen, dass die eigene Seriennummer und andere Daten des Verkäufers nicht durch den Nutzer geändert werden können. Ein Beispiel sind Garantiedaten oder Seriennummern einzelner Komponenten.

[0086] Die vorliegende Erfindung stellt einen objektorientierten Ansatz bereit, bei dem ein Verfahren und eine Schnittstelle von einem Objekt zu einem anderen vorliegt, um zu ermöglichen, dass eine Diagnostik durchgeführt wird oder Daten von einem anderen Objekt angefordert oder an dieses übergeben werden. Bestimmte frühere Technologien können ein RS485-Protokoll aufweisen, welche in dem Protokoll eingebettete Speicherorte verwenden. Diese Lösung des Stands der Technik hat ein Problem, welches darin liegt, dass für den Fall, dass falsche Daten zu einem spezifizierten Speicherort übertragen werden, ein Gerät zu einer Fehlfunktion tendiert und sich außerhalb seiner spezifizierten Leistung befindet. Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um Tests durchzuführen, durch welche bestimmt wird, ob die angeforderten Daten geliefert werden sollen, um die Daten zu schützen, welche nicht zugänglich gemacht werden sollen, um Daten zu testen, bevor sie verarbeitet werden, und um sicherzustellen, dass sie geeignet sind.

[0087] Eine Datenübertragung erfolgt über die Verknüpfung **154** und weil der EEPROM **26** nichtflüchtig ist, können wichtige Daten hier für den DSP **16** gespeichert werden. Der EEPROM **26** bewahrt seine Daten, wenn die Stromversorgung für den DSP **16** verloren geht. Zudem kann auf diese Daten über den RS485-Kommunikationsanschluss **38** zugegriffen werden. Andere hier gespeicherte Daten sind gaspezifische Kalibrierungsdaten. Die Konfiguration jedes Massendurchflussreglers kann von der mechanischen Konfiguration abhängen. Deshalb kann die Verknüpfung **154** von dem RS485-Kommunikationsanschluss **38** verwendet werden, um einen direkten Zugriff zum EEPROM **25** zu erreichen, um die Mehrzahl jener Parameter in einer Weise zu laden, welche keine einzelne Auswahl und Einstellung erfordert, um

so den Herstellungsprozess zu beschleunigen. Deshalb ist in dem Herstellungsprozess eine einmalige Auswahl und Einstellung nicht erforderlich, was die Geschwindigkeit dieses Prozesses erhöht. Wenn das Gerät initialisiert wird, ist der EEPROM **26** leer. Die Kalibrierungstabellen und andere solche Daten können in Masse über die RS485-Kommunikationsverknüpfung **156** in ein Multi-Drop-Netzwerk **40** geladen werden. Das Multi-Drop-Netzwerk **40** ist seinerseits mit einem PC-Host **44** verbunden.

[0088] Die vorliegende Erfindung ist auch derart gestaltet, dass sie zu früheren Systemen kompatibel ist. Diese Abwärtskompatibilität ermöglicht den Nutzern mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einem analogen Signal zu kommunizieren. Die analogen Kommunikationen **160**, wie gezeigt, liefern eine funktionelle Verknüpfung, um entweder ein Flusssignal zu überwachen oder eine Sollwertregelung für ein früheres System, wie den Fachleuten bekannt ist, bereitzustellen. Diese analogen Kommunikationen können durch innerhalb des A/D-Wandlers **14** angeordnete A/D-Wandler-Funktionen realisiert werden. Diese analogen Kommunikationen **162** erfolgen zwischen dem analogen Kommunikationssystem **160** und einem Nutzerhost für das frühere Hostsystem.

[0089] Das DeviceNet-Schnittstellenmodul **42** ist mit dem DPRAM **32** verknüpft. Ein Kommunikationskoprozessor kann eine Unterbrechung zu dem DPRAM senden, um seine Verfügbarkeit zum Empfangen von Daten abzufragen. Jede Datenübertragung wird eine Unterbrechung sein, mit Ausnahme von statischen Daten, wie eine Identitätsnummer. Häufig zugegriffene Daten werden im DPRAM **32** gespeichert, um die Unterbrechung gegenüber dem Zugreifen auf den EEPROM **26** zu vermeiden. Diese erhöht die Gesamteffizienz durch Vermeiden von Unterbrechungen, indem die gut zugreifbaren Daten im DPRAM **32** sind.

[0090] [Fig. 5](#) zeigt einen Überblick der zu einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gehörenden Kommunikationen. [Fig. 5](#) zeigt und gibt einen Überblick über drei Typen Kommunikationsprotokolle, die mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gekoppelt werden können oder damit kompatibel sein können, das DeviceNet, analog, oder RS485-Protokolle. Die vorliegende Erfindung soll weder auf diese Protokolltypen oder Kommunikationssysteme, noch eine Kombination dieser Kommunikationssysteme eingeschränkt sein. Es ist wichtig festzustellen, dass der Aufbau der vorliegenden Erfindung analoge Sollwerte früherer Systeme akzeptieren und mit verschiedenen Quellen eine Schnittstelle haben kann. Sie kann auch digitale Sollwerte und Informationen über DeviceNet, wie den Fachleuten bekannt ist, oder ein eigenes RS485-System akzeptieren. Dies wird innerhalb eines gemeinsamen Auf-

baus erreicht.

[0091] Innerhalb jeder Kommunikationsquelle, zum Beispiel mit der RS485-Schnittstelle, ist es wichtig festzustellen, dass das Gerät einen Servicemodus und einen normalen Funktionsmodus und möglicherweise eine Zahl zusätzlicher Modi aufweist. Der normale Funktionsmodus hat einen begrenzten Zugriff. Der Servicemodus oder Befehlsmodus ist geeignet, einem autorisierten Lieferanten einen vollen Zugriff auf das Gerät zu gestatten, wohingegen diese Befehle und Systeme im normalen Funktionsmodus für den normalen Nutzer nicht verfügbar oder notwendig sind.

[0092] Dieser Systems- oder Befehlsmodus ermöglicht Zugriff auf diagnostische Informationen. In dieser in [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt eine Kalibrierung und Einstellung durch den RS485-Anschluss und ist nicht über den DeviceNet-Anschluss zugänglich. Der DeviceNet-Anschluss wird nur für die Prozessregelung verwendet. Zusätzlich zur Prozessregelung kann der DeviceNet-Anschluss Zugriff zu einer Diagnostik, welche in einer DeviceNet-Sprache vorliegt, Alarmer oder Ausnahmen, bereitstellen.

[0093] In dem analogen Modus können Ausgangsflusswerte und Ventilspannungen bereitgestellt werden. Analoge Systeme liefern grundsätzlich einen linearen Operationsverstärkerkreis, welcher die an der Spule anliegende Spannung bereitstellt. Die vorliegende Erfindung bereichert die Technik durch eine genaue Regelung des gelieferten Stroms, was einen direkten Zusammenhang mit der Kraft zum Manipulieren der Ventilposition bereitstellt.

[0094] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die vorliegende Erfindung nicht-intrusiv ist. Daten müssen nur überwacht und analysiert werden. Durch Verwendung von Vorhersagealgorithmen ist es möglich, Herstellungs- und Wartungskosten zu sparen, indem ein Vorhersagewartungssystem für die reguläre Wartung entwickelt wird. Zusätzlich ist es möglich, mit dem System verbundene potenzielle Ausfälle zu bestimmen. Diese Analyse kann eine Funktion außerhalb des normalen Bereichs, welche jedoch noch innerhalb der Spezifikation ist, feststellen. Dies kann eine abnorme Funktion anzeigen, oder dass ein Trend oder andere Analyse eine zu dem System gehörenden möglichen Ausfallsmodus anzeigt. Deshalb kann eine Sensorverschlechterung oder Ventilfehlfunktion bestimmt werden, und es kann ausgetauscht werden, bevor eine ernsthafte Schädigung des Host-Systems eintritt.

[0095] Eine Trendanalyse und relationale Daten werden innerhalb eines diagnostischen Systems analysiert. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung macht keine Entscheidungen in dem ein-

gebetteten System darüber, ob das System arbeiten soll, sondern vielmehr bildet die vorliegende Erfindung einen Alarm- oder Warnzustand aus. Die vorliegende Erfindung kann an ein externes System gekoppelt sein, welches eine graphische Nutzerschnittstelle auf einem PC oder ein ähnliches Software-Analysepaket enthält, welche den Fachleuten bekannt sind, um einen Trend und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Daten zu erkennen und den Wert der Diagnostik zu verbessern.

[0096] In [Fig. 1](#) kann der lokale PC-Host **44** der Host eines Multi-Drop-Netzwerks sein, das mit einem Modem **46** verbunden werden kann. Das Ziel ist, einen Fernzugriff auf Daten der vorliegenden Erfindung bereitzustellen. [Fig. 1](#) zeigt in funktioneller Weise ein zweites Modem **48** in einem fernen PC **50**, wobei ein Fernzugriff auf Daten erfolgt. Jedoch kann die Anwendungs- bzw. Transportschicht des Netzwerks aus einer TCPIP oder anderen Internetanwendung bestehen. Das Modem **46** und das Modem **48** stellen lediglich ein Mittel zum Realisieren einer Transportschicht für die Netzwerkfähigkeit, um Fernzugriff auf Daten der vorliegenden Erfindung bereitzustellen, dar. Das 9600 Baud Halbduplexmodus-Protokoll, das von der vorliegenden Erfindung verwendet wird, passt zu dem siebenschichtigen OSI-Modell zur Netzwerkverbindung, welches es mit einem TCPIP-Stapel kompatibel macht, falls die vorliegende Erfindung über eine Internetverbindung mit einem Netzwerk verbunden werden soll.

[0097] [Fig. 6](#) beschreibt ein Verfahren und System zum Bereitstellen einer automatischen Kalibrierung des Massendurchflussreglers der vorliegenden Erfindung. Ein Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung wird nicht kalibriert, wie frühere Lösungen, durch Vornahme von mechanischen Einstellungen. Vielmehr wird ein Satz gespeicherter Koeffizienten geändert, um die Genauigkeit des Massendurchflussreglers der vorliegenden Erfindung zu kalibrieren. Die Kalibrierung besteht hauptsächlich aus zwei Schritten. Zunächst eine Linearisierung. Dieser Schritt gleicht im Grunde das nichtlineare Verhalten des Sensors aus und liefert einen linearen Wert für den digitalen Massendurchflussregler **16**. Der in [Fig. 7](#) gezeigte Aufbau wird verwendet, wobei der Kalibrierer entweder einen analogen oder digitalen Sollwert liefert. Für jeden angewendeten Sollwert wird ein entsprechender Sensor- und geregelter "Flussstandard"-Wert aufgezeichnet. Eine Regresstechnik, welche den Fachleuten bekannt ist, wird auf diese Punkte angewendet. Einmal berechnet, werden diese Koeffizienten im EEPROM **26** der vorliegenden Erfindung zur Verwendung gespeichert. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird dann zu einer numerischen Übung, wobei ein Polynom mit den bestimmten Koeffizienten verwendet wird, um den korrekten Fluss aus den erfassten Variablen zu berechnen. Diese Linearisierung kann für einzelne

Gase wiederholt und innerhalb des EEPROM oder anderen Speicherorten innerhalb der vorliegenden Erfindung gespeichert werden.

[0098] Eine dynamische Einstellung bietet die Fähigkeit, den Fluss während Momentanereignisse zu messen. Eine Logik ist in den Host-PC eingebracht, welche die Sollwertbedingungen einstellt, um so die Flussbedingungen zu regeln und den erwarteten Fluss in einem Momentanzustand zu erzielen.

[0099] Eine zusätzliche Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein System zum Aufzeichnen der tatsächlichen Flusszustände und der erfassten Flusszustände umfassen. Diese Daten können für verschiedene mechanische Plattformen, an welchen der Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung befestigt werden kann, statistisch analysiert werden. Diese Daten können verwendet werden um Trends zu erkennen, in Verbindung mit logischer bzw. künstlicher Intelligenz, wie den Fachleuten bekannt ist. Regelparameter können für ein gegebenes Leistungskriterium inkrementiert werden, bis eine solche Leistung optimiert ist.

[0100] [Fig. 7](#) bietet einen Überblick über die diagnostischen Fähigkeiten der vorliegenden Erfindung. Der zweifarbige LED-Kreis **28** stellt eine Statusanzeige bereit. Der LED-Kreis **28** zeigt mit Grün an, dass die vorliegende Erfindung funktionsbereit ist. Wenn der zweifarbige LED-Kreis **28** rot blitzt, wird ein geringer, behebbarer Fehler angezeigt. Wenn der zweifarbige LED-Kreis **28** dauerhaft Rot anzeigt, ist ein nichtbehebbarer Fehler aufgetreten. Ein Endzustand des zweifarbigen LED-Kreises **28** ist fehlendes Licht, was anzeigt, dass der MFC der vorliegenden Erfindung keinen Strom mehr hat. Der Zustand des zweifarbigen LED-Kreises **28** wird bestimmt, nachdem ein Softwarekode innerhalb des Massendurchflussreglers feststellt, ob überwachte Variablen innerhalb spezifizierter Parameter arbeiten. Diese Variablen umfassen Ausgänge aus dem Sensor, Spulenventil, die Umgebungstemperatur des Geräts der vorliegenden Erfindung, die Stromversorgung zur vorliegenden Erfindung, und eine Messung der dynamischen Leistung der vorliegenden Erfindung. Alle nichtbehebbarer Fehler, welche durch den Softwarekode bestimmt werden, werden innerhalb des nichtflüchtigen EEPROM Speicher **26** gespeichert. Zusätzlich können alle Datenwerte über den DeviceNet-Anschluss oder den RS485-Anschluss **38** verfügbar gemacht werden. Die Daten des RS485-Anschluss oder des DeviceNet-Anschluss können von einem Software-Diagnostikprogramm erfasst werden, das auf einem tragbaren Computer, wie beispielsweise ein Laptop oder ein anderes Computergerät, ausgeführt wird. Diese Software stellt dem Nutzer eine Schnittstelle bereit, welche dem Nutzer eine genaue Übersicht der Ergebnisse der innerhalb der vorliegenden Erfindung ablaufenden diagnostischen Rou-

tinen bietet. Ein spezialisiertes Werkzeug, wie ein Hand-Diagnostikwerkzeug, kann auch Software-Diagnostikdaten von dem RS485-Anschluss oder von spezifizierten Testpunkten innerhalb der vorliegenden Erfindung erfassen. Für den DeviceNet-Anschluss wird ein getrennter und einzelner Übersetzungsmechanismus eingebracht, um die Ergebnisse der Software-Diagnostik zu lesen. Ein zweites Software-Programm, das auf einem tragbaren Computer oder einem tragbaren Diagnostikwerkzeug ausgeführt wird, kann in einer zusätzlichen Ausführungsform konfiguriert werden, um die Ergebnisse der Software-Diagnostik von dem DeviceNet-Anschluss zu lesen.

[0101] Die vorliegende Erfindung widmet sich vielen Problemen des Stands der Technik. Hohe Unterhaltskosten eines Nutzers aufgrund unerwartet versagender Massendurchflussregler, welche ohne eine Rechtfertigung oft willkürlich ausgetauscht werden. Der Grund ist, dass frühere Massendurchflussregler als unzuverlässig und unzuverlässig erkannt wurden und dass viele Nutzer nicht verstehen, wie ein Massendurchflussregler arbeitet. Wegen dieses Mangels, die Funktion des Massendurchflussreglers und die mit einer Kalibrierung eines Massendurchflussreglers verbundenen Probleme zu verstehen, ist eine Unterstützung vor Ort erforderlich, um eine technische Unterstützung und Ausfallsanalyse auffälliger Massendurchflussregler bereitzustellen, die einmal auf einem System installiert sind. Früher sind Massendurchflussregler auf Basis des Fachwissens über die Geräteleistung eines Technikers eingestellt oder kalibriert worden, wobei Wendelpotentiometer oder veränderliche Widerstände verwendet wurden. Diese Kalibrierung ist eine zeit- und kraftraubende Tätigkeit, welche direkt die Geräteleistung beeinträchtigt. Wegen der manuellen Einstellung und Kalibrierung der Massendurchflussregler des Stands der Technik wird oft eine nichteinheitliche Momentanantwort bei ihrem Einsatz festgestellt. Ferner hat sich gezeigt, dass die Massendurchflussregler des Stands der Technik äußerst empfindlich auf den Einlassdruck sind. Zudem sind die Massendurchflussregler des Stands der Technik im Allgemeinen analoge Systeme oder proprietäre RS485-Netzwerke.

[0102] Die vorliegende Erfindung zeigt ein System, welches aufwärtskompatibel mit mehreren offenen Kommunikationsstandards, wie DeviceNet, Lon-Works und Profibus, ist und Abwärtskompatibilität zu früheren Schnittstellen hat.

[0103] Eine Problemlösung und Analyse ausgefallener Massendurchflussregler hat es erforderlich gemacht, dass die Massendurchflussregler aus dem Betrieb und der Einrichtung des installierten Systems entfernt werden. Dies ist ein kostspieliger Vorgang, der durch ein direktes Überwachen der Massendurchflussregler im Betrieb vermieden werden kann,

wie durch die vorliegende Erfindung erreicht wird. Die vorliegende Erfindung enthält einen digitalen Mechanismus, welcher den Sollwert, den Spulenstrom, die Umgebungstemperatur, den Sensorbasiswiderstand und die Einlassdruckanzeige, sowie Stromversorgungsspannungen, den Flussfehler, das Ventilleck und die Momentanantwort diskret überwacht. Diese überwachten Parameter können analysiert werden (manuell oder automatisch), um abnorme Trends bei der Funktion des Geräts der vorliegenden Erfindung aufzuspüren und zu bestimmen. Ferner können diese Daten über ein Modem oder eine andere Netzwerkverbindung zu einem Host-PC fernüberwacht werden.

[0104] Die Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung enthält keine variable Einstellungen. Dies bietet den Vorteil, dass die gesamte Kalibrierung und Einstellung über eine Speicherung eines einzelnen Satzes Konstanten, die in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert sind, digital vervollständigt wird. Ein Zugriff auf die relevanten Speicherorte wird über die zugewiesene RS485-Schnittstelle bereitgestellt. Der Kalibrierungssystemhost, auf welchem die geeignete Software ausgeführt wird, kann zusammen mit einer Schnittstellenverbindung zu einer spezifischen Flussmessinstrumentierung den Massendurchflussregler der vorliegenden Erfindung für eine einheitliche, wiederholbare Leistung in statischen und transienten Flusszuständen automatisch kalibrieren und einstellen. Diese einheitlichen transienten Antworten ergeben einen zusätzlichen Vorteil der vorliegenden Erfindung. Diese einheitlichen transienten Antworten werden durch Verwenden der von dem ausgewählten digitalen Signalprozessor, wie er in dem gewählten Aufbau angewendet wird, bereitgestellten Rechenleistung erzielt. Dieser Aufbau ermöglicht, dass 100% der Regelalgorithmen über Software implementiert werden. Die Softwarealgorithmen können Mechanismen enthalten, um einzelne, fallbezogene oder situationsabhängige Parameter aufzurufen, die ausgewählt oder eingestellt werden können, um eine einheitliche und wiederholbare transiente Antwort zu erzielen.

[0105] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, dass die Notwendigkeit für teure, stromaufwärts angeordnete Druckregler innerhalb einer Gaszuführung wegfällt. Der digitale Mechanismus der vorliegenden Erfindung hat die Fähigkeit den Einlassdruck über einen zur Verfügung gestellten A/D-Eingang diskret zu überwachen. Es ist wünschenswert, den Einlassdruck zu überwachen und die Massenflusseigenschaften des Ausgangs der vorliegenden Erfindung unempfindlich zu machen.

[0106] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass sie mehrere, autonome, zugewiesene, digitale Kommunikationsanschlüsse enthält. Der Aufbau der oben beschriebenen Ausführungsform er-

möglicht die gleichzeitige Unterstützung von zwei digitalen Netzwerken, vorausgesetzt, dass eines ein RS485-Typ-Netzwerk ist. Der gewählte DSP umfasst ein eingebettetes UART-Peripheriegerät, welches RS485-Netzwerke unterstützen soll. Ein zusätzliches Kommunikationsnetzwerk kann über Lesen und Schreiben auf einen Zweifachanschluss-SRAM unterstützt werden. Die Auswahl des Zweifachanschlusses-SRAM als Kommunikationspartition ermöglicht die Unterstützung von mehreren, autonomen, austauschbaren Schnittstellen. Die vorliegende Erfindung ist nicht notwendigerweise auf diese beiden Kommunikationsanschlüsse eingeschränkt. Mehrere Kommunikationsanschlüsse von verschiedenen Kommunikationsprotokollen, wie den Fachleuten bekannt ist, können in der vorliegenden Erfindung angewendet werden, um mehrere, autonome, austauschbare Schnittstellen zu erreichen.

[0107] Ein zusätzlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass das eingebettete System Ereignisse basierend auf dem Empfangen von Probenentnahmedaten von dem Flusssignal mit genauen, diskreten Intervallen von 1,68 Millisekunden verarbeitet. Aufgrund der Rechenleistung des gewählten Aufbaus, beendet der Kontrollalgorithmus seine Aufgabe in weniger als 30% dieser Zeit.

[0108] Die vorliegende Erfindung stellt frühere Daten, Trends, Analysen und relationale Daten bereit. Solche Daten können archiviert werden, um die Möglichkeiten zur Ferndiagnose oder lokalen Diagnose eines Servicetechnikers über ein Hostsystem, das mit einem zugewiesenen Serviceanschluss zum Bestimmen der aktuellen Funktion verbunden ist, verbessert.

[0109] Verschiedene Massendurchflussregler gibt es auf dem Markt. Ein Massendurchflussregler kann einen Linearisierungskreis umfassen, um eine Unterstützung bei der Linearisierung des erfassten Flusssignals zu erhalten. Insbesondere wird Bezug genommen auf die US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/350,747, eingereicht am 9. Juli 1999 von T. T. Pattantyus, et al., mit dem Titel "System and Method for Sensor Response Linearization.". Ein Massendurchflussregler kann auch einen verbesserten Massenflussschnittstellenkreis umfassen, der den Massenfluss innerhalb eines Massendurchflussreglers durch Erfassen der Widerstandsänderung eines Erfassungswiderstands bzw. Widerstands in Antwort auf den Gasfluss misst. Insbesondere wird Bezug genommen auf den verbesserten Massenflussschnittstellenkreis, welcher offenbart ist in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/350,746, eingereicht am 9. Juli 1999 von D. S. Larson et al., mit dem Titel "Improved Mass Flow Sensor Interface Circuit.". Ein Massendurchflussregler kann auch eine Differentialregelvorrichtung umfassen, welche das erfasste Flusssignal korrigiert,

um den tatsächlichen Fluss durch den Massendurchflussregler genauer abzuschätzen. Insbesondere wird Bezug genommen auf die Differentialregelvorrichtung, welche offenbart ist in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/351,120, eingereicht am 9. Juli 1999 von E. Vyders, mit dem Titel "System and Method for a Digital Mass Flow Controller". Eine PI-Regelvorrichtung kann auch in einem Massendurchflussregler enthalten sein, um ein Ventilsteuersignal zur Regelung eines Ventils in dem Massendurchflussregler zu erzeugen. Die PI-Regelvorrichtung kann die Antwortgeschwindigkeit des Massendurchflussreglers erhöhen und für eine nichtlineare Antwort des Ventils an das Ventilsteuersignal ausgleichen. Insbesondere wird Bezug genommen auf die PI-Regelvorrichtung, welche offenbart ist in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/351,098, eingereicht am 9. Juli 1999 von E. Vyders, mit dem Titel "System and Method for a Variable Gain Proportional-Integral (PI) Controller". Schließlich kann das Ventilsteuersignal in einem Massendurchflussregler dem Ventilsteuerkreis zugeführt werden, um ein Spulen-betätigtes Ventil zu regeln. Es wird Bezug genommen auf die US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/351,111, eingereicht am 9. Juli 1999 von T. T. Pattantyus, mit dem Titel "Method and System for Driving a Solenoid". Es ist wichtig festzustellen, dass die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt ist, einen Massendurchflussregler zu verwenden, welcher die oben beschriebenen Bauteile enthält.

Patentansprüche

1. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler, welches umfasst:
einen Durchflusssensor (12);
einen mit einem Ausgang des Durchflusssensors gekoppelten digitalen Signalprozessor (16);
einen mit dem digitalen Signalprozessor (16) gekoppelten Speicher (26) zum Speichern von unter Verwendung von Regressionstechniken berechneten Kalibrierungsdaten; und
ein durch ein vom digitalen Signalprozessor (16) ausgegebenes Regelsignal gesteuertes Regelventil (22) innerhalb des Massendurchflussreglers;
dadurch gekennzeichnet, dass im digitalen Signalprozessor (16) Software-Steuerbefehle implementiert sind, die einen geschlossen-schleifigen Regelalgorithmus basierend auf einer Mehrzahl Systemvariablen ausführen, einschließlich einer von dem elektronischen Regelsystem verwendeten Einlassdruckangabe, um den Massendurchflussregler unempfindlich gegenüber Einlassdruckschwankungen zu machen.

2. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 1, bei welchem die Software einen Durchflussfehler unter Verwendung eines die Mehrzahl Systemvariablen ver-

wendenden Algorithmus berechnen kann.

3. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 2, bei welchem der Algorithmus durch eine Mehrzahl von im Speicher (26) gespeicherten Konstanten dargestellt wird.

4. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 3, bei welchem der Algorithmus unter Verwendung eines polynomischen Ausdrucks und der im Speicher (26) gespeicherten Kalibrierungsdaten abgeleitet wird.

5. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 4, bei welchem die Mehrzahl Systemvariablen ferner umfasst:
einen gewünschten Ausgangsdurchflusssollwert (58);
einen Spulenstrom (70);
eine Umgebungstemperatur (68);
einen Basiswiderstand des Sensors (12);
wenigstens eine Versorgungsspannung (62; 64);
eine Leckage durch das Regelventil (22); und
eine Überschwingweite des tatsächlichen Ausgangsdurchflusses (80) verglichen mit dem gewünschten Ausgangsdurchflusssollwert (58).

6. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 1, welches ferner ein eingebettetes Diagnosesystem (16, 28) umfasst, wobei das Diagnosesystem (16, 28) Fehler oder mögliche Fehlerzustände im Massendurchflussregler identifiziert.

7. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 6, bei welchem das eingebettete Diagnosesystem (16, 28) eine visuelle Angabe von Fehlern oder möglichen Fehlerzuständen im Massendurchflussregler bereitstellt.

8. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 7, welches ferner wenigstens einen Kommunikationsanschluss zum Koppeln des elektronischen Regelsystems (16) mit einem Netzwerksystem umfasst.

9. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 8, bei welchem das eingebettete Diagnosesystem (16, 28) weiterhin eine Schnittstelle (36; 38) zum Kommunizieren von Fehlern oder möglichen Fehlerzuständen im Massendurchflussregler über den Kommunikationsanschluss zu einem entfernten Diagnosesystem (50) umfasst.

10. Elektronisches Regelsystem (16) für einen Massendurchflussregler nach Anspruch 1, welches ferner umfasst:

ein Kalibrierungssystem zum Überwachen der Mehrzahl Systemvariablen und des tatsächlichen Ausgangsdurchflusses (80) und Berechnen der den polynomischen Ausdruck darstellenden Mehrzahl Konstanten.

11. Verfahren zum Bestimmen des Massendurchflusses durch einen Massendurchflussregler, mit den Schritten:

Speichern einer oder mehrerer Variablen entsprechend einem momentanen Satz von Zuständen;
Erfassen des Durchflusses durch einen Sensor (12) und Ausgeben des erfassten Durchflusses zu einem elektronischen Regelsystem (16);
Bestimmen eines tatsächlichen Durchflusses (80) durch den Massendurchflussregler innerhalb des elektronischen Regelsystems (16, 28);
Bestimmen eines Durchflussfehlers zwischen einem gewünschten Durchflusssollwert (58) und dem tatsächlichen Durchfluss (80) basierend auf dem erfassten Durchfluss, der einen oder mehreren Variablen und unter Verwendung von Regressionstechniken berechneten Kalibrierungsdaten; und
Erzeugen eines Regelsignals innerhalb des elektronischen Regelsystems, welches geeignet ist, die Position eines Regelventils (22) innerhalb des Massendurchflussreglers einzustellen, um den Durchflussfehler zu minimieren;
dadurch gekennzeichnet, dass die eine oder mehreren Variablen eine Einlassdruckangabe enthalten, die von dem elektronischen Regelsystem verwendet wird, um den Massendurchflussregler gegenüber Einlassdruckschwankungen unempfindlich zu machen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei welchem eine Bestimmung eines Durchflussfehlers unter Verwendung eines Algorithmus, der eine oder mehrere Variablen nutzt, erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Algorithmus durch eine Mehrzahl Konstanten dargestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei welchem der Algorithmus unter Verwendung eines polynomischen Ausdrucks und der Kalibrierungsdaten abgeleitet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, welches ferner das Erfassen der momentanen Bedingungen entsprechend der einen oder mehreren Variablen und das automatische Kalibrieren des Massendurchflussreglers basierend auf den erfassten momentanen Bedingungen umfasst.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei welchem die eine oder mehreren Variablen enthalten:
einen gewünschten Ausgangsdurchflusssollwert (58);

einen Spulenstrom (70);
eine Umgebungstemperatur (68);
einen Basiswiderstand des Sensors (12);
wenigstens eine Versorgungsspannung (62; 64);
eine Leckage durch das Regelventil (22); und
eine Überschwingweite des tatsächlichen Ausgangsdurchflusses (80) verglichen mit dem gewünschten Ausgangsdurchflusssollwert (58).

17. Verfahren nach Anspruch 11, welches ferner das Identifizieren eines Fehlers oder möglicher Fehlerzustände im Massendurchflussregler umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 17, welches ferner das Bereitstellen einer visuellen Angabe eines Fehlers oder möglicher Fehlerzustände im Massendurchflussregler umfasst.

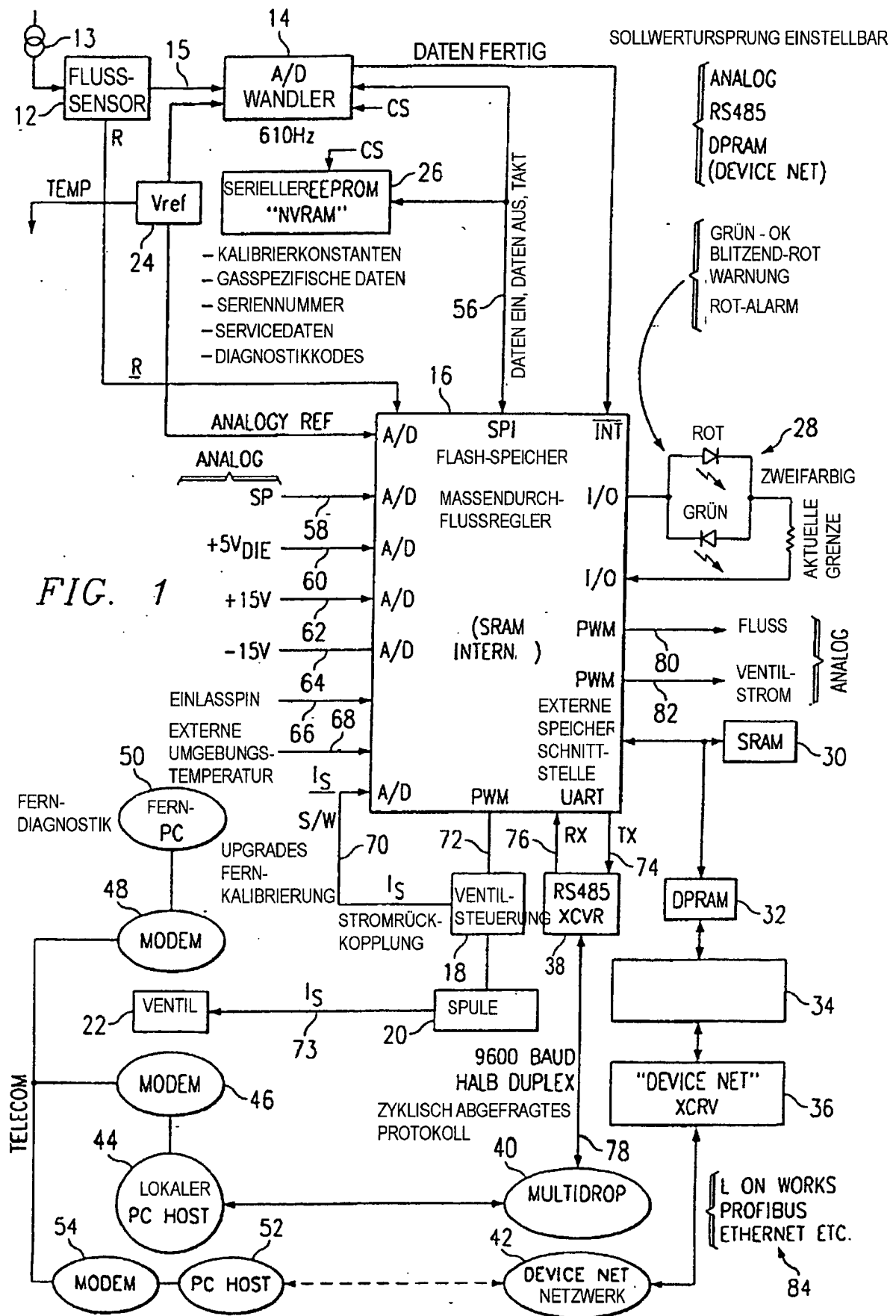
19. Verfahren nach Anspruch 18, welches ferner das Kommunizieren von Durchflussdaten vom Massendurchflussregler zu einer oder mehreren Netzwerkvorrichtungen (40, 42), die mit dem Massendurchflussregler gekoppelt sind, umfasst.

20. Verfahren nach Anspruch 19, welches ferner das Aktualisieren der einen oder mehreren Variablen mit Daten, die von der einen oder mehreren mit dem Massendurchflussregler gekoppelten Netzwerkvorrichtungen (40, 42) empfangen werden, umfasst.

21. Verfahren nach Anspruch 11, welches ferner das Überwachen der einen oder mehreren Variablen und des tatsächlichen Ausgangsdurchflusses (80) und Berechnen der den polynomischen Ausdruck darstellenden Mehrzahl Konstanten umfasst.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



- 1) GESAMTE "DATENVERARBEITUNG" (FÜR REGELN, LINEARISIERUNG, ADDIERER, EEPROM, DIAGNOSTIK, USW.) ERFOLGT HIER (INNERHALB AB)
- 2) $AB+BC = 1,68$ MILLISEKUNDEN
- 3) WENN VERARBEITUNGSZEIT ZUNIMMT, WÄCHST AB, BC NIMMT AB.
- 4) $AC = 1,68$ MILLISEKUNDEN WIRD ERZEUGT DURCH EXTERNES ADC.
- 5) KEINE UNTERBRECHUNGEN SIND ZUGELASSEN WÄHREND AB.
- 6) WENN EINE UNTERBRECHUNG WÄHREND AB PASSIERT, WIRD GEWARTET, BIS AB BEENDET IST UND ANSCHLIEßEND WIRD DIE UNTERBRECHUNG NACH B BEHANDELT.
- 7) SO WEIT BETRÄGT DIE VON AB VERBRAUCHTE MAXIMALE ZEIT 30% DER VOLLEN ZEIT AC (1,68 MILLISEKUNDEN)

- !) KEINE ANDEREN UNTERBRECHUNGEN SIND BIS ZUM ENDE DER UNTERBRECHUNGS-UNTERROUTINE ZUGELASSEN.
- 2) EINE DIESER DREI UNTERBRECHUNGEN KANN IN IRGEND EINER REIHENFOLGE UND AN IRGEND EINEM ORT ERFOLGEN
- 3) HIER ERFOLGT NUR EINE DATEN-ÜBERTRAGUNG, DIE TATSÄCHLICHE DATENVERARBEITUNG ERFOLGT NACH AB
- 4) DIESE ISRs VERBRAUCHEN TYPISCH 0,06% bis 0,1% DER GESAMTEN 1,68 MILLISEKUNDEN

FIG. 2

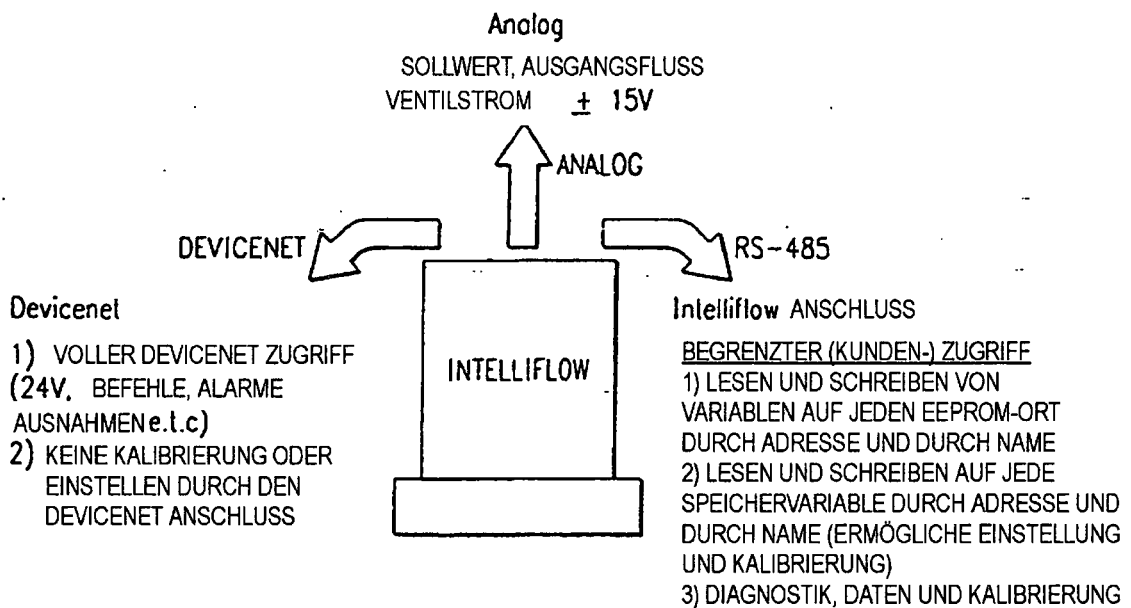
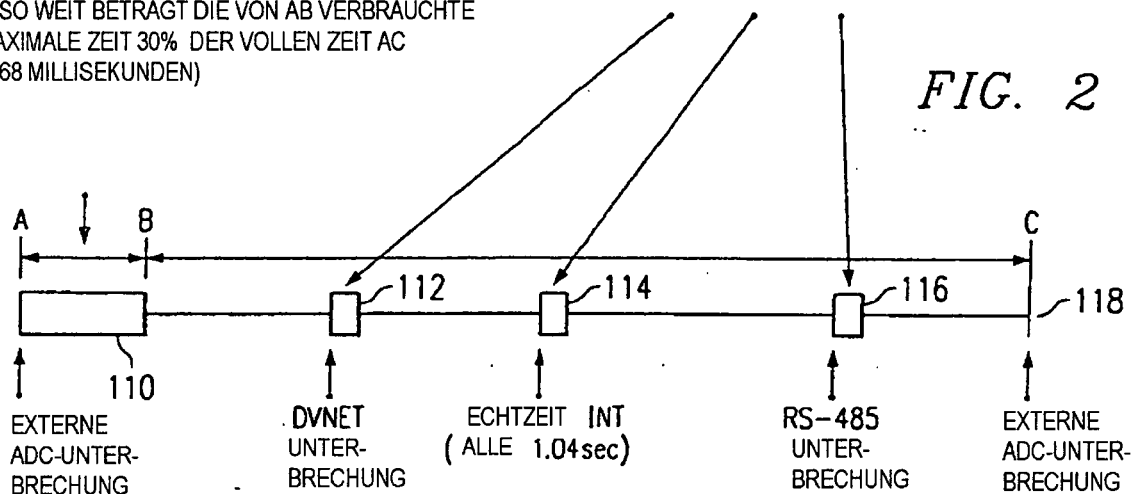


FIG. 5

FIG. 3

