



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 96 410 T5** 2004.04.15

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/070885**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **102 96 410.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/00013**
(86) PCT-Anmeldetag: **02.01.2002**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.09.2002**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **15.04.2004**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/14**
G05B 11/36

(30) Unionspriorität:
09/795,857 **28.02.2001** **US**

(71) Anmelder:
Detroit Diesel Corp., Detroit, Mich., US

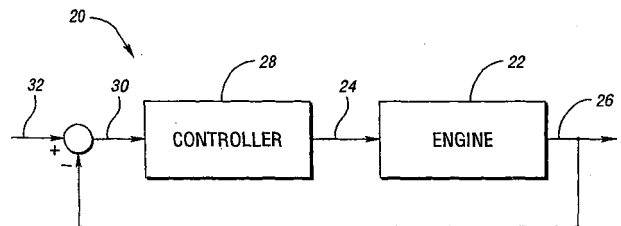
(74) Vertreter:
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München**

(72) Erfinder:
**Weisman II, (verstorben), S. Miller, Grosse Pointe
Park, Mich., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschinenverzögerungskompensation**

(57) Hauptanspruch: System zum Regeln einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird, wobei die Brennkraftmaschine eine geregelte Eingabe und eine geregelte Ausgabe aufweist, und das System aufweist:
eine Regelung in Kommunikation mit der Regeleingabe, wobei die Regelung eine Fehlereingabe aufweist;
eine gewünschte Eingabe; und
einen Verzögerungskompensator, der so betreibbar ist, dass er ein Kompensationssignal auf Grundlage der Summe der Regelungsausgabe nur über den Verzögerungszeitraum erzeugt; wobei die Fehlereingabe als die Differenz zwischen der gewünschten Eingabe und der Summe der geregelten Ausgabe und des Kompensationssignals erzeugt wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Steuern oder Regeln von Brennkraftmaschinen mit inhärenter Transportverzögerung.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Brennkraftmaschinen können zahlreiche Parameter aufweisen, die geregelt werden müssen oder können, einschließlich Zündzeitpunkt, Kraftstoffzufuhr, Ansaugluft, Abfuhr von Abgasen, Emissionsregelung, Drehzahl und Drehmoment der Brennkraftmaschine, Steuerung von Zubehör, und dergleichen.

[0003] Typischerweise weist die Drehmasse einer Brennkraftmaschine ein wesentliches Trägheitsmoment auf, welches sofortige Versuche verhindert, Brennkraftmaschinenparameter zu ändern. Dieses Trägheitsmoment wird durch Integration repräsentiert, wenn ein Modell für die Brennkraftmaschinenparameter entworfen wird.

[0004] Das Regelproblem wird durch das Vorhandensein von Verzögerungen zwischen dem Zeitpunkt, wenn sich ein Brennkraftmaschinenparameter ändert, und dem Zeitpunkt, wenn die entsprechende Änderung eines Regelsignals auftritt, noch komplizierter. Eine derartige Verzögerung kann durch die Reaktionszeit eines Sensors verursacht sein, der den Brennkraftmaschinenparameter erfasst, durch Berechnungszeit, die dazu benötigt wird, das Regelsignal zu berechnen, und durch die Reaktionszeit eines Betätigungsgliedes, das dazu ausgelegt ist, den Brennkraftmaschinenparameter zu beeinflussen. So kann beispielsweise die Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt, an welchem ein Regelsignal einen Kraftstoffinjektor erreicht, und dem Zeitpunkt, an welchem die angewiesene Kraftstoffmenge in die Brennkammer hineingelangt, einen signifikanten Faktor bei der Konstruktion der Kraftstoffzufuhrregelung darstellen. Selbst wenn Sensor-, Berechnungs- und Betätigungsglied-Verzögerungen in der Auswirkung ausgeschaltet werden können, kann die Brennkraftmaschine selbst Verzögerungen hervorrufen. So erzeugen beispielsweise Kolbenbrennkraftmaschinen eine diskontinuierliche Verbrennung an diskreten Punkten, was zu einer Begrenzung innerhalb jedes Zündtaktes auf bestimmte Bereiche führt, wenn Regelereignisse auftreten können. Unabhängig von der Ursache können Transportverzögerungen zu einer Überregelung und Instabilität führen.

[0005] Ein weiterer Faktor, der das Problem der Brennkraftmaschinenregelung komplizierter macht, ist das Vorhandensein von Störgrößen bei der Brennkraftmaschine. Störgrößen können jeder unerwünschte Faktor sein, der den Betrieb der Brennkraftmaschine beeinflusst. Störgrößen können statistisch auftreten, beispielsweise elektrisches Rauschen, das von Sensoren aufgenommen wird, die zur Überwachung von Brennkraftmaschinenparametern eingesetzt werden. Störgrößen können auch vom Brennkraftmaschinenbetrieb abhängen, beispielsweise Reibungsverluste oder Vibrationen.

[0006] Ein typisches Modell für ein Regelsystem ersetzt den einen oder die mehreren Motorparameter, die geregelt werden sollen, durch ein lineares Modell, welches eine Ausgabe für jeden geregelten Parameter und eine entsprechende Eingabe aufweist, welche Regelsignale zur Verfügung stellt. Eine Steuerung, die vor dem Brennkraftmaschinenmodell in dem Vorwärtskopplungsweg der Regelung angeordnet ist, stellt die Steuersignale zur Verfügung. Die Eingabe zur Steuerung stellen ein oder mehrere Fehlersignale dar, die als die Differenz zwischen gewünschten Pegeln für die geregelten Brennkraftmaschinenparameter und den tatsächlichen Brennkraftmaschinenparameterausgaben ermittelt werden, welche auf den Eingang der Steuerung rückgekoppelt werden. Störgrößen werden häufig als eine additive Signalquelle in dem Vorwärtskopplungsweg hinter der Steuerung modelliert.

[0007] Eine wohlbekannt Vorgehensweise zur Verzögerungskompensation besteht darin, einen Smith-Kompensator in einer inneren, negativen Rückkopplungsschleife um die Steuerung anzuordnen. Der Smith-Kompensator koppelt eine simulierte Brennkraftmaschinenparameterausgabe zurück, um die echte Brennkraftmaschinenparameterausgabe auszugleichen, und addiert dann eine simulierte Brennkraftmaschinenparameterausgabe ohne die Transportverzögerung. Wenn das simulierte Brennkraftmaschinenparametermodell und der Verzögerungswert zur tatsächlichen Brennkraftmaschine passen, gleicht der Smith-Kompensator exakt die Auswirkungen der Verzögerung aus. Bei einem geregelten Brennkraftmaschinenparameter, welcher Trägheitsinflüssen ausgesetzt ist, können jedoch Ungenauigkeiten in dem simulierten Brennkraftmaschinenmodell zu Sättigungsfehlern und der Unfähigkeit führen, die gewünschten Brennkraftmaschinenparameterwerte zu erhalten.

[0008] Es wurde auch andere Vorgehensweisen vorgeschlagen, beispielsweise der Beobachter in einer geschlossenen Schleife in einer Zustandsraumregeltopologie. Allerdings neigen diese Vorgehensweisen dazu, kompliziert zu sein, und reagieren empfindlich auf die Verstärkungen des Beobachters in der geschlossenen Schleife.

[0009] Erforderlich ist die Regelung einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung auf eine Art und

Weise, welche die Verzögerung ohne wesentliche Erhöhung der Komplexität kompensiert, ohne dass es erforderlich ist, exakt Brennkraftmaschinenparameter zu modellieren, und ohne die Möglichkeit einer Fehlersättigung.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0010] Die vorliegende Erfindung stellt die Regelung einer Brennkraftmaschine mit Trägheitsintegration und Verzögerung mit Hilfe des Einsatzes eines Kompensators mit negativer Rückkopplung um die Regelung herum zur Verfügung, die eine finite Impulsantwort aufweist.

[0011] Es wird ein System zum Regeln einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung zur Verfügung gestellt, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird. Die Brennkraftmaschine weist einen Regeleingang und einen geregelten Ausgang auf. Eine Regelung, die einen Fehlereingang aufweist, treibt den Regeleingang. Ein Verzögerungskompensator erzeugt ein Kompensationssignal auf Grundlage nur der Summe der Regelungsausgaben über den Verzögerungszeitraum. Die Fehlereingabe wird als die Differenz zwischen einer gewünschten Eingabe und der Summe der geregelten Ausgabe und des Kompensationssignals erzeugt.

[0012] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert, wobei T der Kompensator-Abtastzeitraum ist. Die Regelungsausgabe in dem n -ten Abtastzeitraum wird ermittelt durch Summierung der m vorherigen Regelungsausgaben, gewichtet mit einer Konstanten K . Die Konstante K kann auf der Brennkraftmaschinendrehmomentverstärkung beruhen, auf dem Abtastzeitraum T , und der Brennkraftmaschinenträgheit.

[0013] Es wird auch ein Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung zur Verfügung gestellt. Ein Regelungssignal wird für die Regeleingabe erzeugt. Das Regelungssignal wird so festgelegt, dass es die Brennkraftmaschine so regelt, als träte bei der Brennkraftmaschine keine Verzögerung auf. Ein Kompensationssignal wird als die Summe des Regelsignals nur über den Verzögerungszeitraum erzeugt. Das Regelsignal beruht auf einem Fehlersignal, das als die Differenz zwischen einer gewünschten Eingabe und der Summe der geregelten Ausgabe und des Kompensationssignals erzeugt wird.

[0014] Es wird auch eine Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung zur Verfügung gestellt, die als Verzögerungszeitraum gemessen wird. Die Brennkraftmaschine weist mehrere geregelte Parameter auf. Für zumindest einen geregelten Parameter, der eine Regeleingabe und eine geregelte Ausgabe aufweist, weist die Brennkraftmaschine einen Vorwärtskopplungsregelweg auf, der die Regeleingabe mit einem Regelsignal steuert. Der Vorwärtskopplungsregelweg ist so ausgebildet, dass er eine Regelung mit geschlossener Schleife des geregelten Parameters ohne das Vorhandensein einer Transportverzögerung zur Verfügung stellt. Ein Kompensator erzeugt ein Kompensationssignal auf Grundlage der Summe des Regelsignals nur über den Verzögerungszeitraum. Das Kompensationssignal stellt eine Eingabe für den Vorwärtskopplungsregelweg zur Verfügung.

[0015] Die voranstehenden Ziele und andere Ziele, Merkmale, und Vorteil der vorliegenden Erfindung werden leicht aus der folgenden, detaillierten Beschreibung der besten Art und Weise zur Ausführung der Erfindung deutlich, zusammen mit den beigefügten Zeichnungen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild eines Brennkraftmaschinenregelsystems nach dem Stand der Technik;

[0017] **Fig. 2** ist ein Blockschaltbild eines Brennkraftmaschinenregelsignals gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0018] **Fig. 3** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem ohne Transportverzögerung;

[0019] **Fig. 4** ist ein Diagramm von Signalen des in **Fig. 3** modellierten Systems;

[0020] **Fig. 5** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung;

[0021] **Fig. 6** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 5** modellierte System;

[0022] **Fig. 7** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung, das einen Smith-Kompensator aufweist;

[0023] **Fig. 8** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 7** modellierte System;

[0024] **Fig. 9** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung, das einen Smith-Kompensator mit Modellfehlern aufweist;

[0025] **Fig. 10** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 9** modellierte System;

[0026] **Fig. 11** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung, das einen Kompensator aufweist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0027] **Fig. 12** ist Diagramm von Signalen für das in **Fig. 11** modellierte System;

[0028] **Fig. 13** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transport-

verzögerung, das einen Kompensator aufweist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, mit Modellfehlern;

[0029] **Fig. 14** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 13** modellierte System; und

[0030] **Fig. 15** ist eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem Regelsystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

BESTE ART UND WEISE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0031] In **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild eines Brennkraftmaschinenregelsystems nach dem Stand der Technik gezeigt. Ein Brennkraftmaschinenregelsystem, insgesamt mit **20** bezeichnet, weist einen oder mehrere Brennkraftmaschinenparameter auf, die geregelt werden sollen, repräsentiert durch den Block **22**. Die Brennkraftmaschinenparameter **22** weisen zumindest eine Regeleingabe **24** zum Abändern von Parametern **22** auf, was zu einer oder mehreren geregelten Ausgaben **26** führt. Ohne Verlust an Allgemeinheit wird bei der verbleibenden Erläuterung ein einzelner Brennkraftmaschinenparameter **22** angenommen, der eine einzige, geregelte Ausgabe **26** auf Grundlage einer einzigen Regeleingabe **24** erzeugt. Fachleute werden erkennen, dass die vorliegende Erfindung ebenso bei mehreren Parametern **22** mit mehreren Regeleingaben **24** und geregelten Ausgaben **26** einsetzbar ist.

[0032] Die Regelung **28** erzeugt die Regeleingabe **24** auf Grundlage eines Fehlersignals **30**. Jedes Fehlersignal **30** wird berechnet als die Differenz zwischen der gewünschten Eingabe **32** und der geregelten Ausgabe **26**. Die Regelung **28** mit geschlossener Schleife ist so ausgelegt, dass sie regelt, wie die geregelte Ausgabe **26** der gewünschten Eingabe **32** folgt.

[0033] In **Fig. 2** ist ein Blockschaltbild eines Brennkraftmaschinenregelsystems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Das Brennkraftmaschinenregelsystem, insgesamt mit **40** bezeichnet, weist nunmehr einen Kompensator **42** in einer negativen Rückkopplungsschleife um die Regelung **28** herum auf. Der Kompensator **42** akzeptiert als Eingabe die Regeleingabe **24**, und erzeugt ein Kompensationssignal **44**, das von dem Fehlersignal **30** subtrahiert wird, um ein Fehlersignal **46** zu erzeugen. Das Fehlersignal **46** stellt die neue Eingabe zur Regelung **28** dar.

[0034] Der Kompensator **42** kompensiert Verzögerungen bei Brennkraftmaschinenparametern **22** dadurch, dass er das Kompensationssignal **44** nur auf den Ausgaben der Regelung **28** beruhen lässt, die über den vorherigen Verzögerungszeitraum erzeugt werden, welcher der Brennkraftmaschine **22** zugeordnet ist. Da der Kompensator **42** eine finite Impulsantwort aufweist, treten bei dem Kompensator **42** nicht die Fehlersättigungsprobleme auf, die typisch für integrierende Smith-Kompensatoren sind.

[0035] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei welcher die Transportverzögerung der Brennkraftmaschine **22** als Verzögerungszeitraum gemessen wird, lässt sich das Kompensationssignal **44** mit Hilfe von Gleichung 1 ermitteln:

$$c(n) = K \sum_{i=1}^n y(n-i) . \quad (1)$$

wobei $c(n)$ das Kompensationssignal **44** in dem n -ten Abtastzeitraum ist, K eine Konstante ist, der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert wird, T der Kompensator-Abtastzeitraum ist, und $y(n)$ die Regeleingabe **24** bei der n -ten Abtastung ist.

[0036] Der Wert der Konstanten K kann experimentell ermittelt werden. Vorzugsweise beruht K auf Brennkraftmaschinenparametern und dem Abtastzeitraum T . So lässt sich beispielsweise die Konstante K gemäß Gleichung 2 ausdrücken:

$$K = \frac{G \times T}{I} \quad (2)$$

wobei G die Brennkraftmaschinenverstärkung für den Parameter **22** ist, beispielsweise die Brennkraftmaschinendrehmomentverstärkung, und I das Trägheitsmoment der Brennkraftmaschine **22** bezeichnet.

[0037] Die **Fig. 3 bis 24** stellen Blockschaltbilder und Signalplots einfacher Regelsysteme zur Verfügung, welche Probleme erläutern, die bei vorherigen Systemen auftraten, sowie die Vorteile des vorliegenden Regelsystems.

[0038] In **Fig. 3** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem ohne Transportverzögerung dargestellt. Das Regelsystem **20** weist einen Brennkraftmaschinenparameter **22** auf, der modelliert ist als Z -Transformations-Übertragungsfunktion erster Ordnung mit auf dem Trägheitsmoment beruhender Integration, jedoch ohne Transportverzögerung. Die geregelte Ausgabe **26** wird von der gewünschten Eingabe **32** subtrahiert, um ein Fehlersignal **30** zu erzeugen. Die Regelung **28** erzeugt die Regeleingabe **24** auf

Grundlage des Fehlersignals **30**.

[0039] In **Fig. 4** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 3** modellierte System dargestellt. Der Plot **50** repräsentiert eine Einheitsschritteingabe bei der gewünschten Eingabe **32**. Die Regelung **28** wurde so entworfen, dass die geregelte Ausgabe **26** eine geringfügig zu wenig gedämpfte Reaktion mit schneller Einstellzeit zeigt.

[0040] In **Fig. 5** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung dargestellt. Die Übertragungsfunktion für den Brennkraftmaschinenparameter **22** enthält nun den Term z^{-5} , der eine Transportverzögerung von fünf Abtastzeiträumen repräsentiert.

[0041] In **Fig. 6** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 5** modellierte System dargestellt. Der Plot **54** ist der Einheitsschritt bei der gewünschten Eingabe **32**. Das sich ergebende Signal bei der geregelten Ausgabe **26** ist durch den Plot **56** dargestellt. Die geregelte Ausgabe **26** ist nun erheblich zu wenig gedämpft, mit einer beträchtlich längeren Einstellzeit. Das Überschwingen und die verlängerte Einstellzeit liegen an der Tatsache, dass die Regelung **28** keine Rückkopplung von dem Brennkraftmaschinenparameter **22** für eine vorgegebene Änderung des Regelsignals **24** über fünf Abtastzeiträume empfängt. Daher treibt die Regelung **28** weiterhin die Regeleingabe **24** mit verzögerter Information in Bezug auf den Zustand des Brennkraftmaschinenparameters **22**.

[0042] In **Fig. 7** ist nunmehr ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung dargestellt, welches einen Smith-Kompensator aufweist. Ein Regelsystem, insgesamt mit **60** bezeichnet, enthält nunmehr einen Smith-Kompensator **62**. Der Smith-Kompensator **62** enthält ein verzögerungsfreies Brennkraftmaschinenmodell **64**, welches exakt den Brennkraftmaschinenparameter **22** ohne Verzögerung modelliert. Der Smith-Kompensator **62** enthält auch eine Verzögerungsdifferenzvorrichtung **66**. Die Verzögerungsdifferenzvorrichtung **66** erzeugt als Kompensatorausgabe **70** die Differenz zwischen der momentanen Modellausgabe **68** und der Modellausgabe **68**, die zu einem vorherigen Zeitpunkt gleich der Verzögerung bei dem Brennkraftmaschinenparameter **22** erzeugt wurde. Das Fehlersignal **72** ist dann die Differenz zwischen der gewünschten Eingabe **32** und der Summe der geregelten Ausgabe **26** und der Kompensatorausgabe **70**.

[0043] In **Fig. 8** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 8** modellierte System dargestellt. Der Plot **8** stellt eine Einheitsschritteingabe bei der gewünschten Eingabe **32** dar. Die geregelte Ausgabe **26**, dargestellt im Plot **82**, verfolgt exakt das verzögerungsfreie Ergebnis, das ursprünglich von der Regelung **28** erhalten wurde. Der Plot **84** stellt die Kompensatorausgabe **70** dar, die dazu erforderlich ist, die geregelte Ausgabe **26** zu erhalten.

[0044] In **Fig. 9** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung dargestellt, das einen Smith-Kompensator mit Modellfehlern aufweist. Die Offenschleifenverstärkung für den Brennkraftmaschinenparameter **22** ist nunmehr verdoppelt. Daher repräsentiert das verzögerungsfreie Brennkraftmaschinenmodell **64** nicht mehr korrekt den Brennkraftmaschinenparameter **22**. Weiterhin unterliegt der Brennkraftmaschinenparameter **22** einer konstanten Störgrößeneingabe **90**.

[0045] In **Fig. 10** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 9** modellierte System dargestellt. Der Plot **90** ist eine Einheitsschritteingabe bei der gewünschten Eingabe **32**. Die geregelte Ausgabe **26**, dargestellt durch den Plot **92**, zeigt ein stärkeres Überschwingen und eine längere Einstellzeit, bevor sie der Stufeneingabe **90** folgt. Die Kompensatorausgabe **70** stellt sich auf Null mit derselben Rate wie die geregelte Ausgabe **26** ein, wie bei **96** dargestellt. Wie jedoch durch den Plot **94** dargestellt, führt die Modellausgabe **68** weiterhin einen Rampenverlauf durch, infolge der Ungenauigkeiten und der integrierenden Art und Weise des verzögerungsfreien Brennkraftmaschinenmodells **64**. Abhängig von der gewünschten Eingabe **32** und der Implementierung des Smith-Kompensators **62** kann dieser Rampenverlauf Sättigungsfehler bei dem Smith-Kompensator **62** hervorrufen, was dazu führt, dass es unmöglich wird, die gewünschten Ergebnisse für die geregelte Ausgabe **26** zu erhalten.

[0046] In **Fig. 11** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung dargestellt, das einen Kompensator aufweist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Kompensator **42** erzeugt ein Kompensationssignal **44** durch Summieren der vorherigen fünf Ausgaben der Regelung **28**. Die Eingabe zur Regelung **28**, das Fehlersignal **46**, wird dadurch ermittelt, dass die Differenz zwischen der gewünschten Eingabe **32** und der Summe der geregelten Ausgabe **26** und des Kompensationssignals **44** genommen wird.

[0047] In **Fig. 12** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 11** modellierte System dargestellt. Der Plot **110** erläutert eine Einheitsschritteingabe bei der gewünschten Eingabe **32**. Die geregelte Ausgabe **26**, dargestellt durch den Plot **112**, verfolgt eng die gewünschte Eingabe **32**, mit geringem Überschwingen und minimaler Einstellzeit. Das Kompensationssignal **44**, dargestellt durch den Plot **114**, nimmt auf Null mit im wesentlichen derselben Einstellzeit ab wie die geregelte Ausgabe **26**.

[0048] In **Fig. 13** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels für ein Brennkraftmaschinenregelsystem mit Transportverzögerung dargestellt, das einen Kompensator aufweist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, mit Modellfehlern. Erneut ist die Offenschleifenverstärkung für den Brennkraftmaschinenpara-

meter **22** verdoppelt, und unterliegt der Parameter **22** einer konstanten Störgrößeneingabe **90**.

[0049] In **Fig. 14** ist ein Diagramm von Signalen für das in **Fig. 13** modellierte System dargestellt. Der Plot **120** erläutert eine Einheitsschritteingabe bei der gewünschten Eingabe **32**. Die geregelte Ausgabe **26**, dargestellt durch den Plot **122**, zeigt ein erhöhtes Überschwingen und eine vergrößerte Einstellzeit, bevor sie der Stufeneingabe **120** folgt. Das Kompensationssignal **44**, dargestellt durch den Plot **124**, stellt sich auf Null mit etwa der gleichen Einstellzeit ein. Der Kompensator **42** versucht nicht, den Brennkraftmaschinenparameter **22** zu modellieren. Daher sind keine Integratoren in dem Kompensator **42** vorhanden, die einen Sättigungsfehler erzeugen könnten.

[0050] In **Fig. 15** ist eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem Regelsystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die Brennkraftmaschine **22** weist ein Regelsystem auf, insgesamt mit **130** bezeichnet, zum Regeln der Brennkraftmaschine **22**. Das Regelsystem **130** weist ein oder mehrere Sensoren **132** auf, welche Sensorsignale **134** zur direkten oder indirekten Erfassung zumindest einer geregelten Ausgabe bei der Brennkraftmaschine **22** erzeugen. Das Regelsystem **130** weist weiterhin ein oder mehrere Betätigungsglieder **136** auf, welche Regelsignale **138** zur Beeinflussung einer oder mehrerer geregelter Ausgaben empfangen.

[0051] Das Regelsystem **130** weist weiterhin eine Regellogik **140** auf, welche eine Verzögerungskompensation implementiert. Eine Eingabe/Ausgabe-Einheit (I/O) **142** nimmt Sensorsignale **134** an. Zusätzliche Eingangssignale **144**, beispielsweise von anderen Systemen innerhalb eines Fahrzeugs, das von der Brennkraftmaschine **22** angetrieben wird, oder von einer Person oder einem Computer, die bzw. der eine Regeleingabe für die Brennkraftmaschine **22** zur Verfügung stellt, können von der Eingabe/Ausgabe-Einheit **146** empfangen werden. Die Eingabe/Ausgabe-Einheit **148** erzeugt Regelsignale **138**. Zusätzliche Ausgangssignale **150** können von der Eingabe/Ausgabe-Einheit **152** erzeugt werden, um andere Systeme innerhalb eines Fahrzeugs zu steuern oder zu regeln, das von der Brennkraftmaschine **22** angetrieben wird, oder um den Status der Brennkraftmaschine **22** anzugeben. Ein Speicher **154** enthält typischerweise sowohl flüchtige Speicher als auch nicht-flüchtige Speicher zum Festhalten von Brennkraftmaschinenkalibrierwerten, temporären Berechnungsergebnissen, Eingabe- und Ausgabe-Werten, ausführbaren Codes und dergleichen. Ein Prozessor **156** führt Code aus, um Sensorsignalwerte zu lesen, Regelsignale auf Grundlage der Kompensation einer Verzögerung zu berechnen, die inhärent bei der Brennkraftmaschine **22** vorhanden ist, und berechnete Regelsignale auszugeben. Zwar wurde die Regellogik **140** als herkömmliches Computersystem beschrieben, jedoch hängt die vorliegende Erfindung nicht von der Konstruktion der Regellogik **140** ab.

[0052] Zwar wurden Ausführungsformen der Erfindung erläutert und beschrieben, jedoch ist nicht angestrebt, dass diese Ausführungsformen sämtliche möglichen Formen der Erfindung erläutern und beschreiben. Stattdessen sind die in der Beschreibung verwendeten Wörter eher beschreibende als einschränkende Wörter, und wird darauf hingewiesen, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Wesen und Umfang der Erfindung abzuweichen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0053] Eine Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung, repräsentiert durch einen Verzögerungszeitraum, wird mit einer Regelung in dem Vorwärtskopplungsweg und einem Kompensator in einer negativen inneren Rückkopplungsschleife um die Regelung herum geregelt. Die Regelung erzeugt ein Regelsignal, um die Brennkraftmaschine so zu regeln, als wenn bei der Brennkraftmaschine die Verzögerung nicht vorhanden wäre. Ein Kompensationssignal wird erzeugt als die Summe des Regelsignals nur über den Verzögerungszeitraum. Das Regelsignal beruht auf einem Fehlersignal, das erzeugt wird als die Differenz zwischen einer gewünschten Eingabe und der Summe einer geregelten Brennkraftmaschinenausgabe und des Kompensationssignals.

FIGURENBESCHRIFTUNG

Fig. 1, 2:

PRIOR Art:

Stand der Technik

22: Brennkraftmaschine

28: Regelung

42: Kompensator

Fig. 3 bis 14:

RELATIVE MAGNITUDE:

– Relative Größe

TIME (SEC):

– Zeit (Sekunden)

Fig. 15:

140: Regellogik

154: Speicher

156: Prozessor

Patentansprüche

1. System zum Regeln einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird, wobei die Brennkraftmaschine eine geregelte Eingabe und eine geregelte Ausgabe aufweist, und das System aufweist:
eine Regelung in Kommunikation mit der Regeleingabe, wobei die Regelung eine Fehlereingabe aufweist; eine gewünschte Eingabe; und
einen Verzögerungskompensator, der so betreibbar ist, dass er ein Kompensationssignal auf Grundlage der Summe der Regelungsausgabe nur über den Verzögerungszeitraum erzeugt; wobei die Fehlereingabe als die Differenz zwischen der gewünschten Eingabe und der Summe der geregelten Ausgabe und des Kompensationssignals erzeugt wird.

2. System zum Regeln einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, bei welchem der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert wird, und T der Kompensator-Abtastzeitraum ist, wobei $y(n)$ die Regelungsausgabe in dem n -ten Abtastzeitraum ist, und K eine Konstante ist, wobei die Kompensatorausgabe $c(n)$ folgendermaßen ausgedrückt wird

$$c(n) = K \sum_{i=1}^m y(n-i) .$$

3. System zum Regeln einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, bei welchem die Konstante K auf der Offenschleifenverstärkung der Brennkraftmaschine beruht, dem Abtastzeitraum T , und dem Brennkraftmaschinenträgheitsmoment.

4. Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird, wobei die Brennkraftmaschine eine Regeleingabe und eine geregelte Ausgabe aufweist, und das Verfahren umfasst:
Erzeugen eines Regelsignals für die Regeleingabe, wobei das Regelsignal so festgelegt ist, dass es die Brennkraftmaschine so regelt, als träte bei der Brennkraftmaschine keine Verzögerung auf, und wobei das Regelsignal auf einem Fehlersignal beruht;
Erzeugen eines Kompensationssignals als Summe des Regelsignals nur über den Verzögerungszeitraum; und
Erzeugen des Fehlersignals als die Differenz zwischen einer gewünschten Eingabe und der Summe der geregelten Ausgabe und des Kompensationssignals.

5. Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 4, bei welchem der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert wird, wobei T der Abtastzeitraum ist, der zur Erzeugung des Kompensationssignals verwendet wird, $y(n)$ das Regelsignal in dem n -ten Abtastzeitraum ist, und K eine Konstante ist, wobei das Kompensationssignal $c(n)$ ausgedrückt wird durch

$$c(n) = K \sum_{i=1}^m y(n-i) .$$

6. Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 5, bei welchem die Konstante K auf

der Offenschleifenverstärkung der Brennkraftmaschine beruht, auf dem Abtastzeitraum T , und auf dem Trägheitsmoment der Brennkraftmaschine.

7. Kompensator für eine Brennkraftmaschinenregelung, welche eine Brennkraftmaschine regelt, wobei die Regelung eine Regeleingabe und eine Regelausgabe aufweist, die Brennkraftmaschine eine Transportverzögerung aufweist, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird, die Brennkraftmaschine einen Regeleingang aufweist, der an den Regelausgang angeschlossen ist, die Brennkraftmaschine eine geregelte Ausgabe aufweist, ein Fehlersignal als die Differenz zwischen einer gewünschten Eingabe und der geregelten Ausgabe bestimmt wird, und der Kompensator dazu ausgebildet ist:

(a) ein Kompensationssignal auf Grundlage der Summe der Regelungsausgabe über den Verzögerungszeitraum zu erzeugen, und

(b) die Regelungseingabe als die Differenz zwischen dem Fehlersignal und dem Kompensationssignal zur Verfügung zu stellen.

8. Kompensator für eine Brennkraftmaschinenregelung nach Anspruch 7, bei welchem der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert wird, und T der Kompensatorabtastzeitraum ist, $y(n)$ die Regelungsausgabe in dem n -ten Abtastzeitraum ist, und K eine Konstante ist, wobei die Kompensatorausgabe $c(n)$ ausgedrückt wird durch

$$c(n) = K \sum_{i=1}^m y(n-i) .$$

9. Kompensator für eine Brennkraftmaschinenregelung nach Anspruch 8, bei welchem die Konstante K auf Brennkraftmaschinenparametern und dem Abtastzeitraum T beruht.

10. Brennkraftmaschine mit Transportverzögerung, die als ein Verzögerungszeitraum gemessen wird, wobei die Brennkraftmaschine mehrere geregelte Parameter aufweist, für zumindest einen geregelten Parameter eine Regeleingabe und eine geregelte Ausgabe aufweist, und die Brennkraftmaschine aufweist:

einen Vorwärtskopplungsregelweg, der die Regeleingabe mit einem Regelsignal treibt, wobei der Vorwärtskopplungsregelweg so ausgelegt ist, dass er eine Regelung mit geschlossener Schleife des geregelten Parameters ohne das Vorhandensein einer Transportverzögerung zur Verfügung stellt; und

einen Verzögerungskompensator, der ein Kompensationssignal auf Grundlage der Summe des Regelsignals nur über den Verzögerungszeitraum erzeugt, wobei das Kompensationssignal eine Eingabe zum Vorwärtskopplungsregelweg zur Verfügung stellt.

11. Brennkraftmaschine nach Anspruch 10, bei welcher der Verzögerungszeitraum durch mT approximiert wird, und T der Kompensatorabtastzeitraum ist, $y(n)$ das Regelsignal in dem n -ten Abtastzeitraum ist, und K eine Konstante ist, wobei das Kompensationssignal $c(n)$ ausgedrückt wird

$$c(n) = K \sum_{i=1}^m y(n-i) .$$

12. Brennkraftmaschine nach Anspruch 11, bei welcher die Konstante K auf der Offenschleifenverstärkung der Brennkraftmaschine beruht, auf dem Abtastzeitraum T , und auf dem Trägheitsmoment der Brennkraftmaschine.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

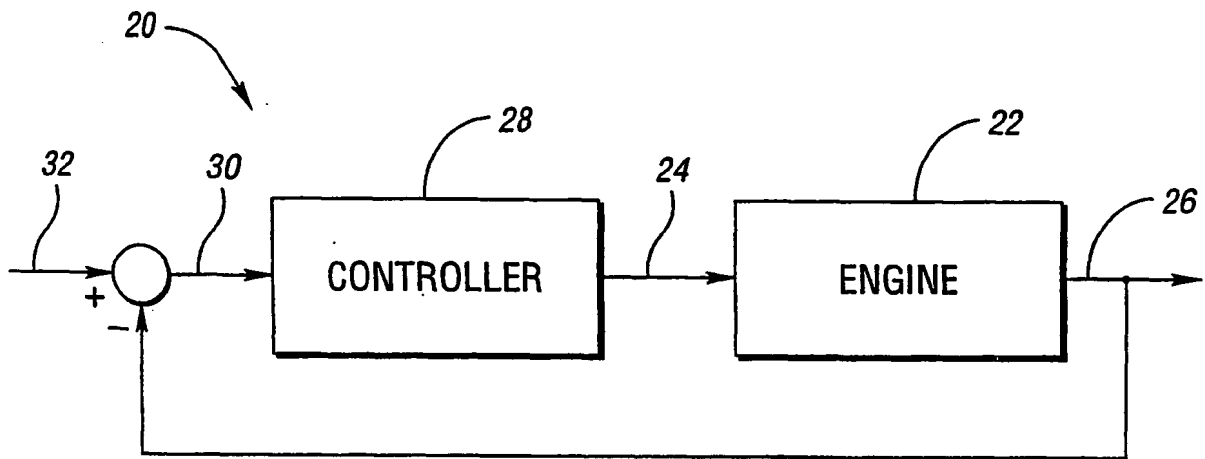


Fig. 1
(PRIOR ART)

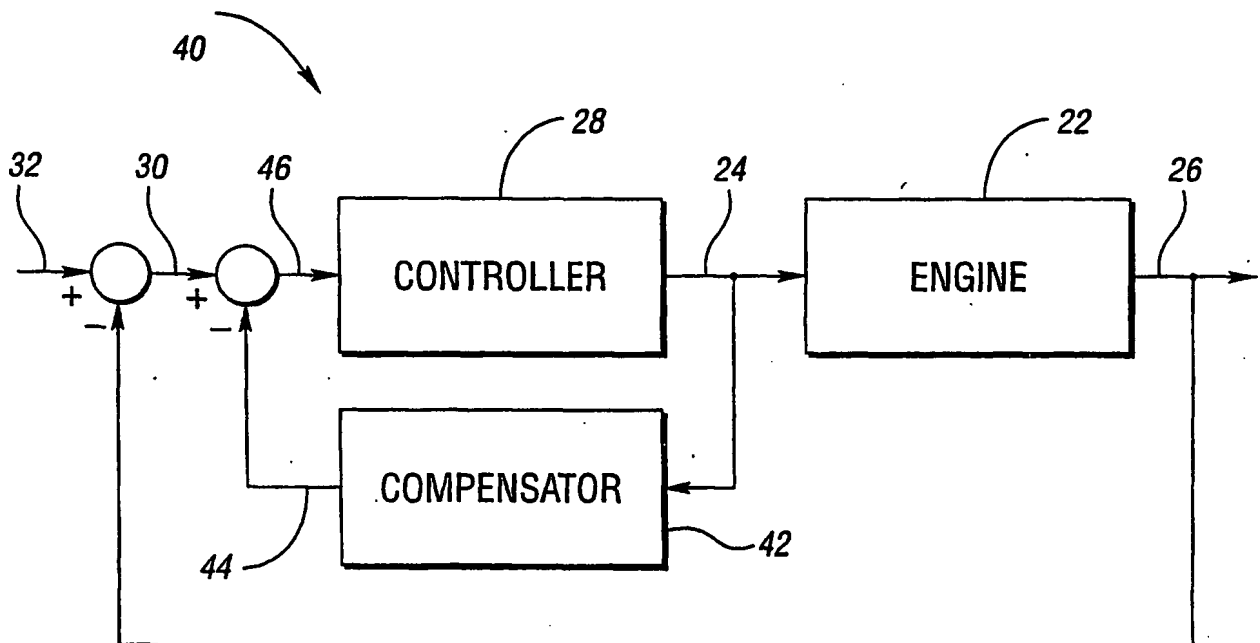


Fig. 2

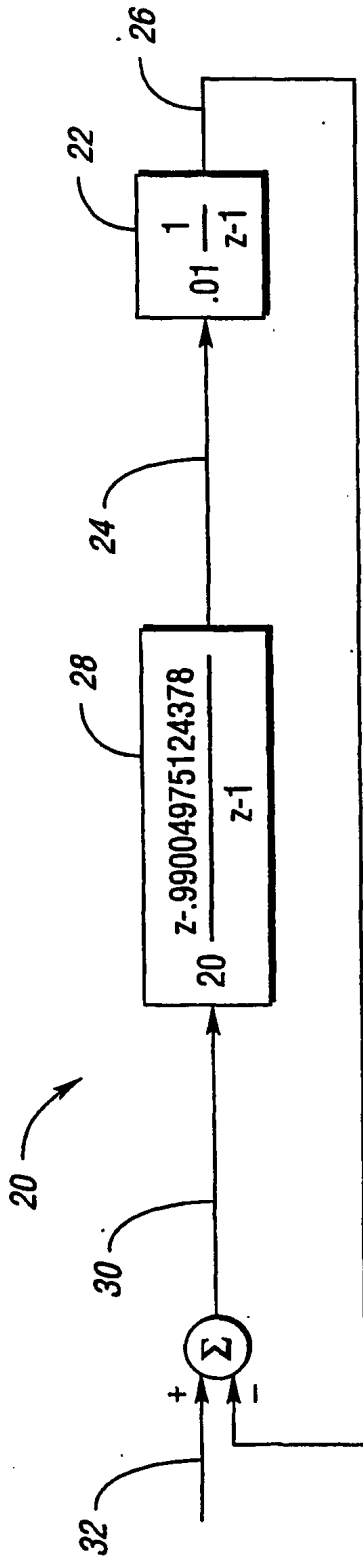


Fig. 3

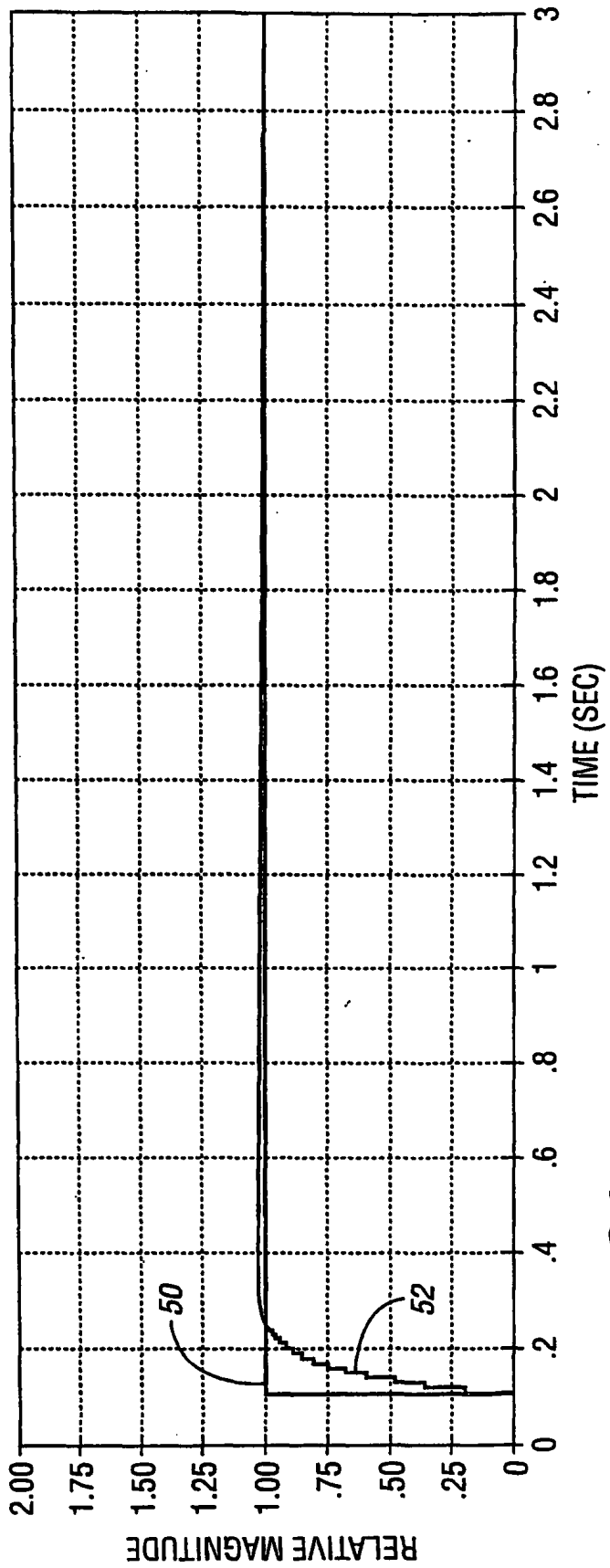


Fig. 4

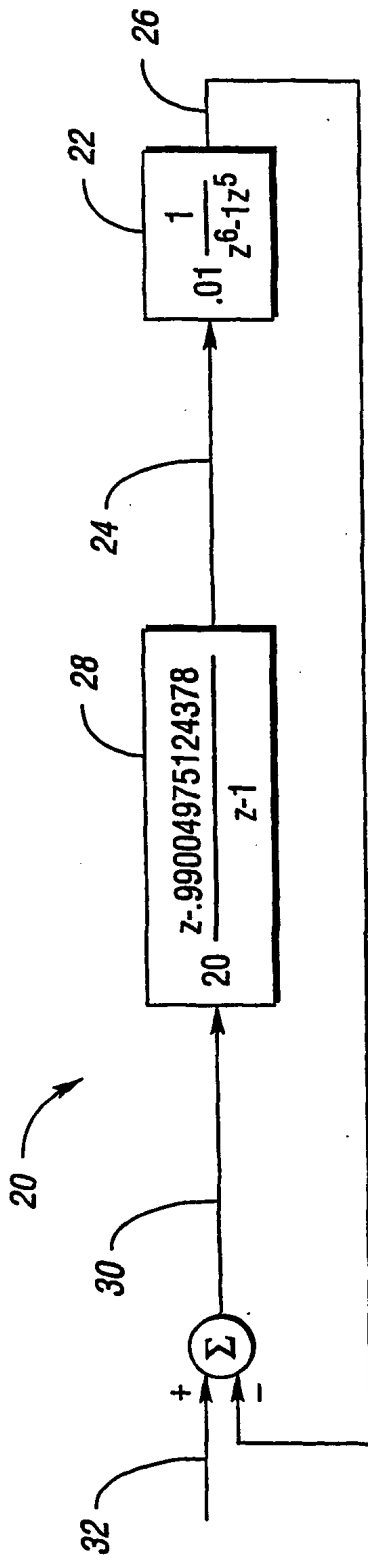


Fig. 5

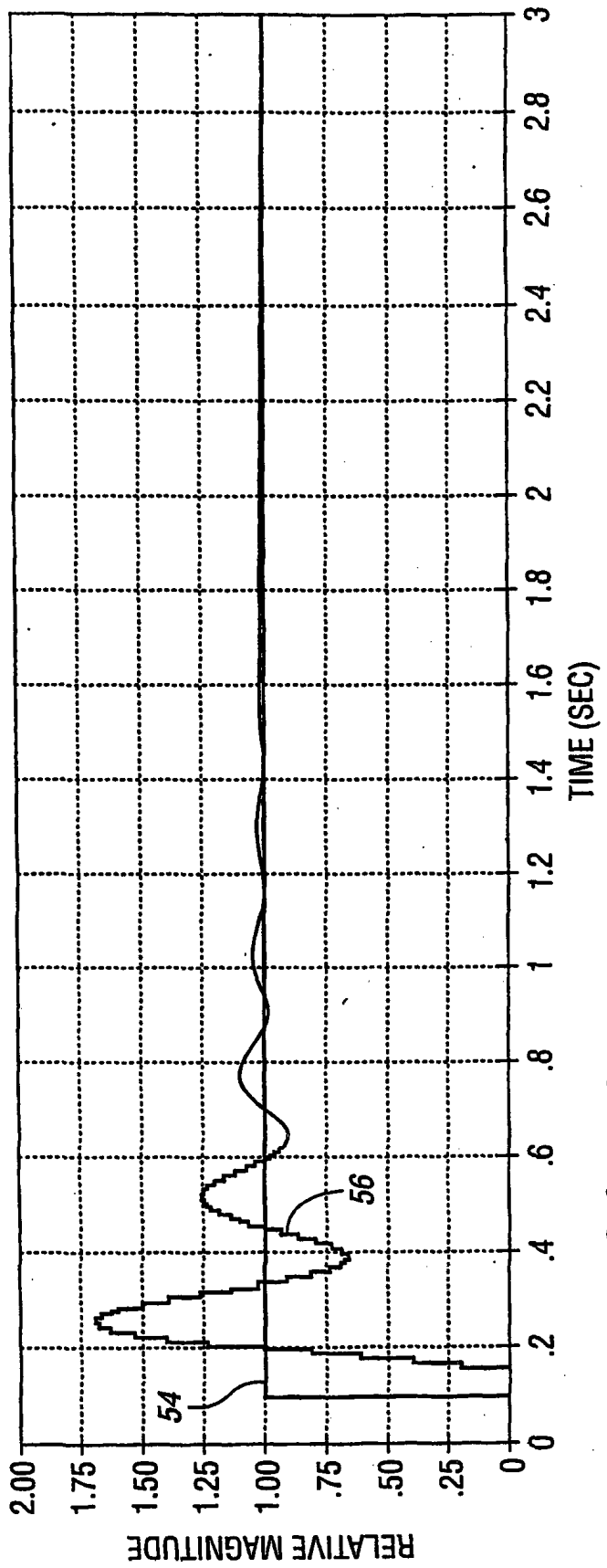
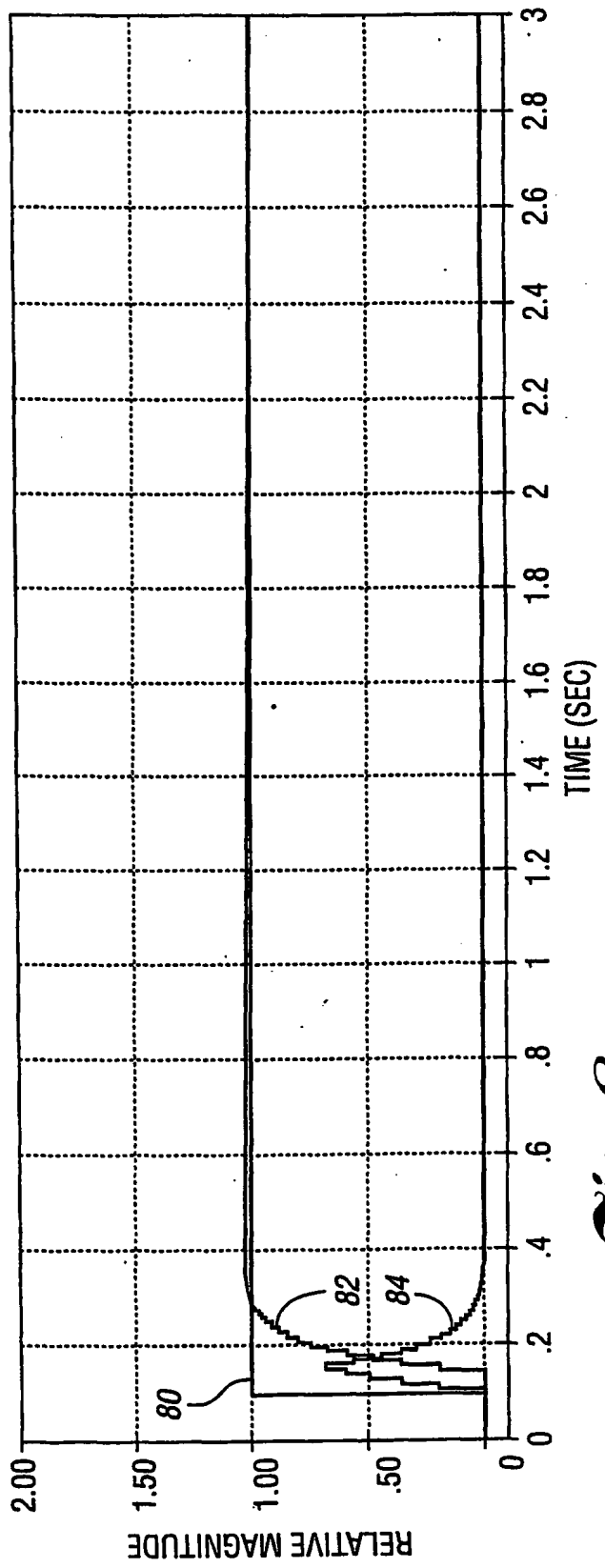
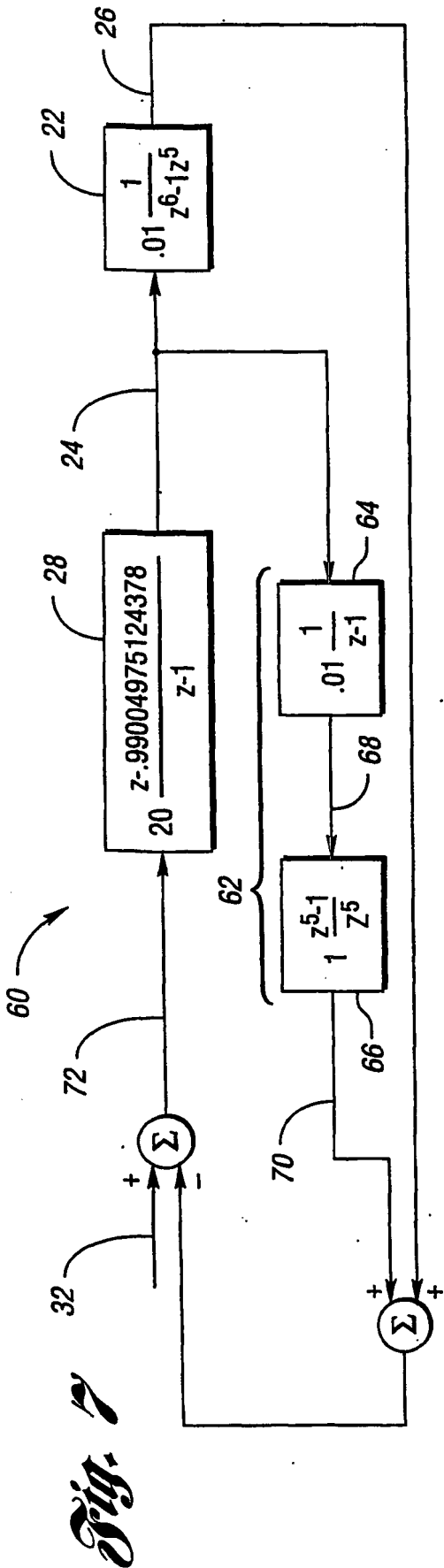
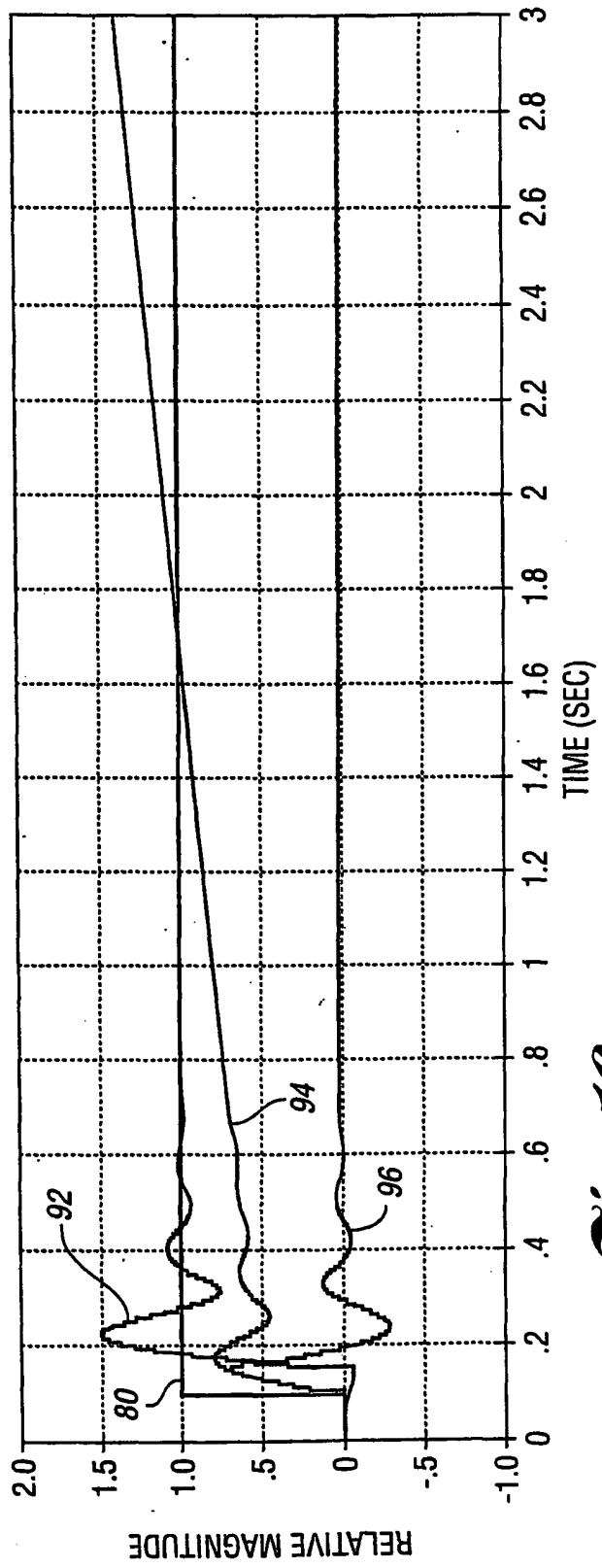
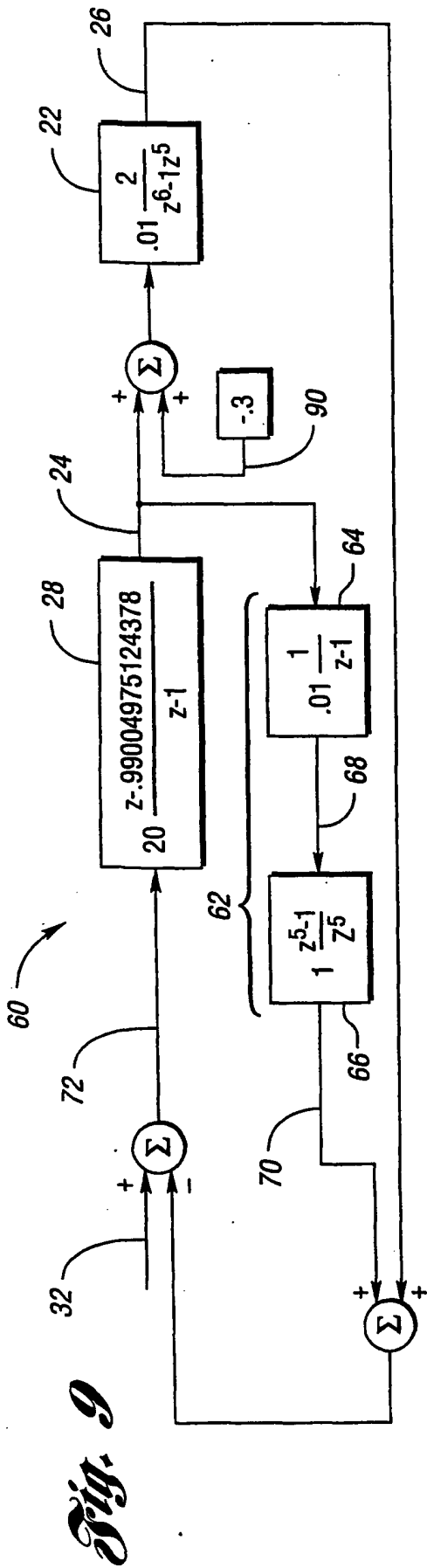
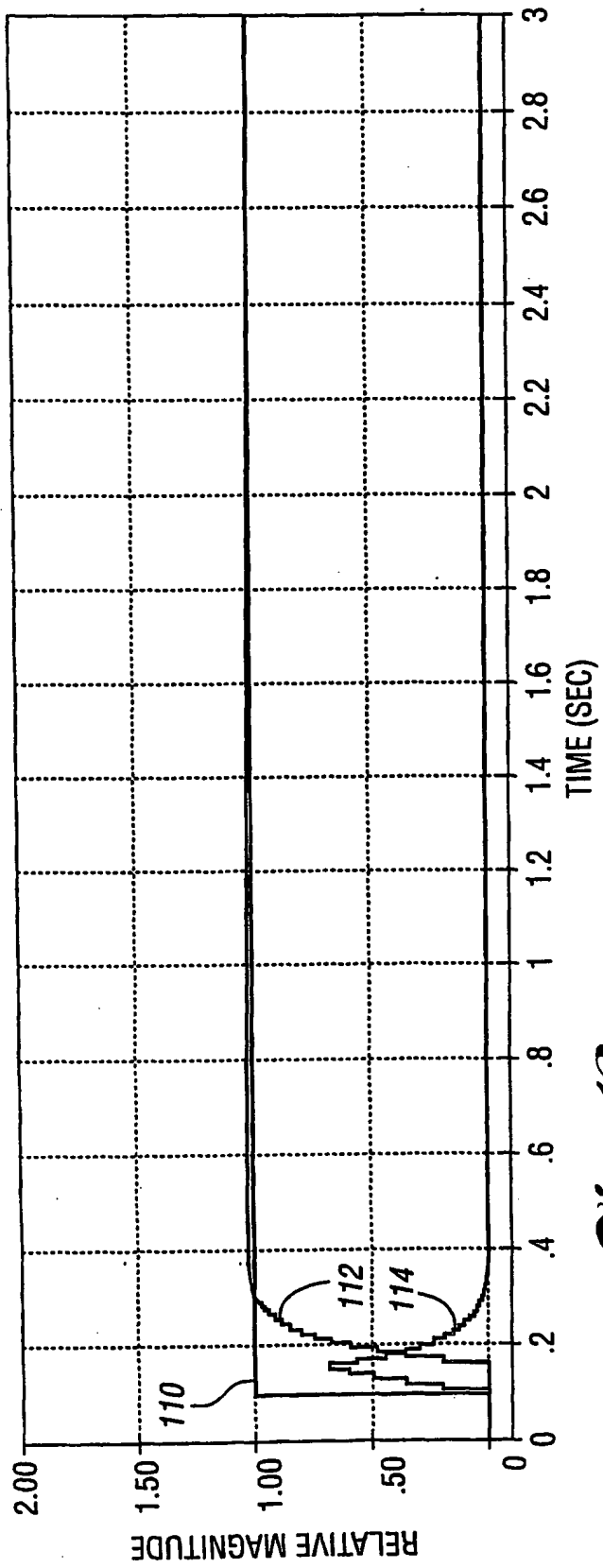
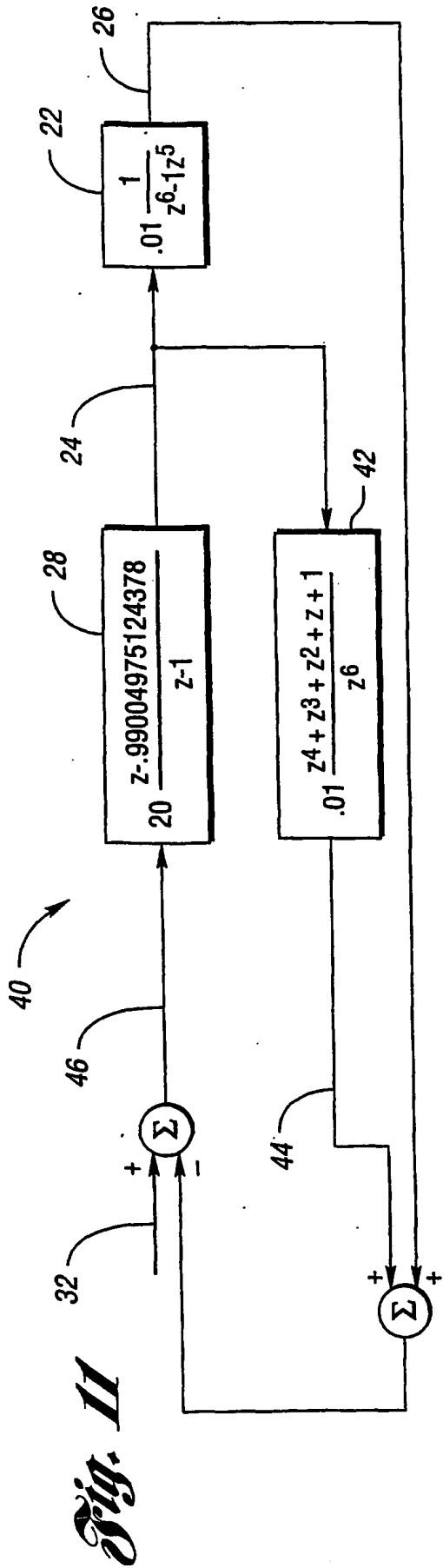
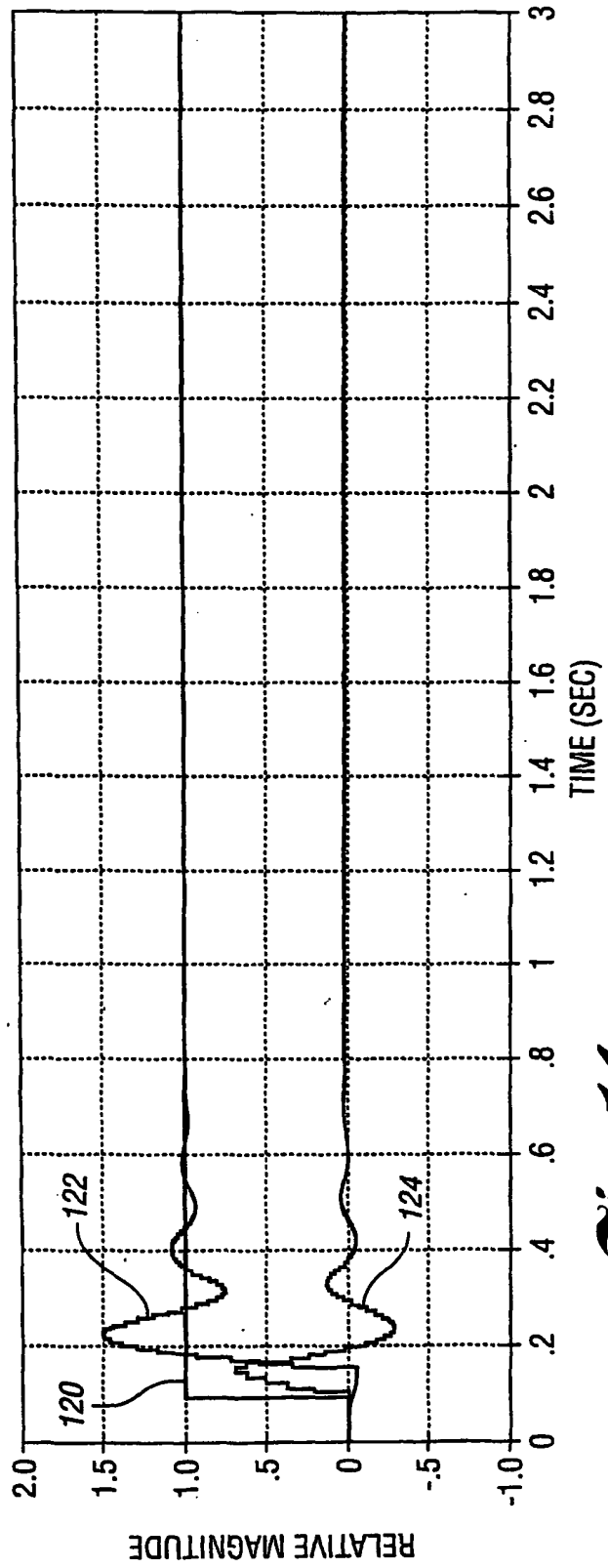
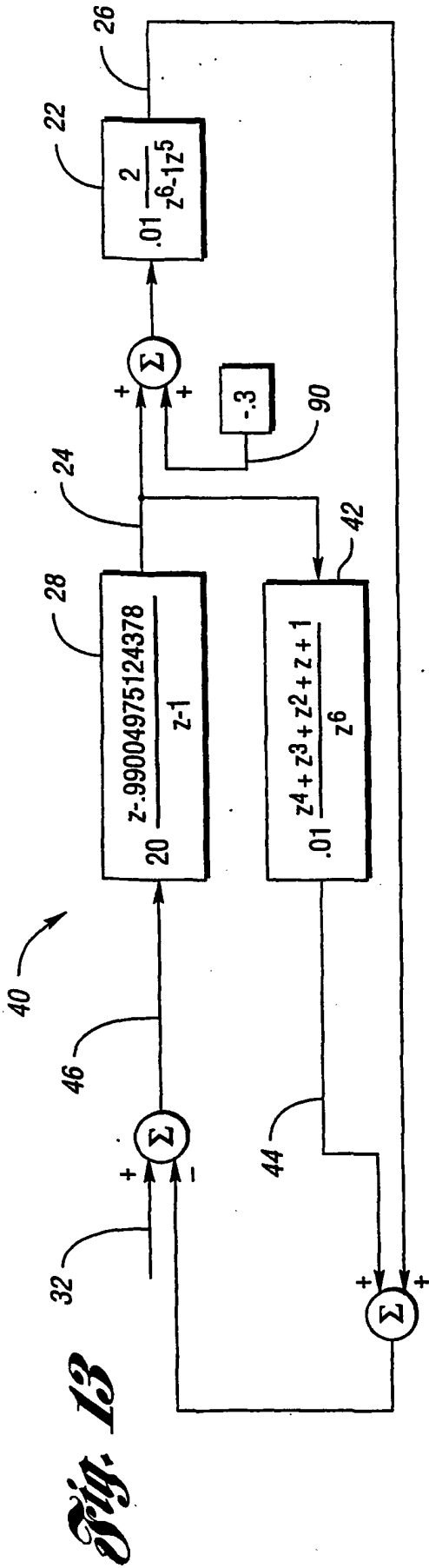


Fig. 6









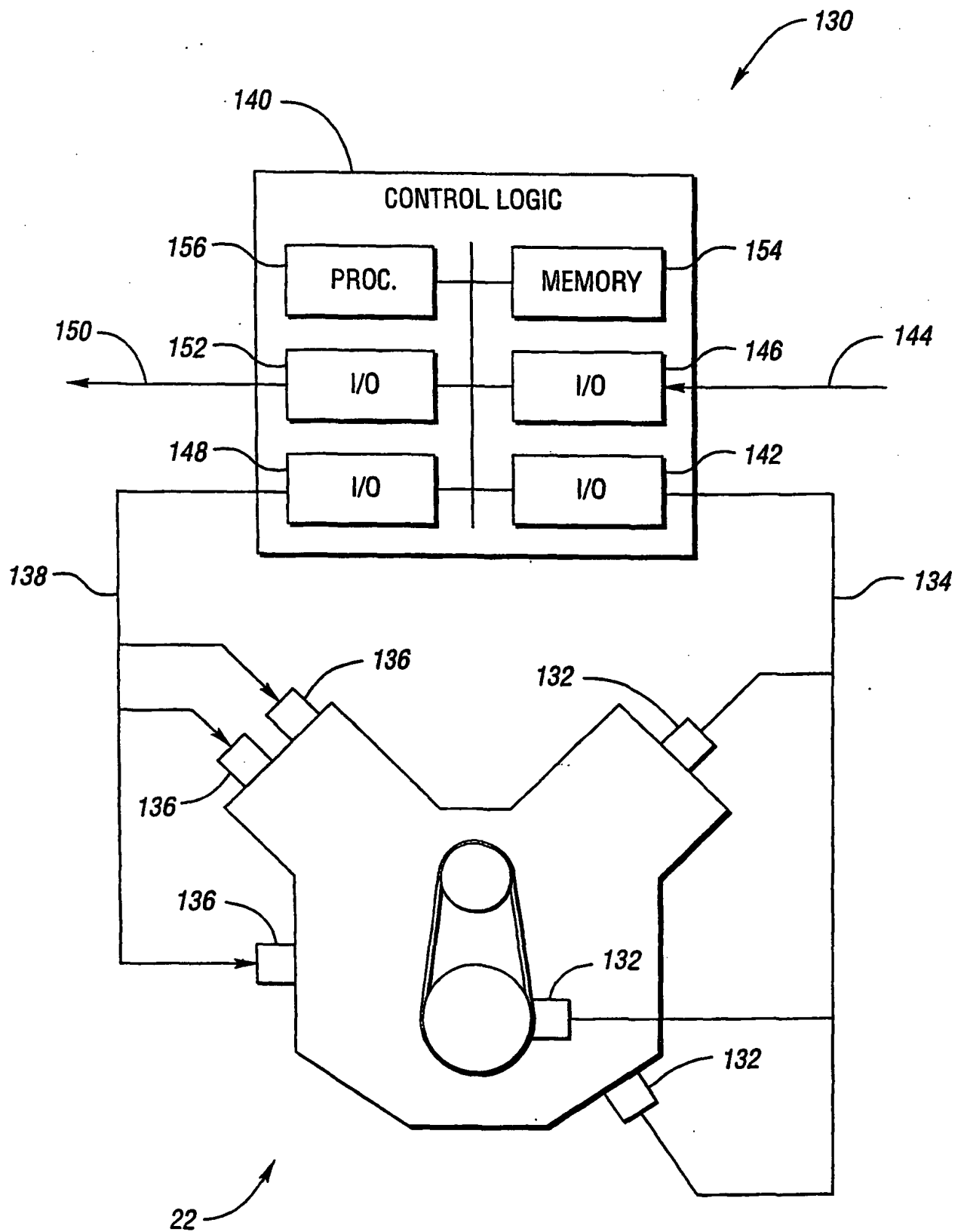


Fig. 15