



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 18 608 T2** 2005.07.21

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 961 020 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 18 608.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 109 497.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **12.05.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.12.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.07.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.07.2005**

(51) Int Cl.⁷: **F02D 41/14**

F02D 41/22, G01N 27/406

(30) Unionspriorität:

14582298 27.05.1998 JP

37454398 28.12.1998 JP

(73) Patentinhaber:

Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP

(74) Vertreter:

TBK-Patent, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Aoki, Keiichiro, Toyota-shi, Aichi-ken 471-8571, JP

(54) Bezeichnung: **Steuerapparat für Luft-Kraftstoffverhältnissensor**

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**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Technisches Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor und betrifft insbesondere eine Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor, die die Impedanz eines Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements wie eines Sauerstoffkonzentrations-Messelements zur schnellen und genauen Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im Abgas einer Brennkraftmaschine ermittelt. Hierbei bestimmt die Steuereinrichtung einen Stöorzustand oder einen Aktivierungszustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors auf der Basis der ermittelten Impedanz, berechnet das Luft-Kraftstoff-Verhältnis aus dem Ausgangssignalwert des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors und korrigiert eine Solltemperatur, auf die das Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement zu erwärmen ist, indem einer Heizeinrichtung derart Energie zugeführt wird, dass ein Aktivierungszustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements aufrecht erhalten wird.

2. In Betracht gezogener Stand der Technik

[0002] Zur Regelung des Luft-Kraftstoff-Gemischverhältnisses von Brennkraftmaschinen sind gemäß einer neueren Entwicklungsrichtung ein Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor sowie ein Katalysator im Abgassystem einer Brennkraftmaschine angeordnet, wobei eine Regelung im geschlossenen Regelkreis zur Einregelung eines von dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor ermittelten Abgas-Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf einen Luft-Kraftstoff-Sollverhältniswert wie z.B. einen stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältniswert zur Erzielung einer maximalen Reinigungswirkung bei der durch den Katalysator erfolgenden Schadstoffminderung von Abgas-Schadstoffen (HC, CO, NO_x und dergleichen) durchgeführt wird. Als Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensoren finden hierbei im allgemeinen Messelemente mit Grenz- oder Sättigungsstrombildung zur Messung einer Sauerstoffkonzentration Verwendung, die einen der Sauerstoffkonzentration im Abgas proportionalen Grenz- oder Sättigungsstrom abgeben. Ein solches Sauerstoffkonzentrations-Messelement mit Grenzstrombildung ermöglicht eine lineare Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im Abgas auf der Basis der Sauerstoffkonzentration über einen weiten Bereich hinweg und eignet sich daher zur Verbesserung der Genauigkeit bei der Einregelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im Abgas auf ein Luft-Kraftstoff-Sollverhältnis in einem weiten Bereich von einem fetten zu dem theoretischen (stöchiometrischen) und weiter zu einem mageren Luft-Kraftstoff-Gemischverhältnis.

[0003] Das vorstehend beschriebene Sauerstoff-

konzentrations-Messelement muss jedoch zur Gewährleistung der erforderlichen Messgenauigkeit bei der Ermittlung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses in einem aktivierten Zustand gehalten werden. Zur Erzielung einer möglichst schnellen Messelementaktivierung nach einem Kaltstart einer Brennkraftmaschine werden solche Messelemente üblicherweise beim Starten der Brennkraftmaschine durch Einschalten einer zu diesem Zweck vorgesehenen Heizeinrichtung erwärmt, wobei die Heizeinrichtung zur Aufrechterhaltung des Aktivierungszustands entsprechend gesteuert wird.

[0004] [Fig. 19](#) zeigt ein Diagramm, das die Korrelation zwischen der Temperatur eines Sauerstoffkonzentrations-Messelements und dessen Impedanz veranschaulicht. Wie der in Form einer durchgezogenen Kennlinie in [Fig. 19](#) dargestellten Korrelation zwischen der Temperatur des vorstehend beschriebenen Sauerstoffkonzentrations-Messelements (das nachstehend vereinfacht als Element bezeichnet wird) und dessen Impedanz zu entnehmen ist, fällt die Elementimpedanz mit steigenden Elementtemperaturen ab. Gemäß dieser Beziehung wird während der Erregungs- oder Einschaltsteuerung der Heizeinrichtung die Elementimpedanz zur Ableitung der Elementtemperatur gemessen und eine Regelung im geschlossenen Regelkreis zur Einstellung der Elementtemperatur auf einen gewünschten Aktivierungstemperaturwert von z.B. 700°C durchgeführt. Wenn z.B. die Impedanz Z_{ac} des Elements gleich einer oder größer als eine der Elementtemperatur von 700°C bei der anfänglichen Regelung (Anfangsregelungs-Elementtemperatur) entsprechenden Elementimpedanz von 30 Ω ($Z_{ac} \geq 30$) ist, d.h., wenn die Elementtemperatur kleiner als oder gleich 700°C ist, wird die Heizeinrichtung erregt bzw. eingeschaltet. Wenn die Impedanz Z_{ac} kleiner als 30 Ω ist ($Z_{ac} < 30$), d.h., wenn die Elementtemperatur 700°C überschreitet, wird die Heizeinrichtung abgeschaltet. Auf diese Weise wird die Elementtemperatur auf der oder über der Aktivierungstemperatur von 700°C gehalten, sodass der Aktivierungszustand aufrecht erhalten wird. Außerdem erfolgt bei der Erregung der Heizeinrichtung eine Steuerung der relativen Einschaltdauer bzw. des Tastverhältnisses, um die zur Verhinderung einer Abweichung der Elementimpedanz ($Z_{ac} = 30$) vom Sollwert erforderliche Energiemenge zu erhalten und die Einschaltung der erforderlichen Stromzufuhr zu gewährleisten.

[0005] Aus der japanischen Patent-Offenlegungsschrift Nr. HEI 9-292 364 ist es z.B. bekannt, bei der Messung der Impedanz des vorstehend beschriebenen Sauerstoffkonzentrations-Messelements eine Wechselspannung mit einer zur Temperaturmessung des Elements geeigneten bestimmten Frequenz für diese Impedanzmessung anzulegen. Durch Anlegen einer Spannung mit dieser Frequenz lässt sich dann der Widerstandswert des Elektrolytbereiches des

Elements messen. Der Widerstandswert dieses Elektrolytbereiches zeigt jedoch keine beträchtlichen zeitabhängigen Änderungen, sodass auch die Impedanz des Elements keine großen Änderungen zeigt. Beim Stand der Technik wird somit die durch die durchgezogene Kennlinie gemäß [Fig. 19](#) veranschaulichte Beziehung zwischen der Elementtemperatur und der Elementimpedanz unabhängig von einer im Laufe der Zeit auftretenden Veränderung im wesentlichen konstant gehalten.

[0006] Wenn sich jedoch die Beständigkeit und damit die Eigenschaften des vorstehend beschriebenen Sauerstoffkonzentrations-Messelements verschlechtert haben, entspricht die Korrelation zwischen der Elementtemperatur und der Elementimpedanz der gestrichelten Kennlinie gemäß [Fig. 19](#).

[0007] Nachstehend werden der Aufbau des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements, sein Ersatzschaltbild und seine Impedanzcharakteristik näher beschrieben.

[0008] [Fig. 20](#) zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements, wobei [Fig. 20A](#) eine Schnittansicht und [Fig. 20B](#) eine teilweise vergrößerte Ansicht eines Elektrolytbereiches darstellen.

[0009] [Fig. 21](#) zeigt ein Ersatzschaltbild des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, wobei mit R1 der Bahn- oder Volumenwiderstand eines aus z.B. Zirkondioxid bestehenden Elektrolyten (Korndarstellung gemäß [Fig. 20](#)), mit R2 der Korngrenzenwiderstand des Elektrolyten (Korngrenzenbereich gemäß [Fig. 20](#)), mit R3 der Übergangswiderstand an einer z.B. aus Platin bestehenden Elektrode, mit C2 eine kapazitive Komponente der Korngrenze des Elektrolyten, mit C3 eine kapazitive Komponente des Elektroden-Übergangsbereichs (Grenzfläche) und mit Z(W) eine Impedanz (Warburg-Impedanz) bezeichnet sind, die auf Grund von periodischen Änderungen der Übergangsbereichs- bzw. Grenzflächenkonzentration bei der Polarisierung durch einen Wechselstrom entsteht.

[0010] [Fig. 22](#) zeigt ein Diagramm, das die Impedanzcharakteristik des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements veranschaulicht. Hierbei ist über der Abszisse der Realteil Z' der Impedanz aufgetragen, während über der Ordinate der Imaginärteil Z'' aufgetragen ist. Die Impedanz Z des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements lässt sich durch $Z = Z' + jZ''$ ausdrücken. Wie [Fig. 22](#) zu entnehmen ist, konvergiert der Elektroden-Übergangswiderstand R3 in einem Frequenzbereich von 1 bis 10 kHz gegen Null. Die Impedanzänderung bei einer Verschlechterung der Eigenschaften des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements ist in Form einer gestrichelten Kennlinie veranschaulicht, der zu entnehmen ist, dass sich der

Elektroden-Übergangswiderstand R3 im Laufe der Zeit verändert. Bei einer starken Veränderung der Sauerstoffkonzentration eines von dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement gemessenen Gases verändert sich die Impedanzcharakteristik in der durch die gestrichelte Kennlinie veranschaulichten Weise.

[0011] [Fig. 23](#) veranschaulicht die Beziehung zwischen der Frequenz einer an das Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement angelegten Wechselspannung und der Elementimpedanz. In [Fig. 23](#) ist im Vergleich zu [Fig. 22](#) über der Abszisse die Frequenz f aufgetragen, während über der Ordinate die Impedanz Z_{ac} aufgetragen ist. Wie [Fig. 23](#) zu entnehmen ist, konvergiert die Impedanz Z_{ac} in einem Frequenzbereich von ungefähr 1 bis 10 kHz bis 10 MHz gegen einen vorgegebenen Wert ($R1 + R2$), während sie bei einer über 10 MHz liegenden Frequenz abfällt und gegen R1 konvergiert. Dies zeigt, dass vorzugsweise ein Bereich von ungefähr 1 bis 10 kHz bis ungefähr 10 MHz, in dem die Impedanz Z_{ac} unabhängig von der Frequenz konstant ist, zur Ermittlung der Impedanz Z_{ac} in einem stabilen Zustand heranzuziehen ist. Die gestrichelte Kennlinie zeigt die zeitabhängige Veränderung von R3 bzw. die erhaltene Impedanz, wenn ein Wechselstrom mit einer noch messbaren geringen Frequenz (von weniger als 1 kHz) angelegt wird. Der Verschlechterungsgrad des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements lässt sich aus der bei der niedrigen Frequenz auftretenden Impedanz ableiten.

[0012] Wie in [Fig. 19](#) durch die gestrichelte Kennlinie veranschaulicht ist, zeigt die Korrelation zwischen der Temperatur des als Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement dienenden Sauerstoffkonzentrations-Messelements und der Elementimpedanz in einem Bereich von ungefähr 1 bis 10 kHz bis ungefähr 10 MHz starke Veränderungen, nachdem eine Verschlechterung der Eigenschaften des Elements im Vergleich zum vorherigen Zustand aufgetreten ist.

[0013] Da jedoch gemäß der japanischen Patent-Offenlegungsschrift Nr. HEI 9-292 364 nur der Widerstandswert $R1 + R2$ des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements gemessen wird, lässt sich diese Änderung der Charakteristik des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements nicht feststellen. Wenn somit die Erregungssteuerung der Heizeinrichtung unter Aufrechterhaltung der Elementimpedanz Z_{ac} von 30 Ω als Sollwert zur Regelung der Elementtemperatur fortgeführt wird, steigt die geregelte Elementtemperatur nach einer eingetretenen Verschlechterung der Eigenschaften des Elements allmählich auf z.B. bis zu 800°C an. Dies führt zu einer übermäßigen Erwärmung des Elements, wodurch die Verschlechterung der Eigenschaften weiter beschleunigt und die Lebensdauer des Elements herabgesetzt werden.

[0014] Wenn eine solche Änderung der Element-

temperatur oder der Elementcharakteristik zu einer ungenauen Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf der Basis des Ausgangssignalwertes des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors führt, hat dies außerdem eine Verschlechterung der Schadstoffminderung zur Folge. Gleichermaßen kann das Vorliegen eines Störzustands oder das Erreichen des Aktivierungszustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors auf der Basis der gemessenen Elementimpedanz in einem Zustand nicht mehr genau bestimmt werden, bei dem sich die Elementtemperatur oder die Elementcharakteristik verändert hat.

[0015] Aus der US-Patentschrift 4 505 802 ist eine Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bekannt. Im einzelnen ist aus dieser Druckschrift ein Sauerstoffkonzentrationsdetektor bekannt, der einen Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten mit daran angeordneten Elektroden zur Bildung einer Sauerstoffkonzentrations-Messzelle aufweist. Die Impedanz dieser Sauerstoffkonzentrations-Messzelle verändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur des Festelektrolyten. Somit wird die Impedanz der Sauerstoffkonzentrations-Messzelle durch Anlegen einer gegebenen Frequenz aufweisenden Wechselstroms an den Festelektrolyten der Sauerstoffkonzentrations-Messzelle gemessen. Auf der Basis des Messergebnisses kann dann die Temperatur des Festelektrolyten bestimmt werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0016] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, zur Lösung der vorstehend beschriebenen Probleme eine Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor anzugeben, die eine in kurzer Zeit erfolgende, genaue Messung der Impedanz eines Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements, die Bestimmung des Vorliegens eines Störzustands oder Aktivierungszustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors unter Berücksichtigung einer Änderung der Charakteristik des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors auf der Basis der ermittelten Impedanz sowie die Berechnung eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses und eine Korrektur der Elementtemperatur auf eine Solltemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements in Abhängigkeit vom Ausgangssignalwert des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors ermöglicht.

[0017] Diese Aufgabe wird durch eine Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

[0018] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0019] Die zur Lösung der vorstehend genannten Aufgabe vorgesehene Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor, bei dem ein Sauer-

stoffkonzentrations-Messelement einen der Konzentration von Sauerstoff in einem Messgas entsprechenden Strom erzeugt, wenn eine Spannung an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement angelegt wird, umfasst eine Impedanzermittlungseinrichtung zur Ermittlung einer Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements, die einer jeweiligen Frequenz entspricht, die durch Anlegen von Wechselspannungen mit einer Vielzahl von Frequenzen an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement erhalten wird, sowie eine Parameter-Rechen-einrichtung zum Analysieren der von der Impedanzermittlungseinrichtung entsprechend der Vielzahl von Frequenzen jeweils ermittelten Wechselstromimpedanz zur Berechnung eines Parameters, der eine Änderung der Charakteristik des Sauerstoffkonzentrations-Messelements angibt.

[0020] Mit Hilfe dieser Anordnung werden mehrere Wechselstromimpedanzen des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Messelements ermittelt, die jeweils zur Bildung der charakteristischen Parameter analysiert werden, die eine Änderung der Charakteristik des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors angeben. Ein solcher Parameter ermöglicht dann die Durchführung verschiedener Steuer- und Regelvorgänge.

[0021] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Steuereinrichtung eine Störzustands-Bestimmungseinrichtung zur Bestimmung eines Störzustands des Sauerstoffkonzentrations-Messelements in Abhängigkeit von dem von der Parameter-Rechen-einrichtung berechneten Parameter.

[0022] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Steuereinrichtung eine Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Recheneinrichtung zur Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eines Messgases aus dem Ausgangssignalwert des Sauerstoffkonzentrations-Messelements in Abhängigkeit von dem von der Parameter-Recheneinrichtung berechneten Parameter.

[0023] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Steuereinrichtung eine Aktivierungs-Bestimmungseinrichtung, die in Abhängigkeit von dem von der Parameter-Recheneinrichtung berechneten Parameter bestimmt, ob sich das Sauerstoffkonzentrations-Messelement in einem aktivierten Zustand befindet oder nicht.

[0024] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Steuereinrichtung eine Elementtemperatur-Steuereinrichtung zur Steuerung der Elementtemperatur durch Erwärmung des Elements durch Zuführung von Energie zu einer in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement angeordneten Heizeinrichtung in Abhängigkeit von dem von der Parameter-Recheneinrichtung berechneten Parameter.

[0025] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung legt die Impedanzermittlungseinrichtung an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement Wechselspannungen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen an, die aus der Vielzahl der Frequenzen ausgewählt sind.

[0026] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Anlegen der Wechselspannungen an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement durch die Impedanzermittlungseinrichtung kurzzeitig.

[0027] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung berechnet die Parameter-Recheneinrichtung den Parameter auf der Basis einer Differenz zwischen Wechselstromimpedanzwerten des Sauerstoffkonzentrations-Messelements, die zwei unterschiedlichen Frequenzen entsprechen, die aus der Vielzahl von Frequenzen ausgewählt sind.

[0028] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird von den beiden Frequenzen eine erste Frequenz aus einem Frequenzbereich ausgewählt, in dem der Widerstandswert der elektrolytischen Beschaffenheit des Sauerstoffkonzentrations-Messelements ermittelt wird, während eine zweite Frequenz aus einem Frequenzbereich ausgewählt wird, in dem eine einen Elektroden-Übergangswiderstand des Sauerstoffkonzentrations-Messelements umfassende Impedanz ermittelt wird.

[0029] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ändert die Impedanzermittlungseinrichtung die Frequenz in einer vorgegebenen Reihenfolge, wenn an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement Wechselspannungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Frequenzen angelegt werden.

[0030] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung legt die Impedanzermittlungseinrichtung bei der Beaufschlagung des Sauerstoffkonzentrations-Messelements mit Wechselspannungen einer Vielzahl unterschiedlicher Frequenzen die Wechselspannungen über ein Filter an, dessen Filterkonstante in Abhängigkeit von der Frequenz veränderbar ist.

[0031] Durch diese Anordnung lässt sich die Impedanz-Messgenauigkeit verbessern.

[0032] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung stellt die Impedanzermittlungseinrichtung während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Spannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement ermittelten Stromwertes eine Filterkonstante des Filters auf der Basis dieser Frequenz ein.

[0033] Auch durch diese Maßnahme lässt sich die Impedanz-Messgenauigkeit verbessern.

[0034] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung verhindert die Impedanzermittlungseinrichtung während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement ermittelten Stromwertes eine Umschaltung auf eine Wechselspannung mit einer in Bezug auf die vorgegebene Frequenz unterschiedlichen Frequenz.

[0035] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung verhindert die Impedanzermittlungseinrichtung während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement ermittelten Stromwertes eine Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Messgases auf der Basis des Ausgangssignalwertes des Sauerstoffkonzentrations-Messelements.

[0036] Wenn nämlich z.B. bei der Messung einer niederfrequenten Impedanz das zu ermittelnde Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Messgases aus dem Ausgangssignalwert (Grenzstrom) des Sauerstoffkonzentrations-Messelements während einer Schwingung der angelegten Spannung berechnet wird, ergibt sich ein ungenauer Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses. Die vorstehend beschriebene Maßnahme dient daher zur Verhinderung der Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses in einem solchen Fall.

[0037] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung berechnet die Luft-Kraftstoffverhältnis-Recheneinrichtung das Luft-Kraftstoff-Verhältnis auf der Basis einer Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements, die der höchsten Frequenz aus der Vielzahl von Frequenzen entspricht.

[0038] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung bestimmt die Aktivierungs-Bestimmungseinrichtung auf der Basis einer der höchsten Frequenz aus der Vielzahl von Frequenzen entsprechenden Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements, ob das Sauerstoffkonzentrations-Messelement aktiviert ist oder nicht.

[0039] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung schaltet die Impedanzermittlungseinrichtung beim Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz über eine einzige Periode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement wäh-

rend einer ersten Halbperiode der Wechselspannung auf eine zweite Halbperiode um, beendet das Anlegen der Wechselspannung während der zweiten Halbperiode und misst zur Berechnung der Wechselstromimpedanz die in der ersten Halbperiode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement angelegte Spannung und den in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement fließenden Strom.

[0040] Auf diese Weise lässt sich die Impedanz-Messgenauigkeit verbessern und sowohl die Messzeit als auch die Berechnungs-Sperrzeit für das aus dem Sensorstrom beim Anlegen der Gleichspannung ermittelte Luft-Kraftstoff-Verhältnis verkürzen, wodurch sich die Sperrzeit oder Totzeit bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verringern lässt.

[0041] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung schaltet die Impedanzermittlungseinrichtung beim Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz über eine einzige Periode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement während einer ersten Halbperiode der Wechselspannung auf eine zweite Halbperiode um, beendet das Anlegen der Wechselspannung während der zweiten Halbperiode und misst einen in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement fließenden Strom in der ersten Halbperiode zumindest zweifach, um einen durch das Anlegen der Wechselspannung hervorgerufenen konvergierenden Stromwert des Sauerstoffkonzentrations-Messelements zur Berechnung einer Wechselstromimpedanz aus der Wechselspannung und dem konvergierenden Stromwert zu berechnen. Hierdurch lässt sich ebenfalls die Impedanz-Messgenauigkeit verbessern und die Messzeit verringern.

[0042] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung legt die Impedanzermittlungseinrichtung unmittelbar nach dem über eine einzige Periode erfolgten Anlegen einer Wechselspannung mit einer niedrigen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement eine Wechselspannung mit einer höheren Frequenz als die niedrige Frequenz über eine einzige Periode an.

[0043] Hierdurch wird eine elektrische Entladung der kapazitiven Komponente des Sensorelements nach dem Ende des Anlegen des Wechselspannungsimpulses in kurzer Zeit beendet, sodass der über das Sensorelement fließende Strom schnell konvergiert und die Berechnungs-Sperrzeit für die Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verringert wird.

[0044] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung nimmt die Impedanzermittlungseinrichtung eine Impedanzermittlung bei einer niedrigen Frequenz aus der Vielzahl von Frequenzen nur dann vor, wenn stabile Gas-Umgebungsbedingungen vorlie-

gen, was z.B. der Fall ist, wenn eine stabile Abgas-Geschwindigkeit oder ein stabiles Luft-Kraftstoff-Verhältnis vorliegt.

[0045] Hierdurch wird die Messfrequenz der niederfrequenten Impedanz und damit die Sperrzeit oder Totzeit bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses für die Brennkraftmaschine verringert.

[0046] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung bezieht sich der Zustand, bei dem stabile Gas-Umgebungsbedingungen für das Sauerstoffkonzentrations-Messelement vorliegen, auf einen Zustand, bei dem eine Brennkraftmaschine, bei der das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unter Verwendung des Sauerstoffkonzentrations-Messelements gesteuert wird, warmgelaufen ist, sodass nur geringe Veränderungen der Abgas-Geschwindigkeit auftreten.

[0047] Durch die vorstehend beschriebenen Maßnahmen werden die Messgenauigkeit bei der niederfrequenten Impedanzmessung verbessert, die Zuverlässigkeit bei der Bestimmung des Vorliegens einer Verschlechterung oder eines Aktivierungszustands des Sensorelements verbessert und die Genauigkeit bei der Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses bei niedrigen Temperaturen bis zum Erreichen des Aktivierungszustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors und bei der Korrektur der Solltemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements erhöht.

[0048] Durch die erfindungsgemäße Steuereinrichtung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor wird somit eine genaue Messung der Impedanz des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements und damit die Bildung eines eine Änderung der Charakteristik des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors in Abhängigkeit von der ermittelten Impedanz angebenen Parameters ermöglicht, sodass auf der Basis dieses Parameters wiederum die Bestimmung des Vorliegens eines Stöorzustands oder eines Aktivierungszustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, die Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses aus dem Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors sowie eine Korrektur der Solltemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors erfolgen kann.

[0049] Mit Hilfe dieses Parameters kann weiterhin der Ausgangssignalwert des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements entsprechend der im Laufe der Zeit auftretenden Veränderung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors korrigiert und die Genauigkeit der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verbessert werden, wodurch sich eine Verschlechterung der Schadstoffminderung bei den Abgasen der Brennkraftmaschine verhindern lässt. Da außerdem der Elementtemperatur-Regelsollwert des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements in Abhängigkeit von den im Laufe der Zeit auftretenden Veränderungen des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors geändert werden

kann, kann auch das Auftreten von Unterbrechungen bei der Heizeinrichtung auf Grund eines übermäßigen Temperaturanstiegs sowie eine Verkürzung der Betriebslebensdauer des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors verhindert werden.

[0050] Da weiterhin bei der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor die Filterkonstante und deren Konstanten-Einstellperiode in Abhängigkeit von der Frequenz einer an das Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement anzulegenden Wechsellspannung und der Konvergenzzeit der Wechsellspannung modifiziert werden, lässt sich die Messgenauigkeit bei der Impedanzmessung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements weiter verbessern.

[0051] Da durch die erfindungsgemäße Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor die Zeitdauer des Anlegens der Wechsellspannung an das Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement verringert wird, lässt sich die Messzeit für die Impedanzmessung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements verringern, sodass die Berechnungs-Sperrzeit für die Ermittlung eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses aus einem bei Anliegen einer Gleichspannung erhaltenen Strom in dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement verringert und auf diese Weise auch die Sperrzeit oder Totzeit bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses reduziert werden kann.

[0052] Da außerdem bei der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor die Impedanzermittlungseinrichtung die Impedanzermittlung bei der erzeugten niedrigen Frequenz nur dann vornimmt, wenn stabile Umgebungsbedingungen für das Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement vorliegen, ergibt sich eine geringere Messfrequenz bei der niederfrequenten Impedanzmessung, wodurch sich die Sperrzeit oder Totzeit bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses für die Brennkraftmaschine im geschlossenen Regelkreis verringert.

[0053] Da sich bei der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor außerdem der Zustand, bei dem stabile Umgebungsbedingungen des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements für die niederfrequente Impedanzmessung mit Hilfe der Impedanzermittlungseinrichtung vorliegen, auf den warmgelaufenen Betriebszustand der Brennkraftmaschine bezieht, bei dem nur geringe Änderungen der Abgas-Geschwindigkeit auftreten, lässt sich eine höhere Zuverlässigkeit bei der Bestimmung einer Verschlechterung der Aktivierung des Sensorelements erzielen. Hierdurch kann die Genauigkeit der Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses bei niedrigen Temperaturen bis zum Erreichen des Aktivierungszustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors sowie die Korrekturgenauigkeit für die Solltem-

peratur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements verbessert werden.

[0054] Die vorstehende Zusammenfassung der Erfindung beinhaltet nicht notwendigerweise sämtliche erforderlichen Merkmale, sodass die Erfindung auch in einer Unterkombination der vorstehend beschriebenen Merkmale bestehen kann.

[0055] Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

[0056] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung des Aufbaus eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor,

[0057] [Fig. 2](#) Eingangs- und Ausgangssignalverläufe des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, wobei [Fig. 2A](#) den Verlauf einer an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegten Eingangsspannung und [Fig. 2B](#) den Verlauf eines zu messenden Ausgangsstroms des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors zeigen,

[0058] [Fig. 3](#) ein Spannungs-Strom-Kennlinienfeld des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors,

[0059] [Fig. 4](#) ein Ablaufdiagramm einer ersten Hälfte eines Unterprogramms für eine Impedanzberechnung eines Sensorelements gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0060] [Fig. 5](#) ein Ablaufdiagramm, das eine erste Frequenzüberlagerungsverarbeitung bei dem Unterprogramm für die Sensorelement-Impedanzberechnung veranschaulicht,

[0061] [Fig. 6](#) ein Ablaufdiagramm, das ein erstes Unterbrechungsverarbeitungsprogramm für die erste Frequenz-Überlagerungsverarbeitung veranschaulicht,

[0062] [Fig. 7](#) ein Ablaufdiagramm, das ein zweites Unterbrechungsverarbeitungsprogramm für die erste Frequenz-Überlagerungsverarbeitung veranschaulicht,

[0063] [Fig. 8](#) ein Ablaufdiagramm, das eine zweite Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Unterprogramm für die Sensorelement-Impedanzberechnung veranschaulicht,

[0064] [Fig. 9](#) ein Ablaufdiagramm, das ein drittes Unterbrechungsverarbeitungsprogramm für die zweite Frequenz-Überlagerungsverarbeitung veranschaulicht,

[0065] [Fig. 10](#) ein Ablaufdiagramm, das ein viertes

Unterbrechungsverarbeitungsprogramm für die zweite Frequenz-Überlagerungsverarbeitung veranschaulicht,

[0066] [Fig. 11](#) ein Ablaufdiagramm, das ein Verschlechterungs-Korrekturprogramm für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor veranschaulicht,

[0067] [Fig. 12A](#) ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen dem Element-Gesamtwiderstand R_s und Z_{ac3} veranschaulicht,

[0068] [Fig. 12B](#) ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Elementtemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements und Z_{ac3} veranschaulicht,

[0069] [Fig. 13](#) ein Kennfeld, das eine Beziehung zwischen dem Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements und Z_{ac3} veranschaulicht,

[0070] [Fig. 14](#) ein zweidimensionales Kennfeld einer Beziehung zwischen der ersten Impedanz Z_{ac1} und einem Sensorstrom I_{ms} ,

[0071] [Fig. 15](#) ein Ablaufdiagramm der Verarbeitung nach Ermittlung des Vorliegens eines Störzustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors,

[0072] [Fig. 16](#) ein Ablaufdiagramm eines Unterprogramms für die Aktivierungsbestimmung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors,

[0073] [Fig. 17](#) ein Kennfeld, das eine Beziehung zwischen dem Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} und einem Aktivierungsbestimmungswert Z_{actc} veranschaulicht,

[0074] [Fig. 18](#) ein Ablaufdiagramm eines Unterprogramms zur Steuerung der Heizeinrichtung,

[0075] [Fig. 19](#) ein Diagramm, das eine Korrelation zwischen Temperatur und Impedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements veranschaulicht,

[0076] [Fig. 20](#) schematische Darstellungen der Struktur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements, wobei [Fig. 20A](#) eine Schnittansicht und [Fig. 20B](#) eine teilweise vergrößerte Ansicht eines Elektrolyten zeigen,

[0077] [Fig. 21](#) ein Ersatzschaltbild des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements,

[0078] [Fig. 22](#) Impedanzkennlinien des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelements,

[0079] [Fig. 23](#) ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Frequenz einer an das Luft-Kraftstoff-

verhältnis-Sensorelement angelegten Wechsellspannung und der Elementimpedanz veranschaulicht,

[0080] [Fig. 24](#) ein Blockschaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß [Fig. 1](#),

[0081] [Fig. 25](#) ein Schaltbild der Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **20** gemäß [Fig. 24](#),

[0082] [Fig. 26](#) ein Schaltbild des Tiefpassfilters (TPF) **17** gemäß [Fig. 24](#),

[0083] [Fig. 27](#) ein Schaltbild der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorschaltung **3** gemäß [Fig. 24](#),

[0084] [Fig. 28](#) ein Ablaufdiagramm, das eine erste Hälfte einer ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei einem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement veranschaulicht,

[0085] [Fig. 29](#) ein Ablaufdiagramm der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement,

[0086] [Fig. 30](#) ein Ablaufdiagramm eines ersten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms zur Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung,

[0087] [Fig. 31](#) ein Ablaufdiagramm eines zweiten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms zur Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung,

[0088] [Fig. 32](#) ein Ablaufdiagramm einer zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement,

[0089] [Fig. 33](#) ein Ablaufdiagramm eines dritten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms zur Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung,

[0090] [Fig. 34](#) ein Ablaufdiagramm eines vierten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms zur Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung,

[0091] [Fig. 35](#) Signalverläufe zur Veranschaulichung des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0092] [Fig. 36](#) Ausgangssignale des Sensorelements bei einer niederfrequenten Impedanzmessung in Form eines 1-Punkt-Messverfahrens, wobei [Fig. 36A](#) eine angelegte Klemmenspannung des Sensorelements und [Fig. 36B](#) einen Strom im Sen-

sorelement zeigen,

[0093] [Fig. 37](#) Ausgangssignale des Sensorelements bei einer niederfrequenten Impedanzmessung in Form eines 2-Punkt-Messverfahrens, wobei [Fig. 37A](#) eine angelegte Klemmenspannung des Sensorelements und [Fig. 37B](#) einen Strom im Sensorelement zeigen,

[0094] [Fig. 38](#) eine vergrößerte Darstellung von [Fig. 37B](#),

[0095] [Fig. 39](#) einen Sensorstromverlauf bei Anlegen eines niederfrequenten Impulses,

[0096] [Fig. 40](#) einen Sensorstromverlauf bei Anlegen eines hochfrequenten Impulses direkt nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses,

[0097] [Fig. 41](#) ein Ablaufdiagramm der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement, das zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist,

[0098] [Fig. 42](#) ein Ablaufdiagramm des dritten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist,

[0099] [Fig. 43](#) ein Ablaufdiagramm des vierten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist,

[0100] [Fig. 44](#) ein Ablaufdiagramm eines fünften Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist,

[0101] [Fig. 45](#) ein Ablaufdiagramm eines Einstellprogramms für die Regelverstärkung bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im geschlossenen Regelkreis,

[0102] [Fig. 46](#) ein Ablaufdiagramm, das eine erste Hälfte eines Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht, und

[0103] [Fig. 47](#) ein Ablaufdiagramm, das eine zweite Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impe-

danzberechnungsprogramm für das Sensorelement gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

[0104] [Fig. 1](#) zeigt ein schematisches Schaltbild eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor, wobei gleiche Bauelemente mit den gleichen Bezugszahlen bezeichnet sind. Dieser Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1**, der im Abgaskanal einer (nicht dargestellten) Brennkraftmaschine zur Ermittlung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im Abgas der Brennkraftmaschine angeordnet ist, wird von einem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorelement **2** (das nachstehend vereinfacht als Sensorelement bezeichnet ist) sowie einer Heizeinrichtung **4** gebildet. Dem Sensorelement **2** wird von einer Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorschaltung **3** (die nachstehend vereinfacht als Sensorschaltung **3** bezeichnet ist) eine Spannung zugeführt, während die über eine Batterie **5** erfolgende Zuführung von elektrischer Energie zu der Heizeinrichtung **2** von einer Heizsteuerschaltung **6** gesteuert wird. Die Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorschaltung **3** wird von einer von einem Mikrocomputer gebildeten Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** (A/FCU **10**) über ein Tiefpassfilter **7** (TPF **7**) mit einer analogen Klemmenspannung beaufschlagt, die dann an das Sensorelement **2** angelegt wird.

[0105] Die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuereinheit **10** bildet zusammen mit der Sensorschaltung **3**, der Heizsteuerschaltung **6** und dem Tiefpassfilter **7** einen Teil einer elektronischen Steuereinheit **100** (ECU **100**) und gibt nach Umsetzung von im Rahmen einer nachstehend noch näher beschriebenen Verarbeitung berechneten digitalen Daten durch einen eingebauten Digital/Analog-Umsetzer eine analoge Rechteckspannung ab, die der Sensorschaltung **3** über das Tiefpassfilter **7** zugeführt wird. Das Tiefpassfilter **7** gibt ein unverarbeitetes Signal ab, bei dem der hochfrequente Anteil des analogen Rechteck-Spannungssignals unterdrückt ist, um eine auf hochfrequenten Störsignalanteilen beruhende Ausgangsstrom-Messabweichung des Sensorelements **2** zu verhindern. Wenn eine diesem unverarbeiteten Signal entsprechende Spannung an das Sensorelement **2** angelegt wird, ermittelt die Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** den über das Sensorelement **2** fließenden Strom, der sich proportional zu der Sauerstoffkonzentration im Abgas und der hierbei an das Sensorelement **2** angelegten Spannung ändert. Die Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** wird somit mit der an das Sensorelement **2** angelegten Spannung sowie über die Sensorschaltung **3** mit einer dem über das Sensorelement **2** fließenden Strom entsprechenden Analogspannung beaufschlagt und setzt diese Spannungen mit Hilfe von intern zur Detektion des Stroms und der Spannung vorgesehenen

Analog/Digital-Umsetzern in digitale Daten um, die dann im Rahmen einer nachstehend noch näher beschriebenen Verarbeitung Verwendung finden.

[0106] Der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** ist jedoch nicht in der Lage, das Ausgangssignal des Sensorelements **2** bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einzusetzen, bevor nicht der Aktivierungszustand des Sensorelements **2** erreicht ist. Die Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** führt daher von einer Batterie **5** elektrische Energie zur Erregung einer in dem Sensorelement **2** angeordneten Heizeinrichtung **4** zu, um vorher eine Aktivierung des Sensorelements **2** herbeizuführen. Nach Erreichen des Aktivierungszustands des Sensorelements **2** wird die Heizeinrichtung **4** durch entsprechende Strom- bzw. Energiezufuhr im Aktivierungszustand gehalten.

[0107] Da der Widerstand des Sensorelements **2** von dessen Temperatur bestimmt wird, d.h., bei einem Anstieg der Temperatur des Sensorelements **2** abnimmt, wird die Heizeinrichtung **4** derart mit elektrischer Energie versorgt, dass der Widerstandswert des Sensorelements **2** auf einen Wert von z.B. $30\ \Omega$ eingestellt wird, der einer zur Aufrechterhaltung seines Aktivierungszustands ausreichenden Temperatur entspricht, sodass die Temperatur des Sensorelements **2** auf einer Solltemperatur von z.B. 700°C gehalten wird. Weiterhin wird der Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** von der Heizsteuerschaltung **6** eine der Spannung und dem Strom der Heizeinrichtung **4** entsprechende Analogspannung zur Steuerung der Erwärmung des Sensorelements **2** zugeführt, die mit Hilfe von internen Analog/Digital-Umsetzern in digitale Daten umgesetzt wird, welche im Rahmen einer nachstehend noch näher beschriebenen Verarbeitung Verwendung finden. So wird z.B. der Widerstand der Heizeinrichtung **4** berechnet, um durch eine auf der Basis des berechneten Widerstands entsprechend dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine erfolgende Energiezufuhr die Temperatur der Heizeinrichtung **4** dahingehend zu steuern, dass ein übermäßiger Temperaturanstieg der Heizeinrichtung **4** vermieden wird.

[0108] Die Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** (A/FCU **10**) umfasst eine Zentraleinheit (CPU), einen Festspeicher (ROM), einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen batteriegespeisten Sicherungs-Direktzugriffsspeicher (B-RAM), eine Eingangsschnittstelle, eine Ausgangsschnittstelle, Analog/Digital-Umsetzer sowie Digital/Analog-Umsetzer, die untereinander über eine (nicht dargestellte) Zweirichtungs-Sammelleitung oder dergleichen verbunden sind und (in einer nachstehend noch näher beschriebenen Weise) bei der Steuerung des erfindungsgemäßen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** Verwendung finden.

[0109] Fig. 2 zeigt die Verläufe des Eingangssignals und des Ausgangssignals des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, d.h., Fig. 2A zeigt den Verlauf der an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor anzulegenden Spannung, während Fig. 2B den Verlauf des von dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gemessenen Ausgangsstroms zeigt. Hierbei sind über der Abszisse die Zeit und über der Ordinate die Spannung bzw. der Strom aufgetragen. Wie in Fig. 2A veranschaulicht ist, findet als an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor anzulegende Eingangsspannung stets eine Gleichspannung V_m von $0,3\text{ V}$ Verwendung. Zur Messung der Impedanz des Sensorelements wird der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor mit einer ersten Frequenz aufweisenden Impulsspannung von $\pm 0,2\text{ V}$ beaufschlagt, die der vorstehend beschriebenen Gleichspannung von $0,3\text{ V}$ überlagert wird. Wie in Fig. 2B veranschaulicht ist, nimmt der von dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gemessene Ausgangsstrom I_m nur dann einen der Sauerstoffkonzentration des Gases bei jeder Messung entsprechenden Wert (Grenzstromwert) an, wenn die Gleichspannung von $0,3\text{ V}$ an dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor anliegt. Wenn die vorstehend beschriebene Impulsspannung von $\pm 0,2\text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt und der Gleichspannung von $0,3\text{ V}$ überlagert wird, ändert sich der Sensorstrom in Abhängigkeit von dem Widerstandswert des Elements. Hierbei wird durch Messung der Klemmenspannung sowie der Änderung des Ausgangsstroms des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors die Impedanz des Sensorelements berechnet. Die Impedanzcharakteristik dieses Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors ist in den Fig. 22 und Fig. 23 in Form von Kennlinien dargestellt.

[0110] Fig. 3 zeigt ein Spannungs-Strom-Kennlinienfeld des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, wobei über der Abszisse die Klemmenspannung V und über der Ordinate der Ausgangsstrom I des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors aufgetragen sind. Wie Fig. 3 zu entnehmen ist, ist die Klemmenspannung V im wesentlichen proportional zu dem Ausgangsstrom I , d.h., bei einem mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis erfolgt eine Änderung des Stromwertes zur positiven Seite, während bei einem fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis der Stromwert in den negativen Bereich übergeht (siehe die strichpunktierte Kennlinie gemäß Fig. 3). Bei zunehmender Abmagerung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses steigt somit der Grenzstrom an, während er bei fetter werdendem Luft-Kraftstoff-Verhältnis abnimmt. Bei einem Ausgangsstrom I von 0 mA nimmt das Luft-Kraftstoff-Verhältnis den stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältniswert ($= 14,5$) an.

[0111] Nachstehend wird ein Impedanzberechnungsprogramm für dieses Sensorelement näher beschrieben.

[0112] [Fig. 4](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer ersten Hälfte des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung, während die [Fig. 5](#) bis [Fig. 10](#) Ablaufdiagramme einer zweiten Hälfte des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement veranschaulichen. Hierbei stellt [Fig. 5](#) ein Ablaufdiagramm einer ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement dar, während die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) Ablaufdiagramme von zur Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlichen Unterbrechungsverarbeitungsprogrammen, [Fig. 8](#) ein Ablaufdiagramm einer zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement und die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) Ablaufdiagramme von zur Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlichen Unterbrechungsverarbeitungsprogrammen zeigen. Die in den [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) und [Fig. 8](#) dargestellten Programme werden mit einer vorgegebenen Frequenz bzw. Häufigkeit von z.B. jeweils 1 ms ausgeführt.

[0113] Zunächst wird in einem Schritt **401** bestimmt, ob ein (nicht dargestellter) Zündschalter IGSW eingeschaltet ist oder nicht. Bei eingeschaltetem Zündschalter geht der Ablauf auf einen Schritt **402** über, während das Programm bei abgeschaltetem Zündschalter endet. Im Schritt **402** wird beurteilt, ob die Gleichspannung $V_m = 0,3 \text{ V}$ an dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** anliegt oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **403** über, während er im gegenteiligen Fall auf einen Schritt **404** übergeht. Im Schritt **404** wird dann die Gleichspannung von $0,3 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt.

[0114] Im Schritt **403** wird z.B. mittels eines Zählers festgestellt, ob seit dem Anlegen der Gleichspannung von $0,3 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor 4 ms vergangen sind oder nicht, oder es wird ermittelt, ob 4 ms seit dem Einlesen des Stroms I_{ms} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors im vorherigen Verarbeitungszyklus dieses Programms vergangen sind oder nicht. Wenn eine dieser Beurteilungen zu dem Ergebnis JA führt, geht der Ablauf auf einen Schritt **405** über, während im gegenteiligen Falle das Programm endet.

[0115] Im Schritt **405** wird der Strom I_{ms} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors eingelesen, wobei aus den vorstehend beschriebenen Schritten ersichtlich ist, dass dieses Einlesen des Stroms I_{ms} in zeitlichen Abständen von jeweils 4 ms erfolgt.

[0116] In einem Schritt **406** wird eine nachstehend noch näher beschriebene Verschlechterungskorrekturverarbeitung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor durchgeführt, während in einem Schritt **407** eine

nachstehend noch näher beschriebene Störzustandsbestimmungsverarbeitung und in einem Schritt **408** eine ebenfalls nachstehend noch näher beschriebene Aktivierungsbestimmungsverarbeitung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor durchgeführt werden.

[0117] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 5](#) bis [Fig. 7](#) das Ablaufdiagramm der ersten Frequenzüberlagerungsverarbeitung des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement näher beschrieben. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass die erste Frequenz 5 kHz beträgt. Zunächst wird z.B. mit Hilfe eines Zählers ermittelt, ob in diesem Verarbeitungszyklus seit Beginn des Programms $k \times 64 \text{ ms}$ (k : ungradzahliger Wert 1, 3, 5 ...) vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, d.h., wenn in diesem Verarbeitungszyklus 64 ms, 192 ms, 320 ms, ... seit dem Beginn des Programms vergangen sind, geht der Ablauf auf einen Schritt **502** über, während im gegenteiligen Fall der Ablauf auf einen Schritt **801** (siehe [Fig. 8](#)) übergeht. Im Schritt **502** wird der an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegten Spannung $V_m (= 0,3 \text{ V})$ eine Impulsspannung von $-0,2 \text{ V}$ überlagert, sodass die an dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor anliegende Spannung $V_{m1} 0,1 \text{ V}$ beträgt. In einem Schritt **502** setzt die in [Fig. 6](#) veranschaulichte erste Zeitgeber-Unterbrechungsverarbeitung ein, auf die nachstehend näher eingegangen wird.

[0118] In einem Schritt **601** der ersten Zeitgeber-Unterbrechungsverarbeitung gemäß [Fig. 6](#) wird ermittelt, ob 85 μs seit dem Beginn der vorstehend beschriebenen ersten Zeitgeber-Unterbrechung vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **602** über, in dem der Ausgangsstrom I_{m1} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors eingelesen wird, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **601** wieder zurückgeführt wird.

[0119] In einem Schritt **603** wird beurteilt, ob seit dem Beginn der vorstehend beschriebenen ersten Zeitgeber-Unterbrechung 100 μs vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **604** über, in dem die Spannung $V_m = 0,5 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **601** zurückgeführt wird. In einem Schritt **604** wird dann eine in [Fig. 7](#) veranschaulichte zweite Zeitgeber-Unterbrechung eingeleitet, auf die nachstehend näher eingegangen wird.

[0120] In einem Schritt **701** der zweiten Zeitgeber-Unterbrechungsverarbeitung gemäß [Fig. 7](#) wird beurteilt, ob seit dem Beginn der zweiten Zeitgeber-Unterbrechung 100 μs vergangen sind oder

nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **702** über, in dem die Spannung $V_m = 0,3 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, um zum normalen Luft-Kraftstoffverhältnis-Messzustand zurückzukehren, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **701** zurückgeführt wird.

[0121] Es sei nun wieder zum Schritt **503** gemäß [Fig. 5](#) zurückgekehrt, in dem beurteilt wird, ob seit Beginn dieses Unterprogramms in diesem Verarbeitungszyklus ($k \times 64 + 4$) ms (k : ungradzahliger Wert 1, 3, 5,...) vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **504** über, während im gegenteiligen Fall das Unterprogramm beendet wird.

[0122] Im Schritt **504** wird die beim Anliegen der die erste Frequenz aufweisenden Spannung erhaltene erste (hochfrequente) Impedanz Z_{ac1} aus der nachstehenden Gleichung berechnet: $Z_{ac1} = V_m / I_{m1} = 0,2 / (I_{m1} - I_{ms})$

[0123] In einem Schritt **505** erfolgt eine Überwachungsverarbeitung von Z_{ac1} , d.h., eine Verarbeitung, um den Wert Z_{ac1} in einem Bereich zwischen einem unteren Überwachungsgrenzwert $KREL1$ und einem oberen Überwachungsgrenzwert $KREH1$ zu halten, sodass $KREL1 \leq Z_{ac1} \leq KREH1$ gewährleistet ist. Wenn somit $KREL1 \leq Z_{ac1} \leq KREH1$ vorliegt, erfolgt keine Änderung, während bei $Z_{ac1} < KREL1$ der Wert $Z_{ac1} = KREL1 = 1(\Omega)$ wird. Wenn dagegen $KREH1 < Z_{ac1}$ vorliegt, erfolgt ein Vorgang, durch den Z_{ac1} den Wert $Z_{ac1} = KREH1 = 200(\Omega)$ annimmt. Diese Überwachungsverarbeitung wird normalerweise zur Vernachlässigung von auf Störungen, Analog/Digital-Umsetzungsabweichungen und dergleichen beruhenden Daten durchgeführt.

[0124] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) ein Ablaufdiagramm einer zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement näher beschrieben. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die zweite Frequenz 500 Hz beträgt. Wenn im Schritt **501** gemäß [Fig. 5](#) ein negatives Ergebnis erhalten wird, wird ein Schritt **801** ausgeführt, in dem z.B. mittels eines Zählers festgestellt wird, ob $k \times 64$ ms (k : gradzahliger Wert 2, 4, 6,...) seit dem Beginn dieses Unterprogramms vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, d.h., wenn die vergangene Zeit 128 ms, 256 ms, 384 ms,... beträgt, geht der Ablauf auf einen Schritt **802** über, während im gegenteiligen Fall dieses Unterprogramm endet. Im Schritt **802** wird der an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegten Spannung $V_m (= 0,3 \text{ V})$ eine Impulsspannung von $-0,2 \text{ V}$ überlagert, sodass an dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor die Spannung $V_{m1} = 0,1 \text{ V}$ anliegt. Im Schritt **802** setzt eine dritte Zeitgeber-Unterbrechung

ein, die nachstehend näher beschrieben wird.

[0125] In einem Schritt **901** der dritten Zeitgeber-Unterbrechungsverarbeitung gemäß [Fig. 9](#) wird beurteilt, ob seit dem Beginn dieser dritten Zeitgeber-Unterbrechung 0,95 ms vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **902** über, bei dem der Ausgangsstrom I_{m2} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors eingelesen wird, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **901** zurückgeführt wird.

[0126] In einem Schritt **903** wird beurteilt, ob seit dem Beginn dieser dritten Zeitgeber-Unterbrechung 1 ms vergangen ist oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **904** über, bei dem die Spannung $V_m = 0,5 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **901** zurückkehrt. Im Schritt **904** setzt eine in [Fig. 10](#) dargestellte vierte Zeitgeber-Unterbrechung ein, auf die nachstehend näher eingegangen wird.

[0127] In einem Schritt **1001** der vierten Zeitgeber-Unterbrechungsverarbeitung gemäß [Fig. 10](#) wird beurteilt, ob seit dem Beginn dieser vierten Zeitgeber-Unterbrechung 1 ms vergangen ist oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **1002** über, bei dem die Spannung $V_m = 0,3 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, um wieder auf den normalen Luft-Kraftstoffverhältnis-Messzustand überzugehen, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **1001** zurückgeführt wird.

[0128] Es sei nun wieder zum Schritt **803** gemäß [Fig. 8](#) zurückgekehrt, bei dem beurteilt wird, ob seit Beginn dieses Unterprogramms in diesem Verarbeitungszyklus ($k \times 64 + 4$) ms (k : gradzahliger Wert 2, 4, 6,...) vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **804** über, während im gegenteiligen Fall dieses Unterprogramm endet.

[0129] Im Schritt **804** wird die beim Anliegen der die zweite Frequenz aufweisenden Spannung erhaltene zweite (niederfrequente) Impedanz Z_{ac2} mit Hilfe der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$Z_{ac2} = V_m / I_{m2} = 0,2 / (I_{m2} - I_{ms})$$

[0130] In einem Schritt **805** erfolgt eine Überwachungsverarbeitung von Z_{ac2} , d.h., eine Verarbeitung, durch die Z_{ac2} in einem Bereich zwischen einem unteren Überwachungsgrenzwert $KREL2$ und einem oberen Überwachungsgrenzwert $KREH2$ gehalten wird, sodass $KREL2 \leq Z_{ac2} \leq KREH2$ gewährleistet ist. Wenn hierbei $KREL2 \leq Z_{ac2} \leq KREH2$ gilt, erfolgt keine Änderung des Wertes. Wenn dagegen

Zac2 < KREL2 ist, wird Zac2 = KREL2 = 1 (Ω), während bei KREL2 < Zac2 eine Verarbeitung erfolgt, durch die Zac2 = KREL2 = 200 (Ω) wird.

[0131] Nachstehend wird die im Schritt **406** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 4](#) erfolgende Verschlechterungskorrekturverarbeitung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor näher beschrieben.

[0132] [Fig. 11](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verschlechterungskorrekturprogramms für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor, das in einem vorgegebenen Zyklus von z.B. jeweils 4 ms ausgeführt wird. Zunächst wird in einem Schritt **1101** in Abhängigkeit vom Vorliegen von sämtlichen nachstehenden Bedingungen 1 bis 5 ermittelt, ob eine Verschlechterungskorrekturbedingung gegeben ist oder nicht, wobei im Fall des Ergebnisses JA der Ablauf auf einen Schritt **1102** übergeht, während im gegenteiligen Falle dieses Unterprogramm beendet wird:

1. Drehzahl der Brennkraftmaschine $NE \leq 1000 \text{ min}^{-1}$
2. Fahrzeuggeschwindigkeit $VS \leq 3 \text{ km/h}$
3. Leerlaufschalter EIN
4. Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F während der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im geschlossenen Regelkreis in der Nähe von 14,5
5. Motor-Kühlmitteltemperatur $THW \geq 85^\circ\text{C}$ (Warmlaufzustand)

[0133] Im Schritt **1102** wird eine Differenz Zac3 (= Zac2 – Zac1) zwischen der ersten Impedanz Zac1 und der zweiten Impedanz Zac2 als ein die Änderung der Charakteristik des Sensorelements angegebender Parameter gebildet, d.h., als Parameter, der die im Laufe der Zeit auftretende Veränderung des Sensorelements kennzeichnet. Nachstehend wird der Parameter Zac3 daher als Sensorelement-Charakteristikparameter bezeichnet.

[0134] [Fig. 12A](#) veranschaulicht eine Beziehung zwischen dem Element-Gesamtwiderstand Rs (= R1 + R2 + R3) und Zac3 (R3) des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, während [Fig. 12B](#) eine Beziehung zwischen der Elementtemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors und Zac3 veranschaulicht. Wie [Fig. 12A](#) zu entnehmen ist, besteht bei einem neuen Produkt und einem gealterten Produkt im wesentlichen die gleiche Korrelation zwischen Rs und Zac3, was darauf beruht, dass die Widerstandskomponente R3 bzw. Zac3 des Übergangsbereichs des elektrischen Feldes einen großen Anteil am Element-Gesamtwiderstand Rs des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors besitzt und dass die Widerstandskomponente des Übergangsbereichs des elektrischen Feldes die Charakteristik des Sensorelements widerspiegelt. Wie [Fig. 12B](#) zu entnehmen ist, besteht bei einem neuen Produkt und einem gealterten Produkt im wesentlichen die gleiche Korrelation zwischen der Elementtemperatur und Zac3. Hieraus ergibt sich, dass

die Elementtemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors mit Hilfe der Widerstandskomponente R3 bzw. Zac3 des Übergangsbereichs des elektrischen Feldes bestimmt werden kann.

[0135] Die im Schritt **407** des vorstehend beschriebenen Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 4](#) erfolgende Störzustandsbestimmungsverarbeitung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor erfolgt im Rahmen der nachstehend näher beschriebenen Schritte **1103** bis **1109**. Im Schritt **1103** wird hierbei ermittelt, ob ein Sensorelementtemperatur-Regelsollwert Zactg unter Berücksichtigung von Unregelmäßigkeiten und Abweichungen der Sensorelementcharakteristik gleich einem unteren Grenzwert Zactgmax bzw. kleiner ist oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, erfolgt die Feststellung, dass der Elementtemperatur-Regelsollwert korrigiert werden kann, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **1104** übergeht, während im gegenteiligen Falle der Ablauf auf einen Schritt **1105** übergeht. Im Schritt **1104** wird ein Korrekturbetrag Zactggk des Elementtemperatur-Regelsollwerts Zactg aus Zac3 mit Hilfe des Kennfeldes gemäß [Fig. 13](#) berechnet, das in einem Festspeicher (ROM) vorgespeichert ist. Der Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg bezieht sich hierbei auf eine Elementimpedanz, die erhalten wird, wenn die Elementtemperatur des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors einen Solltemperaturwert erreicht. In einem Schritt **1106** wird sodann der Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg (derzeitiger Wert) als Mittelwert mit Hilfe der nachstehenden Gleichungen berechnet:

$$\begin{aligned} Zactgt &= Zactg(i-1)(\text{vorheriger Wert}) + Zactggk \\ Zactg(i)(\text{derzeitiger Wert}) &= (Zactg(i-1)(\text{vorheriger Wert}) \times 31 + Zactgt)/32 \end{aligned}$$

[0136] Bei der Regelung der Heizeinrichtung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** wird der auf diese Weise berechnete Wert von Zactg (derzeitiger Wert) als Elementtemperatur-Regelsollwert der Sensorelementimpedanz eingestellt und die Sensorelementtemperatur dahingehend geregelt, dass die Sensorelementimpedanz den Wert Zactg (derzeitiger Wert) annimmt.

[0137] Wie dem Kennfeld gemäß [Fig. 13](#) zu entnehmen ist, wird ein Anstieg der Elementtemperatur festgestellt, wenn der Charakteristikparameter Zac3 des Sensorelements gleich einem vorgegebenen Wert oder kleiner ist, was zu einer Vergrößerung des Elementtemperatur-Regelsollwerts Zactg führt, während ein Abfallen der Elementtemperatur festgestellt wird, wenn der Charakteristikparameter Zac3 gleich dem vorgegebenen Wert oder größer ist, was zu einer Verringerung des Elementtemperatur-Regelsollwerts Zactg führt, d.h., der Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg wird dahingehend geregelt, dass Zac3 den vorgegebenen Wert annimmt. Auch wenn eine Verschlechterung bzw. Alterung des Sensors einge-

treten ist, kann somit die Elementtemperatur auf den gleichen Wert wie bei einem neuen Produkt eingeregelt werden. Auf diese Weise kann nach erfolgter Alterung bzw. Verschlechterung der Eigenschaften des Sensors eine weitere Verschlechterung bzw. Alterung sowie eine Verkürzung der Lebensdauer des Sensorelements auf Grund steigender Elementtemperaturen verhindert werden.

[0138] In einem Schritt **1107** wird der Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} in einem Sicherungsspeicher (RAM) in Form eines Wertes Z_{actgb} gespeichert. Beim nächsten Motorstart wird dann im Rahmen des Anfangsprogramms dieser Wert Z_{actgb} als Z_{actg} eingelesen und somit die Elementtemperatur beim nächsten Motorstart auf die Solltemperatur eingeregelt.

[0139] In einem Schritt **1108** wird sodann das Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F mit Hilfe eines von der ersten Impedanz Z_{ac1} und dem Ausgangsstrom I_{ms} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors gebildeten zweiten Kennfeldes ([Fig. 14](#)) berechnet. Aus dem Kennfeld gemäß [Fig. 14](#) ist ersichtlich, dass bei einer Abnahme der ersten Impedanz Z_{ac1} und einem negativen Wert von I_{ms} das Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F vom stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis in den fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnisbereich übergeht, während bei einem positiven Wert von I_{ms} ein Übergang des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses vom mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnisbereich zum stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnisbereich erfolgt. Weiterhin ist ersichtlich, dass bei $I_{ms} = 0$ das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unabhängig von der ersten Impedanz Z_{ac1} den stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältniswert von 14,5 annimmt.

[0140] Im Schritt **1105** wird in der in [Fig. 12B](#) veranschaulichten Weise ermittelt, ob der Sensorelement-Charakteristikparameter Z_{ac3} gleich dem Stöorzustandsbestimmungswert $KFZAC$ oder kleiner ist ($Z_{ac3} \leq KFZAC$), wobei im Falle eines positiven Ergebnisses dieses Unterprogramm mit der Beurteilung beendet wird, dass sich der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor im Normalzustand befindet, während im gegenteiligen Falle der Ablauf auf einen Schritt **1109** mit der Beurteilung übergeht, dass ein Stöorzustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors vorliegt. Im Schritt **1109** wird ein Sensor-Stöorzustandszeichen $XFAFS$ für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gesetzt. Der in [Fig. 12B](#) veranschaulichte Stöorzustandsbestimmungswert $KFZAC$ ist auf einen Wert eingestellt, der zur Bestimmung eines durch eine Änderung der Charakteristik des Sensorelements hervorgerufenen übermäßigen Anstiegs der Elementtemperatur dient.

[0141] Nachstehend wird auf den Grund für die Verwendung des Kennfeldes gemäß [Fig. 14](#) näher eingegangen.

[0142] Wie vorstehend beschrieben, wird der Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} aus der Differenz Z_{ac3} ($= Z_{ac2} - Z_{ac1}$) zwischen der bei der einen Frequenz und der bei der anderen Frequenz erhaltenen Elementimpedanz berechnet und die Sensorelement-Heizregelung zur Einstellung der Elementimpedanz Z_{ac} auf den Wert Z_{actg} durchgeführt. Nach einer eingetretenen Verschlechterung bzw. Alterung des Elements wird der Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} dann auf einen im Vergleich zu dem Wert von 30Ω für ein neues Element höheren Wert von z.B. 40Ω , 50Ω derart eingestellt, dass sich die Elementimpedanz Z_{ac} nach einer solchen Verschlechterung bzw. Alterung entsprechend bei 40Ω , 50Ω stabilisiert. Wenn hierbei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F mit Hilfe eines Kennfeldes berechnet wird, das einem Elementstrom bei der Elementimpedanz von 30Ω für einen neuen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor entspricht, kann keine genaue Ermittlung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses erfolgen. Erfindungsgemäß ist daher das Kennfeld gemäß [Fig. 14](#) vorgesehen, um eine genaue Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses mit Hilfe der nach einer Verschlechterung bzw. Alterung verwendeten Elementimpedanz Z_{ac} von 40Ω oder 50Ω zu ermöglichen.

[0143] Als weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung kann in Betracht gezogen werden, anstelle der Verwendung von zwei Frequenzen zur Berechnung der Elementimpedanz Z_{ac1} nur eine einzige hohe Frequenz, wie z.B. eine aus dem Bereich von 1 bis 10 kHz ausgewählte Frequenz, zu verwenden, die eine genaue Ermittlung der Elementimpedanz ermöglicht. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis wird dann entsprechend dem Wert von Z_{ac1} mit Hilfe des Kennfeldes gemäß [Fig. 14](#) berechnet. Wenn hierbei festgestellt wird, dass das Element auf Grund einer Verschlechterung bzw. Alterung bei einer höheren Impedanz als der eines neuen Elements aktiviert worden ist, kann das Luft-Kraftstoff-Verhältnis entsprechend dieser höheren Impedanz mit Hilfe des Kennfeldes gemäß [Fig. 14](#) berechnet werden. Der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor wird dann bei der im Vergleich zu einem neuen Element höheren Impedanz aktiviert, wobei eine kürzere Zeitdauer für die Aktivierung erforderlich ist, bevor sich die Impedanz verringert und der Aktivierungszustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors entsprechend einem neuen Element angezeigt wird. Auf diese Weise kann die Luft-Kraftstoff-Gemischregelung zu einem früheren Zeitpunkt einsetzen, wodurch die Schadstoffminderung bei dem nach einem Starten der Brennkraftmaschine ausgestoßenen Abgas verbessert wird.

[0144] Nachstehend wird die im Schritt **408** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 4](#) erfolgende Aktivierungsbestimmungsverarbeitung für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor näher beschrieben.

[0145] [Fig. 15](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Ver-

arbeitsablaufs, der nach Ermittlung des Vorliegens eines Stöorzustands des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors erfolgt. Dieses Unterprogramm wird in einem vorgegebenen Zyklus von z.B. jeweils 1 ms ausgeführt. Hierbei wird in einem Schritt **1501** ermittelt, ob das Sensor-Stöorzustandszeichen für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gesetzt ist oder nicht. Bei XFAFS = 1 wird festgestellt, dass ein Stöorzustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors vorliegt, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **1502** übergeht, in dem die Rückkopplung bzw. Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses unterbrochen wird, da eine Fortsetzung der Rückkopplung bzw. Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses zu einem Anstieg der Schadstoffe im Abgas führen würde. In einem Schritt **1503** wird dann die Heizeinrichtung abgeschaltet, um einen übermäßigen Temperaturanstieg der Heizeinrichtung zu verhindern. In einem Schritt **1504** erfolgt sodann das Aufleuchten einer (nicht dargestellten) Alarmanzeige. Wenn dagegen XFAFS = 0 im Schritt **1501** ermittelt wird, wird festgestellt, dass kein Stöorzustand des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors vorliegt, sodass das Unterprogramm beendet wird.

[0146] [Fig. 16](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Aktivierungsbestimmungsprogramms für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor, das in einem vorgegebenen Zyklus von z.B. jeweils 1 ms ausgeführt wird. Hierbei wird zunächst in einem Schritt **1601** festgestellt, ob das Sensor-Stöorzustandszeichen für den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor gesetzt ist oder nicht. Bei XFAFS = 1 wird die Feststellung getroffen, dass ein Stöorzustand des Elements vorliegt, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **1602** übergeht. Bei XFAFS = 0 wird die Feststellung getroffen, dass kein Stöorzustand des Elements vorliegt, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **1603** übergeht.

[0147] Im Schritt **1602** wird ein Luft-Kraftstoffverhältnis-Aktivierungszeichen XAFSACT abgeschaltet bzw. gelöscht. In einem Schritt **1603** wird dann der Aktivierungsbestimmungswert Zacact aus dem Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg nach einer entsprechend dem Kennfeld gemäß [Fig. 17](#) erfolgenden Verschlechterungs- bzw. Alterungskorrektur berechnet. Wie in [Fig. 17](#) veranschaulicht ist, wird hierbei zur Bildung einer Toleranz für den Elementtemperatur-Regelsollwert, d.h., zur Bestimmung der Aktivierung des Elements bei einer geringfügig unter der Solltemperatur liegenden Temperatur, der Aktivierungsbestimmungswert ein wenig höher als der Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg eingestellt.

[0148] In einem Schritt **1604** wird dann ermittelt, ob die erste Impedanz Zac1 kleiner als Zacact ist oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, wird festgestellt, dass der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor aktiviert ist, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **1605** übergeht, während im gegenteiligen Fall festgestellt wird, dass der Luft-Kraftstoffverhältnis-

Sensor nicht aktiviert ist, woraufhin der Ablauf auf den Schritt **1602** übergeht. Im Schritt **1605** wird das Luft-Kraftstoffverhältnis-Aktivierungszeichen XAFSACT gesetzt.

[0149] Die vorstehend beschriebene Aktivierungsbestimmung erfolgt somit durch Berechnung des Elementtemperatur-Regelsollwerts Zactg aus der Differenz Zac3 (= Zac2 – Zac1) der bei der einen Frequenz und der anderen Frequenz erhaltenen Elementimpedanz, woraufhin der Aktivierungsbestimmungswert Zacact aus Zactg berechnet und Zacact mit der ersten Impedanz Zac1 als der Elementimpedanz Zac1 bei der hohen Frequenz verglichen wird.

[0150] [Fig. 18](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Unterprogramms zur Regelung der Heizeinrichtung, das in einem vorgegebenen Zyklus von z.B. jeweils 128 ms ausgeführt wird. Im Rahmen dieses Unterprogramms erfolgt eine PID-Regelung des Tastverhältnisses beim Einschaltvorgang der Heizeinrichtung **4** auf der Basis der Abweichung Zacerr (= Zactg – Zac1) der Impedanz Zac1 des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** bei der hohen Frequenz von dem Elementtemperatur-Regelsollwert Zactg. Zunächst wird in einem Schritt **1801** ein Proportionalanteil KP gemäß der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$KP = Zacerr \times K1 \text{ (K1: Konstante)}$$

[0151] In einem Schritt **1802** wird sodann ein Integralanteil KI gemäß der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$KI = Zacerr \times K2 \text{ (K2: Konstante)}$$

[0152] In einem Schritt **1803** wird sodann ein Differentialanteil KD gemäß der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$KD = (Zacerr/t) \times K3 \text{ (K3: Konstante)}$$

[0153] In einem Schritt **1804** wird die PID-Verstärkung KPID gemäß der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$KPID = KP + KI + KD$$

[0154] In einem Schritt **1805** wird sodann das Ausgangstastverhältnis gemäß der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$DUTY(i) = DUTY(i - 1) \times KPID$$

[0155] In einem Schritt **1806** erfolgt eine Überwachungsverarbeitung des Ausgangstastverhältnisses DUTY(i), um DUTY(i) in einem Bereich zwischen einem unteren Grenzwert KDUTYL und einem oberen Grenzwert KDUTYH zu halten, sodass $KDUTYL \leq DUTY(i) \leq KDUTYH$ ist. Wenn hierbei $KDUTYL \leq DUTY(i)$

$TY(i) \leq KDUTYH$ vorliegt, erfolgt keine Veränderung, während bei Vorliegen von $DUTY(i) < KDUTYL$ für die Verarbeitung $DUTY(i) = KDUTYL$ und bei Vorliegen von $KDUTYH < DUTY(i)$ für die Verarbeitung $DUTY(i) = KDUTYH$ festgelegt werden.

[0156] Bei der in [Fig. 18](#) veranschaulichten erfindungsgemäßen Regelung der Heizeinrichtung wird zur Verhinderung einer übermäßigen Temperatur der Heizeinrichtung **4** und des Sensorelements **2** ermittelt, ob die Impedanz Z_{ac1} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors bei der hohen Frequenz den Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} nach einer Verschlechterungs- oder Alterungskorrektur um einen vorgegebenen Wert von z.B. 5Ω ($Z_{ac1} \leq Z_{actg} - 5 \Omega$) überschreitet oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, wird das Vorliegen eines Normalzustands festgestellt, d.h., die jeweilige Temperatur der Heizeinrichtung **4** und des Sensorelements **2** ist nicht auf einen übermäßigen Temperaturwert angestiegen. Sodann wird das Unterprogramm für die Regelung der Heizeinrichtung gemäß dem Ablaufdiagramm nach [Fig. 18](#) ausgeführt. Wenn dagegen ein negatives Ergebnis erhalten wird, wird das Vorliegen eines nicht normalen Zustands festgestellt, d.h., die jeweilige Temperatur der Heizeinrichtung **4** und des Sensorelements **2** ist auf einen übermäßig hohen Temperaturwert angestiegen. In diesem Fall wird eine Verarbeitung zur Einstellung von $DUTY(i) = 0$ ausgeführt. Hierbei wird der Elementtemperatur-Regelsollwert Z_{actg} aus der Differenz Z_{ac3} ($= Z_{ac2} - Z_{ac1}$) zwischen der bei der einen Frequenz und der bei der anderen Frequenz erhaltenen Elementimpedanz berechnet.

[0157] Obwohl bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen die erste Frequenz 5 kHz und die zweite Frequenz 500 kHz betragen, ist die Erfindung nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt, sondern diese Frequenzen können in geeigneter Weise unter Berücksichtigung des Elektrolyten des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors, des Materials der Elektroden und dergleichen, der Charakteristik der Sensorschaltung, der angelegten Spannung und der Umgebungstemperatur gewählt werden. Für die erste Frequenz kann hierbei eine z.B. im Bereich von ungefähr 1 kHz bis 10 kHz liegende Frequenz gewählt werden, die die Bildung der Wechselstromimpedanz von R_1 (Bahn- bzw. Volumenwiderstand des Elektrolyten) + R_2 (Korngrenzenwiderstand des Elektrolyten) gemäß [Fig. 21](#) ermöglicht, während als zweite Frequenz eine beliebige Frequenz Verwendung finden kann, soweit sie unter der ersten Frequenz liegt und die Messung einer Impedanz bis zu $R_1 + R_2 + R_3$ (Elektroden-Übergangswiderstand bzw. Elektroden-Grenzflächenwiderstand) ermöglicht.

[0158] Obwohl bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen nur die Verwendung von zwei

Frequenzen in Betracht gezogen ist, kann auch das Anlegen von Wechselspannungen mit einer Vielzahl von z.B. 3 oder mehr Frequenzen und die Ermittlung einer Impedanz aus der Vielzahl von Sensor-Ausgangsspannungen und Sensor-Stromwerten in Betracht gezogen werden. Darüber hinaus kann natürlich auch ein Verfahren Verwendung finden, bei dem zwei optimale Impedanzen aus einer Vielzahl von Impedanzen ausgewählt werden, oder ein auf einer Vielzahl von Impedanzen basierendes statistisches Verfahren, bei dem z.B. eine Impedanz aus einem Mittelwert berechnet wird.

[0159] Nachstehend wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung im einzelnen beschrieben, bei dem die Tiefpass-Filterkonstante zwischen einer ersten (hohen) Frequenz und einer zweiten (niedrigen) Frequenz umgeschaltet wird.

[0160] [Fig. 24](#) zeigt ein Blockschaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorsteuereinheit gemäß [Fig. 1](#). Die Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorsteuereinheit gemäß [Fig. 24](#) unterscheidet sich von der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorsteuereinheit gemäß [Fig. 1](#) dadurch, dass anstelle des Tiefpassfilters **7** gemäß [Fig. 1](#) ein Tiefpassfilter (TPF) **17**, dessen Filterkonstante umschaltbar ist, sowie ein Mikrocomputer **11** vorgesehen sind, der zur Ausführung einer nachstehend näher beschriebenen Verarbeitung zur Ermittlung einer Impedanz mit hoher Genauigkeit aus der Spannung und dem Strom des Sensorelements in Abhängigkeit von der Umschaltung der Filterkonstanten dient. Weiterhin ist die Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **10** (A/FCU **10**) in einem Zustand dargestellt, bei dem interne Digital/Analog-Umsetzer und Analog/Digital-Umsetzer für die Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorschaltung **3** und die Heizsteuerschaltung **6** vorgesehen sind, während bei der hier vorgesehenen Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **20** (A/FCU **20**) ein Zustand veranschaulicht ist, bei dem der Mikrocomputer **11**, ein Digital/Analog-Umsetzer **12** sowie Analog/Digital-Umsetzer **13** bis **16** separat vorgesehen sind.

[0161] [Fig. 25](#) zeigt eine erläuternde Darstellung der Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit **20** gemäß [Fig. 24](#), die den Mikrocomputer **11**, den Digital/Analog-Umsetzer **12** und die Analog/Digital-Umsetzer **13** bis **16** umfasst und nachstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 24](#) und [Fig. 25](#) näher beschrieben wird. Der Mikrocomputer **11** umfasst eine Zentraleinheit CPU **22**, einen Festspeicher ROM **23**, einen Direktzugriffsspeicher RAM **24**, einen batteriegespeisten Sicherungs-Direktzugriffsspeicher B-RAM **25**, eine Eingabeschnittstelle **26** sowie eine Ausgabeschnittstelle **27**, die über eine Zweirichtungs-Sammelleitung **21** miteinander verbunden sind, um den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor in einer nachstehend noch näher beschriebenen Weise zu steuern bzw. zu regeln.

Hierbei ist der Digital/Analog-Umsetzer **12** mit dem Ausgabekanal **27** verbunden, um von der Zentraleinheit CPU **22** berechnete digitale Daten in eine analoge Spannung umzusetzen. Die Analog/Digital-Umsetzer **13** und **14** sind mit der Eingabeschnittstelle **26** verbunden, um die der Sensorschaltung **3** zugeführte Analogspannung und eine dem von der Strommessschaltung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors gemessenen Strom entsprechende Analogspannung jeweils in digitale Daten umzusetzen. In ähnlicher Weise setzen die Analog/Digital-Umsetzer **15** und **16** über die Heizsteuerschaltung **6** die Spannung und den Strom der Heizeinrichtung **4** in digitale Daten um. Die Zentraleinheit CPU **22** liest diese digitalen Daten als jeweilige Spannungs- und Stromwerte des Sensorelements **2** und der Heizeinrichtung **4** ein. Außerdem wird über die Ausgabeschnittstelle **27** dem Tiefpassfilter **17** (TPF **17**) ein Signal zur Umschaltung der Filterkonstanten zugeführt. Ferner wird der Heizsteuerschaltung **6** über die Ausgabeschnittstelle **27** ein Signal DUTY zur Steuerung der Energiezufuhr der Heizeinrichtung **4** zugeführt.

[0162] [Fig. 26](#) zeigt ein erläuterndes Schaltbild des Tiefpassfilters **17** (TPF **17**) gemäß [Fig. 24](#). Bei Zuführung einer Instruktion zur Änderung der Klemmenspannung der Sensorschaltung **3** von dem Mikrocomputer **11** der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuereinheit **20** wird von dem Digital/Analog-Umsetzer **12** ein Rechteckimpuls abgegeben, der dem Tiefpassfilter **17** zugeführt wird, das eine unverarbeitete Signalspannung für die Sensorschaltung **3** abgibt, bei der der Hochfrequenzanteil unterdrückt ist. Das Tiefpassfilter **17** umfasst Widerstände **31**, **32**, Kondensatoren **33**, **34**, **35**, einen Operationsverstärker **36** sowie einen Feldeffekttransistor **37**. Dem Feldeffekttransistor **37** wird von dem Mikrocomputer **11** ein Durchschalt-signal mit einer niedrigen Frequenz und ein Abschalt- oder Sperrsignal mit einer hohen Frequenz zugeführt. Auf diese Weise wird die Filterkonstante des Tiefpassfilters **17** derart umgeschaltet, dass bei Zuführung einer ersten (hochfrequenten) Wechselspannung eine kleine Zeitkonstante und bei Zuführung einer zweiten (niederfrequenten) Wechselspannung eine große Zeitkonstante erhalten wird.

[0163] [Fig. 27](#) zeigt ein erläuterndes Schaltbild der Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensorschaltung **3** gemäß [Fig. 24](#), die eine Bezugsspannungsschaltung **41**, eine erste Spannungszuführungsschaltung **42**, eine zweite Spannungszuführungsschaltung **43** sowie eine Strommessschaltung **44** umfasst. Die Bezugsspannungsschaltung **41** bildet durch Teilung einer Konstantspannung V_{DC} durch Widerstände **45**, **46** eine Spannung V_a von z.B. 0,6 V als Bezugsspannung. Die erste Spannungszuführungsschaltung **42** ist in Form einer Spannungsfolgerschaltung aufgebaut und führt die Bezugsspannung V_a einem Anschluss **47** des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** zu. Die mit dem Tiefpassfilter **17** verbundene zweite

Spannungszuführungsschaltung **43** ist wie die erste Spannungszuführungsschaltung **42** ebenfalls als Spannungsfolgerschaltung aufgebaut und führt einem anderen Anschluss **48** des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** eine Ausgangsspannung V_c ($0,3 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$) zu. Obwohl die Ausgangsspannung V_c des Tiefpassfilters **17** normalerweise 0,3 V beträgt, werden bei der Messung der Elementimpedanz des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors durch den Mikrocomputer $11 \pm 0,2 \text{ V}$ dieser Spannung von 0,3 V überlagert und abgegeben, sodass eine Spannung im Bereich von 0,1 V bis 0,5 V dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor zugeführt wird. Die Strommessschaltung **44** wird von einem Widerstand **49** gebildet und misst den über den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** fließenden Strom durch Einlesen der an den beiden Enden des Widerstands **49** auftretenden Spannung ($V_b - V_a$) über den Analog/Digital-Umsetzer **13**.

[0164] Nachstehend wird das Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement bei der Luft-Kraftstoffverhältnis-Steuereinheit gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung nach [Fig. 24](#) näher beschrieben.

[0165] [Fig. 28](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer ersten Hälfte des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung, während die [Fig. 29](#) bis [Fig. 34](#) Ablaufdiagramme der zweiten Hälfte dieses Programms zeigen. Hierbei zeigt [Fig. 29](#) ein Ablaufdiagramm einer ersten Frequenzüberlagerungsverarbeitung in dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement, während die [Fig. 30](#) und [Fig. 31](#) Ablaufdiagramme eines zur Durchführung der ersten Frequenzüberlagerungsverarbeitung erforderlichen Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, [Fig. 32](#) ein Ablaufdiagramm einer zweiten Frequenzüberlagerungsverarbeitung in dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement, und die [Fig. 33](#) und [Fig. 34](#) Ablaufdiagramme eines zur Durchführung der zweiten Frequenzüberlagerungsverarbeitung erforderlichen Unterbrechungsverarbeitungsprogramms zeigen. Die Unterprogramme gemäß den [Fig. 28](#), [Fig. 29](#) und [Fig. 32](#) werden jeweils in einem vorgegebenen Zyklus von z.B. jeweils 100 μs ausgeführt.

[0166] [Fig. 35](#) zeigt Signalverläufe zur Veranschaulichung des Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Hierbei veranschaulicht der obere Signalverlauf die Klemmenspannung des Sensorelements **2**, während der untere Signalverlauf den EIN/AUS-Zustand des Tiefpassfilter-Wählsignals zur Umschaltung der Einstellung der Filterkonstanten des Tiefpassfilters **17** veranschaulicht, wobei über der Abszisse die Zeit aufgetragen ist. Die Änderung des über das Sensorelement **2** fließenden Stroms entspricht im wesentlichen der Änderung der ange-

legten Klemmenspannung. Die durch die Signalverläufe gemäß [Fig. 35](#) veranschaulichte Berechnung der Impedanz des Sensorelements **2** erfolgt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel in der nachstehend näher beschriebenen Weise. Normalerweise werden die Elektroden des Sensorelements **2** mit einer Gleichspannung von 0,3 V beaufschlagt. Die erste (hohe) Frequenz in Form z.B. eines hochfrequenten Impulses mit einer Frequenz von 2,5 kHz wird an das Sensorelement **2** jeweils in Abständen von 128 ms angelegt, während die zweite (niedrige) Frequenz z.B. in Form eines niederfrequenten Impulses mit einer Frequenz von 500 Hz an das Sensorelement **2** jeweils nach Ablauf von 64 ms nach dem Anlegen des hochfrequenten Impulses angelegt wird. Bei der ersten (hochfrequenten) Impedanz Z_{ac1} wird ein in dem Sensorelement **2** nach dem Anlegen des hochfrequenten Impulses fließender Strom I_{m1} z.B. während einer Dauer von 85 μ s gemessen, um die nachstehende Berechnung entsprechend dem Spannungsincrement V_m ($0,3 \text{ V} - 0,1 \text{ V} = 0,2 \text{ V}$) der Sensorelement-Klemmenspannung und dem Strominkrement I_m ($I_m - I_{ms}$) durchzuführen, wobei mit I_{ms} ein in Abständen von jeweils 4 ms gemessener Grenzstrom des Sensorelements bezeichnet ist:

$$Z_{ac1} = V_m / I_m = 0,2 / (I_{m1} - I_{ms})$$

[0167] Bei der zweiten (niederfrequenten) Impedanz Z_{ac2} wird ein in dem Sensorelement nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses fließender Strom I_{m2} z.B. während einer Dauer von 0,95 ms gemessen, um die nachstehende Berechnung gemäß dem Spannungsincrement V_m ($0,3 \text{ V} - 0,1 \text{ V} = 0,2 \text{ V}$) der Sensorelement-Klemmenspannung und dem Strominkrement I_m ($I_{m2} - I_{ms}$) durchzuführen:

$$Z_{ac2} = V_m / I_m = 0,2 / (I_{m2} - I_{ms})$$

[0168] Die zeitliche EIN/AUS-Steuerung des Tiefpassfilter-Wählsignals erfolgt dahingehend, dass das Signal nach dem Anlegen des hochfrequenten Impulses für eine Dauer von z.B. 500 μ s eingeschaltet und nach Ablauf von 3 ms nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses abgeschaltet wird, das 64 ms nach Anlegen des hochfrequenten Impulses erfolgt. Während des eine Periode von 2 ms des niederfrequenten Impulses umfassenden Intervalls des Anliegens des niederfrequenten Impulses und der anschließenden Konvergenzzeit von 1 ms nimmt die Filterkonstante einen hohen Wert an.

[0169] Nachstehend wird das auf den vorstehend beschriebenen Signalverläufen beruhende Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement unter Bezugnahme auf die [Fig. 28](#) bis [Fig. 34](#) näher beschrieben.

[0170] Bei dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 28](#) entsprechen die Schritte **2801**, **2802**, **2804**, **2806** und

2807 bis **2810** im wesentlichen den Schritten **401**, **402**, **403**, **404** und **405** bis **408** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 4](#), sodass in ihnen die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt sich somit, sodass nachstehend nur auf die im Vergleich zu dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 4](#) zusätzlich vorhandenen Schritte **2803** und **2805** näher eingegangen wird.

[0171] Im Schritt **2803** wird ermittelt, ob nach dem Anlegen von V_m 500 μ s vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf den Schritt **2805** über, während im gegenteiligen Falle der Ablauf auf den Schritt **2806** übergeht. Im Schritt **2805** wird dem Tiefpassfilter **17** vom Mikrocomputer **11** ein Wählsignal zur Vergrößerung der Filterkonstanten zugeführt.

[0172] Die Ablaufdiagramme gemäß den [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) beziehen sich auf eine Verarbeitung, durch die das Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** in dem Dynamikbereich gemäß [Fig. 3](#) gehalten wird. Indem durch diese Verarbeitung das Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors in diesem Dynamikbereich gehalten wird, ist gewährleistet, dass stets der Grenzstrom des Sensorelements gemessen werden kann. Das Anlegen der dem Sensorelement **2** in Abhängigkeit von dem Luft-Kraftstoff-Gemischverhältnis der Brennkraftmaschine zuzuführenden Spannung erfolgt daher bei einem mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis von der negativen Seite (Schritt **2905**) zur positiven Seite (Schritt **3007**) und bei einem stöchiometrischen oder fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis von der positiven Seite (Schritt **2904**) zur negativen Seite (Schritt **3006**). Nachstehend wird getrennt auf die Ablaufdiagramme gemäß den [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) näher eingegangen.

[0173] Bei dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 29](#) entsprechen der Schritt **2901** sowie die Schritte **2906** bis **2908** im wesentlichen dem Schritt **501** sowie den Schritten **503** bis **505** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 5](#), sodass in diesen Schritten die gleiche Verarbeitung erfolgt. Da sich somit eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt, wird nachstehend nur auf die im Vergleich zu dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 5](#) zusätzlich vorgesehenen Schritte **2902** bis **2904** sowie auf den modifizierten Schritt **2905** näher eingegangen.

[0174] Im Schritt **2902** wird in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** beurteilt, ob ein mageres (stöchiometrisches oder fettes) Luft-Kraftstoff-Verhältnis (A/F) vorliegt oder nicht. Wenn hierbei das Vorliegen eines mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnisses ermittelt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **2903** über, in dem ein Magerzustandszeichen LFLG auf 1 gesetzt wird, woraufhin der Ablauf auf den Schritt **2905** übergeht. Wenn im Schritt **2902** dagegen festgestellt wird, dass

ein stöchiometrisches oder fettes Luft-Kraftstoff-Verhältnis vorliegt, geht der Ablauf auf einen Schritt **2904** über, bei dem die Spannung V_{m1} an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt wird. Im Schritt **2905** wird die Spannung $V_{m1} = 0,1 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt.

[0175] Bei dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 30](#) entsprechen die Schritte **3001** bis **3003** sowie der Schritt **3007** im wesentlichen den Schritten **601** bis **603** sowie dem Schritt **604** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 6](#), sodass in diesen Schritten die gleiche Verarbeitung erfolgt. Da sich demzufolge eine erneute Beschreibung erübrigt, werden lediglich die im Vergleich zu dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 6](#) zusätzlich vorgesehenen Schritte **3004** bis **3006** näher beschrieben.

[0176] Im Schritt **3004** wird ermittelt, ob im Schritt **2903** gemäß [Fig. 29](#) das Magerzustandszeichen LFLG gesetzt worden ist oder nicht. Wenn hierbei $LFLG = 1$ festgestellt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **3005** über, bei dem das Magerzustandszeichen LFLG auf 0 zurückgesetzt wird, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **3007** übergeht. Wenn dagegen im Schritt **3004** $LFLG = 0$ ermittelt wird, geht der Ablauf auf den Schritt **3006** über, bei dem die Spannung $V_{m2} = 0,1 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt wird. Im Schritt **3007** wird die Spannung $V_{m2} = 0,5 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt.

[0177] Das Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 31](#) entspricht im wesentlichen dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 7](#), da die Schritte **701** und **702** gemäß [Fig. 7](#) den Schritten **3101** und **3102** gemäß [Fig. 31](#) entsprechen, sodass in diesen Schritten die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung erübrigt sich somit.

[0178] Die Ablaufdiagramme gemäß den [Fig. 32](#) und [Fig. 33](#) beziehen sich auf eine Verarbeitung, durch die das Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** in dem Dynamikbereich gemäß [Fig. 3](#) gehalten wird. Durch diese Verarbeitung soll die Messung des Grenzstroms des Sensorelements **2** ermöglicht werden, indem das Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** in diesem Dynamikbereich gehalten wird. Das Anlegen der dem Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** in Abhängigkeit von dem Luft-Kraftstoff-Gemischverhältnis der Brennkraftmaschine zuzuführenden Spannung erfolgt somit bei einem mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis von der negativen Seite (Schritt **3205**) zur positiven Seite (Schritt **3307**), während bei einem stöchiometrischen oder fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis das Anlegen der Spannung von der positiven Seite (Schritt **3204**) zur negativen Seite (Schritt **3306**) erfolgt.

[0179] Nachstehend wird getrennt auf die Ablaufdiagramme gemäß den [Fig. 32](#) und [Fig. 33](#) näher eingegangen.

[0180] Bei dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 32](#) entsprechen die Schritte **3201**, **3205**, **3208** und **3209** im wesentlichen den Schritten **801**, **802**, **804** und **805** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 8](#), sodass in ihnen die gleiche Verarbeitung erfolgt. Da sich eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt, werden nachstehend lediglich die im Vergleich zu dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 8](#) zusätzlich vorgesehenen Schritte **3202**, **3204**, **3206** und **3207** näher beschrieben.

[0181] Im Schritt **3202** wird in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** festgestellt, ob ein mageres (stöchiometrisches oder fettes) Luft-Kraftstoff-Verhältnis (A/F) vorliegt oder nicht. Wenn das Vorliegen eines mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnisses festgestellt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **3203** über, bei dem das Magerzustandszeichen LFLG auf 1 gesetzt wird, woraufhin der Ablauf auf den Schritt **3205** übergeht. Wenn dagegen im Schritt **3202** das Vorliegen eines stöchiometrischen oder fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses festgestellt wird, geht der Ablauf auf den Schritt **3204** über, bei dem eine Spannung $V_{m1} = 0,5 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird. Im Schritt **3205** wird die Spannung $V_{m1} = 0,1 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt.

[0182] Im Schritt **3206** wird sodann ermittelt, ob seit Beginn dieses Unterprogramms in diesem Verarbeitungszyklus $(k \times 64 + 4) \text{ ms}$ (k : gradzahliger Wert 2, 4, 6...) vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf den Schritt **3207** über, während im gegenteiligen Fall das Unterprogramm beendet wird. Die in [Fig. 35](#) veranschaulichte Zeitdauer von 3 ms stellt die Zeit dar, die durch Addition einer Impulskonvergenzzeit von 1 ms zu der niederfrequenten Impulsperiode von 2 ms erhalten wird, die kürzer als die Leseperiode des Stroms I_{ms} des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors von 4 ms ist.

[0183] Im Schritt **3207** wird das im Schritt **2805** gemäß [Fig. 28](#) von dem Mikrocomputer **11** umgeschaltete Tiefpassfilter-Wählsignal abgeschaltet und dem Tiefpassfilter **17** ein Wählsignal zur Wiedereinstellung der Filterkonstanten für die Messung der hochfrequenten Impedanz zugeführt.

[0184] Bei dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 33](#) entsprechen die Schritte **3301**, **3303** und **3307** im wesentlichen den Schritten **901**, **903** und **904** des Ablaufdiagramms gemäß [Fig. 9](#), sodass in diesen Schritten die gleiche Verarbeitung erfolgt. Da sich eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt, werden nachstehend lediglich die im Vergleich zu

dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 9](#) zusätzlich vorgesehenen Schritte **3304** bis **3306** näher beschrieben.

[0185] Im Schritt **3304** wird ermittelt, ob im Schritt **3203** gemäß [Fig. 32](#) das Magerzustandszeichen LFLG gesetzt worden ist oder nicht. Wenn hierbei $LFLG = 1$ ermittelt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **3305** über, bei dem das Magerzustandszeichen LFLG auf 0 gesetzt wird, woraufhin der Ablauf auf einen Schritt **3307** übergeht. Wenn dagegen im Schritt **3304** $LFLG = 0$ festgestellt wird, geht der Ablauf auf den Schritt **3306** über, in dem die Spannung V_{m2} an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt wird. Im Schritt **3307** wird die Spannung $V_{m2} = 0,5 \text{ V}$ an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt.

[0186] Das Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 34](#) entspricht im wesentlichen dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 10](#), da die Schritte **1001** und **1002** gemäß [Fig. 10](#) den Schritten **3401** und **3402** gemäß [Fig. 34](#) entsprechen, sodass in diesen Schritten die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt sich somit.

[0187] Der Grund für das bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgende Anlegen des niederfrequenten Impulses zwischen dem nach jeweils 128 ms erfolgenden Anlegen des hochfrequenten Impulses besteht in dem hierdurch erzielbaren Ausgleich der Belastung der Zentraleinheit CPU. Als weiteres Ausführungsbeispiel kann in Betracht gezogen werden, den niederfrequenten Impuls nach Ablauf von z.B. jeweils 4 ms für die niederfrequente Impulsmessung anzulegen. Weiterhin kann der Messvorgang der zweiten (niederfrequenten) Impedanz nach jeweils 10 Messvorgängen der ersten (hochfrequenten) Impedanz durchgeführt werden. Darüber hinaus kann der Messvorgang der niederfrequenten Impedanz nur dann durchgeführt werden, wenn stabile Umgebungsbedingungen des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** vorliegen, was z.B. im Leerlauf der Brennkraftmaschine und dergleichen der Fall ist.

[0188] Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen wird die Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses mit Hilfe des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** in einem jeweiligen Intervall von 4 ms unterbrochen bzw. gesperrt, da dann der niederfrequente Impuls zur Ermittlung der niederfrequenten Impedanz angelegt wird. Dies ist auch aus dem Umstand ersichtlich, dass das Einlesen des Grenzstroms I_{ms} des Sensorelements **2** im Schritt **2807** gemäß [Fig. 28](#) in der durch den Schritt **2806** veranschaulichten Weise nach jeweils 4 ms erfolgt. Bei der Messung der niederfrequenten Impedanz bestätigte sich durch Versuche, dass ein stabileres Ausgangssignal erhalten werden kann, wenn ein in der Nähe einer Gleichspannung liegender niederfrequenter Im-

puls mit einer noch geringeren Frequenz verwendet wird. Es ist daher anzustreben, die Frequenz von 500 Hz des bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel verwendeten niederfrequenten Impulses auf z.B. 25 Hz zu verringern. Zusätzlich zu einer Zykluszeit von 20 ms vergrößert sich jedoch auch die Konvergenzzeit um z.B. 8 ms auf Grund der elektrostatischen Kapazität der Elektroden-Grenzfläche des Sensorelements **2**, sodass das Ausgangssignal des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors während einer Gesamtdauer von 28 ms zur Messung der niederfrequenten Impedanz dient. Dieses Zeitintervall muss somit als Unterbrechungszeit oder Sperrzeit bei der Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses betrachtet werden. Wenn daher in diesem Zeitintervall der während der Zuführung des niederfrequenten Impulses erhaltene Messwert aufrecht erhalten und zur Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verwendet wird, führt dies zu einer ungenauen Einstellung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses, was eine höhere Abgas-Schadstoffemission der Brennkraftmaschine zur Folge haben kann.

[0189] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 36](#) bis [Fig. 38](#) sowie [Fig. 39](#) und [Fig. 40](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben, das sich auf eine Verarbeitung zur Lösung dieses Problems bezieht, nämlich auf die Messung der niederfrequenten Impedanz des Sensorelements **2** durch Anlegen eines niederfrequenten Impulses mit einer Frequenz von z.B. 25 Hz an das Sensorelement **2** bei gleichzeitiger Verringerung der niederfrequenten Impedanz-Messzeit des Sensorelements **2**, d.h., auf eine Verarbeitung zur Verringerung der Unterbrechungs- oder Sperrzeit bei der Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses durch den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor während der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses.

[0190] [Fig. 36](#) veranschaulicht den Ausgangssignalverlauf des Sensorelements bei der niederfrequenten Impedanzmessung gemäß dem 1-Punkt-Messverfahren, wobei [Fig. 36A](#) die Klemmenspannung des Sensorelements zeigt, während in [Fig. 36B](#) der Strom des Sensorelements dargestellt ist. Wie in [Fig. 36](#) veranschaulicht ist, wird dem Sensorelement **2** über das Tiefpassfilter **17** zur Zeit t_1 der positive Teil des niederfrequenten Impulses mit einer Frequenz von 25 Hz zugeführt, während sodann nach Ablauf von 1 ms zur Zeit t_2 der Strom des Sensorelements **2** gemessen wird. Nach Ablauf von 1,5 ms nach der Zeit t_1 wird zur Zeit t_3 der negative Teil des niederfrequenten Impulses dem Sensorelement **2** über das Tiefpassfilter **17** zugeführt, wobei nach Ablauf von 3 ms nach der Zeit t_1 die Zuführung des negativen Teils des niederfrequenten Impulses über das Tiefpassfilter **17** zur Zeit t_4 beendet wird. Die Klemmenspannung des Sensorelements **2** konvergiert nach der Zeit t_4 innerhalb von ungefähr 1 ms.

[0191] Wenn nach der zur Zeit t_1 über das Tiefpassfilter **17** erfolgenden Zuführung des positiven Teils des niederfrequenten Impulses zu dem Sensorelement **2** der negative Teil des niederfrequenten Impulses zur Zeit t_3 nicht angelegt wird, konvergiert die Klemmenspannung des Sensorelements **2** auf der positiven Seite der Impulsdauer zur Zeit t_{10} nach Ablauf von 20 ms nach der Zeit t_1 bei einem Wert von 0,5 V, der erhalten wird, indem die Inkrementspannung V (0,2 V) zu der zum Zeitpunkt t_1 vorliegenden Klemmenspannung von 0,3 V hinzuaddiert wird. Die niederfrequente Impedanz Z_{ac2} wird im Schritt **3208** in Abhängigkeit von dem zur Zeit t_2 gemessenen Stromwert und der zur Zeit t_2 gemessenen Klemmenspannung des Sensorelements **2** berechnet. Obwohl bei diesem 1-Punkt-Messverfahren eine große Zeitkonstante des angelegten niederfrequenten Impulses vorliegt, kann die Messzeit für die niederfrequente Impedanz des Sensorelements **2** verringert werden, indem das Anlegen des niederfrequenten Impulses zur Zeit t_4 beendet wird. Der Stromwert des Sensorelements **2** wird jedoch zur Zeit t_2 vor der Konvergenzzeit t_{10} des angelegten niederfrequenten Impulses gemessen, was zu einer instabilen Messung und einer unzureichenden Messgenauigkeit der niederfrequenten Impedanz führt. Zur Lösung dieses Problems ist daher ein Verfahren zur Berechnung des Stromwerts des Sensorelements **2** zum Zeitpunkt der Konvergenz des angelegten niederfrequenten Impulses anzustreben, worauf im Rahmen des nachstehend beschriebenen 2-Punkt-Messverfahrens näher eingegangen wird.

[0192] Fig. 37 zeigt den Ausgangssignalverlauf des Sensorelements bei einer auf dem 2-Punkt-Messverfahren beruhenden niederfrequenten Impedanzmessung, wobei [Fig. 37A](#) die Klemmenspannung des Sensorelements zeigt, während in [Fig. 37B](#) der Strom des Sensorelements dargestellt ist. [Fig. 38](#) zeigt eine vergrößerte Darstellung von [Fig. 37B](#). Wie in den [Fig. 37](#) und [Fig. 38](#) dargestellt ist, wird vor der Zeit t_1 der Strom AF_{11} des Sensorelements **2** bei jeweils 4 ms gemessen. So wird z.B. der Strom AF_{11} des Sensorelements **2** zur Zeit t_0 gemessen, während zur Zeit t_1 der positive Teil des niederfrequenten Impulses mit einer Frequenz von 25 Hz über das Tiefpassfilter **17** dem Sensorelement **2** zugeführt wird, woraufhin zu den Zeiten t_2 und t_3 , wenn jeweils 1 ms bzw. 2 ms vergangen sind, die Ströme AF_{12} und AF_{13} des Sensorelements gemessen werden. Zur Zeit t_4 , bei der 2,5 ms seit der Zeit t_1 vergangen sind, wird der negative Teil des niederfrequenten Impulses über das Tiefpassfilter **17** dem Sensorelements **2** zugeführt, während zur Zeit t_5 , bei der nach der Zeit t_1 5 ms vergangen sind, die über das Tiefpassfilter **17** erfolgende Zuführung des negativen Teils des niederfrequenten Impulses beendet wird. Die Klemmenspannung des Sensorelements **2** konvergiert dann nach der Zeit t_5 innerhalb von ungefähr 1 ms.

[0193] Wenn nach dem zur Zeit t_1 über das Tiefpassfilter **17** erfolgenden Anlegen des positiven Teils des niederfrequenten Impulses mit der Frequenz von 25 Hz an das Sensorelement **2** das Anlegen des negativen Teils des niederfrequenten Impulses zur Zeit t_4 nicht erfolgt, konvergiert die Klemmenspannung des Sensorelements **2** zur positiven Seite der Impulsdauer des niederfrequenten Impulses nach Ablauf von 20 ms nach der Zeit t_1 zur Zeit t_{10} bei einem Wert von 0,5 V, der durch Addition der Inkrementspannung V (0,2 V) zu der zum Zeitpunkt t_1 vorliegenden Klemmenspannung von 0,3 V erhalten wird. Obwohl auch bei diesem 2-Punkt-Messverfahren eine große Zeitkonstante des angelegten niederfrequenten Impulses vorliegt, kann die Messzeit für die niederfrequente Impedanz des Sensorelements **2** verringert werden, indem das Anlegen des niederfrequenten Impulses bei der Zeit t_5 beendet wird. Durch Verwendung der zu den Zeiten t_0 , t_2 und t_3 lange vor der Konvergenzzeit t_{10} des angelegten niederfrequenten Impulses gemessenen Stromwerte AF_{11} (AF_{11}), AF_{12} (AF_{12}) und AF_{13} (AF_{13}) des Sensorelements **2** lässt sich der zur Zeit t_{10} konvergierende Stromwert AF_{10} des Sensorelements **2** in der nachstehend beschriebenen Weise berechnen. Der über das Sensorelement **2** nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses an das Sensorelement **2** fließende Strom lässt sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$i = I_0 + (I_s - I_0)e^{(-t/T)}$$

wobei i den Elementstromwert nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses, I_0 den Anfangsphasen-Stromwert vor dem Anlegen des niederfrequenten Impulses, I_s den Konvergenzstromwert, t die nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses vergangene Zeit und T die Zeitkonstante CR des Tiefpassfilters bezeichnen. Wenn die Stromwerte AF_{11} , AF_{12} und AF_{13} des Sensorelements **2** in die vorstehende Gleichung eingesetzt werden, lassen sich folgende zusammengehörigen Gleichungen erhalten:

$$AF_{12} = AF_{11} + (I_s - AF_{11})e^{(-t_1/T)}$$

$$AF_{13} = AF_{11} + (I_s - AF_{11})e^{(-t_2/T)}$$

[0194] Durch Lösen der vorstehenden zusammengehörigen Gleichungen kann dann der Konvergenzstromwert I_s erhalten werden. Die niederfrequente Impedanz Z_{ac2} wird sodann in der vorstehend in Verbindung mit dem Schritt **3208** gemäß [Fig. 32](#) beschriebenen Weise in Abhängigkeit von dem Stromwert I_s des Sensorelements **2** und dem Inkrement V der Klemmenspannung berechnet. Bei Verwendung dieses 2-Punkt-Messverfahrens ergibt sich eine höhere Messgenauigkeit für die niederfrequente Impedanz.

[0195] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf

die [Fig. 39](#), [Fig. 40](#) und [Fig. 41](#) bis [Fig. 44](#) eine Verarbeitung zur Verringerung der Konvergenzzeit t_{1P} des Sensorelementstroms nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses näher beschrieben.

[0196] [Fig. 39](#) zeigt hierbei einen Sensorstromverlauf bei Anlegen des niederfrequenten Impulses, während [Fig. 40](#) einen Sensorstromverlauf veranschaulicht, der sich ergibt, wenn direkt nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses ein hochfrequenter Impuls angelegt wird. Wie [Fig. 40](#) zu entnehmen ist, ist offensichtlich die Zeit t_{HP} , während der der Strom des Sensorelements **2** nach der Umschaltung vom Anlegen des niederfrequenten Impulses auf das Anlegen des hochfrequenten Impulses konvergiert, kürzer als die in [Fig. 39](#) veranschaulichte Zeit t_{LP} , während der der Strom des Sensorelements **2** nach der Beendigung des Anlegens des niederfrequenten Impulses konvergiert. Es ist somit ersichtlich, dass durch erneute Durchführung der ersten (hohen) Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der zweiten (niedrigen) Frequenz-Überlagerungsverarbeitung die Konvergenzzeit t_{LP} des Sensorelementstroms nach dem Anlegen des niederfrequenten Impulses verringert werden kann. Nachstehend wird diese Verarbeitung näher beschrieben.

[0197] [Fig. 41](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement, die zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist. Das Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 41](#) entspricht dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 32](#) mit Ausnahme des Schrittes **3207**. Hierbei entsprechen die Schritte **4101**, **4106**, **4107** und **4108** gemäß [Fig. 41](#) den Schritten **3201** bis **3206**, **3208** und **3209** gemäß [Fig. 32](#), in denen die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt sich somit.

[0198] [Fig. 42](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines dritten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur erneuten Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist. Das Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 42](#) entspricht dem Ablaufdiagramm gemäß [Fig. 33](#) mit Ausnahme des Schrittes **3305**. Hierbei entsprechen die Schritte **4201** bis **4204**, **4205** und **4206** gemäß [Fig. 42](#) den Schritten **3301** bis **3304**, **3307** und **3306** gemäß [Fig. 33](#), in denen die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt sich somit.

[0199] [Fig. 43](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines vierten Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten

Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist. Hierbei entsprechen die Schritte **4301** und **4302** gemäß [Fig. 43](#) den Schritten **3401** und **3402** gemäß [Fig. 34](#), in denen die gleiche Verarbeitung erfolgt. Eine erneute Beschreibung dieser Schritte erübrigt sich somit.

[0200] [Fig. 44](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines fünften Unterbrechungsverarbeitungsprogramms, das zur Ausführung der ersten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung direkt nach der Ausführung der zweiten Frequenz-Überlagerungsverarbeitung erforderlich ist. Zunächst wird in einem Schritt **4401** ermittelt, ob seit Beginn der vierten Zeitgeber-Unterbrechung 2 ms vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **4402** über, während im gegenteiligen Fall der Ablauf zum Schritt **4401** zurückgeführt wird.

[0201] Im Schritt **4402** wird ermittelt, ob im Schritt **4103** gemäß [Fig. 41](#) das Magerzustandszeichen LFLG gesetzt worden ist oder nicht. Wenn hierbei LFLG = 1 festgestellt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **4403** über, bei dem $V_{m1} = 0,1$ V an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt wird. Wenn im Schritt **4402** dagegen LFLG = 0 ermittelt wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **4404** über, in dem $V_{m1}' = 0,5$ V an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor **1** angelegt wird.

[0202] Sodann wird in einem Schritt **4405** das Magerzustandszeichen LFLG auf 0 zurückgesetzt, während in einem Schritt **4406** das Tiefpassfilter-Wählsignal abgeschaltet wird und der Ablauf sodann auf einen Schritt **4407** übergeht. Im Schritt **4407** wird ermittelt, ob seit Beginn der vierten Zeitgeber-Unterbrechung 3 ms vergangen sind oder nicht. Wenn hierbei das Ergebnis JA erhalten wird, geht der Ablauf auf einen Schritt **4408** über, bei dem eine Spannung von $V_{m2} = 0,5$ V an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, während im gegenteiligen Falle der Ablauf auf einen Schritt **4409** übergeht, bei dem eine Spannung $V_{m2}' = 0,1$ V an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird. Sodann geht der Ablauf auf einen Schritt **4410** über, bei dem eine Spannung $V_m = 0,3$ V an den Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor angelegt wird, um zum normalen Messzustand des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses zurückzukehren.

[0203] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf [Fig. 45](#) ein Ablaufdiagramm für ein Programm zur Einstellung der Regelverstärkung für die Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses näher beschrieben. Da bei niedrigen Temperaturen des Sensorelements **2** ein verzögertes Ansprechverhalten des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors **1** bei der Abgabe des Ausgangssignals auftritt, wird bei diesem Programm bei Ausführung der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf der Basis der niederfrequenten Impedanz

(bei dem Ergebnis JA im Schritt **4501**) die jeweilige Verstärkung des Proportionalanteils P, des Integralanteils I und des Differentialanteils D bei der PID-Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im Schritt **4502** auf den Verstärkungswert "L" (niedrig) eingestellt. Wenn das Zustandszeichen XLMTAF gesetzt ist, das angibt, dass eine Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf der Basis des Grenzstroms nach der Aktivierung des Sensorelements erfolgt (wenn im Schritt **4501** das Ergebnis NEIN und im Schritt **4503** das Ergebnis JA erhalten wird), werden dagegen die jeweiligen Verstärkungsfaktoren der vorstehend beschriebenen PID-Regelung im Schritt **4504** auf den Verstärkungswert "H" (hoch) gesetzt. Das im Schritt **4501** angegebene Zustandszeichen XIMPAF wird gesetzt, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis mit Hilfe der niederfrequenten Impedanz Zac2 des Sensorelements **2** berechnet wird. Wenn im Schritt **4501** und im Schritt **4503** jeweils das Ergebnis NEIN erhalten wird, liegt die Sensorelementtemperatur unter 500°C, sodass keine Messung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses erfolgen kann. In diesem Fall wird somit in einem Schritt **4505** ein Regelsperrzeichen XPHAF zur Verhinderung einer Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf den Wert "1" gesetzt. Nachdem die Regelverstärkung für die Luft-Kraftstoff-Verhältnisregelung im Schritt **4502** auf "L" oder im Schritt **4504** auf "H" gesetzt worden ist, wird das eine Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verhindernde Regelsperrzeichen XPHAF in einem Schritt **4506** auf 0 zurückgesetzt.

[0204] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 46](#) und [Fig. 47](#) ein Impedanzberechnungsprogramm gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben, bei dem die Berechnung der niederfrequenten Impedanz auf einen vorgegebenen Betriebszustand wie eine Leerlaufzeit begrenzt ist, um die Unterbrechungszeit der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf Grund der Verarbeitung der niederfrequenten Impedanzberechnung minimal zu halten und die Belastung der Zentraleinheit CPU zu verringern.

[0205] [Fig. 46](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer ersten Hälfte dieses Impedanzberechnungsprogramms für das Sensorelement gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei der Bezeichnung der Schritte gemäß [Fig. 46](#) sind nur die ersten beiden Ziffern 28 der Schrittzahlen gemäß [Fig. 28](#) durch [Fig. 46](#) ersetzt worden, wobei lediglich der Schritt **4603A** gemäß [Fig. 46](#) zwischen die Schritte **2803** und **2805** gemäß [Fig. 28](#) eingefügt worden ist. Der Schritt **4603A** wird zur Durchführung der Bestimmung ausgeführt, ob eine Berechnung der niederfrequenten Impedanz erfolgt ist oder nicht. Hierbei hängt diese Bestimmung davon ab, ob die Verschlechterungskorrekturbedingung für das Sensorelement **2** vorliegt oder nicht. Das Vorliegen dieser Verschlechterungskorrekturbedingung wird in Ab-

hängigkeit von der Erfüllung oder Nichterfüllung sämtlicher nachstehender Bedingungen 1 bis 5 bestimmt, die sich auf das Erreichen eines Warmlaufzustands der Brennkraftmaschine und eine verringerte Änderung der Abgas-Geschwindigkeit beziehen, wobei der Ablauf bei dem Ergebnis JA auf einen Schritt **4605** übergeht, während im gegenteiligen Falle der Ablauf auf einen Schritt **4606** übergeht:

1. Drehzahl der Brennkraftmaschine $NE < 1000 \text{ min}^{-1}$
2. Fahrzeuggeschwindigkeit $VS \leq 3 \text{ Km/h}$
3. Leerlaufschalter EIN
4. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F liegt bei der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses im geschlossenen Regelkreis in der Nähe des Werts 14,5
5. Kühlmitteltemperatur der Brennkraftmaschine $THW \geq 85^\circ\text{C}$ (Warmlaufzustand der Brennkraftmaschine)

[0206] Die Ausführung dieses ersten (hohen) Frequenzimpedanzberechnungsprogramms erfolgt nach dem Schritt **4601** entsprechend den [Fig. 29](#) bis [Fig. 31](#).

[0207] [Fig. 47](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer zweiten (niedrigen) Frequenz-Überlagerungsverarbeitung bei dem Impedanzberechnungsprogramm für das Sensorelement gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei den Schrittzahlen gemäß [Fig. 47](#) sind nur die ersten beiden Ziffern **32** der Schrittzahlen gemäß [Fig. 32](#) durch [Fig. 47](#) ersetzt, wobei lediglich der Schritt **4700** gemäß [Fig. 47](#) vor dem Schritt **3201** gemäß [Fig. 32](#) und dem Schritt **2901** gemäß [Fig. 29](#) eingefügt ist. Der Schritt **4700** dient der Bestimmung, ob die Berechnung der niederfrequenten Impedanz erfolgt ist oder nicht, wobei diese Bestimmung in Abhängigkeit vom Vorliegen oder Nichtvorliegen der Verschlechterungskorrekturbedingung des Sensorelements **2** wie im Falle des Schritts **4603A** gemäß [Fig. 46](#) erfolgt. Im Schritt **4700** wird somit ermittelt, ob sämtliche Verschlechterungskorrekturbedingungen erfüllt sind oder nicht. Wenn das Ergebnis dieser Bestimmung JA lautet, geht der Ablauf auf den Schritt **4701** über, während im gegenteiligen Falle dieses Unterprogramm beendet wird.

[0208] Die vorstehende Beschreibung stellt keine Beschränkung der beanspruchten Erfindung dar, wobei die beschriebene Kombination von Merkmalen zur Lösung der der Erfindung zu Grunde liegenden Aufgabe nicht unbedingt erforderlich sein muss.

[0209] Bei der vorstehend beschriebenen Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor (**1**) wird somit bei einem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (**2**) ein der Konzentration von Sauerstoff in einem Gas entsprechender Strom gemessen, indem eine Spannung an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (**2**) angelegt wird. Die Steuer-

einrichtung ermittelt eine einer jeweiligen Frequenz entsprechende Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) durch Anlegen von Wechselspannungen mit einer Vielzahl von Frequenzen an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) und analysiert die von einer Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) ermittelten jeweiligen Wechselstromimpedanzen zur Berechnung eines eine Änderung der Charakteristik des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) angehenden Parameters, um auf diese Weise eine Steuerung des Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensors (1) durchzuführen.

Patentansprüche

1. Steuereinrichtung für einen Luft-Kraftstoffverhältnis-Sensor (1), bei dem ein Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) einen der Konzentration von Sauerstoff in einem Gas entsprechenden Strom erzeugt, wenn eine Spannung an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) angelegt wird, mit einer Einrichtung (10, 20) zur Ermittlung einer Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2), die einer jeweiligen Frequenz aus einer Vielzahl von Frequenzen entspricht, mit denen das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) beaufschlagt wird, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Analysieren der ermittelten Wechselstromimpedanz entsprechend der Vielzahl von Frequenzen zur Berechnung eines Parameters, der eine Änderungszeit einer Charakteristik des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) bezeichnet.

2. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (10, 20) zur Bestimmung eines Störzustands des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) in Abhängigkeit von dem von der Parameter-Recheneinrichtung (10, 20) berechneten Parameter.

3. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (10, 20) zur Berechnung des Luft-Kraftstoffverhältnisses des Gases auf der Basis des Stroms und des Parameters.

4. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (10, 20), die in Abhängigkeit von dem Parameter bestimmt, ob sich das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) in einem aktivierten Zustand befindet.

5. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (10, 20) zur Steuerung der Temperatur des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) durch Zuführung von Energie zu einer in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) angeordneten Heizeinrichtung in Abhängigkeit von dem Parameter.

6. Steuereinrichtung nach zumindest einem der

Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) Wechselspannungen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen anlegt, die aus der Vielzahl der Frequenzen ausgewählt sind.

7. Steuereinrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Anlegen der Wechselspannungen an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) durch die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) kurzzeitig erfolgt.

8. Steuereinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter-Recheneinrichtung (10, 20) den Parameter auf der Basis einer Differenz zwischen den Wechselstromimpedanzwerten des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) berechnet, die zwei unterschiedlichen Frequenzen entspricht, die aus der Vielzahl von Frequenzen ausgewählt sind.

9. Steuereinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Frequenz der beiden Frequenzen aus einem Frequenzbereich ausgewählt wird, in dem der Widerstandswert der elektrolytischen Beschaffenheit des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) ermittelt wird, und dass eine zweite Frequenz der beiden Frequenzen aus einem Frequenzbereich ausgewählt wird, in dem eine einen Elektroden-Übergangswiderstand des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) umfassende Impedanz ermittelt wird.

10. Steuereinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) mit der Vielzahl von Frequenzen in einer vorgegebenen Reihenfolge beaufschlagt.

11. Steuereinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) die Wechselspannungen über ein Filter mit einer variablen Filterkonstanten anlegt.

12. Steuereinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Spannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) ermittelten Stromwertes eine Filterkonstante des Filters auf der Basis dieser Frequenz einstellt.

13. Steuereinrichtung nach zumindest einem der

Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) ermittelten Stromwertes eine Umschaltung auf eine Wechselspannung mit einer in Bezug auf die vorgegebene Frequenz unterschiedlichen Frequenz verhindert.

14. Steuereinrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) während eines Zeitintervalls vom Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) bis zur Beendigung des Anlegens der Spannung und bis zum Vorliegen einer Konvergenz eines bei dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) ermittelten Stromwertes eine Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Gases verhindert.

15. Steuereinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Luft-Kraftstoffverhältnis-Recheneinrichtung (10, 20) das Luft-Kraftstoff-Verhältnis auf der Basis eines Wertes der Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) berechnet, der einer höchsten Frequenz aus der Vielzahl von Frequenzen entspricht.

16. Steuereinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktivierungs-Bestimmungseinrichtung (10, 20) auf der Basis einer der höchsten Frequenz entsprechenden Wechselstromimpedanz des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) bestimmt, ob ein Aktivierungszustand des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) vorliegt.

17. Steuereinrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 6, 8, 11, 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) beim Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz über eine einzige Periode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) während einer ersten Halbperiode der Wechselspannung auf eine zweite Halbperiode umschaltet, das Anlegen der Wechselspannung während der zweiten Halbperiode beendet und zur Berechnung der Wechselstromimpedanz die in der ersten Halbperiode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) angelegte Spannung und den in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) fließenden Strom misst.

18. Steuereinrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 6, 8, 11, 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung

(10, 20) beim Anlegen einer Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz über eine einzige Periode an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) während einer ersten Halbperiode der Wechselspannung auf eine zweite Halbperiode umschaltet, das Anlegen der Wechselspannung während der zweiten Halbperiode beendet und einen in dem Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) fließenden Strom in der ersten Halbperiode zumindest zweimal misst, um einen durch das Anlegen der Wechselspannung hervorgerufenen konvergierenden Stromwert des Sauerstoffkonzentrations-Messelements (2) zur Berechnung einer Wechselstromimpedanz aus der Wechselspannung und dem konvergierenden Stromwert zu berechnen.

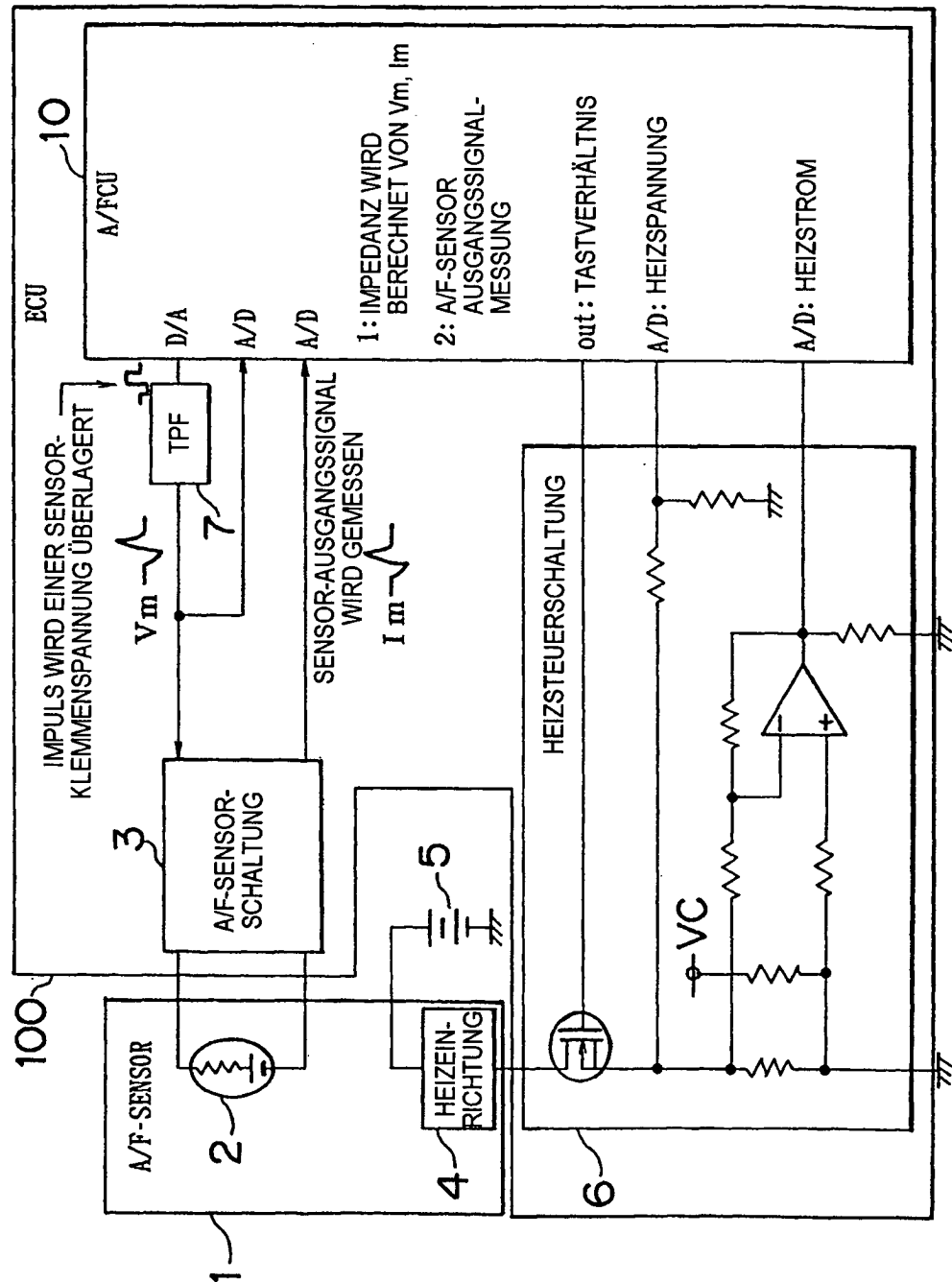
19. Steuereinrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 6, 8, 11, 12, 13, 14, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) unmittelbar nach dem über eine einzige Periode erfolgenden Anlegen einer Wechselspannung mit einer niedrigen Frequenz an das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) eine Wechselspannung mit einer höheren Frequenz als die niedrige Frequenz über eine einzige Periode anlegt.

20. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzermittlungseinrichtung (10, 20) nur dann eine Impedanzermittlung bei einer niedrigen Frequenz vornimmt, wenn die Gas-Umgebungsbedingungen, in denen sich das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) befindet, stabilisiert sind.

21. Steuereinrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Zustand, bei dem stabilisierte Gas-Umgebungsbedingungen für das Sauerstoffkonzentrations-Messelement (2) vorliegen, auf einen Zustand bezieht, bei dem eine Brennkraftmaschine, bei der das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unter Verwendung des Sauerstoffkonzentrations-Messelements gesteuert wird, warmgelaufen ist, so dass nur geringe Veränderungen der Abgas-Geschwindigkeit auftreten.

Es folgen 41 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



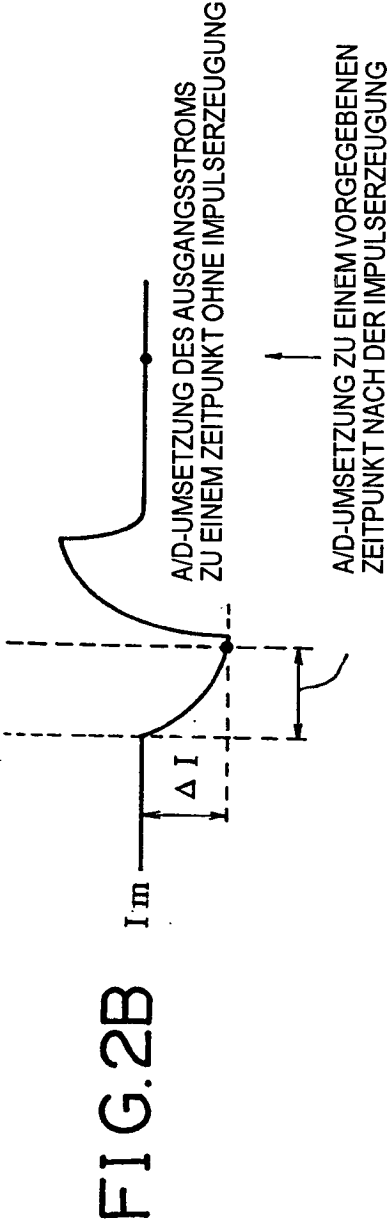
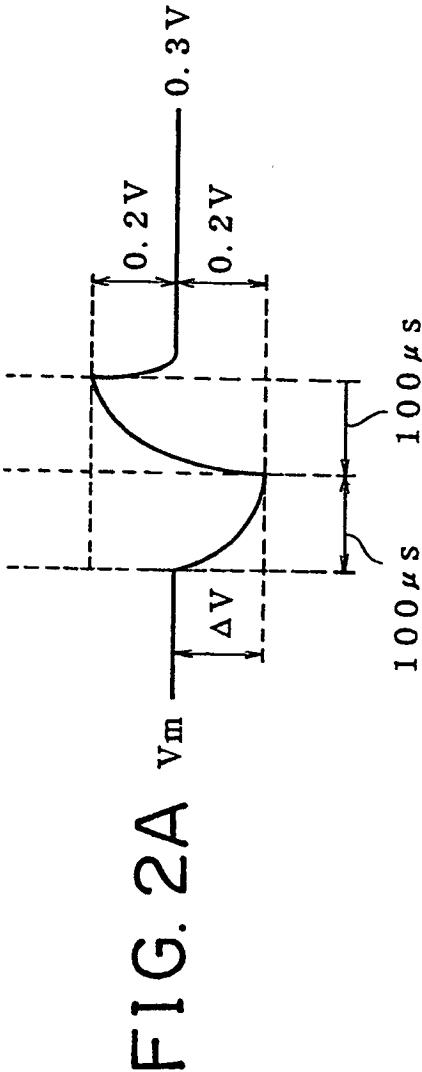


FIG. 3

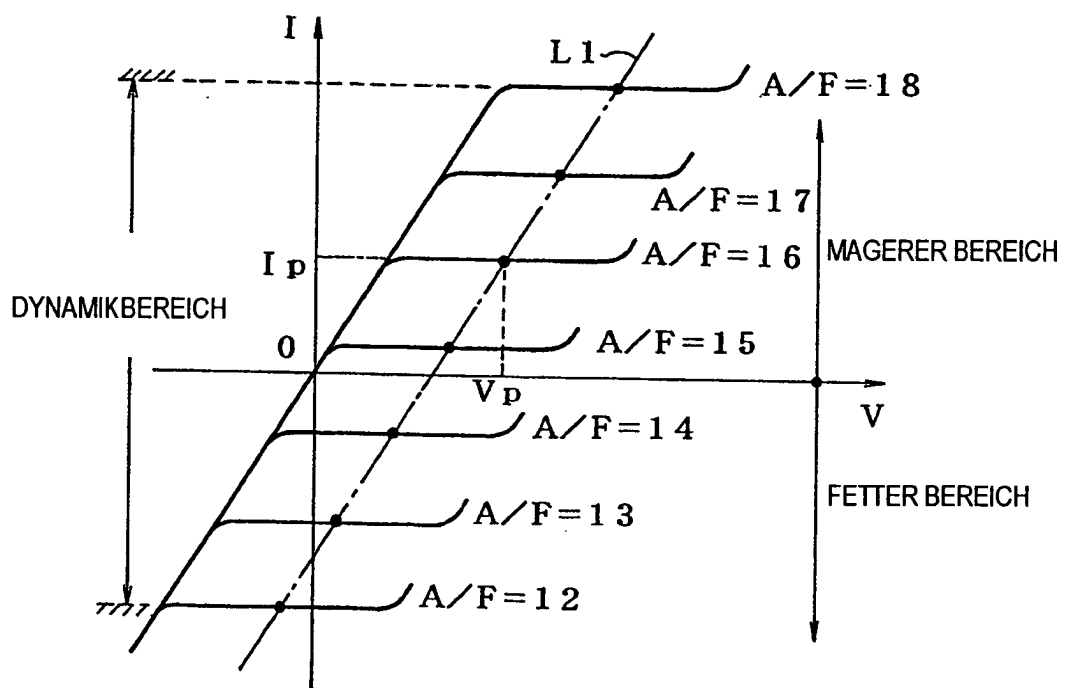


FIG. 4

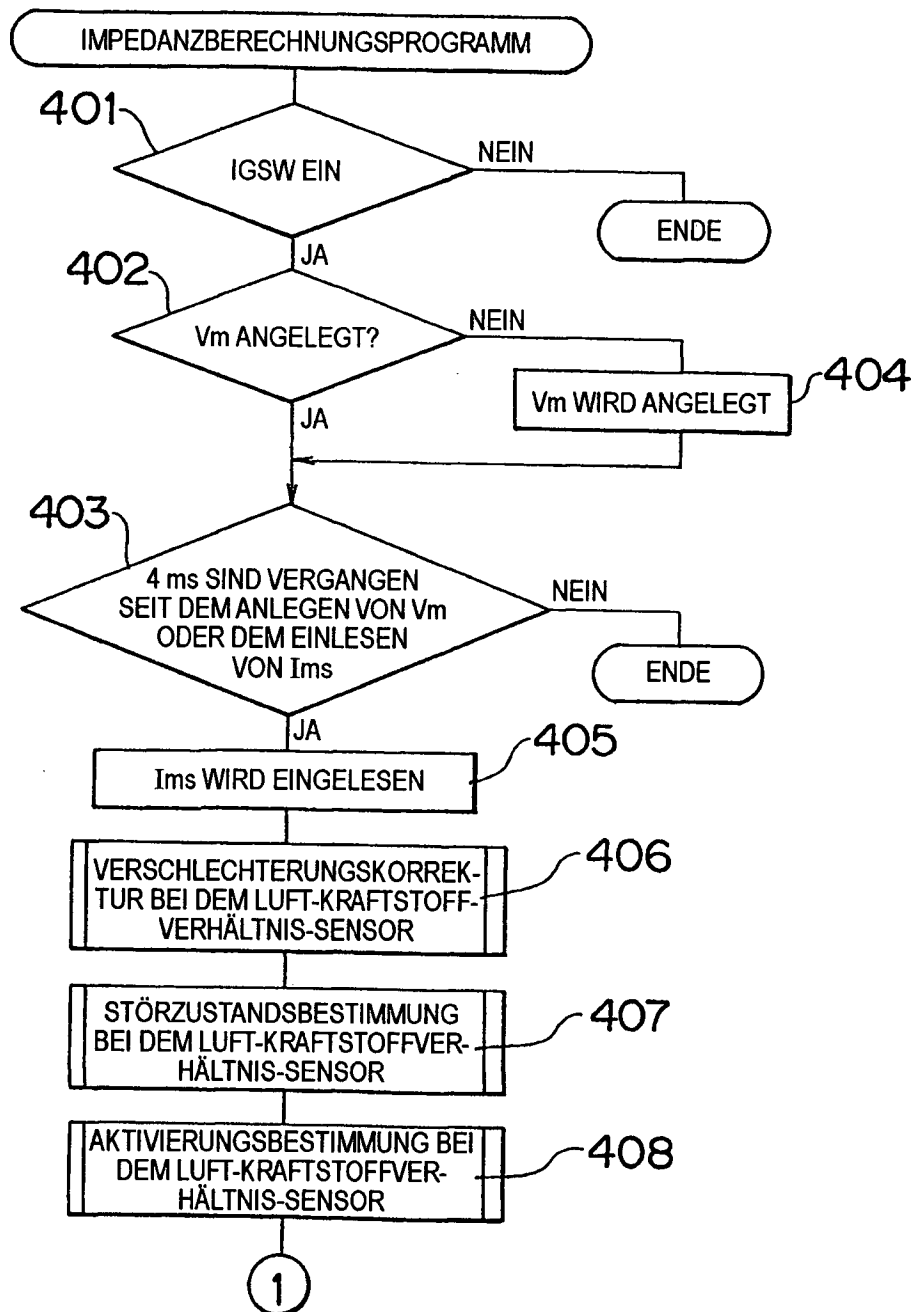


FIG. 5

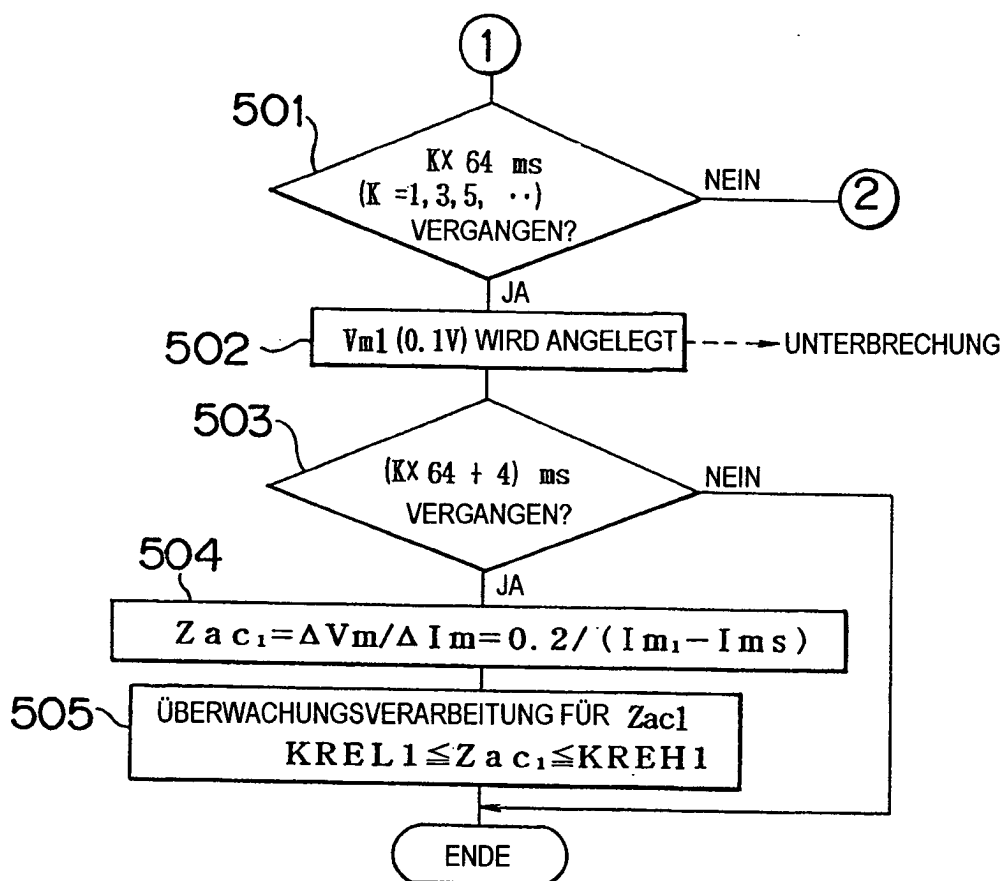


FIG. 6

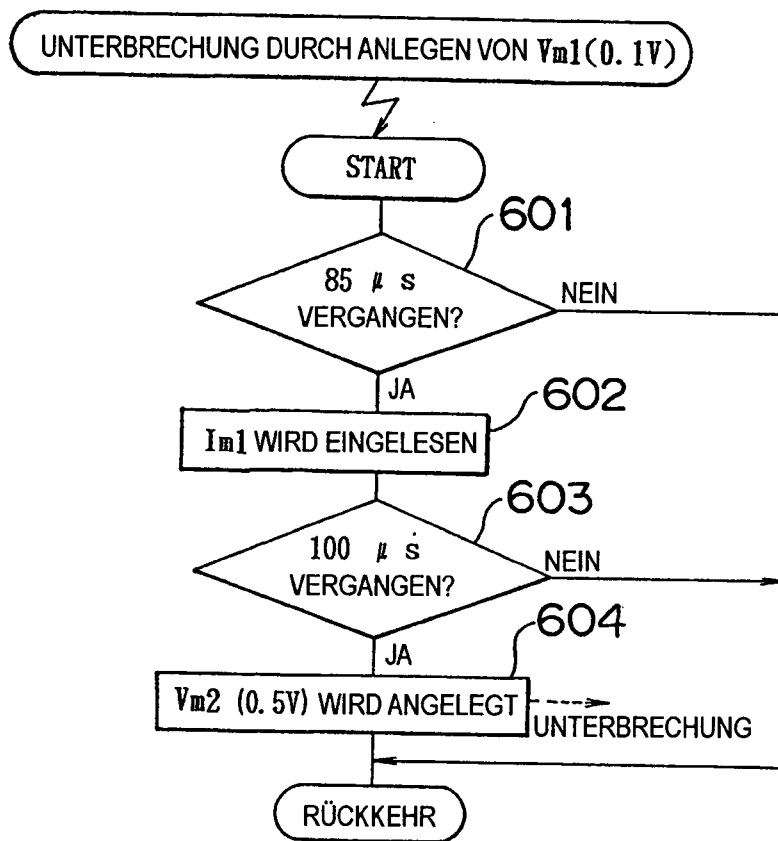


FIG. 7

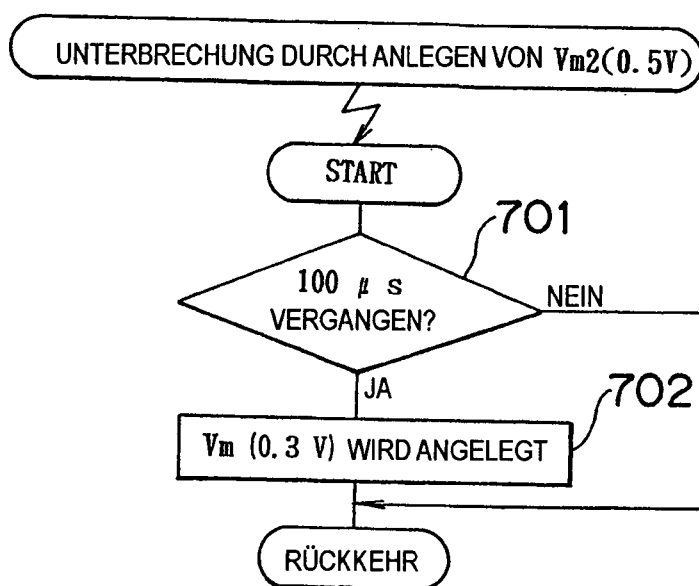


FIG. 8

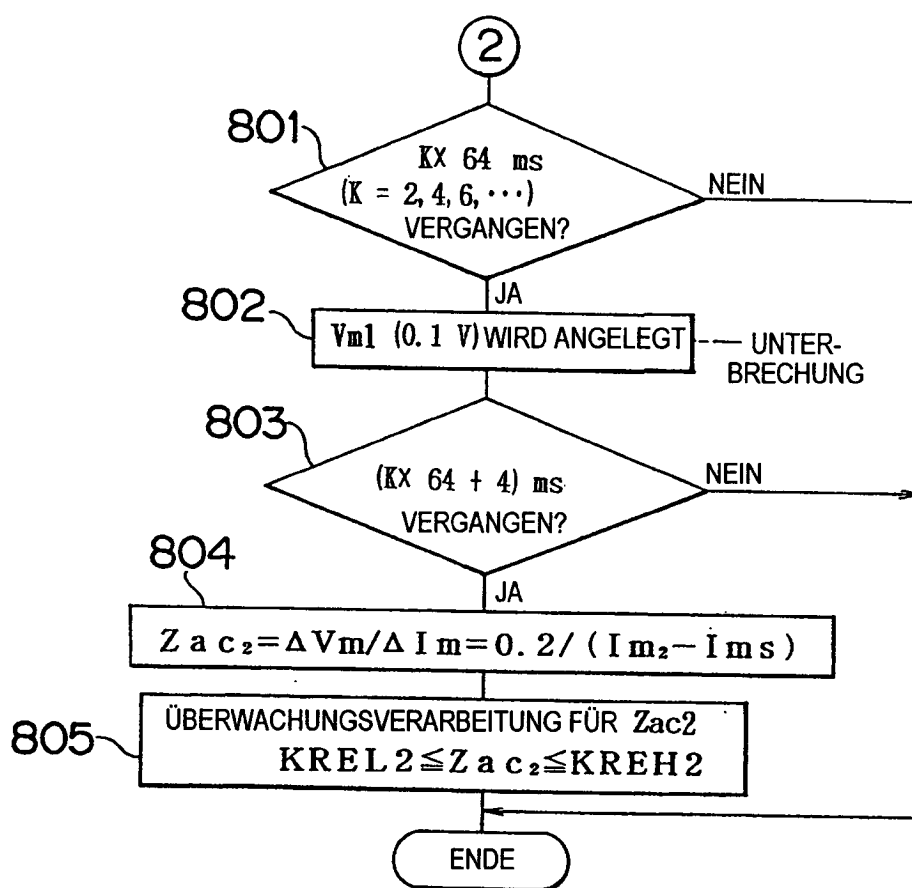


FIG. 9

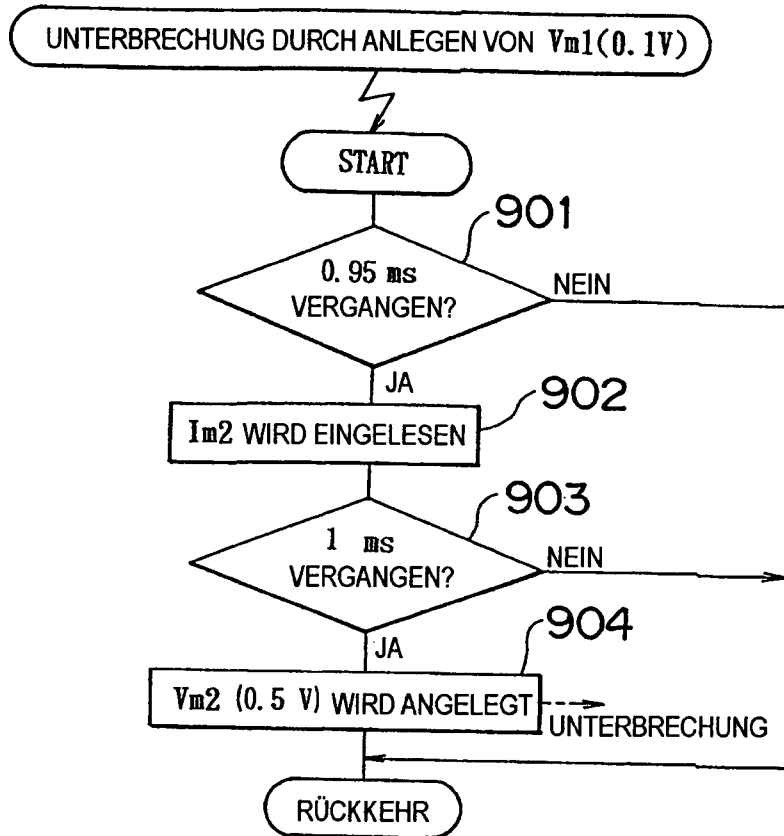


FIG. 10

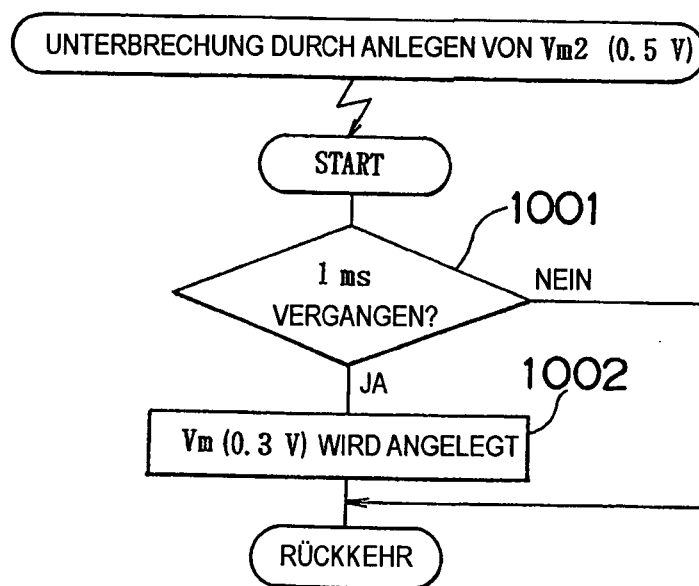
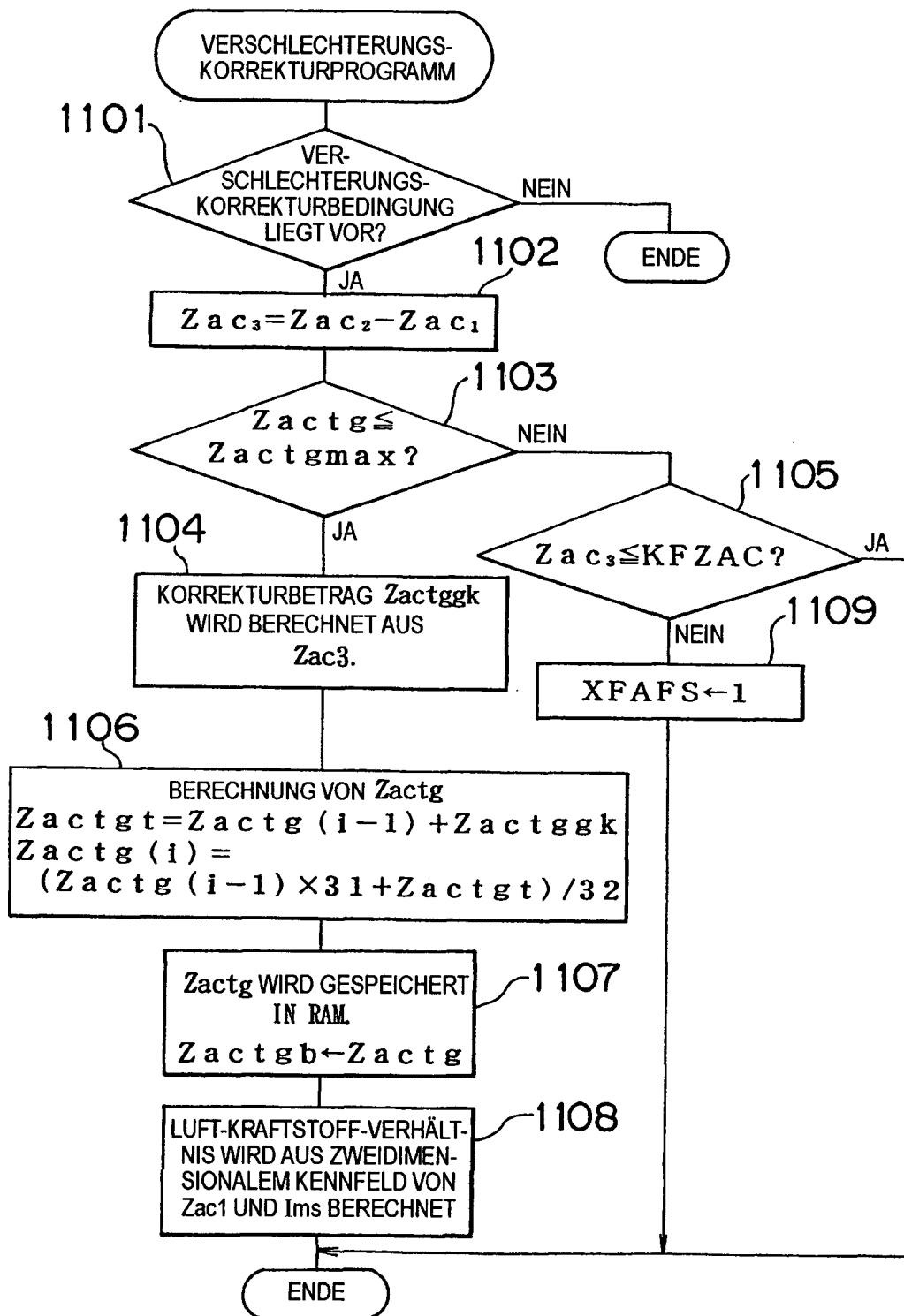


FIG. 11



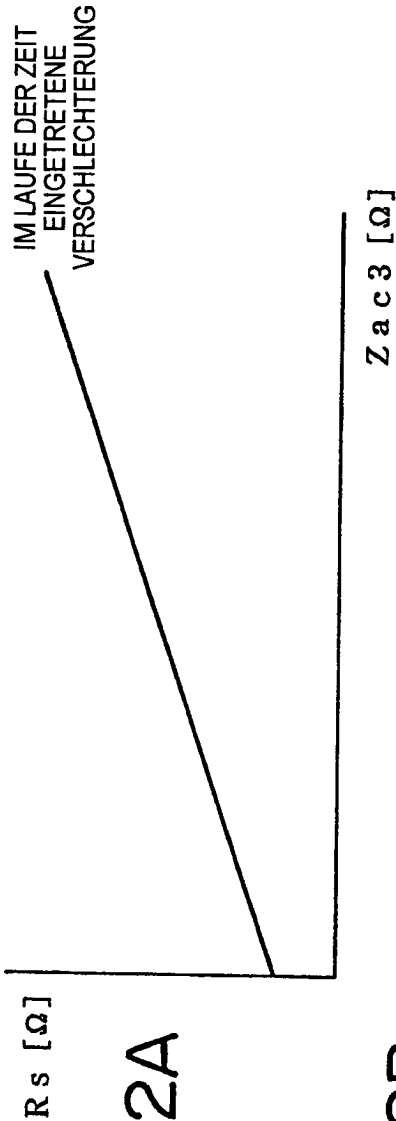


FIG. 12A

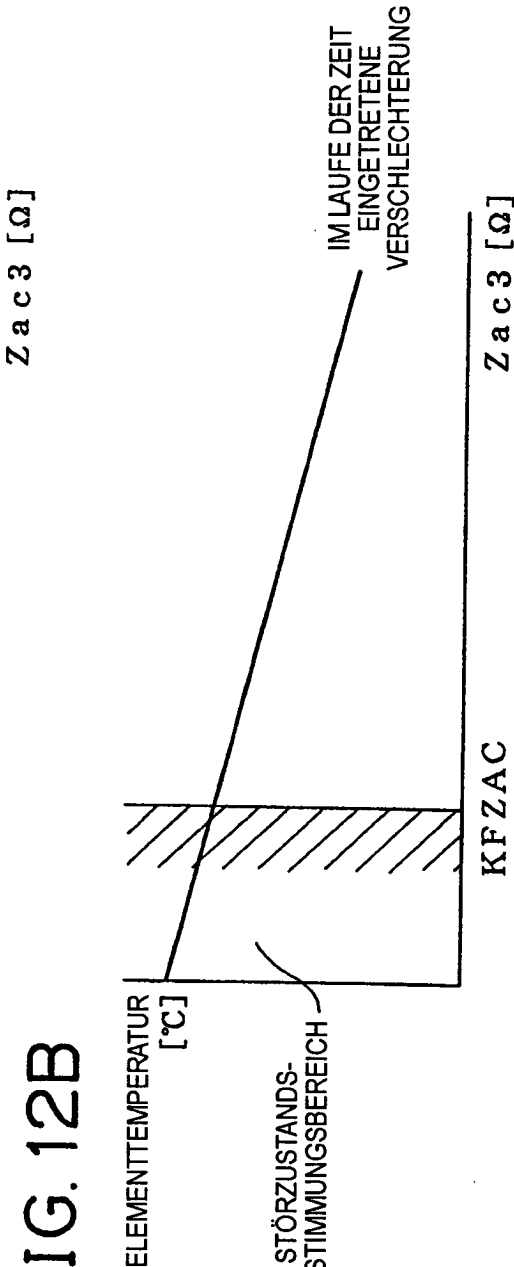


FIG. 12B

FIG.13

$Z_{ac3} [\Omega]$	40	45	50	55	60
$Z_{actggk} [\Omega]$	2	0	0	0	-1

FIG.14

$\begin{matrix} I_{ms} \\ Z_{ac1} \end{matrix}$	-6mA	0mA	6mA
30 Ω	13	14.5	18
40 Ω	12	14.5	20
50 Ω	11	14.5	21

FIG. 15

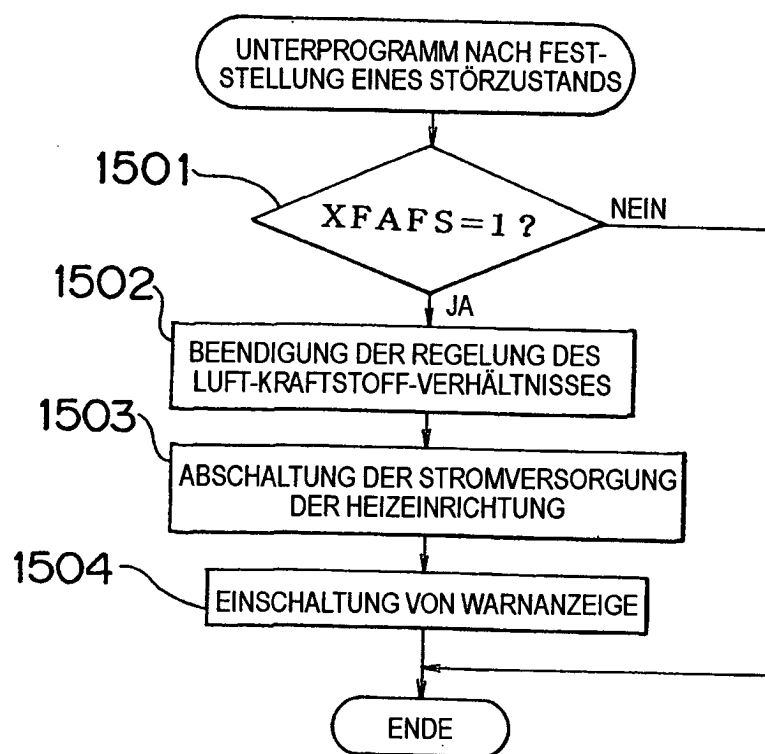


FIG. 16

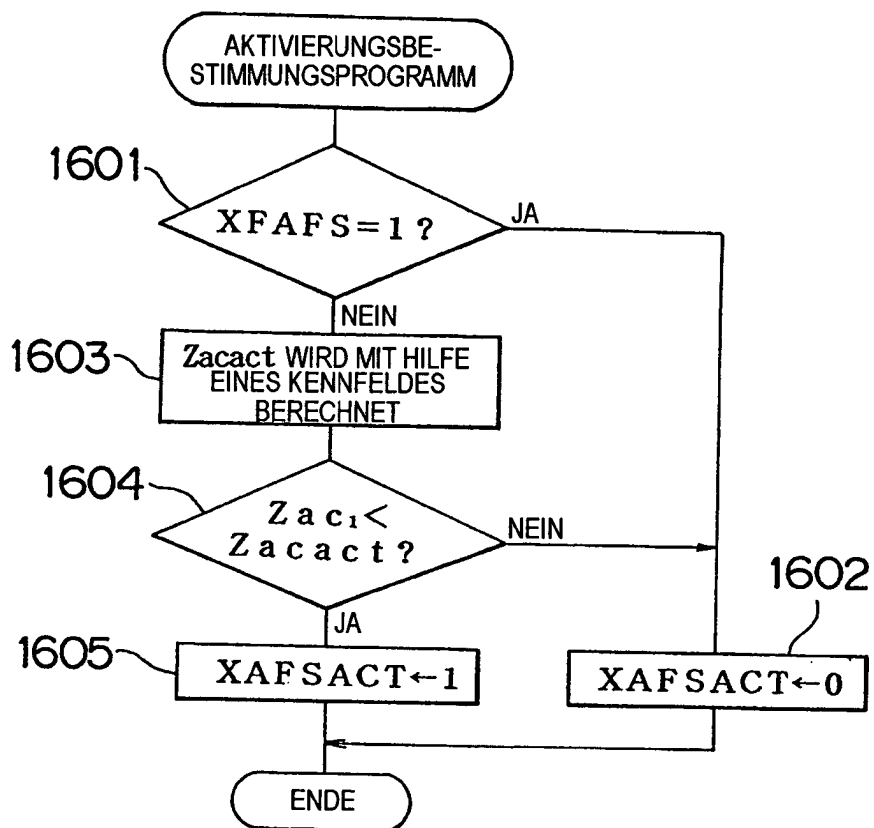


FIG. 17

$Zactg (\Omega)$	20	25	30	35	40
$Zacact (\Omega)$	23	28	32	37	42

FIG. 18

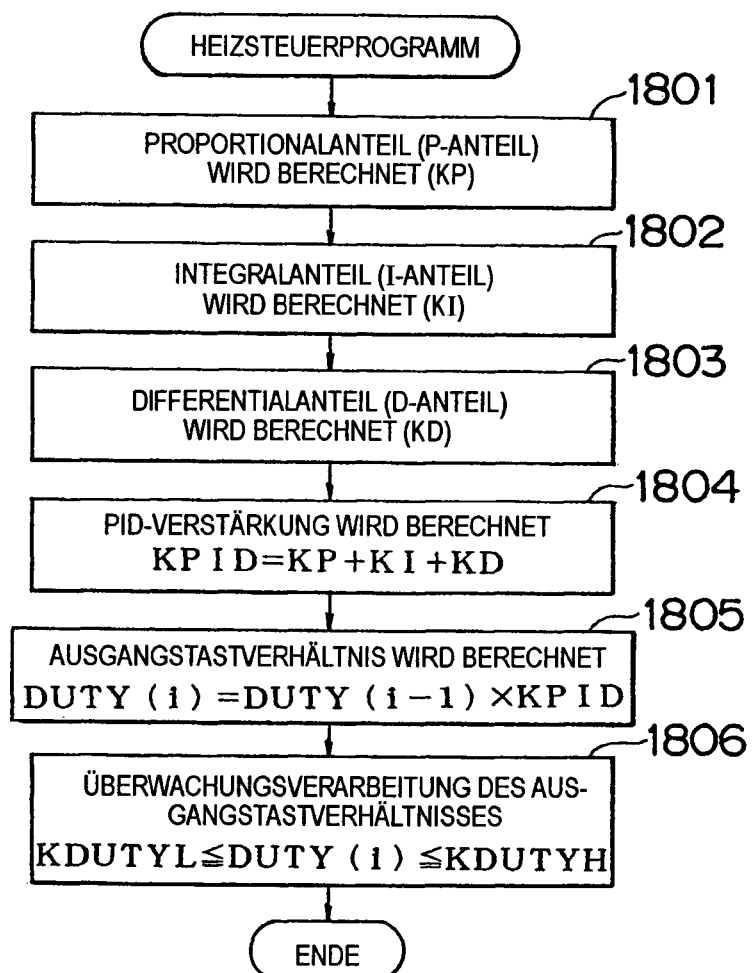


FIG. 19

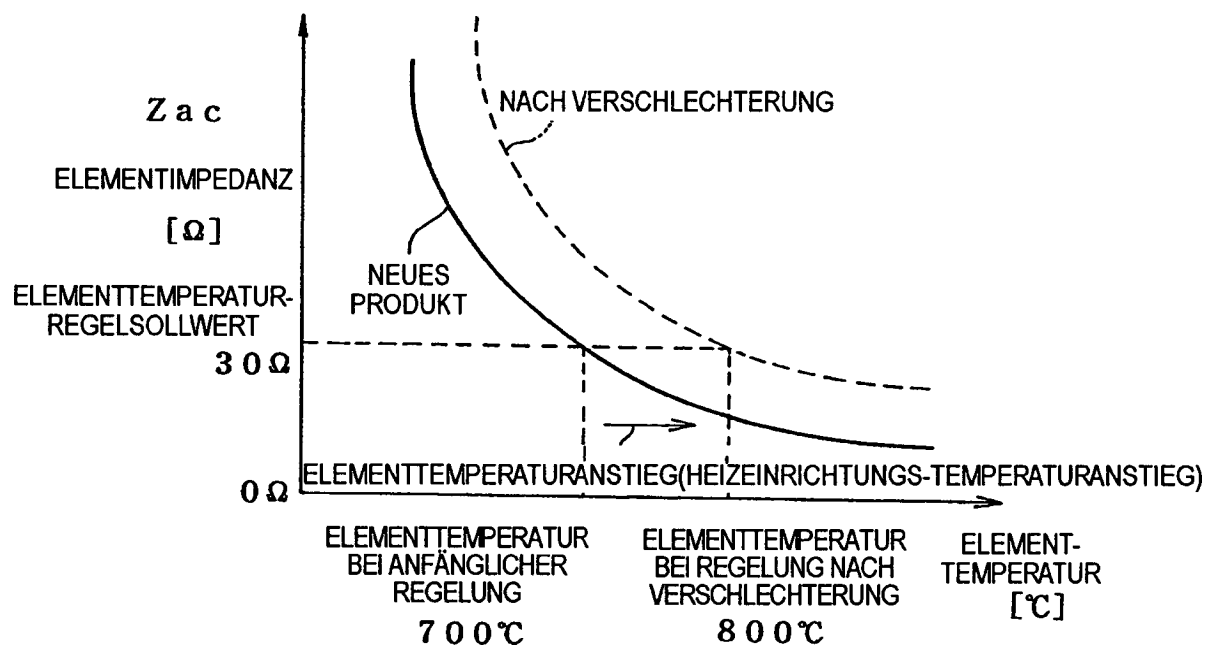


FIG. 20A

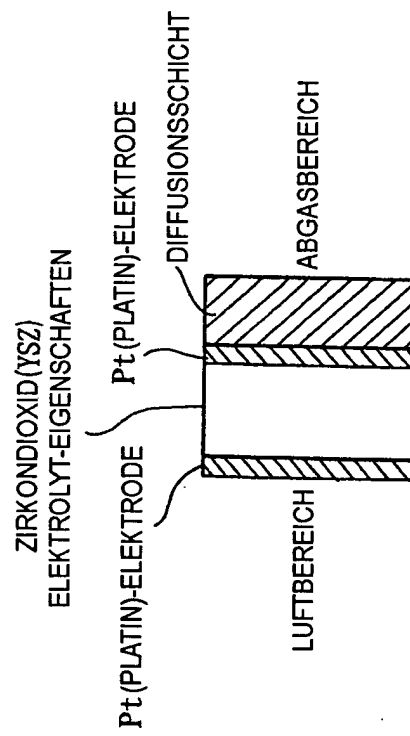


FIG. 20B

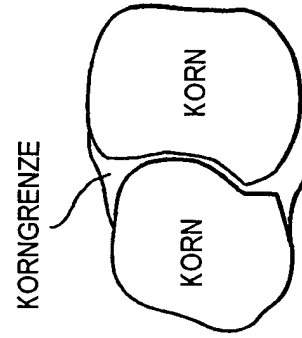


FIG. 21

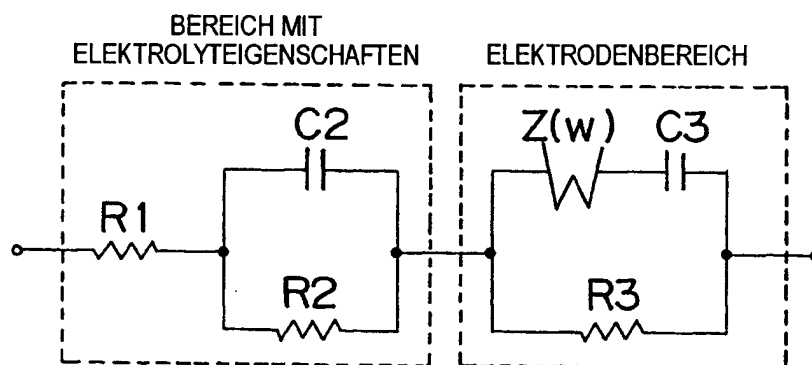


FIG. 22

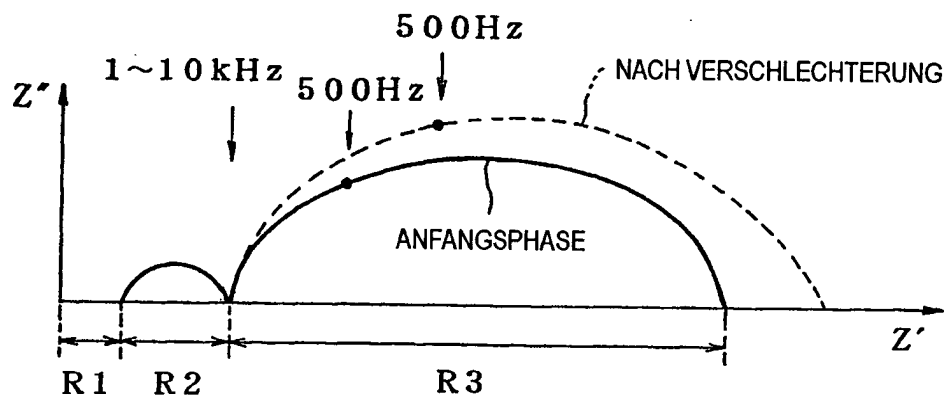


FIG. 23

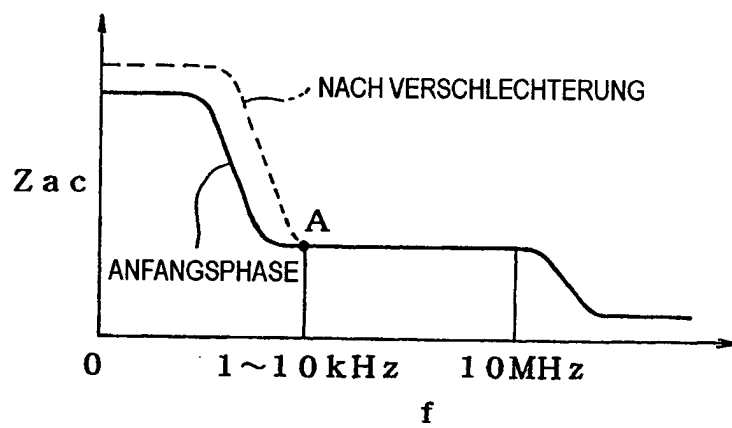


FIG. 24

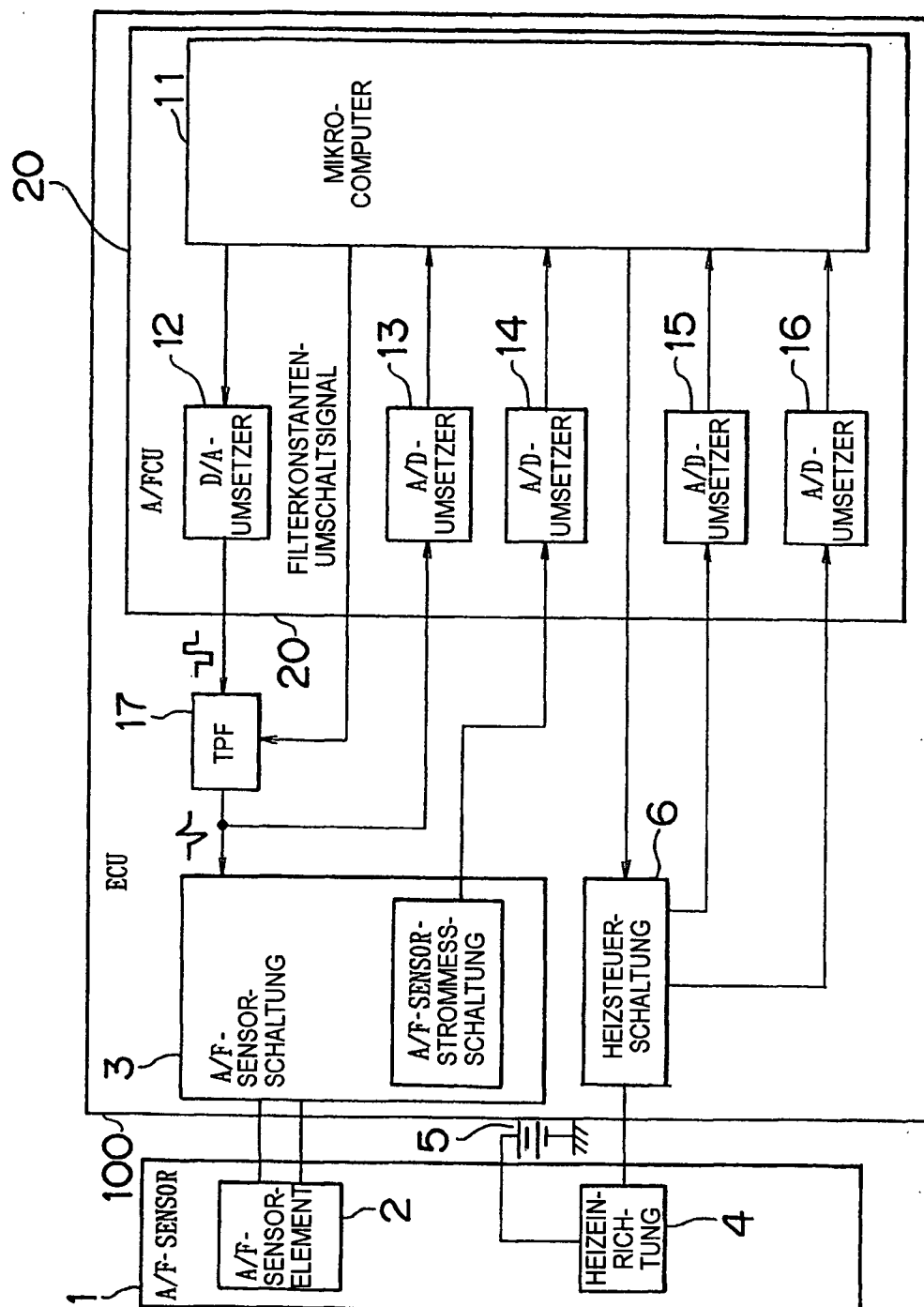


FIG. 25

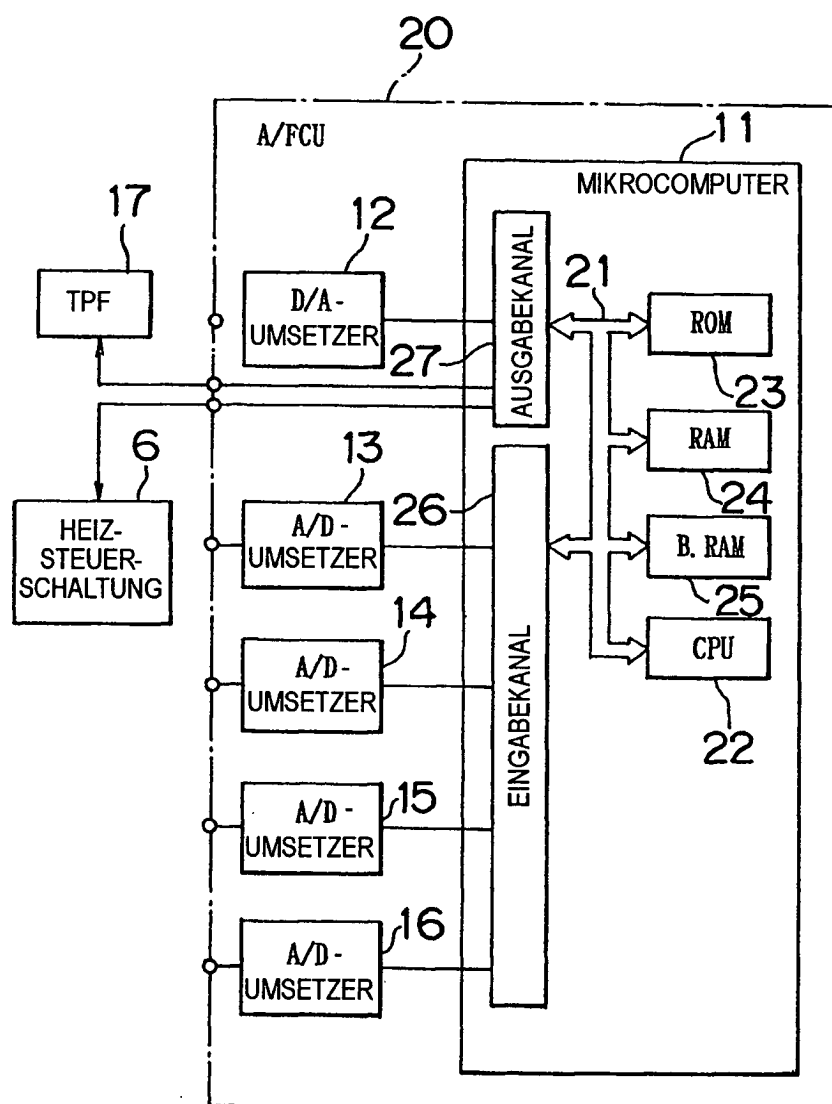


FIG. 26

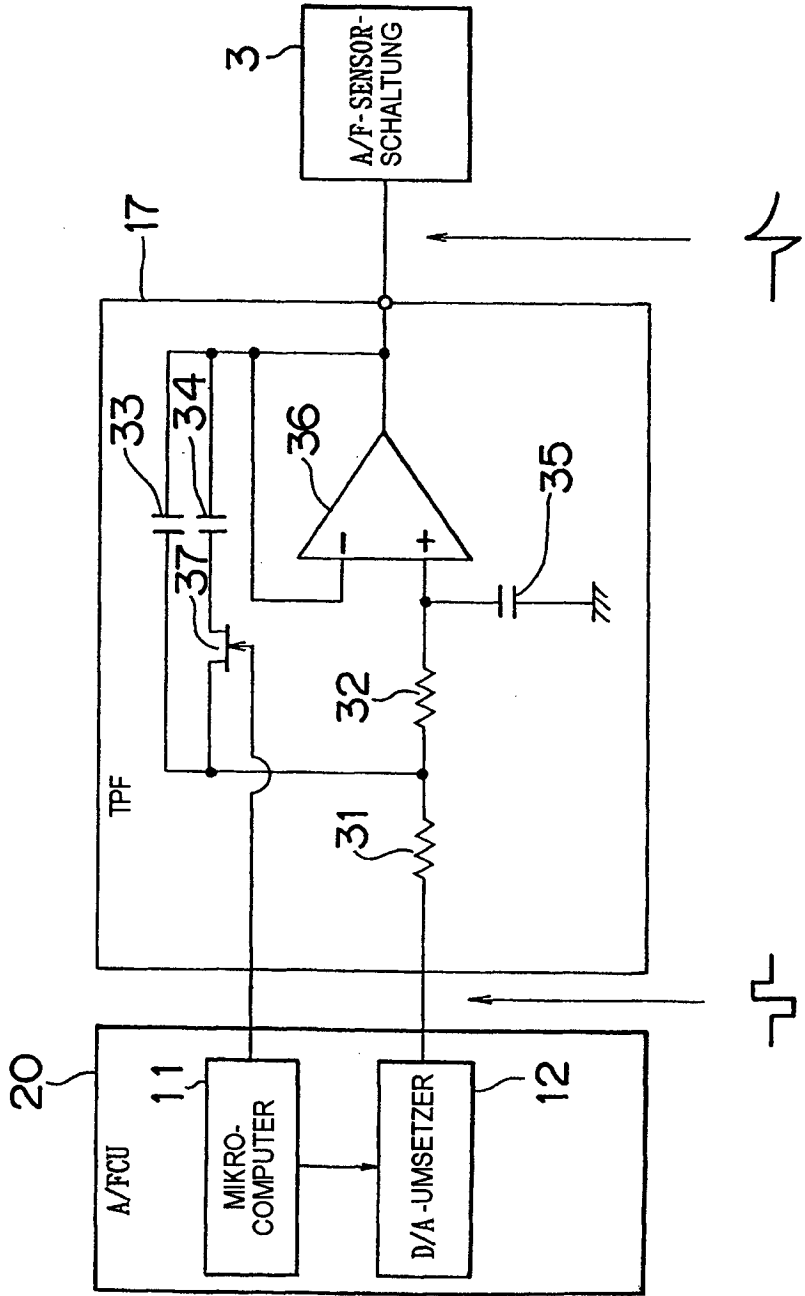


FIG. 27

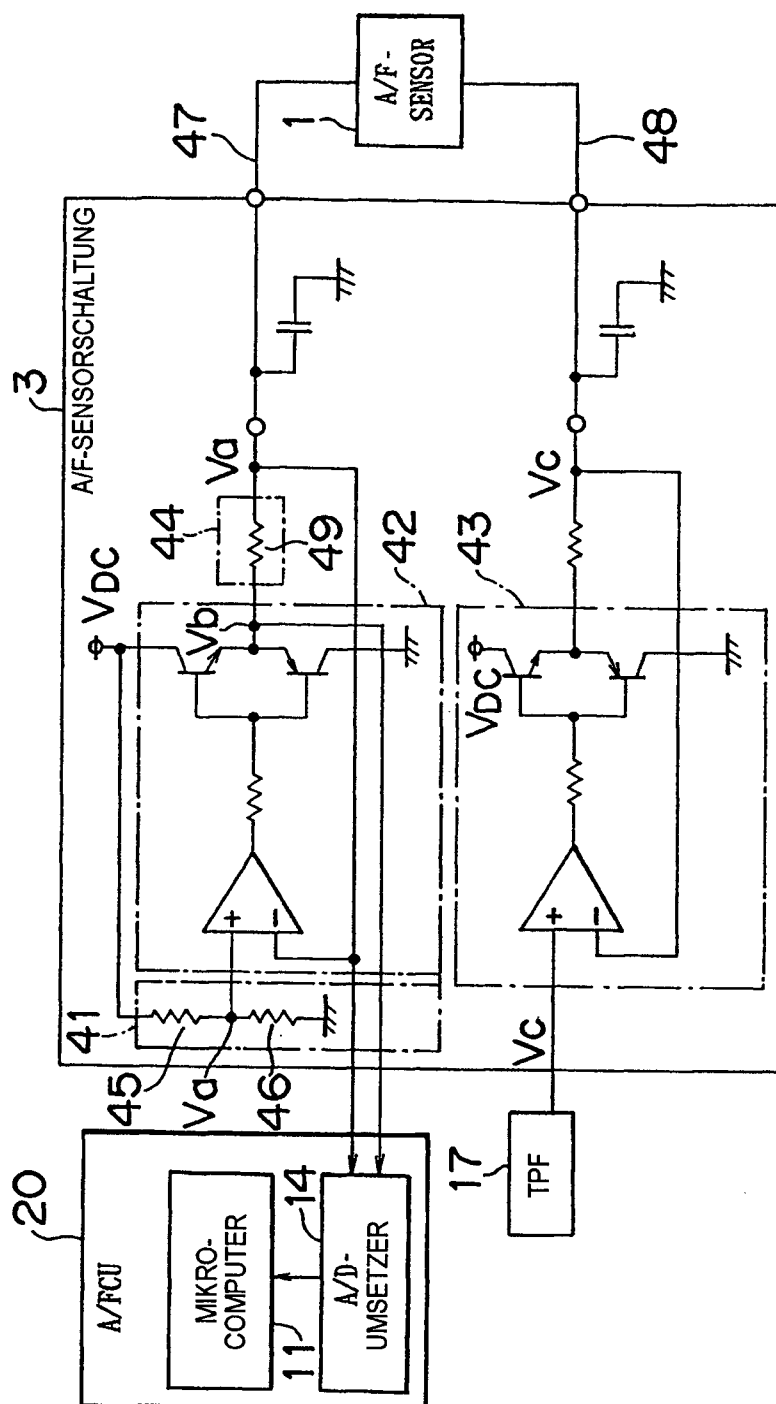


FIG. 28

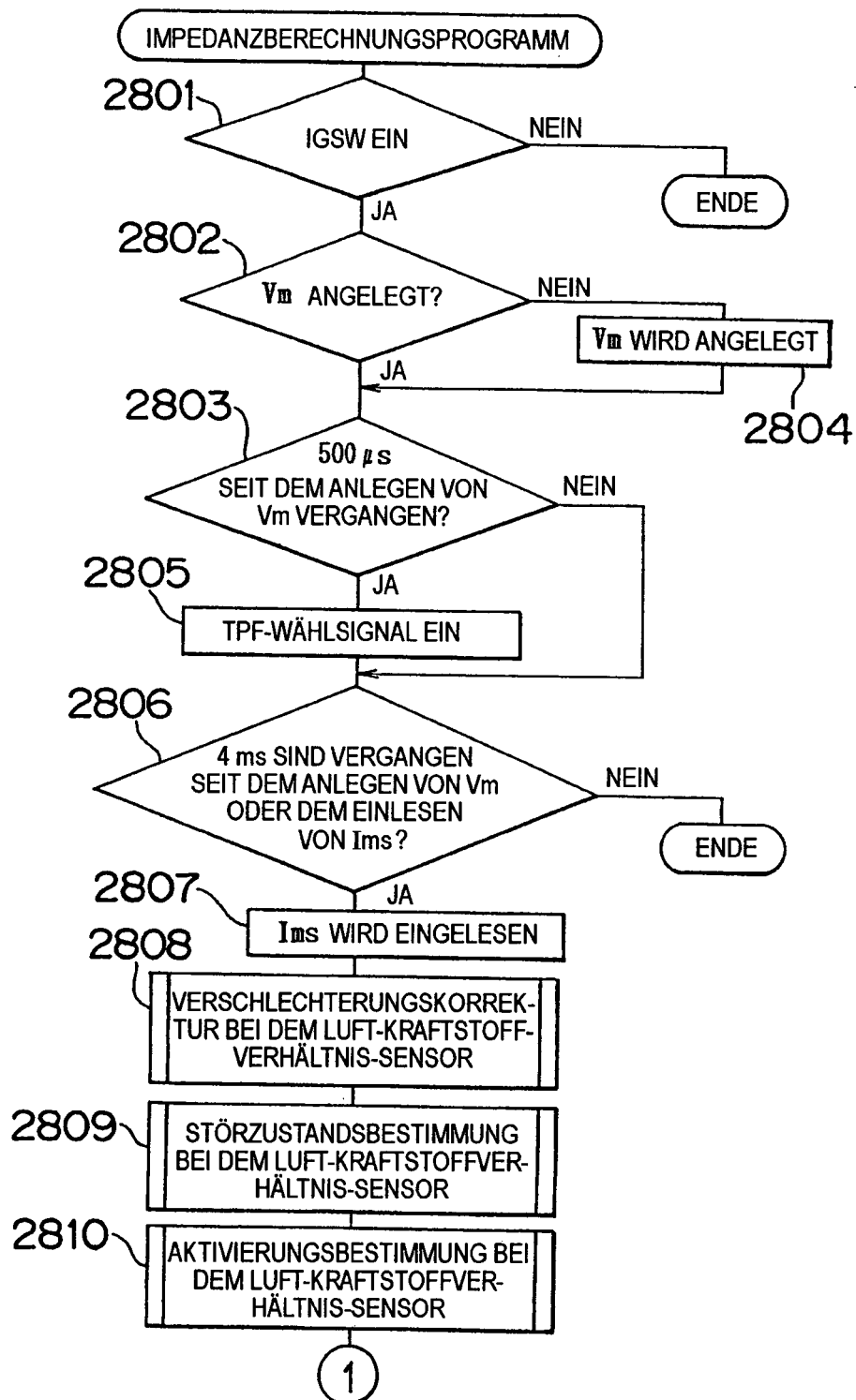


FIG. 29

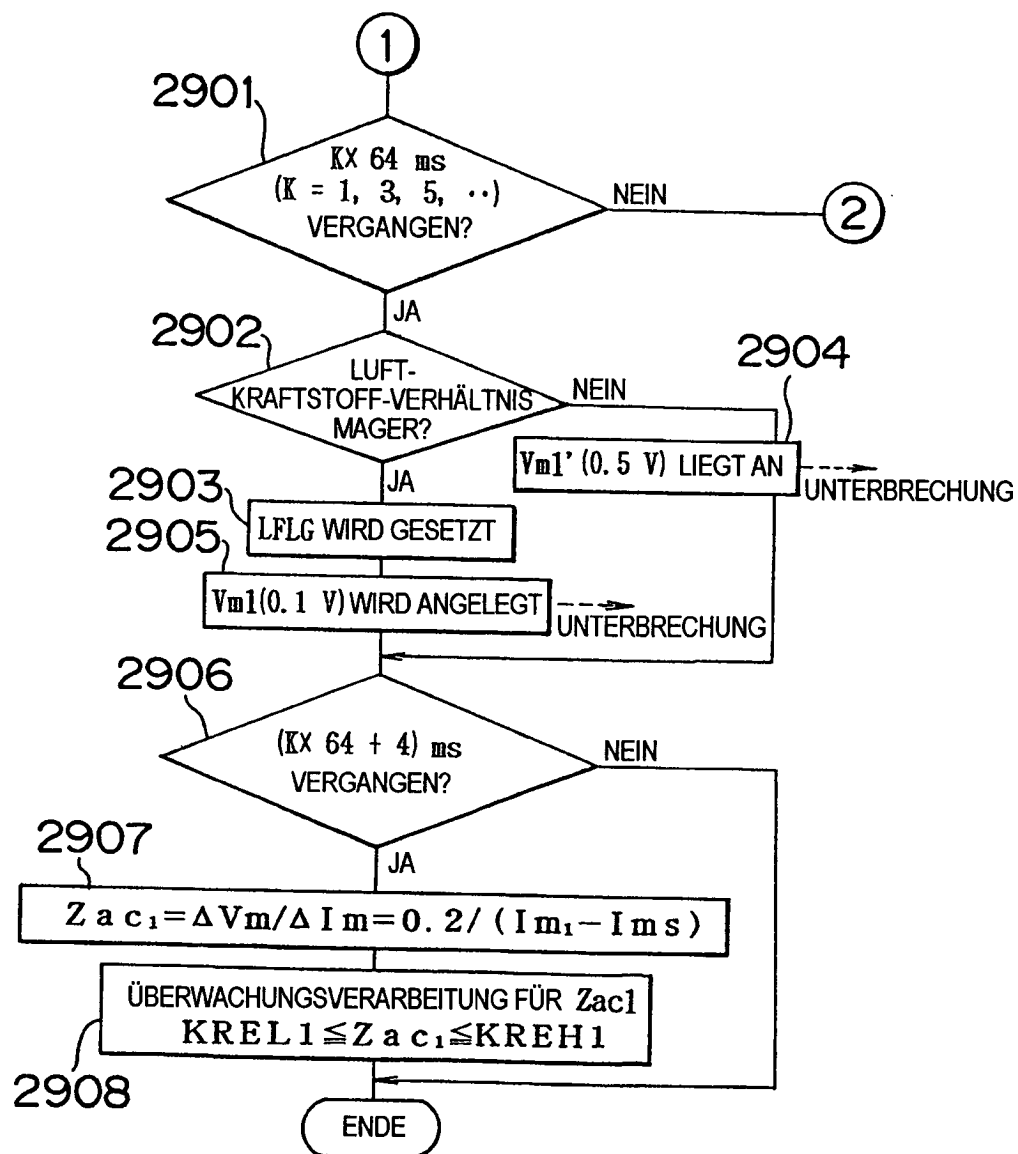


FIG. 30

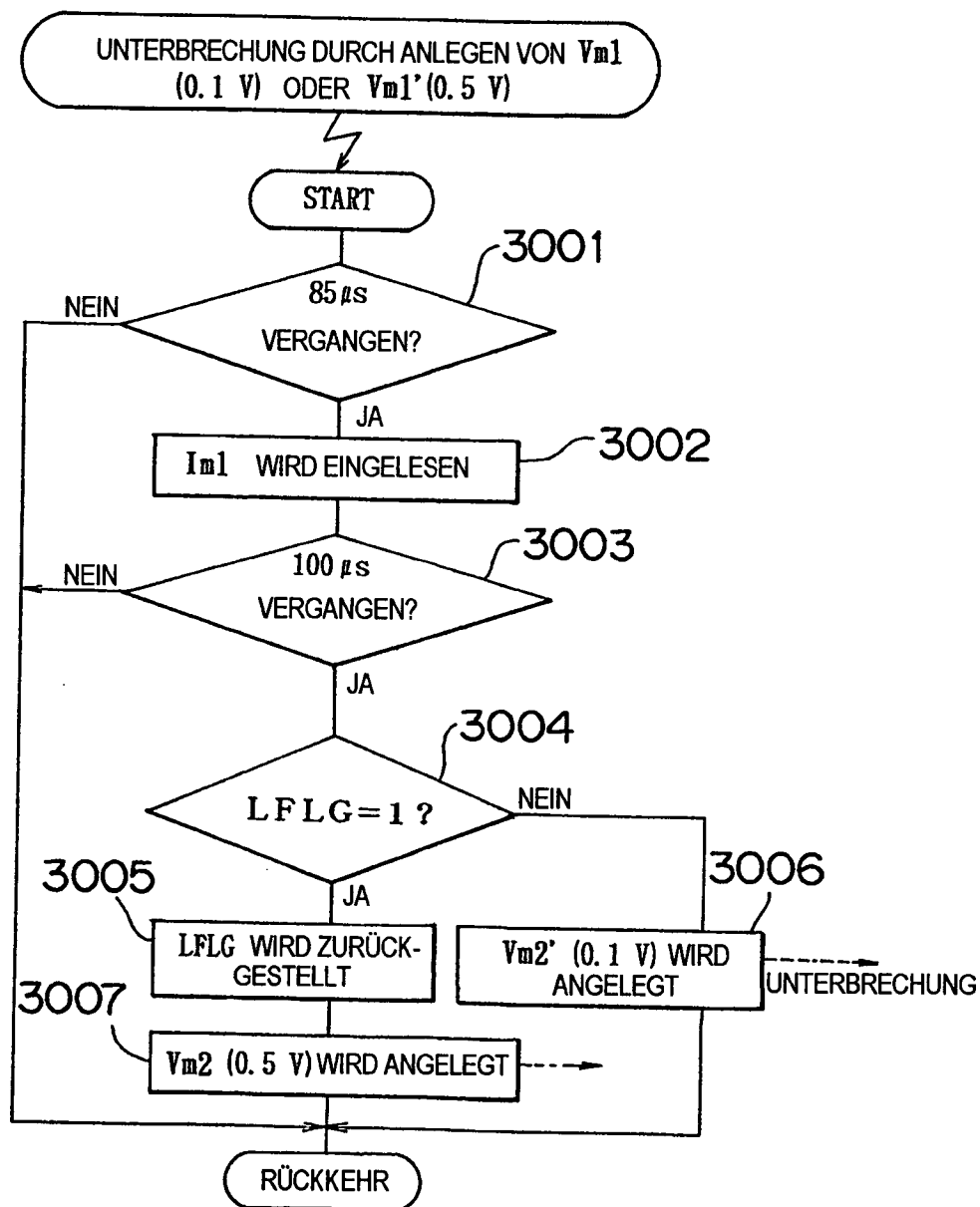


FIG. 31

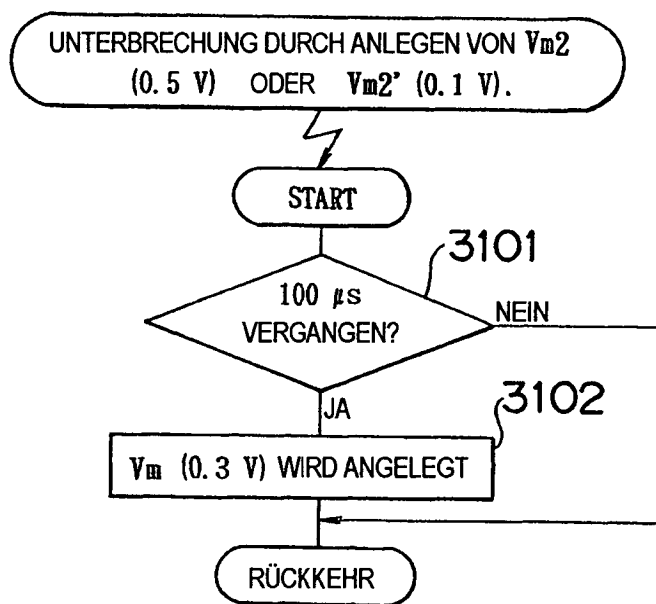


FIG.32

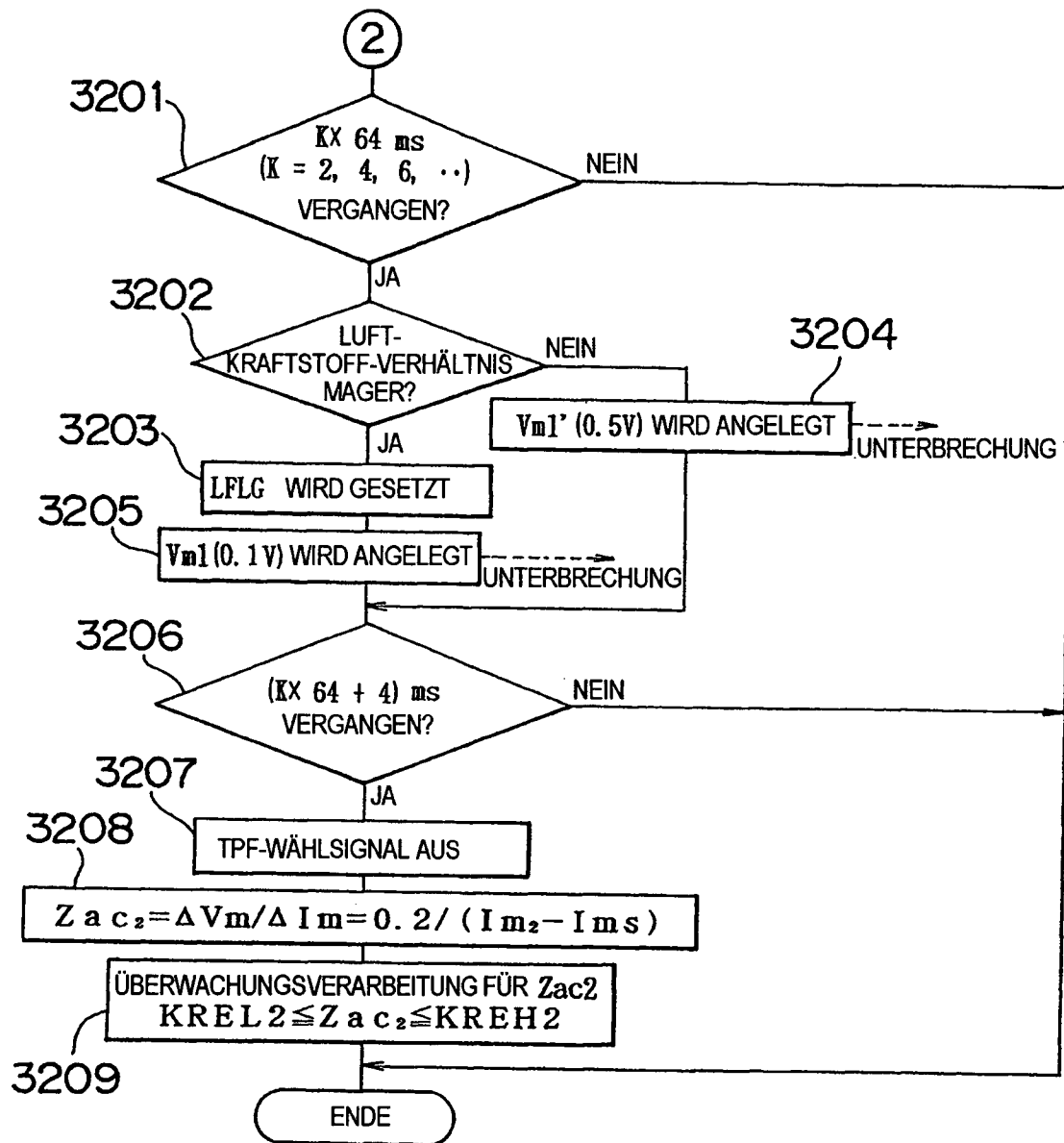


FIG. 33

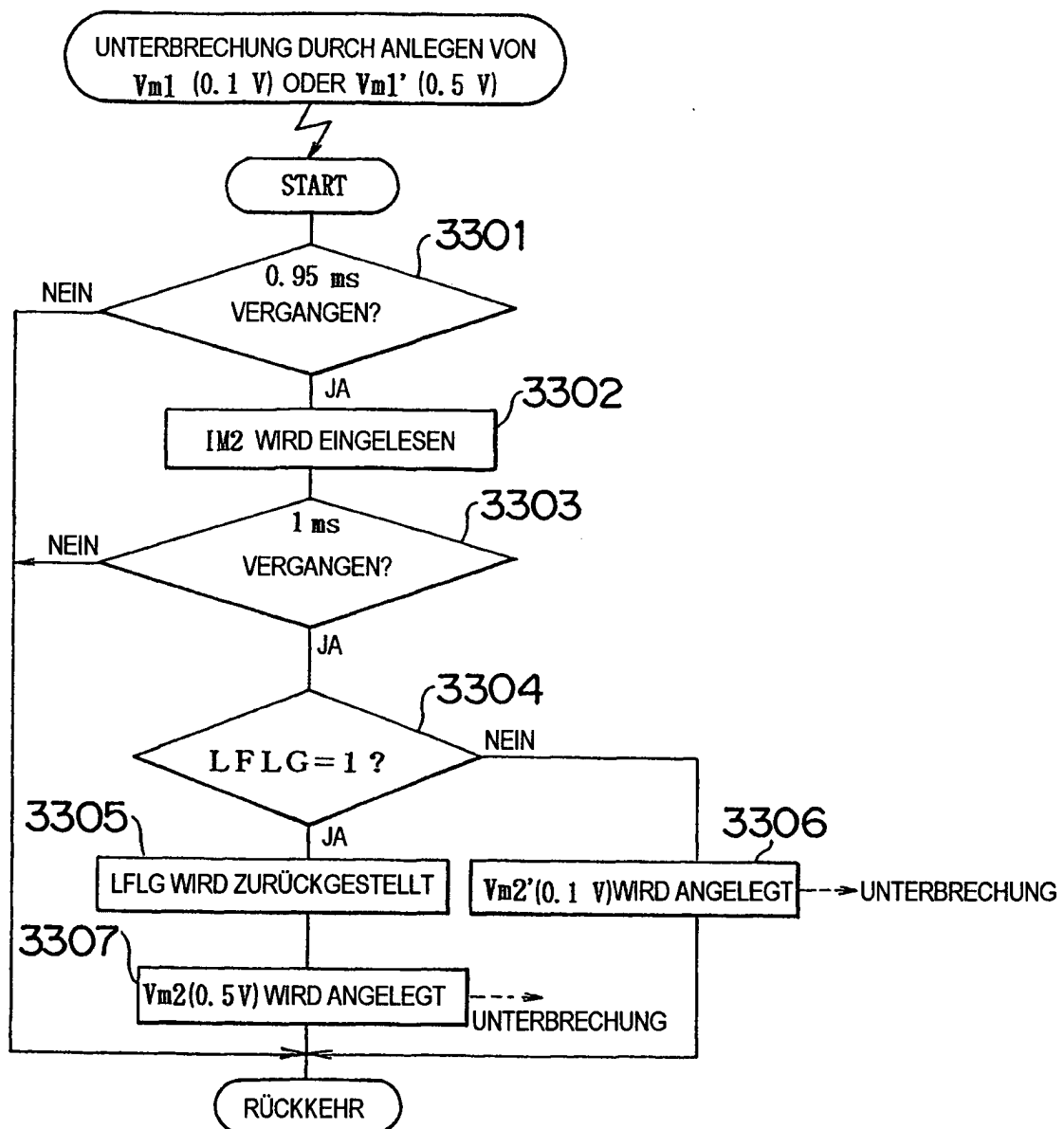


FIG. 34

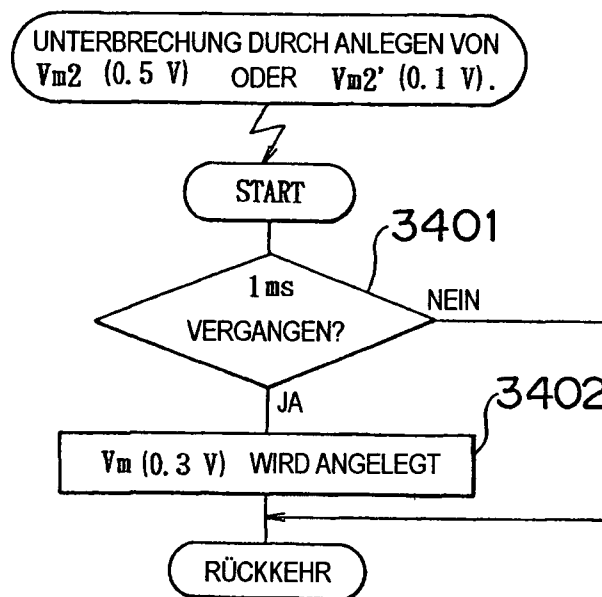


FIG. 35

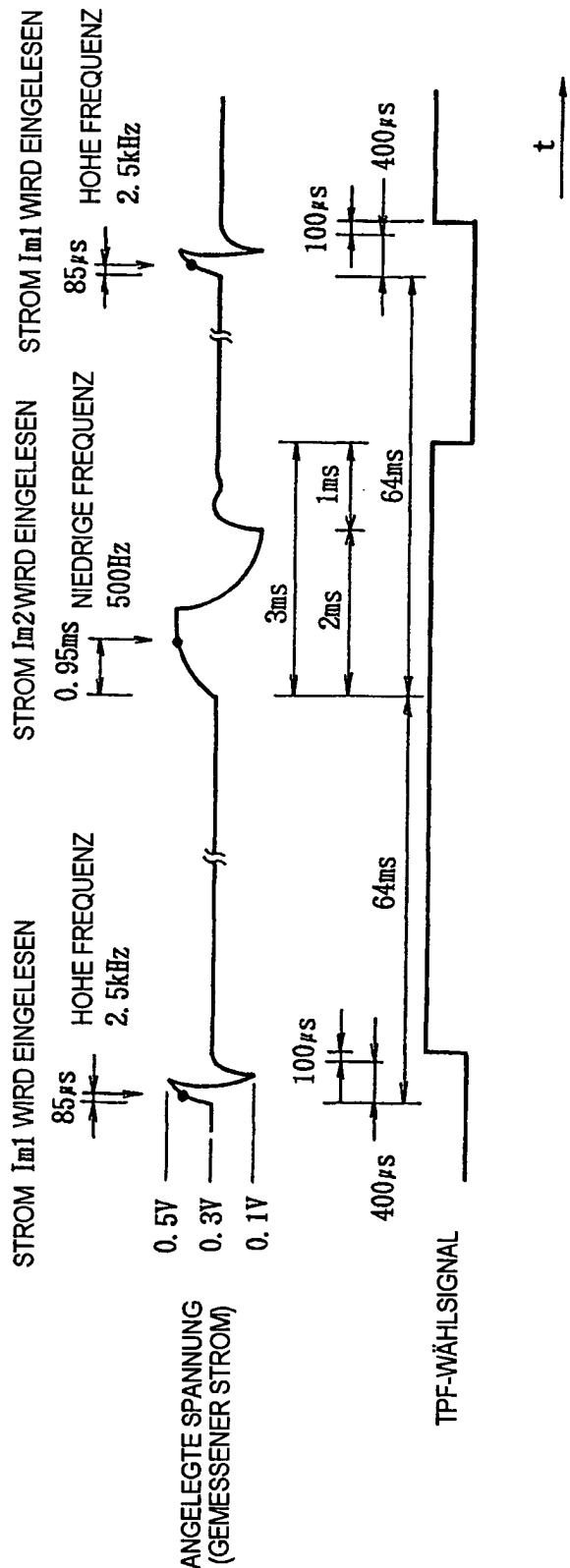


FIG.36A

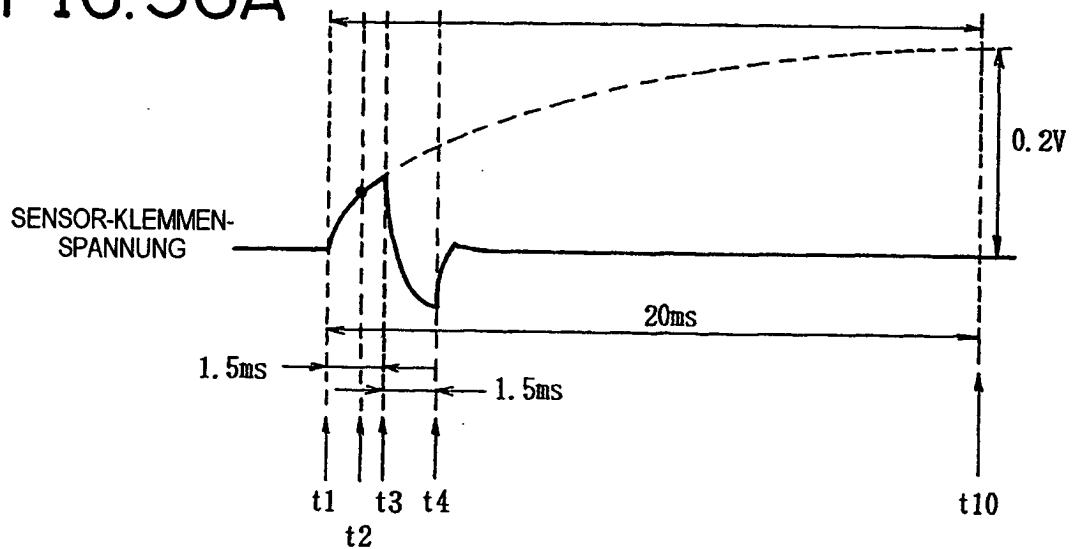


FIG.36B

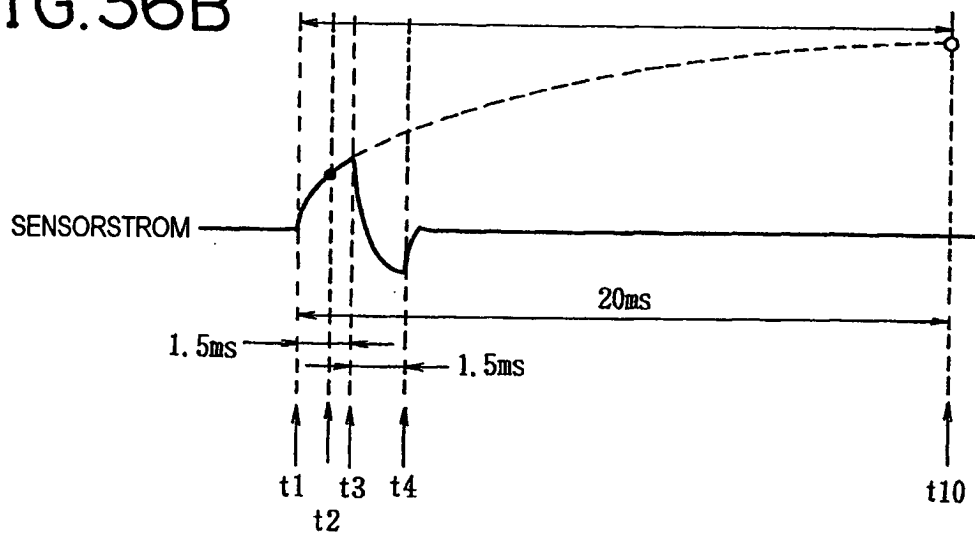


FIG.37A

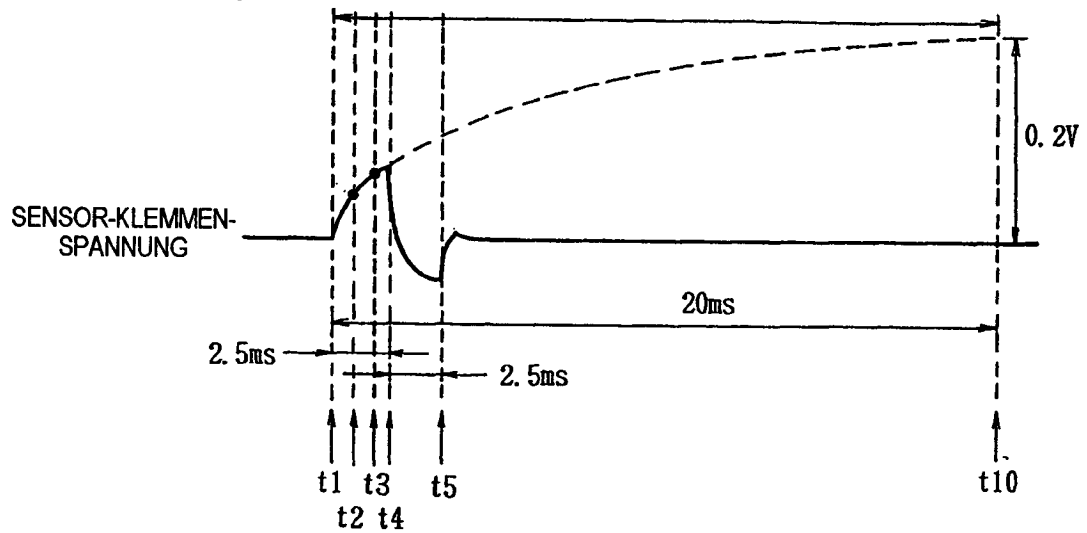


FIG.37B

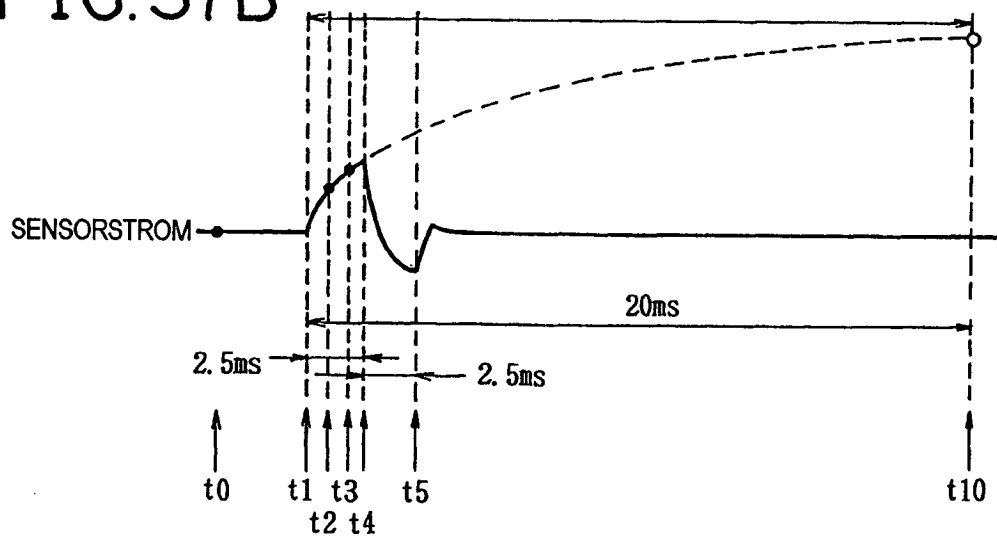


FIG. 38

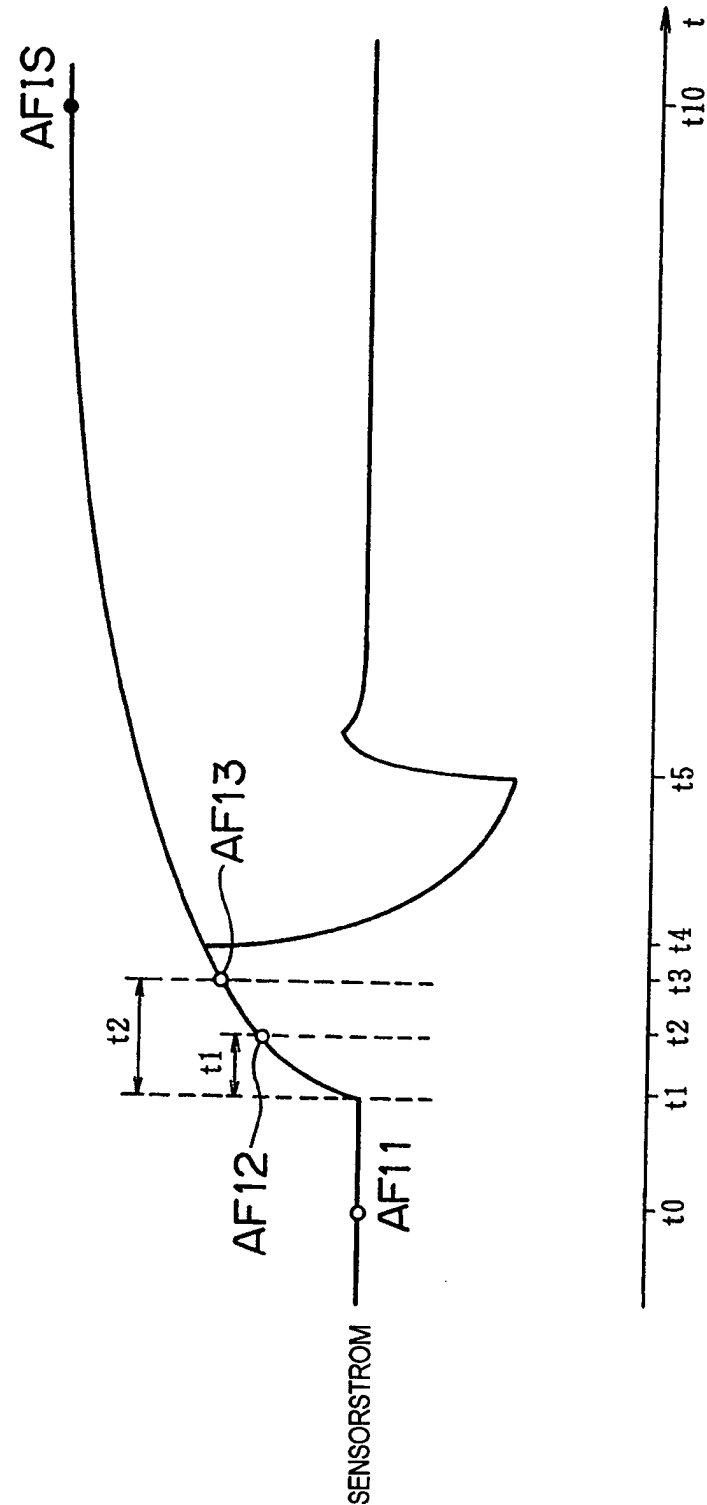


FIG. 39

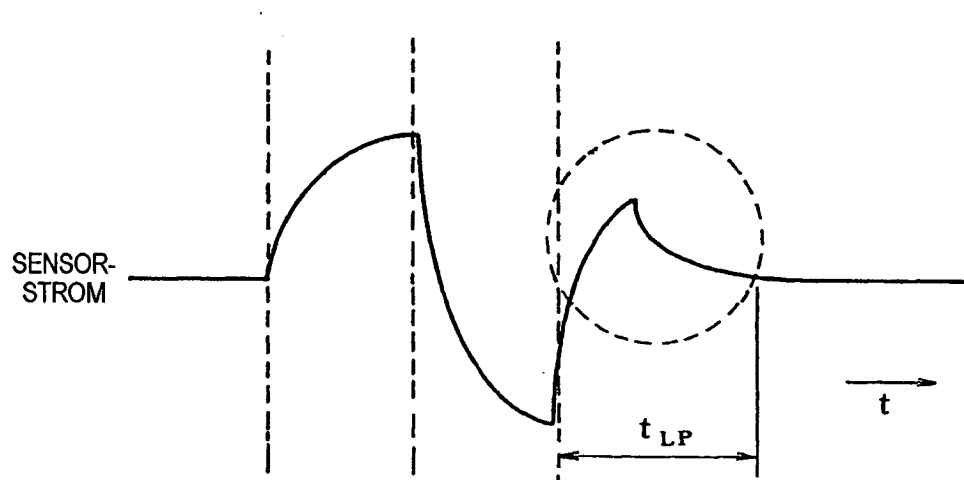


FIG. 40

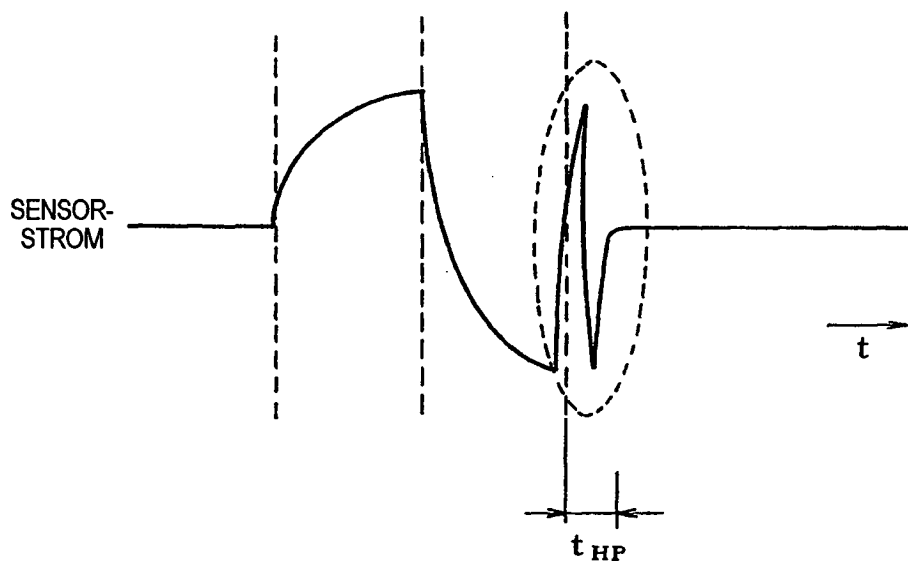


FIG. 41

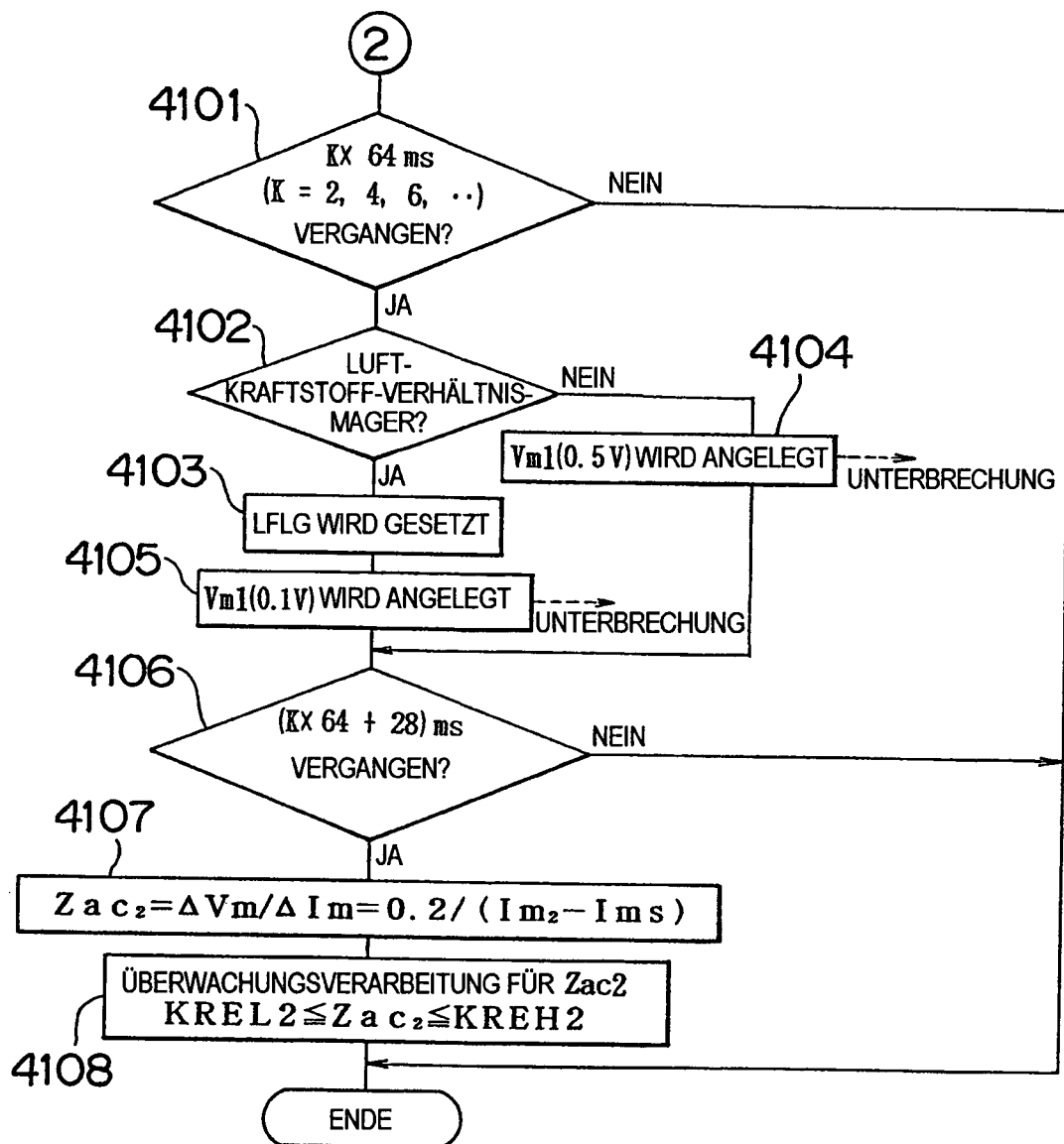


FIG. 42

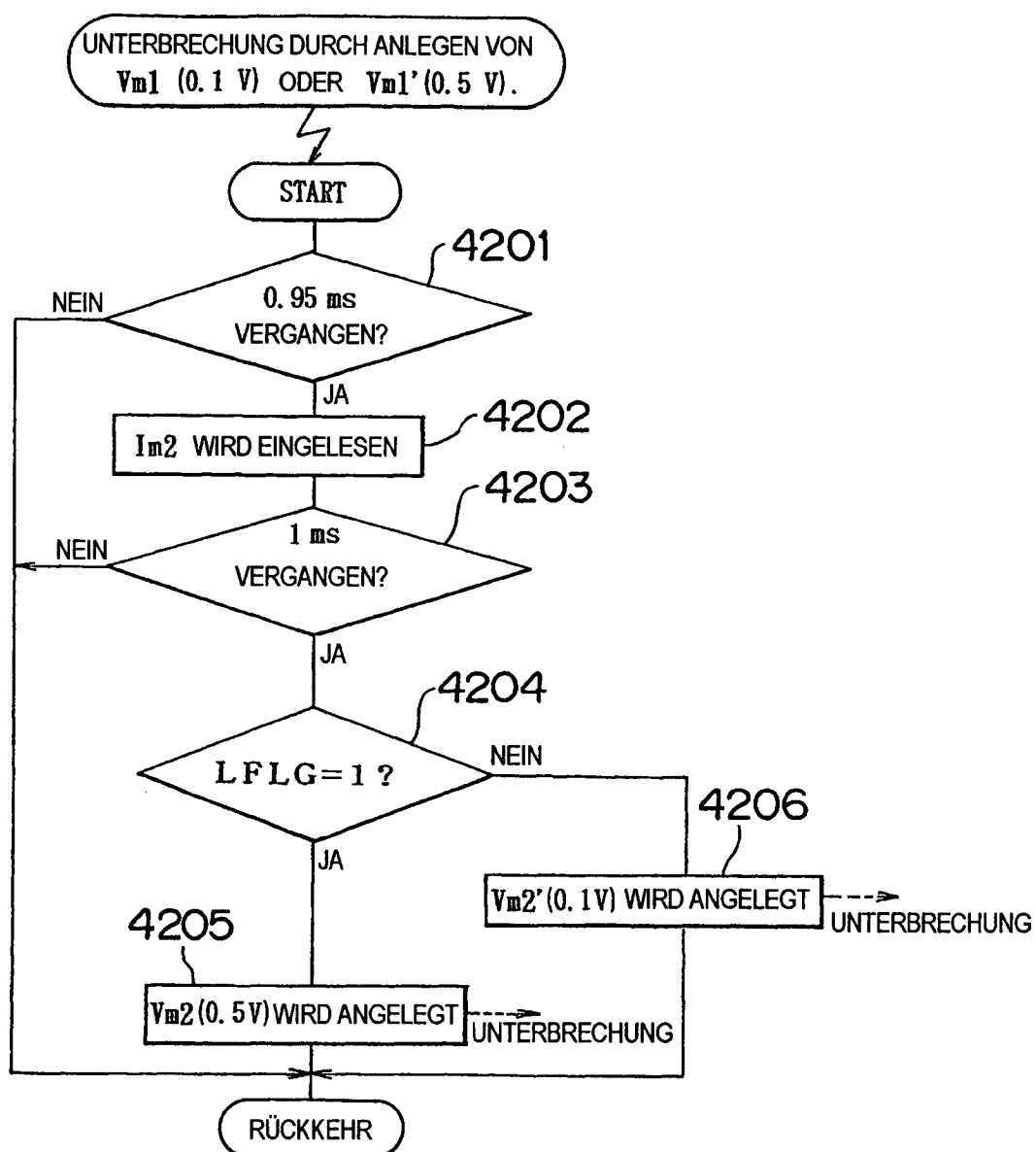


FIG. 43

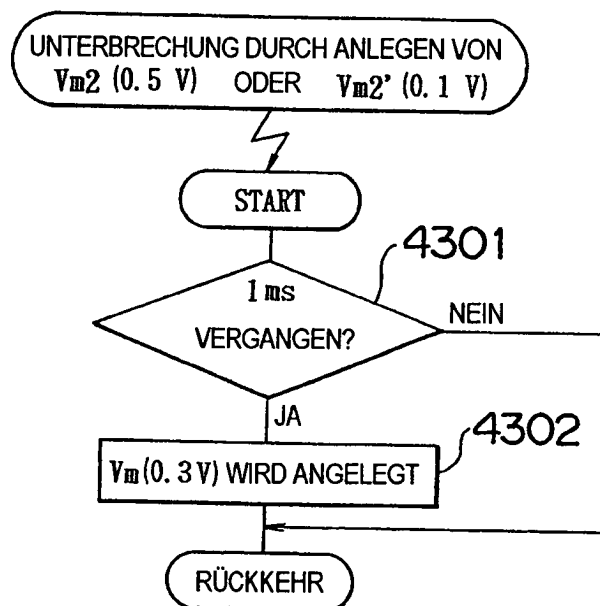


FIG.44

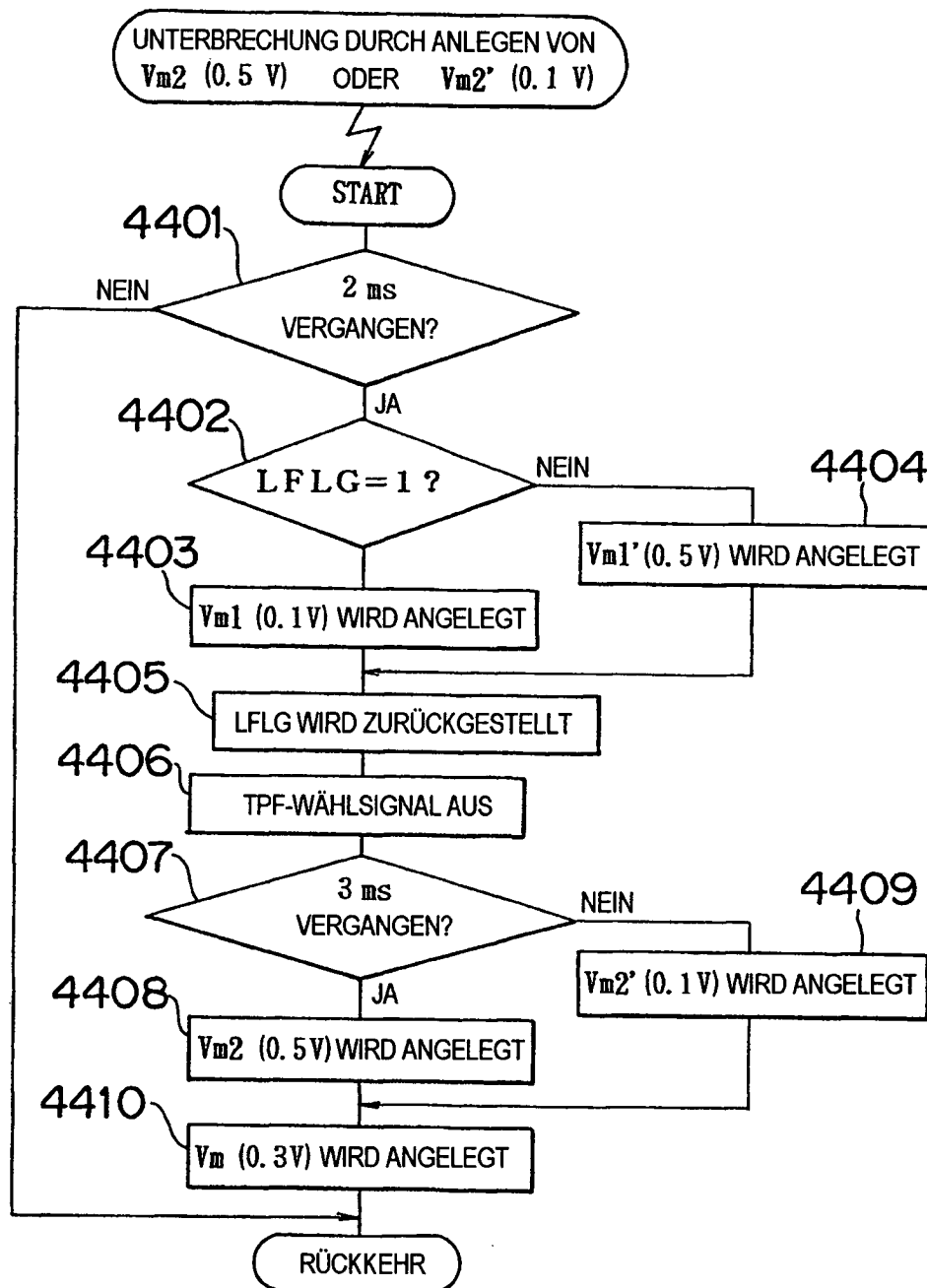


FIG. 45

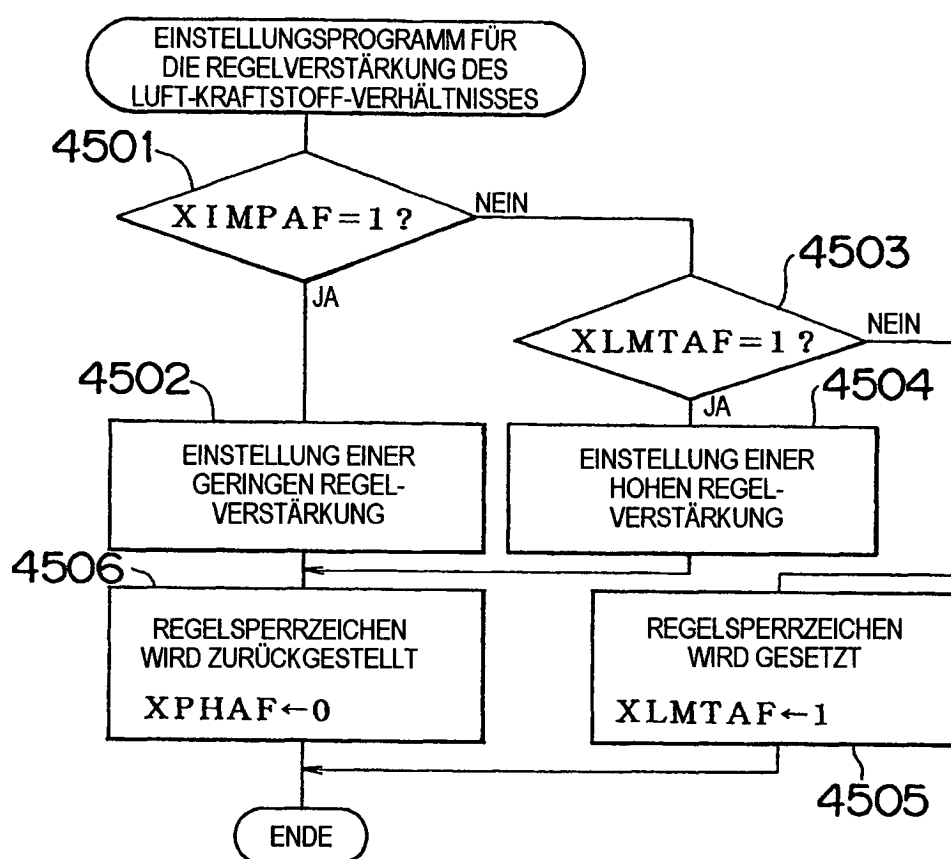


FIG. 46

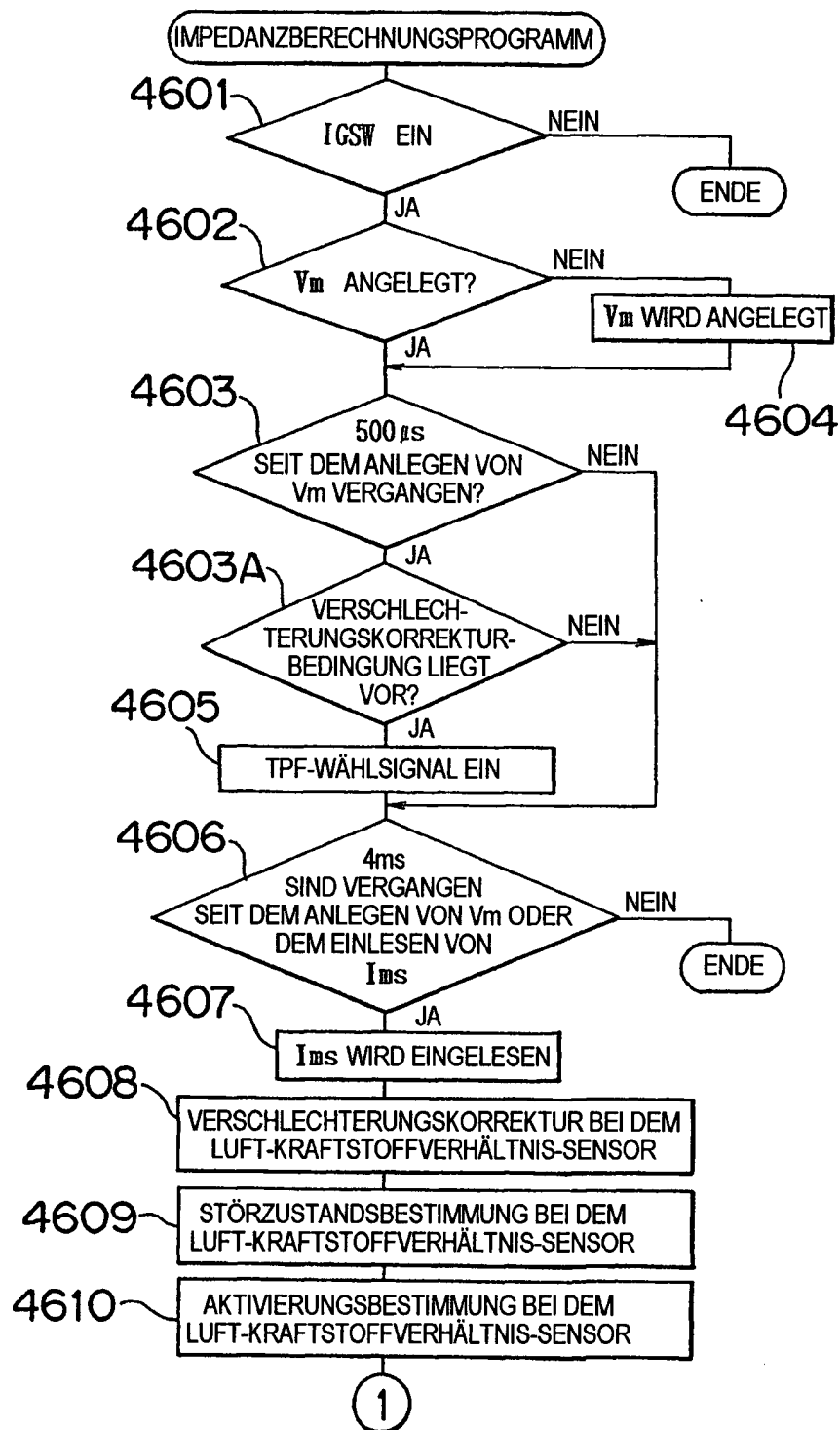


FIG. 47

