(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2017 116 651 A1** 2018.01.25

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 116 651.3**
(22) Anmeldetag: **24.07.2017**
(43) Offenlegungstag: **25.01.2018**

(51) Int Cl.: ***G08C 19/02*** (2006.01)
G05B 19/042 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
15/217,757 **22.07.2016** **US**

(71) Anmelder:
Fisher-Rosemount Systems, Inc., Round Rock, Tex., US

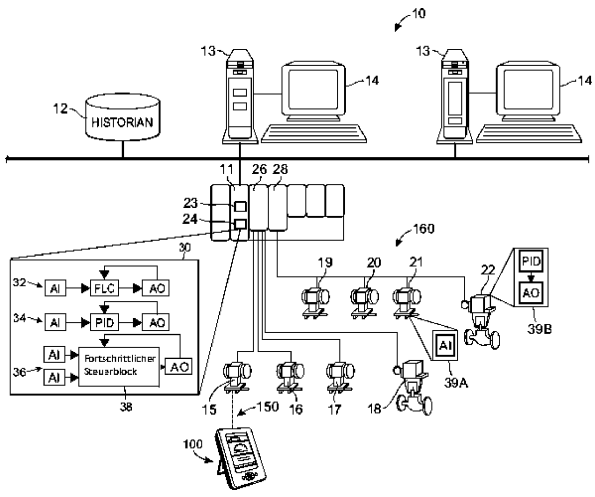
(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

(72) Erfinder:
Benson, Roger, Eden Prairie, Minn., US;
Ferguson, Anthony D., Minnetrista, Minn., US;
Toepke, Todd M., Eden Prairie, Minn., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **TRAGBARES WARTUNGSWERKZEUG FÜR DEN EINSATZ VOR ORT, KONFIGURIERT FÜR MEHRERE KOMMUNIKATIONSPROTOKOLLE ZUR PROZESSLEITUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort kann eine oder mehrere Aufgaben durchführen, beispielsweise Kommunizieren mit einem Feldgerät, Versorgen eines Feldgeräts mit Strom, Diagnostizieren eines Feldgeräts oder Diagnostizieren einer Kommunikationsverbindung in einer Anlagenumgebung, mit der ein Feldgerät verbunden ist. Das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort kann mit Feldgeräten interagieren, die gemäß mehreren unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen konfiguriert sind, beispielsweise dem HART-Protokoll und dem Feldbus-Protokoll. Das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort kann energiebegrenzt und fehlertolerant sein und kann konform mit Eigensicherheits-Normen betrieben werden, sodass eine Verwendung des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort in gefährlichen Bereichen möglich ist.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft im Allgemeinen ein tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort und insbesondere eine Verwendung, die für ein tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort möglich ist, in zahlreichen Umgebungen und Situationen.

HINTERGRUND

[0002] Prozesssteuersysteme wie jene, die bei chemischen und Erdölprozessen verwendet werden, weisen üblicherweise einen oder mehrere Prozess-Controller auf, die kommunikativ mit mindestens einer Host- oder Betreiber-Workstation und einem oder mehreren Feldgeräten über analoge, digitale oder kombinierte analog-digitale Kommunikationsverbindungen verbunden sind.

[0003] Ein Prozess-Controller (manchmal als „Controller“ bezeichnet), der sich üblicherweise in der Anlagenumgebung befindet, empfängt Signale (manchmal als „Steuerungseingänge“ bezeichnet), die Prozessmesswerte anzeigen, und nutzt die durch diese Signale transportierten Informationen zum Umsetzen von Steuerungsroutinen, die den Controller veranlassen, Steuersignale (manchmal als „Steuerungsausgänge“ bezeichnet) auf der Grundlage der Steuerungseingänge und der internen Logik der Steuerungsroutinen zu erzeugen. Die Controller senden die erzeugten Steuersignale über Busse oder andere Kommunikationsverbindungen, um den Betrieb der Feldgeräte zu steuern. In manchen Fällen können die Controller mit Steuerungsroutinen koordiniert sein, die von intelligenten Feldgeräten umgesetzt werden, beispielsweise Feldgeräten gemäß Highway Addressable Remote Transmitter (HART®), Wireless HART® und FOUNDATION® Fieldbus (manchmal nur „Feldbus“ genannt).

[0004] Die Feldgeräte, bei denen es sich beispielsweise um Ventile, Ventilpositionierungseinrichtungen, Schalter und Sensoren handeln kann (die z. B. Temperatur-, Druck-, Füllstands- oder Durchflussratenfühler einschließen), befinden sich in der Anlagenumgebung und führen im Allgemeinen physikalische oder Prozesssteuerungsfunktionen durch. Beispielsweise kann ein Ventil als Reaktion auf einen von einem Controller empfangenen Steuerungsausgang öffnen oder schließen oder einen Messwert eines Prozessparameters an den Controller senden, sodass der Controller den Messwert als Steuerungseingang nutzen kann. Intelligente Feldgeräte, wie Feldgeräte nach dem Feldbus-Protokoll, können auch Steuerungsberechnungen, Alarmfunktionen und andere Steuerungsfunktionen ausführen, die für gewöhnlich in einem Prozess-Controller umgesetzt werden. Feldgeräte können dafür konfiguriert sein, mit Controllern und/oder anderen Feldgeräten gemäß verschiedenen Kommunikationsprotokollen zu kommunizieren. Beispielsweise kann eine Anlage herkömmliche analoge Feldgeräte mit 4–20 mA, HART®-Feldgeräte oder Feldbus-Feldgeräte aufweisen.

[0005] Herkömmliche analoge Feldgeräte mit 4–20 mA kommunizieren mit einem Controller über eine Kommunikationsverbindung mit zwei Leitern (manchmal als „Schleife“ oder „Stromschleife“ bezeichnet), die zum Transportieren eines analogen Gleichstromsignals mit 4–20 mA konfiguriert ist, das einen Messwert oder Steuerbefehl anzeigt. Beispielsweise kann ein Füllstandssensor einen Tankfüllstand erfassen und über die Schleife ein Stromsignal senden, das diesem Messwert entspricht (z. B. ein Signal mit 4 mA für 0% voll, ein Signal mit 12 mA für 50% voll und ein Signal mit 20 mA für 100% voll). Der Controller empfängt das Stromsignal, bestimmt den Messwert des Tankfüllstands auf der Grundlage des Stromsignals und nimmt eine Aktion auf der Grundlage des Messwerts des Tankfüllstands vor (z. B. Öffnen oder Schließen eines Einlassventils). Analoge Feldgeräte mit 4–20 mA gibt es üblicherweise in zwei Varianten: Vier-Leiter-Feldgeräte und Zwei-Leiter-Feldgeräte. Ein Vier-Leiter-Feldgerät basiert üblicherweise auf einem ersten Satz von Leitern (d. h. der Schleife) für die Kommunikation und einem zweiten Satz von Leitern für die Stromversorgung. Bei einem Zwei-Leiter-Feldgerät erfolgen Kommunikation und Stromversorgung über die Schleife. Diese Zwei-Leiter-Feldgeräte können als „schleifenversorgte“ Feldgeräte bezeichnet werden.

[0006] Prozessanlagen implementieren oft herkömmliche Systeme mit 4–20 mA aufgrund der Einfachheit und Effektivität der Ausgestaltung. Leider übertragen herkömmliche Stromschleifen mit 4–20 mA jeweils nur ein Prozesssignal zur gleichen Zeit. Für einen Aufbau mit einem Steuerventil und einem Durchflusssensor an einem Rohr, das Material transportiert, können folglich drei separate Stromschleifen erforderlich sein: eine zum Transportieren eines Signals mit 4–20 mA, das einen Steuerbefehl für das Ventil anzeigt (z. B. um das Ventil in eine zu 60% geöffnete Position zu bewegen); eine zweite zum Transportieren, an den Controller, eines Signals mit 4–20 mA, das die aktuelle Position des Ventils anzeigt (z. B. damit der Controller das Ausmaß kennt, in dem das Ventil auf Steuerbefehle reagiert hat); und eine dritte zum Transportieren, an den Controller, eines Signals mit 4–20 mA, das einen gemessenen Durchfluss anzeigt (z. B. damit der Controller weiß, wie sich eine Änderung der Ventilposition auf den Durchfluss ausgewirkt hat). Als Folge kann ein herkömmlicher Aufbau mit 4–20 mA in einer Anlage mit einer hohen Anzahl an Feldgeräten eine umfassende Verkabelung erforderlich machen, die kostspielig sein und

zu Komplexität beim Einrichten und Warten des Kommunikationssystems führen kann.

[0007] In jüngerer Zeit ist die Prozessleitbranche dazu übergegangen, digitale Kommunikation in der Prozessleitumgebung zu implementieren. Beispielsweise nutzt das HART®-Protokoll die Gleichstromstärke der Schleife, um analoge Signale zu senden und zu empfangen, überlagert das Gleichstromsignal jedoch auch mit einem digitalen Wechselstrom-Trägersignal, um eine Zwei-Wege-Feldkommunikation mit intelligenten Feldmessgeräten zu ermöglichen. Als ein weiteres Beispiel stellt das Feldbus-Protokoll ausschließlich digitale Kommunikation über einen Zwei-Leiter-Bus bereit (manchmal als „Stammleitung“, „Segment“ oder „Feldbus-Segment“ bezeichnet). Dieses Zwei-Leiter-Feldbus-Segment kann mit mehreren Feldgeräten verbunden werden, um die mehreren Feldgeräte mit Strom zu versorgen (über eine am Segment verfügbare Gleichstromspannung) und Kommunikation durch die Feldgeräte zu ermöglichen (über ein digitales Wechselstrom-Kommunikationssignal, das die Gleichstrom-Versorgungsspannung überlagert).

[0008] Diese digitalen Kommunikationsprotokolle ermöglichen es im Allgemeinen, mehr Feldgeräte mit einer bestimmten Kommunikationsverbindung zu verbinden, mehr und schnellere Kommunikation zwischen den Feldgeräten und dem Controller zu unterstützen und/oder ermöglichen es Feldgeräten, mehr und unterschiedliche Arten von Informationen an den Prozess-Controller zu senden (beispielsweise Informationen, die den Status und die Konfiguration des Feldgeräts selbst betreffen). Außerdem machen es diese digitalen Standardprotokolle möglich, Feldgeräte unterschiedlicher Hersteller gemeinsam in demselben Prozessleitnetzwerk zu verwenden.

[0009] Ungeachtet des genutzten Kommunikationsprotokolls können für Feldgeräte Aufbau, Konfiguration, Prüfung und Wartung am Einsatzort erforderlich sein. Beispielsweise kann es nötig sein, bevor ein Feldgerät an einem bestimmten Ort in einer Prozessleitanlage installiert werden kann, das Feldgerät zu programmieren und dann zu prüfen, bevor und nachdem das Feldgerät installiert wird. Bereits installierte Feldgeräte müssen möglicherweise auch regelmäßig aus Wartungsgründen geprüft werden, oder wenn beispielsweise ein Fehler erkannt wird und das Feldgerät für Service oder Reparatur diagnostiziert werden muss. Allgemein gesagt werden die Konfiguration und Prüfung von Feldgeräten vor Ort mit einem handgeführten Wartungswerkzeug durchgeführt, beispielsweise einer tragbaren Prüfvorrichtung („PTD“; portable testing device). Da viele Feldgeräte an abgelegenen, schwer zugänglichen Orten installiert sind, ist es für einen Benutzer praktischer, die installierten Geräte an diesen abgelegenen Orten mit einer PTD zu prüfen anstatt eine vollständige Konfigurations- und Prüfvorrichtung zu verwenden, die schwer, sperrig und nicht-tragbar sein kann, sodass im Allgemeinen das installierte Feldgerät an den Ort der Diagnosevorrichtung transportiert werden muss.

[0010] Wenn ein Benutzer, beispielsweise ein Servicetechniker, Wartungsprüfungen und/oder Kommunikation an bzw. mit einem Feldgerät durchführt, ist die PTD üblicherweise kommunikativ mit einer Kommunikationsverbindung (z. B. einer Stromschleife oder einem Feldbus-Segment) oder direkt mit einem Feldgerät (z. B. über Kommunikationsklemmen des Feldgeräts) verbunden. Anfangs versucht die PTD, mit dem Feldgerät zu kommunizieren, beispielsweise durch das Senden und/oder Empfangen digitaler Kommunikationssignale entlang der Schleife oder des Segments. Wenn sich die Stromschleife oder das Segment im ordnungsgemäßen Betriebszustand befindet, können die Kommunikationssignale problemlos gesendet und/oder empfangen werden. Wenn die Schleife, das Segment oder das Feldgerät jedoch einen elektrischen Fehler aufweist, beispielsweise einen Kurzschluss oder eine Unterbrechung, kann die Kommunikation behindert werden und es erforderlich sein, die Schleife, das Segment und/oder das Feldgerät zu diagnostizieren, um den Fehler zu identifizieren.

[0011] Wenn ein solcher Fehler identifiziert wird, benötigt ein Techniker möglicherweise zahlreiche andere Werkzeuge zum Prüfen des Feldgeräts und/oder der Kommunikationsverbindung. Beispielsweise muss der Techniker möglicherweise ein Multimeter mitnehmen, um die tatsächlichen Signale zu diagnostizieren, die vom Feldgerät gesendet oder empfangen werden. Das Multimeter ist erforderlich, da herkömmliche PTDs die elektrischen Eigenschaften von Signalen, die von einem Feldgerät gesendet oder empfangen werden, nicht präzise analysieren können. Als ein anderes Beispiel kann es sein, dass der Techniker eine tragbare Stromversorgung verwenden muss, um ein isoliertes Feldgerät mit Strom zu versorgen. Der Techniker muss ein isoliertes Feldgerät möglicherweise mit Strom versorgen, wenn das Feldgerät beispielsweise aufgrund eines anlagenweiten Stromausfalls oder eines Problems mit einer lokalen Stromversorgung Strom verliert. Als ein weiteres Beispiel kann es sein, dass der Techniker einfach ein Feldgerät zur Problemsuche trennen muss, damit andere Feldgeräte und der Rest des Prozessleitsystems davon nicht negativ betroffen sind. Der Techniker muss möglicherweise auch ein Multimeter mitnehmen, um den in einem Segment oder einer Schleife verfügbaren Strom zu messen etc. Jedes dieser Werkzeuge kann einigen Platz beanspruchen und für einen Techniker beim Mitnehmen zum Einsatzort unpraktisch sein. Um dieses Problem mit dem Transportieren mehrerer Werkzeuge zu lösen, haben Hersteller PTDs entwickelt, die eine Stromversorgung zum Versorgen einer HART-Schleife mit Strom aufweisen.

Leider können diese Strom führenden PTDs üblicherweise keine Feldbus-Feldgeräte mit Strom versorgen. Außerdem erfüllen übliche tragbare Stromversorgungen und Strom führende PTDs oft nicht die Normen für die Eigensicherheit (IS; intrinsic safety) und können deshalb in gefährlichen Bereichen nicht sicher verwendet werden (z. B. in Umgebungen oder Atmosphären mit Explosionsgefahr aufgrund von explosivem Gas oder Staub).

[0012] Wenn sich ein Feldgerät in einem gefährlichen Bereich befindet, muss der Techniker sicherstellen, dass alle seine oder ihre Werkzeuge auf eigensichere Art funktionieren. In einem gefährlichen Bereich kann es erforderlich sein, dass die Werkzeuge eines Technikers den IS-Normen entsprechen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Allgemein gesagt fordern die IS-Normen, dass das Personal in Anlagen die gesamte Ausstattung analysiert, die an einer Schleife oder einem Segment angebracht ist (einschließlich aller PTDs oder anderer Werkzeuge, die an der Schleife oder dem Segment angebracht werden), um sicherzustellen, dass die gesamte angebrachte Ausstattung in einem gefährlichen Bereich auf sichere Art betrieben wird. Insbesondere sehen die IS-Normen Einschränkungen für elektrische Ausstattung und Verkabelung in gefährlichen Bereichen vor, um zu gewährleisten, dass die elektrische Ausstattung und Verkabelung keine Explosion zündet. Um die IS-Normen zu erfüllen, muss elektrische Ausstattung im Allgemeinen unter Beachtung von zwei wesentlichen Konzepten entwickelt werden: Energiebegrenzung und Fehlertoleranz.

[0013] Das erste IS-Konzept gibt vor, dass ein IS-Gerät derart zu entwickeln ist, dass die Gesamtmenge der im Gerät verfügbaren Energie unter einem Schwellenwert liegt, der zum Entzünden einer explosiven Atmosphäre ausreichend ist. Die Energie kann elektrisch (z. B. in der Form eines Funkens) oder thermisch sein (z. B. in der Form einer heißen Oberfläche). Während IS-Normen komplex sein können, fordern sie im Allgemeinen, dass jede Spannung in einer Schaltung weniger als 29 V beträgt; dass jeder Strom in einer Schaltung weniger als 300 mA beträgt; und dass die Leistung im Zusammenhang mit jeder Schaltung oder jeder Schaltungskomponente weniger als 1,3 W beträgt. Eine Schaltung mit elektrischen Eigenschaften über diesen Schwellenwerten kann aufgrund von Lichtbogenzündung oder Wärme ein Explosionsrisiko darstellen.

[0014] Das zweite IS-Konzept gibt vor, dass ein IS-Gerät auf fehlertolerante Art zu entwickeln ist, sodass es selbst beim Auftreten mehrerer Ausfälle ein sicheres Energieniveau beibehält. Kurz gesagt geben die IS-Normen die Philosophie wieder, dass Schaltungsfehler unvermeidbar sind und das Energieniveau der Schaltung auf ein sicheres Ausmaß begrenzt werden muss, wenn diese Schaltungsfehler auftreten.

[0015] Allgemein gesagt sind tragbare Stromversorgungen und Strom führende PTDs nicht IS-konform und können folglich nicht in gefährlichen Bereichen verwendet werden, weil: (i) tragbare Stromversorgungen und Strom führende PTDs üblicherweise so ausgestaltet sind, dass eine oder mehrere Komponenten das Energieniveau überschreiten können, das zum möglichen Entzünden einer explosiven Atmosphäre ausreichend ist, und/oder (ii) die tragbaren Stromversorgungen und Strom führenden PTDs anfällig auf Komponentenausfälle sind, die in einem Überschreiten des zum möglichen Entzünden der explosiven Atmosphäre ausreichenden Energieniveaus durch die tragbaren Stromversorgungen oder die Strom führenden PTDs resultieren würden.

[0016] Beispielsweise kann eine übliche tragbare Stromversorgung an ihren Klemmen eine Spannung erzeugen, die für eine mögliche Explosion in einem gefährlichen Bereich ausreichend ist (z. B. über 29 V). Selbst wenn sie dafür vorgesehen ist, eine Spannung von unter 29 V bereitzustellen, weist eine übliche tragbare Stromversorgung keine ausfallsicheren Mechanismen auf, die Spitzen der bereitgestellten Spannung oder des Stroms garantiert verhindern. Folglich müssen in einer gefährlichen Umgebung Techniker, die ein Feldgerät mit Strom versorgen müssen, das Feldgerät im Allgemeinen deinstallieren und das Feldgerät in einen sicheren Bereich transportieren, in dem es mit Strom versorgt und geprüft werden kann.

KURZDARSTELLUNG

[0017] Diese Offenbarung beschreibt ein tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort, das zur Verwendung in industriellen Prozessleitsystemen, -umgebungen und/oder -anlagen konfiguriert ist, die hierin austauschbar als „Automatisierungs-“, „industrielle Leit-“, „Prozessleit-“ oder „Prozess“systeme, -umgebungen und/oder -anlagen bezeichnet werden. Üblicherweise ermöglichen solche Systeme und Anlagen die verteilte Steuerung eines oder mehrerer Prozesse, die zur Herstellung, Raffination, Umwandlung, Erzeugung oder Produktion von physischen Materialien oder Produkten dienen.

[0018] Das beschriebene tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort kann Feldgeräte und/oder mit Feldgeräten verbundene Kommunikationsverbindungen mit Strom versorgen, damit kommunizieren und/oder sie diagnostizieren. Das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort kann für die Verwendung mit Feldgeräten ausgebildet sein, die gemäß mehreren Kommunikationsprotokollen konfiguriert sind, beispielsweise dem Feldbus-Protokoll und dem HART-Protokoll. Somit muss ein Benutzer, anstatt mehrere Werkzeuge für das Service an unterschiedlichen Arten von Feldgeräten zu transportieren, nur das tragbare Wartungswerkzeug

für den Einsatz vor Ort mitnehmen. In manchen Fällen kann das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort ausreichend energiebegrenzt und fehlertolerant sein, um IS-Normen zu entsprechen. Demzufolge kann das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort im Gegensatz zu vielen tragbaren Stromversorgungen und PTDs des Stands der Technik in gefährlichen Bereichen sicher verwendet werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] Jede der unten beschriebenen Figuren stellt einen oder mehrere Aspekte des/der offenbarten System(e) und/oder Verfahren gemäß einer Ausführungsform dar. Die ausführliche Beschreibung bezieht sich nach Möglichkeit auf die in den folgenden Figuren enthaltenen Bezugszeichen.

[0020] **Fig.** 1A stellt ein beispielhaftes tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort dar, das mit einem Feldgerät verbunden ist.

[0021] **Fig.** 1B ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Prozessleitsystems, in dem das in **Fig.** 1A gezeigte tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort dafür verwendet werden kann, mit einem oder mehreren Feldgeräten zu kommunizieren, sie zu diagnostizieren oder sie mit Strom zu versorgen.

[0022] **Fig.** 2 ist eine schematische Darstellung einer passiven PTD des Stands der Technik, die kommunikativ mit einem HART-Feldgerät verbunden ist.

[0023] **Fig.** 3 ist eine schematische Darstellung einer passiven PTD des Stands der Technik, die kommunikativ mit einem Feldbus-Feldgerät verbunden ist.

[0024] **Fig.** 4 ist ein Blockdiagramm des in **Fig.** 1A gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort einen aktiven Kommunikator für Stromversorgung und Kommunikation mit Feldgeräten aufweist.

[0025] **Fig.** 5A ist ein Blockdiagramm eines aktiven Kommunikators, der für die digitale Kommunikation mittels Frequenzmodulation konfiguriert ist und in dem in **Fig.** 1A gezeigten tragbaren Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort vorhanden sein kann.

[0026] **Fig.** 5B ist ein Blockdiagramm eines aktiven Kommunikators, der für die digitale Kommunikation mittels Amplitudenmodulation konfiguriert ist und in dem in **Fig.** 1A gezeigten tragbaren Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort vorhanden sein kann.

[0027] **Fig.** 5C ist ein Blockdiagramm eines aktiven Kommunikators, der für die analoge Kommunikation konfiguriert ist und in dem in **Fig.** 1A gezeigten tragbaren Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort vorhanden sein kann.

[0028] **Fig.** 6 ist eine schematische Darstellung eines aktiven Kommunikators, der in einem beispielhaften tragbaren Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort vorhanden sein kann und eine Kommunikation über ein Protokoll für die digitale Kommunikation mittels Frequenzmodulation ermöglichen kann, beispielsweise das HART-Protokoll.

[0029] **Fig.** 7 ist eine schematische Darstellung eines in **Fig.** 6 gezeigten Widerstandsnetzes.

[0030] **Fig.** 8A ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Sensor verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem der Sensor durch den aktiven Kommunikator des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit Strom versorgt wird.

[0031] **Fig.** 8B ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Aktor verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem der Aktor durch den aktiven Kommunikator des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit Strom versorgt wird.

[0032] **Fig.** 9A ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Sensor verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem der Sensor nicht durch den aktiven Kommunikator des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit Strom versorgt wird.

[0033] **Fig.** 9B ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Aktor verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem der Aktor nicht durch den aktiven Kommunikator des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit Strom versorgt wird.

[0034] **Fig.** 10 ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Feldgerät verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem eine Energieüberwachungseinrichtung des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort parallel mit dem Feldgerät verbunden werden kann, um elektrische Eigenschaften von Signalen zu messen, die vom Feldgerät gesendet oder empfangen werden.

[0035] **Fig.** 11 ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit einem Feldgerät verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem

die Energieüberwachungseinrichtung des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort in Reihe mit dem Feldgerät verbunden werden kann, um elektrische Eigenschaften von Signalen zu messen, die vom Feldgerät gesendet oder empfangen werden.

[0036] Fig. 12 ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, das mit E/A-Vorrichtungen verbunden ist, wobei ein Beispiel dargestellt ist, bei dem das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort die E/A-Vorrichtungen prüfen kann.

[0037] Fig. 13 ist eine schematische Darstellung eines aktiven Kommunikators, der in einem beispielhaften tragbaren Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort vorhanden sein kann und eine Kommunikation über ein Protokoll für die digitale Kommunikation mittels Amplitudenmodulation ermöglichen kann, beispielsweise das Feldbus-Protokoll.

[0038] Fig. 14A ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 13 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, wobei ein Beispiel gezeigt ist, bei dem das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort mit einem Feldgerät verbunden werden kann, das mit einem betriebsfähigen Bus verbunden ist.

[0039] Fig. 14B ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 13 gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, wobei ein Beispiel gezeigt ist, bei dem das tragbare Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort ein Feldgerät über einen internen Bus des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit Strom versorgen und damit kommunizieren kann.

[0040] Fig. 15 ist eine Ansicht einer Kommunikationsschnittstelle des in **Fig.** 1A gezeigten tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort aus einer Perspektive außerhalb des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0041] Die vorliegende Offenbarung beschreibt ein tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort und verschiedene Methoden zum Umsetzen des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort. **Fig.** 1A stellt ein beispielhaftes tragbares Wartungswerkzeug **100** für den Einsatz vor Ort („Werkzeug **100**“) dar, das über eine Kommunikationsverbindung **150** mit einem Feldgerät **160** verbunden sein kann. Vorteilhafterweise kann das Werkzeug **100** mit dem Feldgerät **160** nicht nur kommunizieren, sondern das Feldgerät **160** auch mit Strom versorgen. Das Werkzeug **100** kann ein einzelnes zusammengesetztes Signal, das über de Verbindung **150** übertragen wird, für das Versorgen mit Strom und das Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** verwenden. In manchen Fällen kann das Werkzeug **100** Probleme mit dem Feldgerät **160** oder einer Kommunikationsverbindung in der Anlagenumgebung diagnostizieren, mit der das Feldgerät **160** verbunden ist (z. B. einer HART-Schleife oder einem Feldbus-Segment; nicht gezeigt). In manchen Fällen kann das Werkzeug **100** mit Feldgeräten kommunizieren oder sie diagnostizieren, die gemäß unterschiedlichen Protokollen konfiguriert sind. Beispielsweise kann das Werkzeug **100** fähig sein, mit herkömmlichen 4–20-Feldgeräten, HART-Feldgeräten und Feldbus-Feldgeräten zu kommunizieren, sie mit Strom zu versorgen und sie zu diagnostizieren. Im Gegensatz zu vielen PTDs des Stands der Technik, die bei denen ein Benutzer mehrere Geräte verwenden und/oder mehrere Kabel und Drähte mit zahlreichen unterschiedlichen Klemmensätzen verbinden muss, wenn er oder sie mit einem Feldgerät kommunizieren, das Feldgerät mit Strom versorgen und eine Diagnose von Signalen durchführen möchte, die vom Feldgerät gesendet oder empfangen werden, kann das Werkzeug **100** einen einzelnen Klemmensatz für Kommunikation, Strom und Diagnose nutzen, sodass die Konfiguration und Verwendung des Werkzeugs **100** für Benutzer vereinfacht werden.

[0042] Außerdem kann das Werkzeug **100** ausreichend energiebegrenzt und fehlertolerant sein, um IS-Normen zu entsprechen. Beispielsweise kann das Werkzeug **100** so ausgestaltet sein, dass alle Komponenten des Werkzeugs **100** und alle vom Werkzeug **100** gesendeten und/oder empfangenen Signale (z. B. Strom- und/oder Kommunikationssignale) auf Bereiche energiebegrenzt sind, die mit IS-Normen konform sind. Des Weiteren kann das Werkzeug **100** Komponenten des Werkzeugs **100** und/oder vom Werkzeug **100** gesendete oder empfangene Signale „selbstüberwachen“, um sicherzustellen, dass die Komponenten und/oder Signale IS-konform bleiben. Um dies darzustellen, kann das Werkzeug **100** eine oder mehrere Komponenten deaktivieren (oder das Werkzeug **100** als Ganzes deaktivieren), wenn sich eine Komponente oder ein Signal einem Schwellenwert im Zusammenhang mit den IS-Normen annähert oder diesen überschreitet. Demzufolge kann ein Benutzer, wenn das Werkzeug **100** IS-konform ist, das Werkzeug **100** mit dem Feldgerät **160** oder einer Verbindung (z. B. einer HART-Schleife oder einem Feldbus-Segment), mit der das Feldgerät **160** verbunden ist, mit der Sicherheit verbinden, dass er oder sie gegen keine IS-Normen verstößt, und mit der Sicherheit, dass er oder sie keine explosive Atmosphäre entzündet. Kurz gesagt kann das Werkzeug **100** im Gegensatz zu vielen herkömmlichen tragbaren Stromversorgungen und PTDs in gefährlichen Bereichen sicher verwendet werden.

[0043] Die Kommunikationsverbindung **150** kann eine Zwei-Leiter-Kommunikationsverbindung sein, die

ein Kommunikationssignal und/oder ein Stromsignal transportieren kann, von denen jedes Teil eines zusammengesetzten Signals sein kann. Wenn hierin verwendet, kann der Begriff „Signal“ ein Kommunikationssignal, ein Stromsignal oder ein zusammengesetztes Signal bezeichnen, das sowohl Strom als auch Informationen transportiert. Allgemein gesagt bezeichnet der Begriff „Kommunikationssignal“ jedes Signal, das Informationen transportiert (beispielsweise ein Steuersignal, das einem Aktor das Betätigen befiehlt), und kann analog oder digital und Wechselstrom oder Gleichstrom sein. Der Begriff „Stromsignal“ bezeichnet jede elektrische Energie, die zum Zweck der Stromversorgung übertragen wird, und kann Wechselstrom oder Gleichstrom sein. Das Werkzeug **100** kann einen Klemmensatz zum Verbinden mit der Verbindung **150** und dem Feldgerät **160** haben und in manchen Fällen mehrere Klemmensätze zum Verbinden mit Feldgeräten haben, die gemäß mehreren unterschiedlichen Protokollen konfiguriert sind (z. B. einen Klemmensatz für HART-Feldgeräte und einen Klemmensatz für Feldbus-Feldgeräte).

[0044] Zum Versorgen des Feldgeräts **160** mit Strom kann das Werkzeug **100** eine Stromversorgung aufweisen, die zum Bereitstellen einer Spannung an Klemmen des Werkzeugs **100** konfiguriert ist, mit denen die Kommunikationsverbindung **150** verbunden ist.

[0045] Das Werkzeug **100** kann zum Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** über ein zusammengesetztes Signal (übertragen über die Verbindung **150**) konfiguriert sein, das ein Kommunikationssignal (zum Ermöglichen der Kommunikation zwischen dem Werkzeug **100** und dem Feldgerät **160**) und ein Stromsignal (zum Versorgen des Feldgeräts **160** mit Strom) enthält. Das Kommunikationssignal kann ein digitales Signal, ein analoges Signal oder ein zusammengesetztes analoges und digitales Signal sein. Mit anderen Worten kann das Werkzeug **100** ein erstes zusammengesetztes Signal, das ein Stromsignal enthält, und ein zweites zusammengesetztes Signal, das ein analoges und ein digitales Signal enthält, senden und/oder empfangen.

[0046] Beispielsweise kann das Werkzeug **100** einen ersten Klemmensatz zum Senden und/oder Empfangen eines ersten zusammengesetzten Signals (z. B. eines HART-Signals) aufweisen, das Folgendes enthält: (i) ein Gleichstrom-Stromsignal (z. B. 4 mA) und (ii) ein zweites zusammengesetztes Signal für die Kommunikation (z. B. ein digitales Wechselstrom-Kommunikationssignal, das ein Gleichstrom-Kommunikationssignal mit 0–16 mA überlagert), das das Stromsignal mit 4 mA überlagert. In einem solchen Beispiel bleibt das Stromsignal im Allgemeinen konstant auf 4 mA und stellt einen lebenden Nullpunkt dar, sodass das erste zusammengesetzte Signal einen Stromstärkenbereich von 4–20 mA hat. Das Werkzeug **100** kann zusätzlich oder alternativ einen zweiten Klemmensatz zum Senden und/oder Empfangen eines zusammengesetzten Signals gemäß anderen Protokollen, beispielsweise dem Feldbus-Protokoll, haben. Beispielsweise kann das Werkzeug **100** ein zusammengesetztes Signal senden und/oder empfangen, das Folgendes enthält: (i) ein Gleichstrom-Stromsignal (z. B. 10–25 mA) und (ii) ein digitales Wechselstrom-Kommunikationssignal (z. B. von Peak zu Peak auf 15–20 mA moduliert), das das Gleichstrom-Stromsignal überlagert. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** einen oder mehrere Klemmensätze für das Senden analoger und/oder digitaler Kommunikationssignale ohne das Bereitstellen von Strom auf (z. B. für Situationen, in denen das Feldgerät **160** bereits mit Strom versorgt ist).

[0047] Wie vermerkt wurde, kann das Werkzeug **100** in Übereinstimmung mit IS-Normen betrieben werden. Dies bedeutet, dass das Werkzeug **100** in gefährlichen Bereichen sicher verwendet werden kann, da die Komponenten des Werkzeugs **100** gemäß IS-Normen energiebegrenzt und fehlertolerant sein können. Beispielsweise können die Komponenten des Werkzeugs **100** (i) strombegrenzt auf eine Stromgrenze (z. B. 250 mA, 300 mA, 350 mA etc.), (ii) spannungsbegrenzt auf eine Spannungsgrenze (z. B. 25 V, 29 V, 35 V etc.) und (iii) leistungsbegrenzt auf eine Leistungsgrenze (z. B. 1 W, 1,3 W, 1,5 W etc.) sein. Das Werkzeug **100** kann eine oder mehrere eingebaute Redundanzen haben (z. B. automatische Abschaltung, redundante Komponenten etc.), um zu gewährleisten, dass Komponentenausfälle nicht zum Überschreiten dieser Energiegrenzen führen.

[0048] Das Werkzeug **100** kann eines oder mehrere aufweisen von: einer Anzeige **122**, einem Gehäuse **128**, Eingabetasten **132** und einem Klappständer **152**. Das Gehäuse **128** kann als handgeführte Einheit geformt und bemessen sein. Das Gehäuse **128** kann eine im Allgemeinen rechteckige kubische Form oder jede andere gewünschte Form oder Größe haben (z. B. 5 Zoll, 7 Zoll oder 11 Zoll in der Diagonalen).

[0049] Die Anzeige **122** und die Eingabetasten **132** können an einer Stirnseite des Gehäuses angeordnet sein. Dia Anzeige **122** kann ein Touchscreen sein, beispielsweise ein kapazitiver Touchscreen, der Berührungseingaben über kapazitive Erfassung erkennt, oder ein resistiver Touchscreen, der Berührungseingaben über aufgebrachten Druck erkennt. Die Eingabetasten **32** können physische Tasten sein, beispielsweise Drucktasten oder multidirektionale Tasten. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** die Eingabetasten **32** nicht auf.

[0050] Der Klappständer **152** kann zwischen einer flachen Position an der Rückseite des Gehäuses **128** und einer nach außen geschwenkten Position von der

Rückseite des Gehäuses **128** geschwenkt werden. In der flachen Position kann ein Benutzer das Werkzeug **100** tragen und das Werkzeug **100** auf ähnliche Weise wie ein Tablet verwenden. In der nach außen geschwenkten Position kann der Klappständer **152** zum Ausklappen des Wartungswerkzeugs **100** in eine aufrechte Position verwendet werden. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** den Klappständer **152** nicht auf.

[0051] **Fig.** 1B ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Prozessleitsystems **10**, in dem das Werkzeug **100** dafür verwendet werden kann, mit einem oder mehreren Feldgeräten zu kommunizieren, sie zu diagnostizieren oder sie mit Strom zu versorgen. Das Prozessleitsystem **10** weist einen Prozess-Controller **11** auf, der mit einem Daten-Historian **12** und einer bzw. einem oder mehreren Host-Workstations oder -Computern **13** verbunden ist (die jede Art von Personal Computer, Workstation etc. sein können), jeweils mit einem Anzeigebildschirm **14**. Das Prozessleitsystem **10** kann eine Mehrzahl von Feldgeräten **160** aufweisen, beispielsweise die Feldgeräte **15**–**22**.

[0052] Der Controller **11** kann mit den Feldgeräten **15**–**22** über Eingang/Ausgang-Karten („E/A"-Karten) **26** und **28** verbunden sein. Der Daten-Historian **12** kann jede gewünschte Art von Datensammeleinheit mit jeder gewünschten Art von Speicher und jeder gewünschten oder bekannten Software, Hardware oder Firmware zum Speichern von Daten sein. Der Controller **11** ist in **Fig.** 1B kommunikativ mit den Feldgeräten **15**–**22** verbunden.

[0053] Im Allgemeinen können die Feldgeräte **15**–**22** jede Art von Gerät sein, beispielsweise Messfühler, Ventile, Sensoren, Positionierungseinrichtungen etc., während die E/A-Karten **26** und **28** jede Art von E/A-Vorrichtung sein können, die einem beliebigen Kommunikations- oder Controller-Protokoll entsprechen. Beispielsweise können die Feldgeräte **15**–**22** und/oder die E/A-Karten **26** und **28** gemäß dem HART-Protokoll oder dem Feldbus-Protokoll konfiguriert sein. Der Controller **11** weist einen Prozessor **23** auf, der eine oder mehrere Prozesssteuerungsroutinen **30** (oder Module, Blöcke oder Teilroutinen davon), die in einem Speicher **24** gespeichert sind, umsetzt oder überwacht. Allgemein gesagt kommuniziert der Controller **11** mit den Feldgeräten **15**–**22**, den Host-Computern **13** und dem Daten-Historian **12** zum Steuern eines Prozesses auf gewünschte Weise. Außerdem implementiert der Controller **11** eine bzw. ein Steuerungsstrategie oder -schema mittels eines oder mehrerer Funktionsblöcke **32**–**38**, wobei jeder Funktionsblock ein Objekt oder ein anderer Teil (z. B. eine Teilroutine) einer gesamten Steuerungsroutine **30** ist. Die Funktionsblöcke **32**–**38** können im Controller **11** oder anderen Geräten, beispielsweise intelligenten Feldgeräten, gespeichert sein und davon ausgeführt werden.

[0054] Das Werkzeug **100** kann über die Verbindung **150** kommunikativ mit einer Kommunikationsverbindung (z. B. einer HART-Schleife oder einem Feldbus-Segment) verbunden sein, die eines der Feldgeräte **15**–**22** mit den E/A-Karten **26** und **28** verbindet. Alternativ kann das Werkzeug **100** direkt mit einem der Feldgeräte **15**–**22** kommunikativ verbunden sein (z. B. über auf den Feldgeräten **15**–**22** vorhandene Kommunikationsklemmen). Wenn gewünscht, kann das Werkzeug **100** die Feldgeräte **15**–**22**, mit denen das Werkzeug **100** verbunden ist, oder einen Bus (z. B. ein Feldbus-Segment), mit dem die Feldgeräte **15**–**22** verbunden sind, mit Strom versorgen. Das Werkzeug **100** kann es einem Benutzer ermöglichen, mit jedem der Feldgeräte **15**–**22** zu kommunizieren und/oder es zu diagnostizieren. In manchen Fällen versorgt das Werkzeug **100** jeweils nur eines der Feldgeräte **15**–**22** zu einer gegebenen Zeit.

[0055] **Fig.** 2 ist eine schematische Darstellung einer PTD **205** des Stands der Technik, die über eine HART-Schleife **200A** mit einem HART-Feldgerät **215** verbunden ist und die Verwendung einer tragbaren Stromversorgung **220** benötigt. Im Gegensatz zum Werkzeug **100** kann die PTD **205** das Feldgerät **215** nicht mit Strom versorgen, sodass sie für Techniker unpraktisch ist. Außerdem erfüllt die tragbare Stromversorgung **220** möglicherweise die IS-Normen nicht, wodurch sie für die Verwendung in gefährlichen Bereichen ungeeignet ist. Schließlich benötigt die PTD **205** im Gegensatz zum Werkzeug **100** einen Schleifenwiderstand **210**, der parallel zur PTD **205** mit der Schleife **200A** verbunden ist, um mit dem Feldgerät **215** zu kommunizieren.

[0056] Wie vermerkt wurde, versorgt die PTD **205** das Feldgerät **215** nicht mit Strom. Stattdessen wird das Feldgerät **215** von einer tragbaren Stromversorgung **220** versorgt. **Fig.** 2 stellt ein Szenario dar, in dem das Feldgerät **215** auf einem Prüfstand geprüft wird oder in dem das Feldgerät **215** von seiner normalen Stromquelle vor Ort getrennt ist. Da die PTD **205** keinen Strom für das Feldgerät **215** bereitstellt, muss ein Techniker die tragbare Stromversorgung **220** zusätzlich zur PTD **205** zum Feldgerät **215** tragen, wenn ein Service vor Ort durchgeführt wird.

[0057] Wie außerdem vermerkt wurde, erfüllt die tragbare Stromversorgung **220** möglicherweise die IS-Normen nicht. Wenn sich das Feldgerät **215** also in einem gefährlichen Bereich befindet, kann der Techniker das Feldgerät **215** möglicherweise nicht mit Strom versorgen und die PTD **205** folglich nicht für das Service des Feldgeräts **215** nutzen. Übliche tragbare Stromversorgungen können in gefährlichen Bereichen oft nicht sicher verwendet werden, da sie für gewöhnlich die IS-Normen nicht erfüllen. Insbesondere sind übliche tragbare Stromversorgungen oft anfällig auf Komponentenausfälle, die zu ausreichenden Spannungs-, Strom- und/oder Temperatur-

spitzen zum Entzünden einer explosiven Atmosphäre führen können. Es sollte vermerkt werden, dass die PTD **205**, wenn sie durch das Hinzufügen einer Stromversorgung „aktiv“ gemacht würde, hinsichtlich der IS-Normen viele derselben Probleme hätte, die bei tragbaren Stromversorgungen auftreten.

[0058] Schließlich benötigt die PTD **205**, wie viele PTDs des Stands der Technik, den externen 250-Ohm-Schleifenwiderstand **210**, um mit dem HART-Feldgerät **215** zu kommunizieren. Im Vergleich dazu kann das Werkzeug **100** ein internes Widerstandsnetz aufweisen, das einen ausreichenden Widerstand zum Auslesen eines Signals auf einer Verbindung wie der Schleife **200A** bereitstellt, und erfordert deshalb nicht die Verwendung des externen Widerstands **210**. Der externe Widerstand **210** stellt einen ausreichenden Schleifenwiderstand bereit, um es der PTD **205** zu ermöglichen, eine Spannung an der Schleife **200A** zu detektieren, was für das Auslesen des von der Schleife **200A** transportierten Signals nötig ist (d. h. die PTD **205** interpretiert die detektierte Spannung als Signalwert). In diesem Beispiel könnte die PTD **205** einen analogen Wert (z. B. einen Messwert eines Tankfüllstands zwischen 0% voll und 100% voll) auf der Grundlage des jeweiligen Werts der detektierten Spannung in einem Bereich von 1 V–5 V interpretieren (z. B. wobei 1 V = 0% und 5 V = 100%). Wenn der Schleifenstrom beispielsweise 20 mA beträgt, werden 5 V (d. h. 20 mA·250) von der PTD **205** detektiert, und wenn der Schleifenstrom 4 mA beträgt, wird 1 V (d. h. 4 mA·250) von der PTD detektiert. Außerdem könnte die PTD **205** die digitale Komponente eines HART-Signals auf der Grundlage der detektierten Spannung interpretieren. Die digitale Komponente eines HART-Signals variiert im Allgemeinen von Peak zu Peak um ungefähr 1 mA. Der 250-Ohm-Widerstand **210** ermöglicht es der PTD **250** also, eine Spannung von ungefähr 250 mV (1 mA·250) zu detektieren, die dieser digitalen Komponente entspricht. Wenn ein kleinerer Widerstand verwendet würde (oder kein Widerstand verwendet würde), könnte die mit der Signalausgabe auf der Schleife **200A** zusammenhängende Spannung auf ein Niveau fallen, das von der passiven PTD nicht detektiert werden kann. Im Vergleich dazu kann das Werkzeug **100** ein internes Widerstandsnetz mit einem Widerstand von unter 250 Ohm nutzen, sodass das Werkzeug **100** ein Signal auf der HART-Schleife **200a** auslesen kann, während es die IS-Energiebegrenzungen einhält.

[0059] **Fig.** 3 ist eine schematische Darstellung einer PTD **305** des Stands der Technik, die kommunikativ mit einem Feldbus-Feldgerät **310** verbunden ist, das durch eine Feldbus-Stromversorgung **315** über ein Feldbus-Segment **300** mit Strom versorgt wird. Die PTD **305** ist der PTD **205** insofern ähnlich, als sie keinen Strom für das Feldgerät **310** bereitstellt und deshalb für Techniker unpraktisch ist. Wenn ein Techniker also ein Service am Feldgerät **310** vornimmt, benötigt er oder sie im Allgemeinen die Stromversorgung **315** oder eine tragbare Stromversorgung (nicht gezeigt), um das Feldgerät **315** mit Strom zu versorgen. Im Vergleich dazu kann das Werkzeug **100** ein Feldgerät wie das Feldgerät **310** mit Strom versorgen, selbst wenn sich das Feldgerät **310** in einem gefährlichen Bereich befindet.

[0060] **Fig.** 4 ist ein Blockdiagramm des Werkzeugs **100** und stellt ein Beispiel dar, bei dem das Werkzeug **100** einen aktiven Kommunikator **404** und eine physische Kommunikationsschnittstelle **406** aufweist, die über elektrische Verbindungen **416** und **417** elektrisch mit dem aktiven Kommunikator **404** verbunden ist, sodass der aktive Kommunikator **404** das Feldgerät **160** über die physische Kommunikationsschnittstelle **406** mit Strom versorgen und damit kommunizieren kann sowie eine oder mehrere elektrische Eigenschaften von Signalen messen kann, die vom aktiven Kommunikator **404** gesendet oder empfangen werden. Wie gezeigt ist, kann die Kommunikationsschnittstelle **406** durch das Gehäuse **128** angeordnet sein, sodass ein äußerer Abschnitt der Schnittstelle **406** außerhalb des Gehäuses **128** zugänglich ist, wodurch die Kommunikationsverbindung **150** und das Feldgerät **160** mit der Schnittstelle **406** verbunden werden können.

[0061] Der aktive Kommunikator **404** ermöglicht es dem Werkzeug **100**, mit dem Feldgerät **160** zu kommunizieren, das Feldgerät **160** zu diagnostizieren, das Feldgerät **160** mit Strom zu versorgen und/oder eine Kommunikationsverbindung in einer Anlagenumgebung, mit der das Feldgerät **160** verbunden ist (nicht gezeigt), zu diagnostizieren. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **404** dafür konfiguriert sein, mit mehreren unterschiedlichen Arten von Feldgeräten (z. B. HART-Feldgeräten und Feldbus-Feldgeräten) zu kommunizieren und sie zu diagnostizieren, und/oder er kann dafür konfiguriert sein, IS-Normen zu entsprechen, sodass er dafür verwendet werden kann, mit Feldgeräten, die sich in gefährlichen Bereichen befinden, zu kommunizieren, sie zu diagnostizieren und sie mit Strom zu versorgen. Die eine oder mehreren Stromversorgungen des aktiven Kommunikators **404** können Schalter zum Deaktivieren der Stromversorgungen aufweisen.

[0062] Der aktive Kommunikator **404** kann eine Stromversorgung zum Versorgen des Feldgeräts **160** mit Strom aufweisen, einen Signal-Codierer und -Decodierer (z. B. ein Modem) zum Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** und/oder eine Strommessschaltung (z. B. ein Voltmeter und/oder Amperemeter) zum Messen elektrischer Eigenschaften von Signalen, die vom aktiven Kommunikator **404** gesendet und empfangen werden. Der aktive Kommunikator **404** kann Kommunikationssignale über die elektrischen Verbindungen **416** und **417** an das oder vom Feldgerät **160**

senden oder empfangen. Der aktive Kommunikator **404** kann Kommunikationssignale codieren, indem er eine Stromstärke oder eine Frequenz moduliert, um einen analogen oder digitalen Wert darzustellen, und kann ein Stromsignal mit dem Kommunikationssignal überlagern, um ein zusammengesetztes Signal zu erzeugen.

[0063] Das Werkzeug **100** kann eine Steuereinheit **402** aufweisen, die über einen Kommunikationsbus **414** kommunikativ mit dem aktiven Kommunikator **404** verbunden ist und dafür konfiguriert ist, den aktiven Kommunikator **404** zu steuern und zu überwachen. Auf einer hohen Ebene kann die Steuereinheit **402** Komponenten des aktiven Kommunikators **404** aktivieren und deaktivieren, um: (i) den aktiven Kommunikator **404** derart zu konfigurieren, dass er gemäß IS-Normen energiebegrenzt bleibt; (ii) den aktiven Kommunikator **404** derart zu konfigurieren, dass er gemäß einem gewünschten Kommunikationsprotokoll (z. B. HART oder Feldbus) kommuniziert; (iii) den aktiven Kommunikator **404** als Reaktion auf eine Verbindung zu konfigurieren, die an der physischen Kommunikationsschnittstelle **406** vorgenommen wurde (z. B. auf der Grundlage, ob ein Benutzer die Kommunikationsverbindung **150** mit einem Klemmensatz für HART oder einem Klemmensatz für Feldbus verbindet); und/oder (iv) den aktiven Kommunikator **404** für eine bestimmte Konfiguration eines Feldgerät s oder Art eines Feldgeräts (z. B. Aktor oder Sensor) zu konfigurieren. Allgemein gesagt ist ein Sensor ein Feldgerät, das zum Erhalten eines Messwerts (z. B. über einen Temperaturfühler, Druckfühler, Durchflussfühler, Füllstandsfühler etc.) und zum Senden des Messwerts konfiguriert ist. Die Konfiguration oder Art des Feldgeräts kann auf der Grundlage von Benutzereingaben oder auf der Grundlage einer Kommunikation mit dem verbundenen Feldgerät bestimmt werden.

[0064] Die Steuereinheit **402** kann einen Prozessor **422** aufweisen, einen Speicher **424** zum Speichern einer oder mehrerer Routinen und eine E/A-Schnittstelle **426**, die über den Bus **414** kommunikativ mit anderen Komponenten des Werkzeugs **100** verbunden ist. Die im Speicher **424** gespeicherten Routinen können eine Schaltungsmanager-Routine **462** zum Aktivieren und Deaktivieren von Komponenten des aktiven Kommunikators **404**, wie oben beschrieben, und eine Diagnosemanager-Routine **464** für das Diagnostizieren von Signalen einschließen, die vom aktiven Kommunikator **404** gesendet und empfangen werden.

[0065] Das Werkzeug **100** kann auch eine Benutzerschnittstelle („UI“; user interface) **410** aufweisen, die über den Bus **414** kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden ist, um eine Benutzerschnittstelle bereitzustellen und /oder an der UI **410** empfangene Benutzereingaben zu erkennen (z. B. Berührungseingaben). Die Steuereinheit **402** kann die Benutzerschnittstelle an der UI **410** bereitstellen und die Benutzereingaben an der UI **410** erkennen, indem sie einen im Speicher **424** gespeicherten UI-Manager **466** ausführt. Die UI **410** kann die in **Fig.** 1A gezeigte Anzeige **122** aufweisen, auf der die Steuereinheit **402** eine visuelle Ausgabe wiedergeben kann; und ein Audiogerät **444** für das Bereitstellen von akustischen Ausgaben. Beispielsweise kann die UI **410** eine grafische Benutzerschnittstelle wiedergeben, die es einem Benutzer ermöglicht, ein Kommunikationsprotokoll zum Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** auszuwählen, einen Befehl zum Senden an das Feldgerät **160** auszuwählen, vom Feldgerät **160** an das Werkzeug **100** gesendete Informationen anzuzeigen etc. Das Audiogerät **444** kann akustische Alarme oder Benachrichtigungen erzeugen, beispielsweise als Reaktion auf vom Feldgerät **160** gesendete Alarme.

[0066] Außerdem kann das Werkzeug **100** eine Energieüberwachungseinrichtung **408** (z. B. ein Amperemeter) aufweisen, das über den Bus **414** kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden ist, um einen Strom oder eine Spannung im Zusammenhang mit der Kommunikationsverbindung **150** zu messen, die mit der Schnittstelle **406** verbunden ist. Der Diagnosemanager **464** der Steuereinheit **402** kann die Energieüberwachungseinrichtung **408** zum Messen eines Signals nutzen, das vom Werkzeug **100** gesendet und/oder empfangen wird, um zu bestimmen, ob das Signal elektrische Eigenschaften innerhalb eines erwarteten Bereichs für ein bestimmtes Protokoll hat. Wenn ein Benutzer das Werkzeug **100** beispielsweise für den Versuch nutzt, einem HART-Ventil zu befehlen, sich zu 50% zu öffnen, kann die Energieüberwachungseinrichtung **408** verwendet werden, um zu überprüfen, ob das gesendete Signal einen Strom mit oder beinahe mit einer Stärke hat, die es dem HART-Ventil möglich macht, das Signal korrekt zu interpretieren (z. B. 12 mA). Der UI-Manager **464** kann von der Energieüberwachungseinrichtung **408** erhaltene Messwerte anzeigen. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** die Energieüberwachungseinrichtung **408** nicht auf. Jedoch sind ungeachtet dessen, ob das Werkzeug **100** die Energieüberwachungseinrichtung **408** aufweist, elektrische Messwerte für das Werkzeug **100** verfügbar, die vom aktiven Kommunikator **404** erhalten werden.

[0067] Das Werkzeug **100** kann auch eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle **412** aufweisen, die über den Bus **414** kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden ist, zum Senden und/oder Empfangen von Drahtlossignalen, die es dem Werkzeug **100** ermöglichen, mit anderen Komponenten der Anlage **10** zu kommunizieren. Die drahtlose Schnittstelle **412** kann ein oder mehrere geeignete Drahtlosprotokolle unterstützen, beispielsweise Wi-Fi (z. B. ein 802.11-Protokoll), Bluetooth (z. B. 2,4 bis 2,485 GHz), Nahfeldkommunikation (z. B. 13,56 MHz), Hochfrequenzsys-

teme (z. B. Kommunikationssysteme mit 900 MHz, 2, 4 GHz und 5,6 GHz) etc. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** die drahtlose Kommunikationsschnittstelle **412** nicht auf.

[0068] Fig. 5A–**Fig.** 5C sind Blockdiagramme der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521**, die jeweils ein Beispiel für den in **Fig.** 4 gezeigten aktiven Kommunikator **404** sind und für das Kommunizieren gemäß unterschiedlichen Kommunikationsschemata konfiguriert sind. Je nach Ausführungsform kann jeder der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** über den Bus **414** kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden sein und über die in **Fig.** 4 gezeigten elektrischen Verbindungen **416** und **417** elektrisch mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden sein.

[0069] Der in **Fig.** 5A gezeigte aktive Kommunikator **501** ist eine digitale Frequenzmodulationsschaltung („FM"-Schaltung) und kann eine Stromversorgung **502** und ein FM-Modem **504** aufweisen, die jeweils direkt oder indirekt elektrisch mit der elektrischen Verbindung **416** und **417** verbunden werden können. Die Stromversorgung **502** kann das mit der Schnittstelle **406** verbundene Feldgerät **160** über ein Gleichstromsignal mit Strom versorgen. Das FM-Modem **504** kann (über die Schnittstelle **406**) mittels eines Frequenzmodulationsschemas, beispielweise des HART-Protokolls, Informationen an das bzw. vom Feldgerät **160** senden und/oder empfangen. Beispielsweise kann das FM-Modem **504** zum Senden von Informationen ein von der Stromversorgung **502** bereitgestelltes Gleichstromsignal mit einem Wechselstrom-Kommunikationssignal überlagern. Das FM-Modem **504** kann digitale Kommunikationssignale codieren, indem es die Frequenz eines Wechselstrom-Kommunikationssignals moduliert, wobei eine erste Frequenz (oder ein erster Frequenzbereich) eine digitale 0 darstellt und eine zweite Frequenz (oder ein zweiter Frequenzbereich) eine digitale 1 darstellt. Beispielsweise kann das FM-Modem **504** ein Kommunikationssignal codieren, indem es die Frequenz des Kommunikationssignals bei 1200 Hz (eine digitale 1 darstellend) und 2200 Hz (eine digitale 0 darstellend) moduliert. Um Informationen zu empfangen, kann das FM-Modem **504** eine erste Frequenz oder einen ersten Frequenzbereich als digitale 0 interpretieren und eine zweite Frequenz oder einen zweiten Frequenzbereich als digitale 1 interpretieren.

[0070] Der in **Fig.** 5B gezeigte aktive Kommunikator **511** ist eine digitale Amplitudenmodulationsschaltung („AM"-Schaltung) und kann eine Stromversorgung **512** und ein AM-Modem **514** aufweisen, die jeweils direkt oder indirekt elektrisch mit den elektrischen Verbindungen **416** und **417** verbunden werden können. Die Stromversorgung **512** kann das mit der Schnittstelle **406** verbundene Feldgerät **160** über ein Gleichstromsignal mit Strom versorgen. Das AM-Modem **514** kann mittels eines Amplitudenmodulationsschemas, beispielweise des Feldbus-Protokolls, Informationen an das bzw. vom Feldgerät **160** senden und/oder empfangen. Beispielsweise kann das AM-Modem **511** zum Senden von Informationen ein von der Stromversorgung **512** bereitgestelltes Gleichstromsignal mit einem Wechselstrom-Kommunikationssignal überlagern. Das AM-Modem **511** kann digitale Kommunikationssignale codieren, indem es die Amplitude eines Wechselstrom-Kommunikationssignals moduliert, wobei eine erste Amplitude (oder ein erster Amplitudenbereich) eine digitale 0 darstellt und eine zweite Amplitude (oder ein zweiter Amplitudenbereich) eine digitale 1 darstellt. Beispielsweise kann der erste Bereich 7,5 mA bis 10 mA sein und der zweite Bereich –7,5 mA bis –10 mA sein. Unter manchen Umständen können Übergänge von der ersten Amplitude oder vom ersten Amplitudenbereich zur zweiten Amplitude oder zum zweiten Amplitudenbereich eine digitale 0 darstellen und Übergänge von der zweiten Amplitude zur ersten Amplitude eine digitale 1 darstellen. Das AM-Modem **514** kann folglich die Stromstärke des Kommunikationssignal steuern, um Übergänge zwischen dem ersten und dem zweiten Bereich zu verursachen, sodass digitale 1en und 0en in das Kommunikationssignal codiert werden. Um Informationen zu empfangen, kann das AM-Modem **514** eine erste Amplitude, einen ersten Amplitudenbereich und/oder einen ersten Übergang zwischen Amplituden (z. B. von hoch zu niedrig) als digitale 0 interpretieren und eine zweite Amplitude, einen zweiten Amplitudenbereich und/oder einen zweiten Übergang zwischen Amplituden (z. B. von niedrig zu hoch) als digitale 1 interpretieren.

[0071] In **Fig.** 5C ist nun der aktive Kommunikator **521** eine analoge Schaltung und kann eine Stromversorgung **522**, einen Gleichstromstärke-Controller oder eine Stromsenke **524** und/oder eine Gleichstromstärke-Überwachungseinrichtung **526** aufweisen, die jeweils direkt oder indirekt elektrisch mit den elektrischen Verbindungen **416** und **417** verbunden werden können. Der aktive Kommunikator **521** kann Informationen codieren, indem er den Stromstärke-Controller **524** veranlasst, Strom bei einer bestimmten Stärke innerhalb eines Bereichs (z. B. 4–20 mA) aufzunehmen. Eine beispielhafte Information, die vom aktiven Kommunikator **521** codiert wird, ist ein Befehl zum Öffnen eines Ventils bis 100% geöffnet (z. B. 20 mA) oder bis 0% geöffnet (z. B. 4 mA). Das Feldgerät **160**, das das codierte Signa empfängt, kann dafür konfiguriert sein, das Signal zu empfangen und die Stromstärke als einen bestimmten Befehl oder Wert zu interpretieren. Der aktive Kommunikator **521** kann zusätzlich oder alternativ ein Signal von einem Feldgerät **160** decodieren, indem er mit der Stromstärke-Überwachungseinrichtung **526** die Stromstärke des empfangenen Signals misst. Eine beispielhafte Information, die von einem Feldge-

rät **160** codiert wird (und vom aktiven Kommunikator **521** und/oder der Steuereinheit **402** decodiert werden soll), ist ein Durchflussmesswert (z. B. wobei das Feldgerät **160** dafür kalibriert ist, Messwerte innerhalb eines Bereichs von 0–100 Gallonen pro Minute zu melden, indem es ein entsprechendes Signal mit 4–20 mA sendet).

[0072] In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** möglicherweise nur einen der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** auf, während das Werkzeug **100** in anderen Fällen zwei oder mehr der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** aufweisen kann. Wenn das Werkzeug **100** mehrere der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** aufweist, kann das Werkzeug **100** fähig sein, mit mehreren Feldgeräten, die gemäß unterschiedlichen Protokollen betrieben werden (z. B. HART-Feldgeräte und Feldbus-Feldgeräte), zu kommunizieren und/oder sie zu diagnostizieren. Vorteilhafterweise kann ein Benutzer in der Anlage nur ein Werkzeug zum Prüfen mehrerer Arten von Feldgeräten mitnehmen, sodass ihm das Tragen eines unterschiedlichen Werkzeugs für jede unterschiedliche Art von Feldgerät erspart bleibt.

[0073] Wenn das Werkzeug **100** mehrere der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** aufweist, kann die Schnittstelle **406** einen Klemmensatz für jeden der aktiven Kommunikatoren **501**, **511** und **521** aufweisen. In manchen Fällen können die aktiven Kommunikatoren **501** und **521** eine Stromversorgung und/oder einen Klemmensatz gemeinsam nutzen. In solchen Fällen können die aktiven Kommunikatoren **501** und **521** ein einzelnes zusammengesetztes Signal nutzen, bei dem sowohl Stromamplitude als auch Frequenz moduliert werden, um Informationen zu transportieren. Beispielsweise kann der aktive Kommunikator **521** Informationen senden und/oder empfangen, indem er eine Amplitude eines Gleichstromsignals zwischen 4–20 mA variiert oder misst. Der aktive Kommunikator **501** kann das modulierte Gleichstromsignal dann mit einem Wechselstrom-Kommunikationssignal (z. B. 1 mA von Peak zu Peak) überlagern.

[0074] **Fig.** 6 ist eine schematische Darstellung eines aktiven Kommunikators **600** (der ein Beispiel für den in **Fig.** 4 gezeigten aktiven Kommunikator **404** sein kann) für das Werkzeug **100**, der über die Kommunikationsschnittstelle **406** elektrisch mit dem in **Fig.** 1A gezeigten Feldgerät **160** verbunden werden kann, um: (i) das Feldgerät **160** über ein Gleichstromsignal (z. B. 4 mA) mit Strom zu versorgen; (ii) mit dem Feldgerät **160** über ein strommoduliertes Signal zu kommunizieren, das auf dem Gleichstrom-Stromsignal vorgespannt ist (z. B. 4–20 mA); und (iii) mit dem Feldgerät **160** über ein digitales FM-Signal zu kommunizieren, das das analoge strommodulierte Signal überlagert. Vorteilhafterweise kann der aktive Kommunikator **600** dafür verwendet werden, mit HART-Feldgeräten zu kommunizieren und/oder sie zu diagnostizieren. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **600** gemäß IS-Normen energiebegrenzt und fehlertolerant sein, und es ist dem aktiven Kommunikator **600** und dem Werkzeug **100** möglich, Feldgeräte und Kommunikationsverbindungen, die sich in gefährlichen Bereichen befinden, mit Strom zu versorgen, damit zu kommunizieren und/oder sie zu diagnostizieren.

[0075] Wie vermerkt wurde, kann der aktive Kommunikator **600** mit dem Feldgerät **160** über zwei gleichzeitige Kommunikationskanäle kommunizieren: ein strommoduliertes analoges Signal und ein frequenzmoduliertes digitales Signal, das das analoge Signal überlagert. Allgemein gesagt übermittelt das analoge Signal einen primären gemessenen Wert (z. B. Durchfluss, Druck, Temperatur etc.), wenn das Feldgerät **160** ein Sensor ist, und übermittelt einen Befehl (z. B. Öffnen oder Schließen eines Ventils), wenn das Feldgerät **160** ein Aktor ist. Das digitale Signal kann Informationen vom Feldgerät **160** enthalten, beispielsweise Gerätestatus, Diagnosedaten, zusätzliche gemessene oder berechnete Werte etc.

[0076] Der aktive Kommunikator **600** kann eine oder mehrere der folgenden Komponenten aufweisen, wobei jede über einen Kommunikationsbus (nicht gezeigt) kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden werden kann: eine Stromversorgung **602**, einen Widerstand **604** und eine Kommunikationsschaltung **609**. Die Kommunikationsschaltung **609** kann eine Energiemessschaltung (z. B. die Spannungsüberwachungseinrichtungen **611** und **616**) aufweisen, die elektrische Eigenschaften von Signalen misst, die vom Werkzeug **100** gesendet und/oder empfangen werden. Der Diagnosemanager **662** kann die elektrischen Eigenschaften analysieren, um sicherzustellen, dass die Signale innerhalb eines erwarteten Bereichs für ein gegebenes Protokoll (z. B. 4–20, HART, Feldbus etc.) oder für IS-Normen liegen. Die Stromversorgung **602** kann das vom aktiven Kommunikator **600** bereitgestellte Stromsignal bereitstellen, und die Kommunikationsschaltung **609** kann Kommunikationssignale, die vom aktiven Kommunikator **600** gesendet und/oder empfangen werden, codieren und decodieren.

[0077] Die Stromversorgung **602**, die zum Bereitstellen jeder gewünschten Spannung (z. B. jedes Werts zwischen 20 V und 29 V) ausgebildet sein kann, kann kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden sein. In manchen Fällen kann die Stromversorgung **602** dafür ausgebildet sein, niemals zu überschreiten: (i) einen maximalen Spannungsschwellenwert (z. B. jeden gewünschten Wert zwischen 23 V und 30 V) oder (ii) einen maximalen Stromschwellenwert (z. B. jeden gewünschten Wert zwischen 20 mA und 35 mA). In manchen Fällen kann die Stromversorgung **602** dafür ausgebildet sein, selbst dann spannungs-

begrenzt und/oder strombegrenzt zu sein, wenn ein oder mehrere Fehler auftreten, und/oder kann dafür ausgebildet sein, einen langsam anlaufenden Start oder sanften Start durchzuführen, bei dem sie sich über einen Zeitraum der gewünschten Spannung annähert, sodass die Wahrscheinlichkeit von Stromspitzen verringert wird. In manchen Fällen kann der Strom und/oder die Spannung des von der Stromversorgung **602** bereitgestellten Stromsignals gemessen werden, sodass die Steuereinheit **402** die Stromversorgung **602** abschalten kann, wenn eine gemessene Spannung oder Stromstärke einen maximalen Schwellenwert überschreitet oder einen minimalen Schwellenwert nicht überschreitet. Eine gemessene Spannung, die einen maximalen Schwellenwert überschreitet, kann anzeigen, dass dem Feldgerät, mit dem das Werkzeug **100** verbunden ist, eine externe Stromquelle hinzugefügt wurde, sodass die Schleife gegen IS-Normen verstoßen könnte und/oder Komponenten des Werkzeugs **100** oder anderer Geräte, die mit der Schleife verbunden sind, beschädigt werden könnten. Eine gemessene Spannung, die einen minimalen Schwellenwert nicht überschreitet, kann anzeigen, dass es in einer Schaltung zu einem Kurzschluss gekommen ist oder die Kapazität der Stromversorgung **602** überschritten wurde. Ein gemessener Strom, der einen maximalen Schwellenwert überschreitet, kann anzeigen, dass es in einer Schaltung zu einem Kurzschluss gekommen ist oder die Stromversorgung **602** bei ihrer Maximallast begrenzt ist. Ein gemessener Strom, der einen minimalen Schwellenwert nicht überschreitet, kann anzeigen, dass kein Feldgerät mit dem Werkzeug **100** verbunden ist.

[0078] Die Stromversorgung **602** kann über den Widerstand **604**, der jeden gewünschten Widerstand haben kann (z. B. 200–300 Ohm), elektrisch mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden sein. Der Widerstand **604** kann so funktionieren, dass er einen Spannungsabfall herbeiführt, der ausreichend ist, um sicherzustellen, dass ein Spannungsabfall an der Kommunikationsschnittstelle **406** unter einem Schwellenwert bleibt. Wenn die Stromversorgung **602** beispielsweise einen Strom von 25 mA bereitstellt, kann der Widerstand einen Spannungsabfall von 6,25 V (d. h. 0,025 A·250 Ohm) herbeiführen. Wenn die Stromversorgung **602** beispielsweise eine 23-V-Stromversorgung ist, kann dies zu einer maximalen möglichen Ausgangsspannung von 16,75 V führen. Wie gezeigt ist, weist der aktive Kommunikator **600** auch eine Spannungsüberwachungseinrichtung **605** auf, die einen Spannungsabfall am Widerstand **604** misst und den gemessenen Spannungsabfall an die Steuereinheit **402** sendet. Die Spannungsüberwachungseinrichtung **605** kann als eine Energieüberwachungseinrichtung für die Stromversorgung **602** dienen. Beispielsweise kann die Steuereinheit **604**, die kommunikativ mit der Spannungsüberwachungseinrichtung **605** verbunden sein kann, den gemessenen Spannungsabfall nutzen, um einen durch den Widerstand **604** fließenden Strom zu berechnen. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **600** ein Amperemeter aufweisen, das zwischen der Stromversorgung **602** und dem Widerstand **604** angeordnet ist.

[0079] Wie vermerkt wurde, kann der aktive Kommunikator **600** die Kommunikationsschaltung **609** aufweisen, die Folgendes aufweisen kann: (i) einen Gleichstromstärke-Controller **610** (wie den Gleichstromstärke-Controller **524** in **Fig.** 5) zum Senden eines Signals durch Steuern der Stromstärke eines analogen Gleichstromsignals; (ii) einen Widerstand **613** und eine Spannungsüberwachungseinrichtung **611** zum Messen eines Spannungsabfalls am Widerstand **613**, der von der Steuereinheit **402** und dem Diagnosemanager **662** zum Berechnen eines Stroms genutzt wird, der vom Gleichstromstärke-Controller **610** übertragen wird; (iii) ein Widerstandsnetz **618** zum Empfangen und Interpretieren eines analogen Gleichstromsignals; und (iv) ein FM-Modem **612** (wie das FM-Modem **504** in **Fig.** 5) zum Kommunizieren durch das Codieren oder Decodieren eines digitalen FM-Signals. Eine oder mehrere Komponenten der Kommunikationsschaltung **609** können bei Bedarf weggeschaltet werden. Allgemein gesagt wird der Gleichstromstärke-Controller **610** zum Senden von Gleichstromsignalen (z. B. 4–20) verwendet, das Widerstandsnetz **618** zum Empfangen und Interpretieren von Gleichstromsignalen (z. B. 4–20) verwendet und das FM-Modem **612** zum Senden und Empfangen digitaler Signale (z. B. der digitalen Komponente eines HART-Signals, die das 4–20-Signal überlagert) verwendet. Demgemäß kann der Schaltungsmanager **661** der Steuereinheit **402**, wenn er mit einem Aktor verbunden ist, den Gleichstromstärke-Controller **610** aktivieren und das Widerstandsnetz **618** deaktivieren. Wenn er mit einem Sensor verbunden ist, kann der Schaltungsmanager **662** das Widerstandsnetz **618** aktivieren und den Gleichstromstärke-Controller **610** deaktivieren. Allgemein gesagt wird das FM-Modem **612** bei einer Verbindung mit sowohl Aktoren als auch Sensoren aktiviert.

[0080] Der Gleichstromstärke-Controller **610** kann dafür konfiguriert sein, einen Gleichstrom (z. B. 4–20 mA) aufzunehmen, wenn der aktive Kommunikator **600** mit einem Aktor verbunden ist, und kann von der Steuereinheit **402** gesteuert werden (z. B. als Reaktion auf eine Benutzereingabe an der UI **410**). Beispielsweise kann ein Benutzer einen Befehl einleiten, um ein Ventil bis 75% geöffnet zu öffnen. Auf der Grundlage dieser erkannten Eingabe kann die Steuereinheit **402** den Gleichstromstärke-Controller **610** veranlassen, einen Strom aufzunehmen, der einem Befehl zum Öffnen des Ventils bis 75% geöffnet entspricht (z. B. 16 mA). Je nach einem vom Benutzer vorgegebenen Wert kann der Gleichstromstärke-Controller **610** die Stromniveaus abrupt einstellen oder die Stromniveaus allmählich anpas-

sen. Wenn der aktive Kommunikator **600** mit einem Sensor verbunden ist, kann der Gleichstromstärke-Controller **610** (über einen nicht gezeigten Schalter) von der Kommunikationsschaltung **609** weggeschaltet werden, um Interferenzen mit der Gleichstrom-Modulation des Sensors zu vermeiden.

[0081] Das Widerstandsnetz **618** kann jeden gewünschten Widerstand haben (z. B. jeden gewünschten Wert zwischen 100 Ohm und 1000 Ohm) und kann einstellbar sein (z. B. durch die Steuereinheit **402**). In manchen Fällen hat das Widerstandsnetz **618** einen Widerstand von 167 Ohm. Die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** kann einen Spannungsabfall am Widerstandsnetz **618** messen, der zum Messen von durch das Widerstandsnetz **618** fließendem Strom genutzt werden kann. Beispielsweise kann die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** in einer HART-Implementierung eine Spannung zwischen 3,34 V (20 mA·167 Ohm) und 0,668 V (4 mA·167 Ohm) messen. Die digitale Komponente des HART-Signals, die üblicherweise von Peak zu Peak um 1 mA moduliert wird, kann im Widerstandsnetz **618** als eine Peak-zu-Peak-Spannung von 0,167 V (1 mA·167 Ohm) detektiert werden. Es ist wichtig, dass dieser Wert über 0,12 V liegt, einem minimalen Spannungsschwellenwert, der üblicherweise für das Auslesen der digitalen Komponente eines HART-Signals erforderlich ist. Das Widerstandsnetz **618** wird ausführlicher unter Bezugnahme auf **Fig.** 7 beschrieben.

[0082] Das FM-Modem **612** kann, wie das FM-Modem **504**, mittels eines Frequenzmodulationsschemas, beispielweise des HART-Protokolls, Informationen senden und/oder Informationen empfangen. Der Kondensator **614** filtert Gleichstrom.

[0083] Die Kommunikationsschaltung **609** kann außerdem einen Kondensator **614** in Reihe mit dem FM-Modem **612** aufweisen, um Gleichstrom zu filtern, sodass das FM-Modem **612** die Wechselstrom-Komponente des Signals empfangen und senden kann, und eine Spannungsüberwachungseinrichtung **616**, die kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden und zum Messen eines Spannungsabfalls am Widerstandsnetz **618** konfiguriert ist. Die Steuereinheit **402**, die den Widerstand des Widerstandsnetzes **618** kennt, kann den Stromfluss durch das Widerstandsnetz **618** auf der Grundlage der gemessenen Spannung berechnen.

[0084] Wie vermerkt wurde, kann die Kommunikationsschaltung **609** elektrisch mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden sein, um Kommunikationssignale zu senden und zu empfangen. Außerdem kann die Stromversorgung **602** elektrisch mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden sein, um über die Kommunikationsschnittstelle **406** ein Stromsignal für das Feldgerät **160** bereitzustellen. Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann Klemmen **631**–**636** zum Verbinden mit einem oder mehreren Feldgeräten aufweisen, und/oder Sicherungen **641** und **642** zum Begrenzen des durch den aktiven Kommunikator **600** fließenden Stroms. Allgemein gesagt kann das Feldgerät **160** ein Sensor sein, der zum Melden eines Messwerts durch das Modulieren eines Gleichstroms (z. B. 4–20 mA) konfiguriert ist, oder ein Aktor, der zum Betätigen auf eine bestimmte Art als Reaktion auf die Stärke eines empfangenen Gleichstroms (z. B. 4–20 mA) konfiguriert ist.

[0085] Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann elektrisch mit der in **Fig.** 4 gezeigten Energieüberwachungseinrichtung **408** verbunden sein, die einen Widerstand **651** und eine Spannungsüberwachungseinrichtung **652** aufweisen kann. Der Widerstand **651** kann einen ausreichend niedrigen Widerstand haben, um einen wesentlichen Spannungsabfall zu vermeiden. In manchen Fällen hat der Widerstand **651** einen Widerstand zwischen 0 und 10 Ohm (z. B. 2,43 Ohm), der zum Minimieren des Spannungsabfalls am Widerstand **651** ausgewählt werden kann. Die Spannungsüberwachungseinrichtung **652** kann den Spannungsabfall am Widerstand **651** messen und die gemessene Spannung an die Steuereinheit **402** senden. Die Steuereinheit **402**, die den Widerstand des Widerstands **651** kennt, kann den Stromfluss durch den Widerstand **651** berechnen. In manchen Fällen kann eine Sicherung zwischen der Klemme **635** und der Energieüberwachungseinrichtung **408** angeordnet sein.

[0086] Im Betrieb kann der aktive Kommunikator **600** dafür konfiguriert sein, in einem „Werkzeugstrom-Modus“ (d. h. dass der aktive Kommunikator **600** Strom für das verbundene Feldgerät **160** bereitstellt) und einem „Schleifenstrom-Modus“ (d. h. dass das verbundene Feldgerät **160** Strom aus beispielsweise einer tragbaren externen Stromversorgung statt dem aktiven Kommunikator **600** bezieht) zu arbeiten. Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann einen ersten Klemmensatz (z. B. die Klemmen **631** und **632**) für den Werkzeugstrom-Modus und einen zweiten Klemmensatz (z. B. die Klemmen **633** und **634**) für den Schleifenstrom-Modus aufweisen. Außerdem kann der aktive Kommunikator **600** dafür konfiguriert sein, in einem „Sensorverbindung-Modus“ und einem „Aktorverbindung-Modus“ zu arbeiten. Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann also dafür konfiguriert sein, vier unterschiedliche Konfigurationen oder Arten von Verbindungen zu ermöglichen: (i) Werkzeugstrom-Sensorverbindung, wobei der aktive Kommunikator **600** einen Sensor mit Strom versorgt; (ii) Schleifenstrom-Sensorverbindung, wobei der aktive Kommunikator **600** mit einem mit Strom versorgten Sensor-Feldgerät verbunden ist (in manchen Szenarien weist die Schleife, mit der der schleifenversorgte Sensor verbunden ist, einen Schleifenwiderstand auf, sodass Kommunikation möglich ist; in anderen weist die Schleife keinen Schleifenwiderstand auf.

Wenn kein Schleifenwiderstand vorhanden ist, kann das Werkzeug **100** das Widerstandsnetz **618** aktivieren oder einstellen, um einen ausreichenden Schleifenwiderstand für die Kommunikation bereitzustellen) ; (iii) Werkzeugstrom-Aktorverbindung, wobei der aktive Kommunikator **600** einen Aktor mit Strom versorgt; und (iv) Schleifenstrom-Aktorverbindung, wobei der aktive Kommunikator **600** mit einem mit Strom versorgten Aktor verbunden ist (in manchen Szenarien weist der schleifenversorgte Aktor einen Gleichstromstärke-Controller auf; in anderen nicht).

[0087] Für eine Werkzeugstrom-Sensorverbindung kann der aktive Kommunikator **600** einen „Werkzeugstrom"-Modus und/oder einen „Sensorverbindung"-Modus aktivieren. Der aktive Kommunikator **600** kann einen oder beide dieser Modi als Reaktion auf eine Benutzereingabe (z. B. über den Bildschirm **122** und/oder über die Tasten **132**, gezeigt in **Fig.** 1A) aktivieren. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **600** den „Werkzeugstrom"-Modus als Reaktion auf ein Erkennen davon aktivieren, dass die Klemmen **631** und **632** mit dem Feldgerät **160** verbunden sind. In anderen Fällen aktiviert der aktive Kommunikator **600** stattdessen den „Werkzeugstrom"-Modus auf der Grundlage einer Eingabe eines Benutzers. Wenn gewünscht, kann der aktive Kommunikator **600** eine oder mehrere Strom- oder Kommunikationsprüfungen oder -verifizierungen durchführen, bevor er den „Werkzeugstrom-Modus" aktiviert. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **600** den „Sensorverbindung"-Modus als Reaktion auf ein Erkennen davon aktivieren, dass ein verbundenes Feldgerät ein Sensor ist. In anderen Fällen aktiviert der aktive Kommunikator **600** stattdessen den „Sensorverbindung"-Modus auf der Grundlage einer Eingabe eines Benutzers. Außerdem kann der aktive Kommunikator **600** eine Stromverifizierung durchführen, nachdem der Strom ermöglicht ist, um sicherzustellen, dass sich das Feldgerät **160** wie erwartet verhält (z. B. wie von einem Sensor oder Aktor erwartet verhält). Der aktive Kommunikator **600** kann auch sicherstellen, dass das Feldgerät **160** verbunden ist, dass Stromversorgungsgrenzen nicht überschritten werden und/oder dass bei keinen Schaltungen unerwartete Kurzschlüsse aufgetreten sind.

[0088] Für eine Werkzeugstrom-Sensorverbindung kann ein Benutzer einen Sensor mit den Klemmen **631** und **632** verbinden. Wenn er mit einem Sensor verbunden ist, kann der Stromstärke-Controller **610** über einen Schalter (nicht gezeigt) vom Netzwerk weggeschaltet werden, da der aktive Kommunikator **600** keinen Gleichstrom zum Senden eines Befehls moduliert. Nachdem der Sensor verbunden ist, kann die Stromversorgung **602** Strom aufbauen. Der Strom kann langsam aufgebaut werden, um Stromspitzen zu vermeiden. Strom kann von der Stromversorgung **602** durch den Widerstand **604** und die Klemme **631** zum Sensor fließen. Der Sensor kann eine bestimmte Stärke eines Grundlinienstroms zur Versorgung aufnehmen (z. B. bis zu 4 mA). Der Sensor kann dann auf der Grundlage seiner Konfiguration und auf der Grundlage einer durchgeführten Messung (z. B. gemessener Durchfluss, Druck, Tankfüllstand etc.) zusätzlichen Strom aufnehmen. Beispielsweise kann eine Stromaufnahme des Sensors von 4 mA einen lebenden Nullpunkt für den konfigurierten Messbereich des Sensors darstellen (z. B. 0 gal/min), und eine Stromaufnahme des Sensors von 20 mA kann einen Messwert an der Obergrenze des konfigurierten Messbereichs darstellen (z. B. 100 gal/min). Eine Stromaufnahme zwischen 4–20 mA kann einen proportionalen Messwert innerhalb des konfigurierten Messbereichs darstellen (z. B. 12 mA = 50 gal/min). In manchen Fällen erzeugt das Werkzeug **100** einen Alarm für hohe Werte, wenn ein Strom von 22,5 mA oder darüber detektiert wird, und/oder erzeugt einen Alarm für niedrige Werte, wenn ein Strom von 3,75 mA oder darunter detektiert wird.

[0089] Strom kann von der Klemme **631** zum Sensor und durch einen Schalter **641** zurück durch die Klemme **632** fließen. Der empfangene Strom kann zur Schaltung **609** fließen. Wie vermerkt wurde, filtert der Kondensator **614** Gleichstrom, und der Gleichstromstärke-Controller **610** kann weggeschaltet werden, wenn der aktive Kommunikator **600** mit einem Sensor verbunden ist. Demzufolge fließt die Gleichstromkomponente des empfangenen Signals durch das Widerstandsnetz **618**, wobei die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** den Spannungsabfall am Widerstandsnetz **618** messen kann, sodass die Steuereinheit **402** die Stärke des empfangenen Gleichstroms bestimmen kann. Die Steuereinheit **402** kann einen variablen Wert (z. B. eine Durchflussrate) auf der Grundlage der bestimmten Stärke bestimmen.

[0090] Da der Kondensator **614** Wechselstrom hindurchlässt, kann die Wechselstromkomponente des Signals zum FM-Modem **612** fließen. Das FM-Modem **612** kann dann ein digitales Signal, das von der empfangenen Wechselstromkomponente transportiert wird, auf eine ähnliche Art wie in Bezug auf das FM-Modem **504** beschrieben decodieren. Außerdem kann das FM-Modem **612** auch Informationen an den Sensor übertragen, indem es ein digitales Signal (welches das Gleichstromsignal überlagert) auf eine ähnliche Art wie in Bezug auf das FM-Modem **504** beschrieben codiert.

[0091] Für eine Schleifenstrom-Sensorverbindung kann ein Benutzer einen mit Strom versorgten Sensor mit den Klemmen **633** und **634** verbinden. Der aktive Kommunikator **600** kann einen oder beide eines „Schleifenstrom-Modus" und/oder eines „Sensorverbindung-Modus" als Reaktion auf eine Benutzereingabe (z. B. über den Bildschirm **122** und/oder über die Tasten **132**, gezeigt in **Fig.** 1A) aktivieren. In manchen Fällen aktiviert der aktive Kommunikator **600**

den „Schleifenstrom“-Modus als Reaktion auf ein Erkennen davon, dass die Klemmen **633** und **634** mit einem Feldgerät verbunden wurden (z. B. über eine Verbindung **150**). In anderen Fällen aktiviert der aktive Kommunikator **600** stattdessen den „Schleifenstrom“-Modus auf der Grundlage einer Eingabe eines Benutzers. Der aktive Kommunikator **600** kann den „Schleifenstrom“-Modus aktivieren, nachdem er sichergestellt hat, dass an keiner der anderen Klemmen der Kommunikationsschnittstelle **406** eine Spannung anliegt.

[0092] Das Werkzeug **100** kann eine Sicherung **642** aufweisen, die elektrisch mit der Klemme **634** verbunden und für das Begrenzen des Stroms auf einen bestimmten Schwellenwert konfiguriert ist. In manchen Fällen ist die Sicherung **642** nicht vorhanden. In manchen Fällen ist die Sicherung **642** zwischen der Klemme **634** und der Masse angeordnet. Auf die gleiche Weise, die in Bezug auf die Werkzeugstrom-Sensorverbindung beschrieben wurde, kann die Schaltung **609** eine Gleichstromkomponente eines empfangenen Signals (z. B. 4–20 mA) decodieren und eine Wechselstromkomponente des Signals (z. B. ein überlagerndes frequenzmoduliertes Signal mit 1 mA von Peak zu Peak) modulieren und demodulieren, um Informationen an den bzw. Informationen vom Sensor zu senden und zu empfangen.

[0093] Für eine Werkzeugstrom-Aktorverbindung kann ein Benutzer einen Aktor mit den Klemmen **631** und **632** verbinden. Der aktive Kommunikator **600** aktiviert einen oder beide eines „Werkzeugstrom-Modus“ und/oder eines „Aktorverbindung-Modus“ als Reaktion auf eine Benutzereingabe (z. B. über den Bildschirm **122** und/oder über die Tasten **132**, gezeigt in **Fig.** 1A). Die Stromversorgung **602** kann den Aktor auf ähnliche Weise wie in Bezug auf eine Werkzeugstrom-Sensorverbindung beschrieben mit Strom versorgen.

[0094] In diesem Betriebsmodus kann ein Schalter (nicht gezeigt) den Gleichstromstärke-Controller **610** aktivieren, wenn der Gleichstromstärke-Controller **610** von der Schaltung **609** weggeschaltet ist. Der Gleichstromstärke-Controller **610** kann einen Gleichstrom (z. B. 4–20 mA) aufnehmen, der von der Stromversorgung **602** geliefert werden kann und durch die Klemme **631** zum Aktor und dann zurück durch die Klemme **632** zum Gleichstromstärke-Controller **610** fließen kann. Die Stärke des Stroms dient als ein Befehl für den Aktor. Das Stromwiderstandsnetz **618** und die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** können durch die Steuereinheit **402** über einen Schalter (nicht gezeigt) von der Schaltung **609** weggeschaltet werden, wenn der Gleichstromstärke-Controller **610** aktiv ist, da die Schaltung **609** in diesem Modus keinen modulierten Gleichstrom interpretiert.

[0095] Da der Kondensator **614** Wechselstrom hindurchlässt, kann die Wechselstromkomponente des empfangenen Signals zum FM-Modem **612** fließen. Das FM-Modem **612** kann dann ein digitales Signal, das von der empfangenen Wechselstromkomponente transportiert wird, auf eine ähnliche Art wie in Bezug auf das FM-Modem **504** beschrieben decodieren, und das FM-Modem **612** kann Informationen an den Aktor senden, indem es ein digitales Signal (welches das Gleichstromsignal überlagert) auf eine ähnliche Art wie in Bezug auf das FM-Modem **504** beschrieben codiert.

[0096] Für eine Schleifenstrom-Aktorverbindung kann ein Benutzer einen mit Strom versorgten Aktor mit den Klemmen **633** und **634** verbinden, und der aktive Kommunikator **600** kann einen oder beide eines „Schleifenstrom-Modus“ und/oder eines „Aktorverbindung-Modus“ als Reaktion auf eine Benutzereingabe (z. B. über den Bildschirm **122** und/oder über die Tasten **132**, gezeigt in **Fig.** 1A) aktivieren. Auf die gleiche Weise, die in Bezug auf eine Werkzeugstrom-Sensorverbindung beschrieben wurde, kann die Schaltung **609** eine Gleichstromkomponente eines Signals (z. B. 4–20 mA) modulieren, um einen Befehl an den Aktor zu senden, und eine Wechselstromkomponente des Signals (z. B. ein überlagerndes frequenzmoduliertes Signal mit 1 mA von Peak zu Peak) modulieren und demodulieren, um Informationen an den bzw. Informationen vom Aktor zu senden und zu empfangen.

[0097] Die Steuereinheit **402** kann eine Schaltungsmanager-Routine **661** zum Verwalten des aktiven Kommunikators **600** und/oder eine Diagnosemanager-Routine **662** zum Analysieren von Signalen aufweisen, die vom aktiven Kommunikator gesendet und/oder empfangen werden. Der Diagnosemanager **662** kann die Signale auf der Grundlage von Messwerten analysieren, die von den Spannungsüberwachungseinrichtungen **605**, **611** und/oder **616** erhalten werden. In manchen Fällen weist der aktive Kommunikator **600** eine oder mehrere Spannungsüberwachungseinrichtungen auf, die einen Spannungsabfall an einer oder mehreren der Klemmen **631**–**634** messen (z. B. an den Klemmen **631** und **632** oder an den Klemmen **633** und **634**). Der Diagnosemanager **662** kann einen oder mehrere dieser Spannungsabfälle analysieren, bevor der Schaltungsmanager **661** einen oder mehrere Widerstände des Netzes **618** aktiviert (d. h. zuschaltet), um (i) einen Schutz gegen eine Aktivierung des Widerstandsnetzes **618** parallel zu einem externen Schleifenwiderstand bereitzustellen, und/oder (ii) einen mehrstufigen Prozess zum Aktivieren des Widerstandsnetzes **618** zu verwalten.

[0098] Erstens kann der Schaltungsmanager **661** einen Benutzer davor schützen, das Widerstandsnetz **618** parallel zu einem externen Schleifenwiderstand an einer extern mit Strom versorgten Schleife zu

aktivieren, was zu Störungen des Schleifenstroms und/oder Kommunikationsverlusten aufgrund eines unzureichenden Schleifenwiderstands führen könnte. Dies bedeutet, dass beim Aktivieren des Widerstandsnetzes **618**, während parallel eine Verbindung mit einem externen Schleifenwiderstand besteht, der Gesamtschleifenwiderstand auf einen zu niedrigen Wert fallen kann, um eine digitale Kommunikation zu detektieren und zu interpretieren. Um dies darzustellen, kann das Widerstandsnetz **618** in manchen Fällen einen Widerstand von 250 Ohm haben. Übliche externe Schleifenwiderstände haben einen Widerstand von 250 Ohm. Wenn das Widerstandsnetz **618** also parallel mit einem externen Schleifenwiderstand aktiviert wird, fällt der Gesamtschleifenwiderstand auf 125 Ohm, was möglicherweise kein ausreichender Widerstand zum Herbeiführen eines messbaren Spannungsabfalls im Zusammenhang mit digitaler Kommunikation ist. Beispielsweise ist bei der digitalen HART-Kommunikation, die üblicherweise von Peak zu Peak 1 mA moduliert, im Allgemeinen ein Spannungsabfall von mindestens 120 mVp-p erforderlich. Wenn der Gesamtschleifenwiderstand also 120 Oh beträgt, gibt es nur einen kleinen Fehlerspielraum, bevor ein digitales HART-Signal unlesbar wird. Um zu verhindern, dass das Werkzeug **100** das Widerstandsnetz **618** parallel mit einem externen Schleifenwiderstand aktiviert, kann die Steuereinheit **402** das FM-Modem **612** veranlassen, eine digitale Kommunikation bei Verbindung zu versuchen. Wenn die digitale Kommunikation nicht gelingt, kann die Steuereinheit **402** den Benutzer auffordern (z. B. über die in **Fig.** 1 und **Fig.** 4 gezeigte Anzeige **122**), das Widerstandsnetz **618** zu aktivieren. In manchen Fällen kann das Werkzeug **100** verhindern, dass das Widerstandsnetz **618** parallel mit einem Schleifenwiderstand aktiviert wird, indem der Benutzer durch eine oder mehrere Fragen und/oder Anweisungen dazu aufgefordert wird, dass der Benutzer das Werkzeug **100** in Reihe mit dem Feldgerät verbindet.

[0099] Zweitens können die gemessenen Spannungen zum Verwalten eines mehrstufigen Prozesses zum Aktivieren des Widerstandsnetzes **618** verwendet werden, der das Werkzeug **100** dabei unterstützen kann, Spannungs- und/oder Stromschwellenwerte nicht zu überschreiten(wodurch ansonsten die Sicherung **642** durchbrennen könnte). Beispielsweise kann der Diagnosemanager **662** einen Spannungsmesswert von der Spannungsüberwachungseinrichtung **605** oder einer Spannungsüberwachungseinrichtung an den Klemmen **631** und **632** (nicht gezeigt) erhalten. Wenn der Diagnosemanager **662** bestimmt, dass die Stromversorgungsspannung für die Stromversorgung **602** oder für eine externe Stromversorgung einen Spannungsschwellenwert (z. B. 24 V) übersteigt, kann der Schaltungsmanager **661** verhindern, dass das Widerstandsnetz **618** aktiviert wird. Eine Aktivierung des Widerstandsnetzes **618** in einem solchen Szenario könnte dazu führen, dass übermäßiger Strom (z. B. über 50 mA) durch das Widerstandsnetz **618** fließt, sodass die Sicherung **642** durchbrennt. Wenn die gemessene Stromversorgungsspannung unter dem Spannungsschwellenwert liegt, kann der Schaltungsmanager **661** das Widerstandsnetz **618** mit einem Widerstand von 500 Ohm aktivieren. Der Diagnosemanager **662** kann dann den Stromfluss messen (z. B. auf der Grundlage von Messwerten der Spannungsüberwachungseinrichtung **616**), und wenn der gemessene Strom unter einem Schwellenwert (z. B. 22,5 mA) liegt, kann der Schaltungsmanager **661** das Widerstandsnetz **618** auf einen Widerstand von 250 Ohm oder 167 Ohm, je nach Bedarf, einstellen. Die Tatsache, dass der gemessene Strom unter einem Schwellenwert liegt, zeigt im Allgemeinen an, dass das verbundene Feldgerät die Stromstärke steuert.

[0100] Der Schaltungsmanager **661** kann einen Spannungsausfall an den Klemmen **631** und **632** detektieren (z. B. einen Abfall von 0,01 V bis 0,1 V alle 50 bis 100 ms). Der Schaltungsmanager kann zwei bis zehn Messungen über einen Zeitraum von 100 ms bis 1 Sekunde vornehmen. Als Reaktion auf das Detektieren des Spannungsausfalls kann der Schaltungsmanager **661** einem Benutzer die Möglichkeit geben, die Stromversorgung **602** unmittelbar zu aktivieren anstatt zu warten, bis die Spannung auf null abfällt.

[0101] Der Schaltungsmanager **661** kann einen oder mehrere Widerstände im Netz **618** aktivieren und/oder wegschalten, wenn die Stromversorgung **602** abgeschaltet wird, um den Widerstand des Netzes **618** zu erhöhen, sodass Spannung von einem Feldgerät abgeleitet wird, das mit dem aktiven Kommunikator **600** verbunden ist. Das Ableiten von Spannung kann die erforderliche Wartezeit vor einem möglichen erneuten Aktivieren der Stromversorgung **602** verringern.

[0102] Der Schaltungsmanager **661** kann einen Temperatursensor (nicht gezeigt), der in der Nähe des Netzes **618** angeordnet ist, für das Ausgleichen von Widerstandsänderungen nutzen, die auf Temperaturänderungen beruhen, sodass der Schaltungsmanager **661** einen Stromfluss auf der Grundlage von Messwerten der Spannungsüberwachungseinrichtung **616** genauer berechnen kann.

[0103] Der Schaltungsmanager **661** kann den Gleichstromstärke-Controller **610** veranlassen, die Stromstärke graduell zu verändern. Beispielsweise kann der Schaltungsmanager **661** eine graduelle Stromstärkeänderung als Reaktion auf eine Benutzereingabe umsetzen, die eine Stromstärkeänderung über eine bestimmte Sekundenanzahl (z. B. 1, 2, 3, 4, ..., 60 Sekunden etc.) vorgibt.

[0104] Der Diagnosemanager **662** kann eines oder mehreres von Folgendem durchführen: eine Schleifenprüfung, eine Gerätesimulation, eine Kalibrierung eines Rekorders, eine Hubeinstellung eines Ventils, eine DCS-Ausgangsprüfung, eine DCS-Eingangsprüfung, eine Kalibrierung des Nullabgleichs oder eine Prüfung zum Isolieren von Kabelschäden.

[0105] Für die Schleifenprüfung kann ein Benutzer ein Feldgerät verbinden mit: (i) dem Klemmensatz **631** und **632** oder dem Klemmensatz **633** und **634**, und (ii) der Energieüberwachungseinrichtung **408**. Der Diagnosemanager **662** kann das FM-Modem **612** veranlassen, ein Kommunikationssignal an das Feldgerät zu senden, das dem Feldgerät befiehlt, Strom mit verschiedenen Stärken aufzunehmen (z. B. 4 mA, 12 mA, 20 mA). Die Energieüberwachungseinrichtung **408** misst die vom Feldgerät als Reaktion übertragene Stromstärke. Der Diagnosemanager **662** kann das Werkzeug **100** veranlassen, die angeforderte Stromstärke und die übertragene Stromstärke anzuzeigen, sodass der Benutzer bestimmen kann, ob der Sensor ordnungsgemäß auf die Befehle reagiert.

[0106] Für die Gerätesimulation kann ein Benutzer das Werkzeug **100** mit einer Kommunikationsverbindung statt einem Feldgerät verkabeln (z. B. über die Klemmen **631** und **632** des aktiven Kommunikators **600**). Der Diagnosemanager **662** kann den Gleichstromstärke-Controller **610** veranlassen, Gleichstrom mit mehreren Stärken zu übertragen (z. B. als Reaktion auf eine Benutzereingabe). Der Benutzer oder ein zweiter Benutzer kann dann sicherstellen, dass der verbundene Prozess-Controller die entsprechenden Werte empfangen hat.

[0107] Für die Kalibrierung eines Rekorders kann ein Benutzer das Werkzeug **100** mit einem Analogrekorder verkabeln und das Werkzeug **100** veranlassen, über den Gleichstromstärke-Controller **610** vorgewählte Stromstärkewerte an den Rekorder zu senden. Der Benutzer kann dann sicherstellen, dass der Audiorekorder die vorgewählten Werte empfangen hat.

[0108] Für eine Hubeinstellung eines Ventils kann der Benutzer das Werkzeug **100** mit einem Ventil verkabeln. Der Diagnosemanager **662** kann ein Signal mit 4 mA an das Ventil senden, und der Benutzer kann einen vollständig geschlossenen Endpunkt am Ventil einstellen (z. B. um das Ventil dadurch derart zu kalibrieren, dass die vollständig geschlossene Position einem 4-mA-Signal entspricht). Der Diagnosemanager **662** kann ein Signal mit 20 mA an das Ventil senden (z. B. als Reaktion auf eine Benutzereingabe), und der Benutzer kann einen vollständig geöffneten Endpunkt am Ventil einstellen (z. B. um das Ventil dadurch derart zu kalibrieren, dass die vollständig geöffnete Position einem 20-mA-Signal entspricht). Der Diagnosemanager **662** kann dann mit dem Gleichstromstärke-Controller **610** einen Stufentest durchführen (z. B. als Reaktion auf eine Benutzereingabe), wobei Strom mit mehreren Stärken zwischen 4 mA und 20 mA übertragen wird, um sicherzustellen, dass das Ventil für ein Signal mit 4–20 mA korrekt kalibriert ist.

[0109] Zum Überprüfen eines DCS-Ausgangs kann ein Benutzer das Werkzeug **100** mit einer E/A-Karte verkabeln, die üblicherweise mit einem Feldgerät (z. B. einem Aktor) verbunden ist und dafür konfiguriert ist, ein Signal mit 4–20 mA an das Feldgerät zu senden, um das Feldgerät zu steuern. Ein Benutzer kann sich (z. B. über Funk) mit einem zweiten Benutzer koordinieren, um mehrere Befehle an das getrennte Feldgerät zu senden (z. B. Öffnen oder Schließen eines Ventils). Der Diagnosemanager **662** kann das empfangene Signal auslesen und einen Strommesswert anzeigen, sodass der Benutzer sicherstellen kann, dass die E/A-Karte beim Versuch, das Feldgerät zu steuern, korrekte Signale sendet. Das Werkzeug **100** kann entweder die Energieüberwachungseinrichtung **408** (und die Klemmen **635** und **636**) oder die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** (und die Klemmen **631** und **632**) für die DCS-Ausgangsprüfung nutzen.

[0110] Zum Überprüfen eines DCS-Eingangs kann ein Benutzer das Werkzeug **100** mit einer E/A-Karte verkabeln, die üblicherweise mit einem Feldgerät (z. B. einem Sensor) verbunden ist und dafür konfiguriert ist, ein Signal mit 4–20 mA, das einen Messwert darstellt, vom Feldgerät zu empfangen. Der Benutzer kann das Werkzeug **100** veranlassen, ein Signal zu senden (z. B. über den Gleichstromstärke-Controller **610**), und kann sich mit einem zweiten Benutzer koordinieren, um zu bestätigen, dass der mit der E/A-Karte verbundene Controller die korrekten Werte empfängt.

[0111] Zum Durchführen einer Kalibrierung des Nullabgleichs kann das Werkzeug **100** eine Prozedur durchführen, die jener für die DCS-Eingangsprüfung ähnlich ist. Beispielsweise kann ein Benutzer das Werkzeug **100** mit einem Feldgerät verbinden und das Feldgerät veranlassen, ein „Geräteverfahren“ auszuführen, sodass das Feldgerät Strom mit mehreren Stärken ausgibt. Das Werkzeug **100** misst den Strom vom Feldgerät und zeigt ihn an. Anschließend gibt der Benutzer am Feldgerät die angezeigte Stromstärke ein, sodass sich das Feldgerät auf der Grundlage dessen, was es zu übertragen versucht hat und was tatsächlich übertragen wurde, selbst kalibrieren kann. Das Werkzeug **100** kann die Stromversorgung **602** aktivieren, um das Feldgerät und das Widerstandsnetz **618** mit Strom zu versorgen, um Strom vom Feldgerät zu messen, und kann die Stromstärke im Widerstandnetz **618** messen.

[0112] Zum Isolieren eines beschädigten Kabels kann ein Benutzer mit dem Werkzeug **100** Spannungsmessungen an verschiedenen Orten für ein Kabel, an Klemmen von Feldgeräten, an Klemmen einer Stromversorgung etc. durchführen. Ein hoher Spannungsabfall zeigt Schäden an.

[0113] **Fig.** 7 ist eine schematische Darstellung des in **Fig.** 6 gezeigten Widerstandsnetzes **618**, das mehrere Widerstände aufweist und dafür konfiguriert ist, einem Ausfalls eines oder mehrerer Widerstände im Netz **618** standzuhalten, ohne dass der Gesamtwiderstand des Netzes **618** wesentlich beeinträchtigt wird. Durch das Nutzen mehrerer Widerstände kann das Widerstandsnetz **618** erhebliche Zunahmen oder Abnahmen des Widerstands aufgrund des Ausfalls eines Widerstands und folglich erhebliche Zunahmen oder Abnahmen von Spannungsabfällen in der Schaltung vermeiden. Wenn das Widerstandsnetz **618** beispielsweise nur ein Widerstand wäre und dieser ausfallen und einen Kurzschluss erleiden würde, könnte dies einen höheren Spannungsabfall an den Klemmen **631** und **632** zur Folge haben. Eine derartige Zunahme des Spannungsabfalls an den Klemmen **631** und **632** kann zur Überschreitung von IS-Normen führen und die Gefahr des Entzündens einer explosiven Atmosphäre bergen. Außerdem empfängt durch das Nutzen mehrerer Widerstände jeder einzelne Widerstand nur einen Teil des in das Netz **618** eintretenden Stroms, wodurch Überhitzung und das Überschreiten von IS-Normen der Widerstände verhindert wird.

[0114] Das Widerstandsnetz **618** kann ein Widerstandsnetz **702** und ein Widerstandsnetz **704** aufweisen, die parallel angeordnet sind und über einen Schalter **706** bzw. einen Schalter **708** vom Widerstandsnetz **618** weggeschaltet werden können. In manchen Fällen kann das gesamte Widerstandsnetz **618** von der Schaltung **609** weggeschaltet werden (z. B. beim Hochfahren oder wenn das Werkzeug **600** mit einem Aktor kommuniziert). Das Widerstandsnetz **618** kann jeden gewünschten Widerstand haben, z. B. in einem Bereich von 100 und 300 Ohm (z. B. 167 Ohm).

[0115] Das Widerstandsnetz **702** kann Widerstände **712**–**714** aufweisen, die parallel angeordnet sind, und einen Gesamtwiderstand zwischen 200 und 300 Ohm haben (z. B. 250 Ohm). Beispielsweise kann jeder der Widerstände **712**–**714** einen Widerstand von 750 Ohm haben, sodass das Netz **702** einen Gesamtwiderstand von 250 Ohm erhält. Es ist zu beachten, dass das Widerstandsnetz **702** jede andere Kombination einer Mehrzahl von Widerständen haben kann (einschließlich Kombinationen und Teilkombinationen von in Reihe und/oder parallel angeordneten Widerständen), die zu einem Gesamtwiderstand des Netzes **702** zwischen 200 und 300 Ohm führt. Wenn gewünscht, kann das Widerstandsnetz **702** nur einen Widerstand mit einem Widerstand zwischen 200 und 300 Ohm aufweisen.

[0116] Das Widerstandsnetz **704** kann ein Widerstandsnetz **721** und ein Widerstandsnetz **723** aufweisen, die in Reihe angeordnet sind, und einen Gesamtwiderstand zwischen 400 und 600 Ohm haben (z. B. 500 Ohm). Das Widerstandsnetz **721** kann Widerstände **722** und **724** aufweisen, die parallel angeordnet sind, und das Widerstandsnetz **723** kann Widerstände **726** und **728** aufweisen, die parallel angeordnet sind. Jeder der Widerstände **722**–**728** kann einen Widerstand von 500 Ohm haben, sodass jedes der Widerstandsnetze **721** und **723** einen Widerstand von 250 Ohm erhält (d. h. 1/X = 1/500 + 1/500). Da die Widerstandsnetze **721** und **723** in Reihe angeordnet sein können, kann das Widerstandsnetz **704** einen Gesamtwiderstand von 500 Ohm haben. Es ist zu beachten, dass das Widerstandsnetz **704** jede andere Kombination einer Mehrzahl von Widerständen haben kann, die zu einem Gesamtwiderstand zwischen 400 und 600 Ohm führt. Beispielsweise kann das Widerstandsnetz **704** zwei parallel angeordnete 1000-Ohm-Widerstände aufweisen oder nur einen Widerstand mit einem Widerstand von 500 Ohm aufweisen.

[0117] Betreffend die Schalter **706** und **708** kann die Steuereinheit **402**: (i) den Schalter **706** betätigen, um das Widerstandsnetz **702** wegzuschalten, sodass der Widerstand des Netzes **618** steigt (d. h. auf den Widerstand des Netzes **704**), oder (ii) den Schalter **708** betätigen, um das Widerstandsnetz **704** wegzuschalten, sodass der Widerstand des Netzes **618** steigt (d. h. auf den Widerstand des Netzes **702**). Die Steuereinheit **402** kann den Widerstand des Netzes **618** erhöhen, um sicherzustellen, dass ein an den Klemmen **633** und **634** angeschlossenes Feldgerät unter der Einstufung der Sicherung **642** stromgesteuert wird, oder Spannung vom aktiven Kommunikator **600** ableiten, wenn die Stromversorgung **602** deaktiviert ist.

[0118] Im Betrieb kann die Steuereinheit eines der Netze **702** und **704** wegschalten, je nachdem, welche der Klemmen **631**–**634** mit einem Feldgerät verbunden sind, und/oder auf der Grundlage davon, ob der aktive Kommunikator **600** das Feldgerät mit Strom versorgt. In manchen Situationen kann der aktive Kommunikator **600** beispielsweise das Netz **702** oder **704** wegschalten, um den Widerstand des Netzes **618** zu erhöhen, wenn der aktive Kommunikator **600** mit einem extern versorgten Feldgerät verbunden ist.

[0119] Wenn eines oder beide der Widerstandsnetze **702** und **704** vom Netz **618** weggeschaltet ist/sind, kann die Steuereinheit **402** einen oder beide der Schalter **706** und **708** betätigen, um beide Netze **702** und **704** zu „aktivieren“, sodass das Widerstandsnetz **618** einen geringeren Widerstand als das Netz **702** oder das Netz **704** erhält. Der geringere Widerstand kann wünschenswert sein, wenn der akti-

ve Kommunikator **600** in einem gefährlichen Bereich im „Werkzeugstrom-Modus“ betrieben wird. Die IS-Normen fordern, dass die Ausgangsspannung an den Klemmen **631** und **632** niedriger als die andernfalls im Normalbetrieb genutzte ist. Wenn die Spannung an den Klemmen **631** und **632** jedoch zu tief fällt, kann das Kommunikationssignal, das über die Klemmen **631** und **632** gesendet oder empfangen wird, unlesbar sein. Demzufolge kann es vorteilhaft sein, den Widerstand des Netzes **618** von einem Wert, der mit einem herkömmlichen Kommunikator genutzt würde (z. B. 250 Ohm), auf einen Wert zu verringern, der zu einem geringeren (aber dennoch messbaren) Spannungsabfall im Widerstandsnetz **618** führt (z. B. 167 Ohm). In manchen Fällen kann das Widerstandsnetz **618** zusätzliche Widerstandsnetze (z. B. mit 1000 Ohm) und/oder Schalter aufweisen, die es dem Werkzeug **100** ermöglichen können, das Widerstandsnetz zu aktivieren, wenn eine Stromversorgungsspannung 24 V übersteigt.

[0120] Einer oder beide der Schalter **706** und **708** können Halbleiterrelais sein, die gegenüber üblichen mechanischen Relais einige Vorteile bieten können. Beispielsweise können Halbleiterrelais durch eine geringere Spannung und eine geringere Stromstärke als die meisten mechanischen Relais geschaltet werden, sodass die vom Werkzeug **100** erzeugten elektrischen Signale einfacher auf einem Niveau gehalten werden können, das den IS-Normen entspricht. Außerdem erzeugen Halbleiterrelais im Gegensatz zu üblichen mechanischen Relais im Allgemeinen beim Betrieb keinen Funken. Durch das Nutzen von Halbleiterrelais mit dem Widerstandsnetz **618** kann das Werkzeug **100** also verhindern, dass IS-Normen verletzt werden, gegen die andernfalls mit mechanischen Relais verstoßen würde.

[0121] Ein oder mehrere Widerstände im Widerstandsnetz **618** können einen großen Oberflächenbereich haben, der dafür ausgebildet ist, eine effiziente Wärmeableitung zu erleichtern. Beispielsweise können ein oder mehrere Widerstände im Widerstandsnetz **618** Widerstände der Größe **2512** sein (z. B. 6,3 mm × 3,1 mm × 0,6 mm). In manchen Fällen können ein oder mehrere Widerstände im Netz **618** Widerstände der Größe **2010**, Widerstände der Größe **2020** und/oder Widerstände der Größe **2045** sein. In manchen Fällen können ein oder mehrere Widerstände (oder Unternetze) im Widerstandsnetz **618** für 2,5 W eingestuft sein.

[0122] Das Werkzeug **100** kann einen Temperatursensor (nicht gezeigt) für die Verwendung in Verbindung mit dem aktiven Kommunikator **600** aufweisen. Beispielsweise kann der Temperatursensor eine Temperatur am oder in der Nähe des Widerstandsnetzes **618** messen, die von der Steuereinheit **402** beim Berechnen einer Stromstärke durch das Netz **618** genutzt werden kann. Dieser Temperaturmesswert ist vorteilhaft, da auf der Grundlage von Messwerten der Spannungsüberwachungseinrichtung **616** erhaltene Stromstärkeberechnungen ungenau sein können, wenn der Widerstand des Netzes **618** durch eine Temperaturänderung auf einen anderen als den von der Steuereinheit **402** angenommen Wert erhöht oder verringert wird. Kurz gesagt ermöglicht es der Temperatursensor der Steuereinheit **402**, Widerstandsänderungen des Netzes **618** auszugleichen, die auf Temperaturänderungen beruhen.

[0123] **Fig.** 8A–**Fig.** 12 sind schematische Darstellungen des Werkzeugs **100**, wenn es den in **Fig.** 6 gezeigten aktiven Kommunikator **600** aufweist, verbunden mit verschiedenen Feldgeräten und verschiedenen E/A-Vorrichtungen. **Fig.** 8A–**Fig.** 12 zeigen möglicherweise eine oder mehrere Komponenten des aktiven Kommunikators **600** oder des Werkzeugs **100** nicht. Beispielsweise sind Komponenten, die „weggeschaltet“ oder nicht aktiv sind, möglicherweise nicht gezeigt. Manche Komponenten können aktiv sein aber nicht gezeigt werden.

[0124] **Fig.** 8A stellt ein Beispiel dar, bei dem der aktive Kommunikator **600** mit einem Sensor **805** verbunden ist, und bei dem der aktive Kommunikator **600** den Sensor **805** mit Strom versorgt (d. h. eine Werkzeugstrom-Sensorverbindung). In einer solchen Konfiguration kann ein Benutzer den aktiven Kommunikator **600** über die Klemmen **631** und **632** mit dem Sensor **805** verbinden. Der aktive Kommunikator **600** kann den Sensor **805** über die Stromversorgung **602** mit Strom versorgen, indem er z. B. ein Gleichstromsignal von bis zu 4 mA an den Sensor **805** sendet. Außerdem kann der aktive Kommunikator **600** in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation und/oder eine digitale Zwei-Wege-Kommunikation mit dem Sensor **805** treten. Um in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation zu treten, kann der aktive Kommunikator **600** einen „Sensorverbindung“-Modus aktivieren, in dem der aktive Kommunikator **600** erwartet, dass der Sensor **805** durch Modulieren der Stromstärke des von der Stromversorgung **602** bereitgestellten Gleichstromsignals (z. B. zwischen 4–20 mA) kommuniziert. Die Steuereinheit **402** (nicht gezeigt) kann den Gleichstromstärke-Controller **610** (nicht gezeigt) von der Schaltung **609** wegschalten, da der Sensor **805**, nicht die Schaltung **609**, den Gleichstrom modulieren kann, der zwischen dem Sensor **805** und dem Werkzeug **100** fließt. Es ist zu beachten, dass das FM-Modem **612** mit der Schaltung **609** verbunden bleiben kann und die digitale Zwei-Wege-Kommunikation ermöglichen kann, indem es: (i) durch Modulieren der Frequenz eines Wechselstromsignals, mit dem das Gleichstromsignal überlagert ist, Informationen an den Sensor **805** sendet, und/oder (ii) mittels Demodulieren, durch den Sensor **805**, eines frequenzmodulierten Wechselstromsignals, mit dem das Gleichstromsignal überlagert ist, Informationen vom Sensor **805** empfängt. Der Diagnosemana-

ger **602** kann ein vom Sensor **805** empfangenes Signal auf der Grundlage von Messwerten, die er von der Spannungsüberwachungseinrichtung **616** erhält, analysieren.

[0125] Fig. 8B stellt ein Beispiel dar, bei dem der aktive Kommunikator **600** mit einem Aktor **855** verbunden ist, und bei dem der aktive Kommunikator **600** den Aktor **855** mit Strom versorgt. In einer solchen Konfiguration kann ein Benutzer den aktiven Kommunikator **600** über die Klemmen **631** und **632** mit dem Aktor **855** verbinden. Der aktive Kommunikator **600** kann den Aktor **855** über die Stromversorgung **602** mit Strom versorgen, indem er z. B. ein Gleichstromsignal von bis zu 4 mA an den Aktor **855** sendet. Der aktive Kommunikator **600** kann in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation und/oder eine digitale Zwei-Wege-Kommunikation mit dem Aktor **855** treten. Um in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation zu treten, kann der aktive Kommunikator **600** einen „Aktorverbindung"-Modus aktivieren, in dem der aktive Kommunikator **600** erwartet, dass der Aktor **855** durch Interpretieren von Änderungen der Stromstärke des vom aktiven Kommunikator **600** bereitgestellten Gleichstromsignals (z. B. zwischen 4–20 mA) Informationen empfängt. Da der aktive Kommunikator **600** möglicherweise vom Aktor **855** erwartet, dass er ein stromstärkemoduliertes Gleichstromsignal empfängt statt sendet, kann die Steuereinheit **402** das Widerstandsnetz **618** (nicht gezeigt) und die Spannungsüberwachungseinrichtung **616** (nicht gezeigt) von der Schaltung **609** wegschalten, da das Netz **618** und die Überwachungseinrichtung **616** zum Empfangen und Interpretieren eines stromstärkemodulierten Gleichstromsignals möglicherweise nicht benötigt werden. Es ist zu beachten, dass das FM-Modem **612** mit der Schaltung **609** verbunden bleiben kann und die digitale Zwei-Wege-Kommunikation ermöglichen kann, indem es: (i) durch Modulieren der Frequenz eines Wechselstromsignals, mit dem das Gleichstromsignal überlagert ist, Informationen an den Aktor **855** sendet, und/oder (ii) mittels Demodulieren, durch den Aktor **855**, eines frequenzmodulierten Wechselstromsignals, mit dem das Gleichstromsignal überlagert ist, Informationen vom Aktor **855** empfängt.

[0126] Fig. 9A stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schaltung **609** des aktiven Kommunikators **600** mit einem Sensor **905** verbunden sein kann, und bei dem der Sensor **905** nicht vom aktiven Kommunikator **600** mit Strom versorgt wird. Der Sensor **905** kann von einer Stromversorgung **910** versorgt werden, die eine tragbare Stromversorgung oder eine in einer Halterung montierte Stromversorgung sein kann. In manchen Fällen kann der Sensor **905** sowohl Schleifenstrom als auch die Stromversorgung **910** zur Versorgung nutzen. Ein Benutzer kann die Schaltung **609** über die Klemmen **633** und **634** mit dem Sensor **905** verbinden. Da die Klemmen **631** und **632** nicht verbunden sind, wird kein geschlossener Kreis, der die Stromversorgung **602** enthält, gebildet. Die Schaltung **609** kann auf eine ähnliche Weise wie in Bezug auf **Fig.** 8A besprochen in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation und/oder eine digitale Zwei-Wege-Kommunikation mit dem Sensor **905** treten. Die in **Fig.** 9A gezeigte Konfiguration kann nützlich sein, wenn ein Benutzer mit einer herkömmlichen Schleife zu tun hat, die keinen Schleifenwiderstand aufweist. In manchen Fällen kann das Werkzeug **100** mit einer Schleife verbunden werden, die bereits einen Schleifenwiderstand hat (z. B. mit der negativen Klemme der Stromversorgung **910** verbunden ist). In solchen Fällen kann die Stromversorgung **910** mit den Klemmen des Sensors **905** wie im Normalbetrieb erwartet verkabelt werden, und der Benutzer kann die Klemmen **633** und **634** mit den Klemmen des Sensors **905** verbinden. Alternativ kann der Benutzer die Klemmen **633** und **634** über den bereits bestehenden externen Schleifenwiderstand verbinden.

[0127] Fig. 9B stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schaltung **609** des aktiven Kommunikators **600** mit einem Aktor **955** verbunden sein kann, und bei dem der Aktor **955** nicht vom aktiven Kommunikator **600** mit Strom versorgt wird. Der Aktor **955** kann von einer Stromversorgung **960** versorgt werden, die eine tragbare Stromversorgung oder eine in einer Halterung montierte Stromversorgung sein kann. Ein Benutzer kann die Schaltung **609** über die Klemmen **633** und **634** mit dem Sensor **905** verbinden. Da die Klemmen **631** und **632** nicht verbunden sind, wird kein geschlossener Kreis, der die Stromversorgung **602** enthält, gebildet. Die Schaltung **609** kann auf eine ähnliche Weise wie in Bezug auf **Fig.** 8B besprochen in eine analoge Ein-Weg-Kommunikation und/oder eine digitale Zwei-Wege-Kommunikation mit dem Aktor **955** treten. In manchen Fällen kann die Stromversorgung **960** einen Gleichstromstärke-Controller aufweisen, der ein Gleichstromsignal (z. B. 4–20 mA) sendet. In solchen Fällen können die Klemmen der Stromversorgung **960** mit den Klemmen des Aktors **955** verbunden werden, um eine Schleife zu bilden. Außerdem kann ein Benutzer in solchen Fällen das Werkzeug **100** mit den Klemmen des Aktors **955** verbinden, sodass das Werkzeug **100** effektiv parallel mit der Stromversorgung **960** angeordnet wird. Vorteilhafterweise macht es eine derartige Verbindung einem Benutzer möglich, das Werkzeug **100** zu verwenden, ohne eine bereits bestehende Schleife zwischen dem Aktor **955** und der Stromversorgung **960** zu trennen.

[0128] Fig. 10 stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schaltung **609** des Werkzeugs **100** mit einem Feldgerät **1010** verbunden werden kann, das von einer Stromversorgung **1020** mit Strom versorgt wird, und bei dem die Energieüberwachungseinrichtung **408** des Werkzeugs **100** mit dem Feldgerät **1010** parallel mit der Stromversorgung **1020** verbunden werden kann, sodass sie elektrische Eigenschaften von Si-

gnalen messen kann, die vom Feldgerät **1010** gesendet oder empfangen werden, ohne das Feldgerät **1010** von der Stromversorgung **1020** zu trennen. Das Feldgerät **1010** kann ein Aktor oder ein Sensor sein; kann von einer Stromversorgung **1020** versorgt werden; und kann eine positive Klemme **1012**, eine negative Klemme **1014** und eine Prüfklemme **1015** aufweisen. Die Prüfklemme **1015** kann eine Detektion von Strom durch das Feldgerät **1010** und/oder eine Detektion von Spannung an den Klemmen **1012** und **1014** ermöglichen.

[0129] Die Schaltung **609** kann mit dem Feldgerät **1010** über die Klemmen **633** und **634** und über die positive und die negative Klemme **1012** und **1014** des Feldgeräts **1010** verbunden werden. Die Energieüberwachungseinrichtung **408** kann mit dem Feldgerät **1010** verbunden werden, ohne die Schleife zwischen der Schaltung **609** und dem Feldgerät **1010** zu trennen, sodass es einem Benutzer möglich gemacht wird, gleichzeitig über die Schaltung **609** mit dem Feldgerät **1010** zu kommunizieren und sicherzustellen, dass Messwerte für Stromstärke, Spannung und/oder Leistung im Zusammenhang mit Kommunikationssignalen zwischen dem Feldgerät **1010** und der Schaltung **609** in einem erwarteten Bereich liegen. Vorteilhafterweise muss das Feldgerät **1010** nicht von der Stromversorgung **1020** getrennt werden, wenn die Energieüberwachungseinrichtung **408** zum Messen der elektrischen Eigenschaften der Signale genutzt wird, die vom Feldgerät **1010** empfangen oder gesendet werden. In manchen Fällen kann die Stromversorgung **1020** einen Gleichstromstärke-Controller aufweisen, der ein Signal mit 4–20 mA zum Steuern des Feldgeräts **1010** sendet (z. B. wenn das Feldgerät **1010** ein Aktor ist). In derartigen Fällen kann der Gleichstromstärke-Controller **610** von der Schaltung weggeschaltet werden, und das Werkzeug **100** kann primär als digitaler Kommunikator dienen, der das FM-Modem **612** verwendet.

[0130] Fig. 11 stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schaltung **609** des Werkzeugs **100** mit einem Feldgerät **1105** verbunden werden kann, das von einer Stromversorgung **1120** versorgt wird, und bei dem die Energieüberwachungseinrichtung **408** des Werkzeugs **100** mit dem Feldgerät **1105** in Reihe mit der Stromversorgung **1120** verbunden werden kann, sodass sie elektrische Eigenschaften von Signalen messen kann, die vom Feldgerät **1010** gesendet oder empfangen werden. Die Energieüberwachungseinrichtung **408** kann über die Klemmen **635** und **636** mit dem Feldgerät **1105** verbunden werden. Da das Feldgerät **1105** keine Prüfklemme wie das in **Fig.** 10 gezeigte Feldgerät **1010** hat, kann die Energieüberwachungseinrichtung **408** In Reihe mit dem Feldgerät **1105** verbunden werden. Dies bedeutet, dass die positive Klemme der Stromversorgung **1120** von der positiven Klemme des Feldgeräts **1105** getrennt werden kann, und dass eine erste Klemme der Energieüberwachungseinrichtung **408** (z. B. die Klemme **635** oder **636**) mit der positiven Klemme des Feldgeräts **1105** verbunden werden kann und eine zweite Klemme der Energieüberwachungseinrichtung **408** (z. B. die Klemme **635** oder **636**) mit der positiven Klemme der Stromversorgung verbunden werden kann. In manchen Fällen kann die Energieüberwachungseinrichtung **408** in Reihe zwischen der negativen Klemme des Feldgeräts **1105** und einem Schleifenwiderstand (nicht gezeigt), der mit der negativen Klemme der Stromversorgung **1120** verbunden ist, verbunden werden. Üblicherweise ist ein derartiger Schleifenwiderstand vorhanden, wenn das Feldgerät **1105** ein Sensor ist. In solchen Fällen kann das Widerstandsnetz **618** von der Schaltung **609** weggeschaltet werden.

[0131] Fig. 12 stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schaltung **609** des aktiven Kommunikators **600** zum Prüfen von E/A-Vorrichtungen verwendet werden kann. Insbesondere kann die Schaltung **609** mit einer AE-Karte **1205** verbunden sein (die mit einem Sensor verbunden sein kann), um sicherzustellen, dass ein vom Gleichstromstärke-Controller **610** gesendetes Signal (das ein Sensorsignal simulieren soll) von der AE-Karte **1205** korrekt empfangen wird. Außerdem kann die Energieüberwachungseinrichtung **408** mit einer AA-Karte **1210** verbunden sein (die mit einem Controller verbunden sein kann), um vom Controller über die AA-Karte **1210** gesendete Kommunikation zu verifizieren.

[0132] Fig. 13 ist eine schematische Darstellung eines aktiven Kommunikators **1300** (der ein Beispiel für den in **Fig.** 4 gezeigten aktiven Kommunikator **404** sein kann)6 für das Werkzeug **100**, der über die Kommunikationsschnittstelle **406** elektrisch mit dem in **Fig.** 1A gezeigten Feldgerät **160** verbunden werden kann, um: (i) das Feldgerät **160** über ein Gleichstromsignal (z.B. 10–25 mA) mit Strom zu versorgen; und (ii) mit dem Feldgerät **160** über ein digitales Wechselstromsignal, das das Gleichstromsignal überlagert, zu kommunizieren. Vorteilhafterweise kann der aktive Kommunikator **1300** zum Kommunizieren mit und/oder Diagnostizieren von Feldbus-Feldgeräten verwendet werden. Außerdem kann der aktive Kommunikator **1300**, im Gegensatz zu üblichen für die AM-Kommunikation konfigurierten PTDs, Stromstärke sowie Gleichstrom- und Wechselstromspannung an demselben Klemmensatz messen, der für das Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** verwendet wird. In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **1300** gemäß IS-Normen energiebegrenzt und fehlertolerant sein und es dem aktiven Kommunikator **1300** und dem Werkzeug **100** ermöglichen, Feldgeräte und Kommunikationsverbindungen, die sich in gefährlichen Bereichen befinden, mit Strom zu versorgen, damit zu kommunizieren und/oder sie zu diagnostizieren.

[0133] Der aktive Kommunikator **1300** kann kommunikativ mit der Steuereinheit **402** verbunden sein und Folgendes aufweisen: (i) einen Bus **1302**, der elektrisch mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden ist, (ii) eine Stromversorgung **1304**, die zum Senden eines Stromsignals über den Bus **1302** konfiguriert ist, und (iii) eine Kommunikationsschaltung **1309**, die zum Kommunizieren mit dem Feldgerät **160** über den Bus **1302** konfiguriert ist. Die Kommunikationsschaltung **1309** kann dafür konfiguriert sein, digitale Kommunikationssignale zu senden und zu empfangen, die amplitudenmodulierte Wechselstromsignale (z. B. 15–20 mA von Peak zu Peak) sein können.

[0134] Der Bus **1302** kann als „interner Bus“ oder „Mini-Bus“ bezeichnet werden und zumindest teilweise in dem in **Fig.** 1A gezeigten Gehäuse **128** angeordn6et sein. Der Bus **1302** kann es dem Werkzeug **100** ermöglichen, sich mit einem Feldgerät zu verbinden, damit zu kommunizieren und/oder es mit Strom zu versorgen, selbst wenn das Feldgerät keine aktive und funktionsfähige Verbindung mit einem Bus (wie dem in **Fig.** 3 gezeigten Feldbus-Segment **300**) in der Anlagenumgebung hat. Im Gegensatz dazu ist es bei herkömmlichen PTDs, die mit einem busbasierten Feldgerät kommunizieren können, üblicherweise erforderlich, dass das Feldgerät mit einem funktionierenden externen Bus verbunden ist, der sich in der Prozessanlage befindet. Der Bus **1302** kann Abschlusswiderstände **1321** und **1322** aufweisen, die einen ausreichenden Widerstand bereitstellen, um eine Kommunikation im Bus **1302** zu ermöglichen. Jeder der Abschlusswiderstände **1321** und **1322** kann einen Widerstand (z. B. mit einem Widerstand zwischen 90 Ohm und 105 Ohm) in Reihe mit einem Kondensator (z. B. mit einer Kapazität von 1 µF) aufweisen. Der Bus **1302** kann Schalter **1322** und **1324** zum Wegschalten der Abschlusswiderstände **1321** und **1322** vom Bus **1302** oder zum vollständigen Wegschalten des Busses **1302** vom aktiven Kommunikator **1300** aufweisen (z. B. wenn der aktive Kommunikator **1300** mit einem Feldgerät verbunden ist, das bereits mit einem funktionsfähigen Bus verbunden ist). Vorteilhafterweise ermöglicht es der Bus **1302**, ein Feldgerät isoliert zu prüfen, sodass ein Benutzer den Grund für Kommunikationsprobleme einfacher identifizieren kann. Beispielsweise kann ein Benutzer den aktiven Kommunikator **1300** nutzen, um von einem extern mit Strom versorgten Feldgerät gesendete Signale zu messen, das Feldgerät von der externen Stromquelle (z. B. vom versorgten Segment) zu entfernen und die gleichen Messungen am Bus **1302** vorzunehmen, die mit den zuvor erhaltenen Messwerten verglichen werden können.

[0135] Die Schaltung **1309** kann mit dem Feldgerät **160**, das ein Feldbus-Gerät sein kann, über den Bus **1302** kommunizieren und kann ein AM-Modem **1310** aufweisen, das in Reihe mit einem Kondensator **1314** verbunden ist, wobei deren Kombination parallel mit einem bzw. einer Gleichstromstärke-Controller oder -Senke **1312** elektrisch verbunden ist. Das AM-Modem **1310** kann mittels eines digitalen Amplitudenmodulationsschemas (wie dem Feldbus-Protokoll) Informationen senden und/oder vom Feldgerät **160** empfangen und das gleiche oder ähnlich wie das in **Fig.** 5 gezeigte AM-Modem **514** sein. Als Beispiel kann das AM-Modem **1310** ein Signal bei 15–20 mA modulieren und/oder demodulieren (z. B. –10 mA bis 10 mA). Der Kondensator **1314** kann Gleichstrom filtern, sodass nur das digitale Kommunikationssignal zum AM-Modem **514** hindurchdringen kann. Der Gleichstromstärke-Controller **1312** kann dafür konfiguriert sein, einen ausreichenden Gleichstrom aufzunehmen, um es dem AM-Modem **1310** möglich zu machen, den Gleichstrom mit dem Kommunikationssignal zu überlagern, ohne dass die Stromstärke auf unter 0 mA abfällt. Beispielsweise kann der Gleichstromstärke-Controller **1312** einen Gleichstrom von 11 mA aufnehmen, damit das AM-Modem **1310** den Gleichstrom mit einem 20-mA-Signal überlagern kann, sodass die Gesamtstromstärke auf den Leitern, die mit der Kommunikationsschnittstelle **406** verbunden sind, von 1 mA bis 21 mA variiert.

[0136] Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann Klemmen **1331**–**1333** aufweisen. Das Feldgerät **160** kann mit den Klemmen **1332** und **1333** verbunden sein, um eine Kommunikationsverbindung zwischen dem Feldgerät **160** und der Schaltung **1309** herzustellen. Wenn ein Benutzer das Feldgerät **160** über das Werkzeug **100** mit Strom versorgen möchte, kann der Benutzer einen Shunt zwischen der Klemme **1331** und der Klemme **1332** anordnen. Das Anordnen des Shunts zwischen den Klemmen **1331** und **1332** kann den Bus **1302** aktivieren, der eine ausreichende Lastimpedanz erzeugen kann, um sicherzustellen, dass über die Klemmen **1331** und **1332** gesendete Kommunikationssignale in einem erwarteten Bereich liegen, sodass das AM-Modem **1310** und / oder das Feldgerät **160** die Kommunikationssignale interpretieren können (z. B. zwischen 0,5 und 1,5 Vpp). Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann eine Sicherung **1342** aufweisen, die in Reihe elektrisch mit der Klemme **1333** verbunden ist, einen Widerstand von 11 Ohm hat und für 50 mA eingestuft ist. In manchen Fällen weist der aktive Kommunikator **1300** die Sicherung **1342** nicht auf. In manchen Fällen kann die Sicherung **1342** zwischen der Klemme **1333** und der Masse angeordnet sein.

[0137] Die Stromversorgung **1304** kann für das Bereitstellen eines Stromsignals mit einer Spannung zwischen 15 V und 20 V (z. B. 17 V) auf dem Bus **1302** konfiguriert sein. Die Stromversorgung **1304** kann eine auf einem Transformator basierte Stromversorgung sein und ihre Masse in Bezug auf die Klemme **1333** „verschieben“. Die Stromversorgung **1304** kann dafür konfiguriert sein, einen Spannungsabfall

an den Klemmen **1332** und **1333** auf einen mit den IS-Normen konformen Schwellenwert zu begrenzen. Di Ausgangsspannung bei Volllast kann 10,5 V betragen. Die Stromversorgung **1304** kann strombegrenzt sein (z. B. auf 38 mA), um das Überschreiten von Schwellenwerten für Spannung und/oder Strom an den Klemmen **1331**–**1333** zu vermeiden. Der aktive Kommunikator **1300** kann einen Stromkonditionierer **1306** aufweisen, der in Reihe mit der Stromversorgung **1304** verbunden ist und dafür konfiguriert ist, die Stromversorgung **1304** daran zu hindern, Kommunikationssignale herauszufiltern (z. B. aus dem AM-Modem **1310** und/oder einem verbundenen Feldgerät).

[0138] Im Betrieb kann der aktive Kommunikator **1300** im Werkzeugstrom-Modus und im Modus für externen Strom betrieben werden. Im Werkzeugstrom-Modus kann ein Benutzer das Feldgerät **160** mit den Klemmen **1332** und **133** verbinden und kann einen Shunt mit den Klemmen **1331** und **1332** verbinden, sodass Strom von der Klemme **1331** zur Klemme **1332** und zum verbundenen Feldgerät **160** fließt. Im Modus für externen Strom kann ein Benutzer das Feldgerät **160** mit den Klemmen **1332** und **1333** verbinden, wobei zwischen den Klemmen **1331** und **1332** ein offener Stromkreis belassen wird.

[0139] Im Modus für externen Strom können die Schalter **1332** und **1324** aktiviert werden, um den Bus **1302** wegzuschalten und einen offenen Stromkreis zwischen den Klemmen **1321**–**1322** und dem Leiter, der den Stromkonditionierer **1306** mit der Klemme **1331** verbindet, zu bilden. Außerdem kann der Gleichstromstärke-Controller **1312** von der Schaltung **1309** weggeschaltet werden, wenn der aktive Kommunikator **1300** im Modus für externen Strom ist.

[0140] Der aktive Kommunikator **1300** kann im Kommunikationsmodus oder im Diagnosemodus betrieben werden. Im Kommunikationsmodus kann der aktive Kommunikator **1300** mit dem verbundenen Feldgerät **160** kommunizieren. Im Diagnosemodus kann der aktive Kommunikator **1300** elektrische Attribute von Signalen auf einem Kommunikationsbus (z. B. einem Feldbus-Segment) messen und/oder elektrische Attribute von Signalen messen, die an den Klemmen des Feldgeräts **160** empfangen werden. Im Diagnosemodus nimmt der Gleichstromstärke-Controller **1312** möglicherweise keinen wesentlichen Strom auf. Im Kommunikationsmodus kann der Gleichstromstärke-Controller **1312** einen Strom aufnehmen (z. B. 11 mA). In manchen Fällen kann der aktive Kommunikator **1300** gleichzeitig im Kommunikationsmodus und im Diagnosemodus betrieben werden.

[0141] Wen gewünscht, kann die Steuereinheit **402** eine(n) oder mehrere der Stromversorgung **1304**, des Stromkonditionierers **1306**, der Abschlusswiderstände **1321**/**1322** und/oder der Schaltung **1309** deaktivieren, wenn an den Klemmen **1331**–**1333** eine Änderung der Spannung oder Stromstärke detektiert wird. Beispielsweise kann eine detektierte Hochspannung an den Klemmen **1332** und **1333** anzeigen, dass ein Benutzer eine neue Stromquelle angebracht hat, sodass der aktive Kommunikator **1300** veranlasst werden kann, eine oder mehrere Komponenten zu deaktivieren. Als ein weiteres Beispiel kann eine detektierte hohe Stromstärke an den Klemmen **1332** und **1333** anzeigen, dass ein Benutzer Leiter kurzgeschlossen hat oder versucht hat, ein weiteres Gerät hinzuzufügen, und den aktiven Kommunikator **1300** veranlassen, eine oder mehrere Komponenten zu deaktivieren. Eine Messung einer niedrigen Spannung kann beispielsweise anzeigen, dass ein extern versorgtes Feldgerät Strom verloren hat. Eine Messung einer niedrigen Stromstärke kann anzeigen, dass ein Gerät von den Klemmen **1331**–**1333** entfernt wurde.

[0142] Die Steuereinheit **402** kann eine Schaltungsmanager-Routine **1361** zum Verwalten des aktiven Kommunikators **1300** und/oder eine Diagnosemanager-Routine **1362** zum Analysieren von Signalen aufweisen, die vom aktiven Kommunikator **1300** gesendet und/oder empfangen werden. Der Schaltungsmanager **1361** kann die Schaltung **1309** wegschalten, um eine strombegrenzte Verbindung davor zu schützen, dass ihre Stromgrenze aufgrund der Stromlast der Schaltung **1309** überschritten wird. Außerdem kann ein Benutzer mit der UI **410** interagieren, um die Stromversorgung **1304** jederzeit abzuschalten.

[0143] Außerdem kann der Schaltungsmanager **1361** Signalmesswertfehler ausgleichen, die durch die Sicherung **1342** verursacht werden. Dies bedeutet, dass der Schaltungsmanager **1361** den Widerstand der Sicherung **1342** (der in manchen Fällen ungefähr 11 Ohm betragen kann) sowie den Widerstand der Abschlusswiderstände **1321** und **1322** berücksichtigen kann, wenn er Strommesswerte auf der Grundlage von Spannungsabfällen am Bus **1302** im Zusammenhang mit Kommunikationssignalen berechnet.

[0144] Der Diagnosemanager **1362** kann: (i) Feldgeräte identifizieren, (ii) elektrische Eigenschaften von Signalen erkennen und analysieren, die vom aktiven Kommunikator **1300** gesendet und/oder empfangen werden, (iii) über die Zeit durchgeführte Messungen und/oder Analysen protokollieren, und/oder (iv) eine Analyse des Rauschspektrums durchführen.

[0145] Erstens kann der Diagnosemanager **1362** durch eine Kennzeichnung oder eine Geräte-ID Feldgeräte identifizieren, die mit dem Bus verbunden sind (oder mit einem externen Bus verbunden sind, mit dem der aktive Kommunikator **1300** verbunden ist). Der Diagnosemanager **1362** kann es einem Benutzer ermöglichen, eine benutzerwählbare Geräteliste zu erzeugen, die der Benutzer während der Erzeugung einer Protokolldatei auswählen kann, um den Namen

der Datei, den Namen des Busses und/oder den Namen des Orts zu definieren (z. B. eine vom Benutzer individuell anpassbare Zeichenfolge wie „Speichertank **157**“).

[0146] Zweitens kann der Diagnosemanager **1362** elektrische Eigenschaften von Signalen erkennen und analysieren, die vom aktiven Kommunikator **1300** gesendet und/oder empfangen werden. Diese Messwerte können einem Benutzer auf der in **Fig.** 1 und **Fig.** 4 gezeigten Anzeige **122** angezeigt werden. Außerdem kann der Schaltungsmanager **1361** auf der Grundlage dieser Messwerte Komponenten des Werkzeugs **100** aktivieren oder deaktivieren (z. B. um die Komponenten zu schützen und/oder die Einhaltung von IS-Normen zu gewährleisten).

[0147] Drittens kann der Diagnosemanager **1362** die über die Zeit durchgeführten Messungen und/oder Analysen protokollieren.. Beispielsweise kann der Diagnosemanager einen Bericht über die Funktionsfähigkeit erstellen, der über die Zeit gemachte „Momentaufnahmen“ darstellt. Als Beispiel kann ein Benutzer das Werkzeug **100** verwenden, um zu einem gegebenen Feldgerät gehörende Signale auf relativ regelmäßiger Basis (z. B. jeden Tag, einmal wöchentlich etc.) zu messen. Der Diagnosemanager **1362** kann diese Messwerte protokollieren, sodass das Personal der Anlage Tendenzen im Zusammenhang mit dem Feldgerät über die Zeit identifizieren können. Der Funktionsfähigkeitsbericht kann einen Bus durch eine Kennzeichnung oder eine ID des Geräts am Bus mit der niedrigsten Adresse identifizieren. Der Funktionsfähigkeitsbericht kann Informationen enthalten, die den Benutzer des Werkzeugs **100** zur Zeit relevanter Messungen, das Datum der relevanten Messungen, den Namen des Busses oder Segments, an dem die Messungen vorgenommen wurden, und/oder den Namen des Orts, an dem die Messungen vorgenommen wurden, identifizieren. Das Werkzeug **100** kann einige dieser Informationen vom Feldgerät abrufen (z. B. die Kennzeichnung oder den Namen des Segments).

[0148] Als ein weiteres Beispiel für eine zeitbasierte Signalanalyse und -protokollierung kann der Diagnosemanager **1362** ein Fehlersucheprotokoll für das permanente Überwachen der Signale eines Feldgeräts über einen gegebenen Zeitraum erstellen. Beispielsweise kann es vorkommen, dass in einer Anlage Probleme mit einem bestimmten Feldgerät auftreten (z. B. Kommunikationsstörungen), doch die Ursache der Probleme nicht bestimmt werden kann. Ein Benutzer kann das Werkzeug **100** mit dem Feldgerät verbinden und das Werkzeug **100** für einen längeren Zeitraum zurücklassen (z. B. einige Stunden oder Tage). Das Werkzeug **100** kann dann elektrische Eigenschaften des Sensors und/oder empfangene Signale in regelmäßigen Intervallen und/oder auf der Grundlage eines Auslösers (z. B. wenn Signale einen bestimmten Schwellenwert über- oder unterschreiten) messen und protokollieren. Ein Benutzer kann das Protokoll später analysieren, um zu identifizieren, wann Probleme am Feldgerät auftreten, und mögliche Korrelationen mit den Problemen des Feldgeräts zu bestimmen. Beispielsweise kann der Benutzer durch Vergleichen des Protokolls mit Daten des Historians, die vom Prozessleitsystem gesammelt wurden, bestimmen, dass am Feldgerät auftretende Störungen mit dem Hochfahren eines Motors in der Nähe zusammenhängen, der Schwingungen verursacht, die die Kommunikation des Feldgeräts stören. Das Fehlersucheprotokoll kann dieselbe Art von Informationen wie der Funktionsfähigkeitsbericht (z. B. eine Kennzeichnung, eine Uhrzeit, ein Datum etc.) enthalten.

[0149] Viertens kann der Diagnosemanager **1362** eine Analyse des Rauschspektrums durchführen. Insbesondere kann der Diagnosemanager **1362** Spannungen in einem kleinen Frequenzbereich (z. B. weniger als 1 kHz), die mit Rauschen zusammenhängen, detektieren und die detektierten Spannungen anzeigen, sodass ein Benutze eines oder mehrere vom Folgendem identifizieren kann: (i) eine Frequenz des Rauschens; (ii) eine Amplitude des Rauschens (z. B. Durchschnitt oder Maximum); und/oder (iii) einen Zeitpunkt, an dem Rauschimpulse auftreten.

[0150] **Fig.** 14A ist eine schematische Darstellung des aktiven Kommunikators **1300**, der über einen externen Bus **1420** (d. h. extern vom aktiven Kommunikator **1300**) mit einem Feldgerät **1405** verbunden ist, wobei ein Beispiel gezeigt ist, bei dem der aktive Kommunikator **1300** mit einem Feldgerät verbunden ist, das mit einem betriebsfähigen Bus verbunden ist.

[0151] Eine externe Stromversorgung **1410** (z. B. eine in einer Halterung montierte Stromversorgung) kann den externen Bus **1420** mit Strom versorgen, und das Feldgerät **1405** kann Strom vom externen Bus **1420** aufnehmen. Das Feldgerät **1405** kann einen Strom von 10–25 mA zur Versorgung aufnehmen. Beispielsweise kann das Feldgerät **1405** einen Strom von 20 mA aufnehmen, der von der Stromversorgung **1410** bereitgestellt werde kann. In manchen Fällen können mehrere Feldgeräte mit dem Bus **1420** verbunden sein und Strom aufnehmen. Beispielsweise können drei Feldgeräte jeweils 20 mA vom Bus **1420** aufnehmen. In einem solchen Beispiel kann die Stromversorgung **1410** einen Strom von 60 mA für den Bus **1420** zur Versorgung bereitstellen. Ein Stromkonditionierer (nicht gezeigt) kann zwischen der Stromversorgung **1410** und dem Bus **1420** angeordnet sein.

[0152] Das Feldgerät **1405** kann über eine Feldbus-Abzweigleitung mit dem Feldbus-Segment **1420** verbunden sein. Die Abzweigleitung kann eine Zwei-Leiter-Verbindung sein, die über einen Kabelkasten mit

dem Segment **1420** verbunden ist, der mehrere andere Abzweigleitungen mit dem Segment **1420** verbinden kann. Aufgrund der zahlreichen Verbindungen und Verbindungspunkte im Zusammenhang mit dem Feldbus-Segment **1420** kann es schwierig sein, einen Versagenspunkt zu isolieren. Vorteilhafterweise kann der Kommunikator **1300** nicht nur mit dem Feldgerät **1405** kommunizieren, sondern sich auch anstelle des Feldgeräts mit dem Segment **1420** verbinden, um zu „sehen“, was das Feldgerät **1405** „sieht“. Kurz gesagt ist das Werkzeug **100** ein „bekanntes funktionsfähiges Gerät“. Wenn zwischen einem Feldgerät und einem Controller ein Kommunikationsproblem besteht, kann sich das Werkzeug **100** mit dem Feldgerät verbinden und es prüfen. Wenn das Feldgerät bei Verbindung mit dem Werkzeug **100** ordnungsgemäß funktioniert, weiß ein Benutzer des Werkzeugs **100**, dass das Problem „stromaufwärts“ des Feldgeräts besteht (z. B. an einer Abzweigleitung, einem Kabelkasten, E/A-Vorrichtungen oder einem anderen Kabel oder Gerät). Demzufolge kann sich der Benutzer weiter stromaufwärts bewegen und Kommunikationen prüfen, um das/die „schlechte“ Gerät oder Kommunikationsverbindung zu isolieren.

[0153] Die Stromversorgung **1410** kann das Feldgerät **1405** sowie möglicherweise andere Feldgeräte, die mit dem Segment **1420** verbunden sind, über das Segment **1420** mit Strom versorgen.

[0154] Das Segment **1420** kann ein Gleichstromsignal mit 10–25 mA zum Versorgen des Feldgeräts **1405** und ein digitales Wechselstrom-Kommunikationssignal, das vom Feldgerät **1405** genutzt wird, transportieren. Allgemein gesagt können mehrere andere Feldgeräte mit dem Segment **1420** verbunden sein, von denen jedes ein Gleichstromsignal mit 10–25 mA zur Versorgung aufnimmt. Demzufolge kann der von der Stromversorgung **1410** für das Segment **1405** bereitgestellte Gleichstrom je nach der Anzahl der Feldgeräte, die mit dem Segment **1420** verbunden sind und Strom aufnehmen, variieren. Das Segment **1420** kann Abschlusswiderstände **1422** und **1424** aufweisen. Jeder der Abschlusswiderstände **1422** und **1424** kann z. B. einen 100-Ohm-Widerstand in Reihe mit einem 1-µF-Kondensator aufweisen. Demgemäß können die Abschlusswiderstände **1422** und **1422** Gleichstrom blockieren und als Strom-Shunt für das Wechselstrom-Kommunikationssignal dienen.

[0155] Im Betrieb können der aktive Kommunikator **1300** und das Feldgerät **1405** über ein digitales Signal (z. B. 20 mA von Peak zu Peak) kommunizieren, das das Stromsignal auf dem Bus **1420** überlagert. Im Allgemeinen kann nur ein mit dem Bus **1420** verbundenes Gerät zu jeder gegebenen Zeit kommunizieren. Wenn beispielsweise der aktive Kommunikator **1300**, das Feldgerät **1405** und zwei weitere Feldgeräte (nicht gezeigt) den Bus **1420** gemeinsam nutzen, kann zu einer gegebenen Zeit nur eines der vier verbundenen Geräte kommunizieren. Die Kommunikation über den Bus **1420** kann durch ein als Link Active Scheduler (LAS) bestimmtes Gerät koordiniert werden. Der LAS kann für das Weitergeben eines Tokens zwischen mit dem Bus **1420** verbundenen Geräten verantwortlich sein, wobei nur das Gerät mit dem Token über den Bus **1420** kommunizieren kann. In manchen Fällen kann das Feldgerät **1405** der LAS sein; in anderen Fällen kann das Werkzeug **100** der LAS sein.

[0156] Der LAS führt eine Liste aller Geräte, die Zugang zum Bus **1420** benötigen. Diese Liste kann als „Live Device List“ bezeichnet werden. Unter manchen Umständen kann der Bus **1420** nur einen LAS haben. Geräte, die zu einem LAS werden könnten, können als Master-Verbindungsgeräte bezeichnet werden. Alle anderen Geräte können als „Basisgeräte“ bezeichnet werden. Wenn gewünscht, kann das Werkzeug **100** ein Master-Verbindungsgerät sein. Wenn der aktive Kommunikator **1300** mit dem Bus **1420** verbunden ist, kann das Werkzeug **100** anbieten, das LAS zu werden. Der Verbindungs-Master, der sich durchsetzt (z. B. jener mit der niedrigsten Adresse), beginnt unmittelbar nach Abschluss des Angebotsprozesses, den Betrieb als LAS aufzunehmen.

[0157] **Fig.** 14B ist eine schematische Darstellung des aktiven Kommunikators **1300**, der über den Bus **1302** mit einem Feldgerät **1455** verbunden ist, wobei ein Beispiel gezeigt ist, bei dem der aktive Kommunikator **1300** das Feldgerät **1455** mit Strom versorgt. Ein Benutzer kann einen Shunt **1460** zwischen Klemmen **1331** und **1332** anordnen, sodass die Stromversorgung **1304** den Bus **1302** mit Strom versorgen kann. Die Stromversorgung **1302** kann strombegrenzt sein, sodass über den Shunt **1460** fließender Strom unter einem maximalen Schwellenwert bleibt, der IS-Normen entspricht. Beispielsweise kann der Schwellenwert zwischen 35–45 mA liegen. Wie vermerkt wurde, kann der Gleichstromstärke-Controller **1312** 11 mA aufnehmen. Außerdem können übliche Feldgeräte 10–25 mA aufnehmen. Die Stromversorgung **1302** kann zum Bereitstellen von bis zu 36 mA konfiguriert sein, um zu gewährleisten, dass der Gleichstromstärke-Controller **1312** und das Feldgerät **1455** ausreichend Strom erhalten (d. h. auf der Grundlage einer erwarteten möglichen Gesamtstromaufnahme von 11 mA–25 mA), während die IS-Konformität erhalten bleibt. Die Stromversorgung **1304** kann zum Bereitstellen eines Maximalstroms von 38 mA konfiguriert sein. Ein Benutzer kann den aktiven Kommunikator **1300** nutzen, um das Feldgerät **1455** mit Strom zu versorgen, mit dem Feldgerät **1455** zu kommunizieren und/oder eine Diagnose des Feldgeräts **1455** durchzuführen, während die Konformität mit IS-Normen erhalten bleibt.

[0158] **Fig.** 15 ist eine Ansicht der Kommunikationsschnittstelle **406** des Werkzeugs **100** aus einer Perspektive außerhalb des Werkzeugs **100**. Wie gezeigt ist, weist das Werkzeug **100** den aktiven Kommunikator **600** und den aktiven Kommunikator **1300** auf, die in **Fig.** 6 bzw. **Fig.** 13 gezeigt sind. In manchen Fällen weist das Werkzeug **100** nur einen des aktiven Kommunikators **600** und des aktiven Kommunikators **1300** auf.

[0159] Die Kommunikationsschnittstelle **406** kann die in **Fig.** 13 gezeigten Klemmen **1331**–**1333** und die in **Fig.** 6 gezeigten Klemmen **631**–**636** aufweisen, die als Klemmensätze **1501**–**1504** angeordnet sein können.

[0160] Im Betrieb kann ein Benutzer den Klemmensatz **1501** mit einem Feldgerät verbinden, das zum Kommunizieren gemäß einem AM-Kommunikationsschema wie dem Feldbus-Protokoll konfiguriert ist. Der Benutzer kann den Klemmensatz **1501** beim Verbinden des Werkzeugs **100** mit einem Feldgerät verwenden, wobei eine externe Stromversorgung (d. h. extern in Bezug auf das Werkzeug **100**), beispielsweise eine in einer Halterung montierte Stromversorgung genutzt wird, die üblicherweise in Anlagenumgebungen vorhanden ist. Wenn der Benutzer das Werkzeug **100** zum Versorgen des Feldgeräts nutzen möchte, kann der Benutzer Klemmen **1331** und **1332** über einen Shunt verbinden.

[0161] Als weiteres Beispiel kann ein Benutzer den Klemmensatz **1502** mit einem Feldgerät verbinden, das Strom benötigt und zum Kommunizieren gemäß einem Gleichstrom-Signalisierungsschema (z. B. 4–20 mA) konfiguriert ist und/oder gemäß einem digitalen FM-Kommunikationsschema (z. B. dem HART-Protokoll) konfiguriert ist und Strom benötigt. Alternativ, wenn der Benutzer das Werkzeug **100** mit einem ähnlich konfigurierten Feldgerät verbinden möchte, das bereits von einer externen Stromversorgung versorgt wird, kann der Benutzer das Feldgerät mit dem Klemmensatz **1503** verbinden. Ein Benutzer kann den Klemmensatz **1502** auch mit einem Feldgerät oder einer mit dem Feldgerät verbundenen Kommunikationsverbindung verbinden, um die elektrischen Eigenschaften (z. B. Stromstärke, Spannung) von Signalen zu detektieren, die vom Feldgerät gesendet werden oder vom Feldgerät empfangen werden.

[0162] Schließlich kann ein Benutzer den Klemmensatz **1504** mit einem Feldgerät verbinden, um die elektrischen Eigenschaften (z. B. Stromstärke, Spannung) von Signalen zu detektieren, die vom Feldgerät gesendet werden oder vom Feldgerät empfangen werden. Der Benutzer kann den Klemmensatz **1504** auch mit einer Kommunikationsverbindung (z. B. einer HART-Schleife oder einem Feldbus-Segment) verbinden, um die elektrischen Eigenschaften von Signalen zu detektieren, die über die Kommunikationsverbindung übertragen werden. In manchen Fällen ist die mit dem Klemmensatz **1504** verbundene Energieüberwachungseinrichtung **408** ausschließlich zum Messen von Strom vorhanden.

[0163] Wie gezeigt wurde, ermöglicht es die Kommunikationsschnittstelle **406** dem Werkzeug **100**, mit Feldgeräten, die gemäß unterschiedlichen Protokoll konfiguriert sind, zu kommunizieren oder sie zu diagnostizieren. Ein Benutzer kann folglich das Werkzeug **100** für das Durchführen eines Service an mehreren unterschiedlichen Arten von Feldgeräten mitnehmen, anstatt mehrere spezialisierte Werkzeuge zu tragen.

Patentansprüche

1. Tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort, umfassend:
(A) ein Gehäuse;
(B) eine Kommunikationsschnittstelle, die durch das Gehäuse angeordnet ist, wobei die Kommunikationsschnittstelle einen inneren Abschnitt aufweist, der im Gehäuse zugänglich ist;
(C) eine oder mehrere Kommunikationsschaltungen, die im Gehäuse angeordnet und elektrisch mit dem inneren Abschnitt der Kommunikationsschnittstelle verbunden sind, wobei die eine oder mehreren Kommunikationsschaltungen für das Kommunizieren gemäß einem ersten Protokoll und für das Kommunizieren gemäß einem zweiten Protokoll konfiguriert sind; und
(D) eine oder mehrere Stromversorgungen, die im Gehäuse angeordnet und elektrisch mit dem inneren Abschnitt der Kommunikationsschnittstelle verbunden sind, wobei die eine oder mehreren Stromversorgungen für das Bereitstellen von Strom gemäß dem ersten Protokoll und für das Bereitstellen von Strom gemäß dem zweiten Protokoll konfiguriert sind; und
wobei die Kommunikationsschnittstelle weiterhin eine oder mehrere Klemmen aufweist, die:
(i) mit einem ersten Feldgerät verbindbar sind, sodass das erste Feldgerät ein erstes zusammengesetztes Signal empfängt, das gemäß dem ersten Protokoll dafür konfiguriert ist, Strom von der einen oder mehreren Stromversorgungen für das erste Feldgerät bereitzustellen und das erste Feldgerät kommunikativ mit der einen oder den mehreren Kommunikationsschaltungen zu verbinden; und
(ii) mit einem zweiten Feldgerät verbindbar sind, sodass das zweite Feldgerät ein zweites zusammengesetztes Signal empfängt, das gemäß dem zweiten Protokoll dafür konfiguriert ist, Strom von der einen oder mehreren Stromversorgungen für das zweite Feldgerät bereitzustellen und das zweite Feldgerät kommunikativ mit der einen oder den mehreren Kommunikationsschaltungen zu verbinden.

2. Tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort nach Anspruch 1, wobei die eine oder mehreren Kommunikationsschaltungen zum Kommunizieren
– gemäß dem ersten Protokoll über ein digitales Amplitudenmodulations(AM)-Kommunikationssignal,
und/oder konfiguriert sindgemäß dem zweiten Protokoll über ein digitales Frequenzmodulations(FM)-Kommunikationssignal konfiguriert sind, insbesondere wobei das erste Protokoll ein HART-Protokoll ist und das zweite Protokoll ein Feldbus-Protokoll ist.

3. Tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort nach Anspruch 1 oder 2, wobei die eine oder mehreren Kommunikationsschaltungen aufweisen:
eine erste Kommunikationsschaltung, die für das Kommunizieren gemäß dem ersten Protokoll konfiguriert ist, und
eine zweite Kommunikationsschaltung, die für das Kommunizieren gemäß dem zweiten Protokoll konfiguriert ist; und/oder
wobei die eine oder mehreren Stromversorgungen aufweisen:
eine erste Stromversorgung, die für das Bereitstellen von Strom gemäß dem ersten Protokoll konfiguriert ist, und
eine zweite Stromversorgung, die für das Bereitstellen von Strom gemäß dem zweiten Protokoll konfiguriert ist; und/oder
wobei die eine oder mehreren Klemmen aufweisen:
ein erstes Klemmenpaar, das elektrisch mit der ersten Kommunikationsschaltung und der ersten Stromversorgung verbunden ist, wobei das erste zusammengesetzte Signal über das erste Klemmenpaar an das erste Feldgerät gesendet wird, und
ein zweites Klemmenpaar, das elektrisch mit der zweiten Kommunikationsschaltung und der zweiten Stromversorgung verbunden ist, wobei das zweite zusammengesetzte Signal über das zweite Klemmenpaar an das zweite Feldgerät gesendet wird; insbesondere genanntes tragbares Wartungswerkzeug, weiterhin umfassend:
eine oder mehrere Energiemessschaltungen, die elektrisch mit dem ersten Klemmenpaar und dem zweiten Klemmenpaar verbunden sind, wobei die eine oder mehreren Energiemessschaltungen dafür konfiguriert sind, am ersten Klemmenpaar eine oder mehrere elektrische Eigenschaften des ersten zusammengesetzten Signals zu messen und am zweiten Klemmenpaar eine oder mehrere elektrische Eigenschaften des zweiten zusammengesetzten Signals zu messen.

4. Tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die eine oder mehreren Stromversorgungen und die eine oder mehreren Kommunikationsschaltungen dafür konfiguriert sind, ein Überschreiten von Eigensicherheits-Energieniveaus zu vermeiden; und/oder wobei das erste zusammengesetzte Signal ein analoges Gleichstrom-Kommunikationssignal enthält, und ein digitales FM-Kommunikationssignal, das das analoge Gleichstrom-Kommunikationssignal überlagert.

5. Tragbares Wartungswerkzeug für den Einsatz vor Ort nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das erste zusammengesetzte Signal ein analoges Gleichstrom-Kommunikationssignal, und ein digitales FM-Kommunikationssignal das das analoge Gleichstrom-Kommunikationssignal überlagert.

6. Verfahren zum Kommunizieren mit einem Feldgerät, wobei das Verfahren aufweist:
kommunikatives Verbinden eines tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit einem ersten Feldgerät, das gemäß einem ersten Protokoll konfiguriert ist;
Senden, durch das tragbare Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, eines ersten zusammengesetzten Signals, das gemäß dem ersten Protokoll konfiguriert ist, wobei das erste zusammengesetzte Signal aufweist: (i) ein erstes Stromsignal zum Versorgen des ersten Feldgeräts mit Strom und (ii) ein erstes Kommunikationssignal zum Kommunizieren mit dem ersten Feldgerät;
kommunikatives Verbinden eines tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit einem zweiten Feldgerät, das gemäß einem zweiten Protokoll konfiguriert ist; und
Senden, durch das tragbare Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort, eines zweiten zusammengesetzten Signals, das gemäß dem zweiten Protokoll konfiguriert ist, wobei das zweite zusammengesetzte Signal aufweist: (i) ein zweites Stromsignal zum Versorgen des zweiten Feldgeräts mit Strom und (ii) ein zweites Kommunikationssignal zum Kommunizieren mit dem zweiten Feldgerät.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Senden des ersten zusammengesetzten Signals ein allmähliches Aufbauen des ersten Stromsignals über einen Zeitraum aufweist und/oder,
das Senden des ersten zusammengesetzten Signals, das gemäß dem ersten Protokoll konfiguriert ist, Folgendes umfasst:
Senden des ersten zusammengesetzten Signals gemäß einem digitalen Amplitudenmodulations(AM)-Protokoll, insbesondere gemäß einem HART-Protokoll.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Senden des zweiten zusammengesetzten Signals, das gemäß dem zweiten Protokoll konfiguriert ist, Folgendes umfasst:
Senden des zweiten zusammengesetzten Signals gemäß einem digitalen Frequenzmodulations(FM)-Protokoll, insbesondere gemäß einem Feldbus-Protokoll.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei:
das kommunikative Verbinden des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit dem ersten Feldgerät ein kommunikatives Verbinden eines ersten Klemmenpaars des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit dem ersten Feldgerät umfasst, wobei das Senden des ersten zusammengesetzten Signals ein Senden des ersten zusammengesetzten Signals über das erste Klemmenpaar umfasst; und
das kommunikative Verbinden des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit dem zweiten Feldgerät ein kommunikatives Verbinden eines zweiten Klemmenpaars des tragbaren Wartungswerkzeugs für den Einsatz vor Ort mit dem zweiten Feldgerät umfasst, wobei das Senden des zweiten zusammengesetzten Signals ein Senden des zweiten zusammengesetzten Signals über das zweite Klemmenpaar umfasst, insbesondere genanntes Verfahren weiterhin umfassend Messen, am ersten Klemmenpaar, einer oder mehrerer elektrischer Eigenschaften des ersten zusammengesetzten Signals und Messen, am zweiten Klemmenpaar, einer oder mehrerer elektrischer Eigenschaften des zweiten zusammengesetzten Signals, und/oder Anordnen eines Shunts zwischen einer Stromklemme und einer des zweiten Klemmenpaars, sodass das zweite Stromsignal an das zweite Feldgerät gesendet werden kann.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, weiterhin aufweisend Deaktivieren einer oder mehrerer Stromversorgungen, wenn entweder das erste zusammengesetzte Signal oder das zweite zusammengesetzte Signal einen elektrischen Schwellenwert überschreitet, wobei der elektrische Schwellenwert ein Eugensicherheits-Energieniveau betrifft.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der elektrische Schwellenwert ein Stromschwellenwert mit einem Wert im Bereich von 45 mA bis 55 mA ist mit einem Wert oder einem Wert im Bereich von 25 V bis 35 V ist.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei der elektrische Schwellenwert ein Leistungsschwellenwert mit einem Wert im Bereich von 1 W bis 1,5 W ist.

13. Computer-lesbares Speichermedium, welches Instruktionen enthält, die mindestens einen Prozessor dazu veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12 zu implementieren, wenn die Instruktionen durch mindestens einen Prozessor ausgeführt werden.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

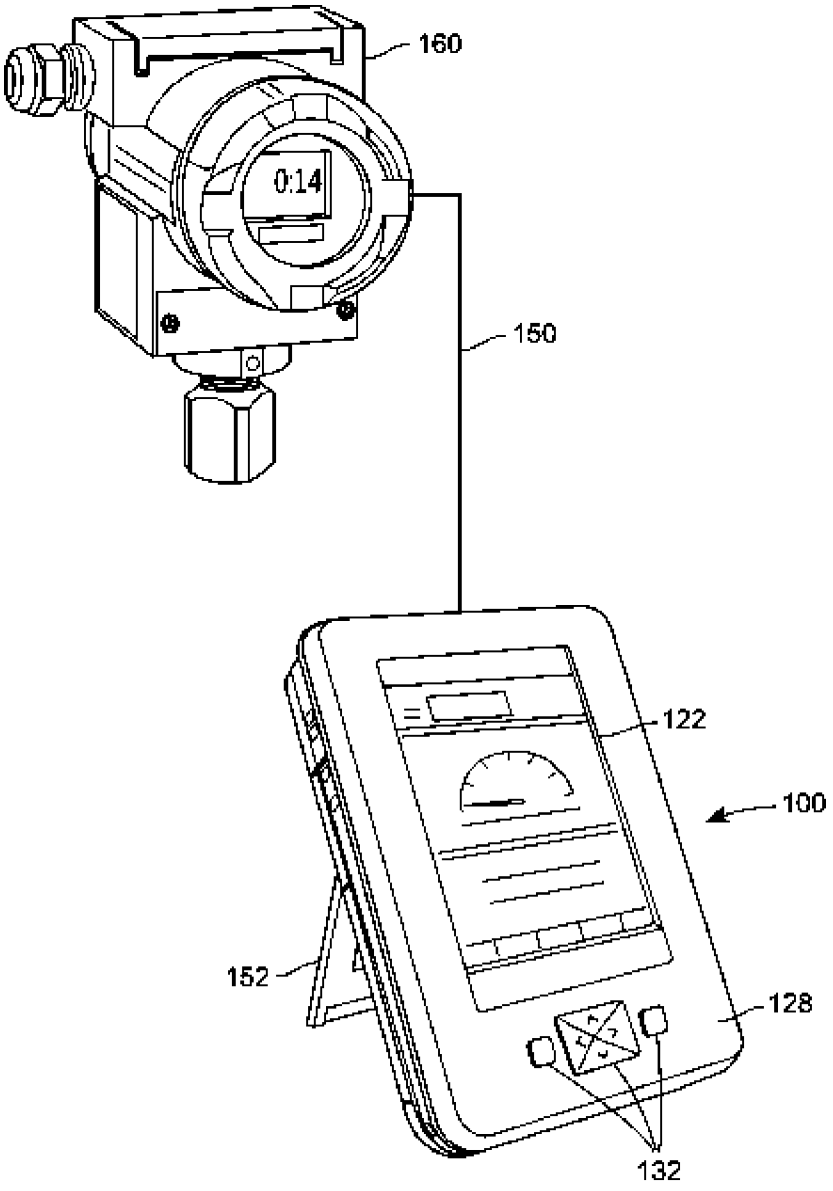


FIG. 1A

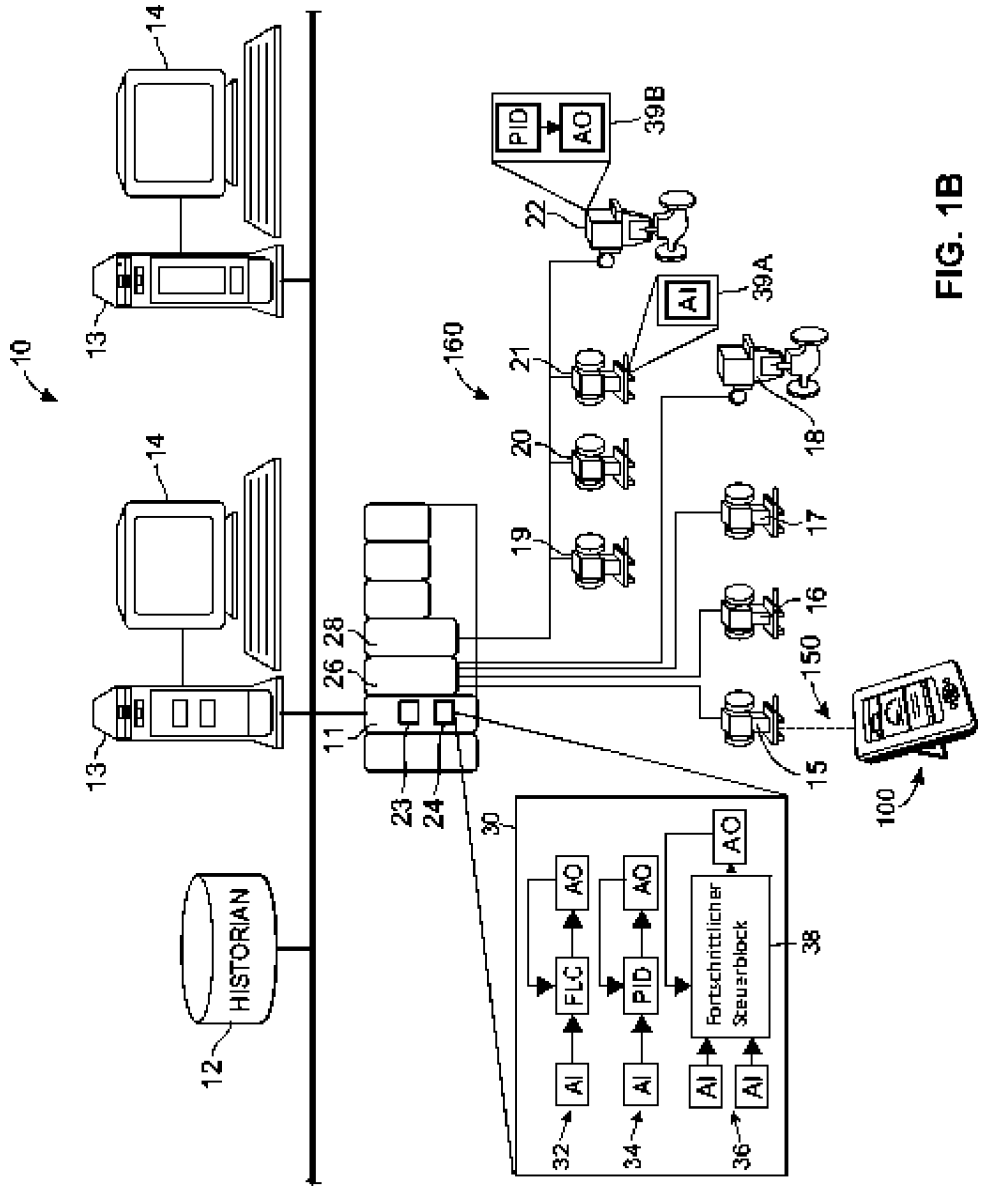

10
14
13
14
13
HISTORIAN
12
11
26
28
23
24
30
160
PID
AO
39B
22
AI
39A
21
20
19
18
17
16
150
15
100
AO
FLC
AO
PID
AO
Fortschrittlicher Steuerblock
38
AI
AI
AI
AI
32
34
36

FIG. 1B

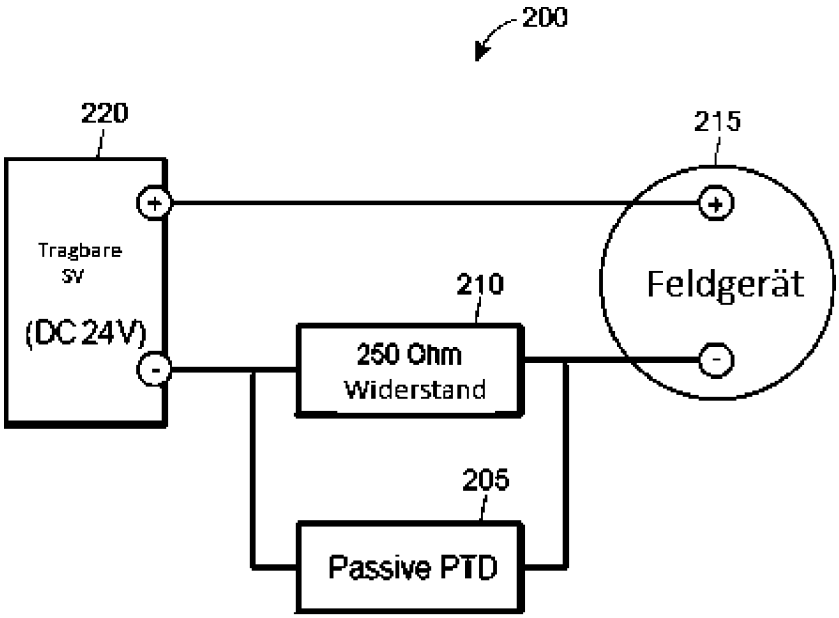


FIG. 2
Stand der Technik

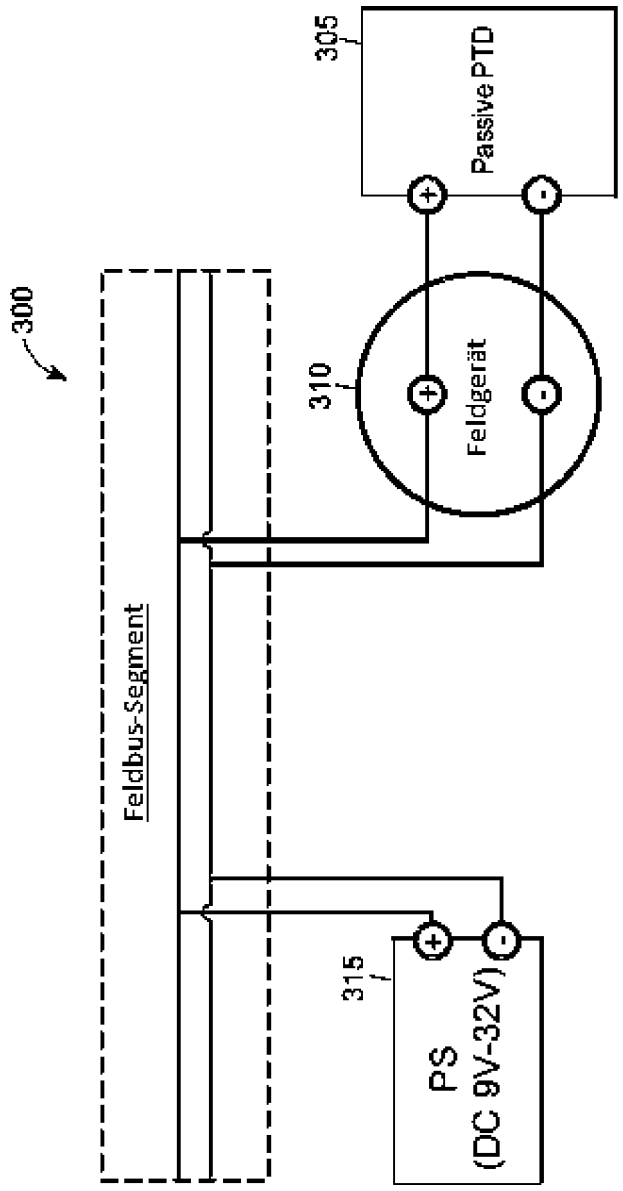


FIG. 3
Stand der Technik

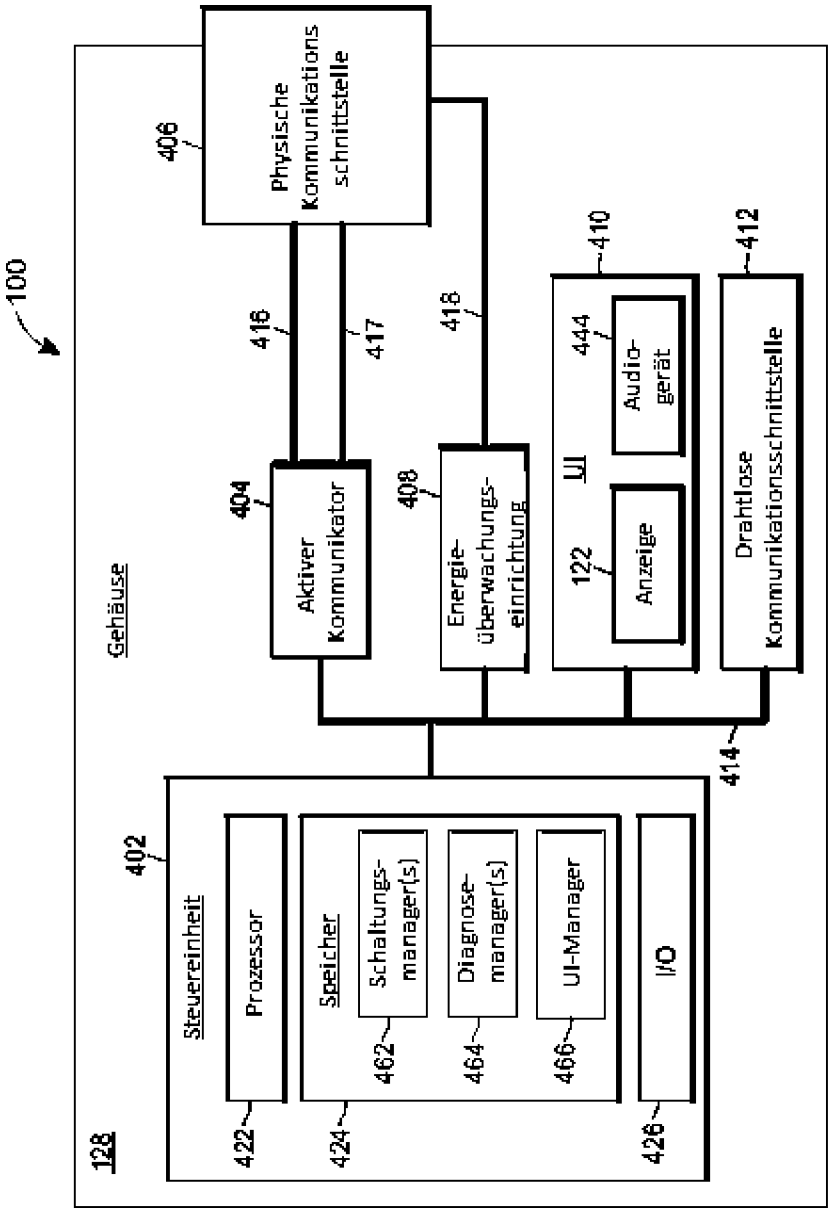

100
128
Gehäuse
406
Physische Kommunikations schnittstelle
416
417
418
404
Aktiver Kommunikator
408
Energie-überwachungs-einrichtung
410
UI
444
Audio-gerät
122
Anzeige
412
Drahtlose Kommunikationsschnittstelle
414
402
Steuereinheit
Prozessor
Speicher
Schaltungs-manager(s)
Diagnose-manager(s)
UI-Manager
I/O
422
424
462
464
466
426

FIG. 4

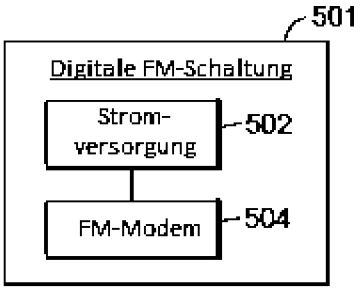


FIG. 5A

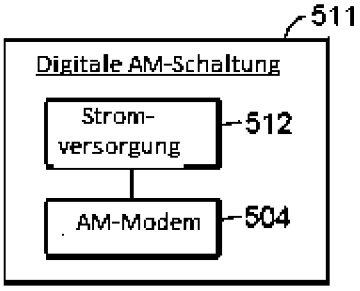


FIG. 5B

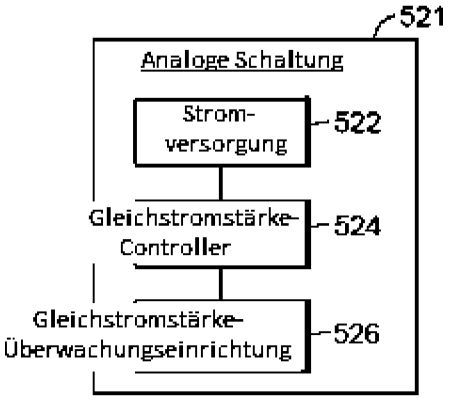


FIG. 5C

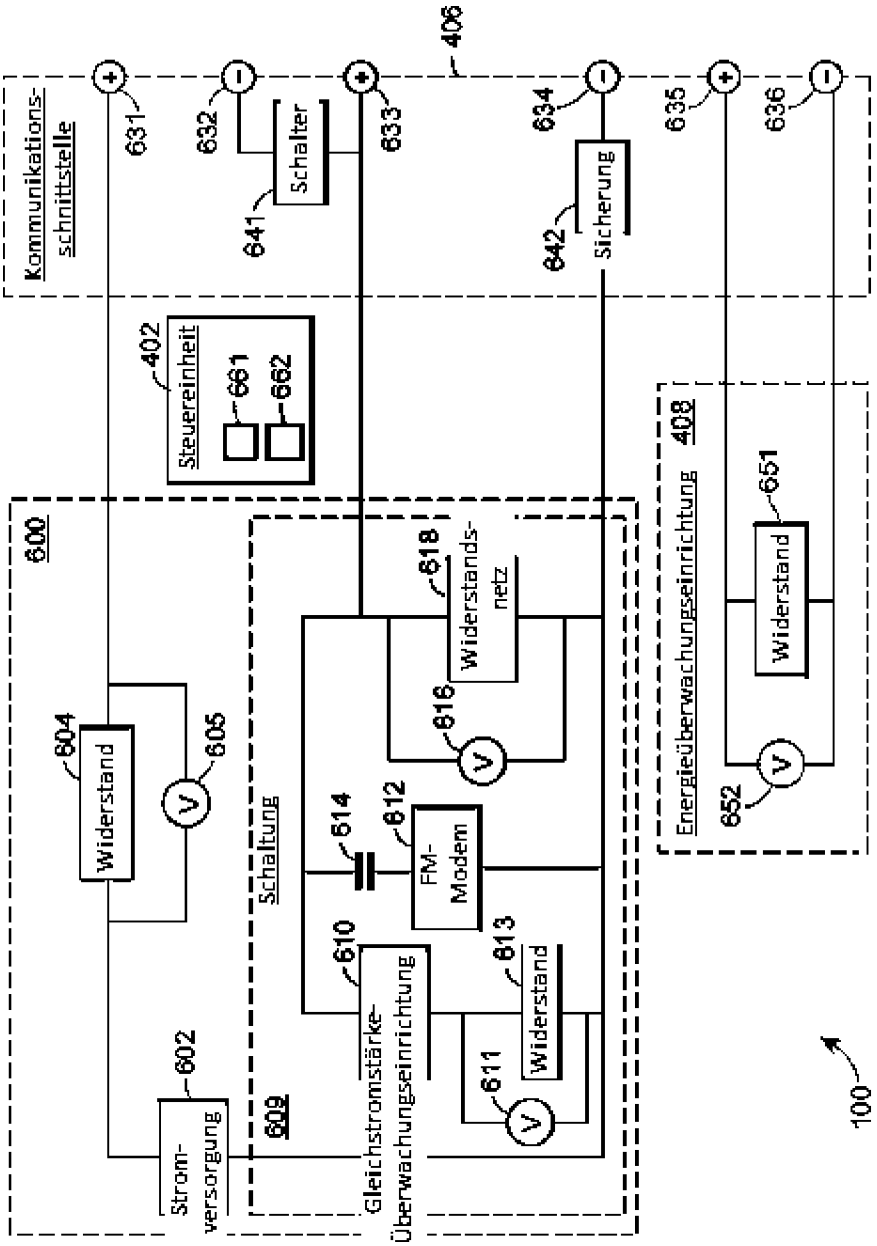

406
Kommunikations-schnittstelle
631
632
633
634
635
636
Schalter
641
Sicherung
642
402
Steuereinheit
661
662
600
604
Widerstand
605
618
Widerstands-netz
616
614
612
FM-Modem
Schaltung
610
Gleichstromstärke-Überwachungseinrichtung
613
Widerstand
611
602
Strom-versorgung
609
Energieüberwachungseinrichtung 408
651
Widerstand
652
100

FIG. 6

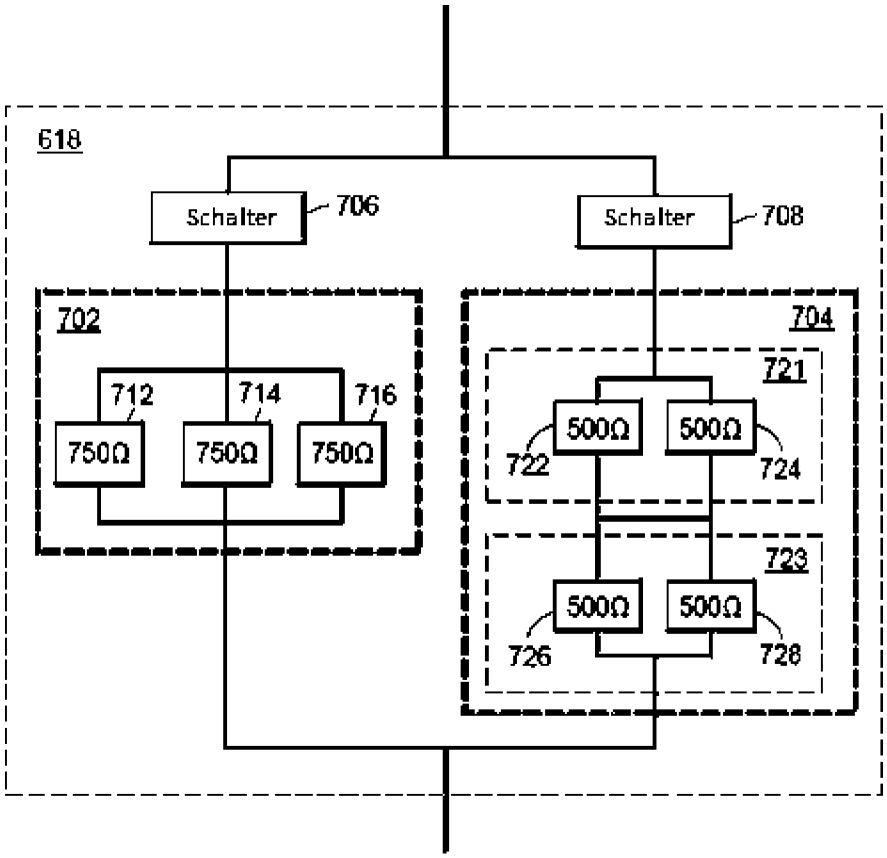

618
Schalter
706
Schalter
708
702
704
712
714
716
750Ω
750Ω
750Ω
721
500Ω
500Ω
722
724
723
500Ω
500Ω
726
728

FIG. 7

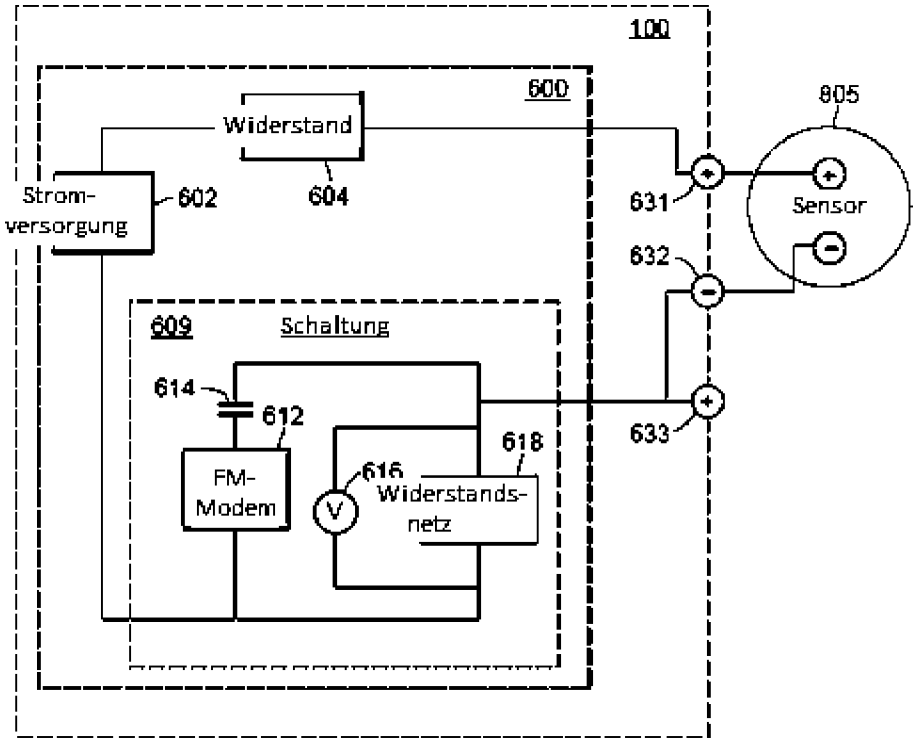

100
600
Widerstand
604
805
Strom-
versorgung
602
631
Sensor
632
609
Schaltung
614
612
618
633
FM-
Modem
616
V
Widerstands-
netz

FIG. 8A

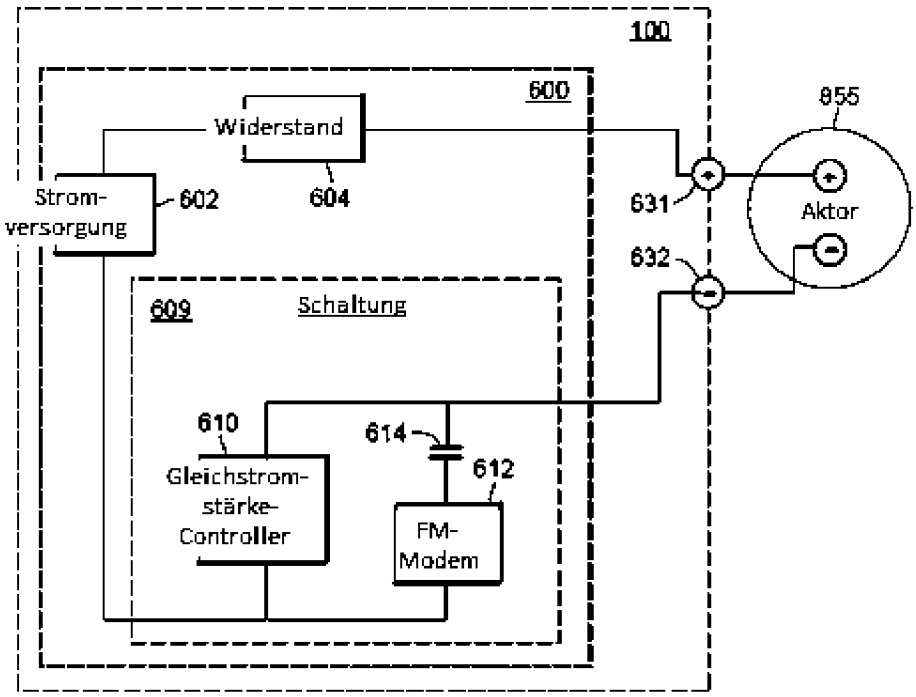

100
600
Widerstand
604
Strom-
versorgung
602
855
631
Aktor
632
609
Schaltung
610
614
612
Gleichstrom-
stärke-
Controller
FM-
Modem

FIG. 8B

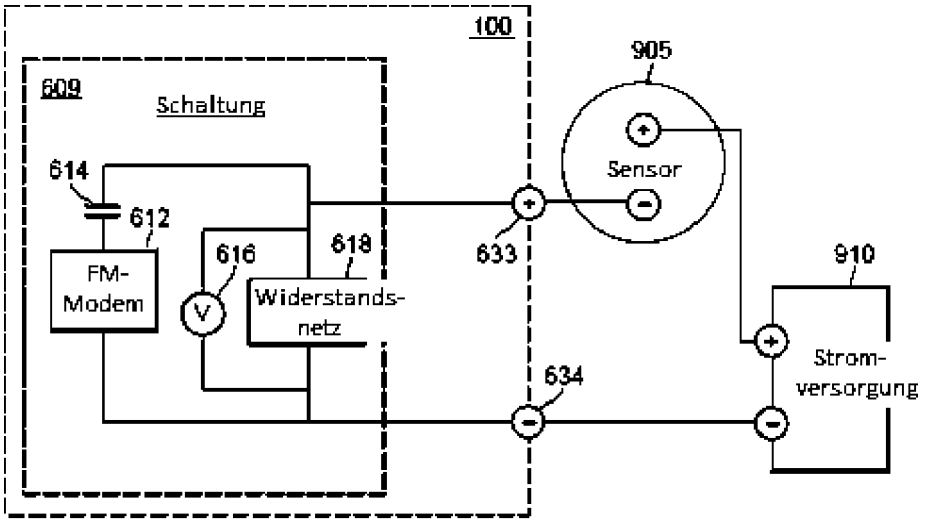

100
609
Schaltung
614
612
FM-
Modem
616
V
618
Widerstands-
netz
633
905
Sensor
910
Strom-
versorgung
634

FIG. 9A

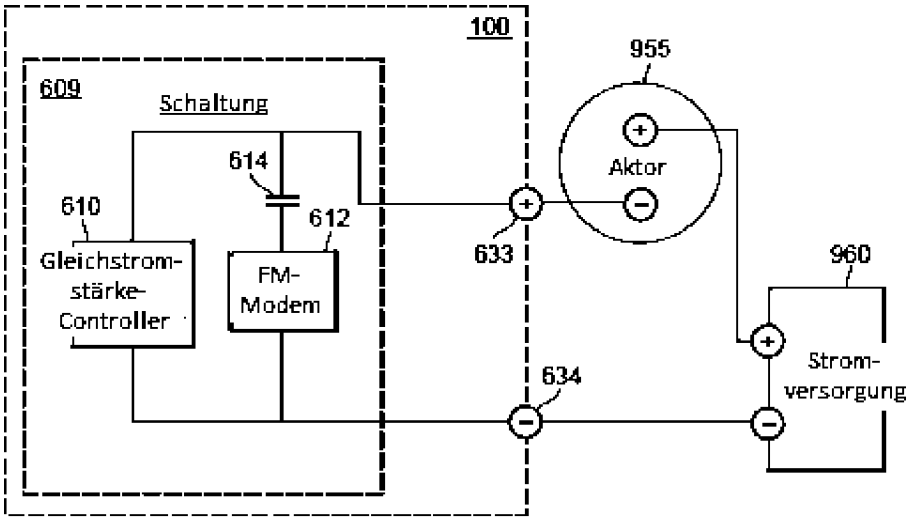

100
609
Schaltung
614
610
612
Gleichstrom-
stärke-
Controller
FM-
Modem
633
955
Aktor
960
Strom-
versorgung
634

FIG. 9B

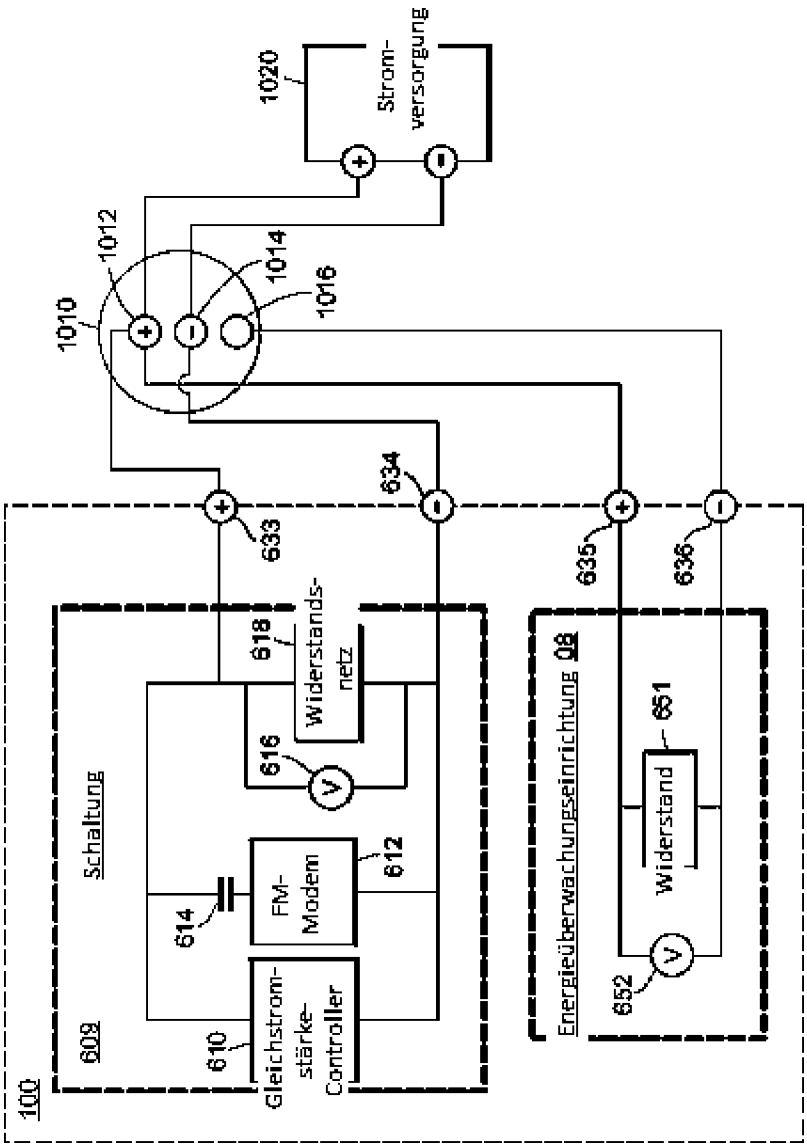

1020
Strom-
versorgung
1012
1014
1016
1010
634
633
635
636
618
Widerstands-
netz
616
Schaltung
614
FM-
Modem
612
609
610
Gleichstrom-
stärke-
Controller
100
Energieüberwachungseinrichtung 08
651
Widerstand
652

FIG. 10

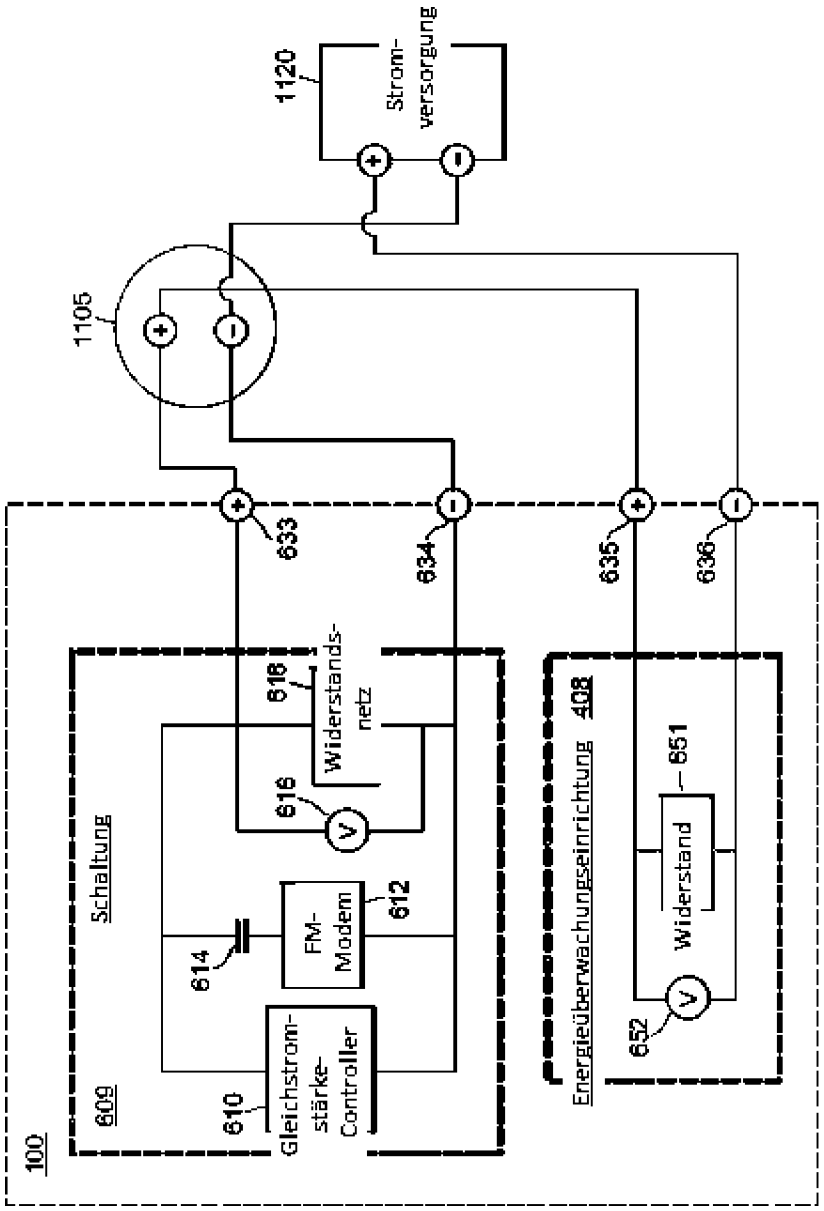

1120
Strom-
versorgung
1105
633
634
635
636
100
609
Schaltung
618
Widerstands-
netz
616
614
FM-
Modem
612
610
Gleichstrom-
stärke-
Controller
408
Energieüberwachungseinrichtung
651
Widerstand
652

FIG. 11

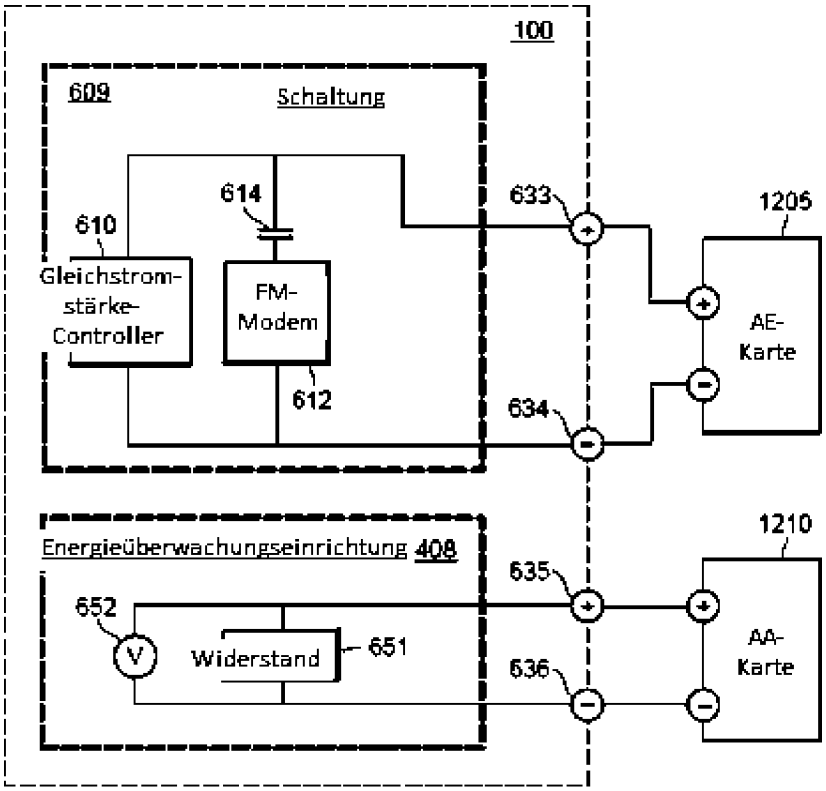

100
609
Schaltung
614
610
633
1205
Gleichstrom-
stärke-
Controller
FM-
Modem
AE-
Karte
612
634
1210
Energieüberwachungseinrichtung 408
635
652
V
Widerstand
651
AA-
Karte
636

FIG. 12

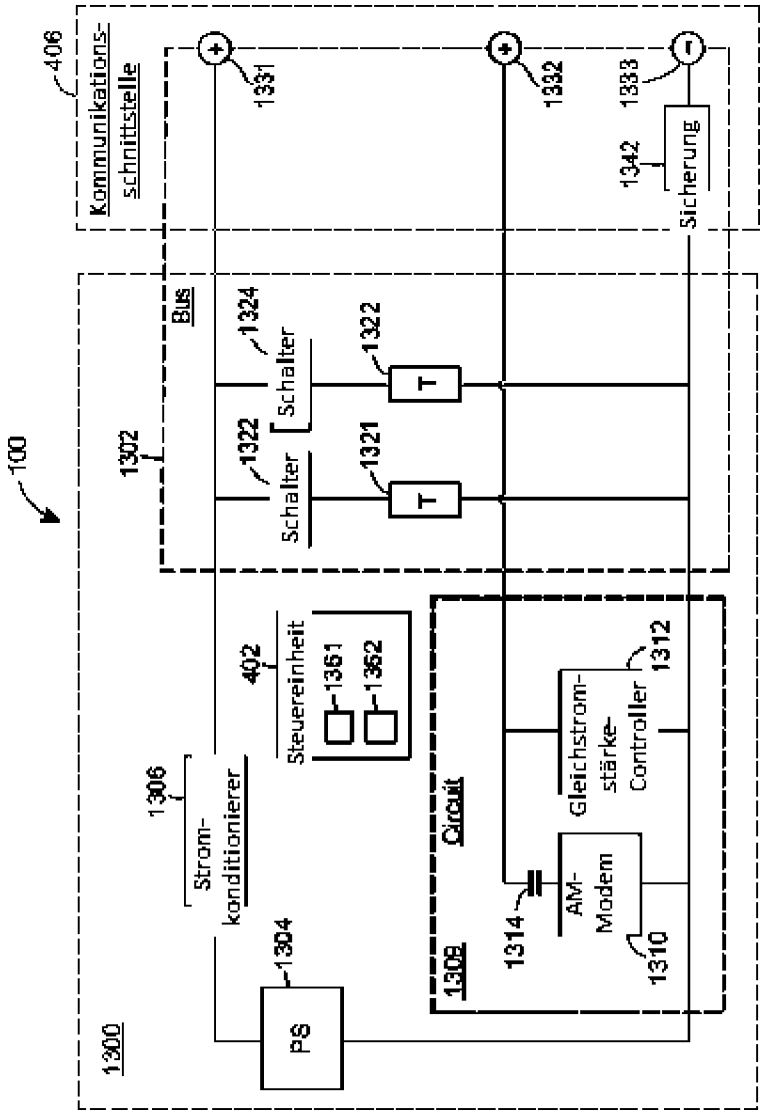

100
406
Kommunikations-schnittstelle
1331
1332
1333
1342
Sicherung
Bus
1324
Schalter
1322
T
1302
1322
Schalter
1321
T
402
Steuereinheit
1361
1352
1306
Strom-konditionierer
1312
Gleichstrom-stärke-Controller
Circuit
1308
1314
AM-Modem
1310
1304
PS
1300

FIG. 13

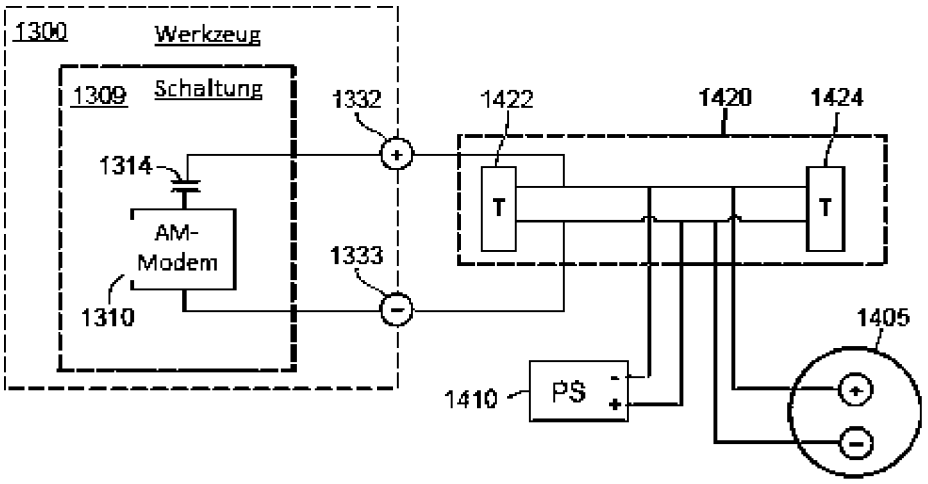


FIG. 14A

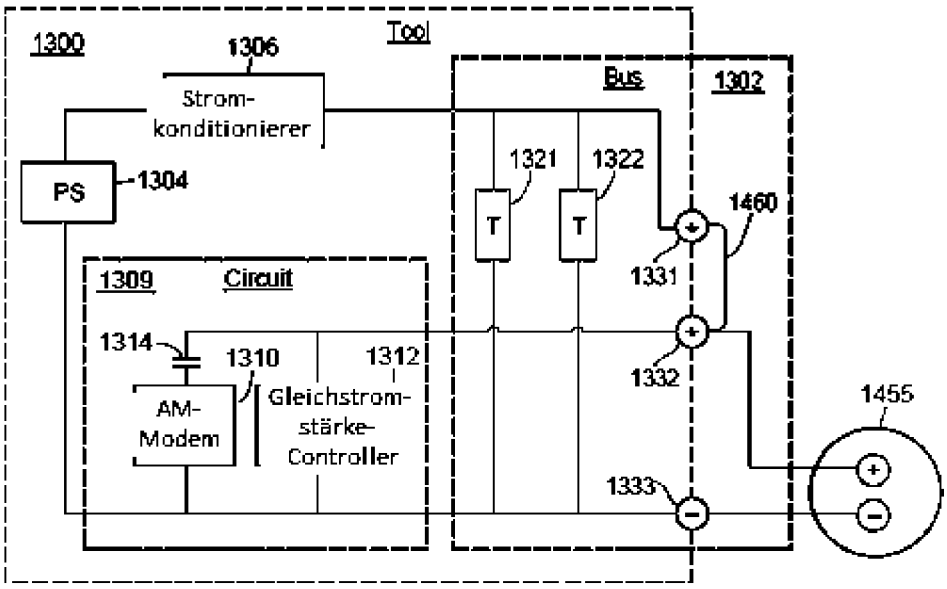


FIG. 14B

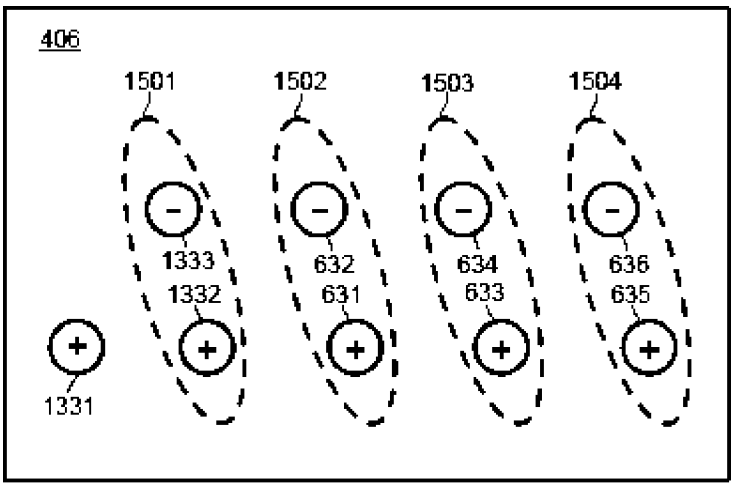


FIG. 15