

19



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU505820

<https://patent.public.lu/fo-eregister-view/>

12

BREVET D'INVENTION**B1**

21

N° de dépôt: LU505820

51

 Int. Cl.:
G01R 15/14

22

Date de dépôt: 18/12/2023

30

Priorité:

73

 Titulaire(s):
PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG – 32825
Blomberg (Deutschland)

43

Date de mise à disposition du public: 19/06/2025

72

 Inventeur(s):
EMME Christoph – Deutschland

47

Date de délivrance: 19/06/2025

DX

Date d'expiration: 18/12/2043

74

 Mandataire(s):
PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG –
32825 Blomberg (Deutschland)

85

Date d'entrée en phase nationale:

86

N° de dépôt de la demande internationale:

54

Messumsetzer zum Erfassen elektrischen Stroms .

57

Messumsetzer zum Erfassen elektrischen Stroms
Zusammenfassung Ein Messumsetzer (100) zum Erfassen eines durch einen Stromleiter (300) fließenden elektrischen Stroms wird beschrieben. Der Messumsetzer (100) umfasst einen Stromwandler (102), der ein dem durch den Stromleiter (300) fließenden elektrischen Strom entsprechendes Analogsignal des Stroms erzeugt. Ein Analog-Digital-Umsetzer (104) erzeugt ein dem Analogsignal des Stroms entsprechendes Digitalsignal des Stroms. Ferner umfasst der Messumsetzer (100) eine Netzwerkschnittstelle (106) und einen Mikrocontroller (108), der auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms ein Datenpaket gemäß einem Kommunikationsprotokoll (160; 165) an der Netzwerkschnittstelle (106) ausgibt. Schließlich ist eine Stromversorgung (110) des Messumsetzers (100) von der Netzwerkschnittstelle (106) und/oder dem zu erfassenden Strom gespeist.

100

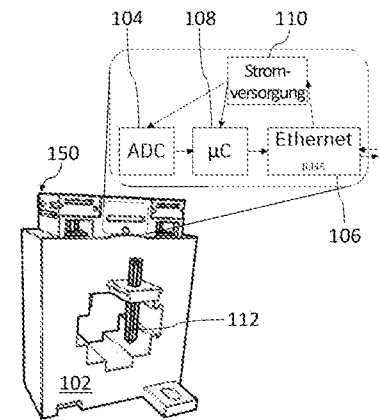


Fig. 2

Messumsetzer zum Erfassen elektrischen Stroms

Die vorliegende Erfindung betrifft das Erfassen eines elektrischen Stroms durch einen
5 Stromleiter zur weiteren maschinellen Verarbeitung. Hierzu sind insbesondere ein
Messumsetzer und ein System mit mehreren solchen Messumsetzern und einer zentralen
Empfangsvorrichtung offenbart.

Dabei werden elektrische Ströme durch Stromwandler erfasst, die beispielsweise als
10 Messstromtransformator ausgebildet sein können. Stromwandler liefern in der Regel
schwache analoge Messsignale an weiterführende Bauteile, sodass zu deren sicherer und
flexibler Handhabung entweder strikte Anordnungs- und Bauraumvorgaben einzuhalten sind
oder Signalleitungen aufwendig gegen Interferenz und Übersprechen geschirmt sein
müssen.

15 So ist bei der Weiterleitung von schwachen analogen Signalen neben der korrekten
Erfassbarkeit der eigentlichen Signalgröße auch ein erhebliches Störpotential zum Beispiel
durch elektromagnetische Einflüsse, Verbindungselementen oder ähnliches vorhanden.
Diese elektromagnetischen Einflüsse, Übergangswiderstände und ähnliches können
20 Störungen in die Leitung einkoppeln und so das Messsignal verfälschen. Entsprechende
Schirmmaßnahmen sind in aller Regel kostenintensiv.

Eine herkömmliche Lösung kann in der Digitalwandlung der analogen Messsignale zur
Weiterverarbeitung gesehen werden. Nachteilig bei der Digitalumwandlung der analogen
25 Messsignale nahe an der Messstelle ist die Notwendigkeit einer Bereitstellung einer eigenen
Spannungsversorgung (Speisung) für die Digitalumwandlung und möglicher weiterer
Bauteile, die für viele Messumsetzer als solche verzichtbar sind. So benötigt zum Beispiel
ein Messstromtransformator keine eigene Spannungsversorgung zur Ermittlung des
Stromwerts, der von wenigen Ampere bis zu einigen 1.000 A reichen kann.

30 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, einen Messumsetzer und ein System
bereitzustellen, bei denen die strikten Anordnungs- und Bauraumvorgaben von
(insbesondere unterbrechungsfreien) Stromwandlern und weiterführenden Bauteilen
gelockert wird, ohne eine Bereitstellung zusätzlicher Spannungsversorgung (Speisung)
35 zumindest für die übrigen Bauteile nahe der Messstelle.

Die Aufgabe wird mit den Merkmalen jedes der unabhängigen Ansprüche gelöst.
Zweckmäßige Ausgestaltungen und vorteilhafte Weiterentwicklungen der Erfindung sind in
den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Ausführungsbeispiele der Erfindung, die wahlweise miteinander kombinierbar sind, sind im Folgenden unter teilweiser Bezugnahme auf die Figuren offenbart. Insbesondere sind Merkmale, die im Kontext der Vorrichtung genannt sind, auch entsprechend im Verfahren realisierbar, beispielsweise durch einen Schritt des Bereitstellens des entsprechenden Merkmals oder durch einen Schritt des Ausführens einer Funktion der Vorrichtung. Ferner kann die Vorrichtung jedes im Kontext des Verfahrens genannte Merkmal umfassen und kann dazu ausgebildet sein, einen jeden im Kontext des Verfahrens genannten Schritt auszuführen.

10

Ein erster Aspekt betrifft einen Messumsetzer zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms. Der Messumsetzer weist einen Stromwandler auf, der dazu ausgebildet ist, ein dem durch den Stromleiter fließenden elektrischen Strom entsprechendes Analogsignal des Stroms zu erzeugen. Ein Analog-Digital-Umsetzer des Messumsetzers ist dazu ausgebildet, ein dem Analogsignal des Stroms entsprechendes Digitalsignal des Stroms zu erzeugen. Ferner umfasst der Messumsetzer eine Netzwerkschnittstelle. Ein Mikrocontroller des Messumsetzers ist dazu ausgebildet, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms ein Datenpaket gemäß einem Kommunikationsprotokoll an der Netzwerkschnittstelle auszugeben. Der Messumsetzer umfasst ferner eine Stromversorgung des Messumsetzers, die von der Netzwerkschnittstelle und/oder dem zu erfassenden Strom gespeist ist.

15

20

Der Strom kann ein Wechselstrom sein. Alternativ oder ergänzend kann der Stromwandler (d.h. eine Strommessenrichtung) zur unterbrechungsfreien Erfassung des Stroms ausgebildet sein. Der Stromwandler kann so zum Erfassen des Stroms angeordnet sein, dass der Stromwandler den stromführenden Leiter nicht unterbricht und keine Reihenschaltung des Stromwandlers im stromführenden Leiter vorliegt. Das heißt, der Stromwandler kann unterbrechungsfrei zur Strommessung angeordnet oder anordenbar sein. Dies ermöglicht beispielsweise die Nachrüstbarkeit des Messumsetzers oder dessen Einsatz für die Leitung hoher Ströme. Beispielsweise kann der Stromwandler dazu ausgebildet sein, den Strom kontaktlos (z.B. berührungslos) zu erfassen.

25

30

Der Stromleiter kann eine Stromschiene sein, beispielsweise mit rechteckigem Querschnitt. Der Messumsetzer (beispielsweise sein Gehäuse) kann zur mechanischen Verbindung direkt und/oder ausschließlich am Stromleiter ausgebildet sein.

35

Das Analogsignal des Stroms kann proportional oder linear zu dem im Stromleiter fließenden Strom sein. Beispielsweise kann der Stromwandler (StW) den durch den Stromleiter fließenden elektrischen Strom zu einem zum erfassten Strom proportionalen Signalstrom als

das Analogsignal wandeln oder eine zum erfassten Strom proportionale Messspannung erzeugen.

5 Der Stromwandler kann ein Teilungsverhältnis (z.B. Wandlungsverhältnis) zwischen dem Strom des Stromleiters und dem Analogsignal des Stroms, beispielsweise von 160 zu 1 (beispielsweise 800 A zu 5 A), aufweisen.

10 Der Analog-Digital-Umsetzer (ADU) kann auch als Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler oder ADW, fachsprachlich auch: ADC für "Converter") bezeichnet werden. Das Erzeugen des Digitalsignals kann auch als Umsetzen oder Wandeln des Analogsignals in ein Strom-Digitalsignal bezeichnet werden.

15 Das Digitalsignal des Stroms kann auch als Strom-Digitalsignal oder kurz Stromsignal bezeichnet werden. Das Digitalsignal einer Spannung kann auch als Spannung-Digitalsignal oder kurz Spannungssignal bezeichnet werden.

20 Das Kommunikationsprotokoll kann ein digitales und/oder paketorientiertes Protokoll sein. Alternativ oder ergänzend kann das Kommunikationsprotokoll für den Austausch von Messergebnissen für den Strom oder auf dem Strom basierender Messgrößen ausgebildet sein.

25 Das Kommunikationsprotokoll kann einer Schicht eines Protokollstapels entsprechen, beispielsweise der Schicht 2 oder Sicherungsschicht (fachsprachlich: Data Link Layer) oder der Schicht 3 oder Vermittlungsschicht (fachsprachlich: Network Layer).

30 Die Ausgabe eines Datenpaketes (beispielsweise mindestens eines Datenpakets oder einer Sequenz von Datenpaketen) gemäß dem Kommunikationsprotokoll an der Netzwerkschnittstelle kann auch als paketorientierte Ausgabe oder Kommunikation bezeichnet werden.

Der Messumsetzer kann ferner zum Erfassen einer elektrischen Spannung des Stromleiters (beispielsweise der Stromschiene) ausgebildet sein.

35 Der Messumsetzer kann ferner einen Spannungswandler umfassen, der dazu ausgebildet ist, ein einer an dem Stromleiter anliegenden elektrischen Spannung entsprechendes Analogsignal der Spannung zu erzeugen.

Der Messumsetzer kann ferner einen weiteren Analog-Digital-Umsetzer umfassen, der dazu ausgebildet ist, ein dem Analogsignal der Spannung entsprechendes Digitalsignal der

Spannung zu erzeugen. Alternativ oder ergänzend kann der eingangs genannte Analog-Digital-Umsetzer ferner dazu ausgebildet sein, ein dem Analogsignal der Spannung entsprechendes Digitalsignal der Spannung zu erzeugen. Der Mikrocontroller dazu ausgebildet ist, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms und des Digitalsignals der Spannung das Datenpaket gemäß dem Kommunikationsprotokoll an der Netzwerkschnittstelle auszugeben.

Der Spannungswandler (SpW) kann ein Spannungsabgriff sein und/oder ein Teilungsverhältnis des Spannungswandlers zwischen der Spannung des Stromleiters und dem Analogsignal der Spannung kann Eins (1) sein. Beispielsweise können mehrere Kontaktstifte durch eine mechanische Vorspannung auf dem Stromleiter anliegen zum Abgreifen der (elektrischen) Spannung. Der Kontaktstift oder die Kontaktstifte können ferner einer mechanischen Verbindung zwischen Messumsetzer und Stromleiter dienen.

Optional kann derselbe Analog-Digital-Umsetzer dazu ausgebildet sein, alternierend das dem Analogsignal der Spannung entsprechende Digitalsignal der Spannung und das dem Analogsignal des Stroms entsprechende Digitalsignal des Stroms zu erzeugen.

Der Mikrocontroller kann dazu ausgebildet sein, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms und des Digitalsignals der Spannung eine Leistung zu bestimmen. Das ausgegebene Datenpaket kann die bestimmte Leistung angeben.

Das Datenpaket kann ein Digitalsignal der Leistung (Leistungs-Digitalsignal oder kurz: Leistungssignal) umfassen. Der Mikrocontroller kann das Leistungssignal basierend auf dem Stromsignal und dem Spannungssignal bestimmen.

Das Datenpaket kann eine Wirkleistung, eine Scheinleistung, eine Blindleistung und/oder einen Phasenwinkel zwischen dem Strom und der Spannung angeben. Optional kann das ausgegebene Datenpaket ferner den Strom und/oder die Spannung ausgeben.

Ein Messumsetzer kann eine Bittiefe und/oder einen Dynamikumfang des Digitalsignals aufweisen, die unabhängig vom Analogsignal sind. Der Analog-Digital-Umsetzer kann dazu ausgebildet sein, das Digitalsignal des Stroms zu erzeugen. Der Analog-Digital-Umsetzer erzeugt das Digitalsignal des Stroms durch Abtasten des Analogsignals des Stroms.

Alternativ oder ergänzend kann die Bittiefe des Digitalsignals des Stroms mindestens 64 Bit betragen. Der weitere Analog-Digital-Umsetzer kann dazu ausgebildet sein, das Digitalsignal der Spannung zu erzeugen. Der weitere Analog-Digital-Umsetzer kann das Digitalsignal der Spannung durch Abtasten des Analogsignals der Spannung erzeugen. Alternativ oder ergänzend kann die Bittiefe des Digitalsignals der Spannung mindestens 64 Bit betragen.

- Das Datenpaket kann den durch den Stromleiter fließenden Strom angeben. Alternativ oder ergänzend kann das Datenpaket die an dem Stromleiter anliegende Spannung angeben. Alternativ oder ergänzend kann das Datenpaket die bestimmte Leistung angeben. Das
- 5 Datenpaket kann die Angaben in einer absoluten physikalischen Einheit aufweisen. Alternativ oder ergänzend können die Angaben im Datenpaket unabhängig von einem Teilungsverhältnis des Stromwandlers sein. Alternativ oder ergänzend können die Angaben im Datenpaket unabhängig von einem Teilungsverhältnis des Spannungswandlers sein.
- 10 Die Digitalisierung, d.h. die Abbildung des Analogsignals auf das Digitalsignal, kann ein (beispielsweise zeitunabhängiges) Teilungsverhältnis des Stromwandlers und/oder des Spannungswandlers implizieren. Alternativ oder ergänzend kann das Teilungsverhältnis des Stromwandlers und/oder des Spannungswandlers ein Betriebsparameter des Mikrocontrollers sein und/oder im Datenpaket angegeben sein.
- 15 Der Analog-Digital-Umsetzer (und/oder gegebenenfalls der weitere Analog-Digital-Umsetzer) kann (bzw. können) in einem Gehäuse des Stromwandlers angeordnet sein. Alternativ oder ergänzend kann der Messumsetzer ein Gehäuse umfassen, in dem der Stromwandler und mindestens eines der folgenden Merkmale angeordnet ist: der Analog-Digital-Umsetzer; der
- 20 weitere Analog-Digital-Umsetzer; die Netzwerkschnittstelle; und der Mikrocontroller.
- Die Stromversorgung kann dazu ausgebildet sein, mindestens einen der folgenden Bausteine elektrisch zu versorgen: den Analog-Digital-Umsetzer; den weiteren Analog-Digital-Umsetzer; die Netzwerkschnittstelle; und der Mikrocontroller.
- 25 Die Netzwerkschnittstelle kann mit mindestens zwei Datenleitungen verbunden oder verbindbar sein. Die Stromversorgung kann dazu ausgebildet sein, mindestens einen der vorgenannten Bausteine durch eine den Datenleitungen überlagerte Versorgungsspannung zu speisen.
- 30 Die Netzwerkschnittstelle kann eine Ethernet-Schnittstelle sein. Alternativ oder ergänzend kann das elektrische Speisen gemäß Power-over-Ethernet (PoE) implementiert sein, beispielsweise gemäß dem Standard IEEE 802.3. Der PoE-Standard legt verschiedene Leistungsklassen fest, die zwischen ca. 15 W (IEEE 802.3af, PoE) und bis zu 100 W (IEEE
- 35 802.3bt, PoE++) variieren können. Der Messumsetzer, optional die Stromversorgung, kann zur PoE-Erkennung und/oder PoE-Klassifikation ausgebildet sein, beispielsweise um die zulässige Versorgungsleistung sicherzustellen und das Netzwerk darüber zu informieren, welche Leistungsklasse benötigt wird. Nach der Detektion und/oder Klassifizierung kann die Stromversorgung über die Datenleitungen (beispielsweise ein Ethernet-Kabel) aktiviert

werden und der Messumsetzer erhält die benötigte Betriebsenergie. Ein interner Stromregler in der Stromversorgung des Messumsetzers kann dazu ausgebildet sein, die von der Netzwerkschnittstelle bezogenen PoE-Stromversorgungsspannungen in spezifischen Betriebsspannungen zu konvertieren, die für die anderen Bausteine (d.h. Komponenten) des Messumsetzers erforderlich sind, wie zum Beispiel für den Mikrocontroller, den Stromwandler und den Analog-Digital-Umsetzer.

Alternativ oder ergänzend kann die Stromversorgung des Messumsetzers durch den zu erfassenden Strom mittels des Stromwandlers realisiert sein (z.B. in der Verwendung zum sogenannten "Energy Harvesting"). Bei diesem Ansatz generiert der Stromwandler nicht nur ein Messsignal für die Messfunktion, sondern erntet gleichzeitig Energie aus dem zu messenden Stromfluss, der durch den Stromleiter fließt, um die Elektronik des Messumsetzers zu versorgen.

Der Stromwandler kann einen Kleinsignalwandler, einen Messstromtransformator, eine Rogowski-Spule, einen direktabbildenden Stromsensor (beispielsweise einen Hallsensor), einen Nullflusswandler (beispielsweise mit einer Kompensationswicklung, durch welche ein Stromsignal als das Analogsignal des zu erfassenden Stroms fließt und elektronisch geregelt ist zur Kompensation eines durch den Strom erzeugten Magnetfeldes) und/oder einen optoelektronischen Wandler umfassen.

Der Stromwandler kann einen Messstromtransformator umfassen. Der Messstromtransformator kann ein Transformator (vorzugsweise mit ferromagnetischem Kern) sein, der den Strom mittels einer Primärspule in einem Stromkreis (beispielsweise einem Nebenschluss des Stromleiters) erfasst und in einer mit der Primärspule induktiv gekoppelten Sekundärspule in das Analogsignal des Stroms wandelt. Alternativ oder ergänzend kann der Stromwandler eine Rogowski-Spule umfassen. Die Rogowski-Spule kann eine toroidförmige Spule (vorzugsweise ohne ferromagnetischen Kern, beispielsweise eine Luftspule oder eine Vakuumpule oder eine mit einem Kunstharz vergossene Spule) umfassen.

Der Stromwandler kann dazu ausgebildet sein, nur einen Wechselstromanteil des durch den Stromleiter fließenden Stroms zu erfassen. Der Stromwandler kann dazu ausgebildet sein, keinen Gleichstrom oder Mischstrom zu erfassen. Beispielsweise kann im Analogsignal des Stroms ein Gleichstromanteil unterdrückt sein.

Das Kommunikationsprotokoll kann Modbus umfassen, beispielsweise Modbus/TCP. Das Datenpaket kann ein Internet-Protokoll-Datenpaket sein und das Kommunikationsprotokoll kann ferner das Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) umfassen.

Alternativ oder ergänzend kann das Kommunikationsprotokoll Profibus. Alternativ oder ergänzend kann das Kommunikationsprotokoll M-Bus oder Foundation-Feldbus sein. Alternativ oder ergänzend kann das Kommunikationsprotokoll Highway-Addressable-Remote-Transducer (HART) oder Controller-Area-Network (CAN) umfassen.

5

Der Modbus kann ein serielles Kommunikationsprotokoll umfassen, das für die Übertragung von Informationen über serielle Leitungen zwischen elektronischen Vorrichtungen verwendbar ist. Beispielsweise kann die Vorrichtung mittels Modbus ein Sensor in einem industriellen Automatisierungssystem sein.

10

Der Profibus kann ein digitales Kommunikationsprotokoll umfassen, das in der Automatisierungstechnik einsetzbar ist. Beispielsweise kann die Vorrichtung mittels Profibus ein Sensor in einem Prozessautomatisierungssystem sein.

15

Der Foundation-Feldbus (fachsprachlich: Foundation Fieldbus) kann ein digitales Kommunikationsprotokoll sein zum Einsatz der Vorrichtung in einem Prozessautomatisierungssystem. Beispielsweise kann die Vorrichtung ein Sensor in einem System zur Öl- oder Gasförderung oder -Verarbeitung sein.

20

HART kann ein digitales Kommunikationsprotokoll umfassen, das in der Prozessautomatisierung eingesetzt wird. Beispielsweise kann die Vorrichtung mittels HART ein Sensor in der chemischen und petrochemischen Industrie eingesetzt.

25

Mittels eines digitalen Kommunikationsprotokolls gemäß dem CAN kann die Vorrichtung ein Sensor in einer Ladestation eines Elektrofahrzeugs oder ein Sensor in einem Fahrzeug sein, beispielsweise zum autonomen Fahren.

30

Der Messumsetzer kann einen Protokollstapel implementieren. Die Netzwerkschnittstelle kann einer physikalischen Schicht des Protokollstapels oder einer Schicht des Protokollstapels unterhalb des Kommunikationsprotokolls entsprechen.

35

Die Netzwerkschnittstelle kann zur asynchronen seriellen Datenübertragung ausgebildet ist. Die Netzwerkschnittstelle kann gemäß dem Industriestandard EIA-485 (auch als RS-485 bezeichnet) ausgebildet sein.

Die Netzwerkschnittstelle kann Kupferleiter umfassen oder zum Anschluss von Kupferleitern ausgebildet ist. Die Netzwerkschnittstelle kann gemäß 10BASE-T ausgebildet sein, beispielsweise zum Anschluss ungeschirmter Twisted-Pair-Kabel (UTP) der Kategorie 3. Die Netzwerkschnittstelle kann Übertragungsraten von 10 Mbit/s über eine maximale Entfernung

von 100 Metern unterstützen. Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle gemäß 100BASE-TX ausgebildet sein, beispielsweise zum Anschluss von ebenfalls UTP-Kabel, jedoch der Kategorie 5 oder höher. Die Netzwerkschnittstelle kann eine Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Mbit/s über eine maximale Entfernung von 100 Metern ermöglichen. Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle gemäß 1000BASE-T (auch als Gigabit Ethernet bezeichnet) ausgebildet sein, beispielsweise zum Anschluss von vier verdrehten Adernpaaren in einem UTP-Kabel der Kategorie 5e oder höher. Die Netzwerkschnittstelle kann eine Übertragungsgeschwindigkeit von 1 Gbit/s über eine maximale Entfernung von 100 Metern ermöglichen. Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle gemäß 10GBASE-T ausgebildet sein, beispielsweise zum Anschluss von vier verdrehten Adernpaaren in einem UTP-Kabel der Kategorie 6a oder höher. Die Netzwerkschnittstelle kann eine Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Gbit/s über eine maximale Entfernung von 100 Metern ermöglichen.

Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle einen Lichtwellenleiter umfasst oder zum Anschluss eines Lichtwellenleiters ausgebildet sein. Die Netzwerkschnittstelle kann gemäß 1000BASE-SX oder 10GBASE-SR ausgebildet sein. Die Lichtwellenleiter können Glasfaserkabel umfassen. Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle ein optischer Glasfaseranschluss sein.

Wenn die Netzwerkschnittstelle ein Lichtwellenleiter (beispielsweise ein optischer Glasfaseranschluss) ist, mag eine elektrische Energieversorgung durch diese Schnittstelle nicht direkt möglich sein, da Lichtwellenleiter für die Übertragung von Lichtsignalen und nicht für elektrische Energie verwendet werden. Alternativ oder ergänzend kann die Stromversorgung des Messumsetzers durch Power-over-Fiber (PoF) realisiert sein. PoF kann optische Energieübertragung mit elektrischer Energieversorgung kombinieren, indem über den Lichtwellenleiter Laserlicht übertragen wird. Die Netzwerkschnittstelle kann (beispielsweise als Teil der Stromversorgung) dazu ausgebildet sein, Laserlicht in elektrische Energie zur Stromversorgung des Messumwandlers umzuwandeln. Beispielsweise kann die Netzwerkschnittstelle einen photovoltaischen Konverter (fachsprachlich: photovoltaic power converters, PPC) umfassen. Dieser vermag das empfangene Laserlicht effizient in elektrische Energie zu konvertieren.

Durch diese Anordnung lässt sich der Messumsetzer auch in Umgebungen einsetzen, in denen elektrische Energieübertragung über traditionelle Mittel schwierig oder gefährlich wäre, etwa in explosionsgefährdeten Bereichen oder in der Nähe von Hochspannungsleitungen, während gleichzeitig Daten über den Lichtwellenleiter sicher und ohne elektromagnetische Interferenzen übertragen werden können.

In jedem Ausführungsbeispiel kann die an der Netzwerkschnittstelle (beispielsweise durch den photovoltaischen Konverter) bereitgestellte elektrische Energie durch eine elektronische Schaltung der Stromversorgung geleitet werden, welche die Energie in eine für den Betrieb des Messumsetzers geeignete Form umwandelt oder verteilt. Dazu können ein

5 Spannungsregler und ein Energiespeicher wie ein Kondensator oder eine Batterie gehören, um Schwankungen im Lichtsignal zu glätten und eine kontinuierliche Versorgung sicherzustellen.

Die Netzwerkschnittstelle kann ein Koaxialkabel umfassen oder zum Anschluss eines

10 Koaxialkabels ausgebildet sein. Die Netzwerkschnittstelle kann gemäß 10BASE2 (beispielsweise mit BNC-Konnektor) oder 10BASE5 ausgebildet sein. Das Koaxialkabel kann einen Wellenwiderstand von 50 Ohm aufweisen.

Die Netzwerkschnittstelle kann ein einzelnes Twisted-Pair-Kabel umfassen oder zum

15 Anschluss eines einzelnen Twisted-Pair-Kabels ausgebildet ist.

Die Netzwerkschnittstelle kann gemäß 100BASE-T1 ausgebildet sein. Die Netzwerkschnittstelle kann eine Übertragung von 100 Mbit/s über ein einzelnes Twisted-Pair-Kabel ermöglichen. Die Vorrichtung kann mittels 100BASE-als Sensor in Fahrzeugen

20 eingesetzt sein, z. B. für In-Car-Entertainment-Systeme oder Fahrzeugnetzwerke. Alternativ oder ergänzend kann die Netzwerkschnittstelle kann gemäß 1000BASE-T1 ausgebildet sein. Die Netzwerkschnittstelle kann eine Übertragung von 1 Gbit/s über ein einzelnes Twisted-Pair-Kabel ermöglichen.

Die Netzwerkschnittstelle kann einen Steckverbinder oder eine Steckverbinder-Hälfte gemäß dem Standard Ethernet, RJ-48, RJ-14 oder IEC 63171 umfassen. Die Netzwerkschnittstelle kann einen Steckverbinder (oder eine Steckverbinder-Hälfte) gemäß dem Basisstandard IEC 63171 umfassen, beispielsweise gemäß IEC 63171-2 oder IEC 63171-5. Für den Standard RJ-48 wird auch die Handelsbezeichnung RJ-45 verwendet.

30

Das an der Netzwerkschnittstelle ausgegebene Datenpaket kann eine Kennung des Messumsetzers umfassen. Aufgrund der Kennung können in einem Datennetzwerk, mit dem die Netzwerkschnittstelle zur Ausgabe (beispielsweise zur Datenkommunikation) verbunden ist, die Datenpakete einer Vielzahl verschiedener Messumsetzer übertragen werden

35 und/oder es können an einer zentralen Empfangsvorrichtung die Datenpakete von einer Vielzahl verschiedener Messumsetzer in eindeutiger Zuordnung zum jeweiligen Messumsetzer erfasst werden. Die Kennung kann eindeutig im Datennetzwerk sein, beispielsweise eine Medium-Access-Control-Adresse (MAC-Adresse) der Netzwerkschnittstelle und/oder eine Internet-Protokoll-Adresse des Messumsetzers sein.

Eine Variante des ersten Aspekts betrifft einen Messumsetzer zum Erfassen elektrischen Stroms durch einen Stromleiter. Der Messumsetzer umfasst einen Stromwandler, der einen analogen Stromwert einer Messung eines Wechselstroms bereitstellt. Weiter umfasst der Messumsetzer eine Netzwerkschnittstelle zum Senden und Empfangen von Netzwerksignalen. Ergänzend umfasst der Messumsetzer einen Mikrocontroller zur Steuerung der Netzwerkschnittstelle. Dabei ist der Mikrocontroller dazu ausgebildet, einen bearbeiteten Digitalsignal des Stroms auf Basis des analogen Stromwerts als Netzwerksignale über die Netzwerkschnittstelle zum Senden bereitzustellen. Weiter umfasst der Messumsetzer eine Spannungsversorgung, die von der Netzwerkschnittstelle und/oder dem erfassten Strom elektrisch versorgt wird.

Der oder die Stromwandler können nachträglich in einer Schaltung platziert und installiert werden, ohne eine Auftrennung oder Unterbrechung des elektrischen Stromleiters zu erfordern, dessen Strom erfasst werden soll. Dabei wird der Strom in der Regel berührungslos gemessen. Entsprechend kann eine Prüfung und ergänzend oder alternativ eine Zertifizierung der Schaltung vor der Anordnung des Stromwandlers erfolgen. Weiterhin können typischerweise Ströme von ca. 100 A bis mehrere tausend Ampere (zum Beispiel bis und größer als 10.000 A) gemessen werden, ohne dass Bauteile in die stromführenden Elemente eingeleitet werden müssen. Bei vielen Bauformen eines Stromwandlers muss lediglich der Leiter mit dem zu messenden Strom von der Einrichtung umfasst werden. Bekannte Beispiele sind Kleinsignalwandler oder sogenannte Messstromtransformatoren, die in geschlossener Ring-Ausführung oder auch in Klappausführung zur Verfügung stehen.

In allen Aspekten und Varianten können die Digitalsignale des Stroms gemäß des gewählten Übertragungsstandards übermittelt werden, zum Beispiel in Ethernet-Rahmen als Beispiel des Datenpakets oder anderen vereinbarten Standards. Dabei kann ergänzend ein Erfassungszeitpunkt des Stromwertes und alternativ oder ergänzend Daten zur Identifizierung und optional zur Parametrierung der Erfassungseinrichtung bei der Übermittlung der Stromwerte mit umfasst sein. Sie können auch einen Hinweis auf einen Trigger enthalten, der die Erfassung des Stromwerts veranlasst hat.

Die Netzwerkschnittstelle zum Senden und Empfangen von Netzwerksignalen kann zur drahtlosen Übertragung der Daten und alternativ oder ergänzend zur drahtgebundenen Übertragung von Daten ausgebildet sein. Drahtgebundene Übertragung kann an Standards ausgerichtet sein, zum Beispiel als Feldbus. Bekannte Feldbusvarianten sind Interbus, Profibus, Profinet, Ethernet, EtherCAT, CAN-Bus und HART. Einige dieser Standards können eine Versorgung der Netzwerkschnittstelle umfassen. Dies kann zum Beispiel bei Ethernet der Fall sein (Power over Ethernet, PoE), wo in verschiedenen Energieklassen

Leistungen bis zu 90 Watt bereitgestellt werden, mit denen die Netzwerkschnittstellen und gegebenenfalls weitere Komponenten gespeist werden können. Ergänzend können Netzwerkschnittstellen die Handhabung des jeweiligen Netzwerkprotokolls, die Kodierung und gegebenenfalls die Modulation der zu übertragenden Daten übernehmen.

- 5 Netzwerkschnittstellen können auch einen Standby-Modus integrieren, der nach einer vorgegebenen Inaktivitätszeit der Datenübertragung eingenommen werden kann. Der Standby-Modus kann wieder verlassen werden auf Grund einer Signalisierung zur Übertragung anstehender Daten in zumindest einer Übertragungsrichtung oder bei anderen Ereignissen.

10

Weiter können bei der Netzwerkschnittstelle, alternativ oder ergänzend, auch drahtlose Übertragungsstandards eingesetzt werden, wobei die Spannungsversorgung des Messumsetzers ebenfalls drahtlos erfolgen kann. Dabei kann die Spannungsversorgung zum Beispiel als induktive Spannungsversorgung ohne Verbindungsleitung ausgebildet sein, die
15 inzwischen erhebliche Verbreitung findet. Alternativ oder ergänzend kann die Stromversorgung eine Energiegewinnung (fachsprachlich: Energy Harvesting) mit oder ohne drahtlose Spannungsversorgung realisieren. Dabei wird die Gewinnung kleiner Mengen von elektrischer Energie aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen für den Messumsetzer mit geringer Leistung gewonnen. Weiter alternativ
20 oder ergänzend kann auch ein Kabel für die Spannungsversorgung eingesetzt werden.

- Der Mikrocontroller kann als Mikroprozessor ausgebildet sein. Er kann zugehörige Speicher und Ein-/ Ausgabeschnittstellen umfassen. Er kann einen Standby-Modus umfassen zur Reduzierung seines Stromverbrauchs in solchen Phasen. Der Mikrocontroller kann die
25 übrigen Komponenten (auch: Bausteine) des Messumsetzers steuern, insbesondere die Netzwerkschnittstelle, die Spannungsversorgung und alternativ oder ergänzend den Analog-Digital-Wandler.

- Der Mikrocontroller kann weiter dazu ausgebildet sein, ein bearbeitetes Digitalsignal des
30 Stroms auf Basis des analogen Stromwerts als Netzwerksignale über die Netzwerkschnittstelle zum Senden bereitzustellen. Optional kann der Mikrocontroller auch eine phasenweise Digitalisierung ermöglichen, wobei zwischen den Phasen auch eine analoge Übertragung des Stromwerts möglich sein kann. Weiter kann der Mikrocontroller einen Messzyklus mit Phasenlage der gemessenen Wechselspannung und/oder
35 Wechselstrom synchronisieren, die zum Beispiel auf einer Stromschiene ermittelt werden. So kann für den Empfänger eine $\cos(\phi)$ -Bestimmung und Wirkleistungsbestimmung ermöglicht werden.

Die Spannungsversorgung versorgt die Komponenten des Messumsetzers. Dabei wird die Spannungsversorgung selbst von der Netzwerkschnittstelle gespeist. Die Spannungsversorgung oder der Mikrocontroller kann optional die Übertragungs-Spannungsversorgung der Netzwerkschnittstelle parametrieren, zum Beispiel in Bezug auf die einzustellende Klasse der Übertragungs-Spannungsversorgung. Ihrerseits kann die Spannungsversorgung die verschiedenen Komponenten differenziert versorgen. So kann bezüglich der Versorgungsspannung, eines Standby-Modus oder von Stromstärkeklassen eine individuelle oder gruppenbezogene Unterscheidung der einzelnen gespeisten Komponenten oder Komponentengruppen einstellbar sein. Ein Ground-Signal der Spannungsversorgung kann als Referenzspannung bei der Digitalisierung der abgegriffenen Spannung genutzt werden. So kann eine Potentialtrennung zwischen den meist mit dem Stromnetz verbundenen Leistungskreisen und der Steuerelektronik erreicht werden.

Der Messumsetzer kann eine permanente Erfassung und Speicherung der analogen Stromwerte umfassen. Abweichend davon können die daraus abgeleiteten Digitalsignale des Stroms periodisch oder auf Anfrage übertragen werden und ergänzend oder alternativ dann, wenn der zugehörige Speicher voll ist. Weiter kann eine Übertragung bei abweichenden Messwerten veranlasst werden, wenn die Abweichung einen Schwellwert überschreitet. Optional kann der Messumsetzer einen Spannungsabgriff für Leistungsmessung umfassen.

Aufgrund der Speisung der Stromversorgung durch den zu erfassenden Strom (beispielsweise durch den Stromwandler oder den Spannungswandler) und/oder durch die Netzwerkschnittstelle kann vorteilhaft auf eine durch eine lokale oder externe Spannungsversorgung (beispielsweise ein Netzteil) verzichtet werden, was eine Kosten- und Platzeinsparung bewirken kann. Insbesondere kann die Spannungsversorgung individualisiert auf die mögliche eigene Versorgung (Speisung) des Messumsetzers sowie die Versorgung der von ihr versorgten Komponenten des Messumsetzers eingerichtet werden.

In Ausführungsbeispielen kann der Stromwandler als Kleinsignalwandler, als Messstromtransformator oder als alternative Bauform ausgeführt sein. Dabei ist der Kleinsignalwandler oder Messstromtransformator vorteilhaft für einen nachträglichen Einbau in die Schaltung vorgesehen, da diese nicht verändert werden muss. Ein Hallsensor als Stromwandler kann für die Messung von Gleichströmen eingesetzt werden. Ein Aufsteckstromwandler bietet eine platzsparende Ausführung eines unterbrechungsfreien Messumsetzers (zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms). Er kann sowohl als feststehender Ring als auch klappbar zur nachträglichen Installation in einem Stromkreis konzipiert sein. Rohrstab-Stromwandler eignen sich

besonders für eine kompakte Bauweise. Wickelstromwandler eignen sich besonders für niedrige primäre Bemessungsstromstärken.

5 In anderen Ausführungsbeispielen kann der Messumsetzer einen Analog-Digital-Umsetzer umfassen, der zum Empfang des analogen Ausgangssignals des Stromwandlers ausgebildet ist. Der Analog-Digital-Umsetzer kann weiter ausgebildet sein, ein Digitalsignal des Stroms zu erzeugen, das auf dem analogen Stromwert basiert. Weiter kann die Spannungsversorgung dazu ausgebildet sein, den Analog-Digital-Umsetzer und alternativ oder ergänzend den Mikrocontroller elektrisch zu versorgen, wobei die Versorgung 10 individuell auf den Analog-Digital-Umsetzer und den Mikrocontroller einstellbar sein kann. Weiter kann die Spannungsversorgung einen Schlaf-Modus zumindest für den Analog-Digital-Umsetzer und alternativ oder ergänzend für den Mikrocontroller umfassen. Dabei kann optional die Länge und alternativ oder ergänzend auch der Zeitpunkt der Schlaf-Modi für den Analog-Digital-Umsetzer und für den Mikrocontroller voneinander abweichen. Weiter 15 kann die Spannungsversorgung voneinander abweichende Spannungen für den Analog-Digital-Umsetzer und/oder den Mikrocontroller bereitstellen.

Vorteilhaft kann so die Digitalisierung mit handelsüblichen Analog/Digital-Bauelementen erreicht werden bei gleichzeitiger größerer Freiheit in der Wahl der Typen, zum Beispiel in Bezug auf einer Versorgungsspannung der Spannungsversorgung (Speisung) und deren Betrieb. 20

In Ausführungsbeispielen können der Stromwandler, der Analog-Digital-Umsetzer, die Netzwerkschnittstelle, der Mikrocontroller und die Spannungsversorgung in einem Gehäuse angeordnet sein. Ergänzend oder alternativ kann der Messumsetzer einen Spannungs-wandler in dem Gehäuse umfassen, dessen Messwerte zusammen mit den Messwerten des Stromwandlers bei einer Leistungsermittlung berücksichtigt werden können. 25

Das Netzwerkprotokoll und das weitere Netzwerkprotokoll können zur standardisierten Datenübertragung eingesetzt werden, womit eine effiziente und robuste Kommunikation des Messumsetzers mit einem übergeordneten Datennetzwerk möglich wird. 30

Ein zweiter Aspekt betrifft ein System zur Verarbeitung von elektrischen Messwerten. Das System umfasst einen Messumsetzer gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung beziehungsweise deren Ausführungsbeispiele. Das System umfasst weiterhin eine Empfangsvorrichtung zum Empfang des bearbeiteten Digitalsignals des Stroms. Die Empfangsvorrichtung führt eine weitere Verarbeitung des bearbeiteten Digitalsignals des Stroms durch, die eine Ermittlung der mit dem Stromwandler ermittelten Ströme umfasst. 35

In jedem Aspekt kann der Messumsetzer in einem für den Messumsetzer genutzten lokalen Netzwerk angeschlossen sein, zum Beispiel einem Ethernet-Netzwerk. Alternativ kann er auch über eine zusätzliche Übertragungseinrichtung (beispielsweise für ein weiteres Kommunikationsprotokoll) an den Messumsetzer angeschlossen sein, die ein zellulares Mobilfunknetz oder dergleichen umfassen kann. Weiter alternativ oder ergänzend kann die Verbindung zwischen dem Messumsetzer und der Empfangsvorrichtung eine direkte Punkt-zu-Punkt-Verbindung (fachsprachlich: PtP-Verbindung), ein lokales Netzwerk mit Verteil- und Routing-Elementen, und ergänzend oder alternativ eine Kombination zusammen mit dem Internet umfassen. So können der Messumsetzer und die Empfangsvorrichtung voneinander abweichende Übertragungseinrichtungen nutzen. Die Empfangsvorrichtung kann Bestandteil des Datennetzwerks sein beziehungsweise einer PLCnext-Software oder -Instanz. Dort kann zum Beispiel ein Docker-Container mit der Analyse- und Auswertesoftware ablaufen.

Die Verarbeitungsschritte der Empfangsvorrichtung können Schwellwerte des Strommesswertes, eine Speicherung des Strommesswertes, eine Auswertung einer historischen Entwicklung des Strommesswertes und ähnliche Funktionen umfassen. Sie kann auch eine Rückmeldung an den Messumsetzer umfassen, die zum Beispiel eine Parametrierung des Stromwandlers oder des Messumsetzers umfassen kann. Dies kann weiter eine Stand-By Anweisung an den Messumsetzer umfassen, den optional parametrisierten Trigger zu einer weiteren Strommessung, eine Anmeldeaufforderung oder -bestätigung des Messumsetzers und dergleichen mehr. Entsprechend ist die Empfangsvorrichtung neben dem Empfang der Digitalsignale des Stroms auch für den Empfang weiterer Signale des Messumsetzers ausgebildet. Weiter kann die Empfangsvorrichtung auch Signale an weitere Einrichtungen übermitteln und von ihnen empfangen. Beispielsweise kann eine Über- oder Unterschreitung eines Schwellwertes eine Meldung an eine Wartungseinheit oder Steuereinheit auslösen, um zum Beispiel eine Störung anzuzeigen. Des Weiteren ist eine Funktionsänderung der Funktionen der Empfangsvorrichtung möglich, zum Beispiel eine Anpassung an einen geänderten Messumsetzer, insbesondere dessen Stromwandler.

Vorteilhaft kann so ein Teil der Verarbeitung aus dem Messumsetzer in die Empfangsvorrichtung verlegt werden und eine Flexibilisierung der Funktionen des Systems erreicht werden.

In Ausführungsbeispielen kann die Empfangsvorrichtung ausgebildet sein zum Empfang und zur Verarbeitung von zumindest einem weiteren bearbeiteten Digitalsignal des Stroms eines weiteren Messumsetzers. Die Verarbeitung der Empfangsvorrichtung kann ein Ermitteln des mit dem weiteren Stromwandler ermittelten weiteren Stroms umfassen.

Durch die Verbindung der Empfangsvorrichtung mit mehreren Messumsetzern kann die Empfangsvorrichtung als zentrale Einrichtung wirken. Entsprechend können die von den verschiedenen Messumsetzern empfangenen Messdaten (d.h. die Digitalsignale des Stroms und eventuell Spannung oder Leistung) zueinander in Beziehung gesetzt werden. Davon
5 abhängig kann an eine Steuerung (d.h. an den Mikrocontroller) des Messumsetzers (und ergänzend oder alternativ an weitere Einrichtungen außerhalb des Systems) Datenpaketen gesendet und/oder deren Erwidern empfangen und ausgewertet werden. Durch die digitale Entkopplung kann eine Anordnung der Empfangsvorrichtung im Datennetzwerk kostengünstig und flexibel gewählt werden.

10

Zum Beispiel kann die Ermittlung des Stroms in der Empfangsvorrichtung auf Basis des Digitalsignals des Stroms eine Skalierung in Bezug auf die verschiedenen Stromwandler umfassen. So können zum Beispiel verschiedene Typen von Durchsteckwandlern oder Rogowski-Spulen verschiedene analoge Strommesswerte für den gleichen zu messenden
15 Strom erzeugen. Durch die Ausgabe des Stroms, der Spannung und/oder der Leistung als Digitalsignal (beispielsweise als absolute physikalische Größe) kann die Empfangsvorrichtung eine Weiterverarbeitung des Digitalsignals durchführen, die Typenagnostisch ist.

20

Vorteilhaft kann der Funktionsumfang der Empfangsvorrichtung erweitert werden und eine kostengünstige und flexible Realisierung erreicht werden.

25

Die Empfangsvorrichtung und/oder der Messumsetzer kann eine Software umfassen zur Isolierung von Anwendungen mit Hilfe von Containervirtualisierung. Diese kann optional als
25 Docker-Software in einem Softwarecontainer und alternativ oder ergänzend zur Ausführung in einem Datennetzwerk und alternativ oder ergänzend zur Ausführung in einer PLCnext Umgebung ausgebildet sein.

30

In Ausführungsbeispielen kann die Empfangsvorrichtung dazu ausgebildet sein, den
30 Messumsetzer (und gegebenenfalls die weiteren Messumsetzer) zu registrieren. In diesem Zusammenhang oder unabhängig davon kann der Messumsetzern dazu ausgebildet sein, ein Triggersignal (beispielsweise von der zentralen Empfangsvorrichtung) zu empfangen. Weiter kann die Empfangsvorrichtung dazu ausgebildet sein, eine Parametrierung des Triggersignals durchzuführen.

35

Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen, die wahlweise miteinander kombinierbar sind, näher erläutert.

Es zeigen:

- 5
10
15
20
25
30
- Fig. 1 eine schematische Darstellung des Messumsetzers zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms,
 - Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Gehäuses eines Stromwandlers in einer ersten Ausführungsform,
 - Fig. 3A eine schematische Darstellung einer Netzwerkschnittstelle in einer ersten Ausführungsform,
 - Fig. 3B eine schematische Darstellung einer Netzwerkschnittstelle in einer zweiten Ausführungsform,
 - Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Systems zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms,
 - Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Systems zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms in einer ersten Ausführungsform,
 - Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Systems zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms in einer zweiten Ausführungsform,
 - Fig. 6A eine schematische Darstellung einer Summen- oder Differenzenbildung in einer Ausführungsform der Empfangseinheit,
 - Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Messumsetzers mit Spannungsabgriff, und
 - Fig. 8A und 8B Darstellungen einer Lage einer Netzwerkschnittstelle gemäß einer Ausführungsform des Messumsetzers.

Hierin offenbaren Aufzählungen der Form A, B und/oder C (und entsprechen mit $n > 1$ Elementen, die nicht notwendigerweise $n=3$ sind) explizit die $2^n - 1$ Fälle A, B, C, A und B, A und C, B und C sowie A und B und C. Das heißt insbesondere, dass sich die Nennung einer Konjunktion (wie beispielsweise "und", "oder", "und/oder") zwischen dem vorletzten und letzten Element der Grundmenge wie in der Sprache üblich auf alle gelisteten Elemente bezieht und nicht nur auf die letzten zwei Elemente.

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild des Messumsetzers 100 zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms. Der Messumsetzer 100 zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms umfasst einen Stromwandler 102, der einen analogen Strommesswert einer Messung eines Wechselstroms bereitstellt. Weiter umfasst der Messumsetzer eine Netzwerkschnittstelle 106 zum Senden (und optional Empfangen) von Datenübertragungssignalen und einen Mikrocontroller 108 zur Steuerung der Netzwerkschnittstelle 106. Die Pfeile an der Netzwerkschnittstelle 106 stehen für den Datenaustausch mit einem oder mehreren anzuschließenden Datennetzwerken oder dergleichen. Der Mikrocontroller 108 ist dazu ausgebildet, ein bearbeitetes Digitalsignal des Stroms auf Basis des analogen Strommesswerts als Datenübertragungssignal über die Netzwerkschnittstelle 106 zur Ausgabe eines Datenpakets bereitzustellen. Weiter umfasst der Messumsetzer 100 eine Stromversorgung 110, die von der Netzwerkschnittstelle elektrisch gespeist wird und/oder vom zu erfassenden Strom gespeist wird.

Der Stromwandler 102 kann zum Beispiel als Kleinsignalwandler, als Messstromtransformator oder in ähnlicher Weise ausgebildet sein.

Der Messumsetzer 100, beispielsweise der Stromwandler 102 (und/oder der Spannungswandler), kann die Funktion eines Sensors umfassen, d.h. einer Einrichtung, welche

- die Funktion eines Strom- bzw. Spannungswandlers wahrnimmt;
- vom klassischen Transformatorprinzip abweicht; und/oder
- messwertverarbeitende elektronische Bauteile, beispielsweise den AD-Wandler 104, enthält.

In jeder hierin offenbarten Ausführungsform kann der Stromwandler 102 beispielsweise einen der folgenden Stromsensoren umfassen:

KLEINSIGNALWANDLER (engl.: "low power converter")

Diese Wandler sind in der DIN EN 61869-6 beschrieben als solche, deren Ausgangsleistung $\leq 1 \text{ VA}$ ist. Sie sind wie konventionelle Wandler aufgebaut und/oder mit einer internen elektronischen Beschaltung versehen und dürfen auch Hilfsspannung erfordern, welche von der Stromversorgung 110 bereitgestellt sind. Als Ausgangsgrößen kommen primärstromproportionale Spannungen oder Ströme, jedoch kleiner als bei konventionellen Wandlern, oder auch digitale Signale infrage.

ROGOWSKI-SPULE (engl.: "ROGOWSKI coil")

Dieser Wandler umfasst einen eisenlosen, bewickelten Ring oder Luft und liefert eine Spannung proportional zur Ableitung dI_p / dt des Primärstroms I_p .

DIREKTABBILDENDER STROMSENSOR (engl.: "direct-imaging converter")

Diese Stromsensoren messen den Strom indirekt über das durch den Strom verursachte Magnetfeld mittels einer oder mehrerer Hallsonden. Der oder die Hallsonden sind in Luftschlitzen weichmagnetischer Ringkerne eingebracht, die den stromführenden Leiter umschließen.

NULLFLUSSWANDLER (engl.: "zero flux sensor") oder

KOMPENSATIONSSSTROMWANDLER (engl.: "compensation converter")

Bei diesen Wandlern dient die Sekundärwicklung (Kompensationswicklung) dazu, mittels eines elektronisch generierten Kompensationsstroms das vom Primärstrom erzeugte Magnetfeld aufzuheben. Der magnetische Fluss im Kern wird dann zu Null, wobei der Kompensationsstrom ein nahezu exaktes Abbild des Primärstroms ist. Die Messgröße zur Erzeugung des Kompensationsstroms kann z.B. durch Hallsonden, magnetoresistive Sensoren oder eine zusätzliche Wicklung gewonnen werden und gelangt über einen elektronischen Verstärker als Kompensationsstrom zur Kompensationswicklung.

STROMWANDLER MIT DIGITALAUSGANG (engl.: "digital converter", abgekürzt DCT)

Diese Stromwandler haben einen Digitalausgang, geregelt in der DIN EN 61869-9.

OPTOELEKTRONISCHER WANDLER (engl.: "optoelectronic converter")

Diese Wandler arbeiten nach dem Prinzip des Faraday-Effekts. Dieser magnetooptische Effekt beschreibt die Drehung der Polarisationssebene von polarisierten elektromagnetischen Wellen (z.B. Licht) in einem Magnetfeld. Der Winkel der Drehung ist proportional zum feldverursachenden Strom.

Die meisten Sensoren benötigen eine zusätzliche Hilfsenergiequelle, welche durch die Stromversorgung 110 bereitgestellt sein kann.

Neben einem Einleiter-Stromwandler und einem Wickel-Stromwandler (die jeweils eine Ausführungsform des Stromwandlers 102 sind und optional mit einer der sechs vorstehenden Ausführungsformen kombinierbar sind) kann jede dieser Ausführungsformen nach einem der folgenden Anwendungsfälle abgewandelt sein.

SCHIENEN-STROMWANDLER UND ROHRSTAB-STROMWANDLER (engl.: "bar-primary converter" oder "bar type converter" und "tube type converter") sind Aufsteck-Stromwandler, die mit einem Primärschienenstück geliefert werden. Rohrstab-Stromwandler sind eine Sonderform der Aufsteck-Stromwandler, bei denen sich in der Primärschienenführung ein rohrförmiger Kupfereinsatz (Cu-Hülse) befindet. Diese Ausführung erlaubt es, den

Wandler z.B. unmittelbar zwischen der Überlappung von Stromschienen oder zwischen Stromschienen und Trenn- oder Sicherungsleisten usw. einzusetzen. Die Bezeichnung Schienen-Stromwandler wird auch synonym für Aufsteck-Stromwandler verwendet, da diese i. d. R. auf Stromschienen geschoben werden. Als Rohrstab-Stromwandler werden auch

5 Wandler bezeichnet mit einer runden Primärleiteröffnung.

DURCHFÄDEL-STROMWANDLER (engl. site-winding converter), oder kurz Fädelwandler, sind Wickel-Stromwandler, die jedoch in der Form von Aufsteck-Stromwandlern geliefert werden, wobei der Anwender selbst die Primärwicklung aufbringt. Bei der Übersetzung

10 kleiner Ströme kann eine Kostenersparnis erzielt werden, wenn anstelle der hier erforderlichen Wickel-Stromwandler Aufsteck-Stromwandler für höhere Primärströme verwendet werden. Der erforderliche höhere Primärstrom wird erreicht, indem der Primärleiter mehrmals durch die Primärschienendurchführung gewickelt (gefädelt) wird. So entsteht z. B. aus einem Aufsteckwandler 150 A/5 A durch dreimaliges Fädeln des

15 Primärleiters ein Stromwandler mit der Übersetzung (beispielsweise einem Teilungsverhältnis) 50 A/5 A. Nehmen wir an, eine Übersetzung von 25 A/5 A werde benötigt, was mit einem passenden Wickel-Stromwandler zu realisieren wäre. Nehmen wir aber weiter an, ein Wickelwandler könne nicht eingesetzt werden. Dafür kann es verschiedene Gründe geben; der Wickelwandler kann z. B. zu groß sein, er kann zu teuer

20 sein oder der Primärleiter kann oder darf nicht aufgetrennt werden. In diesem Beispiel kann ein Durchsteckwandler mit der Übersetzung 50 A/5 A zum Einsatz kommen. Der Primärleiter, der nur 25 A führt, müsste dabei zweimal durch die Primärleiteröffnung des Wandlers gefädelt werden.

25 Der Messumsetzer (zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms) kann einen Analog-Digital-Umsetzer 104 umfassen, der zum Empfang des analogen Ausgangssignals des Stromwandlers 102 ausgebildet ist, wobei der Analog-Digital-Umsetzer 104 weiter ausgebildet sein kann, einen digitalen Strommesswert zu erzeugen. Die Stromversorgung 110 ist dann dazu ausgebildet, den Analog-Digital-Umsetzer 104 und den

30 Mikrocontroller 108 elektrisch zu versorgen, also die Versorgungsspannung (Speisung) für den Analog-Digital-Umsetzer 104 und den Mikrocontroller 108 bereitzustellen.

Dabei kann die Stromversorgung 110 einen Schlaf-Modus umfassen für den Analog-Digital-Umsetzer 104 und ergänzend oder alternativ für den Mikrocontroller 108. Alternativ oder

35 ergänzend kann die Stromversorgung 110 voneinander abweichende Spannungen für den Analog-Digital-Umsetzer 104 und/oder den Mikrocontroller 108 bereitstellen. Optional kann die Länge der Schlaf-Modi für den Analog-Digital-Umsetzer und/oder den Mikrocontroller voneinander abweichen.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Gehäuses 150 eines Stromwandlers 102 in einer ersten Ausführungsform. Der Stromwandler 102, der Analog-Digital-Umsetzer 104 (ADC), die Netzwerkschnittstelle 106 (beispielsweise eine Ethernet-Schnittstelle), der Mikrocontroller 108 (auch symbolisch abgekürzt durch " μC ") und die Stromversorgung 110 (fachsprachlich: power supply) sind in einem Gehäuse 150 angeordnet.

Der Messumsetzer 102 kann optional einen Spannungswandler 112 in dem Gehäuse 150 umfassen, optional dessen Messwerte zusammen mit den Messwerten des Stromwandlers 102 bei einer Leistungsermittlung berücksichtigt werden.

Das Gehäuse 150 kann Befestigungselemente für Halteschienen aufweisen, die zum Beispiel in einem Schaltschrank montierbar sein können. Alternativ oder ergänzend kann das Gehäuse 150 Signal- und ergänzend oder alternativ Einstellelemente umfassen, mit denen der Messumsetzer eine Signalisierung von zum Beispiel Betriebs- oder Fehlerzuständen vornehmen kann. Die Einstellelemente können als Schalter, zum Beispiel als Dual In-line Package (DIP-Schalter), ausgeführt sein. Der Stromwandler 102 kann (beispielsweise zur Montage des gesamten Messumsetzers 100) am Stromleiter, zum Beispiel an der Stromschiene, anliegen, beispielsweise mittels mindestens einer aus dem Gehäuse 150 ragenden Spindelschraube auf die Stromschiene geklemmt sein.

Vorteilhaft kann so eine robuste Handhabung des Messumsetzers 100, insbesondere bei der Installation (bzw. Montage), ermöglicht werden bei gleichzeitiger Identifizierung (bzw. Konfiguration) von Betriebsparametern im Einsatz.

Die Netzwerkschnittstelle 106 umfasst bzw. ermöglicht einen Netzwerkanschluss. In Ausführungsbeispielen kann die Netzwerkschnittstelle 106 als lokaler Netzwerkanschluss oder als entfernter Netzwerkanschluss ausgebildet sein. Als lokaler Netzwerkanschluss kann sie zum Beispiel mit mehreren die Digitalsignale des Stroms weiterverarbeitenden Komponenten auf einer Leiterplatte oder auf Leiterplatten eines Gehäuses 150 angeordnet sein. Dabei kann der lokale Netzwerkanschluss oder der entfernte Netzwerkanschluss als drahtgebundener Netzwerkanschluss oder als kabelloser Netzwerkanschluss ausgebildet sein, wobei mit dem kabellosen Netzwerkanschluss auch eine kabellose Energieversorgung angeordnet ist. Der entfernte Netzwerkanschluss kann drahtgebunden ausgeführt sein und eine Stromversorgung 110 des Messumsetzers 100 umfassen. Er kann einem der bekannten Feldbusse entsprechen, die oben weiter detailliert sind.

Vorteilhaft können so die jeweils zweckmäßigsten Komponenten zum Einsatz kommen, was die Effektivität des Messumsetzers erhöht.

In anderen Ausführungsbeispielen kann der Netzwerkanschluss als Ethernet, Interbus, Profibus, Profinet, EtherCAT, CAN-Bus, HART oder zelluläres Netzwerk ausgebildet sein. Optional kann der Mikrocontroller 108 zumindest ein Kommunikationsprotokoll 160 des Netzwerkanschlusses oder ein weiteres Kommunikationsprotokoll 165 des Netzwerkanschlusses ausführen.

In diesen oder weiteren Ausführungsbeispielen kann der Messumsetzer 100 dazu ausgebildet sein, ein Triggersignal zu empfangen (vorzugsweise an der Netzwerkschnittstelle 106), welches das Erfassen des analogen Strommesswerts (und/oder die Ausgabe der zugehörigen Datenpakete) veranlasst. Dabei kann die getriggerte (z.B. ereignisgetriebene) Erfassung des Strommesswerts eine zusätzliche Erfassung in einem zeitlichen Erfassungsraster des Strommesswerts bilden. Alternativ kann die getriggerte Erfassung des Strommesswerts eine einzelne Erfassung des Strommesswerts sein. Weiter kann die getriggerte Erfassung des Strommesswerts der Beginn einer Erfassung in einem zeitlichen Erfassungsraster des Strommesswerts bilden. Das Triggersignal kann seinerseits einen Erfassungszeitpunkt für den analogen Strommesswert umfassen. Ergänzend oder alternativ kann ein Ausgabeformat des analogen Strommesswertes umfasst sein. Weiter ergänzend oder alternativ kann eine Skalierungsanweisung zum Erfassen des analogen Strommesswertes und ergänzend oder alternativ eine Kodierungsanweisung des analogen Strommesswertes umfasst sein.

Das Triggersignal kann von einer zentralen Empfangsvorrichtung, welche die Strommesswerte (d.h. die Datenpakete) empfängt, gesendet sein. Das Triggersignal kann als gemäß dem genutzten Übertragungsstandard kodiertes Signal an den Messumsetzer 100 übermittelt werden. Das Triggersignal kann eine Identifizierung (d.h. eine Kennung) umfassen, die zum Beispiel bei der Ausgabe eines Datenpakets des gemäß dem Triggersignal erfassten Strommesswertes wiederverwendet wird. Alternativ oder ergänzend kann das Triggersignal auch in Abhängigkeit von Strommessungen von weiteren Messumsetzern übermittelt werden. Weiter kann das Triggersignal eine Parametrierung (beispielsweise des Stromwandlers 102) der durchzuführenden Stromwertmessung angeben, welche ergänzend oder alternativ zu den oben genannten Parameter-Einstellungen des Stromwandlers 102 sein kann.

Vorteilhaft kann so eine dynamische und flexible Steuerung der Strommesswerterfassung (durch die zentrale Erfassungsvorrichtung) erreicht werden.

Fig. 3A zeigt eine schematische Darstellung einer Netzwerkschnittstelle 106 des Messumsetzers 100 in einer ersten Ausführungsform. Die Netzwerkschnittstelle 106 ist als lokaler Netzwerkanschluss oder als entfernter Netzwerkanschluss ausgebildet. Der lokale

Netzwerkanschluss oder der entfernte Netzwerkanschluss ist als drahtgebundener Netzwerkanschluss 180 ausgebildet.

5 Dabei kann der drahtgebundene Netzwerkanschluss 180 als Ethernet, Interbus, Profibus, Profinet, Ethernet, EtherCAT, CAN-Bus, HART ausgebildet sein. Optional kann der Mikrocontroller 108 zumindest ein Kommunikationsprotokoll 160 des drahtgebundenen Netzwerkanschlusses 180 oder ein weiteres Kommunikationsprotokoll 165 des drahtgebundenen Netzwerkanschlusses 180 ausführen.

10 In jeder Ausführungsform kann optional der Messumsetzer 100 das Triggersignal (beispielsweise wie vorstehend beschrieben oder gemäß dem Bezugszeichen 170 in Fig. 6) empfangen zum Erfassen des analogen Strommesswerts. Beispielsweise kann das Triggersignal einen Erfassungszeitpunkt für den analogen Strommesswert und ergänzend
15 oder alternativ ein Ausgabeformat (beispielsweise das Teilungsverhältnis oder einen Messbereich) des analogen Strommesswertes umfassen. Ergänzend oder alternativ kann eine Skalierungsanweisung zum Erfassen des analogen Strommesswertes und darüber hinaus ergänzend oder alternativ eine Kodierungsanweisung des analogen Strommesswertes umfasst sein.

20 Fig. 3B zeigt eine schematische Darstellung einer Netzwerkschnittstelle 106 des Messumsetzers 100 nach einer zweiten Ausführungsform. Dabei unterscheidet sich Fig. 3B von Fig. 3A dadurch, dass an Stelle des drahtgebundenen Netzwerkanschlusses 180 der kabellose Netzwerkanschluss 190 tritt. Dieser kann zum Beispiel als Funkschnittstelle eines zellularen Mobilfunknetz (zum Beispiel ein 5G-Netzwerk) oder eines WLAN-Netzes
25 (beispielsweise gemäß Wi-Fi oder einem IEEE 802.11-Standard) ausgebildet sein.

Die Stromversorgung 110 kann hierbei als induktive Stromversorgung ohne Kabelanschluss ausgebildet sein und ergänzend oder alternativ auch durch eine Energie-Ernte (fachsprachlich: Energy Harvesting) erfolgen, wie zum ersten Aspekt näher ausgeführt ist,
30 siehe oben. Die übrigen Merkmale können identisch zur Ausführungsform der Fig. 3A sein.

In einer ersten Variante jeder Ausführungsform kann die Stromversorgung 110 einen induktiven Stromwandler 102 als Energy Harvester umfassen. Der Stromwandler 102 ist als induktiver Messwandler ausgebildet, der grundlegend aus einer Primärwicklung — in diesem
35 Falle der Stromleiter 300 selber — und einer Sekundärwicklung besteht. Der durch den Stromleiter 300 fließende Strom induziert ein Magnetfeld, welches wechselstrombehaftet ist, sofern der Netzstrom wechselstrombehaftet ist. Die Sekundärwicklung des Stromwandlers fängt dieses Magnetfeld und somit die dadurch induzierte Spannung auf, aus welcher neben dem analogen Stromsignal auch die Stromversorgung 110 gespeist wird.

In einer zweiten Variante jeder Ausführungsform kann die Stromversorgung 110 einen Gleichrichter und eine Spannungsregulation umfassen. Die von der Sekundärwicklung des Stromwandlers 102 abgegriffene Spannung wird durch eine Gleichrichterschaltung geleitet, um in eine Gleichspannung umgewandelt zu werden. Anschließend kann mittels eines Spannungsreglers oder DC-DC-Konverters die Spannung auf ein geeignetes Niveau für die Stromversorgung der Elektronik des Messumsetzers 100 gebracht werden.

In einer dritten Variante jeder Ausführungsform kann die Stromversorgung 110 elektrische Energiespeicherelemente umfassen. Um kurzzeitige Schwankungen im Stromfluss oder Stromausfälle zu kompensieren, können Kondensatoren oder kleine Akkumulatoren nach dem Spannungsregler integriert werden. Diese Speicherelemente sorgen für eine konstante Stromversorgung, auch wenn der zu erfassende Strom kurzzeitig wegfällt oder zu schwach ist, um die Bausteine des Messumsetzer 100 direkt zu versorgen.

In einer vierten Variante jeder Ausführungsform kann der Messumsetzer 100 ein Leistungsmanagement ausführen. Beispielsweise kann der Mikrocontroller 108 (oder ein dedizierter Power-Management-Chip) dazu ausgebildet sein, die Erzeugung, Speicherung und den Verbrauch der Energie (z.B. zeitabhängig) zu optimieren. Dieser Chip bzw. diese Funktion würde sicherstellen, dass der Mikrocontroller 108 und die Netzwerkschnittstelle 106 zu jeder Zeit ausreichend mit Strom versorgt sind und gleichzeitig Energie im Speicherelement optimal genutzt wird.

Ausführungsbeispielen des Messumsetzer 100 ermöglicht die Stromversorgung 110, autark zu arbeiten und keine externe Stromversorgung zu benötigt. Da der Stromwandler 102 sowohl zur Messung als auch zur elektrischen Energiebereitstellung (d.h. Speisung) genutzt wird, ist dies eine effiziente Lösung für den Einsatz der Messumsetzer 100 in elektrischen Verteilnetzen.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Systems 200 zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms. Dies umfasst den Messumsetzer 100 gemäß dem ersten Aspekt und optional eine oder mehrere seiner Ausführungsformen. Weiter umfasst das System 200 eine Empfangsvorrichtung 302 zum Empfang des bearbeiteten Digitalsignals des Stroms (d.h. der Datenpakete), optional wobei in der Empfangsvorrichtung 302 eine weitere Verarbeitung des bearbeiteten Digitalsignals des Stroms durchgeführt wird.

Die weitere Verarbeitung umfasst eine Ermittlung der mit dem Stromwandler 102 erfassten Ströme. Beispielsweise können durch Summen- oder Differenzenbildung (gemäß den Kirchhoff'schen Regeln), wie schematisch in Fig. 6A gezeigt, Ströme (bzw. Spannungen) in

weiteren Seitenzweigen ermittelt werden. Alternativ oder ergänzend können durch die Summen- oder Differenzenbildung die empfangenen Werte der Ströme (bzw. Spannungen) auf Konsistenz überprüft werden. Dadurch können zur Unfallvermeidung Leckströme und Spannungsabfälle erkannt werden. Alternativ oder ergänzend kann die Abweichung ein Eingabewert für das Predictive Maintenance sein.

Die Signalisierung zwischen dem Messumsetzer 100 und der Empfangsvorrichtung 302 kann über eine oder mehrere Entitäten geführt werden, zum Beispiel über das Internet als Datennetzwerk 300 und ergänzend oder alternativ über andere Verbindungseinrichtungen, wie weiter oben zum zweiten Aspekt der Erfindung näher ausgeführt ist.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Systems 200 zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms in einer ersten Ausführungsform. Gezeigt ist die Empfangsvorrichtung 302, die ausgebildet ist zum Empfang und zur Verarbeitung eines bearbeiteten Digitalsignals des Stroms des Messumsetzers 100 und zumindest eines weiteren bearbeiteten Digitalsignals des Stroms eines weiteren Messumsetzers 100'. Die Verarbeitung umfasst ein Ermitteln des mit dem Stromwandler 102 ermittelten Stroms und ein Ermitteln des von einem weiteren Stromwandler 102 ermittelten weiteren Stroms.

Optional umfasst die Empfangsvorrichtung 302 eine Software 310 zur Isolierung von Anwendungen mit Hilfe von Containervirtualisierung, die optional als Docker Software in einem Softwarecontainer ausgeführt sein kann. Alternativ oder ergänzend kann die Ausführung der Software in einem Datennetzwerk 330 und/oder zur Ausführung in einer PLCnext Umgebung 340 angeordnet sein. Die Signalisierung zwischen dem Messumsetzer und der Empfangsvorrichtung 302 kann über eine oder mehrere Entitäten geführt werden, zum Beispiel über das Internet, eine direkte PtP-Verbindung oder dergleichen mehr.

Containervirtualisierung umfasst ein Zusammenfassen von Anwendungscode mit den für die Ausführung des Codes erforderlichen Betriebssystembibliotheken und Abhängigkeiten zu einer einzigen ausführbaren Datei, die als Container bezeichnet wird und in jeder Infrastruktur konsistent ausgeführt werden kann. Entsprechend kann die Realisierung des Messumsetzers 100 als Container und/oder die Realisierung der Empfangsvorrichtung 302 ohne weitere oder nur geringen Anpassungen in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden. Diese Infrastruktur kann zum Beispiel Datennetzwerke 330, Server, Rechner in lokalen Netzwerken oder ähnliche Einrichtungen umfassen.

Docker-Software ist eine freie Software zur Isolierung von Anwendungen mit Hilfe der Containervirtualisierung. Docker vereinfacht die Bereitstellung von Anwendungen, weil sich Container, die alle nötigen Pakete enthalten, leicht als Dateien transportieren und installieren

lassen. Alternativ oder ergänzend kann die Infrastruktur PLCnext umfassen als ein System für die industrielle Automatisierung mit offener Hardware, modularer Engineering-Software, globaler Community und digitalem Software-Marktplatz. Es wird von dem Unternehmen Phoenix Contact unterstützt.

5

Vorteilhaft kann so die Erstellung des Messumsetzers 100 und/oder der Empfangsvorrichtung 302 beschleunigt werden und ihre Adaption an verschiedene Systeme, wie die PLCnext-Umgebung 340, erleichtert werden.

10 Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung eines Systems 200 zur Verarbeitung von Digitalsignalen des Stroms in einer zweiten Ausführungsform. Diese umfasst die Empfangsvorrichtung 302, die ausgebildet ist, den ersten Messumsetzer und den weiteren Messumsetzer 100' zu registrieren 320. Weiter ist die Empfangsvorrichtung 302 ausgebildet, der registrierten Messumsetzer 100 oder dem weiteren registrierten Messumsetzer 100' ein
15 Triggersignal 170 zu übermitteln. Optional kann die Empfangsvorrichtung 302 dazu ausgebildet sein, eine Parametrierung des Triggersignals 170 (nicht gezeigt) durchzuführen.

Ergänzend kann das von dem Messumsetzer 100 und dem weiteren Messumsetzer 100' an der Empfangsvorrichtung 302 empfangene Datenübertragungssignal auf dem Triggersignal
20 170 basieren (nicht gezeigt). Weiter ergänzend kann der weitere Messumsetzer 100' eine Mehrzahl von weiteren Messumsetzern 100' umfassen (nicht gezeigt). Somit können die Digitalsignale des Stroms des Messumsetzers und die Digitalsignale des Stroms der weiteren Messumsetzer 100' miteinander in Beziehung gesetzt werden (nicht gezeigt). Optional können auch die digitalen Spannungsmesswerte des Messumsetzers und die
25 digitalen Spannungsmesswerte der weiteren Messumsetzer 100' miteinander in Beziehung gesetzt werden.

Weiter optional kann die Empfangsvorrichtung 302 eine Anomalie-Erkennung 350 des bearbeiteten Digitalsignals des Stroms umfassen. Die Anomalie-Erkennung 350 kann pro
30 Messumsetzer und ergänzend oder alternativ für die Zusammenschau des Messumsetzers und der weiteren Messumsetzer ausgebildet sein.

Schließlich kann die Anomalie-Erkennung 350 auf Algorithmen für künstliche Intelligenz basieren.

35 In einem Ausführungsbeispiel ist die auswertende Elektronik mit einem (vorzugsweise hochauflösenden) Analog-Digital-Umsetzer 104 (ADC) direkt im Gehäuse des Stromwandlers 102 eingebaut. Der durch den ADC 104 digitalisierte Wert wird durch einen Mikrocontroller 108 verarbeitet und auf zum Beispiel einer Ethernet-Schnittstelle (als Beispiels der Netzwerkschnittstelle 106) für Ethernet-fähige Protokolle zur Verfügung

gestellt. Die Spannungsversorgung (beispielsweise als lokale Speisung) wird ebenfalls über die Ethernet-Schnittstelle mit einer Speisung aus dem Ethernet (fachsprachlich Power over Ethernet Protokoll, PoE) realisiert, wobei die PoE-Speisung eine interne Stromversorgung 110 speist.

5

In jedem Ausführungsbeispiel ist die Elektronik (Netzwerkschnittstelle 106, Mikrocontroller 108, Stromversorgung 110, Analog-Digital-Umsetzer 104) vorzugsweise der Umgebung angepasst gegen EMV-Einflüsse (der elektromagnetischen Verträglichkeit, EMV) geschirmt.

10

Ausführungsbeispiele des erfinderischen Messumsetzers 100 und des erfinderischen Systems 200 umfassen einen Power Save Mode, bei dem Teile des Messumsetzers 100 oder der gesamte Messumsetzer 100 vorübergehend in einen Stand-By Modus versetzt werden kann. Der Stand-By Modus kann durch ein Wecksignal eines Timerablaufs beendet werden.

15

Weiter ist ein Aushandeln einer Ethernet-Energie-Klasse (oder Leistungsklasse oder PoE-Klasse) von mehreren Energieklassen zur Versorgung des Messumsetzers 100 möglich.

20

Vorteilhaft ergeben sich durch Ausführungsformen der Erfindung ein deutlich verringerter Verkabelungsaufwand zusammen mit Einsparung von separaten Geräten (Auswerteeinheiten, zum Beispiel "EMpro"), eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes bei Herstellung und Betrieb von Messumsetzer 100 und System 200, eine Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit (fachsprachlich: Mean Time To Failure, MTTF) sowie die Verbindbarkeit mit überlagerten Systemen, zum Beispiel Leit- oder Wartungsrechnern.

25

Weiter ergibt sich die Möglichkeit einer Im-Voraus-Wartung (fachsprachlich: Predictive Maintenance). Das ist eine Vorhersage, die insbesondere Fehler- oder Ausfallvorhersagen treffen kann. Dies kann auf Basis von Summenfunktion oder Statistiken (beispielsweise das Trainieren und Ableiten eines neuronalen Netzwerk-Systems) auf Basis von Rückmeldungen (beispielsweise den Datenpaketen) des gesamten Systems 200 einschließlich seiner Mehrzahl von Messumsetzern 100, 100' erfolgen.

30

In Ausführungsformen können die Predictive-Maintenance-Ergebnisse auch zur Parametrierung der Messumsetzer und ergänzend oder alternativ des Systems führen.

35

Beispielhaft kann bei Temperaturabweichungen einzelner Messumsetzer gegenüber einem Durchschnitt der Messumsetzer 100, 100' die Stand-By-Zeit der betroffenen Messumsetzer verlängert werden. Alternativ oder in Kombination mit den Stand-By-Zeiten können die Zeiträume zwischen Triggersignalen vergrößert werden. Auch kann für vergleichbare

Systeme 200 eine Voreinstellung für deren Arbeitsbereiche auf Basis der Predictive-Maintenance-Ergebnisse erreicht werden (fachsprachlich: Teach-In Mode).

5 In jeder Ausführungsform können die Stromwandler 102 als Sensoren für Wechselstrom eingesetzt werden. Der Stromwandler 102 kann einen Spannungsausgang besitzt als analoges Stromsignal und wird über den AD-Wandler 104 an den Mikrocontroller 108 als an Energiezähler oder Strommessgerät angeschlossen. Dabei ist die Eingangsgröße, d.h. der zu erfassende Strom, der Wechselstrom in dem von dem Stromwandler umschlossenen Stromleiter 300. Dieser kann zwischen 0 A und mehreren 1.000 A und mehr sein. Die
10 Ausgangsgröße ist ein dem Eingangsstrom entsprechender Ausgangsstrom. Beispielsweise kann 5 A als Ausgangsstrom einem Eingangsstrom von 800 A entsprechen. Dieser analoge Stromwert wird durch den AD-Wandler 104 abgetastet und digitalisiert. Dabei ist dem Mikrocontroller als Auswerteeinheit bekannt, welches Teilungsverhältnis eingestellt ist oder gilt.

15 Indem der Messumsetzer 100 die Daten des Stromwandlers 102 direkt als digitale Werte zur Verfügung stellt, braucht die Empfangseinheit 302 keine Kenntnisse über das Teilungsverhältnis mehr, was herkömmlicherweise die Applikation einschränkte. Der Stromwandler 102 bzw. dessen AD-Wandler 104 kann beispielsweise einen 64-bit Wert zur
20 Verfügung stellen. Außerdem entfällt die Beschränkung der Anzahl der Messkanäle an der konventionellen analogen Auswerteeinheit, da die digitalen Werte über das Kommunikationsprotokoll 160, 165 von vielen Messpunkten abgeholt werden kann. Zusätzlich entfällt die Notwendigkeit physischer Präsenz einer Auswerteeinheit.

25 Durch die optionale Spannungsinformation auf Basis des analogen Spannungssignals 114 aus dem in Fig. 7 schematisch und beispielhaft gezeigten Spannungsabgriff 112 (beispielsweise als Teil einer mechanischen Montagehilfe 116 am Gehäuse 150) stehen alle Größen zur Berechnung von Leistung und/oder Energie zur Verfügung. Die Auswertung der digitalen Messwerte kann auch digital durchgeführt werden. Das heißt die
30 Empfangsvorrichtung 302 kann durch einen Cloudservice oder eine PLCnext-Anwendung (kurz: PLCnext-App) implementiert sein.

Ein unabhängiger Vorrichtungsaspekt, der mit jedem hierin genannten Merkmal des Messumsetzers 100 ergänzbar ist, kann wie folgt beschrieben werden. Für die Lösung wird
35 die auswertende Elektronik mit einem hochauflösenden ADC 104 direkt im Gehäuse 150 des Stromwandlers 102 eingebaut. Der durch den ADC 104 digitalisierte Wert (beispielsweise des Stroms) wird durch eine Mikrocontroller-Einheit 108 (fachsprachlich: MCU für Unit) verarbeitet und auf der Ethernet-Schnittstelle 106 für Ethernet-fähige Protokolle 160, 165 zur Verfügung gestellt. Die Spannungsversorgung wird ebenfalls über die Ethernet-Schnittstelle

106 mittels des Protokolls "Power over Ethernet" (PoE) erreicht. Vorzugsweise ist die Elektronik der Umgebung angepasst gegen EMV-Einflüsse geschirmt.

5 Fig. 8A und 8B zeigen perspektivisch bzw. in einer Draufsicht eine Lage einer Einbaubuchse der Netzwerkschnittstelle 106 als Ethernet-Anschluss 180.

Zusammen mit dem optionalen mindestens einen Spannungsabgriff 112 können alle physikalischen Größen erfasst werden, die für die Berechnung der Leistung und Energie notwendig sind.

10

Obwohl die Erfindung in Bezug auf exemplarische Ausführungsbeispiele beschrieben worden ist, ist für Fachkundige ersichtlich, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können und Äquivalente als Ersatz verwendet werden können. Ferner können viele Modifikationen vorgenommen werden, um eine bestimmte Einbausituation oder eine

15 bestimmte Schaltungsanordnung an die Lehre der Erfindung anzupassen. Folglich ist die Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern umfasst alle Ausführungsbeispiele, die in den Bereich der beigefügten Patentansprüche fallen.

Bezugszeichen

	100	Messumsetzer (zum Erfassen eines durch einen Stromleiter fließenden elektrischen Stroms)
5	100', 100", 100'''	Weitere Messumsetzer
	102	Stromwandler (z.B. Kleinsignalwandler, Messstromtransformator, etc.)
	104	Analog-Digital-Umsetzer (auch: AD-Wandler oder ADC)
	106	Netzwerkschnittstelle
	108	Mikrocontroller
10	110	Stromversorgung
	112	Spannungswandler
	114	Analogsignal der Spannung
	116	Montagehilfe
	150	Gehäuse
15	160	Kommunikationsprotokoll
	165	Weiteres Kommunikationsprotokoll
	170	Triggersignal
	180	Drahtgebundener Netzwerkanschluss
	190	Kabelloser Netzwerkanschluss
20	200	System
	300	Stromleiter (z.B. Stromschiene)
	302	Zentrale Empfangsvorrichtung
	310	Software
	320	Registrierung
25	330	Datennetzwerk, beispielsweise einer "Cloud"
	340	PLCnext-Umgebung
	350	Anomalie-Erkennung

Patentansprüche

LU505820

1. Messumsetzer (100) zum Erfassen eines durch einen Stromleiter (300) fließenden elektrischen Stroms, umfassend:
 - 5 einen Stromwandler (102), der dazu ausgebildet ist, ein dem durch den Stromleiter (300) fließenden elektrischen Strom entsprechendes Analogsignal des Stroms zu erzeugen;
 - einen Analog-Digital-Umsetzer (104), der dazu ausgebildet ist, ein dem Analogsignal des Stroms entsprechendes Digitalsignal des Stroms zu erzeugen;
 - eine Netzwerkschnittstelle (106);
 - 10 einen Mikrocontroller (108), der dazu ausgebildet ist, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms ein Datenpaket gemäß einem Kommunikationsprotokoll (160; 165) an der Netzwerkschnittstelle (106) auszugeben; und
 - eine Stromversorgung (110) des Messumsetzers (100), die von der Netzwerkschnittstelle (106) und/oder dem zu erfassenden Strom gespeist ist.
- 15 2. Messumsetzer (100) nach Anspruch 1, ferner umfassend:
 - einen Spannungswandler, der dazu ausgebildet ist, ein einer an dem Stromleiter (300) anliegenden elektrischen Spannung entsprechendes Analogsignal der Spannung zu erzeugen;
 - 20 einen weiteren Analog-Digital-Umsetzer (104), der dazu ausgebildet ist, und/oder den Analog-Digital-Umsetzer (104), der ferner dazu ausgebildet ist, ein dem Analogsignal der Spannung entsprechendes Digitalsignal der Spannung zu erzeugen,
 - wobei der Mikrocontroller (108) dazu ausgebildet ist, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms und des Digitalsignals der Spannung das Datenpaket gemäß dem
 - 25 Kommunikationsprotokoll (160; 165) an der Netzwerkschnittstelle (106) auszugeben.
3. Messumsetzer (100) nach Anspruch 2, wobei der Mikrocontroller (108) dazu ausgebildet ist, auf Grundlage des Digitalsignals des Stroms und des Digitalsignals der Spannung eine Leistung zu bestimmen, wobei das ausgegebene Datenpaket die bestimmte
- 30 Leistung angibt.
4. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
 - wobei eine Bittiefe und/oder ein Dynamikumfang des Digitalsignals unabhängig vom Analogsignal ist; und/oder
 - 35 wobei der Analog-Digital-Umsetzer (104) oder der weitere Analog-Digital-Umsetzer (104) dazu ausgebildet ist, das Digitalsignal des Stroms zu erzeugen durch Abtasten des Analogsignals des Stroms, optional mit einer Bittiefe von mindestens 64 Bit, und/oder das Digitalsignal der Spannung zu erzeugen durch Abtasten des Analogsignals der Spannung, optional mit einer Bittiefe von mindestens 64 Bit; und/oder

wobei das Datenpaket den durch den Stromleiter (300) fließenden Strom, die an dem Stromleiter (300) anliegende Spannung und/oder die bestimmte Leistung angibt, optional in einer absoluten physikalischen Einheit und/oder unabhängig von einem Teilungsverhältnis des Stromwandlers (102) und/oder des Spannungswandlers.

5

5. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Analog-Digital-Umsetzer (104) oder der weitere Analog-Digital-Umsetzer (104) in einem Gehäuse (150) des Stromwandlers (102) angeordnet ist, und/oder

wobei der Messumsetzer (100) ein Gehäuse (150) umfasst, in dem der Stromwandler (102) und mindestens eines der folgenden Merkmale angeordnet ist:

der Analog-Digital-Umsetzer (104);

der weitere Analog-Digital-Umsetzer (104);

die Netzwerkschnittstelle (106); und

der Mikrocontroller (108).

15

6. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Stromversorgung (110) dazu ausgebildet ist, mindestens einen der folgenden Bausteine elektrisch zu versorgen:

den Analog-Digital-Umsetzer (104);

den weiteren Analog-Digital-Umsetzer (104);

die Netzwerkschnittstelle (106); und

der Mikrocontroller (108);

und/oder wobei die Netzwerkschnittstelle (106) mit mindestens zwei Datenleitungen verbunden oder verbindbar ist und die Stromversorgung (110) dazu ausgebildet ist,

mindestens einen der vorgenannten Bausteine durch eine den Datenleitungen überlagerte Versorgungsspannung zu speisen.

25

7. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Stromwandler (102) umfasst:

30 - einen Kleinsignalwandler;

- einen Messstromtransformator;

- eine Rogowski-Spule;

- einen direktabbildenden Stromsensor, optional einen Hallsensor;

- einen Nullflusswandler, optional mit einer Kompensationswicklung, durch welche ein Stromsignal als das Analogsignal des zu erfassenden Stroms fließt und elektronisch geregelt ist zur Kompensation eines durch den Strom erzeugten Magnetfeldes;

35

und/oder

- optoelektronischer Wandler.

8. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Kommunikationsprotokoll (160; 165) mindestens eines der folgenden Protokolle umfasst:
- Modbus, optional Modbus/TCP wobei das Datenpaket ein Internet-Protokoll-Datenpaket ist und das Kommunikationsprotokoll (160; 165) weiter das Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP (165), umfasst;
 - Profibus;
 - M-Bus;
 - Foundation-Feldbus;
 - Highway-Addressable-Remote-Transducer, HART; und
 - Controller-Area-Network, CAN.
9. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) zur asynchronen seriellen Datenübertragung ausgebildet ist.
10. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) Kupferleiter umfasst oder zum Anschluss von Kupferleitern ausgebildet ist.
11. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) einen Lichtwellenleiter umfasst oder zum Anschluss eines Lichtwellenleiters ausgebildet ist.
12. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) ein Koaxialkabel umfasst oder zum Anschluss eines Koaxialkabels ausgebildet ist.
13. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) ein einzelnes Twisted-Pair-Kabel umfasst oder zum Anschluss eines einzelnen Twisted-Pair-Kabels ausgebildet ist.
14. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Netzwerkschnittstelle (106) einen Steckverbinder oder eine Steckverbinder-Hälfte gemäß dem Standard Ethernet, RJ-48, RJ-14 oder IEC 63171 umfasst.
15. Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das an der Netzwerkschnittstelle (106) ausgegebene Datenpaket eine Kennung des Messumsetzers (100) umfasst.

16. System (200) zum Erfassen eines durch einen Stromleiter (300) fließenden elektrischen Stroms, umfassend:

- mindestens einen Stromleiter (300);
- mindestens zwei Messumsetzer (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, die an dem
5 mindestens einen Stromleiter (300) zur Erfassung des darin fließenden Stroms
angeordnet sind; und
- eine Empfangsvorrichtung (302), die über ein Datennetzwerk (330) mit den
Netzwerkschnittstellen (106) der mindestens zwei Messumsetzer (100) zum Austausch
10 von Datenpaketen verbunden sind.

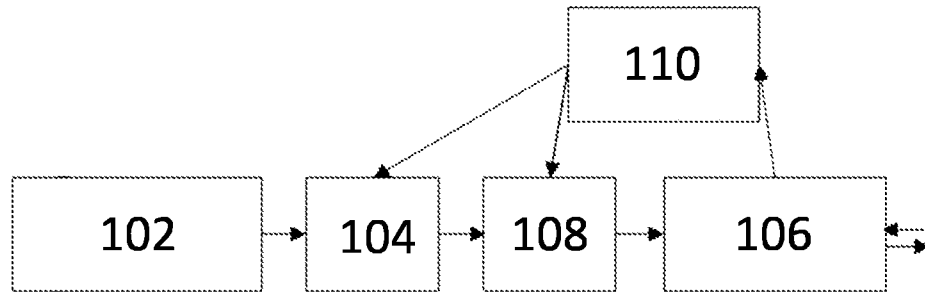
100

Fig. 1

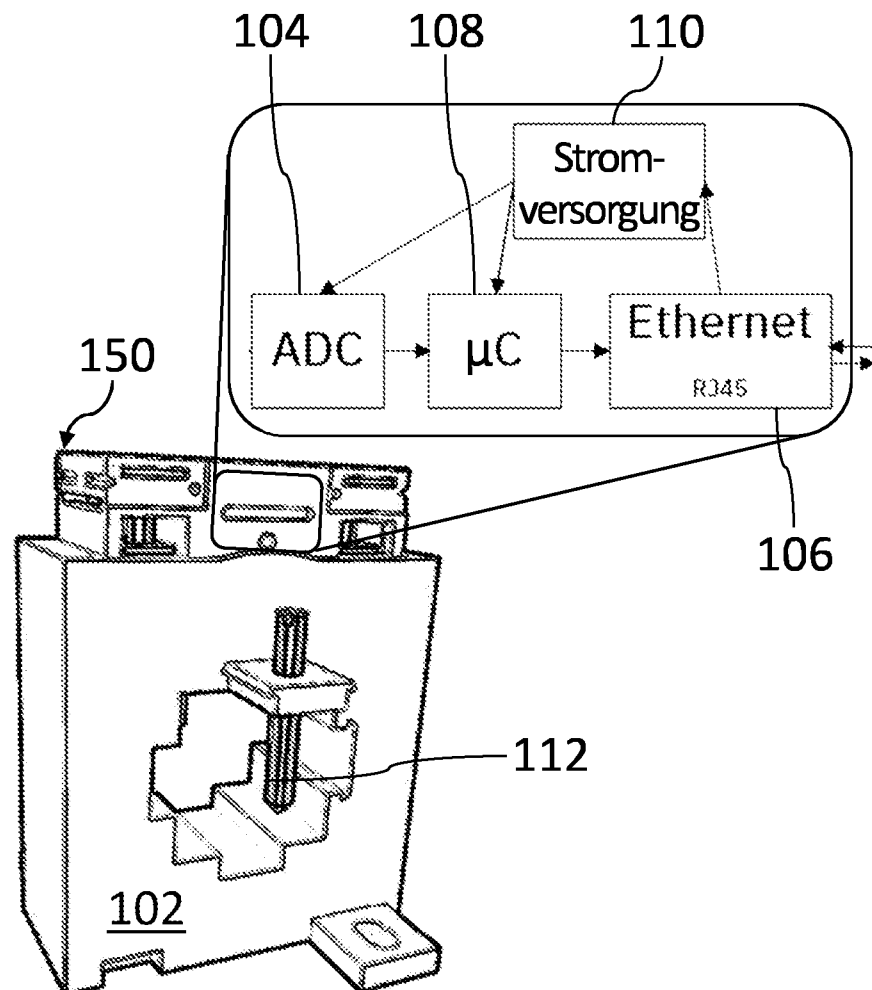
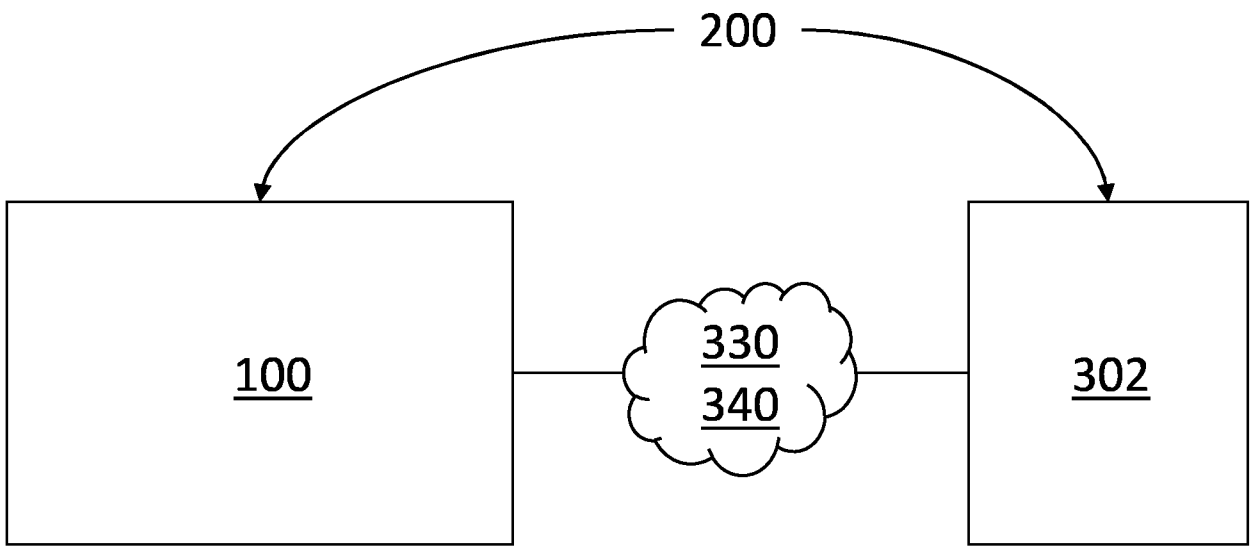
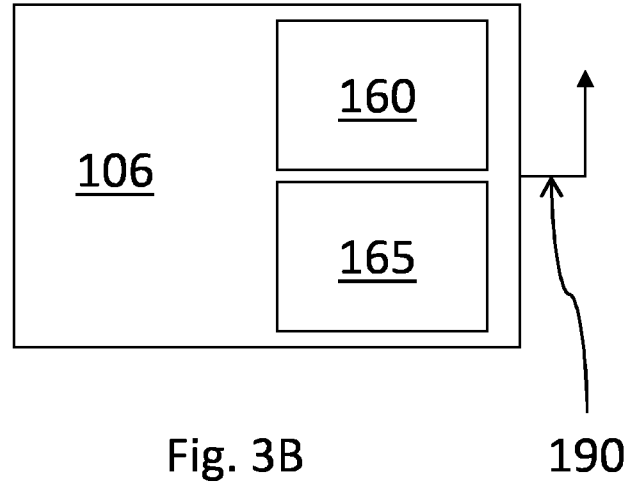
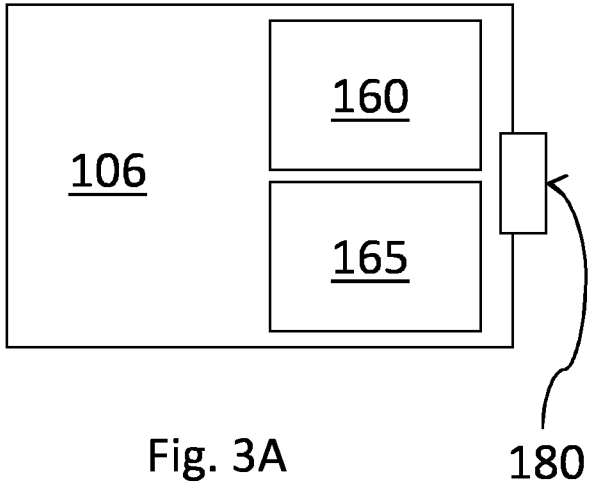
100

Fig. 2



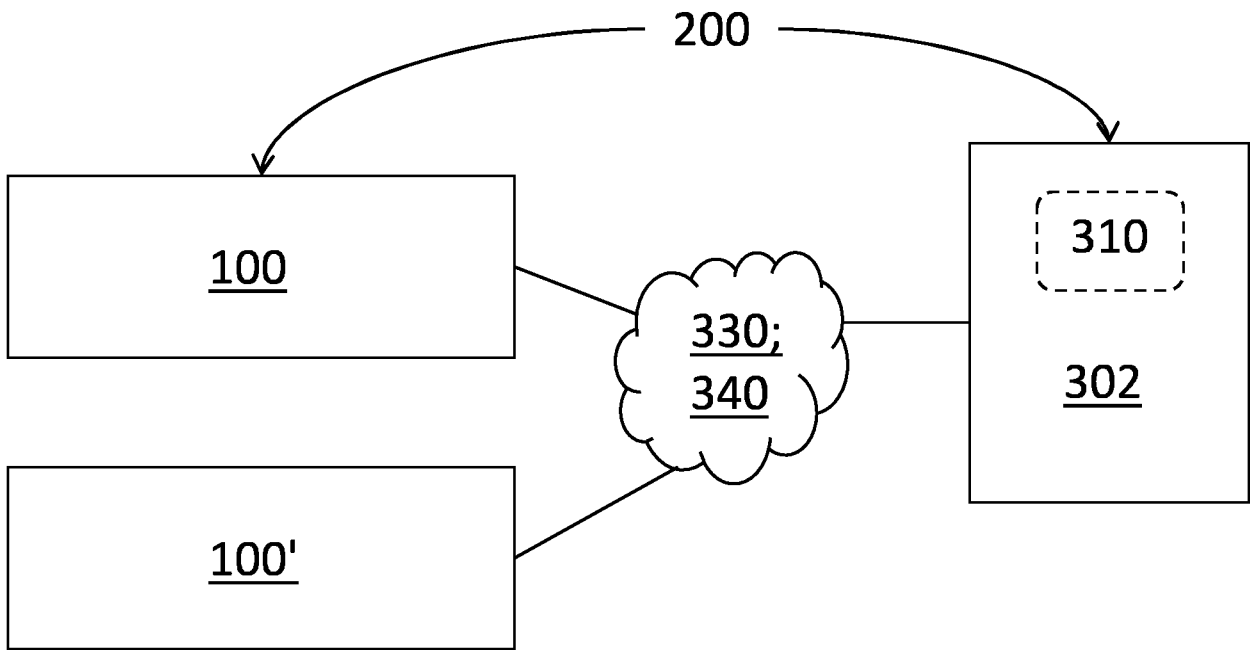


Fig. 5

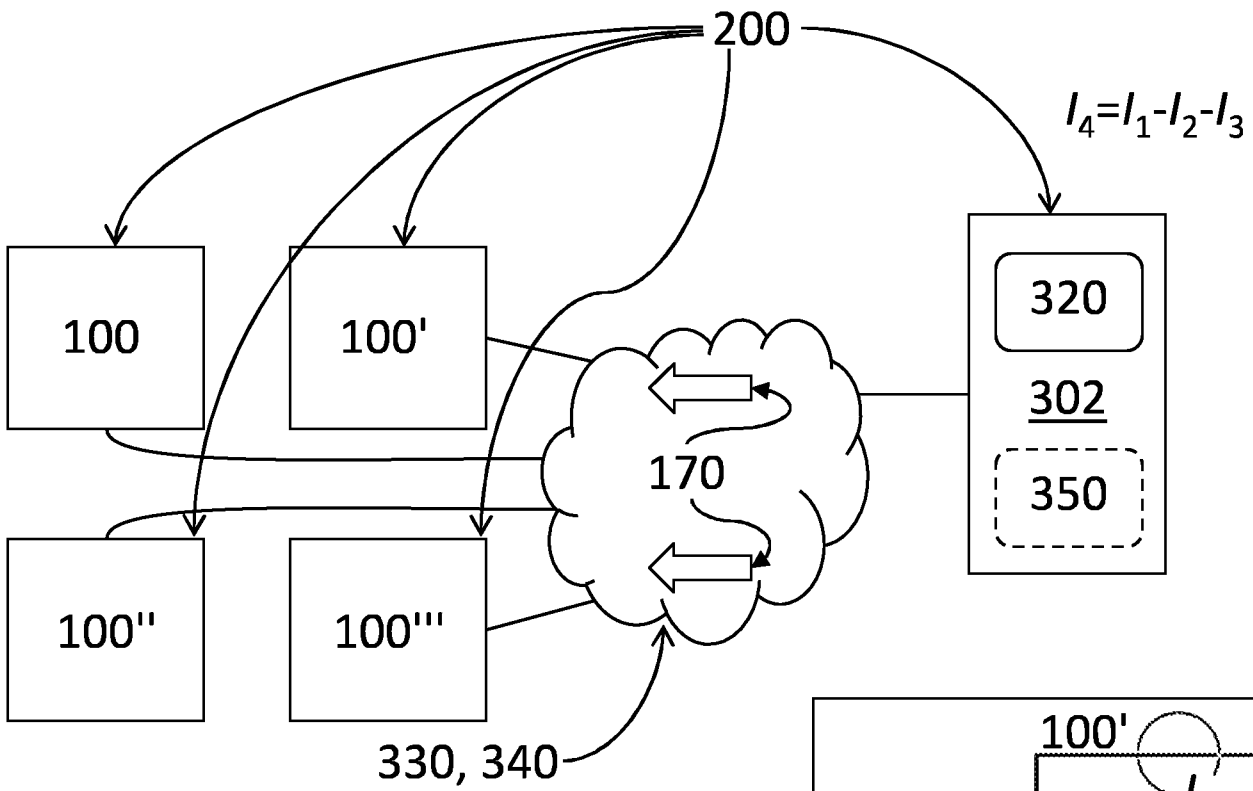


Fig. 6

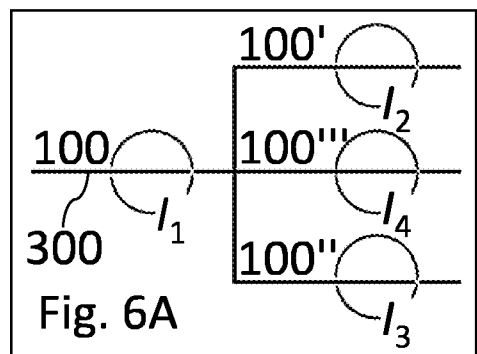


Fig. 6A

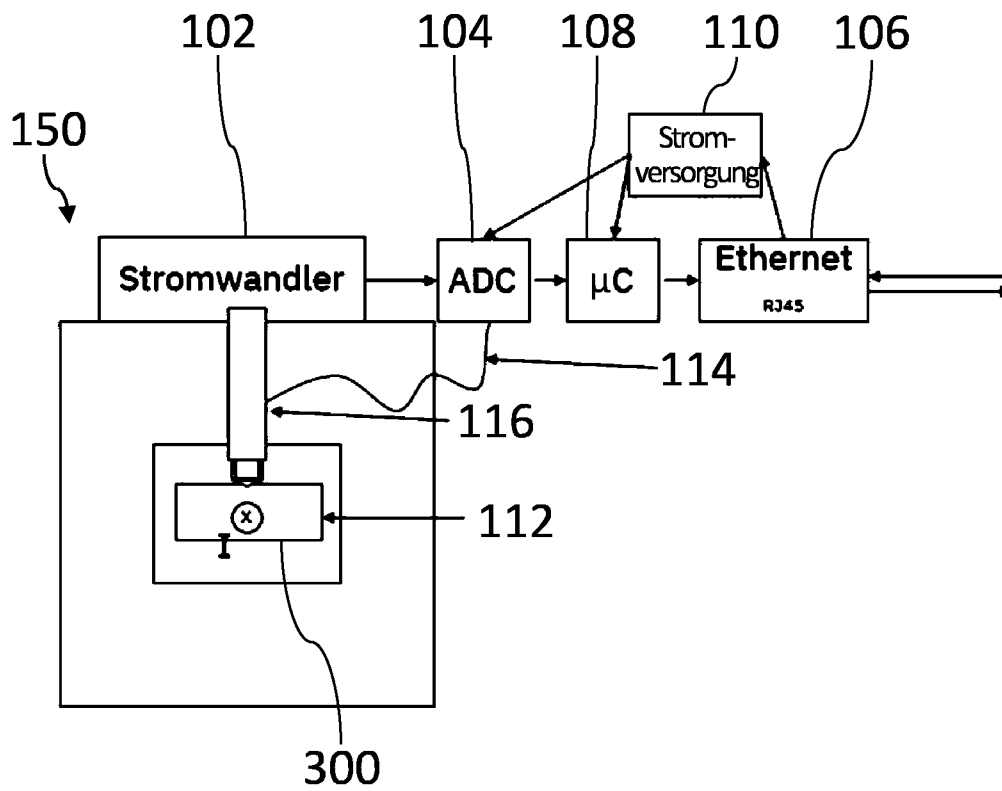


Fig. 7

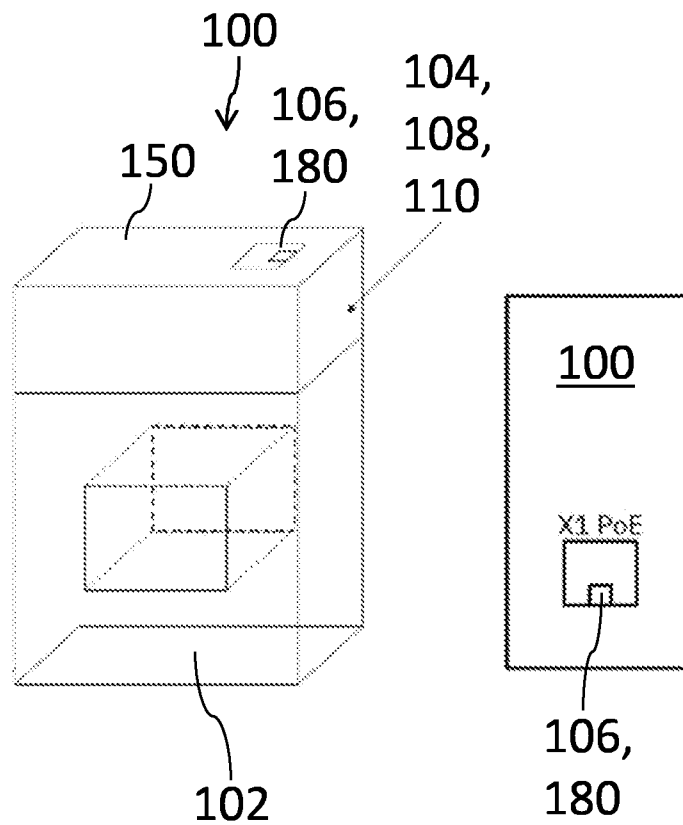


Fig. 8A

Fig. 8B