



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 199 83 488 B4 2006.09.28**

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **199 83 488.1**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/24325**  
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/033230**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **19.10.1999**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.06.2000**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **18.06.2003**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **28.09.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01R 21/00 (2006.01)**  
**G01R 21/133 (2006.01)**  
**G01R 19/00 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**09/201,640 30.11.1998 US**

(73) Patentinhaber:  
**ABB Inc.(n.d.Ges.d.Staates Delaware), Raleigh,  
 N.C., US**

(74) Vertreter:  
**v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München**

(72) Erfinder:  
**Hemming, Rodney C., Raleigh, N.C., US;**  
**Holdclaw, Scott T., Raleigh, N.C., US; Hubbard,  
 Vick A., Wake Forest, N.C., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 38 25 160 C2**  
**US 55 44 089 A**  
**US 48 84 021**  
**US 43 19 329**  
**WO 98/18 013 A2**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Frequenzkompensation in einer Energiemeßvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Messen frequenzabhängiger elektrischer Parameter durch eine Energie-Messvorrichtung in einem elektrischen System, das eine eine variierende Leitungs-Frequenz aufweisende elektrische Energie liefert, mit den folgenden Schritten:

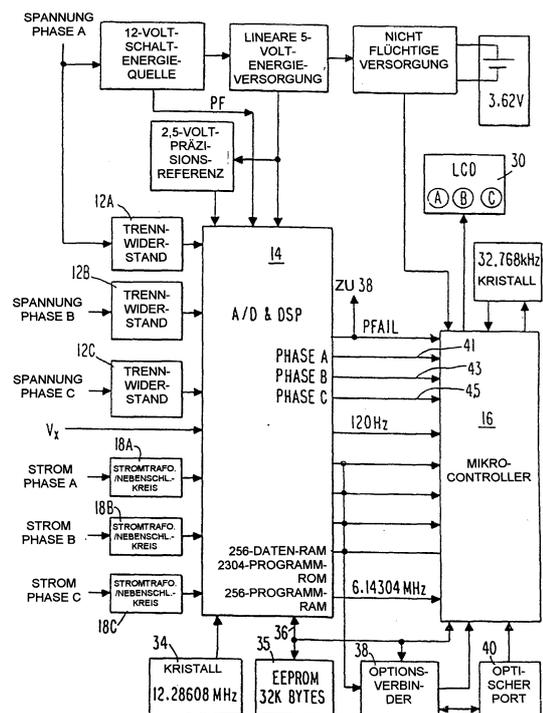
– Messen der Leitungs-Frequenz,

(109) Auswählen einer Referenzwelle mit einem positiven Nullübergang,

(113) Synchronisieren zweier idealer Wellen mit der Referenzwelle, wobei die zwei idealen Wellen jeweils eine Nenn-Frequenz aufweisen,

– Empfangen einer Eingangssignalwelle und

(161) Bestimmen einer Stärke eines Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle, wobei die beiden idealen Wellen von der Frequenz abhängen und ungefähr 90 Grad zueinander phasenverschoben sind, wobei eine ideale Welle eine In-Phase-Komponente und die andere ideale Welle eine Quadratur-Komponente repräsentiert.



**Beschreibung**

Stand der Technik

Feld der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich allgemein auf das Gebiet elektronischer Energiemeßvorrichtungen. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf Verfahren sowie auf ein System zum Messen frequenzabhängiger elektrischer Parameter zur Kompensation von Frequenzabweichungen bei der elektrischen Energie, mit der die Energiemeßvorrichtung versorgt wird.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Der Massentransport von Energie über Wechselspannungen und -ströme geschieht inhärent bei einer bestimmten Nennfrequenz, typischerweise 50 oder 60 Hz. Historisch gesehen waren kleine Abweichungen der Nenn-Leitungsfrequenz bei der elektromechanischen Wattstundenmessung nicht von Belang. Elektromechanische Meßvorrichtungen waren auf grundlegende Maßeinheiten wie Wattstunden oder VAR-Stunden unter Verwendung von Phasenverschiebungstransformatoren beschränkt, und die Meßgenauigkeit war allgemein nicht von der Frequenz abhängig.

**[0003]** Die in letzter Zeit stattfindende Deregulierung der Energieversorgungsindustrie hat einen Markt für Produkte geschaffen, die die effiziente Verteilung und Überwachung elektrischer Energie erleichtern. In der Vergangenheit haben Energieversorgungsunternehmen eine Infrastruktur aufgebaut, die keine angemessene Information zum Überwachen und Einstellen der elektrischen Energie im Verteilungssystem erlaubte.

**[0004]** Ein Grund für die Überwachung der Leitungsfrequenz ist das wachsende Interesse an der genauen Messung von Harmonischen im Versorgungsnetz des Energielieferanten. Frühere Meßverfahren kümmerten sich wenig um Harmonische; heute jedoch ist aufgrund angewachsener Kundenlasten, die in einem Verteilungssystem Harmonische entstehen lassen, das Interesse daran viel größer. Diese Harmonischen können dazu führen, daß VA-Lasten an den Transformatoren höher als erwartet sind sowie daß die Kundenrechnung tatsächlich niedriger wird, während aber harmonische Energie aus dem Netz gezogen wird. Eine Frequenzkompensation ist zum Empfangen genauer Messungen von harmonischen Anteilen in Spannungs- oder Stromsignalen erwünscht.

**[0005]** In den letzten Jahren sind elektronische Wattstundenzähler mehr zur digitalen Technik übergegangen mit Analog-Digital-Wandlern (A/D-Wandlern) und digitaler Verarbeitung. In jüngster Zeit haben digitale Elektrizitätsmeßgeräte auch zusätzliche Instrumenteneigenschaften, die es dem Benutzer erlauben, annähernd in Echtzeit Meßwerte abzulesen, wie zum Beispiel Phasenwinkel von einer Spannung zur nächsten, Phasenwinkel von einem Strom zu einer Spannung, Leistungsfaktoren nach Phase, Spannungen nach Phase, Ströme nach Phase, Spannungsharmonische nach Phase, Stromharmonische nach Phase, Watt nach Phase und Systemwatt, Voltampere nach Phase und System-Voltampere, VAR nach Phase und System-VAR und Gesamt-Harmonische-Verzerrungen für Spannungen und Ströme nach Phase. Ein Problem, das hierbei berücksichtigt werden muß, ist das Problem der Frequenzabhängigkeit, insbesondere bei Werten wie Spannungs- und Strom-Harmonischen nach Phase.

**[0006]** Digitale Meßvorrichtungen verarbeiten normalerweise wiederholte Abtastungen in festen Zeitintervallen, und obwohl manche Größen in Einzel-Meßwertsätzen verarbeitet werden können, wird bei anderen Größen günstigerweise über einen oder mehrere Leitungs-Zyklusperioden ein Durchschnitt gebildet. Da eine feste Abtastfrequenz auch eine feste Anzahl von Abtastungen pro Zyklusperiode bedeutet, werden bei den Ergebnissen allgemein Abweichungen der Leitungsfrequenz kompensiert, um falsche Meßergebnisse zu vermeiden. Ein typisches Mittel zum Einstellen von Effektivspannungen, Effektivströmen und Schein-VA-Energie ist das Erfassen von Nullübergängen eines Signals und die Durchschnittsbildung der Ergebnisse bei der Anzahl der über diesen flexiblen Zeitraum erfaßten Meßwerte. Andere, kompliziertere Berechnungen, wie zum Beispiel die der Harmonischen, können jedoch nicht vollständig kompensiert werden, nachdem die Messungen und Zwischenberechnungen durchgeführt wurden.

**[0007]** US 4,319,329 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Frequenzmessung von Wellen in einem einzigen Zyklus und nur für eine einzige Frequenz, wobei der für die Umwandlung der Signale von analog zu digital verwendete A/D-Wandler eine synchronisierende Nullübergangs-A/D-Wandervorrichtung aufweist. Das digitalisierte Signal aus dem A/D-Wandler wird zu einer zentralen Prozesseinheit weitergeleitet, wo eine

diskrete Fourier-Transformation (DFT) durchgeführt wird. Die DFT-Berechnungen führen zur Errechnung einer Frequenzabweichung von einem Referenzwert, der durch die normale Systemfrequenz von 60 Hz vorgegeben ist. Dabei werden die Harmonischen der Wellenfrequenzen vor der Durchführung der Analog-zu-Digital-Umwandlung mittels eines Transformators und eines Low-Pass-Filters ausgefiltert. Die hier beschriebene Vorrichtung erlaubt jedoch nicht, die Harmonischen zu registrieren, weil diese vor der Frequenzmessung ausgefiltert werden.

**[0008]** Aus DE 38 25 160 C2 ist ein Signalverarbeitungsprozessor bekannt, in welchem ein Hochfrequenz-Eingangssignal mit zwei gleichfrequenten Signalen in Phasenquadratur auf eine Zwischenfrequenz von etwa Null herabgemischt und anschließend abgetastet wird, wobei die Abtastproben zu komplexen Paaren von Digitalwörtern digitalisiert werden, so dass sich ein digitalisiertes "In-Phasen-Signal" I als Realteil und ein digitalisiertes "Quadratursignal" Q als Imaginärteil ergeben. Ein derartiger I/Q-Umsetzer lässt ein HF-Signal in seine komplexen Bestandteile umsetzen.

**[0009]** Aus US 4,884,021 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Zählung einer mehrphasigen Stromversorgung bekannt, in denen jeder Zyklus für jede Phase bei jedem Winkel abgetastet und zu einer binären Darstellung der Amplitude konvertiert wird. Die Abtastung beginnt mit einer Null-Überquerung, und die erste digitale Konvertierung liefert einen Datenbereich für die Entwicklung der Skalierungsfaktoren, die im Speicher gespeichert werden. Der Skalierungsfaktor wird dann mit dem Datenbereich multipliziert, um somit eine digitale Darstellung der abgetasteten Amplitude zu entwickeln. Auf diese Weise bewertete Daten für Strom und Spannung werden dann selektiv für jeden abgetasteten Winkel zur Entwicklung der zur Generierung von elektrischen Outputparametern notwendigen Daten multipliziert.

#### Aufgabenstellung

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0010]** Die Erfindung ist auf Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 und 10 sowie auf ein System gemäß Anspruch 18 zum Verbessern der Fähigkeit einer elektronischen Meßvorrichtung zum Durchführen von Messungen an Signalen zum Feststellen des Gehalts an unterschiedlichen Frequenzen und Harmonischen, der Grundfrequenz des Wechselstromsignals und auch der Energie (Watt, VAR und VA) aus dem Produkt der Spannung und der Ströme der spezifischen Frequenzen gerichtet. Die Leitungsfrequenz wird vor der Durchführung frequenzabhängiger Parametermessungen oder dem Bestimmen frequenzabhängiger Parameter bestimmt und kompensiert.

**[0011]** Bei einer im Umfang der Erfindung enthaltenen Ausführungsform ist ein Verfahren zum Kompensieren einer Frequenzvariation der über einen Servicetyp an eine Energiemeßvorrichtung gelieferten elektrischen Energie mit den folgenden Schritten vorgesehen: Messen einer Frequenz der elektrischen Energie; Auswählen einer Referenzwelle mit einem positiven Nullübergang; Synchronisieren zweier idealer Wellen mit der Referenzwelle, wobei die beiden idealen Wellen jeweils eine ideale Frequenz aufweisen; Empfangen einer Eingangssignalwelle, Bestimmen einer Stärke eines Signals der idealen Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle und Bestimmen eines Winkels des Signals der Idealfrequenz innerhalb der Eingangssignalwelle. Die resultierenden Größen können zum Quantifizieren typischer unerwünschter Harmonischer in einzelnen Signalen sowie zum Bestimmen von Winkeln zwischen den Grundfrequenzen ansonsten verzerrter Signale verwendet werden.

#### Ausführungsbeispiel

**[0012]** Die obigen und andere Aspekte der Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung anhand der Zeichnungen ersichtlich.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen:

**[0013]** Es zeigt:

**[0014]** [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm, das die Funktionskomponenten eines Beispiels einer Meßvorrichtung und ihre Schnittstellen nach der vorliegenden Erfindung zeigt,

**[0015]** [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) als Beispiel ein erfindungsgemäßes DFT-Verfahren.

## Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen und der besten Ausführung

**[0016]** Die Erfindung ist auf ein System und Verfahren zum Verbessern der Fähigkeit einer elektronischen Meßvorrichtung zum Durchführen von Messungen an Signalen zum Feststellen des Gehalts an unterschiedlichen Frequenzen und Harmonischen der Grundfrequenz von Wechselstromsignalen (Spannung und Stromstärke) gerichtet. Die Leitungsfrequenz wird vor der Durchführung frequenzabhängiger Parametermessungen oder dem Bestimmen frequenzabhängiger Parameter bestimmt und kompensiert.

**[0017]** Die meisten derzeitigen Festkörper-Energiemeßvorrichtungen tasten Spannungs- und Stromsignale digital auf ein bis drei verschiedenen Phasen ab und verarbeiten sie typischerweise zum Erzeugen von Größen für Abrechnungszwecke (wie zum Beispiel Wattstunden, VAR-Stunden oder VA-Stunden). Sie können inzwischen auch eine große Anzahl von Instrumentengrößen bestimmen. Außerdem können diese Meßvorrichtungen auch zum Bestimmen der Gültigkeit der Leitungen außerhalb der elektronischen Meßvorrichtung selbst und anderer ungewöhnlicher Parameter wie zum Beispiel der Harmonischen verwendet werden.

**[0018]** Erfindungsgemäß wird nun ein System und werden Verfahren zur Leitungsfrequenzvariationserfassung und -kompensation anhand der Figuren beschrieben. Die beispielhaft beschriebene Meßvorrichtung soll die Erfindung nicht einschränken, da die Erfindung genauso gut auf andere Meßsysteme angewendet werden kann.

**[0019]** Die vorliegende Erfindung sieht Leitungsfrequenz-Variationserfassungs- und -kompensationseigenschaften im Zusammenhang mit der Messung von elektrischer Einzelphasen- oder Mehrphasenenergie vor. [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das die Funktionskomponenten einer beispielhaften Meßvorrichtung und ihrer Schnittstellen zeigt, auf die die vorliegende Erfindung anwendbar ist. Die Meßvorrichtung ist in der gleichzeitig anhängigen PCT-Anmeldung mit dem Titel „ENERGY METER WITH POWER QUALITY MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS“ („Energiemeßvorrichtung mit Stromqualitätsüberwachung und Diagnosesystemen“), Nr. PCT/US 97/18457 mit einem internationalen Anmeldedatum vom 16. Oktober 1997 (Anwalts-Aktenzeichen: ABME-0237) = WO98/18013A2, das hier als Referenz mit einbezogen ist, beschrieben.

**[0020]** Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, weist eine Meßvorrichtung zum Messen elektrischen Dreiphasenstroms vorzugsweise eine digitale LCD-Anzeige **30**, eine IC-Meßschaltung **14**, die vorzugsweise A/D-Wandler und einen programmierbaren digitalen DSP (digitaler Signalprozessor) aufweist, sowie einen Mikrocontroller **16** auf.

**[0021]** Analoge Spannungs- und Stromsignale, die über Stromleitungen zwischen dem Stromgenerator eines Energielieferunternehmens und den Verbrauchern der elektrischen Energie weitergeleitet werden, werden durch Spannungsteiler **12A**, **12B**, **12C** und Stromtransformatoren oder Nebenschlußkreise **18A**, **18B** bzw. **18C** erfaßt. Die Ausgangssignale der Trennwiderstände **12A–12C** und Stromtransformatoren **18A–18C** oder erfaßte Spannungs- und Stromsignale werden als Eingangssignale an die Meß-IC-Schaltung **14** weitergeleitet. Die A/D-Wandler in der Meß-IC-Schaltung **14** wandeln die erfaßten Spannungs- und Stromsignale in digitale Repräsentationen der analogen Spannungs- und Stromsignale um. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die A/D-Umwandlung durchgeführt, wie das im US-Patent Nr. 5,544,089 A vom 6. August 1996 mit dem Titel „PROGRAMMABLE ELECTRICAL METER USING MULTIPLEXED ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS“ („Programmierbare elektrische Meßvorrichtung unter Verwendung multiplexierter Analog-Digital-Wandler“), das der ABB Power T & D Company übertragen wurde, beschrieben ist. Die digitalen Spannungs- und Stromrepräsentationen werden dann über einen IIC-Bus **36** an den Mikrocontroller **16** geleitet.

**[0022]** Der Mikrocontroller **16** hat vorzugsweise eine Schnittstelle zur Meß-IC-Schaltung **14** und über einen IIC-Bus **36** zu einer oder mehr Speichervorrichtungen. Ein Speicher, vorzugsweise ein nicht flüchtiger Speicher, wie zum Beispiel ein EEPROM **35**, ist zum Speichern von Nenn-Phasen-Spannungs- und -Strom-Daten und Schwellenwertdaten sowie von Programmen und Programmdateien vorgesehen. Beim Einschalten nach der Installation, nach einem Stromausfall oder einer die Daten verändernden Mitteilung können zum Beispiel, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, im EEPROM **35** gespeicherte ausgewählte Daten in den der Meß-IC-Schaltung **14** zugeordneten Programm-RAM und Daten-RAM heruntergeladen werden. Der DSP verarbeitet unter der Steuerung des Mikrocontrollers **16** die digitalen Spannungs- und Stromsignale in Übereinstimmung mit den heruntergeladenen Programmen und den im entsprechenden Programm-RAM und Daten-RAM gespeicherten Daten.

**[0023]** Zum Durchführen von Leitungsfrequenzmessungen und einer entsprechenden Kompensation überwacht die Meß-IC-Schaltung **14** die Leitungsfrequenz zum Beispiel zwei Leitungszyklen lang. Es versteht sich, daß die Anzahl der Leitungszyklen vorzugsweise programmierbar ist und eine andere Anzahl von Leitungszyklen für entsprechende Messungen verwendet werden kann.

**[0024]** Nach dem Einschalten bei der Installation kann zum Identifizieren und/oder Überprüfen des elektrischen Services ein Servicetest durchgeführt werden. Die Meßvorrichtung kann zur Verwendung mit einem bestimmten Service vorprogrammiert sein oder unter Verwendung eines Servicetests den Service bestimmen. Wenn der Servicetest zum Identifizieren des elektrischen Services verwendet wird, wird anfänglich die Anzahl der aktiven Elemente festgestellt. Zu diesem Zweck wird jedes Element (d.h. 1, 2 oder 3 Elemente) nach Spannung überprüft. Nachdem die Anzahl der Elemente festgestellt wurde, können viele der Servicetypen aus der Liste möglicher Servicetypen gestrichen werden. Der Spannungsphasenwinkel im Verhältnis zur Phase A kann dann errechnet und mit jedem Phasenwinkel nach abc- oder cba-Rotationen im Verhältnis zu den verbleibenden möglichen Services verglichen werden. Wenn aus den Phasenwinkelvergleichen ein gültiger Service ermittelt wurde, wird vorzugsweise durch Vergleichen der Effektivspannungsmessungen für jede Phase mit Nenn-Phasenspannungen für den identifizierten Service die Servicespannung bestimmt. Wenn die Nenn-Servicespannungen für den identifizierten Service innerhalb eines akzeptablen Toleranzbereichs mit den gemessenen Werten übereinstimmen, wird ein gültiger Service identifiziert, und die Phasenrotation, die Servicespannung und der Servicetyp werden vorzugsweise angezeigt. Der Service kann festgeschrieben werden, d.h. die Service-Information wird in einem Speicher, vorzugsweise einem nicht flüchtigen Speicher, wie zum Beispiel dem EEPROM **35**, manuell oder automatisch gespeichert. Servicetypen sind zum Beispiel 4-Phasen-Drehstrom (sternförmig), 3-Phasen-Drehstrom (sternförmig), 4-Phasen-Delta-Strom (im „Dreieck“), 3-Phasen-Delta-Strom (im „Dreieck“) oder Einzelphasen-Strom.

**[0025]** Wenn der Servicetyp vorher bekannt und festgeschrieben ist, überprüft der Servicetest vorzugsweise, daß auch jedes Element ein Phasenpotential empfängt und daß die Phasenwinkel innerhalb eines vorbestimmten Prozentsatzes der Nenn-Phasenwinkel für den bekannten Service liegen. Außerdem werden die Spannungen phasenweise gemessen und mit den Nenn-Servicespannungen verglichen, um zu bestimmen, ob sie innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereichs der Nenn-Phasenspannungen sind. Wenn die Spannungen und Phasenwinkel innerhalb der angegebenen Bereiche sind, werden die Phasenrotation, die Servicespannung und der Servicetyp auf der Anzeige der Meßvorrichtung angezeigt. Wenn entweder kein gültiger Service gefunden wurde oder der Servicetest für einen entsprechenden Service fehlschlägt, wird ein Systemfehler, der einen nicht gültigen Service angibt, angezeigt und auf der Anzeige festgeschrieben, damit auch sichergestellt wird, daß der fehlgeschlagene Test gesehen, ausgewertet und zur Fehlerbehebung verwendet wird.

**[0026]** Die Meßvorrichtung von [Fig. 1](#) sieht auch eine Fern-Meßvorrichtungs-Ablesung, eine Fern-Stromqualitäts-Überwachung und eine Umprogrammierung durch einen optischen Port **40** und/oder eine wahlweise Verbindung **38** vor. Auch wenn optische Kommunikationswege im Zusammenhang mit dem optischen Port **40** verwendet werden können, kann die wahlweise Verbindung **38** zum Beispiel für HF-Kommunikation oder elektrische Kommunikation über Modem eingerichtet werden.

**[0027]** Das erfindungsgemäße System zum Durchführen der Leitungsfrequenzfassung und -kompensation ist vorzugsweise als Firmware implementiert, wo solche Vorgänge durch die richtige Programmierung von Datentabellen ermöglicht werden. Das erfindungsgemäße System kann jedoch auch in Allzweck-Computern unter der Verwendung von Software oder ausschließlich durch Spezial-Hardware oder in einer Kombination dieser beiden Möglichkeiten implementiert werden.

**[0028]** Der Servicetyp, an den die Meßvorrichtung angeschlossen ist, wird wie oben beschrieben festgestellt. Nachdem der Servicetyp festgestellt wurde, werden die Spannungswerte phasenweise überprüft. Wenn die phasenweisen Spannungswerte für alle Phasen innerhalb der entsprechenden Parameter liegen, wird eine Nenn-Servicespannung bestimmt. Die Bestimmung eines gültigen Typs und einer gültigen Nenn-Servicespannung für diesen Typ stellen die Erfassung eines gültigen Services dar.

**[0029]** Spannungs-Spannungs-Phasenwinkel werden bei der Bestimmung des Servicetyps verwendet. Die Phasenwinkelbestimmung kann auf eine Anzahl unterschiedlicher Weisen erfolgen, zum Beispiel durch Zählen von Abtastungen zwischen ähnlichen Spannungs-Nullübergängen oder durch Ausführen einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) zwischen einer der betreffenden Phasenspannungen und einem von der anderen betreffenden Spannung ausgelösten idealen Signal. Die meisten Verfahren zum Messen der Phasenwinkel zwischen zwei sinusförmigen Signalen sind frequenzabhängig. Die Bestimmung des Servicetyps, an den die Meßvorrichtung angeschlossen ist, ist daher ein Beispiel für eine frequenzabhängige Bestimmung.

**[0030]** Angenommen, die Energiemeßvorrichtung führt ihre diskrete Abtastung in festen Zeitintervallen durch, dann ist der äquivalente Winkel zwischen der jeweiligen Abtastung direkt proportional zur Leitungsfrequenz. Diese Proportionalität zur Leitungsfrequenz verursacht Fehler bei der Spannungs-Spannungs-Phasenwinkel-

messung in beiden oben beschriebenen Verfahren, wenn keine Frequenzkompensation verwendet wird.

**[0031]** Zum Durchführen von Frequenzkompensation ist die derzeitige Frequenz wünschenswerterweise bekannt. Wenn bekannt ist, daß die Meßvorrichtung die Signale in bekannten diskreten Zeitintervallen abtastet, kann das Zählen der Anzahl von Abtastungen zwischen gleichen Nullübergängen (Leitungszyklen) als ein Verfahren zum Bestimmen der vorliegenden Leitungsfrequenz verwendet werden. Mehr als ein Leitungszyklus kann verwendet werden, wenn die durchschnittliche Anzahl von Abtastungen pro Leitungszyklus berechnet wird. Jede beliebige ganzzahlige Anzahl von Leitungszyklen (größer oder gleich eins) ist möglich, jedoch, je größer die Anzahl der Leitungszyklen, desto genauer ist auch der Wert der vorliegenden Leitungsfrequenz.

#### Verwendung von DFT

**[0032]** Ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kompensation von Leitungsfrequenzvariationen ist in [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) gezeigt. Eine DFT wird zum Bestimmen des Gehalts eines bestimmten Frequenzsignals im Eingangssignal verwendet. Die eine bestimmte Frequenz wird hier als die ideale Frequenz bezeichnet. Eine Referenzwelle wird außerdem zum Synchronisieren idealer Wellen verwendet, wie weiter unten beschrieben ist. Das Eingangssignal wird hier als Eingangswelle bezeichnet, und es kann aus einer Grundfrequenz und einer beliebigen Anzahl Harmonischer bestehen.

**[0033]** Wie weiter unten im einzelnen beschrieben, wird die DFT dadurch bestimmt, daß die Eingangswelle mit zwei idealen Wellen der gleichen idealen Frequenz multipliziert wird. Eine ideale Welle ist 90 Grad zur anderen idealen Welle phasenverschoben; d.h. eine ideale Welle ist die in gleicher Phase befindliche Komponente (die „In-Phase“-Komponente), und die andere ideale Welle ist die um 90 Grad phasenverschobene Komponente (die „Quadratur“-Komponente). Die Eingangswelle wird so getrennt mit den beiden idealen Wellen multipliziert. Bei der bevorzugten digitalen Abtastung wird über eine programmierbare Anzahl X vollständiger Leitungszyklen von den Produkten ein eigener Durchschnitt gebildet. Ein einziger Leitungszyklus wird hier zur vereinfachten Darstellung verwendet, es gilt aber das gleiche für die Verwendung der Durchschnittsbildung über mehrere Leitungszyklen hinweg.

**[0034]** Es ist erwünscht, den Phasenwinkel zwischen den Grundfrequenzen der beiden Echtzeitsignale (der Eingangswelle und der Referenzwelle) zu bestimmen. Zum genauen Bestimmen des Phasenwinkels unter Verwendung einer DFT wird die tatsächliche Leitungsfrequenz als die ideale Frequenz der beiden idealen Wellen verwendet, und die beiden idealen Wellen werden mit der Referenzwelle synchronisiert. Es versteht sich, daß die Referenzwelle nicht analysiert wird, sie wird lediglich als Referenz verwendet.

**[0035]** Wenn die tatsächliche Leitungsfrequenz (der Eingangswelle und der Referenzwelle) nicht bekannt ist und von der Nennfrequenz abweicht und die beiden idealen Wellen die Nenn-Leitungsfrequenz haben, dann wird das Ergebnis verglichen mit dem tatsächlichen Winkel fehlerhaft sein. Zusätzlich führen auch noch Frequenzsynchronisationsprobleme zu Fehlern bei den berechneten Werten im Vergleich zu den tatsächlichen Werten.

**[0036]** Außerdem ergeben sich bei einem digitalen Abtastsystem beim Referenzieren oder Synchronisieren einer idealen Welle mit einer sich wiederholenden Echtzeit-Welle (wie zum Beispiel der Referenzwelle) einige Probleme. Ein Fehler bei der Synchronisation wirkt sich als ein direkter Fehler beim resultierenden Phasenwinkelwert aus. Ein Referenzpunkt bei einer sich wiederholenden Referenzwelle ist der Nullübergang. Nullübergänge werden durch Berechnen des Produkts zweier aufeinanderfolgender Abtastungen ermittelt. Wenn das Produkt positiv ist, hat kein Nullübergang stattgefunden. Wenn das Produkt negativ ist und die erste Abtastung positiv war, hat ein negativer Nullübergang stattgefunden. Wenn das Produkt negativ ist und die erste Abtastung negativ war, hat ein positiver Nullübergang stattgefunden.

**[0037]** Abweichungen bei den Phasenwinkeln der Harmonischen können dazu führen, daß die Nullübergänge nicht genau am Null-Grad-Punkt der Grundfrequenz stattfinden. Bei der Anwendung in der Praxis werden die Spannungen typischerweise von der Grundfrequenz dominiert, und eine kleine Abweichung beim Nullübergangs-Winkelort bewirkt keinen allzu großen Unterschied. Das Ziel besteht darin, die ideale Welle mit der Referenzwelle zu synchronisieren. Wenn die ideale Welle jedoch erst initialisiert wird, wenn ein Nullübergang in den tatsächlichen Abtastdaten zu erkennen ist, könnte die ideale Welle der tatsächlichen Welle um bis zu eine Abtastzeit hinterherhinken.

**[0038]** Zum Bewältigen der zuvor erwähnten Probleme können mehrere Verfahren eingesetzt werden. Ein Wissen über die vorhandene Leitungsfrequenz kann zum Kompensieren des Problems der Abweichung der

Leitungsfrequenz vom Nennwert verwendet werden. Ein Wissen über die vorhandene Leitungsfrequenz kann (1) durch Messen der vorhandenen Leitungsfrequenz unmittelbar vor der Messung einer frequenzabhängigen Größe oder (2) durch periodisches Messen der vorhandenen Leitungsfrequenz und durch Speichern ihres Durchschnittswerts erworben werden. Das zweite Verfahren braucht mehr Zeit, wenn die Messung erwünscht ist, führt aber zu einer Leitungsfrequenz, die in größerer zeitlicher Nähe zur tatsächlichen Zeit der Messung ermittelt wurde, und verbraucht außerdem weniger Speicherplatz im Vergleich zum zweiten Verfahren mit einer fortwährenden Bestimmung einer Durchschnittsleitungsfrequenz. Das Verfahren zur Durchschnittsbildung ergibt jedoch eine höhere Genauigkeit durch eine länger andauernde Durchschnittsbildung bei der Leitungsfrequenz und eine größere Geschwindigkeit, da nur die Messung durchgeführt werden muß (ohne daß zuerst zur Durchführung einer Frequenzmessung Zeit benötigt würde).

**[0039]** Die Frequenz in einer Stromleitung ändert sich typischerweise nicht um große Werte und typischerweise auch nicht sehr schnell. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird daher eine leichte Variation des oben erwähnten ersten Verfahrens eingesetzt. Bei diesem Verfahren kann eine Anzahl von Messung gemacht worden sein, die alle frequenzabhängig sind. Diese Messungen werden so zusammen gruppiert, daß sie alle so bald wie möglich hintereinander durchgeführt werden, und eine einzige Leitungsfrequenzmessung wird am Anfang der Meßsequenz gemacht, und die gleiche eingestellte Frequenz wird als die ideale Frequenz zum Erzeugen der beiden idealen Wellen für jede DFT-Messung verwendet.

**[0040]** Vor Schritt **101** wird eine Instrumentenanfrage vom Mikrocontroller **16** an die Meß-IC-Schaltung **14** gemacht, um die tatsächliche Leitungsfrequenz zu bestimmen. Dann erhält bei Schritt **101** die Meß-IC-Schaltung **14** eine kompensierte Leitungsfrequenzanfrage vom Mikrocontroller **16** zusammen mit einer Anzahl von Leitungszyklen  $X$ , die in der Meßprobe verwendet werden sollen. Bei Schritt **105** wird ein Referenzsignal (d.h. die Referenzwelle) abgetastet. Bei Schritt **109** wird die Referenzwelle daraufhin überprüft, ob sie bei einem Nullübergang ist. Wenn sie das nicht ist, wird bei Schritt **105** eine weitere Probe der Referenzwelle geholt.

**[0041]** Wenn bei Schritt **109** ein positiver Nullübergang der Referenzwelle festgestellt wird, werden bei Schritt **113** die idealen Wellen synchronisiert und initialisiert. Ein Zyklus-Rückwärts-Zähler wird bei Schritt **117** auf die Anzahl von Leitungszyklen gesetzt, die abgetastet werden sollen. Summierungsakkumulatoren 1 und 2 (ein „In-Phase“-Summierungsakkumulator (in gleicher Phase) bzw. ein (um 90 Grad phasenverschobener) „Quadratur“-Summierungsakkumulator) und die Abtastungszählung werden bei Schritt **121** initialisiert (auf null gesetzt). Eine Abtastung der Eingangswelle wird bei Schritt **125** eingeholt. Bei Schritt **129** wird die Eingangswelle mit der idealen In-Phase-Welle multipliziert, und das Produkt wird zum In-Phase-Summierungsakkumulator addiert. Die Eingangswelle wird bei Schritt **133** mit der idealen Quadratur-Welle multipliziert, und das Produkt wird zum Quadratur-Summierungsakkumulator addiert.

**[0042]** Bei Schritt **137** wird die Abtastungszählung inkrementiert, und Schritt **141** tastet die Referenzwelle ab, um festzustellen, ob ein positiver Nullübergang stattgefunden hat. Wenn die Referenzwelle nicht an einem positiven Nullübergang ist, wird eine weitere Abtastung der Eingangswelle vorgenommen und bei Schritt **125** die Verarbeitung fortgesetzt. Wenn die Referenzwelle bei Schritt **141** an einem positiven Nullübergang ist, wird bei Schritt **145** der Zyklus-Rückwärts-Zähler dekrementiert. Bei Schritt **149** wird der Wert des Zyklus-Rückwärts-Zählers überprüft. Wenn der Wert nicht null ist, wird eine weitere Abtastung der Eingangswelle eingeholt, und die Verarbeitung wird bei Schritt **125** fortgesetzt. Wenn bei Schritt **149** der Wert des Zyklus-Rückwärts-Zählers null ist, werden bei Schritt **153** der In-Phase-Wert und der Quadratur-Wert bestimmt. Der In-Phase-Wert ist gleich dem Wert des In-Phase-Summierungsakkumulators dividiert durch die Abtastungsmessung, und der Quadratur-Wert ist gleich dem Wert des Quadratur-Summierungsakkumulators dividiert durch die Abtastungsmessung.

**[0043]** Die resultierenden In-Phase- und Quadratur-(Durchschnitts-)Werte sind proportional zu den In-Phase- und Quadratur-Komponenten des idealen Frequenzsignals innerhalb der Eingangswelle. Der Betrag der resultierenden In-Phase- und Quadratur-(Durchschnitts-)Werte wird bei Schritt **161** bestimmt, indem die Quadratwurzel der Summe der Quadrate der In-Phase- und der Quadratur-Werte gezogen wird. Der Betrag ist gleich dem Produkt des Effektivwerts des Idealfrequenzsignals innerhalb der Eingangswelle und des Effektivwerts einer der beiden idealen Wellen. (Es wird angenommen, daß die Effektivwerte der beiden idealen Wellen die gleichen sind. Typischerweise ist der Spitzenwert der idealen Welle 1, was zu einem Effektivwert von  $(1/\sqrt{2})$  führt.) Durch Dividieren des resultierenden Betrags durch den Effektivwert einer der idealen Wellen wird also dann die Stärke des Signals der idealen Frequenz innerhalb der Eingangswelle bestimmt.

**[0044]** Bei Schritt **165** wird durch Verwendung der In-Phase- und Quadratur-Ausdrücke der Winkel des Signals der idealen Frequenz innerhalb der Eingangswelle in bezug auf die idealen Eingangssignale bestimmt.

Der resultierende Phasenwinkel wird bestimmt durch:

<u>Vorzeichen des In-Phase-Werts</u>	<u>Vorzeichen des Quadratur-Werts</u>	<u>Winkelberechnung (in Grad)</u>
+	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur/in-Phase}) + 0^\circ$
-	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur/in-Phase}) + 180^\circ$
-	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur/in-Phase}) + 180^\circ$
+	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur/in-Phase}) + 360^\circ$

**[0045]** Auch wenn die In-Phase- und Quadratur-Ausdrücke von den Effektivwerten der beiden idealen Wellen abhängig sind, müssen die Effektivwerte der beiden idealen Wellen nicht wie bei der Signalstärkenbestimmung entfernt werden. Da sie sowohl im In-Phase- als auch im Quadratur-Ausdruck identische Werte haben und die Arctan-Funktion am Quotienten der Quadratur- und In-Phase- Werte angewendet wird, heben sich die Effektivwerte der beiden idealen Wellenformen gegenseitig auf.

**[0046]** Zur Bestimmung des Spannungs-Spannungs-Phasenwinkels der Grund-Leitungsfrequenz ist die Zählung von Abtastungen weniger komplex, doch die Verwendung der DFT für diese Anwendung ermöglicht die Verwendung einer gemeinsamen Funktion zu vielen verschiedenen Zwecken. Zusätzlich zur Erfassung des Nenn-Phasenwinkels erlaubt diese Funktionsweise auch die Erfassung individueller harmonischer Werte höherer Frequenzen. Die Verfügbarkeit dieser Funktionsweise zusätzlich zur Fähigkeit, Effektivwerte zu berechnen, ermöglicht eine Berechnung von Werten der insgesamt auftretenden Verzerrung durch Harmonische.

**[0047]** Die Erfindung gleicht daher frequenzabhängige Messungen aufgrund von Variationen der Leitungsfrequenz durch Erfassen einer Leitungsfrequenz vor der Messung eines Frequenzabweichungswerts aus. Außerdem wird durch Verändern der idealen Frequenz der beiden zu In-Phase- und Quadratur-Messungen verwendeten idealen Wellen eine Einstellung vorgenommen.

**[0048]** Außerdem wird die vorhandene Leitungsfrequenz entweder durch Frequenzmessungen unmittelbar vor einer Messung oder in fortwährender Wiederholung und unter Verwendung des letzten erfaßten Werts als der vorhandenen Leitungsfrequenz bestimmt.

**[0049]** Auch wenn die Erfindung hier anhand bestimmter spezifischer Ausführungsformen beschrieben wurde, soll sie doch nicht auf die gezeigten Einzelheiten beschränkt sein. Es können vielmehr im Detail vielfältige Modifikationen vorgenommen werden, die alle im Umfang und im Bereich von Äquivalenten der Ansprüche und ohne Abweichung von der Erfindung vorgenommen werden können.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen frequenzabhängiger elektrischer Parameter durch eine Energie-Messvorrichtung in einem elektrischen System, das eine eine variierende Leitungs-Frequenz aufweisende elektrische Energie liefert, mit den folgenden Schritten:

– Messen der Leitungs-Frequenz,

(109) Auswählen einer Referenzwelle mit einem positiven Nullübergang,

(113) Synchronisieren zweier idealer Wellen mit der Referenzwelle, wobei die zwei idealen Wellen jeweils eine Nenn-Frequenz aufweisen,

– Empfangen einer Eingangssignalwelle und

(161) Bestimmen einer Stärke eines Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle, wobei die beiden idealen Wellen von der Frequenz abhängen und ungefähr 90 Grad zueinander phasenverschoben sind, wobei eine ideale Welle eine In-Phase-Komponente und die andere ideale Welle eine Quadratur-Komponente repräsentiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Messens der Leitungs-Frequenz die folgenden Schritte aufweist:

– Bestimmen eines Zeitintervalls zwischen mehreren Abtastungen einer Signalwelle und

(137) Zählen einer Anzahl von Abtastungen zwischen mehreren Nullübergängen der Signalwelle.

3. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit dem Schritt (165) des Bestimmens eines Winkels des Signals der

Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle im Verhältnis zur Referenzwelle.

4. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit den folgenden Schritten:

(129) Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen In-Phase-Wellenform zum Erzeugen eines In-Phase-Produkts für jede Abtastung von mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus über mindestens einen Leitungszyklus,

Addieren des In-Phase-Produkts für jede der Abtastungen zu einem In-Phase-Summierungs-Akkumulator zum Erzeugen eines In-Phase-Summenwerts,

(133) Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen Quadratur-Welle zum Erzeugen eines Quadratur-Produkts für jede Abtastung der mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus für die mehreren Leitungszyklen und

Addieren des Quadratur-Produkts für jede der Abtastungen zu einem Quadratur-Summierungsakkumulator zum Erzeugen eines Quadratur-Summierungswerts.

5. Verfahren nach Anspruch 4, weiter mit dem Schritt des Bestimmens einer In-Phase-Größe und einer Quadratur-Größe.

6. Verfahren nach Anspruch 5, weiter mit dem Schritt des Zählens einer Anzahl von Abtastungen bei den mehreren Leitungszyklen zum Bestimmen einer Abtastungszählung, wobei:

(153) In-Phase-Größe = In-Phase-Summierungswert/Abtastungszählung und Quadratur-Größe = Quadratur-Summierungswert/Abtastungszählung.

7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Stärke und der Winkel des Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle auf die In-Phase-Größe und die Quadratur-Größe ansprechen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, weiter mit dem Schritt des Bestimmens der Stärke des Signals der Nenn-Frequenz durch eine Quadratwurzel der Summe der Quadrate der In-Phase-Größe und der Quadratur-Größe, multipliziert mit einem Skalierungsfaktor, der vom Effektivwert einer der idealen Wellen abhängt.

9. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem in dem Schritt des Bestimmens des Winkels der Winkel nach der folgenden Tabelle bestimmt wird:

Vorzeichen der In-Phase-Größe	Vorzeichen der Quadratur-Größe	Winkelberechnung (in Grad)
+	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 0^\circ$
-	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
-	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
+	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 360^\circ$

10. Verfahren zum Messen frequenzabhängiger elektrischer Parameter durch eine Energie-Messvorrichtung in einem elektrischen System, das eine eine variierende Leitungs-Frequenz aufweisende elektrische Energie liefert, mit den folgenden Schritten:

(109) Auswählen einer Referenzwelle mit einem positiven Nullübergang,

(113) Synchronisieren zweier idealer Wellen mit der Referenzwelle, wobei die zwei idealen Wellen jeweils eine Nenn-Frequenz aufweisen,

– Empfangen einer Eingangssignalwelle und

(161) Bestimmen einer Stärke eines Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle, wobei die beiden idealen Wellen ungefähr 90 Grad zueinander phasenverschoben sind, wobei eine ideale Welle eine In-Phase-Komponente und die andere ideale Welle eine Quadratur-Komponente repräsentiert.

11. Verfahren nach Anspruch 10, weiter mit dem Schritt (165) des Bestimmens eines Winkels des Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle im Verhältnis zur Referenzwelle.

12. Verfahren nach Anspruch 10, weiter mit den folgenden Schritten:

(129) Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen In-Phase-Wellenform zum Erzeugen eines In-Phase-Produkts für jede Abtastung von mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus über mindestens einen Leitungszyklus,

Addieren des In-Phase-Produkts für jede der Abtastungen zu einem In-Phase-Summierungs-Akkumulator zum Erzeugen eines In-Phase-Summenwerts,

(133) Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen Quadratur-Welle zum Erzeugen eines Quadratur-Produkts für jede Abtastung der mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus für die mehreren Leitungszyklen und

Addieren des Quadratur-Produkts für jede der Abtastungen zu einem Quadratur-Summierungsakkumulator zum Erzeugen eines Quadratur-Summierungswerts.

13. Verfahren nach Anspruch 12, weiter mit dem Schritt des Bestimmens einer In-Phase-Größe und einer Quadratur-Größe.

14. Verfahren nach Anspruch 13, weiter mit dem Schritt des Zählens einer Anzahl von Abtastungen bei den mehreren Leitungszyklen zum Bestimmen einer Abtastungszählung, wobei:

(153) In-Phase-Größe = In-Phase-Summierungswert/Abtastungszählung und Quadratur-Größe = Quadratur-Summierungswert/Abtastungszählung.

15. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Stärke und der Winkel des Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle auf die In-Phase-Größe und die Quadratur-Größe ansprechen.

16. Verfahren nach Anspruch 15, weiter mit dem Schritt des Bestimmens der Stärke des Signals der Nenn-Frequenz durch eine Quadratwurzel der Summe der Quadrate der In-Phase-Größe und der Quadratur-Größe, multipliziert mit einem Skalierungsfaktor, der vom Effektivwert einer der idealen Wellen abhängt.

17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem in dem Schritt des Bestimmens des Winkels der Winkel nach der folgenden Tabelle bestimmt wird:

Vorzeichen der In-Phase-Größe	Vorzeichen der Quadratur-Größe	Winkelberechnung (in Grad)
+	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 0^\circ$
-	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
-	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
+	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 360^\circ$

18. System zum Messen frequenzabhängiger elektrischer Parameter durch eine Energiemessvorrichtung in einem elektrischen System, das eine eine variierende Leitungs-Frequenz aufweisende elektrische Energie liefert, mit:

- einer Einrichtung (14) zum Auswählen einer Referenzwelle mit einem positiven Nullübergang,
  - einer Einrichtung (14) zum Synchronisieren zweier idealer Wellen mit der Referenzwelle, wobei die beiden idealen Wellen jeweils eine Nenn-Frequenz haben,
  - einer Einrichtung (14) zum Empfangen einer Eingangssignalwelle und
  - einer Einrichtung (14) zum Bestimmen einer Stärke eines Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangswelle,
- wobei die beiden idealen Wellen ungefähr 90 Grad zueinander phasenverschoben sind, wobei eine ideale Welle eine In-Phase-Komponente und die andere ideale Welle eine Quadratur-Komponente repräsentiert.

19. System nach Anspruch 18, weiter mit einer Einrichtung (16) zum Bestimmen eines Winkels des Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle im Verhältnis zur Referenzwelle.

20. System nach Anspruch 18, weiter mit:

- einer Einrichtung (14) zum Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen In-Phase-Welle zum Erzeugen eines In-Phase-Produkts für jede Abtastung von mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus über mindestens einen Leitungszyklus,
- einer Einrichtung (14) zum Addieren des In-Phase-Produkts für jede der Abtastungen zu einem In-Phase-Summierungsakkumulator zum Erzeugen eines In-Phase-Summierungswerts,
- einer Einrichtung (14) zum Multiplizieren der Eingangssignalwelle mit der idealen Quadratur-Welle zum Erzeugen eines Quadratur-Produkts für jede Abtastung der mehreren Abtastungen in einem Leitungszyklus über die mehreren Leitungszyklen und

– einer Einrichtung (14) zum Addieren des Quadratur-Produkts für jede der Abtastungen zu einem Quadratur-Summierungsakkumulator zum Erzeugen eines Quadratur-Summierungswerts.

21. System nach Anspruch 20, weiter mit einer Einrichtung (14) zum Bestimmen einer In-Phase-Größe und einer Quadratur-Größe.

22. System nach Anspruch 21, weiter mit einer Einrichtung (14) zum Zählen einer Anzahl von Abtastungen in den mehreren Leitungszyklen zum Bestimmen einer Abtastungszählung, wobei:  
In-Phase-Größe = In-Phase-Summierungswert/Abtastzählung und Quadratur-Größe = Quadratur-Summierungswert/Abtastzählung.

23. System nach Anspruch 21, bei dem die Stärke und der Winkel des Signals der Nenn-Frequenz innerhalb der Eingangssignalwelle auf die In-Phase-Größe und die Quadratur-Größe ansprechen.

24. System nach Anspruch 23, weiter mit einer Einrichtung (16) zum Bestimmen der Stärke des Signals der Nenn-Frequenz durch eine Quadratwurzel der Summe der Quadrate der In-Phase- und der Quadratur-Größe, multipliziert mit einem Skalierungsfaktor, der vom Effektivwert einer der idealen Wellen abhängt.

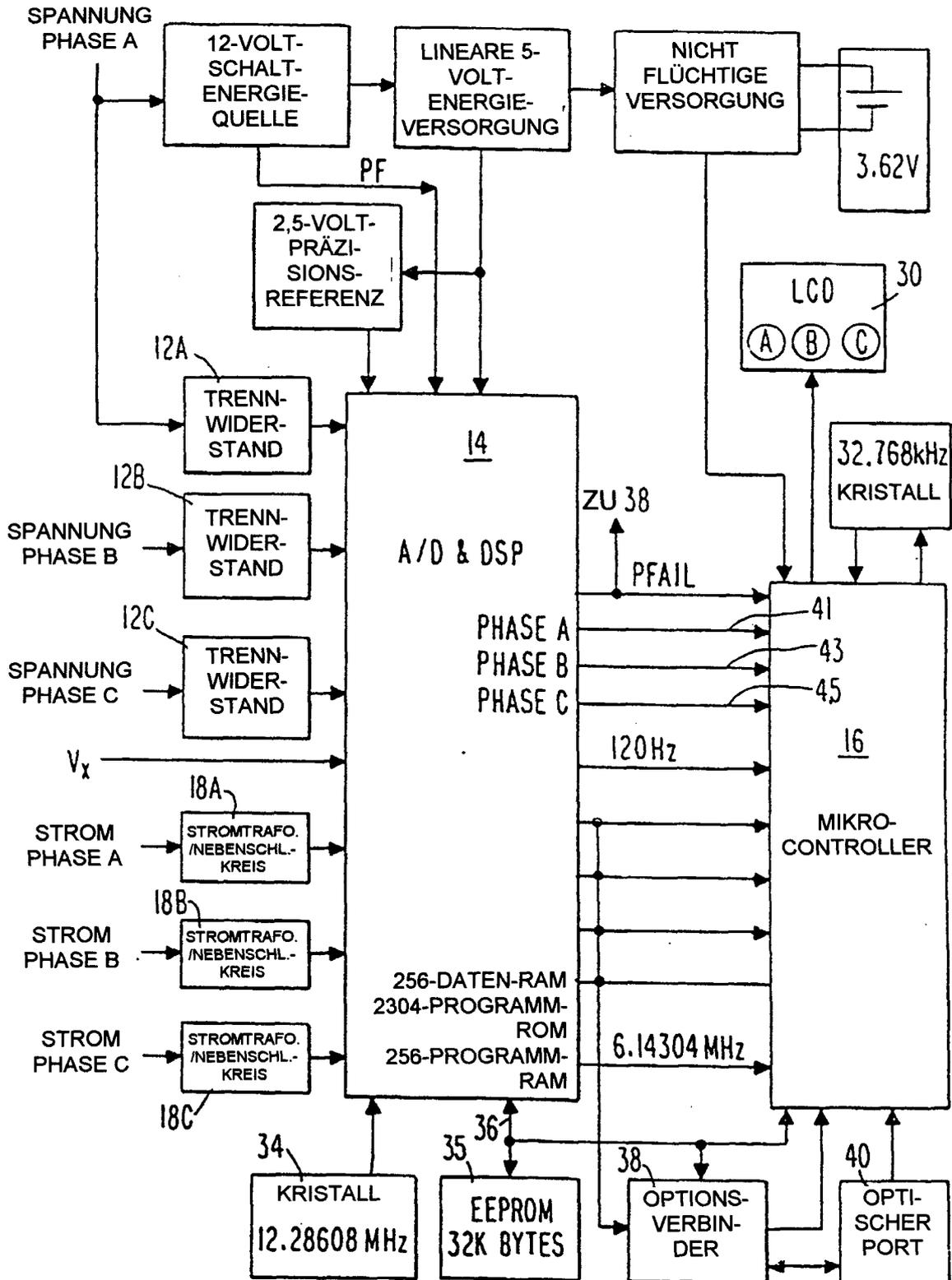
25. System nach Anspruch 23, bei dem die Einrichtung (16) zum Bestimmen des Winkels zur Bestimmung des Winkels nach der folgenden Tabelle ausgelegt ist:

Vorzeichen der In-Phase-Größe	Vorzeichen der Quadratur-Größe	Winkelberechnung (in Grad)
+	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 0^\circ$
-	+	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
-	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 180^\circ$
+	-	$\text{Arctan}(\text{Quadratur}/\text{In-Phase}) + 360^\circ$ .

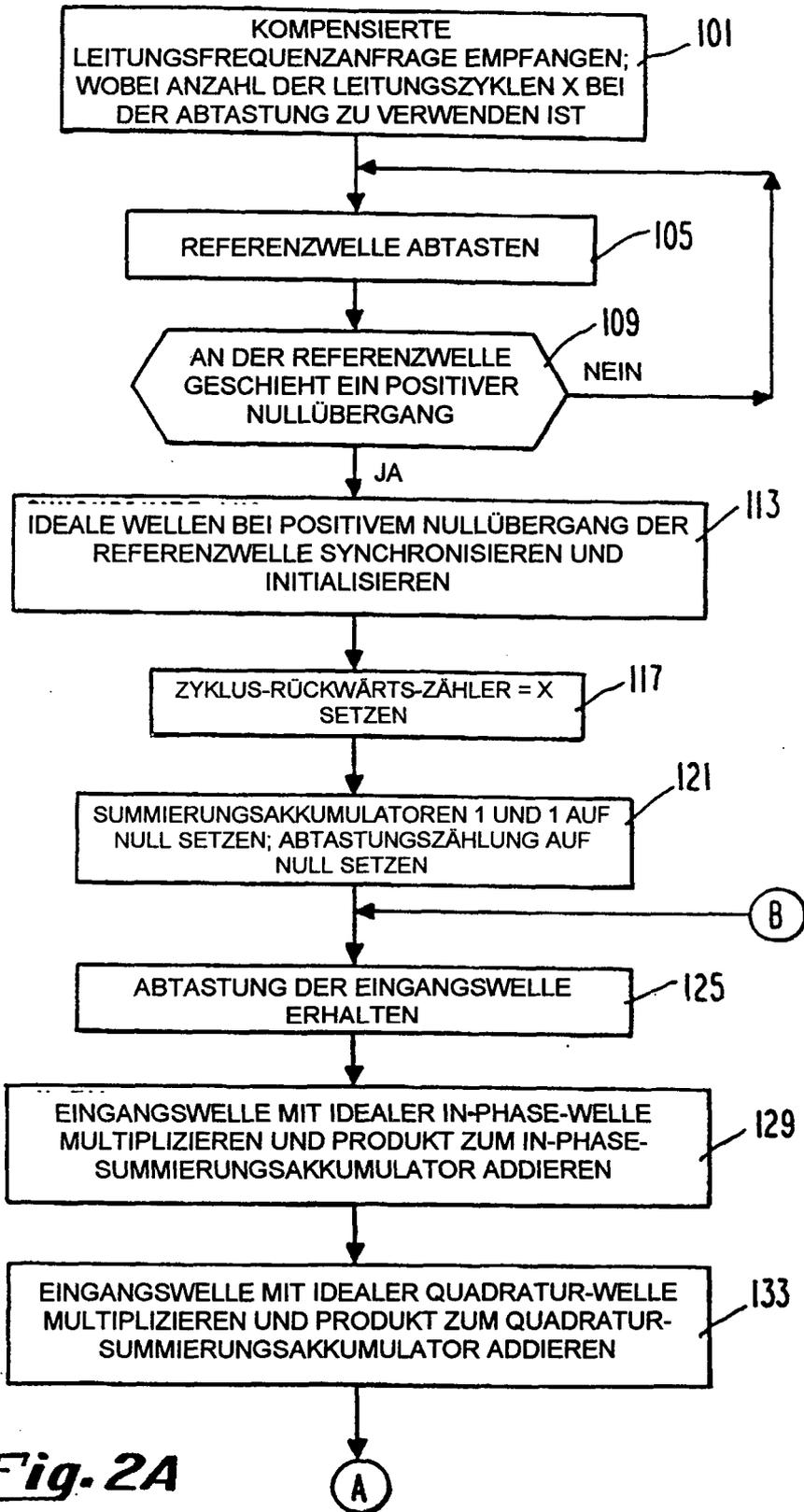
26. System nach Anspruch 18, bei dem die Einrichtung (14) zum Messen der Frequenz eine Einrichtung zum Bestimmen eines Zeitintervalls zwischen mehreren Abtastungen einer Signalwelle und eine Einrichtung zum Zählen einer Anzahl von Abtastungen zwischen mehreren Nullübergängen der Signalwelle aufweist.

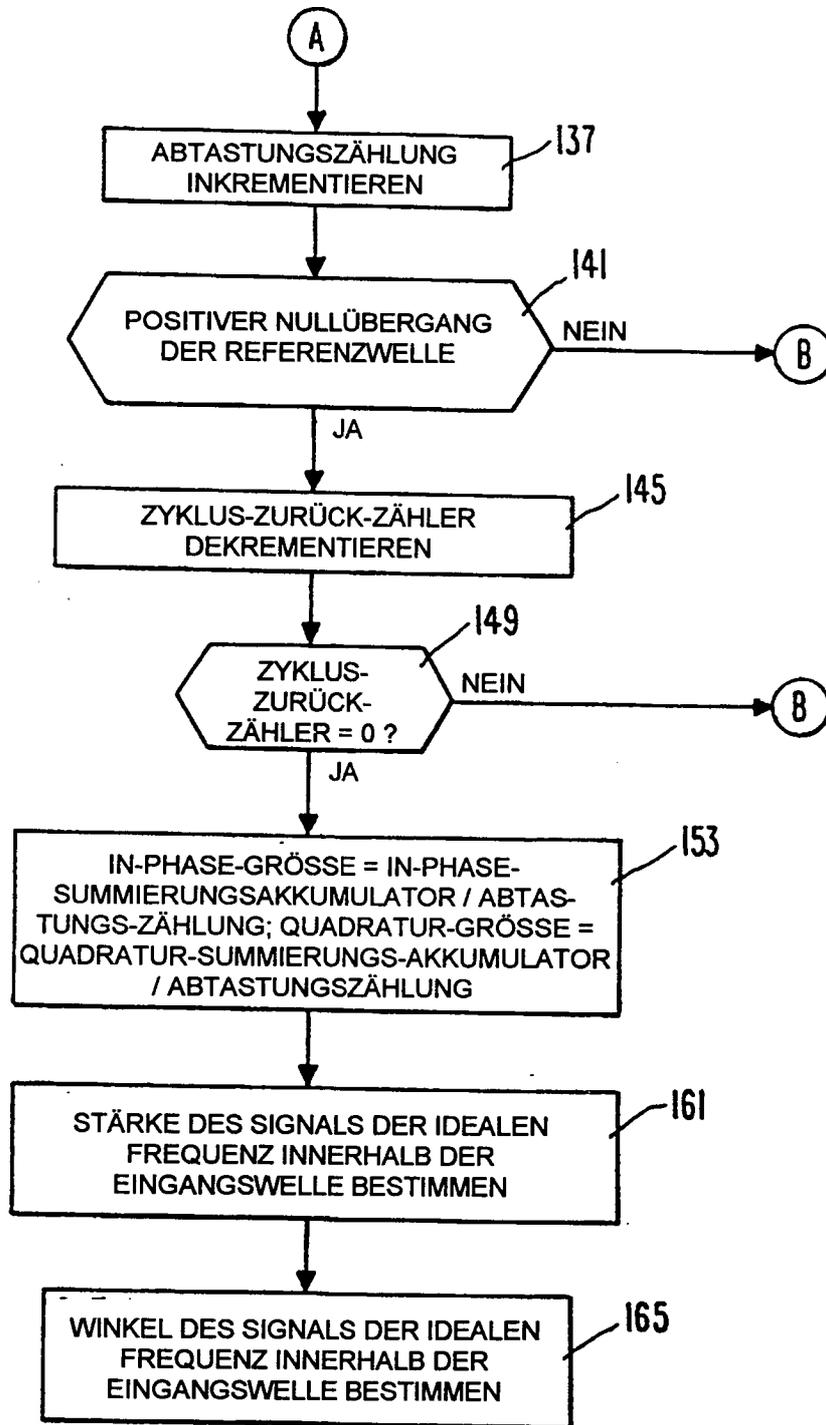
Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**





***Fig. 2B***