

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
31. August 2017 (31.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/144165 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 19/25 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/000235
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. Februar 2017 (17.02.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 002 267.1
26. Februar 2016 (26.02.2016) DE
- (72) Erfinder; und
(71) Anmelder : **BUMILLER, GERD** [DE/DE];
Kirchhellener Ring 102, 46244 Bottrop (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

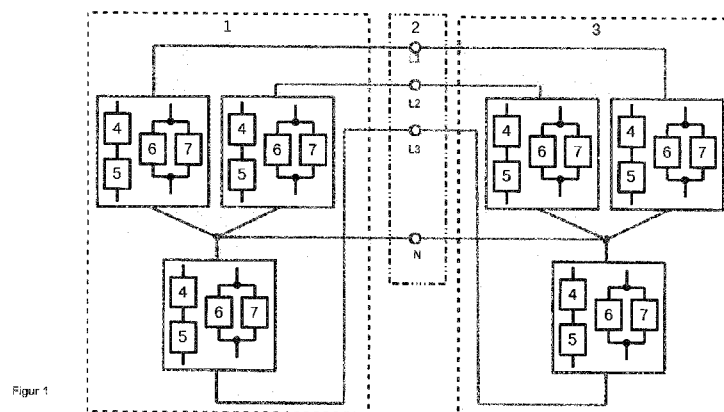
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ARRANGEMENT FOR MEASURING THE ELECTRICAL PROPERTIES, AT THE ACCESS POINT OF AN ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM, OF GENERATORS, LOADS OR SUBNETWORKS CONNECTED THERETO

(54) Bezeichnung : ANORDNUNG ZUR MESSUNG DER ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN AM ANSCHLUSSPUNKT EINES ELEKTRISCHEN ENERGIEVERSORGUNGSNETZES, VON DARAN ANGESCHLOSSENEN ERZEUGERN, VERBRAUCHERN ODER TEILNETZEN



Figur 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and a system for measuring electrical properties of generators, loads or subnetworks at an access point of an electrical power supply system, wherein the generator, load or subnetwork is connected to the access point of the electrical power supply system, having: measurement transducers for capturing currents and voltages on multiple channels, wherein the captured values are made available digitally, an independent clock source for generating a clock for the sampling for all captured channels, wherein the clock for the sampling is independent of the properties to be measured, a sampling conversion device, wherein during operation one channel is used as a reference and the sampling rate conversion matches the frequency and phase of the fundamental of the channel defined as a reference, as a result of which a constant number of samples per fundamental are made available, means for Fourier transformation, wherein the Fourier transformation is applied to a prior windowing, wherein, over the period of the fundamental, periodic signals are unchanged by the windowing and each sample is captured completely by the measurement evaluation, means for computing and evaluating additional values from the combination of the results of the Fourier transformation of multiple channels.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/144165 A1



Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Messung von elektrischen Eigenschaften von Erzeugern, Verbrauchern oder Teilnetzen an einem Anschlusspunkt eines elektrischen Energieversorgungsnetzes, wobei der Erzeuger, Verbraucher oder das Teilnetz an dem Anschlusspunkt des elektrischen Energieversorgungsnetzes angeschlossen ist, aufweisend: Messwandler zum Erfassen von Strömen und Spannungen an mehreren Kanälen, wobei die erfassten Werte digital zur Verfügung gestellt werden, eine unabhängige Taktquelle zur Generierung eines Taktes für die Abtastung für alle erfassten Kanäle, wobei der Takt für die Abtastung von den zu messenden Eigenschaften unabhängig ist, eine Abtastkonvertierungseinrichtung, wobei im Betrieb ein Kanal als Referenz dient und die Abtastkonvertierung an die Frequenz und Phasenlage der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals angepasst ist, wodurch eine konstante Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung zur Verfügung gestellt werden, Mittel zur Fourier-Transformation, wobei die Fourier-Transformation auf eine vorheriger Fensterung angewendet wird, wobei mit der Dauer der Grundschiwingung periodische Signale durch die Fensterung unverändert und jeder Abtastwert vollständig von der Messauswertung erfasst wird, Mittel zur Berechnung und Auswertung zusätzlicher Werte aus der Kombination der Ergebnisse der Fourier-Transformation von mehreren Kanälen.

5 Anordnung zur Messung der elektrischen Eigenschaften am Anschlusspunkt eines
elektrischen Energieversorgungsnetzes, von daran angeschlossenen Erzeugern,
Verbrauchern oder Teilnetzen.

Hintergrund

- 10 Verschiedene am Stromnetz angeschlossene Geräte haben sich gegenseitig beeinflusst und
gestört. Das Komitee SC 205A der CENELEC hat eine Task Force EMI gegründet, welche
die Effekte gesammelt, vorhandene Normen auf Anwendbarkeit überprüft und
Lösungsansätze vorschlägt. Diese Gruppe hat inzwischen 3 Reports [1, 2, 3] vorgelegt,
wobei in [1] bereits festgestellt wurde, dass die bestehenden Normen für den
15 Frequenzbereich 2- 150 kHz weder zur Bestimmung der notwendigen Messgrößen, noch
zum Schutz der gegenseitigen Beeinflussung ausreichen. Außerhalb Europas wird auf Grund
der unterschiedlichen EMV-Regulierung in den einzelnen Regionen dieser Frequenzbereich
auf bis zu 500 kHz erweitert.
- 20 Durch den Einsatz von neuen Technologien in den Netzteilen und Rückspeisung von
Leistung in das Stromnetz zur Effizienzsteigerung der Geräte, wird eine signifikante
Veränderung des bisherigen Netzverhaltens und gegenseitigen Störung erwartet. Das
hieraus entstehende Problem wurde von den Verbänden gemeinsam der Europäischen
Kommission [3] angezeigt. Hinzukommt, dass durch vermehrten Einsatz regenerativer
25 Energie die rotierenden Massen zur Energieerzeugung abnehmen. Hierdurch steigt der
Bedarf, durch eine geeignete Messtechnik die relevanten Vorgänge sicht- und bewertbar zu
machen. Messsysteme, welche sich diesem Thema annehmen sind bekannt aus, DE 10
2004 022 719 B4, DE 10 2010 018 996 A1, DE 20 2014 009 161 U1, EP 2 690 451 A1, EP
2 957 918 A1, US 2011 / 008 0197 A1, US 2013 / 0154 878 A1, US 5,899,960 und US
30 2014 / 032 143 A1.

Die Qualität des Stromnetzes wird heute meist nur bis 2 kHz entsprechend der Normen
bewertet. Oberhalb dieser Frequenz können mit Standardmessgeräten wie Oszilloskop und
Spektrumanalysatoren Ströme und Spannungen gemessen und separat ausgewertet

werden. Spektrumanalysatoren liefern nur ein Leistungsdichtespektrum, wodurch die jeweilige Phaseninformation des Spektrums verloren geht, weshalb zur Berechnung der Leistungen und Impedanzen keine Phaseninformation herangezogen werden kann. Auf Basis der aufgezeichneten Signale von Oszilloskopen kann mit der Anwendung eine Fast Fourier Transformation ein Spektrum mit Phaseninformation erzeugt werden. Da die aufgezeichneten Signale im Allgemeinen nicht periodisch mit der Länge des Auswertefensters sind entsteht ein Leakage-Effekt, wodurch Signalanteile auf Frequenzen gemessen werden, auf denen sie im Originalsignal nicht vorhanden sind. Gerade durch die hohen Dynamikunterschiede der Signale werden hierdurch relevante Informationen vernichtet. Mit der Anwendung von Fenstern (z.B: Hanning-, Kaiser-Fenster) kann dieser Effekt reduziert werden. Durch die Anwendung des Fensters sind die Signalanteile nicht mehr Leistungsecht. D.h. für den gleichen Impuls am Eingang werden abhängig von der Lage im Auswertefenster unterschiedliche Leistungen ausgewertet und können somit zu einer echten Bewertung der Leistungen nicht herangezogen werden. Des Weiteren setzen einzelne Messverfahren eine Netzfrequenz von 50 Hz voraus, was meist gegeben ist, welche dann aber bei kritischen Netzzuständen mit Netzfrequenzen von $< 48,5$ Hz nicht mehr korrekt angewendet werden können oder große Messfehler erzeugen. Somit gibt es zu individuellen Fragestellungen einzelne Messverfahren, welche aber meist nicht für alle Situationen geeignet oder Fragestellungen ausreichend sind.

20

Zusätzlich haben Untersuchungen der Impedanz und Störungen eine Zeitvarianz aufgezeigt [3]. Beobachtungen zeigen eine Zyklstationariät der Vorgänge mit der Netzfrequenz. Zeitbereichssignale und Spektrogramme können diese darstellen, nicht aber stochastisch Auswerten. Derartige Auswertungen werden dann teilweise offline unter der Annahme einer festen Netzfrequenz durchgeführt.

25

EMV-Messungen im Labor werden nach Vorschrift an einer LISN (Line Impedance Simulation Network) durchgeführt. Messungen [3] haben gezeigt, dass sich bereits heute das Stromnetz so stark verändert hat, dass sie nicht mehr als Abbildung der Realität dienen kann. Deshalb können alle diese Messungen, welche für die CE-Zertifizierung eines Gerätes notwendig sind, nicht für die Vorhersage des Verhaltens in der Realität verwendet werden. Realitätsnahe Messungen sind derzeit weder genormt, noch existiert ein ausreichendes Verständnis um umfassend neue Modelle zu entwickeln. Dies kann nur durch eine Vielzahl von Messungen von Netzzugangspunkten und Geräten mit geeigneten Messverfahren und -geräten zur vollständigen Ermittlung aller Einflussfaktoren erfolgen.

35

Es ist Aufgabe der Erfindung einen oder mehrere Nachteile aus dem Stand der Technik zu lösen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein System zur Messung von elektrischen Eigenschaften von Erzeugern, Verbrauchern oder Teilnetzen an einem Anschlusspunkt eines elektrischen Energieversorgungsnetzes, wobei der Erzeuger, Verbraucher oder das Teilnetz an dem Anschlusspunkt des elektrischen Energieversorgungsnetzes angeschlossen ist, , aufweisend:

- 10 - Messwandler zum Erfassen von Strömen und Spannungen an mehreren Kanälen , wobei die erfassten Werte digital zur Verfügung gestellt werden,
- eine unabhängige Taktquelle zur Generierung eines Taktes für die Abtastung für alle erfassten Kanäle, wobei der Takt für die Abtastung von den zu messenden Eigenschaften unabhängig ist,
- 15 - eine Abtastkonvertierungseinrichtung, wobei im Betrieb ein Kanal als Referenz dient und die Abtastkonvertierung an die Frequenz und Phasenlage der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals angepasst ist, wodurch eine konstante Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung zur Verfügung gestellt werden,
- 20 - Mittel zur Fourier-Transformation, wobei die Fourier-Transformation auf eine vorheriger Fensterung angewendet wird, wobei mit der Dauer der Grundschiwingung periodische Signale durch die Fensterung unverändert bleiben und jeder Abtastwert vollständig von der Messauswertung erfasst wird.
- Mittel zur Berechnung und Auswertung zusätzlicher Werte aus der Kombination der Ergebnisse der Fourier-Transformation von mehreren Kanälen.

25

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren zur Messung der elektrischen Eigenschaften am Anschlusspunkt eines elektrischen Energieversorgungsnetzes, von daran angeschlossenen Erzeugern, Verbrauchern oder Teilnetzen, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- 30 - erfassen und digitalisieren von Strömen und Spannungen an mehreren Kanälen,
- bereitstellen eines gemeinsamen Taktes für die Abtastung in allen Kanälen, wobei der Takt von den zu messenden Eigenschaften unabhängig ist,

- Verwenden einer sich im Betrieb an die Frequenz und Phasenlage der Grundschiwingung eines als Referenz definierten Kanals anpassende Abtastratenkonvertierung, welche zu einer konstanten Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung führt,
- 5 - anwenden einer Fourier-Transformation mit vorheriger Fensterung, wobei mit der Dauer der Grundschiwingung periodische Signale durch die Fensterung unverändert bleiben, die Trennschärfe für nicht periodische Signale erhöht und jeder Abtastwert vollständig von der Messauswertung erfasst wird.
- 10 - berechnen und auswerten zusätzliche Werte aus der Kombination der Ergebnisse der Fourier-Transformation von mehreren Kanälen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche bzw. der Beschreibung und der zugehörigen Figuren.

15

Kurzdarstellung der Figuren

Fig. 1 zeigt schematisch einen Netzübergang,

Fig. 2 zeigt schematisch ein Meß-System,

- 20 Fig. 3 zeigt schematisch einen Labor-Messaufbau, um ein an das Stromnetz anzuschließenden Prüfling zu charakterisieren,

Fig. 4 zeigt schematisch einen Messaufbau, um einen Anschlusspunkt am Stromnetz zu charakterisieren,

Fig. 5 stellt schematisch die Messauswertung der einzelnen Kanäle dar,

- 25 Fig. 6 stellt schematisch die Netzfrequenz- und Phasenlageregelung dar.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

- 30 Als Anschluss wird der Punkt bezeichnet, an dem ein Gerät oder beliebiges Objekt (Verbraucher oder Erzeuger) oder auch Teilnetz an das Versorgungsnetz angeschlossen ist und für den die die charakteristischen Eigenschaften (Spannungen, Ströme, Leistungen) berechnet werden sollen. Da sich beide Seiten gegenseitig beeinflussen wird hierfür ein

- charakteristisches Ersatzmodell sowohl für das angeschlossene Objekt als auch für das Verhalten des Stromnetzes am Anschluss benötigt. Figur 1 zeigt einen Netzübergang eines 3-phasen Systems mit den Phasen L1, L2, L3 und dem Neutralleiter N. Einphasensysteme mit L und N oder auch Systeme ohne Neutralleiter können als Spezialfall hieraus abgeleitet werden. Als Beispiel für ein Ersatzmodell ist eine von mehreren möglichen Darstellungen angegeben, welche meistens ineinander umgerechnet werden können. Da das Ersatzmodell eine vollständige Beschreibung der Eigenschaften ermöglicht kann es sowohl zur Beschreibung der Eigenschaften des Stromnetzes als auch des angeschlossenen Objektes verwendet werden. Jede Phase wird hier unabhängig von den anderen auf Neutralleiter bzw. dem virtuellen Sternpunkt eines Systems ohne Neutralleiter bezogen. Die Eigenschaften der Phase werden entweder durch eine ideale Spannungsquelle und einem hierzu in Reihe geschalteten Innenwiderstand, oder einer Stromquelle mit parallelgeschalteter Impedanz charakterisiert. Ein rein passives System kann als Spezialfall mit einer Stromquelle von 0 A betrachtet werden. Alle diese Elemente können für verschiedene Frequenzen unterschiedliche Werte annehmen. Prinzipiell sind diese Werte auch von der Zeit abhängig. Meistens wird aber ein zyklstationäres Verhalten angenommen und somit die Werte für die einzelnen Phasenlagen ermittelt. Die verbliebenen Unsicherheiten können mit Kenngrößen der Stochastik abgebildet werden.
- Die Aufgabe des Messsystems ist es somit sowohl an einem Anschluss zum Netz, als auch für ein anzuschließendes Objekt im Labor diese Ersatzmodelle vollständig zu ermitteln. Das Verhalten an einem Anschluss kann dann vorhergesagt werden. Bei ausreichend genauer Beschreibung der Verkabelung können auch Netzmodelle und gegenseitige Beeinflussung von angeschlossenen Objekten berechnet werden. Zusätzlich sollen alle bisher üblichen Messgrößen weiterhin ermittelt werden können.

- Figur 2 zeigt einen typischen Aufbau für ein derartiges Messsystem. Auf der rechten Seite ist das Messobjekt platziert. Dies kann ein anzuschließendes Objekt oder auch das zu vermessende Stromnetz am Anschlusspunkt sein. Hierzu werden die 3 Phasen L1, L2, L3 und der Neutralleiter durch das Messsystem geführt. Die Ströme der einzelnen Phasen und des Neutralleiters werden mit Hilfe von Strommesswandlern (z.B: Strommesszange, induktiver Messwandler, Shunt, ...) in ein Messsignal umgewandelt und einer Messwerterfassung zugeführt. Über einen gemeinsamen Taktgeber synchronisierte Messkanäle wandeln die Messsignale in digitalisierte Messwerte. Eine Korrektur der Eigenschaften der Messwandler kann hier bereits vorgenommen werden. Wird ein Shunt als Stromwandler eingesetzt, muss auf eine galvanische Trennung der Messkanäle geachtet

werden. Diese ist ohne Verlust an Genauigkeit oft erst an einer digitalen Schnittstelle durchführbar und kann zu separaten Messwerterfassungseinheiten, gegebenenfalls sogar mit Teilen der Signalverarbeitung zur Datenreduktion führen. Die Spannungen der einzelnen Phasen gegenüber dem Neutralleiter werden über Spannungsmesswandler erfasst und als

5 Messsignale den Messkanälen der Messwerterfassung zugeführt. Teilweise können die Spannungen auch ohne Messwandler den Messkanälen direkt zugeführt werden. Da der Einfluss der Spannungsmessung auf die Strommessung vernachlässigbar ist wird ein spannungsrichtiges Messverfahren gewählt. Bei gleichzeitiger Messung von verschiedenen Anschlusspunkten im Netz ist eine Zeitsynchronisation der Messsysteme sinnvoll. Hierfür

10 kann unter anderem ein PPS-Signale (pulse per second) einer externen Zeitsynchronisationseinheit auf einem weiteren Messkanal erfasst und ausgewertet werden. Sowohl die Messwandler als auch entsprechende Messwerterfassungsgeräte mit der Möglichkeit die digitalisierten Messwerte in der entsprechenden zeitlichen Auflösung an Rechensystem weiterzureichen können am Markt bezogen werden [4]. Zur Kostenreduktion

15 sind sowohl komplett integrierte Messsystem für dezentrale Erzeuger und leistungsstarke Verbraucher, als auch eine Integration in hochwertige Stromzähler vorstellbar.

Kernstück der Erfindung ist die Kombination der Messwertauswertung der einzelnen Kanäle, Netzfrequenzregelung, sowie die Auswertung kombinierter Signale und deren Bewertung.

20 Die Ergebnisse werden zum Anzeigen und Speichern bereitgestellt.

Figur 3 zeigt den Messaufbau im Labor um ein an das Stromnetz anzuschließendes Objekt, Prüfling genannt, zu charakterisieren. Der Prüfling kann sowohl Verbraucher als auch Erzeuger sein. Ein Objekt kann gleichzeitig auf einer Frequenz ein Verbraucher und auf

25 anderen Frequenzen ein Erzeuger sein. Hierzu wird der Prüfling als Messobjekt an das Messsystem angeschlossen, welches die Ergebnisse der Untersuchung zur Anzeige und Speicherung bereitstellt. Das Stromnetz liefert die Versorgungsspannungen, bzw. dient als Lastsenke für einen Erzeuger auf der Netzfrequenz. Die Aufgabe des Netzfilters ist es, Störungen aus dem Stromnetz von dem Messsystem fern zu halten. Die Ausgangsimpedanz

30 des Netzfilters ist für höhere Frequenzen möglichst hochohmig auszubilden. Für EMV-Messungen nach den gültigen Normen ist die Messung an einer in den Normen spezifiziertes Netzimpedanzsimulationsnetzwerk (line impedance simulation network, LISN) vorgeschrieben. Der Einfluss der Stromwandler im Messsystem ist in dieser Einheit zu kompensieren, so dass der Prüfling die entsprechende Netzimpedanz sieht.

35

Um die einzelnen Komponenten des Ersatzmodells bestimmen zu können sind mehrere Messungen notwendig. Hierbei können die Komponenten nicht direkt bestimmt werden, sondern müssen aus den Messungen zusammen mit Daten aus der Kalibrierung des Messsystems zur Kompensation von parasitären Effekten von Bauteilen und Kabeln des Aufbaus, zurückgerechnet werden. Für die Kalibrierung werden anstelle des Prüflings Normale angeschlossen und damit das Messsystem justiert bzw. die Korrekturterme für die nachfolgende Messung bestimmt. Für eine Messung zur vorwiegenden Bestimmung der idealen Spannungsquelle wird das Messsystem direkt an das möglichst hochohmige Netzfilter angeschlossen. Bei der nächsten Messung zur vorwiegenden Bestimmung des Innenwiderstands der Spannungsquelle wird an der Stelle der LISN ein Kurzschlussmodul mit Netzfrequenzblockern geschaltet. Ideal wäre ein echter Kurzschluss, der aber wegen den entstehenden Strömen nicht realisierbar ist. Die Netzfrequenzblocker haben die Aufgabe die Grundschiwingung auf 50 Hz bzw. 60 Hz zu blockieren und hier nur einen begrenzten Strom zuzulassen, für alle anderen Frequenzen aber möglichst leitend zu sein. Eine einfache Implementierung eines Netzfrequenzblockers kann mit einer Kapazität erfolgen, aber auch höherwertige Lösungen mit Filter höherer Ordnung sind möglich. In einer weiteren Messung soll vorwiegend die parallel zur Stromquelle liegende Impedanz im Ersatzmodell bestimmt werden. Hierzu werden auf den einzelnen Phasen Testsignale vor dem Messsystem eingespeist um die Reaktion des Prüflings auf die Signale mit dem Messsystem zu erfassen. Als Testsignal kann z.B. ein Rauschen verwendet werden, welches alle Frequenzen enthält oder Chirp-Signale, welche nacheinander auf allen Frequenzen monofrequente Schwingungen erzeugt. Zum Schutz der Testsignalgeneratoren sind wieder Netzfrequenzblocker einzusetzen.

Figur 4 zeigt den Messaufbau um einen Anschlusspunkt am Stromnetz zu charakterisieren. Auch in diesem Fall wird eine Justierung des Messsystems und Berechnung von Korrekturwerten anhand von Normalen erfolgen. Hierbei können parasitäre Effekte der Zuleitungen zu dem Anschlusspunkt bereits eliminiert werden. Das Messobjekt ist das Stromnetz, an welches das Messsystem angeschlossen wird. Auch hier sind wieder mehrere Messungen notwendig. Zum einen wird mit offenem Ende gemessen, um die Spannungsquellen der Ersatzmodelle bestimmen zu können. Die nächste Messung erfolgt mit einem Kurzschluss, welcher wieder die Netzfrequenzblocker enthält um den Innenwiderstand der Ersatzmodelle zu bestimmen. Bei der weiteren Messung werden wieder Testsignale aus einer Signalquelle eingespeist, wobei die Signalgeneratoren durch die Netzfrequenzblocker geschützt werden. Alternativ zu Messung mit offenem Ende und Kurzschluss können auch Messungen mit definierten Widerständen als Leitungsabschlüsse

verwendet werden. Kurzschluss und offenes Ende werden nur als eine spezielle Ausprägung von möglichen Leitungsabschlüssen betrachtet.

5 Zur Verifikation der Modelle, kann dann auch ein konkreter Prüfling an das Messsystem, welches wiederum an einem konkreten Netzzugangspunkt hängt, angeschlossen werden. Hierbei ist dann zu berücksichtigen, dass die Stromwandler Einfluss auf die vom Prüfling sichtbare Impedanz des Stromnetzes haben. Hier kann dann auch eine reine Spannungsmessung ohne Stromwandler sinnvoll sein.

10 Von der Messwertaufzeichnung liegen nun von mehreren Kanäle synchron abgetasteten Strom- und Spannungswerten vor. Hierzu ist der Abtasttakt aus einer einzigen Taktquelle mit hoher Güte abzuleiten. Die Abtastfrequenz ist starr und wird nicht der Netzfrequenz angepasst. Sind die einzelnen Messkanäle in einer Messwertauswertung integriert (z.B. [4]) so ist dies automatisch gegeben. Andernfalls ist es in der Messtechnik üblich, Messgeräte mit einem
15 externen Referenztakt zu versorgen. Es wird ein im Vergleich zum Messbereich relative hohe Abtastfrequenz gewählt um Beeinflussungen des Messsignals durch vor einer Abtastung zum Erhalt der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) immer notwendigen Anti-Alias Filter minimal zu halten. Auch muss sichergestellt werden, dass die Frequenzgänge der Filter im Messbereich die Messgenauigkeit nicht unzulässig
20 beeinflussen.

Figur 5 stellt die Messauswertung der einzelnen Kanäle dar. Die Ergebnisse der einzelnen Kanäle werden im Weiteren einzeln oder kombiniert ausgewertet und weiterverarbeitet. Prinzipiell werden hier alle Strom- und Spannungskanäle gleich behandelt, wobei ein Kanal,
25 meistens Spannung der Phase L1, als Referenz für die Netzfrequenz- und Phasenlagenregelung verwendet wird und die Stellgröße aus diesem Regler der Messwertauswertung der anderen Kanälen zur Verfügung gestellt wird. Somit kann auch weiterhin sichergestellt werden, dass die Abtastwerte zueinander synchron sind.

30 Die Grundschiwingung und die ersten harmonischen Oberschwingungen können Signalstärken enthalten, welche um ein vielfaches höher sind als die zu messenden Signalstärken auf höheren Frequenzen. Das Messsystem muss somit in einer Messung einen sehr hohen Dynamikbereich zwischen einzelnen Frequenzen abdecken können. Für die spektrale Auswertung soll ein auf der diskreten Fourier-Transformation (DFT)
35 beziehungsweise Fast Fourier Transformation (FFT) basierendes Verfahren der Wavelet-

Analyse eingesetzt werden, wobei die reine Anwendung der DFT als Spezialfall mit Rechteckfenster enthalten ist. Die mathematische Definition der DFT setzt ein periodisches Signal mit einer Periodendauer gleich dem Auswertefensters voraus. Wird die DFT nun auf Signale angewendet, welche nicht mit der Länge des Auswertefensters periodisch sind, so
5 entsteht der Leakage-Effekt und es werden Signalanteile in Frequenzen ausgewertet, wo im Originalsignal keine Signalanteile vorhanden sind und zu falschen Messergebnissen führen.

Da z.B. thermisches Rauschen zu keiner Periodendauer periodisch ist, gibt es immer Signale, wo dieser Effekt nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, wobei die später beschriebene Fensterung als Bestandteil der Wavelet-Analyse hier Vorteile bringt. Für die
10 Grundschiwingung und harmonischen Oberschiwingung der Ströme- und Spannungen aus dem Stromnetz kann aber ein Auswertefenster mit der Länge der Periodendauer der Grundschiwingung, bzw. eines beliebigen ganzzahligen Vielfachen, gewählt werden und somit der Leakage-Effekt für diese Signalanteile vermieden werden. Nominal sind diese Frequenzen der Grundschiwingung 50 Hz bzw. 60 Hz. Je nach Lastsituation schwanken aber
15 die Frequenzen. Diese Schwankungen sind in Inselnetzen wesentlich höher als wir es hier in Europa im Verbundnetz unter Normalbedingungen gewöhnt sind. Messgeräte in diesem Bereich werden oft auf Frequenzschwankungen von $\pm 10\%$ und eine Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz von mehreren Hz pro Sekunde ausgelegt. Eine Regelung der Abtastraten in der Messwerterfassung (wie aus US 2011/0080197 A1 bekannt)
20 ist meist nicht vorteilhaft, da dieser Vorgang Einfluss auf die Messgenauigkeit und Auslegung der analogen Komponenten haben kann. Eine Anpassung der Anzahl von Abtastwerten pro Auswertperiode würde zu deutlichen Performanceverlusten der Algorithmen führen (DFT statt FFT) und zu einer dynamischen Veränderung der Anzahl von Frequenzpunkten. Auch würden Flattereffekte durch die zeitliche Quantisierung entstehen, welche nicht vorteilhaft
25 sind und eine genaue Netzfrequenzanalyse erschweren. Dennoch würde auch hierauf ein Großteil der weiteren Arbeitsschritte angewendet werden können.

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass eine feste Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung erzeugt wird. Um die maximale Effizienz der FFT realisieren zu können
30 werden dies $N_{FFT} = 2^k$ sein. Hierfür wird eine Abtastratenkonvertierung eingesetzt, bei welcher das Ratenverhältnis sehr fein quantisiert und dynamisch angepasst werden kann. Bei einer Abtastratenkonvertierung können neue Alias-Effekte entstehen, weshalb vor der Abtastratenkonvertierung entsprechend dem Stand der Technik immer ein geeignetes Filter einzusetzen ist. Eine mögliche Implementierung einer Abtastratenkonvertierung ist ein
35 Interpolator, welcher in der Lage ist zwischen 2 existierenden Abtastwerten neue Abtastwerte zu generieren. Hierzu kann er entweder nur die beiden benachbarten

Abtastwerte (lineare Interpolation) oder mehrere Abtastwerte in der Nähe (spline Interpolation) berücksichtigen. Bei einer ausreichend hohen Abtastrate und einem der Interpolation vorgeschalteten Tiefpass können auch mit der einfach zu implementierenden linearen Interpolation für fast beliebig genau zu wählende Positionen gute Ergebnisse für

5 Abtastratenkonvertierungen um den Faktor 1 bis 2 erzielt werden. Dieser Faktor berechnet sich aus dem Abstandsintervall am Eingang zum Abstandsintervall am Ausgang. Der Abtastratenfaktor kann somit fast beliebig genau in diesem Bereich eingestellt werden und ist proportional zur Stellgröße im Rahmen der Netzfrequenzregelung. Eine weitere

10 Abtastratenreduktion um einen festen Faktor (Ganzzahl, Zweierpotenz bevorzugt) kann in einem oder mehreren Schritten durch Tiefpassfilterung und Unterabtastung erfolgen. Die Filter müssen neben der Unterdrückung der Spiegelfrequenzen auch dafür entworfen sein, dass der Messbereich nicht unzulässig beeinflusst wird.

An dieser Stelle entsteht somit für alle Messkanäle ein mit der Grundschiwingung auf dem

15 Referenzsignal L1 für die Netzfrequenzregelung synchronisiertes Zeitsignal mit genau N_{FFT} Abtastwerten pro Periodendauer der Grundschiwingung. Der Index der Abtastwerte ist somit immer proportional zur Phase der Grundschiwingung auf dem Referenzsignal L1.

Diese Signale aller Ströme und Spannungen wird unter anderem zur weiteren Auswertung im Zeitbereich zur Verfügung gestellt und können typischerweise für jede Phasenlage

20 separat oder in Gruppen nach stochastischen Kenngrößen wie Erwartungswert, Varianz, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, ... analysiert und die Ergebnisse in verschiedenen Darstellungsformen angezeigt und gespeichert werden. Entsprechende Darstellungen über der Zeit sind in Standardmessequipment vorhanden. Bei konstanter Netzfrequenz könnte dies äquivalent sein, oft ist aber die Phasenlage des Referenzsignals mit

25 Standardmessequipment nicht in der gleichen Qualität zu bestimmen und deshalb kommen dann weitere zeitliche Ungenauigkeiten in der Aufzeichnung hinzu. In der hier angewendeten Methode kann hierfür eine Messung mit höherer Qualität realisiert werden. Auch können die Signale auf Einhaltung von Parametern überwacht und Events erzeugt werden, welche eine Speicherung von Daten oder Alarmierung auslösen.

30

Diese Signale werden auch einer FFT basierten Wavelet-Analyse zur Verfügung gestellt. Diese besteht aus einer Fensterung und einer FFT. Das Rechteckfenster schließt als

Spezialfall die direkte Anwendung der FFT ein. Im Gegensatz zu klassischen Fensterfunktion wird verlangt, dass mit der Grundschiwingung periodische Signale mit der Anwendung der

35 Fensterung nicht verändert werden. Dies wird durch die klassischen Fensterfunktionen zur Bekämpfung des Leakage-Effekts (Kaiser, Hanning, ...) nicht erfüllt, weshalb die Ergebnisse

nicht mehr die richtige Energie widerspiegeln und somit zur Messung von Energien nicht geeignet sind. Bei der hier angewendeten Fensterung wird ein Zeitbereich herangezogen, welcher größer ist als das Auswertefenster der FFT. Die einzelnen Abtastwerte werden individuell gewichtet und danach mit dem jeweils ebenfalls gewichteten Abtastwerten einer

5 Periode der Grundschiwingung später addiert. Die einzelnen Gewichte sind so gewählt, dass die Summe der Gewichte für jeden einzelnen Wert im Auswertefenster der FFT gleich 1 ist. Somit hat dies keinen Einfluss auf Signale, welche mit der Grundschiwingung periodisch sind. Konstanten, welche sich auf alle Werte gleichermaßen auswirken, wurden in der Betrachtung vernachlässigt. Fensterfunktionen, welche diese Eigenschaft erfüllen und den Leakage-

10 Effekt für nicht mit der Grundschiwingung periodische Signale reduzieren sind Cos-Roll-Off und Trapezfenster. Bei einem sehr effektiven Cos-Roll-Off Fenster mit $\alpha = 1$ ist das Verfahren identisch mit einer speziellen Art der Wavelet-Analyse.

Bei einer lückenlosen Reihung der Auswertefenster für die FFT ergibt sich für die jeweils

15 betrachteten Abtastwerte eine Überlappung. Für jeden Abtastwert wird sichergestellt, dass die Summe der Anteile, welche durch die Gewichtung auf verschiedenen Auswertefenster der FFT verteilt werden, wieder genau 100 % betragen. Somit ist für jedes beliebige Signal sichergestellt, dass alle Teile zu 100% von der Messung erfasst werden und bei der Integration der Ergebnisse der einzelnen FFTs richtig bewertet werden. Dieses ermöglicht in

20 der weiteren Verarbeitung auch eine Leistungs- und Energiemessung zu Abrechnungszwecken auf der Basis der spektralen Auswertung. Hierfür müssen die die Ergebnisse der Strom- und Spannungskanäle noch in Kombination ausgewertet werden.

Im Abstand von einer Grundschiwingung stehen somit die Ergebnisse der Wavelet-Analyse

25 als ein komplexer Zahlenwert pro Frequenzpunkt für Gleichanteil, Grundschiwingung und harmonische Oberschwingungen der weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Für mit der Grundschiwingung periodische Signale ist dieses Ergebnis identisch mit einer Fourier-Transformation. Leistungen und Impedanzen können für jeden Frequenzpunkt und Phase (L1, L2, L3) aus der Kombination von Strom und Spannung entsprechend der komplexen

30 Wechselstromrechnung bestimmt werden. Für jeden Frequenzpunkt und Phase können somit der Bezug- und Lieferung von Wirk- und Blindleistung angegeben und durch Integration über der Zeit die Energiemengen gesamt oder separiert nach Quadranten gezählt werden.

Die Netzfrequenz- und Phasenlageregelung wird in Figur 6 dargestellt und verwendet als

35 Messgröße den komplexen Zahlenwert für die Grundschiwingung desjenigen Messkanals,

welcher für das Referenzsignal verwendet wird (meistens Spannung der Phase L1). Die Phasenlage dieses Signals wird mit dem Sollwert für die Phasenlage (meist 0°) verglichen und die Abweichung als Regelabweichung dem Regler zugeführt. Alternativ mit einem vergleichbaren Ergebnis kann auch der Real- bzw. der Imaginärteil des komplexen Wertes gegenüber 0 als Regelabweichung verwendet werden. Der Regler kann klassisch
5 entsprechend den Anforderungen an maximale Frequenzänderung pro Zeiteinheit und erreichbare Frequenzgenauigkeit zum Beispiel als PI-Regler ausgelegt werden und erzeugt als Stellgröße den Faktor für die Abstratenkonvertierung. Die Abstratenkonvertierung und die Wavelet-Analyse sind Bestandteil der Regelstrecke. Als Ergebnis bildet das System eine
10 Phase Locked Loop auf der Grundschiwingung des Referenzsignals. Durch die phasenstarre Kopplung des Systems ist es möglich aus den Werten des Reglers und einer Filterung in der Netzfrequenzberechnung die momentane Netzfrequenz sehr genau anzugeben. Netzfrequenzänderungen können frühzeitig erkannt und als Signale zur Verfügung gestellt werden. Das System ist somit auch in der Lage Signale und Messwerte in Echtzeit für
15 Geräte zu liefern, welche an der Regelung der Netzfrequenz beteiligt werden sollen.

Gerade mit elektrischen Schaltelementen in Netzteilen entstehen zeitvariante, aber zyklstationäre Störungen, die analysiert werden sollen, wodurch spektrale Auswertungen des Signals von kürzeren Zeitperioden als die Periode der Grundschiwingung notwendig
20 werden. Hierzu unterteilt die Segmentierung in Figur 5 das Zeitsignal in Ausschnitte und stellt diese mit der notwendigen Überlappung der Fensterung für eine Wavelet-Analyse zur Verfügung. Eine einfache und effiziente Implementierung ergibt sich, wenn 2^N Segmente pro Grundperiode realisiert werden. Jedes dieser Segmente hat nun gegenüber dem Referenzsignal der Grundschiwingung eine charakteristische Phasenlage. Zeitliche
25 Auflösung und spektrale Schärfe der Messungen werden hierbei gegeneinander ausgetauscht und müssen entsprechend dem jeweiligen Ziel der Messung angepasst werden. Da in diesem Fall auch netzsynchrone Signal bezüglich dem Auswertefenster der FFT nicht mehr periodisch sein müssen ist eine wirkungsvolle Maßnahme zur Minimierung des Leakage-Effekts notwendig und mit der Wavelet-Analyse gegeben. Auch hierbei wird
30 sichergestellt, dass jeder Abtastwert zu genau 100% in den Auswertefenstern der FFTs vorhanden ist.

Aus den berechneten Spektralwerten der Ströme und Spannungen für jedes Segment können mit Hilfe der komplexen Wechselstromrechnung für jeden Frequenzpunkt Leistungen
35 (inkl. Richtung, Wirk- und Blindanteil) und Impedanzen (inkl. ohmscher, kapazitiver und induktiver Anteil) berechnet werden. Bei Messungen über mehrere Perioden von

Grundschrwingungen k6nnen Segmente mit gleicher charakteristischer Phasenlage zusammengefasst und die einzelnen Messgr66en mit den Werkzeugen der Stochastik analysiert werden. Die Messung der Spektralwerte 6ber die gesamte Grundperiode k6nnen ebenfalls mit den gleichen Werkzeugen stochastisch ausgewertet werden. Hierbei ergeben
5 sich signifikante Merkmale f6r einzelne Technologien oder sogar Ger6aten, welche als Fingerabdruck verwendet werden k6nnen um eine Identifizierung der aktuell angeschlossenen und verwendeten Ger6aten oder deren Betriebsmodi herzuleiten.

Bei Spannungen, Str6men oder Leistungen ist es von Interesse, ob die Signalanteile auf den
10 jeweiligen Frequenzen periodisch mit der Grundschrwingung des Referenzsignals sind (netzsynchron) oder eben nicht sind. Hierbei kann aus dem Verh6ltnis des Betrags 6ber den Erwartungswert zu dem Erwartungswert der Betr6age eine Aussage getroffen werden. Ist dieses Verh6ltnis ann6hernd 1, so ist von einem netzsynchronen Signal auszugehen, ist das Verh6ltnis sehr klein, so kann von einem nicht netzsynchronen Signal ausgegangen werden.
15 Der Erwartungswert kann als Mittelwert oder mit Hilfe eines exponentiellen Gl6ttungsfilters bestimmt werden. Auch k6nnen arithmetische und geometrische Mittelungen eingesetzt und auch miteinander verglichen werden. Neben den eigentlichen Messwerten ist auch Ihre Varianz, bzw. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von Interesse, da hieraus Aussagen 6ber das Entstehen der Signale und ihrem potentiellen St6rverhalten abgeleitet werden k6nnen,
20 was in der Demodulation von Nachrichtensystemen, welche 6ber das Stromnetz kommunizieren, bereits genutzt wird [5].

Neben der Kombination von Strom und Spannung der einzelnen Phasen k6nnen auch aus der Kombination mehrerer Spannungen oder Str6me, bzw. Auswertung der Differenz
25 zwischen Spannungen und Str6men neue Messwerte erzeugt und ausgewertet werden. Die Phasenlage eines Signals in Bezug auf die Phasenlage der Grundschrwingung des Referenzsignals ist in den komplexen Werten des Frequenzbereiches bereits gegeben. Diese Kombinationen sind sowohl f6r die Darstellung im Zeitbereich, als auch im Frequenzbereich ermittelt 6ber die Grundperiode bzw. Teilst6cke der Grundperiode m6glich.
30 Einzelne Auspr6agungen dieser Kombinationen, wie z.B. Spannungssymmetrie und Fehlerstr6me, sind Stand der Technik und werden teilweise von bestehenden Standards erfasst.

Ist das Messsystem 6ber einen externen oder integrierten Zeitgeber ausreichend genau mit
35 der Weltzeit synchronisiert, ist eine Integration in eine verteilte Messinfrastruktur wie die

Synchronphasor Messtechnik möglich. Die zusätzlichen Messgrößen können dann ebenfalls in Kombination von mehreren Messsystemen ausgewertet werden.

- Das Messsystem erzeugt nun in einer hohen Rate eine Vielzahl von Messwerten. Durch Ungenauigkeiten der Messwandler, thermischen Rauschen, Fremdstörungen und Effekte der Quantisierung in der digitalen Signalverarbeitung geben ein Teil dieser Messwerte nicht die Eigenschaften des Messobjektes wieder. Welcher Teil der Messwerte davon betroffen ist hängt von den Einsatzbedingungen und teilweise auch Eigenschaften des Messobjektes selber ab. Während zum Beispiel für netzsynchrone Ströme und Spannungen die Auswertung der Phasenlage sinnvoll ist, macht die gleiche Auswertung für nicht netzsynchrone Signale keinen Sinn. Somit ist eine Darstellung der Messwerte in der gleichen Messung für einzelne Frequenzpunkte sinnvoll, und für andere eben nicht. Die Erkennung, dass die Darstellung eines Messwerts sinnvoll ist, oder nicht kann automatisiert entweder aus anderen Messgrößen der gleichen Messung - wie vorher beschrieben - erfolgen, oder aus anderen Messungen zu Bestimmung der Messgenauigkeit des Messsystems durch Vergleich entschieden werden. Nur diejenigen Messwerte, welche durch die Eigenschaften des Messobjektes bestimmt werden, werden für die weitere Verarbeitung, Speicherung und Darstellung verwendet.
- Für die vollständige Charakterisierung der Ersatzmodelle ist die Kombination von Messergebnissen aus mehreren Messungen notwendig, wobei unterschiedliche Leitungsabschlüsse bzw. Testsignalgeneratoren für die einzelnen Messungen zum Einsatz kommen. Aus der Relation der komplexen Messwerte im Frequenzbereich können Frequenzgänge berechnet werden. Aus der Kombination dieser Frequenzgänge und bekannten Elementen der Ersatzschaltbilder mit den zu charakterisierenden Ersatzmodellen können unter Anwendung der Laplace-Transformation die Parameter der Komponenten des Ersatzschaltbildes geschätzt werden. Da bereits die verwendete Anschlussstechnik bzw. auch die Lage der Anschlusskabel Einfluss auf die Richtigkeit des Messergebnisse haben kann, wird teilweise vor der eigentlichen Messung eine Kalibrierungsmessung mit Präzisionswiderständen als Normale durchgeführt, welche es erlauben die individuellen parasitären Elemente zu identifizieren, die Größen zu bestimmen und das Messergebnis der eigentlichen Messung entsprechend zu korrigieren. Ein entsprechendes Verfahren für die Impedanzmessung ist in [6] angegeben.
- Referenzen

- [1] TF EMI STUDY REPORT ON ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE BETWEEN ELECTRICAL EQUIPMENT / SYSTEMS IN THE FREQUENCY RANGE BELOW 150 kHz, CENELEC SC205A/Sec0260/R, April 2010
- 5 [2] TF EMI STUDY Electromagnetic Interference between Electrical Equipment/Systems in the Frequency Range below 150 kHz, Ed. 2, CENELEC SC205A/Sec0339/R: April 2013
- [3] TF EMI STUDY Electromagnetic Interference between Electrical Equipment/Systems in the Frequency Range below 150 kHz, Edition 3, CENELEC SC205A/Sec0400/R: Oktober 2015
- 10 [4] PICO Scope 4824: <https://www.picotech.com/oscilloscope/4824/8-channel-oscilloscope> vom 8.2.2016
- [5] On the Impact of Noise Power Estimation for Soft Information Generation in OFDM-based PLC Systems, IEEE International Symposium on Power-Line Communication 15 2016, Bottrop, Germany 20.3 – 23.3.2016
- [6] On the impedance of the low-voltage distribution grid at frequencies up to 500 kHz, Sigle, M.; Wenqing Liu; Dostert, K.; Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2012 16th IEEE International Symposium on , vol., no., pp.30-34, 27-30 March 2012
- 20

Referenzzeichen

	1	Ersatzmodell für das Stromnetz am Anschluss
	2	Anschlusspunkt
	3	Ersatzmodell für das Objekt (Gerät, Erzeuger, Verbraucher, Teilnetz)
5	4	Ideale Spannungsquelle
	5	Innenwiderstand der Spannungsquelle
	6	Ideale Stromquelle
	7	Eingangsimpedanz
	10	Messsystem
10	11	Messobjekt
	12	Strommesswandler (Stromzange, Shunt, ...)
	13	Spannungsmesswandler
	14	Messwerverfassung
	15	Messkanal (Analog → Digital)
15	16	Gemeinsamer Taktgeber für Messkanäle
	17	Ext. Zeitsynchronisationssignal
	18	Messwertauswertung
	19	Netzfrequenz- / Phasenlageregelung
	20	Auswertung und Bewertung
20	21	Anzeige und Speicherung
	31	Stromnetz
	32	Netzfilter
	33	Netzimpedanzsimulationsnetzwerk
	34	Netzfrequenzblocker
25	35	Testsignalgenerator
	36	Prüfling, Messobjekt
	41	Stromnetz, Messobjekt
	42	Kurzschluss mit Netzfrequenzblockern

- 50 Abtastratenkonvertierung
- 51 Tiefpassfilter (nur bei linearen Interpolator)
- 52 Interpolator
- 53 Unterabtastung mit vorheriger Tiefpassfilterung
- 5 54 Fensterung
- 55 Diskrete oder schnelle Fourier Transformation
- 56 Wavelet-Analyse
- 57 Segmentierung
- 58 Auswertung im Zeitbereich
- 10 59 Auswertung im Frequenzbereich
- 61 Regelreferenz
- 62 Soll- / Istwert Vergleich
- 63 Regeldifferenz
- 64 Regler
- 15 65 Stellgröße (Faktor der Abtastratenkonvertierung)
- 66 Selektion des Spektralwertes für die Grundschiwingung
- 67 Berechnung der Phase
- 68 Netzfrequenzberechnung

Ansprüche

1. System zur Messung von elektrischen Eigenschaften von Erzeugern, Verbrauchern oder Teilnetzen an einem Anschlusspunkt eines elektrischen Energieversorgungsnetzes, wobei der Erzeuger, Verbraucher oder das Teilnetz an dem Anschlusspunkt des elektrischen Energieversorgungsnetzes angeschlossen ist, aufweisend:
- Messwandler zum Erfassen von Strömen und Spannungen an mehreren Kanälen, wobei die erfassten Werte digital zur Verfügung gestellt werden,
 - eine unabhängige Taktquelle zur Generierung eines Taktes für die Abtastung für alle erfassten Kanäle, wobei der Takt für die Abtastung von den zu messenden Eigenschaften unabhängig ist,
 - eine Abtastkonvertierungseinrichtung, wobei im Betrieb ein Kanal als Referenz dient und die Abtastkonvertierung an die Frequenz und Phasenlage der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals angepasst ist, wodurch eine konstante Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung zur Verfügung gestellt werden,
 - Mittel zur Fourier-Transformation, wobei die Fourier-Transformation auf eine vorheriger Fensterung angewendet wird, wobei mit der Dauer der Grundschiwingung periodische Signale durch die Fensterung unverändert bleiben und jeder Abtastwert vollständig von der Messauswertung erfasst wird,
 - Mittel zur Berechnung und Auswertung zusätzlicher Werte aus der Kombination der Ergebnisse der Fourier-Transformation von mehreren Kanälen.
2. System nach Anspruch 1, wobei die Fensterung größer ist als das Auswertefenster, die einzelne Abtastwerte individuell gewichtet und mit jeweils ebenfalls gewichteten Abtastwerten einer Periode der Grundschiwingung addiert werden, wobei jeder einzelne Abtastwert in der Summe der Anteile, welche durch die Gewichtung auf verschiedenen Auswertefenster verteilt werden, vollständig von der Messauswertung erfasst.
3. System nach Anspruch 1 oder 2, weiterhin aufweisend Mittel zur Bestimmung der Frequenz der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals, wobei
- eine Regelung eingesetzt wird,

- zur Gewinnung der Regelgröße die Phase, Real- oder Imaginär-Teil oder darin überführbare Darstellung des Ergebnisses der Fourier-Transformation für die Grundschiwingung verwendet wird,
 - die Stellgröße zur Anpassung der Abstratenkonvertierung verwendet wird
 - 5 - die Frequenz der Grundschiwingung aus der Stellgröße oder innerhalb des Reglers vorhandenen Größen berechnet wird.
4. System nach Anspruch 1 oder 2 oder 3, weiterhin aufweisend Mittel zur Identifikation der Frequenz, wobei bestimmt werden kann, ob das Signal eine harmonische
- 10 Oberschiwingung der Grundschiwingung ist, wobei
- dass die Ergebnisse mehrere zeitlich aufeinanderfolgender Fourier-Transformationen gemeinsam ausgewertet werden,
 - für die jeweilige Frequenz ein Mittelwert der komplexwertigen Ergebnisse der Fourier-Transformation gebildet wird,
 - 15 - der Betrag, oder das Betragsquadrat, dieses Mittelwerts mit dem arithmetischen oder geometrischen Mittelwert des Betrags, oder des Betragsquadrates, der komplexwertigen Ergebnisse der Fourier-Transformation in Bezug zueinander gesetzt oder verglichen wird.
- 20 5. System nach Anspruch 1 oder 2 oder 3, weiterhin aufweisend Mittel zur Bestimmung und Auswertung von Kurzzeitspektren synchronisiert mit der Phasenlage der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals , wobei:
- dass das Signal im Zeitbereich für die Dauer einer Grundschiwingung jeweils in überlappende Segmente eingeteilt wird, welche durch die jeweilige Phasenlage
 - 25 zur Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals zu unterscheiden sind,
 - eine Fensterung und Fourier-Transformation dieser Segmente durchgeführt wird,
 - die Ergebnisse dieser Transformation von Segmenten mit der gleichen Phasenlage mit Werkzeugen der Stochastik gemeinsam analysiert werden.
- 30 6. System nach Anspruch 1 oder 2 oder 3, weiterhin aufweisend Mittel zur Bestimmung der Komponente eines Ersatzmodelles, wobei

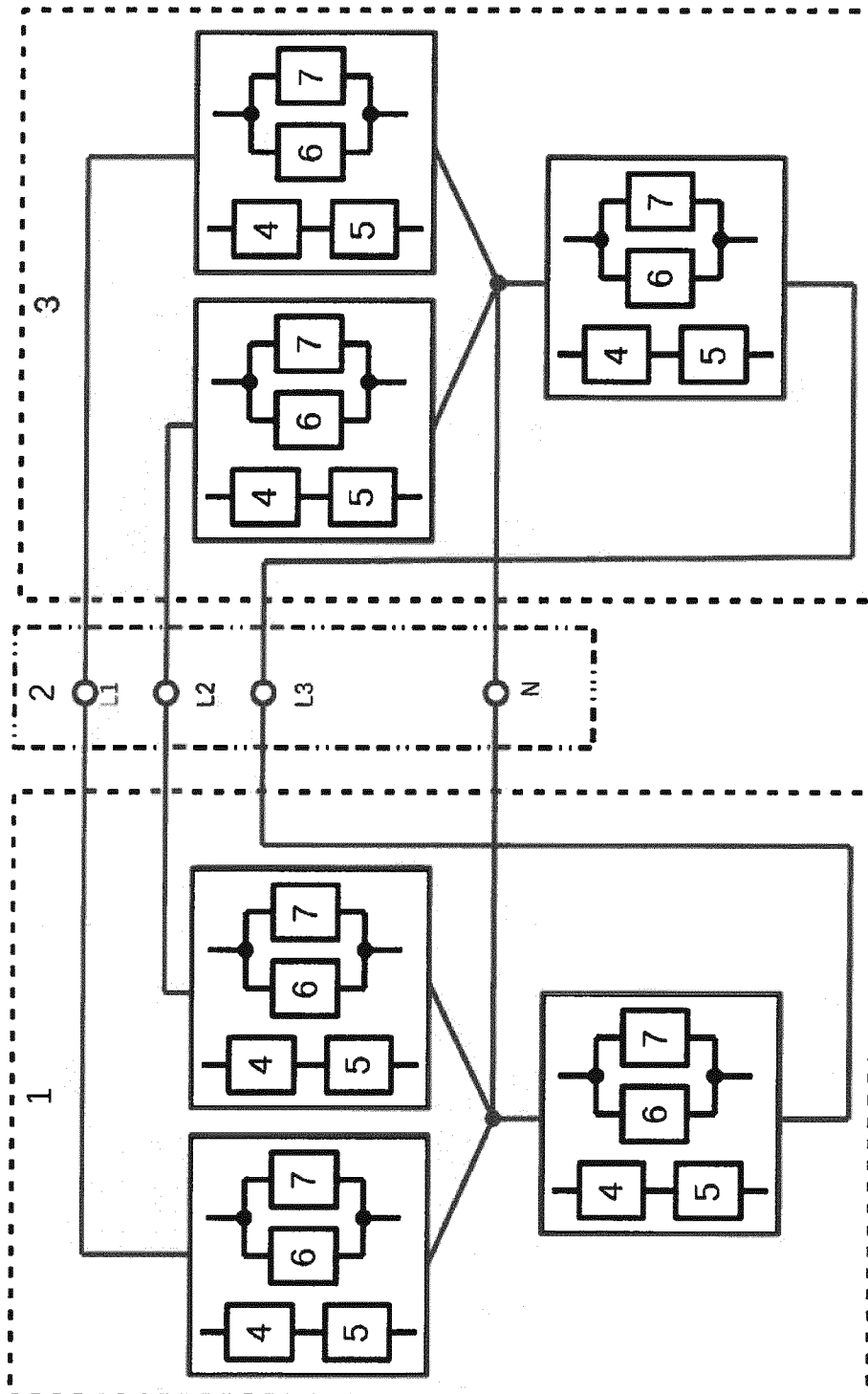
- dass mehrere Messungen mit unterschiedlichen Leitungsabschluss und/oder Testsignalgenerator durchgeführt werden,
 - die Werte der Komponenten des Ersatzmodelles aus den Verhältnissen der Werte nach der Fourier-Transformation bestimmt werden,
 - 5 - parasitäre Effekte des Aufbaus durch eine Messung mit Normalen ermittelt und bei der Bestimmung der Werte für die Komponenten des Ersatzmodells berücksichtigt werden.
7. Verfahren zur Messung der elektrischen Eigenschaften am Anschlusspunkt eines elektrischen Energieversorgungsnetzes, von daran angeschlossenen Erzeugern, Verbrauchern oder Teilnetzen, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
- 10 - erfassen und digitalisieren von Strömen und Spannungen an mehreren Kanälen,
 - bereitstellen eines gemeinsamen Taktes für die Abtastung in allen Kanälen, wobei der Takt von den zu messenden Eigenschaften unabhängig ist,
 - 15 - Verwenden einer sich im Betrieb an die Frequenz und Phasenlage der Grundschiwingung eines als Referenz definierten Kanals anpassende Abtaststratenkonvertierung, welche zu einer konstanten Anzahl von Abtastwerten pro Grundschiwingung führt,
 - anwenden einer Fourier-Transformation mit vorheriger Fensterung, wobei mit der Dauer der Grundschiwingung periodische Signale durch die Fensterung unverändert bleiben, die Trennschärfe für nicht periodische Signale erhöht und jeder Abtastwert vollständig von der Messauswertung erfasst wird.
 - 20 - berechnen und auswerten zusätzliche Werte aus der Kombination der Ergebnisse der Fourier-Transformation von mehreren Kanälen.
- 25
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Fensterung größer ist als das Auswertefenster, die einzelne Abtastwerte individuell gewichtet und mit jeweils ebenfalls gewichteten Abtastwerten einer Periode der Grundschiwingung addiert werden, wobei jeder einzelne Abtastwert wird in der Summe der Anteile, welche durch die Gewichtung auf verschiedenen Auswertefenster verteilt werden, vollständig von der Messauswertung erfasst.
- 30
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, welches zusätzlich die aktuelle Frequenz der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals bestimmt, wobei

- eine Regelung eingesetzt wird,
 - zur Gewinnung der Regelgröße die Phase, Real- oder Imaginär-Teil oder darin überführbare Darstellung des Ergebnisses der Fourier-Transformation für die Grundschiwingung verwendet wird,
 - 5 - die Stellgröße zur Anpassung der Abstratenkonvertierung verwendet wird
 - die Frequenz der Grundschiwingung aus der Stellgröße oder innerhalb des Reglers vorhandenen Größen berechnet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 oder 9, welches zusätzlich für jede Frequenz
- 10 identifiziert, ob das Signal eine harmonische Oberschiwingung der Grundschiwingung ist, wobei
- die Ergebnisse mehrere zeitlich aufeinanderfolgender Fourier-Transformationen gemeinsam ausgewertet werden,
 - für die jeweilige Frequenz ein Mittelwert der komplexwertigen Ergebnisse der
 - 15 Fourier-Transformation gebildet wird,
 - der Betrag, oder das Betragsquadrat, dieses Mittelwerts mit dem arithmetischen oder geometrischen Mittelwert des Betrags, oder des Betragsquadrates, der komplexwertigen Ergebnisse der Fourier-Transformation in Bezug zueinander gesetzt oder verglichen wird.
- 20
11. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 oder 9, welches zusätzlich synchronisiert mit der Phasenlage der Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals Kurzzeitspektren bestimmt und auswertet, wobei
- das Signal im Zeitbereich für die Dauer einer Grundschiwingung jeweils in
 - 25 überlappende Segmente eingeteilt wird, welche durch die jeweilige Phasenlage zur Grundschiwingung des als Referenz definierten Kanals zu unterscheiden sind,
 - eine Fensterung und Fourier-Transformation dieser Segmente durchgeführt wird,
 - die Ergebnisse dieser Transformation von Segmenten mit der gleichen
 - 30 Phasenlage mit Werkzeugen der Stochastik gemeinsam analysiert werden.

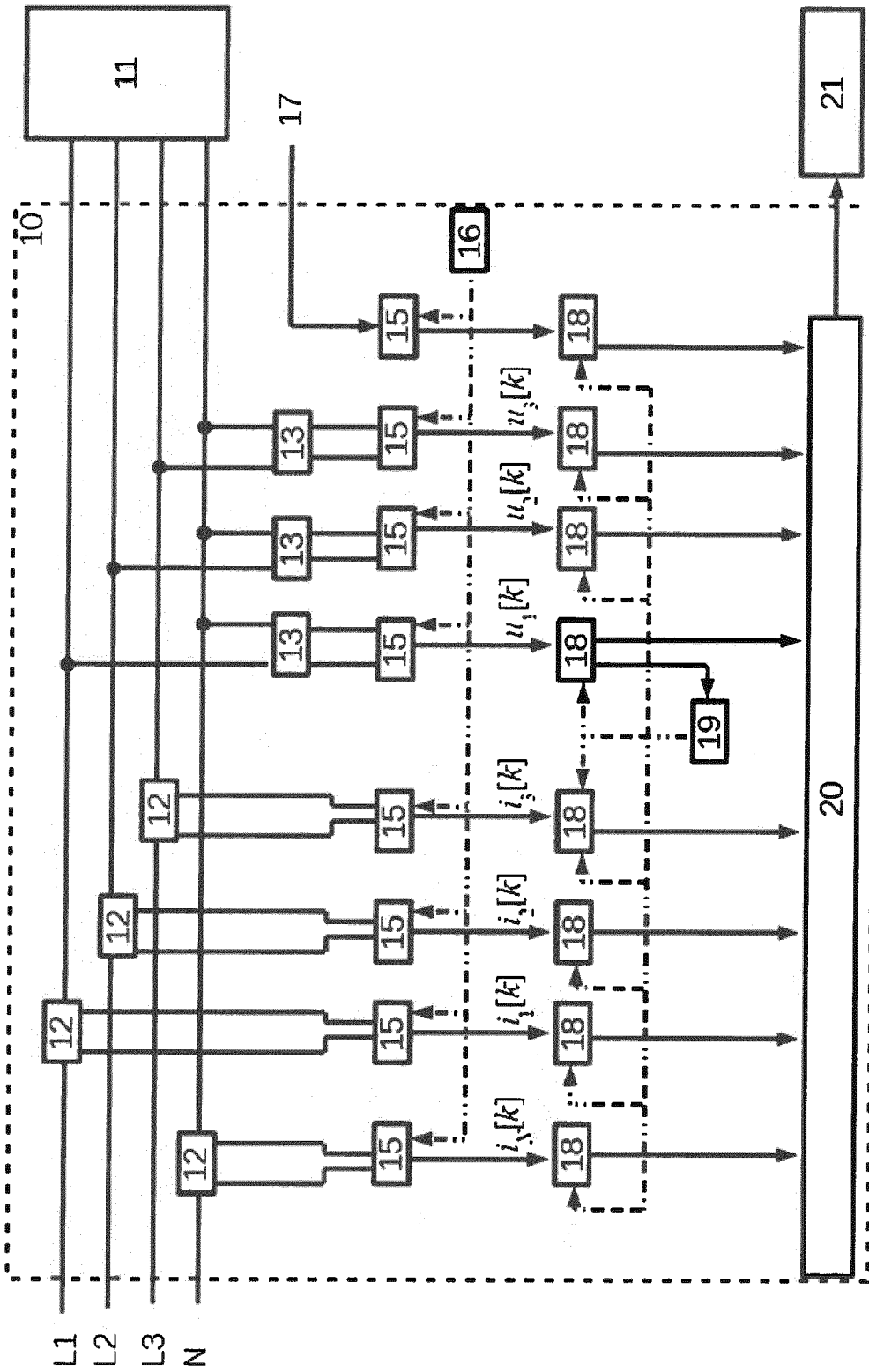
12. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 oder 9, welches zusätzlich die Komponente eines Ersatzmodelles bestimmt, wobei

- mehrere Messungen mit unterschiedlichen Leitungsabschluss und/oder Testsignalgenerator durchgeführt werden,
- 5 - die Werte der Komponenten des Ersatzmodelles aus den Verhältnissen der Werte nach der Fourier-Transformation bestimmt werden,
- parasitäre Effekte des Aufbaus durch eine Messung mit Normalen ermittelt und bei der Bestimmung der Werte für die Komponenten des Ersatzmodells berücksichtigt werden.

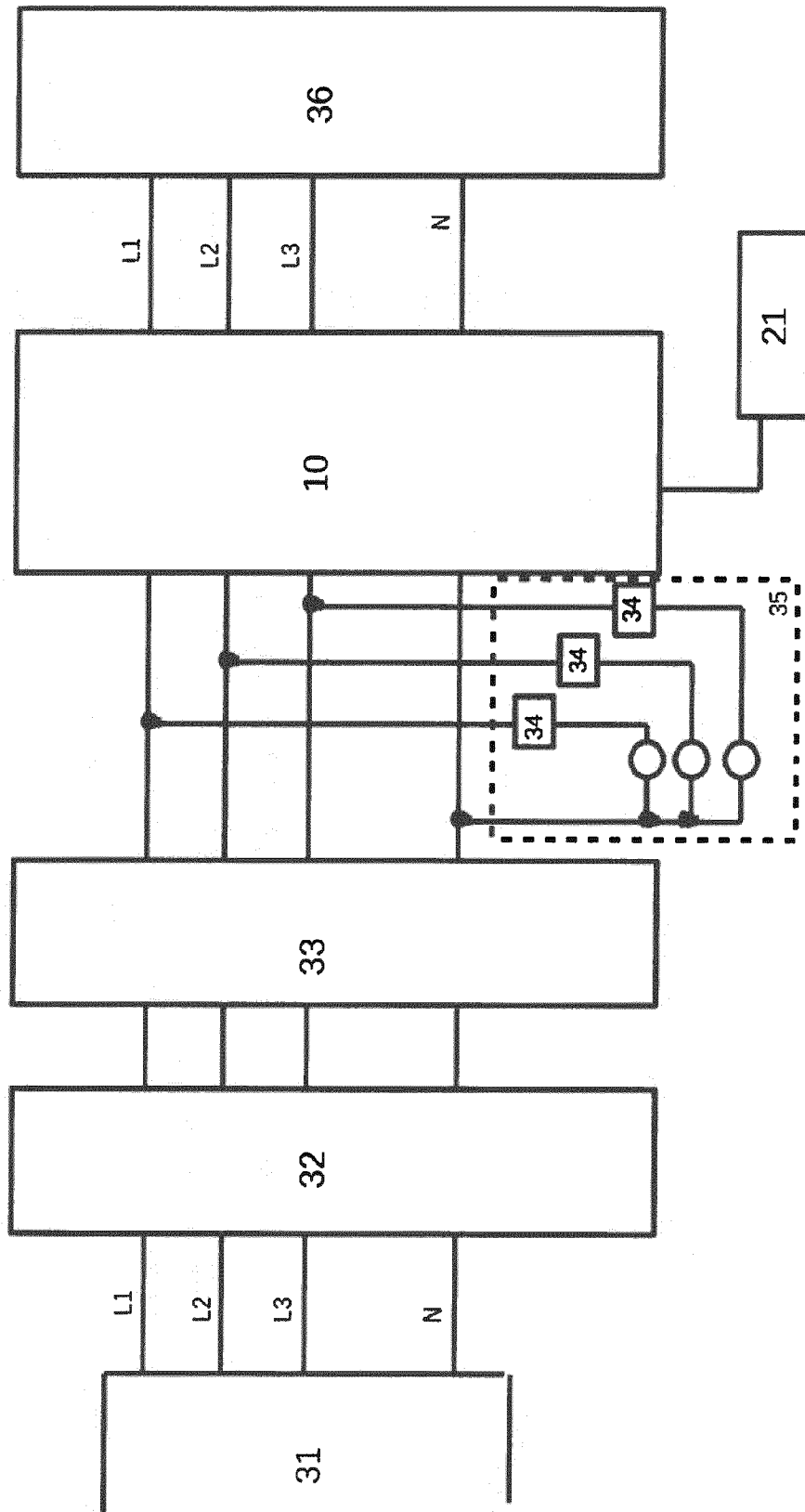
10



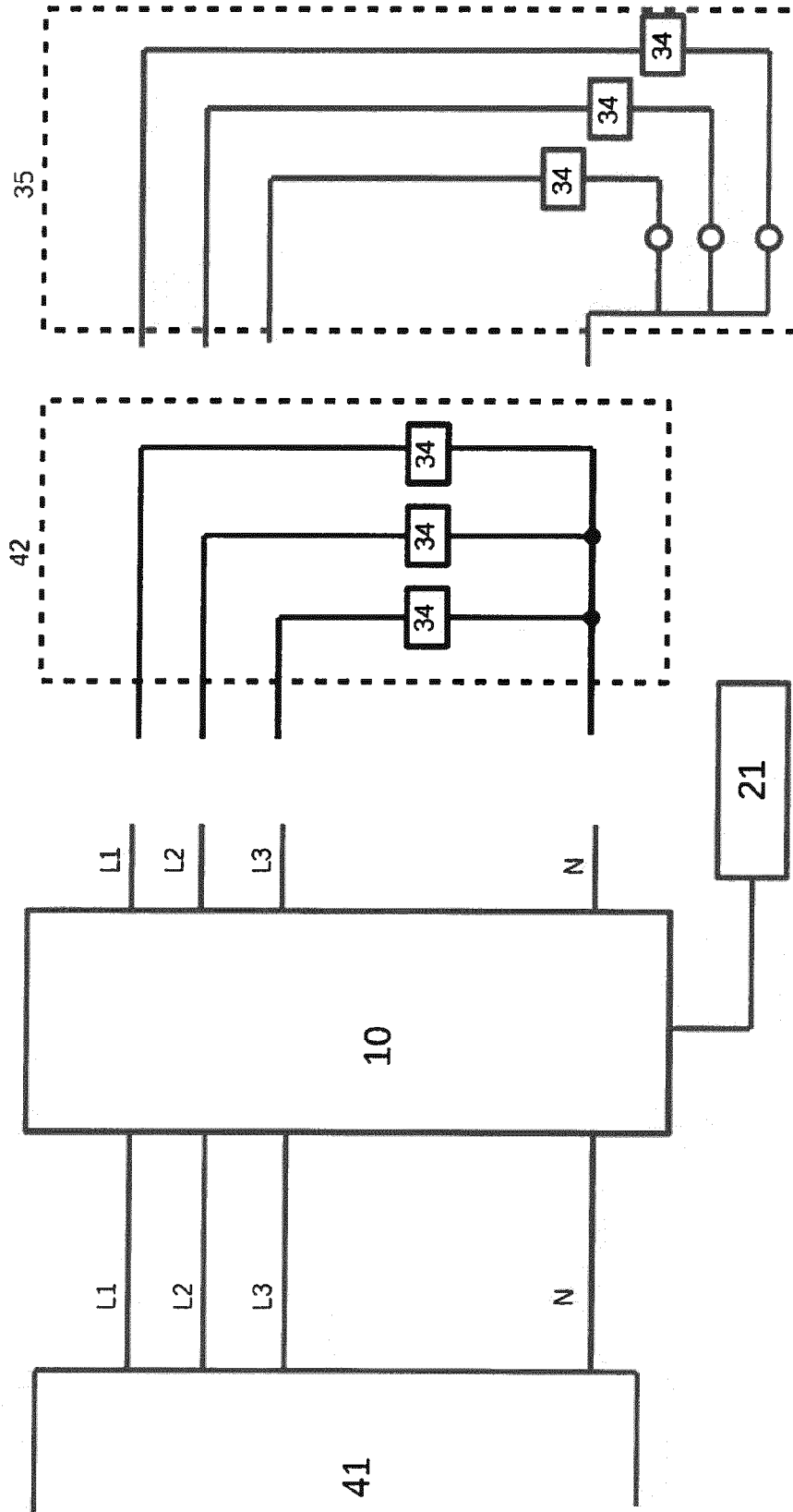
Figur 1



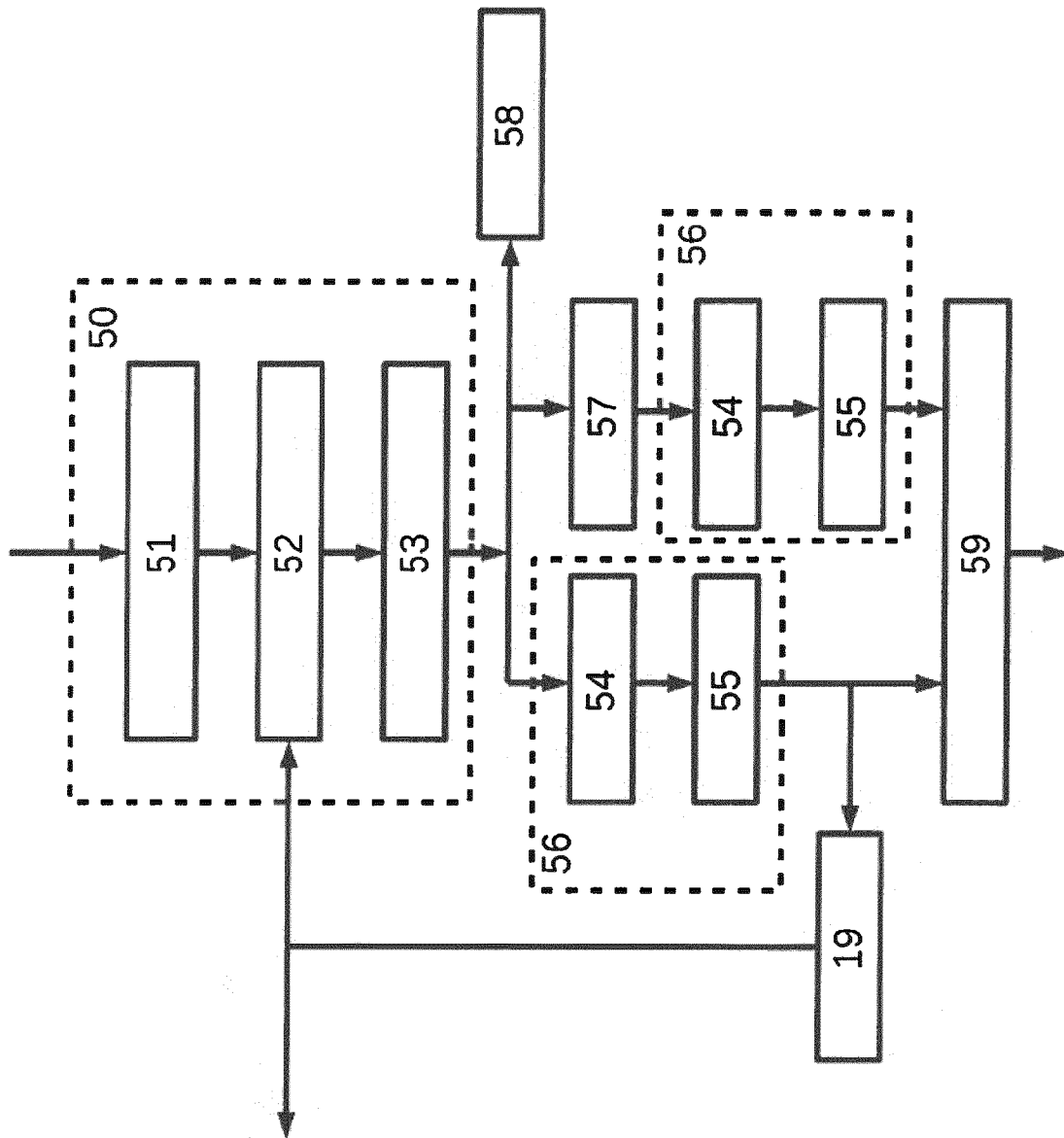
Figur 2



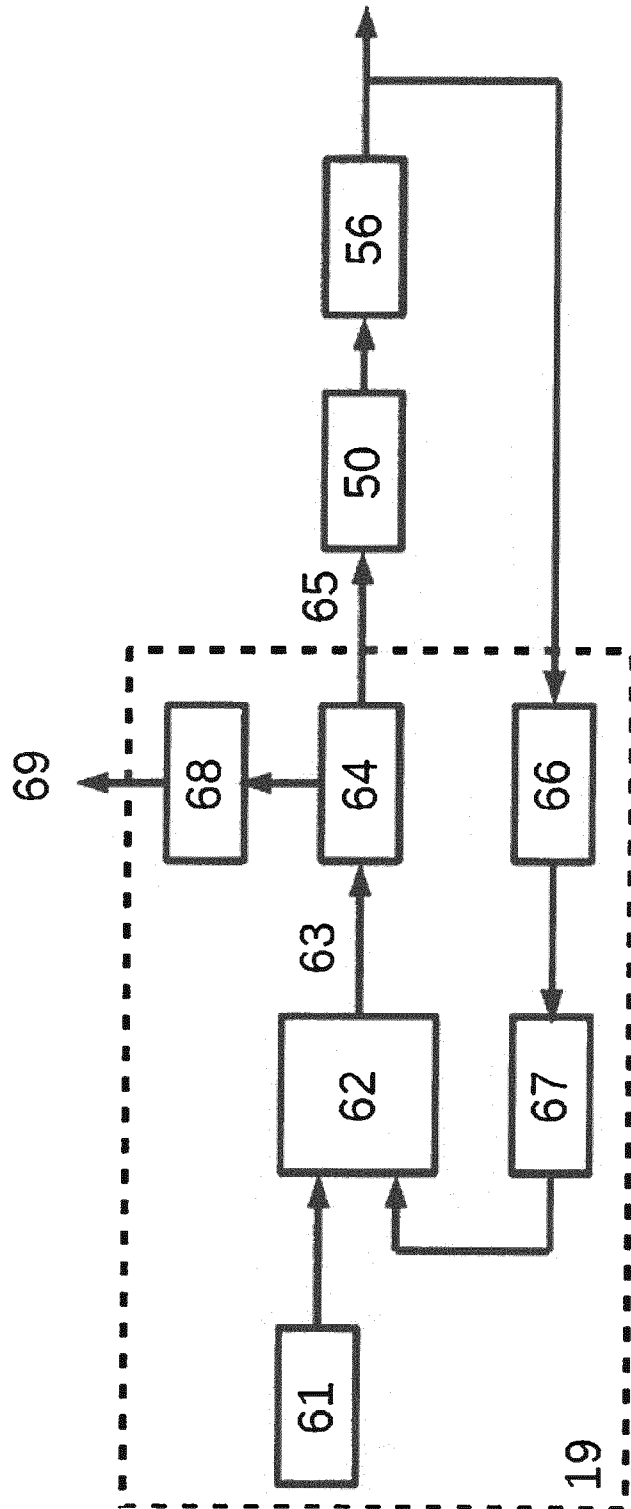
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/000235

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R19/25
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 2 713 172 A1 (RWTH AACHEN [DE]) 2 April 2014 (2014-04-02) paragraphs [0002] - [0009], [0021], [0022], [0024], [0050], [0053]; figures 1,2	1-12
Y	US 2013/282315 A1 (BARCZYK TOMASZ [CA] ET AL) 24 October 2013 (2013-10-24) paragraphs [0009], [0011], [0036], [0068]; figures 1-3	1-12
A	US 2006/247874 A1 (PREMERLANI WILLIAM J [US] ET AL) 2 November 2006 (2006-11-02) paragraphs [0003], [0006], [0019] - [0021]; claim 4; figures 1-3	1-12
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 26 May 2017	Date of mailing of the international search report 09/06/2017
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer O'Callaghan, D
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/000235

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 366 864 B1 (KULIDJIAN ARA [CA] ET AL)	1,7
A	2 April 2002 (2002-04-02) column 1, line 5 - column 2, line 20; claim 1	2-6,8-12
A	----- US 2011/080197 A1 (FAN CHUN [US] ET AL)	1-12
A	7 April 2011 (2011-04-07) cited in the application paragraphs [0023] - [0037]; figure 1	1-12
A	----- US 2003/014200 A1 (JONKER RENE T [CA] ET	1-12
A	AL) 16 January 2003 (2003-01-16) paragraphs [0088] - [0122]; figures 7-11 -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/000235

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2713172	A1	02-04-2014	NONE

US 2013282315	A1	24-10-2013	CA 2813790 A1 23-10-2013
			EP 2657712 A2 30-10-2013
			US 2013282315 A1 24-10-2013
			US 2016252550 A1 01-09-2016

US 2006247874	A1	02-11-2006	NONE

US 6366864	B1	02-04-2002	AU 774129 B2 17-06-2004
			BR 0006097 A 20-03-2001
			CA 2335814 A1 16-11-2000
			CN 1302465 A 04-07-2001
			CZ 20010070 A3 16-01-2002
			EP 1093680 A1 25-04-2001
			ES 2347946 T3 26-11-2010
			JP 4204201 B2 07-01-2009
			JP 2002544751 A 24-12-2002
			US 6366864 B1 02-04-2002
			WO 0069042 A1 16-11-2000

US 2011080197	A1	07-04-2011	NONE

US 2003014200	A1	16-01-2003	CA 2299043 A1 09-02-2001
			US 6615147 B1 02-09-2003
			US 6687627 B1 03-02-2004
			US 2003014200 A1 16-01-2003
			US 2005027464 A1 03-02-2005
			US 2006066456 A1 30-03-2006

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01R19/25
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 2 713 172 A1 (RWTH AACHEN [DE]) 2. April 2014 (2014-04-02) Absätze [0002] - [0009], [0021], [0022], [0024], [0050], [0053]; Abbildungen 1,2 -----	1-12
Y	US 2013/282315 A1 (BARCZYK TOMASZ [CA] ET AL) 24. Oktober 2013 (2013-10-24) Absätze [0009], [0011], [0036], [0068]; Abbildungen 1-3 -----	1-12
A	US 2006/247874 A1 (PREMERLANI WILLIAM J [US] ET AL) 2. November 2006 (2006-11-02) Absätze [0003], [0006], [0019] - [0021]; Anspruch 4; Abbildungen 1-3 -----	1-12
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert,
aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach
dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,
eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach
dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum
oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der
Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der
Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden
Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf
erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet
werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren
Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und
diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Mai 2017

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

09/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

O'Callaghan, D

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 366 864 B1 (KULIDJIAN ARA [CA] ET AL) 2. April 2002 (2002-04-02)	1,7
A	Spalte 1, Zeile 5 - Spalte 2, Zeile 20; Anspruch 1	2-6,8-12
A	----- US 2011/080197 A1 (FAN CHUN [US] ET AL) 7. April 2011 (2011-04-07) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0023] - [0037]; Abbildung 1	1-12
A	----- US 2003/014200 A1 (JONKER RENE T [CA] ET AL) 16. Januar 2003 (2003-01-16) Absätze [0088] - [0122]; Abbildungen 7-11 -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/000235

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2713172	A1	02-04-2014	KEINE
US 2013282315	A1	24-10-2013	CA 2813790 A1 23-10-2013 EP 2657712 A2 30-10-2013 US 2013282315 A1 24-10-2013 US 2016252550 A1 01-09-2016
US 2006247874	A1	02-11-2006	KEINE
US 6366864	B1	02-04-2002	AU 774129 B2 17-06-2004 BR 0006097 A 20-03-2001 CA 2335814 A1 16-11-2000 CN 1302465 A 04-07-2001 CZ 20010070 A3 16-01-2002 EP 1093680 A1 25-04-2001 ES 2347946 T3 26-11-2010 JP 4204201 B2 07-01-2009 JP 2002544751 A 24-12-2002 US 6366864 B1 02-04-2002 WO 0069042 A1 16-11-2000
US 2011080197	A1	07-04-2011	KEINE
US 2003014200	A1	16-01-2003	CA 2299043 A1 09-02-2001 US 6615147 B1 02-09-2003 US 6687627 B1 03-02-2004 US 2003014200 A1 16-01-2003 US 2005027464 A1 03-02-2005 US 2006066456 A1 30-03-2006