

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50542/2023 (51) Int. Cl.: **H02P 29/02** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 07.07.2023 **G01R 31/34** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.01.2025 **G01R 23/16** (2006.01)

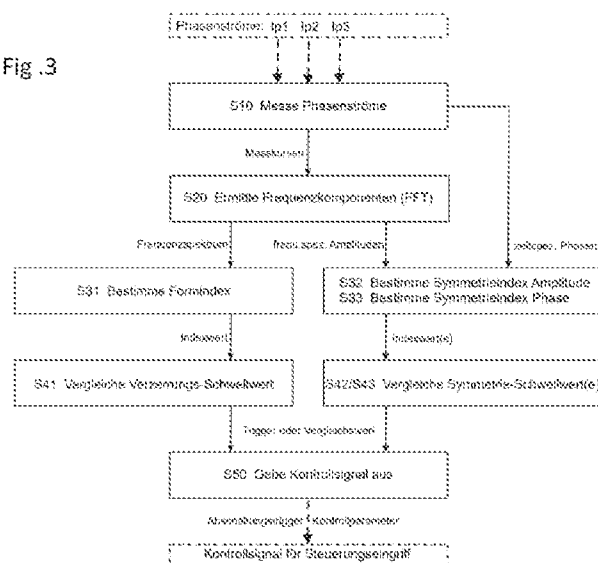
(56) Entgegenhaltungen:
BHOLE, N. et al. "Motor Current Signature Analysis for Fault Detection of Induction Machine—A Review" In: 2021 4th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE) [online]. Jänner 2021 (01.2021). Seiten 1–6. [ermittelt am 17. Mai 2024]. <doi:10.1109/ICNTE51185.2021.9487715>. Ermittelt von <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9487715>>
WO 2013006742 A1
US 8405339 B2
US 11722079 B2
EP 2743669 B1
US 2020341063 A1
DE 102020126587 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Duchi Francesco Dott.Mag.
8020 Graz (AT)
Moik Josef Dipl.-Ing.
8047 Graz (AT)
Wultsch Björn Dipl.-Ing. BSc
8041 Graz (AT)
Fechter Michael Dipl.-Ing.
2872 Mönichkirchen (AT)
Kiss Gergely Mate MSc
8051 Graz (AT)
Kanya Benjamin
8053 Graz (AT)
Sulzer Markus Ing.
8063 Eggersdorf (AT)
Suchet Pierre MA
8020 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Kontrollverfahren für Prüfling mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren und eine entsprechende Kontrollvorrichtung (110) für eine Kontrolle eines mehrphasigen Wechselstroms für einen Prüfling (300) beim Betrieb auf einem Prüfstand (200), gekennzeichnet durch die folgenden Schritte: Erfassen (S10) von einzelnen Phasenströmen (Ip1, Ip2, Ip3) eines mehrphasigen Wechselstroms zu dem Prüfling (300); Ermitteln (S11) von harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) basierend auf einer Fast Fourier Transformation der erfassten Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3); Bestimmen (S21) eines Formindex einer Wellenform der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) aus einem Verhältnis der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) zu einer Amplitude einer Grundfrequenz; Bestimmen (S22, S23) wenigstens eines Symmetrieindex der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) aus einem Verhältnis der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) zueinander; und Ausgeben (S30) eines Kontrollsignals auf Basis des bestimmten Formindex und/oder des wenigstens einen bestimmten Symmetrieindex, zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300).

Fig. 3



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren und eine entsprechende Kontrollvorrichtung (110) für eine Kontrolle eines mehrphasigen Wechselstroms für einen Prüfling (300) beim Betrieb auf einem Prüfstand (200), gekennzeichnet durch die folgenden Schritte: Erfassen (S10) von einzelnen Phasenströmen (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) eines mehrphasigen Wechselstroms zu dem Prüfling (300); Ermitteln (S11) von harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) basierend auf einer Fast Fourier Transformation der erfassten Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}); Bestimmen (S21) eines Formindex einer Wellenform der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zu einer Amplitude einer Grundfrequenz; Bestimmen (S22, S23) wenigstens eines Symmetrieindex der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zueinander; und Ausgeben (S30) eines Kontrollsignals auf Basis des bestimmten Formindex und/oder des wenigstens einen bestimmten Symmetrieindex, zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300).

Fig. 3

Kontrollverfahren für Prüfling mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Betriebs eines Prüflings mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand, ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle für die Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens sowie eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens.

Es ist bekannt, dass Elektromotoren während der Entwicklung auf Prüfständen in unterschiedliche Leistungszustände gebracht und überprüft werden sollen. Solche Prüfstandsversuche laufen häufig über eine längere Zeit und fahren die Elektromotoren über unterschiedliche Betriebszustände und unterschiedliche Betriebsdauer. Hierfür werden solche sehr teuren und aufwendig ausgestatteten Prüfstände üblicherweise möglichst maximal ausgelastet, um mit hoher Effizienz Elektromotoren zu testen.

Darüber hinaus werden die Prüflinge während des Betriebs auf dem Prüfstand häufig an den Rand ihrer Belastbarkeit gebracht. Dies kann bei nicht-lineare Lasten, wie Elektromotoren als Verbraucher eines mehrphasigen Wechselstroms, zu destabilisierenden Betriebsmodi führen, welche kritische Zustände erreichen können. Solche kritischen Zustände können zu reversiblen, aber auch irreversiblen Schädigungen des Elektromotors als Prüfling sowie der angeschlossenen Leistungselektronik führen. Dies kann bis zur Entmagnetisierung von Elektromotorbauteilen führen. Daher sind in derartigen Prüfständen aufwendige Sensorsysteme vorhanden, um solche kritischen Situationen möglichst schnell zu erkennen und zu vermeiden.

Nachteilhafterweise wird bei einem herkömmlichen Prüfstandsystem in einem solchen Fall der Prüfling heruntergefahren und gestoppt und der damit verbundene Prüfstandsversuch verworfen. Geschieht dies in einem Prüfbetrieb über Nacht, so führt dies zu stundenlangem Stillstand, da kein manueller Re-Start des Prüfstands erfolgen kann. Darüber hinaus sind auch kritische Situationen möglich, welche von der Sensorik zu spät erkannt werden, um noch rechtzeitig eine Beschädigung des Prüflings oder angeschlossener elektrischer Komponenten zu vermeiden.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise einen zumindest teilweise automatisierten Betrieb eines Elektromotors auf einem Prüfstand mit möglichst hoher Sicherheit gewährleisten zu können.

Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben zuvor ein Verfahren entwickelt, bei dem Phasenströme erfasst werden, und daraus Durchschnitts-Phasenströme und Trend-Phasenströme ermittelt werden. Zudem werden Stromindizes aus einem Verhältnis der Durchschnitts-Phasenströme zu den Trend-Phasenströmen bestimmt und einem Indexkorridor zugeordnet. Durch diese Analyse kann eine kritische Entwicklung der Stromphasen erkannt werden, die einen instabilen Betriebszustand ankündigen.

Allerdings müssen hierzu für jeden Phasenstrom Berechnungen des quadratischen Mittels für den Effektivstrom I_{rms} ($rms = \text{root mean square}$) durchgeführt werden, die hohe Anforderungen an eine Rechenkapazität für Operationen in Echtzeit stellen. Zum anderen stellten die Erfinder in der Praxis fest, dass noch immer Raum für Verbesserungen in einer Erkennung kritischer Entwicklungen und instabiler Zustände für ein entsprechendes Kontrollverfahren des Prüfbetriebs am Prüfstand besteht.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine entsprechende Technik zu schaffen, die eine verbesserte Erkennung von Destabilisierungen in Betriebszuständen und eine höhere Sicherheit in einem zumindest teilweise automatisierten Betrieb eines mehrphasigen Wechselstrom-Prüflings auf einem Prüfstand erzielen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Kontrollverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem

erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß dient ein Kontrollverfahren zur Kontrolle eines Betriebs eines Prüflings mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand. Ein solches Kontrollverfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus: ein Erfassen von einzelnen Phasenströmen eines mehrphasigen Wechselstroms zu dem Prüfling; ein Ermitteln von harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme basierend auf einer Fast Fourier Transformation der erfassten Phasenströme; ein Bestimmen eines Formindex einer Wellenform der Phasenströme aus einem Verhältnis der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme zu einer Amplitude einer Grundfrequenz; ein Bestimmen wenigstens eines Symmetrieindex der Phasenströme aus einem Verhältnis der Phasenströme zueinander; und ein Ausgeben eines Kontrollsignals auf Basis des bestimmten Formindex und/oder des wenigstens einen bestimmten Symmetrieindex, zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings.

Gemäß dieser Offenbarung umfasst der Begriff einer Kontrolle oder eines Kontrollierens sowohl eine Steuerung oder auch eine Regelung und demzufolge umfasst beispielsweise der Begriff eines Kontrollsignals auch ein Steuerungs- oder Regelungssignal.

Gemäß dieser Offenbarung bezeichnet der Begriff Frequenzkomponenten Anteile von Harmonischen, d.h. den Oberwellen mit einem ganzzahligen Vielfachen der Frequenz einer Grundwelle oder Grundschiwingung, aus denen sich eine Wellenform des Phasenstroms überlagernd ergibt. Dabei umfasst die Ermittlung der Frequenzkomponenten ein Werteverhältnis, das eine Verteilung des Phasenstroms auf die einzelnen Harmonischen mit unterschiedlicher Intensität bemisst.

Gemäß dieser Offenbarung bezeichnet der Begriff einer harmonischen Grundfrequenz eine Wellenform der Sinuskurve mit der gemessenen Amplitude der Sinuskurve und mit der gemessenen Frequenz des Wechselstroms.

Das Kontrollverfahren kontrolliert zumindest teilweise in eingreifender, übersteuernder Weise einen Betrieb des Prüflings mit einem mehrphasigen Wechselstrom, d.h. insbesondere eine Leistungselektronik wie einen Inverter zur

Ansteuerung eines Stators eines Elektromotors, während der Durchführung eines Versuchslaufs auf dem Prüfstand. Da es sich hier um einen Kontrolleingriff zum Vermeiden einer Beschädigung des Prüflings handelt, ergänzt das erfindungsgemäße Kontrollverfahren ein Betriebskontrollverfahren für den regulären Betrieb des Prüflings auf dem Prüfstand. Das Kontrollverfahren kann auch als Schutz-Kontrollverfahren oder Überwachungs-Kontrollverfahren für den Elektromotor bezeichnet werden.

Ziel des Kontrollverfahrens ist es, im Gegensatz zu den bekannten Lösungen deutlich früher möglicherweise kritische Situationen des Prüflings, wie eines Elektromotors zu erkennen oder sogar vorherzusagen, um auf diese Weise den Schutz des Elektromotors zu verbessern. Insbesondere wird es auf diese Weise möglich, schneller und frühzeitiger als im Stand der Technik zu reagieren und Schritte für die Stabilisierung und/oder den Schutz des Elektromotors sowie der angeschlossenen elektrischen Komponenten einzuleiten. Um dieses Ziel zu erreichen, wird beim erfindungsgemäßen Kontrollverfahren eine Erfassung der Phasenströme der einzelnen Phasen des Elektromotors durchgeführt. Mit anderen Worten sind Stromsensoren für jede Phase vorgesehen, welche es erlauben, vorzugsweise in kontinuierlicher Weise, die Phasenströme für jede Phase des Elektromotors zu messen und aufzuzeichnen.

Die Erfindung sieht erstmals vor, Zielgrößen oder Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators) für die Stabilität des Wechselstroms zu definieren, die aus der Wellenform der gemessenen Stromwerte der einzelnen Phasenströme mittels einer Fast Fourier Transformation (FFT) abgeleitet werden. Die Fast Fourier Transformation (FFT) erlaubt eine Transformation der Aufzeichnung von zeitbezogenen Messwerten in eine Darstellung von frequenzbezogenen Werten, insbesondere von dem zuvor genannten Werteverhältnis, das eine Verteilung einer erfassten Wellenform des Phasenstroms auf die Oberwellen, d.h. die einzelnen harmonischen Schwingungen mit unterschiedlicher Intensität bemisst.

Eine der erfindungsgemäßen Zielgrößen ist ein Formindex. Der Formindex beschreibt die Dimension der Harmonischen, welche nicht der Grundschwingung zuzuordnen sind. Mit anderen Worten beschreibt der Formindex wie stark der Phasenstrom im Vergleich zur Grundschwingung, also der ersten Harmonischen verzerrt ist und bildet ein Maß der Kongruenz oder Konformität im Sinne eines

Übereinanderlegens der Wellenformen der Phasenströme ab, welche individuelle Abweichungen gegenüber einer gemittelten Wellenform aus den Phasenströmen hervor hebt.

Eine andere erfindungsgemäße Zielgröße bezieht sich auf zwei mögliche Varianten eines Symmetrieindex. Die erste Variante des Symmetrieindex ist für einen Relativwert der Amplitude der einzelnen Phasenströme bezeichnend, und wird aus einem individuellen Wert der Amplitude der ersten Harmonischen eines Phasenstroms gegenüber einem Mittelwert der Amplitude aus den anderen Phasenströmen gebildet. Mit anderen Worten wird in jedem Phasenstrom ein individueller Anteil oder eine Intensität in Bezug auf eine gemeinsame, gemittelte Grundfrequenz aus den Phasenströmen bemessen.

Die zweite Variante des Symmetrieindex ist für einen Relativwert der Phasenverschiebung der einzelnen Phasenströme bezeichnend, und wird aus einer individuellen Phasenverschiebung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Phasen gegenüber einem Mittelwert aus den Phasenverschiebungen zwischen den anderen Phasenströmen gebildet. Als Grundlage der Berechnung für die zweite Variante des Symmetrieindex in Bezug auf die Phasenverschiebung werden direkt die gemessenen Werte der Phasenströme herangezogen.

Im Vergleich zu dem zuvor genannten Verfahren, das auf der Berechnungen des quadratischen Mittels für den Effektivstromes I_{rms} der Phasenströme basiert, der sich rein mathematisch betrachtet aus der integrierten Fläche unter der Wellenform der Phasenströme gebildet wird, hat die erfindungsgemäße Analyse anhand des wie obenstehend definierten Formindex und Symmetrieindex die folgenden Vorteile:

Als ein erster Vorteil liefern diese Zielgrößen eine präzisere Erkenntnis und treffendere Prognose zu möglichen Instabilitäten in den Phasenströmen, da die Analyse die Wellenform berücksichtigt, welche mehr Informationen zu einem Trend enthält als das berechnete Integral der Fläche unter der Wellenform.

Als ein zweiter Vorteil erfordern diese Zielgrößen weniger Rechenkapazität, da nicht der Effektivstrom für alle Phasenströme berechnet werden muss, und da die Berechnungen zur Analyse der Kurvenform auf die wenigen genannten Zielwerte reduziert sind.

Aktuelle Leistungsanalysevorrichtungen (Power Analyzer), welche die Messung und eine analytische Berechnungen durchführen, sind in der Lage eine Fast Fourier Transformation (FFT) für die Messsignale, also die erfasste Wellenform der Phasenströme in Echtzeit auszugeben. Eine gesamte Rechenleistung zur Bestimmung des Formindex und des Symmetrieindex erfordert anschließend kaum mehr Kapazität als die Berechnung der Fast Fourier Transformation, womit die Information der genannten Zielgrößen ebenfalls während eines Testbetriebs eines Prüflings auf dem Prüfstand online, d.h. in Echtzeit bereitgestellt wird.

Demzufolge ergibt sich zum einen der Vorteil in der Praxis eines Prüfstandbetriebs, dass ein Eingriff des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens in einen Betrieb des Prüflings in Grenzfällen noch zutreffender ausgelöst wird, oder konträr ausgedrückt, mit größerer Sicherheit in Grenzfällen vermieden werden kann, wodurch Abbrüche eines Testbetriebs reduziert werden.

Zum anderen ergibt sich der Vorteil in der Praxis des Prüfbetriebs, dass der Eingriff des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens in einen Betrieb des Prüflings noch schneller und präziser erfolgt, womit das Risiko von Folgeschäden an dem Prüfling oder an dem Prüfstand verringert wird.

Weiter von Vorteil kann es sein, wenn der Verfahrensschritt des Bestimmens von wenigstens einem Symmetrieindex, ein Bestimmen eines Symmetrieindex in Bezug auf die Amplitude der Phasenströme umfasst, basierend auf einem Verhältnis einzelner Amplituden einer bestimmten harmonischen Frequenzkomponente der Phasenströme zu einem Mittelwert der Amplituden derselben harmonischen Frequenzkomponente der Phasenströme. Wie zuvor erwähnt, als eine mögliche Variante erwähnt, kann somit die Symmetrie zwischen den Phasenströmen anhand eines charakteristischen Merkmals der Wellenform überprüft werden.

Weiter von Vorteil kann es sein, wenn der Verfahrensschritt des Bestimmens von wenigstens einem Symmetrieindex, ein Bestimmen von einem Symmetrieindex in Bezug auf die Phase der Phasenströme umfasst, basierend auf einem Verhältnis einzelner Phasenverschiebungen zwischen den Phasenströmen zu einem Mittelwert der Phasenverschiebungen zwischen den Phasenströmen. Wie zuvor erwähnt, als eine mögliche Variante erwähnt, kann somit die Symmetrie zwischen den Phasenströmen anhand eines weiteren charakteristischen Merkmals der Wellenform überprüft werden.

Vorzugsweise werden im Rahmen des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens beide Varianten des Symmetrieindex, sowohl in Bezug auf die Amplitude als auch auf die Phasenverschiebung bestimmt und verglichen.

Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn das Kontrollverfahren weitere Schritte aufweist, nämlich ein Vergleichen des Formindex mit einem Verzerrungs-Schwellwert; und ein Vergleichen des wenigstens einen Symmetrieindex mit wenigstens einem Asymmetrie-Schwellwert; wobei der Verfahrensschritt des Ausgebens des Kontrollsignals auf Basis einer Bedingung erfolgt, dass der Formindex den Verzerrungs-Schwellwert überschreitet, und/oder der wenigstens eine Symmetrieindex den wenigstens einen Asymmetrie-Schwellwert überschreitet. Somit können Bedingungen und Erkenntnisse zur Ausgabe des Kontrollsignals differenzierter gewählt werden.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn das Kontrollverfahren einen weiteren Schritt eines Kalibrierens des Verzerrungs-Schwellwertes und des wenigstens einen Asymmetrie-Schwellwertes in Bezug auf einen Prüflingstyp aufweist. Somit kann der Prüfbestrieb individuell an den Prüfling angepasst werden.

Weiter von Vorteil ist es ebenfalls, wenn der mehrphasige Wechselstroms für den Prüfling mehr als drei Phasenströme umfasst, wobei vorzugsweise der Prüfling ein elektrischer Motor mit mehr als drei Phasen ist. Das Kontrollverfahren zeichnet sich durch eine effektive Nutzung der Rechenkapazität aus, sodass auch eine hohe Anzahl von Phasen in Echtzeit überwacht werden können.

Von Vorteil ist es weiter, wenn das ausgegebene Kontrollsignal zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings einen Kontrollparameter umfasst, dessen Wert in einem Verhältnis zu einem Wert des Formindex oder einem Werts des wenigstens einen Symmetrieindex gebildet wird. Somit kann eine Information zur Wertung und Größe der Abweichung eines Phasenstroms direkt in eine geregelte Gegenmaßnahme einfließen.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn das ausgegebene Kontrollsignal zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings wenigstens einen der nachfolgenden Kontrolleingriffe auf dem Prüfstand veranlasst: Stabilisieren einer instabilen Phase; Begrenzen einer Last des Prüflings; temporäres Ausschalten des Prüflings, oder vollständiges Ausschalten des Prüflings. Somit stehen verschiedene Arten von

Gegenmaßnahmen zum sicherheitsrelevanten Eingriff in den Betrieb des Prüfstands zur Verfügung.

Darüber hinaus kann es Vorteile mit sich bringen, wenn der Verfahrensschritt des Erfassens von einzelnen Phasenströmen kontinuierlich und für alle Phasenströme des mehrphasigen Wechselstroms durchgeführt wird. Das Kontrollverfahren zeichnet sich durch eine effektive Nutzung der Rechenkapazität aus, sodass alle Phasen permanent in Echtzeit überwacht werden können.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn der Verfahrensschritt des Ermitteln von harmonischen Frequenzkomponenten fortlaufend für ein rollierendes Zeitfenster wiederholt und für alle Phasenströme des mehrphasigen Wechselstroms durchgeführt wird. Somit ist eine frequenzorientierte und demnach verarbeitungseffektive Auswahl der Zeitabschnitte gegeben.

Darüber hinaus kann es Vorteile mit sich bringen, wenn die Verfahrensschritte des Bestimmens des Formindex und des Bestimmens des wenigstens einen Symmetrieindex parallel und fortlaufend für dasselbe rollierende Zeitfenster der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten durchgeführt werden. Somit ergeben sich Vereinfachungen in der Verarbeitung der Messdaten.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn das Zeitfenster mit der Periodendauer der Phasen des Prüflings korreliert. Periodendauer kann anhand der Stromwerte durch Nulldurchgänge leicht definiert werden.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn das Zeitfenster eine variable Länge aufweist, welche insbesondere auf Basis des Kontrollsignals angepasst wird. Somit wird eine Verarbeitung der Messdaten an eine Frequenz des Wechselstroms bzw. eine Geschwindigkeit eines Elektromotors als Prüfling angepasst oder optimiert.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens durchzuführen. Damit bringt auch ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

Darüber hinaus ist ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Kontrollvorrichtung für eine Kontrolle eines Betriebs eines Prüflings mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand. Die Kontrollvorrichtung weist ein Erfassungsmodul, ein Ermittlungsmodul, ein Bestimmungsmodul sowie ein Ausgabemodul auf. Das Erfassungsmodul, das Ermittlungsmodul, das Bestimmungsmodul und das Ausgabemodul sind dabei dafür ausgebildet, ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren durchzuführen. Damit bringt auch eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind.

Es zeigen schematisch:

- Fig. 1a eine grafische Darstellung des Verlaufs von drei Phasenströmen, die in einem Diagramm über einer Zeitachse erfasst werden;
- Fig. 1b eine grafische Darstellung einer Überlagerung der drei Phasenströme aus Fig. 1a;
- Fig. 2 ein schematischer Prüfaufbau mit einem Elektromotor als Prüfling und einer Kontrollvorrichtung zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens;
- Fig. 3 ein Blockdiagramm zum Ablauf von Verfahrensschritten in einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens;
- Fig. 4 eine Darstellung von Diagrammen mit Messwerten und ermittelten Zielwerten während eines stabilen Betriebszustands; und
- Fig. 5 eine Darstellung derselben Diagramme aus Fig. 3 mit Messwerten und ermittelten Zielwerten während eines instabilen Betriebszustands.

Die Figuren. 1a und 1b geben eine kurze Einführung in den Sachverhalt, welcher dem Kontrollverfahren und dessen Überwachungsfunktion zugrunde liegt.

Fig. 1a zeigt einen sinusförmigen Verlauf von Stromwerten aus drei Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , die an den Anschlüssen eines Stators eines Elektromotors, der in der vorliegenden Ausführungsform als Prüfling 300 auf einem Prüfstand 200 betrieben wird, oder an einem Ausgang eines dem Stator vorgeschalteten Inverters 220 zur Ansteuerung des Elektromotors abgegriffen werden. In stabilen Betriebszuständen, in denen eine nicht-lineare Last wie der Elektromotor variable Geschwindigkeiten und Drehmomente erzeugt, weisen die Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} größtenteils eine gleichmäßige Kurvenform auf.

In einem konstanten Betriebszustand des Elektromotors sind die Wellenformen der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} annähernd kongruent, wie in Fig. 1b gezeigt ist. In dieser Darstellung sind die Phasenverschiebungen zwischen den Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} herausgerechnet und die Kurvenformen der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} graphisch überlagert. Auf diese lässt sich in der Praxis nach einem Abbruch eines Testbetriebs oder parallel zum laufenden Testbetrieb, jedoch zeitversetzt, d.h. offline, protokollierte Betriebszustände optisch nachvollziehen und gegebenenfalls Erkenntnisse zu einer Instabilität der Phasen des Wechselstroms im Nachhinein erlangen. Eine Überwachung in Echtzeit, d.h. online im Testbetrieb, ist durch eine solche manuelle Überprüfung jedoch nicht möglich. Sie bietet demnach keine Methode und Grundlage zur rechtzeitigen Erlangung von Erkenntnissen und Entscheidung zu einer Gegenmaßnahme im Falle auftretender Instabilitäten.

In Fig. 2 ist ein Aufbau eines Prüfstands 200 gezeigt, in dem ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren auf einer Kontrollvorrichtung 100 ausgeführt wird, während ein Elektromotor (M) 300 als Prüfling in einem Testlauf betrieben wird. Hierzu umfasst der Prüfstand 200 eine Stromquelle 210 zur Leistungsversorgung, die in der dargestellten Ausführungsform eine Gleichspannung (DC) bereitstellt, und einen Inverter (DC/AC) 220, der von einer Steuerungseinheit (CPU) 240 gesteuert wird. Der Inverter 220 stellt eine Leistungsumwandlung in einen mehrphasigen Wechselstrom mit den dargestellten drei Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} bereit, und nimmt eine Ansteuerung von Statorspulen unter Kontrolle der Steuerungseinheit 240 vor.

Abweichend zu der beschriebenen Ausführungsform können der Elektromotor 300 und der Inverter 220 mehr als 3 Phasen, insbesondere 6 Phasen oder eine beliebige andere Mehrzahl an Phasen aufweisen.

Die Steuerungseinheit 240 steuert den Betrieb des Elektromotors 300 beispielsweise in Abhängigkeit eines Ablaufs eines vorab gespeicherten Testprotokolls, das seitens des Prüfstands 200 vorgegeben wird. Während des Betriebs werden die Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} jeweils durch Stromsensoren (S) 230 erfasst. Die Stromsensoren 230 sind mit Messeingängen der Kontrollvorrichtung 100 verbunden. Die Kontrollvorrichtung 100 umfasst ein Erfassungsmodul 10, ein Ermittlungsmodul 20, ein Bestimmungsmodul 30, ein Vergleichsmodul 40 und ein Ausgabemodul 50, deren Funktion nachstehend im Zusammenhang mit dem Kontrollverfahren näher erläutert wird.

In Fig. 3 werden die Verfahrensschritte in einer Abfolge von näher beschriebenen Ausführungsformen des Kontrollverfahrens dargestellt. Dabei sind die Verfahrensschritte aus Fig. 3 wie folgt auf die einzelnen Module der Kontrollvorrichtung 100 aus Fig. 2 aufgeteilt. Das Erfassungsmodul 10 führt Messungen S10 der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} durch. Das Ermittlungsmodul 20 führt eine Ermittlung S20 von Frequenzkomponenten aus den Messwerten unter Berechnung einer Fast Fourier Transformation durch. Das Bestimmungsmodul 30 führt mehrere Bestimmungen S31, S32 und S33 von Indizes als Zielwerte durch. Das Vergleichsmodul 40 führt Vergleiche S41, 42 und S43 der Indizes mit zugeordneten Schwellwerten durch. Das Ausgabemodul 50 führt eine Ausgabe S50 eines Kontrollsignals basierend auf den Indizes, insbesondere in Abhängigkeit von den Vergleichen oder in Relation zu den Werten der Indizes durch.

Nachstehend werden Ausführungsformen des in Fig. 3 dargestellten Kontrollverfahrens näher beschrieben.

In Schritt S10 werden die Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , d.h. vorzugsweise alle Phasenströme aller Phasen des Prüflings 300 durch Stromsensoren 230 gemessen und im zeitlichen Verlauf aufgezeichnet, woraus sich Wellenformen der gemessenen Stromwerte ergeben. In Schritt S20 wird online, d.h. in Echtzeit durch einen Power Analyzer unter Berechnung einer Fast Fourier Transformation (FFT) der gemessenen Stromwerte für vorbestimmte Zeitfenster, wie z.B. eine Periode einer Grundfrequenz des Wechselstroms, ein Frequenzspektrum erstellt, das eine

zeitabhängige Darstellung jedes Phasenstroms in einer frequenzabhängigen Darstellung ermöglicht. Das Frequenzspektrum gibt eine frequenzspezifische Verteilung der Wellenformen der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} auf individuelle Anteile von harmonische Frequenzkomponenten wieder. Diese zeigen eine Intensität der Grundfrequenz und der Oberwellen mit einem ganzen Vielfachen der Grundfrequenz auf. Eine Überlagerung der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten in einem zeitbezogenen Raum ergibt wiederum die gesamte Wellenform eines Phasenstroms.

In Schritt S31 wird aus der Zerlegung der Wellenform in die harmonischen Frequenzkomponenten ein Formindex jedes Phasenstroms in Bezug zur der Grundfrequenz des Wechselstroms ermittelt. Der Formindex wird aus einer Summe von Anteilen der Frequenzkomponenten, z.B. die Summe der Stromwerte der zweiten, dritten, fünften und nullten Harmonischen, geteilt durch den Wert der Amplitude einer Sinuskurve mit der Grundfrequenz, gebildet.

In Schritt S32 wird aus der Zerlegung der Wellenform in die harmonischen Frequenzkomponenten ein Symmetrieindex in Bezug auf die Amplituden der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} in einem Verhältnis untereinander ermittelt. Der Amplituden-Symmetrieindex wird gebildet aus einem Betrag der Maximalwerte der Amplituden der ersten Harmonischen aller Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} abzüglich der Minimalwerte derselben Amplituden der ersten Harmonischen aller Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , geteilt durch einen Mittelwert derselben Amplituden der ersten Harmonischen aller Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} .

In Schritt S33 wird aus den gemessenen Wellenformen entlang der Zeitachse ein Symmetrieindex in Bezug auf die Phasenverschiebung der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} in einem Verhältnis untereinander ermittelt. Der Phasen-Symmetrieindex wird gebildet aus einem Betrag der Maximalwerte der Phasendifferenzen zwischen den aufeinanderfolgenden Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} abzüglich der Minimalwerte derselben Phasendifferenzen zwischen den aufeinanderfolgenden Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , geteilt durch einen Mittelwert derselben Phasendifferenzen zwischen den aufeinanderfolgenden Phasenströmen.

Darauffolgend wird der Formindex in Schritt S41 mit einem Verzerrungs-Schwellwert verglichen, der in Bezug auf eine Betriebssicherheit des Prüfstands 200 vorbestimmt ist oder auf einen Typ des Prüflings 300 vorab kalibriert und eingestellt wird. Dieser

Wert kann beispielsweise den Wert 1 oder kleiner, vorzugsweise 0,3 betragen. Anschließend wird ein Vergleichsergebnis getroffen, ob der Formindex den Verzerrungs-Schwellwert überschreitet oder nicht, und optional wie groß die Überschreitung ist.

Ferner wird der Amplituden-Symmetrieindex in Schritt S42 mit einem Amplituden-Symmetrie-Schwellwert verglichen, der vorbestimmt ist oder zuvor kalibriert wird. Dieser Wert kann ebenfalls beispielsweise den Wert 1 oder kleiner, vorzugsweise 0,3 betragen. Anschließend wird ein Vergleichsergebnis getroffen, ob der Amplituden-Symmetrieindex den Amplituden-Symmetrie-Schwellwert überschreitet oder nicht, und optional wie groß die Überschreitung ist.

Optional, vorzugsweise zusätzlich, wird der Phasen-Symmetrieindex in Schritt S43 mit einem Phasen-Symmetrie-Schwellwert verglichen, der vorbestimmt ist oder zuvor kalibriert wird. Dieser Wert kann ebenfalls beispielsweise den Wert 1 oder kleiner, vorzugsweise 0,3 betragen. Anschließend wird ein Vergleichsergebnis getroffen, ob der Phasen-Symmetrieindex den Phasen-Symmetrie-Schwellwert überschreitet oder nicht, und optional wie groß die Überschreitung ist.

In Schritt S50 wird danach in Abhängigkeit der Vergleichsergebnisse eine Kontrollsignal ausgegeben, das von der Steuerungsvorrichtung 240 des Prüfstands 200 verarbeitet wird.

Es lassen sich unter anderem zwei Ausführungsformen des Kontrollverfahrens, das in Fig. 3 dargestellt ist, durch die Art und Erzeugung des ausgegebenen Kontrollsignals unterscheiden.

In einer ersten Ausführungsform dienen die Schritte des Vergleichens S41, S42 und S43 zur Information, ob der jeweilige Schwellwert überschritten wurde, beispielsweise in Form einer Ausgabe von zwei Zuständen oder eines Trigger-Flags. Im Falle einer Schwellwertüberschreitung, oder alternativ nach einer kumulativen Überschreitung der Schwellwerte in allen Vergleichen, wird in Schritt S50 ein Kontrollsignal ausgegeben, das einen stets gleichartigen Eingriff an der Steuerungsvorrichtung 240 wie eine Notabschaltung, oder eine Lastverringerng in vorbestimmtem Ausmaß auslöst.

In einer zweiten Ausführungsform dienen die Schritte des Vergleichens S41, S42 und S43 zur Ausgabe eines Vergleichswertes, der den ursprünglichen Indexwert oder

einen in Relation zum Schwellwert gebildeten absoluten Wert umfasst, wobei dieser implizit ebenfalls eine Information zu einer Schwellwertüberschreitung enthalten kann. In diesem Fall fließt der Vergleichswert direkt oder unter einer rechnerischen Umwandlung als Kontrollparameter in das in Schritt S50 ausgegebene Kontrollsignal ein, das dann einen Steuerungseingriff zur Regelung einer Lastverringerung im Betrieb des Elektromotors 300 in Abhängigkeit einer Rückführung des Kontrollsignals an der Steuerungsvorrichtung 240 einleitet.

In einer anderen Variante der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsformen des Kontrollverfahrens werden nur der Schritt S32 zur Bestimmung des Amplituden-Symmetrieindex und darauffolgend der Schritt des Vergleichens S42 mit einem Amplituden-Asymmetrie-Schwellwert durchgeführt. In einer hierzu komplementären Variante der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsformen des Kontrollverfahrens werden nur der Schritt S33 zur Bestimmung des Phasen-Symmetrieindex und darauffolgend der Schritt des Vergleichens S43 mit einem Phasen-Asymmetrie-Schwellwert durchgeführt.

Abweichend von den dargestellten Ausführungsformen des Kontrollverfahrens in Fig. 3 können in einer alternativen Ausführungsform die Schritte des Vergleichens S41, S42 und S43 der ermittelten Indizes mit den entsprechenden Schwellwerten entfallen. In dieser alternativen Ausführungsform fließt ein nach den Schritten des Ermitteln S31, S32 und S33 ausgegebener Werte der Indizes direkt oder unter einer rechnerischen Umwandlung als Kontrollparameter in das in Schritt S50 ausgegebene Kontrollsignal ein, wie zu der zweiten Ausführungsform in Fig. 3 beschrieben.

Fig. 4 zeigt ein Messprotokoll der erfassten Wellenformen der drei Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} in einem stabilen Betriebszustand. In einer oberen Zeile ist eine kontinuierliche Messung dargestellt. Darunter ist ein Zeitfenster wiedergegeben, für das die Fast Fourier Transformation durchgeführt wurde. In dem Diagramm darunter ist das Frequenzspektrum mit den harmonischen Frequenzkomponenten aus den Phasenströmen I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} dargestellt. Der Formindex (ShapeIndex) weist geringe Werte von weniger als 0,15 auf, und die Wellenformen sind sinusförmig.

Fig. 5 zeigt ein Messprotokoll in einem instabilen Betriebszustand. Die drei Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} zeigen in der oberen Zeile keine sinusförmigen Wellenformen auf und sind nicht gleichförmig. Das Diagramm des Frequenzspektrums zeigt eine wesentlich breitere Verteilung auf eine höhere Anzahl

von geringer gewichteten Anteilen von harmonischen Frequenzkomponenten, wobei sich auch die Verteilung der Phasenströme I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} wesentlich uneinheitlicher dargestellt. Der Formindex (ShapelIndex) weist höhere Werte zwischen 0,5 und 1 auf.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

10	Erfassungsmodul
20	Ermittlungsmodul
30	Bestimmungsmodul
40	Vergleichsmodul
50	Ausgabemodul
100	Kontrollvorrichtung
200	Prüfstand
210	Stromquelle
220	Inverter
230	Stromsensoren
240	Steuerungsvorrichtung
300	Prüfling / Elektromotor
Ip1, Ip2, Ip3	Phasenströme

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Betriebs eines Prüflings (300) mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand (200),
gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
 - Erfassen (S10) von einzelnen Phasenströmen (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) eines mehrphasigen Wechselstroms zu dem Prüfling (300);
 - Ermitteln (S20) von harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) basierend auf einer Fast Fourier Transformation (FFT) der erfassten Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3});
 - Bestimmen (S31) eines Formindex einer Wellenform der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zu einer Amplitude einer Grundfrequenz;
 - Bestimmen (S32, S33) wenigstens eines Symmetrieindex der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zueinander;
 - Ausgeben (S50) eines Kontrollsignals auf Basis des bestimmten Formindex und/oder des wenigstens einen bestimmten Symmetrieindex, zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300).
2. Kontrollverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verfahrensschritt des Bestimmens (S32, S33) von wenigstens einem Symmetrieindex, ein Bestimmen (S32) von einem Symmetrieindex in Bezug auf die Amplitude der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) umfasst, basierend auf einem Verhältnis einzelner Amplituden einer bestimmten harmonischen Frequenzkomponente der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zu einem Mittelwert der Amplituden derselben harmonischen Frequenzkomponente der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}).

3. Kontrollverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verfahrensschritt des Bestimmens (S32, S33) von wenigstens einem Symmetrieindex, ein Bestimmen (S33) von einem Symmetrieindex in Bezug auf die Phase der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) umfasst, basierend auf einem Verhältnis einzelner Phasenverschiebungen zwischen den Phasenströmen (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zu einem Mittelwert der Phasenverschiebungen zwischen den Phasenströmen (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}).
4. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, ferner **gekennzeichnet durch** die Schritte:
 - Vergleichen (S41) des Formindex mit einem Verzerrungs-Schwellwert;
und
 - Vergleichen (S42, S43) des wenigstens einen Symmetrieindex mit wenigstens einem Asymmetrie-Schwellwert; wobeider Verfahrensschritt des Ausgebens (S50) des Kontrollsignals auf Basis einer Bedingung erfolgt, dass der Formindex den Verzerrungs-Schwellwert überschreitet, und/oder der wenigstens eine Symmetrieindex den wenigstens einen Asymmetrie-Schwellwert überschreitet.
5. Kontrollverfahren nach Anspruch 8, ferner **gekennzeichnet durch** den Schritt:
 - Kalibrieren des Verzerrungs-Schwellwertes und des wenigstens einen Asymmetrie-Schwellwertes in Bezug auf einen Prüflingstyp.
6. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mehrphasige Wechselstroms für den Prüfling (300) mehr als drei Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) umfasst, und wobei vorzugsweise der Prüfling (300) ein elektrischer Motor mit mehr als drei Phasen ist.
7. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das ausgegebene Kontrollsignal zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300) einen Kontrollparameter umfasst, dessen Wert in einem Verhältnis zu einem Wert des Formindex oder einem Werts des wenigstens einen Symmetrieindex gebildet wird.

8. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das ausgegebene Kontrollsignal zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300) wenigstens einen der nachfolgenden Kontrolleingriffe auf dem Prüfstand (200) veranlasst:
- Stabilisieren eines instabilen Phasenstroms (Ip1, Ip2, Ip3)
 - Begrenzen einer Last des Prüflings (300)
 - temporäres Ausschalten des Prüflings (300)
 - vollständiges Ausschalten des Prüflings (300).
9. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verfahrensschritt des Erfassens (S10) von einzelnen Phasenströmen (Ip1, Ip2, Ip3) kontinuierlich und für alle Phasenströme des mehrphasigen Wechselstroms durchgeführt wird.
10. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verfahrensschritt des Ermitteln (S20) von harmonischen Frequenzkomponenten fortlaufend für ein rollierendes Zeitfenster wiederholt und für alle Phasenströme des mehrphasigen Wechselstroms durchgeführt wird.
11. Kontrollverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfahrensschritte des Bestimmen (S31) des Formindex und des Bestimmen (S32, S33) des wenigstens einen Symmetrieindex parallel und fortlaufend für dasselbe rollierende Zeitfenster der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten durchgeführt werden.
12. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zeitfenster mit der Periodendauer der Phasenströme (Ip1, Ip2, Ip3) des Prüflings (300) korreliert.
13. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zeitfenster eine variable Länge aufweist, welche insbesondere auf Basis des Kontrollsignals angepasst wird.

14. Computerprogramprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 13 durchzuführen.
15. Kontrollvorrichtung (100) für eine Kontrolle eines Betriebs eines Prüflings (300) mit einem mehrphasigen Wechselstrom auf einem Prüfstand (200), aufweisend ein Erfassungsmodul (10) für ein Erfassen des Phasenstroms (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) für jede Phase des Prüflings (300), ein Ermittlungsmodul (20) für ein Ermitteln von harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) basierend auf einer Fast Fourier Transformation der erfassten Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}), ein Bestimmungsmodul (30) für ein Bestimmen eines Formindex einer Wellenform der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der ermittelten harmonischen Frequenzkomponenten der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zu einer harmonischen Grundfrequenz, sowie für ein Bestimmen wenigstens eines Symmetrieindex der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) aus einem Verhältnis der Phasenströme (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) zueinander; und ein Ausgabemodul (50) für eine Ausgabe eines Kontrollsignals auf Basis des bestimmten Formindex und/oder des wenigstens einen bestimmten Symmetrieindex, zum Eingriff in den Betrieb des Prüflings (300), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erfassungsmodul (10), das Ermittlungsmodul (20), das Bestimmungsmodul (30), das Vergleichsmodul (40) und das Ausgabemodul (50) für eine Ausführung eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 13 ausgebildet sind.

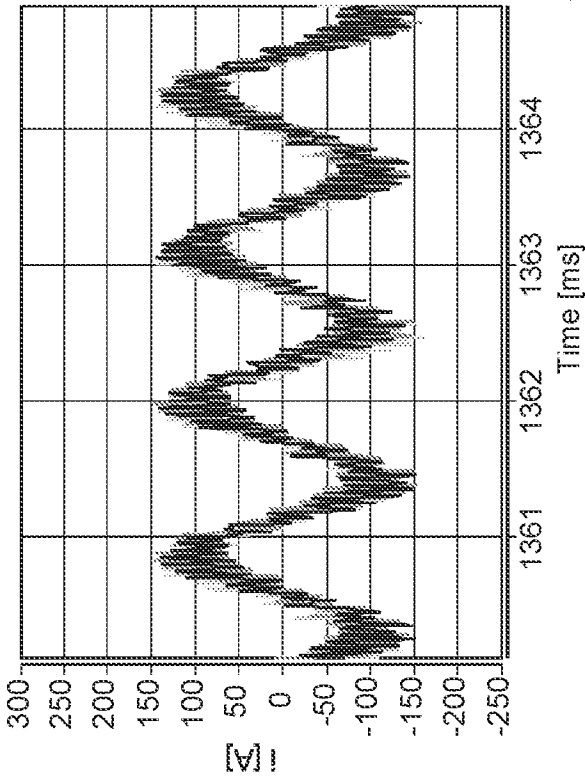


Fig. 1b

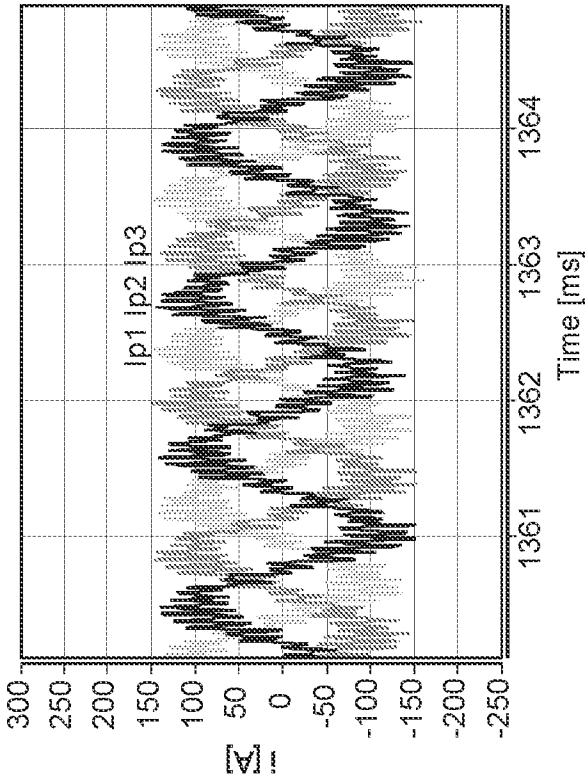
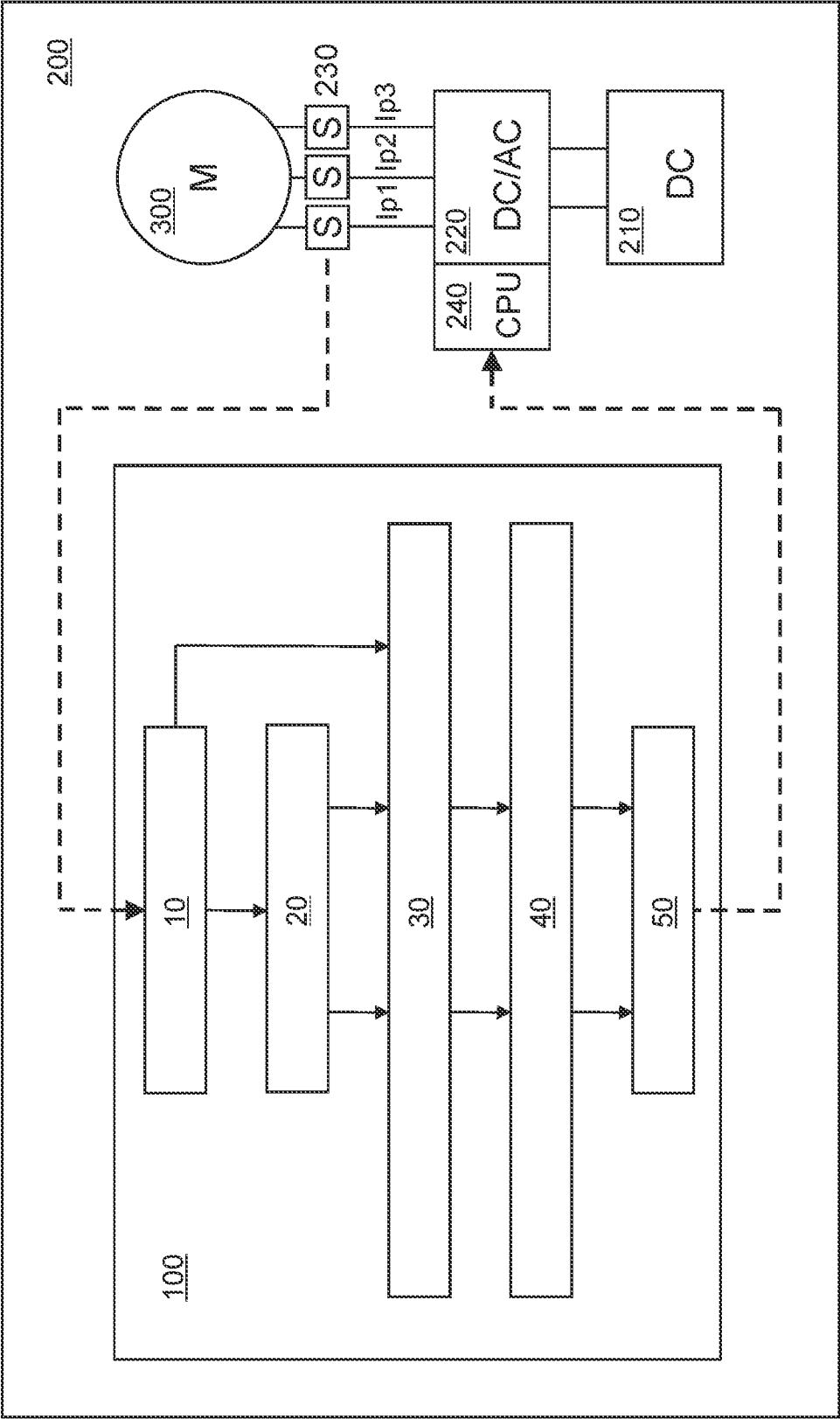
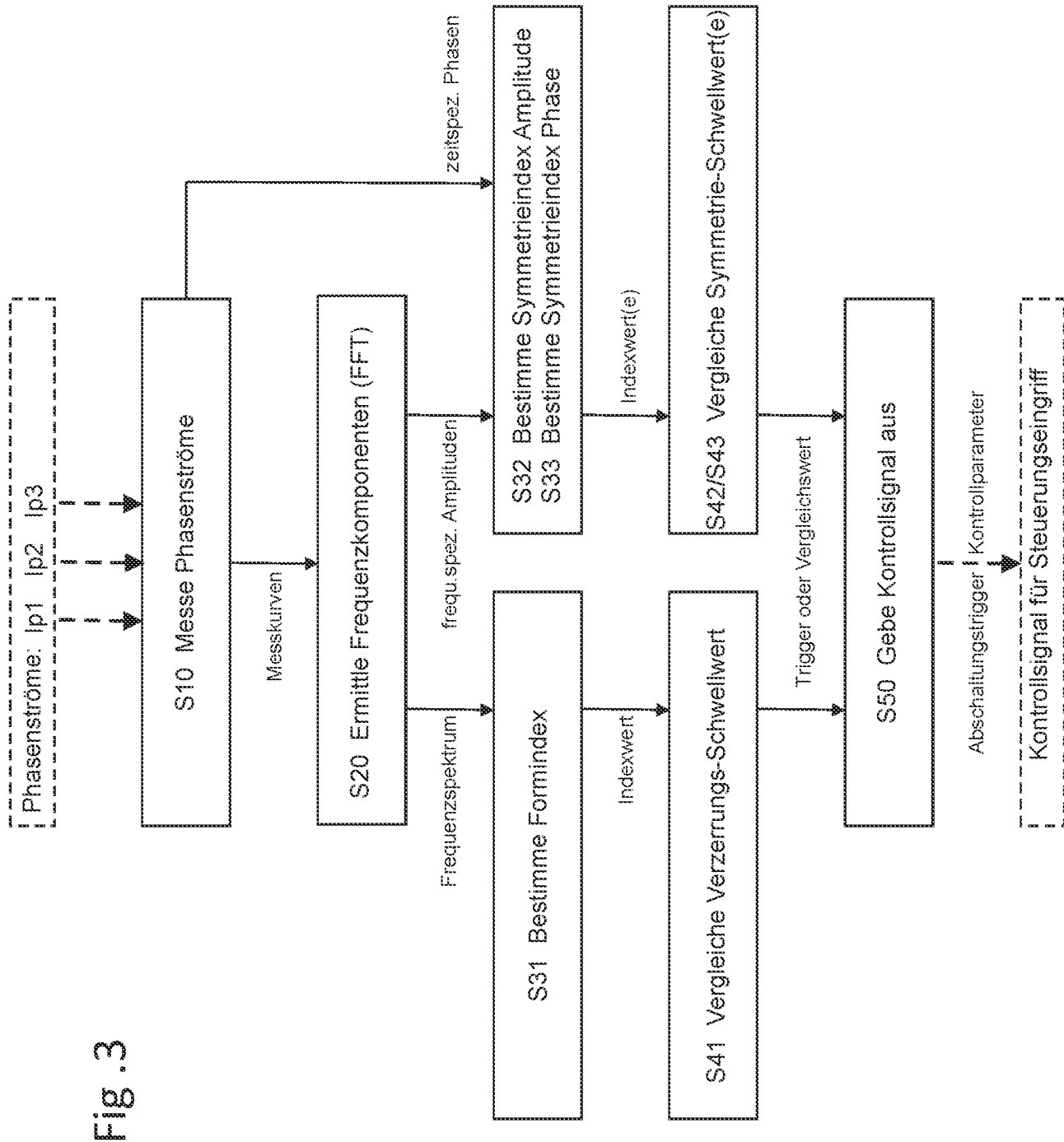


Fig. 1a

Fig. 2





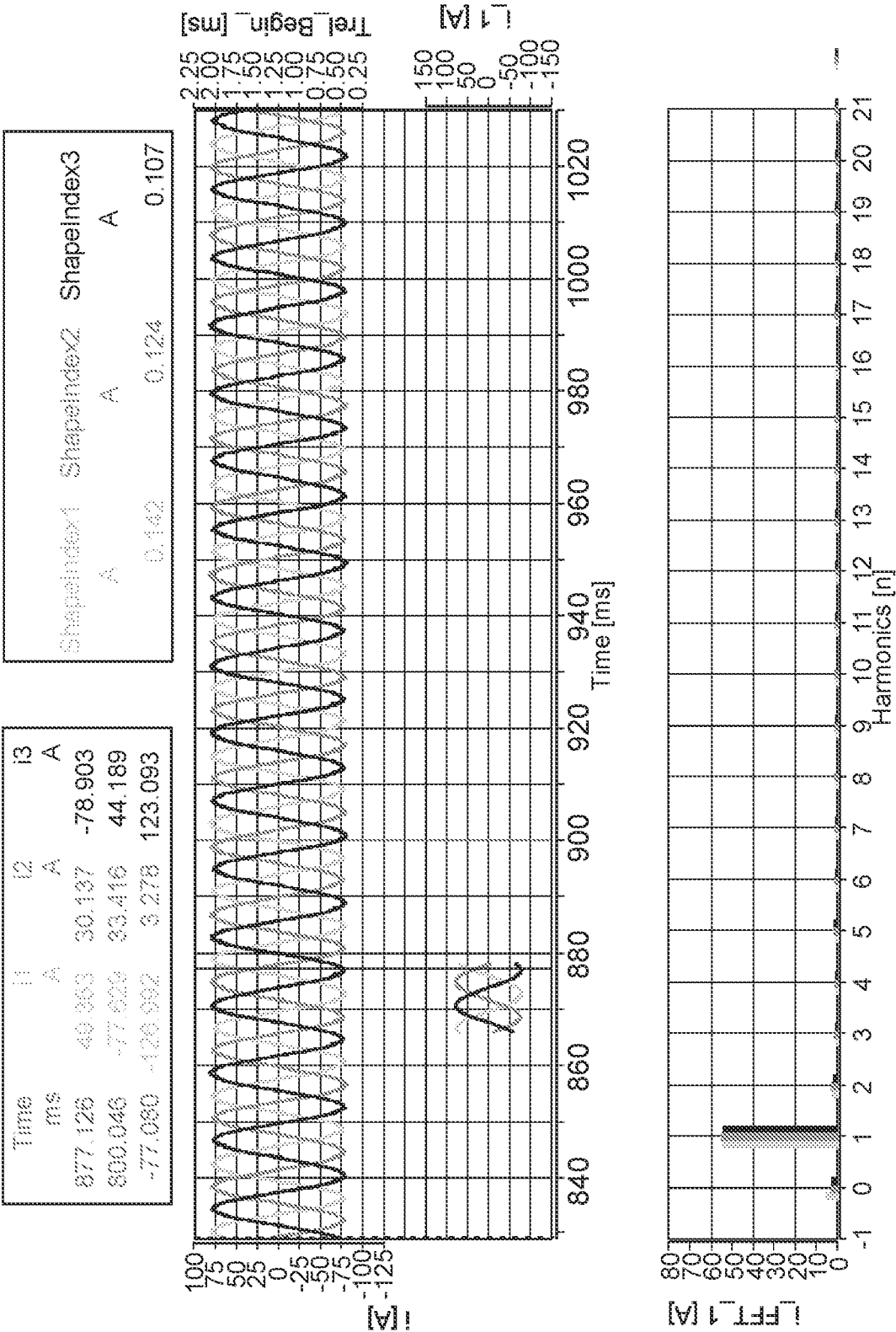


Fig 4

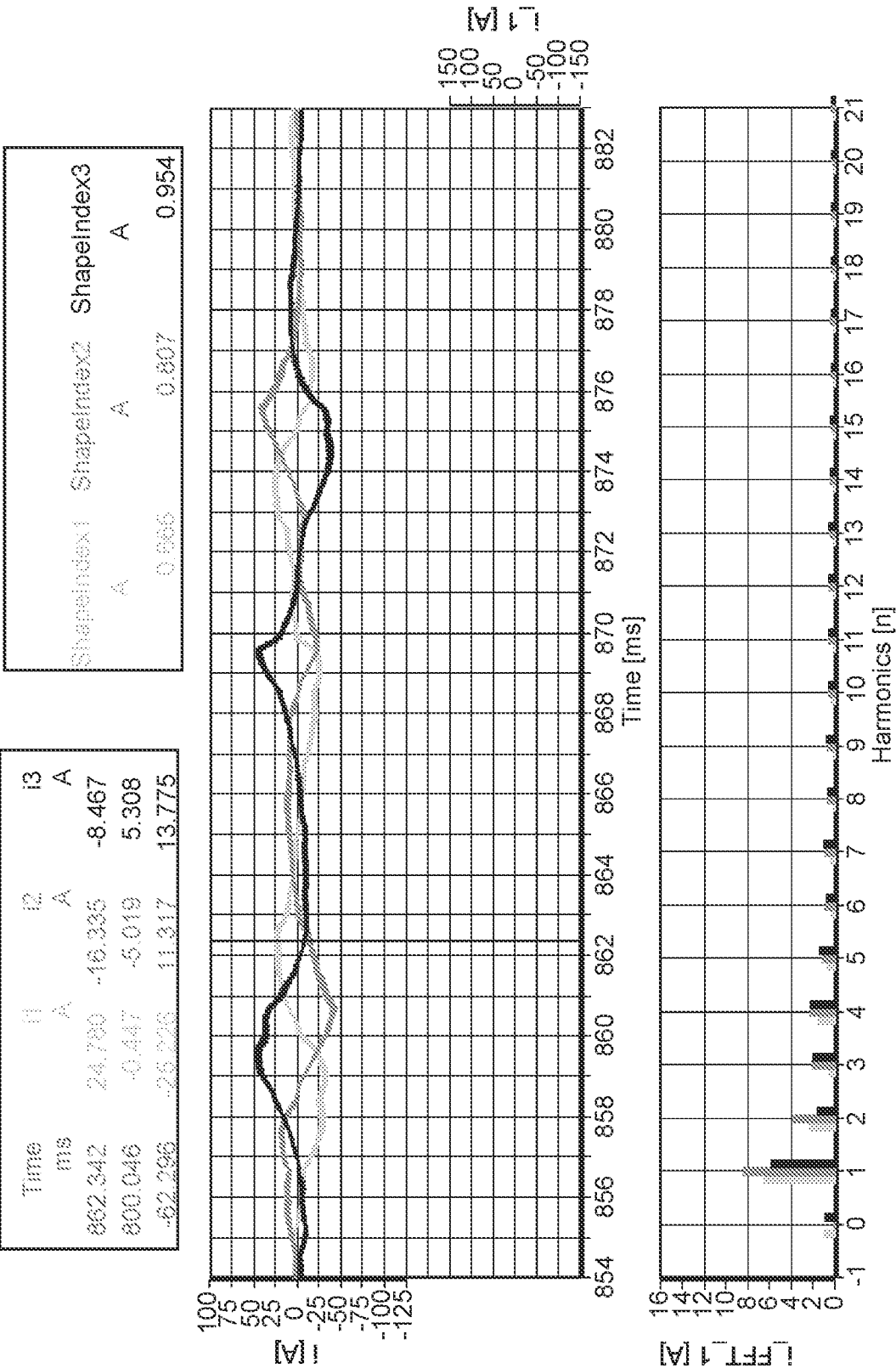


Fig. 5

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
H02P 29/02 (2006.01); **G01R 31/34** (2006.01); **G01R 23/16** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
H02P 29/02 (2016.02); **G01R 31/34** (2013.01); **G01R 23/16** (2021.05)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
H02P, G01R

Konsultierte Online-Datenbank:
EPODOC, WPI, PATDEW, PATENW

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **07.07.2023** eingereichten Ansprüchen **1-15** erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	BHOLE, N. et al. "Motor Current Signature Analysis for Fault Detection of Induction Machine-A Review" In: 2021 4th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE) [online]. Jänner 2021 (01.2021). Seiten 1-6. [ermittelt am 17. Mai 2024]. <doi:10.1109/ICNTE51185.2021.9487715>. Ermittelt von <https://ieeexplore.ieee.org/document/9487715> Das gesamte Dokument	1
A	WO 2013006742 A1 (GEN ELECTRIC) 10. Januar 2013 (10.01.2013) Das gesamte Dokument	1-15
A	US 8405339 B2 (ZHANG PINJIA et al) 26. März 2013 (26.03.2013) Das gesamte Dokument	1-15
A	US 11722079 B2 (HE YULING et al) 08. August 2023 (08.08.2023) Das gesamte Dokument	1-15
A	EP 2743669 B1 (GEN ELECTRIC) 08. April 2020 (08.04.2020) Das gesamte Dokument	1-15
A	US 2020341063 A1 (BICKEL JON ANDREW) 29. Oktober 2020 (29.10.2020) Das gesamte Dokument	1-15
A	DE 102020126587 A1 (PROKON REGENERATIVE ENERGIEN EG) 14. April 2022 (14.04.2022) Das gesamte Dokument	1-15
Datum der Beendigung der Recherche: 17.05.2024		
Seite 1 von 1		Prüfer(in): PLEVNIK Gernot

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.