

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50587/2014
(22) Anmeldetag: 25.08.2014
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2016

(51) Int. Cl.: **G01R 31/34** (2006.01)
G01R 31/12 (2006.01)

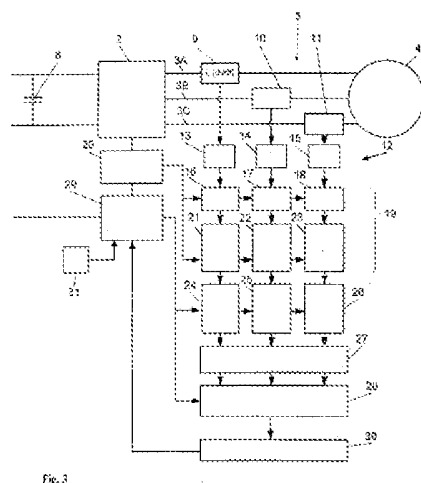
(56) Entgegenhaltung:
 Zoeller et al.: Stimulating and detecting changes in the insulation health state of inverter fed ac machines; 16th European Conference on Power Electronics and Applications; IEEE; 26. August 2014
 Vogelsberger et al.: Online insulation condition monitoring of AC machines using ultra-fast inverter switching transition based on new semiconductor materials; PCIM Europe 2014. Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality and Energy Management; VDE Verlag GmbH; 22.-24. Mai 2014
 Zöller et al.: Detecting insulation condition changes of inverter Fed AC machines based on two current sensors and indirect phase step excitation; Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), IEEE; 2014 International Symposium; 18.-20. Juni 2014
 Nussbaumer et al: Online detection of insulation degradation in inverter fed drive systems based on high frequency current sampling; IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society; 7. November 2011
 JP 2001141795 A
 US 6035265 A

(71) Patentanmelder:
Technische Universität Wien
1040 Wien (AT)

(74) Vertreter:
SONN & PARTNER Patentanwälte
1010 Wien (AT)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Detektion des Zustands einer Isolierung einer Wechselstrommaschine**

(57) Die Erfindung betrifft die Feststellung des Zustandes einer Isolierung einer wechselrichtergespeisten Wechselstrommaschine (4), die durch den Wechselrichter (2) mit einer Spannung angeregt wird, durch die eine Stromreaktion der Maschine verursacht wird, wobei die Stromreaktion gemessen wird; die Maschine (4) wird mit einer Spannung in einem bestimmten Frequenzbereich über der Grundwelle der Maschine angeregt, die gemessene Stromreaktion wird mit mindestens einer vorab gemessenen und gespeicherten Referenzstromreaktion verglichen, und mögliche Veränderungen der gemessenen Stromreaktion in Bezug auf die mindestens eine Referenzstromreaktion des bestimmten Frequenzbereichs werden dazu verwendet, den Isolierungszustand zu bestimmen.



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft die Feststellung des Zustandes einer Isolierung einer wechselrichter gespeisten Wechselstrommaschine (4), die durch den Wechselrichter (2) mit einer Spannung angeregt wird, durch die eine Stromreaktion der Maschine verursacht wird, wobei die Stromreaktion gemessen wird; die Maschine (4) wird mit einer Spannung in einem bestimmten Frequenzbereich über der Grundwelle der Maschine angeregt, die gemessene Stromreaktion wird mit mindestens einer vorab gemessenen und gespeicherten Referenzstromreaktion verglichen, und mögliche Veränderungen der gemessenen Stromreaktion in Bezug auf die mindestens eine Referenzstromreaktion des bestimmten Frequenzbereichs werden dazu verwendet, den Isolierungszustand zu bestimmen.

(Fig. 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Feststellung des Zustands einer Isolierung einer wechselrichter gespeisten Wechselstrommaschine, wobei die Maschine durch den Wechselrichter mit einer Spannung angeregt und durch diese Anregung eine Stromreaktion der Maschine hervorgerufen wird, wobei die Stromreaktion dann gemessen wird.

Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Vorrichtung zur Feststellung des Zustands, insbesondere eines verschlechterten Zustands, einer Isolierung einer wechselrichter gespeisten Wechselstrommaschine, mit einer Wechselstrommaschine, die an einen Wechselrichter angeschlossen ist, der dazu eingerichtet ist, die Maschine mit einer Spannung anzuregen, und mit mindestens einem Sensor zum Messen einer durch diese Anregung verursachten Stromreaktion der Maschine.

Erwartungen an moderne wechselrichter gespeiste Antriebe umfassen einen durchgehenden Betrieb in schwieriger Umgebung mit erheblichen Lastzyklen und extremen Temperaturen. Trotz dieser Randbedingungen ist ein zuverlässiger und sicherer Betrieb mit minimaler vorbeugender Wartung ein Schlüsselfaktor für eine wachsende Anzahl von sicherheitskritischen Anwendungen.

Deshalb ist die Kenntnis des einwandfreien Zustands der Maschine ein wichtiger Punkt, der das Vorhandensein von Überwachungssystemen bedingt. In Bezug auf einen Maschinenausfall und das Versagen eines Antriebs hat man festgestellt, dass statorbezogene Störungen die zweithäufigsten Störfälle mit ca. 35 % darstellen; von diesen statorbezogenen Störungen werden ungefähr 70 % durch Defekte des Isolierungssystems verursacht. Die Hauptgründe für Isolierungsdefekte sind verschiedene Belastungen wie zum Beispiel elektrische, thermische, thermomechanische, mechanische sowie umweltbedingte Belastungen (Oslinger, J. L.; Castro, L. C.; „Correlation between Capacitance and Dissipation Factor used for Assessment of Stator Insulation,“ World Academy of Science, Engineering and Technology, Waset, Band 63, Nr. 72, Seiten 365 - 371, 2012).

Der eigentliche Verfall der Isolierung läuft zu Beginn üblicherweise sehr langsam ab, beschleunigt sich dann aber bis hin zu einem tatsächlichen Fehlerzustand, z. B. einem Kurzschluss zwischen

Windungen.

Die Auswirkung der thermischen-elektrischen Alterung bei langer Betriebszeit und schnellem Arbeitstakt wurde von Farahani, M.; Borsi, H.; Gockenbach, E.; in „Study of capacitance and dissipation factor tip-up to evaluate the condition of insulating systems for high voltage rotating machines,“ Electrical Engineering, Band 89, Nr. 4, Seiten 263 - 270, 2007 untersucht. Im Ergebnis und als Anzeichen des Alterungsprozesses kann man beobachten, dass die Wicklungskapazität mit fortschreitender Alterung abnimmt. Ein ähnlicher Trend der Abnahme der Wicklungskapazität wurde auch in Grubic, S.; Aller, J. M.; Bin Lu; Habetler, T. G.; „A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems,“ IEEE Transactions on Industrial Electronics, Band 55, Nr. 12, Seiten 4127 - 4136, 2008, beobachtet.

Für einen Großteil der bekannten Isolierungsüberwachungsverfahren werden spezielle Messeinrichtungen benötigt, die an modernen wechselrichtergespeisten Antrieben nicht verfügbar sind, oder es braucht Fachwissen im Bereich der Anwendung und Analyse. Zusätzlich müssen die Maschinen für den Großteil der Messungen ausgeschaltet werden, was bedeutet, dass nur eine offline erfolgende Überprüfung des Isolierungszustands der Maschinen möglich ist. Deshalb ist es wünschenswert, diese Randbedingungen zu vermeiden, und darüber hinaus den Wechselrichter als Quelle der Anregung zu verwenden und nur die Messsignale von Stromsensoren zu nutzen, die in modernen Antrieben vorhanden sind, um eine spezifische zusätzliche Ausrüstung für die beabsichtigte Überwachung zu vermeiden.

Moderne Industrieantriebe lassen sich in drei verschiedene Antriebskomponenten unterteilen: den Wechselrichter, die Verkabelung und die eigentliche Maschine mit ihren Wicklungen. Diese Komponenten sind jeweils so ausgelegt, dass sie gute dynamische Eigenschaften der Flussverkettung, des Drehmoments und der Drehzahl der Maschine im Grundfrequenzbereich von bis zu einigen Hundert Hertz gewährleisten. Daneben wird durch diese Komponenten aber auch ein parasitäres Verhalten im Bereich höherer Frequenzen verursacht. In Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer typischen Anordnung

1 aus Wechselrichter-Kabel-Maschine abgebildet. Die Hauptkomponenten, die für das Verhalten bei der Grundfrequenz des Antriebs verantwortlich sind, sind mit 2 (Wechselrichter), 3 (Kabel) und 4 (Maschine) bezeichnet. Die Hochfrequenzeigenschaften werden in erheblichem Maße von den parasitären Komponenten des Systems beeinflusst, die durch Kapazitäten, z. B. 5, kenntlich gemacht sind. Wie zu erkennen ist, führen die parasitären Kapazitäten von Kabel und Wicklungen wie zum Beispiel zwischen Phase-Masse, Phase-Phase, Spule-Spule und Windung-Windung zu einem komplexen System mit sehr ausgeprägten Eigenschaften im höheren Frequenzbereich. Die Parameter dieser parasitären Kapazitäten 5 werden ihrerseits vom Isolierungssystem sowie durch dessen Verfassung beeinflusst, vgl. den vorstehend erwähnten Artikel von Farahani, M.; Borsi, H.; Gockenbach, E.; „Study of capacitance and dissipation factor tip-up to evaluate the condition of insulating systems for high voltage rotating machines,“ Electrical Engineering, Band 89, Nr. 4, Seiten 263 - 270, 2007.

In Nussbaumer, P.; Santin, C.; Wolbank, T. M.; „Analysis of current reaction on inverter-switching to detect changes in electrical machine's high-frequency behavior,“ 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, IECON, Seiten 1678 - 1683, 2012, und in der entsprechenden WO 2013/016750 A ist bereits vorgeschlagen worden, die Maschinenwicklungen mit einer Stufenspannung zu beaufschlagen und eine transiente Stromreaktion zu messen, die dann überabgetastet und ausgewertet wird, um eine Korrelation zwischen einer Veränderung dieser Stromreaktion und einer Veränderung des komplexen Impedanzsystems zu erhalten, die sich aus einem Verfall des Isolierungssystems ergibt. Experimente haben gezeigt, dass diese Technik gut arbeitet; nichtsdestotrotz würde man sich jedoch gerne ein etwas einfacheres, aber dennoch effizientes System zur Überwachung des Isolierungszustands der Maschine wünschen.

Ein anderes Überwachungssystem ist in Perisse, F.; Werynski, P.; Roger, D., „A New Method for AC Machine Turn Insulation Diagnostic Based on High Frequency Resonances,“ IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Band 14, Nr. 5, Seite 1308, 1315, Oktober 2007, offenbart; dieses System ist dazu gedacht, ge-

ringfügige Schwankungen von Hochfrequenzresonanzen in der Wicklung einer Maschine zu erfassen, und es arbeitet in Verbindung mit statistischen Daten, die aus Messungen in Bezug auf eine beschleunigte Alterung eines magnetischen Drahts erhalten werden, der zum Aufbau der Maschine verwendet wurde.

Die vorliegende Erfindung zielt nun auf ein Verfahren und eine Vorrichtung ab, wie sie vorstehend für die Feststellung/Überwachung des Isolierungszustands von wechselrichtergespeisten Wechselstrommaschinen (z. B. Induktionsmaschinen) umrissen wurden, wobei gleichzeitig eine einfache Gerätschaft und eine hohe Effizienz möglich sind.

Hierzu schlägt die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung vor, wie sie in den unabhängigen Ansprüchen definiert sind; vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterentwicklungen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Der Grundgedanke der vorgeschlagenen Abschätzung des Allgemeinzustands einer Isolierung besteht darin, die Maschine in einem spezifischen Hochfrequenzbereich anzuregen, der deutlich über der Grundwelle der Maschine liegt, die mit der mechanischen Drehzahl zusammenhängt und typischerweise nicht über 1 kHz hinausgeht. Diese Anregung wird mittels des Wechselrichters erzielt, und es wird die Stromreaktion der Maschine in dem betrachteten Frequenzbereich gemessen. Dieser Frequenzbereich hängt von der Konstruktion der Maschine und ihrem Isolierungssystem ab. Bei Maschinen mit regellos gewickelter Statorwicklung und einer Nennleistung von bis zu 100 kW kann der Frequenzbereich typischerweise 300 kHz bis 10 MHz betragen. Bei Maschinen mit vorgeformten Statorspulen und einer Nennleistung im Megawattbereich und darüber kann der Frequenzbereich typischerweise 50 kHz bis 5 MHz betragen.

Es wäre festzuhalten, dass viele der derzeit erhältlichen Industriewechselrichter Spannungsimpulse nur hinab bis zu ein paar Mikrosekunden erzeugen können, was zu einer Anregung der Maschine im unteren Teil des Frequenzbereichs führt, der empfindlich auf Veränderungen der Isolierung reagiert, d. h. zu Anregungen im Bereich von um ca. 100 kHz. Mit der fortgeschrittenen Leistungshalbleitertechnologie (SiC, GaN) sind jedoch Schaltfrequenzen er-

reichbar, die auch den oberen Teil des erwähnten Frequenzbereichs abdecken.

Wenn sich die parasitären Kapazitäten einer Maschine verändern, was beispielsweise zu einer Verschlechterung des Isolierungssystems führt, ist eine Veränderung der Stromreaktion der Maschine in einem bestimmten Frequenzbereich sichtbar. Diese Veränderungen können erfasst werden, wenn die von der über eine intakte Isolierung verfügenden Maschine erhaltenen Ergebnisse mit Messungen verglichen werden, die wiederholt im laufenden Betrieb mit bestimmten Intervallen vorgenommen werden. Die Länge dieser Intervalle kann im Bereich von ein paar Stunden bei schweren Betriebsbedingungen bis hin zu mehreren Wochen bei Anwendungen mit geringer zusätzlicher Belastung liegen.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Anregung der Maschine in einem spezifischen Frequenzbereich. Da der Wechselrichter eine Spannungsanregung bewerkstelligen kann, kann er direkt verwendet werden, indem er eine spezielle Spannungsfolge mit einer bestimmten dominierenden Frequenz erzeugt. Ein typisches Spannungsimpulsmuster ist schematisch in Fig. 2A abgebildet, in der eine Erregung in Einphasenrichtung mit einer dominanten Frequenz von 100 kHz gezeigt ist. Es besteht aus einer Sequenz von räumlich parallelen Spannungsraumzeigern, die in die entgegengesetzte Richtung einer Phase zeigen (z. B. u^+ , u^- , u^+ , u^- ; vgl. Fig. 2A und auch 2B). Da jeder Impuls eine Dauer von 5 μ s hat, wird eine dominante Grundfrequenz von 100 kHz angeregt.

Moderne Industriewechselrichter, die in Ansteueranwendungen verwendet werden, sind üblicherweise nicht dafür ausgelegt, kontinuierlich eine Impulssequenz in dem Frequenzbereich anzulegen, der gegenüber Veränderungen des Allgemeinzustands einer Isolierung am empfindlichsten ist. Deshalb wird die Maschine nur mit einer Sequenz von wenigen, sehr kurzen Impulsen in einer spezifischen Phasenrichtung beaufschlagt. Bei Verwendung der Ansteuerungswelchrichtertechnologie, die derzeit in industriellem Maßstab verfügbar ist (Bipolartransistor mit isoliertem Gate, IGBT), liegt die obere erzielbare Anregungsfrequenz im Bereich von einigen hundert kHz.

Eine alternative Art der Anregung kann eine räumlich rotieren-

de Anregung sein, bei der die dominante Grundwelle durch die aufeinanderfolgende Anwendung von benachbarten 60° -Spannungszeigern erzeugt wird, um eine elektrische Umdrehung innerhalb des gewünschten Zeitraums zu erzeugen, vgl. Fig. 2B. In Fig. 4 ist die an den Maschinenanschlüssen gemessene Spannung abgebildet, die sich aus einer Erregung in einer Phase (vgl. Fig. 2A) ergibt. Wie man sehen kann, liegt dort eine dominierende Grundwellenspannung mit einer Frequenz von ungefähr 100 kHz vor.

Es muss erwähnt werden, dass durch die Blockier-Totzeit eines Wechselrichters und aufgrund anderer nicht idealer Eigenschaften des Wechselrichters das tatsächliche Spannungsanregungssignal verzerrt wird, was zu zusätzlichen Anregungsfrequenzen führt. Der sich daraus ergebende Strom wird unter Verwendung der Stromsensoren gemessen, die in standardmäßigen Industriewechselrichtern vorhanden sind. Diese Art von Sensoren verfügt üblicherweise über einen Frequenzbereich, der gemäß dem Hersteller auf ein paar Hundert kHz festgelegt ist. Über dieser Frequenz ist deren Genauigkeit reduziert, wobei ihre Transferfunktion aber dennoch reproduzierbar ist, da sie als Stromtransformatoren wirken. Fig. 5 stellt die gemessene Stromreaktion auf eine Spannungsanregung mit 100 kHz gemäß Fig. 2A dar. Wie zu sehen ist, liegt eine dominante Hochfrequenzschwingung vor, die durch den steilen Spannungsanstieg ausgelöst wird, der die Reaktion im interessierenden Frequenzbereich überdeckt, wenn man den Zeitverlauf betrachtet. Die Anwendung einer Fourier-Transformation auf das gemessene Stromsignal zeigt, dass diese Schwingungen in Verbindung mit den zusätzlichen Anregungsfrequenzen aufgrund der erwähnten nicht idealen Eigenschaften des Wechselrichters zu zusätzlichen oberen Frequenzbändern im Amplitudenspektrum führen. Für die Anregungsfrequenz zusammen mit allen oberen Frequenzbändern wird eine Stromantwort erhalten, die bei diesen Frequenzen von der Maschinenimpedanz beeinflusst ist.

Wegen der verminderten Genauigkeit der Stromsensoren im höheren Frequenzbereich können die tatsächlichen Größen des Stromamplitudenspektrums nicht direkt zur Überwachung des einwandfreien Zustands einer Isolierung genutzt werden. Weil aber die Transferfunktion der Stromsensoren reproduzierbar ist, können Referenzmessungen

vorgenommen werden, wenn ein neuer Antrieb in Dienst gestellt wird, der eine Maschine mit einer intakten Isolierung enthält, und diese Amplitudenspektren können dann mit Messungen verglichen werden, die bei derselben Anregungsfrequenz, aber nach einer bestimmten Betriebsdauer vorgenommen werden, wenn der Verfall der Isolierung bereits eingesetzt hat.

Die vorstehend beschriebene Vorgehensweise kann an allen Phasen wiederholt werden, um die Möglichkeit zu erhalten, Veränderungen der einzelnen Phasenergebnisse in Bezug auf die Referenzmessung zu vergleichen. Somit kann die räumliche Asymmetrie der Maschine bei der spezifischen Anregungsfrequenz mit Bezug auf die erwähnten Referenzmessungen berechnet werden. Durch Vergleichen der Ergebnisse der Phase Nr. 1, 2 und 3 in Verbindung mit der räumlichen Ausrichtung der Phasen kann somit ein Maß für die räumliche Asymmetrie erhalten werden.

Bei Veränderung der Zeitpunkte der einzelnen Schaltbefehle in Fig. 2A kann die Anregungsfrequenz geändert werden, und mittels der Ergebnisse lässt sich daher ein Maß für die Frequenzantwort der Maschine bestimmen.

Vorteilhafterweise werden für die Referenzstromreaktionen wie auch für die danach gemessene Stromreaktion mehrere Messungen nacheinander vorgenommen.

Vorzugsweise wird ein Indikator (IDI - insulation degradation indicator) für die Verschlechterung der Isolierung in Echtzeit auf Grundlage der Abweichung der gemessenen Stromreaktion von der mindestens einen Referenzstromreaktion bestimmt. Dieser IDI kann beruhend auf (Abweichung vom quadratischen Mittelwert) der Bestimmung einer Standardabweichung der Stromreaktionen über den Frequenzbereich hinweg berechnet werden.

Dementsprechend ist die vorliegende Vorrichtung zur Feststellung des Zustands, insbesondere eines verschlechterten Zustands, einer Isolierung einer wechselrichtergespeisten Wechselstrommaschine dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselrichter dazu eingerichtet ist, die Maschine mit einer Spannung in einem bestimmten Frequenzbereich über der Grundwelle der Maschine anzuregen, und dass mindestens ein Komparator vorgesehen ist, der dazu eingerichtet

ist, um die gemessene Stromreaktion der Maschine mit mindestens einer Referenzstromreaktion zu vergleichen, die zuvor an der intakten Maschine verursacht und gemessen und gespeichert wurde, und mögliche Veränderungen der gemessenen Stromreaktion in Bezug auf die mindestens eine Referenzstromreaktion zu bestimmen, um auf Grundlage dieser Veränderungen den Isolierungszustand zu bestimmen.

Wie bereits erwähnt, wird die Stromreaktion vorzugsweise mit Hilfe mindestens eines Stromsensors gemessen, der bereits in der Wechselrichterschaltung vorhanden ist; außerdem ist es vorteilhaft, wenn der bestimmte Frequenzbereich für die Spannung 50 kHz bis 5 MHz, vorzugsweise 300 kHz bis 3 MHz, mindestens bis 1,5 MHz beträgt; und/oder wenn der Wechselrichter dazu eingerichtet ist, als Anregungsspannung eine Impulssequenz auszugeben.

Eine bevorzugte Ausführungsform ist des Weiteren gekennzeichnet durch mindestens eine Berechnungseinheit, die eingerichtet ist, um einen Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung auf Grundlage der Abweichung der gemessenen Stromreaktion von der mindestens einen Referenzstromreaktion zu berechnen. Hier ist es besonders vorteilhaft, wenn die Berechnungseinheit dazu eingerichtet ist, den Indikator für die Verschlechterung der Isolierung auf der Grundlage einer Anzahl von Stromreaktionsmessungen und beruhend auf einer Standardabweichung der Stromreaktionen über den Frequenzbereich hinweg zu berechnen.

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn im Falle einer mehrphasigen Maschine, z. B. einer dreiphasigen Maschine, die Werte für den Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung für jede Phase berechnet werden und hieraus eine mögliche räumliche Asymmetrie berechnet wird.

Die vorliegende Erfindung wird nun näher anhand von bevorzugten Ausführungsformen offenbart, die in den Zeichnungen gezeigt sind, in denen:

Fig. 1 eine Abbildung eines typischen Aufbaus von Antriebskomponenten zeigt, welche das elektrische Verhalten bei niedriger Frequenz und hoher Frequenz beeinflussen;

Fig. 2A und 2B typische Wechselrichter-Impulssequenz-Schaltbefehle zeigen, um eine Wechselstrommaschine anzuregen, und zwar in

Form einer Einzelphasenanregung mit 100 kHz (Fig. 2A) und in Form einer rotierenden Anregung (Fig. 2B);

Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform der vorliegenden Vorrichtung zeigt;

Fig. 4 ein Beispiel einer Anregungsspannungssequenz zeigt, die an einem Maschinenphasenanschluss gemessen wurde (100 kHz);

Fig. 5 ein Diagramm der gemessenen Phasenstromreaktion zeigt, die sich aus der Impulssequenzanregung von Fig. 4 ergibt;

Fig. 6 ein Diagramm des Amplitudenspektrums der gemessenen Phasenstromreaktion zeigt, die sich aus der Impulssequenzanregung von Fig. 4 ergibt (100 kHz);

Fig. 7 in einer schematischen Darstellung die Bestimmung der räumlichen Asymmetrie einer Maschine bei einer Anregungsfrequenz beruhend auf einem Vergleich von Ergebnissen der einzelnen Phasen zeigt;

Fig. 8 schematisch die Anordnung einer Kapazität an einer Statorwicklung einer Maschine darstellt, um einen Allgemeinzustand mit verschlechterter Isolierung zu simulieren;

Fig. 9 ein Diagramm der gemessenen Stromreaktion ähnlich demjenigen von Fig. 5 zeigt, wobei sich dieses aber aus einer Impulssequenzanregung mit 166 kHz ergibt, wobei der einwandfreie Zustand in einer schwarzen durchgezogenen Linie und der verschlechterte Zustand mit einer gestrichelten Linie gezeigt ist;

Fig. 10A und 10B Diagramme der entsprechenden Amplitudenspektren der gemessenen Phasenstromreaktionen zeigen, die sich aus den Impulssequenzanregungen bei 100 kHz (ähnlich denjenigen von Fig. 6) und bei 166 kHz ergeben, wobei der intakte Zustand in durchgezogenen Linien und der verschlechterte Zustand in gestrichelten Linien gezeigt ist;

Fig. 11A und 11B in Diagrammen ähnlich denen von Fig. 10A und 10B die Situation bei einer anders skalierten Frequenzachse zeigen, um die Abhängigkeit der Veränderungen der Größen darzustellen, mit einem Maximum bei ungefähr 500 kHz und einem darauffolgenden Minimum bei ungefähr 1 MHz; und

Fig. 12 für den Fall einer Impulssequenzanregung bei 166 kHz schematisch Störungsanzeigewerte zeigt, die unter Verwendung einer

quadrierten Abweichung von Stromfrequenzantworten berechnet werden (Kästchendarstellung).

Wie vorstehend bereits erwähnt, zeigt Fig. 1 eine Abbildung einer Anordnung 1 mit einem Wechselrichter 2, Kabeln 3 und einer Wechselstrommaschine 4, mit Kapazitäten 5 als parasitären Komponenten; und Fig. 2A und 2B stellen typische Spannungsimpulsmuster (Fig. 2A) und Spannungsraumzeigermuster (Fig. 2B) dar. Weiter zeigt Fig. 4 eine Anregungsspannungssequenz 6, die an einem Phasenanschluss der Maschine 4 gemessen wurde, und Fig. 5 zeigt die entsprechende gemessene Phasenstromreaktion 7, die sich aus dieser Impulssequenzanregung in der entsprechenden Phase ergibt.

Fig. 3 zeigt eine Schemadarstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur online erfolgenden Feststellung der Verschlechterung von Zuständen von Isolierungen in einer elektrischen Maschine 4.

Die in Fig. 3 gezeigte Vorrichtung wird für die online erfolgende Überwachung einer elektrischen Maschine (z. B. einer Induktionsmaschine) verwendet, bei der es sich um eine einphasige oder mehrphasige Maschine handeln kann, wobei in Fig. 3 beispielhalber drei Phasen angenommen werden, vgl. auch Fig. 1. Diese Maschine 4 hat eine ihr zugeordnete Versorgungsschaltung oder Speiseschaltung 8 mit drei Stromzufuhrleitungen 3A, 3B und 3C (Kabelabschnitt 3), die den drei Phasen entsprechen; diese Versorgungsschaltung 8 weist auch einen Wechselrichter 2 auf, der die entsprechenden Spannungssignale für die Maschine 4 bereitstellt; zusätzlich ist eine dem Wechselrichter 2 zugeordnete Gleichstromanschlusskapazität 8 dargestellt.

In den einzelnen Phasenleitern 3A, 3B, 3C sind entsprechende Sensoren 9, 10, 11 angeordnet, die im vorliegenden Fall, für die vorliegende Technik, dazu dienen, den Strom i oder die zeitliche Ableitung des Stroms (di/dt) in den einzelnen Phasen 3A, 3B, 3C zu erfassen. Die Stromableitungssensoren können zum Beispiel Rogowski-Sensoren sein, die per se bekannt sind und auch als CDI-Sensoren bezeichnet werden. Stromsensoren sind andererseits ebenfalls bekannt und bedürfen hier auch keiner weiteren Erläuterung.

Die Ausgangssignale der Sensoren 9, 10, 11 werden als Messsi-

gnale in eine Abtastvorrichtung 12 eingespeist, die mit A/D-Wandlern (ADCs) 13, 14, 15 realisiert ist, einer für jede Phase 3A, 3B, 3C. Die Abtastrate ist hoch genug, um eine genaue Bestimmung der Messsignale zu gewährleisten.

Die Ausgangssignale der ADCs 13, 14, 15 werden dann Fensterschaltungen 16, 17, 18 zugeführt, die Teil einer Verarbeitungseinheit 19 sind und Beobachtungsfenster, d. h. Zeitintervalle für die zu analysierenden Messsignale festlegen, nachdem sie abgetastet wurden. Hierzu sind die Fensterschaltungen 16, 17, 18 an eine Steuereinheit 20 für den Wechselrichter 2 angeschlossen, wobei es sich bei dieser Steuereinheit 20 zum Beispiel um eine Pulsweitenmodulations-(PWM)-Steuereinheit handelt, die in an sich bekannter Art und Weise entsprechende Schaltbefehle an den Wechselrichter 2 ausgibt. Beruhend auf diesen Schalt- oder Steuersignalen wird dann das jeweilige Beobachtungsfenster, d. h. der relevante Beobachtungszeitraum, in den Fensterschaltungen 16, 17, 18 festgelegt, und beim Erreichen des Endes des jeweiligen Fensters wird die Auswertung, d. h. die Zuführung von Abtastwerten von den ADCs 13, 14 und 15 zu eigentlichen Computerkomponenten 21, 22, 23 beendet.

In diesen Computerkomponenten 21, 22, 23, d. h. allgemein in der eigentlichen Berechnungs-(Verarbeitungs-)Einheit 19, werden charakteristische Parameter bestimmt, die sich auf die Stromsignale oder die Signale beziehen, die die zeitliche Ableitung di/dt des Stroms anzeigen, nämlich die Anregungsfrequenz und das Frequenzspektrum.

Die erhaltenen Werte werden dann einer jeweiligen Komparatoreinheit 24, 25, 26 zugeführt, in der der Vergleich mit einem entsprechenden Referenzfrequenzspektrum durchgeführt wird, wobei die letzteren Parameter vorab in einem Messvorgang an einer ordnungsgemäß funktionierenden Maschine 4 gewonnen wurden. Danach wird wieder für jede Phase ein Indikator - IDI - für den Verfall der Isolierung gemäß nachstehender Gleichung 1 berechnet:

$$IDI_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Referenz}}(f_i) - Y_{\text{schadhaft}}(f_i))^2}{n}} \quad (1)$$

Index i gibt die Werte entlang der Frequenzachse des Amplitu-

denspektrums Y an und definiert den betrachteten Frequenzbereich. Bei dieser Untersuchung wurde die Signalverschiebung entfernt und der Frequenzbereich bis zu 3 MHz zur Berechnung herangezogen. Index k gibt die für die Messung verwendete Anregungsfrequenz an.

Daraufhin werden in einer weiteren Komparator- und Berechnungseinheit 27 die berechneten phasenbezogenen IDI-Werte miteinander verglichen, und hieraus wird eine räumliche Asymmetrie berechnet. Dies ist in der Abbildung von Fig. 7 dargestellt, wo drei Phasen gezeigt sind und eine Asymmetrie zwischen Phase Nr. 1, Phase 2 und Phase 3 durch gestrichelte Kreise und einen resultierenden schwarzen Punkt dargestellt sind. Als Nächstes werden gemäß Block 28 die den Phasen 3A, 3B, 3C entsprechenden drei IDI-Werte und der Wert für die räumliche Asymmetrie mit Schwellenwerten verglichen, die von einer Maschinensteuerung 29 geliefert werden und in dieser Steuerung 29 oder einem separaten Speicher 31 vorab gespeichert wurden. Die Maschinensteuerung 29 kann auch an die verschiedenen Module 16 - 18, 21 - 23 und 24 - 26 der Verarbeitungseinheit 19 angeschlossen sein.

Nach Ausführung der Vergleiche wird in einer Auswertungseinheit 30 die abschließende Analyse der Signale vorgenommen, d. h. die Bestimmung einer Verschlechterung und deren genaue Feststellung, insbesondere unter Verwendung der vorgehenden Vergleichsergebnisse, und es erfolgt die Aktivierung einer Warnstufe.

Alle früheren Messergebnisse wurden mit einer Maschine 4 mit intaktem Isolierungssystem gewonnen. Es handelt sich um Referenzmessungen und sie werden hier als „einwandfrei“ bezeichnet. Um einen Zustand verschlechterter Isolierung nachzubilden, ist die bei diesem Aufbau verwendete Maschine 4 mit zusätzlichen Anzapfpunkten 32, 33, 34 an den Phasenwicklungen ausgestattet, vgl. auch Fig. 8. Durch Anschließen einer Kapazität 5 ($C_{\text{schadhaft}}$) zwischen einem Anzapfpunkt 32 und dem Phasenanschluss (z. B. U), einem anderen Anzapfpunkt 33 (oder 34) der Maschine, oder dem Masseanschluss, können die spezifischen Werte der parasitären Kapazität erhöht werden, womit ein Zustand mit schadhafter Isolierung nachgebildet werden kann. Die Veränderung der Kapazität ist vergleichbar mit den Ergebnissen der Untersuchungen in Farahani, M.; Borsi, H.; Gockenbach,

E.; „Study of capacitance and dissipation factor tip-up to evaluate the condition of insulating systems for high voltage rotating machines,” Electrical Engineering, Band 89, Nr. 4, Seiten 263 - 270, 2007, oder Perisse, F.; Werynski, P.; Roger, D., „A New Method for AC Machine Turn Insulation Diagnostic Based on High Frequency Resonances,” IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Band 14, Nr. 5, Seite 1308, 1315, Oktober 2007.

Dieser nachgebildete Zustand einer schadhafte Isolierung wurde in der folgenden Messreihe realisiert. Eine Kapazität $C_{\text{schadhaft}}$ von 2,2 nF wurde zwischen der Anschlussverbindung (z. B. U) und einem Anzapfpunkt (z. B. 32) einer Phase angeschlossen (die Kapazität von Phase-Masse der Maschine beträgt ungefähr 2 nF), und die Messwerte sind im Folgenden als „schadhaft“ bezeichnet (siehe auch Fig. 8).

Die Ergebnisse sind in Fig. 9 abgebildet. Die Pulsdauer wurde auf 3 μs festgesetzt, was zu einer maximal in der Praxis erreichbaren Anregungsfrequenz von 166 kHz führt. In Fig. 9 sind die Ergebnisse für die Maschine 4 mit intakter Isolierung in durchgezogener voller Kurve bei 35 dargestellt. Die Messwerte mit der platzierten zusätzlichen Kapazität (schadhaft) (5 in Fig. 8) sind bei 36 in unterbrochener Linie gezeigt. Wie man bereits im Zeitbereich (Fig. 9) sehen kann, ist die Stromreaktion bei den höheren Frequenzen ganz klar verändert.

Die Durchführung einer Fourier-Transformation an den erhaltenen Messergebnissen sowohl bei dem Aufbau mit intakter als auch bei demjenigen mit schadhafter Isolierung ergibt ein Stromfrequenz-Amplitudenspektrum 35' bzw. 36', die in Fig. 10A und 10B gezeigt sind. Hier wurde die Anregungsfrequenz auf 100 kHz (oberes Diagramm, Fig. 10A, entsprechend 100 kHz) und 166 kHz festgelegt (unteres Diagramm, Fig. 10B).

Die Anregungsfrequenz ist in jedem Diagramm mit einem gestrichelten Rechteck 37 bezeichnet.

Der Frequenzbereich, der auf Veränderungen des Isolierungssystems für die betrachtete Maschine am empfindlichsten reagiert, liegt bei dieser Untersuchung zwischen 300 kHz und 3 MHz. Wenn man die Anregungsfrequenz so ändert, dass sie diesen Frequenzbereich

abdeckt, und den Wert der Amplitudenspektrums nur im Bereich um die Anregungsfrequenz herum verwendet, kann die Frequenzantwort der Maschine durch eine Reihe von Messungen bestimmt werden, die jeweils die Größe bei der Anregungsfrequenz liefern. Dies kann durchgeführt werden, wenn die neue Maschine in Betrieb genommen wird, um die „einwandfreie“ Frequenzantwort zu erhalten.

Wenn man die zusätzliche Kapazität 5 platziert (schadhafte Isolierung), ist die Veränderung des Amplitudenspektrums bereits bei den beiden in Fig. 10A und 10B abgebildeten Anregungsfrequenzen deutlich sichtbar. Eine Möglichkeit, einen Indikator für einen Zustand mit unzureichender Isolierung zu berechnen, besteht darin, erneut eine Messreihe zur Abdeckung des Frequenzbereichs durchzuführen und erneut die Frequenzantwort zu bestimmen, wie vorstehend beschrieben. Zieht man die frequenzabhängige Abweichung zwischen „schadhafter“ und „intakter“ Frequenzantwort heran, erhält man ein Maß für die Veränderung des Isolierungszustands.

Als Alternative zur Veränderung der Anregungsfrequenz und zur Bestimmung der Frequenzantwort über den erwähnten Frequenzbereich hinweg ist es auch möglich, das Amplitudenspektrum einer intakten und einer schadhafte Maschinenanlage zu vergleichen, wie in Fig. 10A und 10B für eine Einzelanregungsfrequenz dargestellt ist. Betrachtet man nicht nur die Größe bei der Anregungsfrequenz, sondern auch die oberen Frequenzbänder, womit der interessierende Frequenzbereich abgedeckt wird, kann auch eine frequenzabhängige Abweichung des schadhafte Spektrums vom intakten Spektrum berechnet werden. Diese Vorgehensweise wurde nachstehend gewählt, wie nachfolgend beschrieben wird.

In den Messungen (Fig. 10A, 10B) ist das mit „schadhaft“ bezeichnete Stromantwortspektrum 36' allgemein höher als dasjenige (35'), das als „intakt“ bezeichnet wird. Diese Abweichung kann bei bestimmten Anregungsfrequenzen je nach der tatsächlichen Verteilung der parasitären Kapazitäten 5 entlang der Maschinenwicklung auch umgekehrt sein. Also ist es für die Berechnung eines Indikatorwerts wichtig, die Abweichung der Frequenzantworten in beiden Richtungen in Betracht zu ziehen.

Eine einfache Möglichkeit zur Realisierung einer solchen Be-

rechnung eines Indikators (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung in Echtzeit besteht darin, die Standardabweichung entlang der Frequenz f gemäß (1) zu bestimmen.

$$IDI_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Referenz}}(f_i) - Y_{\text{schadhaft}}(f_i))^2}{n}} \quad (1)$$

Der Index i gibt die Werte entlang der Frequenzachse des Amplitudenspektrums Y an und definiert den betrachteten Frequenzbereich. Bei dieser Untersuchung wurde der Signaloffset entfernt und der Frequenzbereich bis zu 3 MHz zur Berechnung herangezogen. Der Index k gibt die für die Messung verwendete Anregungsfrequenz an.

Diese Vorgehensweise wurde für eine Anregungsfrequenz k von 166 kHz realisiert, wie in Fig. 11A (100 kHz) und 11B (166 kHz) gezeigt ist, und zwar für eine Reihe von 33 Messungen, die unmittelbar nacheinander vorgenommen wurden, wobei eine Messreihe für den „intakten“ Aufbau durchgeführt wurde, und nach Platzierung einer zusätzlichen Kapazität eine weitere Reihe von 33 Messungen an dem „schadhaften“ Aufbau vorgenommen wurde. Somit lassen sich die statistischen Eigenschaften der berechneten IDI-Werte erkennen. Die berechneten Indikatorwerte werden für die intakte Konfiguration auf den Wert 1 skaliert. Jeder Anstieg der Werte über dieses Niveau hinaus zeigt daher eine Veränderung der Hochfrequenzantwort der Maschine 4 an.

Die Abbildung in Fig. 11A, 11B zeigt die Abhängigkeit der Abweichungen 35' - 36' von der Frequenz (Maximum bei ~ 500 kHz, mit einem darauffolgenden Minimum bei ~ 1 MHz); über 3 MHz nimmt die Empfindlichkeit der verwendeten Sensoren (9, 10, 11 in Fig. 3) ab; und bei ~ 4 MHz und darüber stellt man eine Inversion des intakten Signals 35' und schadhaften Signals 36' fest.

Die in Fig. 12 verwendete Kästchendarstellung zeigt die statistischen Eigenschaften des berechneten Fehlerindikators IDI. Unter Verwendung einer Messreihe und von so berechneten IDI-Werten (in dem betrachteten Fall sind es 33) gibt das Kästchen 38 den Bereich wieder, in welchem 50 % dieser berechneten IDI-Werte angesiedelt sind. Eine gepunktete Linie 39 bezeichnet den Mittelwert. Die

Horizontallinien 40, 41 geben den Bereich an, in welchem sich 75 % der berechneten IDI-Werte befinden. Die linke Kästchendarstellung, die auf der Horizontalachse mit „intakt“ bezeichnet ist, stellt den Satz von 33 berechneten IDI-Werten dar, die an der Maschine 4 ohne zusätzliche Kapazität erhalten werden. Die rechte Kästchendarstellung, mit „schadhaft“ bezeichnet, stellt den Satz von 33 IDI-Werten dar, die erhalten werden, wenn eine zusätzliche Kapazität 5 mit 2,2 nF zwischen die Anschlussverbindung und einem Anzapfpunkt einer Phase gesetzt wird.

In Fig. 12 ist zu sehen, dass bei demselben Maschinenaufbau aufgrund des Messrauschens und anderer nicht idealer Eigenschaften kleine Abweichungen der berechneten IDI-Werte erhalten werden. Unter Verwendung einfacher statistischer Maßnahmen wie etwa der Mittelwertberechnung kann die Konfiguration mit schadhafter Isolierung jedoch deutlich von den Referenzmessungen getrennt werden.

Weil die zusätzliche Kapazität 5 innerhalb eines Teils einer einzelnen Phase platziert ist, z. B. Phase U in Fig. 8, hat nur die Reaktion auf die Anregung in dieser Phase diese sichtbare deutliche Veränderung, während die anderen Phasenreaktionen nahezu unverändert bleiben. Deshalb lässt sich nicht nur eine Feststellung der Veränderung von Hochfrequenzeigenschaften, sondern auch von deren räumlicher Position erfassen, indem die Ergebnisse aller dreier Phasenanregungen bei einer bestimmten Frequenz miteinander kombiniert werden, um einen resultierenden Zeiger zu ergeben und auf diese Weise die räumliche Asymmetrie der Frequenzantwort zu bestimmen, vgl. auch Fig. 7.

Wenn der Antrieb einen Wechselrichter 2 aufweist, der Anregungsfrequenzen von 1 MHz oder darüber hinaus bewerkstelligen kann, kann der Frequenzbereich für die Messungen so gewählt werden, dass er auch diesen Teil abdeckt, der gegenüber Veränderungen der parasitären Kapazitäten einer Wicklungsisolierung am empfindlichsten reagiert. Je nach der Nennleistung der Maschine 4 kann diese Frequenz von ein paar Hundert kHz (für Hochleistungsmaschinen) bis zu ein paar MHz (für Maschinen mit geringerer Leistung) betragen. Wie bereits erwähnt, betrug aufgrund der Beschränkung der Wechselrichterhardware die maximale Anregungsfrequenz bei dieser Untersuchung

166 kHz.

Vorstehend wurde ein neues Verfahren zur Detektion der Verschlechterung einer Isolierung präsentiert. Es beruht auf der Frequenzantwort des Maschinenstroms auf eine Spannungsanregung mit einer bestimmten dominanten Frequenz. Die Anregung wird durch eine Spannungsimpulssequenz des Wechselrichters 2 mit einer dominanten Grundwelle bewerkstelligt, die der gewollten Anregungsfrequenz gleicht. Die Stromantwort wird unter Verwendung der eingebauten Stromsensoren 9, 10, 11 der Wechselrichterschaltung 2 gemessen. Die Anregungsfrequenz kann so geändert werden, dass sie den Frequenzbereich der Maschine 4 abdeckt, der auf Veränderungen des intakten Zustands einer Wicklungsisolierung am empfindlichsten reagiert. Auf diese Weise kann eine Frequenzantwortkurve der Maschine 4 abgeschätzt werden. Wenn die Anregungsimpulssequenz nur in einer Einzelphasenrichtung angelegt wird, kann sie in den verbleibenden Hauptphasenrichtungen wiederholt werden, um eine räumliche Information über diese Stromfrequenzantwort zu erhalten.

Wenn sich der intakte Zustand der Isolierung der Maschinenwicklung verschlechtert, ändern sich die parasitären Kapazitäten der Wicklung und somit auch die Hochfrequenzeigenschaften in dem betrachteten Frequenzbereich (50 kHz bis 10 MHz). Durch den Vergleich der von einer neuen (intakten) Maschine erhaltenen Frequenzantwort mit derjenigen einer Maschine mit deutlich verschlechterter Isolierung kann deshalb eine Veränderung der beiden Frequenzantworten bestimmt werden. Da die Bestimmungsmessungen mittels eines standardmäßigen Wechselrichters ohne zusätzliche Sensoren ausgeführt werden können, ist eine online erfolgende Überwachung der Maschine möglich. Demnach kann eine Verschlechterung des Isolierungssystems erfasst werden, bevor ein tatsächlicher Kurzschluss zwischen Windungen auftritt oder sich ein Kurzschluss zwischen Phase und Masse ergibt. Infolgedessen die Wartung zeitlich geplant und unvorhergesehene Ausfälle oder Betriebsunterbrechungen können vermieden werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Feststellung des Zustands einer Isolierung einer wechselrichtergespeisten Wechselstrommaschine, wobei die Maschine (4) durch den Wechselrichter (2) mit einer Spannung angeregt, und durch diese Anregung eine Stromreaktion der Maschine verursacht wird, wobei die Stromreaktion gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine (4) mit einer Spannung in einem bestimmten Frequenzbereich über der Grundwelle der Maschine angeregt wird, dass die gemessene Stromreaktion mit mindestens einer vorab gemessenen und gespeicherten Referenzstromreaktion verglichen wird, und dass mögliche Veränderungen der gemessenen Stromreaktion in Bezug auf die mindestens eine Referenzstromreaktion des bestimmten Frequenzbereichs dazu verwendet werden, den Isolierungszustand zu bestimmen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromreaktion mit Hilfe mindestens eines Stromsensors (9, 10, 11) gemessen wird, der bereits in der Wechselrichterschaltung vorhanden ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der bestimmte Frequenzbereich für die Spannung 50 kHz bis 5 MHz, vorzugsweise 300 kHz bis 3 MHz, und mindestens bis 1,5 MHz beträgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wechselrichterimpulssequenz als Anregungsspannung verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass beim Messen der Stromreaktion zusätzlich zur Anregungsfrequenz auch obere Frequenzbänder betrachtet werden, um den interessierenden Frequenzbereich abzudecken, wenn eine frequenzabhängige Abweichung der Stromreaktion von der Referenzstromreaktion festgestellt wird.

renzstromreaktion berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass an den gemessenen Stromreaktionen eine Fourier-Transformation durchgeführt wird und Unterschiede in der Größe der Stromreaktionssignale dazu verwendet werden, den Isolierungszustand zu bestimmen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass für die Referenzstromreaktionen sowie für die danach gemessene Stromreaktion mehrere Messungen nacheinander vorgenommen werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung in Echtzeit auf Grundlage der Abweichung der gemessenen Stromreaktion von der mindestens einen Referenzstromreaktion bestimmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wenn von Anspruch 7 abhängig, dadurch gekennzeichnet, dass der Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung auf Grundlage der Bestimmung einer Standardabweichung der Stromreaktionen über den Frequenzbereich hinweg berechnet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer mehrphasigen Maschine , z. B. einer dreiphasigen Maschine (4), Werte für den Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung für jede Phase berechnet werden und daraus eine mögliche räumliche Asymmetrie berechnet wird.
11. Vorrichtung zur Feststellung des Zustands, insbesondere eines verschlechterten Zustands, einer Isolierung einer wechselrichtergespeisten Wechselstrommaschine (4), mit einer Wechselstrommaschine (4), die an einen Wechselrichter (2) angeschlossen ist, der dazu eingerichtet ist, die Maschine (4) mit einer

Spannung anzuregen, und mit mindestens einem Sensor (9, 10, 11) zum Messen einer durch diese Anregung verursachten Stromreaktion der Maschine (4), dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselrichter (2) dazu eingerichtet ist, die Maschine (4) mit einer Spannung in einem bestimmten Frequenzbereich über der Grundwelle der Maschine anzuregen, und dass mindestens ein Komparator (24, 25, 26) vorgesehen ist, der dazu eingerichtet ist, um die gemessene Stromreaktion der Maschine (4) mit mindestens einer Referenzstromreaktion zu vergleichen, die zuvor an der intakten Maschine verursacht und gemessen und gespeichert wurde, und um mögliche Veränderungen der gemessenen Stromreaktion in Bezug auf die mindestens eine Referenzstromreaktion zu bestimmen, um den Isolierungszustand auf Grundlage dieser Veränderungen zu bestimmen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromreaktion durch mindestens einen Stromsensor (9, 10, 11) gemessen wird, der bereits in der Wechselrichterschaltung vorhanden ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der bestimmte Frequenzbereich für die Spannung 50 kHz bis 5 MHz, vorzugsweise 300 kHz bis 1,5 MHz beträgt.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselrichter (2) dazu eingerichtet ist, eine Impulsfolge als Anregungsspannung abzugeben.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, gekennzeichnet durch mindestens eine Berechnungseinheit (24, 25, 26), die dazu eingerichtet ist, einen Indikator (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung auf Grundlage der Abweichung der gemessenen Stromreaktion von der mindestens einen Referenzstromreaktion zu berechnen.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die

Berechnungseinheit (24, 25, 26) dazu eingerichtet ist, den Indikator für die Verschlechterung der Isolierung auf Grundlage mehrerer Stromreaktionsmessungen und auf Grundlage einer Standardabweichung der Stromreaktionen über den Frequenzbereich hinweg zu berechnen.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle einer mehrphasigen Maschine, z. B. einer dreiphasigen Maschine (4), eine Komparator- und Berechnungseinheit (27) an ein entsprechendes Element von Komparatoren (24, 25, 26) angeschlossen ist, um die für jede Phase berechneten Werte des Indikators (IDI) für die Verschlechterung der Isolierung zu vergleichen und daraus eine mögliche räumliche Asymmetrie zu berechnen.

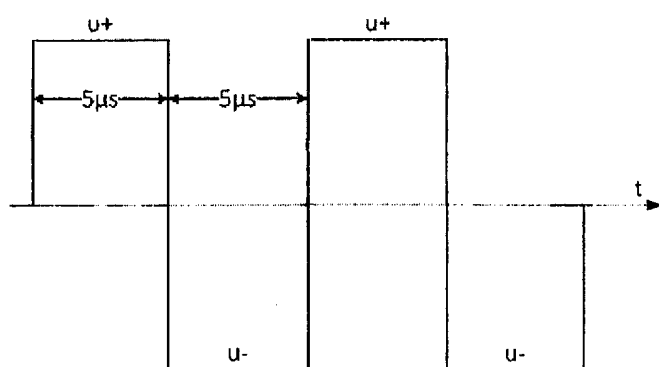
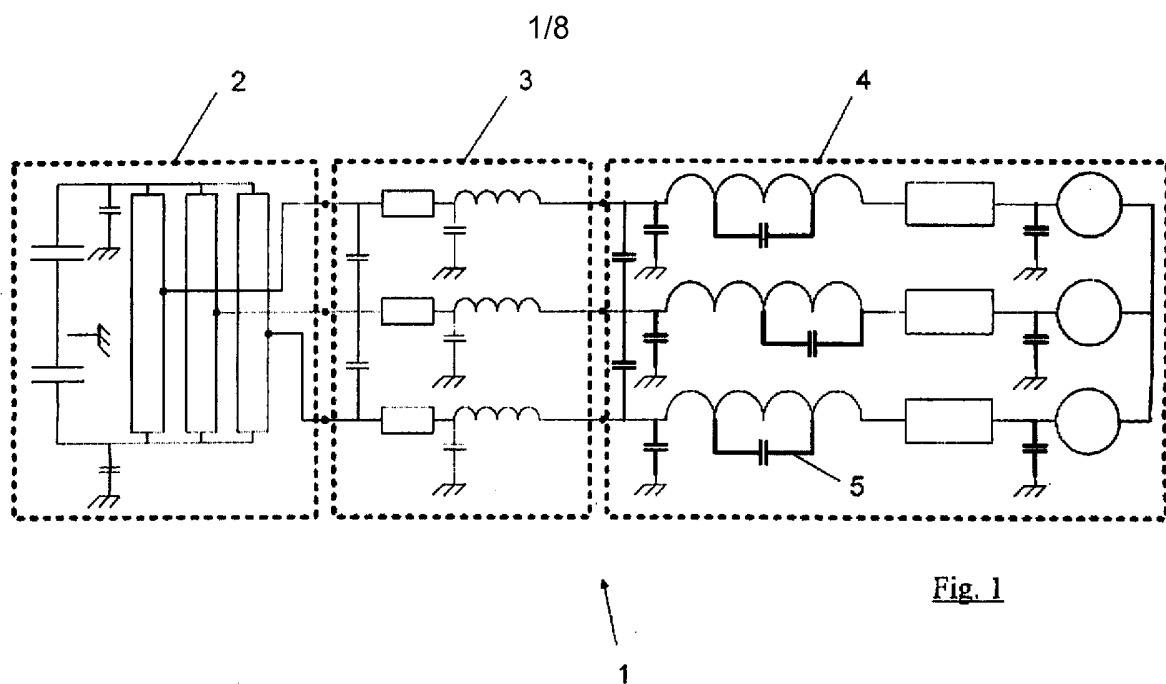


Fig. 2A

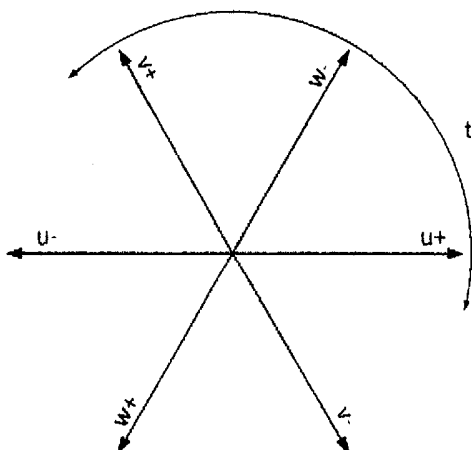


Fig. 2B

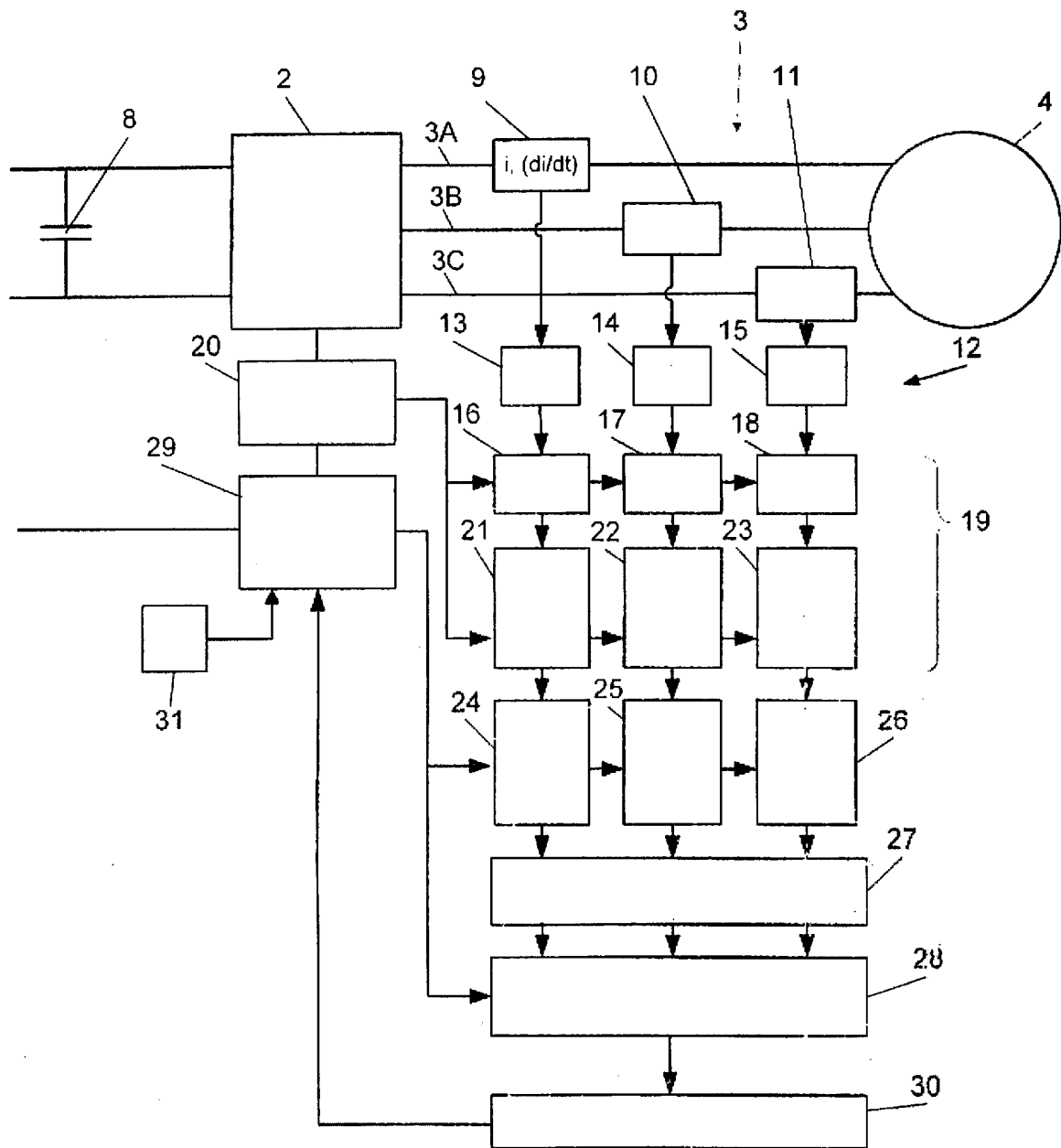


Fig. 3

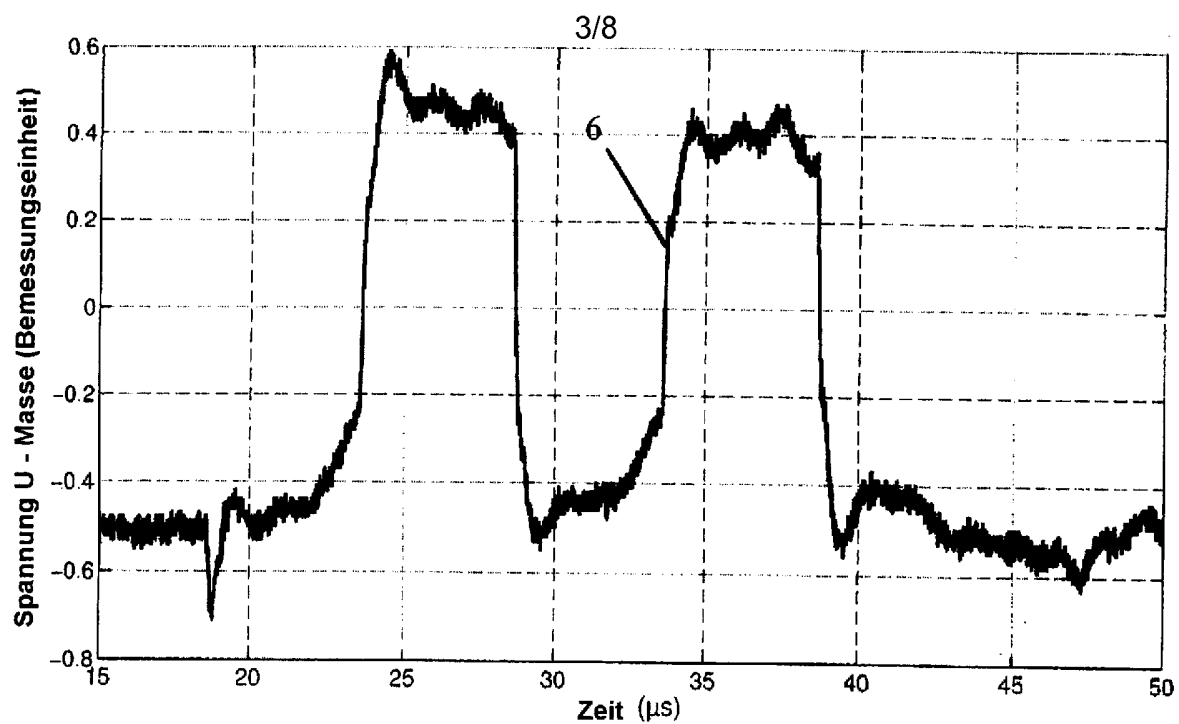


Fig. 4

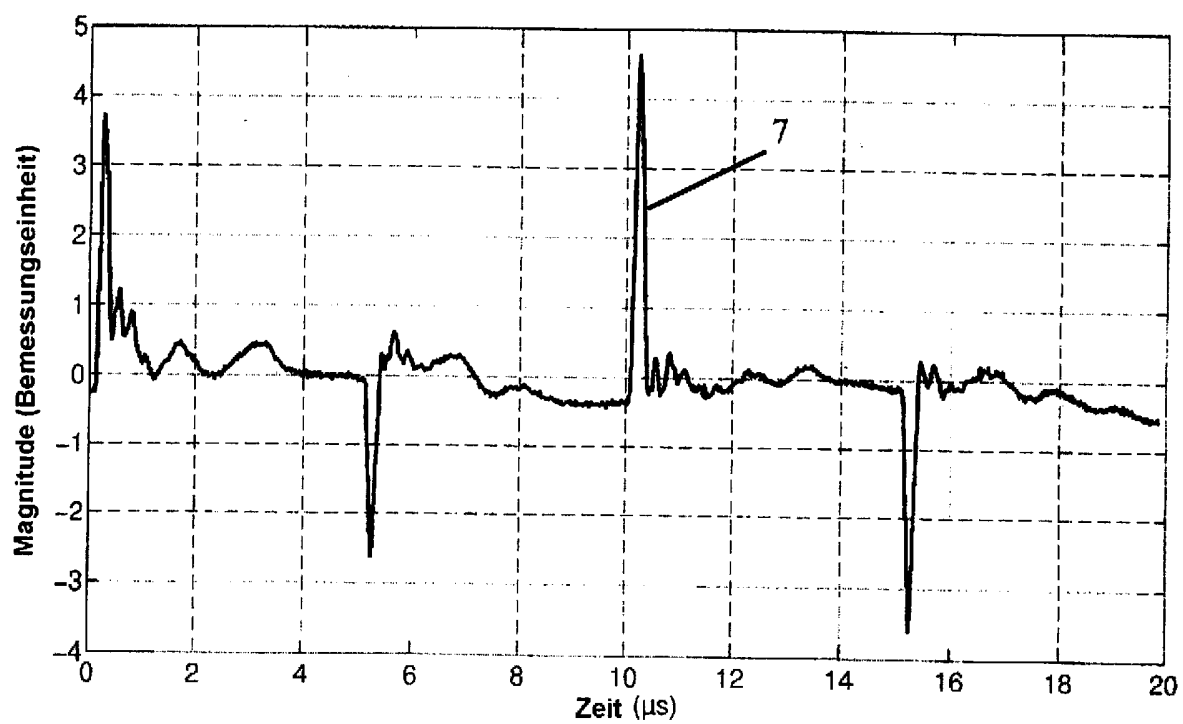


Fig. 5

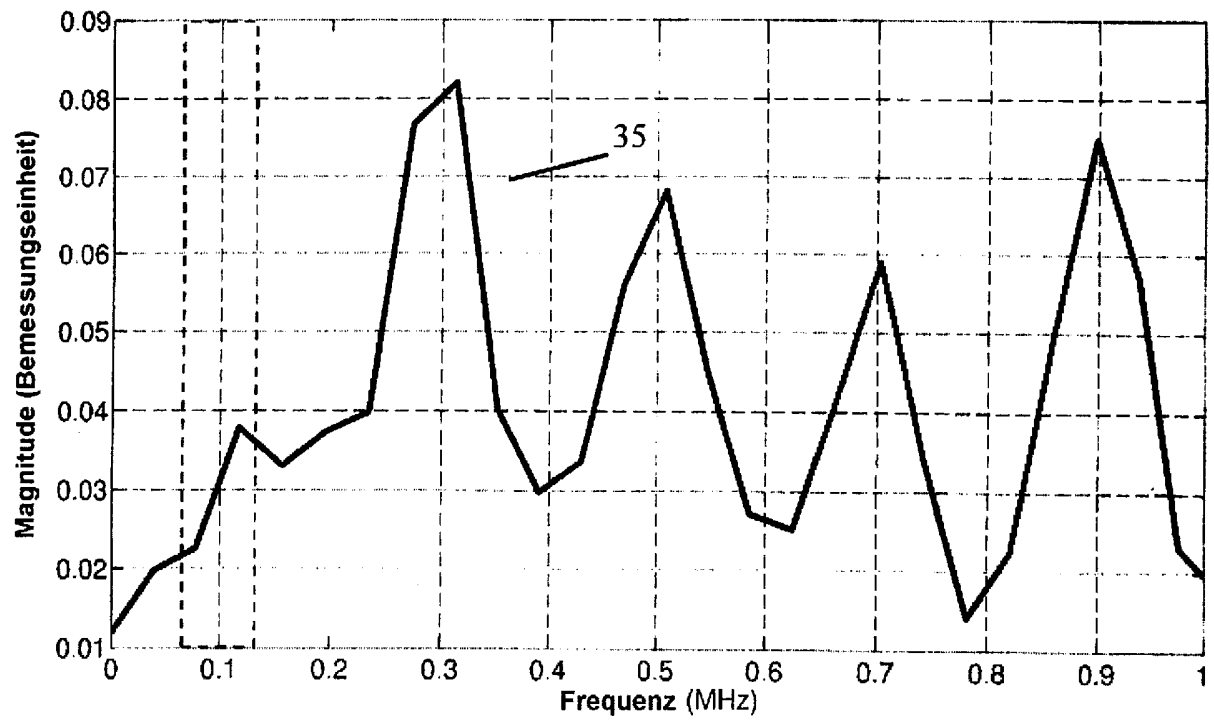


Fig. 6

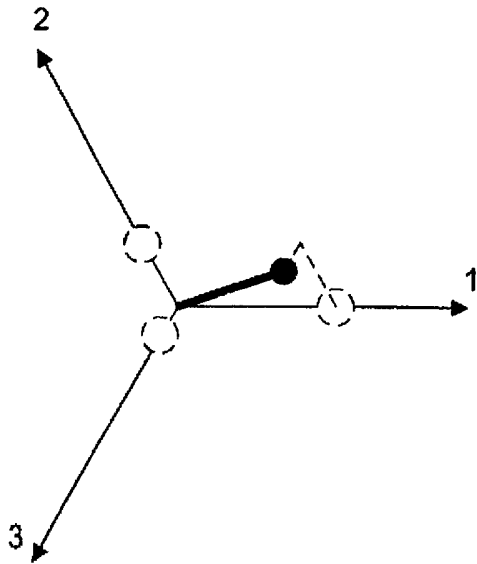


Fig. 7

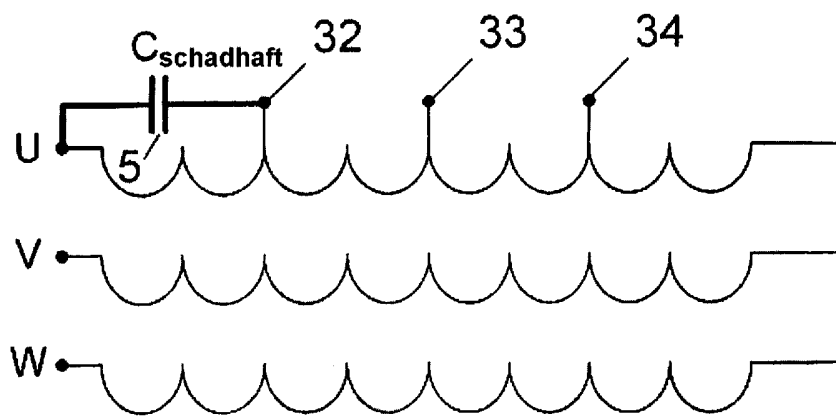


Fig. 8

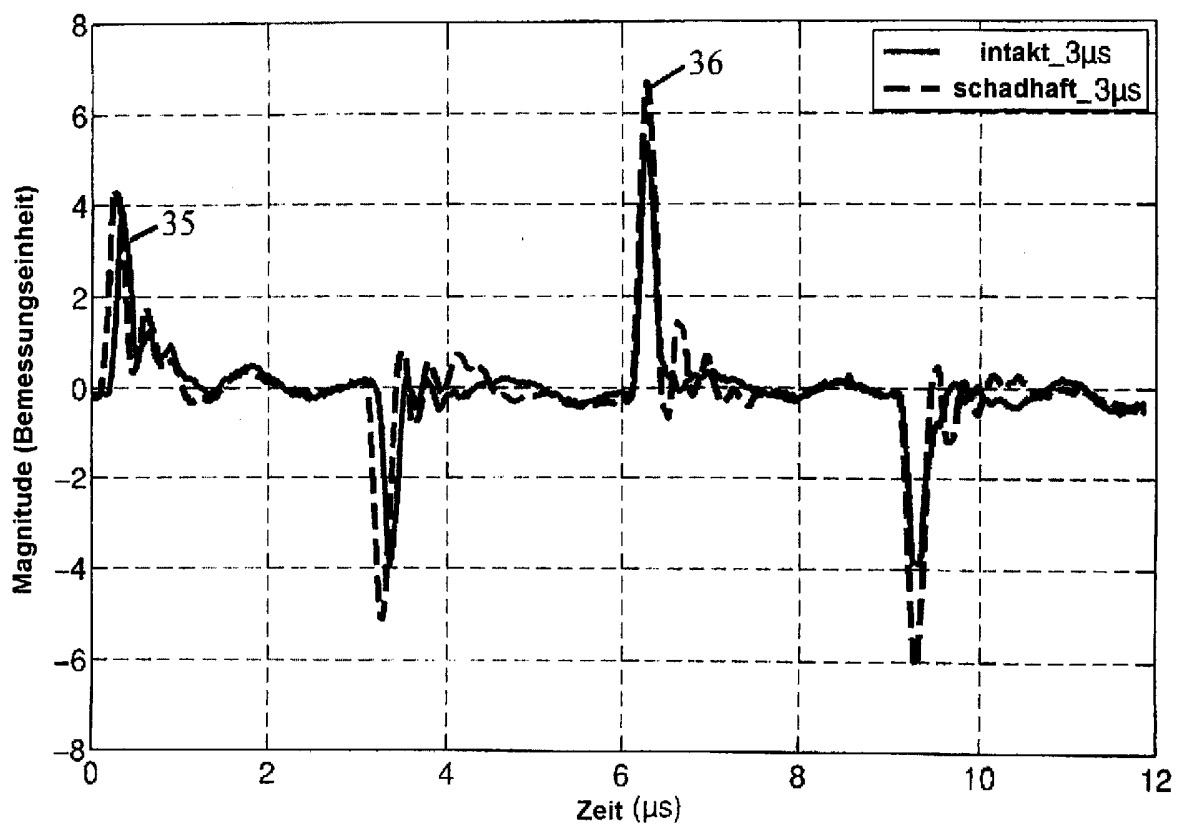


Fig. 9

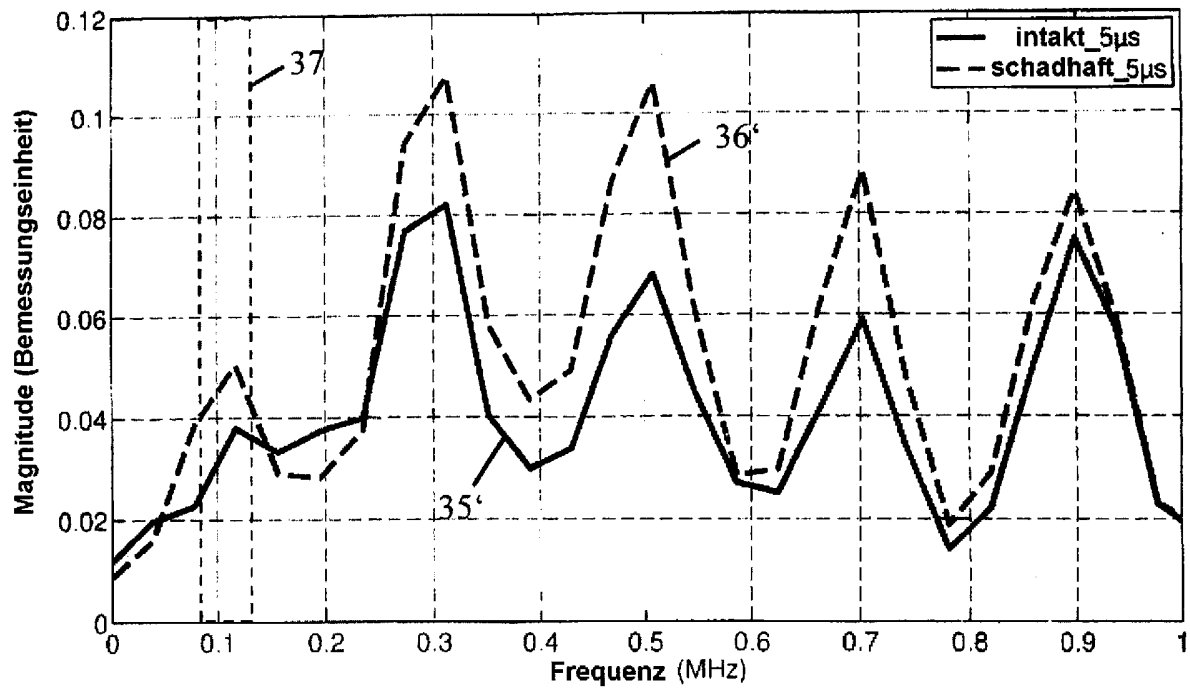


Fig. 10A

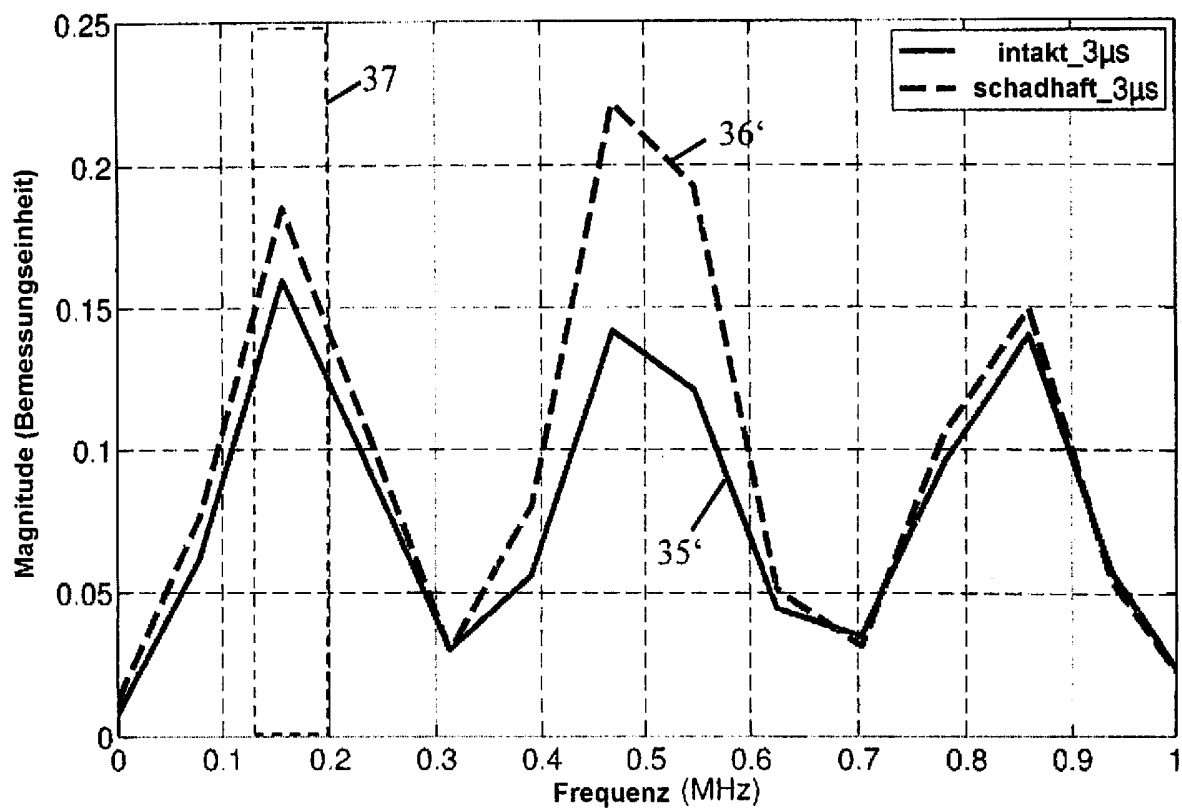


Fig. 10B

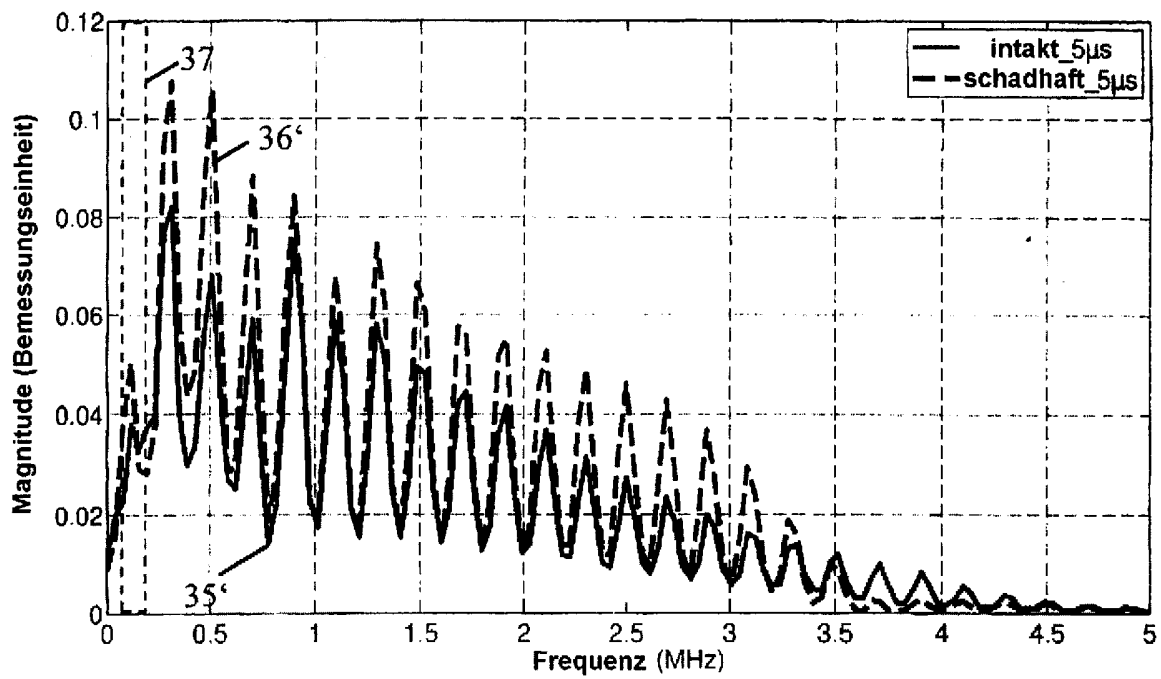


Fig. 11A

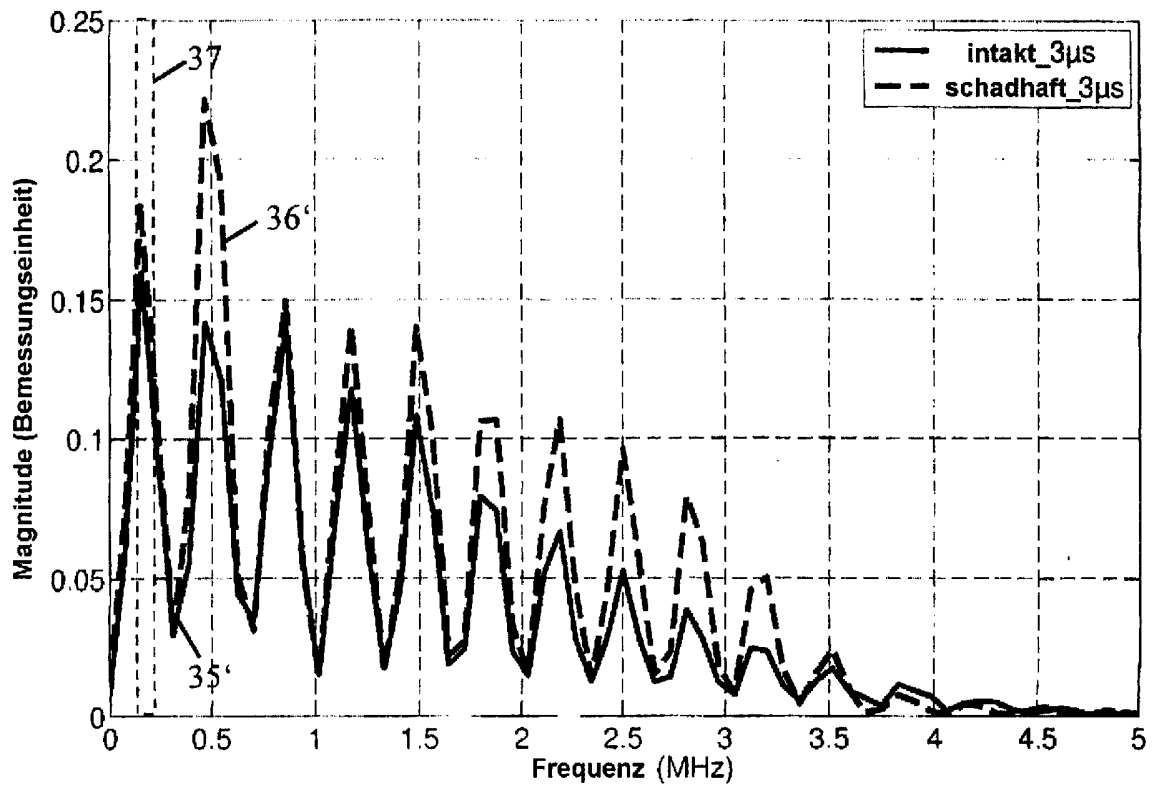


Fig. 11B

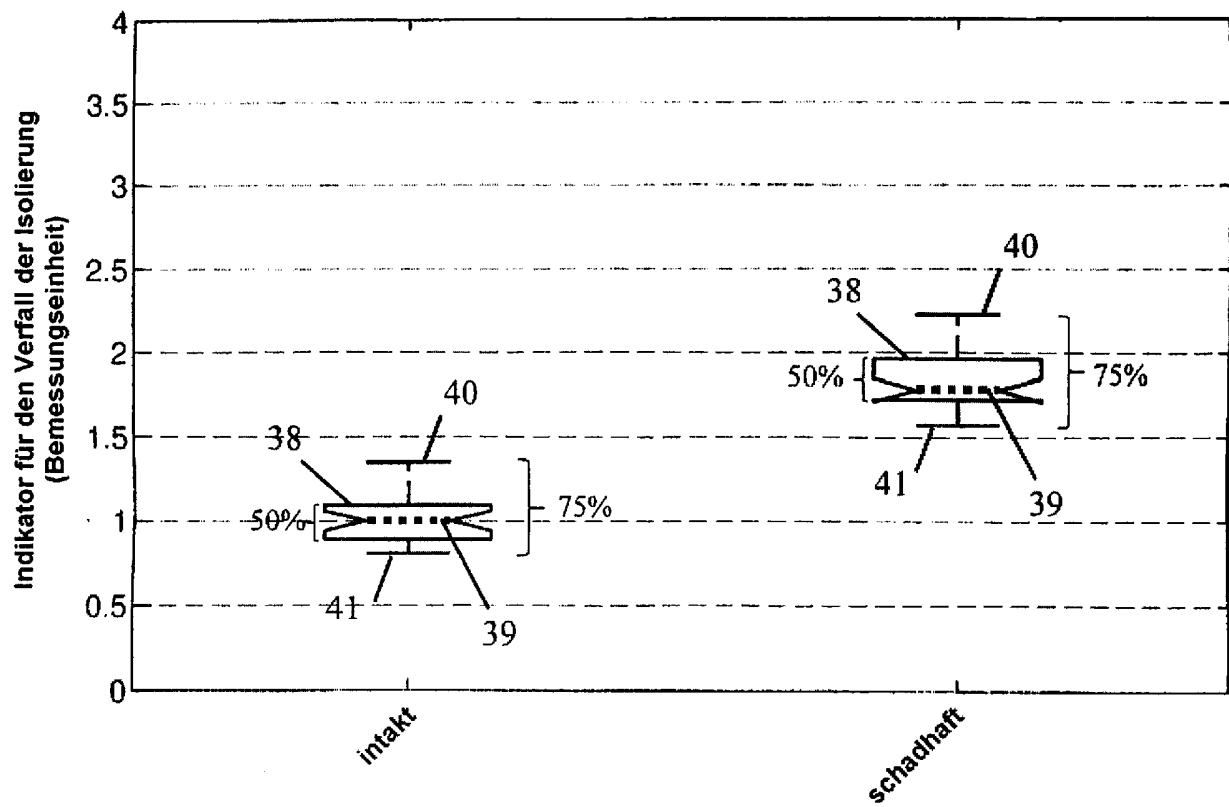


Fig. 12

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
G01R 31/34 (2006.01); **G01R 31/12** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
G01R 31/346 (2013.01); **G01R 31/1272** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
G01R

Konsultierte Online-Datenbank:
EPODOC WPI TXTxx INSPEC

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **25.08.2014** eingereichten Ansprüchen **1-17** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
E	Zoeller et al.: Stimulating and detecting changes in the insulation health state of inverter fed ac machines; 16th European Conference on Power Electronics and Applications; IEEE; 26. August 2014 gesamtes Dokument	1-17
X	Vogelsberger et al.: Online insulation condition monitoring of AC machines using ultra-fast inverter switching transition based on new semi-conductor materials; PCIM Europe 2014. Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality and Energy Management; VDE Verlag GmbH; 22.-24. Mai 2014 gesamtes Dokument	1-17
X	Zöller et al.: Detecting insulation condition changes of inverter Fed AC machines based on two current sensors and indirect phase step excitation; Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), IEEE; 2014 International Symposium; 18.-20. Juni 2014 gesamtes Dokument	1-17
X	Nussbaumer et al: Online detection of insulation degradation in inverter fed drive systems based on high frequency current sampling; IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society; 7. November 2011 gesamtes Dokument	1-17
A	JP 2001141795 A (MATSUSHITA REFRIGERATION) 25. Mai 2001 (25.05.2001) Zusammenfassung	1-17
A	US 6035265 A (DISTER CARL J [US], DELVECCHIO PERRY A [US], ROGOVIN DANIEL N [US]) 07. März 2000 (07.03.2000) Fig. 3 und Beschreibung	1-17

Datum der Beendigung der Recherche:
13.07.2015

Seite 1 von 1

Prüfer(in):
SCHLECHTER Burkhard

¹⁾ **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.