





- 
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

Zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer elektrischen Maschine (2), die von einem Umrichter (4) gespeist wird, werden mit Hilfe des Umrichters (4) zeitlich aufeinander folgend eine erste ( $V_1$ ) und (eine) zweite, gegenüber der ersten erhöhte Spannung ( $V_2$ ) angelegt sowie die dadurch bewirkten zugehörigen Maschinen-Ströme ( $i_1, i_2$ ) gemessen, und aus dem Quotienten der Differenz ( $\Delta_v$ ) der beiden Spannungen durch die Differenz ( $\Delta_i$ ) der beiden Ströme wird ein Wert für den Widerstand ( $r$ ) ermittelt.

Verfahren und Vorrichtung zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer elektrischen Maschine

Die Erfindung betrifft ganz allgemein das Gebiet von umrichter- gespeisten elektrischen Maschinen und dabei mehr im einzelnen ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer von einem Umrichter gespeisten elektrischen Maschine.

Zwischen einer elektrischen Maschine und dem sie ansteuernden Umrichter befinden sich in der Regel Leiter, Anschlussklemmen, Schalter, Sicherungen, Unterbrecher und dergl. Elemente. Dabei liegen üblicherweise zahlreiche Metall-Metall-Kontakte vor, die einen mehr oder weniger großen elektrischen Widerstand mit sich bringen können. Hierbei ist zu beachten, dass bei derartigen Kontakten die Kontaktflächen nicht eben und kontinuierlich sind, sondern uneben. Demgemäß bilden nur kleine Flächenbereiche die tatsächliche Kontaktfläche. Weiters liegen bei üblichen Metall-Kontakten, z.B. Aluminium, Kupfer oder Messing, nichtleitende Oxidfilme vor, und ein guter elektrischer Kontakt kann nur dort erhalten werden, wo durch einen hohen Kontaktdruck der Oxidfilm unterbrochen wird.

Wenn nun derartige elektrische Kontakte vergleichsweise hohen Strömen ausgesetzt werden, wie dies bei elektrischen Maschinen, die in der Industrie und für Antriebssysteme verwendet werden (vgl. z.B. US 2010/0060289 A1), üblich ist, so führen diese Ströme in den Metall-Metall-Kontaktbereichen zu einem Temperaturanstieg, der zu Abbauprozessen und zu einem Anwachsen von Oxidfilmen führt. Insbesondere führen Ströme bei Überlast oder Kurzschluss zu einer hohen Übertemperatur und in der Folge zu einer wesentlichen Widerstandserhöhung.

Andererseits können sich bei Lastwechseln verschiedene mechanische Drücke oder Kräfte im Bereich der Kontaktteile, wie Bolzen und Klemmen, ergeben, wobei Wärmedehnungen von verschiedenen Materialien problematisch sind. Wenn beispielsweise eines der Kontaktmaterialien einen doppelt so hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten hat, verglichen mit dem anderen am Kontakt beteiligten Material, erhöht sich der Druck nach dem Er-

hitzen des Verbindungsbereichs auf das Doppelte. Dies führt zu Deformationen der Kontaktteile und möglicherweise zu Rissen.

Schließlich sind auch noch Umgebungseinwirkungen in rauen Betriebsumgebungen zu berücksichtigen, wie etwa Feuchtigkeit, Staub, Verschmutzungen, Änderungen in der Umgebungstemperatur, Vibrationen, äußere mechanische Kräfte und dergl., was zu einer vergleichsweise hohen Abnutzung und Korrosion von Kontaktteilen führen kann.

Ein anwachsender Widerstand im Bereich eines Kontaktes ergibt einen reduzierten Wirkungsgrad der Verbindungsteile und somit des gesamten Systems. Zu beachten ist hier weiters, dass der Grad an Zuverlässigkeit der elektrischen Verbindungen nicht geringer sein sollte als jener des Umrichters und der Maschine. Untersuchungen haben gezeigt (vgl. R.S. Colby, „Detection of high-resistance motor connections using symmetrical component analysis and neural networks“), dass Verbindungen mit hohem Widerstand mit zu den Hauptgründen für den Ausfall von elektrischen Systemen zählen. Dabei sind nicht nur die hohen Widerstände selbst problematisch, sondern auch die nachfolgenden Ausfälle oder Störungen. Beispielsweise führt ein erhöhter Widerstand in einer Phase einer Mehrphasen-Maschine zu einer Spannungsasymmetrie in der Statorwicklung und schließlich zu Defekten in der Statorwicklung, wobei dies zu den häufigsten Ausfallgründen zählt.

Es wurden demgemäß bereits Untersuchungen durchgeführt, um elektrische Verbindungen mit hohem Widerstand zu ermitteln, wobei sich diese Untersuchungen in der Regel allerdings mit netzgespeisten Maschinen befassten. Diese Untersuchungsergebnisse lassen sich aber praktisch nicht auf umrichtergespeiste Maschinen übertragen. Allerdings ist im Artikel Sang Bin Lee et al., „A New Strategy for Condition Monitoring of Adjustable Speed Induction Machine Drive Systems“, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 26, No. 2, February 2011, eine Vorgangsweise beschrieben, bei der der Umrichter während eines Stillstands der Maschine zur Erfassung eines Widerstands-Ungleichgewichts herangezogen wird, wobei die Phasenwiderstände von Spannungsmessungen ermittelt werden. Es sind - wie in der Regel - zusätzliche Sen-

soren, wie Spannungssensoren, notwendig, die die Kosten erhöhen. Außerdem beschränkten sich die bekannten Untersuchungen in der Regel auf das Feststellen von bereits aufgetretenen Fehlern im elektrischen Schaltkreis, wogegen es wünschenswert wäre, beginnende Fehler sicher und rasch festzustellen, etwa um gravierendere Maschinenschäden zu vermeiden.

Wünschenswert wäre daher eine Technik zur Überwachung von elektrischen Maschinen, nämlich umrichter gespeisten Maschinen, ohne zusätzlichen Schaltungsaufwand und mit der Möglichkeit, beginnende Widerstandserhöhungen in Kontaktbereichen – auch ohne die hier üblichen visuellen Untersuchungen und händischen Widerstandsmessungen – zu erfassen. Dabei ist etwa bei Maschinen in Antriebssystemen in der Regel ein Zugang zu Verbindungen von Kontakten nicht ohne Weiteres möglich. Andererseits soll jedoch die Überwachungstechnik ohne Demontagen auskommen können.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zum Erkennen von Kontaktfehlern an umrichter gespeisten elektrischen Maschinen vorzuschlagen, wobei bereits beginnende Kontaktfehler zuverlässig festgestellt werden können sollen, und wobei ein besonderer apparativer Aufwand vermieden werden soll.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, auch im Fall von Mehrphasen-Maschinen, insbesondere Dreiphasen-Maschinen, derartige Kontaktfehler frühzeitig zu erkennen, insbesondere wenn sie auch nur in einer Phase vorliegen und sie der jeweiligen Phase zuordnen zu können, wobei in der Folge Asymmetrien in den Phasenspannungen an den Statorwicklungen reduziert bzw. vermieden werden können sollen, um so einen Maschinenausfall zur Folge einer fehlerhaften Statorwicklung möglichst zu verhindern.

Demgemäß sieht die Erfindung ein Verfahren zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer elektrischen Maschinen vor, die von einem Umrichter gespeist wird, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Umrichters zeitlich aufeinander folgend eine erste und eine zweite, gegenüber der ersten erhöhte Spannung angelegt sowie die dadurch bewirkten zugehörigen Maschinen-Ströme gemessen werden, und aus dem Quotienten der Differenz der beiden Spannungen durch die Differenz der beiden Ströme ein Wert für den Widerstand er-

mittelt wird.

Weiters ist Gegenstand der Erfindung eine Vorrichtung zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer von einem Umrichter gespeisten elektrischen Maschine, mit zumindest einem Stromsensor zur Erfassung eines bei Anlegen einer Spannung an die Maschine durch den Umrichter bewirkten Maschinen-Stroms, gekennzeichnet durch eine mit dem Stromsensor verbundene Messanordnung mit Erfassungsmitteln für die Umrichter-Spannung und mit einer Widerstands-Ermittlungseinheit, um bei einem aufeinanderfolgenden Anlegen von zwei verschiedenen Spannungen, wobei die zweite Spannung gegenüber der ersten erhöht ist, und wobei zwei verschiedene Ströme bewirkt werden, durch Quotientenbildung von Spannungs- durch Stromdifferenz einen Maschinenanschluss-Widerstandswert zu ermitteln.

Die Erfindung basiert dabei auf der Erkenntnis, dass bei einer elektrischen Maschine unmittelbar nach dem Starten die Temperatur in Kontaktbereichen noch gleich der Umgebungstemperatur sein wird; ein Anstieg des Widerstands wird in dieser Startphase eher vernachlässigbar bzw. kaum detektierbar sein. Wenn jedoch der Strom durch einen Kontakt, etwa zur Folge einer entsprechenden Maschinenlast, steigt, wird auch der Widerstand sich erhöhen. Wenn nun eine Verbindungs- bzw. Kontaktstelle fehlerhaft ist, wird hier der Widerstand rascher ansteigen als in Kontakten. Ein derartiger Störfall wird auch als heißer Kontaktpunkt (HCP - Hot Contact Point) bezeichnet, und die Ermittlung von derartigen HCP-Fehlern ermöglicht es, rasch zu reagieren und Auswirkungen bis hin zu einem Ausfall zu vermeiden.

Die vorliegende Technik basiert demgemäß auf der Messung von Strom-Antworten auf Spannungsstufen, die vom Umrichter erzeugt werden. Ein Vorteil dabei ist auch, dass üblicherweise in einem Umrichterkreis bereits standardmäßig Stromsensoren vorgesehen sind, sodass diesbezüglich keine zusätzlichen Komponenten (Hardware) erforderlich sind. Andererseits ist die vom Umrichter angelegte jeweilige Spannung von der Ansteuerung des Umrichters her bekannt, und wenn dann der sich ergebende Strom gemessen wird, kann der Widerstand gemäß dem Ohm'schen Gesetz berechnet werden.

Allerdings wird die von einem Umrichter an die elektrische Maschine angelegte Spannung durch ein nicht-ideales Verhalten des Umrichters beeinträchtigt, und es wäre eigentlich notwendig, die Ausgangsspannungen des Umrichters zusätzlich, mit eigenen Spannungssensoren, zu erfassen. Dies würde jedoch zu erhöhten Kosten führen, da an sich Spannungssensoren für die Steuerung bzw. Regelung der Maschinensysteme nicht erforderlich sind und daher auch in der Regel nicht vorhanden sind bzw. nicht eingesetzt werden.

Üblicherweise wird die Ausgangsspannung des Umrichters durch dessen Schalten gemäß der an sich bekannten Pulsweitenmodulation (PWM) erzeugt. Abgesehen von den dabei erhaltenen diskreten Pulsen ergeben sich dabei weitere, inhärente Erscheinungen, wie Spannungsabfälle, Flanken in den Übergängen der Ausgangsspannung, Aus- und Einschaltzeiten sowie Totzeiten des Umrichters. Alle diese Erscheinungen beeinflussen die Widerstandsermittlung oder -abschätzung zur Folge der Verzerrung der Umrichter-Ausgangsspannung. Diese Effekte sollten daher eliminiert oder zumindest reduziert werden, ohne eine eigene Spannungsmessung zu erfordern, um eine möglichst genau Widerstandsermittlung zu erreichen.

Dies gelingt bei der vorliegenden Technik durch die vorerwähnte Quotientenbildung Spannungsdifferenz durch Stromdifferenz, wie nachstehend noch näher erläutert werden wird, wobei die vorerwähnten Effekte zur Folge der nicht-exakten Ausgangsspannung des Umrichters zumindest wesentlich reduziert werden. Eine eigene Spannungsmessung kann sich dabei erübrigen.

Im Prinzip ist es denkbar, die zweite, höhere Spannung relativ lange an die Maschine anzulegen, sodass sich durch den erhöhten Stromfluss eine entsprechende Erwärmung und damit Beeinflussung des Widerstands im Anschlussbereich der elektrischen Maschine ergibt. Der dann ermittelte Widerstand könnte mit einem vorgegebenen bzw. bei Beginn der Verwendung der Maschine gemessenem, gespeicherten Widerstandswert verglichen werden, um so einen etwaigen Anstieg des Widerstands feststellen zu können. Eine besonders einfache und elegante Lösung ergibt sich jedoch, wenn

die Widerstandsermittlung zumindest einmal wiederholt wird und die erhaltenen Widerstands-Werte verglichen werden. Dabei wird besonders bevorzugt, wenn die angelegten Spannungen erhöht werden, bis allgemein ein Nennstrom in der Maschine fließt. Sollte sich bei diesen Wiederholungen ein anormaler, übermäßiger Temperaturanstieg an irgendeiner Verbindungsstelle im Bereich der Spannungszuführung zur Maschine ergeben, würde der damit verbundene erhöhte Widerstand sicher erfasst und angezeigt werden können.

Tests haben hier gezeigt, dass es für eine verlässliche Untersuchung auf etwaige Kontaktfehler ausreichend ist, wenn die Messungen während einer Messdauer von z.B. 120s vorzugsweise kontinuierlich oder aber Sekunden-weise wiederholt werden.

Die Messungen werden dabei bevorzugt vor einer jeweiligen Inbetriebnahme der Maschine durchgeführt; im Prinzip kann die beschriebene Widerstandsermittlung auch im Betrieb, allerdings nur in speziellen Betriebsphasen, nämlich bei stillstehender Maschine, durchgeführt werden.

Demgemäß ist es von besonderem Vorteil, wenn die Messungen und Widerstandsermittlungen bei unbelasteter, stillstehender Maschine durchgeführt werden.

Die vorliegende Technologie ist besonders vorteilhaft bei Mehrphasen-Maschinen, insbesondere Dreiphasen-Maschinen, anzuwenden, wobei dann die Messungen und Widerstandsermittlungen sowie -vergleiche für jede Phase einzeln durchgeführt werden. Die für die einzelnen Phasen erhaltenen Widerstands-Werte werden dann nicht nur für jede Phase isoliert ausgewertet, sondern zweckmäßig auch im Hinblick auf eine etwaige asymmetrische Widerstandserhöhung miteinander verglichen.

Bei diesen Widerstands-Ermittlungen werden bevorzugt die in den einzelnen Phasen bereits vorhandenen (drei) Stromsensoren direkt zur Strommessung herangezogen; es ist aber auch denkbar, nur zwei Phasen-Stromsensoren zu verwenden, und zwar in Kombination mit einer Stromsummen-Erfassung, um die einzelnen, drei Phasenströme und in der Folge die drei Phasen-Widerstände zu ermit-

teln.

Insbesondere kann hier eine besonders einfache Vorgangsweise bei der Fehlerermittlung erzielt werden, wenn die jeweiligen Phasen-Widerstände in eine Zeigerform, in einer komplexen Ebene, transformiert werden.

Alternativ kann auch direkt durch Messung aller Sensoren (bzw. von mindestens zwei Sensoren) jeweils ein komplexer Zeiger gebildet werden, d.h. es werden somit drei komplexe Zeiger für die Phasenwerte der Widerstände erhalten. Die Richtungen der drei Zeiger können - bei asymmetrischer Anordnung - auch verschieden von den Phasenrichtungen ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ ) sein.

In apparativer Hinsicht weist die Messanordnung vorzugsweise eine Vektortransformationseinheit auf, die eingerichtet ist, die jeweiligen Phasen-Widerstände in eine Zeigerform zu transformieren.

In der Folge können dann die erhaltenen, Phasen-bezogenen Widerstands-Zeiger räumlich addiert werden, wozu eine geeignete Additionseinheit mit der Vektortransformationseinheit verbunden werden kann, und der sich dann ergebende Einzel-Vektor - der im Idealfall Null ist - kann dann als Fehler-Indikator herangezogen werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Im Einzelnen zeigen in der Zeichnung:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Anlage mit Umrichter und elektrischer Maschine (Induktionsmaschine), und mit einem Steuerungs- (Regelungs-) sowie Messsystem;

Fig. 2 in einer Art Schaltbild eine Vorrichtung zur Erkennung von Kontaktfehlern bei einem System etwa gemäß Fig. 1;

Fig. 3 Phasen-bezogene Widerstandswerte und einen Fehler-Indika-

tor in einer komplexen Ebene, und zwar für eine ordnungsgemäß funktionierende Maschine;

Fig. 4 eine entsprechende Darstellung eines Fehler-Indikators in einer komplexen Ebene, und zwar für den Fall eines Kontaktfehlers in einer einzelnen Phase;

Fig. 5 in Teildiagrammen A, B und C, den Verlauf der Temperatur (Fig. 5A) und den Verlauf eines Phasenstroms (Fig. 5B), und zwar jeweils für den Fall einer ordnungsgemäß funktionierenden Maschine in ausgezogener Linie und für den Fall eines Kontaktfehlers, mit gestrichelter Linie; sowie – in Fig. 5C – den Verlauf der Stromdifferenz bei einem Kontaktfehler, jeweils für die Dauer eines Messintervalls;

Fig. 6 in einem Diagramm den Verlauf der Größe eines Fehler-Indikators, und zwar in einem ersten Abschnitt ohne Filterung und in einem zweiten Abschnitt mit Tiefpassfilterung;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines komplexen Fehler-Indikators abhängig von der Zeit, und zwar einerseits für eine ordnungsgemäß funktionierende Anlage und andererseits für den Fall eines HCP-Fehlers; und

Fig. 8 in einem zu Fig. 7 gehörigen Diagramm die Größe des Fehler-Indikators (in beliebigen Einheiten) über der Zeit, und zwar mit punktierter Linie für den Fall eine ordnungsgemäß funktionierenden Systems, mit ausgezogener Linie für den Fall eines Kontaktfehlers (HCP-Fehler), und mit strichlierter Linie für den Fall eines bereits früher an einem Test-Anschluss teil bewusst für die betreffende Phase besonders erhöhten Widerstandswertes.

In Fig. 1 ist allgemein eine Maschinenanlage 1 mit einer Dreiphasen-Induktionsmaschine 2 (nachstehend kurz Maschine 2 bezeichnet), mit drei nur schematisch veranschaulichten Wicklungen 3 für Phasen U, V und W veranschaulicht. Die Maschine 2 wird von einem Umrichter 4 gespeist, der entsprechende Phasenspannungen  $V_U$ ,  $V_V$  und  $V_W$  bei entsprechender Ansteuerung durch eine Steuereinheit 5, die Teil eines Steuer- (Regel-) und Messsystems 6 ist, abgibt. Üblicherweise erfolgt dabei die Ansteuerung, d.h. das

Schalten, des Umrichters 4 mittels PWM.

Zwischen dem Umrichter 4 und der Maschine 2 sind Stromsensoren  $S_U$ ,  $S_V$  und  $S_W$  zur Messung der Phasenströme  $i_U$ ,  $i_V$  und  $i_W$  in üblicher Weise vorgesehen. Über diese Erfassung der Phasenströme  $i_U$ ,  $i_V$  und  $i_W$  kann auch anstatt einer bloßen Ansteuerung des Umrichters 4 eine Regelung, beispielsweise zur Regelung der Leistung oder der Stromaufnahme der Maschine 2, mit Hilfe des Systems 6 durchgeführt werden.

Soweit bisher beschrieben ist die Maschinenanlage 1 an sich herkömmlich, sodass keine weiteren Erläuterungen hierzu erforderlich sind.

Wie bereits erwähnt können sich aufgrund der verschiedensten Ursachen einschließlich Schaltvorgängen und insbesondere Umrichter-Totzeiten Unregelmäßigkeiten in der Spannungs- und damit Stromversorgung ergeben. Die tatsächlich an die Wicklungen 3 der Maschine 2 angelegten Spannungen  $V$  sind daher nicht unbedingt gleichbleibende, symmetrische Ausgangsspannungen des Umrichters 4. Wenn daher eine einfache Widerstandsmessung durchgeführt würde, um so in der Verbindung zwischen Umrichter 4 und Maschine 2 etwaige Erhöhungen von Widerständen feststellen zu können, so wäre es notwendig, entsprechende Spannungssensoren zusätzlich an der Maschine 2 vorzusehen. Eine derartige Widerstandsmessung wäre durchzuführen, um etwaige Erhöhungen von Kontaktwiderständen, allgemein Kontaktfehler, in den Zuleitungen zu den Wicklungen 3 der Maschine 2 festzustellen, wobei hier die verschiedensten Elemente, wie Anschlusskontakte, Sicherungen, Unterbrecher, Leitungen usw., gegeben sind. Um diese Phänomene zu eliminieren oder zumindest weitestgehend auszuschalten, ist nun eine mehrfache Strommessung vorgesehen, die mit den entsprechenden Ansteuerungs-Spannungen  $V$  des Umrichters 4 in Verbindung gesetzt wird, um eine Widerstandsermittlung durchzuführen.

Im Einzelnen werden im gezeigten Beispiel Spannungszeiger mit derselben Richtung, jedoch mit unterschiedlicher Größe vom Umrichter 4 angelegt. Die Messung wird dabei bevorzugt bei stillstehender Maschine, ohne Last und ohne Fluss, durchgeführt. Da nur der Widerstandswert ermittelt wird und nur stationäre End-

werte in Betracht gezogen werden, haben auch die resultierenden Ströme dieselbe Richtung. Ganz allgemein führt eine erste Spannung  $V_1$  des Umrichters 4 zu einem ersten Strom  $i_1$  und eine zweite, höhere Spannung  $V_2$  zu einem Strom  $i_2$ . Die vorstehend angeführten, die Widerstandsmessung ansonsten beeinträchtigenden Effekte können nun dadurch eliminiert werden, dass die Differenzen  $\Delta_V = V_2 - V_1$  und  $\Delta_i = i_2 - i_1$  gebildet werden. Hieraus kann dann der Widerstand  $R = \Delta_V / \Delta_i$  berechnet werden.

Eine solche Widerstandswert-Ermittlung wird nun im vorliegenden Beispiel für jede Phase U, V und W durchgeführt, sodass alle Phasen-Widerstände nicht nur für sich verglichen sondern auch miteinander kombiniert werden können. Auf diese Weise können symmetrische Einflüsse (Statorwiderstand) reduziert bzw. eliminiert werden, und eine Darstellung der Phasensymmetrie wird erhalten.

Gemäß Fig. 1 wird nun mit einer zum Steuer- und Messsystem 6 gehörenden Messanordnung 7, die nachfolgend noch näher anhand der Fig. 2 erläutert werden soll, und die mit den Stromsensoren  $S_U$ ,  $S_V$  und  $S_W$  verbunden ist, die Widerstandsmessung nach dem vorstehend bestimmten Prinzip für alle drei Phasen U, V und W durchgeführt.

Als erstes wird beispielsweise eine Spannung in der Phase U an die Maschine 2 angelegt, und die Stromantwort wird mithilfe des Sensors  $S_U$  gemessen. (An sich können auch alle drei Stromsensoren S für die Strommessung herangezogen werden, um Messtoleranzen bei den einzelnen Sensoren S zu reduzieren.) Sodann wird ein zweiter, höherer Spannungszeiger in derselben Phasenrichtung angelegt, und der Strom wird neuerlich erfasst. Dies ist in Fig. 2 näher veranschaulicht, wobei schematisch für die Phase U die Generierung der Spannungszeiger bei  $V_{U1}$  und  $V_{U2}$  durch entsprechende Ansteuerung des Umrichters 4 bzw. allgemein Erfassungsmittel 5' für die die vorgegebenen Umrichter-Spannungen gezeigt ist bzw. sind. Die Spannungszeiger sind somit jene, wie sie durch die Ansteuerung des Umrichters 4 als Soll-Spannungen generiert werden. In entsprechender Weise werden mithilfe der Messanordnung 7 die entsprechenden Ströme  $i_{U1}$  und  $i_{U2}$  gemessen. Die erhaltenen Stromwerte  $i_{U1}$ ,  $i_{U2}$  werden in nachfolgenden Tiefpassfiltern 8 gefiltert

und danach einer Widerstandsermittlungseinheit 9U zugeführt, wo die vorgenannte Differenz- und Quotientenbildung erfolgt, um als Ausgangswert den Widerstand  $r_U$  in der Phase U zu erhalten.

Ganz analog wird für die Phasen V und W vorgegangen, um so über Widerstandsermittlungseinheiten 9V und 9W (allgemein „9“) die Widerstandswerte  $r_V$  und  $r_W$  zu erhalten. Diese Werte werden nachfolgend auch „Widerstandszeiger“ genannt, und sie sind für die jeweiligen Phasen-Widerstandswerte repräsentativ, aber nicht mit anderen Zeigergrößen, wie Spannung, Strom oder Fluss, vergleichbar.

In einer Vektortransformationseinheit 10 werden sodann diese Widerstandswerte  $r_U$ ,  $r_V$  und  $r_W$  von einer skalaren Größe zu einer Vektorgröße mit der entsprechenden Amplitude, gemäß dem ermittelten Wert, und mit einer entsprechenden Phasenrichtung als Winkelposition gemäß folgenden Beziehungen ermittelt:

$$\begin{aligned}\underline{r}_U &= r_U \cdot e^{j0} \\ \underline{r}_V &= r_V \cdot e^{j2\pi/3} \\ \underline{r}_W &= r_W \cdot e^{j4\pi/3}\end{aligned}$$

Denkbar ist es aber auch, bereits bei der Bestimmung der einzelnen Phasenwerte der Widerstände  $r_U$ ,  $r_V$ ,  $r_W$  unmittelbar auf komplexe Vektorgrößen überzugehen.

In einem nachfolgenden Schritt wird mithilfe einer Additionseinheit 11 eine räumliche Addition der Widerstandszeiger  $\underline{r}_U$ ,  $\underline{r}_V$  und  $\underline{r}_W$  durchgeführt, wobei im Idealfall, wenn alle Leitungs- und Kontaktwiderstände in der Anlage 1 gleich sind, also die Phasen diesbezüglich symmetrisch sind, zufolge dieser Addition ein Null-Vektor erhalten wird. Dieser Null-Vektor zeigt somit einen ordnungsgemäßen Zustand der Anlage 1, unabhängig von symmetrischen Widerstandsänderungen etwa zur Folge Temperaturänderungen in den Statorwicklungen, an.

Dieser Zustand ist in Fig. 3 schematisch veranschaulicht, wobei bei U, V und W die Endpunkte der Widerstands-Zeiger in einer komplexen Ebene mit Realteil („real“) und Imaginärteil („imag“) veranschaulicht sind. Im Nullpunkt befindet sich in diesem Sym-

metrie-Fall, dem idealen, fehlerlosen Fall, der "Fehler"-Indikator, der hier gleich Null ist. Dieser Fehler-Indikator wird hier allgemein mit 12 bezeichnet.

In Fig. 1 ist nun weiters allgemein bei 13 ein Verbindungsmodul gezeigt, wobei die Phasen-Widerstände  $r_u$ ,  $r_v$  und  $r_w$  symbolisch zusammengefasst dargestellt sind. In einem Test wurde tatsächlich ein derartiges Verbindungs- oder Anschlussmodul 13 realisiert, und für die Phase W wurde der Verbindungs- oder Kontaktwiderstand  $r_w$  verändert, wie nachfolgend noch näher erläutert werden wird, um so einen Kontaktfehler (beispielhaft für alle Phasen) in der Phase W zu simulieren.

Im Einzelnen wurde auf einem Labor-Prüfstand eine 280 V-11 kW-Käfigrotor-Induktionsmaschine 2 mit einem Inverter 4 installiert. Das Steuer- bzw. (Regel-) und Messsystem 6 wurde mit einem Rechnersystem realisiert, das unter MATLAB/Simulink programmierbar war. Im Verbindungsmodul 13 waren zur Realisierung von Phasen-Widerständen  $r_u$ ,  $r_v$  und  $r_w$  zunächst Kupfer-Leitungen mit gleichem elektrischen Widerstand angebracht zur Simulierung von Kontakten  $13_v$ ,  $13_u$  und  $13_w$ , wobei im Anschluss daran die wie vorstehend beschriebenen Widerstands-Ermittlungen und -Auswertungen einen Fehler-Indikator = 0 wie im Diagramm gemäß Fig. 3 gezeigt ergaben. Der Widerstand der Kupferleitungen bzw. der Zuleitung von Umrichter 4 zu Maschinenwicklungen 3 betrug dabei in allen drei Phasen beispielhaft 10,8 mΩ.

Diese Messung kann als Referenz, als Anfangswert für eine ordnungsgemäß funktionierende Anlage, dienen.

Konkret wurde diese erste Messung bei einer geringen Amplitude der Spannungszeiger durchgeführt, wobei die zweite Spannung  $V_2$  beispielhaft viermal so groß wie die erste Spannung  $V_1$  war.

Es wurde dann die Kupferverbindung für die Phase W im Anschlussmodul 13 (Kontakt  $13_w$ ) gegen eine Verbindung mit einem höheren Widerstandswert, nämlich 18 mΩ, getauscht, was eine Erhöhung des Widerstandswerts in der Phase W um ungefähr 60% bedeutet. Der Fehler-Indikator 12' ergab sich in diesem Fall in der komplexen Ebene entsprechend in der Richtung der W-Phase verschoben, s.

Fig. 4 (in Fig. 4 wurden der Einfachheit halber die einzelnen Widerstands-Zeiger nicht näher veranschaulicht, sondern nur die einzelnen Phasenrichtungen U, V und W). Die Verschiebung des Fehler-Indikators 12 vom Nullpunkt, Fehler-Indikator 12, zum im dritten Quadranten vorliegenden Punkt 12' deutet eindeutig auf einen erhöhten Widerstand in der Phase W hin. Dieser Fehler ergab sich wie erwähnt aufgrund des Austauschs der ursprünglichen Verbindungsleitung aus Kupfer durch eine Leitung mit dem höheren Widerstandswert in der Phase W, bei vergleichsweise geringen Spannungen, und bei einer Messdauer von 5 s.

In einem weiteren Test wurde der Kupferleiter im Verbindungsmodul 13 in der Phase W durch eine Zinnstreifen-Verbindung ersetzt. Zur Ermittlung der Widerstands/Temperatur-Beziehung wurde die Temperatur dieser „Zinnbrücke“  $13_W$  mit dem veränderlichen Phasenwiderstand  $r_W$  (s. Fig. 1) mithilfe eines Temperaturfühlers gemessen. In entsprechender Weise wurden auch die Temperaturen der Wicklungen 3 der Maschine 2 gemessen; vgl. auch die in Fig. 1 schematisch veranschaulichte Temperaturmesseinheit 14. Die Zinnbrücke in der Phase W hatte bei Umgebungstemperatur einen Ohm'schen Widerstand gleich jenem der Kupferleiter in den anderen Phasen, also 10,8 m $\Omega$ .

Die Messdauer, d.h. die Stufenspannung, nach Umschaltung von der Spannung  $V_1$ , der ersten Spannung, auf die zweite Spannung  $V_2$  in jeder Phase U, V und W, betrug beispielhaft 120 s.

In den Diagrammen A, B und C der Fig. 5 sind nun beispielhaft Messergebnisse für eine derartige Fehlersimulation in der Phase W dargestellt. Im Diagramm gemäß Fig. 5A ist der Temperaturverlauf  $T_W$  veranschaulicht. Die Temperatur der „defekten“ Kontaktstelle  $13_W$ , mit der Zinnbrücke in der Phase W, stieg gemäß der strichlierten Linie in Fig. 5A von ungefähr Raumtemperatur auf über 300°C an, wogegen sich die Temperatur  $T_{U,V}$  der „gesunden“ Kontaktstellen  $13_U$ ,  $13_V$  in den Phasen U und V kaum veränderte. Mit anderen Worten, der Temperaturanstieg in den Phasen U, V, s. die ausgezogene Linie  $T_{U,V}$  in Fig. 5A, hatte einen wesentlich geringeren Anstieg als der Temperaturverlauf  $T_W$  in der Phase W. In der Folge war im übrigen in diesem Test ein Anstieg der Wicklungstemperatur in der Phase W von 26°C auf 38°C festzustellen,

wogegen die Wicklungstemperatur in den Phasen U und V von 26°C auf nur 33°C erfolgte.

Während des selben Messintervalls sank der Strom  $i_w$  im Fall der "fehlerhaften Verbindung", d.h. des simulierten Kontaktfehlers zur Folge der Zinnbrücke, wesentlich stärker, s. die strichlierte Linie  $i_w'$  in Fig. 5B, im Verhältnis zur ausgezogenen Linie  $i_w$  bei nicht-fehlerhafter Verbindung, wobei die Stromkurven für die Ströme  $i_u$ ,  $i_v$  ähnlich wie mit der ausgezogenen Linie in Fig. 5B gezeigt verliefen.

Zur zusätzlichen Veranschaulichung ist in Fig. 5C die Differenz der Ströme,  $\Delta i_w$ , für den Fall des in der Phase W simulierten Kontaktfehlers (Zinnbrücke im Verbindungsmodul 13) veranschaulicht, wobei zu ersehen ist, dass der Betrag dieser Stromdifferenz  $\Delta i_w$  während des Messintervalls relativ stark anstieg; dies erklärt auch die starke Verschiebung des Fehler-Indikators 12' in Fig. 4 im Vergleich zum Null-Fehlerindikator 12 in diesem Diagramm.

In einem weiteren Test wurde eine Spannungsstufendauer von jeweils 30 s vorgesehen, und die Strommessung erfolgte innerhalb dieser Messdauer jeweils mit einer Abtastfrequenz von 5 kHz. Um das Signalrauschen zu unterdrücken, wurde allgemein ein Tiefpassfilter verwendet, wie dies auch in Fig. 2 mit den Filtern 8 in der Messanordnung veranschaulicht ist. Konkret wurde hier eine Softwarelösung, d.h. ein digitales Filter, das eine laufende Mittelung durchführte, implementiert, konkret ein 2FIR-Filter (FIR - Finite Impulse Response - nicht rekursives Filter) mit einer Fensterlänge von 1000 eingesetzt. Das Ergebnis dieser Filterung ist aus Fig. 6 zu ersehen, in der der Betrag des Fehlerindikators über der Zeit aufgezeichnet ist, wobei zunächst der Betrag ohne Filterung veranschaulicht ist, und das Filter 8 zum Zeitpunkt  $T_1$  eingeschaltet wurde, wobei sich dann ein mehr oder weniger konstanter Mittelwert ergab.

In Fig. 7 ist in einer 3D-Darstellung der Fehlerindikator über der komplexen Ebene (wo beliebige Einheiten zugrunde gelegt wurden) und in Abhängigkeit von der Zeit veranschaulicht, und zwar zum einen, bei 12, für eine ordnungsgemäß funktionierende Anlage und bei 12' für den Fall eines "Kontaktfehlers", nämlich den

Fall, wo der Widerstand 13W durch einen Zinnstreifen anstatt eines Kupferdrahts mit gleichem Widerstand wie in den anderen Phasen U und V (s. Fig. 1) ersetzt wurde. Die Höhe in der Zeitachse T entspricht ungefähr der Pulsdauer von 30 s.

Im Einzelnen sind die beiden Fehler-Indikatoren 12, 12' einerseits in der komplexen Basis-Ebene vergleichbar den Diagrammen gemäß Fig. 3 und 4 veranschaulicht und der Verlauf in der Zeit ist bei  $\overline{12}$  bzw.  $\overline{12}'$  gezeigt. Es ist dabei eine wesentliche Abweichung vom Null-Fehlerindikator 12 für den Fall des HCP-Fehlers erkennbar. Weiters ist hier auch erkennbar, dass die Abweichung ungefähr in Richtung der Phase W liegt.

Bei den Tests wurde sodann die Verbindung in der Phase W im Anschlussmodul 13 mit einem Kupferdraht mit einem vergleichsweise höheren Widerstand (52 m $\Omega$ ) vorgenommen, was einer Erhöhung um ungefähr 480% im Vergleich zu den anderen Phasen U, V entspricht. In Fig. 8 ist nun die Größe des Fehler-Indikators in beliebigen Einheiten auf der Ordinate aufgetragen. Mit der punktiert gezeichneten Kurve 15 ist der Fall eines Null-Fehlerindikators 12 veranschaulicht; die mit durchgezogener Linie 16 veranschaulichte HCP-Situation zeigt, wie bei dem erhöhten Widerstand mit zunehmender Dauer der Messung der Fehlerindikator-Betrag steigt. Zur Vervollständigung ist schließlich noch in Fig. 8 mit einer strichliert gezeichneten Kurve 17 der Effekt des oben beschriebenen „Kontaktfehlers“ gezeigt, wobei sich aufgrund dieses Kontaktfehlers keine Änderung mehr im Betrag des Fehlerindikators während der Messung ergibt.

Wenn die Erfindung vorstehend anhand von besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen erläutert wurde, so sind doch selbstverständlich weitere Abwandlungen und Modifikationen im Rahmen der Erfindung denkbar. So ist beispielsweise in Fig. 1 noch eine Ausgabeeinheit 20, etwa ein Display, gezeigt, die bzw. das mit der Messanordnung 7 einerseits und mit der Temperaturmesseinheit 14 andererseits verbunden ist, um entsprechende Anzeigen, beispielsweise in Diagrammform wie in den Fig. 3, 4 oder aber 5 bis 8 gezeigt erhalten zu können. Weiters ist die beschriebene Technik im Prinzip auch bei Einphasen-Maschinen anwendbar, wobei sich dann selbstverständlich die Zeiger-Darstellung erübrigen

kann und eine einfache, lineare Widerstands-Ermittlung, mit Anlegen der ansteigenden Spannungen wie beschrieben, ergibt. In diesem Fall wird somit unmittelbar der eine Widerstandswert  $r$  bei der Ermittlung eines etwaigen Kontaktfehlers in der Anlage zugrunde gelegt.

Ein besonderer Vorteil ist auch, dass die beschriebene Technik realisiert werden kann, ohne dass zusätzliche Schaltungskomponenten erforderlich wären (die beschriebenen Temperatursensoren wurden vor allem zu Testzwecken eingesetzt, sind aber in der Praxis nicht wirklich erforderlich) – eine besonders günstige Realisierung liegt in einer entsprechenden Ausgestaltung bzw. Programmierung eines Rechnerbausteins ( $\mu P$ ,  $\mu C$ ), der für die Umrichter-Ansteuerung bereits vorzusehen ist.

## Patentansprüche:

1. Verfahren zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer elektrischen Maschine (2), die von einem Umrichter (4) gespeist wird, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Umrichters (4) zeitlich aufeinander folgend eine erste ( $V_1$ ) und (eine) zweite, gegenüber der ersten erhöhte Spannung ( $V_2$ ) angelegt sowie die dadurch bewirkten zugehörigen Maschinen-Ströme ( $i_1$ ,  $i_2$ ) gemessen werden, und aus dem Quotienten der Differenz ( $\Delta_V$ ) der beiden Spannungen durch die Differenz ( $\Delta_I$ ) der beiden Ströme ein Wert für den Widerstand ( $r$ ) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Widerstandsermittlung zumindest einmal wiederholt wird und die erhaltenen Widerstands-Werte verglichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungen erhöht werden, bis allgemein ein Nennstrom in der Maschine (2) fließt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen während einer Messdauer von z.B. 120s kontinuierlich wiederholt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen und Widerstandsermittlungen bei unbelasteter, stillstehender Maschine (2) durchgeführt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Fall einer Mehrphasen-Maschine (2) die Messungen und Widerstandsermittlungen sowie -vergleiche für jede Phase (U, V, W) durchgeführt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die für die einzelnen Phasen (U, V, W) erhaltenen Widerstands-Werte ( $r_U$ ,  $r_V$ ,  $r_W$ ) im Hinblick auf eine etwaige asymmetrische Widerstandserhöhung miteinander verglichen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Phasen-Widerstände ( $r_U$ ,  $r_V$ ,  $r_W$ ) in eine Zei-

gerform  $(\underline{r}_U, \underline{r}_V, \underline{r}_W)$ , in einer komplexen Ebene, transformiert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erhaltenen Phasen-bezogenen Widerstands-Zeiger räumlich addiert werden, wobei der sich ergebende Einzel-Vektor als Fehlerindikator (12) herangezogen wird.

10. Vorrichtung zum Erkennen von Kontaktfehlern an einer von einem Umrichter (4) gespeisten elektrischen Maschine (2), mit zumindest einem Stromsensor ( $S_U, S_V, S_W$ ) zur Erfassung eines bei Anlegen einer Spannung an die Maschine (2) durch den Umrichter (4) bewirkten Maschinen-Stroms ( $i_U, i_V, i_W$ ), gekennzeichnet durch eine mit dem Stromsensor ( $S_U, S_V, S_W$ ) verbundene Messanordnung (7) mit Erfassungsmitteln (5') für die Umrichter-Spannung und mit einer Widerstands-Ermittlungseinheit (9), um bei aufeinanderfolgenden Anlegen von zwei verschiedenen Spannungen, wobei die zweite Spannung gegenüber der ersten erhöht ist, und wobei zwei verschiedene Ströme bewirkt werden, durch Quotientenbildung von Spannungs- durch Stromdifferenz einen Maschinenanschluss-Widerstandswert ( $r_U, r_V, r_W$ ) zu ermitteln.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messanordnung (7) eingerichtet ist, die Widerstands-Ermittlung, vorzugsweise kontinuierlich, zu wiederholen und die erhaltenen Widerstandswerte zu vergleichen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Umrichter (4) mit einer Steueranordnung (5) verbunden ist, die eingerichtet ist, um die Spannungen zu erhöhen, bis allgemein ein Nennstrom in der Maschine (2) fließt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass im Fall einer Mehrphasen-Maschine (2) pro Phase (U, V, W) ein Stromsensor ( $i_U, i_V, i_W$ ) vorgesehen und die Messanordnung (7) eingerichtet ist, die Messungen bzw. Widerstandsermittlungen und -vergleiche für jede Phase durchzuführen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Messanordnung (7) eine Vektortransformationseinheit (10)

aufweist, die eingerichtet ist, die jeweiligen Phasen-Widerstände in eine Zeigerform ( $\underline{r}_u$ ,  $\underline{r}_v$ ,  $\underline{r}_w$ ), in einer komplexen Ebene, zu transformieren.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Vektortransformationseinheit (10) eine Additionseinheit (11) verbunden ist, die eingerichtet ist, die Widerstands-Zeiger räumlich zu addieren und den sich ergebenden Einzel-Vektor als Fehlerindikator (12) auszugeben.

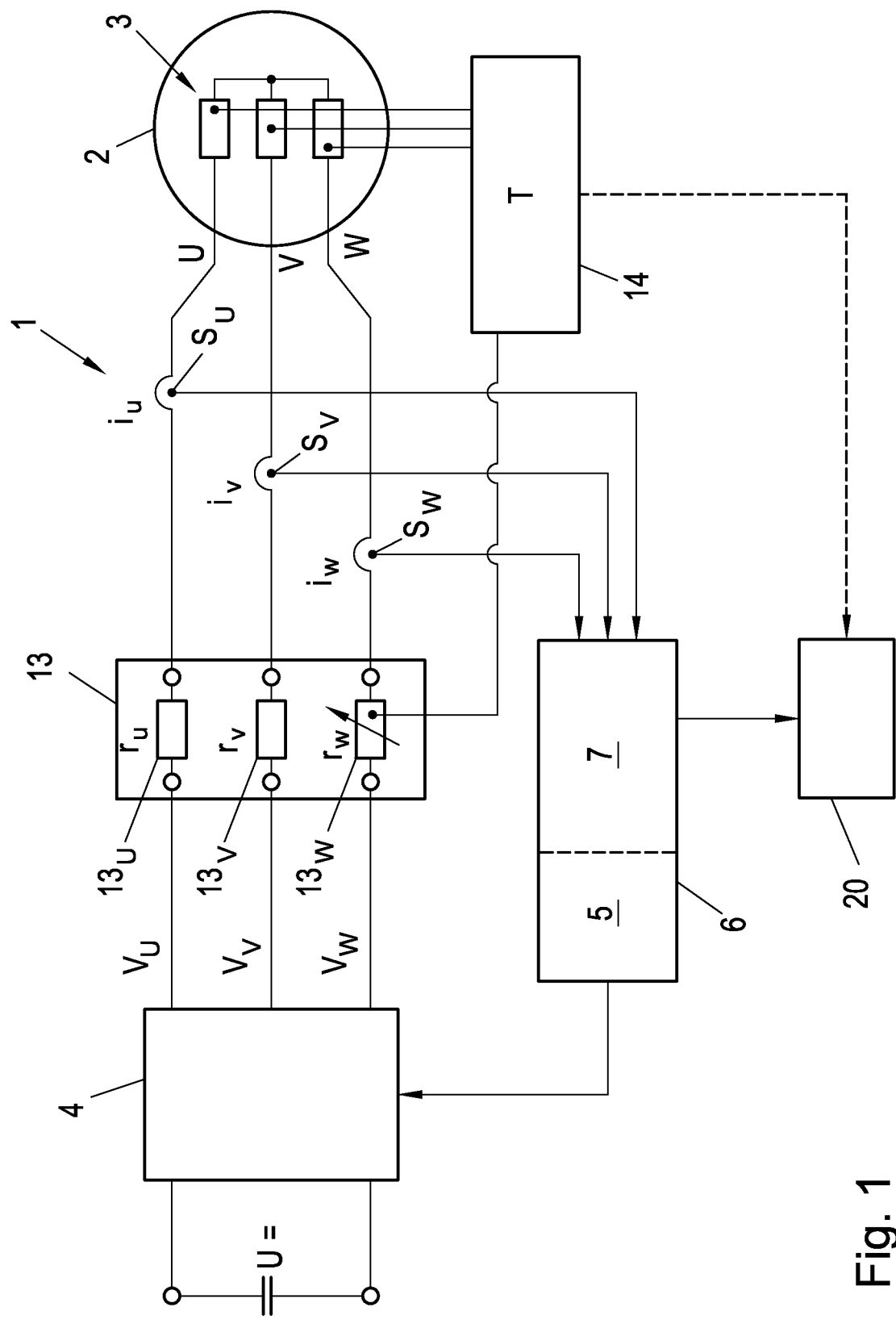


Fig. 1

2/5

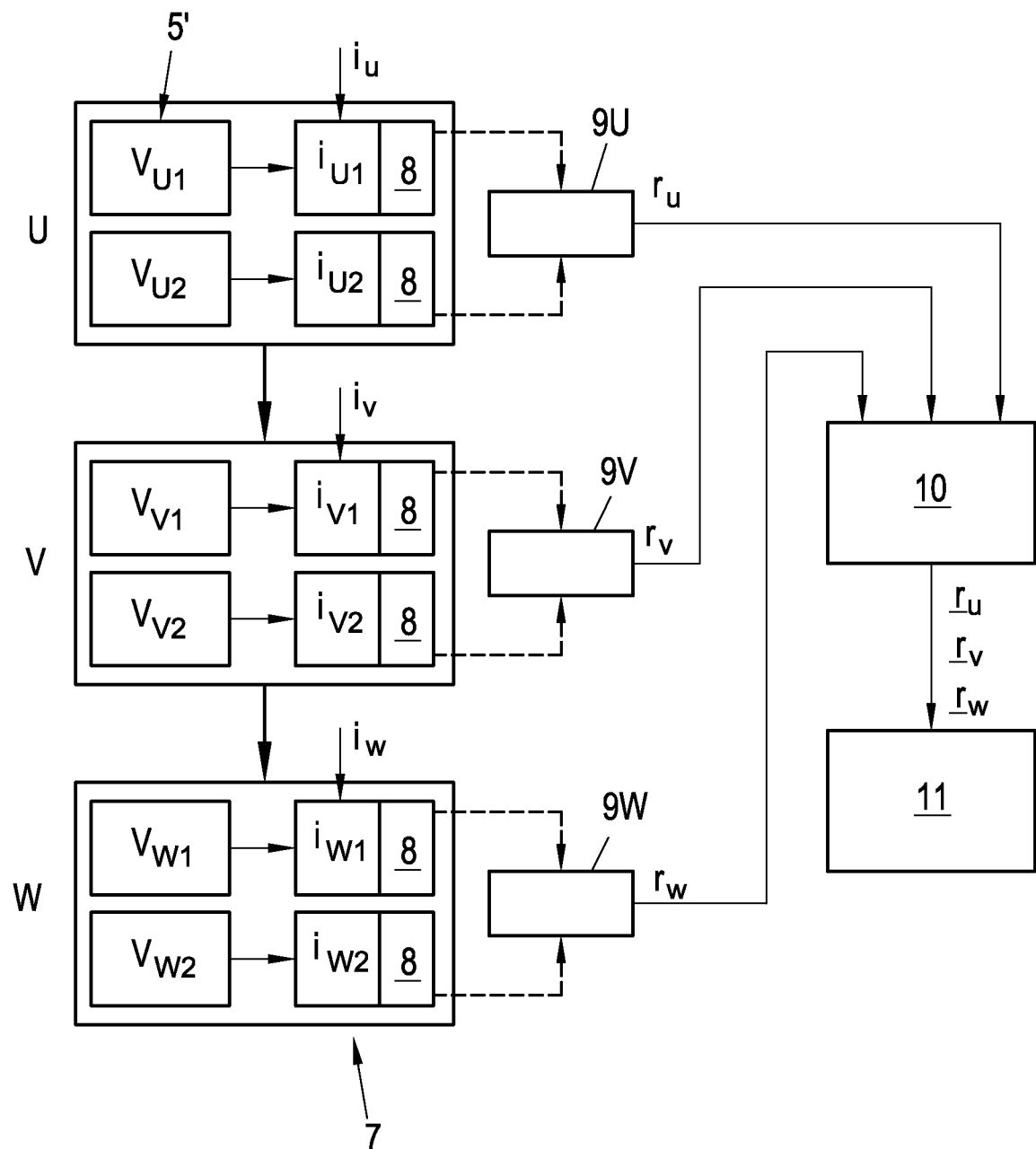


Fig. 2

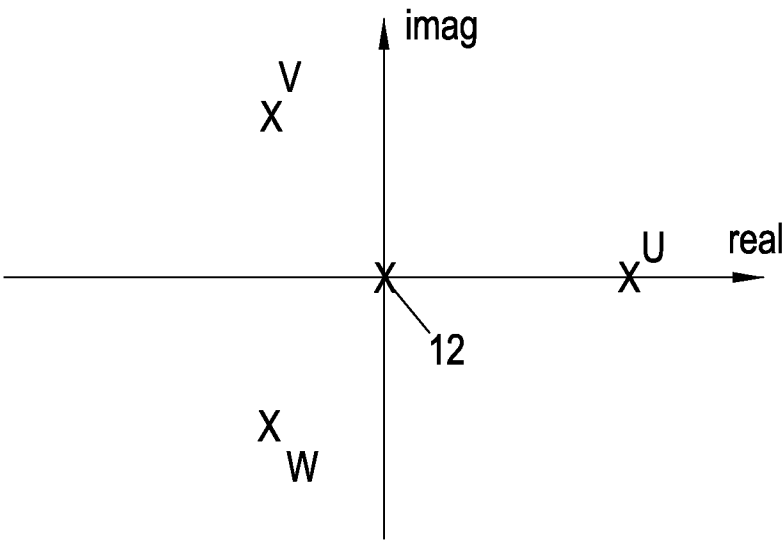


Fig. 3

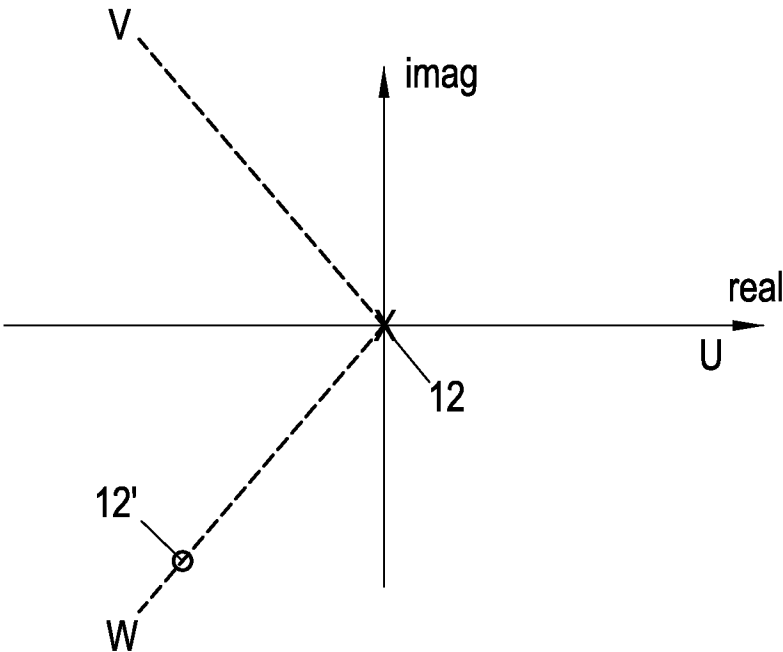


Fig. 4

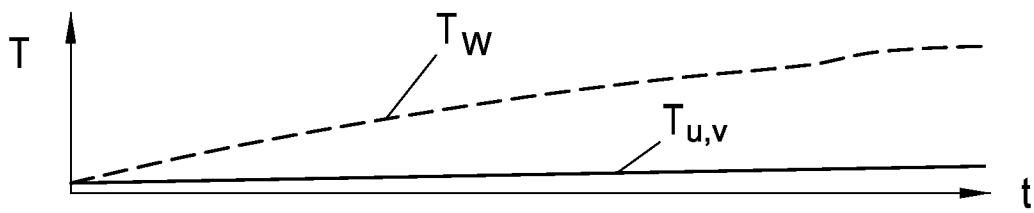


Fig. 5A

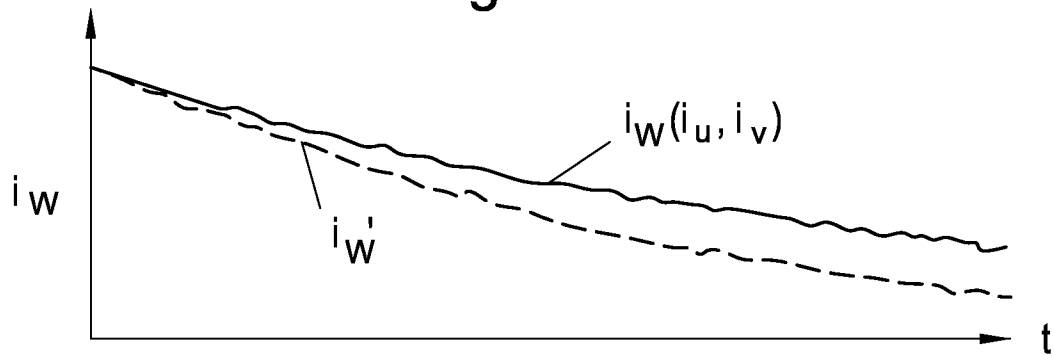


Fig. 5B

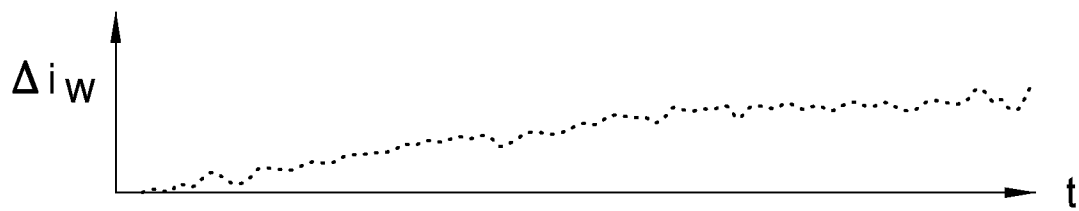


Fig. 5C

Fig. 5

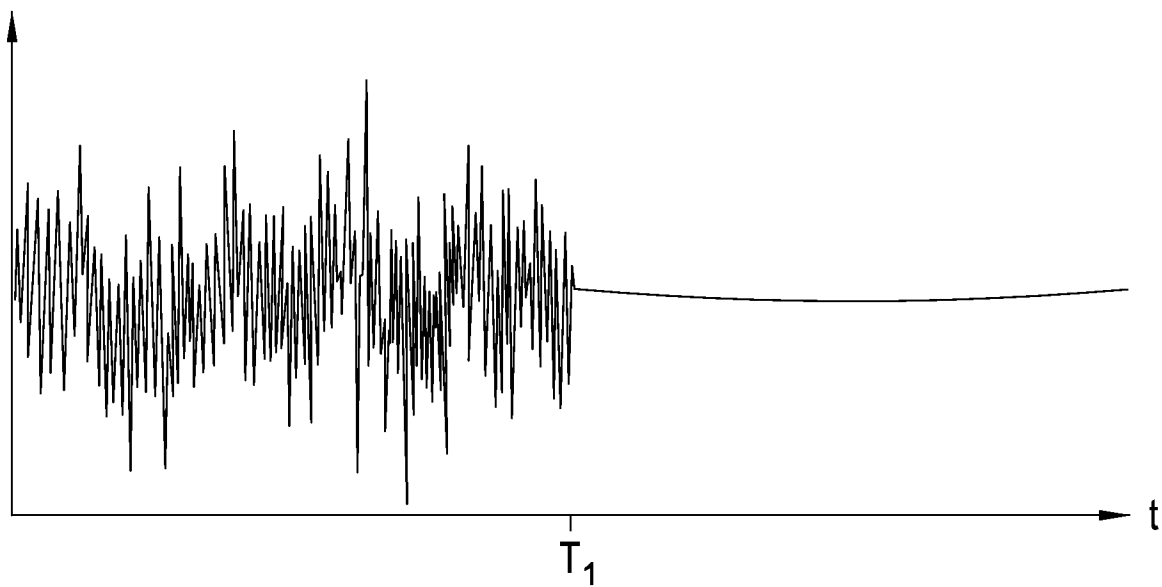


Fig. 6

5/5

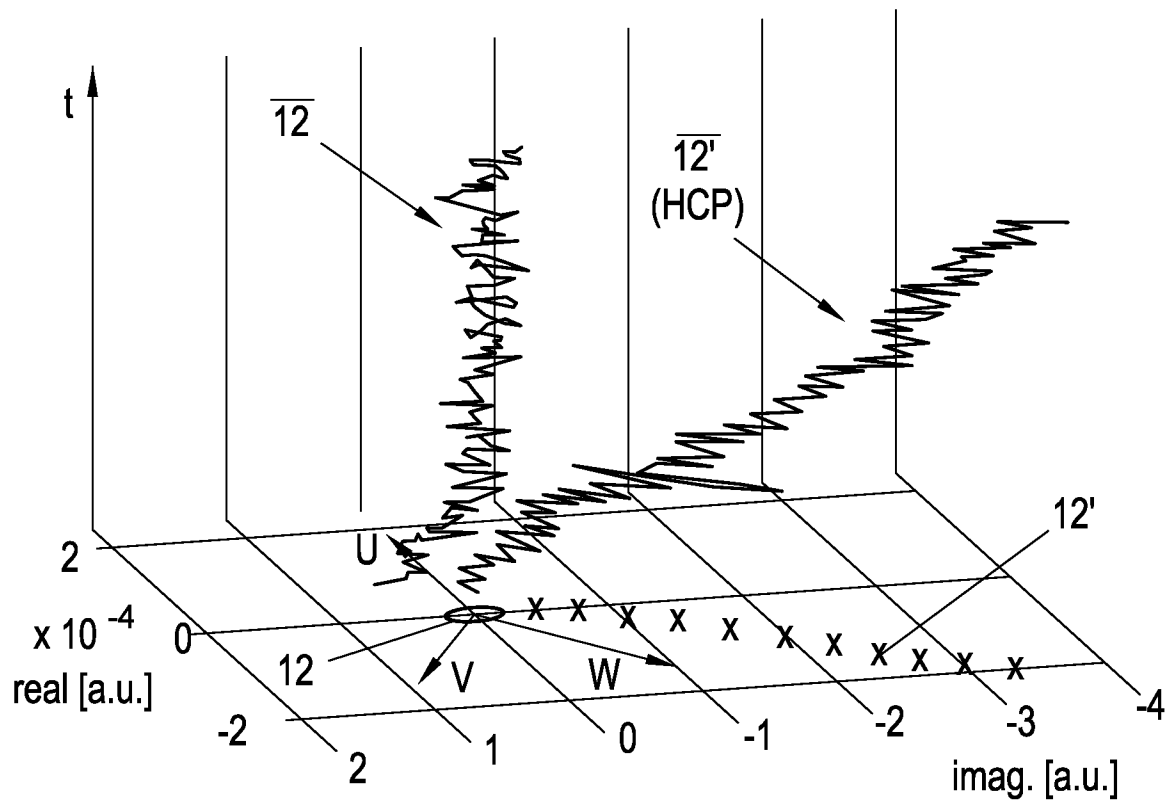


Fig. 7

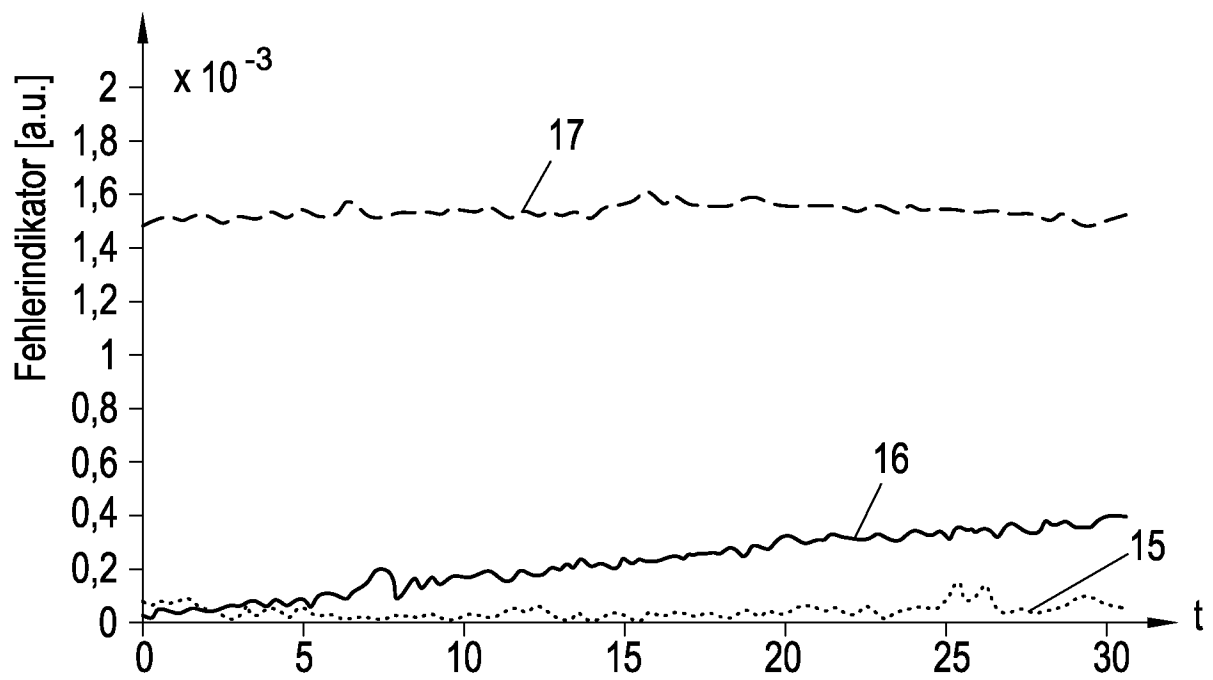


Fig. 8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/AT2014/050125

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01R31/34 G01R27/20  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EP0-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                           | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | US 2010/060289 A1 (WIEDENBRUG ERNESTO [US]<br>ET AL) 11 March 2010 (2010-03-11)<br>cited in the application<br>paragraphs [0001] - [0015], [0049] -<br>[0088]; figures 1-13<br>-----<br>-/-- | 1-15                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 October 2014

Date of mailing of the international search report

29/10/2014

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Kleiber, Michael

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/AT2014/050125

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | <p>SANG BIN LEE ET AL: "A New Strategy for Condition Monitoring of Adjustable Speed Induction Machine Drive Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 26, no. 2, 1 February 2011 (2011-02-01), pages 389-398, XP011334727, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2010.2062200 cited in the application pages 389-393</p> <p>-----</p> | 1-15                  |
| A         | <p>US 4 651 086 A (DOMENICHINI CARLO [IT] ET AL) 17 March 1987 (1987-03-17) column 1, line 7 - column 4, line 24; figure 1</p> <p>-----</p>                                                                                                                                                                                                                                                             | 1-15                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2014/050125

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date       |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| US 2010060289                             | A1                  | 11-03-2010                 | NONE                      |
| -----                                     |                     |                            |                           |
| US 4651086                                | A                   | 17-03-1987                 | DE 3575612 D1 01-03-1990  |
|                                           |                     |                            | EP 0162522 A2 27-11-1985  |
|                                           |                     |                            | IT 1209549 B 30-08-1989   |
|                                           |                     |                            | JP H0525075 B2 09-04-1993 |
|                                           |                     |                            | JP S6129774 A 10-02-1986  |
|                                           |                     |                            | US 4651086 A 17-03-1987   |
| -----                                     |                     |                            |                           |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2014/050125

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01R31/34 G01R27/20  
ADD.

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
G01R

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

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

EP0-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                            | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X          | US 2010/060289 A1 (WIEDENBRUG ERNESTO [US]<br>ET AL) 11. März 2010 (2010-03-11)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze [0001] - [0015], [0049] - [0088];<br>Abbildungen 1-13<br>-----<br>-/-- | 1-15               |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Oktober 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/10/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Kleiber, Michael

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2014/050125

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A          | <p>SANG BIN LEE ET AL: "A New Strategy for Condition Monitoring of Adjustable Speed Induction Machine Drive Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, Bd. 26, Nr. 2, 1. Februar 2011 (2011-02-01), Seiten 389-398, XP011334727, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2010.2062200 in der Anmeldung erwähnt Seiten 389-393</p> <p>-----</p> | 1-15               |
| A          | <p>US 4 651 086 A (DOMENICHINI CARLO [IT] ET AL) 17. März 1987 (1987-03-17) Spalte 1, Zeile 7 - Spalte 4, Zeile 24; Abbildung 1</p> <p>-----</p>                                                                                                                                                                                                                                                         | 1-15               |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2014/050125

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 2010060289 A1                                   | 11-03-2010                    | KEINE                             |                               |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| US 4651086 A                                       | 17-03-1987                    | DE 3575612 D1                     | 01-03-1990                    |
|                                                    |                               | EP 0162522 A2                     | 27-11-1985                    |
|                                                    |                               | IT 1209549 B                      | 30-08-1989                    |
|                                                    |                               | JP H0525075 B2                    | 09-04-1993                    |
|                                                    |                               | JP S6129774 A                     | 10-02-1986                    |
|                                                    |                               | US 4651086 A                      | 17-03-1987                    |
| -----                                              |                               |                                   |                               |