

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/109002 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02M 5/10 (2006.01) *H02H 7/045* (2006.01)
H02M 1/00 (2006.01) *H01F 27/40* (2006.01)
G05B 19/406 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/081235

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. November 2019 (13.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
18208464.0 27. November 2018 (27.11.2018) EP

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

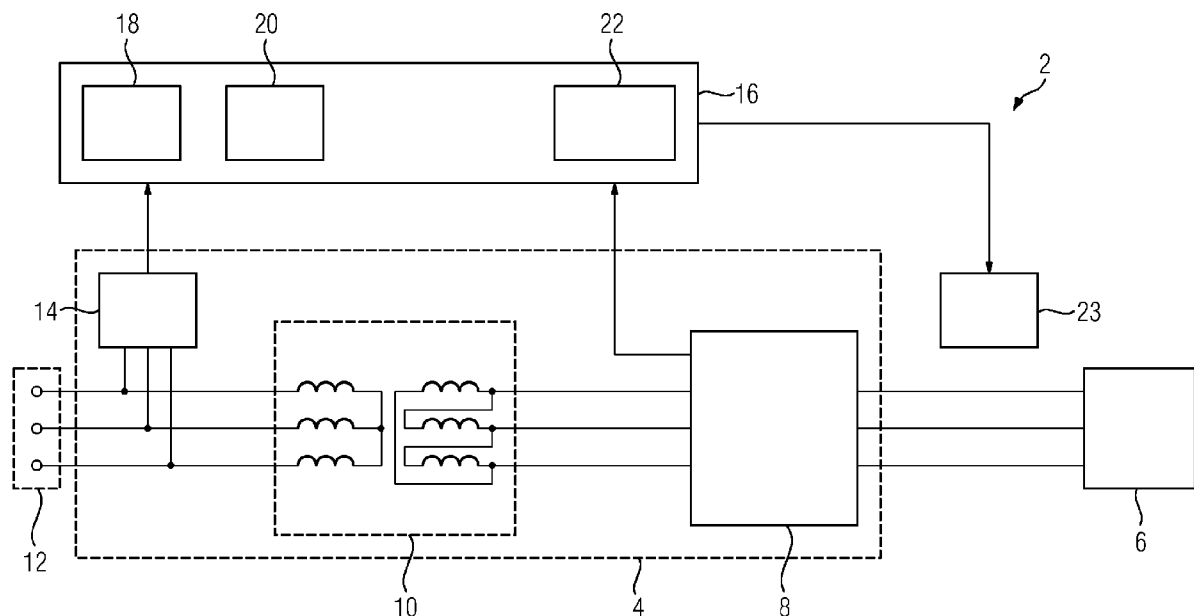
(72) Erfinder: **HECHT, Fabian**; Komotauer Str. 25, 91207 Lauf (DE). **BRÜCKEL, Martin**; Paul-Gossen-Str. 99, 91052 Erlangen (DE). **ROSCA, Cornel-Marian**; Gumpenbergstraße 6, 92364 Deining (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: METHOD FOR MONITORING A TRANSFORMER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINES TRANSFORMATORS

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for monitoring at least one transformer (10). So that the monitoring method can be carried out as easily and reliably as possible, the following steps are proposed: generating an object-specific analytical model of the transformer (10) and an object-specific threshold value (V_{th}) from historical sensor data, including at least one input voltage and one output voltage of the transformer (10), using a machine learning algorithm; comparing current sensor data with values from the object-specific analytical model; characterising current sensor data that deviates from the values from the object-specific analytical model by more than the object-specific threshold value (V_{th}) as anomalous values (34); and outputting a warning in the event of an adjustable number of anomalous values (34).

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung mindestens eines Transformators (10). Damit das Überwachungsverfahren möglichst einfach und zuverlässig durchführbar ist, werden folgende Schritte vorgeschlagen: Erzeugen eines objektspezifischen analytischen Modells des Transformators (10) und eines objektspezifischen Schwellwerts (V_{th}) aus historischen Sensordaten, welche mindestens eine Eingangsspannung und eine Ausgangsspannung des Transformators (10) umfassen, mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus, Vergleichen von aktuellen Sensordaten mit Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell, Kennzeichnen aktueller Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert (V_{th}) von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, als anormale Werte (34) und Ausgabe einer Warnung bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten (34).

Beschreibung

Verfahren zur Überwachung eines Transformators

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung mindestens eines Transformators.

Ferner betrifft die Erfindung eine Steuereinheit mit Mitteln zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

10

Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Verfahrens bei Ablauf in einer derartigen Steuereinheit.

15 Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm.

Überdies betrifft die Erfindung ein Umrichtersystem mit mindestens einem Umrichter, mindestens einem Transformator und
20 einer derartigen Steuereinheit.

Zudem betrifft die Erfindung ein Antriebssystem mit mindestens einem derartigen Umrichtersystem.

25 Transformatoren werden beispielsweise in Antriebssystemen verwendet, um einen Umrichter von einem Stromnetz galvanisch zu entkoppeln. Derartige Transformatoren umfassen gekoppelte Leitungen, wobei beispielsweise eine Wicklungsisolierung im Lauf der Zeit verschleißt und zu einem Wicklungskurzschluss
30 oder einen Massekurzschluss führen kann. Derartige Kurzschlüsse führen meist zu Transformatorausfällen, welche sich in der Regel schnell entwickeln. Ein Transformatorausfall führt zu einem Ausfall des gesamten Antriebsstrangs, was zu kostspieligen Ausfallzeiten und zum Austausch des Transformators oder gar des gesamten Antriebssystems führt. Daher ist
35 eine kontinuierliche Überwachung und Fehlererkennung erforderlich, um eine Trafoanomalie in einem frühen Stadium zu erkennen.

Die Patentschrift DE 10 2013 217 672 B3 beschreibt einen Multilevel-Umrichter, wobei vorgeschlagen wird, ein Submodul des Multilevel-Umrichters um eine KurzschlieÙschaltung zu erweitern, so dass die Ladung des Kondensators des Submoduls kontrolliert, insbesondere stufenweise über mehrere Reihenschaltungen aus KurzschlieÙ- und Dämpfungselement, abgebaut werden kann.

Die Offenlegungsschrift EP 1 786 083 A1 beschreibt ein Verfahren und ein System zur Überwachung von Leistungstransformatoren, mit dem beginnende Ausfälle in einem Transformator erkannt werden sollen. Zu diesem Zweck werden nur Sensoren außerhalb des Transformators verwendet oder Sensoren, die installiert werden können, ohne dass der Transformator geöffnet werden muss. Die Erkennung der beginnenden Ausfälle erfolgt auf der Grundlage mathematischer Verhaltensmodelle, so dass zur Identifizierung der Fehlerbedingungen ein Satz von Messgrößen verglichen wird, wobei für jede Variable einige adaptive Schwellenwerte aus den Betriebsbedingungen des Transformators berechnet werden. Die mathematischen Modelle umfassen ein Wärmemodell, ein Vibrationsmodell und ein Modell der Feuchtigkeit im Öl.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein möglichst einfaches und zuverlässiges Verfahren zur Überwachung eines Transformators anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Überwachung mindestens eines Transformators gelöst, welches folgende Schritte umfasst: Erzeugen eines objektspezifischen analytischen Modells des Transformators und eines objektspezifischen Schwellwerts aus historischen Sensordaten, welche mindestens eine Eingangsspannung und eine Ausgangsspannung des Transformators umfassen, mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus, Vergleichen von aktuellen Sensordaten mit Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell, Kennzeichnen aktueller Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert von den Werten aus dem objekt-

spezifischen analytischen Modell abweichen, als anormale Werte und Ausgabe einer Warnung bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten.

- 5 Ferner wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch eine Steuereinheit mit Mitteln zur Durchführung eines derartigen Verfahrens gelöst, wobei die Mittel zumindest eine Sensorvorrichtung umfassen.
- 10 Darüber hinaus wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Verfahrens bei Ablauf in einer derartigen Steuereinheit gelöst.

- Des Weiteren wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst.
- 15

- Überdies wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Umrichtersystem mit mindestens einem Umrichter, mindestens einem Transformator und einer derartigen Steuereinheit gelöst.
- 20

- Zudem wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Antriebssystem mit mindestens einem derartigen Umrichtersystem und mindestens einem Motor, welcher mit dem Umrichtersystem verbunden ist, gelöst.
- 25

- Die in Bezug auf das Verfahren nachstehend angeführten Vorteile und bevorzugten Ausgestaltungen lassen sich sinngemäß auf die Steuereinheit, das Computerprogramm, das Computerprogrammprodukt, das Umrichtersystem und das Antriebssystem übertragen.
- 30

- Der Erfindung liegt die Überlegung zugrunde, ein modellbasiertes Verfahren zur Überwachung eines Transformators anzugeben, wobei ein objektspezifisches analytisches Modell und ein objektspezifischer Schwellwert aus historischen Sensordaten mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus erstellt werden. Ein analytisches Modell basiert auf einer mathematischen Beschreibung des Verhaltens des Transformators und ist
- 35

sowohl einfach als auch genau. Ein objektspezifisches Modell und ein objektspezifischer Schwellwert werden anhand der historischen Sensordaten für einen konkreten Transformator erzeugt und hängen von der Betriebsart, der Leistung, der Netzspannung und einer Vielzahl weiterer Parameter des Transformators ab. Ein Machine-Learning-Algorithmus benutzt beispielsweise ein neuronales Netz, welches mit den historischen Daten trainiert wird, und erzeugt ein präzises individuelles Modell. Zur Modell- und Schwellwelterzeugung werden mindestens eine Eingangsspannung und eine Ausgangsspannung des Transformators herangezogen, da diese Größen einfach und sehr präzise messbar sind. Modell und Schwellenwert stellen den normalen, ungestörten Zustand des Transformators und seine Grenzen dar. Um herauszufinden, ob eine Trafoanomalie vorliegt, werden aktuelle Sensordaten mit Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell verglichen. Aktuelle Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, werden als anormale Werte gekennzeichnet, wobei eine Warnung bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten ausgegeben wird. Beispielsweise wird eine akustische Warnung ausgegeben, sodass ein möglicher Schaden bei einer frühzeitigen Erkennung einer Trafoanomalie begrenzt oder gar vermieden werden kann.

Durch eine Steuereinheit wird der Verfahrensablauf gesteuert. Die Mittel zur Durchführung eines derartigen Verfahrens umfassen beispielsweise einen Speicher, ein Computerprogramm und beispielsweise einen Mikrocontroller oder einen anderen programmierbaren Logikbaustein, wodurch eine schnelle Signalverarbeitung ermöglicht wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden die historischen Sensordaten zum Ausschließen unplausibler Werte vorverarbeitet. Die Vorverarbeitung dient dazu, unplausible Werte aufgrund von Sensorfehlern und Werte, die während des Auszustandes des Antriebs gesammelt werden, zu eliminieren und sorgt für eine Verfeinerung des Modells und des Schwellwerts.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das Modell eine objektspezifische Konstante, welche einer Differenz aus mindestens einer Eingangsspannung und mindestens einer korrespondierenden Ausgangsspannung des Transformators entspricht. Insbesondere wird die objektspezifische Konstante während der Modellbildungsphase an den jeweiligen Transformator angepasst. Durch ein derartiges einfaches und individuelles Modell wird die Zuverlässigkeit des Überwachungsverfahrens erhöht.

Besonders vorteilhaft werden für die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung jeweils der Maximalwert des Effektivwerts der jeweiligen Spannung verwendet. Durch die Verwendung des Effektivwerts der, insbesondere sinusförmigen, Signale wird, beispielsweise durch den Wegfall der Phasenbeziehungen, eine Berechnung vereinfacht. Durch die Verwendung des Maximalwerts innerhalb eines Intervalls, welches beispielsweise 30 sek dauert, wird die Datenrate der Sensordaten verringert. Dennoch werden punktuell auftretende Auffälligkeiten, insbesondere im Vergleich zu einer Mittelwertbildung, effektiver erfasst.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist das Modell durch den Zusammenhang $V_{inrmsmax} = V_{outrmsmax} + C$ darstellbar. Ein derartiger linearer Zusammenhang ist für ein zuverlässiges und einfaches Überwachungsverfahren ausreichend und gewährleistet eine geringe Reaktionszeit bei auftretenden Anomalien.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird das Modell zum Vergleich der aktuellen Sensordaten über eine Restful API abgerufen. REST steht hierbei für REpresentational State Transfer, API für Application Programming Interface. Die Programmierschnittstelle Restful API bedient sich standardisierter Verfahren, wie HTTP/S, URI, JSON oder XML und ist daher zuverlässig.

Besonders vorteilhaft wird eine Größe und/oder ein Zeitstempel der Abweichungen vom objektspezifischen analytischen Mo-

dell bereitgestellt. Durch derartige Zusatzinformationen sind zusätzliche Messungen vermeidbar, sodass die Reaktionszeit bei auftretenden Anomalien reduziert wird.

5 Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten ein Nutzer und/oder ein Servicemitarbeiter automatisch gewarnt. Durch eine automatische Warnung einer zuständigen Person ermöglicht es das Überwachungsverfahren, auf eine Trafoanomalie in einem
10 frühen Stadium zu reagieren.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die Warnung, insbesondere automatisch, über einen elektronischen Nachrichtendienst bereitgestellt. Elektronische Nachrichten-
15 dienste sind beispielsweise Email, SMS oder MMS. Durch eine Übertragung der Warnung über einen elektronischen Nachrichtendienst sind Zusatzinformationen, wie beispielsweise Messungen, übertragbar, sodass die Reaktionszeit bei auftretenden Anomalien zusätzlich reduziert wird.

20 Besonders vorteilhaft wird der mindestens eine Transformator mit einem Umrichter verbunden, wobei die Eingangsspannung und/oder die Ausgangsspannung zumindest teilweise im Umrichter ermittelt werden. Im Umrichter sind beispielsweise vorhandene Messstellen oder Messvorrichtungen verwendbar, was zu
25 einer verbesserten Kostenposition führt. Weniger zusätzliche Messstellen erhöhen die Zuverlässigkeit des Systems.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren
30 dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert.

Es zeigen:

35 FIG 1 ein Blockschaltbild eines Antriebssystems 2,

FIG 2 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Überwachung eines Transformators,

FIG 3 eine schematische Darstellung eines typischen Verlaufs einer Übertragungskennlinie eines Transformators und

5 FIG 4 eine schematische Darstellung eines typischen Verlaufs einer Übertragungskennlinie eines Transformators mit einem Schwellwert.

Bei den im Folgenden erläuterten Ausführungsbeispielen handelt es sich um bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung. Bei den Ausführungsbeispielen stellen die beschriebenen Komponenten der Ausführungsformen jeweils einzelne, unabhängig voneinander zu betrachtende Merkmale der Erfindung dar, welche die Erfindung jeweils auch unabhängig voneinander weiter-
15 bilden und damit auch einzeln oder in einer anderen als der gezeigten Kombination als Bestandteil der Erfindung anzusehen sind. Des Weiteren sind die beschriebenen Ausführungsformen auch durch weitere der bereits beschriebenen Merkmale der Erfindung ergänzbar.

20

Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

FIG 1 zeigt ein Blockschaltbild eines Antriebssystems 2, welches ein Umrichtersystem 4 und eine elektrische rotierende Maschine 6 umfasst, wobei die elektrische rotierende Maschine 6 als Elektromotor betrieben und vom Umrichtersystem 4 gespeist wird. Alternativ wird die elektrische rotierende Maschine 6 als Generator betrieben, wobei das Antriebssystem 2
25 den vom Generator erzeugten Strom über das Umrichtersystem 4 beispielsweise in ein Stromnetz einspeist.

Das Umrichtersystem 4 weist einen Umrichter 8 und einen Transformator 10 auf, wobei der Transformator 10 primärseitig über Eingangsklemmen 12 mit einem, insbesondere dreiphasigen, Versorgungsnetz verbindbar ist. Ferner ist der Transformator 10 sekundärseitig mit dem Umrichter verbunden, wobei eine galvanische Trennung zwischen der Primärseite und der Sekun-
35

därseite des Transformators 10 besteht. In den Umrichter 8 ist beispielsweise ein Gleichrichter und ein Wechselrichter integriert, wobei ein Leistungssignal einer ersten Frequenz über den Gleichrichter gleichgerichtet und über den Wechselrichter in ein Leistungssignal einer zweiten Frequenz umgewandelt wird. Optional ist der Umrichter 8 als Multilevel-Umrichter ausgeführt, welcher eine Mehrzahl von Zellen aufweist. Bei der Verwendung eines Multilevel-Umrichters weist der Transformator 10 sekundärseitig eine entsprechende Anzahl von Ausgängen auf, welche durch die transformatorische Kopplung voneinander entkoppelt sind. Durch die Entkopplung sind die Ausgänge der Zellen des Multilevel-Umrichters addierbar.

Über eine primärseitig angeschlossene Sensorvorrichtung 14 werden die Eingangsspannungen der Phasen des Transformators 10 gemessen und an eine zentrale IT-Infrastruktur 16 übertragen. Die Sensorvorrichtung 14 umfasst beispielsweise eine Spannungsmessvorrichtung, welche die erfassten Spannungswerte über eine Kommunikationsschnittstelle an die zentrale IT-Infrastruktur 16 überträgt. Alternativ weist die Sensorvorrichtung 14 eine, insbesondere resistive oder kapazitive, Kopplungsvorrichtung zum Spannungsabgriff auf, wobei die analogen Spannungswerte in der zentralen IT-Infrastruktur 16 weiterverarbeitet werden. Die zentrale IT-Infrastruktur 16 ist beispielsweise mindestens ein lokales Computersystem und/oder mindestens ein, insbesondere cloudbasiertes offenes, IoT-System. Die zentrale IT-Infrastruktur 16 stellt Speicherplatz, Rechenleistung und/oder Anwendungssoftware bereit. In einem IoT-System werden Speicherplatz, Rechenleistung und/oder Anwendungssoftware als Dienstleistung über das Internet zur Verfügung gestellt. Insbesondere umfasst die zentrale IT-Infrastruktur 16 ein lokales Computersystem, welches mit einem cloudbasierten offenen IoT-System verbunden ist.

Sekundärseitig werden die Ausgangsspannungen der Phasen des Transformators 10 innerhalb des Umrichters 8 ermittelt und an die zentrale IT-Infrastruktur 16 übertragen. Alternativ werden die Ausgangsspannungen analog zu den Eingangsspannungen

sekundärseitig abgegriffen. Innerhalb der zentralen IT-Infrastruktur 16 wird ein objektspezifisches analytisches Modell, welches beispielsweise in einem, insbesondere cloudbasierten, Speicher einer zentralen Modellbibliothek 18 abgelegt wird, aus historischen Sensordaten erzeugt. Ferner wird ein objektspezifischer Schwellwert V_{th} für die Eingangsspannungen und Ausgangsspannungen aus den historischen Sensordaten ermittelt. Ein analytisches Modell basiert auf einer mathematischen Beschreibung des Verhaltens des Transformators.

Ein objektspezifisches Modell und ein objektspezifischer Schwellwert V_{th} werden anhand der Sensordaten für den konkreten Transformator 10 erzeugt und hängen von der Betriebsart, der Leistung, der Netzspannung und einer Vielzahl weiterer Parameter des Transformators 10 ab. Das Modell und der Schwellwert V_{th} werden mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus erzeugt. Ein Machine-Learning-Algorithmus benutzt beispielsweise ein neuronales Netz, welches mit historischen Daten trainiert wird. Die Erzeugung des objektspezifischen analytischen Modells sowie die Ermittlung des Schwellwerts V_{th} werden in einer Auswerteeinheit 20 durchgeführt. Beispielsweise findet zumindest ein Teil der Auswertung cloudbasiert statt. Beispielsweise wird für die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung des Transformators 10 jeweils der Maximalwert des Effektivwerts der jeweiligen Spannung $V_{inrmsmax}$, $V_{outrmsmax}$ verwendet. Das objektspezifische analytische Modell ist durch den Zusammenhang

$$V_{inrmsmax} = V_{outrmsmax} + C$$

beschreibbar, wobei das Modell eine objektspezifische Konstante C umfasst, welche einer Differenz aus mindestens einer maximalen effektiven Eingangsspannung $V_{inrmsmax}$ und mindestens einer korrespondierenden maximalen effektiven Ausgangsspannung $V_{outrmsmax}$ des Transformators 10 entspricht. Die Konstante C wird während der Modellbildungsphase automatisch an den jeweiligen Transformator 10 angepasst.

Mit Hilfe der Auswerteeinheit 20 werden aktuelle Sensordaten mit Werten des auf historischen Daten basierenden objektspezifischen analytischen Modells verglichen, wobei das Modell zum Vergleich der aktuellen Sensordaten über eine Restful API abgerufen wird. Der Ablauf wird über eine Steuereinheit 22 gesteuert. Die aktuellen Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert V_{th} von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, werden gekennzeichnet. Bei einer einstellbaren Anzahl von Abweichungen wird, insbesondere automatisch, eine Warnung an einen Nutzer und/oder einen Servicemitarbeiter ausgegeben. Die Warnung wird beispielsweise über einen elektronischen Nachrichtendienst an einem, insbesondere mobilen, Nutzerendgerät 23 bereitgestellt. Elektronische Nachrichtendienste sind beispielsweise Email, SMS oder MMS. Mit der Warnung werden beispielsweise eine Größe und/oder ein Zeitstempel der Abweichungen bereitgestellt. Ein mobiles Nutzerendgerät 23 ist beispielsweise ein Smartphone oder ein Tablet.

FIG 2 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Überwachung eines Transformators 10. Bei der Modell- und Schwellwerterzeugung 24 werden aus historischen Sensordaten ein objektspezifisches analytisches Modell des Transformators 10 sowie ein objektspezifischer Schwellwert V_{th} erzeugt. Optional werden die historischen Daten vorverarbeitet, um unplausible Werte aufgrund von Sensorfehlern und Werte, die während des Aus-Zustandes des Antriebs gesammelt wurden, zu eliminieren. Die Sensordaten enthalten mindestens eine Eingangsspannung und eine zugehörige Ausgangsspannung des Transformators 10. Die historischen Sensordaten werden beispielsweise über Monate oder Jahre ermittelt. Auf die Modell- und Schwellwerterzeugung 24 erfolgt ein Vergleich 26 aktueller Sensordaten mit dem objektspezifischen analytischen Modell, welches auf historischen Sensordaten basiert. Daraufhin findet eine Kennzeichnung 26 aktueller Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert V_{th} von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, als anormale Werte statt. Schließlich erfolgt eine Warnung 28 bei einer

einstellbaren Anzahl von anormalen Werten. Die weitere Ausgestaltung des Verfahrens zur Überwachung des Transformators 10 in FIG 2 entspricht der in FIG 1.

5 FIG 3 zeigt eine schematische Darstellung eines typischen Verlaufs einer Übertragungskennlinie 30 eines Transformators 10, wobei die maximale effektive Ausgangsspannung $V_{\text{outrmsmax}}$ über die maximale effektive Eingangsspannung V_{inrmsmax} aufgetragen ist. Die Übertragungskennlinie 30 folgt, wie in FIG 1
10 beschrieben, dem Zusammenhang

$$V_{\text{inrmsmax}} = V_{\text{outrmsmax}} + C$$

Neben der Übertragungskennlinie 30 sind ermittelte Sensordatenpunkte 32 dargestellt.
15

FIG 4 zeigt eine schematische Darstellung eines typischen Verlaufs einer Übertragungskennlinie 30 eines Transformators mit einem objektspezifischen Schwellwert V_{th} . Zur einfacheren
20 Darstellung des Schwellwerts V_{th} wird die Differenz der maximalen effektiven Ausgangsspannung $V_{\text{outrmsmax}}$ zur maximalen effektiven Eingangsspannung V_{inrmsmax} und der Konstante C über die maximale effektive Eingangsspannung V_{inrmsmax} aufgetragen. Neben der in FIG 4 waagerecht verlaufenden Übertra-
25 gungskennlinie 30 sind die in FIG 3 enthaltenen Sensordatenpunkte 32 dargestellt. Der objektspezifische Schwellwert V_{th} ist schlauchförmig um die Übertragungskennlinie 30 angeordnet. Einer der Sensordatenpunkte 32 weist eine Abweichung von der Übertragungskennlinie 30 auf, die größer als der objekt-
30 spezifische Schwellwert V_{th} ist. Der Sensordatenpunkt 32 mit einer derartigen Modellabweichung wird als anormaler Wert 34 gekennzeichnet. Das weitere Verfahren entspricht dem in FIG 2.

35 Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Überwachung mindestens eines Transformators 10. Damit das Überwachungsverfahren möglichst einfach und zuverlässig durchführbar ist, werden folgende Schritte vorgeschlagen:

Erzeugen eines objektspezifischen analytischen Modells des Transformators 10 und eines objektspezifischen Schwellwerts V_{th} aus historischen Sensordaten, welche mindestens eine Eingangsspannung und eine Ausgangsspannung des Transformators 10 umfassen, mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus, Vergleichen von aktuellen Sensordaten mit Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell, Kennzeichnen aktueller Sensordaten, welche um mehr als den objektspezifischen Schwellwert V_{th} von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, als anormale Werte 34 und Ausgabe einer Warnung bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten 34.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung mindestens eines Transformators
5 (10) umfassend:

- Erzeugen eines objektspezifischen analytischen Modells des Transformators (10) und eines objektspezifischen Schwellwerts (V_{th}) aus historischen Sensordaten, welche mindestens eine Eingangsspannung und eine Ausgangsspannung des Transformators (10) umfassen, mit Hilfe eines Machine-Learning-Algorithmus,
- Vergleichen von aktuellen Sensordaten mit Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell,
- Kennzeichnen aktueller Sensordaten, welche um mehr als den
15 objektspezifischen Schwellwert (V_{th}) von den Werten aus dem objektspezifischen analytischen Modell abweichen, als anormale Werte (34) und
- Ausgabe einer Warnung bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten (34).

2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei die historischen Sensordaten zum Ausschließen unplausibler Werte vorverarbeitet werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
wobei das Modell eine objektspezifische Konstante (C) umfasst, welche einer Differenz aus mindestens einer Eingangsspannung und mindestens einer korrespondierenden Ausgangsspannung des Transformators (10) entspricht.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei für die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung jeweils der Maximalwert des Effektivwerts der jeweiligen Spannung ($V_{inrmsmax}$, $V_{outrmsmax}$) verwendet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4,
wobei das Modell durch den Zusammenhang
 $V_{inrmsmax} = V_{outrmsmax} + C$
darstellbar ist.

5

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Modell zum Vergleich der aktuellen Sensordaten über
eine Restful API abgerufen wird.

10 7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei eine Größe und/oder ein Zeitstempel der Abweichungen
vom objektspezifischen analytischen Modell bereitgestellt
wird.

15 8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei bei einer einstellbaren Anzahl von anormalen Werten
(34) ein Nutzer und/oder ein Servicemitarbeiter automatisch
gewarnt wird.

20 9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Warnung, insbesondere automatisch, über einen
elektronischen Nachrichtendienst bereitgestellt wird.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
25 wobei der mindestens eine Transformator (10) mit einem Um-
richter (8) verbunden ist,
wobei die Eingangsspannung und/oder die Ausgangsspannung zu-
mindest teilweise im Umrichter ermittelt werden.

30 11. Steuereinheit (22) mit Mitteln zur Durchführung eines
Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
wobei die Mittel zumindest eine Sensorvorrichtung (14) umfas-
sen.

35 12. Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens nach
einem der Ansprüche 1 bis 10 bei Ablauf in einer Steuerein-
heit (22) nach Anspruch 10.

13. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm nach Anspruch 12.

14. Umrichtersystem (4) mit mindestens einem Umrichter (8),
5 mindestens einem Transformator (10) und einer Steuereinheit (22) nach Anspruch 11.

15. Umrichtersystem (4) nach Anspruch 14,
wobei der mindestens eine Umrichter (8) als Multilevel-
10 Umrichter ausgeführt ist.

16. Antriebssystem mit mindestens einem Umrichtersystem (4)
nach einem der Ansprüche 14 oder 15 und mindestens einem Mo-
tor (6), welcher mit dem Umrichtersystem (4) verbunden ist.
15

FIG 1

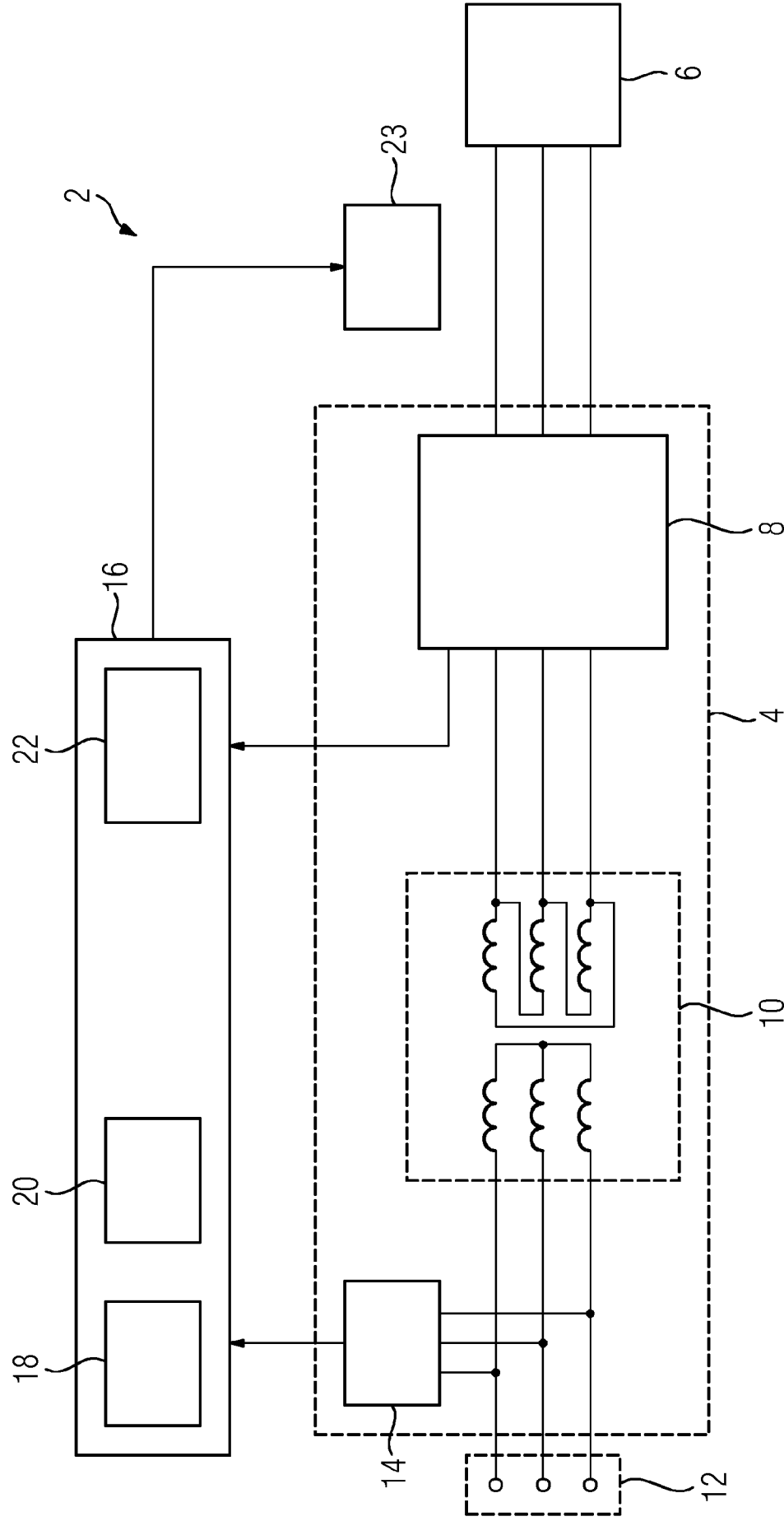
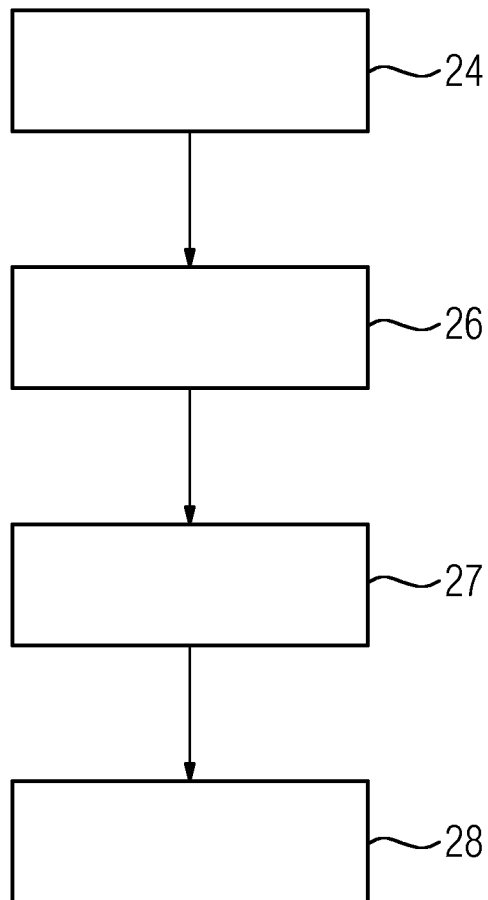


FIG 2



3/3

FIG 3

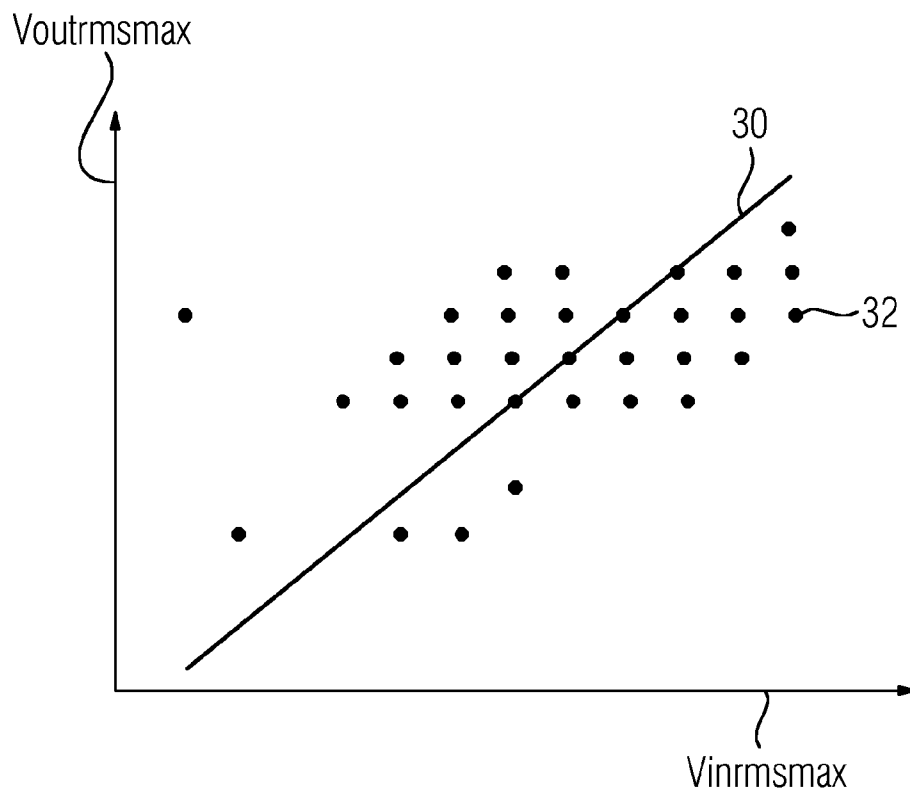
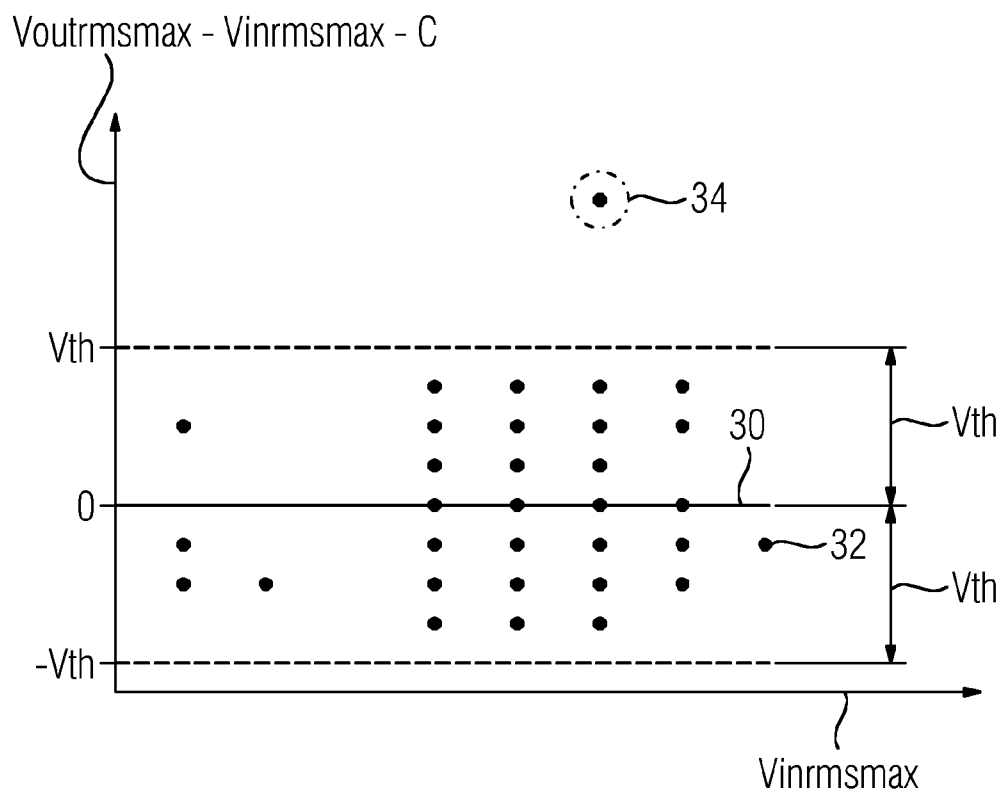


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/081235

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02M 5/10**(2006.01)i; **H02M 1/00**(2006.01)i; **G05B 19/406**(2006.01)i; **H02H 7/045**(2006.01)i; **H01F 27/40**(2006.01)i

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)

H02M; H02H; G05B; H01F

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1923765 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 21 May 2008 (2008-05-21)	1
Y	paragraphs [0003], [0010], [0012], [0020], [0021], [0026], [0027]; figures 1-6	2-16
X	US 2017115335 A1 (PAMULAPARTHY BALAKRISHNA [IN] ET AL) 27 April 2017 (2017-04-27)	1
Y	paragraphs [0036], [0041], [0043], [0045], [0047], [0049]; figures 1-4	2-16
X	US 10015184 B1 (BELL DAVID GORDON [US]) 03 July 2018 (2018-07-03)	1
Y	column 22, lines 18-50; figures 1-4 column 27, lines 19-55 column 28, lines 34-39 column 32, lines 17-22 column 39, lines 5-16	2-16
Y	DE 102017129227 A1 (FANUC CORP [JP]) 14 June 2018 (2018-06-14) paragraphs [section 3], [0008], [3139], [0040]; figures 2-6	2-16
Y	US 2015309085 A1 (FIELDBINDER DOUGLAS [US] ET AL) 29 October 2015 (2015-10-29) paragraphs [0055], [0068], [0071]; figures 13,14	2-16



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

17 February 2020

Date of mailing of the international search report

24 February 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Kanelis, Konstantin

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/081235**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2017220011 A1 (HART MICHAEL [US] ET AL) 03 August 2017 (2017-08-03) paragraph [0058]; figure 2	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/081235

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1923765	A1	21 May 2008	CN	101553766	A	07 October 2009
				EP	1923765	A1	21 May 2008
				EP	2082306	A1	29 July 2009
				US	2010264897	A1	21 October 2010
				WO	2008058878	A1	22 May 2008
US	2017115335	A1	27 April 2017	NONE			
US	10015184	B1	03 July 2018	NONE			
DE	102017129227	A1	14 June 2018	CN	108227633	A	29 June 2018
				DE	102017129227	A1	14 June 2018
				JP	6386520	B2	05 September 2018
				JP	2018097616	A	21 June 2018
				US	2018164781	A1	14 June 2018
US	2015309085	A1	29 October 2015	CN	105044426	A	11 November 2015
				EP	2940821	A1	04 November 2015
				US	2015309085	A1	29 October 2015
US	2017220011	A1	03 August 2017	US	2017220011	A1	03 August 2017
				US	2019356739	A1	21 November 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H02M5/10	H02M1/00 G05B19/406 H02H7/045 H01F27/40
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H02M H02H G05B H01F		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 923 765 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 21. Mai 2008 (2008-05-21)	1
Y	Absätze [0003], [0010], [0012], [0020], [0021], [0026], [0027]; Abbildungen 1-6	2-16

X	US 2017/115335 A1 (PAMULAPARTHY BALAKRISHNA [IN] ET AL) 27. April 2017 (2017-04-27)	1
Y	Absätze [0036], [0041], [0043], [0045], [0047], [0049]; Abbildungen 1-4	2-16

X	US 10 015 184 B1 (BELL DAVID GORDON [US]) 3. Juli 2018 (2018-07-03)	1
Y	Spalte 22, Zeilen 18-50; Abbildungen 1-4 Spalte 27, Zeilen 19-55 Spalte 28, Zeilen 34-39 Spalte 32, Zeilen 17-22 Spalte 39, Zeilen 5-16	2-16

	-/-	
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. Februar 2020		24/02/2020
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 Kanelis, Konstantin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2017 129227 A1 (FANUC CORP [JP]) 14. Juni 2018 (2018-06-14) Absätze [Abs.3], [0008], [3139], [0040]; Abbildungen 2-6 -----	2-16
Y	US 2015/309085 A1 (FIELDBINDER DOUGLAS [US] ET AL) 29. Oktober 2015 (2015-10-29) Absätze [0055], [0068], [0071]; Abbildungen 13,14 -----	2-16
Y	US 2017/220011 A1 (HART MICHAEL [US] ET AL) 3. August 2017 (2017-08-03) Absatz [0058]; Abbildung 2 -----	6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/081235

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1923765	A1	21-05-2008	CN 101553766 A 07-10-2009
		EP 1923765 A1	21-05-2008
		EP 2082306 A1	29-07-2009
		US 2010264897 A1	21-10-2010
		WO 2008058878 A1	22-05-2008

US 2017115335	A1	27-04-2017	KEINE

US 10015184	B1	03-07-2018	KEINE

DE 102017129227	A1	14-06-2018	CN 108227633 A 29-06-2018
		DE 102017129227 A1	14-06-2018
		JP 6386520 B2	05-09-2018
		JP 2018097616 A	21-06-2018
		US 2018164781 A1	14-06-2018

US 2015309085	A1	29-10-2015	CN 105044426 A 11-11-2015
		EP 2940821 A1	04-11-2015
		US 2015309085 A1	29-10-2015

US 2017220011	A1	03-08-2017	US 2017220011 A1 03-08-2017
		US 2019356739 A1	21-11-2019
