



(11)

EP 3 361 485 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.08.2018 Patentblatt 2018/33

(51) Int Cl.:
H01F 27/12 (2006.01) H01F 27/28 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18154040.2**

(22) Anmeldetag: **30.01.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Tarasinski, Nicolai**
68163 Mannheim (DE)
• **Kegel, Volker**
68163 Mannheim (DE)
• **Kremer, Dennis (GR)**
68163 Mannheim (DE)

(30) Priorität: **10.02.2017 DE 102017202124**

(71) Anmelder: **Deere & Company**
Moline, IL 61265 (US)

(74) Vertreter: **Dehnhardt, Florian Christopher**
John Deere GmbH & Co. KG
Global Intellectual Property Services
John-Deere-Straße 70
68163 Mannheim (DE)

(54) **TRANSFORMATOR MIT INTEGRIERTER KÜHLUNG**

(57) Transformator (10) mit integrierter Kühlung, umfassend eine primär- und sekundärseitige Wicklung (16, 18) sowie eine in zumindest eine der beiden Wicklungen (16, 18) teilweise oder vollständig eingebettete Kühlmitteleitung (30, 32), die aus einer Versorgungseinrichtung (48) mit Kühlmittel speisbar ist. Hierbei weist die Kühlmitteleitung (30, 32) eine Vielzahl von Austrittsöffnungen (60, 62) auf, die in Richtung der zumindest einen Wicklung (16, 18) münden, um diese mit Kühlmittel zu beaufschlagen.

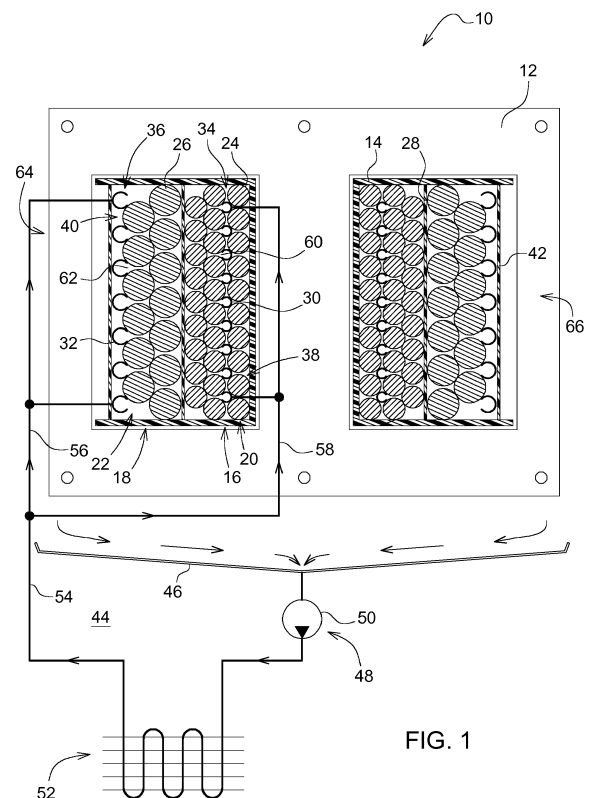


FIG. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Transformator mit integrierter Kühlung, umfassend eine primär- und sekundärseitige Wicklung sowie eine in zumindest eine der beiden Wicklungen teilweise oder vollständig eingebettete Kühlmittleitung, die aus einer Versorgungseinrichtung mit Kühlmittel speisbar ist.

[0002] In diesem Zusammenhang ist aus der DE 10 2012 208 545 A1 eine wassergekühlte elektrische Spule eines Transformators bekannt. Diese umfasst einen geblechten Kern sowie eine darauf aufgebrachte mehrlagige Wicklung. Eine als flexibler Schlauch ausgebildete Kühlleitung ist um die Außenoberfläche der Wicklung gewunden. Die Kühlleitung ist zur Kühlung der Spule bzw. der Wicklung von einem Kühlmittel durchflossen. Gemäß einer abweichenden Ausgestaltung der Spule wird zudem eine innenliegende Anordnung der Kühlleitung zwischen den Lagen der Wicklung vorgeschlagen.

[0003] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Transformator der eingangs genannten Art hinsichtlich seiner Leistungsdichte durch weitere Verbesserung der Kühlleistung zu optimieren.

[0004] Diese Aufgabe wird durch einen Transformator mit integrierter Kühlung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0005] Der Transformator mit integrierter Kühlung umfasst eine primär- und sekundärseitige Wicklung sowie eine in zumindest eine der beiden Wicklungen teilweise oder vollständig eingebettete Kühlmittleitung, die aus einer Versorgungseinrichtung mit Kühlmittel speisbar ist. Hierbei weist die Kühlmittleitung eine Vielzahl von Austrittsöffnungen auf, die in Richtung der zumindest einen Wicklung münden, um diese mit Kühlmittel zu beaufschlagen.

[0006] Durch die unmittelbare Umspülung der zu kühlenden Windungen mit Kühlmittel ist eine besonders gute Wärmeableitung sichergestellt, was zu einer entsprechenden Verbesserung der Leistungsdichte des Transformators führt. Das erwärmte Kühlmittel kann hierbei zwischen den Windungen der zumindest einen Wicklung in Richtung eines Auffangbehälters abfließen und von dort mittels einer von der Versorgungseinrichtung umfassten Kühlmittelpumpe einem Wärmetauscher zur Abgabe aufgenommener Abwärme zugeführt werden. Aufgrund der Kapillarwirkung aneinander grenzender Windungen ist eine selbsttätige Verteilung des Kühlmittels innerhalb der betreffenden Wicklung des Transformators gewährleistet.

[0007] In Laborversuchen konnte mittels eines mit der vorstehend beschriebenen integrierten Kühlung ausgestatteten Transformators eine Leistungsdichte von mehr als 5kW/kg erzielt werden.

[0008] Bei dem Transformator kann es sich beispielsweise um einen Mittelfrequenztransformator für Frequenzen im Bereich einiger 100 Hz bis einiger 1000 Hz handeln, der Bestandteil einer Energieübertragungsstrecke zwischen einer Energieversorgungsstation und ei-

nem elektrisch betriebenen landwirtschaftlichen Fahrzeug, beispielsweise einem landwirtschaftlichen Traktor, ist. Zur Reduzierung von Leitungsverlusten erfolgt die Übertragung der elektrischen Energie typischerweise auf Mittelspannungsniveau, was eine fahrzeugseitige Anpassung (Verringerung) auf Bordspannungsniveau erforderlich macht. Hierzu kann der Transformator als Zwei- oder Dreiphasentransformator ausgebildet sein.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Transformators gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0010] Vorzugsweise ist die Kühlmittleitung als flexible Schlauchleitung ausgebildet und besteht aus hitzebeständigem Kunststoff, insbesondere aus PTFE, Silikon oder Viton. Die Anzahl und/oder Verteilung der Austrittsöffnungen entlang der Wandung der Kühlmittleitung wird hierbei auf Grundlage von Versuchen und/oder computergestützten Simulationen ermittelt.

[0011] Des Weiteren ist es möglich, dass die Kühlmittleitung mit der zumindest einen Wicklung gleichsinnig gewunden verläuft, sodass zu möglichen Feldinhomogenitäten und damit Leistungsverlusten führende Zwischenräume innerhalb der betreffenden Wicklung reduziert werden können. Die Kühlmittleitung kann hierbei zwischen benachbarten Windungen ein und derselben Wicklungslage verlaufen oder aber eine separate (Zwischen-)Lage bilden.

[0012] Insbesondere kann eine erste und/oder zweite Kühlmittleitung vorgesehen sein, wobei die erste Kühlmittleitung um eine innenliegende Wicklungslage der primärseitigen Wicklung und/oder die zweite Kühlmittleitung um eine außenliegende Wicklungslage der sekundärseitigen Wicklung gewunden ist. Eine derartige Konfiguration ist insbesondere dann von Vorteil, wenn zwischen primär- und sekundärseitiger Wicklung des Transformators eine Isolierlage und/oder eine (aus Kupferfolie bestehende) HF-Abschirmung vorgesehen ist, mithin die Verwendung einer gemeinsamen Kühlmittleitung aufgrund der räumlichen Trennung nicht möglich ist. Mit anderen Worten verlaufen die beiden Kühlmittleitungen jeweils möglichst im Randbereich des durch die primär- und sekundärseitigen Wicklungen gebildeten Wicklungspakets, sodass sich unerwünschte Feldinhomogenitäten innerhalb des Wicklungspakets einschließlich der damit einhergehenden Leistungsverluste weitgehend vermeiden lassen.

[0013] Hierbei besteht die Möglichkeit, dass die erste Kühlmittleitung entlang ihrer Wandung unidirektional verteilt angeordnete Austrittsöffnungen aufweist, sodass die primärseitige Wicklung von innen nach außen mit Kühlmittel durchströmt wird.

[0014] Dementsprechend ist es möglich, dass die zweite Kühlmittleitung entlang ihrer Wandung ausschließlich nach innen gerichtete Austrittsöffnungen aufweist, was es ermöglicht, das Kühlmittel gezielt zur Kühlung der sekundärseitigen Wicklung auszubringen.

[0015] Das erwärmte Kühlmittel tritt hierbei an den Stirnseiten der primär- und sekundärseitigen Wicklungen

aus, um von dort unter der Wirkung der Schwerkraft in den Auffangbehälter zurückzufließen.

[0016] Für den Fall, dass der Transformator als Spannungsherabsetzer ausgebildet ist, mithin die sekundärseitigen Verlustleistungen größer sind als die primärseitigen, hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die erste Kühlmittleitung einen Innendurchmesser von 2 bis 4 mm und/oder die zweite Kühlmittleitung einen Innendurchmesser von 5 bis 7 mm aufweist. Der genaue Innendurchmesser hängt - wie auch derjenige der Austrittsöffnungen - von unterschiedlichen Gegebenheiten ab, insbesondere der Viskosität des verwendeten Kühlmittels, dem Fördervolumen der Kühlmittelpumpe, dem Durchflusswiderstand der Wicklungen, der abzuführenden Verlustleistung, und dergleichen.

[0017] Bei dem durch die Kühlmittleitung fließenden Kühlmittel handelt es sich bevorzugt um eine nichtleitende Kühlflüssigkeit mit nichtkorrosiven Eigenschaften, beispielsweise um ein hitzebeständiges Öl, insbesondere Silikonöl.

[0018] Der erfindungsgemäße Transformator mit integrierter Kühlung wird im Folgenden anhand der beigegebenen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Transformators im Schnitt, und

Fig. 2 eine perspektivische Außenansicht des in Fig. 1 wiedergegebenen Transformators.

[0019] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Transformators im Schnitt.

[0020] Der Transformator 10 umfasst ein Blechpaket 12 sowie einen auf dem Blechpaket 12 angeordneten Wickelkörper 14 aus Kunststoff. Der Wickelkörper 14 trägt eine innenliegende primärseitige Wicklung 16 sowie eine außenliegende sekundärseitige Wicklung 18. Jede der Wicklungen 16, 18 weist mehrere Wicklungslagen 20, 22 auf. Die einzelnen Windungen 24, 26 der Wicklungslagen 20, 22 bestehen aus Kupferlackdraht oder lackisolierter Litze. Zwischen den beiden Wicklungen 16, 18 verläuft eine aus Kunststoffolie bestehende Isolierlage 28.

[0021] Beispielsgemäß ist der Transformator 10 als Spannungsherabsetzer ausgebildet, bei dem die Windungen 24 der primärseitigen Wicklung 16 einen gegenüber den Windungen 26 der sekundärseitigen Wicklung 18 geringeren Durchmesser aufweisen.

[0022] Des Weiteren ist eine erste und zweite Kühlmittleitung 30, 32 vorgesehen, wobei die erste Kühlmittleitung 30 in Gestalt einer Zwischenlage 34 um eine innenliegende (erste) Wicklungslage 20 der primärseitigen Wicklung 16 und die zweite Kühlmittleitung 32 in Gestalt einer Außenlage 36 um eine außenliegende (letzte) Wicklungslage 22 der sekundärseitigen Wicklung 18 gleichsinnig gewunden ist. Wie sich Fig. 1 entnehmen

lässt, verlaufen die Kühlmittleitungen 30, 32 jeweils entlang der durch aneinandergrenzende Windungen 24, 26 gebildeten Zwischenräume 38, 40, sodass diese in die betreffende Wicklung 16, 18 teilweise oder vollständig eingebettet sind. Die sekundärseitige Wicklung 18 ist hierbei gemeinsam mit der zweiten Kühlmittleitung 32 von einer weiteren abschließenden Isolierlage 42 umgeben.

[0023] Die beiden Kühlmittleitungen 30, 32 sind Bestandteil eines Kühlmittelkreislaufs 44, der aus einem Auffangbehälter 46, einer von einer Versorgungseinrichtung 48 umfassten Kühlmittelpumpe 50, einem Wärmetauscher 52 zur Abgabe aufgenommener Abwärme sowie zugehörigen Zuleitungen 54, 56 und 58 besteht. Der Auffangbehälter 46 ist beispielsweise durch eine Bodenwanne eines nicht dargestellten Außengehäuses des Transformators 10 gebildet.

[0024] Jede der Kühlmittleitungen 30, 32 weist eine Vielzahl von Austrittsöffnungen 60, 62 auf, die in Richtung der betreffenden Wicklung 16, 18 münden, um diese unmittelbar mit Kühlmittel zu beaufschlagen bzw. zu umspülen. Genauer gesagt weist die erste Kühlmittleitung 30 entlang ihrer Wandung unidirektional verteilt angeordnete Austrittsöffnungen 60 auf, wohingegen die zweite Kühlmittleitung 32 entlang ihrer Wandung ausschließlich nach innen gerichtete Austrittsöffnungen 62 aufweist.

[0025] Das erwärmte Kühlmittel tritt anschließend an den Stirnseiten 64, 66 der primär- und sekundärseitigen Wicklungen 16, 18 aus, um von dort unter der Wirkung der Schwerkraft in den Auffangbehälter 46 zurückzufließen.

[0026] Die Kühlmittleitungen 30, 32 sind jeweils als flexible Schlauchleitungen ausgebildet und bestehen aus hitzebeständigem Kunststoff, insbesondere aus PTFE, Silikon oder Viton. Die Anzahl und/oder Verteilung der Austrittsöffnungen 60, 62 entlang der Wandungen der Kühlmittleitungen 30, 32 wird hierbei auf Grundlage von Versuchen und/oder computergestützten Simulationen ermittelt.

[0027] Beispielsgemäß weist die erste Kühlmittleitung 30 einen Innendurchmesser von 2 bis 4 mm und die zweite Kühlmittleitung 32 einen Innendurchmesser von 5 bis 7 mm auf. Der genaue Innendurchmesser hängt - wie auch derjenige der Austrittsöffnungen 60, 62 - von unterschiedlichen Gegebenheiten ab, insbesondere der Viskosität des verwendeten Kühlmittels, dem Fördervolumen der Kühlmittelpumpe 50, dem Durchflusswiderstand der Wicklungen 16, 18, der abzuführenden Verlustleistung, und dergleichen.

[0028] Bei dem durch die Kühlmittleitung 30, 32 fließenden Kühlmittel handelt es sich um eine nichtleitende Kühlflüssigkeit mit nichtkorrosiven Eigenschaften, beispielsweise um ein hitzebeständiges Öl, insbesondere Silikonöl.

[0029] Fig. 2 zeigt ergänzend eine perspektivische Außenansicht des in Fig. 1 wiedergegebenen Transformators 10, wobei die weitere Isolierlage 42 weggelassen

ist, sodass der Verlauf der zweiten Kühlmittleitung 32 entlang der durch die aneinandergrenzenden Windungen 26 der sekundärseitigen Wicklung 18 gebildeten Zwischenräume 40 sichtbar ist.

[0030] Bei dem Transformator 10 handelt es sich um einen Mittelfrequenztransformator für Frequenzen im Bereich einiger 100 Hz bis einiger 1000 Hz, der Bestandteil einer nicht dargestellten Energieübertragungsstrecke zwischen einer Energieversorgungsstation und einem elektrisch betriebenen landwirtschaftlichen Fahrzeug, beispielsweise einem landwirtschaftlichen Traktor, ist. Zur Reduzierung von Leitungsverlusten erfolgt die Übertragung der elektrischen Energie auf Mittelspannungsniveau, was eine fahrzeugseitige Anpassung (Ver-ringerung) auf Bordspannungsniveau erforderlich macht. Hierzu ist der Transformator 10 als Zwei- oder Dreiphasentransformator ausgebildet.

Patentansprüche

1. Transformator mit integrierter Kühlung, umfassend eine primär- und sekundärseitige Wicklung (16, 18) sowie eine in zumindest eine der beiden Wicklungen (16, 18) teilweise oder vollständig eingebettete Kühlmittleitung (30, 32), die aus einer Versorgungseinrichtung (48) mit Kühlmittel speisbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlmittleitung (30, 32) eine Vielzahl von Austrittsöffnungen (60, 62) aufweist, die in Richtung der zumindest einen Wicklung (16, 18) münden, um diese mit Kühlmittel zu beaufschlagen.
2. Transformator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlmittleitung (30, 32) als flexible Schlauchleitung ausgebildet ist und aus hitzebeständigem Kunststoff besteht, insbesondere aus PTFE, Silikon oder Viton.
3. Transformator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlmittleitung (30, 32) mit der zumindest einen Wicklung (16, 18) gleichsinnig gewunden verläuft.
4. Transformator nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste und/oder zweite Kühlmittleitung (30, 32) vorgesehen ist, wobei die erste Kühlmittleitung (30) um eine innenliegende Wicklungslage (20) der primärseitigen Wicklung (16) und/oder die zweite Kühlmittleitung (32) um eine außenliegende Wicklungslage (22) der sekundärseitigen Wicklung (18) gewunden ist.
5. Transformator nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Kühlmittleitung (30) entlang ihrer Wandung unidirektional verteilt angeordnete Austrittsöffnungen (60) aufweist.
6. Transformator nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Kühlmittleitung (32) entlang ihrer Wandung ausschließlich nach innen gerichtete Austrittsöffnungen (62) aufweist.
7. Transformator nach wenigstens einem der Ansprüche 4 bis 6, dass die erste Kühlmittleitung (30) einen Innendurchmesser von 2 bis 4 mm und/oder die zweite Kühlmittleitung (32) einen Innendurchmesser von 5 bis 7 mm aufweist.
8. Transformator nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem durch die Kühlmittleitung (30, 32) fließenden Kühlmittel um ein hitzebeständiges Öl, insbesondere Silikonöl, handelt.

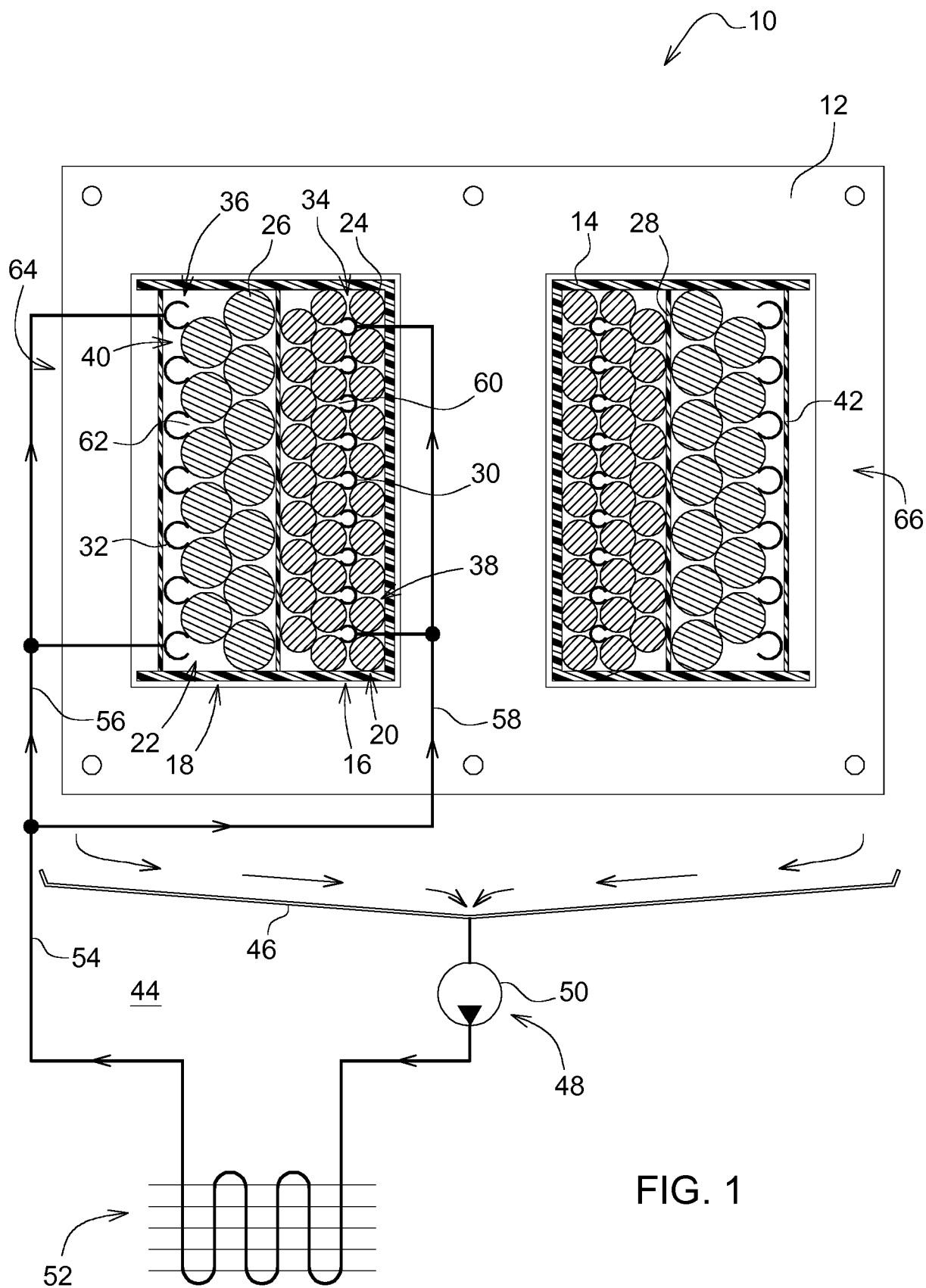


FIG. 1

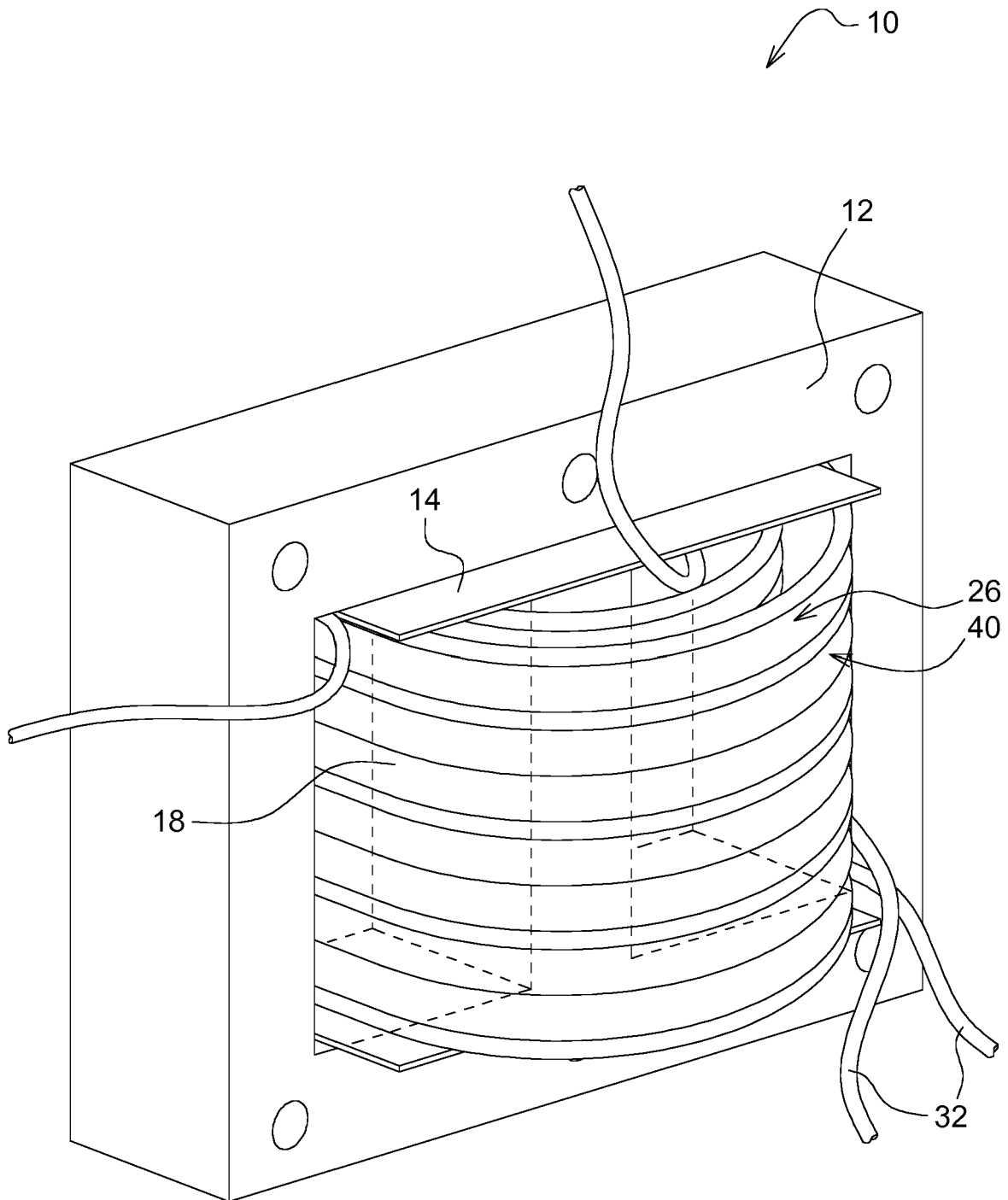


FIG. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 15 4040

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP S62 80314 U (MIYA ELECTRIC CO) 22. Mai 1987 (1987-05-22) * Abbildungen 1-7 * * Seiten 6-10 *	1-4,6,7	INV. H01F27/12 H01F27/28
X	JP S56 107536 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 26. August 1981 (1981-08-26) * Zusammenfassung *; Abbildungen 3-5 * * Absätze [0002], [0003] *	1	
A	JP S60 73210 U (.) 23. Mai 1985 (1985-05-23) * Absatz [0002]; Abbildungen 1-4 *	1-8	
A	JP S60 71124 U (.) 20. Mai 1985 (1985-05-20) * Absatz [0002]; Abbildungen 3-5 *	1-8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 26. Juni 2018	Prüfer Reder, Michael
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 15 4040

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-06-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	JP S6280314 U	22-05-1987	KEINE	
	JP S56107536 A	26-08-1981	KEINE	
15	JP S6073210 U	23-05-1985	KEINE	
	JP S6071124 U	20-05-1985	KEINE	
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102012208545 A1 [0002]