

(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
15. Dezember 2016 (15.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/198212 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H05B 6/10 (2006.01) **E21B 43/24** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/059531
- (22) Internationales Anmeldedatum:
28. April 2016 (28.04.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 210 701.9 11. Juni 2015 (11.06.2015) DE
- (71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
WINTERSHALL HOLDING GMBH [DE/DE]; Friedrich-Ebert-Str. 160, 34119 Kassel (DE).
- (72) Erfinder: **DIEHL, Dirk**; Garagenweg 1, 91088 Bubenreuth (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

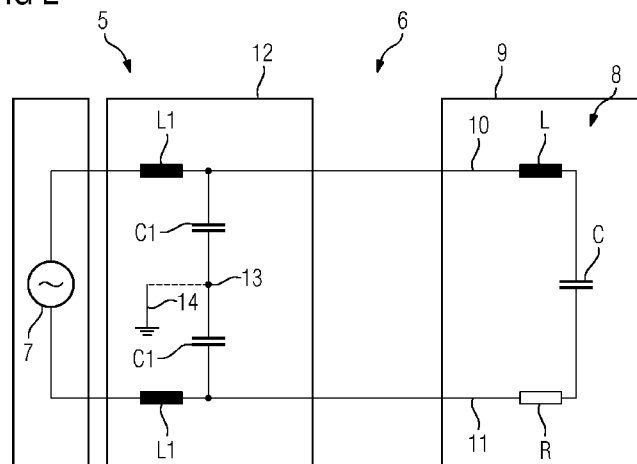
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HEATING DEVICE FOR INDUCTIVELY HEATING A HYDROCARBON DEPOSIT AND COMPRISING A FILTER ELEMENT, AN ARRANGEMENT, AND A METHOD

(54) Bezeichnung : HEIZVORRICHTUNG ZUR INDUKTIVEN HEIZUNG EINER KOHLENWASSERSTOFFLAGERSTÄTTE MIT FILTERELEMENT, ANORDNUNG SOWIE VERFAHREN

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a heating device (5) for inductively heating a hydrocarbon deposit (3), comprising: at least one conductor device (6) with a conductor loop (9) that can be at least partially inserted into the hydrocarbon deposit (3), said conductor loop (9) forming a series resonant circuit (8) with a resonant frequency and the conductor device (6) having a total resonant frequency that is dependent on the resonant frequency of the conductor loop (9); and at least one alternating voltage source (7) which supplies an alternating voltage and is electrically connected to said at least one conductor device (6), the conductor device (6) having a filter element (12) for adapting the total resonant frequency of the conductor device (6) and/or for filtering the alternating voltage that is supplied by the alternating voltage source (7).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/198212 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Heizvorrichtung (5) zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte (3) mit zumindest einer Leitereinrichtung (6), wobei die Leitereinrichtung (6) eine Leiterschleife (9) aufweist, welche zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte (3) einbringbar ist, wobei die Leiterschleife (9) einen Reihenschwingkreis (8) mit einer Resonanzfrequenz ausbildet und wobei die Leitereinrichtung (6) eine Gesamtresonanzfrequenz aufweist, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife (9) abhängig ist, und mit zumindest einer Wechselspannungsquelle (7) zum Bereitstellen einer Wechselspannung, welche mit der zumindest einen Leitereinrichtung (6) elektrisch verbunden wobei die Leitereinrichtung (6) ein Filterelement (12) zum Anpassen der Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung (6) und/oder zum Filtern der von der Wechselspannungsquelle (7) bereitgestellten Wechselspannung aufweist.

Beschreibung

Heizvorrichtung zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte mit Filterelement, Anordnung sowie Verfahren

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Heizvorrichtung zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte mit zumindest einer Leitereinrichtung, wobei die Leitereinrichtung eine Leiterschleife aufweist, welche zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte einbringbar ist, wobei die Leiterschleife einen Reihenschwingkreis mit einer Resonanzfrequenz ausbildet und wobei die Leitereinrichtung eine Gesamtresonanzfrequenz aufweist, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife abhängig ist, und mit zumindest einer Wechselspannungsquelle zum Bereitstellen einer Wechselspannung, welche mit der zumindest einen Leitereinrichtung elektrisch verbunden ist. Überdies betrifft die vorliegende Erfindung eine Anordnung zur Förderung von Kohlenwasserstoff als einer Kohlenwasserstofflagerstätte mit einer solchen Heizvorrichtung. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte.

Das Interesse richtet sich vorliegend auf die Förderung von Kohlenwasserstoffen aus einer Kohlenwasserstofflagerstätte. Aus der Kohlenwasserstofflagerstätte kann ein Kohlenwasserstoff, wie beispielsweise ein Gas, ein konventionelles Öl, ein Schweröl, ein extra schweres Öl, ein Ölsand und/oder Bitumen, gefördert werden. Die Kohlenwasserstofflagerstätte kann beispielsweise eine Lagerstätte für konventionelles Öl, eine Ölsandlagerstätte, eine Ölschieferlagerstätte, eine Schweröllagerstätte und/oder eine Bitumenlagerstätte sein. Ein in diesem Zusammenhang weit verbreitetes Verfahren zur Förderung von Schweröl und/oder Bitumen ist das sogenannte SAGD-Verfahren (SAGD - Steam Assisted Gravity Drainage). Hierbei wird Wasserdampf, dem ein Lösungsmittel zugesetzt sein kann, unter hohem Druck durch ein innerhalb der Kohlenwasserstofflagerstätte horizontal verlaufendes Rohr einge-

presst. Hierbei löst sich das Schweröl oder das Bitumen aus dem Ölsand- oder Ölschiefervorkommen. Durch ein entsprechendes Förderrohr, welches in die Kohlenwasserstofflagerstätte eingebracht ist, kann das Schweröl oder das Bitumen abtransportiert werden.

Bei dem SAGD-Verfahren können zudem entsprechende Heizvorrichtungen eingesetzt werden, mit denen die Kohlenwasserstofflagerstätte aufgeheizt werden kann und somit die Fließfähigkeit des Bitumens und/oder des Öls erheblich erhöht werden kann. Hierzu werden entsprechende Bohrungen in die Kohlenwasserstofflagerstätte eingebracht, in welche wiederum eine Leiterschleife der Leitereinrichtung eingebracht wird. Die Leitereinrichtung ist mit einer Wechselstromquelle beziehungsweise einer Wechselspannungsquelle elektrisch verbunden. Die mit dem Wechselstrom behaftete Leitereinrichtung erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld in der Kohlenwasserstofflagerstätte, durch welches Wirbelströme in der Kohlenwasserstofflagerstätte erzeugt werden.

Um die gewünschte Heizleistungsdichte von typisch 1 bis 10 Kilowatt je Meter Länge der Leitereinrichtung zu erreichen, ist es erforderlich - je nach Leitfähigkeit der Kohlenwasserstofflagerstätte - Stromstärken von einigen 100 A bei Frequenzen von typisch 20 bis 200 kHz einzubringen. Zur Kompensation des induktiven Spannungsabfalls entlang der Leitereinrichtung werden üblicherweise Kondensatoren zwischengeschaltet, wodurch ein Reihenschwingkreis beziehungsweise Serienresonanzschwingkreis entsteht. Dieser Reihenschwingkreis wird bei seiner Resonanzfrequenz oder einer davon nur geringfügig abweichenden Frequenz betrieben und stellt an seinen Klemmen eine rein ohmsche Last dar. Ohne diese Serienkondensatoren würde sich der induktive Spannungsabfall entlang der Länge der Leitereinrichtung aufsummieren. Da die Leitereinrichtung beispielsweise eine Länge von einigen 100 m aufweisen kann, kann sich der induktive Spannungsabfall auf einige 10 bis 100 kV aufsummieren.

Zur Erschließung einer großflächigen Kohlenwasserstofflagerstätte werden in der Regel mehrere Leitereinrichtungen beziehungsweise Leiterschleifen in enger Nachbarschaft verlegt. Damit geht einher, dass die Leiterschleifen untereinander induktiv gekoppelt sind. Dies führt dazu, dass die Gegeninduktivität benachbarter Schleifen nicht vernachlässigbar ist. Ein elektrischer Strom in einer Leiterschleife induziert eine elektrische Spannung in einer benachbarten Leiterschleife, die an deren Klemmen auftreten und die dort angeschlossenen Wechselspannungsquelle ungünstig beeinflussen kann.

Andererseits ist es erforderlich, dass die Betriebsfrequenz der Resonanzfrequenz der jeweiligen Leiterschleife entspricht. Andernfalls ist es nicht möglich, die für die Heizwirkung erforderlichen hohen elektrischen Ströme in der Leiterschleife zu treiben. Die Resonanzfrequenz der kapazitiv kompensierten Leiterschleife ergibt sich aus der Induktivität der Leiterschleife, die von der Schleifengeometrie, dem Leiterquerschnitt und der Leitfähigkeit des umgebenden Erdreichs in der Kohlenwasserstofflagerstätte abhängt. Die Kapazität der Leiterschleife wird durch die Ausgestaltung der Leiterschleife, die beispielsweise als Kabel- beziehungsweise Rohrinduktor ausgebildet sein kann, festgelegt. Damit kann die Resonanzfrequenz der Leiterschleife im Voraus mit einer vorbestimmten Genauigkeit festgelegt werden, entsprechend der Genauigkeit, mit der Schleifengeometrie und elektrische Leitfähigkeit bekannt sind. In der Praxis muss davon ausgegangen werden, dass nach Installation mehrerer benachbarter Leiterschleifen deren Resonanzfrequenzen geringfügig voneinander abweichen. Diese Abweichungen können beispielsweise im Bereich von ± 5 Prozent liegen. Weiterhin wird sich die elektrische Leitfähigkeitsverteilung in der Kohlenwasserstofflagerstätte durch die Massenströme bei der Förderung und die Änderung der Temperaturverteilung ändern, was wiederum zu einer Änderung der Resonanzfrequenz der Leiterschleifen führt. Damit besteht ein Problem darin, die Resonanzfrequenzen benachbarter, gekoppelter Leiterschleifen nach der Installation vor der Inbetriebnahme einander anzugleichen und

fortwährend während des Betriebs nachzustimmen, um einen synchronen Betrieb, das heißt einen Betrieb mit gleicher Frequenz und definierter Phasenlage, zu ermöglichen.

5 Ein weiteres Problem besteht in der Filterung der Eingangsspannung beziehungsweise Wechselspannung, die mit der Wechselspannungsquelle bereitgestellt wird. Die Leiterschleife kann beispielsweise mit einer Wechselspannungsquelle, die als einfacher Resonanzumrichter ausgebildet ist, betrieben werden.
10 Ein solcher Resonanzumrichter liefert eine näherungsweise rechteckförmige Ausgangsspannung. Diese Ausgangsspannung kann direkt über einen Isolationstransformator auf die Klemmen der Leiterschleife übertragen werden. Die rechteckige Wechselspannung enthält hohe Anteile von Höherharmonischen, insbesondere der dreifachen, der fünffachen und der siebenfachen Grundfrequenz der Wechselspannung. Die Leiterschleife, die einen Reihenschwingkreis darstellt, weist nur eine Resonanzfrequenz auf, die der Grund- beziehungsweise Basisfrequenz entsprechen sollte. Dies bedeutet, dass nur bei dieser
15 Frequenz die entsprechend hohen elektrischen Ströme getrieben werden können, die zur induktiven Heizung der Kohlenwasserstofflagerstätte benötigt werden. Die hochfrequenten Spannungen beziehungsweise die Höherharmonischen treiben nur geringe Ströme durch die Leiterschleife. Zudem liegen die hochfrequenten Spannungen zwischen der Leiterschleife und dem Erreich an, wodurch die Außenisolation der Leiterschleife belastet wird und nur im geringen Maße die Serienkapazitäten der Leiterschleife. Die hochfrequenten Spannungen können zur vorzeitigen Alterung der Isolation der Leiterschleife beziehungsweise der Serienkondensatoren führen. Es ist daher gewünscht, die hochfrequenten Spannungsanteile an den Klemmen der Leiterschleife zu vermeiden.
20
25
30

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung aufzuzeigen, wie eine Heizvorrichtung für eine Kohlenwasserstofflagerstätte zuverlässiger betrieben werden kann.
35

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Heizvorrichtung, durch eine Anordnung sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß den jeweiligen unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Eine erfindungsgemäße Heizvorrichtung dient zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte. Die Heizvorrichtung umfasst zumindest eine Leitereinrichtung, wobei die Leitereinrichtung eine Leiterschleife aufweist, welche zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte einbringbar ist. Die Leiterschleife bildet einen Reihenschwingkreis mit einer Resonanzfrequenz aus und die Leitereinrichtung weist eine Gesamtresonanzfrequenz auf, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife abhängig ist. Zudem umfasst die Heizvorrichtung zumindest eine Wechselspannungsquelle zum Bereitstellen einer Wechselspannung, welche mit der zumindest einen Leitereinrichtung elektrisch verbunden ist. Ferner weist die Leitereinrichtung ein Filterelement zum Anpassen der Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung und/oder zum Filtern der von der Wechselspannungsquelle bereitgestellten Wechselspannung auf.

Die Heizvorrichtung kann dazu verwendet werden, einen Kohlenwasserstoff in einer Kohlenwasserstofflagerstätte zu heizen. Eine solche Kohlenwasserstofflagerstätte kann beispielsweise eine Lagerstätte für konventionelles Öl, eine Ölsandlagerstätte, eine Ölschieferlagerstätte, eine Schweröllagerstätte und/oder eine Bitumenlagerstätte sein. Der Kohlenwasserstoff kann ein Gas, ein konventionelles Öl, ein Schweröl, ein extra schweres Öl, ein Ölsand und/oder Bitumen sein. Das Schweröl weist eine dynamische Viskosität von größer als 100 cP und einen API-Grad zwischen 10 und 25 auf. Dabei entsprechen 1000 cP (Centipoise) 1 kg/ms. Der API-Grad (American-Petroleum-Institute-Grad) beschreibt die relative Dichte des Öls bezogen auf Wasser. Das extra schwere Öl weist eine dynamische Viskosität bis zu 10000 cP und einen API-Grad unter 10 auf. Ölsand und Bitumen weisen eine dynamische Viskosität

größer als 10000 cP und einen API-Grad unter 10 auf. Konventionelles Öl weist dabei einen API-Grad zwischen 25 und circa 56 auf. Hierbei ist zu beachten, dass der API-Grad oberirdisch gemessen wird, wenn das Erdölbegleitgas entfernt ist.

- 5 Die angegebene Viskosität gilt für das Öl in der Lagerstätte. Daher können sich die Viskosität des konventionellen Öls und des Schweröls überlappen.

10 In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Heizvorrichtung mit einem SAGD-Verfahren verwendet werden, bei dem Dampf mittels eines Rohrs beziehungsweise eines Dampfinjektors in die Kohlenwasserstofflagerstätte eingebracht wird. Mit dem SAGD-Verfahren kann Schweröl und/oder Bitumen gefördert werden. Hier wird die Kohlenwasserstofflagerstätte beziehungsweise
15 das Reservoir zusätzlich durch den Dampf erwärmt. Die Heizvorrichtung kann auch alleine in einer Kohlenwasserstofflagerstätte eingesetzt werden, ohne dass Dampf in die Lagerstätte eingebracht wird. Die Heizvorrichtung weist eine Leitereinrichtung auf, welche eine Leiterschleife umfasst. Die
20 Leitereinrichtung kann beispielsweise eine Länge von mehreren 100 Metern aufweisen. Die Leitereinrichtung ist mit der Wechselspannungsquelle elektrisch verbunden. Somit kann an der Leitereinrichtung eine Wechselspannung angelegt werden beziehungsweise ein Wechselstrom eingeprägt werden. Dies hat zur
25 Folge, dass in der Kohlenwasserstofflagerstätte Wirbelströme entstehen, welche die Lagerstätte wiederum erhitzen. Somit kann der Kohlenwasserstoff, der sich in der Kohlenwasserstofflagerstätte befindet, gefördert werden.

30 Die Leitereinrichtung weist zudem ein Filterelement auf. Das Filterelement kann einerseits dazu dienen, die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung anzupassen. Die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung ergibt sich aus der Resonanzfrequenz der Leiterschleife, welche einen Reihen-
35 schwingkreis beziehungsweise einen Serienschwingkreis darstellt. Die Leiterschleife kann beispielsweise eine Induktivität aufweisen, die sich aus ihrer Geometrie, dem Leitungsquerschnitt und der Leitfähigkeit des umgebenden Erdreichs

ergibt. Die Leiterschleife kann zudem Serienkondensatoren zur Blindleistungskompensation aufweisen. Zudem kann die Leiterschleife einen vorbestimmten elektrischen Widerstand aufweisen. Damit kann die Leiterschleife als LCR-Reihenschwingkreis betrachtet werden. Das Filterelement kann elektrisch mit der Leiterschleife verbunden werden. Durch das elektrische Verbinden der Leiterschleife mit dem Filterelement kann die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung auf einfache Weise angepasst werden. Zusätzlich kann das Filterelement dazu dienen, die mit der Wechselspannungsquelle bereitgestellte Wechselspannung zu filtern. Somit kann beispielsweise erreicht werden, dass nur die Grundfrequenz der Wechselspannung an der Leiterschleife angelegt wird, während Höherharmonische Wechselspannungsanteile vom Filter gesperrt beziehungsweise gedämpft werden und nicht beziehungsweise nur abgeschwächt an der Leiterschleife angelegt werden. Somit kann mit dem Filterelement einerseits die Gesamtresonanzfrequenz angepasst werden und andererseits die Wechselspannung, die an der Leiterschleife angelegt wird, gefiltert werden.

Bevorzugt ist das Filterelement als Tiefpassfilter ausgebildet, wobei eine Grenzfrequenz des Filterelements größer als die Resonanzfrequenz der Leiterschleife und kleiner als die doppelte Resonanzfrequenz der Leiterschleife ist. Das Filterelement ist bevorzugt als passives Filter ausgebildet. Im einfachsten Fall kann das Filterelement als LC-Tiefpassfilter ausgebildet sein. Um eine effektive Filterung der Wechselspannung zu erreichen, sollte die Grenzfrequenz des Filterelements deutlich größer als die einfache Resonanzfrequenz der Leiterschleife und kleiner als die doppelte Resonanzfrequenz der Leiterschleife sein. Beispielsweise kann die Grenzfrequenz in einem Bereich zwischen einem 1,3-fachen und einem 1,8-fachen der Resonanzfrequenz der Leiterschleife liegen. Somit kann auf zuverlässige Weise erreicht werden, dass Höherharmonische Anteile der Wechselspannung mit dem Filterelement herausgefiltert werden.

In einer Ausführungsform weist das Filterelement zumindest eine erste Spule, welche elektrisch in Reihe mit der Leiterschleife geschaltet ist, und zumindest einen Kondensator, welcher elektrisch parallel zu der Leiterschleife geschaltet ist, auf. Wie bereits erwähnt, kann das Filterelement als LC-Tiefpassfilter ausgebildet sein. Somit kann auf einfache und kostengünstige Weise ein Filterelement bereitgestellt werden.

In einer weiteren Ausführungsform weist das Filterelement zumindest eine zweite Spule auf, welche mit dem zumindest einen Kondensator elektrisch parallel geschaltet ist. Eine Verminderung der über den zumindest einen Kondensator des LC-Filters abfließenden Stroms bei der Betriebsfrequenz kann durch eine zweite Spule erreicht werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn der entstehende Parallelschwingkreis auf die Betriebsfrequenz abgestimmt wird und somit als Sperrkreis wirkt.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn eine Induktivität der zumindest einen ersten Spule, eine Induktivität der zumindest einen zweiten Spule und/oder eine Kapazität des zumindest einen Kondensators einstellbar ist. Um die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung anzupassen, kann beispielsweise die Induktivität der ersten Spule beziehungsweise die Serieninduktivität des Filters angepasst werden. Hierzu kann beispielsweise eine erste Spule vorgesehen sein, die entsprechende Abgriffe beziehungsweise Zwischenabgriffe aufweist. Beispielsweise kann die Induktivität der ersten Spule erhöht oder erniedrigt werden. Dabei ist die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung, welche sich aus dem Filterelement und der Leiterschleife zusammensetzt, immer niedriger ist als die Resonanzfrequenz der kompensierten Leiterschleife alleine. Um die Filtergrenzfrequenz anzupassen, kann die Kapazität des Kondensators angepasst werden. Hierzu können auch zusätzliche Kondensatoren mit dem Kondensator verbunden werden. Somit kann auf einfache Weise die Gesamtresonanzfrequenz im Betrieb der Heizvorrichtung angepasst werden. Weiterhin wird es er-

möglichst, dass die Grenzfrequenz des Filterelements auf einfache Weise angepasst werden kann.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die zumindest eine erste Spule des Filterelements als separates Bauteil ausgebildet. Beispielsweise kann die erste Spule einen torodialen Aufbau aufweisen und als Ringspule ausgebildet sein. Eine derartige Ringspule weist den Vorteil auf, dass diese praktisch keine Streufelder aufweist. Zudem kann die erste Spule
10 somit einfach und kostengünstig bereitgestellt werden.

15 Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist zumindest eine erste Spule des Filterelements einteilig mit der Leiterschleife ausgebildet. Mit anderen Worten kann die erste Spule einen Abschnitt der kompensierten Leiterschleife bilden. Somit kann auf besonders kostengünstige Weise das Filterelement bereitgestellt werden.

20 Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn das Filterelement zwei erste Spulen aufweist, von denen die eine mit einem Hinleiter der Leiterschleife und die andere mit einem Rückleiter der Leiterschleife elektrisch in Reihe geschaltet ist, und zwei Kondensatoren aufweist, die elektrisch parallel mit dem Hinleiter und dem Rückleiter verbunden sind. Mit anderen Worten
25 kann das Filterelement als symmetrisch aufgebauter Tiefpassfilter mit zwei Spulen und zwei Kondensatoren gebildet sein. Durch den symmetrischen Aufbau des Filterelements kann einerseits eine zuverlässige Anpassung der Gesamtresonanzfrequenz ermöglicht werden. Andererseits kann die Wechselspannung der
30 Wechselspannungsquelle zuverlässig gefiltert werden.

35 In einer Ausführungsform ist zwischen den zwei Kondensatoren ein Erdungsanschluss vorgesehen. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da in der Realität infolge von Bauteiltoleranzen keine vollständige Symmetrie in der Filtereinrichtung erreicht werden kann. In diesem Fall kann der Erdungsanschluss mit einer Erdung verbunden sein. Die beiden Kondensatoren können dabei elektrisch in Reihe geschaltet sein, wobei sich

der Erdungsanschluss zwischen den beiden Kondensatoren befindet.

- Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die zwei ersten
5 Spulen induktiv gekoppelt. Mit anderen Worten können sich stark verkoppelte Zweige, die beispielsweise transformatorartig gekoppelt sind, ergeben, wenn die Spulenbindungen der beiden ersten Spulen beispielsweise entlang oder auf einer Achse liegen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Koppelfaktor
10 zwischen den ersten Spulen negativ sein muss, um die Filterwirkung zu erhalten. Dies kann beispielsweise durch eine gegensinnige Wicklung der beiden ersten Spulen erreicht werden.
- 15 Eine erfindungsgemäße Anordnung zur Förderung von Kohlenwasserstoffen aus einer Kohlenwasserstofflagerstätte umfasst eine erfindungsgemäße Heizvorrichtung. Darüber hinaus umfasst die Anordnung ein Förderrad zum Fördern des mittels der Heizvorrichtung erwärmten Kohlenwasserstoffs. Die Anordnung kann
20 zudem ein entsprechendes Rohr beziehungsweise einen Dampfinjektor aufweisen, durch welchen Wasserdampf, der mit einem Lösungsmittel versetzt sein kann, in die Kohlenwasserstofflagerstätte eingebracht werden kann.
- 25 Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte mittels einer Heizvorrichtung. Hierbei wird zumindest eine Leitereinrichtung bereitgestellt. Eine Leiterschleife der zumindest einen Leitereinrichtung wird zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte eingebracht. Die Leiterschleife bildet einen
30 Reihenschwingkreis mit einer Resonanzfrequenz aus, wobei die Leitereinrichtung eine Gesamtresonanzfrequenz aufweist, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife abhängig ist. Zudem wird eine Wechselspannungsquelle zum Bereitstellen
35 einer Wechselspannung mit der zumindest einen Leitereinrichtung elektrisch verbunden. Ferner wird mittels eines Filterelements der Leitereinrichtung die Gesamtresonanzfrequenz der

Leitereinrichtung angepasst und/oder die mit der Wechselspannungsquelle bereitgestellte Wechselspannung gefiltert.

Bevorzugt wird die Gesamtresonanzfrequenz zu vorbestimmten
5 Zeitpunkten bestimmt und die Gesamtresonanzfrequenz Leiter-
einrichtungen mittels des Filterelements an einen vorbestimm-
ten Sollwert angepasst wird. Die Gesamtresonanzfrequenz der
Leitereinrichtung kann sich in Abhängigkeit von der Zeit be-
ziehungsweise im Betrieb der Heizvorrichtung ändern. Dies ist
10 dadurch begründet, dass sich bei der Förderung des Kohlenwas-
serstoffs die Leitfähigkeit des Erdreichs in der Kohlenwas-
serstofflagerstätte und somit die Induktivität der Leiterein-
richtung ändert. Die Gesamtresonanzfrequenz kann zu vorbe-
stimmten Zeitpunkten mittels einer entsprechenden Messein-
15 richtung gemessen werden. Falls die gemessene Gesamtresonanz-
frequenz von dem Sollwert abweicht, kann diese mittels des
Filterelements angepasst werden. Dabei kann es auch vorgese-
hen sein, dass eine Mehrzahl von Leitereinrichtungen bereit-
gestellt wird und die jeweilige Gesamtresonanzfrequenz der
20 Mehrzahl von Leitereinrichtungen mittels der Filterelemente
derart angepasst, dass die jeweiligen Gesamtresonanzfrequen-
zen jeweils den vorbestimmten Sollwert aufweisen. Insbesonde-
re können die jeweiligen Gesamtresonanzfrequenzen mit den
Filterelementen derart angepasst werden, dass die jeweiligen
25 Gesamtresonanzfrequenzen der Mehrzahl von Leitereinrichtungen
im Wesentlichen gleich sind. Durch die jeweiligen Filterele-
mente in den Leitereinrichtungen kann es ermöglicht werden,
die Resonanzfrequenzen der jeweiligen Leitereinrichtungen im
Betrieb, der beispielsweise mehrere Jahre dauern kann, nach-
30 zustimmen. Somit kann erreicht werden, dass die jeweiligen
Leitereinrichtungen synchron betrieben werden. Das heißt, die
jeweiligen Leitereinrichtungen können mit der gleichen Fre-
quenz und einer festen Phasenlage bestromt werden. Somit kann
ein stabiler Betrieb über einen langen Zeitraum ermöglicht
35 werden.

Die zuvor im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Heizvor-
richtung beschriebenen Vorteile und Weiterbildungen gelten

entsprechend für die erfindungsgemäße Anordnung sowie für das erfindungsgemäße Verfahren.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprü-
5 chen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend
in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinati-
onen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung ge-
nannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale
und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils ange-
10 gebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen
oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfin-
dung zu verlassen.

Die Erfindung wird nun anhand von bevorzugten Ausführungsbei-
15 spielen sowie unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnun-
gen näher erläutert. Dabei zeigen:

FIG 1 eine Anordnung zur Förderung von Kohlenwasserstoff
aus einer Kohlenwasserstofflagerstätte, welche eine
20 Heizvorrichtung aufweist;

FIG 2 eine Heizvorrichtung gemäß einer ersten Ausfüh-
rungsform, welche eine Wechselspannungsquelle sowie
eine Leitereinrichtung mit einer Leiterschleife und
25 einem Filterelement aufweist;

FIG 3 eine Heizvorrichtung in einer weiteren Ausführungs-
form; und

30 FIG 4 eine Heizvorrichtung gemäß einer weiteren Ausfüh-
rungsform, die eine Mehrzahl von Wechselspannungs-
quellen und Leitereinrichtungen aufweist.

In den Figuren werden gleiche und funktionsgleiche Elemente
35 mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Anordnung 1
zur Förderung von Kohlenwasserstoff aus einer Kohlenwasser-

stofflagerstätte 3. Die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 kann eine Lagerstätte für konventionelles Öl, eine Ölsandlagerstätte, eine Ölschieferlagerstätte, eine Schweröllagerstätte und/oder eine Bitumenlagerstätte sein. Der Kohlenwasserstoff
5 kann ein Gas, ein konventionelles Öl, ein Schweröl, ein extra schweres Öl, ein Ölsand und/oder Bitumen sein.

Bei der Anordnung 1 von FIG 1 wird üblicherweise gemäß dem SAGD-Verfahren mittels eines Rohrs 2 beziehungsweise eines
10 Dampfinjektors, der innerhalb der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 angeordnet ist, Wasserdampf in die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 eingebracht. Der Wasserdampf kann zudem mit einem Lösungsmittel versetzt sein. Dies bewirkt, dass sich der Kohlenwasserstoff aus der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 heraus-
15 löst und mit einem Förderrohr 4 abtransportiert werden kann. Der Kohlenwasserstoff, der bei dem SAGD-Verfahren gefördert wird, ist insbesondere Schweröl und/oder Bitumen. Zudem weist die Anordnung 1 eine Heizvorrichtung 5 auf, mittels welcher die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 bereichsweise erwärmt be-
20 ziehungsweise geheizt werden kann.

Die Heizvorrichtung 5 umfasst eine Leitereinrichtung 6. Zudem weist die Heizvorrichtung 5 eine Wechselspannungsquelle 7 auf, der elektrisch mit der Leitereinrichtung 6 verbunden
25 ist. Mittels der Wechselspannungsquelle 7 kann eine Wechselspannung an der Leitereinrichtung 6 angelegt werden beziehungsweise ein Wechselstrom in die Leitereinrichtung 6 eingeprägt werden. Dies hat zur Folge, dass in der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 Wirbelströme entstehen, welche die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 bereichsweise erwärmen. Die Heizvorrichtung 5 kann - wie in FIG 1 dargestellt - bei dem SAGD-Verfahren eingesetzt werden. Die Heizvorrichtung 5 kann auch bei einem Förderungsverfahren verwendet werden, bei dem kein Wasserdampf in die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 eingebracht
35 wird.

Die Anordnung und die Abmessungen der Leitereinrichtung 6 sowie des Rohrs 2 und des Förderrohrs 4 in FIG 1 sind rein bei-

spielhaft zu verstehen. Die Hin- und Rückleiter der Leitereinrichtung 6 weisen in der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 üblicherweise einen gewissen Mindestabstand auf, der beispielsweise zwischen 20 und 100 Metern in horizontaler Richtung betragen kann. Andernfalls kompensieren sich die Magnetfelder der entgegengesetzt verlaufenden Ströme weitgehend und es wird keine Heizleistung in die Kohlenwasserstofflagerstätte 3 eingebracht. Dagegen sind eng aneinander verlaufende Hin- und Rückleiter bei der Durchführung durch Deckgebirge sinnvoll, um dort die Verluste zu minimieren. Beim SAGD-Verfahren werden das Rohr 2 und ein darunterliegender Produzent üblicherweise übereinander mit einem vertikalen Abstand von circa fünf Metern angeordnet.

FIG 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Heizvorrichtung 5 gemäß einer ersten Ausführungsform. Die Heizvorrichtung 5 umfasst die Wechselspannungsquelle 7, die elektrisch mit der Leitereinrichtung 6 verbunden ist. Die Leitereinrichtung 6 umfasst eine Leiterschleife 9, die in eine Bohrung der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 eingebracht ist. Die Leiterschleife 9 umfasst wiederum einen Hinleiter 10 und einen Rückleiter 11. Die Leiterschleife 9 kann als Reihenschwingkreis interpretiert werden. Der Reihenschwingkreis beziehungsweise die Leiterschleife 9 umfasst eine Spule L, einen Kondensator C und einen Widerstand R. Die Induktivität L der Leiterschleife 9 ergibt sich aus der Geometrie der Leiterschleife beziehungsweise der Bohrung, dem Leitungsquerschnitt und/oder der Leitfähigkeit des umgebenden Erdreichs in der Kohlenwasserstofflagerstätte 3. Die Leiterschleife 9 umfasst insbesondere eine Mehrzahl von hier nicht dargestellten Kondensatoren, die zur Blindleitungskompensation dienen. Hierdurch wird die Kapazität des Kondensators C bestimmt. Der Widerstand R ergibt sich durch den elektrischen Widerstand der Leiterschleife 9.

Darüber hinaus umfasst die Heizvorrichtung 5 ein Filterelement 12. Das Filterelement 12 ist insbesondere als passives Tiefpassfilter ausgebildet. Das Filterelement 12 umfasst zu-

mindest eine erste Spule L1 und zumindest einen Kondensator C1. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel umfasst das Filterelement 12 zwei erste Spulen L1, von denen eine elektrisch in Reihe mit dem Hinleiter 10 verbunden ist und die andere elektrisch in Reihe mit dem Rückleiter 11 verbunden ist. Zudem umfasst das Filterelement 12 zwei Kondensatoren C1, die elektrisch parallel mit dem Hinleiter 10 und dem Rückleiter 11 verbunden sind. Mit dem Filterelement 12 kann eine Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung 6 angepasst werden. Mit dem Filterelement kann insbesondere eine Resonanzfrequenz des Reihenschwingkreises der Leiterschleife 9 verändert werden. Hierzu können beispielsweise die Induktivitäten der ersten Spulen L1 angepasst werden.

Zudem dient das Filterelement 12 dazu, die mit der Wechselspannungsquelle 7 bereitgestellte Wechselspannung zu filtern. Die Filtergrenzfrequenz kann beispielsweise durch die Anpassung der Kondensatoren C1 eingestellt werden. Die Grenzfrequenz f_g des Filterelements 12 kann nach folgender Formel bestimmt werden:

$$f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}}.$$

Dabei soll die Filtergrenzfrequenz größer als die Resonanzfrequenz der Leiterschleife 9 und kleiner als die doppelte Resonanzfrequenz der Leiterschleife 9 sein.

Das Filterelement 12 weist zudem einen Erdungsanschluss 13 auf, der mit einer Erdung 14 verbunden werden kann. Der Anschluss der Erdung ist vorliegend gestrichelt dargestellt, da bei dem dargestellten symmetrischen Aufbau der Schaltung beziehungsweise des Filterelements 12 keine Erdungsströme fließen und der Anschluss daher keine Wirkung hat. In der Realität wird infolge von Bauteiltoleranzen aber keine vollständige Symmetrie erreicht werden, damit die Erdung sinnvoll ist. Hier kann es auch vorgesehen sein, bei der Wechselspannungsquelle einen Ausgangstransformator mit einer Sekundärwicklung

vorzusehen, der Teil eines Wechselrichters ist, und der einen geerdeten Mittelabgriff aufweist.

FIG 3 zeigt eine Heizvorrichtung 5 gemäß einer weiteren Ausführungsform. Hierbei weist das Filterelement 12 zwei zweite Spulen L2 auf, die jeweils parallel zu den Kondensatoren C1 geschaltet sind. Durch die weiteren Spulen L2 im Parallelzweig kann eine Verminderung der über die Kondensatoren C1 des Filterelements 12 abfließenden Ströme erreicht werden.

10 Dies ist insbesondere der Fall, wenn der entstehende Parallelschwingkreis auf die Betriebsfrequenz abgestimmt wird und somit als Sperrkreis wirkt.

FIG 4 zeigt eine Heizvorrichtung 5 gemäß einer weiteren Ausführungsform. Hier weist die Heizvorrichtung 5 eine Mehrzahl von Wechselspannungsquellen 7 und eine Mehrzahl von Leiterschleifen 6 auf. Dabei ist jeweils eine Wechselspannungsquelle 7 mit einer Leiterschleife 6 elektrisch verbunden. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die jeweiligen Filterelemente 12 der Leitereinrichtungen 6 durch eine erste Spule L1 und einen Kondensator C1 gebildet. Hier wird zur Erschließung und Ausbeutung großflächiger Kohlenwasserstofflagerstätten 3 eine Mehrzahl von Leitereinrichtungen 6 zur Heizung der Kohlenwasserstofflagerstätte 3 verwendet. Dabei sind die benachbarten Leiterschleifen 9 aufgrund ihrer räumlichen Nähe induktiv gekoppelt. Vorliegend können die jeweiligen Filterelemente 12 so angepasst werden, dass ein synchroner Betrieb der jeweiligen Leitereinrichtungen 6 ermöglicht werden kann. Hierbei können die Leiterschleifen 9 mit gleicher Frequenz und fester Phasenlage bestromt werden, da damit den beteiligten Wechselspannungsquellen 7 eine konstante Lastimpedanz geboten werden kann. Auf diese Weise kann ein stabiler Betrieb über einen großen Zeitraum ermöglicht werden. Insbesondere können Überspannungen an der Wechselspannungsquelle 7 beziehungsweise den Wechselrichtern vermieden werden, die sich beim Betrieb der jeweiligen Leitereinrichtungen 6 mit unterschiedlichen Frequenzen aus der Überlagerung der Wellenspannungen und induzierten Spannungen ergeben können.

Auch durch die Festlegung der Geometrie der jeweiligen Leiterschleifen 9, die durch die Bohrkurve gegeben ist, und durch die Anzahl und Größe der Serienkapazitäten, die in der
5 Leiterschleife 9 eingebracht werden, können sich zwischen den einzelnen Leitereinrichtungen 6 unterschiedliche Gesamtresonanzfrequenzen ergeben. Diese können durch die jeweiligen Filterelemente 12 angepasst werden. So können die Gesamtresonanzfrequenzen der jeweiligen Leitereinrichtungen 6 über
10 einen Betrieb der Heizvorrichtung, der beispielsweise mehrere Jahre andauern kann, ermöglicht werden. Somit kann Kohlenwasserstoff aus großen Kohlenwasserstofflagerstätten 3 gewonnen werden. Durch die jeweiligen Filterelemente 12 kann der synchrone Betrieb der benachbarten Leitereinrichtungen 6 ermöglicht
15 werden. Das jeweilige Filterelement 12 kann beispielsweise zur Realisierung einer Tiefpassfilterung vorhanden sein. In diesem Fall können die jeweiligen Bauteile der Filterelemente 12 geeignet ausgelegt werden. Somit kann auf zusätzliche Bauteile verzichtet werden und somit Kosten eingespart
20 werden.

Patentansprüche

1. Heizvorrichtung (5) zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte (3) mit zumindest einer Leitereinrichtung (6), wobei die Leitereinrichtung (6) eine Leiterschleife (9) aufweist, welche zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte (3) einbringbar ist, wobei die Leiterschleife (9) einen Reihenschwingkreis (8) mit einer Resonanzfrequenz ausbildet und wobei die Leitereinrichtung (6) eine Gesamtresonanzfrequenz aufweist, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife (9) abhängig ist, und mit zumindest einer Wechselspannungsquelle (7) zum Bereitstellen einer Wechselspannung, welche mit der zumindest einen Leitereinrichtung (6) elektrisch verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitereinrichtung (6) ein Filterelement (12) zum Anpassen der Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung (6) und/oder zum Filtern der von der Wechselspannungsquelle (7) bereitgestellten Wechselspannung aufweist.
2. Heizvorrichtung (5) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Filterelement (12) als Tiefpassfilter ausgebildet ist, wobei eine Grenzfrequenz des Filterelements (12) größer als die Resonanzfrequenz der Leiterschleife (9) und kleiner als die doppelte Resonanzfrequenz der Leiterschleife (9) ist.
3. Heizvorrichtung (5) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Filterelement (12) zumindest eine erste Spule (L1), welche mit der Leiterschleife (9) elektrisch in Reihe geschaltet ist, und zumindest einen Kondensator (C1), welcher elektrisch parallel zu der Leiterschleife (9) geschaltet ist, aufweist.
4. Heizvorrichtung (5) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Filterelement (12) zumindest eine zweite Spule (L2) aufweist, welche elektrisch parallel zu dem zumindest einen Kondensator (C1) geschaltet ist.

5. Heizvorrichtung (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Induktivität der zumindest einen ersten Spule (L1), eine Induktivität der zumindest einen zweiten Spule (L2) und/oder eine Kapazität des zumindest einen Kondensators (C1) einstellbar ist.

6. Heizvorrichtung (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine erste Spule (L1) des Filterelements (12) als separates Bauteil ausgebildet ist.

7. Heizvorrichtung (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine erste Spule (L1) des Filterelements (12) einteilig mit der Leiterschleife (9) ausgebildet ist.

8. Heizvorrichtung (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Filterelement (12) zwei erste Spulen (L1) aufweist, von denen die eine mit einem Hinleiter (10) der Leiterschleife (9) und andere mit einem Rückleiter (11) der Leiterschleife (9) elektrisch in Reihe geschaltet ist, und zwei Kondensatoren (C1) aufweist, die elektrisch parallel zu dem Hinleiter (10) und zu dem Rückleiter (11) geschaltet sind.

9. Heizvorrichtung (5) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den zwei Kondensatoren (C1) ein Erdungsanschluss (13) vorgesehen ist.

10. Heizvorrichtung (5) nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei ersten Spulen (L1) induktiv gekoppelt sind.

11. Heizvorrichtung (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizvorrichtung (5) eine Mehrzahl von Leitereinrichtungen (6) aufweist.

12. Anordnung (1) zur Förderung von Kohlenwasserstoff aus einer Kohlenwasserstofflagerstätte (3) mit einer Heizvorrichtung (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Erwärmen des Kohlenwasserstoffs und mit einem Förderrohr (4) zum Fördern des mittels der Heizvorrichtung (5) erwärmten Kohlenwasserstoffs.

13. Verfahren zur induktiven Heizung einer Kohlenwasserstofflagerstätte (3) mittels einer Heizvorrichtung (5), bei welchem zumindest eine Leitereinrichtung (6) bereitgestellt wird, eine Leiterschleife (9) der zumindest einen Leitereinrichtung (6) zumindest bereichsweise in die Kohlenwasserstofflagerstätte (3) eingebracht wird, wobei die Leiterschleife (9) einen Reihenschwingkreis (8) mit einer Resonanzfrequenz ausbildet und wobei die Leitereinrichtung (6) eine Gesamtresonanzfrequenz aufweist, welche von der Resonanzfrequenz der Leiterschleife (9) abhängig ist, und bei welchem zumindest eine Wechselspannungsquelle (7) zum Bereitstellen einer Wechselspannung mit der zumindest einen Leitereinrichtung (6) elektrisch verbunden wird, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Filterelements (12) der Leitereinrichtung (6) die Gesamtresonanzfrequenz der Leitereinrichtung (6) angepasst wird und/oder die von der Wechselspannungsquelle (7) bereitgestellte Wechselspannung gefiltert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesamtresonanzfrequenz zu vorbestimmten Zeitpunkten bestimmt wird und die Gesamtresonanzfrequenz Leitereinrichtungen (6) mittels des Filterelements (12) an einen vorbestimmten Sollwert angepasst wird.

FIG 1

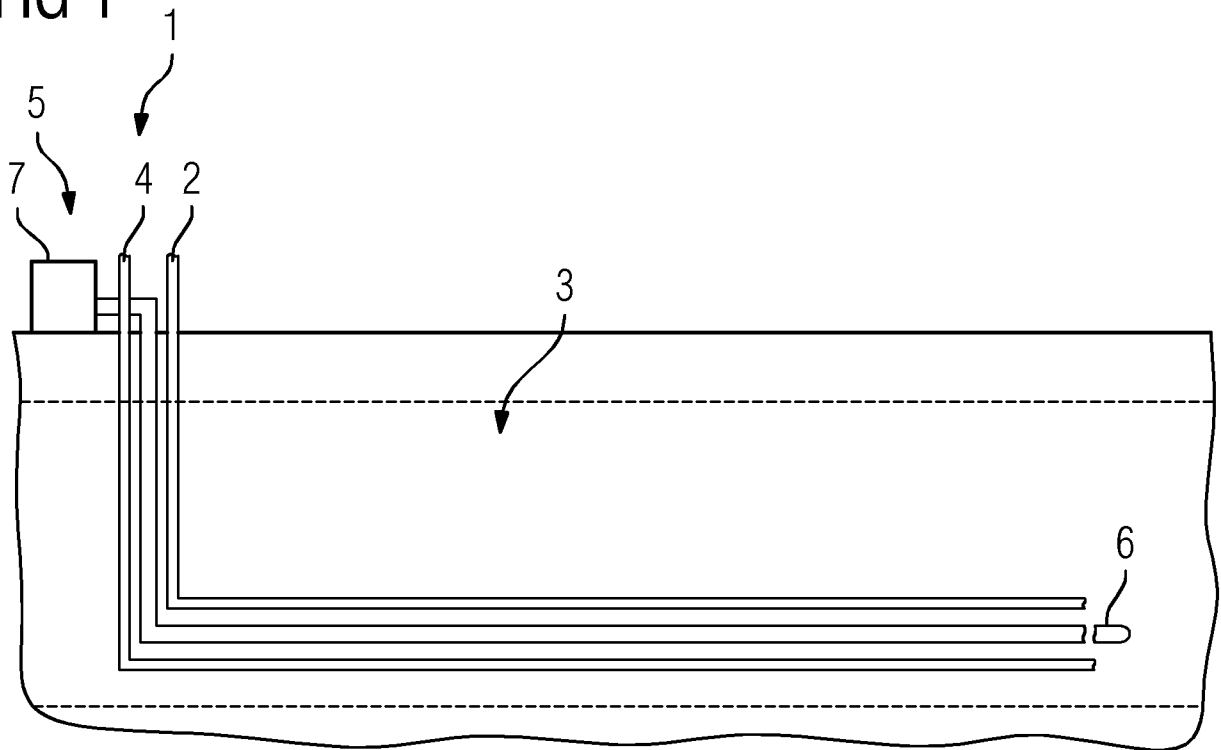


FIG 2

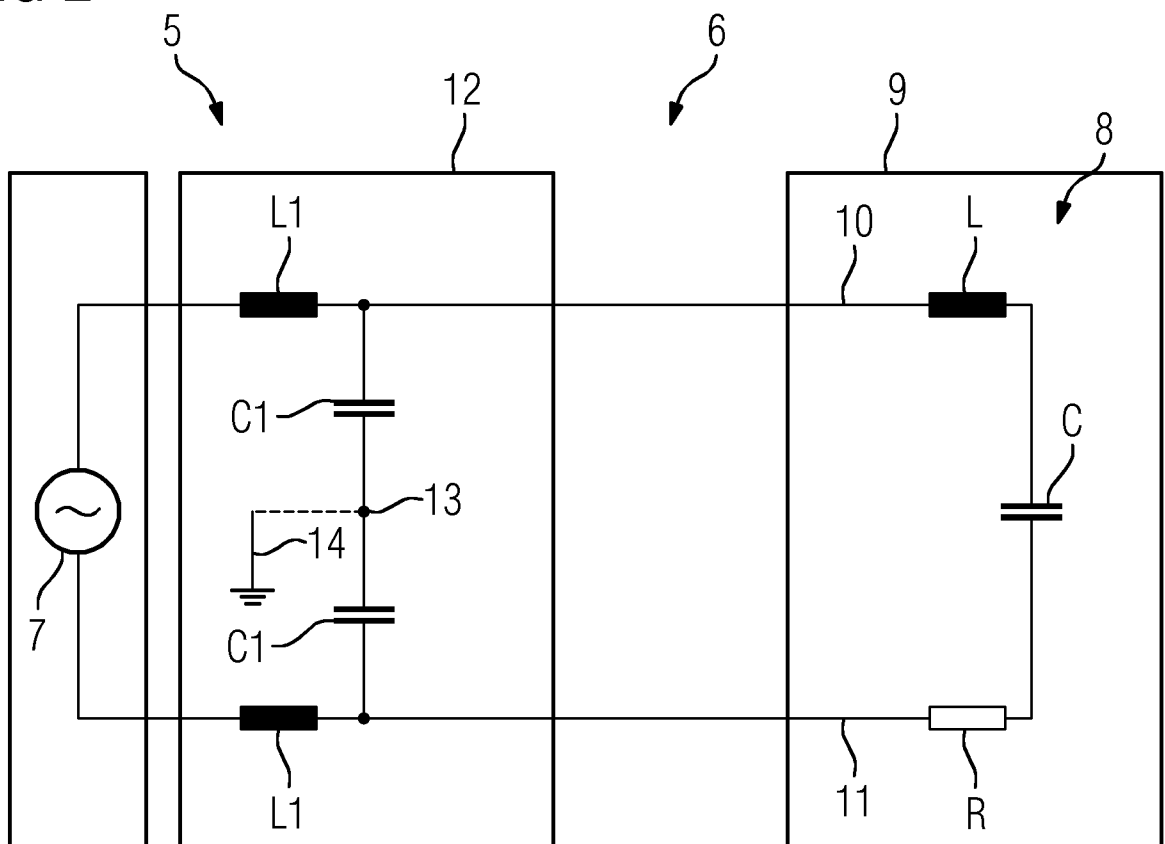


FIG 3

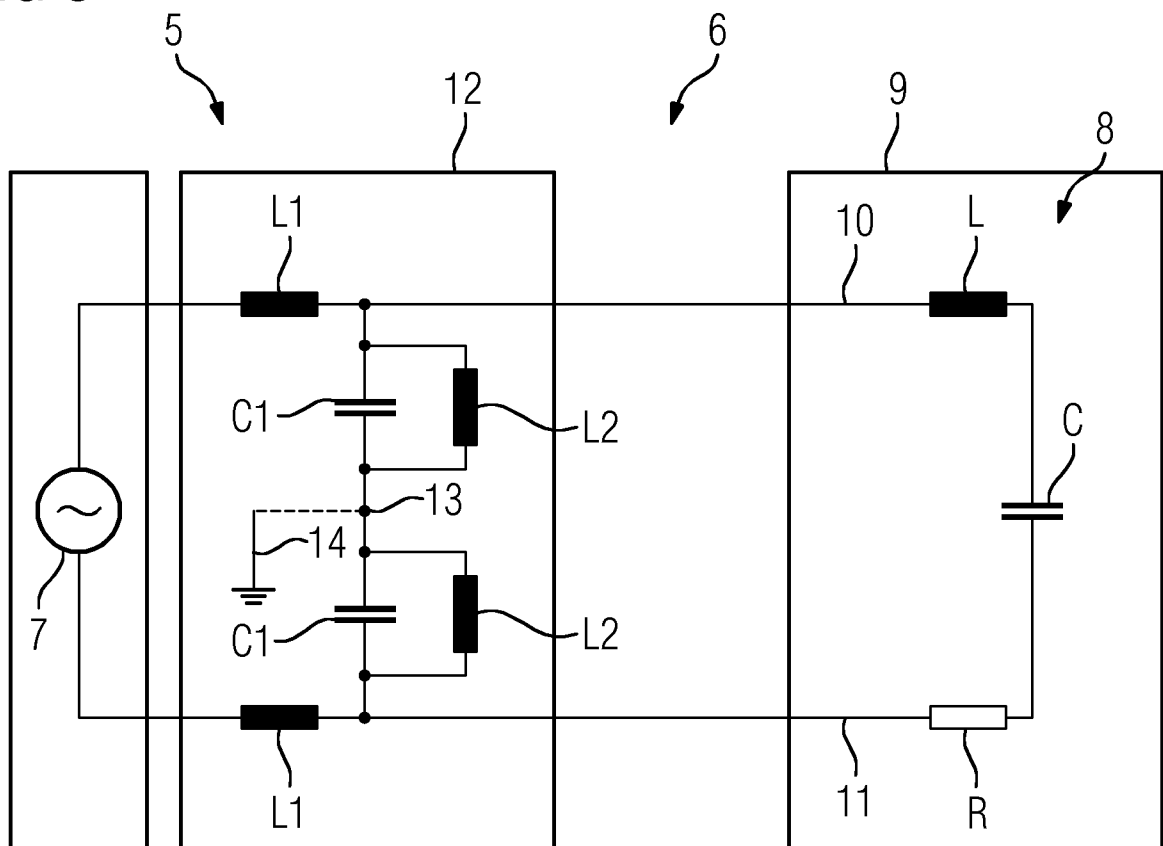
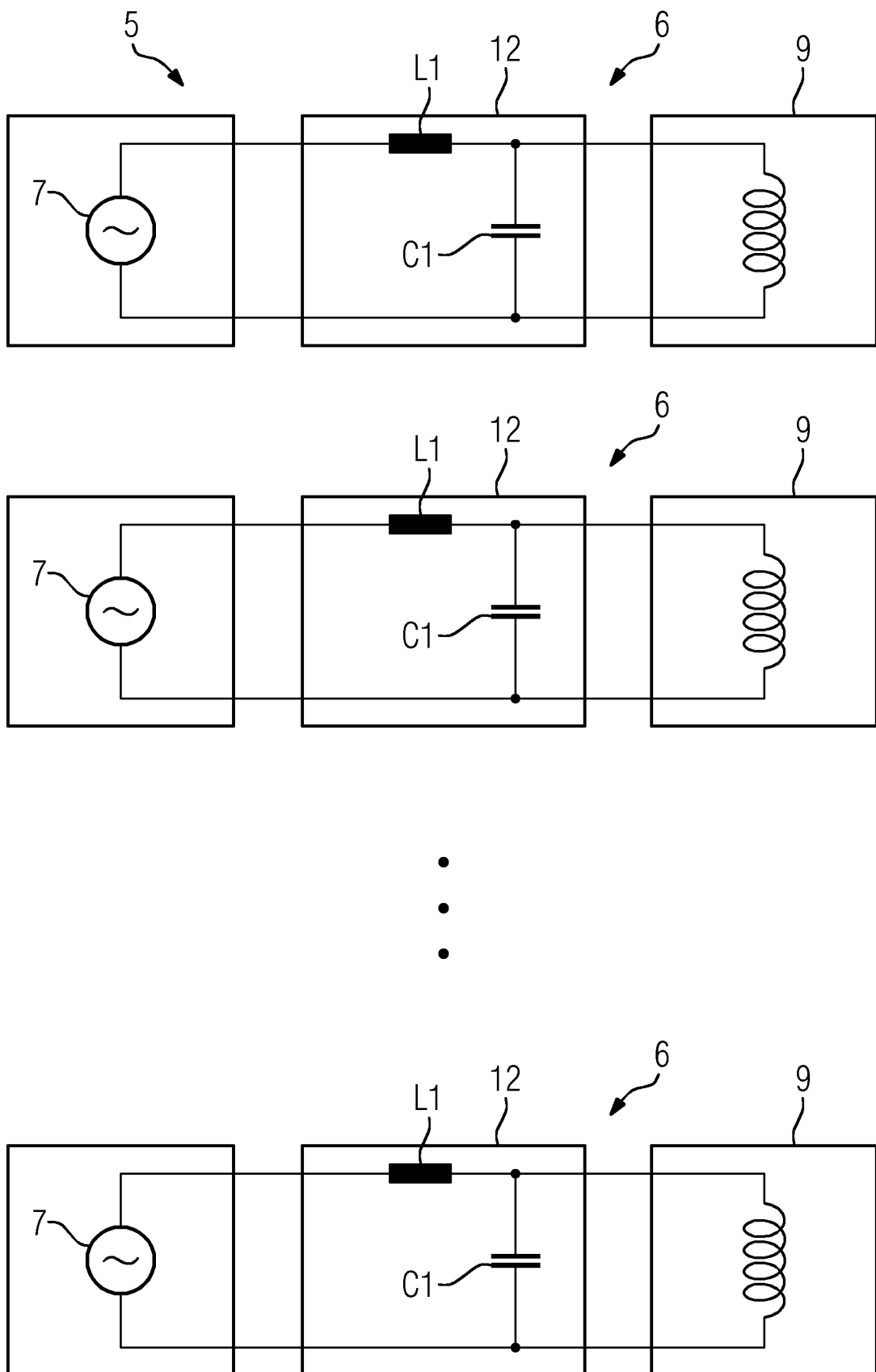


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/059531

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H05B6/10 E21B43/24
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)

H05B E21B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2009/027305 A2 (SIEMENS AG [DE]; DIEHL DIRK [DE]; HUBER NORBERT [DE]; WACKER BERND [DE] 5 March 2009 (2009-03-05) page 6, line 10 - page 7, line 2; figures 1,2 page 13, line 8 - line 20; figure 8 -----	1-14
X	US 2014/110104 A1 (PARSCHE FRANCIS E [US]) 24 April 2014 (2014-04-24) paragraph [0022] - paragraph [0023]; figure 1 paragraph [0036] -----	1-14
X	DE 10 2010 043302 A1 (SIEMENS AG [DE]) 29 March 2012 (2012-03-29) paragraph [0022] - paragraph [0024]; figure 2 paragraph [0048] -----	1-14



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

5 July 2016

Date of mailing of the international search report

14/07/2016

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

Gea Haupt, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/059531

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009027305 A2	05-03-2009	CA 2697820 A1	05-03-2009
		DE 102008022176 A1	12-11-2009
		RU 2010111804 A	10-10-2011
		US 2011042063 A1	24-02-2011
		WO 2009027305 A2	05-03-2009

US 2014110104 A1	24-04-2014	US 2014110104 A1	24-04-2014
		WO 2014062908 A2	24-04-2014

DE 102010043302 A1	29-03-2012	CA 2812711 A1	05-04-2012
		DE 102010043302 A1	29-03-2012
		EP 2633153 A1	04-09-2013
		WO 2012041877 A1	05-04-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H05B6/10 E21B43/24
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H05B E21B

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2009/027305 A2 (SIEMENS AG [DE]; DIEHL DIRK [DE]; HUBER NORBERT [DE]; WACKER BERND [DE] 5. März 2009 (2009-03-05) Seite 6, Zeile 10 - Seite 7, Zeile 2; Abbildungen 1,2 Seite 13, Zeile 8 - Zeile 20; Abbildung 8 -----	1-14
X	US 2014/110104 A1 (PARSCHE FRANCIS E [US]) 24. April 2014 (2014-04-24) Absatz [0022] - Absatz [0023]; Abbildung 1 Absatz [0036] -----	1-14
X	DE 10 2010 043302 A1 (SIEMENS AG [DE]) 29. März 2012 (2012-03-29) Absatz [0022] - Absatz [0024]; Abbildung 2 Absatz [0048] -----	1-14



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

5. Juli 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/07/2016

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

Gea Haupt, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/059531

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009027305 A2	05-03-2009	CA 2697820 A1	05-03-2009
		DE 102008022176 A1	12-11-2009
		RU 2010111804 A	10-10-2011
		US 2011042063 A1	24-02-2011
		WO 2009027305 A2	05-03-2009

US 2014110104 A1	24-04-2014	US 2014110104 A1	24-04-2014
		WO 2014062908 A2	24-04-2014

DE 102010043302 A1	29-03-2012	CA 2812711 A1	05-04-2012
		DE 102010043302 A1	29-03-2012
		EP 2633153 A1	04-09-2013
		WO 2012041877 A1	05-04-2012
