

(19)



(11)

EP 1 513 168 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
08.03.2017 Patentblatt 2017/10

(51) Int Cl.:
H01F 13/00 ^(2006.01) *H01F 7/18* ^(2006.01)
H01F 17/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04405528.3**

(22) Anmeldetag: **24.08.2004**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Magnetisieren eines Magnetsystems**

Method and apparatus for magnetising a magnet system

Méthode et dispositif de magnétisation d'un système magnétique

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **02.09.2003 CH 150603**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.03.2005 Patentblatt 2005/10

(73) Patentinhaber: **Maurer, Albert
8624 Grüt (CH)**

(72) Erfinder:
• **Maurer, Albert
8624 Grüt (CH)**

- **Meyer, Urs
8172 Niederglatt (CH)**
- **Haas, Stefan
8044 Zürich (CH)**
- **Müller, Olivier
8303 Bassersdorf (CH)**

(74) Vertreter: **Schneider Feldmann AG
Patent- und Markenanwälte
Beethovenstrasse 49
Postfach
8027 Zürich (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 101 922 US-A- 5 469 321
US-B1- 6 249 444**

EP 1 513 168 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Magnetisieren eines Magnet-systems gemäss den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche. Die Erfindung eignet sich z. B. dafür, Dauermagnete aus Seltenerd-Materialien auf dem Rotor eines Elektromotors zu magnetisieren und magnetisch zu verankern. Sie kann in automatisierten Magnetisierungsanlagen mit geringen Taktzeiten bzw. hohen Stückzahlen eingesetzt werden.

[0002] Es ist bekannt, zum Magnetisieren von Dauermagneten eine Magnetisierspule zu verwenden. Die Magnetisierspule wird unmittelbar über dem zu magnetisierenden Magnetkörper oder um ihn herum angeordnet. Der Magnetisierspule ist ein aufgeladener Kondensator zugeordnet, welcher über die Spule entladen wird. Das in der Magnetisierspule kurzfristig aufgebaute Magnetfeld magnetisiert den Magnetkörper. Um ein genügend grosses Magnetfeld aufzubauen, muss eine Magnetisierspule mit vielen Windungen bzw. einer grossen Induktivität verwendet werden. Die üblichen Pulsdauern betragen 10 ms oder mehr. Dabei wird beobachtet, dass sich die Magnetisierspule unerwünschterweise stark erwärmt, was eine hohe Taktfrequenz verunmöglicht und den Einsatz von aufwändigen Kühlsystemen bedingt.

[0003] Ein für den Betrieb von gattungsgemässen Magnetisiervorrichtungen geeigneter elektrischer Puls-generator ist in der DE-28'06'000 offenbart. Dieser Puls-generator beinhaltet eine Schaltung zur Energierückgewinnung mit zwei Kondensatoren oder zwei gleichzeitig gezündeten Hochstrom-Schaltern.

[0004] Dauermagnete aus Seltenerd-Materialien wie Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) lösen zur Zeit die in grossen Stückzahlen eingesetzten Ferritmagnete ab. Sie sind wegen ihrer hohen Koerzitivkraft erheblich schwieriger zu magnetisieren. Während für die Magnetisierung herkömmlicher Magnete aus Magnetlegierungen oder Ferriten eine magnetische Feldstärke von 800 kA/m genügt, verlangen die modernen Magnete 1600-4000 kA/m. Die letztgenannte Feldstärke liegt höher als der Sättigungsgrad von allen bekannten ferromagnetischen Materialien. Ein Eisenrückschluss für die Magnetisierspule hat deshalb höchstens noch eine unterstützende Wirkung, kann aber keine Feldkonzentration mehr bewirken. Für das Magnetisieren müssen deshalb Luftspulen eingesetzt werden. Diese haben einen wesentlich schlechteren Wirkungsgrad in der Magnetisierung, weil sich das Magnetfeld nicht auf den Magneten konzentrieren lässt. Deshalb müssen wesentlich höhere Leistungen in die Spule gebracht werden, und deren unerwünschte Erwärmung ist entsprechend grösser.

[0005] Konventionelle Magnetisierungsanlagen arbeiten mit Pulsdauern von 10 ms oder mehr. Solche Pulsdauern ergeben genügende Eindringtiefen des Magnetfeldes auch in elektrisch leitfähigen Materialien, wo die Ausbreitung magnetischer Felder durch Wirbelströme verzögert wird. Sie erlauben weiter den Einsatz von kostengünsti-

gen Elektrolytkondensatoren zur Energiespeicherung für den Magnetisierpuls und die Anwendung von Halbleiterschaltern für die Netzfrequenz. Für einzelne Magnetisierungen in Labor und Fertigungsbereich eignet sich diese Technik gut, nicht jedoch für die Serienfertigung. In der Serienfertigung fehlt die Zeit zum Abkühlen der Magnetisierspule zwischen den einzelnen Magnetisiervorgängen. Für moderne Dauermagnete mit hoher Koerzitivkraft ist die Leistung einer solchen Magnetisierungsanlage in der Serienfertigung begrenzt.

[0006] Bei beengtem Raum für die Magnetisierspule lassen sich Magnete im montierten Zustand mit herkömmlichen Methoden kaum magnetisieren. In diesem Fall werden bereits vorher magnetisierte Dauermagnete in das Magnetsystem eingebaut, was besondere Anforderungen an die Montage stellt. Die Handhabung von magnetisierten Dauermagneten und Magnetsystemen ist heikel, weil ferromagnetische Partikel jeder Art angezogen werden und sich kaum mehr entfernen lassen. Dasselbe gilt für Absplittierungen der Magnete, wie sie sich bei einem zufälligen Aufprall der Dauermagnete zwangsläufig ergeben. Ohne Magnetisierungspulse kommt die in der DE-100'49'766 offenbarte Anordnung zum Magnetisieren von Magnetsystemen aus. Gemäss dieser Schrift wird eine aus einem kühlbaren Hochtemperatursupraleiter aufgebaute Magnetisierspule verwendet, welche durch eine regelbare Gleichstromquelle gespeist wird. Diese Anordnung erfordert eine aufwändige Kühlung und verbraucht viel Energie. Die Magnetisierspule aus einem Hochtemperatursupraleiter ist teuer und störungsanfällig.

[0007] In der DE-39'34'691 ist eine Vorrichtung beschrieben, bei welcher die Magnete in einen stromdurchflossenen Leiter geschoben werden. Ein Magnetisieren von vormontierten Magneten ist mit dieser Vorrichtung nicht zu erreichen. Die in der DE-39'34'691 erwähnte Parallelisierung bezieht sich auf nebeneinander liegende Leiter zum Magnetisieren von langen Stabmagneten beziehungsweise zur mehrpoligen Magnetisierung.

[0008] US 5,469,321 offenbart den Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0009] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Magnetisierung von Dauermagneten anzugeben, welche die oben genannten Nachteile nicht aufweisen. Das Verfahren und die Vorrichtung sollen es insbesondere ermöglichen, auch Dauermagnete aus Seltenerd-Materialien in Serienfertigung mit hoher Taktrate von einer Sekunde oder weniger zu magnetisieren und so eine hohe Produktivität zu gewährleisten. Das Verfahren und die Vorrichtung sollen für den Einsatz in einer automatisierten Produktionsanlage geeignet sein, wobei sie auch das Magnetisieren von bereits auf Rotoren aufbandagierten Magneten zulassen sollen. Sie sollen energiesparend arbeiten und mit Luftkühlung auskommen. Ferner soll die Vorrichtung kompakt, robust sowie kostengünstig sein und nach Möglichkeit Standardkomponenten verwenden.

[0010] Diese und andere Aufgaben werden durch das

Verfahren bzw. die Vorrichtung gelöst, wie sie in den unabhängigen Patentansprüchen definiert sind. Vorteilhaft ausgeführte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Gemäss der Erfindung wird das zu magnetisierende Material mit einem durch eine Magnetisierspule fliessenden Strompuls bzw. dem durch die Magnetisierspule aufgebauten Magnetfeld magnetisiert und magnetisch verankert. Der Magnetisierung durch das Magnetfeld steht die Erwärmung der Magnetisierspule entgegen. Daher muss der Strompuls genug kurz sein, um keine zu hohe Erwärmung zu verursachen. Erfindungsgemäss wird ein Strompuls mit einer Pulsdauer zwischen 10 μ s und 500 μ s und vorzugsweise zwischen 10 μ s und 200 μ s verwendet. Der Strompuls muss aber gleichzeitig genug stark sein, um ein für die Magnetisierung genügendes Magnetfeld aufzubauen. Der dazu erforderliche kurze Puls mit starkem Magnetfeld wird vorzugsweise durch Superposition von mehreren Magnetisierspulen mit geringer Windungszahl erreicht.

[0012] Dementsprechend wird im erfindungsgemässen Verfahren zum Magnetisieren eines Magnetsystems dem Magnetsystem eine Magnetisierspule zugeordnet. Die Magnetisierspule wird mit einem Strompuls mit begrenzter Pulsdauer beaufschlagt, wodurch ein mit dem Magnetsystem wechselwirkendes Magnetfeld aufgebaut wird. Dabei wird die Pulsdauer des Strompulses auf einen Wert zwischen 10 μ s und 500 μ s und vorzugsweise zwischen 10 μ s und 200 μ s begrenzt. In einer bevorzugten Ausführungsform werden dem Magnetsystem mindestens zwei Magnetisierspulen zugeordnet und derart gegenseitig angeordnet, dass sich ihre Magnetfelder verstärkend überlagern, und die Magnetfelder der mindestens zwei Magnetisierspulen werden gleichzeitig aufgebaut.

[0013] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zum Magnetisieren eines Magnetsystems beinhaltet eine Pulsgeneratorschaltung mit einem Kondensatorelement, einer mit dem Kondensatorelement elektrisch verbundenen Magnetisierspule und einem Schaltelement, durch dessen Betätigung die Magnetisierspule mit einem durch Entladung des Kondensatorelements entstehenden Strompuls mit begrenzter Pulsdauer beaufschlagbar und somit der Aufbau eines Magnetfeldes auslösbar ist. Die Pulsgeneratorschaltung ist derart aufgebaut, dass die Pulsdauer des Strompulses auf einen Wert zwischen 10 μ s und 500 μ s und vorzugsweise zwischen 10 μ s und 200 μ s begrenzt ist.

[0014] In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens zwei Magnetisierspulen vorhanden und derart gegenseitig angeordnet, dass sich ihre Magnetfelder verstärkend überlagern, und mindestens ein Schaltelement ist derart angeordnet und betätigbar, dass die mindestens zwei Magnetisierspulen gleichzeitig mit je einem Strompuls beaufschlagbar sind. Jeder der mindestens zwei Magnetisierspulen kann ein Schaltelement zugeordnet sein, wobei diesfalls die Vorrichtung ferner Betätigungsmittel aufweist, mittels welcher die mindestens

zwei Schaltelemente gleichzeitig betätigbar sind.

[0015] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist die Pulsgeneratorschaltung mehrfach, bspw. vier- bis zwölfmal, vorhanden, was im Folgenden als "parallele Vervielfachung" oder "Parallelisierung" der Pulsgeneratorschaltung bezeichnet wird. Dank der parallelen Vervielfachung kann die Induktivität der Magnetisierspule und der die Kapazität des Kondensatorelements im Schwingkreis klein gehalten werden. Dadurch ergeben sich die erforderlichen kurzen Pulsdauern von bspw. 100 μ s; trotzdem werden genügend hohe Magnetfelder erzeugt, um auch moderne, anspruchsvolle Magnetsysteme zu magnetisieren.

[0016] Für eine Reduktion der Wärmeenergie, die in der Magnetisierspule freigesetzt wird, ist also der Magnetisierungspuls in seiner Dauer zu begrenzen. Die übliche Entladeschaltung mit Freilaufdiode setzt einen wesentlichen Anteil der im Kondensator gespeicherten Impulsenergie beim exponentiell abfallenden Ende des Pulses um. Dieser Abschnitt hat aber keine magnetisierende Wirkung mehr. Mit einer neuartigen Schaltung, die im Pfad der Freilaufdiode eine Speicherdrosselspule aufweist, lässt sich das exponentielle Auslaufen des Stromes in der Magnetisierspule unterdrücken und die darin steckende Energie grossenteils zurückgewinnen. Die induktive Rückführung ermöglicht das zweite Umschwingen der Kondensatorspannung und verhindert dadurch die ohmschen Verluste durch Ausschwingen. Die verbleibende Energie lädt das Kondensatorelement bereits für den nächsten Puls wieder auf. Somit wird ein geringer Energieverbrauch erzielt, und es ist keine aufwändige Kühlung der Spule nötig. Das zweite Umschwingen über die induktive Rückführung ergibt bei einer vierfachen Parallelisierung der Magnetisierspule eine zusätzliche Energieersparnis von 43 %. Ohne Parallelisierung, mit einer einzigen Magnetisierspule und gleicher Leistung, sind es lediglich 18 %.

[0017] Dementsprechend weist vorzugsweise die Pulsgeneratorschaltung einen parallel zur Magnetisierspule angeordneten Rückführpfad auf, welcher ein Speicherdrossелеlement und ein in Richtung des Strompulses sperrendes Diodenelement beinhaltet. Das Speicherdrossелеlement wird dabei vorteilhafterweise so dimensioniert, dass es zusammen mit dem Speicherkondensator einen Schwingkreis bildet, dessen Periodendauer grösser ist als die entsprechende des Magnetisierungskreises.

[0018] Der elektromagnetische Schwingkreis kann durch einen bereits magnetisierten Dauermagneten, vorzugsweise einen NdFeB-Magneten, unterstützt werden. Dieser wird in die Magnetisierspule derart eingelegt, dass sein Feld jenes der Spule überlagert und verstärkend wirkt.

[0019] Zur Magnetisierung von typischen Magnetsystemen sind Leistungen nötig, die Spannungen von 1000 V und mehr sowie Ströme im Bereich von Kiloampere bedingen. Die erfindungsgemässe Vorrichtung lässt sich

mit etwa 1000 V betreiben, wodurch die Anforderungen an die Lackisolation (125 V pro Windung bei 8 Windungen) zwischen einzelnen Drahtwindungen in der Magnetisierspule noch im unproblematischen Bereich liegen. Als Energiespeicher werden vorzugsweise pulsfeste Kondensatoren mit metallisierter Kunststoffolie verwendet. Diese haben eine geringe Eigeninduktivität, was die Eigenschaften des Schwingkreises weniger beeinflusst. Zum Schalten der Spannungen und Ströme kommen z. B. Bipolartransistoren mit isoliertem Tor oder schnelle Thyristoren in Frage.

[0020] Nachfolgend werden vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnungen detailliert erläutert. Dabei zeigen:

- Fig. 1 einige wichtige Elemente der erfindungsgemässen Vorrichtung in einer sehr schematischen perspektivischen Ansicht,
- Fig. 2 eine Pulsgeneratorschaltung für die erfindungsgemässe Vorrichtung,
- Fig. 3 einen zeitlichen Verlauf verschiedener Grössen beim erfindungsgemässen Verfahren in einem Diagramm,
- Fig. 4 ein Schaltelement für die erfindungsgemässe Vorrichtung,
- Fig. 5 eine Anordnung von Magnetisierspulen des erfindungsgemässen Verfahrens in einer Draufsicht und
- Fig. 6 einen Querschnitt entlang der Linie VI-VI durch die Anordnung von Fig. 5.

[0021] In **Figur 1** sind sehr schematisch wichtige Elemente einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 dargestellt. Die Vorrichtung 1 beinhaltet mehrere vorzugsweise identische Pulsgeneratorschaltungen 2.1-2.4. Im Ausführungsbeispiel von Fig. 1 sind vier derartige Pulsgeneratorschaltungen 2.1-2.4 angedeutet; es können jedoch auch mehr oder weniger sein. Jede Pulsgeneratorschaltung 2.1-2.4 weist ein Kondensatorelement 21, vorzugsweise einen Folienkondensator, und eine mit dem Kondensatorelement 21 elektrisch verbundene Magnetisierspule 22 auf. Jede Pulsgeneratorschaltung 2.1-2.4 weist ausserdem ein Schaltelement 23, bspw. einen Thyristor, auf, durch dessen Betätigung eine pulsartige Entladung des Kondensatorelements 21 über die Magnetisierspule 22 und somit der Aufbau eines Magnetfeldes in der Magnetisierspule 22 auslösbar ist. Die Vorrichtung 1 weist ferner Betätigungsmittel 3 auf, mittels welcher die Schaltelemente 23 der mindestens zwei Pulsgeneratorschaltungen 2.1-2.4 gleichzeitig betätigbar sind. Derartige Betätigungsmittel sind dem Fachmann bekannt; siehe z. B. Werner Lücking, "Thyristor-Grundsaltungen: Handbuch für Ausbildung, Studium und Praxi", VDE-Verlag, 1984. Die Pulsgeneratorschaltungen 2.1-2.4 und insbesondere die Magnetisierspulen 22 sind derart gegenseitig angeordnet, dass sich ihre Magnetfelder verstärkend überlagern. Auf Einzelheiten der Pulsgenera-

torschaltungen 2.1-2.4 wird anlässlich der Fig. 2 weiter eingegangen.

[0022] **Figur 2** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer Pulsgeneratorschaltung 2 für die erfindungsgemässe Vorrichtung 1. Zu erkennen sind die bereits anlässlich der Fig. 1 eingeführten Elemente Kondensator 21 mit einer Kapazität C, Magnetisierspule 22 mit einer Induktivität L und Thyristor 23. Der Kondensator 21 hat eine innere Induktivität L_2 , die Magnetisierspule 22 einen inneren Widerstand R_1 und der Thyristor 23 sowie die diese Elemente verbindenden elektrischen Leitungen einen inneren Widerstand R_2 .

[0023] Die Pulsgeneratorschaltung 2 ist derart beschaffen und dimensioniert, dass die Entladung des Kondensatorelements 21 eine Pulsdauer von ca. 10-500 μ s und vorzugsweise ca. 10-200 μ s hat. Um derart kurze Pulsdauern zu erreichen, müssen die Werte von C und L klein sein. Es kann bspw. gelten: $1 \mu\text{H} < L < 15 \mu\text{H}$ sowie $15 \mu\text{F} < C < 150 \mu\text{F}$, und vorzugsweise $2 \mu\text{H} < L < 8 \mu\text{H}$ sowie $30 \mu\text{F} < C < 75 \mu\text{F}$. Um trotz der kleinen L- und C-Werte genügend hohe Magnetfelder aufzubauen, wird vorzugsweise die Pulsgeneratorschaltung 2 oder Teile davon parallel vervielfacht, wie anlässlich von Fig. 1 dargestellt und erläutert. Das mindestens eine Kondensatorelement 21 soll mit Spannungen u_C von ca. 100-5000 V und vorzugsweise ca. 1200-2000 V aufladbar sein. Die Pulsgeneratorschaltung 2 soll Entladeströme i_{L1} von ca. 1-10 kA und vorzugsweise ca. 2-5 kA ermöglichen.

[0024] In der besonders vorteilhaften Ausführungsform von Fig. 2 ist parallel zur Magnetisierspule 22 ein Rückföhrpfad 24 angeordnet. Dieser beinhaltet eine Speicherdrosselspule 25 mit einer Induktivität L_d und eine in Richtung des Entladungsstrompulses sperrende Diode 26. Die Speicherdrosselspule 25 hat einen inneren Widerstand R_d . Mit dem Rückföhrpfad 24 lässt sich das exponentielle Auslaufen des Stromes in der Magnetisierspule 22 unterdrücken und die darin steckende Energie grossenteils zurückgewinnen. Die Speicherdrosselspule 25 wird dabei so dimensioniert, dass sie zusammen mit dem Kondensatorelement 21 einen Schwingkreis bildet, dessen Periodendauer grösser, bspw. 2- bis 1000-mal grösser und vorzugsweise 10- bis 100-mal grösser, ist als die entsprechende Periodendauer des Magnetisierkreises ohne Rückföhrpfad 24. Um dies zu erreichen, wird vorzugsweise eine Speicherdrosselspule 25 gewählt, die eine Induktivität L_d hat, die 2- bis 1000-mal grösser und vorzugsweise 10- bis 100-mal grösser ist als die Induktivität L_1 der Magnetisierspule, z. B. $10 \mu\text{H} < L_d < 150 \mu\text{H}$.

[0025] Anhand von **Figur 3** wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens erläutert, welche sich auf die Pulsgeneratorschaltung 2 von Fig. 2 bezieht. Das Diagramm von Fig. 3 zeigt eine rechnerische Simulation des zeitlichen Verlaufs verschiedener Grössen, nämlich:

Kurve 91: der Ladespannung $u_{\text{Lade}} = u_C - u_{L2}$,

Kurve 92: des Magnetisierstroms iL_1 ,
 Kurve 93: des Stroms iL_2 und
 Kurve 94: der Diodenspannung uD .

[0026] Die verschiedenen Phasen des zeitlichen Ablaufs sind zur Verdeutlichung durch drei senkrechte Linien voneinander abgegrenzt.

[0027] Die Simulation basiert auf den folgenden Werten:

$uC(t=0) = 1000 \text{ V}$
 $C = 60 \text{ } \mu\text{F}$
 $L_2 = 2.66 \text{ } \mu\text{H}$
 $L_1 = 5.49 \text{ } \mu\text{H}$
 $R_1 = 0.062 \text{ } \Omega$
 $R_2 = 0.01 \text{ } \Omega$
 $L_d = 54.9 \text{ } \mu\text{H} = 10L_1$
 $R_d = 0.1 \text{ } \Omega$.

[0028] Es resultieren folgende Werte:

maximaler Spulenstrom $iL_{1,\max} = 2348 \text{ A}$
 Pulsdauer = $71 \text{ } \mu\text{s}$
 $uL_{\text{ade}}(\text{Ende}) = 658 \text{ V}$
 Energie($t=0$) = 30 Ws
 Energie(Ende) = 43 \% der Energie($t=0$).

[0029] Das Schaltelement 23 der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 kann statt des in Fig. 2 beispielhaft dargestellten Thyristors auch einen Bipolartransistor 4 mit isoliertem Tor (insulated-gate bipolar transistor, IGBT) beinhalten. Ein derartiges Schaltelement 23 ist beispielhaft in **Figur 4** dargestellt. Der Kollektor C des IGBT 4 ist mit der Magnetisierspule 22 elektrisch verbunden. Zwischen der Magnetisierspule und dem IGBT kann fakultativ eine entgegen der Richtung des Entladungstrompulses sperrende Diode 41 geschaltet sein. Das Tor G des IGBT 4 wird von einem Ansteuergerät 42 angesteuert. Das Ansteuergerät 42 weist einen Zündeingang 43 für einen Zündpuls auf. Nach dem Emitter E des IGBT 4 ist ein Stromsensor 44 eingebaut, dessen Signal über einen Sensoreingang 45 in das Ansteuergerät 42 eingespiesen wird. Ist der Emitterstrom I_E positiv und ist ein Zündpuls vorhanden, so soll der IGBT 4 durchlassen; andernfalls soll der IGBT 4 sperren.

[0030] In **Figur 5** ist eine bevorzugte Anordnung von Magnetisierspulen 22.1-22.8 in der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 in einer Draufsicht dargestellt. **Figur 6** zeigt einen Querschnitt entlang der Linie VI-VI in **Fig. 5**. In diesem Ausführungsbeispiel sind acht Magnetisierspulen 22.1-22.8 mit unterschiedlichen Durchmessern ineinander verschachtelt. Jede Magnetisierspule 22.1-22.8 weist bspw. sechs Windungen auf. Es können auch Magnetisierspulen mit bifilaren oder multifilaren Wicklungen eingesetzt werden. Die Magnetisierspulen 22.1-22.8 können rechteckig, quadratisch oder rund sein oder andere Geometrien aufweisen. Die Anordnung kann beidseitig durch je eine Epoxy-Glasplatte 27.1, 27.2 abge-

schlossen sein. Der Innen- bzw. Aussendurchmesser einer solchen Anordnung hängt von der jeweiligen Anwendung ab und liegt typischerweise im Bereich von einigen bis einigen hundert Zentimetern. Das resultierende Magnetfeld B, d. h. die Superposition der in den acht Magnetisierspulen 22.1-22.8 aufgebauten Magnetfelder, ist mit einem Pfeil angedeutet. Die Anordnung wird z. B. auf der Oberfläche eines zu magnetisierenden Magnetsystems 8 positioniert, derart, dass ein möglichst grosser Teil des Magnetfelds B mit dem Material des Magnetsystems 8 wechselwirken kann. Falls das Magnetsystem 8, zumindest teilweise, von den Seiten her zugänglich ist, wird die Anordnung vorzugsweise derart positioniert, dass die Magnetisierspulen 22.1-22.8 das Magnetsystem 8, zumindest teilweise, umgeben. So kann eine noch effizientere Magnetisierung erzielt werden.

[0031] Alternativ zum hier gezeigten Ausführungsbeispiel können die Magnetisierspulen 22.1-22.8 auch dieselben Durchmesser aufweisen und übereinander angeordnet sein. Selbstverständlich sind auch Kombinationen von Verschachtelung und Anordnung übereinander möglich.

Bezugszeichenliste:

[0032]

1 Vorrichtung

- 2 Pulsgeneratorschaltung
- 21 Kondensatorelement
- 22 Magnetisierspule
- 23 Schaltelement
- 24 Rückföhrpfad
- 25 Speicherdrosselspule
- 26 Diode
- 27.1, 27.2 Epoxy-Glasplatte

3 Betätigungsmittel

- 4 IGBT
- 41 Diode
- 42 Ansteuergerät
- 43 Zündeingang
- 44 Stromsensor
- 45 Sensoreingang

8 Magnetsystem

- 91 Ladespannung $uL_{\text{ade}} = uC - uL_2$
- 92 Magnetisierstrom iL_1
- 93 Strom iL_2
- 94 Diodenspannung uD

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Magnetisieren eines Magnet-

- systems, beinhaltend
eine Pulsgeneratorschaltung (2) mit einem Kondensatorelement (21), einer mit dem Kondensatorelement (21) elektrisch verbundenen Magnetisierspule (22) und einem Schaltelement (23), durch dessen Betätigung die Magnetisierspule (22) mit einem durch Entladung des Kondensatorelements (21) entstehenden Strompuls mit einer auf 10 μ s bis 500 μ s begrenzten Pulsdauer beaufschlagbar und somit der Aufbau eines Magnetfeldes (B) auslösbar ist, wobei die Pulsgeneratorschaltung (2) ein, in Richtung des Entladungsstrompulses (i_{L_1}) sperrendes, Diodenelement (26) parallel zur Magnetisierspule (22) als Rückföhrpfad (24) angeordnet aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass der parallel zur Magnetisierspule (22) angeordnete Rückföhrpfad (24) eine Speicherdrosselspule (25) aufweist, wobei der Rückföhrpfad (24) zusammen mit dem Kondensatorelement (21) einen elektrischen Schwingkreis bildet, wobei die Periodendauer des den Schwingkreis bildenden Rückföhrpfad (24) grösser ist als die Periodendauer der Pulsgeneratorchaltung (2) ohne den Rückföhrpfad (24).
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Periodendauer des einen elektrischen Schwingkreis bildenden Rückföhrpfad (24) 2-bis 1000-mal grösser und vorzugsweise 10- bis 100-mal grösser ist als die Periodendauer der Pulsgeneratorschaltung (2) ohne den Rückföhrpfad (24).
 3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Speicherdrosselspule (25) eine Induktivität (L_d) aufweist, die 2- bis 1000-mal grösser und vorzugsweise 10- bis 100-mal grösser ist als die Induktivität (L_1) der Magnetisierspule (22).
 4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei mindestens zwei Magnetisierspulen (22) vorhanden und derart gegenseitig angeordnet sind, dass sich ihre Magnetfelder (B) verstärkend überlagern, und mindestens ein Schaltelement (23) derart angeordnet und betätigbar ist, dass die mindestens zwei Magnetisierspulen (22) gleichzeitig mit je einem Strompuls beaufschlagbar sind.
 5. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4, wobei mindestens zwei Magnetisierspulen ineinander verschachtelt sind.
 6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4 oder 5, wobei jeder der mindestens zwei Magnetisierspulen (22) ein Schaltelement (23) zugeordnet ist und die Vorrichtung (1) ferner Betätigungsmittel (3) aufweist, mittels welcher die mindestens zwei Schaltelemente (23) gleichzeitig betätigbar sind.
 7. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 4-6, wobei die Vorrichtung (1) mindestens zwei vorzugsweise identische Pulsgeneratorschaltungen (2.1-2.4) aufweist.
 8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1-7, wobei das Kondensatorelement (21) ein festes, flächiges, mit einer Metallschicht versehenes Dielektrikum beinhaltet, und vorzugsweise ein Folienkondensator ist.
 9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1-8, wobei das Schaltelement (23) einen Bipolartransistor (4) mit isoliertem Tor beinhaltet, dessen Kollektor (C) mit der Magnetisierspule (22) elektrisch verbunden ist.
 10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, wobei das Tor (G) des Bipolartransistors (4) mit isoliertem Tor von einem Ansteuergerät (42) ansteuerbar ist, welches einen Zündeingang (43) für eine Zündpuls und einen Sensoreingang (45) für ein Signal eines den Emitterstrom (I_E) messenden Stromsensors (44) aufweist, und der Bipolartransistor (4) mit isoliertem Tor vom Ansteuergerät (42) derart ansteuerbar ist, dass er sperrt, wenn der Stromsensor (44) einen negativen Emitterstrom (I_E) feststellt.
 11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1-8, wobei das Schaltelement (23) einen Thyristor beinhaltet.
 12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1-11, wobei in mindestens einer Magnetisierspule (22) ein bereits magnetisierter Dauermagnet, vorzugsweise ein NdFeB-Magnet, derart eingesetzt ist, dass sein Magnetfeld das von der Magnetisierspule (22) aufgebaute Magnetfeld (B) verstärkend überlagert.
 13. Verfahren zum Magnetisieren eines Magnetsystems (8) unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-14, wobei durch das Schaltelement (23) die Magnetisierspule (22) mit einem durch Entladung des Kondensatorelements (21) entstehenden Strompuls mit begrenzter Pulsdauer durch das zuvor aufgeladene Kondensatorelement (21) beaufschlagt wird, wodurch ein mit dem Magnetsystem (8) wechselwirkendes Magnetfeld (B) aufgebaut wird,
dadurch gekennzeichnet, dass,
nach der Erzeugung des Strompulses durch Entladung des Kondensatorelements (21) und der damit verbundenen Magnetisierung des Magnetsystems (8), ein exponentielles Auslaufen des Stromes in der Magnetisierspule (22) unterdrückt wird, indem der verbliebene Strompuls über den parallel zur Magnetisierspule (22) angeordneten Rückföhrpfad (24) induktiv über die Speicherdrosselspule (25) in das

Kondensatorelement (21) zurückgeführt wird und somit das Kondensatorelement (21) für den nächsten Strompuls bereits teilweise aufgeladen wird, wodurch elektrische Energie grossenteils zurückgewonnen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei dem Magnet-system (8) mindestens zwei Magnetisierspulen (22) zugeordnet werden, die mindestens zwei Magnetisierspulen (22) derart gegenseitig angeordnet werden, dass sich ihre Magnetfelder (B) verstärkend überlagern, und die Magnetfelder (B) der mindestens zwei Magnetisierspulen (22) gleichzeitig aufgebaut werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Magnetisierspule (22) und das Kondensatorelement (21) derart gewählt und gegenseitig angeordnet werden, dass die Pulsdauer des Strompulses auf einen Wert zwischen $10\text{ }\mu\text{s}$ und $500\text{ }\mu\text{s}$ und vorzugsweise zwischen $10\text{ }\mu\text{s}$ und $200\text{ }\mu\text{s}$ begrenzt wird.

Claims

1. A device (1) for magnetizing a magnet system, comprising a pulse generator circuit (2) with a condenser element (21), a magnetizing coil (22) electrically connected to the condenser element (21), and a switching element (23), the activation of which can apply a current pulse to the magnetizing coil (22) resulting from the discharge of the condenser element (21) with a pulse duration limited to $10\text{ }\mu\text{s}$ to $500\text{ }\mu\text{s}$, and therefore trigger the generation of a magnetic field (B), wherein the pulse generator circuit (2) comprises a diode element (26) which is blocking in the direction of the discharge current pulse (I_{L1}) and arranged parallel to the magnetizing coil (22) as a return path (24),
characterized in that
the return path (24) arranged parallel to the magnetizing coil (22) comprises a storage choke coil (25), wherein the return path (24) together with the condenser element (21) forms an electrical resonant circuit and the period duration of the return path (24) forming the resonant circuit is greater than the period duration of the pulse generator circuit (2) without the return path (24).
2. The device (1) according to claim 1, wherein the period duration of the return path (24) forming an electrical resonant circuit is up to 1000 times greater, and preferably 10 to 100 times greater, than the period duration of the pulse generator circuit (2) without the return path (24).
3. The device (1) according to claim 1, wherein the stor-

age choke coil (25) has an inductance (L_d) which is 2 to 1000 times greater, and preferably 10 to 100 times greater, than the inductance (L_1) of the magnetizing coil (22).

4. The device according to claim 1 or 2, wherein at least two magnetizing coils (22) are present and arranged relative to each other in such a way that their magnetic fields (B) are superimposed additively, and at least one switching element (23) is arranged and can be actuated in such a way that the at least two magnetizing coils (22) can each have a current pulse applied simultaneously thereto.
5. The device (1) according to claim 4, wherein at least two magnetizing coils are nested one inside another.
6. The device (1) according to claim 4 or 5, wherein a switching element (23) is assigned to each of the at least two magnetizing coils (22) and the device (1) also comprises actuating means (3), by means of which the at least two switching elements (23) can be actuated simultaneously.
7. The device (1) according to any one of claims 4 - 6, wherein the device (1) comprises at least two preferably identical pulse generator circuits (2.1-2.4).
8. The device (1) according to any one of claims 1 - 7, wherein the condenser element (21) has a fixed, flat dielectric coated with a metal layer, and is preferably a film condenser.
9. The device (1) according to any one of claims 1 - 8, wherein the switching element (23) comprises an insulated-gate bipolar transistor (4), the collector (C) of which is electrically connected to the magnetizing coil (22).
10. The device (1) according to claim 9, wherein the gate (G) of the insulated-gate bipolar transistor (4) can be controlled by a control device (42), which comprises an ignition input (43) for an ignition pulse and a sensor input (45) for a signal of a current sensor (44) which measures the emitter current (I_E), and the insulated-gate bipolar transistor (4) can be controlled by the control device (42) in such a way that it blocks when the current sensor (44) detects a negative emitter current (I_E).
11. The device (1) according to any one of claims 1 - 8, wherein the switching element (23) comprises a thyristor.
12. The device (1) according to any one of claims 1 - 11, wherein an already magnetized permanent magnet, preferably an NdFeB magnet, is used in at least one of the magnetizing coils (22) in such a way that the

magnetic field thereof is additively superimposed on the magnetic field (B) generated by the magnetizing coil (22).

13. A method for magnetizing a magnet system (8) using a device according to any one of claims 1 - 14, wherein the previously charged condenser element (21) applies a current pulse with limited pulse width resulting from the discharge of the condenser element (21) to the magnetizing coil (22) by means of the switching element (23), causing a magnetic field (B) to be generated which interacts with the magnet system (8),

characterized in that

after the generation of the current pulse due to the discharging of the condenser element (21) and the associated magnetization of the magnet system (8), an exponential leakage of the current in the magnetizing coil (22) is suppressed by the remaining current pulse being inductively fed back into the condenser element (21) via the storage choke coil (25) along the return path (24) arranged parallel to the magnetizing coil (22), and the condenser element (21) therefore being already partially charged ready for the next current pulse, which enables a large amount of electrical energy to be re-used.

14. The method according to claim 13, wherein at least two magnetizing coils (22) are assigned to the magnet system (8), the two magnetizing coils (22) being arranged relative to each other in such a way that the magnetic fields (B) thereof are superimposed additively, and the magnetic fields (B) of the at least two magnetizing coils (22) are generated simultaneously.

15. The method according to claim 14, wherein the magnetizing coil (22) and the condenser element (21) are chosen and arranged relative to each other in such a way that the pulse duration of the current pulse is limited to a value between 10 μ s and 500 μ s, and preferably between 10 μ s and 200 μ s.

Revendications

1. Dispositif (1) pour aimanter un système d'aimant, contenant un circuit de générateur d'impulsions (2) avec un élément de condensateur (21), une bobine d'aimantation (22) électriquement reliée à l'élément de condensateur (21) et un élément de commutation (23) par l'actionnement duquel la bobine d'alimentation (22) peut être sollicitée avec une impulsion de courant d'une durée d'impulsion limitée à 10 μ s jusqu'à 500 μ s, se produisant par la décharge de l'élément de condensateur (21) et de déclencher de ce fait la constitution d'un champ magnétique (B), le circuit de

générateur d'impulsions (2) comportant un élément à diode (26) bloquant dans le sens de l'impulsion du courant de décharge (iL_1), disposé en tant que chaîne de rétroaction (24) parallèlement à la bobine d'aimantation (22)

caractérisé en ce que

la chaîne de rétroaction (24) disposée parallèlement à la bobine d'aimantation (22), comporte une bobine d'inductance de stockage (25), la chaîne de rétroaction (24) formant ensemble avec l'élément de condensateur (21) un circuit oscillant, la durée de période de la chaîne de rétroaction (24) formant le circuit oscillant étant plus grande que la durée de période du circuit de générateur d'impulsions (2) sans la chaîne de rétroaction (24).

2. Dispositif (1) selon la revendication 1, la durée de période de la chaîne de rétroaction (24) formant un circuit oscillant électrique étant 2 à 1000 fois plus grande et de préférence 10 à 100 fois plus grande que la durée de période du circuit de générateur d'impulsions (2) sans la chaîne de rétroaction (24).
3. Dispositif (1) selon la revendication 1, la bobine d'inductance de stockage (25) présentant une inductivité (L_d) qui est 2 à 1000 fois plus grande, de préférence 10 à 100 fois plus grande que l'inductivité (L_1) de la bobine d'aimantation (22).
4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, au moins deux bobines d'aimantation (22) étant présentes et disposées de manière opposée de telle manière que leurs champs magnétiques (B) se superposent cumulativement et au moins un élément de commutation (23) étant disposé et pouvant être actionné de telle sorte qu'au moins les deux bobines d'aimantation (22) peuvent être simultanément sollicitées respectivement avec une impulsion de courant.
5. Dispositif (1) selon la revendication 4, au moins deux bobines d'aimantation étant emboîtées l'une dans l'autre.
6. Dispositif (1) selon la revendication 4 ou 5, un élément de commutation (23) étant affecté à chacune des au moins deux bobines d'aimantation (22) et le dispositif (1) comportant en outre des moyens d'actionnement (3) au moyen desquels les au moins deux éléments de commutation (23) peuvent être simultanément actionnés.
7. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 4 - 6, le dispositif (1) comportant au moins deux circuits de générateur d'impulsions (2.1-2.4) de préférence identiques.
8. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 - 7, l'élément de condensateur (21) contenant

un diélectrique doté d'une couche métallique fixe plane et étant de préférence un condensateur à feuille.

9. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 - 8, l'élément de commutation (23) contenant un transistor bipolaire (4) avec une porte isolée dont le collecteur (C) est relié électriquement à la bobine d'aimantation (22). 5
10. Dispositif (1) selon la revendication 9, la porte (G) du transistor bipolaire (4) avec la porte isolée pouvant être activée par un appareil de commande (42), lequel comporte une entrée d'allumage (43) pour une impulsion d'allumage et une entrée de détection (45) pour un signal d'un détecteur de courant (44) mesurant le courant d'émetteur (I_e) et le transistor bipolaire (4) avec porte isolée pouvant être actionné par l'appareil de commande (42) de telle manière qu'il bloque lorsque le détecteur de courant (44) constate un courant d'émetteur négatif (I_e). 10 15 20
11. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 - 8, l'élément de commutation (23) contenant un thyristor. 25
12. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 - 11, un aimant permanent déjà magnétisé, de préférence un aimant NdFeB, étant utilisé dans au moins une bobine d'aimantation (22) de telle manière que son champ magnétique superpose cumulativement le champ magnétique (B) constitué par la bobine d'aimantation (22). 30
13. Procédé pour aimanter un système d'aimant (8) en utilisant un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 - 14, la bobine d'aimantation (22) étant, grâce à l'élément de commutation (23), sollicitée par l'élément de condensateur (21) préalablement chargé, avec une impulsion de courant d'une durée d'impulsion limitée, se produisant par la décharge de l'élément de condensateur (21), un champ magnétique (B) agissant de manière interactive avec le système d'aimant (8) étant de ce fait constitué, **caractérisé en ce** 35 40 45
qu'après la production de l'impulsion de courant par décharge de l'élément de condensateur (21) et de l'aimantation associée à celle-ci du système d'aimant (8), un écoulement exponentiel du courant dans la bobine d'aimantation (22) est supprimé, l'impulsion de courant restée étant redirigée dans l'élément de condensateur (21) de manière inductive par la bobine d'inductance de stockage (25) par le biais de la chaîne de rétroaction (24) disposée parallèlement à la bobine d'aimantation (22) et l'élément de condensateur (21) étant de ce fait déjà en partie chargé pour l'impulsion de courant suivante, ce qui permet de récupérer en grande partie l'énergie élec- 50 55

trique.

14. Procédé selon la revendication 13, au moins deux bobines d'aimantation (22) étant affectées au système d'aimant (8), les au moins deux bobines d'aimantation (22) étant disposées de manière opposée de telle sorte que leurs champs magnétiques (B) se superposent cumulativement et les champs magnétiques (B) des au moins deux bobines d'aimantation (22) sont simultanément constitués.
15. Procédé selon la revendication 14, la bobine d'aimantation (22) et l'élément de condensateur (21) étant choisis et disposés de manière opposée de telle sorte que la durée d'impulsion de l'impulsion de courant est limitée à une valeur se situant entre 10 μ s et 500 μ s et de préférence entre 10 μ s et 200 μ s.

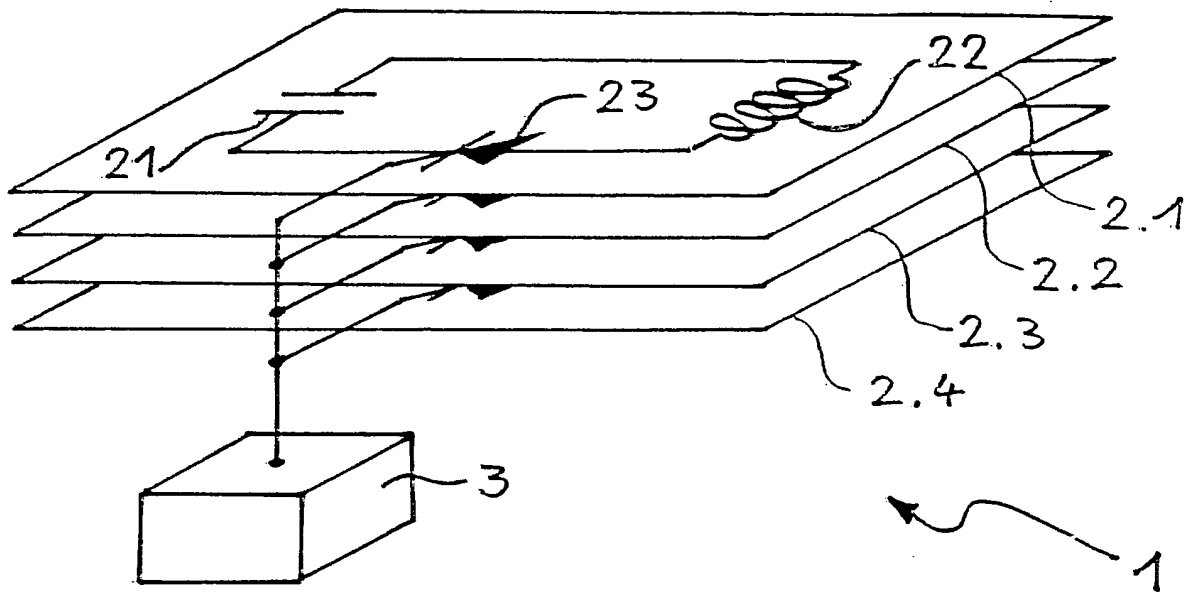


Fig. 1

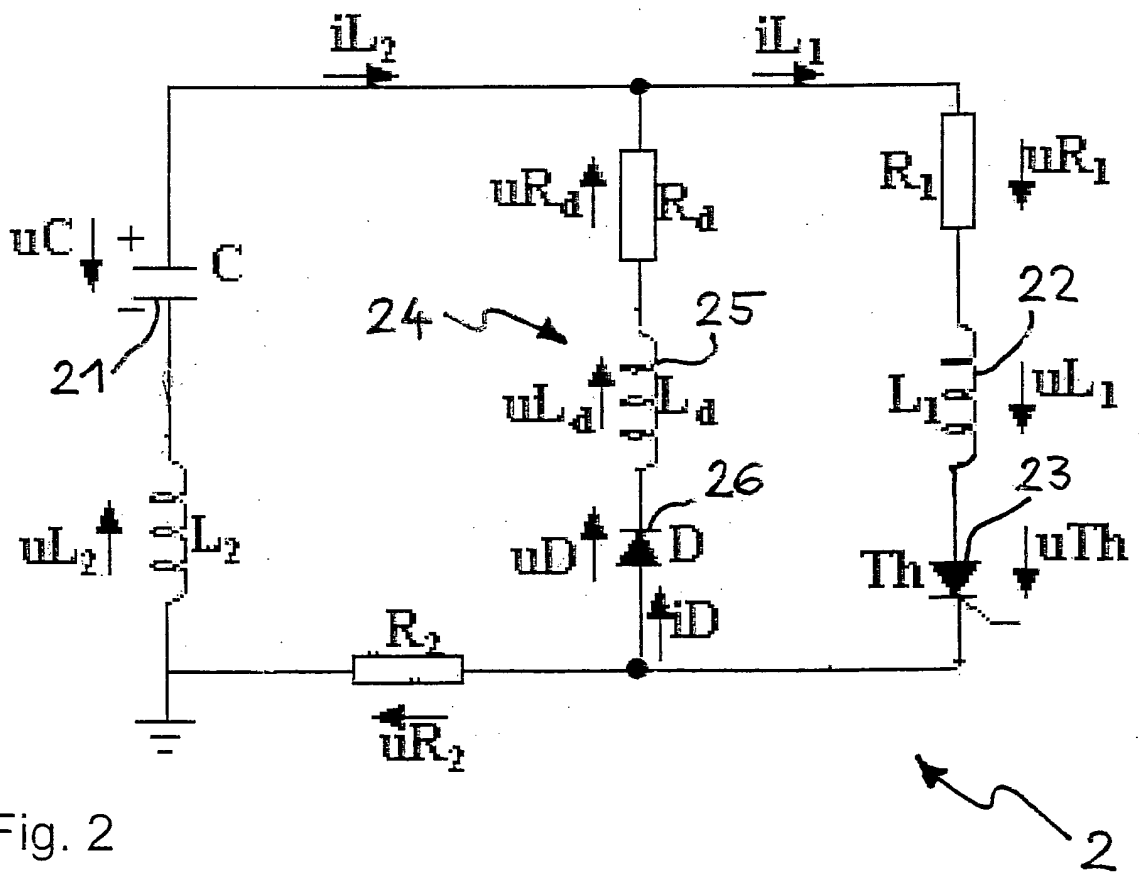


Fig. 2

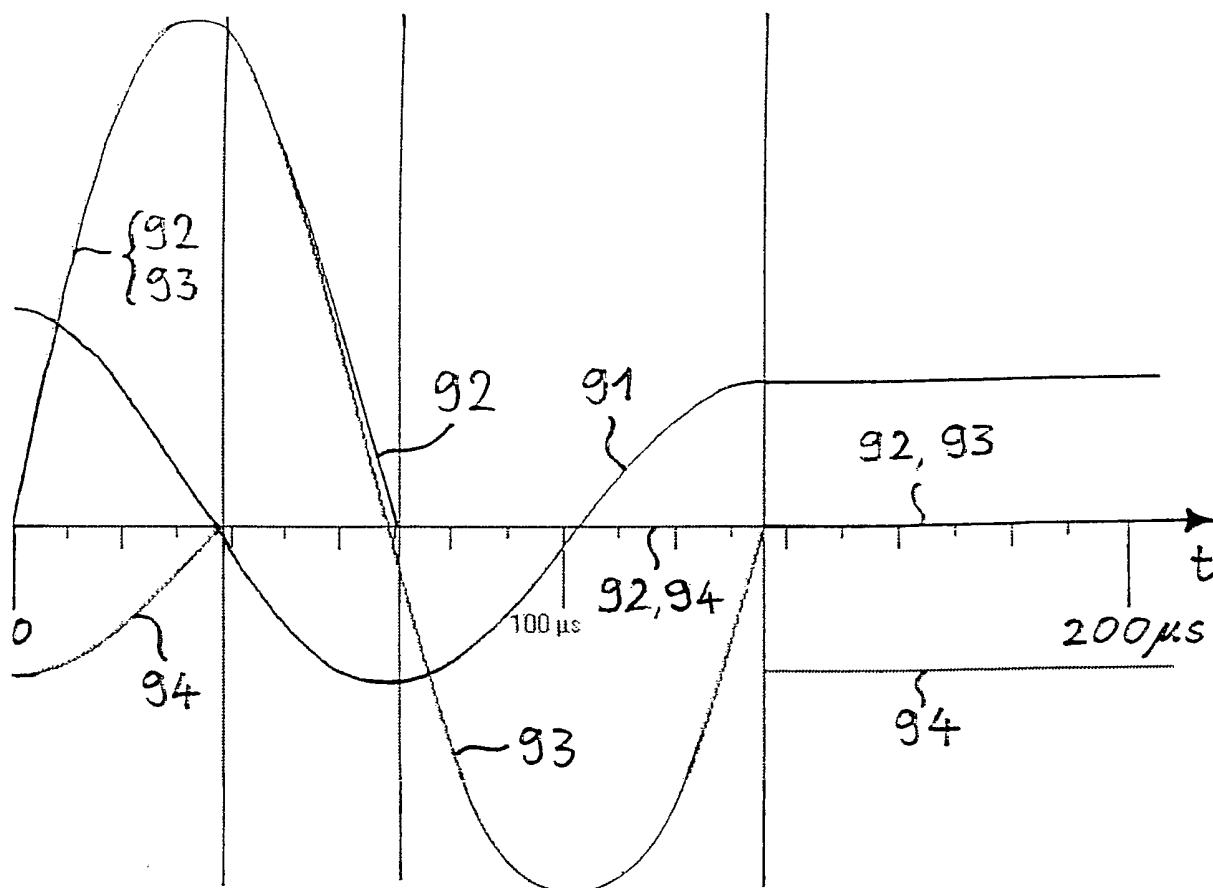


Fig. 3

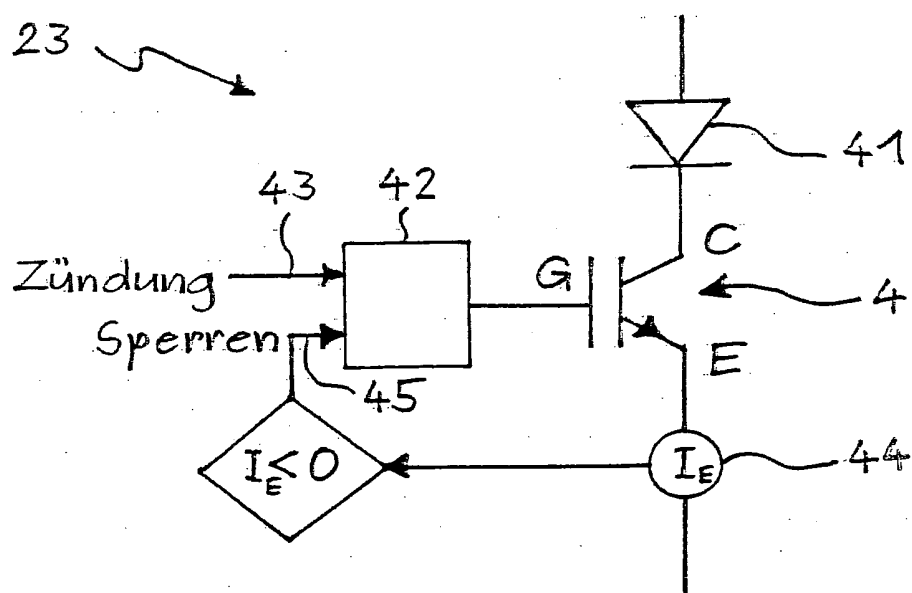


Fig. 4

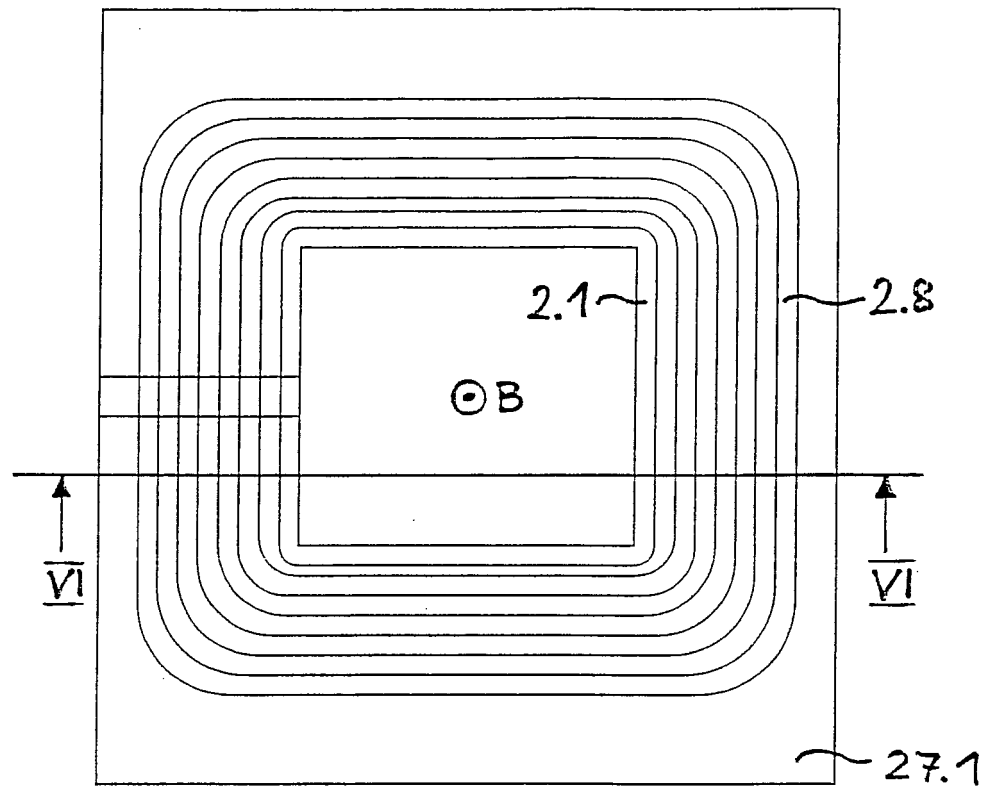


Fig. 5

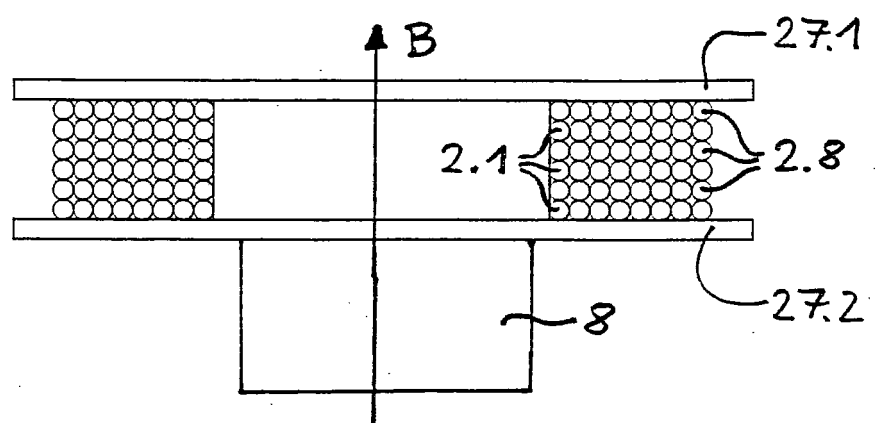


Fig. 6

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 10049766 [0006]
- US 5469321 A [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **WERNER LÜCKING.** Thyristor-Grundsaltungen: Handbuch für Ausbildung, Studium und Praxi. VDE-Verlag, 1984 [0021]