(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 517 757 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.01.2007 Patentblatt 2007/03

(21) Anmeldenummer: **03740093.4**

(22) Anmeldetag: **16.06.2003**

(51) Int Cl.:
B06B 1/02 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2003/002017

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/002635 (08.01.2004 Gazette 2004/02)

(54) SCHALTKREIS FÜR EINE ELEKTROMAGNETISCHE QUELLE ZUR ERZEUGUNG AKUSTISCHER WELLEN

SWITCHING CIRCUIT FOR AN ELECTROMAGNETIC SOURCE FOR THE GENERATION OF ACOUSTIC WAVES

CIRCUIT CON U POUR UNE SOURCE ELECTROMAGNETIQUE DESTINEE A PRODUIRE DES ONDES ACOUSTIQUES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR LI

(30) Priorität: **28.06.2002 DE 10229112**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.03.2005 Patentblatt 2005/13

(73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80506 München (DE)

(72) Erfinder: **ROHWEDDER, Arnim**
90766 Fürth (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 19 814 331

- **DATABASE WPI Section PQ, Week 199328 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class P43, AN 1993-225453 XP002259249 -& SU 1 747 188 A (SHIP ELEC ENG TECHN INST), 15. Juli 1992 (1992-07-15)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 517 757 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Schaltkreis für eine elektromagnetische Quelle zur Erzeugung akustischer Wellen, der eine Spule der elektromagnetischen Quelle und wenigstens einen ersten Kondensator umfasst, der parallel zu wenigstens einer Serienschaltung aus einem zweitem Kondensator und einem ersten Ventil geschaltet ist.

[0002] Z.B. aus der DE 198 14 331 A1 ist ein derartiger Schaltkreis für eine elektromagnetische Druckwellenquelle bekannt. Er weist zwei hintereinandergeschaltete LC-Schwingkreise auf. Davon hat der erste Schwingkreis einen ersten Kondensator und parallel dazu einen Halbleiter-Leistungsschalter aus einem triggerbaren Thyristor und einer dazu antiparallel geschalteten Freilaufdiode sowie eine nachfolgende Induktivität. Teil dieses ersten Schwingkreises und in Serie zum Halbleiter-Leistungsschalter und der Induktivität sowie parallel zum ersten Kondensator ist ein zweiter Kondensator geschaltet, der ebenfalls dem zweiten Schwingkreis angehört. Parallel zu ihm ist ein sättigbarer Induktor und eine als induktive Last ausgebildete elektromagnetische Druckwellenquelle angeordnet. Sobald der Thyristor des Halbleiter-Leistungsschalters in den leitenden Zustand getriggert worden ist, wird der mit einem Kondensatorladegerät aufgeladene erste Kondensator auf den zunächst nichtgeladenen, zweiten Kondensator geschaltet, so dass seine Ladung auf diesen übergeht. Der Induktor und die beiden Kondensatoren sind so bemessen, dass erst zu dem Zeitpunkt, wenn praktisch die gesamte Ladung von dem ersten Kondensator auf den zweiten Kondensator umgeladen worden ist, der sättigbare Induktor in Sättigung gerät und damit niederinduktiv wird. In diesem Moment fließt ein hoher Entladestrom lediglich aufgrund der Entladespannung des zweiten Kondensators mit einer durch den zweiten Schwingkreis vorgegebenen Zeitkonstanten durch die induktive Last der elektromagnetischen Druckwellenquelle, wo ein akustischer Puls erzeugt wird.

[0003] Der der SU 17 47 188 A1 entnehmbare Schaltkreis für die Induktivität eines elektrodynamischen Strahlers weist eine gemeinsame Spannungsquelle auf, an die mehrere parallele Zweige mit jeweils einer Diode am Eingang, einem auf Masse gelegten Speicherkondensator sowie einem ausgangsseitigen Kommutator, d.h. Schalter angeschlossen sind. Die Dioden sind dabei derart gepolt, dass die Speicherkondensatoren der einzelnen Parallelzweige bezüglich ihrer Ladespannungen stets voneinander separiert, d.h. getrennt bleiben, so dass Umlade- oder Ausgleichsvorgänge dieser Ladespannungen untereinander vermieden sind. Zum gemeinsamen Entladen der Speicherkondensatoren werden die Kommutatoren aller Parallelzweige kollektiv, d.h. gleichzeitig geschlossen. Während dieses Entladevorgangs ist der Speicherkondensator des jeweiligen Zweigs parallel zur dessen eingangsseitiger Diode geschaltet.

[0004] Ein weiterer Schaltkreis gemäß dem Stand der Technik ist in der Figur 1 dargestellt. Der Schaltkreis umfasst eine Gleichspannungsquelle 1, ein Schaltmittel 2, das in der Regel als Funkenstrecke ausgeführt ist, einen Kondensator C sowie eine Spule L, die Teil einer Schallerzeugungseinheit der elektromagnetischen Quelle ist. Die Schallerzeugungseinheit der elektromagnetischen Quelle weist neben der Spule L einen nicht dargestellten Spulenträger, auf dem die Spule angeordnet ist, und eine ebenfalls nicht dargestellte, isolierend auf der Spule L angeordnete Membran auf. Bei der Entladung des Kondensators C über die Spule L fließt durch die Spule L ein Strom i(t), wodurch ein elektromagnetisches Feld erzeugt wird, das mit der Membran in Wechselwirkung tritt. Die Membran wird dabei in ein akustisches Ausbreitungsmedium abgestoßen, wodurch Quelldruckwellen in das akustische Ausbreitungsmedium als Trägermedium zwischen der Schallerzeugungseinheit der elektromagnetischen Quelle und einem zu beschallenden Objekt ausgesendet werden. Durch nichtlineare Effekte im Trägermedium können aus den akustischen Quelldruckwellen beispielsweise Stoßwellen entstehen. Der Aufbau einer elektromagnetischen Quelle, insbesondere einer elektromagnetischen Stoßwellenquelle, ist beispielsweise in der EP 0 133 665 B1 beschrieben.

[0005] Stoßwellen werden beispielsweise zur nichtinvasiven Zerstörung von Konkrementen im Körperinneren eines Patienten, z.B. zur Zerstörung eines Nierensteins, eingesetzt. Die auf den Nierenstein gerichteten Stoßwellen bewirken, dass in dem Nierenstein Risse entstehen. Der Nierenstein bricht schließlich auseinander und kann auf natürlichem Weg ausgeschieden werden.

[0006] Betreibt man den in Figur 1 gezeigten Schaltkreis zur Erzeugung akustischer Wellen, so ergeben sich während des Entladevorgangs des Kondensators C über die Spule L, wozu mittels des Schaltmittels 2 ein Kurzschluss erzeugt wird, die in der Figur 2 exemplarisch eingetragenen Verläufe der Spannung u(t) (Kurve 3) über der Spule L und des Stromes i(t) (Kurve 4) durch die Spule L. Der durch die Spule 4 fließende abklingende Strom i(t), ist, wie bereits erwähnt, ursächlich für die Erzeugung von akustischen Wellen.

[0007] Dem Quadrat des Stromes i(t), Kurve 5 in der Figur 2, proportional sind die von der elektromagnetischen Stoßwellenquelle erzeugten akustische Wellen. Aus einem Entladevorgang des Kondensators C gehen demnach eine erste akustische Quelldruckwelle aus dem ersten akustischen Quelldruckpuls (1. Maximum) und weitere akustische Quelldruckwellen aus der abklingenden Folge von positiven akustischen Quelldruckpulsen hervor. Die erste Quelldruckwelle und die nachfolgenden Quelldruckwellen können sich, wie bereits erwähnt, durch nichtlineare Effekte im Trägermedium und eine nichtlineare Fokussierung, welche in der Regel mit einer an sich bekannten akustischen Fokussierungslinse erfolgt, in Stoßwellen mit kurzen aufgesteilten Positivanteilen und nachfolgenden langgezogenen sogenannten Unterdruckwannen formen.

[0008] Durch die Frequenz des durch die Spule L flie-

ßenden Stromes i(t) können Eigenschaften der Stoßwelle, wie z.B. deren Fokusdurchmesser, verändert werden. Mit einer variablen Stromfrequenz und somit einer variablen Frequenz der Stoßwelle lässt sich beispielsweise die Größe des Wirkfokus verändern und je nach Anwendung auf das zu behandelnde Objekt einstellen. Beispielsweise kann bei einem Lithotripter der Wirkfokus entsprechend der jeweiligen Steingröße gewählt werden, so dass die akustische Energie besser für die Desintegration des Steines ausgenutzt und das umliegendes Gewebe weniger belastet wird.

[0009] Wegen der relativ hohe Kurzschlussleistungen bis in den 100 MW-Bereich, sind eine variable Kapazität des Kondensators C und eine variable Induktivität der Spule L kostspielig. Um die Stoßwelle zu variieren, wird daher im Allgemeinen nur die Ladespannung des Kondensators C variiert, wodurch sich die Maxima des Stromes i(t) durch die Spule L und der Spannung u(t) an der Spule L ändern. Die Kurvenformen des Stromes i(t) und der Spannung u(t) bleiben jedoch im Wesentlichen gleich.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Schaltkreis der eingangs genannten Art derart auszubilden, dass die Erzeugung von akustischen Wellen verbessert wird.

[0011] Nach der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch einen Schaltkreis der eingangs genannten Art, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass das erste Ventil derart geschaltet ist, dass es nach dem Aufladen beider Kondensatoren während des Entladens des ersten Kondensators sperrt, solange der erste Kondensator mit einer größeren Spannung als der zweite Kondensator aufgeladen ist, und leitend wird, sobald die Ladespannung des sich zuerst entladenden, ersten Kondensators wenigstens im Wesentlichen die Ladespannung des zweiten Kondensators erreicht, wodurch sich der zweite Kondensator zu entladen beginnt und die beiden, sich entladenden Kondensatoren die Spule der elektromagnetischen Quelle mit Strom speisen.

[0012] Die Erfindung betrifft weiterhin eine elektromagnetische Quelle mit einem erfindungsgemäßen Schaltkreis sowie einem Lithotripter mit einer derartigen elektromagnetischen Quelle.

[0013] Das erste Ventil, das gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine erste Diode oder ein erstes Diodenmodul ist, ist dabei derart geschaltet, dass es nach dem Aufladen beider Kondensatoren sperrt, also Ausgleichsvorgänge zwischen beiden Kondensatoren verhindert. Dadurch kann, wie es nach einer bevorzugten Variante der Erfindung vorgesehen ist, der erste Kondensator vor der Entladung beider Kondensatoren mit einer größeren Ladespannung als der zweite Kondensator aufgeladen werden. Für die Erzeugung der akustischen Welle durch den Stromkreis wird zuerst mit dem Entladen des ersten Kondensators, also mit dem Kondensator mit der größeren Ladespannung, über die Spule der elektromagnetischen Quelle begonnen. Sobald die Ladespannung des ersten Kondensators wenigstens im Wesentlichen gleich der Ladespannung des zweiten Kondensators ist, wird das erste Ventil leitend, so dass sich beide Kondensatoren entladen und beide Kondensatoren die Spule der elektromagnetischen Quelle mit Strom speisen. Folglich hat der Schaltkreis die Kapazität des ersten Kondensators, bevor der zweite Kondensator beginnt, sich zu entladen. Während sich beide Kondensatoren entladen, hat der Schaltkreis eine Kapazität, die der Summe der Kapazitäten beider Kondensatoren entspricht. Somit stellt sich eine zeitlich veränderbare Kapazität des Schaltkreises ein, wodurch die Kurvenform des durch die Spule der elektromagnetischen Quelle fließenden Stromes beeinflussbar ist. Durch ein Variierung der Ladespannungen beider Kondensatoren kann somit die Kurvenform des Stromes durch die Spule verändert werden, wodurch wiederum die Eigenschaften der Stoßwelle der elektromagnetischen Quelle variiert werden können. Die Kurvenform des Entladestromes kann weiter variiert werden, wenn der Schaltkreis mehrere in Serie geschaltete Ventil/Kondensatorpaare aufweist, die parallel zum ersten Kondensator geschaltet und mit unterschiedlichen Ladespannungen geladen sind.

[0014] Das erste Diodenmodul umfasst im Übrigen beispielsweise eine Reihen- und/oder Parallelschaltung mehrerer Dioden.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann vor der Entladung der erste Kondensator mit einer ersten Gleichspannungsquelle und der zweite Kondensator mit einer zweiten Gleichspannungsquelle aufgeladen werden. Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es auch vorgesehen, den ersten Kondensator und den zweiten Kondensator mit genau einer Gleichspannungsquelle aufzuladen und die Gleichspannungsquelle von dem zweiten Kondensator mit einem Schaltmittel wegzuschalten, sobald der zweite Kondensator seine Ladespannung erreicht hat. Das Schaltmittel umfasst gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wenigstens ein Halbleiterelement.

[0016] Nach einer besonders bevorzugten Variante der Erfindung ist vorgesehen, dass der Parallelschaltung aus zweitem Kondensator/erstem Ventil und erstem Kondensator ein zweites Ventil parallel geschaltet ist. Das zweite Ventil ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung eine zweite Diode oder ein zweites Diodenmodul. Durch die Parallelschaltung des zweiten Ventils zu den Kondensatoren erreicht man bei der Entladung der Kondensatoren eine zeitliche Verlängerung des ersten Quelldruckpulses. Außerdem werden die nachfolgenden abklingenden Quelldruckpulse abhängig von der Impedanz des zweiten Ventils stark bedämpft. Die Dämpfung kann dabei so groß sein, dass die nachfolgenden Quelldruckpulse gänzlich verschwinden. Durch die zeitliche Verlängerung des ersten Quelldruckpulses wird eine stärkere erste akustische Welle, beispielsweise bei der Erzeugung von Stoßwellen, also eine stärkere erste Stoßwelle, erzeugt, wodurch sich für die Zertrümmerung von Konkrementen eine Verstärkung der Volumen des-

integrierenden Wirkung ergibt. Dadurch, dass zudem nur noch wenige schwache oder überhaupt keine dem ersten Quelldruckpuls nachfolgende Quelldruckpulse auftreten, wird auch die gewebeschädigende Kavitation, verursacht durch die auf die erste Stoßwelle folgenden aus den nachfolgenden Quelldruckpulsen hervorgegangenen Stoßwellen vermindert. Dadurch erhöht sich durch die durch das zweite Ventil bedingte verringerte Umpolspannung die Lebensdauer des ersten und des zweiten Kondensators. Zudem werden bei einer derartigen Erzeugung von Stoßwellen weniger hörbare Schallwellen erzeugt, so dass sich eine Lärmreduzierung ergibt. Maßgeblich bei der Erzeugung von hörbaren Schallwellen bei der Erzeugung von Stoßwellen ist nämlich die Gesamtfläche unter der Kurve des Quadrates des Stromes. Diese wird im Falle der vorliegenden Erfindung insgesamt durch den Wegfall des normalerweise auf den ersten Quelldruckpuls folgenden Quelldruckpulses verringert.

[0017] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beigefügten schematischen Zeichnungen exemplarisch dargestellt. Es zeigen:

Figur 1 einen bekannten Schaltkreis zur Erzeugung akustischer Wellen,

Figur 2 Den Verlauf der Spannung u(t), des Stromes i(t) und des Quadrates des Stromes $i^2(t)$ über der Zeit während der Entladung des Kondensators des Schaltkreises aus Figur 1,

Figur 3 eine elektromagnetische Stoßwellenquelle,

Figur 4 einen erfindungsgemäßen Schaltkreis zur Erzeugung akustischer Wellen,

Figur 5 den Verlauf des Stromes i'(t) über der Zeit während der Entladung eines erfindungsgemäßen Schaltkreises und

Figur 6 bis 8 weitere erfindungsgemäße Schaltkreise.

[0018] Die Figur 3 zeigt in Form einer teils geschnittenen und teils blockschaltartigen Darstellung eine elektromagnetische Stoßwellenquelle in Form eines Therapiekopfes 10, der im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels Bestandteil eines nicht näher dargestellten Lithotripters ist. Der Therapiekopf 10 weist eine mit 11 bezeichnete, an sich bekannte Schallerzeugungseinheit auf, welche nach dem elektromagnetischen Prinzip arbeitet. Die Schallerzeugungseinheit 11 weist in in der Figur 3 nicht dargestellter Weise einen Spulenträger, eine auf diesem angeordnete Flachspule und eine gegenüber der Flachspule isolierte metallische Membran auf. Zur Erzeugung von Stoßwellen wird die Membran durch elektromagnetische Wechselwirkung mit der Flachspule in ein mit 12 bezeichnetes akustisches Ausbreitungsmedium abgestoßen, wodurch eine Quelldruckwelle in das akustische Ausbreitungsmedium 12 ausgesendet wird. Die Quelledruckwelle der akustischen Linse 13 wird auf eine Fokuszone F fokussiert, wobei sich die Quelldruckwelle während ihrer Ausbreitung in dem akustischen Ausbreitungsmedium 12 und nach Einleitung in den Körper eines Patienten P zu einer Stoßwelle aufsteilt. Im Falle des in Figur 3 gezeigten Ausführungsbeispiels dient die Stoßwelle zur Zertrümmerung eines Steines ST in der Niere N des Patienten P.

[0019] Dem Therapiekopf 10 ist eine Bedien- und Versorgungseinheit 14 zugeordnet, die bis auf die Flachspule den in der Figur 4 gezeigten erfindungsgemäßen Schaltkreis zur Erzeugung von akustischen Wellen umfasst. Die Bedien- und Versorgungseinheit 14 ist dabei über eine in der Figur 3 gezeigte Verbindungsleitung 15 mit der die Flachspule umfassenden Schallerzeugungseinheit 11 elektrisch verbunden.

[0020] Der in der Figur 4 gezeigte erfindungsgemäße Schaltkreis für eine elektromagnetische Stoßwellenquelle zur Erzeugung akustischer Wellen weist Gleichspannungsquellen DC0, DC1 und DC2, ein Schaltmittel S, Kondensatoren C0, C1 und C2 und die Flachspule 23 der elektromagnetischen Schallerzeugungseinheit 11 des Therapiekopfes 10 auf. Mit dem Kondensator C1 ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels eine Diode D1 und mit dem Kondensator C2 ist eine Diode D2 in Serie geschaltet. Die Serienschaltungen aus Kondensator C1/Diode D1 und Kondensator C2/Diode D2 sind außerdem parallel zum Kondensator C0 geschaltet.

[0021] Für eine Aufladung der Kondensatoren C0 bis C2 ist das Schaltmittel S geöffnet. Der Kondensator C0 wird deshalb mit der Gleichspannung U_0 der Gleichspannungsquelle DC0 und der in der Figur 4 dargestellten Polarität aufgeladen. Der Kondensator C1 wird mit der Gleichspannung U_1 der Gleichspannungsquelle DC1 und der in der Figur 4 dargestellten Polarität aufgeladen. Die Spannung U_1 der Gleichspannungsquelle DC1 ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels kleiner als die Spannung U_0 der Gleichspannungsquelle DC0. Die Diode D1 ist derart geschaltet, dass sie sperrt, solange der Kondensator C0 mit einer größeren Spannung $u_0(t)$ aufgeladen ist als der Kondensator C1. Die Diode D1 verhindert also einen Ausgleichsvorgang zwischen den mit den Spannungen U_0 bzw. U_1 aufgeladenen Kondensatoren C0 und C1, weshalb der Kondensator C0 am Ende des Aufladens mit der höheren Spannung U_0 aufgeladen ist als der Kondensator C1, der am Ende des Aufladens mit der Spannung U_1 aufgeladen ist. Der Kondensator C2 wird des Weiteren mit der Gleichspannung U_2 der Gleichspannungsquelle DC2 und der in der Figur 4 dargestellten Polarität aufgeladen. Die Gleichspannung U_2 ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels kleiner als die Gleichspannung U_1. Die Diode D2 ist ebenfalls derart geschaltet, dass sie sperrt, solange die Spannung $u_2(t)$ des Kondensators C2 kleiner als die

Spannung $u_0(t)$ des Kondensators C0 ist. Somit ist es möglich, die Kondensatoren C0 bis C2 mit unterschiedlich großen Spannungen aufzuladen.

[0022] Für das Erzeugen der Stoßwellen wird das Schaltmittel S geschlossen. Dadurch beginnt der Kondensator C0 sich über die Spule 23 zu entladen, wodurch die Spannung $u_0(t)$ des Kondensators C0 sinkt und ein Strom i'(t) durch die Flachspule 23 fließt. Die an der Flachspule 23 anliegende Spannung ist mit u'(t) bezeichnet. Erreicht die Spannung $u_0(t)$ des Kondensators C0 den Wert der Spannung U_1 des geladenen Kondensators C1, wird die Diode D1 leitend und der Strom i'(t) durch die Flachspule 23 wird von beiden Kondensatoren C0 und C1 gespeist. Erreichen die Spannung $u_0(t)$ des Kondensators C0 und die Spannung $u_1(t)$ des Kondensators C1 die Spannung U_2 des aufgeladenen Kondensators C2, wird die Diode D2 leitend und der Strom i'(t) durch die Flachspule 23 wird von den drei Kondensatoren C0 bis C2 gespeist. Somit stellt sich eine zeitlich veränderbare Kapazität des Schaltkreises ein, wodurch die Kurvenform des durch die Flachspule 23 fließenden Stromes i'(t) beeinflussbar ist. Durch in der Figur 4 nicht dargestellte weitere, parallel zum Kondensator C0 geschaltete Kondensator/Dioden Kombinationen, deren Kondensatoren mit unterschiedlich hohen Spannungen kleiner als die Spannung U_0 der Gleichspannungsquelle DC0 aufgeladen sind, kann die Kurvenform des Stromes i'(t) durch die Flachspule 23 während des Entladens weiter beeinflusst werden.

[0023] Die Figur 5 zeigt als Beispiel Verläufe von Strömen i'(t) durch die Flachspule 23 während des Entladens, wenn der in der Figur 4 gezeigte Schaltkreis nur die Kondensatoren C0 und C1 umfasst. Durch eine geeignete Wahl der Spannungen U_0 und U_1 der Gleichspannungsquellen DC0 und DC1 haben die Strommaxima gleiche Werte.

[0024] Die Figur 6 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Schaltkreises. Der in der Figur 6 dargestellte Schaltkreis umfasst im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels Kondensatoren C0' bis C2', Schaltmittel S', S1 und S2, Dioden D1' und D2', eine Gleichspannungsquelle DC0' und die Flachspule 23.

[0025] Die Diode D1' und der Kondensator C1' sowie die Diode D2' und der Kondensator C2' sind in Serie geschaltet. Die Serienschaltungen aus Kondensator C1'/ Diode D1' und Kondensator C2'/Diode D2' sind parallel zum Kondensator C0' geschaltet. Die Dioden D1' und D2' sind derart gepolt, dass sie sperren, solange der Kondensator C0' mit einer Spannung $u_0'(t)$ gemäß der in der Figur 6 eingezeichneten Polarität geladen ist, die größer als die Spannung $u_1'(t)$des Kondensators C1' bzw. der Spannung $u_2'(t)$ des Kondensators C2' gemäß der eingezeichneten Polarität ist.

[0026] Während des Aufladens der Kondensatoren C0' bis C2' ist das Schaltmittel S' geöffnet. Zu Beginn des Aufladens sind die Schaler S1 und S2 geschlossen. Da die Kondensatoren C1' und C2' mit Ladespannungen U_1' und U_2' geladen werden sollen, die kleiner als die Spannung U_0' der Gleichspannungsquelle DC0' sind, werden die Schalter S1 und S2 dann geöffnet, wenn die Kondensatoren C1' und C2' mit den gewünschten Spannungen U_1' und U_2' aufgeladen sind. Da die Kondensatoren im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels mit relativ geringen Strömen kleiner als 1 Ampere aufgeladen werden, sind Schaltgenauigkeiten der Schalter S1 und S2 im Millisekundenbereich ausreichend, um die Kondensatoren C1' und C2' mit ausreichender Genauigkeit aufzuladen. Die Spannungen $u_1'(t)$ und $u_2'(t)$ der Kondensatoren C1' und C2' werden während des Aufladens mit in der Figur 6 nicht dargestellten Messgeräten überwacht.

[0027] Am Ende des Aufladens sind daher die Schaltmittel S1 und S2 geöffnet, der Kondensator C0' mit der Spannung U_0' der Gleichspannungsquelle DC0' und die Kondensatoren C1' und C2' mit den Spannungen U_1' und U_2' geladen. Außerdem ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels die Spannung U_2' des aufgeladenen Kondensators C2 kleiner als die Spannung U_1' des aufgeladenen Kondensators C1.

[0028] Für die Entladung der Kondensatoren C0' bis C2' wird das Schaltmittel S' geschlossen und der Kondensator C0' beginnt sich über die Flachspule 23 zu entladen, wodurch ein Strom i'(t) durch die Flachspule 23 fließt. Solange die Spannung $u_0'(t)$ des Kondensators C0' größer als die Spannung U_1' des aufgeladenen Kondensators C1' ist, sperren die Dioden D1' und D2'. Erreicht die Spannung $u_0'(t)$ des Kondensators C0' den Wert der Spannung U_1' des aufgeladenen Kondensators C1', wird die Diode D1' leitend und der Strom i'(t) durch die Flachspule 23 wird von den Kondensatoren C0' und C1' gespeist. Erreichen die Spannungen $u_0'(t)$ und $u_1'(t)$ der Kondensatoren C0' und C1' den Wert der Spannung U_2' des aufgeladenen Kondensators C2', wird auch die Diode D2' leitend und der Strom i'(t) durch die Flachspule 23 wird von den Kondensatoren C0' bis C2' gespeist.

[0029] Die Figur 7 zeigt einen weiteren erfindungsgemäßen Schaltkreis, der im Vergleich zu dem in der Figur 4 gezeigten Schaltkreis eine zusätzliche Diode D3 aufweist. Die Diode D3 ist parallel und in Sperrrichtung zur Ladespannung U_0 des Kondensators C0 geschaltet.

[0030] Die Figur 8 zeigt noch einen weiteren erfindungsgemäßen Schaltkreis, der im Vergleich zu dem in der Figur 6 gezeigten Schaltkreis eine zusätzliche Diode D3' aufweist. Die Diode D3' ist parallel und in Sperrrichtung zur Ladespannung U'_0 des Kondensators C0' geschaltet.

[0031] Anstelle der Dioden D1 bis D3 und D1' bis D3' können insbesondere auch Diodenmodule aufweisend eine Reihenschaltung und/oder Parallelschaltung mehrerer Dioden eingesetzt werden. Die Schaltmittel S, S', S1 und S2 können insbesondere eine Reihenschaltung von an sich bekannten Thyristoren sein, die z.B. von der Firma BEHLKE ELECTRONIC GmbH, Am Auerberg 4, 61476 Kronberg in ihrem Katalog "Fast High Voltage Solid-State Switches" vom Juni 2001 angeboten werden.

Patentansprüche

1. Schaltkreis für eine elektromagnetische Quelle (10) zur Erzeugung akustischer Wellen, der eine Spule (23) der elektromagnetischen Quelle (10) und wenigstens einen ersten Kondensator (C0) umfasst, der parallel zu wenigstens einer Serienschaltung aus einem zweitem Kondensator (C1) und einem ersten Ventil (D1) geschaltet ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste Ventil (D1) derart geschaltet ist,
dass es nach dem Aufladen beider Kondensatoren (C0,C1) während des Entladens des ersten Kondensators (C0) sperrt, solange der erste Kondensator (C0) mit einer größeren Spannung ($u_0(t)$) als der zweite Kondensator (C1) aufgeladen ist, und leitend wird, sobald die Ladespannung ($u_0(t)$) des sich zuerst entladenden, ersten Kondensators (C0) wenigstens im Wesentlichen die Ladespannung ($u_1(t)$) des zweiten Kondensators (C1) erreicht, wodurch sich der zweite Kondensator (C1) zu entladen beginnt und die beiden, sich entladenden Kondensatoren (C0, C1) die Spule (23) der elektromagnetischen Quelle (10) mit Strom (i'(t)) speisen.

2. Schaltkreis nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste Ventil eine erste Diode (D1, D2, D1', D2') oder ein erstes Diodenmodul ist.

3. Schaltkreis nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass vor der Entladung des ersten Kondensators (C0, C0') und des zweiten Kondensators (C1, C2, C1', C2') der erste Kondensator (C0, C0') mit einer größeren Ladespannung (U_0, U_0') als der zweite Kondensator (C1, C2, C1', C2') aufladbar ist.

4. Schaltkreis nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass vor der Entladung der erste Kondensator (C0) mit einer ersten Gleichspannungsquelle (DC0) und der zweite Kondensator (C1, C2) mit einer zweiten Gleichspannungsquelle (DC1, DC2) aufladbar sind.

5. Schaltkreis nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste Kondensator (CO') und der zweite Kondensator (C1', C2') mit genau einer Gleichspannungsquelle (DC) aufladbar sind und die Gleichspannungsquelle (DC) von dem zweiten Kondensator mit einem Schaltmittel (S1, S2) wegschaltbar ist, sobald der zweite Kondensator seine Ladespannung erreicht hat.

6. Schaltkreis nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Schaltmittel (S1, S2) wenigstens ein Halbleiterelement umfasst.

7. Schaltkreis nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Parallelschaltung aus zweitem Kondensator (C1, C2, C1', C2')/erstem Ventil (D1, D2, D1', D2') und erstem Kondensator (C0, C0') ein zweites Ventil (D3, D3') parallel geschaltet ist.

8. Schaltkreis nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass das zweite Ventil eine zweite Diode (D3, D3') oder ein zweites Diodenmodul ist.

9. Elektromagnetische Quelle (10) mit einem Schaltkreis nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

10. Lithotripter mit einer elektromagnetischen Quelle (10) nach Anspruch 9.

Claims

1. Switching circuit for an electromagnetic source (10) for generating acoustic waves, comprising a coil (23) of the electromagnetic source (10) and at least one first capacitor (C0), which is connected in parallel with at least one series circuit composed of a second capacitor (C1) and a first valve (D1)
characterised in that
the first valve (D1) is connected such that it blocks after charging both capacitors (C0,C1) during discharge of the first capacitor (C0) as long as the first capacitor (C0) is charged with a larger voltage ($u_0(t)$) than the second capacitor (C1) and it is conductive as soon as the charging voltage ($u_0(t)$) of the first capacitor, during discharge thereof, reaches at least substantially the charging voltage ($u_1(t)$) of the second capacitor (C1), whereupon the second capacitor (C1) begins to discharge and the two discharging capacitors (C0, C1) feed the coil (23) of the electromagnetic source (10) with current ($i'(t)$).

2. Switching circuit according to claim 1,
characterised in that
the first valve is a first diode (D1, D2, D1', D2') or a first diode module.

3. Switching circuit according to claim 1 or 2,
characterised in that
the first capacitor (C0, C0') can be charged with a greater charging voltage ($U_0.U_0$') than said second capacitor (C1, C2, C1', C2'), before discharge of the first capacitor (C0, C0') and of the second capacitor (C1, C2, C1', C2').

4. Switching circuit according to one of claims 1 to 3,
characterised in that

before discharge, the first capacitor (C0) can be charged with a first direct voltage source (CD0) and the second capacitor (C1, C2) can be charged with a second direct voltage source (DC1, DC2).

5. Switching circuit according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the first capacitor (CO') and the second capacitor (C1', C2') can be charged with precisely one direct voltage source (DC) and the direct voltage source (DC) can be disconnected from the second capacitor using a switching means (S1, S2) when said second capacitor has reached its charging voltage.

6. Switching circuit according to claim 5, **characterised in that** the switching means (S1, S2) comprises at least one semiconductor element.

7. Switching circuit according to claims 1 to 6, **characterised in that** the parallel circuit composed of the second capacitor (C1, C2, C1', C2')/first valve (D1, D2, D1', D2') and a first capacitor (C0, C0') is connected in parallel with a second valve (D3, D3').

8. Switching circuit according to claim 7 **characterised in that** the second valve is a second diode (D3, D3') or a second diode module.

9. Electromagnetic source (10) with a switching circuit according to one of the preceding claims.

10. Lithotripter with an electromagnetic source (10) according to claim 9.

Revendications

1. Circuit pour une source électromagnétique (10) pour la production d'ondes acoustiques, qui comprend une bobine (23) de la source électromagnétique (10) et au moins un premier condensateur (C0) qui est branché en parallèle avec au moins un montage en série composé d'un deuxième condensateur (C1) et d'une première soupape (D1), **caractérisé par le fait que** la première soupape (D1) est branchée de telle sorte qu'elle est bloquante après le chargement des deux condensateurs (C0, C1) pendant le déchargement du premier condensateur (C0) tant que le premier condensateur (C0) est chargé avec une plus grande tension (u_0 (t)) que le deuxième condensateur (C1) et qu'elle est conductrice dès que la tension de charge (u_0 (t)) du premier condensateur (C0) se déchargeant d'abord atteint au moins sensiblement la tension de charge (u_1 (t)) du deuxième condensateur (C1), ce qui fait que le deuxième condensateur (C1) commence à se décharger et que les deux condensateurs (C0, C1) se déchargeant alimentent la bobine (23) de la source électromagnétique (10) avec un courant (i' (t)).

2. Circuit selon la revendication 1, **caractérisé par le fait que** la première soupape est une première diode (D1, D2, D1', D2') ou un premier module de diodes.

3. Circuit selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé par le fait que**, avant le déchargement du premier condensateur (C0, C0') et du deuxième condensateur (C1, C2, C1', C2'), le premier condensateur (C0, C0') peut être chargé avec une plus grande tension de charge (U_0, U_0') que le deuxième condensateur (C1, C2, C1', C2').

4. Circuit selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé par le fait que**, avant le déchargement, le premier condensateur (C0) peut être chargé avec une première source de tension continue (DC0) et le deuxième condensateur (C1, C2) avec une deuxième source de tension continue (DC1, DC2).

5. Circuit selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé par le fait que** le premier condensateur (C0') et le deuxième condensateur (C1', C2') peuvent être chargés avec exactement une source de tension continue (DC) et que la source de tension continue (DC) peut être coupée du deuxième condensateur à l'aide d'un moyen de commutation (S1, S2) dès que le deuxième condensateur a atteint sa tension de charge.

6. Circuit selon la revendication 5, **caractérisé par le fait que** le moyen de commutation (S1, S2) comprend au moins un élément semiconducteur.

7. Circuit selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé par le fait qu'**une deuxième soupape (D3, D3') est branchée en parallèle avec le montage en parallèle composé du deuxième condensateur (C1, C2, C1', C2') / première soupape (D1, D2, D1', D2') et du premier condensateur (C0, C0').

8. Circuit selon la revendication 7, **caractérisé par le fait que** la deuxième soupape est une deuxième diode (D3, D3') ou un deuxième module de diodes.

9. Source électromagnétique (10) avec un circuit selon l'une des revendications précédentes.

10. Lithotripteur avec une source électromagnétique (10) selon la revendication 9.

FIG 1

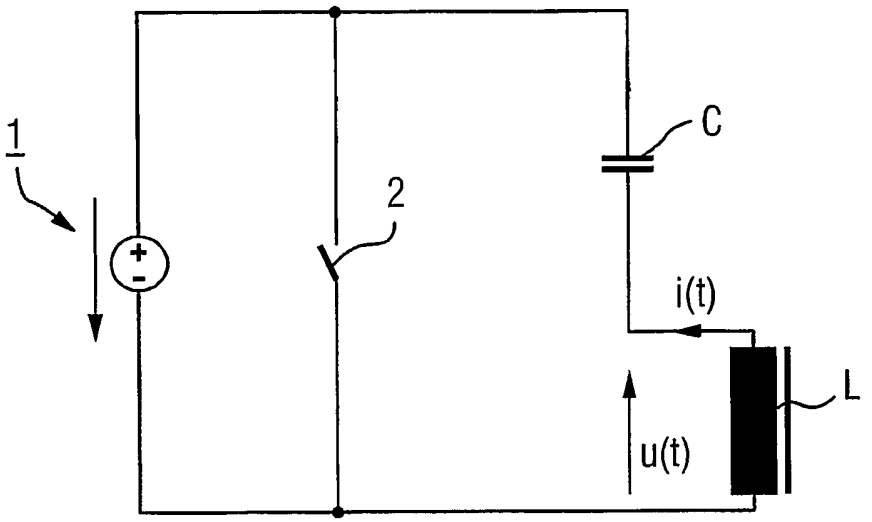
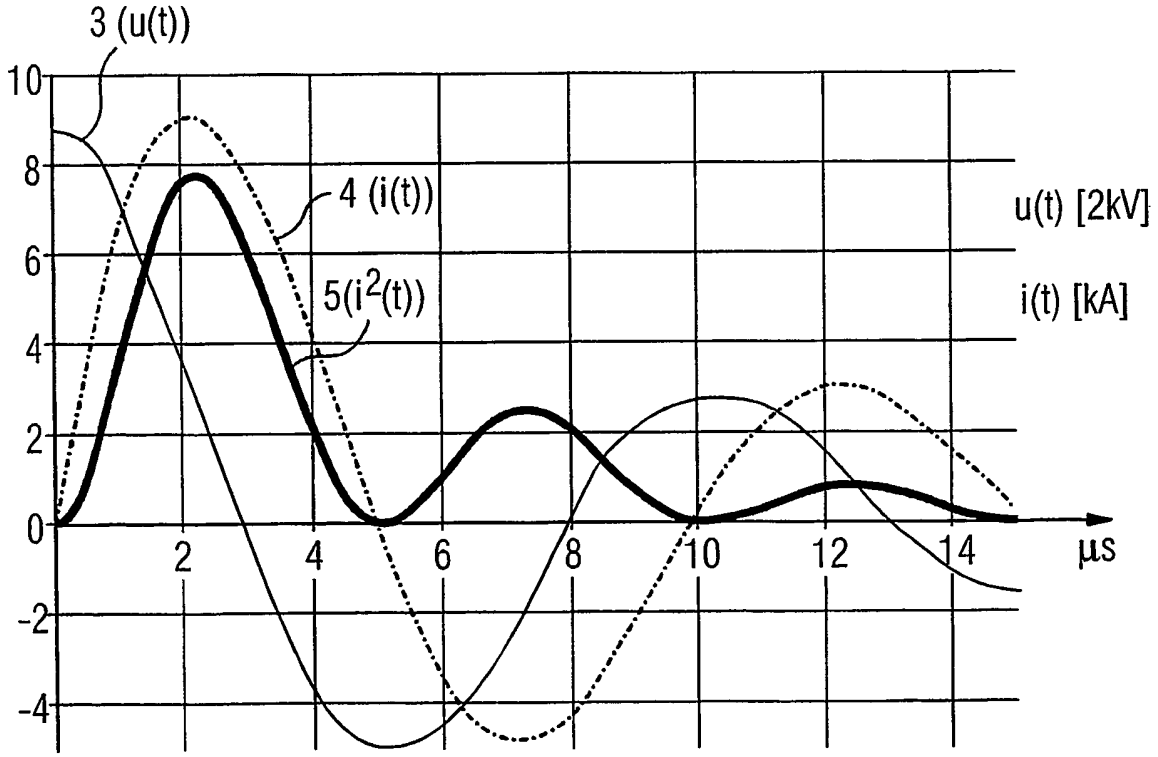


FIG 2



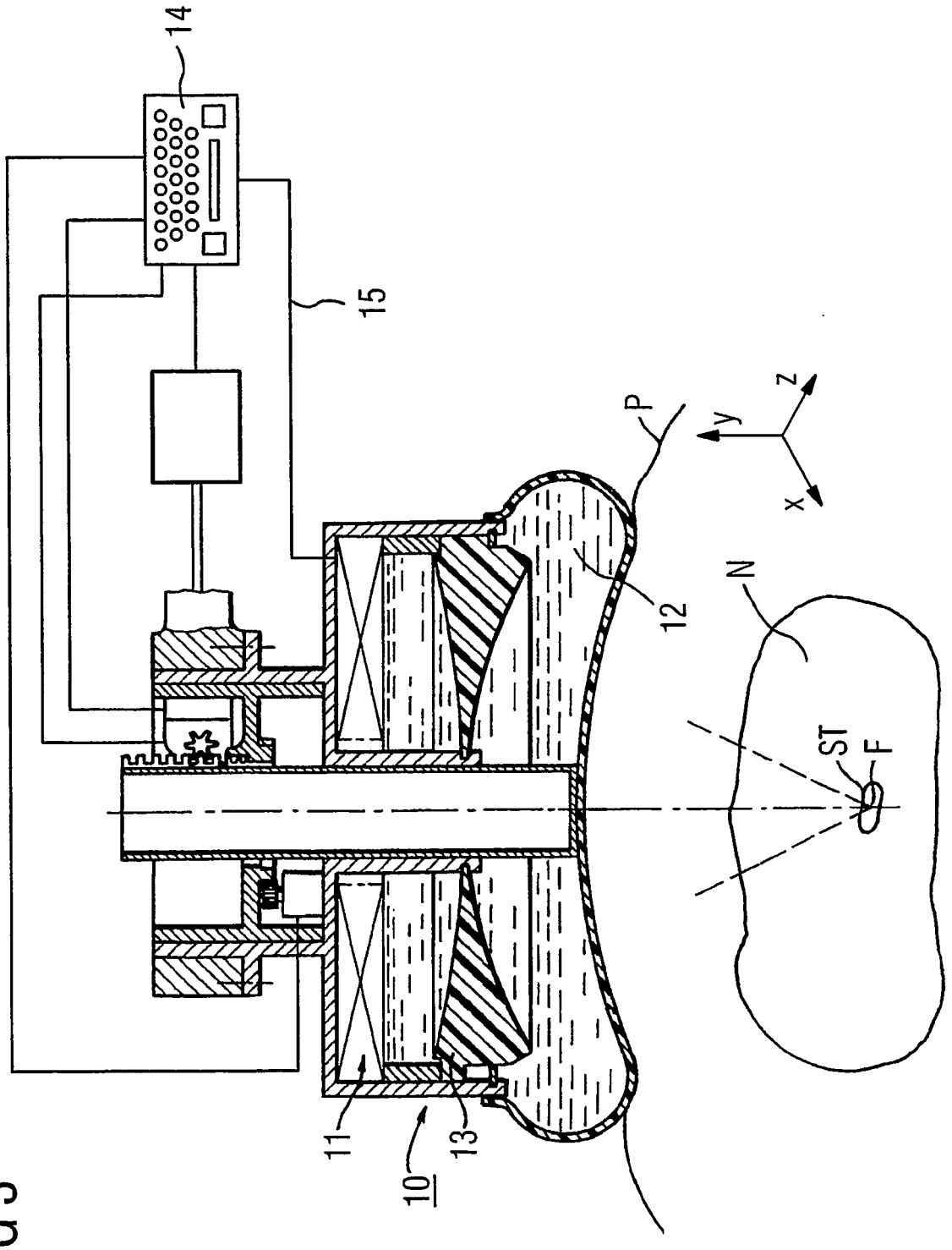


FIG 3

FIG 4

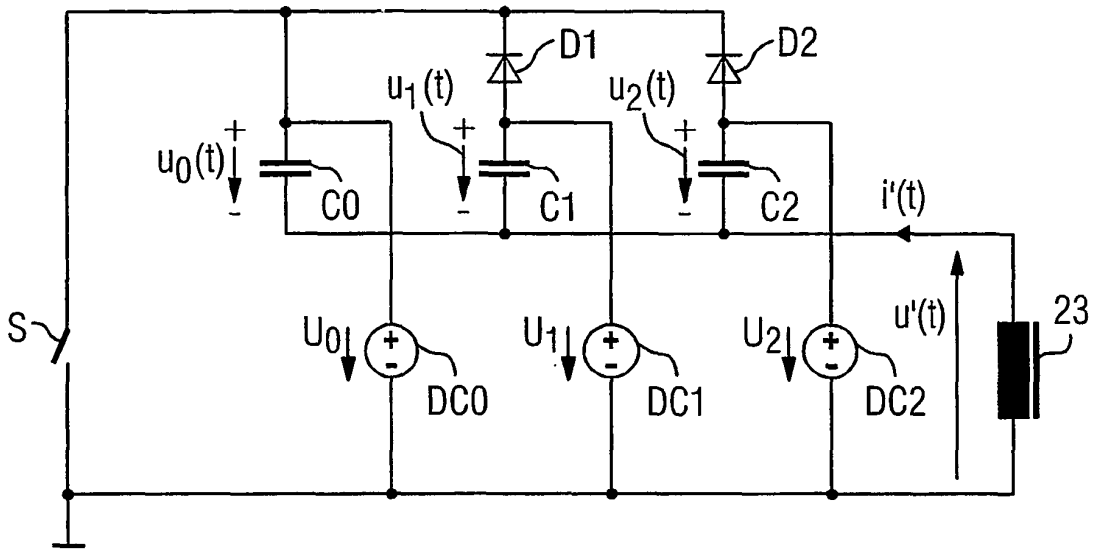

D1
D2
$u_1(t)$
$u_2(t)$
$u_0(t)$
C0
C1
C2
i'(t)
S
U_0
U_1
U_2
DC0
DC1
DC2
u'(t)
23

FIG 5

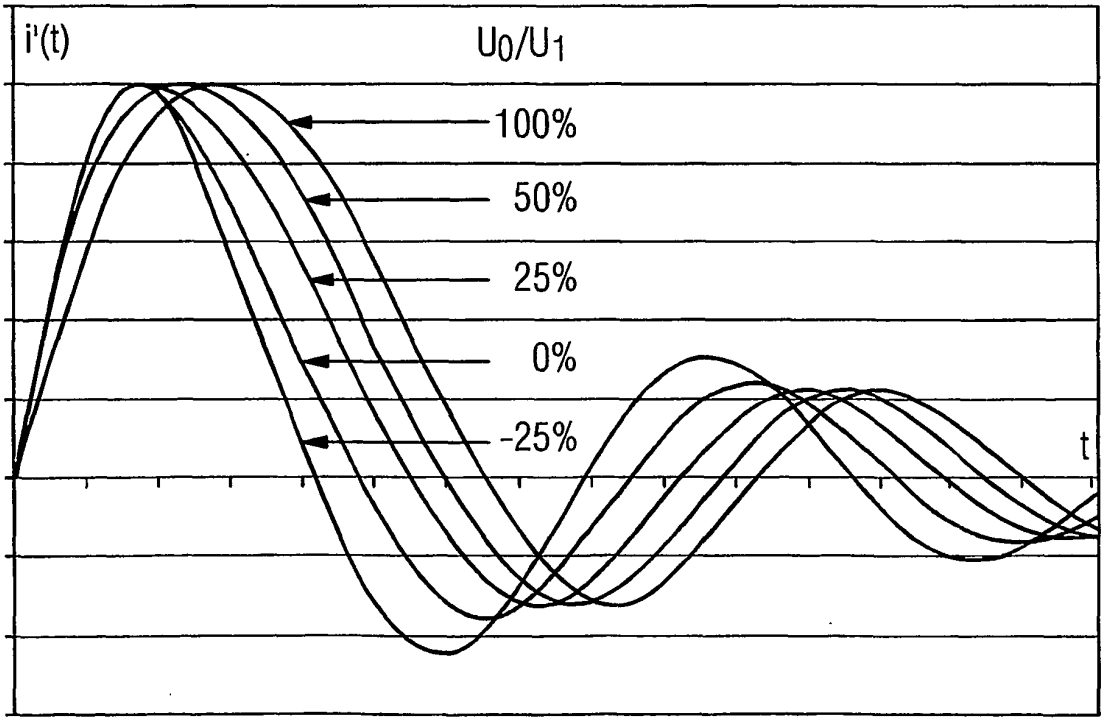

i'(t)
U_0/U_1
100%
50%
25%
0%
-25%
t

FIG 6

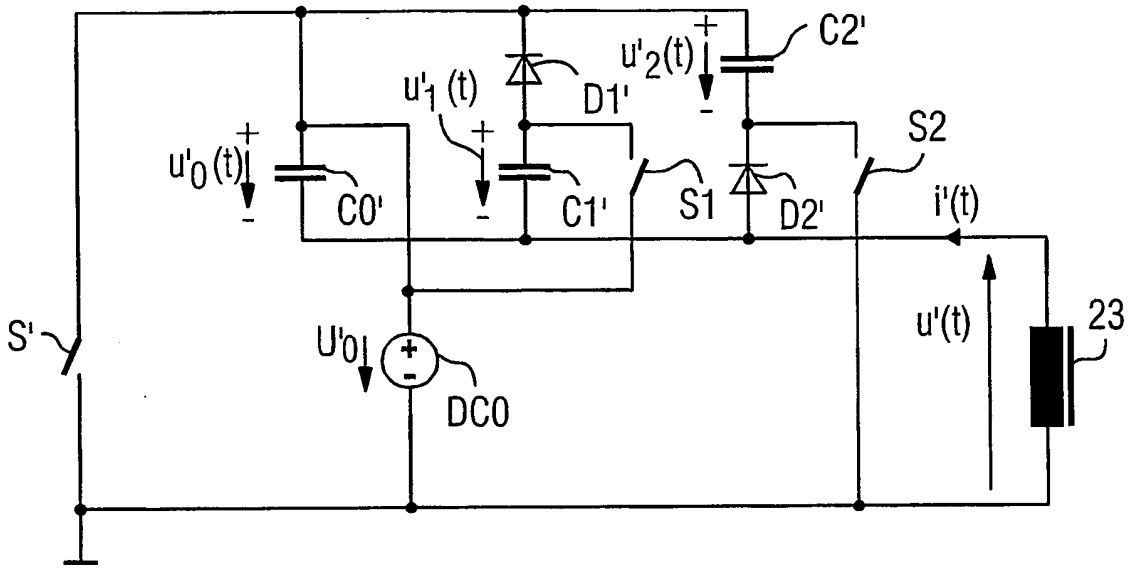

C2'
u'2(t)
u'1(t)
D1'
S2
u'0(t)
C0'
C1'
S1
D2'
i'(t)
S'
u'(t)
23
U'0
DC0

FIG 7

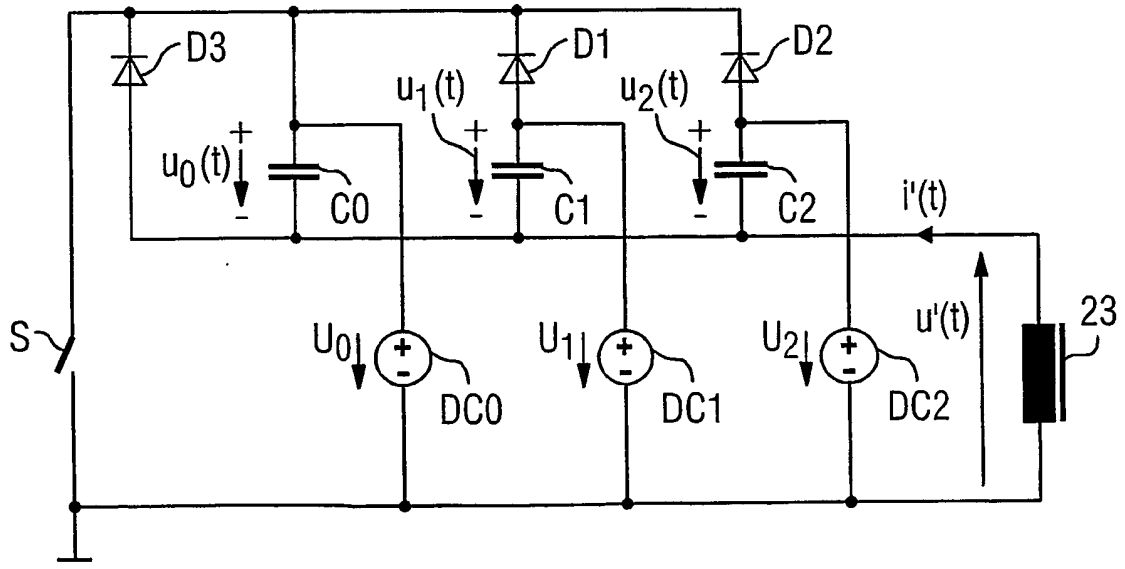

D3
D1
D2
u1(t)
u2(t)
u0(t)
C0
C1
C2
i'(t)
S
U0
U1
U2
u'(t)
23
DC0
DC1
DC2

FIG 8

