

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 614 704 A2**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **94101427.6**

(51) Int. Cl.⁵: **B06B 1/06**

(22) Anmeldetag: **01.02.94**

(30) Priorität: **11.03.93 DE 4307669**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.09.94 Patentblatt 94/37

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB

(71) Anmelder: **Richard Wolf GmbH**
Pforzheimer Strasse 32
D-75438 Knittlingen (DE)

(72) Erfinder: **Krauss, Werner**
Beethovenstrasse 84
D-75438 Knittlingen (DE)
Erfinder: **Zwingenberger, Jan, Dipl.-Ing.**
C1 9
D-68159 Mannheim (DE)
Erfinder: **Jaggy, Peter**
Weissdornweg 11
D-75443 Ötisheim (DE)

(74) Vertreter: **Wilcken, Thomas, Dipl.-Ing. et al**
Patentanwälte
Wilcken & Vollmann
Musterbahn 1
D-23552 Lübeck (DE)

(54) **Gerät zur Erzeugung von Schallimpulsen für den medizinischen Anwendungsbereich.**

(57) Das insbesondere auch zur Erzeugung von Stoßwellen zur Beschallung von körperinneren Objekten geeignete Gerät ist mit piezokeramischen Wandlerelementen (1) als elektroakustische Wandler ausgestattet, die aus einer Hochspannungsquelle (9) mit Hochspannungsimpulsen angesteuert werden können, um in Abhängigkeit von der vorgegebenen Polarisierung der Wandlerelemente (1) und der Polarität der Hochspannungsimpulse Stoßwellen oder Schallimpulse durch gerichtete Deformationen und Längenänderungen der Wandlerelemente (1) zu erzeugen. Die vom Gerät abgegebene Schallenergie ist dann besonders hoch, wenn die Wandlerelemente (1) vor dem Eintreffen eines Hochspannungsimpulses (16) mit einer Vorspannung (14) beaufschlagt und vorgespannt werden, deren Polarität entgegengesetzt zur Polarität des Hochspannungsimpulses ist.

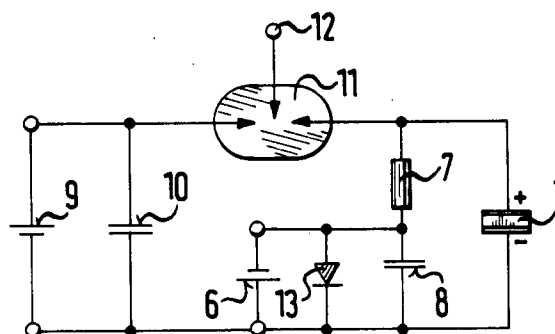


FIG. 1

EP 0 614 704 A2

Die Erfindung geht aus von einem Gerät zur Erzeugung von Schallimpulsen für den medizinischen Anwendungsbereich, insbesondere zur Erzeugung von Stoßwellen zur Beschallung von körperinneren Objekten, mit piezokeramischen Wandlerelementen als elektroakustische Wandler, die aus einer Hochspannungsquelle mit Hochspannungsimpulsen ansteuerbar sind, um in Abhängigkeit von der vorgegebenen Polarisierung der Wandlerelemente und der Polarität der Hochspannungsimpulse die Schallimpulse durch gerichtete Längenänderungen der Wandlerelemente zu erzeugen.

Bekannte Geräte dieser Art (DE-C 39 32 959, DE-A 40 00 362 und EP-A 0 372 198), haben sich vor allem bei der extrakorporalen Lithotripsie bewährt, da sie eine gewebeschonende und schmerzfreie Therapieform bieten, im übrigen aber eine gezielte und effektive Beschallung des Objektes, beispielsweise eines Harnleiter- oder Nierensteines, gewährleisten.

Man wünscht sich aber für bestimmte Anwendungsbereiche, etwa für die Zerstörung von tiefliegenden Harnleitersteinen, zusätzliche Leistungsreserven hinsichtlich der Schallenergie, um noch effektiver arbeiten zu können. Auch für andere Therapieformen werden im Prinzip höhere Leistungen als bisher möglich erforderlich, wobei man etwa an die Stimulation von Knochengewebe und die Behandlung von Pseudoarthrosen denken kann.

Leistungssteigerungen lassen sich durch Anwendung neuer verbesserter Piezokeramiken oder auch durch optimale akustische Anpassungen erreichen, was aber im allgemeinen mit einem relativ hohen Aufwand verbunden ist. Weiterhin kann die Leistung der Geräte auch durch Erhöhung der die Wandlerelemente ansteuernden Hochspannungsimpulse gesteigert werden. Dies geht aber nur auf Kosten der Lebensdauer der Wandlerelemente und stellt höchste Anforderungen an die Isolationsfestigkeit, da sich die Kontaktierungen bzw. Elektroden der Wandlerelemente sonst nicht mehr zuverlässig gegeneinander elektrisch isolieren lassen. Im übrigen kann auf diesem Weg die Geräteleistung ohnehin nur begrenzt erhöht werden, da anderenfalls die elektrische Feldstärke zwischen den Kontakten der Wandlerelemente zu hoch wird, die Auslenkung und Längenänderung der Wandlerelemente nicht mehr proportional zur angelegten Spannung zunimmt und schließlich die Keramik zerstört werden könnte.

Durch die Erfindung soll eine einfach und kostengünstig zu verwirklichende Möglichkeit zur Steigerung der akustischen Leistung der in Rede stehenden Geräte aufgezeigt werden.

Diese Aufgabe wird bei einem Gerät der eingangs erwähnten Art erfindungsgemäß so gelöst, daß die Wandlerelemente vor dem Eintreffen je-

weils eines Hochspannungsimpulses mit einer Vorspannung beaufschlagbar sind, deren Polarität entgegengesetzt zur Polarität des Hochspannungsimpulses ist.

Wenn von den Wandlerelementen beispielsweise positive Druckimpulse als akustische Nutzimpulse zur Beschallung von Objekten erzeugt werden sollen, werden die Wandlerelemente mit der Vorspannung zunächst negativ vorgespannt, so daß in ihnen ein negativ gerichtetes elektrisches Feld aufgebaut wird und die Länge der Wandlerelemente, ausgehend von einer neutralen Ausgangskonfiguration, reduziert wird. Auch im Zusammenhang mit einer solchen Vorspannung wird also der reziproke piezoelektrische Effekt ausgenutzt, so daß die Wandlerelemente nicht nur durch das entsprechend gerichtete elektrische Feld, sondern quasi auch mechanisch negativ vorgespannt werden und die Lage der Abstrahlfläche durch ein negatives Offset verändert wird. Dies setzt natürlich voraus, daß die Polarität der Vorspannung und Feldstärke sowie die Polarisierung des Keramikmaterials entsprechend aufeinander abgestimmt sind, was im wesentlichen eine Frage der Polarisierung des Keramikmaterials ist, von der bei der Bestimmung der Polarität der Vorspannung und der Hochspannungsimpulse auszugehen ist.

Nach negativer Vorspannung der Wandlerelemente werden diese mit dem kurzen transienten und positiven Hochspannungsimpuls angesteuert und unter Abgabe eines positiven Druckimpulses aus der willkürlich herbeigeführten Deformation in Abstrahlrichtung entgegengesetzt deformiert. In umgekehrter Weise wäre vorzugehen, wenn negative Druckimpulse bzw. Zugimpulse erzeugt werden sollen. In diesem Fall werden die Wandlerelemente positiv vorgespannt, so daß ihre Länge im Verhältnis zur neutralen Ausgangskonfiguration zunächst um einen positiven Offset größer wird, während anschließend die Wandlerelemente mit negativen Hochspannungsimpulsen beaufschlagt werden und ihre Länge schlagartig reduziert wird mit der Folge eines negativen akustischen Impulses.

Wenn man davon ausgeht, daß die Wandlerelemente beispielsweise nur mit einer Hochspannung beaufschlagt werden sollen, die gleich groß ist wie die Spannung der Hochspannungsimpulse bei herkömmlichen Geräten mit geringer akustischer Leistung, läßt sich mit der erfindungsgemäßen Lösung erreichen, daß die maximale an den Wandlerelementen anliegende Spannung um den Betrag der Vorspannung und somit das Risiko von Spannungsüberschlägen zwischen den Elektroden der Wandlerelemente reduziert werden können.

Außerdem ist es möglich, den Bereich der erforderlichen Deformationen und Auslenkungen der Wandlerelemente in einen Bereich zu verlegen, in dem die Auslenkungen proportional zur angeleg-

ten Hochspannung sind.

Schließlich wird die Leistung des Gerätes auch dadurch gesteigert, daß aufgrund der Vorspannung der Wandlerelemente eine kurze Anstiegszeit ihrer Deformation und Auslenkung erreicht wird, sobald der jeweilige Hochspannungsimpuls eintrifft. Dies liegt an dem Bestreben des Keramikmaterials, aus dem vorgespannten Zustand in den neutralen Zustand zurückkehren zu wollen, wodurch die Beschleunigung der Deformation höher ist als wenn wie bisher die Wandlerelemente in einem ladungsneutralen Zustand angesteuert werden.

Die Vorspannung kann eine permanente Gleichspannung sein, der die in ihrem absoluten Spannungswert höheren Hochspannungsimpulse überlagert werden. Andererseits kann die Vorspannung auch eine Impulsform haben und jeweils im wesentlichen zeitgleich mit dem Beginn bzw. Eintreffen eines Hochspannungsimpulses abgeschaltet werden. Da sich die Wandlerelemente wie RC-Glieder mit einer Zeitkonstanten $\tau \approx R \times C$ verhalten, sollten bei Anwendung von Vorspannungsimpulsen deren zeitliche Länge Δt und die Zeitkonstante τ die Beziehung $\Delta t \geq 5\tau$ erfüllen, damit die Wandlerelemente rechtzeitig vor dem Auftreten der Hochspannungsimpulse auf den erforderlichen Wert vorgespannt werden können.

Neben der vorerwähnten ersten Hochspannungsquelle wird in der Steuerung des Gerätes eine zweite Hochspannungsquelle zur Erzeugung der Vorspannung für die Wandlerelemente vorgesehen, wobei die erste Hochspannungsquelle über einen triggerbaren Schalter an die Wandlerelemente anschließbar ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele weiter erläutert. Es zeigen:

Figur 1

eine Schaltung mit Hochspannungsquellen zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse und der Vorspannung,

Figuren 2 bis 5

zeitliche Verläufe von Spannungen in der Geräteschaltung und an den Wandlerelementen, Figur 6

ein Wandlerelement in Verbindung mit einem möglichen Verlauf der an ihm wirksamen Spannung und

Figuren 7 bis 10

schematisch diverse Ausführungsformen von elektroakustischen Wandlern.

Gemäß Figur 7 können die Wandlerelemente stehend und in mosaikartiger Anordnung so an einem Träger 2 angeordnet sein, daß sich aufgrund der Kugelkalottenform des Trägers die Achsen der Wandlerelemente in einem Punkt, nämlich im Fokus des Wandlers treffen. Es handelt sich hierbei also um eine selbstfokussierende Ausführung.

Die Wandlerelemente haben abstrahlseitig oben Kontaktierungen, über die sie mit an Masse liegenden Drähten 3 miteinander verbunden sind. Die gegenüberliegenden Enden der Wandlerelemente sind mit dem Träger 2 aus elektrisch leitendem Material verbunden. Der Träger steht mit den später beschriebenen Hochspannungsquellen zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse und der Vorspannung in Verbindung.

Bei dem ebenfalls selbstfokussierenden Wandler nach Figur 8 befinden sich die Wandlerelemente 1 an der Unterseite des an Masse liegenden Trägers 2, so daß in diesem Fall die gegenüberliegende Trägerseite die Abstrahlfläche bildet. Die elektrischen Kontaktierungen und Verbindungen der Wandlerelemente mit den Drähten 3 sind so wie bei dem in Figur 7 gezeigten Wandler ausgeführt und an die Ausgänge der Hochspannungsquellen angeschlossen.

Bei dem planaren Wandler gemäß Figur 9 sind die Wandlerelemente 1 auf einem ebenen Träger 2 befestigt, so daß die von ihnen auf parallelen Achsen abgegebenen Schallimpulse, falls deren Fokussierung erforderlich ist, mit einer akustischen Linse 4 fokussiert werden müssen. Wenn entsprechend Figur 10 eine metallische Fokussierlinse 5 verwendet wird, können gesonderte Verbindungsdrähte entfallen, da deren Funktion die die oberen Enden der Wandlerelemente elektrisch verbindende Linse übernehmen kann. Die anderen Enden der Wandlerelemente stehen dann über den metallischen Träger 2 in Verbindung, so daß auch hier wie bei den drei vorab geschriebenen Wandlertypen alle Wandlerelemente elektrisch parallel geschaltet sind.

Im übrigen richtet sich die Polung der Spannungen, mit denen die Wandlerelemente angesteuert werden, und die Polung der Anschlüsse der Wandlerelemente danach, wie diese polarisiert sind und ob sie positive Druckimpulse oder negative Zugimpulse erzeugen sollen. Dies ist bekannt und braucht deshalb nicht näher erläutert zu werden.

Mit der in Figur 1 gezeigten Schaltung können die Wandlerelemente 1 negativ vorgespannt und anschließend jeweils mit positivem Hochspannungsimpulsen angesteuert werden. Mit der in bezug auf die Polarisierung der Wandlerelemente negativ geschalteten Hochspannungsquelle 6 werden die Wandlerelemente 1 über den Widerstand 7 entgegen ihrer Polarisationsrichtung vorgespannt, wobei der Kondensator 8 als Trennkondensator für die Vorspannung wirkt, die in diesem Fall eine permanente Gleichspannung sein soll.

Über die weitere Hochspannungsquelle 9 wird der Ladekondensator 10 aufgeladen. Ein schneller und z.B. als Funkenstrecke ausgebildeter Schalter 11 steht an seinem Eingang 12 mit einer nicht weiter dargestellten und üblichen Triggerschaltung

in Verbindung. Durch Triggerung des Schalters 11 wird dieser jeweils kurzzeitig geschlossen, so daß die Wandlerelemente in Polarisationsrichtung mit der am Ladekondensator 10 anstehenden Hochspannung in Form eines positiven Hochspannungsimpulses angesteuert werden. Über den Widerstand 7 und die Diode 13 werden anschließend die Wandlerelemente wieder auf den Ladungszustand zurückgeführt, der durch die permanente Vorspannung bestimmt ist.

In entsprechender Weise funktioniert diese Schaltung, wenn die Wandlerelemente positiv vorgespannt und mit negativen Hochspannungsimpulsen beaufschlagt werden sollen, um dementsprechend negativ gerichtete akustische Impulse bzw. Stoßwellen erzeugen zu können. Dann sind nur die beiden Hochspannungsquellen 6 und 9 und die Diode 8 umgekehrt gepolt in die Schaltung nach Figur 1 einzubauen.

Bei den gemäß Figur 2 über der Zeit t verlaufenden Spannungen U wird vorausgesetzt, daß die von der Hochspannungsquelle 6 bereitgestellte Vorspannung 14 eine negative Gleichspannung ist. Die Triggerimpulse 15 steuern den Schalter 11 an, so daß wie vorher beschrieben die positiven Hochspannungsimpulse 16 erzeugt werden, welche in diesem Fall die Vorspannung 14 übersteuern, so daß sich an den Wandlerelementen der Verlauf der Spannung 17 ergeben wird, der im wesentlichen mit dem Verlauf der Deformation und Längenänderung 18 der Wandlerelemente übereinstimmen wird, wenn im linearen Bereich gearbeitet wird. Unter diesen Voraussetzungen kann man am unteren Diagramm der Figur 2 auch erkennen, daß aufgrund der negativen Vorspannung ein negativer Offset 18a der Wandlerelemente und beim Eintreffen eines Hochspannungsimpulses 16 der Verlauf 18b der Längenänderung der Wandlerelemente entstehen.

Die Spannungsverläufe nach Figur 3 ergeben sich bei einer impulsartigen Form der negativen Vorspannung, wobei die Vorspannungsimpulse 19 im wesentlichen gleichzeitig mit dem Auftreten der Hochspannungsimpulse 16 beendet werden. Dies macht eine zusätzliche Triggerung der Hochspannungsquelle 6 über einen Schalter erforderlich, und zwar so, daß die Vorspannung bzw. Vorspannungsimpulse 19 zeitlich und im Verhältnis zu den Hochspannungsimpulsen 16 so wie in Figur 3 dargestellt erzeugt werden. Dann ergibt sich an den Wandlerelementen der Verlauf der Spannung 20, der auch in diesem Fall zumindest im wesentlichen mit dem Verlauf der Längenänderung der Wandlerelemente in und entgegengesetzt zur Abstrahlrichtung übereinstimmen wird.

Falls die Wandlerelemente 1 positiv vorgespannt und anschließend mit negativen Hochspannungsimpulsen angesteuert werden sollen, ergeben

sich die in den Figuren 4 und 5 dargestellten Spannungsverläufe.

Gemäß Figur 4 ist die Vorspannung 21 positiv. Mit den Triggerimpulsen 15 wird die entsprechende Hochspannungsquelle über einen Schalter kurzzeitig an die Wandlerelemente angeschlossen, wobei negative Hochspannungsimpulse 22 erzeugt werden, die der Spannung 21 überlagert werden. Hierbei wird sich der Verlauf der Spannung 23 an den Wandlerelementen ergeben, so daß diese ausgehend von einem positiven Offset in ihrer Länge schlagartig reduziert werden und negative bzw. Zugimpulse erzeugen.

Die in Figur 5 dargestellten Verhältnisse ergeben sich, wenn die positive Vorspannung 24 durch Impulse dargestellt ist, mit denen die Wandlerelemente vorgespannt und in einen positiven Offset in bezug auf ihre neutrale Ausgangsform gebracht werden. Die Triggerimpulse 15 können in diesem Fall im wesentlichen gleichzeitig die Vorspannungsquelle abschalten und die Hochspannungsquelle zur Abgabe der negativen Hochspannungsimpulse 25 durchschalten, so daß sich an den Wandlerelementen der Verlauf der Spannung 26 einstellen wird.

Bei der Bemessung der Länge Δt der Vorspannungsimpulse 19 und 24 ist zu beachten, daß die Hochspannungsquelle für die Hochspannungsimpulse 25 so getriggert wird, daß vor dem Eintreffen der Hochspannungsimpulse jeweils die erforderliche Vorspannung an den Wandlerelementen anliegt, was der Fall sein wird, wenn die Beziehung $\Delta t \geq 5\tau$ erfüllt ist, wobei τ die durch die parallel geschalteten und sich wie RC-Glieder verhaltenden Wandlerelemente bedingte Zeitkonstante ist.

Anhand der Figur 6 kann man erkennen, wie ein Wandlerelement 1 bei Anwendung einer negativen Vorspannung und eines positiven Hochspannungsimpulses deformiert wird und wie die Spannung 18 am Wandlerelement verläuft, wobei der Verlauf dieser Spannung dem zeitlichen Verlauf der Deformationen des Wandlerelementes im wesentlichen entsprechen wird.

Aufgrund der negativen und der Polarisierung des Wandlerelementes entgegengesetzt gerichteten Vorspannung wird das Wandlerelement, ausgehend von der in ausgezogenen Linien dargestellten Kontur, unter Bildung einer seitlich gerichteten Auswölbung 1a in seiner Länge verkürzt, so daß ein negativer Offset entsteht. Sobald der positive Hochspannungsimpuls eintrifft, dehnt sich das Wandlerelement unter Bildung einer seitlichen Einschnürring 1b schlagartig aus und nimmt anschließend wieder seine Ausgangskonfiguration an. Diese hängt verständlicherweise davon ab, ob eine permanente oder eine impulsförmige Vorspannung zur Anwendung kommt.

Die Amplitude der Hochspannungsimpulse wird im allgemeinen größer sein als die der Vorspannung, und zwar insbesondere dann, wenn eine Gleichspannung als Vorspannung an die Wandler-
elemente gelegt wird. Weiterhin werden der Höhe
der Vorspannung gewisse Grenzen durch die nicht
zu überschreitende Depolarisierungsspannung der
Piezokeramik gesetzt sein.

Bei den dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispielen werden alle Wandler gleichzeitig mit der Vorspannung und anschließend mit einem Hochspannungsimpuls beaufschlagt. Es ist allerdings auch möglich, jeweils mehrere Wandler-
elemente zu Gruppen zusammenzufassen und solche
Gruppen unabhängig voneinander zur Abgabe
von Schallimpulsen zu steuern.

Als Material für die Wandler Elemente kommen in erster Linie piezoelektrische Keramiken in Betracht. Möglich ist aber auch die Verwendung von elektrostriktiven Werkstoffen. Schließlich können die Wandler Elemente auch als sog. Plattenstapel ausgebildet werden, also aus mehreren übereinander geschichteten Platten aus Piezokeramik bestehen.

Patentansprüche

1. Gerät zur Erzeugung von Schallimpulsen für den medizinischen Anwendungsbereich, insbesondere zur Erzeugung von Stoßwellen zur Beschallung von körperinneren Objekten, mit piezokeramischen Wandler Elementen (1) als elektroakustische Wandler, die aus einer Hochspannungsquelle (9) mit Hochspannungsimpulsen (16, 22, 25) ansteuerbar sind, um in Abhängigkeit von der vorgegebenen Polarisierung der Wandler Elemente (1) und der Polarität der Hochspannungsimpulse die Schallimpulse durch gerichtete Längenänderungen der Wandler Elemente (1) zu erzeugen, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler Elemente (1) vor dem Eintreffen eines Hochspannungsimpulses (16, 22, 25) mit einer Vorspannung (14, 19, 21, 24) beaufschlagbar sind, deren Polarität entgegengesetzt zur Polarität des Hochspannungsimpulses ist.
2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorspannung (14, 21) eine permanente Gleichspannung ist, der die in ihrem absoluten Spannungswert höheren Hochspannungsimpulse (16, 22) überlagert werden.
3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorspannung (19, 24) eine Impulsform hat und jeweils im wesentlichen zeitgleich mit dem Beginn bzw. mit dem Eintreffen eines Hochspannungsimpulses (16, 25) abschaltbar

ist.

4. Gerät nach Anspruch 3, bei dem sich die Wandler Elemente (1) wie RC-Glieder mit einer Zeitkonstanten $\tau \approx R \times C$ verhalten, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Länge Δt der Vorspannungsimpulse (19, 24) und die Zeitkonstante τ die Beziehung $\Delta t \geq 5\tau$ erfüllen.
5. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß neben der erwähnten ersten Hochspannungsquelle (9) eine zweite Hochspannungsquelle (6) zur Erzeugung der Vorspannung (14, 19, 21, 24) vorgesehen ist und daß die erste Hochspannungsquelle (9) über einen triggerbaren Schalter (12) an die Wandler Elemente (1) anschließbar ist.

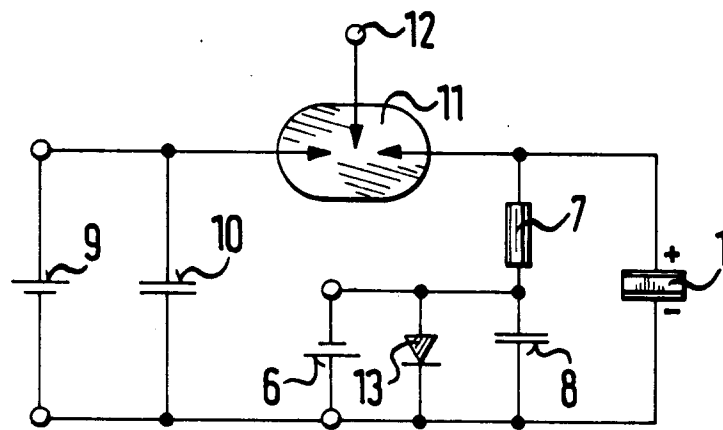


FIG. 1

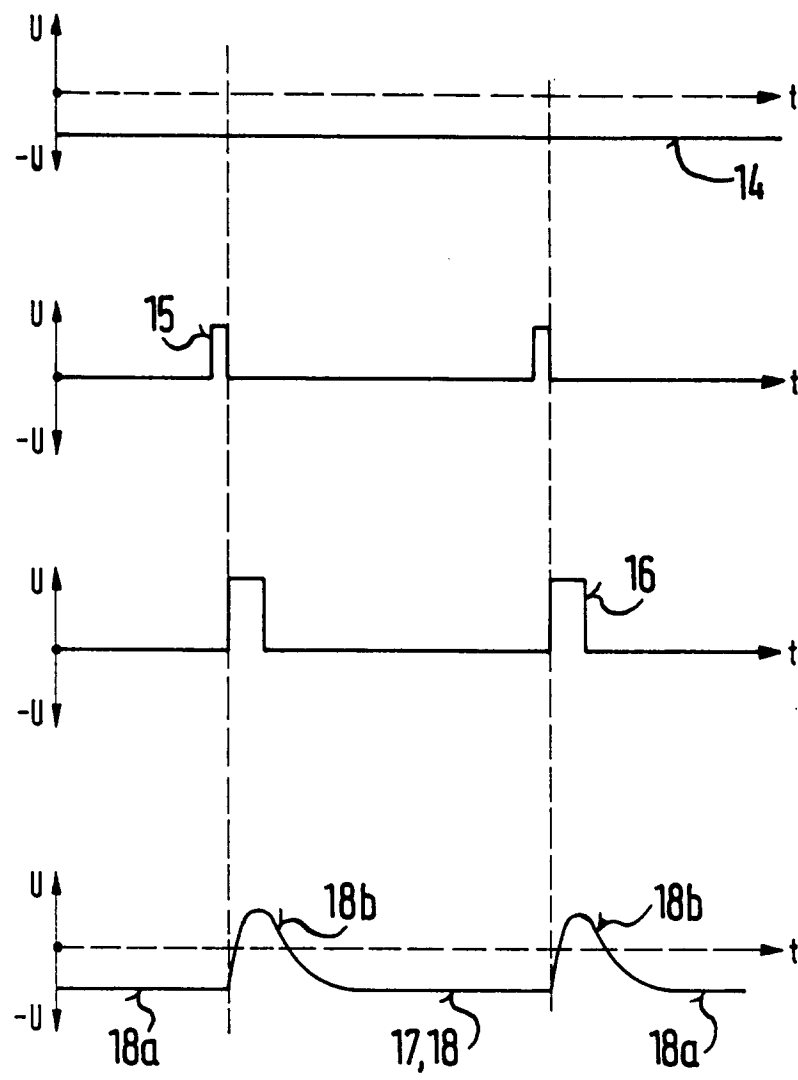


FIG. 2

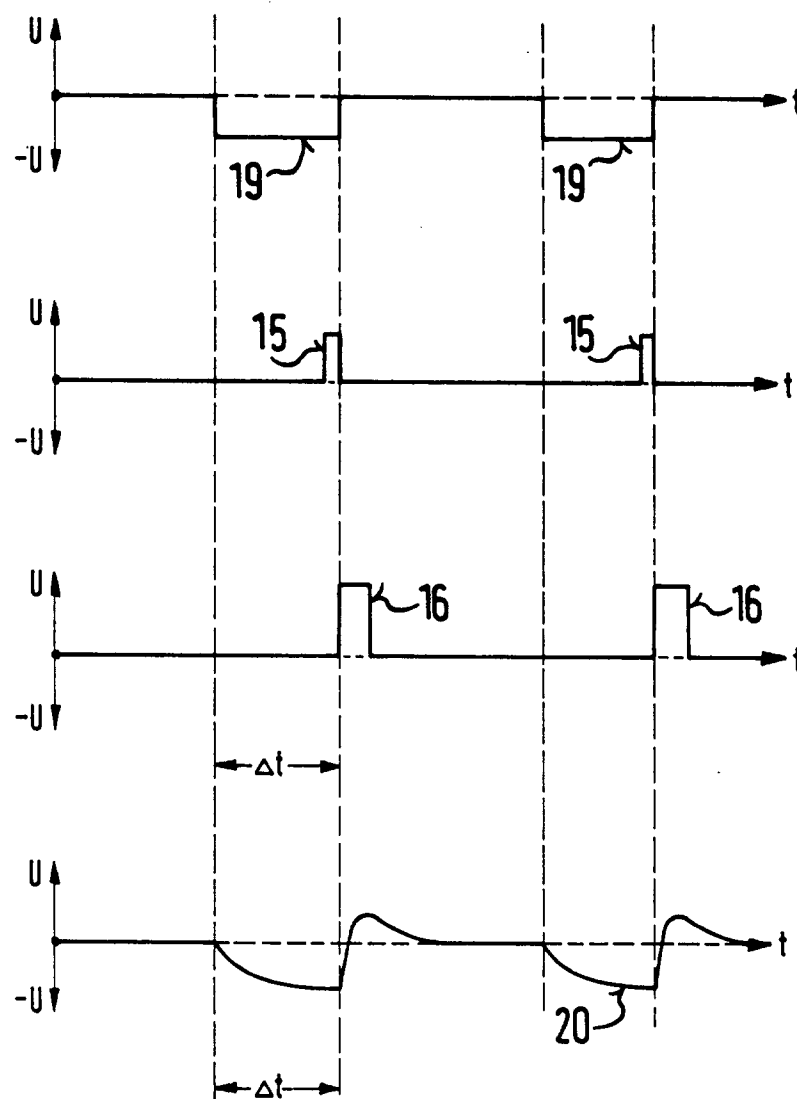


FIG. 3

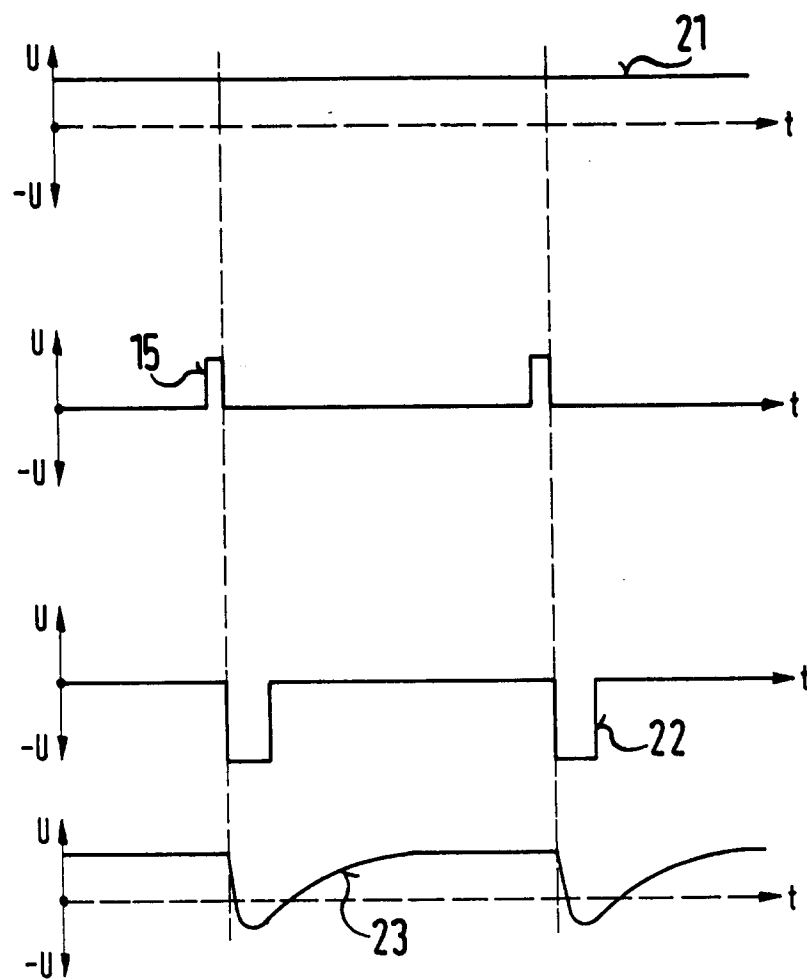


FIG. 4

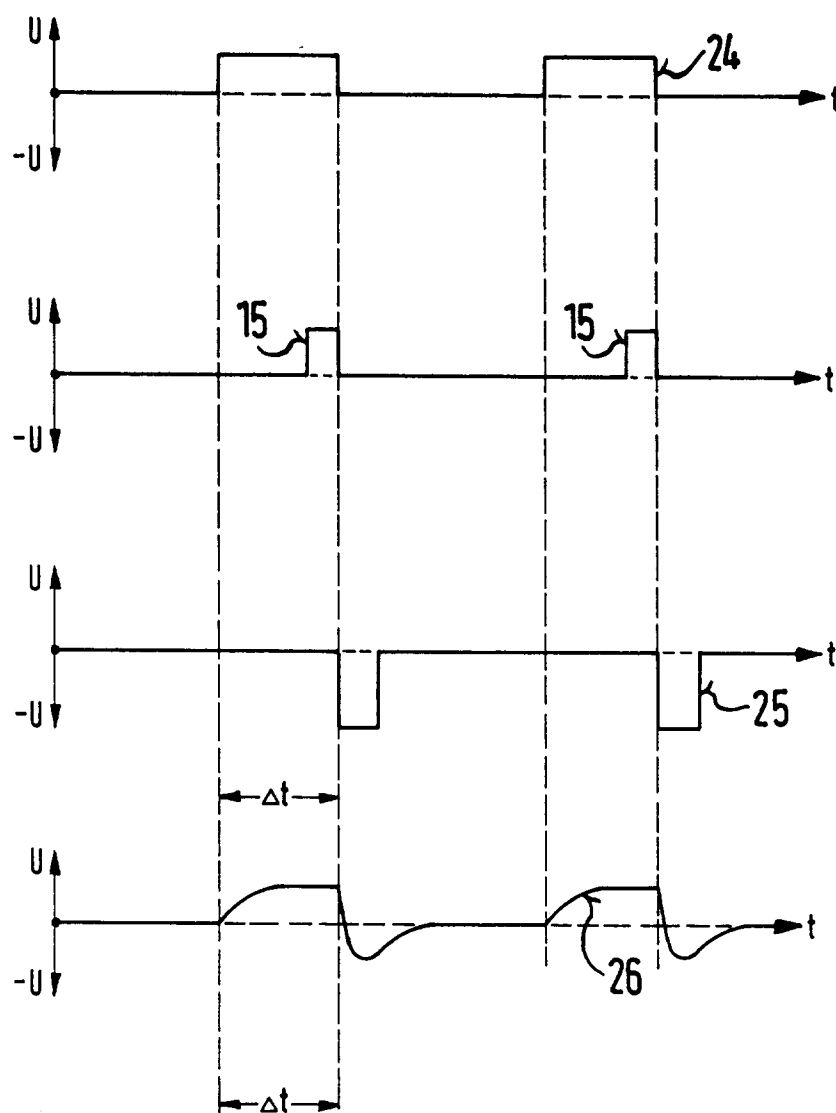


FIG. 5

