

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3492581号
(P3492581)

(45) 発行日 平成16年2月3日 (2004. 2. 3)

(24) 登録日 平成15年11月14日 (2003. 11. 14)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

A 6 1 B 8/00

A 6 1 B 8/00

請求項の数 3 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-56716(P2000-56716)
(22) 出願日 平成12年3月2日(2000. 3. 2)
(65) 公開番号 特開2001-245881(P2001-245881A)
(43) 公開日 平成13年9月11日(2001. 9. 11)
審査請求日 平成13年11月28日(2001. 11. 28)

(73) 特許権者 390029791
アロカ株式会社
東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号
(72) 発明者 糸永 研二
東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 アロ
カ株式会社内
(72) 発明者 木見田 裕治
東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 アロ
カ株式会社内
(74) 代理人 100075258
弁理士 吉田 研二 (外2名)

審査官 右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波診断装置用送信回路

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 出力端に接続された超音波振動子に駆動パルスを供給する送信回路であって、
所定極性の駆動電源と、
前記出力端と前記駆動電源とが接続される第1オン状態と、前記出力端と基準電位とが接続される第1オフ状態とを切り換える第1スイッチ部と、
コンデンサを介して前記出力端に接続され、前記コンデンサと前記駆動電源とが接続される第2オン状態と前記コンデンサと前記基準電位とが接続される第2オフ状態とを切り換える第2スイッチ部と、
前記第1スイッチ部及び前記第2スイッチ部を制御して、前記第1スイッチ部を前記第1オフ状態から前記第1オン状態に切り換え、再び前記第1オフ状態に切り換える第1スイッチ切り換え動作と、前記第2スイッチ部

2

を前記第2オン状態から前記第2オフ状態に切り換え、再び前記第2オン状態に切り換える第2スイッチ切り換え動作とを交互に行うスイッチ制御部と、
を有することを特徴とする超音波診断装置用送信回路。

【請求項2】 請求項1記載の超音波診断装置用送信回路において、

前記スイッチ制御部は、前記第1スイッチ切り換え動作と前記第2スイッチ切り換え動作とを同数回ずつ行うことを特徴とする超音波診断装置用送信回路。

【請求項3】 請求項1又は請求項2に記載の超音波診断装置用送信回路において、
前記スイッチ制御部は、前記第1スイッチ切り換え動作の期間と前記第2スイッチ切り換え動作の期間とを等しくすることを特徴とする超音波診断装置用送信回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超音波診断装置に用いられ、その超音波振動子に駆動パルスを供給する送信回路に関する。

【0002】

【従来の技術】超音波診断装置は、圧電材料を用いて構成された振動子に電圧を印加し、それにより発生する超音波を被検体に送信し、その反射波に基づいて被検体内の情報を得る。近年、超音波診断装置の中には、送信した超音波によって被検体中に非線形振動が発生することを10 利用するものが開発されている。このような非線形振動を利用する装置では、送信した超音波のスペクトラムと、非線形振動で発生する送信周波数の高調波成分を含んだ受信スペクトラムとの相違を、被検体の測定に利用する。

【0003】非線形振動により生じる高調波成分は一般には微弱である。そのため受信波中の高調波成分を検知し利用する超音波診断装置においてS/N比が良好な測定を行うためには、送信波自体に含まれる高調波成分を20 抑制する必要がある。この要請に対しては、正電圧側と負電圧側とに対称に電圧変化する駆動パルスを用いて振動子を励振することが有効である。従来は、正負対称の駆動パルスを得るために、特開平9-234202号公報に記載されるように、正電圧と負電圧との2つの電源を用い、それら正電圧と負電圧とをスイッチにより交互に切り換えて出力する構成が採られていた。

【0004】図5は正負対称の駆動パルスを生成する従来の超音波診断装置用送信回路の概略の回路図である。従来の回路は、正電圧を供給する駆動電源である電圧制御部2と負電圧を供給する駆動電圧である電圧制御部4 30 とを備えている。電圧制御部2はそれぞれ外部から電圧“+HV0”を供給され、+HV制御信号により出力電圧が調整される。同様に、電圧制御部4はそれぞれ外部から電圧“-HV0”を供給され、-HV制御信号により出力電圧を調整される。電圧制御部2、4はこれら制御信号により、出力電圧の絶対値が等しくなるように調整され、それにより正負両方向に等振幅の駆動パルスを得る。振動子への出力端8と電圧制御部2との間にはMOSFET(Q8)で構成されるスイッチ10が、また振動子6への出力端8と電圧制御部4との間にはMOSFET(Q7)で構成されるスイッチ12がそれぞれ設けられる。また出力端8はMOSFET(Q9)で構成されるスイッチ14によって接地可能に構成されている。40

【0005】送信時には、スイッチ14はオフされ、スイッチ10、12が交互に切り換えられる。これにより、出力端8からは電圧制御部2、4の出力電圧に応じて正負に変動する駆動パルスが出力される。ちなみに、受信時にはスイッチ14はオン状態とされ、出力端8は接地される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】正負対称の駆動パルスを生成する従来の送信回路は、駆動電源を2つ必要としていた。そのため、送信回路の構成が複雑化、大規模化し、また製造コストが高くなるという問題があった。また、非線形振動を利用しない従来の超音波診断装置においては一方極性の駆動パルスを出力する送信回路が使用されているのが一般的であるが、これを改造して非線形振動用の超音波診断装置とする場合に、新たな電源を必要とするため、その改造が難しいという問題があった。さらに、正側の振幅と負側の振幅とが正負それぞれの電源の出力電圧に依存するため、それら電源の出力電圧の変動によって、駆動パルスの正負対称性が必ずしも安定でないとという問題があった。また、正負対称な駆動パルスを得ようとした場合、正負それぞれの電源の出力電圧を調整する作業が必要であり煩雑であった。

【0007】本発明は上記問題点を解消するためになされたもので、より簡単な構成で安定した正負対称の駆動パルスが得られる送信回路を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明に係る超音波診断装置用送信回路は、出力端に接続された超音波振動子に駆動パルスを供給する送信回路であって、所定極性の駆動電源と、前記出力端と前記駆動電源とが接続される第1オン状態と、前記出力端と基準電位とが接続される第1オフ状態とを切り換える第1スイッチ部と、コンデンサを介して前記出力端に接続され、前記コンデンサと前記駆動電源とが接続される第2オン状態と前記コンデンサと前記基準電位とが接続される第2オフ状態とを切り換える第2スイッチ部と、前記第1スイッチ部及び前記第2スイッチ部を制御して、前記第1スイッチ部を前記第1オフ状態から前記第1オン状態に切り換え、再び前記第1オフ状態に切り換える第1スイッチ切り換え動作と、前記第2スイッチ部を前記第2オン状態から前記第2オフ状態に切り換え、再び前記第2オン状態に切り換える第2スイッチ切り換え動作とを交互に行うスイッチ制御部とを有するものである。

【0009】本発明によれば、単一の駆動電源を用いて正負両極性の駆動パルスが生成される。スイッチ制御部が第1スイッチ部をそのオフ状態からそのオン状態に切り換え、さらに再びオフ状態に切り換えることにより、送信回路の出力端は第1スイッチ部を介して、順次、基準電位、駆動電源、そして再び基準電位に接続される。これに対応して、出力端の電圧は順に基準電位、駆動電源の出力電圧、そして再び基準電位と変化し、駆動電源と同一極性のパルスが出力される。一方、スイッチ制御部が第2スイッチ部をそのオン状態からそのオフ状態に切り換え、さらに再びオン状態に切り換えることにより、送信回路の出力端はコンデンサ及び第2スイッチ部50

を介して、順次、駆動電源、基準電位、そして再び駆動電源に接続される。第2スイッチ部と出力端との間にはコンデンサが介在し、両者間は容量結合される。そのため、第2スイッチ部の入力が接続される駆動電源、基準電源の電圧は直接には出力端に現れない。具体的には、この第2スイッチ部の一連の動作の開始時においては、第1スイッチ部はオフ状態にある。つまり、開始時において、第2スイッチ部の入力は駆動電源に接続され、コンデンサの第2スイッチ部側の電位が駆動電源の出力電圧にセットされる一方で、コンデンサの送信回路出力端側の電位は第1スイッチ部を介して基準電位にセットされている。この状態で、第2スイッチ部をオフ状態とすると、コンデンサの第2スイッチ部側の電位が基準電位に変動するのに伴って、容量結合された出力端には第2スイッチ部側と同一極性であって、基本的に同じ幅だけの電位変動が現れる。また再び第2スイッチ部をオン状態に戻した場合も、コンデンサの第2スイッチ部側の電位が駆動電源の出力電圧に復元するのに伴って、出力端には第2スイッチ部側と同一極性であって、基本的に同じ幅だけの電位変動が現れる。このように、第2スイッチ切り換え動作に応じて、出力端の電位は順に基準電位、-駆動電源の出力電圧、そして基準電位と変化し、第1スイッチ切り換え動作により発生したパルスとは反対極性かつ振幅の絶対値が等しいパルスが出力される。本発明によれば、第1スイッチ切り換え動作と第2スイッチ切り換え動作とが交互に行われることにより、基準電位を中心として正側に振れるパルスと、それと同じ振幅で負側に振れるパルスとが交互に出力端から振動子へ出力される。

【0010】他の本発明に係る超音波診断装置用送信回路においては、前記スイッチ制御部が、前記第1スイッチ切り換え動作と前記第2スイッチ切り換え動作とを同数回ずつ行うことを特徴とする。

【0011】本発明によれば、正側に振れるパルスと負側に振れるパルスとが交互にかつ同数ずつ出力され、正負対称な駆動パルスが得られる。

【0012】別の本発明に係る超音波診断装置用送信回路においては、前記スイッチ制御部が、前記第1スイッチ切り換え動作の期間と前記第2スイッチ切り換え動作の期間とを等しくすることを特徴とする。

【0013】本発明によれば、正側に振れるパルスの幅と負側に振れるパルスの幅とが等しくなり、パルス幅に関しても正負対称な駆動パルスが得られる。

【0014】

【発明の実施の形態】次に、本発明に係る送信回路の好適な実施形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明に係る送信回路を用いた超音波診断装置の概略のブロック構成図である。装置はプローブ50に含まれる多数の振動子を駆動する送信回路52を有している。送信回路52は、各振動子に対応して複数の送信駆

動回路54と、それらに共通の送信制御回路56とを備える。各送信駆動回路54はそれぞれ送信制御回路56からの指示によりそれぞれが分担する振動子から超音波を送信させる。送信制御回路56は、送信駆動回路54に含まれるFETスイッチの開閉を制御し、これにより送信駆動回路54は振動子を駆動するパルスを生ずる。また送信制御回路56は、各送信駆動回路54間での駆動パルスの生成タイミングを調整することによって、振動子間での超音波の送信ディレイ量を制御し、生体内の所望の位置に超音波をフォーカスさせる働きも有している。

【0015】一方、受信時にはプローブ50の各振動子からの受信信号はそれぞれプリアンプ60にて増幅された後、受信遅延回路62に入力される。受信遅延回路62は、プリアンプ60それぞれに対応した各チャンネルごとに、受信信号に対するディレイ量を可変に設定することができる。そのディレイ量は受信遅延制御回路64により制御され、各チャンネルの受信信号はそれぞれ遅延された後、互いに加算される。受信遅延制御回路64は、一つの受信方向に対して深さ方向に多段階にフォーカス点を変えるようにディレイ量を調整し、これによりダイナミックフォーカスが実現される。深さ方向にフォーカス点を変えるこの走査と、受信方向を変える走査とによって得られる画像により、アレイ方向の生体断面の二次元的な様子を観察することができる。

【0016】加算された受信信号は受信処理回路66に入力される。受信処理回路66は例えば、被検体での非線形振動による高調波成分の検出等の処理を行う。受信処理回路66にて、受信信号から抽出された受信データは、ADC (analog-to-digital converter) 回路68によってデジタル信号へ変換され、DSC (digital scan converter) 70に格納される。DSC 70は、例えば、電子走査によって得られる1画面分の受信データを蓄積し、これを表示装置72の走査方式に応じた順序で出力するものである。つまり、プローブ50による生体断面の各点の電子走査の走査順序と表示装置72の走査順序とは一般に異なるため、DSC 70を用いてそれら両走査方式間の変換が行われる。DAC (digital-to-analog converter) 74はDSC 70から表示装置72の走査方式に応じて順次読み出されたデジタル値をアナログの画像信号に変換し、表示装置72はそれを画像表示する。

【0017】システムコントロール回路76は送信制御回路56、受信遅延制御回路64、DSC 70を制御する回路である。

【0018】さて、本装置の特徴は送信回路52にある。図2は、送信回路52の概略の構成を示す回路図である。この図は、簡単のため送信制御回路56と一つの送信駆動回路54の構成を示している。駆動電源として電圧制御部80が設けられている。電圧制御部80は、

外部電源から電圧“+HV0”を供給され、+HV制御信号に応じた電圧“+HV”を生成して出力する。電圧制御部80と送信駆動回路54の出力端82とは、2つのスイッチ部84、86によって並列に接続される。

【0019】第1のスイッチ部84は、基準電位であるアースと出力端82との間をオン/オフするFETスイッチ(Q1)と、電圧制御部80と出力端82との間をオン/オフするFETスイッチ(Q2)とを含む。後述するように出力端82に正電圧のパルスを生じさせるために、スイッチ部84のFETスイッチQ1、Q2の切り換え操作が行われる。この切り換え動作は送信制御回路56から入力される制御信号に基づいて行われる。この制御信号はアンプIC1にて振幅を調節され、Q1、Q2のゲート電位を制御してQ1、Q2のオン/オフを切り換える。

【0020】ここでは、Q1はnチャネルMOSFETで構成され、そのゲートはIC1の出力に直接接続される。またQ1と出力端82の間には、Q1に負電圧パルスが印加されないようにするためのダイオードD1が配置される。一方、Q2はpチャネルMOSFETで構成され、そのゲートはコンデンサC1を介してIC1の出力に接続されると共に、抵抗R1を介して、電圧制御部80の出力に接続される。Q2は、そのゲート電圧が電圧制御部80の出力電圧“+HV”であるときにオフ状態であるように構成される。

【0021】送信制御回路56から各スイッチ部84、86への制御信号は“High”レベル(以下、Hレベル)、と“Low”レベル(以下、Lレベル)とに2値化された電圧レベルを有する。例えばTTL(Transistor Transistor Logic)ではLレベルは0V、Hレベルは5Vに設定される。上記スイッチ部84の構成に対応して、出力端82に正電圧パルスが発生させない期間においては、送信制御回路56からIC1へHレベルが入力され、出力端82に正電圧パルスが発生させるタイミングにおいては、Lレベルが入力される。

【0022】次に第2のスイッチ部86の出力は、コンデンサC2によって出力端82に容量結合される。スイッチ部86は、基準電位であるアースとコンデンサC2との間をオン/オフするFETスイッチ(Q3)と、電圧制御部80とコンデンサC2との間をオン/オフするFETスイッチ(Q4)とを含む。後述するように出力端82に負電圧のパルスを生じさせるために、スイッチ部86のFETスイッチQ3、Q4の切り換え操作が行われる。この切り換え動作はスイッチ部84と同様、送信制御回路56から入力される制御信号に基づいて行われる。この制御信号はアンプIC2にて振幅を調節され、Q3、Q4のゲート電位を制御してQ3、Q4のオン/オフを切り換える。

【0023】ここでは、Q3はnチャネルMOSFETで構成され、そのゲートはIC2の出力に直接接続され

る。一方、Q4はpチャネルMOSFETで構成され、そのゲートはコンデンサC3を介してIC2の出力に接続されると共に、抵抗R2を介して、Q4をオン状態にする所定の電位“VG”を印加される。またQ4とコンデンサC2の間には、Q4に正電圧パルスが印加されないようにするためのダイオードD2が配置される。

【0024】上記スイッチ部86の構成に対応して、出力端82に負電圧パルスが発生させない期間においては、送信制御回路56からIC2へLレベルが入力され、出力端82に負電圧パルスが発生させるタイミングにおいては、Hレベルが入力される。

【0025】なお、出力端82には、互いに逆向きに並列接続された一対のダイオードD3、D4が設けられる。これは、Q1を介してアースと短絡している出力端82から受信信号を保護するための構成である。受信信号は小信号であるため、ダイオードの接合電位差によってQ1から隔絶することができる。

【0026】続いて、本送信回路52の動作を説明する。図3は、この送信制御回路56から出力される制御信号、及び出力端82に発生する駆動パルスの電圧変化を説明するためのタイムチャートである。図3(a)は、送信制御回路56からアンプIC1に入力される制御信号SG1、同図(b)は、送信制御回路56からアンプIC2に入力される制御信号SG2、また同図(c)は出力端82に現れる駆動パルスをそれぞれ示す。以下、この図に基づき時系列に従って説明する。

【0027】駆動パルスが発生される前(時刻 $t < t_1$)においては、制御信号SG1はHレベル、制御信号SG2はLレベルとされる。SG1をHレベルとすることにより、Q1はオン状態、Q2はオフ状態に制御される。すなわち、第1のスイッチ部84は、出力端82と基準電位であるアースとが接続される状態(第1オフ状態)となる。その結果、出力端82の電位は接地電位である0Vとなる。ちなみにSG2をLレベルとすることにより、Q3はオフ状態、Q4はオン状態に制御される。すなわち、第2のスイッチ部86は、コンデンサC2と電圧制御部80の出力とが接続される状態(第2オン状態)となる。

【0028】時刻 t_1 にて制御信号SG2をHレベルに変化させると、Q3がオン状態に変化する。またIC2に容量結合されたQ4のゲートの電位がIC2の出力電圧の変動に応じて、“ ΔV_2 ”だけ上昇する。電位“VG”は、電位“ $VG + \Delta V_2$ ”にてpチャネルFETであるQ4がオフするように設定することができる。そのように設定しておくことにより、時刻 t_1 にてQ4はオフ状態に変化する。すなわち、第2のスイッチ部86は、コンデンサC2とアースとが接続される状態(第2オフ状態)へ変化する。

【0029】第2のスイッチ部86が第2オン状態から第2オフ状態へ遷移することにより、コンデンサC2の

スイッチ部86側の電位は“+HV”から0Vへ変化する。その結果、コンデンサC2の反対側の電位は、0Vから“-HV”に変化する。なお、このとき、ダイオードD1は逆バイアス状態となるので、コンデンサC2の反対側の電位の変化はQ1を介してアースに吸収されることがない。すなわち、時刻t1にて、出力端82の電位は“-HV”へ変化する。

【0030】時刻t2にて制御信号SG2を再びLレベルに戻すと、出力端82の電位も0Vに復元する。このように、SG2のパルス100に応じて、出力端82には負電圧パルス102が発生する。

【0031】時刻t3にて制御信号SG1をLレベルに変化させると、Q1がオフ状態に変化する。またIC1に容量結合されたQ2のゲートの電位がIC1の出力電圧の変動に応じて、“ΔV1”だけ低下する。電位“ΔV1”は、電位“HV-ΔV1”にてpチャンネルFETであるQ2がオンするように設定することができる。そのように設定しておくことにより、時刻t3にてQ2はオン状態に変化する。すなわち、第1のスイッチ部84は、出力端82と電圧制御部80とが接続される状態（第1オン状態）へ変化する。

【0032】第1のスイッチ部84が第1オフ状態から第1オン状態へ遷移することにより、出力端82の電位は0Vから“+HV”へ変化する。なお、このとき、ダイオードD2は逆バイアス状態となることにより、Q4に正のパルスが印加されることが防止される。

【0033】時刻t4にて制御信号SG1を再びHレベルに戻すと、出力端82の電位も0Vに復元する。このように、SG1のパルス104に応じて、出力端82には正電圧パルス106が発生する。

【0034】図3には、上述のt=t1~t4の動作をt=t5~t8にて繰り返し、正負の電圧パルスを2組発生させる場合が示されているが、正負電圧パルスの組数は1組とすることもできるし、また3組以上とすることもできる。この正負電圧パルスは出力端82に接続された振動子へ出力され、超音波が発生、送波される。

【0035】なお、実際には、SG1のパルスとSG2のパルスとは実質的に同時に切り替えることができる。つまり、例えばSG2のパルス100の終了タイミングt2及びSG1のパルス104の開始タイミングt3に*

＊関してt2≒t3とされ、またSG1のパルス104の終了タイミングt4及びSG2のパルス108の開始タイミングt5に関してt4≒t5とされる。その結果、送信回路52から出力される振動子への駆動パルスとして、図4に示すように正電圧“+HV”と負電圧“-HV”との間を滑らかに変動する信号波形を得ることができる。

【0036】本送信回路52によれば上述のように、正側、負側の振幅が等しく、また正側、負側に同数回ずつ振れる対称性の良い駆動パルスが得られ、それに含まれる高調波成分が抑制される。さらに、正電圧パルスの幅と負電圧パルスの幅とを等しくすることにより、駆動パルスの対称性が一層向上し、さらなる高調波成分抑制の効果が得られる。これはSG1のパルス幅とSG2のパルス幅と等しくすることにより実現することができる。

【0037】

【発明の効果】本発明の超音波診断装置用送信回路によれば、正負対称に振れる駆動パルスを1つの駆動電源により生成することができ、回路構成の簡素化が図られるという効果がある。さらに、正側の振幅と負側の振幅とが1つの駆動電源により決定されるため、振幅の対称性が安定であり、それらを等しくする調整作業が不要である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る送信回路を用いた超音波診断装置の概略のブロック構成図である。

【図2】 本発明に係る送信回路の概略の構成を示す回路図である。

【図3】 送信制御回路から出力される制御信号、及び送信回路の出力端に発生する駆動パルスの電圧変化を説明するためのタイムチャートである。

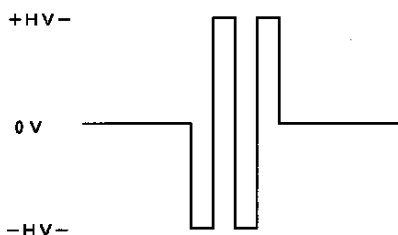
【図4】 送信回路の出力端に発生する駆動パルスの信号波形を示す模式図である。

【図5】 正負対称の駆動パルスを生成する従来の超音波診断装置用送信回路の概略の回路図である。

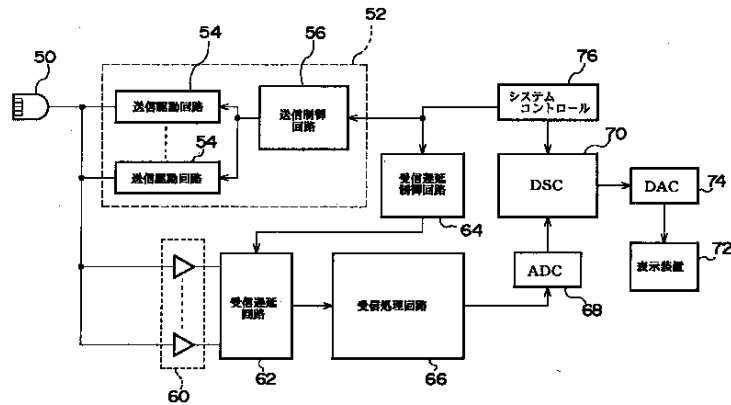
【符号の説明】

50 プローブ、52 送信回路、54 送信駆動回路、56 送信制御回路、62 受信遅延回路、64 受信遅延制御回路、66 受信処理回路、80 電圧制御部、82 出力端、84、86 スイッチ部。

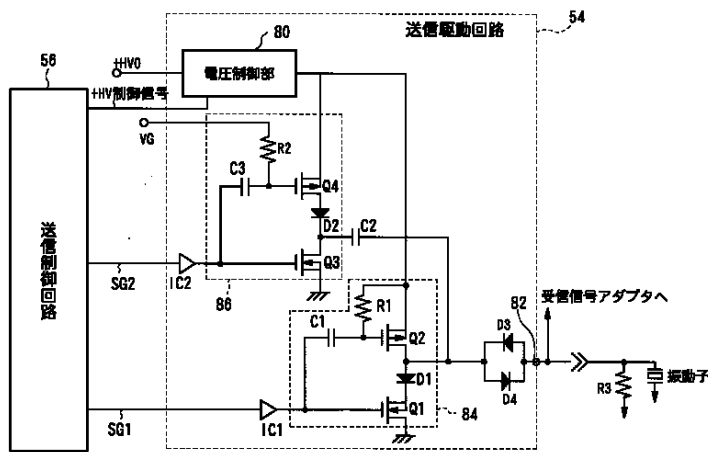
【図4】



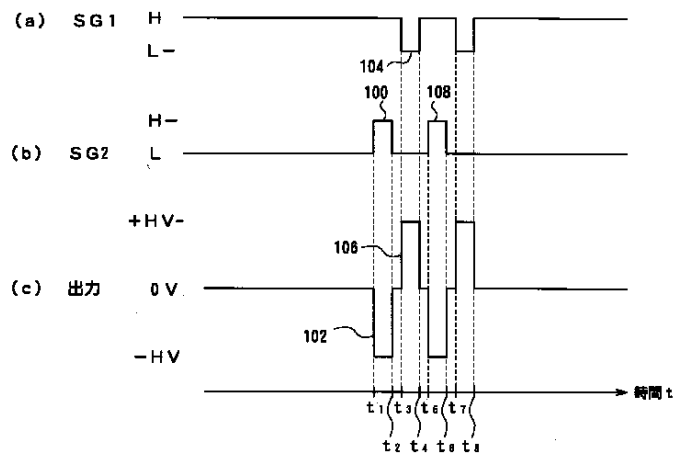
【図1】



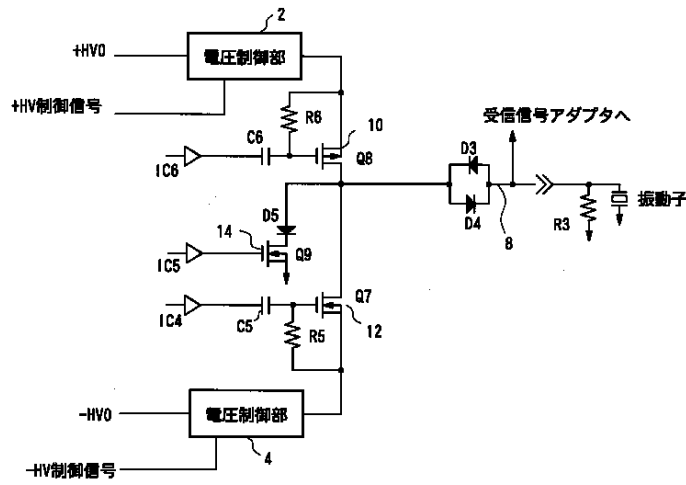
【図2】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 平7-231247 (J P, A)
- 特開 平7-336198 (J P, A)
- 特開 平9-234202 (J P, A)
- 特開 平9-304512 (J P, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
- A61B 8/00

专利名称(译)	超声波诊断装置的发送电路		
公开(公告)号	JP3492581B2	公开(公告)日	2004-02-03
申请号	JP2000056716	申请日	2000-03-02
[标]申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	阿洛卡有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	阿洛卡有限公司		
[标]发明人	系永研二 木見田裕治		
发明人	系永 研二 木見田 裕治		
IPC分类号	A61B A61B8/00		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C301/EE04 4C301/EE15 4C301/HH02 4C601/EE02 4C601/EE12 4C601/HH04 4C601/HH05		
其他公开文献	JP2001245881A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：解决发射电路的组成复杂性的问题，其提供具有正负对称驱动脉冲的超声诊断设备的换能器。解决方案：在来自一个电压控制部分80的输出电压 $+HV$ 和地电位(0V)之间，有两个开关部件，它们选择两者中的任何一个并输出它。输出直接连接到端子82的第一开关部分84根据触发脉冲控制场效应晶体管开关Q1和Q2，并产生正电压 $+HV$ 。另一方面，第二开关部分86的输出通过电容器C2连接到输出端子82。根据另一个触发脉冲控制场效应晶体管开关Q3和Q4，开关86在第二开关部分86的输出端产生脉冲，该脉冲从 $+HV$ 变化到0V。这种电压变化产生负电压脉冲。0V至 $-HV$ 。在输出端82处，电容由电容器C2耦合。

【图4】

