

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3855625号
(P3855625)

(45) 発行日 平成18年12月13日(2006.12.13)

(24) 登録日 平成18年9月22日(2006.9.22)

(51) Int.C1.

F 1

B06B	1/06	(2006.01)	B06B	1/06	A
G01F	1/66	(2006.01)	G01F	1/66	1 O 1
G01F	23/296	(2006.01)	G01F	23/28	B
H01L	41/09	(2006.01)	H01L	41/08	K
G01S	7/524	(2006.01)	G01S	7/52	Q

請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願2000-267632 (P2000-267632)

(22) 出願日

平成12年9月4日 (2000.9.4)

(65) 公開番号

特開2002-79181 (P2002-79181A)

(43) 公開日

平成14年3月19日 (2002.3.19)

審査請求日

平成17年1月17日 (2005.1.17)

(73) 特許権者 591083244

富士電機システムズ株式会社

東京都品川区大崎一丁目11番2号

(74) 代理人 100074099

弁理士 大菅 義之

(74) 代理人 100088339

弁理士 篠部 正治

(72) 発明者 木代 雅巳

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

審査官 梶本 直樹

(56) 参考文献 特開2002-022506 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】圧電素子ドライバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧電素子を駆動するドライバ回路であって、

少なくとも、その一端が電源に接続され他端がスイッチを介して地絡されている一次側巻線と、二次側の巻線とより成るトランスと、

該トランスの二次側に接続された圧電素子と、

ダイオードとツェナーダイオードとが直列に接続されたものが該一次側巻線に並列に接続されたものであって、該ダイオードのアノードが前記スイッチ側に、該ツェナーダイオードのアノードが前記電源側に接続されるか、あるいは該ダイオードのカソードが前記電源側に、該ツェナーダイオードのカソードが前記スイッチ側に接続された構成とし、

前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の半分とし、前記ツェナーダイオードのツェナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧と一致させたことを特徴とする圧電素子ドライバ。

【請求項2】

圧電素子を駆動するドライバ回路であって、

少なくとも、その一端が電源に接続され他端がスイッチを介して地絡されている一次側巻線と、二次側の巻線とより成るトランスと、

該トランスの二次側に接続された圧電素子と、

ダイオードとツェナーダイオードとが直列に接続されたものが該一次側巻線に並列に接続されたものであって、該ダイオードのアノードが前記スイッチ側に、該ツェナーダイオ

10

20

ードのアノードが前記電源側に接続されるか、あるいは該ダイオードのカソードが前記電源側に、該ツエナーダイオードのカソードが前記スイッチ側に接続された構成とし、

前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の半分とし、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧の半分としたことを特徴とする圧電素子ドライバ。

【請求項3】

前記ツエナーダイオードに並列に接続された第2のスイッチを更に設け、

該第2のスイッチは、前記スイッチをONする前にONしておき、

前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の1/2とし、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧と一致させ、前記スイッチがOFFとなってから前記周期の1/2の時間経過後に、前記第2のスイッチをOFFすることを特徴とする請求項1記載の圧電素子ドライバ。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、圧電素子ドライバに関する。

【0002】

【従来の技術】

図8は、従来の圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

圧電素子ドライバは、例えば超音波流量計／レベル計等において超音波パルスを発生する素子である圧電素子を駆動する（電圧を印加して振動させる）為の駆動回路であり、一般的には圧電素子の共振周波数と同一の周波数の電圧を印加する方法が知られているが、本発明の発明者等においては立ち上がりのインパルス電圧によって駆動する方法を発見しており、この駆動回路を図8に示す。

20

【0003】

同図において、圧電素子11は、トランス12の二次巻線12b側に接続され、トランス12で昇圧された電圧により駆動される。トランス12の一次巻線12aは、コンデンサ13と抵抗15を介して電源16に接続されている。コンデンサ13と抵抗15の接続点は、スイッチ14により地絡できるようになっている。尚、トランス12の一次巻線12aのインダクタンスはL1、コンデンサ13の容量はC1、抵抗15の抵抗値はR1、電源16の電圧はV1とする。

30

【0004】

上記圧電素子ドライバの動作について、図9を参照して説明する。

通常は、スイッチ14はOFF状態である。このとき、コンデンサ13には、抵抗15を介して、電源16の電圧V1がチャージされている。コンデンサ13により直流電流がカットされているので、トランス12の一次巻線12aには電流が流れない。よって、二次巻線12bには電圧は発生せず、圧電素子11には電圧は印加されていない。

30

【0005】

圧電素子11をドライブするときには、不図示の制御部からの駆動制御信号によってスイッチ14が t_{on} 時間だけオンされる（図9(a)）。スイッチ14がオンした瞬間、コンデンサ13のスイッチ14側の電圧は、0(V)となる（地絡される）。

40

【0006】

その結果、トランス12の一次巻線12aには電圧V1が印加される。トランス12の一次巻線と二次巻線の巻数比(1:N)とすると、スイッチ14がオンした瞬間、二次巻線12bにはインパルス的に図9(b)に示すような $V_2 = -N \times V_1$ の電圧が発生して、圧電素子を駆動する。その後は、図示の通り、トランスの一次巻線12aのインダクタンスL1とコンデンサ13の容量C1により決定する共振周波数f(次式)で振動しながら減衰していく。

【0007】

【数1】

50

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C1}}$$

【0008】

尚、図9(a)に示す通り、スイッチ14は、オン制御された後、 t_{on} 時間にOFF制御される。スイッチ14がOFFすると、コンデンサ13は、抵抗15を介する電源16の電圧V1によりチャージされ始めるが、一般的にはエネルギーを徐々に蓄えるようにコンデンサ13の容量C1と抵抗15の抵抗値R1による時定数 $C1 \times R1$ は、前記共振周波数fよりはるかに大きく設定してあるので、図9(b)に示す波形にはほとんど影響しない。

【0009】

上記回路構成では、高電圧となる二次巻線12b側を直接スイッチング制御しないで、簡単な構成で、圧電素子に数千ボルトの電圧を印加することができる。圧電素子ドライバは、例えば超音波流量計／レベル計等の超音波パルスを発生させる用途に用いられるが、上記回路は、特にガス管等の気体の流量を測定する流量計のような数千ボルト級の高電圧向け用途に適している。但し、本発明の適用範囲が、このような用途に限定されるというわけではない。

【0010】**【発明が解決しようとする課題】**

上記従来の回路では、スイッチ14をオンした瞬間に発生するインパルス電圧が、あらゆる周波数を含むので、様々な共振周波数の圧電素子をドライブできるのであるが、その後の周波数fで振動(減衰)する電圧も圧電素子に印加されてしまう。その結果、この周波数fと圧電素子の共振周波数があつてない場合には、圧電素子の振動波形に歪みを生じてしまう。

【0011】

この為、通常は、このfと圧電素子の共振周波数を一致させるのだが、そうするとfの共振周波数の圧電素子しかドライブできなくなってしまう。

複数種類の(すなわち、共振周波数が異なる)圧電素子をドライブする為には、各圧電素子の共振周波数に応じた値のL/C回路をそれぞれ用意して、その時々でドライブする圧電素子に対応するL/C回路に切換える回路構成とする必要があり、回路が冗長化してしまう。

【0012】

また、従来の回路においても、上記一般的に知られている手法と同様に、圧電素子間で送受信される波形(例えば超音波パルス波形)は、後述する図4(b)に示すような、波数が多く、振幅がなだらかに増減する波形である(理論的には未だはつきりしていないが、立ち上がりのインパルス電圧一発でこのような波形となることは、本発明の発明者が実際に確認している)。このような波形に関しては、従来より一般的に、トリガが掛かるタイミングがズレる可能性があることが知られており、これを避けるために、波数を少なくしたり、トリガを掛けるべき波とその前後の波との振幅差を大きくすることが要望されている。

【0013】

本発明の課題は、圧電素子の共振周波数に依らずに单一のパルスで圧電素子を駆動でき、またこの单一のパルスのパルス幅を自由に設定できることより、例えば受信側で正常なタイミングでトリガを掛けるのに適した波形を生成できる圧電素子ドライバ、その駆動方法を提供することである。

【0014】

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

本発明による圧電素子ドライバは、圧電素子を駆動するドライバ回路であって、少なくとも、その一端が電源に接続され他端がスイッチを介して地絡されている一次側巻線と、二次側の巻線とより成るトランスと、該トランスの二次側に接続された圧電素子と、ダイオードとツエナーダイオードとが直列に接続されたものが該一次側巻線に並列に接続されたものであって、該ダイオードのアノードが前記スイッチ側に、該ツエナーダイオードのアノードが前記電源側に接続されるか、あるいは該ダイオードのカソードが前記電源側に、該ツエナーダイオードのカソードが前記スイッチ側に接続された構成とし、前記スイッチのON時間、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧、及び前記ダイオードの順方向電圧を、前記圧電素子の共振波形に応じて設定する。

10

【0015】

上記構成とすることにより、圧電素子の共振波形に依らずに単一のパルスで圧電素子を駆動できるようになる。

更に、上記の様に、前記スイッチのON時間、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧、及び前記ダイオードの順方向電圧を、前記圧電素子の共振波形に応じて設定することにより、様々な効果を奏する。

【0016】

例えば、前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の半分とし、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧と一致させるように設定することにより、数度に渡り圧電素子の共振波形を強化（加速）させることができ、従来より強く圧電素子を駆動できるようになる。

20

【0017】

また、例えば、前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の半分とし、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧の半分とするように設定することにより、圧電素子の共振波形を、加速した後減速するように駆動制御できる。このようにすると、波の数が少なく且つその前後の波との振幅差が大きい波を生成することができ、この波にトリガを掛けるようにすれば、例えば伝播時間等を正確に測定することができるようになる。

【0018】

次に、本発明による他の圧電素子ドライバは、上記圧電素子ドライバにおいて、更に、前記ツエナーダイオードに並列に接続された第2のスイッチを設けた構成であり、該第2のスイッチは、前記スイッチをONする前にONしておき、前記スイッチをOFFした後所定時間遅れてOFF制御される。

30

【0019】

そして、例えば、前記スイッチのON時間を、前記圧電素子の共振波形の周期の1/2とし、前記ツエナーダイオードのツエナー電圧と前記ダイオードの順方向電圧の合計を、前記電源の電圧と一致させ、前記スイッチがOFFとなってから前記周期の1/2の時間経過後に、前記第2のスイッチをOFFするように設定／制御することにより、圧電素子の共振波形を、加速した後により強力に減速することができる。

【0022】

40

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態の一例を説明する。

図1(a)、(b)は、本例による圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

【0023】

図1(a)に示す回路では、圧電素子1は、トランス二次巻線2bに接続され、トランス2で昇圧された電圧（圧電素子印加電圧V2）により駆動される。

トランスマス二次巻線2aは、その一端が電源4に接続され、他端がスイッチ3により地絡できる構成となっている。

【0024】

そして、ダイオード5とツエナーダイオード6が直列に接続されたものが、トランスマス一次

50

巻線 2 a に並列に接続されており、ツェナーダイオード 6 のアノードが電源 4 側に、ダイオード 5 のアノードがスイッチ 3 側に接続されている。

【 0 0 2 5 】

図 1 (b) は他の回路構成例を示す図であり、その動作は図 1 (a) の回路と同じである。

図 1 (b) に示す回路でも、圧電素子 1 は、トランス二次巻線 2 b に接続され、トランス 2 で昇圧された電圧により駆動され、トランス一次巻線 2 a は、その一端が電源 4 に接続され、他端がスイッチ 3 により地絡できる構成となっている。

【 0 0 2 6 】

図 1 (b) に示す回路では、ダイオード 5 とツェナーダイオード 6 の接続構成が、図 1 (a) と異なっている。すなわち、ダイオード 5 とツェナーダイオード 6 が直列に接続されたものが、トランス一次巻線 2 a に並列に接続されており、ダイオード 5 のカソードが電源 4 側に、ツェナーダイオード 6 のカソードがスイッチ 3 側に接続されている。

【 0 0 2 7 】

尚、図 1 (a)、(b)とも、トランス 2 の一次巻線 2 a のインダクタンスは L 1 、電源 4 の電圧は V 1 、ダイオード 5 の順方向電圧 V F 、ツェナーダイオード 6 のツェナー電圧は V z とする。また、トランス 2 の一次巻線と二次巻線の巻数比は 1 : N とする

図 2 (a) ~ (c) は、図 1 の回路の動作の一例を説明する為の図である。

【 0 0 2 8 】

尚、上記の通り、図 1 (a) と図 1 (b) の動作は同じである。

まず、通常、スイッチ 3 は OFF 状態である。この状態では、トランス一次巻線 2 a には電流は流れないので、トランス二次巻線 2 b には電圧は発生しない。よって、圧電素子 1 は駆動されない。

【 0 0 2 9 】

圧電素子 1 を駆動するときには、不図示の制御部により、スイッチ 3 を t on 時間だけ ON する (図 2 (a))。スイッチ 3 が ON された瞬間から、トランス一次巻線 2 a には、図 2 (b) に示すように、時間と共に傾き V 1 / L 1 で増加する電流 I 1 が流れ始める。このとき、トランス二次巻線 2 b には、圧電素子印加電圧 V 2 として一定電圧 N · V 1 が発生し、圧電素子 1 に印加される。

【 0 0 3 0 】

t on 時間後、スイッチ 3 が OFF されると、トランス一次巻線 2 a には逆起電力が発生し、ダイオード 5 を通して転流電流が流れる。このとき、トランス一次巻線 2 a に流れる電流 I 1 は、トランス二次巻線 2 b の負荷が圧電素子 1 のみであるのでほぼ無視できるので、スイッチが OFF した瞬間から連続的に、傾き - (V z + V F) / L 1 で減少していく (V z ; ツェナーダイオード 6 のツェナー電圧、 V F ; ダイオード 5 の順方向電圧) 。

【 0 0 3 1 】

トランス二次巻線 2 b には、電流 I 1 が 0 (ゼロ) になるまで逆起電力 - N · (V z + V F) が発生する。その時間 t b は、 t on · V 1 / (V z + V F) となる。

【 0 0 3 2 】

この結果、圧電素子 1 には、図 2 (c) に示すように、幅 t on 、電圧 N · V 1 のパルス電圧と、幅 t b = t on · V 1 / (V z + V F) 、電圧 = - N · (V z + V F) のパルス電圧が印加される。このパルス電圧には、従来のような L と C で決まる共振波形は発生しないので、純粋にパルス電圧で圧電素子 1 を駆動できる。これにより、圧電素子 1 の振動波形に余計な歪みが生じないようになる。

【 0 0 3 3 】

次に、上記回路の応用について説明する。

上記ドライバ回路を用いれば、上述した不図示の制御部からの制御信号により、上記幅 t on 、電圧 N · V 1 のパルス電圧のパルス幅 t on を、圧電素子 1 の共振周波数に応じて自由に変えることができる。また、上記幅 t b = t on · V 1 / (V z + V F) 、電圧 = - N · (V z + V F) のパルス電圧のパルス幅も、 V z 、 V F の値の設定の仕方により、圧電素

10

20

30

40

50

子 1 の共振周波数に応じて自由に変えることができる。

【 0 0 3 4 】

これにより圧電素子 1 から発信されるパルス（超音波パルス等）の波形を、特に超音波流量計等の用途において測定に適した形にすることができるようになる。詳しくは、以下に説明する。

【 0 0 3 5 】

図 3 (a) ~ (c) は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅 t_{on} 、パルス幅 t_b ($= t_{on} \cdot V_1 / (V_z + V_F)$) をどのように変えれば良いかを説明する為の図である。

【 0 0 3 6 】

図 3 (a) には圧電素子の共振波形（周期 T ）を示し、図 3 (b)、(c) には上記圧電素子に印加するパルス電圧の例を示す。尚、図 3 (a) では、振幅一定の波形を示しているが、実際の波形は後述するように振幅は変化する。10

【 0 0 3 7 】

まず、図 3 (a) の圧電素子の共振波形は、図 3 (b) または (c) のパルス電圧の立ち上がりで、その共振振動を開始する。すなわち、図 3 (b)、(c) のパルス電圧の立ち上がりのようなステップ状の波形はあらゆる周波数成分を含んでいるので、この立ち上がりに同期して図 3 (a) のような共振波形がスタートする。

【 0 0 3 8 】

そして、図 3 (b) では、図 1 の圧電素子ドライバ回路において、パルス幅 t_{on} 、パルス幅 t_b ($= t_{on} \cdot V_1 / (V_z + V_F)$) の両方とも、圧電素子 1 の共振周期 T の $1 / 2$ となるように設定している ($t_{on} = T / 2$ にし、且つ $V_z + V_F = V_1$ に設定する)。すなわち、図 3 (a) の圧電素子の共振波形と位相が一致するように設定してある。20

【 0 0 3 9 】

このようにパルス幅を設定すると、図 3 (a) の圧電素子 1 の共振波形の立ち下がりと、図 3 (b) のパルス電圧の立ち下がりが一致するので ((イ) のタイミング)、圧電素子 1 の共振振動を強化（加速）するように働く。更に、図 3 (a) の圧電素子 1 の共振波形の立ち上がりと、図 3 (b) のパルス電圧の立ち上がりが一致するので ((ロ) のタイミング)、圧電素子 1 の共振振動を更に強化（加速）するように働く。

【 0 0 4 0 】

このようにすると、パルス電圧の最初の立ち上がりで圧電素子 1 を駆動するだけでなく、その後のパルス電圧の立ち下がりと立ち上がりで一回ずつ、共振振動を加速するように働くので、立ち上がりのインパルス電圧のみで駆動する方法に比べ、より強く圧電素子を駆動できる。30

【 0 0 4 1 】

一方、図 3 (c) では、パルス幅 t_{on} は、図 3 (b) と同様、圧電素子 1 の共振周期 T の $1 / 2$ とするが ($t_{on} = T / 2$)、パルス幅 t_b ($= t_{on} \cdot V_1 / (V_z + V_F)$) が圧電素子 1 の共振周期 T と同一となるように設定している ($V_z + V_F = V_1 / 2$ に設定する)。

【 0 0 4 2 】

このようにパルス幅を設定すると、図 3 (a) の圧電素子 1 の共振波形の立ち下がりと、図 3 (b) のパルス電圧の立ち下がりが一致するので ((イ) のタイミング)、圧電素子 1 の共振振動を強化（加速）するように働く。40

【 0 0 4 3 】

一方、上記のようにマイナス電圧のパルス幅が T となるように設定しているので、図 3 (a) の圧電素子 1 の共振波形の立ち下がりと、図 3 (c) のパルス電圧の立ち上がりが同期するので ((ハ) のタイミング)、ここでは圧電素子 1 の共振振動を打ち消す（減速する）ように働く。

【 0 0 4 4 】

このように、図 3 (c) では、加速と減速の両を行っている。

図 3 (c) のように加速させて減速させる駆動方法が有効である理由について、以下、図50

4 (a) ~ (c) を参照して説明する。

【 0 0 4 5 】

図 4 (a) は、圧電素子を用いる装置の一例を示す図であり、送信側の圧電素子 1 A と受信側の圧電素子 1 B とを対向させて配置し、圧電素子 1 A を送信回路（圧電素子ドライバ）により駆動して例えば超音波等の振動を発生させ、受信側の圧電素子 1 B でこれら圧電素子 1 A - 1 B 間に存在する媒質（例えば水道水、油のような液体、あるいは都市ガス等の気体）を伝播してきた振動を検出する構成を示してある。

【 0 0 4 6 】

このような構成は、例えば超音波流量計等で利用されている。超音波流量計では、一般に、測定対象の流体の上流側から下流側に超音波を伝播させたときの伝播時間と、下流側から上流側に超音波を伝播させたときの伝播時間との違いから流速 / 流量等を算出する。従って、対向させた圧電素子を交互に送信側 / 受信側と切換えて測定を行うので、送信側の圧電素子 1 A と受信側の圧電素子 1 B の共振周波数は、同じにすることが一般的である。10

【 0 0 4 7 】

また、図示されていないが、圧電素子 1 をレベル計に用いる構成では、圧電素子で発生した振動が液面等で反射され、戻ってきた振動を送信に使用した圧電素子自身で検出するのが一般的である。

【 0 0 4 8 】

いずれにせよ、上記のような用途では、送信側 / 受信側の圧電素子の共振周波数は一致するように構成し、且つ超音波のような振動の伝播時間を測定することで、流速、流量、液面レベル（水位）等を算出するようにしている。20

【 0 0 4 9 】

図 4 (b) には、上記構成において、従来の圧電素子ドライバを用いた場合に検出される受信波形の例を示している（送信波形も波形自体は（振幅は違うかもしれないが）ほぼ同じと考えてよい）。従来のドライバにより圧電素子を駆動すると、発生する超音波等の波形は、図示のように、なだらかに振幅が増大して、なだらかに振幅が減衰していく波形となる（理論的には未だはっきりしていないが、立ち上がりのインパルス電圧一発でこのような波形となることは、本発明の発明者が実際に確認している。また、この波形は、一般的に知られている駆動方法により発生する波形とほぼ同じである）。

【 0 0 5 0 】

ここで、上記伝播時間の測定は、送信側のパルス電圧の立ち上がりから、受信側の受信波形があるトリガレベルを越えたことを検出するときまでを測定するのが一般的である。トリガレベルは、予め第何波目の波形を検出するのか決めて、これに合わせて設定する。例えば、図示のように第 4 ~ 5 波目で最大振幅に達するような波形において第 3 波目でトリガが掛かるようにトリガレベルを設定した場合（別に第 4 波目等にしてもよいが）、図示のようになだらかに振幅が大きくなっていく波形では、ちょっとした波形変動によって第 3 波目以外（普通は第 2 波か第 4 波）でトリガが掛かってしまう危険性が大きい。そうすると、共振周波数の周期分だけ伝播時間測定結果に誤差が生じ、正確な測定ができない。30

【 0 0 5 1 】

一方、図 1 の圧電素子ドライバを用いて、図 3 (c) に示すパルス電圧を圧電素子に印加した場合、図 4 (c) に上側に示すような超音波波形が得られるようになる。すなわち、まず上記（イ）の加速が行われることで図示のように超音波波形の第 2 波の振幅は、第 1 波から急激に大きくなる。次に、上記（ハ）の減速が行われることで、第 3 波の振幅は、急激に小さくなる。40

【 0 0 5 2 】

このような波形の第 2 波に対して、例えば図示の様なトリガレベルを設定しておけば、何等かの影響で波形が多少変動したとしても、隣の波との振幅差が大きいので、誤って第 2 波以外（第 1 波か第 3 波）でトリガが掛かってしまう可能性は極めて低くなり、安定してトリガを掛けることができる。

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

このように、圧電素子を、上記のような伝播時間を測定するような用途に用いる場合には、図3(c)のように加速した後減速するような位相関係の駆動制御方法が有効となる。

【0054】

続いて、他の実施例について説明する。

図5は、他の実施例による圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

【0055】

同図において、図1(a)と同じ構成については同一符号を付して、その説明は省略する。図1(a)の回路と異なるのは、スイッチ7がツェナーダイオード6に並列に接続されている点である。

【0056】

図6は、図5の回路の動作を説明する為の図である。

まず、通常、スイッチ3はOFF状態である。この状態では、トランス一次巻線2aには電流は流れないので、トランス二次巻線2bには電圧は発生しない。よって、圧電素子1は駆動されない。また、スイッチ7は、図6(b)のように、圧電素子を駆動する前にオンしておく。

【0057】

圧電素子1を駆動するときには、不図示の制御部により、スイッチ3がton時間だけONされる(図6(a))。スイッチ3がONされた瞬間から、トランス一次巻線2aには、図6(c)に示すように、時間と共に傾きV1/L1で増加する電流I1が流れ始める。このとき、トランス二次巻線2bには、一定電圧N·V1が出力され、圧電素子1に印加される。

【0058】

ton時間後、スイッチ3がOFFされると、トランス一次巻線2aには逆起電力が発生し、ダイオード5とスイッチ7を通して転流電流が流れる。このとき、トランス一次巻線2aに流れる電流I1は、トランス二次巻線2bの負荷が圧電素子1のみであるのでほぼ無視できるので、スイッチがOFFした瞬間から連続的に、傾き-VF/L1で減少していく。このとき、トランス二次巻線2bには、一定電圧-N·VFが出力され、圧電素子1に印加される。

【0059】

スイッチ3がオフされた後td時間後に、図示されていない制御部により、今度はスイッチ7がオフされる(図6(b))。これにより、トランス一次巻線2aに流れている転流電流は、ダイオード5とツェナーダイオード6を通して流れるように変化する。このとき、トランス一次巻線2aに流れる電流I1は、連続的に、傾き-(Vz+VF)/L1で減少するようになる(Vz;ツェナーダイオード6のツェナー電圧、VF;ダイオード5の順方向電圧)。

【0060】

また、トランス二次巻線2bには、一定電圧-N·(Vz+VF)が発生するようになり、これが圧電素子1に印加される。その時間tcは、tdがtonとほぼ同じ程度の値であり且つV1、Vz VFならば、約(tc-ton)·V1·(Vz+VF)となる。

【0061】

この結果、圧電素子1には、図6(d)に示すように、幅ton、電圧N·V1のパルス電圧と、それから時間tdだけ遅れて、

$$\text{幅 } tc - ton \cdot V1 / (Vz + VF)$$

$$\text{電圧} = -N \cdot (Vz + VF)$$

のマイナスのパルス電圧が印加される。このパルス電圧には、従来のようなLとCで決まる共振波形は発生しないので、純粋にパルス電圧で圧電素子1を駆動できる。これにより、圧電素子1の振動波形に余計な歪みが生じないようになる。

【0062】

尚、スイッチ3がオフされた後td時間の間、トランス二次巻線2bには、電流I1が0(ゼロ)になるまで逆起電力-N·VFが発生するが、一般にV VFなのでほとんど無

10

20

30

40

50

視できる。

【0063】

次に、上記回路の応用について説明する。

上記ドライバ回路を用いれば、上述した不図示の制御部からの制御信号により（更に、 V_z 、 V_F の値の設定の仕方により）、上記パルス幅 t_{on} 、パルス幅 t_c を任意に変えることができると共に、パルス幅 t_c のマイナスのパルス電圧の発生タイミングを時間 t_d だけ遅らすことができるので、図1の回路により得られる上述した効果を、更に強化することができる。詳しくは、以下に説明する。

【0064】

図7(a)、(b)は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅 t_{on} 、 t_c 、及び遅れ時間 t_d をどのように変化させれば良いかを説明する為の図である。
10

図7(a)には圧電素子の共振波形を示し、図7(b)には上記圧電素子に印加するパルス電圧の例を示す。

【0065】

まず、図7(b)に示す上記圧電素子に印加するパルス電圧の立ち上がりで、図7(a)に示すように圧電素子1は共振振動を開始する。

図7(b)に示すパルス電圧は、パルス幅 t_{on} 、遅れ時間 t_d とも、圧電素子の共振周期 T の $1/2$ となるように、不図示の制御部がスイッチ3及びスイッチ7をON/OFF制御した結果である（尚、不図示の制御部には、予め、制御対象の圧電素子の共振周期 T の値が設定／入力されているものとする）。
20

【0066】

更に、 $(V_z + V_F) = V_1$ となるように設定しており、これにより、幅 $t_c = t_{on} \cdot V_1 / (V_z + V_F) = t_{on}$ となる。すなわち、幅 t_c も $T/2$ となるように設定されている。

【0067】

このようなパルス電圧により圧電素子1を駆動すると、図7(a)、(b)に示す通り、まず、圧電素子の共振波形の最初の立ち下がりと、幅 t_{on} のパルス電圧の立ち下がりとが一致するので((ニ)のタイミング)、圧電素子の振動を加速するように働く。次に、圧電素子の共振波形の2度目の立ち上がりと、幅 t_c の負のパルス電圧の立ち下がりが同期するので((ホ)のタイミング)、圧電素子の共振振動を打ち消す(減速)ように働く。この減速は、圧電素子の共振波形の2度目の立ち下がりと、幅 t_c の負のパルス電圧の立ち上がり((ヘ)のタイミング)においても行われるので、より強力に減速されることになる。
30

【0068】

このように加速した後減速するような駆動方法が、伝播時間を測定する用途に有効なのは、上述した説明の通りである。

【0069】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明の圧電素子ドライバ、その駆動方法によれば、任意のパルス幅の正／負の電圧パルス一組を圧電素子に印加することが可能となり、任意の共振周波数の圧電素子に対応できる。
40

【0070】

このとき、この正／負の電圧パルスのパルス幅を両方とも、圧電素子の共振周波数の周期(共振周期)の $1/2$ とした場合には、従来の回路に比べずっと強く圧電素子を駆動することができる。

【0071】

また、正の電圧パルスのパルス幅を圧電素子の共振周期の $1/2$ とし、負の電圧パルスのパルス幅を圧電素子の共振周期と同じにした場合には、伝播時間を測定することで計測を行う用途に特に適した波形を得ることができる。

【0072】

10

20

30

40

50

また、本発明による他の圧電素子ドライバによれば、任意のパルス幅の正／負の電圧パルス一組を、負の電圧パルスの発生タイミングを任意に遅らせて（任意の遅れ時間を持たせて）、圧電素子に印加することが可能となり、任意の共振周波数の圧電素子に対応できると共に、上記正のパルス幅、負のパルス幅、及び遅れ時間の全てを圧電素子の共振周期の $1/2$ とした場合には、上記伝播時間を測定することで計測を行う用途に特に適した波形を得ることができるという効果が更に顕著になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)、(b)は、本例による圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

【図2】(a)～(c)は、図1の回路の動作の一例を説明する為の図である。 10

【図3】(a)～(c)は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅をどのように設定すれば良いかを説明する為の図である。

【図4】(a)～(c)は、図3(c)のような駆動方法が有効である理由を説明する為の図である。

【図5】他の実施例による圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

【図6】(a)～(d)は、図5の回路の動作を説明する為の図である。

【図7】(a)、(b)は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅及び遅れ時間をどのように設定すれば良いかを説明する為の図である。

【図8】従来の圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図である。

【図9】(a)、(b)は、図8の回路の動作の一例を説明する為の図である。 20

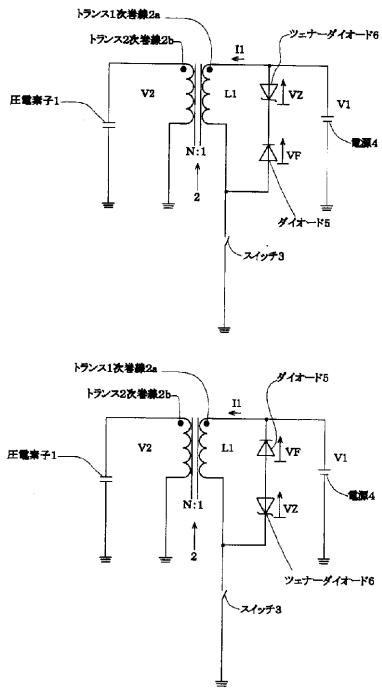
【符号の説明】

- 1 圧電素子
- 2 トランス
- 2 a トランス一次巻線
- 2 b トランス二次巻線
- 3 スイッチ
- 4 電源
- 5 ダイオード
- 6 ツエナーダイオード
- 7 スイッチ

30

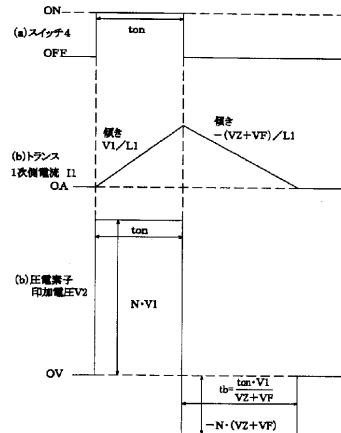
【図1】

(a)、(b)は、本例による圧電素子ドライバの一例を示す回路構成の図



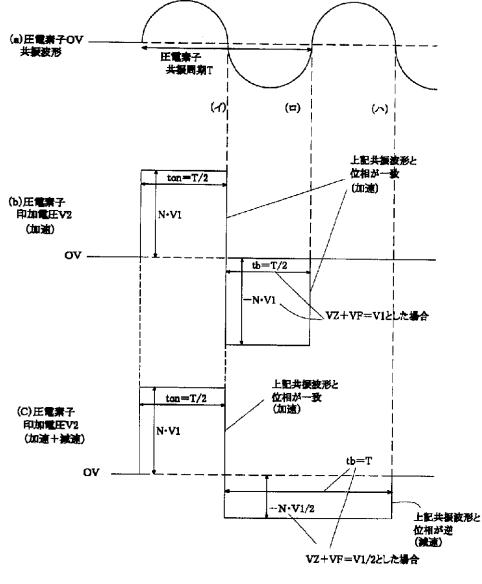
【図2】

(a)～(c)は、図1の回路の動作の一例を説明するための図



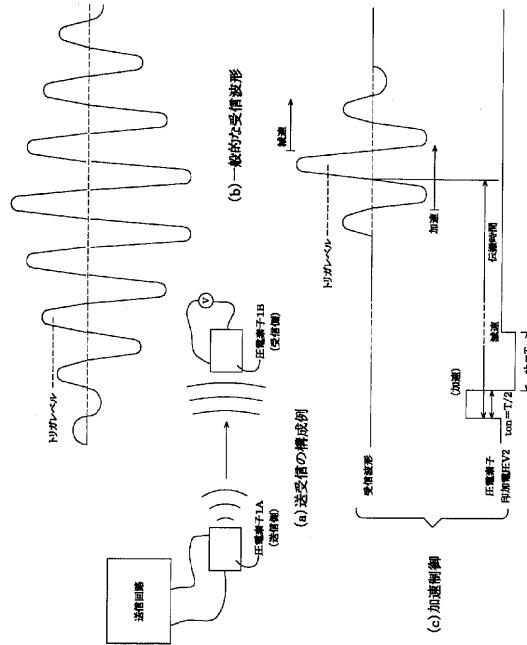
【図3】

(a)～(c)は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅をどのように設定すればよいかを説明するための図



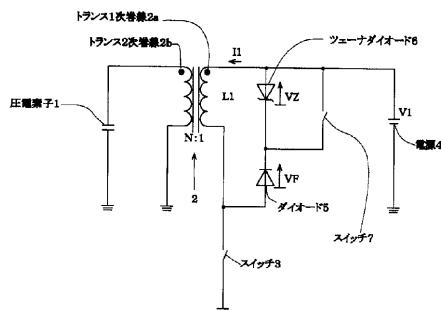
【図4】

(a)～(c)は、図3(c)のような駆動方法が有効である理由を説明するための図



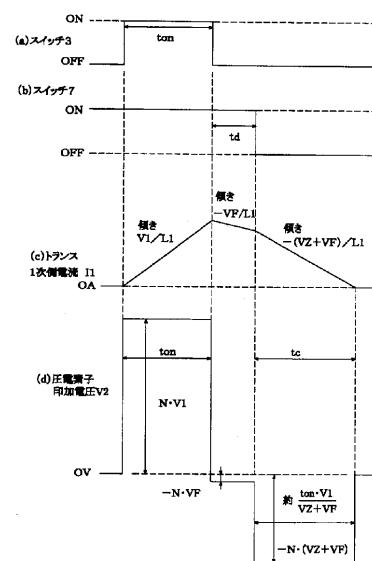
【図5】

他の実施例による圧電素子ドライバの
回路構成の一例を示す図



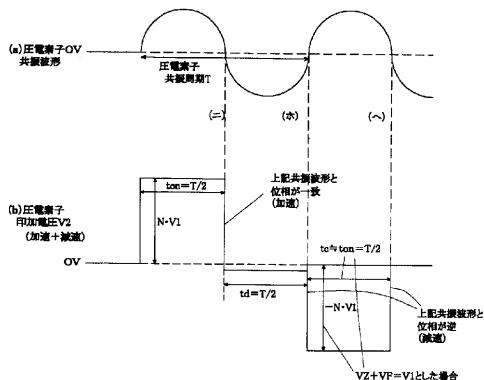
【図6】

(a)～(d)は、図5の回路の動作を説明する為の図



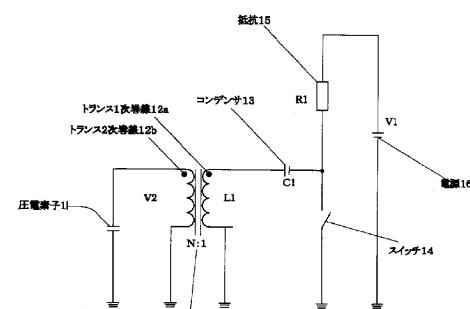
【図7】

(a)、(b)は、圧電素子の共振周波数に応じてパルス幅及び
遅れ時間をどのように設定すれば良いかを説明する為の図



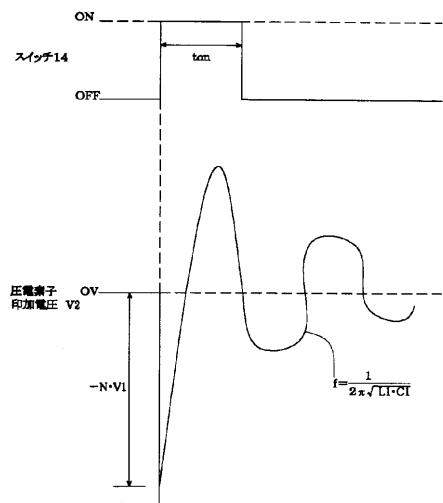
【図8】

従来の圧電素子ドライバの回路構成の一例を示す図



【図9】

(a)、(b)は、図8の回路の
動作の一例を説明する為の図



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B06B 1/06

G01F 1/66

G01F 23/296

H01L 41/09

G01S 7/524