

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-501463

(P2024-501463A)

(43)公表日 令和6年1月12日(2024.1.12)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 3 K 17/10 (2006.01)	H 0 3 K 17/10	5 J 0 5 5
H 0 3 K 17/687(2006.01)	H 0 3 K 17/687	F

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全19頁)

(21)出願番号	特願2023-535648(P2023-535648)	(71)出願人	523213181 ユニバーシティ オブ リーズ UNIVERSITY OF LEEDS イギリス, エルエス2 3エイエイ ヨークシャー, リーズ, ユニバーシティ オブ リーズ, ディスカバリー ウェイ, ネクサス
(86)(22)出願日	令和3年12月9日(2021.12.9)	(74)代理人	100103850 弁理士 田中 秀 てつ
(85)翻訳文提出日	令和5年8月9日(2023.8.9)	(74)代理人	100105854 弁理士 廣瀬 一
(86)国際出願番号	PCT/GB2021/053227	(74)代理人	100115679 弁理士 山田 勇毅
(87)国際公開番号	WO2022/123254	(74)代理人	100114177 弁理士 小林 龍
(87)国際公開日	令和4年6月16日(2022.6.16)		
(31)優先権主張番号	2019565.7		
(32)優先日	令和2年12月11日(2020.12.11)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	英国(GB)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,		

最終頁に続く

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超音波送信器

(57)【要約】

実施例では、第1及び第2駆動トランジスタと、双方向性ロード・スイッチとして第1及び第2駆動トランジスタのうちの1つと共に配置される第3及び第4追加スイッチ・トランジスタを含む第1プッシュプル・トランジスタ配置を備え、第1駆動トランジスタ及び関連する第3追加スイッチ・トランジスタは、第1プッシュプル・トランジスタ配置の第1アームとして直列に動作し、第2駆動トランジスタ及び関連する第4追加スイッチ・トランジスタは、第1プッシュプル・トランジスタ配置の第2アームとして直列に動作し、それぞれのアームは、第1バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスと共通出力の間に結合される、マルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器が提供される。

【選択図面】 図1

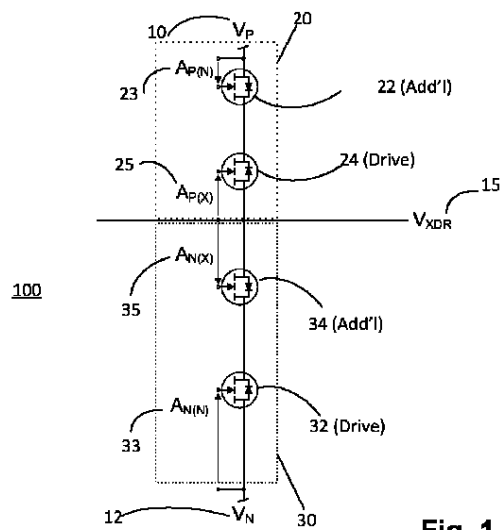


Fig. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 及び第 2 駆動トランジスタと、

第 3 及び第 4 追加スイッチ・トランジスタとを含む第 1 プッシュプル・トランジスタ配置を備え、それぞれは、双方向性ロード・スイッチとして、前記第 1 及び第 2 駆動トランジスタのうちの 1 つと共に配置され、

前記第 1 駆動トランジスタ及び関連する第 3 追加スイッチ・トランジスタは、前記第 1 プッシュプル・トランジスタ配置の第 1 アームとして直列に動作し、前記第 2 駆動トランジスタ及び関連する第 4 追加スイッチ・トランジスタは、前記第 1 プッシュプル・トランジスタ配置の第 2 アームとして直列に動作し、それぞれのアームは、第 1 バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスと共通出力の間に結合される

10

マルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器。

## 【請求項 2】

前記共通出力とグランドの間に結合されるシングル・エンド・トランジスタ・クランプ配置をさらに備え、前記シングル・エンド・トランジスタ・クランプ配置は、双方向性ロード・スイッチとして配置される第 6 追加スイッチ・トランジスタと直列に第 5 駆動トランジスタを含む

請求項 1 に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器。

## 【請求項 3】

第 7 及び第 8 駆動トランジスタを含む第 2 プッシュプル・トランジスタ配置を更に備え、それぞれは第 2 バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスの間に結合され、前記第 2 バイポーラ駆動電圧供給は、前記第 1 バイポーラ駆動電圧供給よりも大きい大きさである

20

請求項 1 又は 2 に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器。

## 【請求項 4】

1 つまたは複数の更なるプッシュプル・トランジスタ配置を更に備え、それぞれは前記第 1 プッシュプル・トランジスタ配置の更なるインスタンスを含み、それぞれの更なるプッシュプル・トランジスタ配置は、更なるバイポーラ駆動電圧供給に亘って動作する

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

30

## 【請求項 5】

それぞれの更なるバイポーラ駆動電圧供給は、前のバイポーラ駆動電圧供給より低い大きさを有する

請求項 4 に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器。

## 【請求項 6】

前記双方向性ロード・スイッチは、前記それぞれの駆動トランジスタのダイオード機能に対して逆極性に配置される

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

## 【請求項 7】

前記追加スイッチ・トランジスタのいずれかのゲートを制御する電圧は、前記共通出力に相対する

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

40

## 【請求項 8】

全ての前記トランジスタは、Nチャネル・デバイス（NPN（又はNチャネルFET））である

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

## 【請求項 9】

50

全てのトランジスタは高移動度デバイスである

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

【請求項 10】

全てのトランジスタは GaN デバイスである

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器

【請求項 11】

前記送信器は少なくとも 3 つの電圧レベルを有する

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器。 10

【請求項 12】

請求項 1 から 11 のいずれかによる送信器と、

前記送信器に結合される少なくとも 1 つの超音波トランスデューサと

を備える超音波デバイス。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

超音波送信器の設計は、商業用途と研究用途の両方について任意の超音波プラットフォームで重要な考慮すべき事柄である。高密度焦点式超音波（HIFU）療法に必要な高出力連続波（CW）、又は高周波超音波（HFUS）用途に必要な高周波駆動能力など、超音波の異なるモダリティは、送信駆動回路に異なる要件を提示する。現在の送信器は、周波数、出力、帯域幅の間のトレードオフで、一般的には、ごく一部の用途のみに限定される。非常に高い周波数と高い出力の両方で、幅広い超音波モダリティで動作することが可能な統一された送信器構造は、超音波デバイスがより幅広い機能で、より一般的に有用であることが可能になるであろう。 20

【発明の概要】

【0002】

スイッチ・モード超音波送信器トポロジを開示する。開示されたトポロジは、変圧器又は整合部品を必要としないで、任意の数の指定電圧レベルに完全なプッシュプル能力を提供する。開示されたトポロジは、窒化ガリウム（GaN）トランジスタ技術を利用して、高速スイッチングと高出力処理の両方を実現することができる。実施例は、複数の超音波モダリティに使用することができる。例えば、診断イメージング周波数で、数百 MHz（例えば、100 MHz）までのバイポーラ駆動能力を有する HFUS に対して、及び比較的高い電力出力（例えば、複数秒の間 50 W 平均出力連続波（CW））で大きな単一要素トランスデューサを駆動する HIFU 治療に対して、線形振幅制御のための高調波低減パルス幅変調（HRPWM）を使用する。 30

【図面の簡単な説明】

【0003】

発明の更なる詳細、態様、実施例、及び実施形態は、図面を参照しながら、実施例だけを手段として説明する。図面において、同様の参照番号は、同様の又は機能的に類似した要素を識別するために使用される。図中の要素は、単純化及び明確化のために図示され、必ずしも縮尺通りに描かれていない。 40

【0004】

【図 1】図 1 は、本開示の実施形態による全ての NMOS 超音波プッシュプル送信器ブリッジ・トポロジ・ベース部の例示的な回路概略図を示す。

【図 2】図 2 は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器で使用される図 1 の超音波プッシュプル送信器ブリッジ・トポロジの例示的な回路概略図を示す。

【図 3】図 3 は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器の代替フロント・エンド配置の例示的な回路概略図を示す。 50

【図 4】図 4 は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器の全ての P M O S 配置の例示的な回路概略図を示す。

【図 5】図 5 は、本開示の N M O S 実施形態によるマルチレベル超音波送信器で使用するゲート駆動回路の例示的な回路概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0005】

以下の記述では、説明のために、特定の実施例の多数の具体的な詳細が示される。明細書において「実施例」又は同様の言語への言及は、実施例に関連して記述される特定の特徵、構造、又は特性が、少なくともその実施例には含まれるが、必ずしも他の実施例に含まれるわけではないことを意味する。

10

【0006】

超音波送信器の設計は、商業用途と研究用途の両方のいずれの超音波プラットフォームで重要な考慮すべき事柄である。イメージング技術の品質は、トランスデューサ及び受信器の性能によって制限されるだけでなく、所望する周波数、帯域幅、及びエンベロープで超音波送信を生成する能力によっても制限される。高密度焦点式超音波 (H I F U) 療法に必要な高出力 (10 W 超) の連続波 (C W)、又は高周波超音波 (H F U S) 用途 (小動物用の生体顕微鏡や眼科学など) の高周波駆動能力 (30 M H z 超) など、超音波の異なるモダリティによって送信駆動回路に異なる要件が提示される。利用可能な典型的な既存の送信器技術は、周波数、電力、及び帯域幅の間のトレードオフを伴う、ごく一部の用途のみに役立つ傾向がある。したがって、本開示は、幅広い超音波モダリティで、非常に高い周波数と高い電力の両方で動作することができる統一された送信器の構造を提供し、これにより、超音波デバイスがより広い機能性で、より一般的に有用であることが可能となるであろう。

20

【0007】

既存の統合型スイッチ超音波送信器は、最高で 20 M H z から 30 M H z 程度の最大動作周波数に達する傾向があり、これにより、それらの実用性は H F U S 用途で制限される。これらの場合、高周波送信は、一般に、専用の試験装置又はパルス発生器回路のいずれかを使用して実現される。試験装置、例えば、電力増幅器やパルス発生器などを使用することで実現される。しかし、この方法では、使用方法が単一要素送信に限定されたり、又は、複数の試験装置を配置する必要があり、これはコスト (金額、サイズ、電力使用量など) がかかる。また、専用の高速パルス発生器、例えば、注意深く調整されたインパルス回路や単純なバイポーラ・パルス発生器など、作ることにはできるが、これらは特定のトランスデューサ及び周波数に調整され、その結果、汎用の超音波送信器としては使用されない。

30

【0008】

一方、大型の単一要素 H I F U トランスデューサを駆動するには、10 W 超の連続出力電力を 50 未満の負荷に数秒間供給できる送信器を備えたシステムが必要となるであろう。これは、熱的制限のために典型的な既存の超音波送信器トポロジーの能力を超えており、したがって、制御するための専用の H I F U システム、又は損失の多いインピーダンス整合ネットワークの使用を必要とし得る高い電力増幅器のいずれかを必要とするであろう。したがって、本開示の実施例は、より高い電流を供給できる送信器を提供し、その結果、整合ネットワークを使用しないで低インピーダンス・トランスデューサを駆動することができ、スイッチ・モード送信器の動的スイッチングの損失を、低電圧のために低減することができる。

40

【0009】

さらに、用途、例えば、パッシブ音響マッピング (P A M) など、ガイダンス及びモニタリングのために H I F U 療法と同時に利用する受動的イメージング・モダリティであり、また、統一された送信構造から利益を得ることができる。P A M システムでは、イメージング・モードと治療モードの間の干渉を避けるために、2つのモダリティは、通常、交互配置されており、このことは注意深い同期が必要である。しかし、両方のモダリティ

50

で単一のシステムを使用することにより、同期を簡略化することができ、必要に応じて、高出力トランスデューサを高周波で駆動できる超音波送信器トポロジーを提供することにより、同期を可能にすることができる。

#### 【0010】

理想的には、超音波デバイスは、線形電力増幅器によって駆動されるであろう。例えば、線形電力増幅器(PA)、例えば、クラスAの設計やクラスBの設計は、それらの線形領域で動作するトランジスタ素子を利用する。通常では、デジタル・アナログ・コンバータ(DAC)を介して制御され、また通常では、変圧器を駆動して出力駆動電圧を増加させる。高出力の用途又はCWの用途では、これらの線形PAは、特に振幅制御が必要な場合に、これらの増幅器の非能率的な本質(例えば、これらの増幅器は、全体の特性応答のごく一部である増幅器の線形領域でのみ動作するため)により、大規模な冷却システムを可能にするために物理的に大きくなければならない。

10

#### 【0011】

線形増幅器に代わるより効率的なものとして、超音波用のスイッチ・モード送信器が開発された。スイッチ回路は、一連の離散電圧レベルを使用し、ステップ波形を使用してアナログ波形を近似し、送信器に結合される超音波デバイスを駆動する。これらにより、線形PAよりもはるかに高い効率及び速度を可能にする。スイッチ・モード送信器には、クラスD、クラスDE、及び同様のPAから、診断超音波周波数用のマルチレベル設計、広帯域のトランスデューサ応答を生成するように設計されるユニポーラ・パルス発生器まで、多くの異なる形態がある。しかし、これまでのスイッチ・モード送信器トポロジーは、どれも充分に対称的な出力(すなわち、バイポーラ電力供給の正負の供給の両方で対称的)及び非常に広帯域の動作又は全体的な実装効率(すなわち、十分に低い複雑な設計及び/又は部品数、又は同種のもの)を提供しているものはない。

20

#### 【0012】

例えば、クラスDE・スイッチ・モードPAは、特にHIFUの用途で、超音波トランスデューサを駆動するために使用することができる。これらのクラスDE・スイッチ・モードPA回路は、線形PAよりも著しく効率的であり、低減される冷却要件により、よりコンパクトにすることができる。しかし、線形出力を近づけるために、追加的なフィルタリング及びマッチング回路が出力に必要となり、これにより送信器の使用可能な帯域幅が制限される。

30

#### 【0013】

スイッチ回路は、回路実装の観点から多くの利点を有するが、出力駆動波形(例えば、ほぼ5レベルかその程度)を生成するために回路によって使用される電圧レベルの数が限定された結果として、そのような回路によって生成される出力波形は、特に第3及び第5高調波で、不要な高調波を波形にもたらし。これは、超音波送信器の特定の使用ケース、例えば、2次以上の高調波エコー応答は画像形成に使用される高調波イメージング、又はトランスデューサがこれらの高調波で特に共振するHIFU技術などに対して特に問題となり得る。したがって、高調波を低減するのに役立つ改善が望まれる。

#### 【0014】

非構造的な手段によって高調波歪みを低減することは可能であり、例えば、マルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器の高調波出力は、送信波形の注意深い設計によって低減することができる。この方法の一例は、高調波低減パルス幅変調(HRPWM)として知られ、第3高調波の取り消し及び第5高調波の部分的な取り消しにより振幅制御を可能にすることは前から示されているが、一方ではマルチレベル・コンバータを使用する他の波形設計技術では、ガウス高調波波形又は低減高調波波形を生成することができる。また、HRPWM技術は、HIFUの用途でも実証されており、この技術は複数のモダリティで使用できることを示している。しかし、また、超音波送信器の設計に対して代替的な構造変更又は追加的な構造変更も使用することができ、本開示の実施例は、超音波送信器の設計に対してそのような構造改善を提供する。

40

#### 【0015】

50

いくつかの既知のスイッチ・モード超音波送信器は、バイポーラ・ハーフブリッジ・トポロジーを使用する。これらのハーフブリッジは、簡素化されたゲート制御に対して、擬似相補型金属酸化膜半導体（CMOS）プッシュプル設計のPMOSトランジスタ及びNMOSトランジスタの混合物を使用する - この種のトポロジーの全てのゲートは、固定供給レールを基準とする。しかし、NMOSトランジスタを使用することにより、同程度のサイズのPMOSトランジスタよりも高速なスイッチング及び低損失が提供される。したがって、対称的な駆動強度を実現するためには、このような回路は、（NMOSデバイスと比較して）より大きなPMOSデバイス又は複数の並列PMOSデバイスのいずれかを使用するように設計しなければならない。結果として、相対的に回路の複雑さ又はコストがより高くなることや、スイッチング速度がより遅くなることを含む、多くの問題に帰着する。したがって、本開示の実施形態は、より高性能な送信器を可能にするために、全てのNMOSトポロジーを使用する。いくつかの実施形態では、（さらに）より高いスイッチング速度及び性能を実現するために、シリコン金属 - 酸化膜 - 半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）技術の代替として、高移動度トランジスタ・デバイス、例えば、GaNトランジスタを使用することが提案される。GaNは、主として電気自動車の用途に関して、過去10年間に亘って多くの関心及び発展を遂げてきた代替半導体技術である。この技術は、一般に、シリコン・トランジスタよりも高いスイッチング速度及び高い電力処理能力を提供する。しかし、現在のGaN PMOSデバイスには、スイッチング性能が低い問題があるので、GaNは主にNMOS形態で設計される。したがって、いくつかの実施形態では、全NMOSトポロジーを使用することにより、GaNデバイスを全体に使用する例にとって依然として有益であろう。

#### 【0016】

いくつかの全NMOS送信器は実証されている。しかし、これらは、通常、出力にセンター・タップ付き変圧器を使用する。変圧器のセンター・タップを供給レールに接続することにより、両方のスイッチは簡単なゲート制御を可能にするシステム・グランド・レベルを基準とすることは可能である。しかし、高速度及び改善された電力処理能力に対して、GaNデバイスを全体に使用してこれらの全NMOS送信器を実装するとき、CWの用途で問題がある小型変圧器の電力処理が制限され、例えば、変圧器を使用することにより、送信器の出力帯域幅が制限されるからである。また、このような送信器の設計を、高調波低減技術及び振幅制御技術に必要なマルチレベル設計（= 3レベルより高い、より一般的には5レベル以上）になるように拡張するには、複数の変圧器巻線を必要とし、変圧器の設計に更なる負荷がかかるであろう。

#### 【0017】

従って、本開示は、主駆動トランジスタに加えて、ハーフブリッジ配置のそれぞれのアームで追加のスイッチ・トランジスタを利用する修正されたプッシュプル配置を使用するマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器の基本設計を提案する。ここで、追加のスイッチ・トランジスタは、双方向性ロード・スイッチとして配置される（双方向性ロード・スイッチとして配置されるとは、ダイオードが逆電流を流すかどうかを追加のスイッチ・トランジスタに加えらるゲート電圧が制御できるように、それ故に、逆バイアス時に駆動トランジスタを介して電流が流れるのを制御可能に防止できるようにトランジスタを配置することをいう）。

#### 【0018】

図1は、この新しく提案された超音波送信器ベース・プッシュプル・トランジスタ配置部100をより詳細に示す。この図は、新たに提案された超音波送信器ベース・プッシュプル・トランジスタ配置が、一对のバイポーラ電圧供給レール - 正の供給電圧 $V_{p10}$ 及び負の供給電圧 $V_{N12}$  - に亘って結合されるハーフブリッジ配置を含むことを示す。これらは、本明細書では、バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスと呼称される（これは、それぞれの供給が正及び負の2つの異なる供給電圧を提供し、以下に詳細を記すように、複数の異なるバイポーラ駆動供給電圧を使用することができるからである）。ハーフブリッジ配置は、2つのアーム - 図では、共通出力 $V_{XDR15}$ を有する上部

アーム 20、及び底部アーム 30 - を備える。上部及び底部という用語は任意であり、実際には、留意すべきことのただ 1 つの重要な要素は、一方は正の供給電圧  $V_{P10}$  と共通出力  $V_{XDR15}$  の間で結合され、他方は負の供給電圧  $V_{N12}$  と共通出力  $V_{XDR15}$  の間で結合されることを理解されるであろう。最初に上部アーム 20 を取り上げると、このアームは、関連するゲート駆動電圧  $A_{P(X)25}$  を有する駆動トランジスタ 24 と、関連するゲート駆動電圧  $A_{P(N)23}$  を有する第 2 追加スイッチ・トランジスタ 22 とを備える。トランジスタ 22 及び 24 の固有のダイオード作用は、互いに逆極性に配置されることに留意されたい。対応する底部アーム 30 については、このアームは、関連するゲート駆動電圧  $A_{N(N)33}$  を有する駆動トランジスタ 32 と、関連するゲート駆動電圧  $A_{N(X)35}$  を有する第 2 追加スイッチ・トランジスタ 34 とを備える。トランジスタ 32 及び 34 の固有のダイオード作用も、また、互いに逆極性に配置されることに留意されたい。この固有のダイオード作用は、また、「(固有)ボディ・ダイオード」、「寄生ダイオード」、又は更に「いくつかのトランジスタ・タイプに見られる挙動のようなダイオード」(例えば、GaN デバイスにおいて)と呼称されてもよい。

10

**【0019】**

図 1 から、トランジスタ 24 及び 34 に加えられるゲート電圧 ( $A_{N(X)}$  及び  $A_{P(X)}$ ) は、共通出力  $V_{XDR15}$  に相対するものであり、トランジスタ 23 及び 33 に加えられるゲート電圧 ( $A_{P(N)}$  及び  $A_{N(N)}$ ) は、バイポーラ電力供給 (すなわち、バイポーラ駆動電圧供給) のそれぞれの極性インスタンスに相対するものであるということがわかる。正のアーム 23 及び 25 に対する信号は、図 5 に示すような、任意の形態の分離されたゲート駆動を使用して、それぞれのトランジスタ 22 及び 24 を同時にオン又はオフに切り替えるように制御することができる。負のアームについては、同様にゲート駆動信号 33 及び 35 は、また、図 5 と同様に分離されたゲート駆動回路を使用して一緒に制御することができる。

20

**【0020】**

さて、当業者によって理解されるように、FET はより高い大きさの電圧レールに切り替えることにより強制的に逆バイアスになるとき、そうしないと、駆動トランジスタの寄生電界効果トランジスタ (FET) ボディ・ダイオード (すなわち、固有のダイオード機能) が伝導するので、ハーフブリッジ配置は、マルチレベル電圧供給を提供する際のそれらの使用を可能にするために、駆動トランジスタと直列にダイオード機能を使用する。ただし、プレーン・ダイオードを使用することにより、ハーフブリッジの逆伝導が防止され、このことは、ハーフブリッジがプッシュプル容量で動作するのを防止する (それぞれのレールが寄生ダイオードによって外側へ引き寄せることだけが制限されるため)。これにより、HRPWM のような技術を使用するとき、望ましくない第 2 高調波歪みが発生し、全ての高調波歪み及び振幅制御の損失が増加するであろう。また、プレーン・ダイオードを使用することにより、例えば、逆回復時間及び追加の損失を引き起こす寄生ダイオードに亘る順方向電圧降下によって、マルチレベル送信器の設計全体の性能も制限される。

30

**【0021】**

したがって、本開示では、ハーフブリッジにおけるプレーン・ダイオードの使用は、追加のスイッチ素子 (すなわち、適切に配置され、かつ、制御されるアクティブ・トランジスタ) に置き換えられる。このようにして、マルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器の設計の性能を向上させることは可能である。すなわち、それぞれのアームについて、プレーン・ダイオードの代わりに、第 2 の FET (例えば、22 又は 34) を主駆動トランジスタ (例えば、24 又は 32) と比べて逆転するソース及びドレインに接続することにより、ハーフブリッジをスイッチ・オフするとき、同レベルの逆伝導保護が提供される。重要なことは、スイッチ・オンするとき、プレーン・ダイオードとは異なり、それぞれのアームに新しく追加されるスイッチ・トランジスタによって双方向性伝導が可能になり、プレーン・ダイオードと比べて電力損失がはるかに低くなる。これらの追加のスイッチ・トランジスタは、送信器回路 (例えば、NMOS / PMOS などの使用) の残りの部分のトポロジーに応じて、ソース結合構成又はドレイン結合構成のいずれかで接続できるこ

40

50

とに留意されたい。

【0022】

トポロジー全体に対するこの変更により、複雑な負荷を駆動し、設計されたHRPWM波形を忠実に生成することができる完全プッシュプル・マルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器が提供される。この変更は、順方向の伝導と逆方向の伝導の両方の下で高い性能を自然に提供できるGaNデバイスを使用して実装に充分適している。ただし、代替例では、例えば、シリコンNMOS、シリコン・カーバイド（別の高移動度半導体）、及び今後作製される将来の任意のトランジスタ技術など、この提案された設計と相乗効果のある固有の能力を備えた他のトランジスタ技術を利用することができる。

【0023】

さらに、このベース・プッシュプル・トランジスタ配置の任意の数のアームは、所与の設計で実装することができ、その結果、任意の数の出力電圧レベルを使用/提供することができる。

【0024】

図2は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器で使用される図1の超音波プッシュプル送信器ブリッジ・トポロジーの例示的な回路概略図を示す。実際、図2は、任意のマルチレベル超音波プッシュプル送信器（この一般的インスタンスでは、7レベル）を実装するための完全な、かつ一般的なトポロジー200を示す。図示される一般的なトポロジーは、図1のように第1プッシュプル・トランジスタ配置100と、第1プッシュプル・トランジスタ配置100と構造的に同じであるが、異なるバイポーラ電力供給 $V_{Pi}/V_{Ni}$ （この場合、より低い大きさ、すなわち、 $V_{P2} > V_{Pi}$ 、及び $V_{N2} > V_{Ni}$ ）を亘って結合される第2のプッシュプル・トランジスタ配置100とを含む。また、図2の回路は、実質的に同じハーフブリッジ設計の単一のアーム（例えば、図1のアーム30と同じ）で、中点出力をグランドにクランプするグランド・クランプ回路210、及び、アーム（上部及び底部）ごとに1つずつ配置される1対の単一駆動トランジスタを備える任意の外部レール・ブリッジ220とを示す。一般用語では、図2に示すマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器に対する一般的なトポロジー200は、バイポーラ外部電圧レール（+） $V_{P1}$ 及び（-） $V_{N1}$ と、バイポーラ中間電圧レール（+） $V_{P2}$ 及び（-） $V_{N2}$ （より多くの出力電圧レベルに電力を供給するために必要な、任意の更なる追加電圧レール）と、グランド・クランプ回路GND210とを備える。グランド・クランプ回路210は、送信器の1つの出力を0Vにクランプすることを確実にし、このことはいくつかの実装で有用であり得る。例えば、スイッチ・モード送信波形が0Vレベルを利用する場合、又は使用される超音波トランスデューサが容量性インピーダンスを有し、その電圧で駆動される後で所与の電圧に留まる場合、その結果、Return to Zero (RTZ) 駆動方法を適用することは有益である（例えば、その結果、駆動されるたびにトランスデューサの開始状態はそれぞれの方向で同じになり、一貫性及び対称動作を改善し、又は送信モードから受信モードに切り替わるときにトランスデューサの任意の残留電圧を放電する）。中間電圧レールである（+） $V_{P2}$ 及び（-） $V_{N2}$ （任意の更なるレールである（+） $V_{Pi}$ 及び（-） $V_{Ni}$ ）、及びグランド・クランプ回路210は、それぞれドレイン結合された1対のGaNデバイスを使用してそれぞれのレールに駆動する。バイポーラ中間電圧レールは、バイポーラ外部電圧レールよりも低い大きさでなければならないという制約を設けることにより、外部レール・ブリッジ220を（+） $V_{P1}$ 及び（-） $V_{N1}$ のそれぞれに1つずつ駆動する2つの駆動トランジスタだけに簡素化することが可能である。これは、使用の間、これら2つの駆動トランジスタが決して逆バイアスにならないようにすべきであり、このことは、それぞれの正の供給レールと負の供給レールの大きさの間に記載される関係を維持することによって確実にされる。

【0025】

単一の実装の実施例では、超音波送信器は3レベル・デバイスであってもよく、共通出力とグランドの間に結合されるグランド・クランプを有する図1の回路だけで構成され、図3の項目の100及び220だけに相当するであろう。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 2 6 】

図 3 は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器の代替フロント・エンド配置を示し、この配置では、外部（すなわち、最も高い大きさ）のバイポーラ電圧供給レール（図 2 の項目 2 2 0）に結合されるハーフブリッジ配置が、同じベース・トランジスタ配置（図 3 の項目 3 1 0）をまねて単純に置き換えられる。すなわち、ほとんど正 / 負のレールに、単一の駆動トランジスタよりはむしろ、ドレイン結合されたもう 1 対のトランジスタ（すなわち、1 つの駆動トランジスタと、双方向性ロード・スイッチとして配置される 1 つの追加スイッチ・トランジスタ）を使用する。この配置の利点は、外部供給電圧（図 3 の  $V_{P1} / V_{N1}$ ）が内部供給電圧（図 3 の  $V_{P2} / V_{N2}$ ）より大きい大きさを維持しなければならないという制限がなくなることである。これは、全てのトランジスタがバイポーラ・ロード・スイッチとして配置される追加のスイッチ・トランジスタによって保護されるためであり、これにより、余分な部品を犠牲にするが、それはより堅牢となる。すなわち、図 3 の実施例では、駆動トランジスタを損傷することなく、 $V_{P1}$  は  $V_{P2}$  を下回ることができる。

10

## 【 0 0 2 7 】

図 4 は、本開示の実施形態によるマルチレベル超音波送信器の全ての P M O S 配置 4 0 0 の例示的な回路概略図を示す。この実施例では、基本的にトランジスタは全て P M O S に置き換えられ、その過程で、正のレール / 負のレールは入れ替わる。これは、異なる駆動電圧の配置が必要な状況と、例えば、特に所与の種類 P 型トランジスタ・デバイスの能力（例えば、電流処理、スイッチング速度など）が問題にならない（又は、少なくとも N 型バージョンよりも悪くない）場合などに使用することができる。図 4 に示すように、N M O S の代わりに P M O S が使用される場合（又は、より一般的には、N 型デバイスの代わりに任意の P 型デバイス）、全ての電圧及びダイオードの動作が逆になる、例えば、ゲート制御電圧 4 0 2 の丸で囲んだ矢印は、図 3 の同じ箇所の矢印と比べると逆方向になる。4 0 4 で囲んだダイオードの方向も同様である。また、デバイス 2 0 6 のソースは出力  $V_{XDR}$  に接続され、更にデバイス 2 0 8 のソースは負の供給レール  $V_{N1}$  に接続される図 2 と比べて、図 4 では、これらが逆になっている（すなわち、デバイス 4 0 6 へのゲート入力、 $V_{XDR}$  ではなく  $V_{P1}$  を基準とし、デバイス 4 0 8 へのゲート入力、 $V_{N1}$  ではなく  $V_{XDR}$  を基準として、あたかも  $V_{N1}$  及び  $V_{P1}$  が入れ替わったかのようになっている）。

20

30

## 【 0 0 2 8 】

図 1 のそれぞれのトランジスタの伝導は、関連するゲート駆動電圧 2 3、2 5、3 3、3 5 によって可能に、又は無効にされ、通常、それぞれのトランジスタのソースを基準とし、それは単一出力  $V_{XDR}$  1 5、若しくはバイポーラ電圧供給レールの 1 つ、又は他の接続であってもよい。典型的な制御電子機器は、グランドを基準としてもよい、その場合、トランジスタ 2 2、2 4、3 2、3 4 を制御するために、何らかの形のレベル・シフト又はゲート分離を実装することができる。

## 【 0 0 2 9 】

図 5 は、本開示の N M O S 実施形態によるマルチレベル超音波送信器において、（図 1 の）アームごとに使用するゲート駆動回路 5 0 0 の例示的な回路概略図を開示する。P M O S の実施例は、基本的には同じであるが、分離ブロックからの + 信号及び - 信号が入れ替わっていることに留意されたい。

40

## 【 0 0 3 0 】

図 5 の回路 5 0 0 は、ゲート分離デバイス 5 0 1 a、5 0 1 b、例えば、デジタル・アイソレータやオプ्टカブラなどを使用する例示的な接続である。これにより、それぞれのアームは、同じ制御信号 5 0 2 を使用して一緒に切り替えることができる（ただし、他の実施例は個別に切り替えてもよい）。ゲート分離デバイス 5 0 1 a / b は、それぞれの分離回路のそれぞれの  $V_{Gate}$  入力への入力として使用されるフローティング電力供給  $V_{ISO(N)}$  5 0 3、フローティング電力供給  $V_{ISO(X)}$  5 0 4 を使用することができる、これは分離された D C - D C コンバータ又は他の手段によって提供することができる。

50

ゲート駆動電圧 25、35 は、同じ共通出力  $V_{XDR15}$  を基準とし、同じ分離された電力供給又はマルチチャンネル・ゲート・アイソレータを共有してもよいし、あるいは、個別の回路を使用してもよい。一方、ゲート駆動電圧 23、33 は、それぞれのバイポーラ電圧供給レールのインスタンス ( $V_P$  又は  $V_N$ ) を基準とする。

#### 【0031】

従って、図5は、図1のそれぞれのアームに対して適切な駆動回路の例を示す。それ故に、図5の回路の複数のインスタンス、例えば、関連する図1の追加インスタンスごとに2つ（アームごとに1つ）を提供することができる。

#### 【0032】

GaN FET 技術を使用して開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器トポロジは、標準的なハーフブリッジ・マルチレベル送信器の設計におけるダイオードの除去を可能にし、それにより、低損失及び全てのバイポーラ電圧供給レールに対する完全なプッシュプル能力を可能にする。開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器トポロジの実施例では、PMOSトランジスタの全てをNMOSトランジスタと置き換えて、GaN FET 技術を使用することができる。直接駆動トポロジとして、開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器トポロジは、変圧器又はフィルタを必要としないので、広範囲の周波数に亘って機能することができる。

#### 【0033】

トポロジの試験構造の実装が開発され、研究プラットフォーム及びイメージング・システム用に、極めてより高いチャンネル数にスケール・アップすることができるレイアウトに、 $25 \times 25 \text{ mm}$ の小さな面積を占めている。開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器は、広範囲の送信波形オプション（簡素なモジュール設計により、任意の数の出力電圧レベルまで）の生成と、 $100 \text{ MHz}$ までのスイッチング速度とが可能になることが実証され、また同時に高い出力電力処理能力を提供する。

#### 【0034】

診断周波数において、開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器は、高品質のHRPWM出力波形を生成することが可能であり、これは、広範囲の周波数に亘って線形振幅制御を示す一方で、高調波イメージング技術に対する設計に役立つ、よく制御された第2高調波を示す。振幅制御能力とともに、送信器の電力処理能力は、CWモダリティで動作し、HIFU治療の用途を支援することができる。HFUSの用途については、開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器は、高周波イメージング用のバイポーラ・トーンとともに、広帯域幅のチャープ波形と擬似ガウス波形の両方を生成できることが実証される。一方、正のユニポーラ・パルスと負のユニポーラ・パルスの両方は、また、グランド・レールと同時に4つの供給レールのいずれかを使用して生成することができる。

#### 【0035】

実施例は、第1プッシュプル・トランジスタ配置を備えるマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器を提供し、第1プッシュプル・トランジスタ配置は、第1及び第2駆動トランジスタと、第3及び第4追加スイッチ・トランジスタとを含み、第3及び第4追加スイッチ・トランジスタのそれぞれは、第1及び第2駆動トランジスタのうちの1つと共に、双方向性ロード・スイッチとして配置される。実施例では、第1駆動トランジスタ及び関連する第3追加スイッチ・トランジスタは、第1プッシュプル・トランジスタ配置の第1アームとして直列に動作する。また、第2駆動トランジスタ及び関連する第4追加スイッチ・トランジスタは、第1プッシュプル・トランジスタ配置の第2アームとして直列に動作し、それぞれのアームは、第1バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスと共通出力 ( $V_{XDR}$ ) の間で結合される。

#### 【0036】

いくつかの実施例では、第1バイポーラ駆動電圧供給は、正の供給電圧  $V_{P1}$  及び負の供給電圧  $V_{N1}$  を含む。いくつかの実施例では、第1バイポーラ駆動電圧供給の極性インスタンスは、それぞれのバイポーラ駆動電圧供給が正であるか負であるかが説明される。

10

20

30

40

50

すなわち、第 1 駆動トランジスタについては、第 1 バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスは、正のバイポーラ駆動電圧  $V_{P1}$  であり、第 2 駆動トランジスタについては、第 1 バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスは、負のバイポーラ駆動電圧  $V_{N1}$  である。

【 0 0 3 7 】

開示されたマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器のいくつかの実施例は、共通出力とグランドの間に結合されるシングル・エンド・トランジスタ・クランプ配置をさらに備えることができる。シングル・エンド・トランジスタ・クランプ配置は、双方向性ロード・スイッチとして配置される第 6 追加スイッチ・トランジスタと直列に第 5 駆動トランジスタを備える。いくつかの実施例では、シングル・エンド・トランジスタ・クランプ配置は、グランド・クランプであり、任意の他の手段によって共通出力をグランドにクランプするのと同じ効果を実現するための代替回路を有することができる。

10

【 0 0 3 8 】

いくつかの実施例は、第 7 及び第 8 駆動トランジスタを含む第 2 プッシュプル・トランジスタ配置を備えることができ、それぞれは、(更なる)第 2 バイポーラ駆動電圧供給のそれぞれの極性インスタンスの間に結合される。第 2 バイポーラ駆動電圧供給は、第 1 バイポーラ駆動電圧供給とは異なる。いくつかの実施例では、第 2 バイポーラ駆動電圧供給は、第 1 バイポーラ駆動電圧供給より大きい大きさである。

【 0 0 3 9 】

いくつかの実施例(第 2 プッシュプル配置の有無にかかわらず)は、1 つまたは複数の更なるプッシュプル・トランジスタ配置を備えることができる。それぞれは、第 1 プッシュプル・トランジスタ配置の更なるインスタンスを備える、それぞれの更なるプッシュプル・トランジスタ配置は、更なるバイポーラ駆動電圧供給に亘って動作する。

20

【 0 0 4 0 】

いくつかの実施例は、更なるプッシュプル・トランジスタ配置の 1 つまたは複数の更なるアーム(例えば、図 1 の上部アーム又は底部アームのみ)をさらに備える。それぞれのアームは、双方向性ロード・スイッチを動作させる追加スイッチ・トランジスタと直列に結合される駆動トランジスタの更なるインスタンスを含み、ここで、それぞれの更なるアームは、更なるバイポーラ駆動電圧供給の更なる極性インスタンスと共通出力との間に結合される。

30

【 0 0 4 1 】

実施例によれば、それぞれのアームは、任意の数の電圧レベルを使用できる超音波送信器が提供され得るように、追加の動作電圧レベルをマルチレベル・スイッチ・モード超音波送信器に提供する。レベルの最小数は、グランド電圧レベルを含み得る 3 であってもよい。より典型的な配置では、5 つのレベルを使用してもよい。

【 0 0 4 2 】

実施例によれば、それぞれの更なるバイポーラ駆動電圧供給は、使用されるバイポーラ電圧供給(それぞれの更なるバイポーラ駆動電圧供給は、正の供給電圧  $V_{Pi}$  及び負の供給電圧  $V_{Ni}$  を含む)の間の全体的な関係が次の事項:  $V_{P1} > [V_{P2}, \dots, V_{Pi}] > GND$  及び  $V_{N1} < [V_{N2}, \dots, V_{Ni}] < GND$  を満たすように、前の電圧供給より低い大きさを有する。

40

【 0 0 4 3 】

いくつかの実施例では、双方向性ロード・スイッチは、それぞれの駆動トランジスタのダイオード機能に対して逆極性に配置される。また、「ダイオード機能」は、「(固有)ボディ・ダイオード」、「寄生ダイオード」、又はさらに、「いくつかのトランジスタ・タイプに見られる挙動をするようなダイオード」(例えば、GaN)と呼称してもよい。実施例では、双方向性ロード・スイッチは、それぞれの駆動トランジスタのダイオード機能に対して逆極性に配置され、これはまた、2 つのトランジスタが非直列であるので、基準としてもよい。

【 0 0 4 4 】

50

実施例では、駆動トランジスタのいずれかのゲートを制御する電圧は、それぞれのバイポーラ駆動電圧供給又は共通出力のそれぞれの極性インスタンスに相対する。それぞれのという用語は、ここで（及び他のあらゆる場所でも）使用されて、回路のその特定の部分に関係する問題になっている項目のインスタンス（すなわち、それぞれのという用語の一般的な英語の用法）を意味する。

【0045】

いくつかの実施例では、追加のスイッチ・トランジスタのいずれかのゲートを制御する電圧は、それぞれのバイポーラ駆動電圧供給又は共通出力に相対する。

【0046】

いくつかの実施例では、全てのトランジスタは、Nチャネル・デバイス（NPN（又はNチャネルFET））である。 10

【0047】

いくつかの実施例では、全てのトランジスタは、Pチャネル・デバイス（PNP（又はPチャネルFET））である。

【0048】

いくつかの実施例では、全てのトランジスタは、高移動度デバイスである。

【0049】

いくつかの実施例では、全ての高移動度デバイスは、GaNデバイスを備える。

【0050】

いくつかの実施例では、全てのトランジスタは同一であり、すなわち、回路は同じベース・トランジスタ・デバイスの複数のインスタンスから構成される。 20

【0051】

いくつかの実施例では、制御回路は、RTZ機能を動作させて、それぞれの超音波トランスデューサを駆動する。

【0052】

実施例は、また、先の実施例のいずれかによる送信器と、送信器に結合される少なくとも1つの超音波トランスデューサとを備える超音波デバイスを提供する。

【0053】

実施例では、また、高出力操作及び高周波操作の両方を提供する、統一された超音波構造が提供され、それ故に、超音波機能を操作するための単一の簡素化された回路が提供される。本開示による例示的な超音波送信器は、本明細書に記載されるアームごとに同じ基本構造の複数のインスタンスを使用することによって、任意の数の電圧レベルを提供するように実装することができる。 30

【0054】

例えば、図3に示すような5レベルのマルチレベル送信器回路に適用可能な、前の実施例で説明したのと同じ構造的特徴の代替的な言葉の説明が続く。なお、以下では、「第1」、「第2」などの用語の使用は、任意であり、必ずしも前のそれらの使用と調整されていないことに留意されたい。

【0055】

また、実施例では、送信器駆動回路が提供される。送信器駆動回路は、ハーフブリッジ・トポロジに配置される第1及び第2NMOSデバイスを含む第1ステージと、第3、第4、第5、及び第6NMOSデバイスを含む第2ステージと、グランド・クランプ・トポロジに配置される2つのNMOSデバイスを含む第3ステージとを備える。第1ステージは、第1バイポーラ電圧源によって駆動され、第1NMOSデバイスのゲートは、駆動回路の出力ノードを基準とし、第2NMOSデバイスのゲートは、固定電圧供給を基準とする。第3及び第6NMOSデバイスのそれぞれのゲートは、固定電圧供給を基準とし、第4及び第5NMOSデバイスのそれぞれのゲートは、駆動回路の出力ノードを基準とする。第2ステージは、第2バイポーラ電圧源によって駆動され、第2バイポーラ電圧源の電圧は、第1バイポーラ電圧源の電圧よりも低い大きさを有する。 40

【0056】

また、実施例では、送信器駆動回路が提供される。送信器駆動回路は、出力ノード（ $V_{XDR}$ ）、バイポーラ外部電圧レール、少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レール、グランド・レール、外部ステージ、少なくとも1つの中間ステージ、及びグランド・クランプ・ステージを備える。バイポーラ中間電圧レールの電圧範囲は、バイポーラ外部電圧レールの電圧範囲よりも小さい大きさである。外部ステージは、バイポーラ外部電圧レールの正のレールと出力ノードの間に結合される第1NMOSデバイスと、バイポーラ外部電圧レールの負のレールと出力ノードの間に結合される第2NMOSデバイスとを含み、第1NMOSデバイスのゲートは、出力ノードを基準とし、第2NMOSデバイスのゲートは、バイポーラ外部電圧レールの負のレールを基準とする。それぞれの中間ステージは、少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レールの正のレールと出力ノードの間に直列に結合される第3NMOSデバイス及び第4NMOSデバイスを含み、第3NMOSデバイスのドレイン及び第4NMOSデバイスのドレインは一緒に結合され、第5NMOSデバイス及び第6NMOSデバイスは、出力ノードと少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レールの負のレールの間に直列に結合され、第5NMOSデバイスのドレイン及び第6NMOSデバイスのドレインは一緒に結合され、第4及び第5NMOSデバイスのそれぞれのゲートは、出力ノードを基準とし、第3NMOSデバイスのゲートは、少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レールの正のレールを基準とし、第6NMOSデバイスのゲートは、少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レールの負のレールを基準とする。グランド・クランプ・ステージは、出力ノードと少なくとも1つのバイポーラ中間電圧レールの負のレールの間に直列に結合される第7NMOSデバイス及び第8NMOSデバイスを含み、第7NMOSデバイスのドレイン及び第8NMOSデバイスのドレインは、一緒に結合され、第7NMOSデバイスのゲートは、出力ノードを基準とし、第8NMOSデバイスのゲートは、グランド・レールを基準とする。

#### 【0057】

本開示の実施例は、HRPWM技法に加えて（又は潜在的にHRPWM技法の代わりにさえ）使用され得る超音波送信器設計に構造的な改善点を提供し、また送信器設計の対称性を改善する方法によってこれらの改善点を提供し、その結果、得られた送信器は、使用される1つまたは複数のバイポーラ電圧供給の正のアームと負のアームの両方で実質的に等しく動作する。したがって、開示された送信器回路設計の実施例では、所望する理想波形により忠実な出力が提供される。これは、開示された例示的な送信器回路設計が、同じトランジスタ・タイプ（例えば、Nタイプ対Pタイプ）の複数インスタンスを再利用することができ、したがって、全体的な設計を簡素化し、使用される任意の、かつ所与のトランジスタ製造プロセス（例えば、より良好な伝導、電荷キャリア移動度、スイッチング速度など）に対して、一方の設計タイプ（例えば、Nタイプ）における他方の設計タイプ（例えば、Pタイプ）に対する任意の改善点を活用し、全体的な設計の前述の対称的な性能を提供するためである。

#### 【0058】

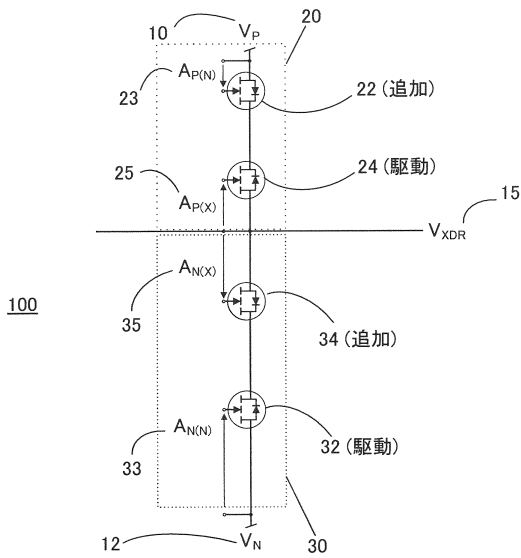
本明細書（任意の添付の特許請求の範囲、要約、及び図面を含む）に開示される全ての特徴は、いくつかの特徴が相互に排他的である組み合わせを除き、任意の組み合わせで組み合わせることができる。任意の添付の特許請求の範囲、要約、及び図面を含む本明細書に開示されるそれぞれの特徴は、明示的に別段の記載がない限り、同一、同等、又は類似の目的を果たす代替的な特徴で置き換えることができる。したがって、明示的に別段の記載がない限り、1つの実施例で開示されるそれぞれの特徴は、本明細書で提供される他の任意の実施例と共に使用することができる。

#### 【0059】

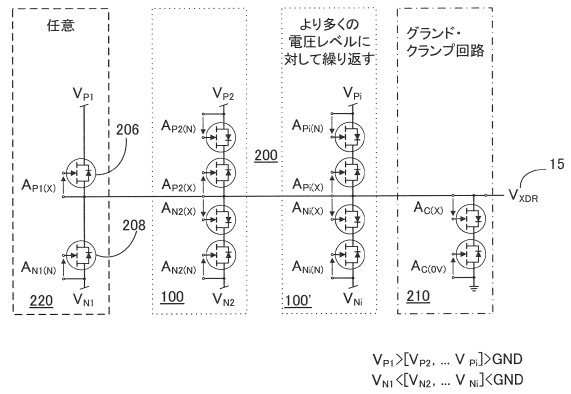
本教示は、前述の実施例のいずれの特定の詳細に限定されない。本明細書（任意の添付の特許請求の範囲、要約、及び図面を含む）に開示される特徴の任意の新たな組み合わせが想定される。特許請求の範囲は、単に前述の実施例を包含するように解釈されるべきではなく、特許請求の範囲に含まれる任意の変形例をも包含するように解釈されるべきである。

【 図 面 】

【 図 1 】



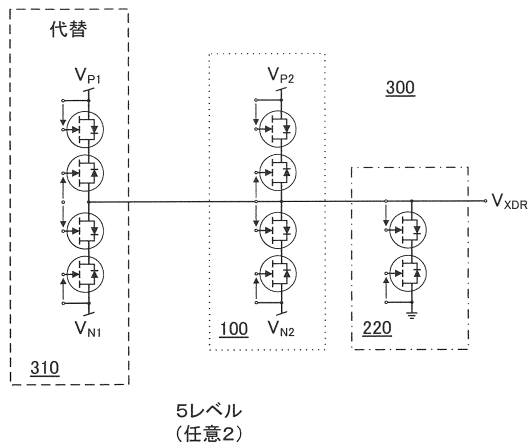
【 図 2 】



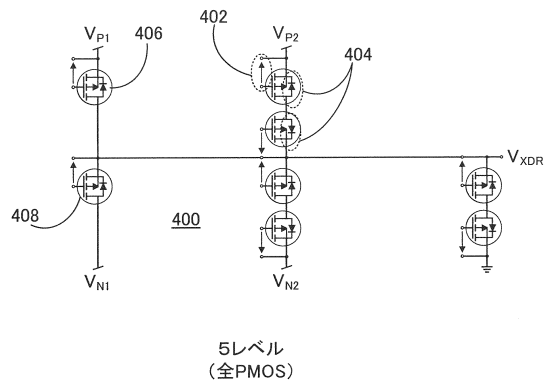
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】



30

40

50

【 図 5 】

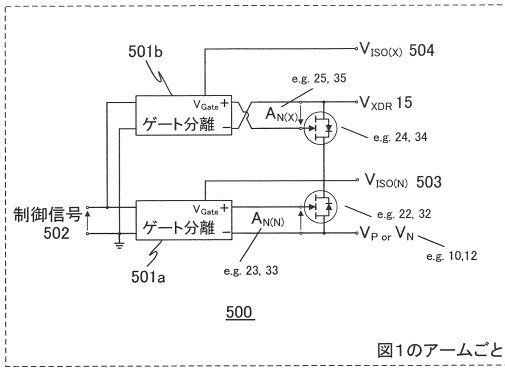


図1のアームごと

10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/GB2021/053227

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
INV. H03K17/10 H03F3/217 B06B1/02 H02M7/538 H02M7/483		
ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H03K H03F B06B H02M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 8 143 924 B2 (HANAZAWA SATOSHI [JP]; SHINOMIYA TOSHIO [JP] ET AL.) 27 March 2012 (2012-03-27) figure 2	1-12
X	US 2013/187697 A1 (CHOY BEN [US] ET AL.) 25 July 2013 (2013-07-25) figures 2, 3	1-5, 7-12
X	WO 2017/070389 A1 (CHIRP MICROSYSTEMS INC [US]) 27 April 2017 (2017-04-27) figure 6	1, 7-12
A	US 9 323 270 B1 (ROSSI SANDRO [IT] ET AL.) 26 April 2016 (2016-04-26) figure 4	7
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
14 February 2022	24/02/2022	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040. Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Loiseau, Ludovic	

2

10

20

30

40

50



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/GB2021/053227

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/238532 A1 (HANAZAWA SATOSHI [JP] ET AL) 2 October 2008 (2008-10-02) figure 1 -----	7
A	PENG HAN ET AL: "GaN-Based High-Frequency High-Energy Delivery Transformer Push-Pull Inverter for Ultrasound Pulsing Application", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 33, no. 8, 1 August 2018 (2018-08-01), pages 6794-6806, XP011682521, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2017.2754343 [retrieved on 2018-04-26] the whole document -----	9,10

10

20

30

40

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

**PCT/GB2021/053227**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
<b>US 8143924</b>	<b>B2</b>	<b>27-03-2012</b>	<b>JP 5337523 B2</b>	<b>06-11-2013</b>
			<b>JP 2010193329 A</b>	<b>02-09-2010</b>
			<b>KR 20100095366 A</b>	<b>30-08-2010</b>
			<b>US 2010214006 A1</b>	<b>26-08-2010</b>
-----				
<b>US 2013187697</b>	<b>A1</b>	<b>25-07-2013</b>	<b>NONE</b>	
-----				
<b>WO 2017070389</b>	<b>A1</b>	<b>27-04-2017</b>	<b>EP 3365115 A1</b>	<b>29-08-2018</b>
			<b>US 2018248477 A1</b>	<b>30-08-2018</b>
			<b>WO 2017070389 A1</b>	<b>27-04-2017</b>
-----				
<b>US 9323270</b>	<b>B1</b>	<b>26-04-2016</b>	<b>CN 105615924 A</b>	<b>01-06-2016</b>
			<b>CN 205195678 U</b>	<b>27-04-2016</b>
			<b>EP 3025792 A1</b>	<b>01-06-2016</b>
			<b>US 9323270 B1</b>	<b>26-04-2016</b>
			<b>US 2016204778 A1</b>	<b>14-07-2016</b>
-----				
<b>US 2008238532</b>	<b>A1</b>	<b>02-10-2008</b>	<b>JP 4946572 B2</b>	<b>06-06-2012</b>
			<b>JP 2008252436 A</b>	<b>16-10-2008</b>
			<b>US 2008238532 A1</b>	<b>02-10-2008</b>
			<b>US 2010137720 A1</b>	<b>03-06-2010</b>
-----				

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N  
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,  
CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,K  
E,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,N  
G,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,  
TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100066980

弁理士 森 哲也

(72)発明者 フリーアー, スティーブン

イギリス, エルエス2 9 ジェイティー ヨークシャー, リーズ, ユニバーシティ オブ リーズ,  
エレクトロニック アンド エレクトリカル エンジニアリング, エフイーピーエス

(72)発明者 カウエル, デイヴィッド マシュー ジョセフ

イギリス, エルエス2 9 ジェイティー ヨークシャー, リーズ, ユニバーシティ オブ リーズ,  
エレクトロニック アンド エレクトリカル エンジニアリング, エフイーピーエス

(72)発明者 カーペンター, トマス マイケル

イギリス, エルエス2 9 ジェイティー ヨークシャー, リーズ, ユニバーシティ オブ リーズ,  
エレクトロニック アンド エレクトリカル エンジニアリング, エフイーピーエス

F ターム (参考) 5J055 AX07 BX16 CX03 CX24 DX59 DX72 DX83 EY12 EY17 EY21

EZ63 GX01 GX02