

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4732021号
(P4732021)

(45) 発行日 平成23年7月27日 (2011. 7. 27)

(24) 登録日 平成23年4月28日 (2011. 4. 28)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 3 4 O
H 0 3 F 3/181 (2006.01)	H 0 3 F 3/181 A
H 0 3 F 3/68 (2006.01)	H 0 3 F 3/68 Z

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2005-173542 (P2005-173542)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成17年6月14日 (2005. 6. 14)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2006-645 (P2006-645A)		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成18年1月5日 (2006. 1. 5)		MPANY
審査請求日	平成20年6月12日 (2008. 6. 12)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	10/867, 598		クタデイ、リバーロード、1 番
(32) 優先日	平成16年6月15日 (2004. 6. 15)	(74) 代理人	100137545
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 荒川 聡志
		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100106541
			弁理士 伊藤 信和
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高忠実度で高出力の切り替え式増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

傾斜コイル (1 8) に電流を提供するための傾斜増幅器出力段 (1 0) であって、
 第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) と、
 前記第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) と並列に結合されると共に、第 1 の電圧にある電圧サ
 プライを前記第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) に提供するように構成された第 1 の D C 電圧
 源 (2 0) と、
 前記第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) と直列に結合された第 2 のブリッジ増幅器 (1 4) と
 、
 前記第 2 のブリッジ増幅器 (1 4) と並列に結合されると共に、第 2 の電圧にある電圧サ
 プライを前記第 2 のブリッジ増幅器 (1 4) に提供するように構成された第 2 の直流電圧
 源 (2 2) と、
 前記第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) 及び前記第 2 のブリッジ増幅器 (1 4) の両者と直列
 に結合された第 3 のブリッジ増幅器 (1 6) と、
 前記第 3 のブリッジ増幅器 (1 6) と並列に結合されると共に、第 3 の電圧にある電圧サ
 プライを前記第 3 のブリッジ増幅器 (1 6) に提供するように構成された第 3 の直流電圧
 源 (2 4) と、
 を備え、
 前記第 1 のブリッジ増幅器 (1 2) 及び前記第 3 のブリッジ増幅器 (1 6) は前記傾斜コ
 イル (1 8) に誘導性の電圧降下を提供し、前記第 2 のブリッジ増幅器 (1 4) は前記傾

10

20

斜コイル（１８）に抵抗性の電圧降下を提供する傾斜増幅器出力段（１０）。

【請求項２】

前記第２の直流電圧源（２２）の前記第２の電圧は前記第１の直流電圧源（２０）の前記第１の電圧より小さい、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項３】

前記第１の直流電圧と前記第３の直流電圧は実質的に等しい、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項４】

前記第１の直流電圧は８００ボルトである、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項５】

前記第２の直流電圧は４００ボルトである、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項６】

前記第１のブリッジ増幅器（１２）は第１の周波数で切り替わり、前記第２のブリッジ増幅器（１４）は第２の周波数で切り替わり、かつ前記第３のブリッジ増幅器（１６）は第３の周波数で切り替わる、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項７】

前記第１の周波数は前記第２の周波数と異なっている、請求項６に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項８】

前記第１の周波数は３１．２５ｋＨｚである、請求項６に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項９】

前記第２の周波数は６２．５ｋＨｚである、請求項６に記載の傾斜増幅器出力段。

【請求項１０】

前記傾斜コイル（１８）は、前記第１のブリッジ増幅器（１２）、前記第２のブリッジ増幅器（１４）及び前記第３のブリッジ増幅器（１６）と直列に結合されている、請求項１に記載の傾斜増幅器出力段。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、全般的には磁気共鳴イメージングシステム（ＭＲＩ）に関し、より具体的にはＭＲＩシステムでの使用に適応させた増幅器の切り替えに関する。

【背景技術】

【０００２】

従来のＭＲＩデバイスは、概してＭＲＩ手技を受ける対象の中心軸に沿った均一な磁場を確立させている。この均一磁場は、核スピン（例えば医学用途では、身体組織を形成する原子や分子内の核スピン）をこの磁場の方向に沿って整列させることによって撮像対象の磁気回転物質に影響を与える。この核スピンの向きが乱されて磁場との整列から外れると、これらの原子核はそのスピンを磁場と再整列させようとする。核スピンの向きの乱れは、典型的には、関心対象物質のラーモア周波数に同調させた無線周波数（ＲＦ）パルスの印加によって引き起こされる。再整列過程の間に、原子核はその軸の周りで歳差運動して電磁的信号を放出し、これを対象上または対象の周りに配置させた１つまたは複数のＲＦ検出器コイルによって検出することができる。

【０００３】

歳差運動する所与の原子核によって放出される磁気共鳴（ＭＲ）信号の周波数は、その原子核の位置における磁場の強度に依存する。主磁場の上に傾斜磁場を付与するように傾斜コイルによって生じさせるエンコード（典型的には、位相及び周波数エンコード）を用いることによって、対象内部の様々な位置から発せられる信号を識別することが可能である。典型的なＭＲＩシステムは、Ｘ、Ｙ及びＺ軸に沿ってそれぞれの磁場を提供するため

10

20

30

40

50

に3つの傾斜コイルを備えている。傾斜コイルの制御によって、対象内部の位置のエンコードのための軸の向き調整、並びに撮像のための所望の「スライス」の選択が可能となる。

【0004】

傾斜コイルは、画像スライスの位置特定を可能にすると共に、位相エンコード及び周波数エンコードを提供するために主磁場の上に重ね合わせられる追加的な磁場を発生させる。このエンコードによって後続の画像再構成の際に共鳴信号の起点の特定が可能となる。画質及び分解能は与える磁場を如何に制御できるかに大きく依存する。より速い撮像速度を達成するには、その傾斜磁場は数kHzの周波数で変更されるのが普通である。傾斜コイルの制御は一般に、パルスシーケンス記述と呼ぶ事前に確定されたプロトコルまたはシーケンスに従って実行されており、これによって、医学の分野では多くの種類の組織を撮像しかつ別の組織から識別することが可能となり、あるいは別の応用分野では関心対象の様々な特徴の撮像が可能となる。

10

【0005】

典型的には、傾斜コイルは、数百アンペアの電流及び数千ボルトの電圧レンジで動作する。したがって、傾斜コイルは、必要な電流及び電圧レベルをコイルに供給するための傾斜増幅器を必要とする。傾斜増幅器は典型的には出力増幅器(power amplifier)である。高品質の画像を提供する高性能のMRIシステムに関するコイル電流の任意の電流レベルについて必要な信号精度は1ミリアンペア未満となることがあるため、増幅器設計は非常に複雑となることがある。

20

【0006】

傾斜増幅器のこれまでの実現形態では、高い忠実度を提供する線形増幅器(linear amplifier)を必要とした。しかし、現在の出力レベルでは、電圧及び電流がより大きいためこれらの増幅器を使用することは実用的でなくなる。現今の技法は、線形増幅器を切り替え式出力段と組み合わせた混成システムを使用している。こうしたシステムは、並列としたブリッジ、あるいはシステム要件を満たすように積み重ねたブリッジを使用しており、典型的には出力半導体デバイスが利用される。線形増幅器はバンド幅及び制御を提供しており、一方切り替え式出力段は迅速な遷移のための電圧の上昇を提供している。

【特許文献1】米国特許第6166602号

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

より大きな出力レベルを提供する能力などこうしたシステムには本質的な利点が存在するが、これらの混成設計の性能は線形増幅器の機能によって制限される。主磁場内に妥当な傾斜を誘導することが可能なより良好な機能の傾斜コイルがあれば、対費用効果の増加、動的パフォーマンスの改善、検査時間の短縮、空間分解能の改善、時間分解能の改善、並びに得られる画像の品質の大幅な改善など、数多くの利点を得ることが可能となる。

【0008】

目下のMRI傾斜増幅器技法は限界があるため、新規の回路トポロジー及び制御機構を介して大きな出力を提供しかつ高い忠実度を与える新たな出力段アーキテクチャに対する必要性が存在する。

40

【課題を解決するための手段】

【0009】

簡単に述べるの、本技法の一態様では、傾斜増幅器出力段によって傾斜コイルに電流を提供する。この出力段は、第1の電圧で動作している第1のブリッジ増幅器、第2の電圧で動作している第2のブリッジ増幅器、第3の電圧で動作している第3のブリッジ増幅器、及び傾斜コイルの直列結合を含んでいる。

【0010】

本技法の別の態様では、傾斜増幅器は、第1の電圧で動作している第1のブリッジ増幅

50

器、第2の電圧で動作している第2のブリッジ増幅器、第3の電圧で動作している第3のブリッジ増幅器、及び傾斜コイルの直列結合を含む傾斜増幅器出力段と、第1の実施形態の傾斜増幅器出力段と、を備えている。

【0011】

本技法の別の態様では、傾斜増幅器は、第1の電圧で動作している第1のブリッジ増幅器、第2の電圧で動作している第2のブリッジ増幅器、第3の電圧で動作している第3のブリッジ増幅器、及び傾斜コイルの直列結合を含む傾斜増幅器出力段と、第2の実施形態の傾斜増幅器出力段と、を備えている。

【0012】

本技法のさらに別の態様では、傾斜コイルに電流を供給するための方法を提供する。本方法は、第1の電圧にある電圧サプライを第1のブリッジ増幅器に提供する工程と、第2の電圧にある電圧サプライを第2のブリッジ増幅器に提供する工程と、第3の電圧にある電圧サプライを第3のブリッジ増幅器に提供する工程と、これら第1、第2及び第3のブリッジ増幅器を傾斜コイルと直列に結合する工程と、3つのブリッジ増幅器のそれぞれによって傾斜増幅器の両端に加えられる出力を変調するためのパルス幅変調スキームを適用する工程と、を含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

本発明に関するこれらの特徴、態様及び利点、並びにその他の特徴、態様及び利点については、同じ参照符号が図面全体を通じて同じ部分を表している添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読むことによってより理解が深まるであろう。

【0014】

ここで図面に移り先ず図1を参照すると、第1のブリッジ増幅器12、第2のブリッジ増幅器14、第3のブリッジ増幅器16、傾斜コイル18、第1の直流(DC)電圧源20、第2のDC電圧源22、及び第3のDC電圧源24を備えるような傾斜増幅器出力段10の一実施形態を模式的に表している。構成要素のそれぞれについては、以下でさらに詳細に記載する。

【0015】

図1に表した実施形態では、第1のDC電圧源20は、第1のブリッジ増幅器12の両端に結合されており、第2のDC電圧源22は第2のブリッジ増幅器14の両端に結合されており、また第3のDC電圧源24は第3のブリッジ増幅器16の両端に結合されている。さらに、第1のブリッジ増幅器12、第2のブリッジ増幅器14及び第3のブリッジ増幅器16は、一緒に傾斜コイル18と直列に結合されている。第1のブリッジ増幅器12はさらにトランジスタ・モジュール26、28、30及び32を備えている。トランジスタ・モジュール26及び28は、絶縁ゲート型バイポーラ接合トランジスタ(IGBT)や酸化金属半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)などの適当な任意のタイプの半導体切り替えデバイスとすることがあり、ブリッジ増幅器12の第1の脚を形成するように直列に接続されている。同様に、トランジスタ・モジュール30及び32は、ブリッジ増幅器12の第2の脚を形成するように直列に接続されている。第1及び第2の脚は並列に接続されている。これらの接続の性質のために、これらの脚のうちのいずれか1つを入力と考えることができ、またもう一方の脚を出力とすることができる。同様の製作方法によって、トランジスタ・モジュール34、36、38及び40によって第2のブリッジ増幅器14が構成されており、かつトランジスタ・モジュール42、44、46及び48によって第3のブリッジ増幅器16が構成されている。

【0016】

典型的な用途の1つでは、図示した傾斜増幅器は磁気共鳴イメージング(MRI)システムなどの様々なシステムで使用されることがある。MRIシステムは3つの傾斜コイルから構成されるのが普通である。したがって、各傾斜コイルは、本明細書に記載したタイプの対応する傾斜増幅器によって駆動している。傾斜コイルは、迅速な撮像のために数千ヘルツまでの周波数で傾斜磁場を生成することによってMRIシステムの主磁場を変更

10

20

30

40

50

するために使用される。傾斜コイルのインダクタンスの典型的なレベルは、数百マイクロヘンリーから数ミリヘンリーまでの範囲となることがあり得る。傾斜コイルの典型的な電圧及び電流レベルは、概ね数千ボルト及び数百アンペアとすることがあり得る。以下に記載する実施形態はMRIシステムの用途に関するものとするが、本技法の使用範囲には、非常に高い忠実度の高電圧かつ高電流が必要とされる別の領域が含まれることに留意すべきである。

【0017】

図1について続けると、ブリッジ増幅器12、14、16は同じトポロジをなしている。そのブリッジ増幅器の両端に加えられる電圧に応じて、ブリッジ増幅器のトランジスタ・モジュールは様々なタイプとすることができる。例えば、印加電圧が約800ボルトのとき、そのトランジスタ・モジュール26は電圧定格がより高いが速度は比較的低速であることがあり得る。印加電圧が約400ボルトのとき、そのトランジスタは電圧定格がより低いが速度は比較的高速であることがあり得る。一般に市販されているトランジスタの電流定格は、ブリッジ増幅器を並列接続とすることを要しない設計を可能にする。3つのブリッジ増幅器12、14、16の交互動作(interleaved operation)によって、低振幅のリップルを有する電流が提供される。一実施形態では、第1のブリッジ増幅器及び第3のブリッジ増幅器は約31.25kHzの周波数で切り替わっており、一方第2のブリッジ増幅器は約62.5kHzの周波数で切り替わることができる。より詳細には以下で検討するが、さらに本実施形態では、増幅器12及び16によってより高い電圧出力(例えば、800ボルト)が提供され、一方増幅器14によってより低い電圧出力(例えば、400ボルト)が提供される。ブリッジ増幅器12、14、16を適当に切り替えることによって、全体的な性能を改善させた様々な中間的な合成電圧が達成される。傾斜コイルに伝えられる総電力は、典型的には、有効電力及び無効電力成分からなる。これらの成分を適正な方式で制御することによって、傾斜コイル18に伝えられる電力の安定性を保証することができる。制御によって、傾斜コイルに供給される無効電力成分のいずれの一部分もこれらのブリッジ増幅器間に流れないことを保証している。以下の段落では、本技法の態様に従った傾斜増幅器制御段の例示的な実施形態を例示しつつ詳細に説明している。

【0018】

図2は、傾斜増幅器出力段10(図1に示す)を備えた例示的な傾斜増幅器と、傾斜増幅器制御段50の一実施形態と、を表している。傾斜増幅器制御段50は、傾斜コイル18の両端のインダクタンス電圧降下に基づくフィードフォワード機構52と、傾斜コイル18の抵抗性の電圧降下に基づく第2のフィードフォワード機構54と、傾斜コイル18からのフィードバック電流58の基準電流60からの偏差に基いてフィードバックを提供する比例積分形(PI)制御機構56と、を含んでいる。傾斜コイル18からのフィードバック電流58は電流センサによって得られる。基準電流60とフィードバック電流58の間の差のことを誤差電流62と呼ぶ。傾斜増幅器制御段50は、上述したような方式で接続されたブリッジ12、14及び16の各々において様々なトランジスタ・モジュールに対する切り替えを変更するための制御信号をブリッジ増幅器12、14、16に提供する。第1のブリッジ増幅器12及び第3のブリッジ増幅器14は、傾斜コイル18に伝えられる無効電力を処理しており、一方第2のブリッジ増幅器は傾斜コイル18に伝えられる有効電力を処理している。上で言及した実施形態を使用する動作の利点の1つは、いかなる種類の傾斜コイル電流に関してもDC電圧源20、22及び24の過電圧を生じないことである。第1及び第3のブリッジ増幅器12、16によって傾斜コイル18に伝えられるエネルギーが第2のブリッジ増幅器14のDC電圧サプライ22に戻されるとすると、第2のブリッジ増幅器14に過電圧を生じる可能性がある。理想的な動作に対するわずかな偏差によって、第2のブリッジ増幅器DC電圧サプライに対してエネルギーの一部分のみしか戻されないことがあり得る。戻されるエネルギーのこの一部分はブリッジ損失によって容易に消費される可能性がある。

【0019】

10

20

30

40

50

図 3 は、第 1 の D C 電圧源、第 2 の D C 電圧源及び第 3 の D C 電圧源のそれぞれが 8 0 0 ボルト、4 0 0 ボルト及び 8 0 0 ボルトを供給している場合における、傾斜増幅器 2 8 の実施形態（図 1 に示しかつ上述した）に関する典型的な電流及び電圧波形を表している。プロット 6 4 は、傾斜コイル 1 8 を駆動させる正弦波電流をある時間期間にわたって表したものである。プロット 6 6 は、傾斜コイル 1 8 内の正弦波電流 4 2 に比例する傾斜コイルの両端の電圧降下を表したものである。傾斜コイルの両端の電圧は、個々のブリッジ増幅器 1 2、1 4 及び 1 6 によって与えられる電圧の和である。このケースでは、傾斜コイルの両端の電圧は、パルス幅変調（P W M）スキームを提供する方法に基づいて - 2 0 0 0 ボルトから + 2 0 0 0 ボルトの範囲で変更することが可能である。プロット 6 8 は、基準電流と実際のコイル電流の間の差にあたる誤差電流を表したものである。これまでの段落で検討した理由によりこの誤差電流は小さい。

10

【 0 0 2 0 】

図 4 は、第 1 のブリッジ増幅器 1 2、第 2 のブリッジ増幅器 1 4 及び第 3 のブリッジ増幅器 1 6 のそれぞれが 8 0 0 ボルト、4 0 0 ボルト及び 8 0 0 ボルトの例示的な電圧で動作している場合における、図 2 に示すような傾斜増幅器の一実施形態に対する P W M スキームをあるシミュレーション時間にわたって表したものである。プロット 7 0 及び 7 2 は、P W M 制御スキームを実行するための P W M 搬送波波形を表したものである。プロット 7 4 は第 2 のブリッジ増幅器 1 4 の 1 つの脚の両端の電圧を表したものである。プロット 7 6 は第 2 のブリッジ増幅器 1 4 の第 2 の脚の両端の電圧を表したものである。プロット 7 8 は、第 2 のブリッジ増幅器の出力電圧を表したものである。プロット 8 0、8 2 は傾斜増幅器制御段 3 0 からの P W M 搬送波を表したものである。プロット 8 4 は第 1 のブリッジ増幅器 1 2 の出力電圧を表したものである。プロット 8 6 は第 3 のブリッジ増幅器 1 6 の出力電圧を表したものである。プロット 8 8 はプロット 8 4 及び 8 6 で示した第 1 のブリッジ増幅器 1 2 と第 3 のブリッジ増幅器 1 6 の出力電圧の和を表したものである。プロット 9 0 は、これら 3 つのブリッジ増幅器 1 2、1 4、1 6 の電圧（プロット 7 8 及び 8 8 で示す）の和にあたる傾斜コイル 1 8 の両端の総電圧を表したものである。

20

【 0 0 2 1 】

これらの増幅器のそれぞれの出力の相互作用によって出力電圧及び電流の組み合わせが得られるように、増幅器のそれぞれごとに異なっているが相互に関連のある P W M 制御スキームが実現されることがあることは、当業者であれば理解されよう。さらに、異なる電圧及び異なる切り替え周波数を適用することによって、これまでに知られている傾斜増幅器と比較してノイズの実質的な低減を得ることができる。

30

【 0 0 2 2 】

図 5 は、傾斜増幅器出力段 1 0（図 1 に示す）を備えた例示的な傾斜増幅器 9 2 と、傾斜増幅器制御段 9 4 の第 2 の実施形態と、を表している。傾斜増幅器制御段 9 4 は、傾斜コイル 1 8 の両端のインダクタンス電圧降下に基づくフィードフォワード機構 9 6 と、傾斜コイル 1 8 の抵抗性の電圧降下に基づくフィードフォワード制御機構 9 8 と、傾斜コイル 1 8 からのフィードバック電流 1 0 4 の基準電流 1 0 6 からの偏差に基いてフィードバックを提供する比例積分形（P I）制御機構 1 0 0 と、を含んでいる。傾斜コイル 1 8 からのフィードバック電流 5 8 は電流センサによって得られる。P I 制御機構 1 0 0 は誤差電流 1 0 8 を漸進的に低下させるように駆動し過渡応答を改善させるのに役立つ。傾斜増幅器制御段 9 4 はさらに、最小の切り替え損失を達成するようなパルス幅変調を実行するために、次の段落でさらに詳細に検討することにする制御ロジック機構を組み込んだ制御ロジック・モジュール 1 0 2 を含んでいる。

40

【 0 0 2 3 】

図 6 は、図 5 に示すような傾斜増幅器 9 2 の一実施形態の傾斜増幅器制御段 9 4 内の制御ロジック・モジュール 1 0 2 において使用される例示的な制御ロジック機構 1 1 0 を表している。傾斜増幅器 9 2 は、本実施形態の 1 つでは、第 1、第 2 及び第 3 のブリッジ増幅器 1 2、1 4 及び 1 6 のそれぞれを 8 0 0 ボルト、4 0 0 ボルト及び 8 0 0 ボルトの例示的な電圧で動作するように適合させたときに、傾斜コイル 1 8 に - 2 0 0 0 ボルトから +

50

2000ボルトまでの電圧を提供することが可能である。横列112は傾斜増幅器によって傾斜コイル18に供給できる-2000ボルトと+2000ボルトの間の指定の電圧サプレンジを表しており、また縦列120はこのデバイスの様々なブリッジ増幅器を表している。横列114は第1のブリッジ増幅器12によって傾斜コイル18に付与される電圧を表している。横列116は第2のブリッジ増幅器14によって傾斜コイル18に付与される電圧を表している。横列118は第3のブリッジ増幅器16によって傾斜コイルに付与される電圧を表している。縦列122から140までは、この例示的なケースでは-2000ボルトから+2000ボルトまでで異なる様々な電圧サプレンジに関する3つのブリッジ増幅器12、14及び16の出力に対応している。図6において、「D」及び「1-D」はPWMの比を意味（これらが示されている場合）している。この例示的なケースでは第1及び第3のブリッジ増幅器12、16が同時にパルス幅変調を受けることはないが、本技法の別の実施形態では、これらのブリッジと一緒にパルス幅変調を受けることも十分に可能であることは指摘に値しよう。

10

【0024】

本実施形態の1つでは、そのブリッジ増幅器に対する入力電圧が、出力をその供給源まで戻すことができない標準の電源によって提供されているため、各電源によってコイルに伝えられるエネルギーは正になるように調節される。こうした動作は動作時に生じる可能性があるエネルギー均衡の問題を排除するのに有効に役立つことがある。実際に、傾斜コイルの電流が変化すると傾斜コイルはチャージ状態及びディスチャージ状態となる。適正な制御ロジック機構が利用されない場合、傾斜コイル18は高い電圧サプライ20、24からチャージを受けると共に、傾斜コイル18はより低い電圧サプライ22に対してディスチャージし、これによってDC電圧サプライ22の時間の経過に伴う増加を生じることになる。エネルギーの均衡を維持しかつこうしたチャージの堆積を回避するために、第1及び第2のブリッジ増幅器12、16からの電圧は、縦列124、128、134及び138でそれぞれ表した-1600から-1200ボルト、-800ボルトから-400ボルト、400ボルトから800ボルト、並びに1200ボルトから1600ボルトの電圧レンジ間で切り換えられる。こうした切り替えによって、第2のブリッジ増幅器14からのDC電圧サプライ22のデューティサイクルが不変に維持される（ただしこの例示的なケースでは、指摘した電圧境界に関しては極性が反対である）。制御ロジック機構110は、電圧境界のうちの1つを横切った動作の際に過電圧状態が生じないことを保証している。

20

30

【0025】

図7は、図6の横列114、116及び118に示した電圧サプレンジに対応した制御電圧と、図5に図示した傾斜増幅器92の3つのブリッジ増幅器12、14、16の両端の出力電圧との関係142を、図6に図示した制御ロジック機構110を用いてグラフで表したものである。水平軸144は、図5の制御ロジック102の入力の位置における制御電圧を表している。垂直軸146は図6に示したPWM制御スキームから得られる第2のブリッジ増幅器14からの出力電圧を表しており、また垂直軸148は第1及び第3のブリッジ増幅器12、16からの合成出力電圧を表している。プロット150は、図6に示すようなPWM制御を受けている場合における400ボルトDCで動作する第2のブリッジ増幅器14からの出力電圧を表したものである。プロット152は、図6に示すようなPWM制御を受けている場合におけるそれぞれが800ボルトで動作する第1及び第3のブリッジ増幅器12、16からの合成出力電圧を表したものである。様々な電圧間隔154~172は、図6に示す縦列122~140に対応する。

40

【0026】

図8は、図4に示す傾斜増幅器制御段に関する制御ロジック機構142を使用しかつ傾斜コイル18の両端を1200ボルトとして動作させた場合における、MRIシステムに対して適用可能なタイプのエコープラナー・イメージング(EPI)波形に関するあるシミュレーション時間にわたる典型的なシミュレーション結果を表したものである。プロット176及び178は、それぞれが800ボルトで動作する第1及び第3のブリッジ増幅

50

器 1 2、1 6 に対する入力電流を表したものである。プロット 1 8 0 は、第 1 及び第 3 のブリッジ増幅器 1 2、1 6 に対する入力電圧を表したものである。プロット 1 8 2 は、4 0 0 ボルトで動作する第 2 のブリッジ増幅器 1 4 に対する入力電圧を表したものである。プロット 1 8 4 は、4 0 0 ボルトで動作する第 2 のブリッジ増幅器 1 4 に対する入力電流を表したものである。プロット 1 8 6 は傾斜コイル 1 8 から計測したフィードバック電流を表したものである。プロット 1 8 8 は傾斜コイル 1 8 の両端の電圧を表したものである。図 8 のグラフ表示から理解できるように、第 2 のブリッジ増幅器の両端の電圧（プロット 1 8 0 で示す）は、一定のリップルを維持しており過電圧のない安定した動作を示していることが分かる。

【 0 0 2 7 】

10

図 9 は、図 2 に示す傾斜増幅器の一実施形態を用いた傾斜増幅器に関するシミュレーション波形を時間を追って表したものである。プロット 1 9 0 は、ある傾斜コイルに対して適用しようとするパルスシーケンス記述の例示的な一部分を表しており、シミュレーションのために時間を追って発生させたすべてのパルス信号を表している。システムの別の傾斜コイルには別のパルスシーケンスが適用されることは当業者であれば理解されよう。プロット 1 9 2 は、上述の回路構成及び制御方式を利用した場合における、パルスシーケンス記述 1 9 0 に対応するシミュレーション時間にわたる傾斜コイル 1 8 の両端に得られる電圧を表したものである。

【 0 0 2 8 】

20

図 2 ～ 5 に示すような傾斜増幅器の実施形態を用いて傾斜コイルに電流を提供する例示的な方法は単に一例として記載したものであることは当業者であれば理解されよう。図示した実施形態では、第 1 のブリッジ増幅器 1 2 が第 1 の D C 電圧サプライ 2 0 に結合されており、第 2 のブリッジ増幅器 1 4 が第 2 の D C 電圧サプライ 2 2 に結合されており、かつ第 3 のブリッジ増幅器 1 6 が第 3 の D C 電圧サプライ 2 4 に結合されている。第 2 に、これら 3 つのブリッジ増幅器 1 2、1 4 及び 1 6 は傾斜コイル 1 8 と直列に結合されている。さらに、傾斜増幅器制御段を用いた P W M スキームは、この傾斜増幅器全体にわたって適用され、傾斜コイル 1 8 の両端に必要な電流及び電圧レベルを発生させている。このパルス幅変調スキームは、図示しかつ上述した傾斜増幅器制御段のうちのいずれを含むこともできる。一実現形態では、傾斜コイルに対する無効電力が第 1 組のブリッジ増幅器を介して加えられることがあり、また傾斜コイルに対する有効電力が第 1 組のブリッジ増幅器と直列に結合された第 2 組のブリッジ増幅器を介して加えられることがある。傾斜コイルに対する有効電力及び無効電力の印加は、第 1 組のブリッジ増幅器と第 2 組のブリッジ増幅器の両方を介して制御されることがある。別の実現形態では、傾斜コイルに対する有効電力及び無効電力の印加は、第 1 組のブリッジ増幅器と第 2 組のブリッジ増幅器のうちの一方を介しては全電力を加えるかまたは全く電力を加えず、かつ第 1 組のブリッジ増幅器と第 2 組のブリッジ増幅器のうちのもう一方を介してはパルス幅変調した電力を加えることによって制御されることがある。本技法のさらに別の実現形態では、傾斜コイルに対する有効電力及び無効電力の印加は、第 1 組のブリッジ増幅器と第 2 組のブリッジ増幅器の両方からの電力をパルス幅変調することによって制御されることがある。ある種の実施形態では、傾斜コイルに加えられる電力に対するパルス幅変調は図 6 に示すようにすることがある。すべての例、並びにシミュレーションは 3 つのブリッジ増幅器 1 2、1 4 及び 1 6 に関する特定の動作電圧について例証したものであるが、これらは如何なる意味においても限定と見なすべきではない。本明細書に記載した上で言及した制御段及び制御ロジック機構は、M R I システム、あるいは適当な別の任意の用途に関する傾斜コイルの動作で必要となるユーザが望む任意の電圧レンジに適應させることができる。

30

40

【 0 0 2 9 】

本発明のある種の特徴についてのみ本明細書において図示し説明してきたが、当業者によって多くの修正や変更がなされるであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の真の精神の範囲に属するこうした修正及び変更のすべてを包含させるように意図したものであることを理解されたい。また、図面の符号に対応する特許請求の範囲中の符号

50

は、単に本願発明の理解をより容易にするために用いられているものであり、本願発明の範囲を狭める意図で用いられたものではない。そして、本願の特許請求の範囲に記載した事項は、明細書に組み込まれ、明細書の記載事項の一部となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 0 】

【図 1】本技法の態様に従った傾斜増幅器出力段の一実施形態を表した模式図である。

【図 2】図 1 に示したタイプの傾斜増幅器出力段を備える例示的な傾斜増幅器と傾斜増幅器制御段の一実施形態を表した図である。

【図 3】図 2 に示した傾斜増幅器の典型的な波形を表した図である。

【図 4】図 2 に示したタイプの傾斜増幅器の傾斜増幅器制御モジュールの第 1 の実施形態 10
 に関して実現させたパルス幅変調スキームの図である。

【図 5】図 1 に示したタイプの傾斜増幅器出力段を備えた例示的な傾斜増幅器と傾斜増幅器制御段の別の実施形態とを表した模式図である。

【図 6】図 5 に示した傾斜増幅器内で具現化した例示的な制御ロジック機構の図表である。

【図 7】図 5 に示した傾斜増幅器の実施形態に関する制御電圧と傾斜コイルの両端の出力電圧との関係を表した図である。

【図 8】図 5 に示した傾斜増幅器の一実施形態におけるエコープラナー・イメージング (EPI) 波形に関する典型的なシミュレーション結果を表したグラフである。

【図 9】図 2 に示した傾斜増幅器制御段の一実施形態を用いた傾斜コイルに対する典型的 20
 な電圧及び電流シミュレーション波形の図である。

【符号の説明】

【 0 0 3 1 】

- 1 0 傾斜増幅器出力段
- 1 2 第 1 のブリッジ増幅器
- 1 4 第 2 のブリッジ増幅器
- 1 6 第 3 のブリッジ増幅器
- 1 8 傾斜コイル
- 2 0 第 1 の直流 (DC) 電圧源
- 2 2 第 2 の DC 電圧源
- 2 4 第 3 の DC 電圧源
- 2 6 トランジスタ・モジュール
- 2 8 トランジスタ・モジュール
- 3 0 トランジスタ・モジュール
- 3 2 トランジスタ・モジュール
- 3 4 トランジスタ・モジュール
- 3 6 トランジスタ・モジュール
- 3 8 トランジスタ・モジュール
- 4 0 トランジスタ・モジュール
- 4 2 トランジスタ・モジュール
- 4 4 トランジスタ・モジュール
- 4 6 トランジスタ・モジュール
- 4 8 トランジスタ・モジュール
- 5 0 傾斜増幅器制御段
- 5 2 フィードフォワード機構
- 5 4 第 2 のフィードフォワード機構
- 5 6 比例積分形 (PI) 制御機構
- 5 8 フィードバック電流
- 6 0 基準電流
- 6 2 誤差電流

10

20

30

40

50

- 9 2 傾斜増幅器
- 9 4 傾斜増幅器制御段
- 9 6 フィードフォワード機構
- 9 8 フィードフォワード制御機構
- 1 0 0 比例積分形 (P I) 制御機構
- 1 0 2 制御ロジック・モジュール
- 1 0 4 フィードバック電流
- 1 0 6 基準電流
- 1 0 8 誤差電流
- 1 1 0 制御ロジック機構
- 1 4 4 水平軸
- 1 4 6 垂直軸
- 1 4 8 垂直軸

10

【図 1】

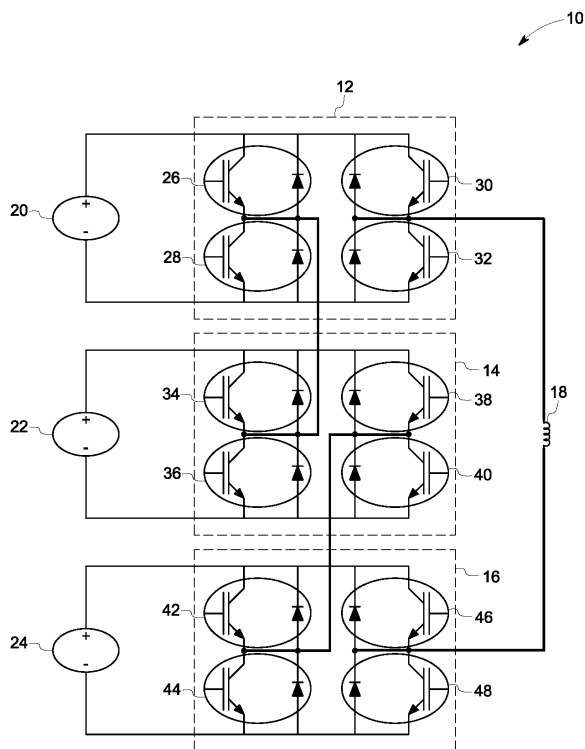


FIG.1

【図 2】

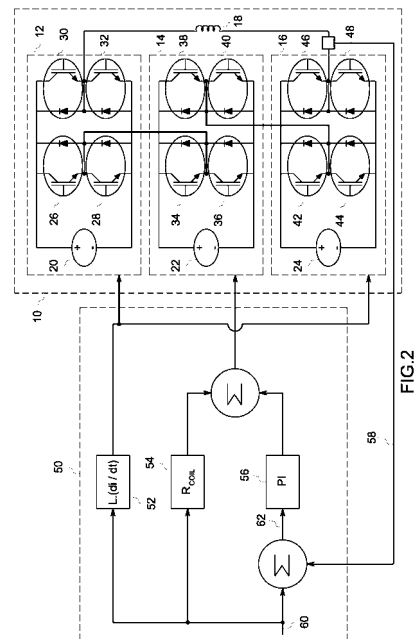


FIG.2

【図 3】

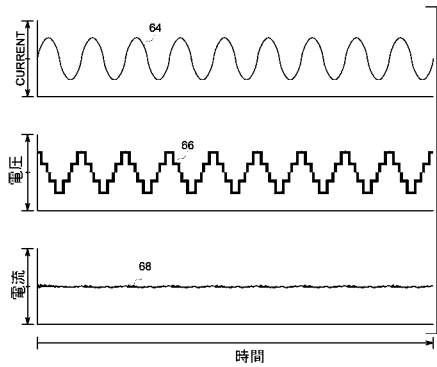


FIG.3

【図 4】

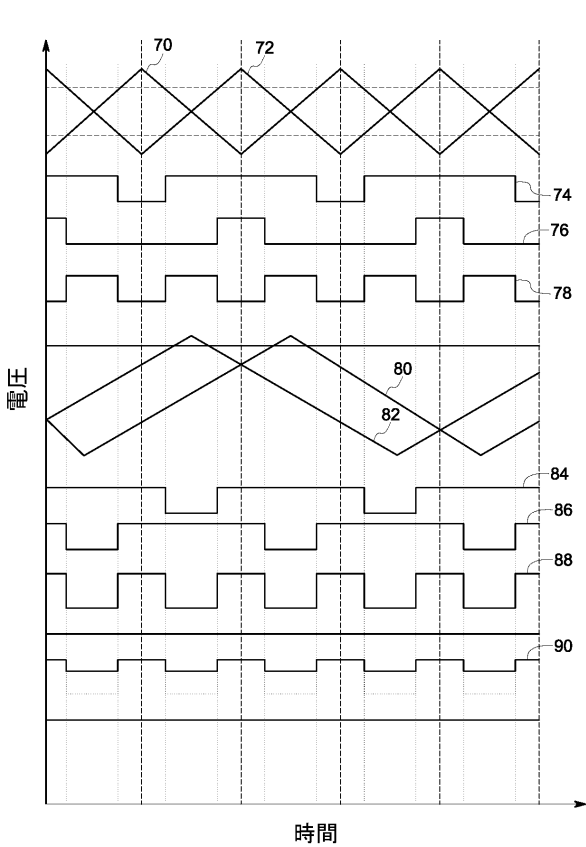


FIG.4

【図 5】

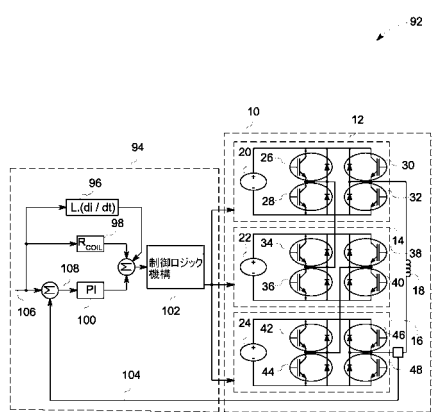


FIG.5

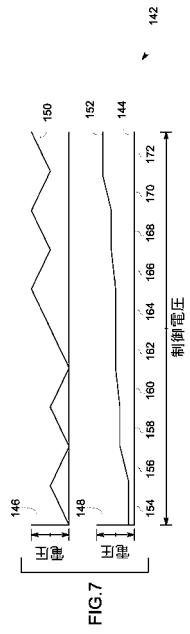
【図 6】

必要電圧 (ボルト)

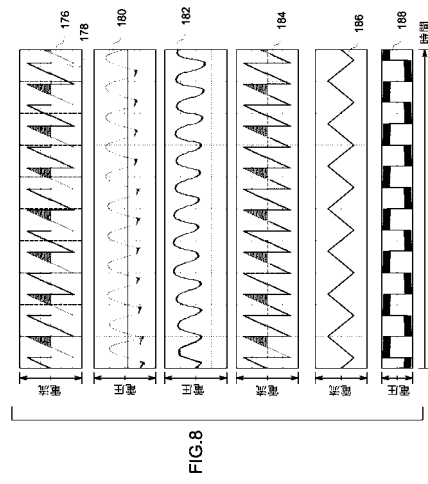
	-2000 ~ -1200	-1200 TO -400	-400 TO 400	400 TO 1200	1200 TO 2000
第1	-2000 TO -1600	-1200 TO -800	-400 TO 0	400 TO 800	1200 TO 1600
第2	-800 TO -400	-400 TO 0	0 TO 400	400 TO 800	800 TO 1200
第3	-800 TO -400	-400 TO 0	0 TO 400	400 TO 800	800 TO 1200

FIG.6

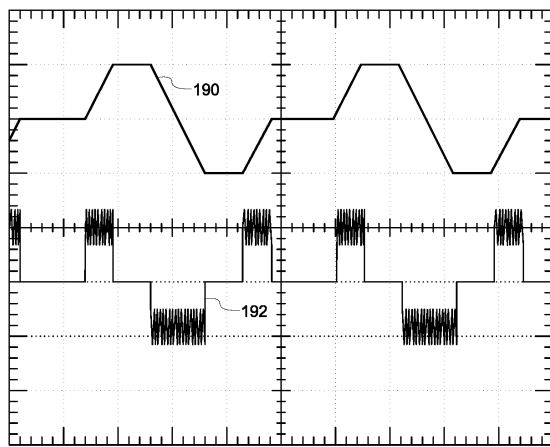
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (72)発明者 ホアン・アントニオ・サベイト
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ギャンスフート、ハースストーン・ドライブ、31番
- (72)発明者 リチャード・エス・ツァン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、レックスフォード、マラード・ドライブ、32番
- (72)発明者 ルイス・ホセ・ガルセス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、アルヴァ・ロード、50番
- (72)発明者 ポール・マイケル・スツェスニー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストーン・レイク、レイクヒル・ロード、37番
- (72)発明者 チーミン・リー
中華人民共和国、シャンハイ、ファン・ファ・ロード、81番、エイピーティー・501番
- (72)発明者 ウィリアム・フレドリック・ワース
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ジョンソン・クリーク、ハイウェイ・ビー、ダブリュ3763番

審査官 右 高 孝幸

- (56)参考文献 特開平7 - 313489 (JP, A)
特開平10 - 309083 (JP, A)
特開平10 - 314140 (JP, A)
特開2000 - 92856 (JP, A)
米国特許第6166602 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B	5 / 0 5 5
H 0 3 F	3 / 1 8 1
H 0 3 F	3 / 6 8