(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7292216号
(P7292216)

(45)発行日　令和5年6月16日(2023.6.16)

(24)登録日　令和5年6月8日(2023.6.8)

(51)国際特許分類		FI	
H05H	*7/10 (2006.01)*	H05H	7/10
H02M	*9/04 (2006.01)*	H02M	9/04
H05H	*7/04 (2006.01)*	H05H	7/04

請求項の数　28　（全12頁）

(21)出願番号	特願2019-565151(P2019-565151)
(86)(22)出願日	平成30年1月31日(2018.1.31)
(65)公表番号	特表2020-508558(P2020-508558A)
(43)公表日	令和2年3月19日(2020.3.19)
(86)国際出願番号	PCT/US2018/016208
(87)国際公開番号	WO2018/148078
(87)国際公開日	平成30年8月16日(2018.8.16)
審査請求日	令和3年1月28日(2021.1.28)
審判番号	不服2022-6893(P2022-6893/J1)
審判請求日	令和4年5月9日(2022.5.9)
(31)優先権主張番号	15/427,672
(32)優先日	平成29年2月8日(2017.2.8)
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)
	最終頁に続く

(73)特許権者　519291124
スタンジネス インダストリーズ， インコーポレイテッド
ＳＴＡＮＧＥＮＥＳ ＩＮＤＵＳＴＲＩＥＳ， ＩＮＣ．
アメリカ合衆国 ９４３０３ カリフォルニア州 パロ アルト， イースト メドウ サークル １０５２
１０５２ Ｅａｓｔ Ｍｅａｄｏｗ Ｃｉｒｃｌｅ， Ｐａｌｏ Ａｌｔｏ， Ｃａｌｉｆｏｒｎｉａ ９４３０３ Ｕｎｉｔｅｄ Ｓｔａｔｅｓ ｏｆ Ａｍｅｒｉｃａ

(74)代理人　110003281
弁理士法人大塚国際特許事務所
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　高電力パルス生成のためのシステム及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

キッカー磁石内に電流パルスを生成する装置であって、

１つ以上の第１のスイッチであって、

前記１つ以上の第１のスイッチがオンにされた場合に、

前記装置が、電源からインダクタへと電流を流す経路を生成するよう構成されている、１つ以上の第１のスイッチと、

１つ以上の第２のスイッチであって、

前記１つ以上の第２のスイッチがオンにされた場合に、

前記装置が、前記インダクタから前記キッカー磁石へと電流を流す経路を生成するよう構成されている、１つ以上の第２のスイッチと、を備え、

第１の期間中に前記１つ以上の第１のスイッチをオンにし、及び前記１つ以上の第２のスイッチをオフにするように構成され、

第１の期間に後続する第２の期間中に前記１つ以上の第２のスイッチをオンにし、及び前記１つ以上の第１のスイッチをオフにするように構成され、

前記インダクタのインダクタンスと前記キッカー磁石のインダクタンスとの比率が、前記第２の期間中に前記インダクタから前記キッカー磁石が電流を受け取る立ち上がり時間を所望の時間以内に低減させるように構成される、装置。

【請求項２】

第１の期間中に、前記キッカー磁石が停止されるように構成されている、請求項１に記

載の装置。
【請求項３】
前記第１の期間中に、前記装置が、前記インダクタ内に磁界を生成及び蓄積するよう構成されている、請求項２に記載の装置。
【請求項４】
前記第２の期間中に、前記装置が、前記キッカー磁石を起動するよう構成されている、請求項３に記載の装置。
【請求項５】
前記第２の期間中に、前記装置が、前記第１の期間中に前記インダクタ内に生成され及び蓄積された前記磁界を使用して、前記キッカー磁石内に電流を誘導するよう構成されている、請求項４に記載の装置。
【請求項６】
前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのコレクタに接続され、及び、前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのゲートに接続される１つ以上の第１のツェナーダイオードを備える、請求項１に記載の装置。
【請求項７】
前記第１の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧が、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードに接続されるスイッチの定格電圧未満であるように構成されている、請求項６に記載の装置。
【請求項８】
前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのコレクタと接続され、及び前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのゲートに接続される１つ以上の第２のツェナーダイオードを備える、請求項７に記載の装置。
【請求項９】
前記第２の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第２の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧が、前記第２の１つ以上のツェナーダイオードに接続されるスイッチの定格電圧未満であるように構成されている、請求項８に記載の装置。
【請求項１０】
前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのコレクタと接続され、及び前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのゲートに接続される１つ以上の第１のツェナーダイオードを備える、請求項１に記載の装置。
【請求項１１】
前記第１の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧が、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードに接続されるスイッチの定格電圧未満であるように構成されている、請求項１０に記載の装置。
【請求項１２】
前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのコレクタと接続され、及び前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのゲートに接続される１つ以上の第２のツェナーダイオードを備える、請求項１１に記載の装置。
【請求項１３】
前記第２の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第２の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧が、前記第２の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧に接続されるスイッチの定格電圧未満であるように構成されている、請求項１２に記載の装置。
【請求項１４】
前記所望の時間が１マイクロ秒である、請求項１乃至１３の何れか一項に記載の装置。
【請求項１５】
キッカー磁石内に電流パルスを生成する方法であって、
装置を第１の構成で動作させることであって、
１つ以上の第１のスイッチをオンにすることであって、
オンになっている時の前記１つ以上の第１のスイッチが、電流を電源から前記１つ

以上の第１のスイッチを通って及びインダクタへと流すための経路を提供するように構成並びに配置されている、１つ以上の第１のスイッチをオンにすることと、
１つ以上の第２のスイッチをオフにすることと、を備え、
第１の期間中に、前記１つ以上の第１のスイッチをオンにすること、及び前記１つ以上の第２のスイッチをオフにすることが生じる、第１の構成の装置を動作させること、並びに、
前記装置を第２の構成で動作させることであって、
１つ以上の第２のスイッチをオンにすることであって、起動している時の前記１つ以上の第２のスイッチが、前記インダクタから前記キッカー磁石まで電流を流すための経路を提供するために構成及び配置されている、１つ以上の第２のスイッチをオンにすることと、
前記１つ以上の第１のスイッチをオフにすることと、を備え、
前記第１の期間に後続する第２の期間中に、前記１つ以上の第２のスイッチをオンにすること、及び前記１つ以上の第１のスイッチをオフにすることが生じる、第２の構成の装置を動作させることと、
を備え、
前記インダクタのインダクタンスと前記キッカー磁石のインダクタンスとの比率が、前記第２の期間中に前記インダクタから前記キッカー磁石が電流を受け取る立ち上がり時間を所望の時間以内に低減させるように構成される、方法。

【請求項１６】
前記装置を前記第１の構成で動作させることは、前記キッカー磁石が停止されていることに対応する、請求項１５に記載の方法。

【請求項１７】
回路が前記第１の構成で動作している間に、前記インダクタにおいて、磁界が生成及び蓄積される、請求項１６に記載の方法。

【請求項１８】
前記装置を前記第２の構成で動作させることは、前記キッカー磁石が停止されていることに対応する、請求項１７に記載の方法。

【請求項１９】
前記装置が前記第２の構成で動作している間に、前記第１の期間中に前記インダクタ内で生成及び蓄積された前記磁界は、前記キッカー磁石内に電流を誘導する、請求項１８に記載の方法。

【請求項２０】
前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチは、前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのコレクタを前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのゲートに接続する１つ以上の第１のツェナーダイオードを有する、請求項１５に記載の方法。

【請求項２１】
前記第１の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードが接続される前記１つ以上の第１のスイッチの前記スイッチの定格電圧よりも低い降伏電圧を有する、請求項２０に記載の方法。

【請求項２２】
前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチは、前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのコレクタを前記１つ以上の第１のスイッチの各スイッチのエミッタに接続する第２の１つ以上のツェナーダイオードを有する、請求項２１に記載の方法。

【請求項２３】
前記第２の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧は、前記第１の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧よりも大きく、前記第１の１つ以上のスイッチの定格電圧よりも小さい、請求項２２に記載の方法。

【請求項２４】
前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチは、前記１つ以上の第２のスイッチの各ス

イッチのコレクタを前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのゲートに接続する第３の１つ以上のツェナーダイオードを有する、請求項２３に記載の方法。
【請求項２５】
前記第３の１つ以上のツェナーダイオードは、前記第３の１つ以上のツェナーダイオードが接続される前記１つ以上の第２のスイッチの前記スイッチの定格電圧よりも低い降伏電圧を有する、請求項２４に記載の方法。
【請求項２６】
前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチは、前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのコレクタを前記１つ以上の第２のスイッチの各スイッチのエミッタに接続する第４の１つ以上のツェナーダイオードを有する、請求項２５に記載の方法。
【請求項２７】
前記第４の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧は、前記第３の１つ以上のツェナーダイオードの降伏電圧よりも大きく、前記第２の１つ以上のスイッチの定格電圧よりも小さい、請求項２６に記載の方法。
【請求項２８】
前記所望の時間が１マイクロ秒である、請求項１５乃至２７の何れか一項に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
[関連出願に対する相互参照]
本出願は、「高電力パルス生成器のためのシステム及び方法」という名称の、２０１７年２月８日に出願された米国特許出願第１５／４２７，６７２号の優先権を主張するものであり、その全体が本明細書に組み込まれる。
【０００２】
[技術分野]
本開示は粒子線をターゲットから離れるように、またはターゲットに向かって偏向させるように設計された磁石に迅速に電力を供給するために高電力パルスを必要とするキッカー磁石などの装置に電力を供給する際に使用するための、最小立ち上がり時間を有する高電力パルスの生成に関する。
【背景技術】
【０００３】
指向性粒子線は様々な利益を達成するために、研究、産業、及び医療用途で使用することができる。一例として、指向性粒子線は、癌性細胞をイオン化し、それによって癌性細胞の特性を変化させ、及び、しばしば癌性細胞の増殖能力を妨げるために、用いられることができる。
【０００４】
安全機構として、指向された粒子線を制御するオペレータは、粒子線を、しばしば非常に迅速に、ターゲットから離れるように、終了または再指向させることができなければならない。粒子線を終了させる１つの方法は単純に粒子線をオフにすることであるが、このビームをオフにするために必要な時間は長くなる可能性があり、及び、したがって、緊急事態においてビームがターゲットに衝突するのをやめさせる有効な方法であることが証明されない場合がある。
【０００５】
粒子線をターゲットから離れるように迅速に再指向させることは、ビームがターゲットの本体に衝突するのを即座に停止する効果的な方法であり得る。高電力磁石は、ビームを再指向させるために用いられることができる。高電力磁石によって生成される磁界は、粒子線を構成する加速された粒子のストリームとのその相互作用によって、ビームに、その方向を変化させることができる。磁界は、ビームをターゲットから離れるように偏向させるために使用されることができる。
【０００６】

高速キッカー磁石を必要とする多くの加速器の出願では、粒子線によって生成される放射線が磁石に対する変調器の物理的近接を制限することがある。従来、変調器は放射線環境から数百フィート離れて配置される可能性があり、変調器及びケーブルの複雑さ及びコストを増大させる可能性がある。

【０００７】

磁界がキッカー磁石内で蓄積している期間中には、ビームは部分的に偏向されているだけであり、及び、粒子線に関連するハードウェア構成要素または他の周辺領域などの意図しない表面に衝突し始める可能性があるという事実のために、ビームを迅速に偏向させるために使用される磁石の電源を投入することは重要であり得る。粒子線は可能な限り迅速にターゲットから離れるように偏向されるべきであり、これは、キッカー磁石が迅速に電源投入されることを必要とし得る（すなわち、回路が、結果として高速な電流上昇をもたらす大きな印加電圧を有する時間は最小化されるべきである）。さらに、粒子線及びその関連する電子機器が動作する放射線環境を考慮すると、高電圧の印加時間は、放射線粒子が電子機器を損傷することを回避するために最小化されるべきである。

【０００８】

粒子線を偏向させるのに十分な強度を有する磁界を生成するために必要とされる電流及び電圧の量を考慮すると、従来のパルス生成器は、磁界を構築するのに必要な高電圧及び電流のために適切ではない場合がある。その生成器の構成要素が、キッカー磁石を動作させるのに必要な電流及び電圧の大きさを扱うことができ、同時に、迅速な立ち上がり時間を有するパルスを生成もする、専門化された高電力パルス生成器が、キッカー磁石を効果的に動作させるために必要となり得る。

【発明の概要】

【０００９】

従って、キッカー磁石に高電力パルスを生成及び送達するためのシステム及び方法が提供される。このシステム及び方法は、キッカー磁石が起動されていない期間中にインダクタに電荷を蓄積するように構成された回路を含むことができる。キッカーが起動されると、この回路は、インダクタに蓄積された電荷が直ちにキッカー磁石内に送り込まれるように構成され得る。この回路の構成要素は、粒子線高電力環境に存在する可能性がある異常から回路が悪影響を受けるようにならないことを保証する、ツェナーダイオードなどの保護機構を含むことができる。

【００１０】

パルス生成器回路で放射線誘起故障に対して主に影響を受けやすいのは、回路によって用いられており、高電圧を阻んでいる開状態にあるソリッドステートスイッチでありうる。多数のインダクタンスを通ってキッカー磁石に流れるＤＣ電流を切り替えるために誘導駆動トポロジを使用することによって、高電圧がソリッドステートスイッチの内にある時間は、最小限にされることができ、及び、キッカー磁石における電流の立ち上がり時間及び立ち下がり時間と実質的に等しくなることができ、したがって、放射線環境におけるパルス生成器の平均故障時間（ＭＴＴＦ）を増大させる。

【００１１】

一次エネルギ源の複雑さは低電圧大電流供給源へと低減されることもでき、これは放射線から離れた制御装置とともに配置され及び大電流ＤＣケーブルによって連結されることができる。この方法は、最初の高速上昇後にドループを最小限にしながら、キッカー内の実質的に無制限のＤＣ電流だけでなく、任意のパルス幅及び反復率を可能にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】本開示の実施例による例示的な高電力パルス生成回路を示す。

【００１３】

【図２】本開示の例による、キッカー磁石がオフ状態にあるときの図１の例示的な回路等価物を示す。

【００１４】
【図３】本開示の例による、キッカー磁石がオン状態にあるときの図２の例示的な回路等価物を示す。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
本明細書では、キッカー磁石で使用されるような磁気負荷を駆動する際に使用するための、高速立ち上がり時間を有する高電力パルスを生成するためのシステム及び方法が説明される。本明細書に記載されるシステム及び方法は磁石のキッカーのユーザがその磁石を起動するときに、キッカー磁石が最小の立ち上がり時間で高電力電流パルスを受け取ることを確実にするために使用されてもよい。
【００１６】
このシステム及び方法はキッカー磁石が動作されていない期間中に磁界を構築及び蓄積するために、大きなインダクタンスを有する第１のインダクタを含む回路を用いる。キッカー磁石が起動されると、回路の構成は、第１のインダクタに蓄積されたエネルギーがキッカー磁石の内に大きな電圧を迅速に誘導し、それによってキッカー磁石が、迅速に起動され、及び、粒子線を偏向させるのに十分な電流及び磁界を有することを確実にするように切り替えられる。
【００１７】
図１は、本開示の実施例による例示的な高電力パルス生成回路を示す。回路１００は、キッカー磁石１２４を迅速に起動するように構成されてもよい。キッカー磁石１２４は、磁石が起動されると粒子線を再指向させることができる低インピーダンス電磁石であってもよい。キッカー磁石１２４は磁界がキッカー磁石内で蓄積している間（キッカー磁石を通る電流が上昇している間）、ビームは部分的に偏向されるのみである可能性があり、及び、一度キッカー磁石が全量の電流を受け取ると、ビームは完全に偏向されるのみであろうという事実のために、迅速に起動されるべきである。高エネルギー粒子線の例では、部分偏向により、大量のエネルギー（熱または放射線）を、増加された量のエネルギーに対応することができない可能性のある、加速器の一団（すなわち、真空管）に加える可能性がある。
【００１８】
一例では、迅速に電源投入するために、キッカー磁石１２４は、キッカー磁石を通って流れる電流が０アンペアから７００まで１マイクロ秒以内に増加することを必要とすることができる。この要件のために、装置を電源投入する従来の方法は、十分ではない場合がある。一例として、７００アンペアを流すことができる電源にキッカー磁石を単に接続することは、そのような方法が通常、電流がランプアップするために１ミリ秒以上を必要とするという事実のために、十分ではない場合がある。これは、キッカー磁石１２４内のインダクタンスが、高速電流立ち上がり時間を得るためにそれに印加される高電圧を必要とする場合があるという事実による可能性がある。
【００１９】
したがって、回路１００は、キッカー磁石１２４が必要とする、磁石が動作するシステムによって必要とされる速度の電流で、キッカー磁石１２４を駆動することができるシステムを含んでいてもよい。回路１００は、回路の主要な電力の実質的に全てを生成することができる装置外／内の電源１０２によって電力供給されることができる。一例として、電源１０２は、電源が投入されたときのシステムの操作中に、それが、キッカー磁石が起動されたか否かにかかわらず生成されることができる、キッカー磁石１２４によって要求される７００アンペアを生成していることができるように、８００アンペアで約１２．５ボルトを生成するように構成されることができる。
【００２０】
回路１００は、２つの別個のセットのスイッチを含むことができる。第１のセットのスイッチ１０４、１０６、１０８、１１０は、キッカー磁石が起動されていない期間中、電源１０２をインダクタ１２０に接続することができる。スイッチ１０４、１０６、１０８

、及び１１０は、高電力用途向けに定格化されたトランジスタ（それぞれベース、コレクタ、及びエミッタを有する）として実装されることができる。この回路１００は４つの別個のスイッチを含むものとして示されているが、当業者はスイッチの数がより多くても少なくてもよく、並びに、回路１００を実施するために使用されるスイッチの電力定格及び定格電圧に依存することを理解するだろう。一例ではスイッチ１０４、１０６、１０８、１１０、１１２、１１４、１１６、及び１１８は絶縁ゲートバイポーラ（ＩＢＧＴ）トランジスタとして実装されることができる。

【００２１】

回路１００は、スイッチの第２のセット１１２、１１４、１１６、及び１１８を含むことができる。このスイッチの第２のセット１１２、１１４、１０８、１１０は起動されると、キッカー磁石が起動される期間中に、電源１０２及び第２のインダクタ１２０をキッカー磁石１２４に接続することができる。スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８は、高電力用途向けに定格化されたトランジスタ（それぞれベース、コレクタ、及びエミッタを有する）として実装されることができる。この回路１００は４つの別個のスイッチを含むものとして示されているが、当業者はスイッチの数がより多くても少なくてもよく、並びに、回路１００を実施するために使用されるスイッチの電力定格及び定格電圧に依存することを理解するだろう。

【００２２】

スイッチの第１の及び第２のセットを使用して、回路１００は、それぞれ互いに排他的であり得る２つの別個の構成で動作されることができる。一構成では、回路１００がキッカー磁石が起動されていない期間中に第２のインダクタ１２０を充電するように構成されることができる。別の構成では、回路１００がキッカー磁石が起動されている期間中に、第２のインダクタ１２０に蓄積された電荷をキッカー磁石１２４に転送するように構成されることができる。

【００２３】

図２は、本開示の例による、キッカー磁石がオフ状態にあるときの図１の例示的な回路等価物を示す。図２の例は、キッカー磁石がオフ状態のときの図１の回路１００の構成を示している。このキッカー磁石１２４がオフ状態にあるとき、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８をオフに切り換えられることができる。スイッチ１１２、１１４、１１６及び１１８は、ゲートドライバ１３２ａ及び１３２ｂを使用して電圧のゲートに適切な量の電圧を印加することによってオフに切り換えられることができる。ゲートドライバ１３２ａ及び１３２ｂはスイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８に、それぞれのコレクタとエミッタとの間に電流が流れないようにさせるために必要な電圧を提供することができる。このようにして、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８は、電流にスイッチを通過させない実質的な開回路であることができる。図２の例では、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８は、それらが開いていることを表すために、それらを通して「Ｘ」で示されている。

【００２４】

スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８が開いている間、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０は閉じている。ゲート電圧ドライバ１３２ｄ及び１３２ｃはスイッチを閉じるために、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０のゲートに適切な電圧をそれぞれ提供することができ、したがって、各スイッチのコレクタとエミッタとの間に流れる経路を提供することができる。スイッチを通る電流経路を確立することによって、電源１０２から流れる電流は、大きなインダクタンスを有し得る第２のインダクタ１２０を通ることができる。例えば、第２のインダクタ１２０は、３６０μＨのインダクタンスを有することができる。回路１００のこの構成中の電源１０２は、８００アンペアで約５ボルトを生成していることができる。電源１０２によって生成された電流は電源１０２に戻る前に、第２のインダクタ１２０を通って流れ、及び、次いで、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０を通って流れることができる。

【００２５】

上述したように、図２に示される構成では、電源１０２が第２のインダクタ１２０を介して電流をポンピングすることができる。第２のインダクタ１２０を通って流れる電流は、インダクタ内に磁界を構築することができる。磁界は、回路が定常状態に達し、及び第２のインダクタ１２０内の磁界が一定のままになるまで、第２のインダクタ１２０内で蓄積することができる。この磁界は、回路１００が第２の構成に切り替えられるまで、第２のインダクタ１２０内に留まることができる。

【００２６】

図３は、本開示の例における、キッカー磁石がオン状態にあるときの図２の例示的な回路等価物を示す。図２の例は、キッカー磁石が起動されたときの図１の回路１００の構成を示すことができる。キッカー磁石が起動されると、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１８８が起動することができ（すなわち、各スイッチのコレクタとエミッタとの間に電流を流れさせるように、それらのゲートそれぞれに電圧が印加されることができ）、一方で同時に、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０はオフに切り替えられることができる（すなわち、各スイッチのコレクタとエミッタとの間に実質的に電流が流れないように、それらのゲートそれぞれに電圧が印加されることができる）。スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０がオフに切り換えられると、これらのスイッチは実質的に開回路（この図において「Ｘ」で示される）として働き、一方でスイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８は、電源１０２によって生成された電流が流れるための新しい経路を提供することができる。

【００２７】

キッカー磁石が起動しておらず、及びその回路が図２に関して説明された構成にあるときに第２のインダクタ１２０内に磁界を構築した後、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８を起動し、及び同時に、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０を停止することによって、回路１００の電流の流れを、起動スイッチを介してキッカー磁石１２４内に再経路指定することができる。

【００２８】

前述のように、図２に関して、第１の構成では７００アンペアの電流が第２のインダクタを通って流れていたので、回路の構成が図３に示される構成に変更されると、第２のインダクタ１２０は切り替えスイッチによって引き起こされる電流の流れの変化に抵抗することができ、電流の流れの変化に抵抗するようにインダクタ内に任意の電圧を生成することができる。この事実を利用して、第２のインダクタ１２０とキッカー磁石１２４内のインダクタンスとの間のインダクタンスの比率は、第２のインダクタ１２０がキッカー磁石１２４内に７００アンペアを１マイクロ秒以内に押し込むのに十分な電圧を生成するように設計されることができる。上述のように、第２のインダクタ１２０は、３６０μＨのインダクタンス値を有することができる。７００アンペアの電流をキッカー磁石１２４に流すように回路が切り替えられたときに、第２のインダクタ１２０の電圧を十分高くするために、そのキッカー磁石のインダクタンスは約６．５μＨに構成されることができる。したがって、第２のインダクタ１２０のインダクタンスとキッカー磁石１２４のインダクタンスとの間の比率を設定することによって、そのキッカー磁石が起動されるとき、キッカー磁石１２４に加えられる電圧は、約５０００Ｖであり得、したがって、キッカー磁石１２４を通って流れる電流を約７００Ａにすることができる。電圧の上昇及び電流の送達は、約１マイクロ秒以内に起こり得る。

【００２９】

キッカー磁石を通る電流が７００Ａに等しくなると、これは第２のインダクタ１２０を通って流れる電流と同じ量であり得、その第２のインダクタ内の高電圧は７００Ａで電流フローを維持するためにもはや必要とされなくなるかもしれず、及び、そのキッカー磁石の抵抗が小さくなり得るという事実のために、電圧は最小値に低下し得る。したがって、その電流がキッカー磁石内で所望の値に上昇した後、電源１０２は、第２のインダクタ１２０を介して、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８を介して、キッカー磁石１２４を介して、並びに次いで電源に戻るように、約７００Ａを提供することができる。

【００３０】
回路のオペレータがキッカー磁石をオフにすることを望むとき、回路が図２に関して上述された第１の構成に戻り、及び、第２のインダクタ１２０が磁界の構築を開始するように、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８が開かれることができ、一方、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０が閉じられることができる。
【００３１】
コンデンサを使用するのではなく、インダクタを使用して電流を駆動することによって、パルス生成器が高電圧で動作する時間が最小限に抑えられることができる。コンデンサを使用して電圧を記憶するキッカー磁石用の電流ドライバでは、コンデンサが、無期限の間、高電圧に留まることがある。それから、この電圧は、１つ以上のスイッチを介して転送され、最後にそのキッカー磁石に転送され得る。この転送は、キッカー磁石上に、無期限の時間にわたってキッカー磁石上に留まることができる高電圧を生成させることができる。この無期限の時間の間、（粒子線からの）放射線はビームに近接しているためにスイッチに衝突し、誤ってそれを閉じることがある。これは、スイッチ内の高電圧がスイッチが閉じるための圧力を既に提供出来ているために、特に当てはまり得る。したがって、このキッカー磁石はオペレータの介入なしに起動される可能性があり、システムに損傷を引き起こす可能性がある。
【００３２】
コンデンサの代わりにインダクタを使用して電流を駆動することにより、電圧を蓄積するのではなく、このシステムは電流を蓄積する。これは、その回路が、キッカー磁石内で電流が上昇及び下降するのに要する約１μ秒の間存在する高電圧のみを有することを可能にし、したがって、放射線がスイッチ内で不発事象を引き起こす機会を最小限に抑えることができる。
【００３３】
回路１００が図２に示された構成から図３に示された構成に切り換えられるとき、その回路に受け取られる過渡的な高電圧は、回路の個々の構成要素を損傷を受けやすいままにする可能性がある。具体的には、その高電圧はスイッチ１０４、１０６、１０８、１１０、１１２、１１４、１１６、及び１８を損傷させる可能性がある。スイッチにロバストな保護を提供するために、回路１００は、スイッチを保護するための方法を用いることができる。
【００３４】
再び図１を参照すると、各スイッチ１０４、１０６、１０８、１１０、１１２、１１４、１１６、及び１１８は、高電圧事象によって損傷を受けることからスイッチを保護するために、それぞれツェナーダイオード１２６ａ～ｈによって構成されることができる。各ツェナーダイオード１２６ａ～ｈは、各スイッチのコレクタをそのゲートに接続することができる。各ツェナーダイオードの降伏電圧は、それを、ダイオードに取り付けられたスイッチが回路１００の動作中に観察するであろう可能性が高い電圧に適したものにするように選択されることができる。したがって、一例として、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８にそれぞれ取り付けられるツェナーダイオード１２６ｅ～ｈは、約５００Ｖの降伏電圧を有するように選択されることができる。スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８はスイッチの全体の電力定格と、スイッチを保護するために使用されるダイオードのツェナーダイオード降伏電圧との間にかなりの量のマージンを残すように、１２００Ｖの定格にされることができる。したがって、この回路の動作中、スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８がオフ状態（すなわち、図２の構成）にあるときに、それらのスイッチ内の電圧が５００Ｖを超える場合には、ツェナーダイオード１２６ｅ～ｈは起動されることができ、したがって、各スイッチのゲートをオンに戻し、及びスイッチを導通させることができる。スイッチ１１２、１１４、１１６、及び１１８がツェナーダイオード１２６ｅ～ｈによって強制的に導通されると、各スイッチ内の電圧はその内の電圧を崩壊／減少させることができ、それによって、スイッチを損傷から保護することができる。
【００３５】

スイッチ１０４、１０６、１０８及び１１０に関連するツェナーダイオード１２６ａ～ｄは、実質的に同じ方法で動作することができる。スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０は６５００Ｖの定格とされることができ、一方、ツェナーダイオード１２６ａ～ｄは４ｋＶの降伏電圧を有するように選択されることができ、それによって、スイッチの定格とツェナーダイオード降伏電圧との間にマージンを提供することができる。上述したものと実質的に同じ方法で、スイッチ１０４、１０６、１０８、及び１１０内の電圧が４ｋＶを超えると、ツェナーダイオード１２６ａ～ｄが起動されることができ、それによって、各スイッチのコレクタとゲートとの間に導通経路を提供することができる。導通経路は、各スイッチ内の電圧を崩壊／減少させるために使用されることができ、それによって回路に保護を提供することができる。

【００３６】

回路１００内のスイッチに保護を提供する第２の手段として、各々のスイッチ１０４、１０６、１０８、１１０、１１２、１１４、１１６、及び１１８は、スイッチ全体の内に配置されたより大きなツェナーダイオード１２８ａ～ｄを有することができる。図１に示されるように、大きなツェナーダイオード１２８ａはスイッチ１０４と１０６との内に配置されていてもよく、１２８ｂはスイッチ１０８と１１０との内に配置されていてもよく、１２８ｃはスイッチ１１６と１１８との内に配置されていてもよく、並びに１２８ｄはスイッチ１１２と１１４との内に配置されていてもよい。この大きなツェナーダイオード１２８ａ～ｄは、ツェナーダイオード１２６ａ～ｈよりも高い定格とされることができる。一例として、ツェナーダイオード１２８ａ及び１２８ｂは７００Ａで５ｋＶの定格とされることができ、一方でツェナーダイオード１２８ｃ及び１２８ｄは、７００Ａで６００Ｖの定格とされることができる。このようにして、ツェナーダイオード１２６ａ～ｈが何らかの理由で故障した場合、必要が生じた場合には、より大きなツェナーダイオードは、スイッチ内の電圧を崩壊させるように構成されることができる。

【００３７】

上述の保護メカニズムに加えて、回路１００は、専用の診断ハードウェアを含むこともできる。図１を参照すると、回路１００は、キッカー磁石１２４に流れる電流を測定することができる電流計１３４ａ及び１３４ｂを含むことができる。回路１００はまた、キッカー電圧１２４内の電圧を測定することができる分圧回路１３６を含むことができる。これらの診断装置は、回路１００のオペレータが、キッカー磁石が起動された時に所望の時間で所望の量の電流をキッカー磁石１２４が受信することを確実にすることを可能にすることができる。

【００３８】

前述の説明は、説明の目的で、特定の実施形態を参照して説明されてきた。しかしながら、上記の例示的な議論は、網羅的であること、または開示を開示された厳密な形態に限定することを意図していない。上記の教示に鑑みて、多くの修正及び変形が可能である。実施形態は、技術の原理及びそれらの実際の応用を最も良く説明するために選択、及び説明された。これにより、当業者であれば、想定される特定の用途に適した様々な修正を加えて、本技術及び様々な実施形態を最良に利用することができる。

【００３９】

本開示及び実施例は添付の図面を参照して十分に説明されてきたが、当業者には様々な変更及び修正が明らかとなることに留意されたい。そのような変更及び修正は、特許請求の範囲によって定義される開示及び実施例の範囲内に含まれるものとして理解されるべきである。

【図面】

【図１】

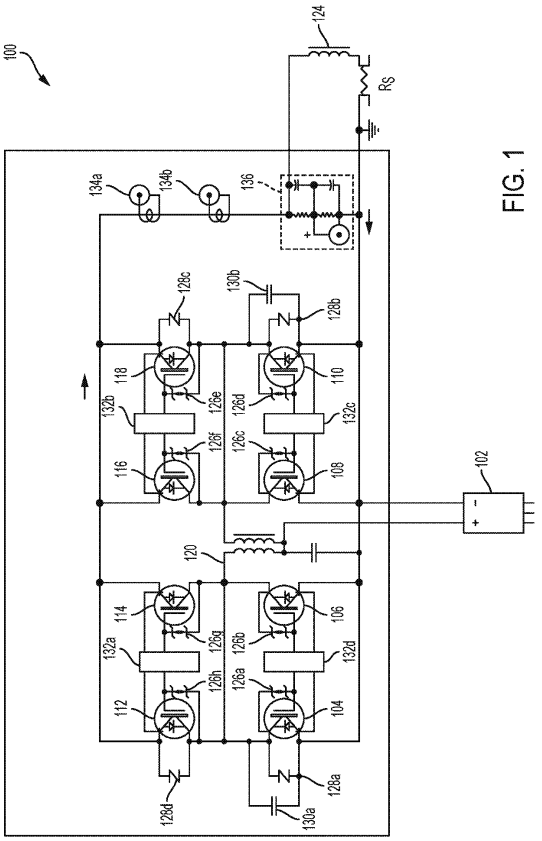

FIG. 1

【図２】

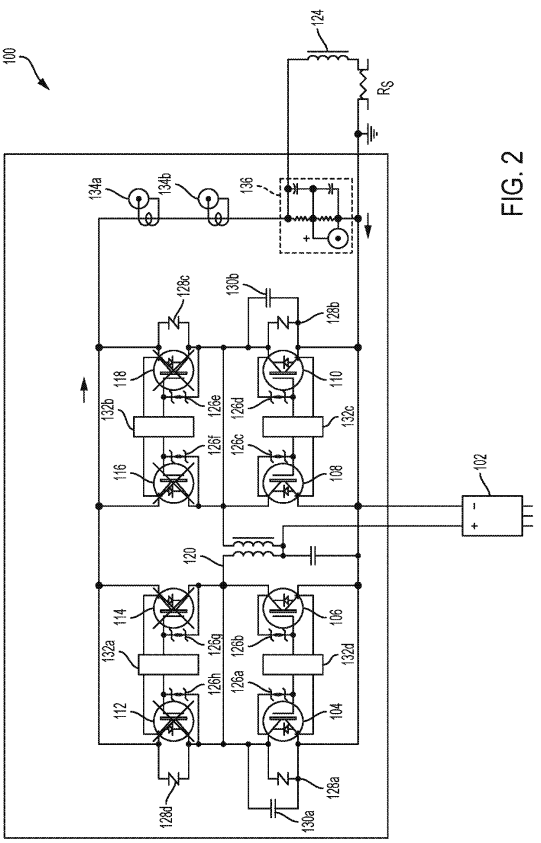

FIG. 2

【図３】

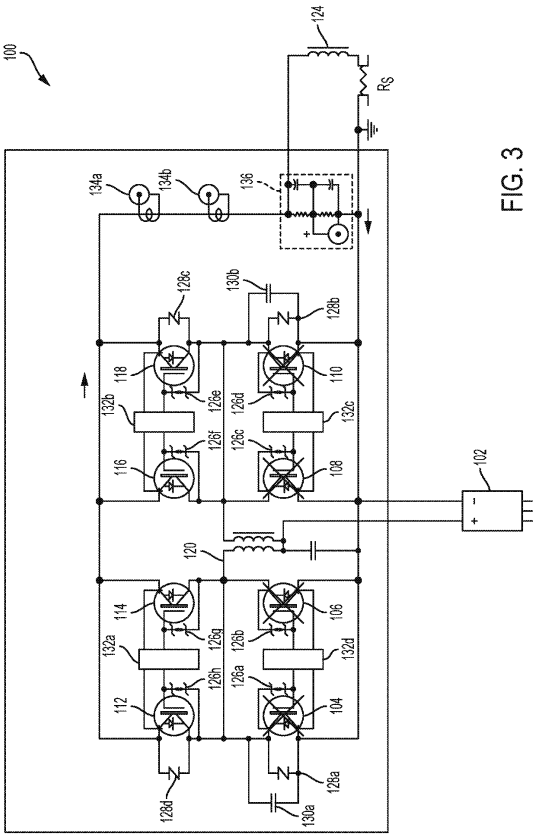

FIG. 3

フロントページの続き

早期審査対象出願

(72)発明者 イェケル， クリストファー
アメリカ合衆国 ９４３０３ カリフォルニア州 パロ アルト， イースト メドウ サークル １０５２， スタンジネス インダストリーズ， インコーポレイテッド内
(72)発明者 キャセル， リチャード
アメリカ合衆国 ９４３０３ カリフォルニア州 パロ アルト， イースト メドウ サークル １０５２， スタンジネス インダストリーズ， インコーポレイテッド内

合議体
審判長 山村 浩
審判官 松川 直樹
審判官 金高 敏康

(56)参考文献 特開２００４－２９７９１４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－１１５７９４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６４－７４０６３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
H05H7/10
H05H7/04
H02M9/04
H03K17/00-17/70