

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第5759482号
(P5759482)

(45) 発行日 平成27年8月5日(2015.8.5)

(24) 登録日 平成27年6月12日(2015.6.12)

(51) Int.Cl.

F I

HO 2M 3/155 (2006.01)

HO 2M 3/28 (2006.01)

HO 2M 3/155 Q

HO 2M 3/28 Q

請求項の数 7 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2012-549462 (P2012-549462)	(73) 特許権者	512188247
(86) (22) 出願日	平成23年1月16日 (2011.1.16)		カルシュテン、モシェ
(65) 公表番号	特表2013-518540 (P2013-518540A)		イスラエル国 69413 テル アビブ
(43) 公表日	平成25年5月20日 (2013.5.20)		、アビグダ ハメイリ 9
(86) 国際出願番号	PCT/IL2011/000049	(74) 代理人	110000626
(87) 国際公開番号	W02011/089593		特許業務法人 英知国際特許事務所
(87) 国際公開日	平成23年7月28日 (2011.7.28)	(72) 発明者	カルシュテン、モシェ
審査請求日	平成25年12月24日 (2013.12.24)		イスラエル国 69413 テル アビブ
(31) 優先権主張番号	12/692,597		、アビグダ ハメイリ 9
(32) 優先日	平成22年1月23日 (2010.1.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)	審査官	下原 浩嗣

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ゼロ電圧スイッチングによる電力変換

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電力変換装置であって、
前記電力変換装置を固定の周波数で動作させる制御回路と、
第 1 電気コイルと、
前記第 1 電気コイルに関連し、前記制御回路に応じる第 1 電子制御スイッチであって、
前記第 1 電子制御スイッチが閉じた状態に対応して前記第 1 電気コイルを蓄電し、前記第 1 電気コイルの電流の最大値が前記電力変換装置の出力に必要な最小電流となるように、
前記第 1 電子制御スイッチがオンとなっている時間が選定される前記第 1 電子制御スイッチと、
前記第 1 電気コイルに関連し、前記制御回路に応じる第 2 電子制御スイッチであって、
前記第 1 電気コイルの電流の負の値が、前記第 1 電子制御スイッチ及び前記第 2 電子制御スイッチの接点の電位が前記電力変換装置の入力電圧に達するのに必要な最小値となるように、
前記第 2 電子制御スイッチがオンとなっている時間が選定される前記第 2 電子制御スイッチと、
第 3 電子制御スイッチが閉じたときに前記第 1 電気コイル両端間でほぼ短絡するようにし、前記電力変換装置のサイクル時間を固定値まで広げることができる前記第 3 電子制御スイッチであって、前記制御回路に応じ、前記第 1 電気コイルを蓄電または放電しないようにされている前記第 3 電子制御スイッチと、を含み、
前記第 1 電子制御スイッチ、前記第 2 電子制御スイッチ及び前記第 3 電子制御スイッチ

各々は、各電子制御スイッチ両端間の電圧がほぼゼロのときだけ閉じられることを特徴とする、電力変換装置。

【請求項 2】

前記第 1 電気コイルに磁気結合された第 2 電気コイルをさらに含み、

前記第 3 電子制御スイッチが閉じたときに前記第 2 電気コイル両端間でほぼ短絡するように前記第 3 電子制御スイッチは前記第 2 電気コイルに接続され、前記第 2 電気コイル両端間の短絡が前記第 1 電気コイルに反映されることにより前記第 1 電気コイル両端間で前記ほぼ短絡することを特徴とする請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 3】

前記制御回路に応じる第 4 電子制御スイッチであって、前記第 2 電気コイルをほぼ短絡させるため前記第 3 電子制御スイッチと協働するようにした前記第 4 電子制御スイッチをさらに含み、前記制御回路は、前記第 4 電子制御スイッチ両端間の電圧がほぼゼロのときだけ前記第 4 電子制御スイッチを閉じることを特徴とする、請求項 2 に記載の電力変換装置。

10

【請求項 4】

前記第 1 電気コイルの所定電流値に応じて前記ほぼ短絡するようにした前記制御回路を特徴とする請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 5】

前記制御回路が周期を有するパルス幅変調機能を含み、前記周期の所定の時点まで前記ほぼ短絡を維持するようにした前記制御回路を特徴とする請求項 4 に記載の電力変換装置。

20

【請求項 6】

前記電力変換装置が、バックコンバータ、ブーストコンバータ、フライバック・コンバータ、フォワード型コンバータ、プッシュプル型コンバータ、ハーフブリッジ型コンバータのうちの一つである請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 7】

電力変換装置であって、

前記電力変換装置を固定の周波数で動作させる制御回路と、

エネルギー変換のための電磁誘導手段と、

前記エネルギー変換のための電磁誘導手段に関連し、前記制御回路に応じる第 1 電子制御スイッチであって、前記第 1 電子制御スイッチの閉状態に応じて前記エネルギー変換のための電磁誘導手段を蓄電し、前記エネルギー変換のための電磁誘導手段の電流の最大値が前記電力変換装置の出力に必要な最小電流となるように、前記第 1 電子制御スイッチがオンとなっている時間が選定される前記第 1 電子制御スイッチと、

30

前記エネルギー変換のための電磁誘導手段に関連し、前記制御回路に応じる第 2 電子制御スイッチであって、前記エネルギー変換のための電磁誘導手段の電流の負の値が、前記第 1 電子制御スイッチ及び前記第 2 電子制御スイッチの接点の電位が前記電力変換装置の入力電圧に達するのに必要な最小値となるように、前記第 2 電子制御スイッチがオンとなっている時間が選定される前記第 2 電子制御スイッチと、

第 3 電子制御スイッチが閉じたときに、前記エネルギー変換のための電磁誘導手段両端間でほぼ短絡するようにし、前記電力変換装置のサイクル時間を固定値まで広げることができる前記第 3 電子制御スイッチであって、前記制御回路に応じ、前記エネルギー変換のための電磁誘導手段を蓄電または放電しないようにされている前記第 3 電子制御スイッチと、を含み、

40

前記第 1 電子制御スイッチ、前記第 2 電子制御スイッチ及び前記第 3 電子制御スイッチ各々は、各電子制御スイッチ両端間の電圧がほぼゼロのときだけ閉じられることを特徴とする、電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力変換装置に関し、特に電力変換装置の電気コイルにおいてスイッチ回路

50

を配置した電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電力変換システムは、直流（DC）または交流（AC）電力を入力として、概して入力電力と違う電圧のDCまたはAC出力電力に変換する。出力電圧または出力電流に応じて出力電力が制御される。

【0003】

昇圧型コンバータとしても知られるブーストコンバータは、出力電圧が入力電圧より高い電力変換装置である。トランジスタなど少なくとも一つの第1電子制御スイッチ、電気コイルなど少なくとも一つの一次蓄電素子、ダイオードや第2電子制御スイッチなどの追加素子を含む、スイッチ方式電力供給の一つである。概して、電子制御スイッチとダイオードは電気コイルと出力の間に配置され、第1電子制御スイッチが閉じられるのに応じて、流れる電流は交互に電気コイルを蓄電し、第1電子制御スイッチが開くと負荷を通る。電流は、負荷を通るとき、ダイオードまたは第2電子制御スイッチを通過する。

10

【0004】

降圧型コンバータとしても知られるバックコンバータは、出力電圧が入力電圧より低い電力変換装置である。トランジスタなど少なくとも一つの第3電子制御スイッチ、電気コイルなど少なくとも一つの二次蓄電素子、ダイオードや第4電子制御スイッチなどの追加素子を含む、スイッチ方式電力供給の一つである。概して、電子制御スイッチとダイオードは入力電源と電気コイルの間に配置され、第3電子制御スイッチが閉じるのに応じて、電流が交互に負荷を通して電気コイルを蓄電し、第3電子制御スイッチが開くと電気コイルを放電しながら負荷へ進む。電気コイルが負荷へ放電するとき、ダイオードと第4電子制御スイッチは電気コイルに直列である。

20

【0005】

フライバック・コンバータは出力電圧が入力電圧より高いまたは低いコンバータである。少なくとも一つの電子制御スイッチ、少なくとも一つの電気コイルを含む蓄電素子で、具体的には絶縁の付加的利点で変圧比を高くした変圧器、ダイオードや追加電子制御スイッチなど少なくとも一つの追加素子を含む、スイッチ方式電力供給の一つである。概して、変圧器の一次電気コイルは電子制御スイッチと入力電圧との間に接続され、変圧器の二次電気コイルは追加素子と出力との間に接続される。

30

【0006】

上で列挙した電力変換装置は、複数の形態の中から例示したもので、これに限るものではない。

【0007】

高密度装置への要求が高まり、常に、スイッチング周波数がより高い電力供給を必要としている。スイッチング周波数が高いほど、定格電力供給が小さく、電力供給に対する動的応答が早くなる。様々なスイッチング形態での損失は、少なくとも、部分的には、スイッチング損失、つまり、電子制御スイッチの一つがオフ状態（スイッチが開く）からオン状態（スイッチが閉じる）に変わるときと、オン状態からオフ状態に変わるときのものである。電子制御スイッチでスイッチング過渡電流がある時間流れると、そこでのノンゼロ電圧やそこを通る電流と同様、そのスイッチでスイッチング損失を起こす。スイッチング周波数が高くなると、スイッチングに関わる損失の関連部分が増す。

40

【0008】

ゼロ電圧スイッチング（ZVS）とは、スイッチでの電圧がゼロまたはほぼゼロでスイッチの状態がオフからオンに変わると定義される。ZVSは、スイッチが閉じている間、著しくスイッチング損失量を減らす。

【0009】

その内容を参照することにより本明細書に援用する、ニュートンによる1987年6月9日発行、米国特許第4,672,303は、バックコンバータ・インライン・スイッチのゼロ電圧スイッチングを備えることより、高周波数におけるスイッチング損失を削減し

50

たDC/DCコンバータに関する。残念ながら、その設定には、DC/DCコンバータの動作周波数を小さくした負荷で増加させるか、そうでなければ、電気コイルのピークツーピーク電流を負荷に依存させないで、高電流を小負荷の入力 出力間で循環させる必要がある。その内容を参照することにより本明細書に援用する、ヴィンサーリによる2006年12月26日発行、米国特許第7,154,250は、クランプ相を備えたバックブーストDC-DCスイッチング電力変圧装置に関する。残念ながら、ヴィンサーリの方法は、電気コイルを蓄電し放電するのに用いられるスイッチング装置の特定の設定とタイミングで得られるクランプ相を必要とするため、広域のコンバータには適用できない。

【0010】

広域にわたる負荷と入力電圧の状態とで固定動作周波数のためにゼロ電圧スイッチングを達成する方法は、求められているものの従来技術では提供できていない。

10

【発明の概要】

【0011】

それ故、従来技術の欠点の少なくともいくつかを克服することが本発明の主目的である。変圧器の巻線を配置した一実施形態において、電気コイル蓄電素子の電流がその短絡状態を維持し、電気コイル電流の経時的変化がほぼゼロで、電力変換装置においてエネルギー変換機能を果たすスイッチに関係なく短絡状態に至るように設定された一実施形態によりこれを提供する。ゼロ電圧スイッチング状態に至るためにこの状態が維持される。このように入力電圧と出力負荷に関わらず、固定コンバータスイッチング周波数でゼロ電圧スイッチング状態に至るのが望ましい。例示的な実施形態では、追加電気コイルが提供され、一実施形態では、変圧器の追加巻線である追加電気コイルが第1電気コイルに磁気結合し、短絡状態が追加電気コイル両端間で作られる。

20

【0012】

一実施形態では、スイッチが入ると、スイッチに関わるキャパシタンスが十分に放電するように、蓄電素子を流れる電流を調整し、ゼロ電圧スイッチング状態に至る。一好実施形態では、損失のない、つまり、係るキャパシタンスから放出されたエネルギーを回路にリサイクルする。一好実施形態では、ゼロ電圧スイッチング状態に至るために得られた電流値が、実際にZVSに至るために必要な最小電流を超えないように制御される。一好実施形態では、さらに帯域幅に制限されない、ゼロ電圧スイッチング状態を提供する。さらなる本発明の特徴や利点を以下の図面と説明で明らかにする。

30

【0013】

本発明をさらに理解し、どのように実現するかを示すため、単に例として、付随の図面を参照する。全体を通して、類似の要素または部分は、同様な符号で表す。

【0014】

図面を詳しく参照するにおいて、その詳細は、例として、また、本発明の好適な実施形態の例示的考察のみを目的とし、本発明の原理と概念の最も有用であり、理解しやすい説明であると思われるものを提供するためにあることを強調する。このため、発明の基本的理解に必要であること以上に発明の構造的詳細を詳しく示すことなく、当業者に発明のいくつかの形態をどう実際に具体化するかを図面の説明で明らかにするものである。

【図面の簡単な説明】

40

【0015】

【0016】

【0017】

【0018】

【0019】

【0020】

【0021】

【0022】

【0023】

【0024】

50

【 0 0 2 5 】

【 0 0 2 6 】

【 0 0 2 7 】

【 0 0 2 8 】

【 0 0 2 9 】

【 0 0 3 0 】

【 0 0 3 1 】

【 0 0 3 2 】

【 0 0 3 3 】

【 0 0 3 4 】

10

【 0 0 3 5 】

【 0 0 3 6 】

【 0 0 3 7 】

【 0 0 3 8 】

【 0 0 3 9 】

【 0 0 4 0 】

【 0 0 4 1 】

【 0 0 4 2 】

【 0 0 4 3 】

【図 1 A】従来技術として知られる共振型バックコンバータのハイレベル回路図である。

20

【図 1 B】従来技術による共振型バックコンバータとして、図 1 A のバックコンバータの動作グラフを示す。

【図 1 C】従来技術による図 1 A のバックコンバータの動作グラフで、電気コイル電流が周期ごとに負になることを示す。

【図 2 A】一実施形態による共振型バックコンバータのハイレベル回路図で、短絡状態を作るための電気コイルに関わる双方向スイッチを含む。

【図 2 B】一実施形態による図 2 A の共振型バックコンバータの動作グラフを示す。

【図 3 A】一実施形態による磁気結合した一対の電気コイルを備えた共振型バックコンバータのハイレベル回路図である。

【図 3 B】一実施形態による図 3 A の共振型バックコンバータの動作グラフを示す。

30

【図 3 C】一実施形態による磁気結合した一対の電気コイルを備え、短絡閉回路にコンデンサのない、共振型バックコンバータのハイレベル回路図である。

【図 3 D】一実施形態による図 3 C の共振型バックコンバータの動作グラフを示す。

【図 4 A】一実施形態による磁気結合した一対の電気コイルを備えた共振型ブーストコンバータのハイレベル回路図である。

【図 4 B】一実施形態による図 4 A の共振型ブーストコンバータの動作グラフを示す。

【図 4 C】一実施形態による磁気結合した一対の電気コイルを備え、短絡閉回路にコンデンサのない、共振型ブーストコンバータのハイレベル回路図である。

【図 4 D】一実施形態による図 4 C の共振型ブーストコンバータの動作グラフを示す。

【図 5 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルを備えた共振型フライバック・コンバータのハイレベル回路図である。

40

【図 5 B】一実施形態による図 5 A の共振型フライバック・コンバータの動作グラフを示す。

【図 5 C】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルを備え、短絡閉回路に蓄電コンデンサのない、共振型フライバック・コンバータのハイレベル回路図である。

【図 5 D】一実施形態による図 5 C の共振型フライバック・コンバータの動作グラフを示す。

【図 6 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルを備えたシングルエンド・フォワード型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 6 B】一実施形態による図 6 A のシングルエンド・フォワード型コンバータの動作グ

50

ラフを示す。

【図 7】従来技術によるフルブリッジ・フェイズシフト型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 8 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルを備えたプッシュプル型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 8 B】一実施形態による図 8 A のプッシュプル型コンバータの動作グラフを示す。

【図 9 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルを備えたハーフブリッジ型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 9 B】一実施形態による図 9 A のハーフブリッジ型コンバータの動作グラフを示す。

【図 10 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルと出力に同期整流器を備えたプッシュプル型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 10 B】一実施形態による図 10 A のプッシュプル型コンバータの動作グラフを示す。

【図 11 A】一実施形態による磁気結合した複数の電気コイルと出力に同期整流器を備えたハーフブリッジ型コンバータのハイレベル回路図である。

【図 11 B】一実施形態による図 11 A のハーフブリッジ型コンバータの動作グラフを示す。

【図 12】一実施形態による制御回路のハイレベル回路図で、図 3 A の共振型バックコンバータに適している。

【発明を実施するための形態】

【0044】

本発明の少なくとも 1 つの実施形態を詳細に説明する前に、本発明はそのアプリケーションにおいて以下の記載及び図面に述べる具体的構成や部品配置に限定されないことを理解されるべきである。本発明は他の実施形態でも適用でき、様々な方法で実用化、実施される。又、ここで使用するフレーズや用語は説明のためのものであり、それに限定されるものではないことを理解されるべきである。

【0045】

複数のコンバータ、具体的にはバックコンバータ、ブーストコンバータ、フライバック・コンバータ、シングルエンド・フォワード型コンバータ、プッシュプル型コンバータ、ハーフブリッジ型コンバータに関連して本発明を説明するが、これに限定するものではなく、どのような電力変換装置構成においても等しく本発明の開示を適用し得る。

【0046】

図 1 A は従来技術として知られている共振型バックコンバータのハイレベル回路図を示し、入力コンデンサ 10、第 1 電子制御スイッチ 20、第 2 電子制御スイッチ 30、電気コイル 40、出力コンデンサ 50 を含む。n チャネル金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (NMOSFET) として、第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 を説明するが、これに限定するものではない。入力コンデンサ 10 は V_{IN} で表記する入力電圧に接続される。 V_{IN} の正側に関連する入力コンデンサ 10 の第 1 端子は第 1 電子制御スイッチ 20 のドレインに接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子は第 2 電子制御スイッチ 30 のソースに接続され、出力コンデンサ 50 の第 1 端子に接続される。第 1 電子制御スイッチ 20 のソースは第 2 電子制御スイッチ 30 のドレインに接続され、電気コイル 40 の第 1 端子、接点 25 と表記する接点に接続される。電気コイル 40 の第 2 端子は出力コンデンサ 50 の第 2 端子に接続される。 V_{OUT} と表記する出力電圧は出力コンデンサ 50 に生じ、その正極は電気コイル 40 の第 2 端子に関連する。第 1 電子制御スイッチ 20 と第 2 電子制御スイッチ 30 のゲートは従来技術で知られている制御回路 (図示せず) へ接続される。電気コイル 40 の電圧は、 V_{OUT} に対して接点 25 で測定し、 V_L と表記する。それを通して接点 25 から流れる電流を I_L と表記する。

【0047】

図 1 B は、従来技術による共振型バックコンバータのように第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 を動かす制御回路と協働する、図 1 A のバックコンバータの動作グラフを示

し、 x 軸は時間を y 軸は電圧と電流をそれぞれ任意の単位で表している。図 1 C は、従来技術による共振型バックコンバータのように第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 を動かす制御回路と協働する、図 1 A のバックコンバータの動作のグラフを示し、 x 軸は時間を y 軸は電圧と電流をそれぞれ任意の単位で表している。図 1 B 及び 1 C のグラフは、第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 のゲートソース電圧、電気コイル 40 両端間の電圧 V_L 、電気コイル 40 の電流 I_L を表している。簡略化のために、各図 1 B、1 C は図 1 A と一緒に説明する。

【0048】

図 1 B に示すように動作中、 T_1 の時点で電気コイル 40 間の電圧 V_L は $-V_{OUT}$ に等しく、従って接点 25 の電位はゼロである。第 1 電子制御スイッチ 20 が入ると、接点 25 の電圧がゼロであるため、そのスイッチングはゼロ電圧スイッチング (ZVS) とはならない。時点 T_1 以後、第 1 電子制御スイッチ 20 により V_{IN} が接点 25 に接続されるので、電気コイル 40 の電流 I_L が

$$\text{式： } dI_L / dt = V_L / L$$

に従って増加する。ここで L は電気コイル 40 のインダクタンスである。 T_2 の時点で第 1 電子制御スイッチ 20 が切れる。接点 25 の電圧は接点 25 のキャパシタンスの放電に応じて降下し始め、第 2 電子制御スイッチ 30 が閉じられる時点 T_3 まで降下し続ける。これが一般的な ZVS である。接点 25 の電圧が V_{OUT} より低くなるとき、即ち電気コイル 40 の電圧 V_L が負になるとき、電気コイル 40 の電流 I_L は減少し始め、第 2 電子制御スイッチ 30 が切れる時点 T_4 まで減少し続ける。電気コイルの電流 I_L は第 2 電子制御スイッチ 30 のボディダイオードを通して流れるので接点 25 の電圧はゼロに維持される。 T_1 に関して上述したように、第 1 電子制御スイッチ 20 が入る時点 T_5 では、第 1 電子制御スイッチ 20 両端間の電圧は V_{EST} であるため、そのスイッチングは ZVS とはならない。

【0049】

図 1 C に示す共振型バックコンバータの実施形態において、時点 T_1 で電気コイル 40 両端間の電圧 V_L は $V_{IN} - V_{OUT}$ に等しく、従って接点 25 の電位が V_{IN} になる。第 1 電子制御スイッチ 20 が入ると、接点 25 の電圧が V_{IN} であるため、そのスイッチングは ZVS となる。時点 T_1 以後、 V_{IN} は第 1 電子制御スイッチ 20 により接点 25 に接続されるので、電気コイル 40 の電流 I_L が

$$\text{式： } dI_L / dt = V_L / L$$

に従って増加する。ここで L は電気コイル 40 のインダクタンスである。時点 T_2 で第 1 電子制御スイッチ 20 が切れる。接点 25 のキャパシタンスの放電に応じて、接点 25 の電圧が降下し始め、第 2 電子制御スイッチ 30 が閉じられる時点 T_3 まで降下し続ける。これが一般的な ZVS である。接点 25 の電圧が V_{OUT} より低くなるとき、即ち電気コイル 40 の電圧 V_L が負になるとき、電気コイル 40 の電流 I_L は減少し始め、電流がゼロに落ちる時点 T_4 まで減少し続ける。時点 T_4 以後、電気コイル 40 の電流 I_L は、第 2 電子制御スイッチ 30 が切れる時点 T_5 まで逆に流れる。電気コイル 40 の電流 I_L が負であるため、第 2 電子制御スイッチ 30 のボディダイオードを流れず、接点 25 のキャパシタンスの充電に応じて接点 25 の電圧は上昇し始め、第 1 電子制御スイッチ 20 が入る時点 T_6 まで上昇し続ける。これが一般的な ZVS である。一具体的実施形態では、接点 25 の電圧が V_{IN} に上昇するように、 I_{MIN} と表わす、電気コイル 40 の電流 I_L が達する電流最小値を選定し、 T_1 時点でのゼロ電圧スイッチングを確実にする。欠点は、 L 及び I 値の関数であるため、時点 T_5 を制御できないことである。そのため、出力電流が変化すると、サイクル時間 T をそれに応じて変化させない限り ZVS を維持できない。

【0050】

図 2 A は、一実施形態での共振型バックコンバータ 55 のハイレベル回路図を示し、入力コンデンサ 10、第 1 電子制御スイッチ 20、第 2 電子制御スイッチ 30、電気コイル 40、出力コンデンサ 50、第 3 電子制御スイッチ 60 を含む。第 1、第 2 電子制御ス

ッチ 20、30 は、一実施形態で、N M O S F E T から成る。第 3 電子制御スイッチ 60 は双方向性電子制御スイッチである。入力コンデンサ 10 の第 1 端子は第 1 電子制御スイッチ 20 のドレインと入力電圧 V_{IN} の正極に接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子は第 2 電子制御スイッチ 30 のソースと出力コンデンサ 50 の第 1 端子に接続される。第 1 電子制御スイッチ 20 のソースは、第 2 電子制御スイッチ 30 のドレイン、電気コイル 40 の第 1 端子、第 3 電子制御スイッチ 60 の第 1 端子に接続され、接点を 25 と表記する。記憶素子電気コイル 40 の第 2 端子は、出力コンデンサ 50 の第 2 端子と第 3 電子制御スイッチ 60 の第 2 端子に接続される。第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 のゲートと第 3 電子制御スイッチ 60 の制御入力、図 12 において後述するように、制御回路（図示せず）に接続される。出力コンデンサ 50 両端間の電圧を V_{OUT} と表記し、その正極は電気コイル 40 の第 2 端子に結び付けられる。電気コイル 40 両端間の電圧を、出力 V_{OUT} に対し接点 25 で測定し、 V_L と表記する。接点 25 から電気コイル 40 を通って流れる電流を I_L と表記する。

10

【0051】

図 2 B は、図 2 A の共振型バックコンバータ 55 の動作グラフを示し、 x 軸は時間を y 軸は電圧及び電流を任意の単位で表している。図 2 B のグラフは、第 1、第 2 電子制御スイッチ 20、30 のゲート - ソース電圧、第 3 電子制御スイッチ 60 のゲートあるいは制御信号、電圧 V_L 、電流 I_L を示している。簡略化のために、図 2 A と図 2 B を一緒に説明する。

【0052】

20

動作中、 T_1 時点で電気コイル 40 の電圧 V_L は $V_{IN} - V_{OUT}$ に等しい。即ち接点 25 の電位は V_{IN} である。第 1 電子制御スイッチ 20 が入ると、接点 25 の電圧が電圧 V_{IN} に等しいため、そのスイッチングは ZVS になる。図 1 A - 1 C に関して上述したように、電気コイル 40 間の正電圧に応じて電気コイル 40 の電流 I_L が増加する。時点 T_2 で第 1 電子制御スイッチ 20 が切れる。時点 T_2 以後、接点 25 のキャパシタンスの放電に応じて接点 25 の電圧が低下し始め、電気コイル 40 の電流 I_L の変化率が小さくなり接点 25 の電圧が V_{OUT} より低くなるとき、即ち電気コイル 40 の電圧 V_L が負になると、電気コイル 40 の電流 I_L は減少し始める。好適な一実施形態では、電気コイル 40 の電流 I_L の最大値が出力に必要な最小電流となるように、第 1 電子制御スイッチ 20 がオンとなっている時間を選定する。時点 T_3 で電気コイル 40 の電圧 V_L が $-V_{OUT}$ に低下すると、第 2 電子制御スイッチ 30 両端間の電圧はゼロになり、制御回路は第 2 電子制御スイッチ 30 をオンにする、つまり、 ZVS である。

30

【0053】

時点 T_3 以後、電気コイル 40 の電流 I_L は、値を線形に減少させながら、第 2 電子制御スイッチ 30 を流れる。時点 T_4 で、電気コイル 40 の電流 I_L 値がゼロとなり、その後出力コンデンサ 50 により供給されるエネルギーで、電気コイル 40 の電流 I_L 値が減少し続けて負となる。電気コイル 40 の電流 I_L は減少し続け、時点 T_5 で電流が I

に達して、第 2 電子制御スイッチ 30 が切れる。接点 25 のキャパシタンスが蓄電するにつれて接点 25 の電圧は上昇し、電気コイル 40 の電流 I_L の変化率は小さくなる。時点 T_6 で、接点 25 の電圧が V_{OUT} 値まで上昇する。即ち電気コイル 40 両端間の電圧降下がない。後述する制御回路は第 3 電子制御スイッチ 60 を閉じ、従って電気コイル 40 間に実質、短絡を生じる。短絡により記憶素子電気コイル 40 両端間の電圧はゼロのままなので、電流変化 dI/dt もまたゼロとなり、時点 T_6 から電流値と方向が維持される。時点 T_7 で、スイッチ 60 を開き、電気コイル 40 の電圧 V_L が再び上昇して $V_{IN} - V_{OUT}$ 値に達するとともに電気コイル 40 の電流 I_L が上昇し始める。サイクルの終わりの時点である T_8 は、上述した時点 T_1 に等しく、第 1 電子制御スイッチ両端間の電圧は再びゼロになる。即ち、接点 25 の電圧が V_{IN} に達し、第 1 電子制御スイッチ 20 が ZVS 下で再び閉じられる。

40

【0054】

好適な一実施形態では、時点 T_6 において I_{MIN} と表記される電気コイル 40 の電流

50

IL 値が、VIN の値が最大となり、設計上の負荷が最大となる条件の下、時点 T8 の接点 25 の電位が VIN に達するのに必要な最小の値となるように、第 2 電子制御スイッチ 30 をオンにしている時間を選定する。さらに好適な一実施形態では、第 2 電子制御スイッチ 30 をオンにしている時間を IMIN が VIN の関数となるように選定する。第 3 電子制御スイッチ 60 の動作は、電気コイル 40 の充電あるいは放電と関係しないので、サイクルを T まで広げることができる。上記のように、第 3 電子制御スイッチ 60 両端間の電圧は電圧 VL であり、それ故に第 3 電子制御スイッチ 60 は正負、両方の電圧下で動作できる必要がある。

【0055】

図 3 A は、一実施形態により、一对の磁気結合した電気コイルを備えた共振型バックコンバータ 155 のハイレベル回路図を示している。共振型バックコンバータ 155 は、入力コンデンサ 10、複数の電子制御スイッチ 20、30、60、70、第 1 電気コイル 40、出力コンデンサ 50、複数の追加のコンデンサ 80、90、100、第 2 電気コイル 190 を含む。各電子制御スイッチ 20、30、60、70 は、一実施形態で、NMOSFET である。

【0056】

入力コンデンサ 10 の第 1 端子は、第 1 電子制御スイッチ 20 のドレインに接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子はコンデンサ 100 の第 1 端子、電子制御スイッチ 30 のソース、電子制御スイッチ 70 のソース、コンデンサ 90 の第 1 端子、コンデンサ 80 の第 1 端子、電子制御スイッチ 60 のソース、出力コンデンサ 50 の第 1 端子、共有ポイントに接続される。一実施形態では、共有ポイントはアース端子となる。電子制御スイッチ 20 のソースは、電子制御スイッチ 30 のドレイン、コンデンサ 100 の第 2 端子、第 1 電気コイル 40 の第 1 端子に接続され、接点を 25 で表わす。第 1 電気コイル 40 の第 2 端子は、出力コンデンサ 50 の第 2 端子に接続される。電子制御スイッチ 70 のドレインは、コンデンサ 90 の第 2 端子と第 2 電気コイル 190 の第 1 端子に接続される。第 2 電気コイル 190 の第 2 端子は、コンデンサ 80 の第 2 端子と電子制御スイッチ 60 のドレインに接続される。電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲートは、図 12 において後述するように、制御回路（図示せず）に接続される。一次、第 2 電気コイル 40、190 は、磁気結合し、電気コイル 40、190 の第 1 端子の極性が同じになるように配置される。入力コンデンサ 10 両端間の電圧を VIN、出力コンデンサ 50 両端間の電圧を VOUT と表記する。第 1 電気コイル 40 両端間の電圧は、第 1 端子と第 2 端子間で測定し、VL と表記する。接点 25 から第 1 電気コイル 40 を流れる電流を IL と表記する。簡略化のために、共振型バックコンバータ 155 は、第 1 電気コイル 40 と第 2 電気コイル 190 の巻線比を 1 : 1 とし、ゆえに第 2 電気コイル 190 両端間の電圧も VL となる。

【0057】

図 3 B は、共振型バックコンバータ 155 の動作グラフを示し、x 軸は時間を y 軸は電圧と電流を任意の単位で表わしている。図 3 B のグラフは、電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲート - ソース電圧、電圧 VL、電流 IL を示している。簡略化のために、図 3 A と図 3 B を一緒に説明する。

【0058】

動作中、時点 T1 で電気コイル 40 の電圧 VL は VIN - VOUT に等しい。即ち接点 25 の電位は VIN である。第 1 電子制御スイッチ 20 が入ると、接点 25 の電圧が電圧 VIN に等しいため、そのスイッチングは ZVS になる。この時、電子制御スイッチ 60 はオンで、電子制御スイッチ 70 はオフである。第 2 電気コイル 190 は記憶素子電気コイル 40 と磁気結合しているので、第 2 電気コイル 190 両端間の電圧は同様に VIN - VOUT となり、電子制御スイッチ 60 がオン、即ち閉じられているので、電子制御スイッチ 70 両端間の電圧は VIN - VOUT である。

【0059】

図 1 A - 1 C に関して上述したように、第 1 電気コイル 40 の電圧 VL が正の値をとる

のに応じて、電流 I_L は線形に増加する。時点 T_2 で、第 1 電子制御スイッチ 20 が切れ、電子制御スイッチ 60 も同様に切れる。時点 T_2 以後、接点 25 のキャパシタンスの放電に応じて接点 25 の電圧が降下する。第 1 電気コイル 40 を通る電流 I_L の変化率が小さくなり始め、接点 25 の電圧が V_{OUT} より低くなるとき、即ち第 1 電気コイル 40 の電圧が負になると、電流 I_L は減少し始める。好適な一実施形態では、第 1 電気コイル 40 の電流 I_L の最大値が必要とされる負荷電流を供給するのに十分であるように第 1 電子制御スイッチ 20 をオンにしている時間を選定する。時点 T_3 で、第 1 電気コイル 40 の電圧 V_L が $-V_{OUT}$ まで降下し、第 2 電子制御スイッチ 30 両端間の電圧がゼロになる ZVS で、制御回路は第 2 電子制御スイッチ 30 をオンにする。第 1 電気コイル 40 の電圧 V_L は、第 2 電気コイル 190 にも同様に反映され、その結果、インダクタ 190 両端間の電圧は時点 T_2 以後降下する。コンデンサ 80 は充電し始め、コンデンサ 90 は放電し始める。コンデンサ 80 と 90 の容量を、時点 T_2 でコンデンサ 90 に蓄電されたエネルギーが、時点 T_3 でコンデンサ 80 に蓄電されたエネルギーよりも小さくなるように選定し、時点 T_3 で電子制御スイッチ 70 両端間の電圧がゼロとなる ZVS 下で、スイッチ 70 が入る。

【0060】

時点 T_3 後、第 1 電気コイル 40 を流れる電流 I_L が線形に値を減少させながら第 2 電子制御スイッチ 30 を流れる。時点 T_4 で、第 1 電気コイル 40 を流れる電流 I_L の値はゼロになり、その後、出力コンデンサ 50 が供給するエネルギーで、電流 I_L の値は減少し続け、負になる。時点 T_5 で、電流が I_{MIN} に達すると、第 2 電子制御スイッチ 30 が切れる。後述するように、入力電圧が最大かつ出力電流が最大である制限の下、時点 T_8 で接点 25 の電圧が V_{IN} に等しくなるように I_{MIN} を設定する。好適な一実施形態では、 I_{MIN} を V_{IN} の関数となるように設定する。接点 25 のキャパシタンスが充電されるのに応じて接点 25 の電圧が上昇すると、第 1 電気コイル 40 の電流 I_L の変化率が小さくなり始め、接点 25 の電圧が V_{OUT} に上昇する、即ち第 1 電気コイル 40 の電圧 V_L がゼロになる時点 T_6 でゼロになる。ゼロ電圧降下が第 2 電気コイル 190 に反映されると、電子制御スイッチ 70 がオンであるため、電子制御スイッチ 60 両端間の電圧降下はゼロになる。後述する制御回路は、 ZVS 下で電子制御スイッチ 60 を閉じると、第 2 電気コイル 190 間に実質、短絡を生じ、それが電気コイル 40 へ反映される。短絡により第 2 電気コイル 190 両端間の電圧はゼロのままなので、電流の変化 dI/dt もまたゼロであり、それが第 1 電気コイル 40 に反映され、その電流はコイル 190 へ誘起される。時点 T_7 でスイッチ 70 が開き、電流を逆にコイル 40 へ誘起すると、第 2 電気コイル 190 の短絡を解除して第 1 電気コイル 40 と第 1 電気コイル 40 の電圧 V_L が再び $V_{IN} - V_{OUT}$ の値に上昇し、第 1 電気コイル 40 の電流 I_L が上昇し始める。サイクルの終りである時点 T_8 は上述した時点 T_1 に等しく、第 1 電子制御スイッチ両端間の電圧は再度ゼロ、即ち接点 25 の電圧が V_{IN} に達し、第 1 電子制御スイッチ 20 は再度 ZVS 下で閉じる。電子制御スイッチ 60 と 70 は、第 1 電気コイル 40 の充電や放電に関わらず動作するので、サイクルを T まで広げることができる。

【0061】

一実施形態に関わり、図 3C は、一対の磁気結合した電気コイルを備えるが短絡路に追加のコンデンサを備えない共振型バックコンバータ 165 のハイレベル回路図を示している。図 3D は、図 3C の共振型バックコンバータ 165 の動作グラフを示し、 x 軸は時間、 y 軸は電圧と電流を任意の値で表わしている。簡略化のために、図 3C と図 3D を一緒に説明する。共振型バックコンバータ 165 は、コンデンサ 80 と 90 が設けられていないこと以外、あらゆる点で図 3A の共振型バックコンバータ 155 と同様な構成である。図 3D のグラフは電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲート・ソース電圧、電圧 V_L 、電流 I_L を示している。

【0062】

図 3A と 3B に関して上述したように、動作中、時点 T_2 で電子制御スイッチ 60 が切れず、時点 T_3 で電子制御スイッチ 70 が入らないこと以外、共振型バックコンバータ 1

10

20

30

40

50

65は、あらゆる点で、共振型バックコンバータ155と同様に動作する。上述のように、時点T2で電子制御スイッチ20が切れるので、時点T3で $-V_{OUT}$ に達するまで電圧 V_L が降下する。共振型バックコンバータ165において、電圧 V_L がゼロに達すると電子制御スイッチ60が切れ、電子制御スイッチ70が入る。電圧 V_L と電子制御スイッチ60両端間の電圧がゼロとなるので、電子制御スイッチ70両端間の電圧もゼロになる。従って、電子制御スイッチ70のスイッチングはZVS下で行われる。

【0063】

一実施形態に関わり、図4Aは共振型ブーストコンバータ200のハイレベル回路図を示し、図4Bは図4Aの共振型ブーストコンバータ200の動作グラフを示す。ここで、x軸は時間を、y軸は電圧を表す。簡略化のために、図4Aと図4Bを一緒に説明する。出力コンデンサであるコンデンサ10の電圧を V_{OUT} 、入力コンデンサであるコンデンサ50の電圧を V_{IN} と表記し、電気コイル40と190の極性が反転すること以外、共振型ブーストコンバータ200は、あらゆる点で図3Aの共振型バックコンバータ155と同様の構成である。図4Bのグラフは、電子制御スイッチ20、30、60、70のゲート-ソース電圧、電圧 V_L 、電流 I_L を示す。

【0064】

動作中、時点T1で第1電気コイル40の電圧 V_L が V_{IN} なので、接点25の電位はゼロになる。電子制御スイッチ30をオンにするスイッチングはZVSであり、電子制御スイッチ60が切れ、電子制御スイッチ70が入る。第2電気コイル190は第1電気コイル40と磁気結合しているので、第2電気コイル190両端間の電圧は同様に V_{IN} であり、電子制御スイッチ70がオン、即ち閉じているので電子制御スイッチ60両端間の電圧は V_{IN} である。

【0065】

第1電気コイル40の正電圧に応じて電流 I_L が線形に増加する。時点T2で電子制御スイッチ30が切れ、電子制御スイッチ70も同様に切れる。時点T2以後、接点25のキャパシタンスの充電に応じて接点25の電圧が上昇し始める。第1電気コイル40の電流 I_L の変化率が小さくなり始め、接点25の電圧が V_{IN} に達するとき、即ち第1電気コイル40の電圧 V_L が負になると、電流が減少し始める。好適な一実施形態では、第1電子制御スイッチ20をオンにしている時間を、電流 I_L の最大値が必要とされる負荷電流を供給するのに十分であるように選定する。時点T3で、第1電気コイル40の電圧 V_L が $-(V_{OUT} - V_{IN})$ に降下すると、電子制御スイッチ20両端間の電圧がゼロとなり、制御回路は電子制御スイッチ20をオンにする。第1電気コイル40の電圧 V_L は、同様に第2電気コイル190に反映され、その結果インダクタ190両端間の電圧は時点T2以後、降下する。コンデンサ90が充電し始め、コンデンサ80は放電し始める。コンデンサ80と90の容量は、時点T2でコンデンサ80に蓄えられるエネルギーが、時点T3でコンデンサ90に蓄えられるエネルギーよりも小さくなるように選定される。これにより時点T3で電子制御スイッチ60両端間の電圧はゼロであり、従ってスイッチ60はZVSの下でスイッチが入る。時点T3以後、第1電気コイル40を流れる電流 I_L は、その大きさを線形に減少させて電子制御スイッチ20を流れる。時点T4で第1電気コイル40を流れる電流 I_L の大きさはゼロであり、その後、出力コンデンサ10が供給したエネルギーで、電流 I_L の大きさは減少し続け、負になる。時点T5で第1電気コイル40を流れる電流 I_L が I_{MIN} に達すると電子制御スイッチ20が切れる。後述するように、最大入力電圧、最大出力電流の制限の下、接点25での電圧が時点T8でゼロになるように I_{MIN} を設定するのが好ましい。好適な一実施形態では、 I_{MIN} を V_{IN} の関数となるように設定する。接点25のキャパシタンスが放電されるのに応じて接点25の電圧が降下すると、第1電気コイル40の電流 I_L の変化率が小さくなり始め、接点25の電圧が V_{IN} に降下する時点T6、即ち第1電気コイル40の電圧 V_L がゼロになるときに、ゼロ電圧降下が第2電気コイル190へ反映されると、電子制御スイッチ60が入っているので、電子制御スイッチ70両端間の電圧降下はゼロとなる。後述する制御回路はZVSの下で電子制御スイッチ70を閉じ、それにより第2電気コ

10

20

30

40

50

イル 190 の両端で効果的に短絡を生じ、それが第 1 電気コイル 40 へ反映される。短絡により第 2 電気コイル 190 両端間の電圧はゼロのままなので、電流変化 dI/dt もゼロである。時点 T7 でスイッチ 60 が入ると、第 2 電気コイル 190 と第 1 電気コイル 40 の短絡が解除され、電圧 V_L は再度 V_{IN} 値へ上昇し、電流 I_L も増加し始める。サイクルの終わりである時点 T8 は上述したように時点 T1 に等しく、電子制御スイッチ 30 両端間の電圧は再度ゼロ、即ち接点 25 の電圧がゼロに達し、電子制御スイッチ 30 は再度 ZVS の下で閉じられる。電子制御スイッチ 60 と 70 は、第 1 電気コイル 40 の充電や放電に関わらず動作するので、サイクルを T まで拡張することができる。

【0066】

一実施形態に関わり、図 4C は、短絡ループに蓄電コンデンサを備えない共振型ブーストコンバータ 210 のハイレベル回路図を示し、図 4D は図 4C の共振型ブーストコンバータ 210 の動作グラフを示す。ここで、x 軸は時間を y 軸は電圧と電流を任意単位で表している。簡略化のために、図 4C と 4D を一緒に説明する。コンデンサ 80 と 90 が提供されていない以外、共振型ブーストコンバータ 210 は、あらゆる点で、図 4A の共振型ブーストコンバータ 200 と同様な構成である。図 4D のグラフは、電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲート・ソース電圧、電圧 V_L 、電流 I_L を示している。

【0067】

図 4A と 4B に関して上述したように、動作中、時点 T2 で電子制御スイッチ 70 が切れず、時点 T3 で電子制御スイッチ 60 が入らないこと以外、共振型ブーストコンバータ 210 は、あらゆる点で、共振型ブーストコンバータ 200 と同様に動作する。上述のように、時点 T2 で電子制御スイッチ 30 が切れるので、時点 T3 で $(V_{OUT} - V_{IN})$ に達するまで第 1 電気コイル 40 の電圧 V_L が降下する。共振型ブーストコンバータ 210 において、電圧 V_L がゼロに達すると、電子制御スイッチ 70 が切れ、電子制御スイッチ 60 が入る。電圧 V_L がゼロで、電子制御スイッチ 70 両端間の電圧がゼロであるため、電子制御スイッチ 60 両端間の電圧もゼロである。このように、電子制御スイッチ 60 は ZVS の下でスイッチが入る。

【0068】

図 5A は、共振型フライバック・コンバータ 300 のハイレベル回路図を示し、入力コンデンサ 10、複数の電子制御スイッチ 20、30、60、70、複数の電気コイル 40、180、190、出力コンデンサ 50、複数の追加のコンデンサ 80、90、100、110 を含む。各電子制御スイッチ 20、30、60、70 は、一実施形態では、NMOSFET で構成される。

【0069】

入力コンデンサ 10 の第 1 端子は、電気コイル 40 の第 1 端子に接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子は、コンデンサ 100 の第 1 端子、電子制御スイッチ 20 のソース、共有ポイントに接続され、一実施形態では、共有ポイントはアース端子である。コンデンサ 100 の第 2 端子は、電気コイル 40 の第 2 端子と電子制御スイッチ 20 のドレインに接続され、接点を 25 と表記する。出力コンデンサ 50 の第 1 端子は、電気コイル 180 の第 1 端子に接続される。出力コンデンサ 50 の第 2 端子は、電子制御スイッチ 30 のソース、コンデンサ 110 の第 1 端子、共有ポイントに接続される。電気コイル 180 の第 2 端子は、コンデンサ 110 の第 2 端子と電子制御スイッチ 30 のドレインに接続され、接点を 35 と表記する。電気コイル 190 の第 1 端子は、コンデンサ 90 の第 1 端子と電子制御スイッチ 70 のドレインに接続される。コンデンサ 90 の第 2 端子は、電子制御スイッチ 70 のソース、コンデンサ 80 の第 1 端子、電子制御スイッチ 60 のソース、共有ポイントに接続される。コンデンサ 80 の第 2 端子は、電気コイル 190 の第 2 端子と電子制御スイッチ 60 のドレインに接続される。図 12 に関して後述するように、電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲートは、制御回路（図示せず）に接続される。電気コイル 40、180、190 は相互に磁気結合され、簡略化のため、電気コイル 40、180、190 の巻線比を 1:1:1 とし、電気コイル 40 の第 1 端子、電気コイル 180 の第 2 端子、電気コイル 190 の第 1 端子の極性が同じになるように配置されるものと

10

20

30

40

50

して共振型フライバック・コンバータ 300 を説明する。入力コンデンサ 10 両端間の電圧を V_{IN} 、出力コンデンサ 50 両端間の電圧を V_{OUT} と表記する。電気コイル 40 両端間の電圧は、その第 1 端子と第 2 端子間で測定し、 V_L と表記する。電気コイル 40 を流れる電流を I_P 、電気コイル 180 を流れる電流を I_S と表記する。

【0070】

図 5 B は、図 5 A の共振型フライバック・コンバータ 300 の動作グラフを示し、 x 軸は時間、 y 軸は電圧を任意単位で表わしている。図 5 B のグラフは、電子制御スイッチ 20、30、60、70 のゲート・ソース電圧と電圧 V_L を示している。簡略化のため、図 5 A と 5 B の動作を一緒に説明する。

【0071】

時点 T_1 で、電気コイル 40 の電圧 V_L は V_{IN} で、従って、接点 25 の電位はゼロである。電子制御スイッチ 20 が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、それは ZVS の下のスイッチングとなる。電子制御スイッチ 60 はオンであり、電子制御スイッチ 70 はオフである。電気コイル 190 は電気コイル 40 と磁気結合しているので、電気コイル 190 両端間の電圧は同様に V_{IN} となり、電子制御スイッチ 60 がオン、即ち閉じられているので、電子制御スイッチ 70 両端間の電圧は V_{IN} である。電気コイル 180 両端間の電圧は同様に V_{IN} である。

【0072】

電気コイル 40 の正電圧に応じて、電気コイル 40 の電流 I_P は線形に増加する。時点 T_2 で第 1 電子制御スイッチ 20 が切れ、電子制御スイッチ 60 も同様に切れる。好適な一実施形態では、時点 T_2 で電気コイル 40 の電流 I_P が所望の出力電圧 V_{OUT} を提供するに必要な最小値に上昇するように電子制御スイッチ 20 をオンにしている時間を設定する。このように電気コイル 40 の電流 I_P が電気コイル 180 に電流 I_S として誘起されるため、コンデンサ 110 を放電すると、接点 35 の電位が降下して時点 T_3 でゼロになり、電圧 V_L は $-V_{OUT}$ へ降下する。コンデンサ 80 が充電し始め、コンデンサ 90 が放電し始める。時点 T_2 でコンデンサ 90 に蓄えられるエネルギーが、時点 T_3 でコンデンサ 80 に蓄えられるエネルギーよりも小さくなるように、コンデンサ 80 と 90 の容量を選定する。これにより、時点 T_3 で電子制御スイッチ 70 両端間の電圧がゼロになり、従って ZVS の下でスイッチ 70 が入る。

【0073】

時点 T_3 以後、電気コイル 180 の電流 I_S が線形に減少して電子制御スイッチ 30 を流れる。時点 T_4 で、電気コイル 180 の電流 I_S はゼロとなり、出力コンデンサ 50 が供給するエネルギーで、減少し続けて負になる。時点 T_5 で電流が I_{MIN} に達すると、第 2 電子制御スイッチ 30 が切れる。最大入力電圧及び最大出力電流の制限の下で、時点 T_8 での接点 25 の電圧がゼロに達するように I_{MIN} を設定する。好適な一実施形態では、 V_{IN} の関数となるように I_{MIN} を設定する。接点 35 のキャパシタンスが充電されるのに応じて接点 35 の電圧が上昇すると、電気コイル 180 の電流 I_S の変化率が小さくなり始め、接点 35 の電圧が V_{OUT} に上昇する時点 T_6 、即ち電気コイル 180 の電圧 V_L がゼロになるときに、ゼロになる。ゼロ電圧降下が電気コイル 190 に反映されると、電子制御スイッチ 70 はオンであるので、電子制御スイッチ 60 両端間の電圧降下はゼロとなる。後述する制御回路は、 ZVS の下で電子制御スイッチ 60 を閉じるので、電気コイル 190 の両端で効果的な短絡を生じ、それが電気コイル 40 と電気コイル 180 に反映される。短絡により電気コイル 190 両端間の電圧はゼロのままなので、電流変化 di/dt もゼロである。時点 T_7 でスイッチ 70 が開くと、電気コイル 190、180、40 の短絡が解除され、電流 I_P はコンデンサ 100 として示す、接点 25 のキャパシタンスを放電するので、電気コイル 40 の電圧が V_{IN} 値へ再び上昇する。サイクルの終わりである時点 T_8 は、上述するように時点 T_1 に等しく、電子制御スイッチ 20 両端間の電圧は再度ゼロ、即ち接点 25 の電圧はゼロに達し、電子制御スイッチ 20 は再度 ZVS の下で閉じられる。電子制御スイッチ 60 と 70 は、電気コイル 40 の充電や放電に関わらず動作するので、サイクルを T まで拡張することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 4 】

一実施形態に関わり、図 5 C は短絡回路ループにコンデンサを備えない共振型フライバック・コンバータ 3 1 0 のハイレベル回路図を示し、図 5 D は図 5 C の共振型フライバック・コンバータ 3 1 0 の動作グラフを示す。ここで、x 軸は時間を、y 軸は電圧を任意単位で表している。簡略化のために、図 5 C と図 5 D を一緒に説明する。コンデンサ 8 0 と 9 0 を備えないこと以外、共振型フライバック・コンバータ 3 1 0 はあらゆる点で図 5 A の共振型フライバック・コンバータ 3 0 0 と同様な構成である。図 5 D のグラフは、電子制御スイッチ 2 0、3 0、6 0、7 0 のゲート・ソース電圧と電圧 V_L を示している。

【 0 0 7 5 】

図 5 A と 5 B に関して上述したように、動作中、時点 T_2 で電子制御スイッチ 6 0 が切れず、時点 T_3 で電子制御スイッチ 7 0 が入らないこと以外、共振型フライバック・コンバータ 3 1 0 は、あらゆる点で、共振型フライバック・コンバータ 3 0 0 と同様に動作する。上述のように、時点 T_2 で電子制御スイッチ 2 0 が切れるので、時点 T_3 で $-V_{OUT}$ に達するまで電圧 V_L が降下する。共振型フライバック・コンバータ 3 1 0 において、電圧 V_L がゼロに達すると、電子制御スイッチ 6 0 が切れ、電子制御スイッチ 7 0 が入る。電圧 V_L がゼロ、電子制御スイッチ 6 0 両端間の電圧がゼロであるので、電子制御スイッチ 7 0 両端間の電圧もゼロとなる。従って、電子制御スイッチ 7 0 は ZVS の下でスイッチが入る。

【 0 0 7 6 】

一実施形態に関わり、図 6 A は、複数の磁気結合した電気コイルを備えたシングルエンド・フォワード型コンバータ 4 0 0 のハイレベル回路図を示し、入力コンデンサ 1 0、複数の電子制御スイッチ 2 0、6 0、7 0、2 0 0、電気コイル 1 5 0、複数の電気コイル 4 0、1 6 0、1 7 0、1 9 0、出力コンデンサ 5 0、コンデンサ 1 0 0、一対のダイオード 1 3 0、1 4 0 を含む。一実施形態では、電子制御スイッチ 2 0、6 0、7 0、2 0 0 は $NMOSFET$ である。

【 0 0 7 7 】

入力コンデンサ 1 0 の第 1 端子は電気コイル 4 0 の第 1 端子と電気コイル 1 6 0 の第 1 端子に接続されている。入力コンデンサ 1 0 の第 2 端子は、コンデンサ 1 0 0 の第 1 端子、電子制御スイッチ 2 0 のソース、電子制御スイッチ 2 0 0 のソース、共有ポイントに接続され、一実施形態では、共有ポイントはアース端子となる。コンデンサ 1 0 0 の第 2 端子は、電気コイル 4 0 の第 2 端子と電子制御スイッチ 2 0 のドレインに接続され、その接点を 2 5 と表記する。電気コイル 1 6 0 の第 2 端子は、電子制御スイッチ 2 0 0 のドレインに接続される。電気コイル 1 7 0 の第 1 端子は、ダイオード 1 3 0 のアノードに接続される。電気コイル 1 7 0 の第 2 端子は、ダイオード 1 4 0 のアノード、出力コンデンサ 5 0 の第 1 端子、共有ポイントに接続される。ダイオード 1 4 0 のカソードは、ダイオード 1 3 0 のカソードと電気コイル 1 5 0 の第 1 端子に接続される。電気コイル 1 5 0 の第 2 端子は、出力コンデンサ 5 0 の第 2 端子に接続される。電気コイル 1 9 0 の第 1 端子は電子制御スイッチ 7 0 のドレインに接続され、電気コイル 1 9 0 の第 2 端子は電子制御スイッチ 6 0 のドレインに接続される。電子制御スイッチ 6 0 のソースは電子制御スイッチ 7 0 のソースと共有ポイントに接続される。電気コイル 4 0、1 6 0、1 7 0、1 9 0 は磁気結合され、電気コイル 4 0 の第 1 端子、電気コイル 1 6 0 の第 2 端子、電気コイル 1 7 0 の第 1 端子、電気コイル 1 9 0 の第 1 端子は極性が同じになるように配置される。電気コイル 4 0 両端間の電圧は、第 1 端子と第 2 端子間で測定され、 V_L と表記する。簡略化のために、フォワード型コンバータ 4 0 0 は、電気コイル 4 0、1 6 0、1 7 0、1 9 0 の巻線比率が 1 : 1 : 1 : 1 であるとして説明するが、これに限定するものではない。

【 0 0 7 8 】

図 6 B は図 6 A のシングルエンド・フォワード型コンバータ 4 0 0 の動作のグラフを示し、x 軸は時間を y 軸は電圧を任意単位で表している。図 6 B のグラフは電子制御スイッチ 2 0、6 0、7 0、2 0 0 のゲート・ソース電圧と電圧 V_L を示す。簡略化のために、図 6 B と図 6 A の動作を一緒に説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 9 】

動作中、時点 T 1 で電圧 V L は V I N であるので、接点 2 5 の電位はゼロである。電子制御スイッチ 2 0 が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングは Z V S で行われる。電子制御スイッチ 6 0 はオンであり、電子制御スイッチ 7 0 はオフである。さらに、電子制御スイッチ 2 0 0 がオフなので、シングルエンド・フォワード型コンバータ 4 0 0 は、この段階では従来技術として知られている標準的シングルエンド・フォワード型コンバータと同様に動作する。

【 0 0 8 0 】

時点 T 2 で電子制御スイッチ 2 0 が切れる。接点 2 5 のキャパシタンスの充電に応じて、接点 2 5 の電圧は上昇し、従って電圧 V L は降下し始める。電圧 V L がゼロになる時、電気コイル 1 9 0 両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 6 0 両端間の電圧はゼロなので、電子制御スイッチ 7 0 両端間の電圧もゼロになる。電子制御スイッチ 7 0 が入ると、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングは Z V S で行われる。電子制御スイッチ 6 0 が切れる。接点 2 5 のキャパシタンスは充電し続けて時点 T 3 で $2 * V I N$ に達し、その後電圧 V L が $- V I N$ となると、電子制御スイッチ 2 0 0 のドレインにおける電位はゼロになる。時点 T 3 で電子制御スイッチ 2 0 0 が入るとき、その両端の電圧がゼロなので、そのスイッチングは Z V S で行われる。

【 0 0 8 1 】

当業者に知られているように、シングルエンド・フォワード型コンバータにおいて、電子制御スイッチ 2 0 がオンの間に蓄えられた磁気エネルギーは、サイクルの終了までに放電されなければいけない。それを行う方法は、ヴィンシアレリによる 1 9 8 4 年 4 月 3 日発行の米国特許第 4 , 4 4 1 , 1 4 6 を含む多くの文献に記載されており、その全体の内容を参照により本願に援用する。本実施形態において、蓄えられたエネルギーは電気コイル 1 6 0 を通して放電され、電気コイル 1 6 0 を流れる電流は時間と共に線形に減少し、時点 T 4 でゼロとなる。電流は減少し続け、時点 T 4 以後、負となる。本明細書で後述するように、時点 T 8 で接点 2 5 の電位がゼロに達するために、時点 T 5 で接点 2 5 のキャパシタンスが十分放電するのに必要な最小負電流に達する電流レベルとなるように、電子制御スイッチ 2 0 0 がオンである時間を選定する。時点 T 5 で電子制御スイッチ 2 0 0 が切れると、接点 2 5 のキャパシタンスの放電に応じて、接点 2 5 の電圧が降下し始め、時点 T 6 で V I N に達する。従って、電圧 V L が上昇し、時点 T 6 でゼロに達する。これにより、電気コイル 1 9 0 両端間の電圧もゼロで、電子制御スイッチ 7 0 両端間の電圧がゼロなので、電子制御スイッチ 6 0 両端間の電圧もゼロである。

【 0 0 8 2 】

電子制御スイッチ 6 0 が入るとき、その両端の電圧がゼロなので、そのスイッチングは Z V S で行われる。ここで、電気コイル 1 6 0 を流れる電流が電気コイル 1 9 0 に誘起され、電圧 V L がゼロである限り電流は固定値を維持する。時点 T 7 で電子制御スイッチ 7 0 が切れると、電気コイル 1 9 0 を流れる電流は電気コイル 4 0 に誘起される。接点 2 5 のキャパシタンスの放電に応じて接点 2 5 の電圧は降下し続け、時点 T 8 でゼロに達する。従って、電圧 V L が上昇し、時点 T 8 で V I N に達する。ここで、電子制御スイッチ 2 0 が入ると、その両端の電圧がゼロなので、そのスイッチングオンは Z V S である。

【 0 0 8 3 】

ダイオード 1 3 0 、 1 4 0 と協働する電気コイル 1 5 0 、 1 7 0 の動作は当業者によく知られている。電気コイル 1 7 0 両端間の電圧は V L である。電圧 V L が V I N の時、ダイオード 1 3 0 が導通し、電気コイル 1 5 0 を流れる電流が上昇する。電圧 V L が $- V I N$ に等しくなると、ダイオード 1 3 0 を導通せず、従って電気コイル 1 5 0 を流れる電流は減少する。

【 0 0 8 4 】

図 7 は、従来技術に関わり、フルブリッジ・フェイズシフト型コンバータ 5 0 0 のハイレベル回路図を示している。フルブリッジ・フェイズシフト型コンバータ 5 0 0 は、入力コンデンサ 1 0 、出力コンデンサ 5 0 、一対のダイオード 1 3 0 、 1 4 0 、複数の追加コ

10

20

30

40

50

ンデンサ 220、230、270、280、複数の電子制御スイッチ 240、250、290、300、複数の電気コイル 150、260、310、320 を含む。電子制御スイッチ 240、250、290、300 は一般的には NMOSFET である。

【0085】

入力コンデンサ 10 の第 1 端子は、コンデンサ 220 の第 1 端子、電子制御スイッチ 240 のドレイン、コンデンサ 270 の第 1 端子、電子制御スイッチ 290 のドレインに接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子は、コンデンサ 230 の第 1 端子、電子制御スイッチ 250 のソース、コンデンサ 280 の第 1 端子、電子制御スイッチ 300 のソース、及び通常、アース端子となる共有ポイント（図示せず）に接続される。コンデンサ 220 の第 2 端子は、コンデンサ 230 の第 2 端子、電子制御スイッチ 240 のソース、電子制御スイッチ 250 のドレイン、電気コイル 260 の第 1 端子に接続される。電気コイル 260 の第 2 端子は、コンデンサ 270 の第 2 端子、コンデンサ 280 の第 2 端子、電子制御スイッチ 290 のソース、電子制御スイッチ 300 のドレインに接続される。出力コンデンサ 50 の第 1 端子は、電気コイル 150 の第 1 端子に接続され、出力コンデンサ 50 の第 2 端子は、電気コイル 310 の第 1 端子、電気コイル 320 の第 1 端子、共有ポイントに接続される。電気コイル 150 の第 2 端子は、ダイオード 130 のカソードとダイオード 140 のカソードに接続される。電気コイル 310 の第 2 端子はダイオード 130 のアノードに接続され、電気コイル 320 の第 2 端子はダイオード 140 のアノードに接続される。電気コイル 260、310、320 は磁気結合し、電気コイル 260 の第 2 端子、電気コイル 310 の第 2 端子、電気コイル 320 の第 1 端子の極性が同じになるように配置される。フルブリッジ・フェイズシフト型コンバータ 500 は、少なくとも入力電圧と出力電流の範囲の固定の周波数で動作しながら、ZVS を可能にする。フルブリッジ・フェイズシフト型コンバータ 500 の動作は、従来技術として良く知られているので、簡略化のために、これ以上説明しない。

【0086】

一実施形態に関わり、図 8 A は複数の磁気結合した電気コイルを備えたプッシュプル型コンバータ 550 のハイレベル回路図を示している。後述するように、プッシュプル型コンバータ 550 は、入力電圧と負荷電流の範囲で、図 7 のフルブリッジ・フェイズシフト型コンバータ 500 と同様な構成で動作するゼロ電圧スイッチング（ZVS）を可能にする。プッシュプル型コンバータ 550 は、入力コンデンサ 10、複数の電子制御スイッチ 20、60、70、200、電気コイル 150、複数の電気コイル 40、160、190、310、320、出力コンデンサ 50、複数の追加コンデンサ 80、90、100、330、一対のダイオード 130、140 を含む。一実施形態では、電子制御スイッチ 20、60、70、200 は NMOSFET で構成される。

【0087】

入力コンデンサ 10 の第 1 端子は、極性を点で表した電気コイル 40 の第 1 端子と電気コイル 160 の第 1 端子に接続される。入力コンデンサ 10 の第 2 端子は、コンデンサ 100 の第 1 端子、電子制御スイッチ 20 のソース、コンデンサ 330 の第 1 端子、電子制御スイッチ 200 のソース、共有ポイント（図示せず）に接続される。一実施形態では共有ポイントはアース端子となる。コンデンサ 100 の第 2 端子は、極性を点で表した電気コイル 40 の第 2 端子と電子制御スイッチ 20 のドレインに接続され、接点を 25 と表記する。電気コイル 160 の第 2 端子は、電子制御スイッチ 200 のドレインとコンデンサ 330 の第 2 端子に接続され、接点を 205 と表記する。点で極性を表した電気コイル 310 の第 1 端子は、ダイオード 130 のアノードに接続される。電気コイル 310 の第 2 端子は、極性を点で表した電気コイル 320 の第 1 端子、出力コンデンサ 50 の第 1 端子、共有ポイントに接続される。電気コイル 320 の第 2 端子はダイオード 140 のアノードに接続される。極性を点で表した電気コイル 150 の第 1 端子は、ダイオード 130 のカソードとダイオード 140 のカソードに接続される。電気コイル 150 の第 2 端子は出力コンデンサ 50 の第 2 端子に接続される。極性を点で表した電気コイル 190 の第 1 端子は、電子制御スイッチ 70 のドレインとコンデンサ 90 の第 1 端子に接続される。電気

コイル 190 の第 2 端子は電子制御スイッチ 60 のドレインとコンデンサ 80 の第 1 端子に接続される。電子制御スイッチ 60 のソースはコンデンサ 80 の第 2 端子、コンデンサ 90 の第 2 端子、電子制御スイッチ 70 のソース、共有ポイントに接続される。電気コイル 40、160、310、320、190 は磁気結合し、実施形態では巻線比が 1 : 1 : 1 : 1 : 1 としているがこれに限定するものではない。電気コイル 40 両端間の電圧は、第 1 端子と第 2 端子の間で測定され、 V_L と表記する。

【0088】

図 8 B は、図 8 A のプッシュプル型コンバータ 550 の動作グラフを示し、 x 軸は時間を y 軸は電圧を任意単位で表している。図 8 B のグラフは電子制御スイッチ 20、60、70、200 のゲート - ソース電圧と電圧 V_L を示している。簡略化のために、図 8 A と 8 B の動作を一緒に説明する。

10

【0089】

動作中、時点 T_1 で電圧 V_L は V_{IN} であり、接点 25 の電位は従ってゼロになる。電子制御スイッチ 20 がはいるとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングは ZVS で行われる。電子制御スイッチ 70 はオン、電子制御スイッチ 60 はオフである。

【0090】

時点 T_2 は出力電圧を維持する制御回路フィードバックループに応じて選択され、後述するように、この時点で電子制御スイッチ 20 を切る。接点 25 の電位は接点 25 のキャパシタンスの充電に応じて上昇を開始して時点 T_3 で V_{IN} に達する、即ち電圧 V_L は時点 T_3 でゼロに降下する。電圧 V_L がゼロになると、電気コイル 190 両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 70 両端間の電圧がゼロなので、電子制御スイッチ 60 両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 60 が入り、そのスイッチングは ZVS で行われる。ここで、電気コイル 150 を流れる電流は電気コイル 190 に反映される。

20

【0091】

時点 T_4 で電子制御スイッチ 70 が切れる。接点 25 のキャパシタンスの充電に応じて、接点 25 の電圧は、時点 T_5 で $2 * V_{IN}$ に達する、即ち電圧 V_L が $-V_{IN}$ に等しくなるまで、時点 T_1 と対称になるように上昇する。さらに、時点 T_4 以後、接点 205 の電圧は、接点 205 のキャパシタンスの放電に応じて降下し、時点 T_5 でゼロに達する。電子制御スイッチ 200 が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS で行われる。

30

【0092】

時点 T_6 で、電子制御スイッチ 200 が切れる。接点 25 の電圧が降下し始め、接点のキャパシタンスの放電に応じて、時点 T_7 で V_{IN} に達する、即ち時点 T_7 で電圧 V_L がゼロになる。電圧 V_L がゼロのため、電気コイル 190 両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 60 両端間の電圧がゼロのため、電子制御スイッチ 70 両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 70 が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS で行われる。従って、電圧 V_L はゼロに固定され、電気コイル 150 を流れる電流は電気コイル 190 に反映される。

【0093】

時点 T_8 で電子制御スイッチ 60 が切れ、接点 25 の電圧が接点 25 のキャパシタンスの放電に応じて降下し続け、時点 T_9 でゼロに達する。即ち時点 T_9 で電圧 V_L は V_{IN} に上昇する。時点 T_9 で電子制御スイッチ 20 が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS となる。

40

【0094】

一実施形態に関わり、図 9 A はハーフブリッジフェーズシフト型コンバータ 560 を示している。後述するように、ハーフブリッジフェーズシフト型コンバータ 560 は、入力電圧と出力電流の範囲で図 7 のフルブリッジ・フェーズシフト型コンバータと同様な構成で動作し、ゼロ電圧スイッチング (ZVS) を可能にする。ハーフブリッジ型コンバータ 560 は、入力コンデンサ 10、出力コンデンサ 50、一対のダイオード 130、140、複数の追加コンデンサ 80、90、220、230、270、280、複数の電子制御

50

スイッチ 60、70、240、250、複数の電気コイル 150、190、260、310、320を含む。電子制御スイッチ 60、70、240、250は、一実施形態ではN MOS F E Tで構成される。

【0095】

入力コンデンサ 10の第1端子は、コンデンサ 220の第1端子、電子制御スイッチ 240のドレイン、コンデンサ 270の第1端子に接続される。入力コンデンサ 10の第2端子は、コンデンサ 230の第1端子、電子制御スイッチ 250のソース、コンデンサ 280の第1端子、共有ポイント（図示せず）に接続される。一実施形態では共通ポイントはアース端子となる。コンデンサ 220の第2端子は、コンデンサ 230の第2端子、電子制御スイッチ 240のソース、電子制御スイッチ 250のドレイン、電気コイル 260の第1端子に接続される。その接点を 245と表記する。極性を点で表した電気コイル 260の第2端子は、コンデンサ 270の第2端子とコンデンサ 280の第2端子に接続される。出力コンデンサ 50の第1端子は、電気コイル 150の第1端子に接続され、出力コンデンサ 50の第2端子は、電気コイル 310の第1端子、極性を点で表した電気コイル 320の第1端子、共有ポイントに接続される。極性を点で表した電気コイル 150の第2端子はダイオード 130のカソードとダイオード 140のカソードに接続される。極性を点で表した電気コイル 310の第2端子はダイオード 130のアノードに接続され、電気コイル 320の第2端子はダイオード 140のアノードに接続される。極性を点で表した電気コイル 190の第1端子は電子制御スイッチ 70のドレインとコンデンサ 90の第1端子に接続される。電気コイル 190の第2端子はドレイン電子制御スイッチ 60のドレインとコンデンサ 80の第1端子に接続される。電子制御スイッチ 60のソースは、コンデンサ 80の第2端子、コンデンサ 90の第2端子、電子制御スイッチ 70のソース、共有ポイントに接続される。電気コイル 260、310、320、190は磁気結合されている。コンデンサ 270、280は、入力電圧 V_{IN} を電圧分割するように配置され、従って電気コイル 260の第2端子の電圧は $V_{IN}/2$ に維持される。

【0096】

図 9 Bは図 9 Aのハーフブリッジ型コンバータ 560の動作グラフを示し、ここで x 軸は時間を y 軸は電圧を任意単位で表している。図 9 Bのグラフは、電子制御スイッチ 60、70、240、250のゲート - ソース電圧と電圧 V_L を示している。簡略化のために、図 9 Aと 9 Bの動作を一緒に説明する。

【0097】

動作中、時点 T_1 で電圧 V_L は $V_{IN}/2$ 、従って接点 245の電位は V_{IN} となる。電子制御スイッチ 240が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS で行われる。電子制御スイッチ 70はオン、電子制御スイッチ 60はオフである。

【0098】

時点 T_2 で電子制御スイッチ 240が切れる。接点 245のキャパシタンスの放電に応じて、接点 245の電位が降下し始め、時点 T_3 で $V_{IN}/2$ に達する。即ち時点 T_3 で V_L はゼロになる。電圧 V_L がゼロになると、電気コイル 190両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 70両端間の電圧がゼロのため、電子制御スイッチ 60両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ 60が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS で行われる。電気コイル 150を流れる電流は電気コイル 190に反映される。

【0099】

時点 T_4 で電子制御スイッチ 70が切れる。接点 245のキャパシタンスの放電に応じて、接点 245の電圧が降下し続け、時点 T_5 でゼロに達する。即ち、電圧 V_L は $-V_{IN}/2$ になる。時点 T_5 で電子制御スイッチ 250が入るとき、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングは ZVS になる。時点 T_5 から T_9 までの動作は、時点 T_1 から T_5 までの動作と完全に対称になる。

【0100】

時点 T_6 で電子制御スイッチ 250が切れると、接点 245の電圧が接点 245のキャ

10

20

30

40

50

パシタンスの充電に応じて上昇し始め、時点T7で $V_{IN}/2$ に達する。即ち電圧 V_L は時点T7でゼロになる。電圧 V_L がゼロのため、電気コイル190両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ60両端間の電圧はゼロなので、電子制御スイッチ70両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ70が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングはZVSで行われる。電気コイル150を流れる電流は電気コイル190へ反映される。

【0101】

時点T8で電子制御スイッチ60が切れると、接点245のキャパシタンスの充電に応じて接点245の電圧が上昇し続けて時点T9で V_{IN} に達し、電気コイル両端間の電圧 V_L は上昇し $V_{IN}/2$ に達する。時点T9で電子制御スイッチ240が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングはZVSで行われる。

10

【0102】

一実施形態に関わり、図10Aは、複数の磁気結合した電気コイルの同期整流による、プッシュプル型コンバータ600のハイレベル回路図を示している。プッシュプル型コンバータ600は、ダイオード130、140を電子制御スイッチ130、140に置き換える以外は、図8Aのプッシュプル型コンバータ550と同様な構成である。また、電気コイル150のインダクタンスは各半サイクル中、電流が負となるように選定される。一実施形態では電子制御スイッチ130、140はそれぞれNMOSFETで構成される。電子制御スイッチ130のソースは電気コイル310の第1端子に接続され、電子制御スイッチ140のソースは電気コイル320の第2端子に接続される。電子制御スイッチ130のドレインは、電子制御スイッチ140のドレインと電気コイル150の第1端子に接続される。電気コイル40、160、310、320は相互に磁気結合され、別に電気コイル150、190は相互に磁気結合される。簡略化のために、磁気結合された対の電気コイル間の巻線比を1:1として、プッシュプル型コンバータ600を説明する。電気コイル40、160、310、320は、電気コイル40の第1端子、電気コイル160の第2端子、電気コイル310の第1端子、電気コイル320の第1端子の極性が同じになるように配置されている。電気コイル150、190は、電気コイル190の第1端子と電気コイル150の第1端子の極性が同じになるように配置されている。電気コイル40両端間の電圧を V_L と表記し、第1端子と第2端子間で測定される。電気コイル150を流れる電流は I_L と表記する。

20

30

【0103】

図10Bは、図10Aのプッシュプル型コンバータ600の動作グラフを示し、x軸は時間をy軸は電圧を任意単位で表わしている。図10Bのグラフは、電子制御スイッチ20、60、70、130、140、200のゲート-ソース電圧と電圧 V_L を示している。簡略化のために、図10Aと10Bの動作を一緒に説明する。

【0104】

動作中、時点T1で電圧 V_L は V_{IN} であり、接点25の電位は従ってゼロである。電子制御スイッチ20が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングはZVSで行われる。電子制御スイッチ60、130もオンである。時点T2で電子制御スイッチ20が切れる。一実施形態では、所望の固定出力電圧 V_{OUT} を確保するように、電子制御スイッチ20が入っている時間を決定する。接点25のキャパシタンスの充電に応じて、接点25の電圧が上昇し、時点T3で V_{IN} に達する。従って電圧 V_L はゼロであり、各電気コイル160、310、320両端間の電圧もゼロである。電子制御スイッチ130両端間の電圧と同様に、各電気コイル310、320両端間の電圧がゼロなので、電子制御スイッチ140両端間の電圧もゼロである。時点T3で電子制御スイッチ140が入り、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングはZVSで行われる。

40

【0105】

電子制御スイッチ130、140がオンのため、電流 I_L が電子制御スイッチ130、140を流れ、直列接続された電気コイル310、320で短絡するように機能する。電気コイル150両端間の電圧は $-V_{OUT}$ であり、従って電流 I_L が減少し、時点T4で

50

負になる。好適な一実施形態では、後述する時点T5で、磁化電流を考慮しながら、負電流 I_L が達する値で電気コイル320両端間の電圧が V_{IN} まで上昇できるように、電子制御スイッチ130がオンである時間を選定する。時点T5で電子制御スイッチ130が切れる。電流 I_L は電子制御スイッチ140と電気コイル320を流れる。電気コイル320を流れる負電流 I_L は、電子制御スイッチ140のソースと共有ポイントの間で測定された電気コイル320両端間の電圧を増加させ、これにより、電圧 V_L が減少し、電気コイル160両端間の電圧を増加させる。従って、接点25の電圧が増加し、接点205の電圧が減少する。

【0106】

電気コイル320両端間の電圧が増加するにつれ、電子制御スイッチ130のドレインとその出力間で測定された電気コイル150両端間の電圧が減少する。時点T6で電気コイル320両端間の電圧が V_{OUT} であり、電気コイル150両端間の電圧がゼロである。電気コイル190両端間の電圧もそれ故にゼロであり、電子制御スイッチ60両端間の電圧もゼロのため、電子制御スイッチ70両端間の電圧はゼロである。従って時点T6で電子制御スイッチ70が入り、その両端の電圧がゼロのため、そのスイッチングはZVSで行われる。負電流 I_L は従って電気コイル190へ反映され、固定値を維持する。さらに、電気コイル320両端間の電圧は V_{OUT} に固定され、従って電圧 V_L は $-V_{OUT}$ に固定される。

【0107】

時点T7で電子制御スイッチ60が切れ、電圧 V_L の固定が解除される。電気コイル320両端間の電圧は上昇し続ける。時点T8で電気コイル320両端間の電圧が V_{IN} に達し、従って接点205の電圧はゼロであり、接点25の電圧は $2 * V_{IN}$ である。従って、時点T7で電子制御スイッチ200が入り、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングはZVSで行われる。そして、電圧 V_L は $-V_{IN}$ に固定される。このように、プッシュプル型コンバータ600の動作の前半のサイクルが完了する。後半のサイクルは前半と対称であるので、簡略化のために、説明しない。

【0108】

生じた負電流 I_L の最小値は出力電流の関数ではないので、電子制御スイッチ20、60、70、130、140、200はいかなる負荷でもゼロ電圧スイッチングに至り、電子制御スイッチ60、70は電気コイル40に関するエネルギー変換には関与しない利点がある。

【0109】

一実施形態に関わり、図11Aは、記憶素子電気コイルと磁気結合する追加電気コイルを備えた、同期整流による、ハーフブリッジ型コンバータ700のハイレベル回路図を示す。ハーフブリッジ型コンバータ700は、ダイオード130、140が電子制御スイッチ130、140に置き換えられる以外は、図9Aのハーフブリッジフェーズシフト型コンバータ560と同様な構成である。電気コイル150のインダクタンスは各半サイクル中、電流が負になるように選定される。電子制御スイッチ130、140は一実施形態ではそれぞれNMOSFETで構成される。電子制御スイッチ130のソースは電気コイル310の第2端子に接続され、電子制御スイッチ320のソースは電気コイル320の第2端子に接続される。電子制御スイッチ130のドレインは電子制御スイッチ140のドレインと電気コイル150の第2端子に接続される。電気コイル260は電気コイル310、320に磁気結合され、一実施形態では、電気コイル260が変圧器の一次巻線となり、電気コイル310、320が変圧器の二次巻線となる。電気コイル150、190は、別に、磁気結合している。電気コイル260、310、320は電気コイル310の第2端子、電気コイル320の第1端子、電気コイル260の第1端子の極性が同じになるように配置される。電気コイル150、190は電気コイル150の第2端子と電気コイル190の第1端子の極性が同じになるように配置される。電圧 V_L は、その第1端子と第2端子間で測定された、電気コイル260両端間の電圧降下である。

【0110】

図 1 1 B は、図 1 1 A のハーフブリッジ型コンバータ 7 0 0 の動作グラフを示し、x 軸は時間を y 軸は電圧を任意単位で表している。図 1 1 B のグラフは、電子制御スイッチ 6 0、7 0、1 3 0、1 4 0、2 4 0、2 5 0 のゲート - ソース電圧と電圧 V_L を示している。簡略化のために、図 1 1 A と 1 1 B の動作を一緒に説明する。

【 0 1 1 1 】

動作中、時点 T 1 で電圧 V_L は $V_{IN} / 2$ 、即ち接点 2 4 5 の電位は V_{IN} である。電子制御スイッチ 2 4 0 が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングは ZVS で行われる。電圧 V_L は従って $V_{IN} / 2$ で固定される。電子制御スイッチ 6 0 と 1 3 0 もオンである。時点 T 2 で電子制御スイッチ 2 4 0 はオフである。所望の出力電圧 V_{OUT} を確保するように、電子制御スイッチ 2 4 0 が入る時間を決定する。接点 2 4 5 の電圧は接点 2 4 5 のキャパシタンスの放電に応じて降下を始め、時点 T 3 で $V_{IN} / 2$ に達する。従って、電気コイル 3 1 0 と 3 2 0 両端間の電圧と同様、電圧 V_L はゼロである。時点 T 3 で電子制御スイッチ 1 4 0 が入る。電気コイル 3 1 0、3 2 0 両端間の電圧がゼロであるので、電子制御スイッチ 1 3 0 両端間の電圧と同様、電子制御スイッチ 1 4 0 両端間の電圧がゼロで、従ってそのスイッチングは ZVS で行われる。

【 0 1 1 2 】

電子制御スイッチ 1 3 0、1 4 0 がオンであるので、電流 I_L は電子制御スイッチ 1 3 0、1 4 0 を流れ、一実施形態では、変圧器の二次巻線となる電気コイル 3 1 0、3 2 0 を有効に短絡する。電気コイル 1 5 0 両端間の電圧は $-V_{OUT}$ であるので、電流 I_L は減少する。時点 T 4 で電流 I_L はゼロに達する。 I_L は減少し続け、時点 T 5 で電流 I_L は負の値に達する。本明細書で後述するように、この負の電流により、磁化電流を考慮して、電気コイル 3 2 0 両端間の電圧を $V_{IN} / 2$ に上げることができる。時点 T 5 で電子制御スイッチ 1 3 0 が切れる。ここで、電流 I_L は電子制御スイッチ 1 4 0 と電気コイル 3 2 0 を流れる。電気コイル 3 2 0 を流れる負電流 I_L は、電子制御スイッチ 1 4 0 のソースと共有ポイント間で測定される電気コイル 3 2 0 両端間の電圧を増加させ、それによって電圧 V_L の減少をもたらす。このようにして接点 2 4 5 の電位が下がる。

【 0 1 1 3 】

電気コイル 3 2 0 両端間の電圧が増加するにつれ、電子制御スイッチ 1 3 0 のドレインとその出力間で測定した電気コイル 1 5 0 両端間の電圧が減少する。時点 T 6 で電気コイル 3 2 0 両端間の電圧は V_{OUT} であり、電気コイル 1 5 0 両端間の電圧はゼロである。電気コイル 1 9 0 両端間の電圧もゼロであり、電子制御スイッチ 6 0 両端間の電圧もゼロなので、電子制御スイッチ 7 0 両端間の電圧はゼロである。時点 T 6 で電子制御スイッチ 7 0 が入るとき、その両端の電圧はゼロなので、そのスイッチングは ZVS で行われる。従って、負電流 I_L は電気コイル 1 9 0 に反映され、固定値を維持する。さらに、電気コイル 3 2 0 両端間の電圧は V_{OUT} に固定され、従って電圧 V_L は $-V_{OUT}$ に固定される。

【 0 1 1 4 】

時点 T 7 で電子制御スイッチ 6 0 が切れ、電圧 V_L の固定が解除される。電気コイル 3 2 0 両端間の電圧は上昇し続ける。時点 T 8 で電気コイル 3 2 0 両端間の電圧は $V_{IN} / 2$ に達し、従って接点 2 4 5 の電圧はゼロになる。そして、電子制御スイッチ 2 5 0 が入り、その両端間電圧はゼロなので、そのスイッチングは ZVS で行われる。このようにハーフブリッジ型コンバータ 7 0 0 の動作のサイクル前半が完了する。サイクルの後半は前半と対称であるので、簡略化のために説明はしない。

【 0 1 1 5 】

生じた負電流 I_L は出力電流の関数ではないので、電子制御スイッチ 6 0、7 0、1 3 0、1 4 0、2 4 0、2 5 0 はいかなる負荷でもゼロ電圧スイッチングに至り、電子制御スイッチ 6 0、7 0 が電気コイル 2 6 0 に関するエネルギー変換には関与しない利点がある。

【 0 1 1 6 】

一実施形態に関わり、図 1 2 は図 3 A の共振型バックコンバータ 1 5 5 の制御に適し、

10

20

30

40

50

適切な論理修正を行うことにより図2A-11のどのコンバータとでも使用できる制御回路800のハイレベル回路図を示す。制御回路800は、クロック部810、複数のゼロ電圧検出器820、830、840、最大電流又は最大デューティサイクル機能850、PWM部860、REF部870、最小電流機能880、複数フリップフロップ(F.F.)890、900、910、920、複数ORゲート930、940、950、960、一对のインバータ970、980、ANDゲート990、複数のバッファ1000、1010、1020、1030を含む。制御回路800の外部には、複数のレジスタ1040、1050、1060、RT、コンデンサCTがある。フリップフロップ890、900、910、920は、一実施形態ではS-Rフリップフロップである。

【0117】

レジスタRTの第1端子はクロック部810の第1入力に接続され、コンデンサCTの第1端子はクロック部810の第2入力に接続され、各レジスタRTとコンデンサCTの第2端子は通常接地される。クロック部810の出力は、最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第1入力、PWM部860の第1入力、F.F.920のリセット入力、ORゲート950の第1入力、ORゲート960の第1入力に接続される。各ゼロ電圧検出器820、830、840の入力は、それぞれ、図3Aの共振型バックコンバータ155の各電子制御スイッチ30、60、70のドレインに接続される。ゼロ電圧検出器820の出力は、最小電流機能880の第1入力とANDゲート990の第1入力に接続される。ゼロ電圧検出器830の出力は、ORゲート960の第2入力に接続される。ゼロ電圧検出器840の出力は、F.F.910のリセット入力とF.F.920のセット入力に接続される。レジスタ1040、1050の各第1端子は、それぞれ、最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第2、第3入力に接続され、レジスタ1040、1050の各第2端子は通常接地される。最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第4入力は電流ILの電圧表示に接続される。最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第1出力はORゲート930の第1入力に接続され、最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第2出力はORゲート930の第2入力に接続される。

【0118】

PWM部860の第1入力は電流ILを表す電圧に接続される。PWM部860の第2入力は共振型バックコンバータ155のエラー増幅器E/Aの出力に接続され、PWM部860の第3入力はF.Bで表記するエラー増幅器の入力に接続される。PWM部860の出力はF.F.890のセット入力とインバータ970の入力に接続される。REF部870の出力は最大電流又は最大デューティサイクル機能850の第5入力、PWM部860の第5入力と最小電流機能880の第2入力に接続される。レジスタ1060の第1端子は最小電流機能880の第3入力に接続され、レジスタ1060の第2端子は通常接地される。最小電流機能880の第4入力は電子制御スイッチ30のドレインに接続される。最小電流機能880の出力はORゲート950の第2入力に接続される。ORゲート930の出力はORゲート940の第1入力に接続される。ORゲート940の第2入力はインバータ970の出力に接続され、ORゲート940の出力はF.F.890のリセット入力に接続される。ANDゲート990の第2入力はインバータ980の出力に接続され、ANDゲート990の出力はF.F.900のセット入力に接続される。ORゲート950の出力はF.F.900のリセット入力に接続され、ORゲート960の出力はF.F.910のセット入力に接続される。F.F.890の出力はインバータ980の入力及びバッファ1000を介して電子制御スイッチ20のゲートへ接続される。F.F.900の出力はバッファ1010を介して電子制御スイッチ30のゲートに接続され、F.F.910の出力はバッファ1020を介して電子制御スイッチ60のゲートに接続され、F.F.920の出力はバッファ1030を介して電子制御スイッチ70のゲートに接続される。

【0119】

最大電流又は最大デューティサイクル機能850は、レジスタ1040を使い、REF部870の出力と協働して、最大許容デューティサイクルを決定し、最大電流又は最大デ

10

20

30

40

50

ューティサイクル機能 850 は、レジスタ 1050 を使い、REF 部 870 の出力と協働して、最大許容電流を決定する。最小電流機能はレジスタ 1060 を使い、REF 部 870 の出力と協働して、上記のような電子制御スイッチ 20 のゼロ電圧スイッチングに至るのに必要な最小電流を決定する。

【0120】

動作中、時点 T1 から時点 T2 の間に、電流 IL が予め定めた値に上昇するか、予め定められたコンバータのデューティサイクルに到達すると、最大電流又は最大デューティサイクル機能 850 は OR ゲート 930、940 を介して F.F. 890 をリセットするように動作するので、電子制御スイッチ 20 を切る。上記のように、その後電流 IL は電圧 VL が負になると減少し始める。電子制御スイッチ 20 がオンになっている時間は、電流 IL の感知値とエラー増幅器 E/A の出力に応じ、PWM 部 860 が制御する。このように、F.F. 890 をパルス幅変調することにより、電子制御スイッチ 20 のパルス幅変調のデューティサイクルを調整し、プリセット値に至る。

10

【0121】

上記のように時点 T3 で電子制御スイッチ 30 はオンである。電子制御スイッチ 30 のドレイン電圧がゼロとなるのに応じて、ゼロ電圧検出器で時点 T3 を決定する。即ち、ドレイン電圧がゼロになる時、ゼロ電圧検出器 820 は AND ゲート 990 に高電圧を出力する。F.F. 890 の出力がゼロ、即ち、電子制御スイッチ 20 がオフならば、AND ゲート 980 の両入力はいずれもハイになり、それにより F.F. 900 をセットする。従って上記のように電子制御スイッチ 30 が入る。上記のように、時点 T5 で電流 IL が所望の最小値に達すると、OR ゲート 950 を介して F.F. 900 をリセットするように最小電流機能 880 が動作し、それにより電子制御スイッチ 30 を切る。電子制御スイッチ 30 のドレイン電圧がゼロかつゼロ電圧検出器 820 の出力がハイのとき、即ち時点 T5 のみ、電子制御スイッチ 30 を切るように最小電流機能 880 が動作する。

20

【0122】

上記のように、時点 T3 で電子制御スイッチ 70 両端間の電圧はゼロになる。F.F. 920 をセットし、F.F. 910 をリセットするように、ゼロ電圧検出器 840 は動作するので、バッファ 1020 を介して電子制御スイッチ 60 を切り、バッファ 1030 を介して電子制御スイッチ 70 を入れる。上記のように、時点 T6 で電子制御スイッチ 60 両端間の電圧はゼロである。F.F. 910 をセットするようにゼロ電圧検出器 830 は動作するので、バッファ 1020 を介して電子制御スイッチ 60 を入れる。

30

【0123】

このように、一実施形態では、電気コイルに関する短絡状態によってコンバータの電気コイルを流れる電流を維持する設定を備え、電力変換装置のエネルギー変換機能を果たすためのスイッチとは無関係に、短絡状態に達する。ゼロ電圧スイッチング状態に至るために、この状態を維持する。代表的実施形態では、電気コイルに磁気結合する第 2 電気コイルを備え、第 2 電気コイルを通して短絡状態を作る。

【0124】

明確化のため、本発明の特徴を別々の実施形態で説明したが、それらを組み合わせて一つの実施形態とすることも可能である。また逆に、簡略化のため別々の実施形態で説明した本発明の様々な特徴を、別々に、または、副次的に適切な組み合わせで提供することもできる。

40

【0125】

別に定義しない限り、ここで使用した技術、科学用語の全ては、本発明の属する技術分野に通常の知識を有する者が共通に理解する意味と同じである。ここで開示したものと同様または同じ方法が、本発明を実施、試験するために用いられるが、ここで、適切な方法を開示している。

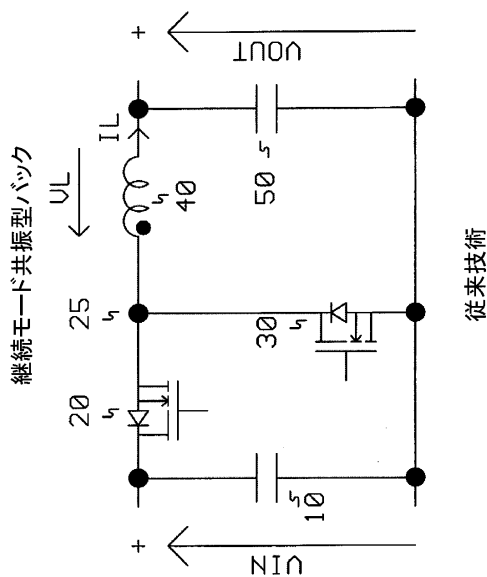
【0126】

ここで述べた全ての出版物、特許出願、特許及びその他の資料が、参照としてそのまま本願に組み込まれている。矛盾がある場合には、定義を含み本願明細書が優先する。さら

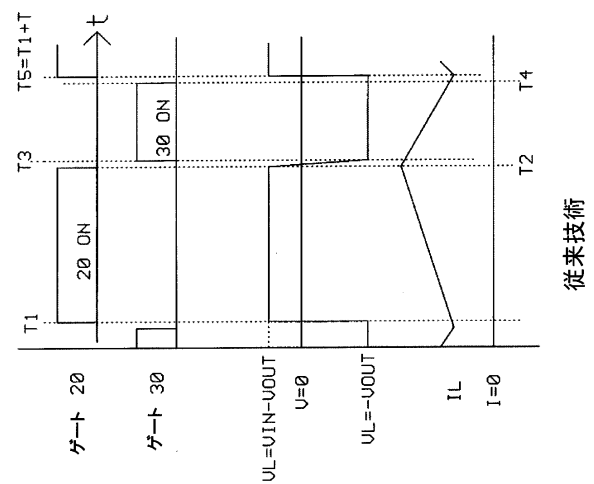
50

【 0 1 2 7 】

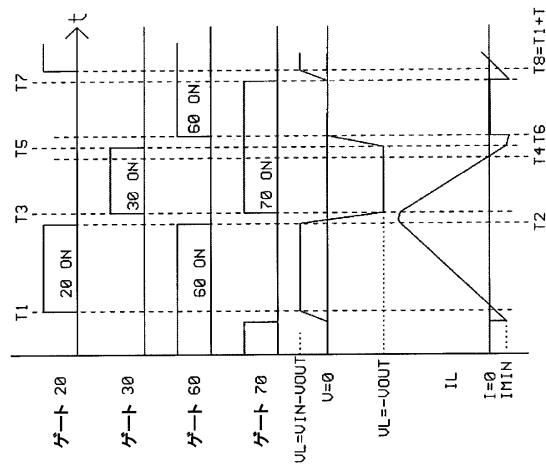
【 図 1 A 】



【 図 1 B 】

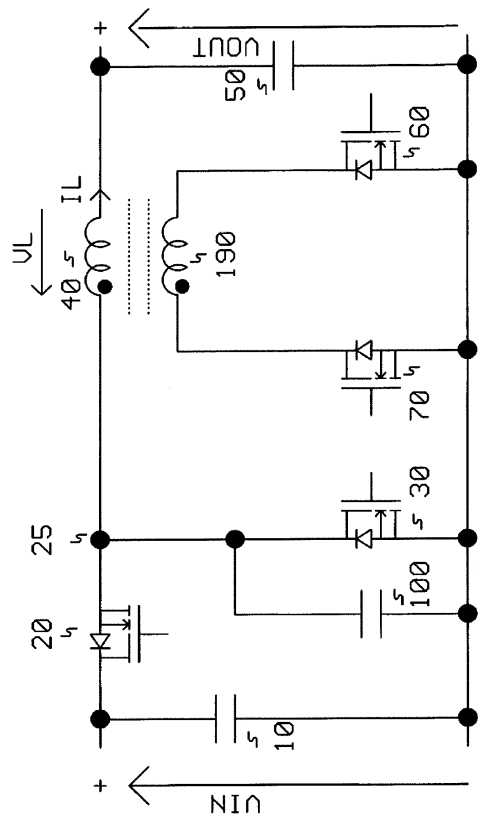


【図 3 B】

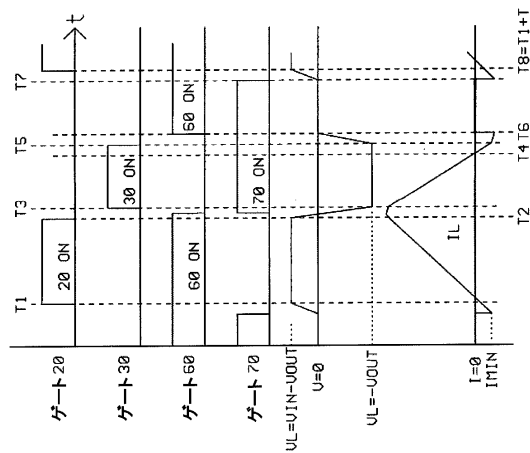


【図 3 C】

165

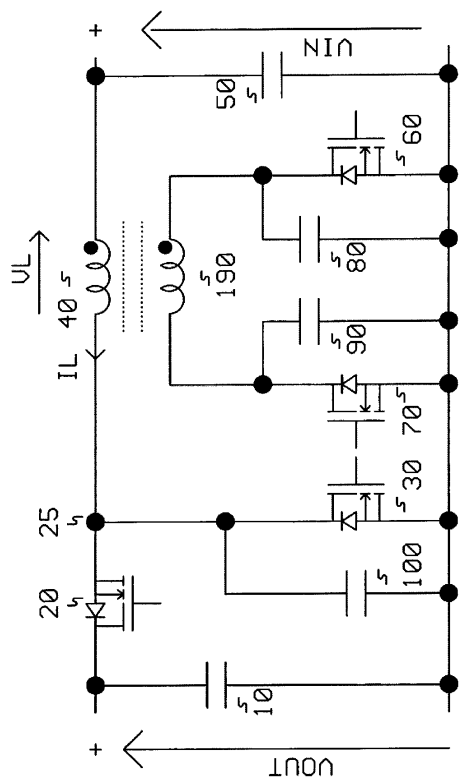


【図 3 D】

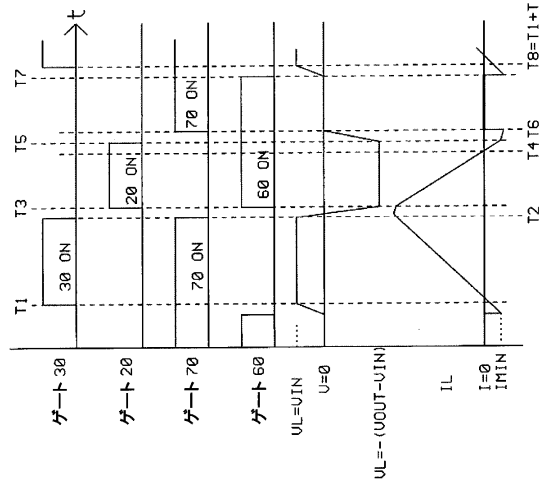


【図 4 A】

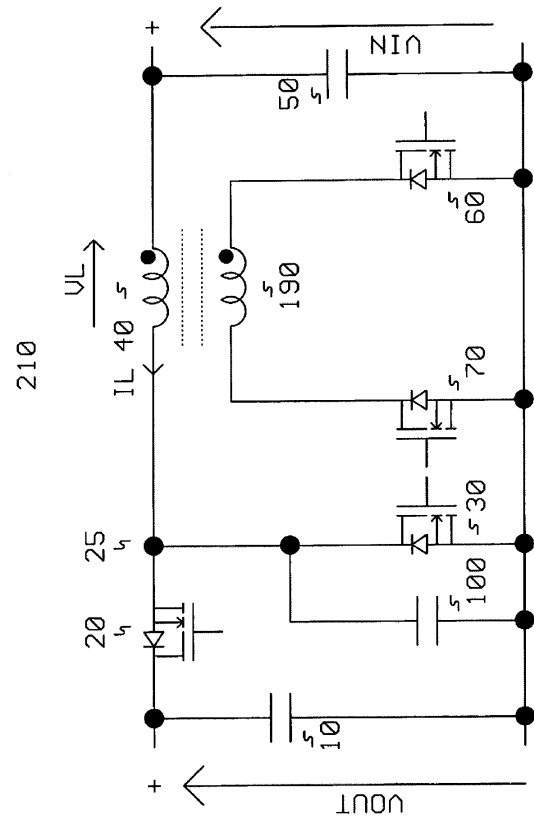
200



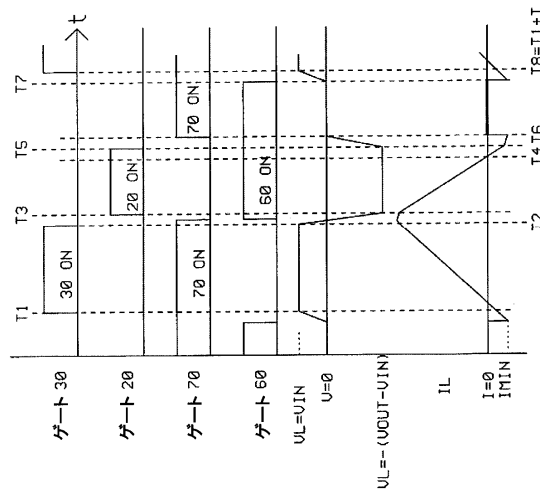
【図 4 B】



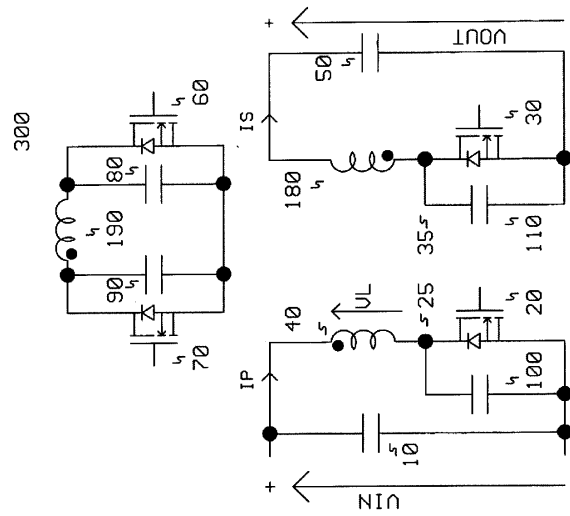
【図 4 C】



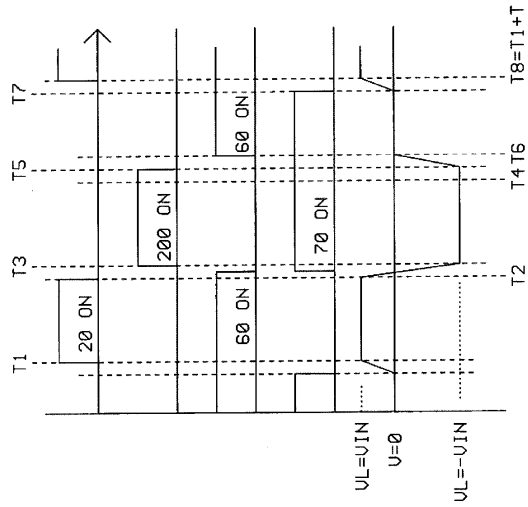
【図 4 D】



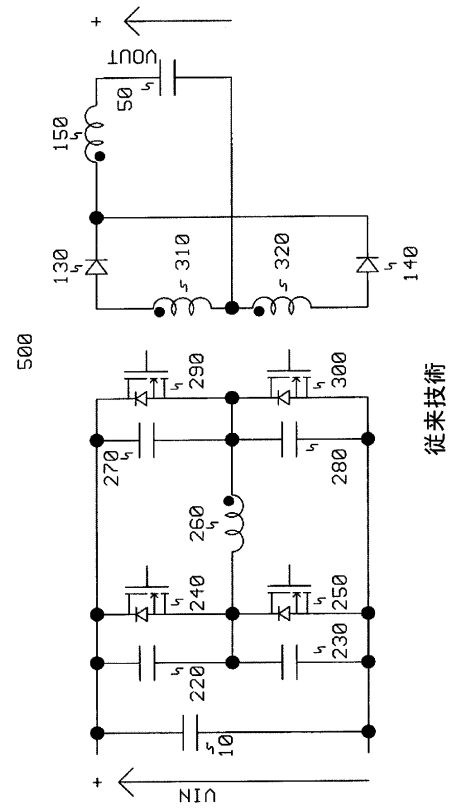
【図 5 A】



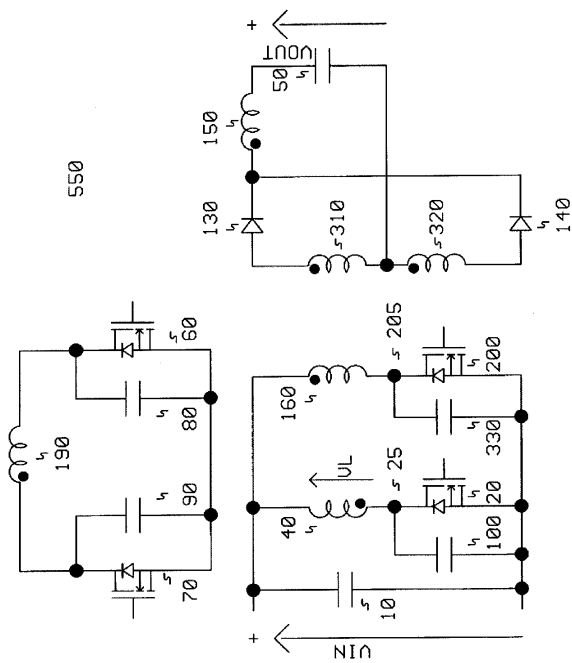
【図 6 B】



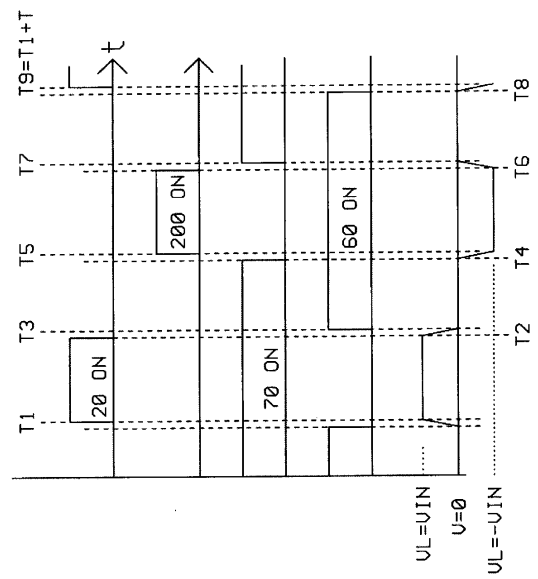
【図 7】



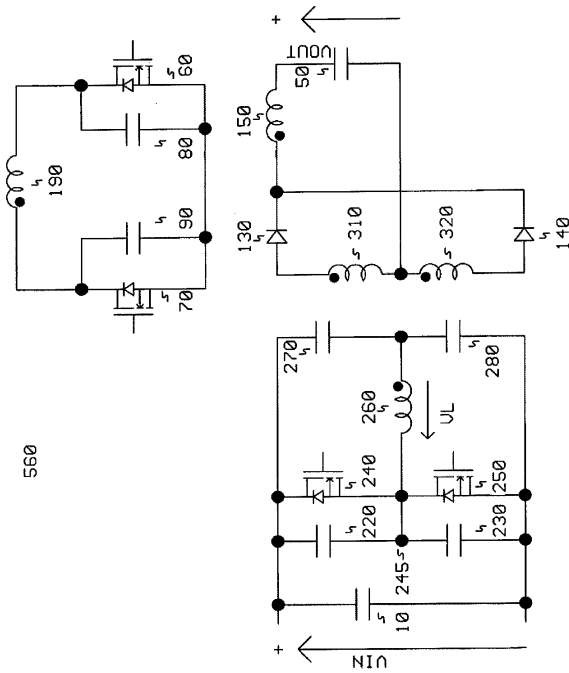
【図 8 A】



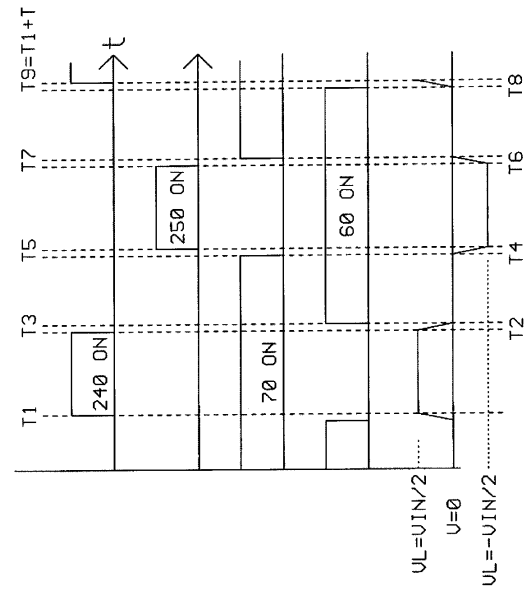
【図 8 B】



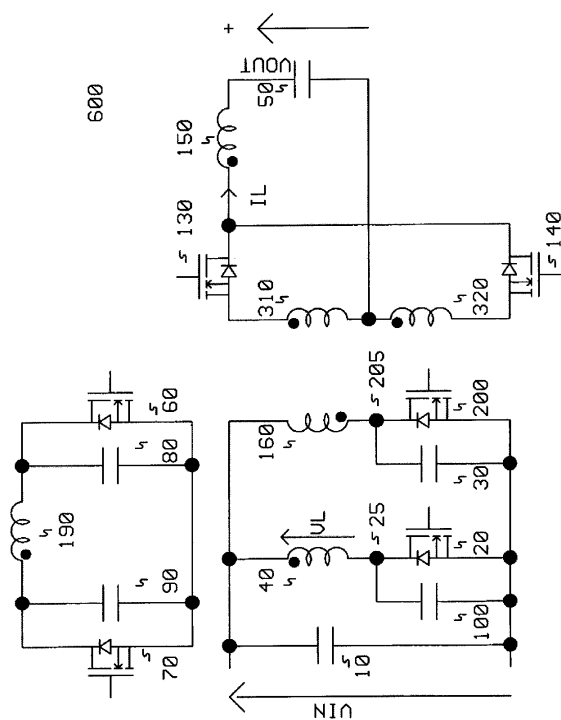
【図 9 A】



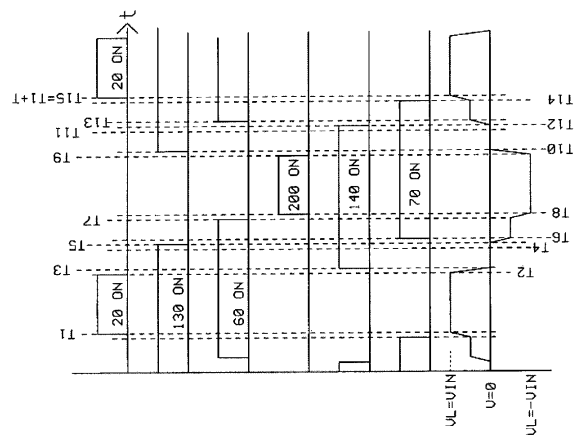
【図 9 B】



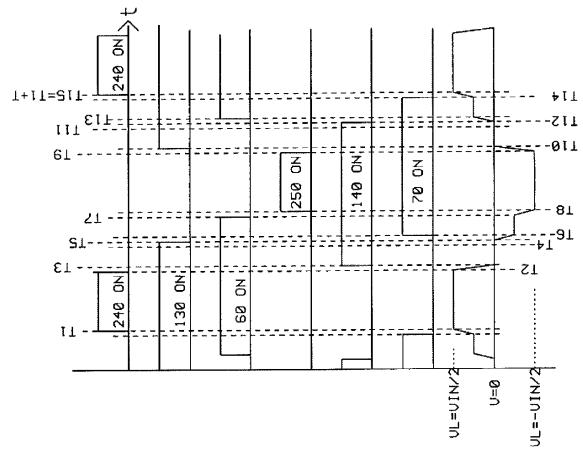
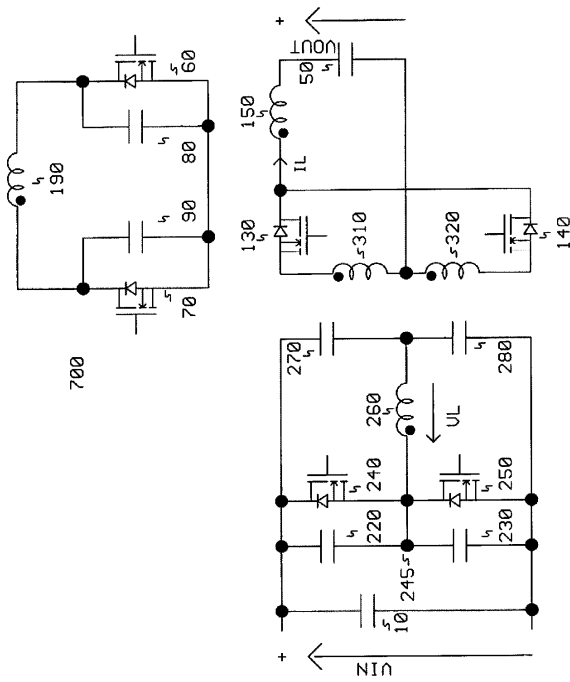
【図 10 A】



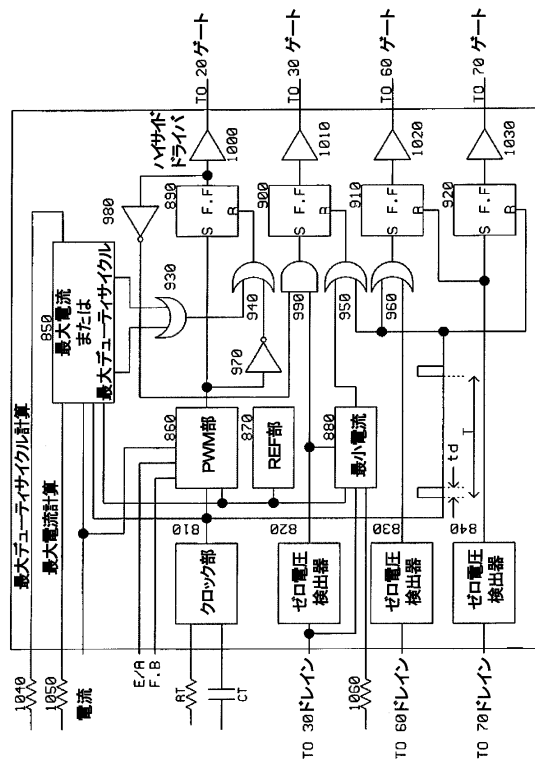
【図 10 B】



【 図 1 1 B 】



【圖 1 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-009517(JP,A)
特開2009-017749(JP,A)
特表2006-506933(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02M 3/155
H02M 3/28