

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6523262号
(P6523262)

(45) 発行日 令和1年5月29日(2019.5.29)

(24) 登録日 令和1年5月10日(2019.5.10)

(51) Int. Cl. F I
 HO2M 3/155 (2006.01) HO2M 3/155 U
 HO2M 3/07 (2006.01) HO2M 3/07

請求項の数 18 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2016-518738 (P2016-518738)	(73) 特許権者	515280193 ライオン セミコンダクター インク. アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 107, サンフランシスコ, 332 タウ ンSEND ストリート
(86) (22) 出願日	平成26年10月7日 (2014.10.7)	(74) 代理人	110000659 特許業務法人広江アソシエイツ特許事務所 レ, ハンブク
(65) 公表番号	特表2016-535967 (P2016-535967A)	(72) 発明者	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 801, リッチモンド, 1513 チャン スラー アベニュー
(43) 公表日	平成28年11月17日 (2016.11.17)	(72) 発明者	クロスリー, ジョン アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 610, オークランド, #7, 369 パ ーム アベニュー
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/059404		
(87) 国際公開番号	W02015/054186		
(87) 国際公開日	平成27年4月16日 (2015.4.16)		
審査請求日	平成29年9月21日 (2017.9.21)		
(31) 優先権主張番号	61/887, 581		
(32) 優先日	平成25年10月7日 (2013.10.7)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハイブリッド電圧レギュレータにおけるフィードバック制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力電圧を出力電圧に変換するように構成されたハイブリッドレギュレータであって、少なくともスイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとを含む複数の電圧レギュレータを備え、前記スイッチドインダクタレギュレータが、不連続導通モードで動作するように構成されている、ハイブリッドレギュレータと、

前記出力電圧を基準電圧と比較して、前記スイッチドインダクタレギュレータの第1の動作周波数と前記スイッチドキャパシタレギュレータの第2の動作周波数とを決定することと、

前記スイッチドインダクタレギュレータを前記第1の動作周波数で動作させることと、
 前記スイッチドキャパシタレギュレータを前記第2の動作周波数で動作させて、それによって、前記ハイブリッドレギュレータに、前記基準電圧の公差範囲内である前記出力電圧を提供させることと、

を行うように構成された、第1のフィードバックシステムと、

前記スイッチドキャパシタレギュレータの、寄生電圧降下とターゲット電圧降下との間の差分を決定し、前記スイッチドインダクタレギュレータに、前記スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を、前記差分に基づいて調整させるように構成された、第2のフィードバックシステムを備える、電圧レギュレータシステム。

【請求項2】

前記第1のフィードバックシステムが、前記第1の動作周波数を有する第1の周期信号

を前記スイッチドインダクタレギュレータに提供することによって、前記スイッチドインダクタレギュレータを、前記第1の動作周波数で動作させるように、構成されている、請求項1に記載の電圧レギュレータシステム。

【請求項3】

前記スイッチドインダクタレギュレータが、複数のレギュレータセルを有する多相スイッチドインダクタレギュレータを備え、前記第1のフィードバックシステムが、前記第1の動作周波数を有する複数の周期信号を前記スイッチドインダクタレギュレータに提供することによって、前記スイッチドインダクタレギュレータを、前記第1の動作周波数で動作させるように構成され、前記複数の周期信号が、互いに位相がずれている、請求項1に記載の電圧レギュレータシステム。

10

【請求項4】

前記第1のフィードバックシステムが、前記第2の動作周波数を有する第1の周期信号を、前記基準電圧と前記出力電圧とに基づいて生成するように構成されたフィードバック制御を備える、請求項1に記載の電圧レギュレータシステム。

【請求項5】

前記第1のフィードバックシステムが、前記フィードバック制御によって生成された前記第1の周期信号を受信し、前記第1の動作周波数を有する第2の周期信号を生成するように構成された分周器を備え、前記第1のフィードバックシステムが、前記第1の周期信号を前記スイッチドキャパシタレギュレータに、前記第2の周期信号を前記スイッチドインダクタレギュレータに、提供するように構成されている、請求項4に記載の前記電圧レギュレータシステム。

20

【請求項6】

前記第2のフィードバックシステムが、前記スイッチドインダクタレギュレータに、前記スイッチドキャパシタレギュレータに提供される前記電流を、前記スイッチドインダクタレギュレータの切り替え期間と活動期間と負荷サイクルDとのうちの1つまたは複数进行调整することによって、調整させるように構成されている、請求項1に記載の電圧レギュレータシステム。

【請求項7】

前記第1の動作周波数が、前記第2の動作周波数の割合である、請求項1に記載の電圧レギュレータシステム。

30

【請求項8】

複数のバイパススイッチをさらに備え、前記バイパススイッチのうちの1つが、前記ハイブリッドレギュレータ内の、第1の電圧レギュレータの入力ノードと第2の電圧レギュレータの出力ノードとを連結するように構成されている、請求項1から7のいずれか一項に記載の電圧レギュレータシステム。

【請求項9】

前記バイパススイッチの状態を、前記ハイブリッドレギュレータの前記入力電圧と前記ハイブリッドレギュレータの前記出力電圧と前記ハイブリッドレギュレータ内の前記スイッチドキャパシタレギュレータの変換率とのうちの1つまたは複数に基づいて、決定するように構成された制御ブロックをさらに備える、請求項8に記載の電圧レギュレータシステム。

40

【請求項10】

電力ドメインを備える負荷チップであって、前記電力ドメインが、入力電圧端子と接地端子とを備える、負荷チップと、

請求項1から9のいずれか一項に記載の電圧レギュレータシステムであって、前記ハイブリッドレギュレータの前記出力電圧を、前記負荷チップの前記入力電圧端子に提供するように構成された、電圧レギュレータシステムと、
を備える、電子システム。

【請求項11】

出力電圧を、入力電圧に基づいて提供する方法であって、

50

前記入力電圧を前記出力電圧に変換するように構成されたハイブリッドレギュレータを提供することであって、前記ハイブリッドレギュレータが、少なくともスイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとを含む複数の電圧レギュレータを備え、前記スイッチドインダクタレギュレータが、不連続導通モードで動作するように構成されている、提供することと、

第1のフィードバックシステムにおいて、前記出力電圧を基準電圧と比較して、前記スイッチドインダクタレギュレータの第1の動作周波数と前記スイッチドキャパシタレギュレータの第2の動作周波数とを決定することと、

前記第1のフィードバックシステムによって、前記スイッチドインダクタレギュレータを前記第1の動作周波数で動作させることと、

前記第1のフィードバックシステムによって、前記スイッチドキャパシタレギュレータを前記第2の動作周波数で動作させ、それによって、前記ハイブリッドレギュレータに、前記基準電圧の公差範囲内である前記出力電圧を提供させることと、

前記スイッチドキャパシタレギュレータの、寄生電圧降下とターゲット電圧降下との間の差分を決定することと、

前記スイッチドインダクタレギュレータに、前記スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を、前記差分に基づいて、調整させることと、を備える、前記方法。

【請求項12】

前記スイッチドインダクタレギュレータを前記第1の動作周波数で動作させることが、前記第1の動作周波数を有する第1の周期信号を前記スイッチドインダクタレギュレータに提供することを備える、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記スイッチドインダクタレギュレータが、複数のレギュレータセルを有する多相スイッチドインダクタレギュレータを備え、前記スイッチドインダクタレギュレータを前記第1の動作周波数で動作させることが、前記第1の動作周波数を有する複数の周期信号を前記スイッチドインダクタレギュレータに提供することを備え、前記複数の周期信号が互いに位相がずれている、請求項11に記載の方法。

【請求項14】

前記第1のフィードバックシステム内のフィードバック制御において、前記第2の動作周波数を有する第1の周期信号を、前記基準電圧と前記出力電圧とに基づいて、生成することをさらに備える、請求項11に記載の方法。

【請求項15】

前記第1のフィードバックシステム内の分周器において、前記フィードバック制御によって生成された前記第1の周期信号を受信することと、

前記分周器によって、前記第1の動作周波数を有する第2の周期信号を生成することと

、前記第1の周期信号を前記スイッチドキャパシタレギュレータに、前記第2の周期信号を前記スイッチドインダクタレギュレータに、提供することと、

をさらに備える、請求項14に記載の方法。

【請求項16】

前記スイッチドインダクタレギュレータに、前記スイッチドキャパシタレギュレータに提供される前記電流を、前記スイッチドインダクタレギュレータの切り替え期間と活動期間と負荷サイクルDとのうちの1つまたは複数調整することによって、調整させる、請求項11に記載の方法。

【請求項17】

前記ハイブリッドレギュレータが、複数のバイパススイッチを備え、前記バイパススイッチのうちの1つが、前記ハイブリッドレギュレータ内の前記電圧レギュレータのうちの前記1つの、入力ノードと出力ノードとを連結するように構成されている、請求項11から16のいずれか一項に記載の方法。

【請求項18】

10

20

30

40

50

前記バイパススイッチの状態を、前記ハイブリッドレギュレータの前記入力電圧と前記ハイブリッドレギュレータの前記出力電圧と前記ハイブリッドレギュレータ内の前記スイッチドキャパシタレギュレータの変換率とのうちの1つまたは複数に基づいて、さらに決定する、請求項17に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、その全体が参照により本明細書に明示的に組み込まれる、「APPARATUS, SYSTEMS, AND METHODS FOR PROVIDING FEEDBACK CONTROL IN HYBRID VOLTAGE REGULATORS」という題名の、2013年10月7日に出願された、U.S. Provisional Patent Application No. 61/887,581の先の優先日の利益を主張する。

10

【0002】

合衆国政府の助成による研究または開発に関する陳述

本発明は、アメリカ国立科学財団(NSF)によって与えられた、1248828と1353640とに基づく合衆国政府の助成を用いて行われた。合衆国政府は、本発明の特定の権利を有する。

【0003】

本開示は、ハイブリッド電圧レギュレータにおけるフィードバック制御に関する。

20

【背景技術】

【0004】

電子システムの大きさを小さくすることに対する強い需要がある。小型化は、空間が高価なものであるモバイル電子デバイスにおいて特に望ましいが、大型のデータセンタ内に配置されたサーバにおいても望ましく、それは、固定の不動産内に可能な限り多くのサーバを詰め込むことが重要だからである。

【0005】

電子システム内で最も大きな構成要素のうちの1つは、(電力レギュレータとも呼ばれる)電圧レギュレータである。電圧レギュレータは、電圧を電源(たとえば、バッテリー)から出力負荷に供給する、DC-DCレギュレータチップなどの半導体チップを含むことができる。出力負荷は、さまざまな集積チップ(たとえば、アプリケーションプロセッサ、プロセッサ、ダイナミックリードアクセスメモリ(DRAM)やNANDフラッシュメモリなどのメモリデバイス、高周波(RF)チップ、WiFi結合チップ、及び電力増幅器)を、電子デバイス内に含むことができる。残念ながら、電圧レギュレータは、多くの、大きな電子部品を含むことがある。各集積チップが専用の電圧レギュレータを必要とすることがあるため、電子システム内の電圧レギュレータの大きさを小さくすることが望ましい。

30

【0006】

電圧レギュレータは、スイッチドインダクタレギュレータ(switched-inductor regulator)を含むことができる。スイッチドインダクタレギュレータ(スイッチトインダクタレギュレータ)は、電荷を、電源から出力負荷に、インダクタを使用して伝送することができる。スイッチドインダクタレギュレータは、電源スイッチを使用して、インダクタを、複数の電圧のうちの1つに、接続/切断し、複数の電圧の加重平均である出力電圧を提供することができる。スイッチドインダクタレギュレータは、出力電圧を、インダクタを複数の電圧のうちの1つに連結する時間の量を制御することによって、調整することができる。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

残念ながら、スイッチドインダクタレギュレータは、高度集積電子システムには適切でないことが多い。スイッチドインダクタレギュレータの変換効率、インダクタの品質と大きさに依存し、特に、電力変換率が高い時、及び出力負荷によって消費される電流量が多い時は、そうである。インダクタが、大きなエリアを占め、オンダイまたはオンパッケージに集積するには大きいために、既存のスイッチドインダクタレギュレータは、多くのオフチップインダクタ部品を使用することが多い。この戦略は、プリント基板上で大きなエリアを必要とすることが多く、それが、今度は、電子デバイスの大きさを大きくする。この問題は、モバイルシステムオンチップ(SoCs)がより複雑化し、電圧レギュレータによって供給される電圧ドメインをますます多く必要とするにつれて、悪化する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

開示の主題のいくつかの実施形態は、電圧レギュレータシステムを含む。電圧レギュレータシステムは、入力電圧を出力電圧に変換するように構成されたハイブリッドレギュレータを含み、ハイブリッドレギュレータは、少なくともスイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータ(スイッチトキャパシタレギュレータ)とを含む、複数の電圧レギュレータを備え、スイッチドインダクタレギュレータは、不連続導通モードで動作するように構成されている。電圧レギュレータシステムは、また、出力電圧を基準電圧と比較して、スイッチドインダクタレギュレータの第1の動作周波数とスイッチドキャパシタレギュレータ(switched-capacitor regulator)の第2の動作周波数とを決定し、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させ、スイッチドキャパシタレギュレータを第2の動作周波数で動作させ、それによって、ハイブリッドレギュレータに、基準電圧の公差範囲内である出力電圧を提供させるように構成された、第1のフィードバックシステムを含むことができる。

【0009】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、第1のフィードバックシステムは、第1の動作周波数を有する第1の周期信号をスイッチドインダクタレギュレータに提供することによって、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させるように構成され得る。

【0010】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、スイッチドインダクタレギュレータは、複数のレギュレータセルを有する多相スイッチドインダクタレギュレータを備え、第1のフィードバックシステムは、第1の動作周波数を有する複数の周期信号をスイッチドインダクタレギュレータに提供することによって、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させるように構成され得、複数の周期信号は、互いに位相がずれている。

【0011】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、フィードバックシステムは、第2の動作周波数を有する第1の周期信号を、基準電圧と出力電圧とに基づいて生成するように構成され得る、フィードバック制御を備える。

【0012】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、フィードバックシステムは、フィードバック制御によって生成された第1の周期信号を受信することと、第1の動作周波数を有する第2の周期信号を生成することと、を行うように構成され得る分周器を備え、フィードバックシステムは、第1の周期信号をスイッチドキャパシタレギュレータに、第2の周期信号をスイッチドインダクタレギュレータに、提供するように構成され得る。

【0013】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、電圧レギュレータシステムは、スイッチドキャパシタレギュレータの、寄生電圧降下(parasitic voltage drop)とターゲット電圧降下との間の差分を決定し、スイッチドインダクタ

10

20

30

40

50

レギュレータに、その差分に基づいて、スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を調整させるように構成され得る、第2のフィードバックシステムを含むことができる。

【0014】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、第2のフィードバックシステムは、スイッチドインダクタレギュレータの、切り替え期間と活動期間と負荷サイクルDとのうちの1つまたは複数を調整することによって、スイッチドインダクタレギュレータに、スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を調整させるように構成され得る。

【0015】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、第1の動作周波数は、第2の動作周波数の割合であってよい。

【0016】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、電圧レギュレータシステムは、複数のバイパススイッチを含むことができ、バイパススイッチのうちの1つは、ハイブリッドレギュレータ内の、第1の電圧レギュレータの入力ノードと第2の電圧レギュレータの出力ノードとを連結するように構成され得る。

【0017】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、電圧レギュレータシステムは、バイパススイッチの状態を、ハイブリッドレギュレータの入力電圧とハイブリッドレギュレータの出力電圧とハイブリッドレギュレータ内のスイッチドキャパシタレギュレータの変換率とのうちの1つまたは複数に基づいて、決定するように構成された、制御ブロックを含むことができる。

【0018】

開示の主題のいくつかの実施形態は、電子システムを含む。電子システムは、電力ドメインを備える負荷チップを含むことができ、電力ドメインは、第1の入力電圧端子及び第1の接地端子と、本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれかによる電圧レギュレータシステムとを備え、電圧レギュレータシステムは、電圧レギュレータシステムの出力電圧を、負荷チップの第1の入力電圧端子に提供するように構成され得る。

【0019】

開示の主題のいくつかの実施形態は、出力電圧を、入力電圧に基づいて提供する方法を含む。方法は、入力電圧を出力電圧に変換するように構成されたハイブリッドレギュレータを提供することであって、ハイブリッドレギュレータが、少なくともスイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとを含む複数の電圧レギュレータを備え、スイッチドインダクタレギュレータが、不連続導通モードで動作するように構成され得る、提供することと、第1のフィードバックシステムにおいて、出力電圧を基準電圧と比較して、スイッチドインダクタレギュレータの第1の動作周波数とスイッチドキャパシタレギュレータの第2の動作周波数とを決定することと、第1のフィードバックシステムによって、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させることと、第1のフィードバックシステムによって、スイッチドキャパシタレギュレータを第2の動作周波数で動作させて、それによって、ハイブリッドレギュレータに、基準電圧の公差範囲内であり得る出力電圧を提供させることと、を含む。

【0020】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させることは、第1の動作周波数を有する第1の周期信号を、スイッチドインダクタレギュレータに提供することを備える。

【0021】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、スイッチドインダクタレギュレータは、複数のレギュレータセルを有する多相スイッチドインダクタレギュレータを備え、スイッチドインダクタレギュレータを第1の動作周波数で動作させることは、第1

10

20

30

40

50

の動作周波数を有する複数の周期信号をスイッチドインダクタレギュレータに提供することを備え、複数の周期信号は、互いに位相が異なっている。

【0022】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、方法は、フィードバックシステム内のフィードバック制御において、第2の動作周波数を有する第1の周期信号を、基準電圧と出力電圧とに基づいて、生成することをさらに含む。

【0023】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、方法は、フィードバックシステム内の分周器において、フィードバック制御によって生成された第1の周期信号を受信することと、分周器によって、第1の動作周波数を有する第2の周期信号を生成することと、第1の周期信号をスイッチドキャパシタレギュレータに、第2の周期信号をスイッチドインダクタレギュレータに提供することと、をさらに含む。

10

【0024】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、方法は、スイッチドキャパシタレギュレータの、寄生電圧降下とターゲット電圧降下との間の差分を決定することと、スイッチドインダクタレギュレータに、スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を、差分に基づいて調整させることと、をさらに含む。

【0025】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、スイッチドインダクタレギュレータに、スイッチドインダクタレギュレータの切り替え期間と活動期間と負荷サイクルDとのうちの1つまたは複数調整することによって、スイッチドキャパシタレギュレータに提供される電流を、調整させる。

20

【0026】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、ハイブリッドレギュレータシステムは、複数のバイパススイッチを備え、バイパススイッチのうちの1つは、ハイブリッドレギュレータ内の電圧レギュレータのうちの1つの、入力ノードと出力ノードとを連結するように構成され得る。

【0027】

本明細書で開示する、開示の実施形態のうちのいずれでも、方法は、バイパススイッチの状態を、ハイブリッドレギュレータの入力電圧とハイブリッドレギュレータの出力電圧とハイブリッドレギュレータ内のスイッチドキャパシタレギュレータの変換率とのうちの1つまたは複数に基づいて、決定することをさらに含む。

30

【0028】

開示の主題のさまざまな目的、特徴、及び利点は、開示の主題の以下の詳細な説明を参照して、以下の図面と関連して考慮した時、より完全に理解され、図面では、同じ参照番号は、同じ要素を特定する。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1A】ステップダウンスイッチドインダクタレギュレータとその動作とを示した図である。

40

【図1B】ステップダウンスイッチドインダクタレギュレータとその動作とを示した図である。

【図2A】スイッチドインダクタレギュレータまたはスイッチドキャパシタレギュレータであり得る、直列に接続された複数のコンバータを有するハイブリッド電圧レギュレータの上位図である。

【図2B】スイッチドインダクタレギュレータまたはスイッチドキャパシタレギュレータであり得る、直列に接続された複数のコンバータを有するハイブリッド電圧レギュレータの上位図である。

【図3A】ステップダウンスイッチドキャパシタレギュレータを第1ステージに、スイッチドインダクタレギュレータを第2ステージに含む、ハイブリッド電圧レギュレータの図

50

である。

【図3 B】ステップダウンスイッチドキャパシタレギュレータを第1ステージに、スイッチドインダクタレギュレータを第2ステージに含む、ハイブリッド電圧レギュレータの図である。

【図4】いくつかの実施形態による、2つのコンバータステージを有するハイブリッド電圧レギュレータの上位図である。

【図5 A】いくつかの実施形態による、スイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとの電流波形の図である。

【図5 B】いくつかの実施形態による、スイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとの電流波形の図である。

10

【図5 C】いくつかの実施形態による、スイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとの電流波形の図である。

【図5 D】いくつかの実施形態による、スイッチドインダクタレギュレータとスイッチドキャパシタレギュレータとの電流波形の図である。

【図6 A】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1ステージスイッチドインダクタレギュレータと第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータとを制御するように構成された第1のフィードバックシステムを含む。

【図6 B】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1ステージスイッチドインダクタレギュレータと第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータとを制御するように構成された第1のフィードバックシステムを含む。

20

【図6 C】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1ステージスイッチドインダクタレギュレータと第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータとを制御するように構成された第1のフィードバックシステムを含む。

【図7 A】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1のフィードバックシステムと、第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータの効率を改善するように構成された第2のフィードバックシステムとを含む。

30

【図7 B】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1のフィードバックシステムと、第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータの効率を改善するように構成された第2のフィードバックシステムとを含む。

【図7 C】いくつかの実施形態による、多相ハイブリッド電圧レギュレータシステムとその動作との図であり、ハイブリッド電圧レギュレータシステムは、第1のフィードバックシステムと、第2ステージスイッチドキャパシタレギュレータの効率を改善するように構成された第2のフィードバックシステムとを含む。

【図8】いくつかの実施形態による、バイパススイッチをオンにして、特定のコンバータステージをバイパスすることができる、ハイブリッドレギュレータシステムの図である。

40

【図9】いくつかの実施形態による、バイパススイッチを制御するためのロックアップテーブルの図である。

【図10】いくつかの実施形態による、コンピューティングデバイスのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下の説明では、開示の主題を十分に理解するために、開示の主題の装置とシステムと方法と、そのような装置、システム、及び方法が動作することができる環境などに関して、多数の具体的な詳細を記載する。しかしながら、開示の主題をそのような具体的な詳細なしに実践できること、及び開示の主題の複雑化を避けるために、当技術分野において

50

よく知られている特定の特徴を詳細に説明しないことは、当業者に明確である。加えて、以下に提供する実施例が例示的であり、開示の主題の範囲に含まれる他の装置とシステムと方法とがあることが考えられる、ということが理解される。

【0031】

現代の電子システムは、複数のプロセッシングコアと異種要素（たとえば、メモリコントローラ、ハードウェアアクセラレータ）とを1つのチップ内に含むシステムオンチップ（SoC）として、隙間なく集積されている。これらのSoCは、異種要素に電力を供給するために、多数の電圧ドメインを使用することが多い。そのような多数の電圧ドメインは、電源管理集積回路（PMIC）によって電力を供給されることが多く、電源管理集積回路（PMIC）は、複数の電圧を、複数のオフチップ電圧レギュレータを使用して提供

10

【0032】

既存のPMICの欠点を前提として、より小さな、個別の構成要素を使用する電圧レギュレータ、または構成要素を1つのダイに集積する集積電圧レギュレータ（IVR）さえも、作成することへの関心の高まりがある。そのような電圧レギュレータのうちの1つは、スイッチングレギュレータを含む。

【0033】

スイッチングレギュレータの1つの分類は、降圧型レギュレータ、昇圧型レギュレータ、フライング降圧型レギュレータ、または「APPARATUS, SYSTEMS, AND METHODS FOR PROVIDING A HYBRID POWER REGULATOR」という題名の、Le他により、2014年4月11日に出願され、その全体が参照により本明細書に組み込まれる、U.S. Utility Patent Application No. 14/250,970で開示された、反転フライング降圧型レギュレータなどの、スイッチドインダクタ（SI）レギュレータを含む。図1A～図1Bは、ステップダウンスイッチドインダクタ（SI）レギュレータとその動作とを示している。SIレギュレータは、高電圧を低電圧に変換することができる。図1Aに示す通り、SIレギュレータ100は、インダクタ108と2つのスイッチ114、116とを含むことができる。SIレギュレータ100は、インダクタ108の第1の端子を、(1)第1の電源 V_{IN104} と(2)第2の電源118とのうちの1つに、一組の電源スイッチ114、116を通して接続することができる。いくつかの場合では、第2の電源118は、接地電源を含むことができるが、これに限定されない。電源スイッチ114、116を、外部入力を使用して、オン及びオフにすることができる。いくつかの場合では、電源スイッチ114、116を、2つのスイッチを同時にオンにしないように、制御することができる。電源スイッチ114、116は、トランジスタを含むことができる。トランジスタは、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）を含むことができる。たとえば、スイッチ114は、P型MOSFETトランジスタを含むことができ、スイッチ116は、N型MOSFETトランジスタを含むことができる。

20

30

【0034】

図1Bは、図1Aのスイッチドインダクタレギュレータの信号図を示している。電源スイッチ114、116が周期Tでオンとオフとになるにつれて、インダクタの入力 V_X102 は、周期Tで、0と V_{IN} との間で変化することができる。インダクタ108及びコンデンサ120は、 V_X102 を時間と共に平均化するローパスフィルタとして動作し、それによって、信号を、レギュレータ出力 V_{OUT110} において、小さな電圧リップルを有して作り出す。出力電圧 V_{OUT110} は、インダクタ108を第1の電源 V_{IN104} に連結する時間の量と、インダクタ108を第2の電源118に連結する時間の量とに依存し得る。たとえば、SIレギュレータ100は、 V_{OUT510} のレベルを $V_{IND} + (0V)(1 - D)$ に調整することができ、式中、0と1との間の数であるDは、 V_X を V_{IN} に連結する時間の量である。Dを、また、負荷サイクルとも呼ぶ。電流106

40

50

を消費する出力負荷は、任意の種類電子デバイスであってよく、1つまた複数の、プロセッサと、メモリ（DRAM、NANDフラッシュ）と、RFチップと、WiFi結合チップと、電力増幅器とを含む。

【0035】

SIレギュレータ100の電力効率を、

$$\eta = \frac{P_L}{P_O}$$

と計算することができ、

式中、 P_L は、出力負荷106に供給される電力を示し、 P_O は、SIレギュレータ100の出力電力を示す。 P_L を、以下の通り、 $P_L = P_O - P_{L_{loss}}$ と計算することができ、式中、 $P_{L_{loss}}$ は、電圧調整プロセス中の電力損失の量を含む。

【0036】

SIレギュレータ100に関連する主要な電力損失 $P_{L_{loss}}$ のうちの1つは、インダクタ108の寄生抵抗によって引き起こされる抵抗電力損失を含む。SIレギュレータ100が、電流112を提供することによって、電力を出力負荷106に供給する時、理想的には、SIレギュレータ100は、その出力電力の全部を出力負荷106に提供する。この理想的な構成では、インダクタ108は、零抵抗を有し、したがって、インダクタ108を通る電流は、電力を浪費しない。しかしながら、実質的なシナリオ（実際の状況）では、SIレギュレータ100は、その出力電力の一部を、インダクタ108の内部で浪費し、それは、主に、インダクタ108を形成する材料の抵抗のためである。インダクタ108のこの望ましくない、有限の抵抗を、インダクタ108の寄生抵抗と呼ぶ。寄生抵抗は、抵抗電力損失を引き起こすことができ、それは、寄生抵抗が、インダクタ108を通る電流にエネルギーを浪費させることがあるためである。したがって、抵抗電力損失は、SIレギュレータ100の電力変換効率を減少させ得る。

【0037】

電流が所定の周期Tで変化する時、抵抗電力損失を、 $P_R = I_{L,RMS}^2 R_L$ と計算することができ、式中、 R_L は、インダクタ108の寄生抵抗の値であり、 $I_{L,RMS}$ は、インダクタ108を通る電流の二乗平均平方根である。 $I_{L,RMS}$ を、インダクタ電流（ $I_{L,PP120}$ ）の最大振幅リップルを減少させることによって、減少させることができる。したがって、SIレギュレータ100は、インダクタ電流 $I_{L,PP120}$ の最大振幅リップルを減少させることによって、抵抗損失 P_R を減少させることができる。

【0038】

インダクタ電流 $I_{L,PP120}$ の最大振幅リップルを減少させる2つの方法がある。第1に、SIレギュレータ100を高周波数で動作させ、SIレギュレータ100の周期Tを減少させることができる。しかしながら、この解決策は、スイッチ114とスイッチ116との間の接点122における寄生容量を、充電し、放電するために消費される電力を増加させ得る。この容量電力損失が大きくなることができ、それは、スイッチ114、116の大きさが大きくなり得、それが、寄生容量を増加させるからであり、また、 V_X102 の電圧振幅が大きい（たとえば、 $0V \sim V_{IN}$ ）からである。この容量電力損失を、次の通り、

$$P_C = fCV^2$$

と計算することができ、式中、Cは、接点122における寄生容量の量であり、fは、SIレギュレータ100が切り替わる頻度であり、Vは、接点122における電圧振幅である。

【0039】

10

20

30

40

50

第2に、S Iレギュレータ100は、高インダクタンス値を有するインダクタ108を使用することができる。しかしながら、この方法は、インダクタ108に多くの容積を占めさせ、それは、携帯型電子デバイスを含む多くの電子デバイスにおいて問題となり得る。

【0040】

スイッチングレギュレータの別の分類は、スイッチドキャパシタ(S C)レギュレータを含む。S Cレギュレータは、インダクタの代わりに、1つまたは複数のコンデンサを使用して、電荷を、電源 V_{IN} から出力負荷 V_{OUT} に伝送することができる。S Cレギュレータは、電源スイッチを使用して、1つまたは複数のコンデンサを、複数の電圧のうちの1つに、ある期間に渡って、連結または分断することができ、それによって、複数の電圧の加重平均である出力電圧を提供する。S Cレギュレータは、出力電圧を、コンデンサを互いに連結する構成とシーケンスとを変更することによって、制御することができる。しばしば、小さな波形率を有するS Cレギュレータを実装することは、S Iレギュレータを実装することに比較して、より容易であり、それは、コンデンサが、一般に、インダクタと比較してより高品質(たとえば、より小さな直列抵抗)を有し、特に、集積実装形態においてはそうであるからである。

10

【0041】

残念ながら、S Cレギュレータの効率は、入力電圧の所定の割合ではない出力電圧において、低下することがある。たとえば、S Cレギュレータは、入力電圧の $1/2$ 、 $1/3$ 、 $2/3$ 、 $2/5$ 、 $3/5$ で高効率を達成することができる。しかしながら、同じS Cレギュレータは、出力電圧がこれらの値から外れた時は、高効率を提供することができない。これは、連続的な範囲内の電圧で動作する、または $5 \sim 10 \text{ mV}$ のステップの電圧の範囲内で動作する、多くのS o Cにとって問題である。

20

【0042】

S IレギュレータとS Cレギュレータとに関連する課題のうちのいくつかは、ハイブリッドレギュレータを使用して対処することができる。ハイブリッドレギュレータは、S CレギュレータとS Iレギュレータとの両方を、直列で含むことができる。ハイブリッドレギュレータトポロジは、小さなインダクタとコンデンサとを有していても、出力電圧と入力電圧との広い範囲に渡って、高効率を維持することができる。ハイブリッドレギュレータトポロジは、入力電圧を、入力電圧の M/N の割合に割る、または電圧を上げる、S Iレギュレータ及びS Cレギュレータという2種類のレギュレータを含むことができ、M及びNは、零よりも大きい任意の数であってよい。この方法は、低インダクタンスを有する小さなインダクタを有するものでさえも、スイッチドインダクタレギュレータの抵抗損失を減少させることができる。さらに、ハイブリッドレギュレータトポロジは、スイッチドインダクタレギュレータの容量損失($CV^2f \text{ loss}$)を、スイッチ間での電圧振幅を制限することによって、減少させることができる。

30

【0043】

図2Aは、いくつかの実施形態による、ハイブリッドレギュレータトポロジを示している。図2Aは、直列に接続された2つ以上の電圧コンバータステージ206、208、210(本開示では、電圧コンバータステージという言葉を用いて、電圧レギュレータ、レギュレータ、電圧コンバータ、及びコンバータと区別しないで使用する)を含むハイブリッドレギュレータ200を含み、各電圧コンバータステージは、(電圧コンバータとしても知られている)電圧レギュレータを含むことができる。電圧レギュレータは、S IレギュレータまたはS Cレギュレータを含むことができ、1つまたは複数のインダクタまたは1つまたは複数のコンデンサをそれぞれ接続/切断する、1つまたは複数のスイッチを備える。S Iレギュレータ内のインダクタの典型的なインダクタンスは、100ピコヘンリーから5マイクロヘンリーの範囲に及ぶことができ、S Iレギュレータ内の電源スイッチは、通常、1000から100,000の値の幅(最小長)を有することができる。たとえば、90nmプロセス技術では、電源スイッチの幅は、通常、100 μm から10mmの範囲に及ぶ。切り替え周波数は、通常、1MHzから500MHzの範囲に及ぶ。

40

50

【0044】

いくつかの実施形態では、SCレギュレータは、図2Bに示す通り、N:Mステップダウン電圧レギュレータ216を含むことができる。N:Mレギュレータ216は、受信電圧 V_{IN_SC212} を、 $(M/N)V_{IN_SC}$ に減少させて、出力 V_{OUT_SC214} を生成するように構成されている。N:Mのいくつかの実施例は、1:1、2:1、3:1、3:2、4:1、4:3、5:1、5:2、5:3、5:4、6:5、7:1、7:2、7:3、7:4、7:5、7:6、または他の適切な割合を含む。割合N:Mを、電圧調整プロセス中のコンデンサとスイッチとの構成に基づいて、決定することができる。コンデンサとスイッチとの構成を電圧調整プロセス中に再構成して、割合N:Mを、異なる値（たとえば、 $(N-1):M$ 、 $(N-2):M$ 、 $N:(M-1)$ 、 $N:(M-2)$ 、 $(N-1):(M-1)$ など）に動的に変更することができる。

10

【0045】

図3A~図3Bは、直列に接続されたSCレギュレータとSレギュレータを含む、ハイブリッドレギュレータを示している。図3Aは、SCレギュレータ322とSレギュレータ100を含む。SCレギュレータ322は、入力電圧 V_{IN104} を、 V_{TMP324} に変換することができる。その後、Sレギュレータ100は、 V_{TMP324} を受信し、それを調整して、細かいステップの V_{OUT310} を、複数の電源スイッチ114、116と1つまたは複数のインダクタ108とを使用して、提供することができる。図3Bは、レギュレータ内の信号のタイミング図を示している。

【0046】

このハイブリッドレギュレータは、SCレギュレータが、所定の割合値に渡って分圧することに優れており、Sレギュレータが、出力電圧と入力電圧との変換率の広範囲に渡って、細かいステップで調整することに優れている、という事実を条件としている。たとえば、12Vから1Vへのステップダウンレギュレータでは、SCレギュレータ322は、12Vを、 V_{IN104} において受信し、1/6の降圧を提供することができ、それによって、2Vを、 V_{TMP324} において提供する。その後、Sレギュレータ100は、後調整を提供して、2Vを1Vに調整することができる。このレギュレータは、 V_X302 における電圧振幅を、 V_{IN104} よりも大幅に小さくなり得る V_{TMP324} に減少させるため、このレギュレータは、接点122における寄生容量による、容量電力損失を減少させることができる。

20

30

【0047】

他の電圧レギュレータと同様に、ハイブリッドレギュレータは、ハイブリッドレギュレータの出力電圧を制御する制御システムに連結されている。制御システムは、出力電圧がターゲット出力電圧から許容誤差範囲内にあるようにハイブリッドレギュレータを制御する、フィードバックシステムを含むことができる。

【0048】

ハイブリッドレギュレータのためのフィードバックシステムを設計することは、伝統的なレギュレータと比較してさえも困難であり得、それは、多数のレギュレータが、ハイブリッドレギュレータ内にあり得るからである。ハイブリッドレギュレータを制御することに固有の1つの課題は、制御システムが、ハイブリッドレギュレータの各ステージに供給される電流のバランスを取る必要があることである。図4は、いくつかの実施形態による、2ステージハイブリッドレギュレータを示している。コンバータ1408を通して供給される電流 I_1412 が、コンバータ2410を通して供給される電流 I_2414 よりも小さい場合、コンバータ1408の出力電圧 V_{TMP406} は、減少し続け、コンバータ1408における大きな電圧（つまり、 $V_{IN}-V_{TMP}$ ）と、コンバータ2410における小さな電圧（つまり、 $V_{TMP}-V_{OUT}$ ）とを引き起こすことができる。2つのコンバータステージ408、410の意図された動作電圧範囲により、両方のコンバータは、 V_{TMP406} がその意図された値から過度に外れた場合、誤動作することがある。一方で、 I_1412 が I_2414 よりも大きい場合、 V_{TMP406} は、増加し続けることがあり、両方のコンバータステージ408、410を誤動作させ得る。したが

40

50

って、制御システムは、電流 I_{1412} と電流 I_{2414} とのバランスを取るために、コンバータ1 408とコンバータ2 410との両方を制御する必要がある。制御システムは、複数のコンバータステージにおける電流のバランスを、各コンバータステージのための別々のフィードバックシステムを使用して、取ることができる。しかしながら、ハイブリッドレギュレータ内のコンバータの数が増加するにつれて、制御システムは、すぐに、非常に複雑になり得る。

【0049】

本開示は、ハイブリッドレギュレータ内の複数のコンバータステージに渡って電流のバランスを取ることができる、単純なフィードバックシステムを有するハイブリッドレギュレータを提供するための、装置とシステムと方法とを紹介する。開示のフィードバックシステムは、複数のコンバータステージに渡って供給される電流のバランスを、ハイブリッドレギュレータ内の各コンバータステージ専用の別々のフィードバックシステムを有さずに、取ることができる。この目的を達成するために、ハイブリッドレギュレータ内の各コンバータステージは、開示のフィードバックシステムがコンバータステージの動作周波数を制御して、コンバータステージによって提供される電流の量を制御することができるモードで、動作するように構成され得る。

【0050】

いくつかの実施形態では、ハイブリッドレギュレータは、1つまたは複数のSCコンバータを含み得る、複数のコンバータステージを含むことができる。いくつかの場合では、SCコンバータの出力電流（たとえば、単位時間当たり出力ノードに供給される電荷の量）は、その動作周波数に依存し得る。たとえば、図5Aに関して示す通り、SCコンバータは、（電荷パケットまたはパケットとも呼ばれる）固定量の電荷を、出力ノードに、切り替え期間内に提供するように構成されている。したがって、SCコンバータの出力電流を、より高い動作周波数（たとえば、より短い切り替え期間）を用いて増加させることができ、SCコンバータの出力電流を、より低い動作周波数（たとえば、より長い切り替え期間）を用いて減少させることができる。いくつかの実施形態では、出力にSCコンバータによって提供される電荷の量は、（1）電荷パケット内の電荷の量と、（2）コンバータの動作周波数（つまり、電荷パケットを出力に提供する周波数）と、に依存し得る。いくつかの実施形態では、出力にSCコンバータによって提供される電荷の量は、（1）電荷パケット内の電荷の量と、（2）コンバータの動作周波数（つまり、電荷パケットを出力に提供する周波数）と、の乗算である。

【0051】

いくつかの実施形態では、SIコンバータは、また、その出力電流がその動作周波数に依存するように構成され得る。たとえば、SIコンバータは、不連続導通モード（DCM）で動作するように構成され得る。DCMは、電流が出力に不連続に供給される、SIコンバータの動作モードを指す。DCMでは、SIコンバータは、（電荷パケットまたはパケットとも呼ばれる）固定量の電荷を、出力ノードに、切り替え期間内に供給することができる。たとえば、SIコンバータは、非零の量の電荷を、切り替え期間の第1の部分の間に提供し、零の量の電荷を、切り替え期間の第2の部分で、次の周期まで供給することができる。したがって、SIコンバータは、動作周波数を増加させて（たとえば、切り替え期間を短縮して）、より多くの電荷（たとえば、より多くの電流）を出力ノードに供給することができ、または、動作周波数を減少させて、より少ない電荷（たとえば、より少ない電流）を出力ノードに供給することができる。いくつかの実施形態では、DCMにおけるSIコンバータによって出力に提供される電荷の量は、（1）電荷パケット内の電荷の量と、（2）コンバータの動作周波数（つまり、電荷パケットを出力に提供する周波数）と、に依存し得る。いくつかの実施形態では、DCMにおけるSIコンバータによって出力に提供される電荷の量は、（1）電荷パケット内の電荷の量と、（2）コンバータの動作周波数（つまり、電荷パケットを出力に提供する周波数）と、の乗算である。

【0052】

ハイブリッドレギュレータ内のすべてのSIコンバータがDCMで動作する時、ハイブ

10

20

30

40

50

リッドレギュレータのフィードバックシステムは、ハイブリッドレギュレータ内のコンバータステージの動作周波数を制御して、各コンバータステージによって提供される電流の量のバランスを取ることができる。上記で説明した通り、DCMにおけるSIコンバータまたはSCコンバータによって出力に提供される電荷の量は、(1)電荷パケット内の電荷の量と、(2)コンバータの動作周波数(つまり、電荷パケットを出力に提供する周波数)と、に依存し得る。したがって、各コンバータステージの電荷パケット内の電荷の量が事前に知られている場合、フィードバックシステムは、コンバータの動作周波数を制御して、各コンバータステージによって提供される電流の量のバランスを取ることができる。

【0053】

たとえば、電荷パケット内の電荷の量が、コンバータステージに渡って同一である場合、フィードバックシステムは、同じ動作周波数を、すべてのコンバータステージに提供して、コンバータステージに渡る電流のバランスを取ることができる。別の実施例として、4つのレギュレータを有するハイブリッドレギュレータを考察すると、各レギュレータ内の電荷パケット当たりの電荷の量は、それぞれ、1、2、3、及び4である。4つのコンバータステージに渡る電荷のバランスを取るために、フィードバックシステムは、4つのコンバータステージの動作周波数を決定して、動作周波数とパケット当たりの電荷との乗算が、4つのコンバータステージに渡って同じであるようにする。したがって、フィードバックシステムは、4つのコンバータステージの動作周波数が、 $12f$ 、 $6f$ 、 $4f$ 、及び $3f$ であるべきと決定することができ、式中、 f は、倍率である。

【0054】

いくつかの実施形態では、フィードバックシステムは、コンバータステージの動作周波数を変更して、ハイブリッドレギュレータによって出力負荷に提供される電流の量を変更することができる。出力負荷が、現在提供されている電流の量よりも多くの電流を必要とする場合、フィードバックシステムは、単に、コンバータの動作周波数を増加させることができ、出力負荷が、現在提供されている電流の量よりも少ない電流を必要とする場合、フィードバックシステムは、コンバータの動作周波数を減少させることができる。上記の実施例に戻って参照すると、フィードバックシステムは、4つのコンバータステージの動作周波数を、1つの倍率 f の値を制御することによって、制御することができる。たとえば、フィードバックシステムは、「 f 」を、出力負荷がより多くの電流を必要とする時に増加させることができ、フィードバックシステムは、「 f 」を、出力負荷がより少ない電流を必要とする時に減少させることができる。フィードバックシステムが、出力電流の量を、1つの倍率 f のみを変更することによって、制御することができるため、フィードバックシステムは、非常に単純であり得る。

【0055】

図5Aは、いくつかの実施形態による、SCレギュレータの電荷伝送動作を示している。いくつかの実施形態では、SCレギュレータの動作は、DCMを模倣する。たとえば、切り替え周波数が、SCレギュレータの時定数と比較して十分に低い時、SCレギュレータによって提供される出力電流は、切り替え周期の終わり(たとえば、次の切り替え周期の開始)までに、零に近くなり得る。図5Aに示す通り、SCレギュレータは、非零の量の電荷502を、切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ の第1の部分の間に供給することができ、零に近い量の電荷を、切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ の第2の部分の間に供給することができる。この電荷伝送動作を、別の電荷パケット504によって示す通り、切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ 毎に繰り返すことができる。したがって、SCレギュレータによって提供される電荷の量を、切り替え期間(つまり、動作周波数)を制御することによって、制御することができる。

【0056】

図5B~図5Cは、いくつかの実施形態による、SILEギュレータの電荷伝送動作を示している。SILEギュレータは、DCMと連続導通モード(CCM)との2つのモードのうちの一つで動作することができる。図5Bは、DCMにおけるSILEギュレータの電荷

10

20

30

40

50

伝送動作を示し、図5Cは、CCMにおけるSレギュレータの電荷伝送動作を示している。DCM(図5B)では、Sレギュレータは、非零の量の電荷510を、インダクタを通して、所定の期間 $T_{SWITCH512}$ の第1の部分の間に供給することができ、零の量の電荷を、所定の期間 $T_{SWITCH512}$ の第2の部分の間に供給することができる。この電荷伝送動作を、別の電荷パケット508によって示す通り、所定の期間 $T_{SWITCH512}$ 毎に繰り返すことができる。一方で、CCM(図5C)では、Sレギュレータは、非零の量の電荷を、インダクタを通して、所定の期間 $T_{SWITCH512}$ 全体を通して供給することができ、インダクタを通る電流は、0Aに留まらない。

【0057】

いくつかの実施形態では、Sレギュレータは、DCMモードで動作して、フィードバックシステムが、Sレギュレータの出力電荷の量を、単に、Sレギュレータの動作周波数を制御することによって、制御することを可能にすることができる。図5B~図5Cで供給される電荷の量を、 $Q = I dt$ と計算することができ、式中、Iは、レギュレータによって提供される出力電流の量を指す。DCMで動作しているSレギュレータでは、電荷は、個別のパケット508、510で供給され、所定の数のパケット(たとえば、1パケット)が、切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ 毎に供給される。したがって、フィードバックシステムは、Sレギュレータの出力に供給される電荷の量を、Sレギュレータの切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ を変更することによって、制御することができる。

【0058】

対照的に、CCMで動作しているSレギュレータでは、電荷は、連続的に供給される。この場合、切り替え期間 $T_{SWITCH512}$ を変更することは、出力に供給される電荷の量を変化させない。たとえば、図5Dに示す通り、CCMで動作しているSレギュレータの動作周波数が2倍になった時でも、Sレギュレータによって出力に供給される電荷の量は、同じままである。結果として、CCMで動作しているSレギュレータでは、フィードバック制御は、切り替え周波数を変更して、出力に供給される電荷の量を制御することができない。したがって、いくつかの実施形態では、Sレギュレータは、フィードバックシステムが、出力電流を、単にSレギュレータの動作周波数を制御することによって、制御することを可能にするために、DCMで動作することができる。

【0059】

SレギュレータがDCMで動作している時、Sレギュレータは、電荷パケット510の形状を、出力電流の立ち上がり時間と立ち下がり時間とを調整することによって、制御することができる。これらの時間は、

$$I_L = \frac{1}{L} \int V_L dt$$

によって決定され、式中、Lは、インダクタのインダクタンス値であり、 I_L は、インダクタ電流であり、 V_L は、インダクタに印加される電圧である。インダクタに印加された一定の正の電圧がある(たとえば、降圧型レギュレータにおいて、スイッチに連結されたインダクタノードの電圧が、出力に連結されたインダクタノードの電圧よりも高い)時、インダクタ電流は線形に増加し、三角形の電荷パケット510の立ち上がり勾配になる。インダクタに印加された一定の負の電圧がある(たとえば、降圧型レギュレータにおいて、スイッチに連結されたインダクタノードの電圧が、出力に連結されたインダクタノードの電圧よりも低い)時、インダクタ電流は線形に減少し、三角形の電荷パケット510の立ち下がり勾配になる。電荷パケット510の勾配とパケット当たりの電荷の量とを、インダクタに印加された電圧と、正と負との電圧をインダクタに印加する時間周期とを調整することによって、決定することができる。

【0060】

図6Aは、いくつかの実施形態による、ハイブリッドレギュレータシステムを示してい

10

20

30

40

50

る。ハイブリッドレギュレータシステムは、第1ステージS Iレギュレータ408と第2ステージS Cレギュレータ410とを有するハイブリッドレギュレータ400と、フィードバックシステム637とを含む。いくつかの実施形態では、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410とのうちの1つまたは複数は、単相レギュレータであってよい。他の実施形態では、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410とのうちの1つまたは複数は、複数のレギュレータセルを有する多相レギュレータであってよく、各レギュレータセルは、入力電圧を出力電圧に単独で変換することができる回路要素を含む。多相レギュレータ内のレギュレータセルの数は、多相レギュレータによって提供される位相の数と同じであってよい。 N_{PH_SI} 及び N_{PH_SC} は、S IレギュレータとS Cレギュレータとの位相の数を、それぞれ示し、 N_{PH_SI} 及び N_{PH_SC} は、1以上の任意に数字であってよく、典型的な値は、1から100の範囲に及ぶ。レギュレータセルを、互いに位相がずれているクロック信号によって、独立して動作させることができる。たとえば、多相レギュレータセルの第1のレギュレータは、第1のクロック信号を受信することができ、多相レギュレータの第2のレギュレータセルは、第2のクロック信号を受信することができ、第1のクロック信号及び第2のクロック信号は、同じ周波数を有し、たとえば、 180° 位相がずれている。

【0061】

フィードバックシステム637は、フィードバック制御620と、周波数変更器639と、ハイブリッドレギュレータ内のレギュレータが多相の場合、多相信号生成器632、634とのうちの、1つまたは複数を含むことができる。周波数変更器639は、第1の周波数を有する第1の周期信号を受信し、第2の周波数を有する第2の周期信号を生成する、分周器を含むことができる。分周器は、再生分周器、注入同期分周器、デジタル分周器、またはシグマデルタフラクショナルNシンセサイザを含むことができる。周波数変更器639は、入力周期信号を受信し、出力周期信号を提供するように構成され得る。出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数の分数倍であってよい。たとえば、出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数の $1/2$ であってよく、出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数の $3/5$ であってよく、出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数の $7/5$ であってよく、出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数と同じであってよく、または出力周期信号の周波数は、入力周期信号の周波数の2倍であってよい。

【0062】

図6Bは、いくつかの実施形態による、図6Aのハイブリッドレギュレータシステムの動作を示したフロー図を示している。ステップ640では、比較器636は、 V_{OUT604} が、ハイブリッドレギュレータのターゲット出力電圧 V_{TARGET} である V_{REF618} よりも大きいかどうか、または小さいかどうかを決定することができる。ステップ642/644では、ステップ640での比較の結果に基づいて、フィードバック制御ブロック620は、 $V_{CTRL628}$ の周波数を調整することができ、 $V_{CTRL628}$ は、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410との動作周波数を決定するクロック信号である。 V_{OUT604} が V_{REF618} よりも大きい場合、フィードバック制御ブロック620は、 $V_{CTRL628}$ の周波数を減少させる。 V_{OUT604} が V_{REF618} よりも小さい場合、フィードバック制御ブロック620は、 $V_{CTRL628}$ の周波数を増加させる。フィードバック制御ブロック620は、線形制御方式、非線形制御方式、下界制御方式、比例積分微分(PID)制御方式、またはハイブリッドレギュレータを制御するための他の適切な制御方式を実装することができる。フィードバック制御ブロック620は、周期信号を、 V_{OUT604} と V_{REF618} との間の差分に基づいて生成するように構成された、電圧制御発振器などの発振器を含むことができる。

【0063】

ステップ652では、分周器639は、 $V_{CTRL628}$ を受信し、 $V_{CTRL628}$ と比較して異なる周波数を有する、周波数で除算した $V_{CTRL628}$ のバージョンである、 V_{CTRL_DIV622} を生成することができる。いくつかの実施形態では、S C

10

20

30

40

50

レギュレータ410及びS Iレギュレータ408が同じ周波数で動作することができる(つまり、S Iレギュレータの電荷パケット内の電荷の量が、S Cレギュレータの電荷パケット内の電荷の量と同じである)場合、分周器639を、フィードバックシステム637から取り外すことができ、その場合、 V_{CTRL_DIV622} は、 $V_{CTRL628}$ と同一である。

【0064】

ステップ646では、クロック信号 $V_{CTRL628}$ とクロック信号 V_{CTRL_DIV622} に基づいて、多相生成器632、634は、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410との複数の位相をそれぞれ動かす、インターリーブ信号 $CLK_{SI}[N_{PH_SI}-1:0]626$ とインターリーブ信号 $CLK_{SC}[N_{PH_SC}-1:0]624$ とを生成することができる。いくつかの実施形態では、S Cレギュレータ410及びS Iレギュレータ408が単相レギュレータである場合、多相生成器ブロック632、634を取り外すことができ、方法ステップ646と方法ステップ648とを飛ばすことができる。

10

【0065】

ステップ648では、 $CLK_{SI}[N_{PH_SI}-1:0]626$ に基づいて、S Iレギュレータ408は、電荷パケットを、第2ステージS Cレギュレータに、第2ステージS Cレギュレータ410の入力であるノード $V_{IN_N:M}602$ を介して、供給することができる。ステップ650では、第2ステージS Cレギュレータ410は、電荷を、S Iレギュレータ408から受信することができ、S Cレギュレータ410内のコンデンサを、 $CLK_{SC}[N_{PH_SC}-1:0]624$ に基づいて切り替えて、電流を出力 V_{OUT604} に供給し、電流は、比較器636に送信されて、第1のステップ640に戻る。S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410とのパケット当たりの電荷及び切り替え周波数が同じである場合、2つのレギュレータ410、408によって供給される電荷のバランスを取ることができ、 $V_{IN_N:M}602$ は、所定の値に留まることができる。

20

【0066】

これらのステップの後に、フィードバックは、出力電圧 V_{OUT604} を、基準電圧 V_{REF618} の公差範囲内になるように調整することができる。ハイブリッドレギュレータの公差範囲を、予め決めることができる。ハイブリッドレギュレータの公差範囲は、定常状態では、ターゲット電圧の $\pm 0.1 \sim 5\%$ 、負荷電流が変動する負荷過渡イベント中は、 $\pm 5 \sim 20\%$ であってよい。出力電圧 V_{OUT604} が、負荷電流616の急上昇のために、基準電圧 V_{REF618} より下に落ちた場合、フィードバックシステムは、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410との動作周波数を増加させて、出力 V_{OUT604} に提供される電流の量を増加させ、 V_{OUT604} を増加させる。上記で説明した通り、コンバータステージの動作周波数の増加は、供給される電流を増加させ、それは、固定量の電荷を有する電荷パケットが、出力に、より頻繁に供給されるからである。一方で、出力電圧 V_{OUT604} が、負荷電流616の下落のために、基準電圧 V_{REF618} を超えて急増した場合、フィードバックシステムは、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410との動作周波数を減少させて、出力 V_{OUT604} に提供される電流を減少させる。

30

40

【0067】

図6Cは、いくつかの実施形態による、フィードバックシステムがどのように出力電圧を調整するかを示した信号図を示している。この特定の例示では、S Iレギュレータ408内の位相の数(N_{PH_SI})は2であり、S Cレギュレータ410内の位相の数(N_{PH_SC})は4であり、S Iレギュレータ408とS Cレギュレータ410との動作周波数の比率($N_{FREQ}:M_{FREQ}$)は、1:1である。 $N_{FREQ}:M_{FREQ}$ が1:1であるために、図6Cは、フィードバックシステムが分周器ブロック639を含まないシナリオを示している。

【0068】

50

前段落で提供した通り、 $V_{CTRL628}$ は、フィードバック制御ブロック620によって設定された周波数を有するクロック信号である。多相生成器ブロック632、634は、 $V_{CTRL628}$ に基づいて、 180° と 90° とでそれぞれインターリーブされた、クロック信号 $CLK_{SI}[N_{PH_SI}-1:0]626$ とクロック信号 $CLK_{SC}[N_{PH_SC}-1:0]624$ とを生成する。

【0069】

時間 t_{1630} では、 $V_{CTRL628}$ は、第1の立ち上がりエッジを有し、それは、 $CLK_{SI}[0]626$ と $CLK_{SC}[0]624$ とを引き起こす。これらは、Sレギュレータ408とSCレギュレータ410との位相をそれぞれ制御する信号である。 $CLK_{SI}[0]626$ が引き起こされると、Sレギュレータ408の第1の位相は、電荷の

10

パッケージを供給するために切り替わり、 $I_L[0]610$ 上に三角波形を作り出す。

【0070】

時間 t_{2632} では、 $V_{CTRL628}$ は、第2の立ち上がりエッジを有し、それは、Sレギュレータ408とSCレギュレータ410との第2の位相をそれぞれ制御する、信号 $CLK_{SI}[1]626$ と信号 $CLK_{SC}[1]624$ とを引き起こす。 $CLK_{SI}[1]626$ は、 $CLK_{SI}[0]626$ から 180° 位相がずれており、 $CLK_{SC}[1]624$ は、 $CLK_{SC}[0]624$ から 90° 位相がずれている。 $CLK_{SI}[1]626$ によって制御されて、Sレギュレータ408の第2の位相は、電荷のパッケージを供給するために切り替わり、 $I_L[1]610$ 上に三角波形を作り出す。

20

【0071】

時間 t_{3634} では、 $V_{CTRL628}$ は、第3の立ち上がりエッジを有し、それは、Sレギュレータ408の第1の位相とSCレギュレータ410の第3の位相とをそれぞれ制御する、信号 $CLK_{SI}[0]626$ と信号 $CLK_{SC}[2]624$ とを引き起こす。Sレギュレータ408が2つの位相のみを有するために、Sレギュレータ408は、ここで第1の位相に戻り、電荷パッケージを、 $I_L[0]610$ を通して供給する、ということに留意する。

【0072】

時間 t_{4636} では、 $V_{CTRL628}$ は、第4の立ち上がりエッジを有し、それは、Sレギュレータ408の第2の位相とSCレギュレータ410の第4の位相とをそれぞれ制御する、信号 $CLK_{SI}[1]626$ と信号 $CLK_{SC}[3]624$ とを引き起こす

30

。時間 t_{5638} から、フィードバックシステムは、時間インスタンス $t_1 \sim t_4$ のプロセスを繰り返す。

【0073】

いくつかの実施形態では、ハイブリッドレギュレータの第1のコンバータステージは、Sレギュレータを含むことができ、ハイブリッドレギュレータの第2のコンバータステージは、SCレギュレータを含むことができる。他の実施形態では、ハイブリッドレギュレータの第1のコンバータステージは、SCレギュレータを含むことができ、ハイブリッドレギュレータの第2のコンバータステージは、Sレギュレータを含むことができる。

【0074】

いくつかの実施形態では、すべてのコンバータステージに渡って供給された電荷のバランスを取って出力電圧を調整するフィードバックシステムに加えて、ハイブリッドレギュレータシステムは、SCレギュレータ410を、SCレギュレータ410が高効率を達成できる構成で動作させるように構成された、別のフィードバックシステムを含むことができる。

40

【0075】

理想的な場合では、SCレギュレータ410は、入力電圧 $V_{IN_N:M}602$ を、出力電圧 $V_{OUT}604$ に降圧することができ、出力電圧 $V_{OUT}604$ の値は、

$$\frac{M}{N} V_{IN_N:M}$$

50

である。しかしながら、実際には、出力電圧 V_{OUT604} を、

$$\frac{M}{N}V_{IN:N:M} - V_{SC_DROP}$$

に制限することができ（つまり、SCレギュレータ410の最大出力電圧は、

$$\frac{M}{N}V_{IN:N:M} - V_{SC_DROP}$$

に制限され）、式中、 V_{SC_DROP} は、スイッチの寄生抵抗などの、さまざまな非理想的効果によって引き起こされる寄生電圧降下である。しばしば、 V_{SC_DROP} は、出力電圧 V_{OUT604} と比較して、大幅に小さいことがある（たとえば、90nmプロセスでは、0~200mV）。

【0076】

SCレギュレータ410の制御システムは、SCレギュレータ410の出力電圧が、正確に

$$\frac{M}{N}V_{IN:N:M}$$

にはなれないことを予期することができる。したがって、代わりに、SCレギュレータ410の制御システムは、SCレギュレータのターゲット出力電圧604を、

$$V_{TARGET} = \frac{M}{N}V_{IN:N:M} - V_{T_DROP}$$

として設定することができ、式中、 V_{T_DROP} は、ターゲット電圧降下である。

【0077】

V_{T_DROP} を0Vに近い値に設定すると、SCレギュレータがターゲット出力電圧 V_{TARGET} に一致するのがますます困難になり、それは、実際の電圧降下 V_{SC_DROP} が、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} よりも大きくなり得、その場合、SCレギュレータの最大出力電圧（つまり、

$$\frac{M}{N}V_{IN:N:M} - V_{SC_DROP}$$

）が、ターゲット出力電圧

$$V_{TARGET} = \frac{M}{N}V_{IN:N:M} - V_{T_DROP}$$

よりも小さくなり得るからである。

【0078】

たとえば、SCレギュレータが2:1レギュレータであり、入力電圧

$$V_{IN:N:M}$$

が2Vである場合を考える。理想的には、出力電圧 V_{OUT} は、1Vであってよく、寄生電圧降下 V_{SC_DROP} は、0Vであってよい。しかしながら、スイッチの寄生抵抗が

0.1 であり、負荷電流が1 Aである場合、寄生抵抗からの寄生電圧降下は、0.1 Vである。したがって、SCレギュレータの最大出力電圧は、0.9 Vである。この場合、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} が0.1 V以上でない限り、SCレギュレータは、ターゲット電圧 V_{TARGET} に一致することができない。この問題は、寄生抵抗が増加するにつれて、または負荷電流が増加するにつれて、より明白になる。結果として、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} が大きな値に設定された時、広範囲の寄生値と負荷電流とに渡る出力電圧の適切な調整を保証することが容易になる。一方で、SCレギュレータの効率は、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} が、出力 V_{OUT604} が

$$\frac{M}{N} V_{IN:N:M}$$

10

から外れるにつれて、増加するために悪化する。したがって、調整の容易さと変換効率との間にトレードオフがある。したがって、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} を、それが、出力を適切に調整するのに十分大きい、効率悪化を減少させるのに十分小さくなるように、設定することが望ましい。ハイブリッドレギュレータの第2のフィードバックシステムは、ターゲット電圧降下 V_{T_DROP} を、それが、出力を適切に調整するのに十分大きい、効率悪化を減少させるのに十分小さくなるように、設定するように構成され得る。

【0079】

20

図7Aは、いくつかの実施形態による、第2のフィードバックシステムを有するハイブリッドレギュレータシステムを示している。図6Aと比較して、ハイブリッドレギュレータシステムは、ハイブリッドレギュレータ400と第1のフィードバックシステム637とに加えて、Sレギュレータ408のパラメータを調整してレギュレータ効率768を増加させる、第2のフィードバックシステム768を含む。

【0080】

第2のフィードバックシステム768の目的は、寄生電圧降下 $V_{SC_DROP746}$ を、通常0から0.2 Vであるターゲット電圧降下 $V_{T_DROP744}$ の公差範囲内に維持して、SCレギュレータ効率を増加させることである。SCレギュレータの変換率（つまり、N及びM）が知られており、 V_{OUT604} が第1のフィードバックシステムによって調整されるために、第2のフィードバックシステム768は、SCレギュレータ410の $V_{SC_DROP746}$ を、 $V_{IN_N:M602}$ を調整することによって、制御することができる。

30

【0081】

$V_{IN_N:M602}$ を調整するために、第2のフィードバックシステム768は、SCレギュレータ410の入力に提供される電流の量を制御することができる。第2のフィードバックシステム768は、SCレギュレータ410の入力に提供される電流の量を、Sレギュレータ408のパラメータを調整することによって、制御することができる。

【0082】

図7Bは、いくつかの実施形態による、第2のフィードバックシステム768によって調整される、Sレギュレータ408のパラメータを示している。Sレギュレータ408の調整されるパラメータは、Sレギュレータ408の動作周波数を制御する切り替え期間 T_{SI752} （または、 $1/T_{SI}$ に等しい $Freq_{SI756}$ ）と、その間にSレギュレータが電流をSCレギュレータに提供する T_{SI752} の部分を示す活動期間 $T_{ACTIVE748}$ と、その間にSレギュレータがSCレギュレータに提供する電流を増加させる、活動期間 $T_{ACTIVE748}$ の部分を定める負荷サイクル $D754$ と、を含むことができる。 $V_{IN_N:M602}$ を増加させるために、第2のフィードバックシステム768は、Sレギュレータ408に、より多くの電荷を $V_{IN_N:M602}$ に、 $T_{ACTIVE748}$ 、負荷サイクル $D754$ 、及び/または $Freq_{SI756}$ を増加させることによって、供給させることができる。 $V_{IN_N:M602}$ を減少させるた

40

50

めに、第2のフィードバックシステム768は、S Iレギュレータ408に、より少ない電荷を $V_{IN_N:M}602$ に、 $T_{ACTIVE}748$ 、負荷サイクル $D754$ 、及び/または $Freq_{SI}756$ を減少させることによって、供給させることができる。

【0083】

いくつかの実施形態では、第2のフィードバックシステム768は、負荷サイクル $D754$ を、零電流感知ブロック772を使用して制御することができる。零電流感知ブロック772は、S Iレギュレータのインダクタ電流 I_L710 が0 Aに達する時間インスタンスを感知するように構成され得、その時間インスタンスでは、零電流感知ブロック772は、インダクタ電流がインダクタを流れることを、インダクタを、電流をインダクタに提供する1つまたは複数のノードから切断することによって、防ぐようにさらに構成され得る。いくつかの実施形態では、零電流感知ブロック772は、(1)インダクタと直列の抵抗と、(2)抵抗に渡るインダクタ電流によって誘発される電圧を検出する電圧比較器、とを含むことができる。そのような実施形態では、抵抗は、インダクタの固有抵抗部品(たとえば、等価直列抵抗(ESR))であってよい。他の実施形態では、抵抗は、抵抗における電力消失を減少させるために、低抵抗を有することができる。当業者にとって容易に入手可能な他の種類の零電流感知ブロック772も、また、検討される。

【0084】

図7Cは、ハイブリッドレギュレータと第2のフィードバックシステムとのフロー図を示している。フロー図は、第2のフィードバック制御システム768がどのように $V_{SC_DROP}746$ を制御して、ハイブリッドレギュレータの効率を高めるかを説明している。

【0085】

ステップ772では、第2のフィードバックシステム768内の比較器764は、 $V_{SC_DROP}746$ が、ハイブリッドレギュレータによって予め決められた $V_{SC_DROP}746$ のターゲット値である $V_{T_DROP}744$ よりも大きいかどうか、または小さいかどうかを決定する。その後、比較の結果に基づいて、SC降圧制御ブロック742は、 $T_{ACTIVE}748$ 、負荷サイクル $D754$ 、及び/または $Freq_{SI}756$ を調整する。たとえば、 $V_{SC_DROP}746$ が $V_{T_DROP}744$ よりも大きい場合、ステップ774において、SC降圧制御ブロック742は、 $T_{ACTIVE}748$ と負荷サイクル $D754$ と $Freq_{SI}756$ という3つのパラメータのうちの1つまたは複数を増加させる。一方で、 $V_{SC_DROP}746$ が $V_{T_DROP}744$ よりも小さい場合、ステップ776において、SC降圧制御ブロック742は、 $T_{ACTIVE}748$ と負荷サイクル $D754$ と $Freq_{SI}756$ という3つのパラメータのうちの1つまたは複数を減少させる。SC降圧制御ブロック742を、有限状態機械(FSM)として実装することができる。

【0086】

ステップ778では、クロック信号 $V_{CTRL}628$ とクロック信号 $V_{CTRL_DIV}622$ とに基づいて、多相生成器632は、S Iレギュレータ408の複数の位相を動かすインターリーブ信号 $CLK_{SI}[N_{PH_SI}-1:0]626$ を生成することができる。

【0087】

その後、ステップ648では、上記で説明した通り、S Iレギュレータ408は、電荷パケットを $V_{IN_N:M}602$ に、 $CLK_{SI}[N_{PH_SI}-1:0]626$ に基づいて供給する。ステップ650では、上記で説明した通り、SCレギュレータ410は、電荷をS Iレギュレータ408から受信し、 $CLK_{SC}[N_{PH_SC}-1:0]624$ に基づいて切り替わって、電荷を出力 $V_{OUT}604$ に供給する。

【0088】

ステップ780では、 $V_{OUT}604$ と $V_{IN_N:M}602$ と方程式

$$V_{OUT} = \frac{M}{N} V_{IN_N:M} - V_{SC_DROP}$$

とに基づいて、SC降圧測定ブロック770は、 $V_{SC_DROP746}$ を計算し、比較器がプロセスをステップ772から再び繰り返すことができるように、 $V_{SC_DROP746}$ を比較器764に提供する。

【0089】

図4～図7は、2ステージハイブリッドレギュレータのためのフィードバックシステムを示しているが、開示のフィードバックシステムを、図2に一般的に例示した任意の種類のハイブリッドレギュレータに適用することができる。

10

【0090】

いくつかの実施形態では、ハイブリッドレギュレータは、特定のコンバータを動的にバイパスしてハイブリッドレギュレータの効率を高めることができるように、1つまたは複数のコンバータステージに連結されたバイパススイッチを含むことができる。図8は、いくつかの実施形態による、バイパススイッチを有するハイブリッドレギュレータを示している。図8は、複数の、電圧コンバータステージ806、808、...、810と、バイパススイッチ812、814、...、816とを含む。

【0091】

V_{IN802} が12Vであると仮定すると、コンバータ1806は、6:1 SCレギュレータであり、ターゲット出力 V_{OUT804} は、1.9Vである。

20

$$V_{OUT} = \frac{M}{N} V_{IN_N:M} - V_{SC_DROP}$$

であることを思い起こすと、式中 $V_{IN_N:M}$ はSCレギュレータの入力であり、 V_{OUT} はSCレギュレータの出力である。コンバータ1818の出力は、12Vを6で除算した、2Vに非常に近い値であってよい。 V_{SC_DROP} が、SCレギュレータの高（つまり、最大95%）効率を維持するために許容可能な、0.1Vであると仮定すると、残りのコンバータ（つまり、コンバータ2808及びコンバータN810）をバイパスして、コンバータ1818の出力を、出力 V_{OUT804} に、直接接続することができる。この場合、スイッチ812は、「オフ」または切断されており、残りのスイッチ814、816は、「オン」または接続されており、コンバータ2とコンバータNとをバイパスする。

30

【0092】

別の実施例として、ターゲット出力電圧 V_{OUT804} が0.75Vであり、入力電圧 V_{IN802} が12Vであり、コンバータ2808が2:1 SCレギュレータであると仮定する。ターゲット出力 V_{OUT804} を供給する一方法は、前の場合と同じ6:1 SCレギュレータ（コンバータ1818）を使用することである。この場合、 V_{SC_DROP} は1.25Vになり、それは、 V_{OUT804} が、1.9Vの代わりに0.75Vであるからである。 V_{SC_DROP} が大きいため、ハイブリッドレギュレータの変換効率は、著しく悪化する（つまり、効率は、 $0.75/2.0$ である、37.5%に制限される）。より良い方法は、コンバータ1だけの代わりに、直列の2つのコンバータ（たとえば、コンバータ1及びコンバータ2）を使用することである。コンバータ2808が2:1 SCレギュレータであるため、コンバータ1808とコンバータ2818との V_{SC_DROP} が0.1Vであると仮定すると、コンバータ1818の出力は1.9Vであってよく、コンバータ2808の出力は、

40

$$\frac{1.9}{2} - 0.1 = 0.75V$$

であってよい。このようにして、 V_{SC_DROP} は、コンバータ1とコンバータ2との両方のために、小さな値に制限され、両方のコンバータのための変換効率は、高く（つま

50

り、本実施例では、83.8%)なり得る。この構成を可能にするために、コンバータ1とコンバータ2とを除いて残りのコンバータをバイパスするために、スイッチ812及びスイッチ814は「オフ」であり、残りのスイッチ816は「オン」である。

【0093】

いくつかの実施形態では、各コンバータステージは、複数の入力と出力とを有する、再構成可能コンバータ822(たとえば、そのステップダウン率を、2:1、3:1、4:1、5:1などの値に渡って再構成することができるSCコンバータ)と、入力と出力とを、これらの複数の信号から選択することができる、1つまたは複数のスイッチマトリクス820、824とを含むことができる。たとえば、再構成可能コンバータ822は、入力電圧として、4Vと6Vとを受信し、出力電圧として、1Vと2Vとを提供することができる。再構成可能コンバータ822は、所望の入力値と出力値とにより、4:1、6:1、2:1、3:1の変換率に渡って再構成され得る。

10

【0094】

いくつかの実施形態では、バイパススイッチ812、814、816の制御を、コントローラ818によって実行することができる。たとえば、コントローラ818は、バイパススイッチ812、814、816の状態、たとえば、バイパススイッチのうちの1つまたは複数が「オン」または「オフ」かどうかを、決定することができる。コントローラ818は、バイパススイッチ812、814、816の状態を、 V_{IN} 802と、 V_{OUT} 804と、ハイブリッドレギュレータ内のすべてのSCレギュレータステージの変換率と、ハイブリッドレギュレータ内のSCコンバータステージの寄生SC電圧降下と、のうちの1つまたは複数に基づいて、決定することができる。

20

【0095】

いくつかの実施形態では、コントローラ818は、バイパススイッチ812、814、816の状態を、ルックアップテーブルを使用して決定することができる。ルックアップテーブルは、どのスイッチを、さまざまな V_{IN} 802値と V_{OUT} 804値とのためにオンにすべきかを、一覧にすることができる。図9は、いくつかの実施形態による、バイパススイッチを制御するためのルックアップテーブルを示している。このルックアップテーブル902は、3コンバータステージを有するハイブリッドレギュレータを制御するように構成されており、コンバータ1は2:1 SCコンバータであり、コンバータ2は3:1 SCコンバータであり、コンバータ3はSIコンバータであり、0V寄生SC電圧降下である。いくつかの場合では、コントローラ818は、第1のフィードバックシステム637の一部、または第2のフィードバックシステム768の一部であってよい。

30

【0096】

いくつかの実施形態では、バイパススイッチ812、814、816を、図8に示す通り、直列に配置することができる。いくつかの場合では、直列構成の各バイパススイッチは、シングルコンバータステージの入力ノードと出力ノードとを連結するように構成され得る。別の場合では、直列構成の各バイパススイッチは、第1のコンバータステージの入力ノードと第2のコンバータステージの出力ノードとを連結するように構成され得る。たとえば、1つのバイパススイッチを、コンバータ1806の入力ノードとコンバータ2808の出力ノードとを連結するように構成することができる。いくつかの実施形態では、バイパススイッチを、1つのコンバータステージの入力ノードと別のコンバータステージの出力ノードとを集合的に連結する、スイッチマトリクスとして配置することができる。いくつかの実施形態では、バイパススイッチを、1つのコンバータステージの入力ノードと別のコンバータステージの出力ノードとを集合的に連結する、スイッチのツリーとして配置することができる。

40

【0097】

開示の装置及びシステムは、コンピューティングデバイスを含むことができる。図10は、いくつかの実施形態による、コンピューティングデバイスのブロック図である。ブロック図は、コンピューティングデバイス1000を示しており、コンピューティングデバイス1000は、プロセッサ1002と、メモリ1004と、1つまたは複数のインター

50

フェース1006と、加速器1008と、ハイブリッドレギュレータシステム400とを含む。ハイブリッドレギュレータシステム400は、第1ステージコンバータ408及び第2ステージコンバータ410を含む複数のコンバータステージ、第1のフィードバックシステム637及び第2のフィードバックシステム768を有する。コンピューティングデバイス1000は、追加のモジュール、より少ないモジュール、または、任意の適切な動作または動作の組み合わせを実行する、モジュールの他の適切な組み合わせを含むことができる。

【0098】

コンピューティングデバイス1000は、(図示しない)他のコンピューティングデバイスと、インターフェース1006を介して通信することができる。インターフェース1006を、ハードウェアで実装して、信号を、光、銅、及びワイヤレスなどのさまざまな媒体で、多数の異なる、そのうちのいくつかは非線形であるプロトコルで、送受信することができる。

10

【0099】

いくつかの実施形態では、加速器1008を、特定用途向け集積回路(ASIC)を使用するハードウェアで実装することができる。加速器1008は、システムオンチップ(SOC)の一部であってよい。他の実施形態では、加速器1008を、論理回路、プログラム可能論理アレイ(PLA)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、フィールドプログラム可能ゲートアレイ(FPGA)、または他の集積回路を使用するハードウェアで実装することができる。いくつかの場合では、加速器1008を、他の集積回路と同じパッケージ内にパッケージ化することができる。

20

【0100】

いくつかの実施形態では、コンピューティングデバイス1000は、ユーザ装置を含むことができる。ユーザ装置は、1つまたは複数の無線アクセスネットワーク及び有線通信ネットワークと通信することができる。ユーザ装置は、通話通信能力を有する携帯電話であってよい。ユーザ装置は、また、文書処理、ウェブブラウジング、ゲーム、電子書籍能力、オペレーティングシステム、及び完全なキーボードなどのサービスを提供するスマートフォンであってよい。ユーザ装置は、また、ネットワークアクセスと、スマートフォンによって提供されるサービスのほとんどとを提供する、タブレットコンピュータであってよい。ユーザ装置は、Symbian OS、iPhone(登録商標) OS、RIMのBlackberry、Windows Mobile、Linux(登録商標)、HP WebOS、及びAndroidなどの、オペレーティングシステムを使用して動作する。画面は、データをモバイルデバイスに入力するために使用されるタッチ画面であってよく、その場合、画面を、完全なキーボードの代わりに使用することができる。ユーザ装置は、また、全地球測位座標、プロフィール情報、または他の位置情報を保持することができる。ユーザ装置は、また、ウェアラブル電子デバイスであってよい。

30

【0101】

コンピューティングデバイス1000は、また、計算と通信とを行うことができる、任意のプラットフォームを含むことができる。非限定的な実施例は、テレビ(TV)と、ビデオプロジェクタと、セットトップボックスまたはセットトップユニットと、デジタルビデオレコーダ(DVR)と、コンピュータと、ネットブックと、ノートパソコンと、計算能力を有する任意の他の音声/視覚装置と、を含む。コンピューティングデバイス1000を、メモリ内に記憶され得る命令を処理し、ソフトウェアを実行する、1つまたは複数のプロセッサを用いて構成することができる。プロセッサは、また、メモリとインターフェースと通信して、他のデバイスと通信する。プロセッサは、CPUとアプリケーションプロセッサとフラッシュメモリとを統合するシステムオンチップなどの、任意の適用可能なプロセッサであってよい。コンピューティングデバイス1000は、また、キーボード、タッチ画面、トラックボール、タッチパッド、及び/またはマウスなどの、さまざまなユーザインターフェースを提供することができる。コンピューティングデバイス1000は、また、いくつかの実施形態では、スピーカと表示デバイスとを含むことができる。コ

40

50

ンピューティングデバイス 1000 は、また、生体電子デバイスを含むことができる。

【0102】

開示の主題が、その応用において、以下の説明に記載された、または図面に例示された、構成要素の作成詳細と配置とに限定されない、ということが理解される。開示の主題は、他の実施形態が可能であり、さまざまな方法で実践し、実行することが可能である。また、本明細書で使用された表現及び用語が、説明の目的のためであり、限定するものとしてみなされるべきでない、ということが理解される。

【0103】

したがって、当業者は、本開示が基づく概念を、開示の主題のいくつかの目的を実行するための、他の構造とシステムと方法と媒体との設計のための基礎として、容易に活用することができる、ということを理解する。したがって、特許請求の範囲を、そのような同等構造物を含むものとしてみなすことが重要であり、それは、同等構造物が開示の主題の精神と範囲とから逸脱しない限りにおいてである。

10

【0104】

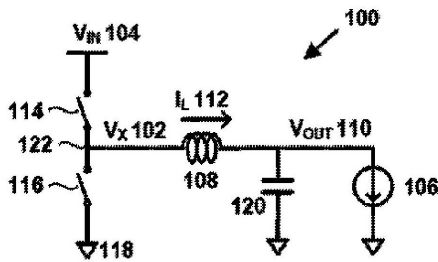
開示の主題を、前述の例示的な実施形態において説明し、例示したが、本開示が、単に一例として行われ、開示の主題の実装形態の詳細の多数の変更を、以下の特許請求の範囲によってのみ限定される、開示の主題の精神と範囲とから逸脱せずに行うことができる、ということが理解される。

【0105】

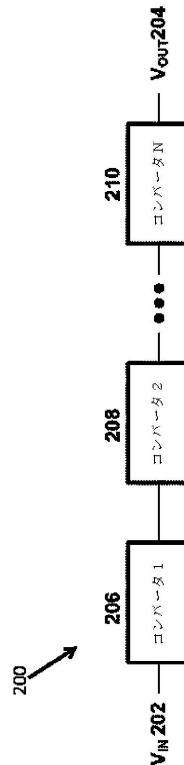
以下を請求する。

20

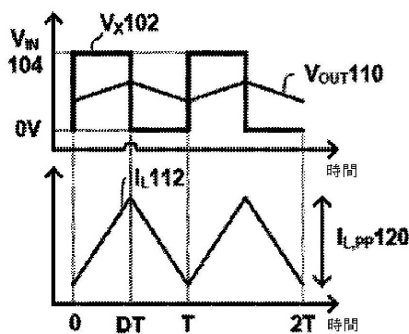
【図1A】



【図2A】



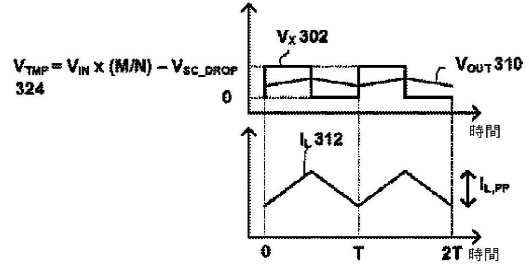
【図1B】



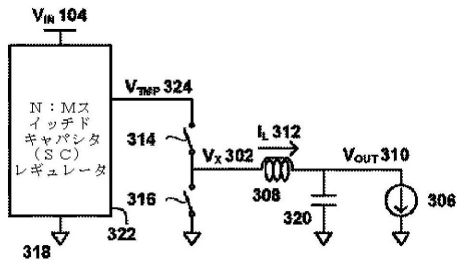
【 図 2 B 】



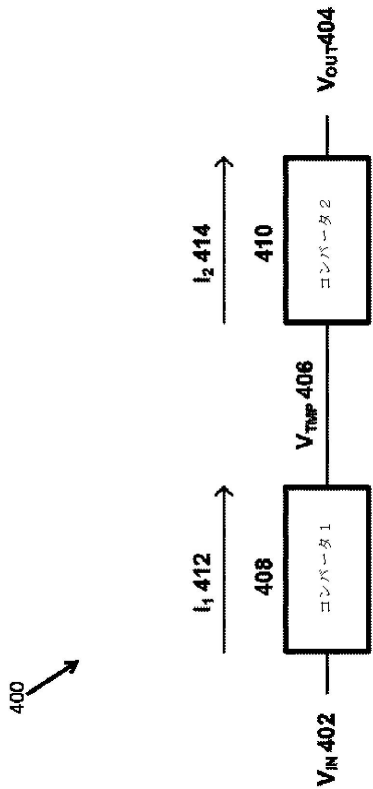
【 図 3 B 】



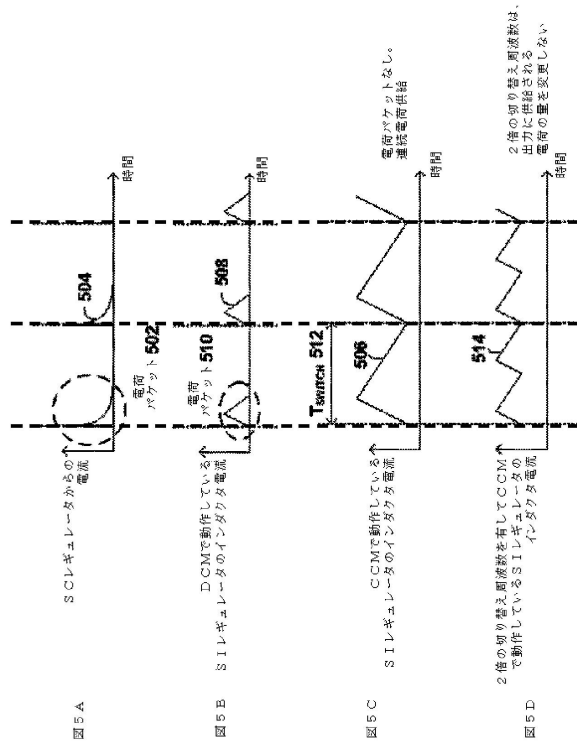
【 図 3 A 】



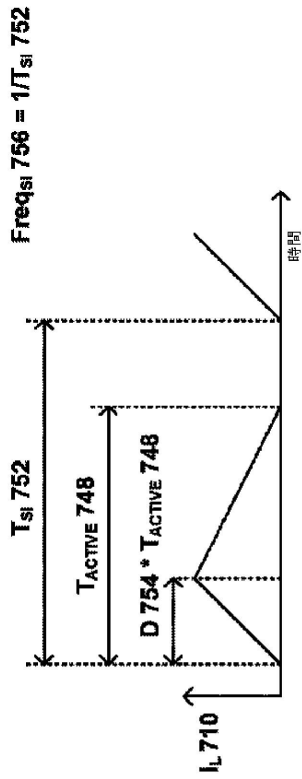
【 図 4 】



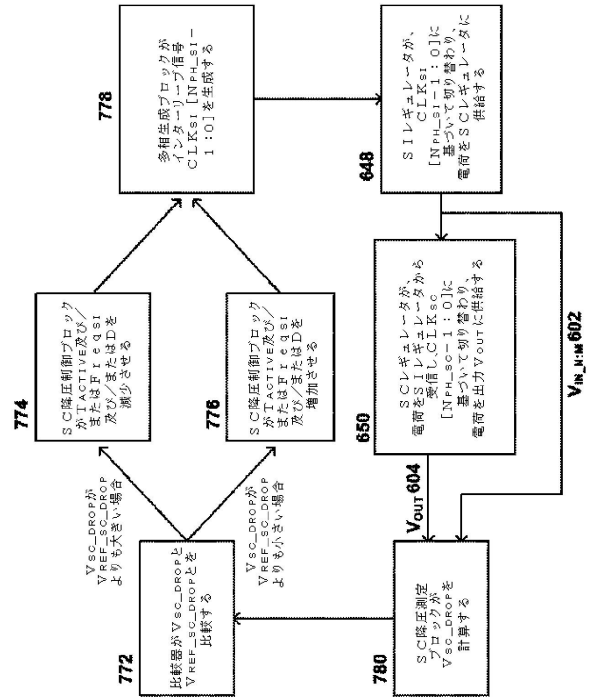
【 図 5 A - D 】



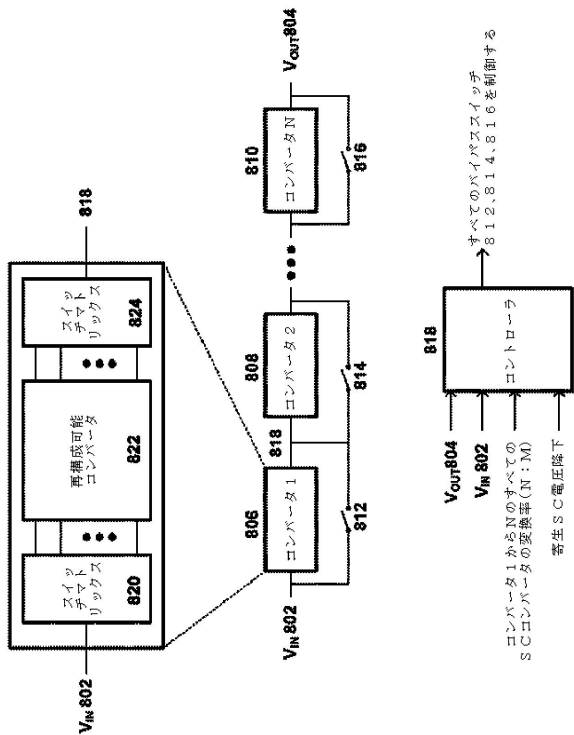
【図7B】



【図7C】



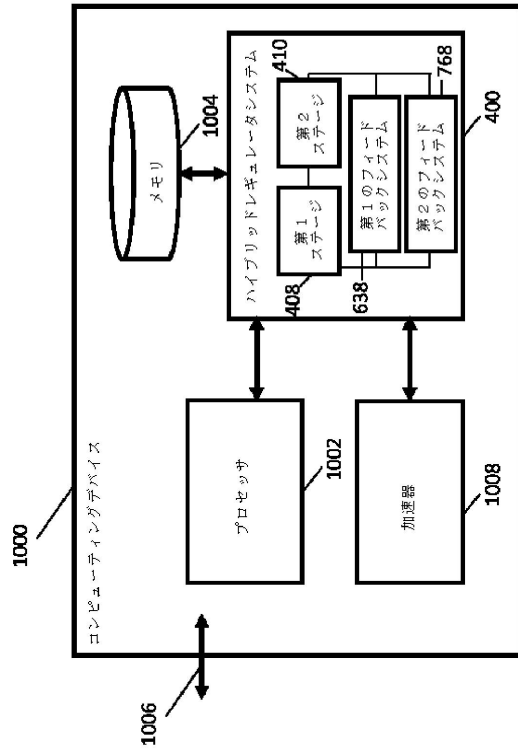
【図8】



【図9】

スイッチャクション	スイッチャップ	説明
なし	1, 2, 3	コンバータ1, 2, 3を使用する
1	2, 3	コンバータ2, 3を使用する
2	1, 3	コンバータ1, 3を使用する
1, 2	3	コンバータ3を使用する

【 図 10 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ブゲリー, アルバート
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94706, アルバニー, アパートメント 210, 485
オウローン アベニュー
- (72)発明者 キム, ウォンユング
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94704, バークリー, アパートメント 3, 1918
ヘンリー ストリート

審査官 柳下 勝幸

- (56)参考文献 特表2010-515419(JP, A)
特開昭52-017648(JP, A)
特開2008-167506(JP, A)
特開平07-087732(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H02M | 3/155 |
| H02M | 3/07 |