

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-149902

(P2016-149902A)

(43) 公開日 平成28年8月18日(2016.8.18)

(51) Int.Cl.

H02M 3/155 (2006.01)

F I

H02M 3/155

P

テーマコード (参考)

5H730

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2015-26652 (P2015-26652)
 (22) 出願日 平成27年2月13日 (2015.2.13)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100104765
 弁理士 江上 達夫
 (74) 代理人 100099645
 弁理士 山本 晃司
 (74) 代理人 100107331
 弁理士 中村 聡延
 (72) 発明者 山川 隼史
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
 (72) 発明者 岡村 賢樹
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

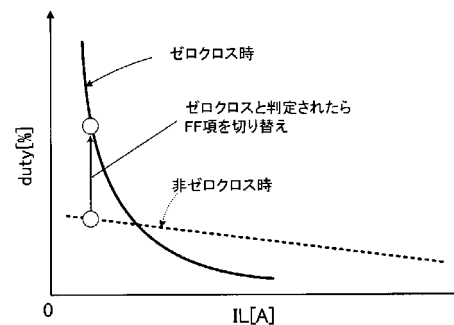
(54) 【発明の名称】 昇圧制御装置

(57) 【要約】

【課題】片素子制御中において、適切なデューティ制御を実行する。

【解決手段】昇圧制御装置(30)は、第1スイッチング素子(Q1)及び第2スイッチング素子(Q2)の一方のみを駆動する片素子制御中において、リアクトル(L1)を流れる出力電流(IL)の第1所定期間における変化量を検出する電流値変化量検出手段(310)と、変化量が所定閾値未満である場合に、出力電流がゼロ近傍であると判定する判定手段(320)と、出力電流がゼロ近傍でない場合に第1の制御パラメータによる第1デューティ制御を行い、出力電流がゼロ近傍である場合に第1の制御パラメータとは異なる第2の制御パラメータによる第2デューティ制御を行う制御手段(330)とを備える。第2デューティ制御では、出力電流に対応するデューティ比が、第1デューティ制御よりも大きくなる。

【選択図】図16



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

リアクトルに夫々直列に接続される第 1 スイッチング素子及び第 2 スイッチング素子のいずれか一方のみを駆動する片素子制御を実現可能な昇圧制御装置であって、

前記片素子制御中において、

前記リアクトルを流れる出力電流の第 1 所定期間における変化量を検出する電流値変化量検出手段と、

前記変化量が所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する判定手段と、

(i) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定されなかった場合に、第 1 の制御パラメータによる第 1 デューティ制御を行い、(i i) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定された場合に、前記第 1 の制御パラメータと異なる第 2 の制御パラメータによる第 2 デューティ制御を行う制御手段と

を備え、

前記第 2 デューティ制御では、前記出力電流に対応するデューティ比が、前記第 1 デューティ制御よりも大きい

ことを特徴とする昇圧制御装置。

【請求項 2】

前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータは、相異なるフィードフォワード項を含んでおり、

前記第 2 デューティ制御における前記出力電流に対応するデューティ比は、前記フィードフォワード項の違いにより、前記第 1 デューティ制御よりも大きくされる

ことを特徴とする請求項 1 に記載の昇圧制御装置。

【請求項 3】

前記電流値変化量検出手段は、微分器を含んでいることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の昇圧制御装置。

【請求項 4】

前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を所定回数連続して検出することで前記変化量を検出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の昇圧制御装置。

【請求項 5】

前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を 3 回以上連続して検出することで複数の前記変化量を検出し、

前記判定手段は、複数の前記変化量のうち、所定個数以上の前記変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する

ことを特徴とする請求項 4 に記載の昇圧制御装置。

【請求項 6】

前記電流値変化量検出手段は、前記第 1 スイッチング素子又は前記第 2 スイッチング素子がオンとされる直前の第 2 所定期間において前記変化量を検出することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 7】

前記電流値変化量検出手段は、時間軸上で連続する第 1 期間及び第 2 期間の各々で、前記第 1 期間に対応する前記変化量である第 1 の変化量、及び前記第 2 期間に対応する前記変化量である第 2 の変化量を夫々検出し、

前記判定手段は、(i) 前記第 1 の変化量が前記所定閾値未満でなく、前記第 2 の変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記第 2 期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍になったタイミングであると判定し、(i i) 前記第 1 の変化量が前記所定閾値未満であり、前記第 2 の変化量が前記所定閾値未満でない場合に、前記第 2 期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍ではなくなったタイミングであると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 8】

前記制御手段は、前記第 1 デューティ制御と前記第 2 デューティ制御とを相互に切り替える場合に、前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの連続性を高める制御を行うことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 9】

前記第 1 デューティ制御及び前記第 2 デューティ制御は、比例積分制御を含んでおり、前記制御手段は、第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの差分を前記比例積分制御における積分項に加算することで、前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの連続性を高める

ことを特徴とする請求項 8 に記載の昇圧制御装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば車両等に搭載される昇圧制御装置の技術分野に関する。

【背景技術】

【0002】

電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池車等の電動車両では、走行に用いる駆動力及び蓄電に用いる回生電力を発生させるモータジェネレータを制御するために、インバータが搭載される。インバータが利用する電力は走行状態等に応じて変動するため、蓄電装置とインバータとの間に電圧変換装置（コンバータ）が備えられる場合がある。

【0003】

20

そして、電動車両の燃費向上のためには、コンバータの損失を低減させることが有効である。このため、例えば特許文献 1 では、昇圧コンバータを片方の素子だけでスイッチング駆動させるという技術（以下、適宜「片素子制御」と称する）が提案されている。片素子制御によれば、例えば電流リップルを減らせる分、コンバータの損失を低減させることができる。とされている。

【0004】

その他、特許文献 2 では、コンバータの制御に関連する技術として、リアクトルを流れる電流がゼロ近傍となる瞬間（ゼロクロス）を検出する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0005】

【特許文献 1】特開 2011-120329 号公報

【特許文献 2】特開 2005-151606 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

片素子制御においては、ゼロクロス前後で出力電流とデューティ比の関係が大きく変化するため、ゼロクロスであるか否かによって制御内容を変更することが好ましい。即ち、ゼロクロス領域用の制御と、ゼロクロスでない領域用の制御とを適宜切り替えて実行することが好ましい。

40

【0007】

ここでゼロクロスは、例えばリアクトルに流れる電流や印加される電圧等を監視することで判定可能であるが、上述した特許文献 1 及び 2 を含む従来技術においてゼロクロスを高精度且つ遅延なく検出することは容易ではない。そして、ゼロクロスのタイミングを正確に検出できなければ、デューティ制御を適切に切り替えることができず、結果として所望の出力電流を得られないという技術的問題点が生じ得る。特に、高周波化された状態においては、このような問題点は顕著に発生すると考えられる。

【0008】

本発明は、例えば上述した問題点に鑑みなされたものであり、片素子制御中においてゼロクロスを正確に判定し、適切なデューティ制御を実行することが可能な昇圧制御装置を

50

提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

<1>

本発明の昇圧制御装置は上記課題を解決するために、リアクトルに夫々直列に接続される第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子のいずれか一方のみを駆動する片素子制御を実現可能な昇圧制御装置であって、前記片素子制御中において、前記リアクトルを流れる出力電流の第1所定期間における変化量を検出する電流値変化量検出手段と、前記変化量が所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する判定手段と、(i)前記出力電流がゼロ近傍であると判定されなかった場合に、第1の制御パラメータによる第1デューティ制御を行い、(ii)前記出力電流がゼロ近傍であると判定された場合に、前記第1の制御パラメータと異なる第2の制御パラメータによる第2デューティ制御を行う制御手段とを備え、前記第2デューティ制御では、前記出力電流に対応するデューティ比が、前記第1デューティ制御よりも大きい。

10

【0010】

本発明に係る昇圧制御装置は、例えば車両に搭載されるコンバータであり、リアクトルに夫々直列に接続される第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子を備えている。第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子としては、例えばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)、電力用MOS(Metal Oxide Semiconductor)トランジスタ、或いは電力用バイポーラトランジスタ等を用いることができる。なお、第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子の各々には、例えばダイオードが並列に接続されている。

20

【0011】

本発明に係る昇圧制御装置は特に、第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子のいずれか一方のみを駆動する片素子制御を実現可能である。片素子制御が行われる際には、例えば出力すべき電圧値や電流値等に基づいて、第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子のいずれのスイッチング素子を駆動させて片素子制御を行うべきかが判定される。より具体的には、例えば昇圧制御装置に接続されるモータジェネレータが回生動作を行う場合には第1スイッチング素子による片素子制御が選択され、力行動作を行う場合には第2スイッチング素子による片素子制御が選択される。このように、片素子制御を行う場合には、第1スイッチング素子による片素子制御及び第2スイッチング素子による片素子制御が適宜切替えられる。

30

【0012】

片素子制御中には、電流値変化量検出手段により、リアクトルを流れる出力電流の第1所定期間における変化量が検出される。ここでの「第1所定期間」は、出力電流の変化量を、後述する判定(即ち、出力電流がゼロ近傍であるか否かの判定)に利用可能な適切なパラメータとして検出するための期間であり、例えば出力電流のサンプリング周期等に応じて予め設定される。

【0013】

出力電流の変化量が検出されると、判定手段において、出力電流がゼロ近傍であるか否かが判定される。具体的には、判定手段は、出力電流の変化量が所定閾値未満である場合に、出力電流がゼロ近傍であると判定する。言い換えれば、判定手段は、出力電流の変化量が所定閾値以上である場合に、出力電流がゼロ近傍でないと判定する。なお、ここでの「ゼロ近傍」とは、後述する出力電流とデューティ比との関係の変化が生ずる程に、出力電流がゼロに近い状態を指している。また、「所定値」とは、出力電流がゼロ近傍であるか否かを判定するために設定される閾値であり、典型的にはゼロに近い値として設定される。

40

【0014】

判定手段における判定結果は、制御手段による各スイッチング素子の制御に用いられる。具体的には、出力電流がゼロ近傍であると判定されなかった場合には、第1の制御パラ

50

メータによる第1デューティ制御が行われる。一方、出力電流がゼロ近傍であると判定された場合には、第1の制御パラメータとは異なる第2の制御パラメータによる第2デューティ制御が行われる。ここでの「デューティ制御」とは、第1スイッチング素子又は第2スイッチング素子のデューティ比（即ち、オン期間とオフ期間との比率）を変化させる制御であり、制御手段は出力すべき出力電流の値に応じてデューティ比を制御する。なお「制御パラメータ」とは、デューティ比そのものであってもよいし、デューティ比に間接的に影響を与える他のパラメータであってもよい。

【0015】

第1デューティ制御及び第2デューティ制御は、相異なる制御パラメータにより実行されるため、出力電流に対応するデューティ比（即ち、所望の出力電流を得るためのデューティ比）が互いに異なっている。具体的には、第2デューティ制御における出力電流に対応するデューティ比は、第1デューティ制御における出力電流に対応するデューティ比よりも大きくされている。よって、仮に第1デューティ制御によって出力電流Aを出力させようとした場合に実現されるデューティ比よりも、第2デューティ制御によって出力電流Aを出力させようとする場合に実現されるデューティ比は大きい。

10

【0016】

ちなみに、出力電流とデューティ比との関係は、出力電流が小さくなるほどデューティ比が大きくなる傾向を示す。ここで、例えば第1制御パラメータが、出力電流の減少に対して1次関数的にデューティ比を増加させるようなパラメータとして設定されている場合、一方の第2パラメータは、出力電流の減少に対して2次関数的にデューティ比を増加させるようなパラメータとして設定される。

20

【0017】

上述したように、本発明に係る昇圧制御装置では、出力電流がゼロ近傍であるか否かによって異なるデューティ制御が実行される。このようにすれば、出力電流がゼロ近傍となった場合に生ずる出力電流とデューティ比との関係の変化に対応することが可能となる。例えば、出力電流とデューティ比との関係が変化すると、出力電流がゼロ近傍である場合（以下、適宜「ゼロクロス」と称する）と、出力電流がゼロ近傍でない場合（以下、適宜「非ゼロクロス」と称する）とでは、デューティ比が同じであっても異なる出力電流が出力されることになる。このため、ゼロクロス時において非ゼロクロス時と同様のデューティ制御を行ってしまうと、出力電流が所望の値にならないおそれがある。これに対し、出力電流がゼロ近傍であるか否かによって異なるデューティ制御を行えば、ゼロクロス時及び非ゼロクロス時の各々において、適切な出力電流を得ることが可能となる。

30

【0018】

また本発明では、上述したように、ゼロクロスであるか否かの判定が出力電流の第1所定期間における変化量を用いて行われる。このため、例えば電流センサの出力値から直接ゼロクロスを判定しようとする場合と比べて、迅速且つ高精度にゼロクロスを判定することができる。よって、ゼロクロスに応じたデューティ制御の切り替えを適切なタイミングで実行することが可能となり、結果として所望の出力電流を確実に得ることができる。

【0019】

以上説明したように、本発明に係る昇圧制御装置によれば、片素子制御中においてゼロクロスを正確に判定することができるため、適切なデューティ制御を実行することが可能である。

40

【0020】

<2>

本発明の昇圧制御装置の一態様では、前記第1の制御パラメータ及び前記第2の制御パラメータは、相異なるフィードフォワード項を含んでおり、前記第2デューティ制御における前記出力電流に対応するデューティ比は、前記フィードフォワード項の違いにより、前記第1デューティ制御よりも大きくされる。

【0021】

この態様によれば、第1の制御パラメータ及び第2の制御パラメータは、夫々フィード

50

フォワード項を含んでいる。そして、第1の制御パラメータに含まれるフィードフォワード項と、第2の制御パラメータに含まれるフィードフォワード項とは、相異なるものとされている。このように、第1及び第2の制御パラメータのフィードフォワード項を互いに異ならしめることで、第2デューティ制御における出力電流に対応するデューティ比は、第1デューティ制御における出力電流に対応するデューティ比よりも大きくされている。言い換えれば、第1の制御パラメータ及び第2の制御パラメータの各々に含まれるフィードフォワード項は、第1デューティ制御時及び第2デューティ制御時のデューティ比の大小関係を決定するものとして設定される。

【0022】

上述したフィードフォワード項を含む第1制御パラメータ及び第2制御パラメータを利用すれば、より好適に第1デューティ制御及び第2デューティ制御を実行することができる。

【0023】

<3>

本発明の昇圧制御装置の他の態様では、前記電流値変化量検出手段は、微分器を含んでいる。

【0024】

この態様によれば、微分器の出力として出力電流の傾きを得ることができるため、出力電流の第1所定期間における変化量を容易に検出することができる。また、アナログ微分器を用いれば、例えばデジタル処理を実現する高性能なマイコンを使う必要がないため、コストの低減を図ることができる。更に、出力電流のサンプリング周期を細かくするような制御負荷の上昇を伴わないため、従来の装置に対する適用が容易である。

【0025】

<4>

本発明の昇圧制御装置の他の態様では、前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を所定回数連続して検出することで前記変化量を検出する。

【0026】

この態様によれば、比較的短い時間間隔（例えば1 μ s 間隔）で連続して検出された出力電流の差分から、出力電流の変化量を検出することができる。なお、ここでの「所定回数」は、適切な変化量を算出するために設定される値であり、2回以上であれば特に限定されるものではない。なお、所定回数が3回以上に設定された場合は、3つ以上の検出値から複数の変化量を検出することもできるし、選択した2値から1つの変化量を検出することもできる。また、所定の回数は、状況に応じて変更されても構わない。

【0027】

<5>

上述した出力電流を所定回数連続して検出する態様では、前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を3回以上連続して検出することで複数の前記変化量を検出し、前記判定手段は、複数の前記変化量のうち、所定個数以上の前記変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する。

【0028】

この場合、電流値変化量検出手段では、出力電流の変化量が複数検出される。具体的には、検出された3つ以上の出力電流の値から、2つ以上の相異なる期間における出力電流の変化量が検出される。そして判定手段では、検出された複数の変化量のうち、所定個数以上の変化量が所定閾値未満である場合に、出力電流がゼロ近傍であると判定される。言い換えれば、所定閾値未満である変化量が所定個数未満であった場合には、他に所定閾値未満である変化量が存在していても、出力電流がゼロ近傍であるとは判定されない。

【0029】

ここで、「所定個数」は、判定手段における判定精度を高めるために設定される値であり、原理的には大きいほど判定精度を高めることができる。よって、検出される変化量の数と所定個数とを一致させれば（即ち、検出される変化量の全てに所定閾値未満であると

10

20

30

40

50

いう条件を課せば)、極めて正確にゼロクロス判定が行える。一方で、所定個数を検出される変化量の数より小さい値にすれば、例えばノイズ等に起因して一部の变化量が正確に検出されなかった場合であっても、好適にゼロクロス判定が行える。

【0030】

以上のように、複数の変化量を利用すれば、1つの変化量のみを利用して出力電流がゼロ近傍であるか否かを判定する場合と比べて、高い精度で判定が行える。なお、精度を高める観点からすれば、より多くの変化量を利用する方が好ましいが、迅速に判定を行うためには、変化量の数は多くなり過ぎないことが好ましい。

【0031】

<6>

本発明の昇圧制御装置の他の態様では、前記電流値変化量検出手段は、前記第1スイッチング素子又は前記第2スイッチング素子がオンとされる直前の第2所定期間において前記変化量を検出する。

【0032】

この態様によれば、出力電流の変化量を検出するための処理、及び出力電流の変化量を利用した判定処理を常時実行せずに済む。このため、実際に処理を実行する場面以外での負荷を低減でき、装置全体で見た場合の負荷を低減することができる。

【0033】

なお、出力電流は、第1スイッチング素子又は第2スイッチング素子がオンとされる期間において増加し、オフとされる期間において減少する。このため、理論的には第1スイッチング素子又は第2スイッチング素子がオンとされる期間において出力電流がゼロ近傍となることはなく、オフとされる期間(特にオンとされる直前の期間)において出力電流がゼロ近傍となる可能性がある。本態様における「第2所定期間」とは、上述した出力電流がゼロ近傍となる可能性がある期間として予め設定される期間である。

【0034】

以上の結果、第1スイッチング素子又は前記第2スイッチング素子がオンとされる直前の第2所定期間において出力電流の変化量を検出するようにすれば、出力電流がゼロ近傍となる可能性がある期間において、適切にゼロクロスの判定が行える。この結果、不必要な処理を実行することを回避でき、制御負荷を効率的に低減することができる。

【0035】

<7>

本発明の昇圧制御装置の他の態様では、前記電流値変化量検出手段は、時間軸上で連続する第1期間及び第2期間の各々で、前記第1期間に対応する前記変化量である第1の変化量、及び前記第2期間に対応する前記変化量である第2の変化量を夫々検出し、前記判定手段は、(i)前記第1の変化量が前記所定閾値未満でなく、前記第2の変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記第2期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍になったタイミングであると判定し、(ii)前記第1の変化量が前記所定閾値未満であり、前記第2の変化量が前記所定閾値未満でない場合に、前記第2期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍ではなくなったタイミングであると判定する。

【0036】

この場合、第1期間に対応する第1の変化量と、第2期間に対応する第2の変化量とを用いることで、出力電流がゼロ近傍であるか否かだけでなく、出力電流がゼロ近傍になったタイミング、或いはゼロ近傍ではなくなったタイミングを判定できる。

【0037】

具体的には、第1の変化量が所定閾値未満でなく、第2の変化量が所定閾値未満である場合には、第1期間では出力電流がゼロ近傍ではないが、第2期間では出力電流がゼロ近傍であると判定できる。よって、第2期間に対応するタイミングを出力電流がゼロ近傍になったタイミングであると判定できる。一方、第1の変化量が所定閾値未満であり、第2の変化量が所定閾値未満でない場合には、第1期間では出力電流がゼロ近傍であるが、第2期間では出力電流がゼロ近傍でないと判定できる。よって、第2期間に対応するタイミ

10

20

30

40

50

ングを出力電流がゼロ近傍ではなくなったタイミングであると判定できる。

【0038】

出力電流がゼロ近傍となったタイミング、又はゼロ近傍ではなくなったタイミングを判定できれば、第1デューティ制御及び第2デューティ制御の切り替えを適切なタイミングで行えるだけでなく、制御の切り替え時にのみ行うべき処理（例えば、後述する制御パラメータの連続性を高める処理や、フィードバック制御におけるゲインを切り替える処理等）を適切に実行することができる。

【0039】

<8>

本発明の昇圧制御装置の他の態様では、前記制御手段は、前記第1デューティ制御と前記第2デューティ制御とを相互に切り替える場合に、前記第1の制御パラメータ及び前記第2の制御パラメータの連続性を高める制御を行う。

【0040】

この態様によれば、第1の制御パラメータと第2の制御パラメータとの連続性が低いことに起因して、第1デューティ制御と第2デューティ制御とを切り替える際に不都合が生じてしまうことを防止できる。なお、連続性を高める制御として実行される処理は、特に限定されるものではないが、例えばフィードバック制御又はフィードフォワード制御に用いられる値を調整する処理が挙げられる。また、連続性はできる限り高められる（即ち、切り替え時の第1の制御パラメータと第2の制御パラメータとが極めて近い値となる）ことが好ましいが、多少なりとも連続性を高められるのであれば、上述した効果は相応に得られる。

【0041】

ちなみに、本態様に係る連続性を高める制御は、上述したように出力電流がゼロ近傍となったタイミング、又はゼロ近傍ではなくなったタイミングを判定できる場合には、判定されたタイミングに合わせて実行されればよい。

【0042】

<9>

上述した第1パラメータ及び第2パラメータの連続性を高める制御を行う態様では、前記第1デューティ制御及び前記第2デューティ制御は、比例積分制御を含んでおり、前記制御手段は、第1の制御パラメータ及び前記第2の制御パラメータの差分を前記比例積分制御における積分項に加算することで、前記第1の制御パラメータ及び前記第2の制御パラメータの連続性を高めてもよい。

【0043】

この場合、制御切り替え時における第1の制御パラメータ及び第2の制御パラメータの差分が、比例積分制御における積分項に加算される。なお、積分項に加算される値は、差分そのものであってもよいし、差分に対して所定の係数を乗ずる等、何らかの演算処理を施した値であってもよい。これにより、第1の制御パラメータ及び第2の制御パラメータの連続性が高まり、制御切り替え時に発生する不都合を好適に回避できる。

【0044】

本発明の作用及び他の利得は次に説明する発明を実施するための形態から明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】実施形態に係る昇圧制御装置が搭載される車両の全体構成を示す概略構成図である。

【図2】下側素子制御時の電流の流れを示す概念図である。

【図3】上側素子制御時の電流の流れを示す概念図である。

【図4】片素子制御時におけるリアクトル電流の変動を示すタイムチャートである。

【図5】実施形態に係るECUの具体的な構成を示すブロック図である。

【図6】実施形態に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフ（その1）である。

10

20

30

40

50

【図 7】実施形態に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフ（その 2）である。

【図 8】比較例に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフ（その 1）である。

【図 9】比較例に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフ（その 2）である。

【図 10】第 1 変形例に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフである。

【図 11】第 1 変形例に係るリアクトル電流の変化量の検出方法を示すグラフである。

【図 12】ゼロクロス時におけるデューティとリアクトル電流との関係を示すグラフである。

【図 13】比較例に係るリアクトル電流のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 14】フィードフォワード制御のずれによる問題点を示すグラフである。

【図 15】実施形態に係るデューティ制御の切り替え動作を示すフローチャートである。

10

【図 16】フィードフォワード項の切り替え動作を示すグラフである。

【図 17】実施形態に係るリアクトル電流のシミュレーション結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0046】

以下では、本発明の実施形態について図を参照しつつ説明する。

【0047】

＜全体構成＞

先ず、本実施形態に係る昇圧制御装置が搭載される車両の全体構成について、図 1 を参照して説明する。ここに図 1 は、本実施形態に係る昇圧制御装置が搭載される車両の全体構成を示す概略構成図である。

20

【0048】

図 1 において、本実施形態に係る昇圧制御装置が搭載される車両 100 は、エンジン 40 及びモータジェネレータ MG1 及び MG2 を動力源とするハイブリッド車両として構成されている。但し、車両 100 の構成はこれに限定されるものではなく、蓄電装置からの電力によって走行可能な車両（例えば、電気自動車や燃料電池自動車）等にも適用可能である。また、本実施形態では、昇圧制御装置が車両 100 に搭載される構成について説明するが、車両以外でも交流電動機により駆動される機器であれば適用が可能である。

【0049】

車両 100 は、主に直流電圧発生部 20 と、負荷装置 45 と、平滑コンデンサ C2 と、ECU30 とを備えて構成されている。

30

【0050】

直流電圧発生部 20 は、蓄電装置 28 と、システムリレー SR1、SR2 と、平滑コンデンサ C1 と、コンバータ 12 とを含む。

【0051】

蓄電装置 28 は、例えばニッケル水素又はリチウムイオン等の二次電池や、電気二重層キャパシタ等の蓄電装置を含んで構成される。また、蓄電装置 28 が出力する直流電圧 VL は、電圧センサ 10 によって検出される。そして、電圧センサ 10 は、検出した直流電圧 VL の検出値を ECU30 に出力する。

【0052】

システムリレー SR1 は、蓄電装置 28 の正極端子及び電力線 PL1 の間に接続され、システムリレー SR2 は、蓄電装置 28 の負極端子及び接地線 NL の間に接続される。システムリレー SR1、SR2 は、ECU30 からの信号 SE により制御され、蓄電装置 28 からコンバータ 12 への電力の供給と遮断とを切替える。

40

【0053】

コンバータ 12 は、リアクトル L1 と、スイッチング素子 Q1、Q2 と、ダイオード D1、D2 とを含む。スイッチング素子 Q1 及び Q2 は、本発明の「第 1 スwitchング素子」及び「第 2 スwitchング素子」の一例であり、電力線 PL2 及び接地線 NL の間に直列に接続される。スイッチング素子 Q1 及び Q2 は、ECU30 からのゲート信号 PWC によって制御される。

【0054】

50

スイッチング素子Q 1及びQ 2には、例えばIGBT、電力用MOSトランジスタ或いは、電力用バイポーラトランジスタ等を用いることができる。スイッチング素子Q 1、Q 2に対しては、逆並列ダイオードD 1、D 2が配置される。リアクトルL 1は、スイッチング素子Q 1及びQ 2の接続ノードと電力線P L 1の間に設けられる。また、平滑コンデンサC 2は、電力線P L 2及び接地線N Lの間に接続される。

【0055】

電流センサ18は、リアクトルL 1を流れるリアクトル電流を検出し、その検出値I LをECU 30に出力する。なお、リアクトル電流I Lは、本発明の「出力電流」の一例である。

【0056】

負荷装置45は、インバータ23と、モータジェネレータMG 1、MG 2と、エンジン40と、動力分割機構41と、駆動輪42とを含む。また、インバータ23は、モータジェネレータMG 1を駆動するためのインバータ14と、モータジェネレータMG 2を駆動するためのインバータ22とを含む。なお、図1のようにインバータ及びモータジェネレータを2組備えることは必須ではなく、例えばインバータ14とモータジェネレータMG 1、或いはインバータ22とモータジェネレータMG 2のいずれか1組のみを備える構成としてもよい。

【0057】

モータジェネレータMG 1、MG 2は、インバータ23から供給される交流電力を受けて車両推進のための回転駆動力を発生する。また、モータジェネレータMG 1、MG 2は、外部から回転力を受け、ECU 30からの回生トルク指令によって交流電力を発電するとともに回生制動力を車両100に発生させる。

【0058】

また、モータジェネレータMG 1、MG 2は、動力分割機構41を介してエンジン40にも連結される。そして、エンジン40の発生する駆動力とモータジェネレータMG 1、MG 2の発生する駆動力とが最適な比率となるように制御される。また、モータジェネレータMG 1、MG 2のいずれか一方を専ら電動機として機能させ、他方のモータジェネレータを専ら発電機として機能させてもよい。なお、本実施形態においては、モータジェネレータMG 1をエンジン40により駆動される発電機として機能させ、モータジェネレータMG 2を駆動輪42を駆動する電動機として機能させるものとする。

【0059】

動力分割機構41には、エンジン40の動力を、駆動輪42とモータジェネレータMG 1との両方に振り分けるために、例えば遊星歯車機構（プラネタリギヤ）が使用される。

【0060】

インバータ14は、コンバータ12から昇圧された電圧を受けて、例えばエンジン40を始動させるためにモータジェネレータMG 1を駆動する。また、インバータ14は、エンジン40から伝達される機械的動力によってモータジェネレータMG 1で発電された回生電力をコンバータ12に出力する。このときコンバータ12は、降圧回路として動作するようにECU 30によって制御される。

【0061】

インバータ14は、電力線P L 2及び接地線N Lの間に並列に設けられ、U相上下アーム15と、V相上下アーム16と、W相上下アーム17を含んで構成される。各相上下アームは、電力線P L 2及び接地線N Lの間に直列接続されたスイッチング素子から構成される。例えば、U相上下アーム15は、スイッチング素子Q 3、Q 4から成り、V相上下アーム16は、スイッチング素子Q 5、Q 6から成り、W相上下アーム17は、スイッチング素子Q 7、Q 8から成る。また、スイッチング素子Q 3～Q 8に対して、逆並列ダイオードD 3～D 8がそれぞれ接続される。スイッチング素子Q 3～Q 8は、ECU 30からのゲート信号PWIによって制御される。

【0062】

例えばモータジェネレータMG 1は、3相の永久磁石型同期電動機であり、U、V、W

10

20

30

40

50

相の 3 つのコイルの一端が中性点に共通接続される。さらに、各相コイルの他端は、各相上下アーム 15～17 のスイッチング素子の接続ノードと接続される。

【0063】

インバータ 22 は、コンバータ 12 に対してインバータ 14 と並列的に接続される。

【0064】

インバータ 22 は駆動輪 42 を駆動するモータジェネレータ MG2 に対してコンバータ 12 の出力する直流電圧を三相交流に変換して出力する。またインバータ 22 は、回生制動に伴い、モータジェネレータ MG2 において発電された回生電力をコンバータ 12 に出力する。このときコンバータ 12 は降圧回路として動作するように ECU30 によって制御される。インバータ 22 の内部の構成は、図示しないがインバータ 14 と同様であり、詳細な説明については省略する。

10

【0065】

コンバータ 12 は、基本的には、各スイッチング周期内でスイッチング素子 Q1 及び Q2 が相補的かつ交互にオンオフするように制御される。コンバータ 12 は、昇圧動作時には、蓄電装置 28 から供給された直流電圧 VL を直流電圧 VH (インバータ 14 への入力電圧に相当するこの直流電圧を、以下「システム電圧」とも称する) に昇圧する。この昇圧動作は、スイッチング素子 Q2 のオン期間にリアクトル L1 に蓄積された電磁エネルギーを、スイッチング素子 Q1 及び逆並列ダイオード D1 を介して、電力線 PL2 へ供給することにより行われる。

【0066】

また、コンバータ 12 は、降圧動作時には、直流電圧 VH を直流電圧 VL に降圧する。この降圧動作は、スイッチング素子 Q1 のオン期間にリアクトル L1 に蓄積された電磁エネルギーを、スイッチング素子 Q2 及び逆並列ダイオード D2 を介して、接地線 NL へ供給することにより行われる。

20

【0067】

これらの昇圧動作及び降圧動作における電圧変換比 (VH 及び VL の比) は、上記スイッチング周期におけるスイッチング素子 Q1, Q2 のオン期間比 (デューティ比) により制御される。なお、スイッチング素子 Q1 及び Q2 をオン及びオフにそれぞれ固定すれば、 $VH = VL$ (電圧変換比 = 1.0) とすることもできる。

【0068】

平滑コンデンサ C2 は、コンバータ 12 からの直流電圧を平滑化し、その平滑化した直流電圧をインバータ 23 へ供給する。電圧センサ 13 は、平滑コンデンサ C2 の両端の電圧、すなわち、システム電圧 VH を検出し、その検出値を ECU30 へ出力する。

30

【0069】

インバータ 14 は、モータジェネレータ MG1 のトルク指令値が正 ($TR1 > 0$) の場合には、平滑コンデンサ C2 から直流電圧が供給されると ECU30 からのゲート信号 PWI1 に応答した、スイッチング素子 Q3～Q8 のスイッチング動作により直流電圧を交流電圧に変換して正のトルクを出力するようにモータジェネレータ MG1 を駆動する。また、インバータ 14 は、モータジェネレータ MG1 のトルク指令値が零の場合 ($TR1 = 0$) には、ゲート信号 PWI1 に応答したスイッチング動作により、直流電圧を交流電圧に変換してトルクが零になるようにモータジェネレータ MG1 を駆動する。これにより、モータジェネレータ MG1 は、トルク指令値 TR1 によって指定された零または正のトルクを発生するように駆動される。

40

【0070】

更に、車両 100 の回生制動時には、モータジェネレータ MG1 のトルク指令値 TR1 は負に設定される ($TR1 < 0$)。この場合には、インバータ 14 は、ゲート信号 PWI1 に応答したスイッチング動作により、モータジェネレータ MG1 が発電した交流電圧を直流電圧に変換し、その変換した直流電圧 (システム電圧) を、平滑コンデンサ C2 を介してコンバータ 12 へ供給する。なお、ここで言う回生制動とは、電動車両を運転するドライバーによるフットブレーキ操作があった場合の回生発電を伴う制動や、フットブレー

50

キを操作しないものの、走行中にアクセルペダルをオフすることで回生発電をさせながら車両を減速（または加速の中止）させることを含む。

【0071】

インバータ22についても同様に、モータジェネレータMG2のトルク指令値に対応したECU30からのゲート信号PWI2を受け、ゲート信号PWI2応答したスイッチング動作によって、直流電圧を交流電圧に変換して所定のトルクになるようにモータジェネレータMG2を駆動する。

【0072】

電流センサ24, 25は、モータジェネレータMG1, MG2に流れるモータ電流MCRT1, MCRT2を検出し、その検出したモータ電流をECU30へ出力する。なお、U相, V相, W相の各相の電流の瞬時値の和はゼロであるので、図1に示すように電流センサ24, 25は2相分のモータ電流を検出するように配置すれば足りる。

【0073】

回転角センサ（レゾルバ）26, 27は、モータジェネレータMG1, MG2の回転角 $\theta 1$, $\theta 2$ を検出し、その検出した回転角 $\theta 1$, $\theta 2$ をECU30へ送出する。ECU30では、回転角 $\theta 1$, $\theta 2$ に基づきモータジェネレータMG1, MG2の回転速度MRN1, MRN2及び角速度 $\omega 1$, $\omega 2$ (rad/s)を算出できる。なお、回転角センサ26, 27については、回転角 $\theta 1$, $\theta 2$ をECU30にてモータ電圧や電流から直接演算することによって、配置しないようにしてもよい。

【0074】

ECU30は、本発明の「昇圧制御装置」の一例であり、例えばCPU（Central Processing Unit）、記憶装置及び入出力バッファを含み、車両100の各機器を制御する。なお、ECU30の行う制御については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア（電子回路）で構築して処理することも可能である。ECUの具体的な構成及び動作については後に詳述する。

【0075】

<片素子制御>

次に、コンバータ12の片素子制御について、図2から図4を参照して説明する。ここに図2は、下側素子制御時の電流の流れを示す概念図であり、図3は、上側素子制御時の電流の流れを示す概念図である。また図4は、片素子制御時におけるリアクトル電流の変動を示すタイムチャートである。

【0076】

図2及び図3において、本実施形態に係るコンバータ12は、通常の制御（即ち、スイッチング素子Q1, Q2の両方を交互にオンとする制御）に加えて、スイッチング素子Q1及びQ2のいずれか一方のみをオンとする片素子制御を実現することが可能とされている。具体的には、力行時においては、スイッチング素子Q2のみをオンとする下側素子制御が行われる。この場合、図2に示すように、スイッチング素子Q1側に流れる電流はダイオードD1を介して流れ、スイッチング素子Q2側に流れる電流はスイッチング素子Q2を介して流れる。一方、回生時においては、スイッチング素子Q2のみをオンとする下側素子制御が行われる。この場合、図3に示すように、スイッチング素子Q1側に流れる電流はスイッチング素子Q1を介して流れ、スイッチング素子Q2側に流れる電流はダイオードD2を介して流れる。

【0077】

片素子制御によれば、スイッチング素子Q1及びQ2のいずれか一方のみがオンとされるため、スイッチング素子Q1及びQ2の短絡を防止するために設定されるデッドタイムが不要となる。よって、例えば装置の小型化に伴って高周波化が求められている場合であっても、コンバータ12の昇圧性能が低下してしまうことを防止できる。また、片素子制御では、スイッチング素子のゲート干渉回避、昇圧損失の低減も図ることができる。

【0078】

図4に示すように、片素子制御においては、スイッチング素子Q1のオンオフを切替え

るゲート信号である PWC 1、及びスイッチング素子 Q 2 のオンオフを切替えるゲート信号である PWC 2 のいずれか一方が選択的に供給されることで、リアクトル電流 I L の値が制御される。

【0079】

具体的には、下側素子制御が行われる力行時（即ち、リアクトル電流 I L が正の場合）には、スイッチング素子 Q 1 のオンオフを切替えるゲート信号である PWC 1 は供給されず、スイッチング素子 Q 2 のオンオフを切替えるゲート信号である PWC 2 のみが供給される。また、上側素子制御が行われる回生時（即ち、リアクトル電流 I L が負の場合）には、スイッチング素子 Q 1 のオンオフを切替えるゲート信号である PWC 1 のみが供給され、スイッチング素子 Q 2 のオンオフを切替えるゲート信号である PWC 2 は供給されない。

10

【0080】

< ECU の構成 >

次に、本実施形態に係る昇圧制御装置の一例である ECU 30 の具体的な構成について、図 5 を参照して説明する。ここに図 5 は、実施形態に係る ECU の具体的な構成を示すブロック図である。なお、図 5 では、説明の便宜上、ECU 30 に備えられる各部位のうち本実施形態に関連の深いもののみを示し、その他の詳細な部位については適宜図示を省略している。

【0081】

図 5 において、本実施形態に係る ECU 30 は、電流変化量検出部 310 と、ゼロクロス判定部 320 と、デューティ制御部 330 とを備えて構成されている。

20

【0082】

電流変化量検出部 310 は、本発明の「電流値変化量検出手段」の一例であり、電流センサ 18 で検出されたリアクトル電流 I L の変化量（言い換えれば、リアクトル電流 I L の傾き）を検出する。電流変化量検出部 310 は、例えば連続する 2 点におけるリアクトル電流 I L の差分を変化量として検出する。また、電流変化量検出部 310 は、微分器として構成されてもよい。電流変化量検出部 310 で検出されたリアクトル電流 I L の変化量は、ゼロクロス判定部 320 に出力される構成となっている。

【0083】

ゼロクロス判定部 320 は、本発明の「判定手段」の一例であり、電流変化量検出部 310 で検出されたリアクトル電流 I L の変化量に基づいて、ゼロクロスであるか否か（即ち、リアクトル電流 I L がゼロ近傍であるか否か）を判定する。ゼロクロス判定部 320 は、例えばリアクトル電流 I L の変化量に対する閾値を記憶しており、リアクトル電流 I L の変化量と、閾値とを互いに比較することでゼロクロスを判定する。ゼロクロス判定部 320 の判定結果は、デューティ制御部 330 に出力される構成となっている。

30

【0084】

デューティ制御部 330 は、本発明の「制御手段」の一例であり、ゲート信号 PWC を出力することで、スイッチング素子 Q 1、Q 2 のオンオフを夫々制御する。デューティ制御部 330 は、例えばデューティ指令信号 DUTY を生成するデューティ信号生成回路、及びキャリア信号 CR を生成するキャリア信号生成回路を含んで構成されており、所望のデューティ比に応じて生成されたデューティ指令信号 DUTY と、キャリア信号 CR とを比較し、その比較結果として得られるゲート信号 PWC をスイッチング素子 Q 1、Q 2 に夫々出力する。

40

【0085】

< リアクトル電流の検出方法 >

次に、リアクトル電流 I L の検出方法について、図 6 から図 11 を参照して詳細に説明する。ここに図 6 及び図 7 は夫々、実施形態に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフである。また図 8 及び図 9 は夫々、比較例に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフである。更に図 10 は、第 1 変形例に係るリアクトル電流の検出方法を示すグラフであり、図 11 は、第 1 変形例に係るリアクトル電流の変化量の検出方法を示すグラフである

50

。

【0086】

図6に示すように、本実施形態に係る昇圧制御装置では、リアクトル電流 I_L を電流センサ18（図1参照）により、所定期間毎（例えば、 $1\mu s$ 毎）に多点サンプリングする。なお、リアクトル電流 I_L の検出周期である所定期間は、スイッチング素子 Q_1 及び Q_2 のスイッチング周期（言い換えれば、リアクトル電流 I_L が上下する周期）に応じて適宜設定すればよい。

【0087】

図7に示すように、リアクトル電流 I_L を多点サンプリングすれば、ゼロクロス時において連続して同じ値が検出される。このため、リアクトル電流 I_L の変化量からゼロクロス

10

【0088】

を適切に判断することが可能となる。具体的には、リアクトル電流 I_L の変化量が所定値未満（より具体的には、極めてゼロに近い値である）ことを条件として、ゼロクロスを判定することができる。

【0089】

図8に示すように、リアクトル電流 I_L をリプルの中心のみでサンプリングする比較例を考える。このような比較例であっても、非ゼロクロス時には、リアクトル電流 I_L の値を相応の精度で検出することが可能である。しかしながら、上述した本実施形態のように、ゼロクロスを適切に判断することは難しい。

20

【0090】

図9に示すように、ゼロクロス時には、リアクトル電流 I_L が一定になる期間が存在する。しかしながら、リアクトル電流 I_L をリプルの中心のみでサンプリングする比較例では、ゼロクロス期間のリアクトル電流 I_L が全く検出されない状況が生じ得る。よって、本実施形態のように、リアクトル電流 I_L の変化量からゼロクロスを判定することはできない。

【0091】

リアクトル電流 I_L は、スイッチング素子 Q_1 及び Q_2 がオンとされる期間において増加し、オフとされる期間において減少する。このため、理論的にはスイッチング素子 Q_1 及び Q_2 がオンとされる期間においてリアクトル電流 I_L がゼロ近傍となることはなく、オフとされる期間（特にオンとされる直前の期間）においてリアクトル電流 I_L がゼロ近傍となる可能性がある。

30

【0092】

従って、スイッチング素子 Q_1 及び Q_2 がオンとされる直前の期間（ここでは、 $1\mu s$ 毎の検出で3点が検出される $3\mu s$ 前の期間）においてリアクトル電流 I_L の変化量を検出するようにすれば、リアクトル電流 I_L がゼロ近傍となる可能性がある期間において、適切にゼロクロスの判定を行える。この結果、不必要な検出処理及び判定処理を実行することを回避でき、制御負荷を効率的に低減することができる。

40

【0093】

図11に示すように、微分回路を用いれば、その出力をリアクトル電流 I_L の変化量として、そのまま利用することができる。また、アナログ微分器を用いれば、例えばデジタル処理を実現する高性能なマイコンを使う必要がないため、コストの低減を図ることができる。更に、リアクトル電流 I_L のサンプリング周期を細かくするような制御負荷の上昇を伴わないため、従来の装置に対する適用が容易である。

【0094】

＜ゼロクロス時に発生し得る問題点＞

次に、リアクトル電流 I_L がゼロ近傍となる場合に発生し得る問題点について、図12から図14を参照して詳細に説明する。ここに図12は、ゼロクロス時におけるデューテ

50

ィとリアクトル電流との関係を示すグラフであり、図 1 3 は、比較例に係るリアクトル電流のシミュレーション結果を示すグラフである。また図 1 4 は、フィードフォワード制御のずれによる問題点を示すグラフである。

【0095】

図 1 2 に示すように、非ゼロクロス時には、デューティとリアクトル電流 I_L との関係は線形的なものとなる。しかしながら、ゼロクロス時には、リアクトル電流 I_L がゼロを跨いで変化することができないため、デューティとリアクトル電流 I_L との関係は非線形的なものとなる。このように、リアクトル電流 I_L がゼロ近傍であるか否かによって、デューティとリアクトル電流 I_L との関係は大きく変化する。

【0096】

10

図 1 3 に示すように、仮にゼロクロス時及び非ゼロクロス時の両方において同じ制御を行ったとすると、リアクトル電流 I_L の指令値に対して、実際のリアクトル電流 I_L は大きく乱れてしまう。即ち、リアクトル電流 I_L がゼロ近傍であるか否かを考えずに制御を行ってしまうと、所望のリアクトル電流 I_L が得られないという問題が生じ得る。

【0097】

なお、デューティを制御する際にフィードフォワード制御及びフィードバック制御を行えば、上述した不都合を回避できる可能性がある。しかしながら、フィードフォワード制御には、例えばリアクトル L のインダクタンスや蓄電装置 2 8 の内部抵抗等、変動しやすいパラメータを利用するため、ずれが発生する可能性が非常に高い。従って、フィードフォワード制御及びフィードバック制御を用いても、常に所望のリアクトル電流 I_L が得られるとは限らない。

20

【0098】

図 1 4 に示すように、リアクトル電流 I_L を徐々に増加させていく状況において、現在 a 点での制御が望まれているとする。しかしながら、フィードフォワード制御にずれが生じていると、b 点での制御が実行されてしまう。即ち、デューティが適切な値よりも小さい値になるように制御されてしまう。この場合、真のデューティに対応する c 点での制御が行われたことになり、出力されるリアクトル電流 I_L は極めて高い値となってしまう。このように、リアクトル電流 I_L が不必要に大きな値として出力されてしまうと、例えば P C U 等の破壊が生じ得る。即ち、所望のリアクトル電流 I_L が得られなければ、予期せぬ不都合を生じてしまうおそれがある。

30

【0099】

本実施形態に係る昇圧制御装置は、上述した不都合を回避するために、以下に説明するデューティ制御切り替え動作を実行可能に構成されている。

【0100】

<デューティ制御切り替え動作>

以下では、本実施形態に係る昇圧制御装置の一例である E C U 3 0 が実行するデューティ制御の切り替え動作について、図 1 5 から図 1 7 を参照して詳細に説明する。ここに図 1 5 は、実施形態に係るデューティ制御の切り替え動作を示すフローチャートであり、図 1 6 は、フィードフォワード項の切り替え動作を示すグラフである。また図 1 7 は、実施形態に係るリアクトル電流のシミュレーション結果を示すグラフである。

40

【0101】

図 1 5 において、デューティ制御切り替え動作時には、先ずスイッチング素子 Q_1 又は Q_2 がオンとされる直前の期間であるか否かが判定される（ステップ S 1 0 1）。即ち、図 1 0 で説明したように、リアクトル電流 I_L をサンプリングすべき期間であるか否かが判定される。そして、スイッチング素子 Q_1 又は Q_2 がオンとされる直前の期間であると判定されると（ステップ S 1 0 1：Y E S）、電流センサ 1 8 によって、リアクトル電流 I_L がサンプリングされる（ステップ S 1 0 2）。電流センサ 1 8 は、スイッチング素子 Q_1 又は Q_2 がオンとされるまで、所定の間隔（例えば、 $1 \mu s$ ）でリアクトル電流 I_L をサンプリングする。サンプリングされたリアクトル電流 I_L は、E C U 3 0 の電流変化量検出部 3 1 0 に入力され、リアクトル電流 I_L の変化量が検出される（ステップ S 1 0

50

3)。

【0102】

リアクトル電流 I_L の変化量は、ゼロクロス判定部 320 に入力される。ゼロクロス判定部 320 では、リアクトル電流 I_L の変化量が入力されると、前回の判定に利用したリアクトル電流 I_L の変化量がメモリ等から読み出される（ステップ S104）。この時点で、ゼロクロス判定部 320 は、今回の判定のために検出されたリアクトル電流 I_L の変化量と、前回の判定のために検出されたリアクトル電流 I_L の変化量とを有していることになる。

【0103】

続いて、ゼロクロス判定部 320 では、今回のリアクトル電流 I_L の変化量及び前回のリアクトル電流 I_L の変化量の各々が、所定閾値未満であるか否かが判定される（ステップ S105）。ここで、所定閾値は、ゼロクロスを判定するための閾値であり、予めゼロクロス判定部 320 が有するメモリ等に記憶されている。ゼロクロス判定部 320 は、リアクトル電流 I_L の変化量が所定閾値未満である場合にはゼロクロスであると判定し、リアクトル電流 I_L の変化量が所定閾値未満でない場合にはゼロクロスでない（即ち、非ゼロクロスである）と判定する。なお、判定結果は、今回のリアクトル電流 I_L の変化量及び前回のリアクトル電流 I_L の変化量の各々について別々に出される。

【0104】

今回のリアクトル電流 I_L の変化量及び前回のリアクトル電流 I_L の変化量の両方が所定閾値以上であると判定された場合、ゼロクロス判定部 320 は、前回から非ゼロクロスの状態が継続していると判定する。この結果、デューティ制御部 330 では、非ゼロクロス用のデューティ制御が継続される。具体的には、デューティ制御部 330 は、非ゼロクロス用のフィードフォワード項（以下、適宜「FF 項」と称する。）を用いたフィードフォワード制御を実施する（ステップ S106）。なお、この場合の具体的なデューティ指令は、以下の式（1）で表される。

【0105】

デューティ指令 = 非ゼロクロス時 FF 項 + $k_{p1} \times$ 電流偏差 + $k_{i1} \times$ 電流偏差 + 積分項 $\cdots$ (1)

【0106】

なお、 k_{p1} 及び k_{i1} は夫々、非ゼロクロス時のフィードバックゲインであり、例えば $k_{p1} = 0.01$ 、 $k_{i1} = 0.1$ である。また、ここでの「 $k_{i1} \times$ 電流偏差 + 積分項」が次回制御時の積分項になる。

【0107】

今回のリアクトル電流 I_L のみが所定閾値未満であり、前回のリアクトル電流 I_L の変化量が所定閾値以上であると判定された場合、ゼロクロス判定部 320 は、前回までは非ゼロクロスの状態であったが、今回からはゼロクロスの状態になったと判定する。この結果、デューティ制御部 330 では、非ゼロクロス用のデューティ制御が、ゼロクロス用のデューティ制御に切り替えられる。具体的には、デューティ制御部 330 は、ゼロクロス用の FF 項を用いたフィードフォワード制御を実施する（ステップ S107）。また、デューティ制御部 330 では、前回の FF 項（即ち、非ゼロクロス用の FF 項）と今回の FF 項（即ち、ゼロクロス用の FF 項）との差分が算出され、デューティ指令の積分項に追加される（ステップ S108）。更に、デューティ制御部 330 では、フィードバックゲインが、ゼロクロス用のものへと切り替えられる（ステップ S109）。なお、この場合の具体的なデューティ指令は、以下の式（2）で表される。

【0108】

デューティ指令 = ゼロクロス時 FF 項 + $k_{p2} \times$ 電流偏差 + $k_{i2} \times$ 電流偏差 + { 積分項 + (非ゼロクロス時 FF 項 - ゼロクロス時 FF 項) } $\cdots$ (2)

【0109】

なお、 k_{p2} 及び k_{i2} は夫々、ゼロクロス時のフィードバックゲインであり、例えば $k_{p2} = 0.03$ 、 $k_{i2} = 0.3$ である。また、ここでの「 $k_{i2} \times$ 電流偏差 + { 積分

10

20

30

40

50

項 + (非ゼロクロス時 F F 項 - ゼロクロス時 F F 項) }」が次回制御時の積分項になる。

【0110】

図16において、既に説明したように、非ゼロクロスからゼロクロスになったと判定された場合には、F F 項が非ゼロクロス用からゼロクロス用に切り替えられる。図を見ても分かるように、非ゼロクロス時のリアクトル電流 I L とデューティ比との関係は、リアクトル電流 I L の減少に対してデューティ比が1次関数的に増加するものである。一方で、ゼロクロス時のリアクトル電流 I L とデューティ比との関係は、リアクトル電流 I L の減少に対してデューティ比が2次関数的に増加するものである。そして、リアクトル電流 I L がゼロ近傍においては、ゼロクロス用の方が、非ゼロクロス用よりも、リアクトル電流 I L に対応するデューティ比が大きくなる。このため、非ゼロクロスからゼロクロスになったと判定された場合には、リアクトル電流 I L に対応するデューティ比が大きくなる。

10

【0111】

この際、切り替え前後で F F 項の連続性が失われてしまうため、単純に F F 項を切り替えただけでは不都合が発生してしまうおそれがある。このため本実施形態では、上述したように、非ゼロクロス用の F F 項とゼロクロス用の F F 項との差分が積分項に追加され、切り替え前後での連続性が保たれる。また、フィードバックゲインの切り替え（即ち、 k_{p1} 及び k_{i1} の、 k_{p2} 及び k_{i2} への切り替え）により、応答性の変化にも対応することが可能となる。

【0112】

前回のリアクトル電流 I L のみが所定閾値未満であり、今回のリアクトル電流 I L の変化量が所定閾値以上であると判定された場合、ゼロクロス判定部 320 は、前回まではゼロクロスの状態であったが、今回からは非ゼロクロスの状態になったと判定する。この結果、デューティ制御部 330 では、ゼロクロス用のデューティ制御が、非ゼロクロス用のデューティ制御に切り替えられる。具体的には、デューティ制御部 330 は、非ゼロクロス用の F F 項を用いたフィードフォワード制御を実施する（ステップ S110）。また、デューティ制御部 330 では、前回の F F 項（即ち、ゼロクロス用の F F 項）と今回の F F 項（即ち、非ゼロクロス用の F F 項）との差分が算出され、デューティ指令の積分項に追加される（ステップ S111）。更に、デューティ制御部 330 では、フィードバックゲインが、非ゼロクロス用のものへと切り替えられる（ステップ S112）。なお、この

20

30

【0113】

デューティ指令 = 非ゼロクロス時 F F 項 + $k_{p1} \times$ 電流偏差 + $k_{i1} \times$ 電流偏差 + { 積分項 + (ゼロクロス時 F F 項 - 非ゼロクロス時 F F 項) } . . . (3)

【0114】

なお、ここでの「 $k_{i1} \times$ 電流偏差 + { 積分項 + (ゼロクロス時 F F 項 - 非ゼロクロス時 F F 項) }」が次回制御時の積分項になる。

【0115】

今回のリアクトル電流 I L の変化量及び前回のリアクトル電流 I L の変化量の両方が所定閾値未満であると判定された場合、ゼロクロス判定部 320 は、前回からゼロクロスの状態が継続していると判定する。この結果、デューティ制御部 330 では、ゼロクロス用のデューティ制御が継続される。具体的には、デューティ制御部 330 は、ゼロクロス用の F F 項を用いたフィードフォワード制御を実施する（ステップ S113）。なお、この

40

【0116】

デューティ指令 = ゼロクロス時 F F 項 + $k_{p2} \times$ 電流偏差 + $k_{i2} \times$ 電流偏差 + 積分項 . . . (4)

【0117】

なお、ここでの「 $k_{i2} \times$ 電流偏差 + 積分項」が次回制御時の積分項になる。

【0118】

50

図 17 に示すように、上述したデューティ制御切り替え処理によれば、図 13 に示したようなリアクトル電流 I_L の乱れを抑制できる。即ち、リアクトル電流 I_L の指令値と、実際のリアクトル電流 I_L とのずれを小さくできる。即ち、ゼロクロスであるか否かに応じて、選択的に異なるデューティ制御を実行すれば、デューティとリアクトル電流 I_L との関係が変化するような場合であっても、確実に所望するリアクトル電流 I_L を得ることができる。

【0119】

以上説明したように、本実施形態に係る昇圧制御装置によれば、ゼロクロスを正確に判定し、好適にデューティ制御を実行することが可能である。

【0120】

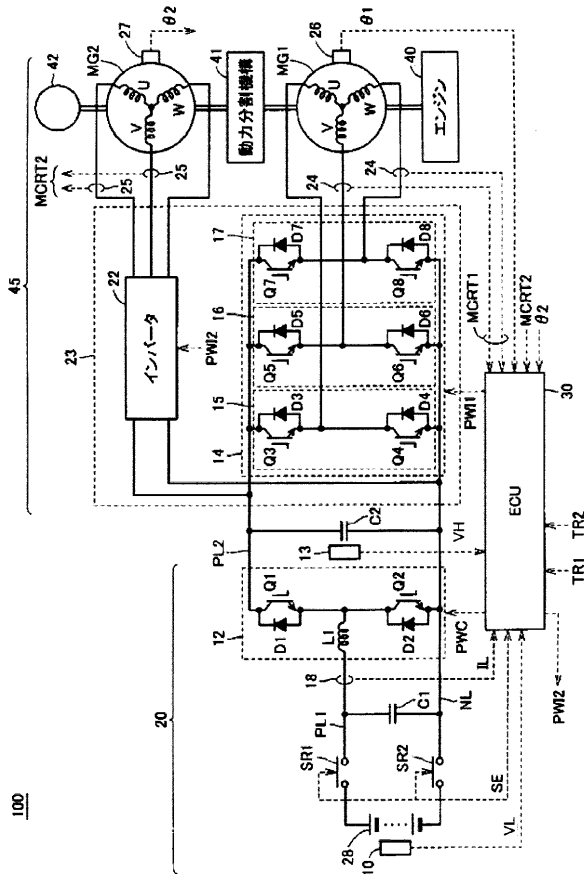
本発明は、上述した実施形態に限られるものではなく、特許請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う昇圧制御装置もまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

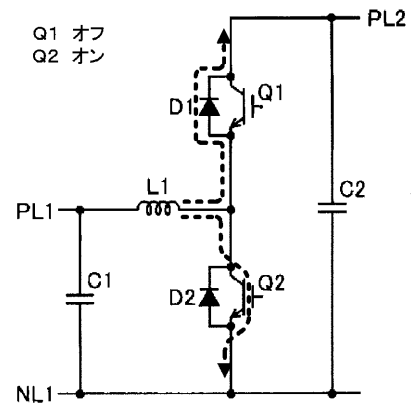
【0121】

10	電圧センサ	
12	コンバータ	
13	電圧センサ	
18	電流センサ	
20	直流電圧発生部	20
22, 23	インバータ	
28	蓄電装置	
30	ECU	
40	エンジン	
41	動力分割機構	
42	駆動輪	
45	負荷装置	
100	車両	
310	電流変化量検出部	
320	ゼロクロス判定部	30
330	デューティ制御部	
C2	平滑コンデンサ	
CR	キャリア信号	
D1, D2	ダイオード	
IL	リアクトル電流	
L1	リアクトル	
MG1, MG2	モータジェネレータ	
PWC1, PWC2	ゲート信号	
Q1, Q2	スイッチング素子	
SR1, SR2	システムリレー	40

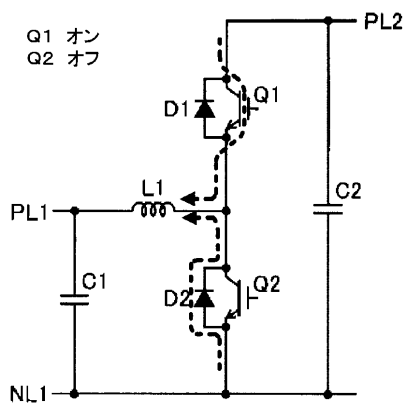
【図 1】



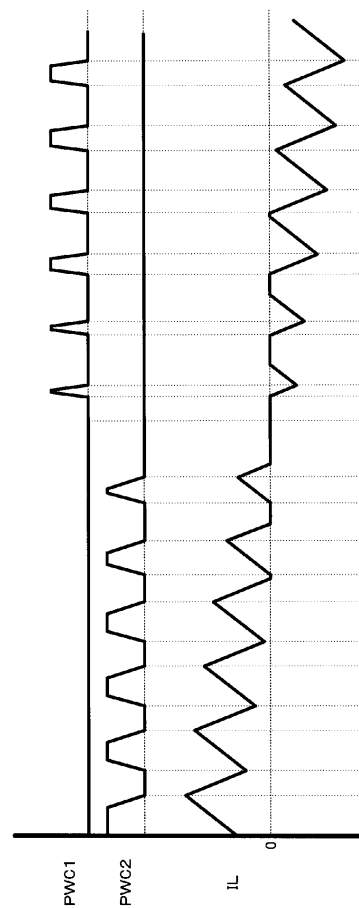
【図 2】



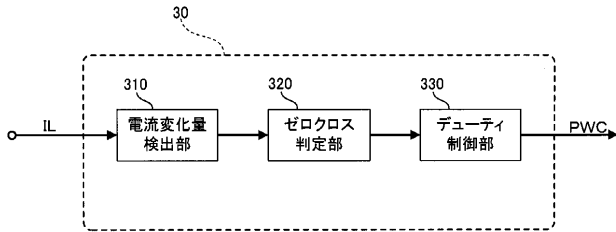
【図 3】



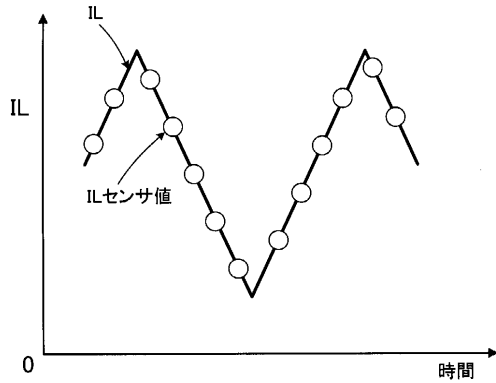
【図 4】



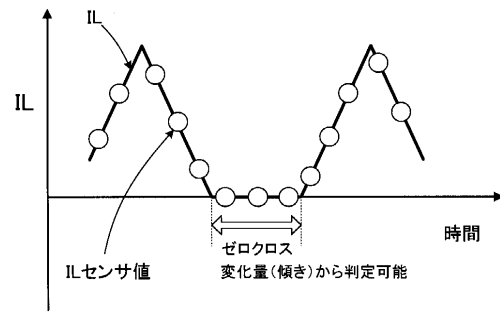
【図 5】



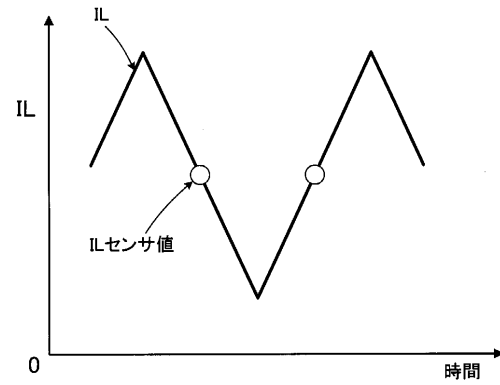
【図 6】



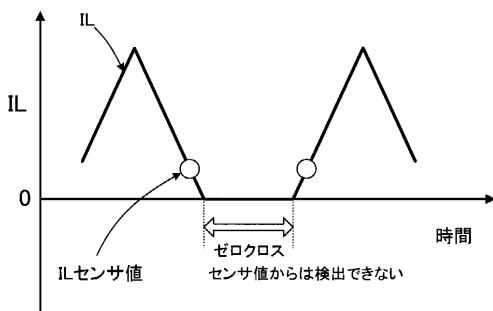
【図 7】



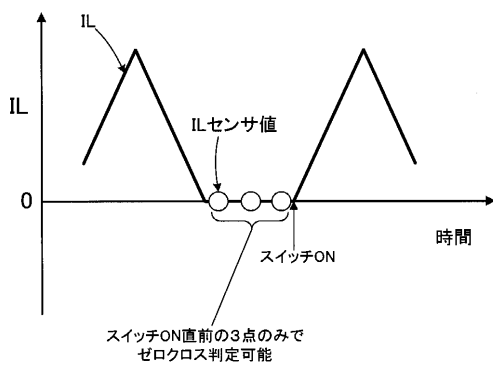
【図 8】



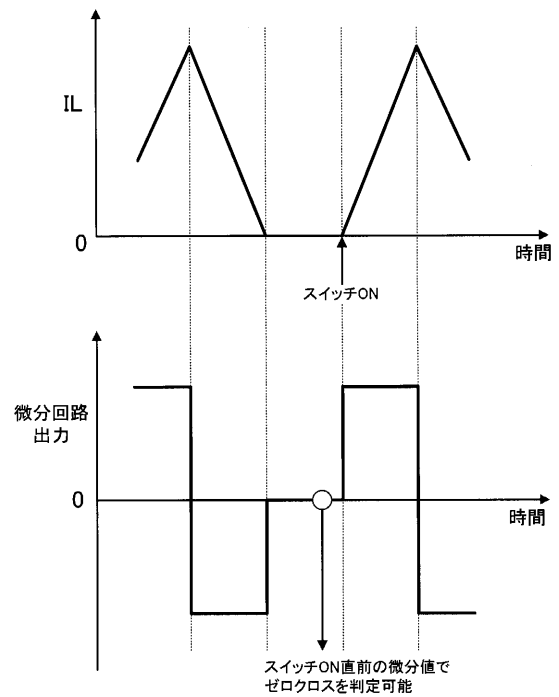
【図 9】



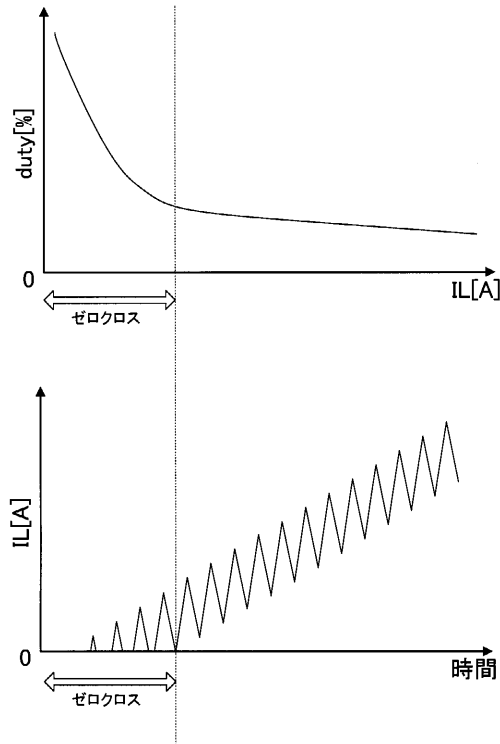
【図 10】



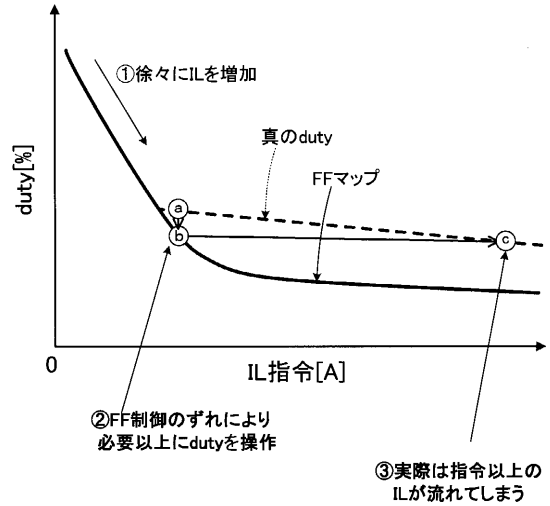
【図 11】



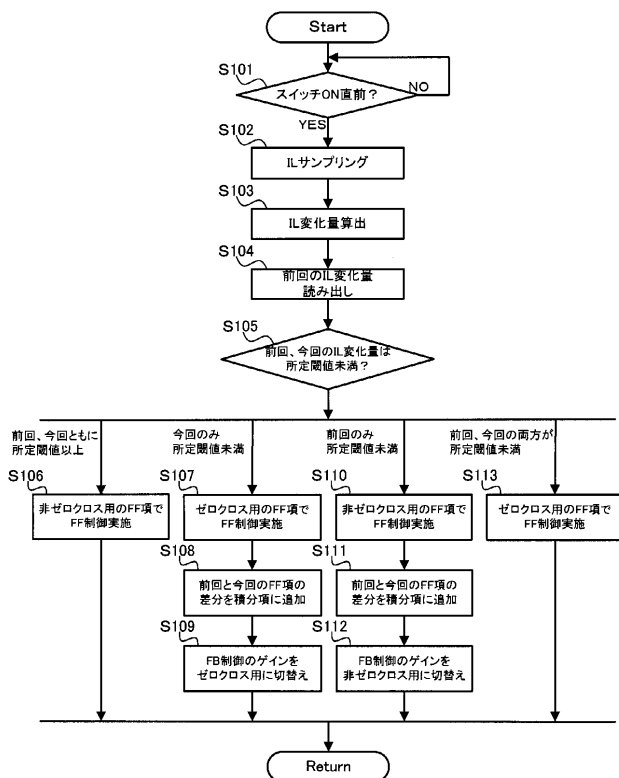
【図 1 2】



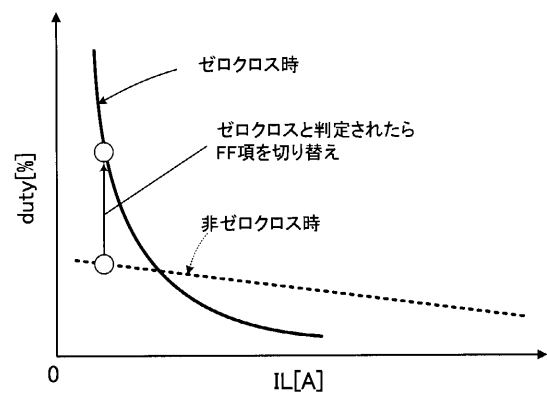
【図 1 4】



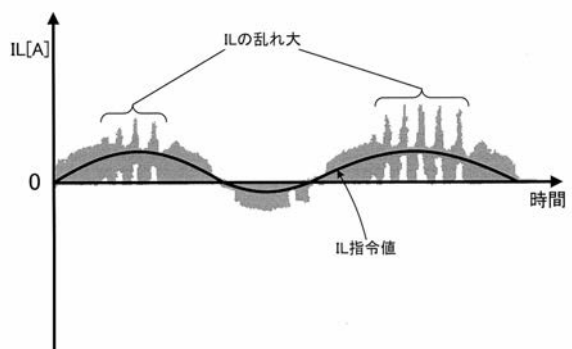
【図 1 5】



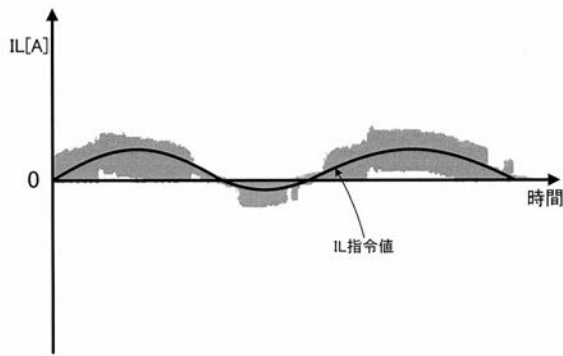
【図 1 6】



【図 1 3】



【図 17】



【手続補正書】

【提出日】平成27年6月5日(2015.6.5)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

リアクトルに夫々直列に接続される第1スイッチング素子及び第2スイッチング素子のいずれか一方のみを駆動する片素子制御を実現可能な昇圧制御装置であって、

前記片素子制御中において、

前記リアクトルを流れる出力電流の第1所定期間における変化量を検出する電流値変化量検出手段と、

前記変化量が所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する判定手段と、

(i) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定されなかった場合に、第1の制御パラメータによる第1デューティ制御を行い、(ii) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定された場合に、前記第1の制御パラメータと異なる第2の制御パラメータによる第2デューティ制御を行う制御手段と

を備え、

前記第1の制御パラメータ及び前記第2の制御パラメータは、相異なるフィードフォワード項を含んでおり、

前記第2デューティ制御における前記出力電流に対応するデューティ比は、前記フィードフォワード項の違いにより、前記第1デューティ制御よりも大きくされる

ことを特徴とする昇圧制御装置。

【請求項 2】

前記電流値変化量検出手段は、微分器を含んでいることを特徴とする請求項1に記載の昇圧制御装置。

【請求項 3】

前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を所定回数連続して検出することで前記変化量を検出することを特徴とする請求項1に記載の昇圧制御装置。

【請求項 4】

前記電流値変化量検出手段は、前記出力電流を 3 回以上連続して検出することで複数の前記変化量を検出し、

前記判定手段は、複数の前記変化量のうち、所定個数以上の前記変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する

ことを特徴とする請求項3に記載の昇圧制御装置。

【請求項 5】

前記電流値変化量検出手段は、前記第 1 スイッチング素子又は前記第 2 スイッチング素子がオンとされる直前の第 2 所定期間において前記変化量を検出することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 6】

前記電流値変化量検出手段は、時間軸上で連続する第 1 期間及び第 2 期間の各々で、前記第 1 期間に対応する前記変化量である第 1 の変化量、及び前記第 2 期間に対応する前記変化量である第 2 の変化量を夫々検出し、

前記判定手段は、(i) 前記第 1 の変化量が前記所定閾値未満でなく、前記第 2 の変化量が前記所定閾値未満である場合に、前記第 2 期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍になったタイミングであると判定し、(i i) 前記第 1 の変化量が前記所定閾値未満であり、前記第 2 の変化量が前記所定閾値未満でない場合に、前記第 2 期間に対応するタイミングを前記出力電流がゼロ近傍ではなくなったタイミングであると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 7】

前記制御手段は、前記第 1 デューティ制御と前記第 2 デューティ制御とを相互に切り替える場合に、前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの連続性を高める制御を行うことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の昇圧制御装置。

【請求項 8】

前記第 1 デューティ制御及び前記第 2 デューティ制御は、比例積分制御を含んでおり、

前記制御手段は、第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの差分を前記比例積分制御における積分項に加算することで、前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータの連続性を高める

ことを特徴とする請求項7に記載の昇圧制御装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

< 1 >

本発明の昇圧制御装置は上記課題を解決するために、リアクトルに夫々直列に接続される第 1 スイッチング素子及び第 2 スイッチング素子のいずれか一方のみを駆動する片素子制御を実現可能な昇圧制御装置であって、前記片素子制御中において、前記リアクトルを流れる出力電流の第 1 所定期間における変化量を検出する電流値変化量検出手段と、前記変化量が所定閾値未満である場合に、前記出力電流がゼロ近傍であると判定する判定手段と、(i) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定されなかった場合に、第 1 の制御パラメ

ータによる第 1 デューティ制御を行い、(i i) 前記出力電流がゼロ近傍であると判定された場合に、前記第 1 の制御パラメータと異なる第 2 の制御パラメータによる第 2 デューティ制御を行う制御手段とを備え、前記第 1 の制御パラメータ及び前記第 2 の制御パラメータは、相異なるフィードフォワード項を含んでおり、前記第 2 デューティ制御における前記出力電流に対応するデューティ比は、前記フィードフォワード項の違いにより、前記第 1 デューティ制御よりも大きくされる。

フロントページの続き

(72)発明者 高松 直義

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 5H730 AA14 AS04 AS05 AS08 AS13 BB13 BB14 BB57 BB86 DD03
DD41 FD01 FD51 FF01 FG05 FG25