

(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2009-165245

(P2009-165245A)

(43) 公開日 平成21年7月23日(2009.7.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO2M 3/155 (2006.01)</b>	HO2M 3/155	QH027
<b>HO1M 8/04 (2006.01)</b>	HO2M 3/155	5H730
<b>HO1M 8/00 (2006.01)</b>	HO1M 8/04	
	HO1M 8/00	Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2007-341287 (P2007-341287)  
 (22) 出願日 平成19年12月28日 (2007.12.28)

(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 100100549  
 弁理士 川口 嘉之  
 (74) 代理人 100106622  
 弁理士 和久田 純一  
 (74) 代理人 100085006  
 弁理士 世良 和信  
 (74) 代理人 100089244  
 弁理士 遠山 勉  
 (74) 代理人 100123319  
 弁理士 関根 武彦  
 (74) 代理人 100123098  
 弁理士 今堀 克彦

最終頁に続く

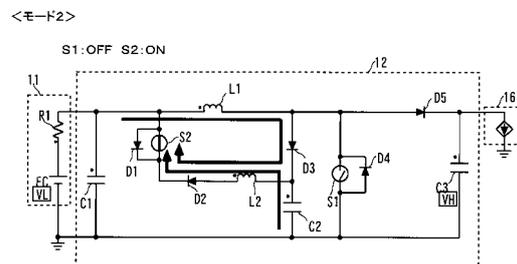
(54) 【発明の名称】 燃料電池システム、及びDC-DCコンバータ

(57) 【要約】

【課題】 燃料電池等の直流電源からの出力電圧を昇圧させるDC-DCコンバータ等の昇圧コンバータにおいて、スイッチング損失を可及的に抑制する。

【解決手段】 燃料電池システムにおいて、燃料電池の高電位側の端子に接続された主コイルL1に対して、主スイッチ手段S1によってスイッチング動作を行うことで、該燃料電池の出力電圧を昇圧する主昇圧部と、主スイッチ手段S1に対して並列に接続され該主スイッチ手段S1に印加される電圧を調整可能なスナバコンデンサC2を有し且つ主昇圧部による昇圧動作に応じて該スナバコンデンサC2の印荷電圧が調整される補助昇圧部と、が設けられ、主スイッチ手段S1のスイッチング動作を介して昇圧部による出力電圧の昇圧が行われるとき、該主スイッチ手段S1が所定のスイッチング動作を行う前にスナバコンデンサC2に蓄電された電荷を除去する。

【選択図】 図4B



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

直流電源である燃料電池と、  
前記燃料電池の出力電圧を昇圧し、負荷に該昇圧電圧を印加する昇圧部と、  
前記昇圧部による電圧昇圧を制御する昇圧制御手段と、  
を備えた燃料電池システムであって、  
前記昇圧部は、

前記燃料電池の高電位側の端子に接続された主コイルに対して、主スイッチ手段によつてスイッチング動作を行うことで、該燃料電池の出力電圧を昇圧する主昇圧部と、

前記主スイッチ手段に対して並列に接続され該主スイッチ手段に印加される電圧を調整可能なスナバコンデンサを有し、且つ前記主昇圧部による昇圧動作に応じて該スナバコンデンサの印荷電圧が調整される補助昇圧部と、を有し、

前記昇圧制御手段は、前記主スイッチ手段のスイッチング動作を介して前記昇圧部による出力電圧の昇圧が行われるとき、該主スイッチ手段が所定のスイッチング動作を行う前に前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する、  
燃料電池システム。

## 【請求項 2】

前記昇圧制御手段は、

前記主スイッチ手段の第一スイッチング動作によつて、前記燃料電池からの電力を前記主コイルに蓄積する第一昇圧手段と、

前記主スイッチ手段の第二スイッチング動作によつて、前記第一昇圧手段によつて蓄積された電力を、前記スナバコンデンサを介しながら前記負荷に供給する第二昇圧手段と、  
を有し、

前記所定のスイッチング動作は、前記第一スイッチング動作である、

請求項 1 に記載の燃料電池システム。

## 【請求項 3】

前記主昇圧部は、

一端が前記燃料電池の高電位側の端子に接続された前記主コイルと、

一端の極が前記主コイルの他端に接続され、他方の極が前記燃料電池の低電位側の端子に接続された、スイッチングを行う前記主スイッチ手段と、

カソード端子が前記主コイルの他端に接続された第一ダイオードと、

前記第一ダイオードのアノード端子と前記主スイッチ手段の他方の極との間に設けられた平滑コンデンサと、を有し、

前記補助昇圧部は、

前記主スイッチ手段に並列に設けられ、且つ前記主コイルの他端と前記燃料電池の低電位側の端子との間に接続された、第二ダイオードと前記スナバコンデンサとを含む第一直列接続体と、

前記第一直列接続体における前記第二ダイオードと前記スナバコンデンサとの接続部位と前記主コイルの一端との間に接続された、誘導性素子である補助コイルと第三ダイオードとスイッチングを行う補助スイッチ手段とを含む第二直列接続体と、を有し、

前記昇圧制御手段は、前記補助スイッチ手段のスイッチング動作により、前記補助コイルと前記スナバコンデンサの共振作用に従つて該スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の燃料電池システム。

## 【請求項 4】

前記補助昇圧部は、前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する複数の除去手段を有し、

前記主スイッチ手段のスイッチング動作を介して前記昇圧部による出力電圧の昇圧が行われるとき、前記昇圧制御手段は、該昇圧部における電气的状態に基づいて、前記複数の除去手段のうち前記スナバコンデンサの電荷除去に使用される除去手段を選択する、

請求項 1 から請求項 3 の何れかに記載の燃料電池システム。

【請求項 5】

前記補助昇圧部は、前記第二直列接続体の前記補助スイッチ手段に対して並列に設けられ、且つ該第二直列接続体の所定箇所と前記燃料電池の低電位側の端子との間に接続された第二補助スイッチ手段を、更に有し、

前記昇圧制御手段は、前記補助スイッチ手段と前記第二補助スイッチ手段の少なくとも何れか一つを、前記スナバコンデンサの電荷除去のために選択する、

請求項 4 に記載の燃料電池システム。

【請求項 6】

直流電源の出力電圧を昇圧し、負荷に該昇圧電圧を印加する DC - DC コンバータであって、

前記直流電源の高電位側の端子に接続された主コイルに対して、主スイッチ手段によってスイッチング動作を行うことで、該直流電源の出力電圧を昇圧する主昇圧部と、

前記主スイッチ手段に対して並列に接続され該主スイッチ手段に印加される電圧を調整可能なスナバコンデンサを有し、且つ前記主昇圧部による昇圧動作に応じて該スナバコンデンサの印荷電圧が調整される補助昇圧部と、

前記主スイッチ手段のスイッチング動作を介して前記直流電源の出力電圧の昇圧が行われるとき、該主スイッチ手段が所定のスイッチング動作を行う前に前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する昇圧制御手段と、

を備える DC - DC コンバータ。

【請求項 7】

前記昇圧制御手段は、

前記主スイッチ手段の第一スイッチング動作によって、前記直流電源からの電力を前記主コイルに蓄積する第一昇圧手段と、

前記主スイッチ手段の第二スイッチング動作によって、前記第一昇圧手段によって蓄積された電力を、前記スナバコンデンサを介しながら前記負荷に供給する第二昇圧手段と、を有し、

前記所定のスイッチング動作は、前記第一スイッチング動作である、

請求項 6 に記載の DC - DC コンバータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気化学反応にて電力を発電する燃料電池からの電力を駆動モータに供給する燃料電池システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、運転効率および環境性に優れる電源として燃料電池が注目されている。燃料電池は燃料ガスの供給量を制御して駆動モータからの要求に応じた電力を出力するが、ガス供給量の応答遅れに起因して、出力電力の応答性が低くなる場合があり、その補償のために二次電池が搭載される場合がある。この二次電池は、駆動モータの減速時に発生する回生エネルギーや、燃料電池で発電された電力を蓄電し、前記燃料電池の応答性の低下の補償や、また燃料電池システム全体の出力の増加等の目的に、その蓄電エネルギーを放電する。

【0003】

ここで、燃料電池と二次電池とを並列に接続して電源を構成する燃料電池システムでは、燃料電池の出力電圧や二次電池の出力電圧を DC - DC コンバータで変換することにより、両者の併用を図っている。そして、DC - DC コンバータの有するスイッチ素子のスイッチング動作で生じる損失、いわゆるスイッチング損失を軽減するために、該スイッチ素子に並列にスナバコンデンサが設けられる（例えば、特許文献 1 を参照。）。そして、この技術では、スナバコンデンサに蓄電された電荷を他のスイッチ素子のスイッチング動作によって回収することで、DC - DC コンバータにおけるスイッチング損失の低減を図

10

20

30

40

50

っている。

【 0 0 0 4 】

また、特許文献 2 にも、DC - DC コンバータにおけるスイッチング損失を軽減するための、いわゆるソフトスイッチに関する技術が公開されている。この技術では、ソフトスイッチングが行われるとき、緩衝用のコンデンサの充放電に共振用のインダクタンスとの共振作用を利用する。これにより、電圧昇圧時のノイズや熱の抑制を図っている。

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 2 2 4 1 6 5 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 3 - 3 3 0 1 3 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 7 - 1 8 4 2 4 3 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

燃料電池等の直流電源からの出力電圧を昇圧する DC - DC コンバータにおいては、スイッチ素子によるスイッチング動作とコイルとの組合せによって、負荷に対して所望の電圧を印加することが可能となる。しかし、このスイッチ素子によるスイッチング動作ではスイッチング損失によって DC - DC コンバータの電圧変換効率が低下する可能性がある。

【 0 0 0 6 】

そこで、スイッチング動作時にスパイク電圧が生じないように緩衝用のコンデンサをスイッチ素子に対して並列に設け、急激な電圧の立ち上がり等を回避するいわゆるソフトスイッチ制御が有用である。しかし、このソフトスイッチ制御の実行時でも、スイッチ素子に何等かの電圧が印加されている場合があり、そのときにスイッチング動作を行い電流がスイッチ素子に流れ込むと、スイッチング損失の発生が避けられない。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、燃料電池等の直流電源からの出力電圧を昇圧させる DC - DC コンバータ等の昇圧コンバータにおいて、スイッチング損失を可及的に抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本発明においては、上記課題を解決するために、いわゆるソフトスイッチ制御を行うためのスナバコンデンサを、スイッチ素子に並列に設けるとともに、スイッチ素子によるスイッチング動作の前にスナバコンデンサに蓄電された電荷を除去することとした。これにより、スイッチ素子に印加される電圧が極めて低い状態でスイッチング動作が行われるため、結果的にスイッチング損失を低く抑えることが可能となる。

【 0 0 0 9 】

そこで、詳細には、本発明は、直流電源である燃料電池と、前記燃料電池の出力電圧を昇圧し、負荷に該昇圧電圧を印加する昇圧部と、前記昇圧部による電圧昇圧を制御する昇圧制御手段と、を備えた燃料電池システムであって、前記昇圧部は、前記燃料電池の高電位側の端子に接続された主コイルに対して、主スイッチ手段によってスイッチング動作を行うことで、該燃料電池の出力電圧を昇圧する主昇圧部と、前記主スイッチ手段に対して並列に接続され該主スイッチ手段に印加される電圧を調整可能なスナバコンデンサを有し、且つ前記主昇圧部による昇圧動作に応じて該スナバコンデンサの印荷電圧が調整される補助昇圧部と、を有し、前記昇圧制御手段は、前記主スイッチ手段のスイッチング動作を介して前記昇圧部による出力電圧の昇圧が行われるとき、該主スイッチ手段が所定のスイッチング動作を行う前に前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する。

【 0 0 1 0 】

上記燃料電池システムにおいては、燃料電池から出力された直流電圧が昇圧部によって昇圧され、その昇圧後の電圧が負荷に印加される。これにより、負荷に比較的高電圧までの任意の電圧を印加でき、負荷の駆動に様々な効果を与えることができる。ここで、昇圧部は、主昇圧部と補助昇圧部を有しており、主昇圧部は、主コイルと主スイッチ手段の作

10

20

30

40

50

用によって燃料電池の出力電圧を昇圧する。

【0011】

そして、この主昇圧部による電圧昇圧に際して、補助昇圧部において、該主昇圧部の昇圧動作に応じてスナバコンデンサの印加電圧が調整される。補助昇圧部が有するスナバコンデンサは、主スイッチ手段に対して並列に接続されておるため、主スイッチ手段のスイッチング動作が行われても主スイッチ手段に印加される電圧が急に変化することを抑制するため、スパイク電圧が発生しにくくなる。従って、補助昇圧部において、燃料電池の出力電圧の昇圧にあたり、スナバコンデンサの印加電圧を介して主スイッチ手段に印加される電圧が適切に調整されることとなり、以て昇圧部による電圧昇圧の際のスイッチング損失を軽減することが可能となる。

10

【0012】

ここで、上記昇圧制御手段は、主昇圧部および補助昇圧部を有する昇圧部を介した電圧昇圧の制御において、主スイッチ手段が所定のスイッチング動作を行う前のスナバコンデンサの電荷除去を行う。この所定のスイッチング動作とは、主スイッチ手段のスイッチング動作によって、該スイッチ手段に電流が流れ込もうとするスイッチング動作であり、上記昇圧部による電圧昇圧が行われる際のスイッチング動作の一つである。

【0013】

従って、昇圧制御手段によるスナバコンデンサの電荷除去によって、主スイッチ手段に印加される電圧が低下した状態で、好ましくはスナバコンデンサの電荷が完全に除去されて主スイッチ手段に印加される電圧がゼロとなった状態で、該主スイッチ手段の所定のスイッチング動作が行われることになる。その結果、昇圧部による電圧昇圧において、主スイッチ手段のスイッチング動作に起因するスイッチング損失を更に軽減することが可能となる。

20

【0014】

ここで、上記燃料電池システムにおいて、前記昇圧制御手段は、前記主スイッチ手段の第一スイッチング動作によって、前記燃料電池からの電力を前記主コイルに蓄積する第一昇圧手段と、前記主スイッチ手段の第二スイッチング動作によって、前記第一昇圧手段によって蓄積された電力を、前記スナバコンデンサを介しながら前記負荷に供給する第二昇圧手段と、を有するようにしてもよく、この場合、前記所定のスイッチング動作を、前記第一スイッチング動作としてもよい。

30

【0015】

上記の通り、昇圧制御手段は、昇圧部による電圧昇圧を制御する。そこで、その電圧昇圧は、先ず、第一昇圧手段によって燃料電池からの電力を主コイルに蓄積し、次に第二昇圧手段によって上述したスナバコンデンサの特性を踏まえた上で負荷側に昇圧された電圧が印加される。そして、これら第一および第二昇圧手段の機能は、主スイッチ手段のスイッチング動作（前者が第一スイッチング動作で、後者が第二スイッチング動作）によって発揮される。即ち、昇圧制御手段による昇圧部の制御は、主スイッチ手段のスイッチング動作の制御を通して行われる。

【0016】

ここで、第一昇圧手段における第一スイッチング動作は、主コイルに電力を蓄えるスイッチング動作である。従って、この第一スイッチング動作によって、主スイッチ手段に電流が流れ込む場合がある。そこで、昇圧制御手段は、この第一スイッチング動作が行われる前に、上述したスナバコンデンサの電荷除去を行うことで、第一昇圧手段による処理時の主スイッチ手段のスイッチング動作、即ち第一スイッチング動作に起因したスイッチング損失を確実に軽減することが可能となる。

40

【0017】

また、上述までの燃料電池システムにおいて、前記主昇圧部は、一端が前記燃料電池の高電位側の端子に接続された前記主コイルと、一端の極が前記主コイルの他端に接続され、他方の極が前記燃料電池の低電位側の端子に接続された、スイッチングを行う前記主スイッチ手段と、カソード端子が前記主コイルの他端に接続された第一ダイオードと、前記

50

第一ダイオードのアノード端子と前記主スイッチ手段の他方の極との間に設けられた平滑コンデンサと、を有するようにしてもよい。また、前記補助昇圧部は、前記主スイッチ手段に並列に設けられ、且つ前記主コイルの他端と前記燃料電池の低電位側の端子との間に接続された、第二ダイオードと前記スナバコンデンサを含む第一直列接続体と、前記第一直列接続体における前記第二ダイオードと前記スナバコンデンサとの接続部位と前記主コイルの一端との間に接続された、誘導性素子である補助コイルと第三ダイオードとスイッチングを行う補助スイッチ手段とを含む第二直列接続体と、を有するようにしてもよい。そして、このとき、前記昇圧制御手段は、前記補助スイッチ手段のスイッチング動作により、前記補助コイルと前記スナバコンデンサの共振作用に従って該スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去するようにしてもよい。

10

**【0018】**

即ち、補助昇圧部におけるスナバコンデンサにより、主スイッチ手段に印加される電圧の急激な上昇を抑制するとともに、更なる主スイッチ手段のスイッチング損失を抑制の観点から、該スナバコンデンサと第二直列接続体の補助コイルとで共振作用を生じさせて、該スナバコンデンサ内の電荷を除去しようとするものである。これにより、スナバコンデンサからの速やかな電荷除去が可能となる。

**【0019】**

ここで、上述までの燃料電池システムにおいて、前記補助昇圧部は、前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する複数の除去手段を有し、前記主スイッチ手段のスイッチング動作を介して前記昇圧部による出力電圧の昇圧が行われるとき、前記昇圧制御手段は、該昇圧部における電気的狀態に基づいて、前記複数の除去手段のうち前記スナバコンデンサの電荷除去に使用される除去手段を選択するようにしてもよい。

20

**【0020】**

即ち、本発明に係る燃料電池システムにおいては、スナバコンデンサの電荷除去を行うための除去手段が複数備えられており、昇圧部の電気的狀態に基づいて、換言すると主スイッチ手段のスイッチング損失を可及的に抑制するべくスナバコンデンサの電荷を可及的に除去するために、そのスナバコンデンサの電荷除去に関連する昇圧部の電気的狀態に基づいて、必要な除去手段が選択されるものである。これにより、電荷除去の必要に応じた除去手段が使用されることになるので、好ましくはスナバコンデンサの電荷を完全に除去することが可能となる。

30

**【0021】**

そして、複数の除去手段の一例として、上記燃料電池システムの補助昇圧部が、前記第二直列接続体の前記補助スイッチ手段に対して並列に設けられ、且つ該第二直列接続体の所定箇所と前記燃料電池の低電位側の端子との間に接続された第二補助スイッチ手段を、更に有する場合が挙げられる。このとき、前記昇圧制御手段は、前記補助スイッチ手段と前記第二補助スイッチ手段の少なくとも何れか一つを、前記スナバコンデンサの電荷除去のために選択すればよい。尚、本発明においては、上記補助スイッチ手段と第二補助スイッチ手段のうち、何れか一方もしくは両方を選択するが、両方を選択する場合、必ずしも補助スイッチ手段と第二補助スイッチ手段を同時にスイッチング動作させる必要はない。両者のスイッチングのタイミングは、スナバコンデンサの電荷除去に適したタイミングであればよい。この点については、除去手段の数が3つ以上となっても、同様にスナバコンデンサの電荷除去に適したタイミングで各除去手段による電荷除去が行われる。

40

**【0022】**

上述までの燃料電池システムにおいて開示された本発明の技術的思想は、直流電源の出力電圧を昇圧し、負荷に該昇圧電圧を印加するDC-DCコンバータにも適用可能である。即ち、そのDC-DCコンバータは、直流電源の高電位側の端子に接続された主コイルに対して、主スイッチ手段によってスイッチング動作を行うことで、該直流電源の出力電圧を昇圧する主昇圧部と、前記主スイッチ手段に対して並列に接続され該主スイッチ手段に印加される電圧を調整可能なスナバコンデンサを有し、且つ前記主昇圧部による昇圧動作に応じて該スナバコンデンサの印荷電圧が調整される補助昇圧部と、前記主スイッチ手

50

段のスイッチング動作を介して前記直流電源の出力電圧の昇圧が行われるとき、該主スイッチ手段が所定のスイッチング動作を行う前に前記スナバコンデンサに蓄電された電荷を除去する昇圧制御手段と、を備えるものである。

【0023】

また、上記DC-DCコンバータにおいては、前記昇圧制御手段は、前記主スイッチ手段の第一スイッチング動作によって、前記直流電源からの電力を前記主コイルに蓄積する第一昇圧手段と、前記主スイッチ手段の第二スイッチング動作によって、前記第一昇圧手段によって蓄積された電力を、前記スナバコンデンサを介しながら前記負荷に供給する第二昇圧手段と、を有し、前記所定のスイッチング動作は、前記第一スイッチング動作であってもよい。

10

【0024】

上記のDC-DCコンバータにおいては、上述までの燃料電池システムの場合と同様に、電圧昇圧時の主スイッチ手段のスイッチング損失を可及的に抑制することが可能となる。

【発明の効果】

【0025】

本発明に係る燃料電池システムによれば、燃料電池等の直流電源からの出力電圧を昇圧させるDC-DCコンバータ等の昇圧コンバータにおいて、スイッチング損失を可及的に抑制することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0026】

本発明に係る燃料電池システム10の実施の形態について図面に基づいて詳細に説明する。本実施の形態に係る燃料電池システム10は、移動体である車両1の駆動装置である駆動モータ16に対して電力を供給するものであるが、船舶やロボット等の車両1以外の移動体や、移動は行わないが電力の供給を受ける必要がある物に対しても適用が可能である。

【実施例1】

【0027】

図1は、本発明に係る燃料電池システム10の概略構成および、該燃料電池システム10より供給される電力を駆動源とする移動体の車両1を概略的に示す。車両1は、駆動輪2が駆動モータ(以下、単に「モータ」という。)16によって駆動されることで自走し、移動可能となる。このモータ16は、いわゆる三相交流モータであって、インバータ15から交流電力の供給を受ける。更に、このインバータ15へは、燃料電池システム10のメイン電力源である燃料電池(以下、「FC」ともいう。)11と、二次電池であるバッテリー13から直流電力が供給され、それがインバータ15で交流へ変換されている。

30

【0028】

ここで、燃料電池11は、水素タンク17に貯蔵されている水素ガスとコンプレッサ18によって圧送されてくる空気中の酸素との電気化学反応にて発電を行い、該燃料電池11とインバータ15の間には、昇圧型のDC-DCコンバータであるFC昇圧コンバータ12が電氣的に接続されている。これにより、燃料電池11からの出力電圧は、FC昇圧コンバータ12によって制御可能な範囲で任意の電圧に昇圧され、インバータ15に印加される。また、このFC昇圧コンバータ12の昇圧動作によって燃料電池11の端子電圧を制御することも可能となる。尚、FC昇圧コンバータ12の詳細な構成については、後述する。また、バッテリー13は、充放電が可能な蓄電装置であって、該バッテリー13とインバータ15との間に該インバータ15に対して上記FC昇圧コンバータ12と並列になるように、昇圧型のバッテリー昇圧コンバータ14が電氣的に接続されている。これにより、バッテリー13からの出力電圧は、バッテリー昇圧コンバータ14によって制御可能な範囲で任意の電圧に昇圧され、インバータ15に印加される。また、このバッテリー昇圧コンバータ14の昇圧動作によってインバータ15の端子電圧を制御することも可能となる。尚、図1中に示すように、燃料電池システム10においては、昇圧型のバッテリー昇圧コン

40

50

バータ 14 に代えて、昇圧動作および降圧動作が可能な昇降圧型のコンバータも採用可能である。以下の実施例では、主にバッテリー昇圧コンバータ 14 を昇圧型のコンバータとして説明を進めていくが、これには昇降圧型のコンバータの採用を制限する意図は無く、その採用に際しては適宜調整が行われる。そして、昇降圧型コンバータを採用することにより更に特筆すべき事実については適切にその開示を行っていく。

#### 【0029】

また車両 1 には、電子制御ユニット（以下、「ECU」という。）20 が備えられ、上述した各制御対象に電氣的に接続されることで、燃料電池 11 の発電やモータ 16 の駆動等が制御されることになる。例えば、車両 1 には、ユーザからの加速要求を受けるアクセルペダルが設けられ、その開度がアクセルペダルセンサ 21 によって検出され、その検出信号が ECU 20 に電氣的に伝えられる。また、ECU 20 は、モータ 16 の回転数を検出するエンコーダにも電氣的に接続され、これにより ECU 20 でモータ 16 の回転数が検出される。ECU 20 は、これらの検出値等に基づいて、各種の制御が可能である。

10

#### 【0030】

このように構成される燃料電池システム 10 では、車両 1 のユーザが踏んだアクセルペダルの開度がアクセルペダルセンサ 21 によって検出され、ECU 20 がそのアクセル開度とモータ 16 の回転数等に基づいて、燃料電池 11 の発電量やバッテリー 13 からの充放電量が適宜制御される。ここで、移動体である車両 1 の燃費を向上させるために、モータ 16 が高電圧低電流仕様の PM モータとなっている。従って、モータ 16 は、低電流で高トルクを発揮することが可能となるため、モータ内部の巻線やその他の配線での発熱を軽減することが可能となり、またインバータ 15 の定格出力を小さくすることが可能となる。具体的には、モータ 16 では低電流で比較的大きなトルク出力を可能とするためにその逆起電圧が比較的高く設定される一方で、その高逆起電圧に抗して高回転数での駆動が可能となるように、燃料電池システム 10 からの供給電圧が高く設定される。このとき、燃料電池 11 とインバータ 15 の間に FC 昇圧コンバータ 12 を設け、バッテリー 13 とインバータ 15 との間にもバッテリー昇圧コンバータ 14 を設けることで、インバータ 15 への供給電圧の高電圧化が図られる。繰り返しにはなるが、このバッテリー昇圧コンバータ 14 に代えて昇降圧型のコンバータも採用可能である。

20

#### 【0031】

このように燃料電池システム 10 を FC 昇圧コンバータ 12 を含む構成とすることで、燃料電池 11 自体の出力電圧（端子間電圧）が低くても、FC 昇圧コンバータ 12 の昇圧動作によりモータ 16 を駆動することが可能となるので、燃料電池 11 のセル積層枚数を低減する等してその小型化を図ることも可能となる。その結果、車両 1 の重量を低減でき、その燃費向上を更に促進することができる。

30

#### 【0032】

ここで、燃料電池システム 10 においては、発電可能な燃料電池 11 がモータ 16 に対するメイン電力源となっている。従って、燃料電池システム 10 の効率を向上させるためには、燃料電池 11 とインバータ 15 との間に介在する FC 昇圧コンバータ 12 での電力損失を低減することが、システム全体の効率向上に大きく寄与すると考えられる。もちろん、バッテリー 13 とインバータ 15 との間のバッテリー昇圧コンバータ 14 にも原則的に同様のことが当てはまる。

40

#### 【0033】

ここで、図 2 に基づいて、FC 昇圧コンバータ 12 の電気回路の特徴について説明する。図 2 は、FC 昇圧コンバータ 12 を中心として、燃料電池システム 10 の電氣的構成を示す図であるが、説明を簡便にするためにバッテリー 13 およびバッテリー昇圧コンバータ 14 の記載は省略している。

#### 【0034】

FC 昇圧コンバータ 12 は、DC - DC コンバータとしての昇圧動作を行うための主昇圧回路 12 a と、後述するソフトスイッチング動作を行うための補助回路 12 b とで構成されている。主昇圧回路 12 a は、スイッチ素子 S1 とダイオード D4 で構成されるスイ

50

ツチング回路のスイッチ動作によって、コイルL1に蓄えられたエネルギーをモータ16側（インバータ15側）にダイオードD5を介して解放することで燃料電池11の出力電圧を昇圧する。具体的には、コイルL1の一端が燃料電池11の高電位側の端子に接続される。そして、スイッチ素子S1の一端の極が、コイルL1の他端に接続されるとともに、該スイッチ素子S1の他端の極が、燃料電池の低電位側の端子に接続されている。また、ダイオードD5のカソード端子がコイルL1の他端に接続され、更に、コンデンサC3が、ダイオードD5のアノード端子とスイッチ素子S1の他端との間に接続されている。尚、この主昇圧回路12aにおいて、コンデンサC3は、昇圧電圧の平滑コンデンサとして機能する。尚、主昇圧回路12aには、燃料電池11側に平滑コンデンサC1も設けられ、これにより燃料電池11の出力電流のリップルを低減することが可能となる。この平滑コンデンサC3にかかる電圧VHは、FC昇圧コンバータ12の出口電圧となる。また、図2では、燃料電池11の電源電圧をVLで示し、これは平滑コンデンサC1にかかる電圧であって、且つFC昇圧コンバータ12の入口電圧となる。

10

20

30

40

50

#### 【0035】

次に、補助回路12bには、先ずスイッチ素子S1に並列に接続された、ダイオードD3と、それに直列に接続されたスナバコンデンサC2とを含む第一直列接続体が含まれる。この第一直列接続体では、ダイオードD3のカソード端子がコイルL1の他端に接続され、そのアノード端子がスナバコンデンサC2の一端に接続されている。更に、該スナバコンデンサC2の他端は、燃料電池11の低電位側の端子に接続されている。更に、補助回路12bには、誘導素子であるコイルL2と、ダイオードD2と、スイッチ素子S2及びダイオードD1で構成されるスイッチング回路とが直列に接続された第二直列接続体が含まれる。この第二直列接続体では、コイルL2の一端が、第一直列接続体のダイオードD3とスナバコンデンサC2との接続部位に接続される。更に、ダイオードD2のカソード端子が、コイルL2の他端に接続されるとともに、そのアノード端子が、スイッチ素子S2の一端の極に接続される。また、スイッチ素子S2の他端は、コイルL1の一端側に接続される。尚、この第二直列接続体の回路トポロジーについては、コイルL2、ダイオードD2、スイッチ素子S2等によるスイッチング回路の直列順序は、適宜入れ替えた形態も採用し得る。特に、図2に示す状態に代えて、コイルL2とスイッチ素子S2等によるスイッチング回路の順序を入れ替えることで、実際の実装回路ではコイルL1とコイルL2は一体化でき、半導体素子のモジュール化が容易となる。

#### 【0036】

このように構成されるFC昇圧コンバータ12は、スイッチ素子S1のスイッチングデューティ比を調整することで、FC昇圧コンバータ12による昇圧比、即ちFC昇圧コンバータ12に入力される燃料電池11の出力電圧に対する、インバータ15にかけられるFC昇圧コンバータ12の出力電圧の比が制御される。また、このスイッチ素子S1のスイッチング動作において補助回路12bのスイッチ素子S2のスイッチング動作を介在させることで、後述するいわゆるソフトスイッチングが実現され、FC昇圧コンバータ12でのスイッチングロスが大きく低減させることが可能となる。

#### 【0037】

次に、FC昇圧コンバータ12におけるソフトスイッチングについて、図3、4A~4Fに基づいて説明する。図3は、ソフトスイッチング動作を介したFC昇圧コンバータ12での昇圧のための一サイクルの処理（以下、「ソフトスイッチング処理」という。）のフローチャートである。当該ソフトスイッチング処理は、S101~S106の各処理がECU20によって順次行われて一サイクルを形成するが、各処理によるFC昇圧コンバータ12での電流、電圧の流れるモードをそれぞれモード1~モード6として表現し、その状態を図4A~4Fに示す。以下、これらの図に基づいて、FC昇圧コンバータ12でのソフトスイッチング処理について説明する。尚、図4A~図4Fにおいては、図面の表示を簡潔にするため、主昇圧回路12aと補助回路12bの参照番号の記載は省略しているが、各モードの説明においては、各回路を引用する場合がある。また、各図中、太矢印で示されるのは、回路を流れる電流を意味している。

## 【 0 0 3 8 】

尚、図 3 に示すソフトスイッチング処理が行われる初期状態は、燃料電池 1 1 からインバータ 1 5 およびモータ 1 6 に電力が供給されている状態、即ちスイッチ素子 S 1、S 2 がともにターンオフされることで、コイル L 1、ダイオード D 5 を介して電流がインバータ 1 5 側に流れている状態である。従って、当該ソフトスイッチング処理の一サイクルが終了すると、この初期状態と同質の状態に至ることになる。

## 【 0 0 3 9 】

ソフトスイッチング処理において、先ず S 1 0 1 では図 4 A に示されるモード 1 の電流・電圧状態が形成される。具体的には、スイッチ素子 S 1 はターンオフの状態ですwitch素子 S 2 をターンオンする。このようにすると、FC 昇圧コンバータ 1 2 の出口電圧 V H と入口電圧 V L の電位差によって、コイル L 1 及びダイオード D 5 を介してインバータ 1 5 側に流れていた電流が、補助回路 1 2 b 側に徐々に移行していく。尚、図 4 A 中には、その電流の移行の様子を白抜き矢印で示している。

10

## 【 0 0 4 0 】

次に、S 1 0 2 では、S 1 0 1 の状態が所定時間継続すると、ダイオード D 5 を流れる電流がゼロとなり、代わってスナバコンデンサ C 2 と燃料電池 1 1 の電圧 V L との電位差により、スナバコンデンサ C 2 に蓄電されていた電荷が補助回路 1 2 b 側に流れ込んでいく（図 4 B に示すモード 2 の状態）。このスナバコンデンサ C 2 は、スイッチ素子 S 1 にかかる電圧を決定する機能を有している。スイッチ素子 S 1 をターンオンするときに該スイッチ素子 S 1 に印加される電圧に影響を与えるスナバコンデンサ C 2 の電荷が、モード 2 では補助回路 1 2 b に流れ込むことで、スナバコンデンサ C 2 にかかる電圧が低下していく。このとき、コイル L 2 とスナバコンデンサ C 2 の半波共振により、スナバコンデンサ C 2 の電圧がゼロとなるまで、電流は流れ続ける。この結果、後述する S 1 0 3 でのスイッチ素子 S 1 のターンオン時のその印加電圧を下げる事が可能となる。

20

## 【 0 0 4 1 】

更に、S 1 0 3 においては、スナバコンデンサ C 2 の電荷が抜け切ったら、スイッチ素子 S 1 が更にターンオンされ、図 4 C に示されるモード 3 の電流・電圧状態が形成される。即ち、スナバコンデンサ C 2 の電圧がゼロとなった状態ではスイッチ素子 S 1 にかかる電圧もゼロとなり、そして、その状態でスイッチ素子 S 1 をターンオンすることにより、スイッチ素子 S 1 をゼロ電圧状態にした上でそこに電流を流し始めることになるため、スイッチ素子 S 1 におけるスイッチング損失を理論上、ゼロとすることができる。

30

## 【 0 0 4 2 】

そして、S 1 0 4 では、S 1 0 3 の状態が継続することで、コイル L 1 に流れ込んでいく電流量を増加させて、コイル L 1 に蓄えられるエネルギーを徐々に増やしていく。この状態が、図 4 D に示されるモード 4 の電流・電圧状態である。その後、コイル L 1 に所望のエネルギーが蓄えられると、S 1 0 5 において、スイッチ素子 S 1 及び S 2 がターンオフされる。すると、上記モード 2 で電荷が抜かれて低電圧状態となっているスナバコンデンサ C 2 に電荷が充電され、FC 昇圧コンバータ 1 2 の出口電圧 V H と同電圧に至る。この状態が、図 4 E に示されるモード 5 の電流・電圧状態である。そして、スナバコンデンサ C 2 が電圧 V H まで充電されると、S 1 0 6 においてコイル L 1 に蓄えられたエネルギーがインバータ 1 5 側に解放される。この状態が、図 4 F に示されるモード 6 の電流・電圧状態である。尚、このモード 5 が行われるとき、スイッチ素子 S 1 にかかる電圧はスナバコンデンサ C 2 により電圧の立ち上がりを遅らせられるため、スイッチ素子 S 1 におけるテール電流によるスイッチング損失をより小さくできる。

40

## 【 0 0 4 3 】

上述のように S 1 0 1 ~ S 1 0 6 の処理を一サイクルとしてソフトスイッチング処理を行うことで、FC 昇圧コンバータ 1 2 におけるスイッチング損失を可及的に抑制した上で、燃料電池 1 1 の出力電圧を昇圧しインバータ 1 5 に供給可能となる。その結果、高電圧低電流モータであるモータ 1 6 を効率的に駆動することが可能となる。

## 【 0 0 4 4 】

50

ここで、燃料電池システム10においては、上記ソフトスイッチング処理に加えて、FC昇圧コンバータ12の間欠運転制御を行うことで、システム効率を向上させる。説明を簡潔にするために、燃料電池11とインバータ15及びモータ16との関係に着目すると、モータ16に対するメイン電力源である燃料電池11からの電力は、FC昇圧コンバータ12を介してインバータ15側へ供給される。そして、メイン電力源である燃料電池11がモータ16の駆動に際してインバータ15に印加すべき電圧は、モータ16の逆起電力に十分に抵抗できる電圧でなければならない。従って、上記FC昇圧コンバータ12が備えられていない従来の燃料電池システムでは、図5に示すように、車両1の採り得る速度範囲(0~V<sub>Smax</sub>)において、LV1で示される燃料電池によって印加される電圧が、常にモータ駆動に必要な、インバータ15に印加すべき電圧(以下、「モータ必要電圧」という。)を超えた状態としなければならない。そのため、インバータに印加されるべき電圧を大きく超えた電圧がインバータに印加されることになり、インバータのスイッチング損失が大きくなっていった。そして、特に車両1の速度が低い領域では、インバータのスイッチング損失が顕著となり得る。

#### 【0045】

ここで、本発明に係る燃料電池システム10では、FC昇圧コンバータ12が設けられているため、燃料電池11からの電圧を昇圧してインバータ15に印加することは可能である。しかし、このFC昇圧コンバータ12による昇圧動作では、スイッチ素子による何らかのスイッチング損失が発生するため、当該昇圧動作はシステムの効率を低下させる一因となる。一方で、上述したように、モータ16は高電圧低電流仕様のモータであるため、その回転数の上昇に伴い発生する逆起電圧も大きくなっていき、FC昇圧コンバータ12による昇圧動作は不可欠となる。

#### 【0046】

そこで、燃料電池11からの出力電圧とインバータ15に印加すべきモータ必要電圧の相関を、図6においてそれぞれLV1、LV2で示す。図6のLV2で示すように、モータ16の逆起電圧は、車両1の速度が上昇していくに従い、増加していくため、モータ必要電圧も車両速度の増加とともに増加していく。ここで、燃料電池11の出力電圧LV1とモータ必要電圧LV2との相関において、両者が交差するときの車両1の速度V<sub>S0</sub>が、ユーザによる車両1の通常操縦を概ね賄う速度となるように、燃料電池11の電圧特性とモータ16の電圧特性とを決定すればよい。本実施例においては、車両運転法規やユーザの通常操縦の傾向等から、V<sub>S0</sub>を110km/hと設定する。そして、この速度V<sub>S0</sub>での車両1の走行を可能とするモータ16の駆動時の最大出力を算出し、当該最大出力の発揮が可能となるように、インバータ15に印加すべき電圧(モータ必要電圧)を導出する。そして、このモータ必要電圧が、FC昇圧コンバータ12を介さずに燃料電池11から直接に出力可能となるように、燃料電池11の設計(例えば、複数のセルが積層されて形成される燃料電池では、その積層セル数が調整される等)が行われる。

#### 【0047】

このように設計された燃料電池11を含む燃料電池システム10では、車両1の速度がV<sub>S0</sub>に至るまでの間は、燃料電池11からの出力電圧が、モータ16を駆動するためのモータ必要電圧よりも高いため、たとえモータ16が高電圧低電流仕様のモータであっても、FC昇圧コンバータ12の昇圧動作が無くとも燃料電池11からの直接の出力電圧によって該モータ16を駆動することが可能となる。換言すると、この条件下では、FC昇圧コンバータ12によるスイッチング動作を停止させて、燃料電池11からの出力電圧をインバータ15に印加することで、モータ16の駆動を確保できることになる。これにより、FC昇圧コンバータ12でのスイッチング損失を、完全に排除することができる。更には、FC昇圧コンバータ12が停止することでインバータ15に印加される電圧が過度に高くないため、即ち、図5に示す状態よりもLV1とLV2との電圧差を小さくする抑えることができるため、インバータ15でのスイッチング損失を低く抑えることができる。

#### 【0048】

10

20

30

40

50

一方で、車両 1 の車両速度が  $V S 0$  以上となると、逆にモータ 16 を駆動するためのモータ必要電圧が、燃料電池 11 からの出力電圧よりも高くなるため、FC 昇圧コンバータ 12 による昇圧動作が必要となる。この場合、上述したソフトスイッチング処理を行うことで、FC 昇圧コンバータ 12 でのスイッチング損失を可及的に抑えることが可能となる。

#### 【0049】

上記までは、説明の簡便化のために、燃料電池 11 とモータ 16 との相関にのみ着目しているが、図 1 に示すように燃料電池システム 1 においては、モータ 16 に対してバッテリー 13 からの電力供給も可能である。バッテリー 13 から電力供給される場合は、バッテリー 13 からの出力電圧がバッテリー昇圧コンバータ 14 によって昇圧された上で、インバータ 15 に印加されることになる。ここで、バッテリー昇圧コンバータ 14 は、いわゆる昇圧コンバータであるため、バッテリー 13 からインバータ 15 に電力供給を行うためには、バッテリー昇圧コンバータ 14 の出口電圧（インバータ 15 側の電圧であり、FC 昇圧コンバータ 12 の出口電圧と同等）が、その入口電圧（バッテリー 13 側の電圧）と比較して同じか、又はより高い状態でなければならない。

10

#### 【0050】

そこで、バッテリー 13 の出力電圧と燃料電池 11 の出力電圧の相関について、図 7 A および図 7 B に基づいて説明する。両図では、ともにバッテリー 13 の  $I V$  特性（図中、点線  $L B T$  で示される。）と、燃料電池 11 の  $I V$  特性（図中、実線  $L F C$  で示される。）とが示されている。ここで、図 7 A で、燃料電池 11 の  $I V$  特性  $L F C$  がバッテリー 13 の  $I V$  特性  $L B T$  より高い領域においては、FC 昇圧コンバータ 12 を停止させたとしてもバッテリー 13 の出力電圧が FC 昇圧コンバータ 12 の出口電圧より低い状態となるので、バッテリー昇圧コンバータ 14 が昇圧動作可能となり、以てバッテリー 13 からモータ 16 への電力供給ができる。従って、この状態では FC 昇圧コンバータ 12 の動作停止が許容される。一方で、バッテリー 13 の  $I V$  特性  $L B T$  が、燃料電池 11 の  $I V$  特性  $L F C$  より高い領域においては、FC 昇圧コンバータ 12 を停止させるとバッテリー 13 の出力電圧が FC 昇圧コンバータ 12 の出口電圧より高い状態となるので、バッテリー昇圧コンバータ 14 の昇圧動作による燃料電池 11 とバッテリー 13 の出力分配制御が不可能となる。従って、この状態では FC 昇圧コンバータ 12 の動作停止が許容されない。

20

#### 【0051】

即ち、バッテリー昇圧コンバータ 14 によってバッテリー 13 からの出力電圧を昇圧して、モータ 16 に電圧を印加する場合には、FC 昇圧コンバータ 12 の出口電圧が、バッテリー 13 の出力電圧（バッテリー昇圧コンバータ 14 の入口電圧）より高い状態を形成する必要があり、そのために FC 昇圧コンバータ 12 の動作停止が許容されない場合がある。例えば、図 7 A に示すように、比較的低電流領域で、燃料電池 11 の  $I V$  特性  $L F C$  がバッテリー 13 の  $I V$  特性  $L B T$  より低くなる場合には、バッテリー昇圧コンバータ 14 の昇圧動作を確保するために、FC 昇圧コンバータ 12 の動作停止は許容されず、その結果、上述したスイッチング損失の低減を図る可能性が低下する。一方で、例えば、図 7 B に示すように、燃料電池 11 の  $I V$  特性  $L F C$  がバッテリー 13 の  $I V$  特性  $L B T$  より常に上にある場合には、バッテリー昇圧コンバータ 14 の昇圧動作確保の観点から、FC 昇圧コンバータ 12 の動作停止が制限されることはない。

30

40

#### 【0052】

尚、上述までのバッテリー昇圧コンバータ 14 の昇圧動作確保に関する FC 昇圧コンバータ 12 の動作制限は、図 1 に示す燃料電池システム 10 に含まれるバッテリー昇圧コンバータ 14 が昇圧型のコンバータ（即ち、降圧動作を行えないコンバータ）であることに起因する。従って、燃料電池システム 10 において、バッテリー昇圧コンバータ 14 に代えて、昇圧動作および降圧動作が可能な昇降圧型のコンバータを採用する場合は、FC 昇圧コンバータ 12 は上記の動作制限に縛られることはなく、燃料電池 11、バッテリー 13 からの出力電圧を選択的にモータ 16 に印加できる。

#### 【0053】

50

以上より、本実施例においては、想定される車両 1 の駆動に基づいて必要なバッテリー 13 の I V 特性と燃料電池 11 の I V 特性を決定し、両 I V 特性の相関および燃料電池 11 の出力電圧とモータ必要電圧との関係から、図 8 A および図 8 B のマップに示すような F C 昇圧コンバータ 12 の昇圧動作のための制御領域を画定した。以下に、F C 昇圧コンバータ 12 の昇圧動作について、詳細に説明する。

#### 【0054】

図 8 A および図 8 B は、F C 昇圧コンバータ 12 の入口電圧を横軸とし、その出口電圧を縦軸として形成される動作領域に対して、該 F C 昇圧コンバータ 12 において実行される処理を関連付けて表示したマップである。尚、図 8 A は、燃料電池システム 10 に含まれるバッテリー昇圧コンバータ 14 が昇圧型のコンバータであるときのマップであり、図 8 B は、該昇圧型のバッテリー昇圧コンバータ 14 に代えて、昇降圧型のコンバータを採用したときのマップである。先ず、図 8 A に示すマップについて説明する。ここで、当該マップには、F C 昇圧コンバータ 12 による昇圧比が 1 であること、即ち該入口電圧と該出口電圧との比が 1 : 1 であることを意味する直線 L R 1 と、その昇圧比が 2 近傍の値（図中では、昇圧比を単に「2」と示す。）であることを意味する直線 L R 2 と、その昇圧比が 10 であることを意味する直線 L R 3 と、該 F C 昇圧コンバータ 12 の最高出力電圧を意味する直線 L R 4 が記載されている。直線 L R 2 については、図 9、図 10 A、10 B に基づいて後述する。また、直線 L R 3 は、F C 昇圧コンバータ 12 による最大昇圧比を示している。従って、F C 昇圧コンバータ 12 の動作範囲は、直線 L R 1、L R 3、L R 4 で囲まれる領域であることが分かる。

#### 【0055】

ここで、車両 1 の想定速度範囲で、最もモータ 16 にかかる負荷が低い場合、即ち道路の摩擦抵抗程度の負荷がかかる場合（図中、負荷率 =  $R / L$  (Road Load)）の F C 昇圧コンバータ 12 の入口電圧とその出口電圧との関係が、一点鎖線 L L 1 で示されている。一方で、同じように車両 1 の想定速度範囲で、最もモータ 16 にかかる負荷が高い場合、即ち車両 1 のアクセル開度が 100% である場合（図中、負荷率 = 100%）の F C 昇圧コンバータ 12 の入口電圧とその出口電圧との関係が、一点鎖線 L L 2 で示されている。従って、車両 1 に搭載される燃料電池システム 10 は、車両 1 を駆動させるという観点からは、一点鎖線 L L 1 と L L 2 とで挟まれた領域で示される昇圧動作を、F C 昇圧コンバータ 12 に行わせることになる。

#### 【0056】

図 8 A に示すマップでは、F C 昇圧コンバータ 12 の動作領域を R C 1 ~ R C 4 の 4 つの領域に区分している。これらの領域では、それぞれ F C 昇圧コンバータ 12 の動作に関し特徴的な動作が行われ、以下に各領域での F C 昇圧コンバータ 12 の動作を説明する。先ず、昇圧比 1 を示す直線 L R 1 以下の領域として、領域 R C 1 が画定されている。この領域 R C 1 では、モータ 16 を駆動するために必要とされる昇圧比が 1 以下であるので（現実には F C 昇圧コンバータ 12 は昇圧コンバータであるので、昇圧比を 1 以下にすること、即ち降圧はできないことに注意されたい。）、結果的には F C 昇圧コンバータ 12 を停止させて、燃料電池 11 の出力電圧を直接インバータ 15 に印加することが可能となる。そこで、F C 昇圧コンバータ 12 の入口電圧となる燃料電池 11 の出力電圧が、燃料電池 11 の最大電圧の  $V_{fcmax}$  と、バッテリー 13 の開放電圧 (OCV: Open Circuit Voltage) と同値の  $V_{fcb}$  との間の範囲であって、且つ直線 L R 1 および一点鎖線 L L 1 とで囲まれて画定される領域 R C 1 においては、F C 昇圧コンバータ 12 の昇圧動作を完全に停止させる。これにより、F C 昇圧コンバータ 12 におけるスイッチング損失を抑えることが可能となる。このように、電圧  $V_{fcb}$  を境界として F C 昇圧コンバータ 12 の動作停止が制約を受けるのは、上述の通りバッテリー昇圧コンバータ 14 が昇圧型のコンバータでありその昇圧動作確保のためである。

#### 【0057】

次に、領域 R C 2 について説明する。この領域は、F C 昇圧コンバータ 12 の入口電圧が上記の  $V_{fcb}$  以下であって、且つ該 F C 昇圧コンバータ 12 の出口電圧がバッテリー 1

10

20

30

40

50

3のOCV以下、即ちVfcbと同値の電圧以下である領域として画定される。即ち、この領域RC2においては、FC昇圧コンバータ12の昇圧動作を行わないとバッテリー昇圧コンバータ14の出口電圧が入口電圧より低くなり該バッテリー昇圧コンバータ14の昇圧動作が不可能となる領域であり、また仮にFC昇圧コンバータ12の昇圧動作を行ったとしても、その昇圧比が低いため同様にバッテリー昇圧コンバータ14の昇圧動作が不可能となる領域でもある。

【0058】

このように画定される領域RC2では、領域RC1と同様に、FC昇圧コンバータ12を停止させて、そのスイッチング損失が発生しないようにする。そして、バッテリー昇圧コンバータ14にて制御可能な最低電圧に燃料電池11の端子電圧を制御する。尚、図では、理想的な昇圧コンバータを使用した場合にその電圧はバッテリー13のOCVに等しいと仮定して、上記Vfcbを設定している。この状態は、バッテリー13の放電電力が許す限り継続される。

10

【0059】

尚、この領域RC2は、モータ16の駆動状態が変遷する中で、FC昇圧コンバータ12の動作領域が上記領域RC1から、後述する領域RC3に移行する際に介在する過渡的な領域である。従って、バッテリー昇圧コンバータ14が昇圧型のコンバータである場合には、この過渡的な領域RC2が可能な限り小さくなるように、図7A、7Bに基づいて説明した燃料電池11のIV特性とバッテリー13のIV特性との相関を適切に調整するのが好ましい。

20

【0060】

ここで、直線LR1より下の領域に関して、図8Bに示すマップ、即ち燃料電池システム10においてバッテリー昇圧コンバータ14に代えて昇降圧型のコンバータが採用されたときのマップについて説明する。この場合、昇降圧型のコンバータによってバッテリー13の出力電圧を降圧することが可能であるから、上述したようにFC昇圧コンバータ12の動作停止について上記電圧Vfcbによる制約を受けることがなくなる。従って、図8Bに示すように、直線LR1よりも下の領域については、FC昇圧コンバータ12の動作を制約無く停止しシステムの効率を向上させることが容易となる。従って、この結果、図8Bにおいては上記領域RC2に相当する領域が存在しないことになる。ここで、以下に示すマップの説明は、図8Aおよび図8Bに共通に当てはまるため、その説明はまとめて行う。

30

【0061】

上述までの領域RC1、RC2以外の動作領域では、FC昇圧コンバータ12を駆動させて、燃料電池11の出力電圧の昇圧動作を行うことになる。この昇圧動作においては、図4A～4Fに基づいて説明したソフトスイッチング処理が実行されることで、FC昇圧コンバータ12でのスイッチング損失を可及的に抑制する。ここで、このソフトスイッチング処理が行われる動作領域は、直線LR2で準ソフトスイッチ領域RC3とソフトスイッチ領域RC4とに区分けされる。以下に、準ソフトスイッチ領域RC3とソフトスイッチ領域RC4とについて、詳細に説明する。

【0062】

まず、直線LR2の技術的意義について説明する。上述したように、直線LR2は、FC昇圧コンバータ12による昇圧比が2近傍の値となることを意味する直線である。本発明に係るFC昇圧コンバータ12の電氣的構造は、図2に示すとおりであるが、上述したソフトスイッチング処理の一連のフローにおけるモード2の動作において、補助回路12bのコイルL2とスナバコンデンサC2による半波共振を利用したスナバコンデンサC2の放電が行われる。このモード2の動作においてFC昇圧コンバータ12内で実際に稼働している部分のみを抜き出すと、図9に示す回路構成となる。

40

【0063】

そして、図9に示す回路構成において、スナバコンデンサC2内に充電されている電荷を完全に放電しなければ、その後のモード3の動作で、スイッチ素子S1に電圧がかかっ

50

た状態で、スイッチ素子S1のターンオンによる電流が流れるため、結果としてスイッチング損失が発生することになる。従って、このモード2におけるスナバコンデンサC2の電荷を完全に放電することが重要であることが理解されるが、そのためにはモード1の動作時点でコイルL2に蓄えられているエネルギーがスナバコンデンサC2に蓄えられているエネルギーよりも大きくなければならない。換言すると、FC昇圧コンバータ12の出口電圧VHが、その入口電圧VLよりも所定量以上高くならなければならない。

#### 【0064】

そこで、該出口電圧と該入口電圧との比 $VH/VL$ と、上記放電時のスナバコンデンサC2に残る電圧との関係を、図10Aおよび10Bに基づいて説明する。尚、図10Aが比 $VH/VL$ が2を超える場合のスナバコンデンサC2の電圧推移を示し、図10Bが比 $VH/VL$ が2未満の場合のスナバコンデンサC2の電圧推移を示している。図10Aに示す場合は、 $VH - VL$ の値はVLよりも大きくなるため、半波共振が生じるとスナバコンデンサC2の電圧は、ダイオードD2の作用もありゼロとなる。一方で、図10Bに示す場合では、 $VH - VL$ の値はVLよりも小さくなるため、半波共振が生じたとしてもスナバコンデンサC2の電圧は、一定値以上残ることになる。従って、このような場合に上記ソフトスイッチング処理を行っても幾分かのスイッチング損失が発生することになる。以上より、ソフトスイッチング処理によるスイッチング損失の抑制が効果的に行われ得るか否かを判断する基準として、直線LR2が存在することになる。

10

#### 【0065】

尚、理論的には比 $VH/VL$ が2倍以上あれば、放電後のスナバコンデンサC2の電圧はゼロとなるが、実際にはダイオードや配線内でのエネルギー損失が発生するため、比 $VH/VL$ は2倍を超える値(例えば、2.3等)が好ましい。そして、一点鎖線LL1とLL2で挟まれた動作領域中、領域RC1、RC2を除いた領域を、直線LR2が二つに分割し、直線LR2より下に位置する領域を、上記理由によりソフトスイッチング処理を行ってもスイッチング損失を効率的に抑制するのが難しい準ソフトスイッチ領域RC3とし、直線LR2より上に位置する領域を、ソフトスイッチング処理によるスイッチング損失の抑制が効率的に行われるソフトスイッチ領域RC4とする。

20

#### 【0066】

このように、FC昇圧コンバータ12の動作領域は、所定の領域RC1~RC4に区別できるが、準ソフトスイッチ領域RC3では、上述したようにFC昇圧コンバータ12のスイッチング損失を十分に抑制することができないため、燃料電池システム10の効率化の観点から、この領域でFC昇圧コンバータ12が昇圧動作を行うことは可及的に回避するが好ましい。そこで、燃料電池システム10の効率化を促進するための、FC昇圧コンバータ12の制御の一例について、図11に基づいて説明する。図11に示すFC昇圧コンバータ制御は、ECU20によって、燃料電池11で発電された電力がモータ16に供給されるときに実行される。尚、上記準ソフトスイッチ領域RC3における昇圧動作については、燃料電池システム10のより良い効率のために可及的に回避することが好ましいのは上述の通りであるが、本発明に係る燃料電池システム10は当該昇圧動作を完全に排除するものではなく、必要に応じて当該昇圧動作を利用してもよい。

30

#### 【0067】

先ず、S201では、エンコーダによって検出されたモータ16の実際の回転数に対応する、該モータ16が最大出力し得る最大トルクを算出する。具体的には、モータ16の回転数とそれに対応した最大トルクとが関連付けられているマップをECU20が有しており、検出された回転数に従って該マップにアクセスすることでモータ16の最大トルクが算出される。S201の処理が終了すると、S202へ進む。

40

#### 【0068】

S202では、アクセルペダルセンサ21によって検出されたアクセルペダルの開度に基づいて、モータ16に出力要求されている要求トルクが算出される。アクセルペダルの全開が、モータ16の現時点での回転数における最大トルクを要求していると定義すると、全開時の係数を100%、全閉時の係数を0%として、以下の式に従って要求トルクが

50

算出される。S 2 0 2 の処理が終了すると、S 2 0 3 へ進む。

(要求トルク) = (上記最大トルク) × (アクセルペダルの開度に応じた係数)

【0069】

S 2 0 3 では、S 2 0 1 と S 2 0 2 での算出結果に基づいて、モータ 1 6 に要求されている出力である要求出力が、以下の式に従って算出される。S 2 0 3 の処理が終了すると、S 2 0 4 へ進む。

(要求出力) = (要求トルク) × (モータの回転数)

【0070】

S 2 0 4 では、S 2 0 3 で算出された要求出力とモータ 1 6 の回転数に基づいて、必要な電力がモータ 1 6 に供給されるように、インバータ 1 5 に印加されるべき電圧であるモータ必要電圧 (V m o t) が算出される。具体的には、モータ 1 6 の回転数 (r p m) と上記要求出力 (P) で形成される関数 F と、モータ必要電圧とが関連付けられているモータ必要電圧マップを E C U 2 0 が有しており、モータの回転数と要求出力とに従ってこのマップにアクセスすることで、モータ必要電圧が算出される。モータ必要電圧マップは、実験等によって予め決定され得るもので、その一例としては、モータ 1 6 の回転数が高くなるに従いその逆起電圧が高くなるため要求電圧値は高くなるべきであり、要求出力が高くなるとその出力をより少ない電流で達成するために要求電圧値は高くなるべきであるので、これらの点が関数 F とモータ必要電圧との相関に反映されている。S 2 0 4 の処理が終了すると、S 2 0 5 へ進む。

【0071】

S 2 0 5 では、アクセルペダルセンサ 2 1 によって検出されたアクセルペダルの開度に従って発電が行われている燃料電池 1 1 の出力電圧 (V f c) が検出される。この検出は、図示されない電圧センサを介して行われる。S 2 0 5 の処理が終了すると、S 2 0 6 へ進む。S 2 0 6 では、S 2 0 4 で算出されたモータ必要電圧を、S 2 0 5 で検出された燃料電池 1 1 の出力電圧で除して暫定昇圧比 R t (= V m o t / V f c) が算出される。S 2 0 6 の処理が終了すると、S 2 0 7 へ進む。

【0072】

S 2 0 7 では、F C 昇圧コンバータ 1 2 を停止させることが可能か否かが判定される。即ち、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域が、上記領域 R C 1 もしくは R C 2 の何れかに属するか否かが判定される。具体的には、S 2 0 6 で算出された暫定昇圧比が 1 未満で、且つ燃料電池 1 1 の出力電圧が V f c m a x と V f c b の間であるときは、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域は R C 1 であり、また燃料電池 1 1 の出力電圧が V f c b 以下であって且つ該 F C 昇圧コンバータ 1 2 の出口側電圧が V f c b と同値の電圧以下であるときは、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域は R C 2 であると判定される。尚、V f c b、V f c m a x の値は、実際の燃料電池 1 1 およびバッテリー 1 3 の仕様に従って予め決定しておけばよい。また、F C 昇圧コンバータ 1 2 の出口側の電圧は、図示されない電圧センサを介して検出される。

【0073】

そして、S 2 0 7 で肯定判定される場合は、S 2 0 8 へ進み、F C 昇圧コンバータ 1 2 が停止され、燃料電池 1 1 からの出力電圧は、インバータ 1 5 に直接印加される。これにより、F C 昇圧コンバータ 1 2 でのスイッチング損失を抑制することができる。尚、上述したように、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域が R C 1 に属する場合には、バッテリー 1 3 からインバータ 1 5 への昇圧後の印加も可能だが、該動作領域が R C 2 に属する場合には、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 にて制御可能な最低電圧に燃料電池 1 1 の端子電圧を制御する。一方で、S 2 0 7 で否定判定されると、S 2 0 9 へ進む。

【0074】

S 2 0 9 では、S 2 0 6 で算出された暫定昇圧比 R t が 2 を超えるか否かが判定される。即ち、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域がソフトスイッチ領域 R C 4 にあるか、準ソフトスイッチ領域 R C 3 にあるかが判定される。S 2 0 9 で肯定判定されると、F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域がソフトスイッチ領域 R C 4 にあることを意味するので S 2 1

10

20

30

40

50

0へ進み、FC昇圧コンバータ12の目標の出力電圧がモータ必要電圧 $V_{mot}$ となるように図3で示したソフトスイッチング処理が実行される。尚、スイッチ素子S1のデューティ比は、暫定昇圧比 $R_t$ に従って決定される。一方で、S209で否定判定されると、FC昇圧コンバータ12の動作領域が準ソフトスイッチ領域RC3にあることを意味する。そこでこの場合はS211に進む。

#### 【0075】

S211では、燃料電池システム10においてS206で算出された暫定昇圧比 $R_t$ による電圧昇圧に加えて、更に追加的な電圧昇圧（以下、単に「追加的電圧昇圧」という。）が許容されるか否かが判定される。言い換えると、S209で否定判定されるということは、FC昇圧コンバータ12の動作領域が現時点では準ソフトスイッチ領域RC3にあることを意味するので、その動作領域をソフトスイッチ領域RC4に移行することが可能か否かが判定される。即ち、当該動作領域を準ソフトスイッチ領域RC3からソフトスイッチ領域RC4に移行させるために追加的電圧昇圧を行おうとすると、インバータ15に印加される電圧が必要なモータ必要電圧よりも高くなる。その結果、インバータ15内のスイッチング損失が大きくなるが、FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失の減少分と、インバータ15のスイッチングロスが増加分とを比較したとき、前者の減少分が大きい場合もあり得、その場合この追加的電圧昇圧は、システム効率の観点から非常に有用である。そこで、S211では、この追加的電圧昇圧が許容されるか否かが判定されることになる。S211で肯定判定されると、S212へ進み、追加的電圧昇圧のための追加昇圧比 $R_a$ が決定される。この追加昇圧比 $R_a$ は、FC昇圧コンバータ12による最終的な昇圧比（ $R_t \times R_a$ による昇圧比）が、直線LR2で決められる昇圧比（例えば、昇圧比2）を超えるようにするために必要な追加的な昇圧比である。そして、S212の処理後、S213へ進み、FC昇圧コンバータ12の目標の出力電圧が燃料電池11の出力電圧 $V_{fc}$ に昇圧比 $R_t$ と追加昇圧比 $R_a$ を掛け合わせて算出される電圧となるように図3で示したソフトスイッチング処理が実行される。尚、スイッチ素子S1のデューティ比は、暫定昇圧比 $R_t$ と追加昇圧比 $R_a$ の積に従って決定される。

10

20

#### 【0076】

このように、S209で否定判定された時点では、本来的にはFC昇圧コンバータ12の動作領域は準ソフトスイッチ領域RC3であり、その状態でソフトスイッチング処理を行っても上述したように、スイッチング損失を十分に抑制することが困難である。この場合には、FC昇圧コンバータ12による昇圧比に上記追加昇圧比 $R_a$ を考慮することで、本来的にモータ16の駆動に要する電圧よりも更に電圧を上げてFC昇圧コンバータ12の動作領域をソフトスイッチ領域RC4とする。その結果、スイッチング損失を効果的に抑制することが可能となる。

30

#### 【0077】

一方で、S211で否定判定されると、S214へ進み、FC昇圧コンバータ12の動作領域がRC3の状態、上記ソフトスイッチング処理が行われる。燃料電池11が上記追加的電圧昇圧が許容されない状態にあるとき、即ち上述のように電圧を追加的に昇圧させることでインバータ15におけるスイッチング損失が顕著になる状態では、S212及びS213の処理は行われない。

40

#### 【0078】

この図11に示すFC昇圧コンバータ制御によれば、モータ16の駆動を確保することを前提に、FC昇圧コンバータ12の昇圧動作を可能な限り停止することができ、以てスイッチング損失を抑えることができる。また、FC昇圧コンバータ12を昇圧動作させる場合であっても、その動作領域を可能な限りソフトスイッチ領域RC4とした上でソフトスイッチング処理が行われるため、FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失を可及的に抑制することが可能となる。

#### 【0079】

<変形例>

上記実施例で説明したように、図11に示すFC昇圧コンバータ制御における処理S2

50

05では、アクセルペダルセンサ21によって検出されたアクセルペダルの開度に従って発電が行われている燃料電池11の出力電圧が検出される。本変形例では、燃料電池11の出力電圧の検出について、該燃料電池11の出力(以下、FC出力という)に基づいて、燃料電池11の出力電圧を算出することとする。ここで、FC出力は、以下の式(1)に従って算出される。

$$(FC出力) = (要求出力) + (補機要求出力) + (バッテリー充電(放電)出力) \cdots (1)$$

【0080】

補機要求出力は、水素タンク17やコンプレッサ18等の補機に要求されている出力であり、バッテリー充電出力は、充電時におけるバッテリー13に要求されている出力であり、バッテリー放電出力は放電時におけるバッテリー13の出力である。バッテリー13の残蓄電量がSOC閾値未満であれば、バッテリー充電出力を上記式(1)に算入し、FC出力を算出する。バッテリー13の残蓄電量がSOC閾値以上であれば、バッテリー放電出力を上記(1)にマイナス分として算入し、FC出力を算出する。そして、上記式(1)で算出したFC出力に基づいて、燃料電池11の出力電圧が算出される。具体的には、FC出力と燃料電池11の出力電流とが関連付けられているIP特性MAP及び燃料電池11の出力電流と燃料電池11の出力電圧とが関連付けられているIV特性マップをECU20が有しており、FC出力に従ってこれらのマップにアクセスし、燃料電池11の出力電圧が算出される。本変形例によれば、補機に要求されている出力やバッテリー13の残蓄電量を加味して、FC出力を算出することにより、補機に要求されている出力やバッテリー13の残蓄電量を考慮して、燃料電池11の出力電圧を算出することができる。

【0081】

また、上記式(1)を以下に示す式(2)のように変形してもよい。

$$(FC出力) = (要求出力) + (補機要求出力) + (バッテリー充電(放電)出力) + (FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失) + (バッテリー昇圧コンバータ14のスイッチング損失) \cdots (2)$$

このように変形することにより、FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失やバッテリー昇圧コンバータ14のスイッチング損失を更に加味して、FC出力を算出することにより、FC昇圧コンバータ12のスイッチングの損失分やバッテリー昇圧コンバータ14のスイッチングの損失分を考慮して、燃料電池11の出力電圧を算出することができる。

【0082】

FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失は、FC昇圧コンバータ12の出入口に、電流センサ及び電圧センサを設け、FC昇圧コンバータ12の出入口側の電流及び電圧を測定することにより算出する。また、バッテリー昇圧コンバータ14のスイッチング損失は、バッテリー昇圧コンバータ14の出入口に、電流センサ及び電圧センサを設け、バッテリー昇圧コンバータ14の出入口側の電流及び電圧を測定することにより算出する。ここで、FC昇圧コンバータ12及びバッテリー昇圧コンバータ14がともに昇圧動作を行っている場合には、FC昇圧コンバータ12のスイッチング損失及びバッテリー昇圧コンバータ14のスイッチング損失を加味してFC出力を算出する。一方、バッテリー昇圧コンバータ14のみが昇圧動作を行っている場合には、バッテリー昇圧コンバータ14のスイッチング損失のみを加味してFC出力を算出する。

【0083】

また、モータ16を駆動するためのインバータ15への電圧印加について、該モータ16の駆動効率を考慮するのが好ましい。例えば、上記実施例で説明したように、燃料電池11からモータ16への電力供給時に、FC昇圧コンバータ12を停止させない場合、インバータ15に印加される電圧をFC昇圧コンバータ12によって昇圧させる。本変形例では、インバータ15に印加される電圧を、要求トルクとモータ16の回転数とに基づいて、インバータ15、モータ16を含む負荷の効率特性とインバータ15に印加される電圧とを関連付けたマップから決定する。そして、FC昇圧コンバータ12の昇圧動作により、燃料電池11の出力電圧を上記決定した電圧に昇圧させ、インバータ15に印加する

。例えば、インバータ 15 の効率特性はインバータ 15 に印加される電圧に対するインバータ 15 の変換効率であり、モータ 16 の効率特性はモータ 16 に印加される電圧に対するモータ 16 の駆動効率である。

【0084】

本変形例では、負荷の効率特性を決定し、要求トルクとモータ 16 の回転数との関係から、図 12 A、図 12 B 及び図 12 C に示すような負荷の効率特性の領域を画定する。図 12 A、図 12 B 及び図 12 C は、要求トルクを縦軸とし、モータ 16 の回転数を横軸として、負荷の効率特性の領域を効率の高低により段階的に区分して表示したマップである。図 12 A は、インバータ 15 に印加する電圧が高である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。図 12 B は、インバータ 15 に印加する電圧が中である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。図 12 C は、インバータ 15 に印加する電圧が低である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。図 12 A、図 12 B 及び図 12 C における点 A は、要求トルク T1 とモータ 16 の回転数 R1 とに基づいて決定されたものであり、点 B は、要求トルク T2 とモータ 16 の回転数 R2 とに基づいて決定されたものである。

10

【0085】

図 12 C における点 A は、負荷の効率特性が高効率である領域に含まれているが、図 12 A 及び図 12 B における点 A は、負荷の効率特性が高効率である領域に含まれていない。したがって、要求トルク T1 及びモータ 16 の回転数 R1 では、インバータ 15 に印加する電圧が低である場合、負荷の効率特性が高いことがわかる。図 12 B における点 B は、負荷の効率特性が高効率である領域に含まれているが、図 12 A 及び図 12 C における点 B は、負荷の効率特性が高効率である領域に含まれていない。したがって、要求トルク T2 及びモータ 16 の回転数 R2 では、インバータ 15 に印加する電圧が中である場合、負荷の効率特性が高いことがわかる。本変形例では、以上のようなマップを ECU 20 が有しており、インバータ 15 に印加する電圧を負荷の効率特性の観点から決定することによって、最適電圧をインバータ 15 に印加することができる。

20

【実施例 2】

【0086】

本発明に係る燃料電池システムの第二の実施例について、図 13 ~ 15 に基づいて説明する。本実施例に係る燃料電池システムと上述の第一の実施例に係る燃料電池システムとの相違点は、FC 昇圧コンバータ 12 内の補助回路 12 b およびそれに関連する技術である。そこで、本実施例では、当該相違点に着目して説明を行う。

30

【0087】

図 13 は、図 2 と同様に、FC 昇圧コンバータ 12 を中心として、燃料電池システム 10 の電氣的構成を示す図である。ここで、図 13 に示す FC 昇圧コンバータ 12 の補助回路 12 b には、スイッチ素子 S3 とダイオード D6 とで構成されるスイッチング回路が更に設けられている。具体的には、スイッチ素子 S3 の一端がダイオード D2 のアノード端子側に接続され、該スイッチ素子 S3 の他端が燃料電池 11 の低電位側の端子に接続されている。このスイッチ素子 S3 は、先のソフトスイッチング処理におけるモード 2 の動作での、スナバコンデンサ C2 に蓄えられた電荷の放電をサポートするものである。そこで、本実施例においては、スイッチ素子 S3 のスイッチング動作を含めた、新たなソフトスイッチング処理を図 14 及び図 15 に基づいて説明する。

40

【0088】

図 14 は、図 3 と同様に FC 昇圧コンバータ 12 におけるソフトスイッチング処理の流れを示すフローチャートである。図 3 に示すソフトスイッチング処理との違いは、図 14 に示す処理では、S102 と S103 の処理の間、即ちモード 2 とモード 3 の各動作の間に、スイッチ素子 S3 のスイッチング動作による新たな処理 S301 が設定されている点である。そこで、この相違点を重点的に説明し、他の処理については、図 3 と同一の参照番号を付すことでその詳細な説明は省略する。

【0089】

50

ここで、S 1 0 2 の処理によりモード 2 の動作が行われているとき、F C 昇圧コンバータ 1 2 では、スイッチ素子 S 3 はターンオフ状態となっている。また、スイッチ素子 S 3 のスイッチング動作の効果を明確に示すために、F C 昇圧コンバータ 1 2 の出口電圧 V H とその入口電圧 V L の関係を、F C 昇圧コンバータ 1 2 の電気的狀態を表すパラメータである比  $V H / V L$  について、該比が 2 未満であると設定する。この場合、コイル L 2 とスナバコンデンサ C 2 の半波共振によって、該スナバコンデンサ C 2 の電荷は抜けていくが、図 1 0 B に示すようにスナバコンデンサ C 2 の電圧はゼロとはならないことになる。

#### 【 0 0 9 0 】

ここで、本実施例では、上記半波共振によるスナバコンデンサ C 2 の電圧変動が底値となるタイミングで、S 3 0 1 の処理によりスイッチ素子 S 3 をターンオンする。すると、図 1 5 に示すように、スナバコンデンサ C 2 において半波共振によっても抜けきらなかった電荷が、スイッチ素子 S 3 を介して補助回路 1 2 b 内に分散されていくため、スナバコンデンサ C 2 の電圧を更に低下させることができる。その結果、S 3 0 1 後の S 1 0 3 の処理において、スイッチ素子 S 1 をターンオンするとき、該スイッチ素子 S 1 にかかっている電圧を可及的に下げることができ、以てスイッチング損失をより確かに抑制することができる。尚、F C 昇圧コンバータ 1 2 の出口電圧 V H とその入口電圧 V L の関係において、比  $V H / V L$  が所定値を超える場合（本実施例では 2 を超える場合）は、スナバコンデンサ C 2 の電荷はモード 2 の動作により抜けきっているため、S 3 0 1 の処理を必ずしも行う必要はない。

10

#### 【 実施例 3 】

20

#### 【 0 0 9 1 】

本発明に係る燃料電池システムの第三の実施例について、図 1 6 に基づいて説明する。図 1 6 は、燃料電池システム 1 0 が停止した状態からモータ 1 6 に電力を供給するために始動する際の、F C 昇圧コンバータ 1 2 の制御に関するフローチャートである。従って、図 1 6 に示す始動時 F C 昇圧コンバータ制御は、図 1 1 に示す F C 昇圧コンバータ制御の前に E C U 2 0 によって行われる制御であり、また上述までの各実施例で開示された F C 昇圧コンバータ 1 2 に対して適用が可能である。

#### 【 0 0 9 2 】

先ず、S 4 0 1 では、燃料電池 1 1 からモータ 1 6 に電力が供給される前に、F C 昇圧コンバータ 1 2 における昇圧比が 2 に設定される。即ち、燃料電池 1 1 の始動時には、モータ 1 6 の運転状態にかかわらず F C 昇圧コンバータ 1 2 における昇圧比を 2 に設定することで、該 F C 昇圧コンバータ 1 2 の動作領域が、上記ソフトスイッチ領域 R C 4 に設定されることになる。その後、S 4 0 2 で燃料電池 1 1 からモータ 1 6 への電力供給が開始され、S 4 0 3 で F C 昇圧コンバータ 1 2 による昇圧動作のためのソフトスイッチング処理が実行される。

30

#### 【 0 0 9 3 】

更に、S 4 0 4 では、燃料電池 1 1 の出力電圧がモータ 1 6 を駆動するために必要な所定の出力電圧に到達したか否かが判定される。S 4 0 4 で肯定判定されると、燃料電池 1 1 の始動処理が終了したことを意味し、従ってその後はモータ 1 6 を駆動するための上記 F C 昇圧コンバータ制御が行われることになる。一方で、S 4 0 4 で否定判定されると、燃料電池 1 1 の始動処理は終了していないことを意味し、従って S 4 0 3 以降の処理が再び繰り返される。

40

#### 【 0 0 9 4 】

このように本実施例に係る始動時 F C 昇圧コンバータ制御においては、燃料電池 1 1 の始動処理が完了するまでの間、モータ 1 6 の運転状態にかかわらず F C 昇圧コンバータ 1 2 における昇圧比が 2 に設定される。通常燃料電池 1 1 の始動時には、比  $V H / V L$  の値が所定の閾値（本実施例の場合は、2）を超えていないため、スナバコンデンサ C 2 の電圧をゼロとした状態でスイッチ素子 S 1 をターンオンすることができず、ソフトスイッチング処理によるスイッチング損失の低減効果を楽しむことができない。そこで、特に S 4 0 1 の処理により、燃料電池 1 1 の始動時には、強制的に昇圧比を 2 とし

50

てFC昇圧コンバータ12の動作領域をソフトスイッチ領域RC4とすることで、燃料電池システム10の始動時の効率向上を図ることができる。

【0095】

<その他の実施例>

なお、上記回路は、ソフトスイッチング時、スナバコンデンサC2に蓄えられた回生電力が燃料電池11へ入力されないようにするため、スナバコンデンサC2から燃料電池11へ流れる電気回路上に回生電力を抑える素子を設け、或いは、スナバコンデンサC2に蓄えられた回生電力がバッテリー13へ流れるようにしてもよい。燃料電池11へ流れる回生電力を抑える方法としては、例えば、スナバコンデンサC2から燃料電池11へ流れる電路上に、一端が接地された平滑コンデンサ、ツェナダイオード、又はバリスタを設けることが考えられ、これにより回路の電圧が規定電圧以上になるのを抑制することができる。また、スナバコンデンサC2から燃料電池11へ回生電力が逆流するのを防止するダイオードを設ける方法も有用である。そして、回生電力をバッテリー13へ流れるようにする方法としては、例えば、スイッチ素子S2の下流側を燃料電池11ではなくバッテリー13へ繋ぐ回路構成にする方法が挙げられる。

10

【0096】

また、上記実施形態で説明したように、燃料電池11からFC昇圧コンバータ12を通じてインバータ15、モータ16を含む負荷に電力を供給すると、FC昇圧コンバータ12での電力損失が発生する。この電力損失には、変換される電力の大小への依存度の少ない、鉄損あるいはスイッチング損失が含まれる。そのため、出力電力の小さい低負荷領域で、特に電力効率の低下が目立つことになる。そこで、低負荷領域では、FC昇圧コンバータ12を停止し、燃料電池11の電力を変換せずに負荷に供給し(スルーモード、バイパスモード)、あるいは、バッテリー13からバッテリー昇圧コンバータ14を通じて電力を負荷に供給すべきとの要請が強い。

20

【0097】

ここで、一般的なコンバータにおけるスルーモードおよびバイパスモードについて、図17A~図17Dに基づいて簡単に説明する。尚、各図中の太線矢印は、各コンバータにおける電流の流れを示す。図17Aは、当該コンバータが昇圧型のコンバータ(上述のFC昇圧コンバータ12がこのタイプのコンバータである。)であるときのスルーモードの様子を示す図である。昇圧を行うためのスイッチ素子をターンオフ状態とすることで、一次側の電圧をそのまま二次側に印加することができる。図17Bは、当該コンバータが昇圧型のコンバータであって、昇圧のためのコイルとダイオードの直列体に対して並列にバイパス用のダイオードが接続されているコンバータでのバイパスモードの様子を示す図である。昇圧を行うためのスイッチ素子をターンオフ状態とすることで、一次側の電圧をバイパスさせて二次側に印加することができる。図17Cは、当該コンバータがハーフブリッジ型のコンバータであるときのスルーモードの様子を示す図である。昇圧を行うための二つのスイッチ素子のうち、図中上側をターンオン状態、下側をターンオフ状態とすることで、一次側の電圧をそのまま二次側に印加することができる。図17Dは、当該コンバータがフルブリッジ型のコンバータであるときのスルーモードの様子を示す図である。昇圧を行うための四つのスイッチ素子のうち、図中上側の二つをターンオン状態、下側の二つをターンオフ状態とすることで、一次側の電圧をそのまま二次側に印加することができる。尚、図17B~図17Dに示す構成は上述のFC昇圧コンバータ12のコンバータとは異なるが、仮にFC昇圧コンバータ12がこれらの構成を採用する場合、各図に示すようにスイッチ素子を制御することで、上記スルーモードおよびバイパスモードが実現される。

30

40

【0098】

一方、燃料電池11は、耐久性向上のため、触媒のシタリング現象を回避することが必要とされる。シタリング現象は、燃料電池11の電極上のPt触媒が凝集する現象であり、Pt触媒の表面での水(およびプロトンに対する)に対する酸化還元反応により誘発されるとされている。さらに、そのような酸化還元反応は、燃料電池11の端子電圧が

50

開放電圧（OCV）に近い、比較的高電位で引き起こされることが知られている。

【0099】

ところで、燃料電池11が低負荷になると、燃料電池11のIV特性にしたがい、燃料電池11の端子電圧が開放電圧（OCV）に近づいていく。しかしながら、上述のように、FC昇圧コンバータ12を停止すると、燃料電池11の端子電圧を制御することができず、上記反応に起因する触媒の劣化を回避することが困難となる。

【0100】

そこで、FC昇圧コンバータ12を停止した場合には、FC昇圧コンバータ12と並列に設けられているバッテリー昇圧コンバータ14にてFC昇圧コンバータ12の出力側の電圧を制御することによって、燃料電池11の端子電圧を制御すればよい。すなわち、ECU20にて、燃料電池11の端子電圧を監視し、その端子電圧がシンタリングを回避するための基準値未満になるように、バッテリー昇圧コンバータ14の出力電圧を制御すればよい。この基準値は、例えば、実験値、経験値として設定すればよい。

10

【0101】

また、バッテリー13の端子電圧が高く、かつ、インバータ15の要求電圧が低く、バッテリー昇圧コンバータ14の昇圧比を1以上にできない場合には、逆にバッテリー昇圧コンバータ14を停止しなければならない。そのような場合、シンタリング現象を回避するため、FC昇圧コンバータ12は停止せず、インバータ15の要求電圧を基準にしてFC昇圧コンバータ12によって、燃料電池11の端子電圧を制御すればよい。

【0102】

以上の場合に、いずれにしても、燃料電池11の端子電圧を上記基準値よりも下方に制御するためには、燃料電池11から電流を引き出し、電力を消費する必要がある。この場合の電力は、通常、インバータ15、モータ16を含む負荷で消費される。しかしながら、余剰電力については、バッテリー13のSOCが低く、バッテリー13に電力を蓄積可能な状態では、バッテリー13に蓄積し、バッテリー13に蓄積できない電力は補機（エアコン、照明、ポンプ等）で消費すればよい。

20

【0103】

また、本燃料電池システム10は、車両1の衝突時に、燃料電池11の出力を遮断するシステムともなっている。具体的には、燃料電池システム10のFC昇圧コンバータ12の下流側には、インバータ15及びバッテリー昇圧コンバータ14との電気的な接続をON/OFFするためのリレー回路が設けられている。なお、既に説明した構成から明らかなように、燃料電池システム10は、FC昇圧コンバータ12の下流側に流れる電流量が比較的に少ないものとなっている。このため、燃料電池システム10は、上記リレー回路として、既存の同種のシステムでは燃料電池の直後に設けられているリレー回路よりも、小型のもの（低電流用のもの）を採用したシステムとなっている。

30

【0104】

そして、燃料電池システム10のECU20は、車両1に設けられている衝突検出センサの出力に基づき、衝突の有無を常時監視し、衝突したことを検出した場合には、リレー回路を制御することにより、FC昇圧コンバータ12とインバータ15及びバッテリー昇圧コンバータ14との間の電気的な接続を切断するユニットとなっている。

40

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図1】本発明の実施例に係る燃料電池システムの概略構成を示す図である。

【図2】図1に示す燃料電池システムの電気回路構成を示す図であって、特にFC昇圧コンバータの電気回路構成を示す第一の図である。

【図3】図2に示すFC昇圧コンバータで行われる電圧昇圧のためのソフトスイッチング処理の流れを示すフローチャートである。

【図4A】図3に示すソフトスイッチング処理のモード1の動作が行われるときの、FC昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図4B】図3に示すソフトスイッチング処理のモード2の動作が行われるときの、FC

50

昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図 4 C】図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 3 の動作が行われるときの、F C 昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図 4 D】図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 4 の動作が行われるときの、F C 昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図 4 E】図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 5 の動作が行われるときの、F C 昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図 4 F】図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 6 の動作が行われるときの、F C 昇圧コンバータにおける電流の流れを概略的に示す図である。

【図 5】従来の燃料電池システムで設定される、燃料電池の出力電圧とモータ駆動のためのモータ必要電圧との相関関係を示す図である。

【図 6】本発明の実施例に係る燃料電池システムで設定される、燃料電池の出力電圧とモータ駆動のためのモータ必要電圧との相関関係を示す図である。

【図 7 A】本発明の実施例に係る燃料電池システムで設定される、燃料電池の I V 特性とバッテリーの I V 特性との相関関係を示す第一の図である。

【図 7 B】本発明の実施例に係る燃料電池システムで設定される、燃料電池の I V 特性とバッテリーの I V 特性との相関関係を示す第二の図である。

【図 8 A】本発明の実施例に係る燃料電池において、F C 昇圧コンバータの入口電圧を横軸とし、その出口電圧を縦軸として形成される動作領域に対して、該 F C 昇圧コンバータで実行される処理を関連付けて表示した第一のマップである。

【図 8 B】本発明の実施例に係る燃料電池において、F C 昇圧コンバータの入口電圧を横軸とし、その出口電圧を縦軸として形成される動作領域に対して、該 F C 昇圧コンバータで実行される処理を関連付けて表示した第二のマップである。

【図 9】図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 2 の動作が行われるときの、説明の便宜のため、F C 昇圧コンバータ内で実際に稼動している部分のみを抜粋して記載した図である。

【図 10 A】本発明の実施例に係る F C 昇圧コンバータの出口電圧と該入口電圧との比  $V_H / V_L$  と、図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 2 の動作が行われるときの放電時のスナバコンデンサに残る電圧との相関関係を示す第一の図である。

【図 10 B】本発明の実施例に係る F C 昇圧コンバータの出口電圧と該入口電圧との比  $V_H / V_L$  と、図 3 に示すソフトスイッチング処理のモード 2 の動作が行われるときの放電時のスナバコンデンサに残る電圧との相関関係を示す第二の図である。

【図 11】本発明の実施例に係る燃料電池システムの効率化を促進するために、F C 昇圧コンバータで行われる制御の流れを示すフローチャートである。

【図 12 A】本発明の実施例に係る燃料電池システムにおいて、インバータに印加する電圧が高である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。

【図 12 B】本発明の実施例に係る燃料電池システムにおいて、インバータに印加する電圧が中である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。

【図 12 C】本発明の実施例に係る燃料電池システムにおいて、インバータに印加する電圧が低である場合における負荷の効率特性の領域を表示したマップである。

【図 13】図 1 に示す燃料電池システムの電気回路構成を示す図であって、特に F C 昇圧コンバータの電気回路構成を示す第二の図である。

【図 14】図 13 に示す F C 昇圧コンバータで行われる電圧昇圧のためのソフトスイッチング処理の流れを示すフローチャートである。

【図 15】本発明の実施例に係る F C 昇圧コンバータの出口電圧と該入口電圧との比  $V_H / V_L$  と、図 14 に示すソフトスイッチング処理のモード 2 の動作が行われるときの放電時のスナバコンデンサに残る電圧との相関関係を示す図である。

【図 16】本発明の実施例に係る燃料電池システムが停止した状態からモータに電力を供給するために始動する際の、F C 昇圧コンバータの制御に関するフローチャートである。

【図 17 A】コンバータにおけるスルーモードを模式的に示す第一の図である。

10

20

30

40

50

【図17B】コンバータにおけるバイパスモードを模式的に示す図である。  
 【図17C】コンバータにおけるスルーモードを模式的に示す第二の図である。  
 【図17D】コンバータにおけるスルーモードを模式的に示す第三の図である。

【符号の説明】

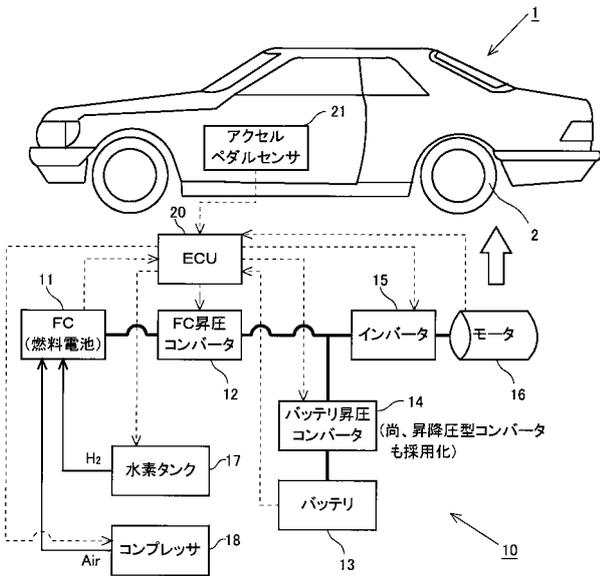
【0106】

- 1・・・車両
- 10・・・燃料電池システム
- 11・・・燃料電池（FC）
- 12・・・FC昇圧コンバータ
- 12a・・・メイン昇圧回路
- 12b・・・補助回路
- 13・・・バッテリー
- 14・・・バッテリー昇圧コンバータ
- 15・・・インバータ
- 16・・・モータ
- 20・・・ECU
- 21・・・アクセルペダルセンサ
- S1、S2、S3・・・スイッチ素子
- C1、C3・・・平滑コンデンサ
- C2・・・スナバコンデンサ
- L1、L2、L3・・・コイル
- D1、D2、D3、D4、D5・・・ダイオード

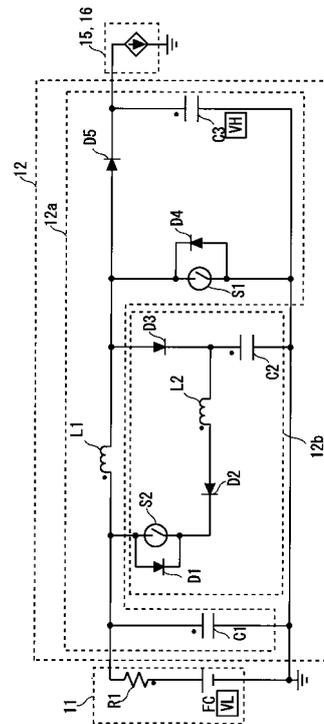
10

20

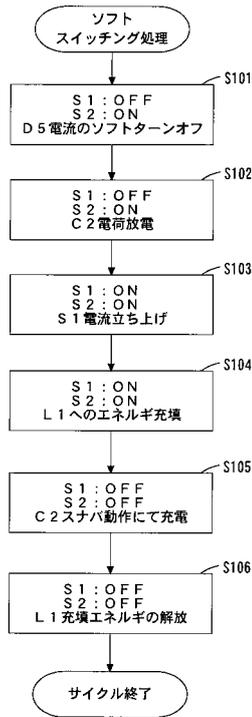
【図1】



【図2】



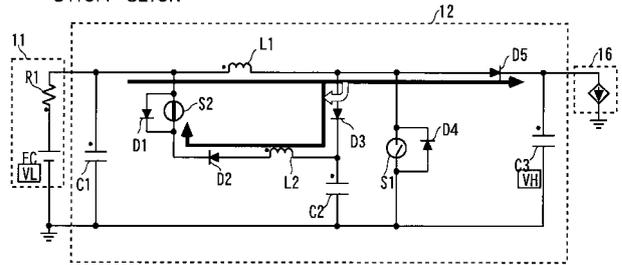
【図3】



【図4A】

<モード1>

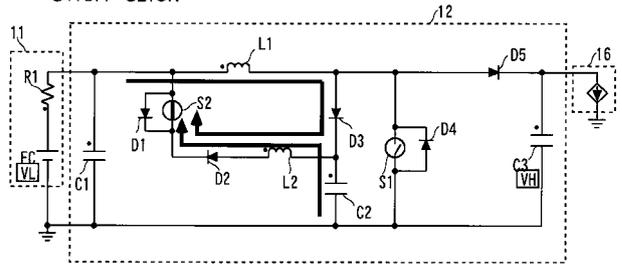
S1:OFF S2:ON



【図4B】

<モード2>

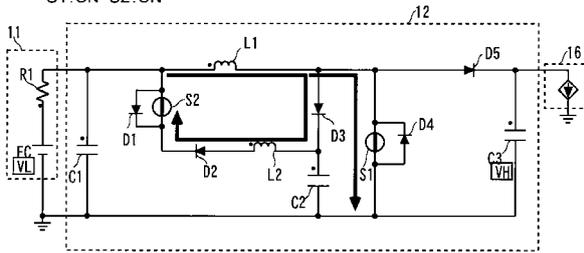
S1:OFF S2:ON



【図4C】

<モード3>

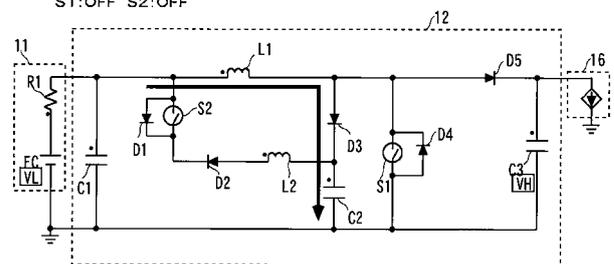
S1:ON S2:ON



【図4E】

<モード5>

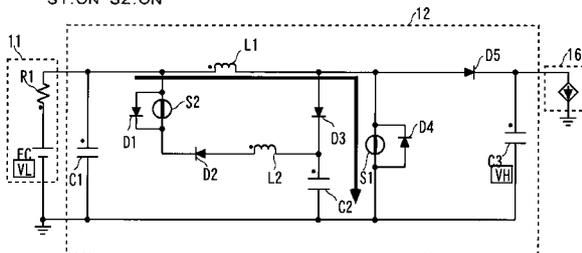
S1:OFF S2:OFF



【図4D】

<モード4>

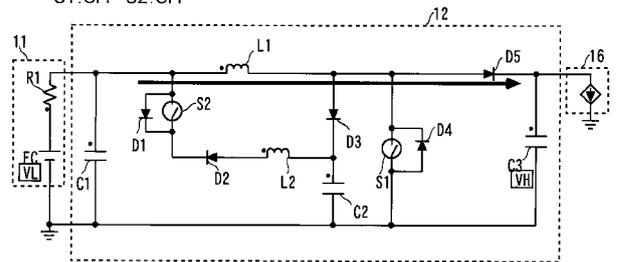
S1:ON S2:ON



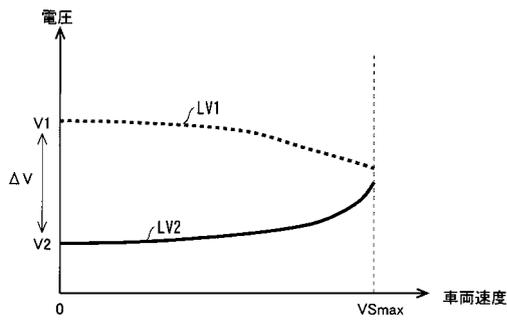
【図4F】

<モード6>

S1:OFF S2:OFF

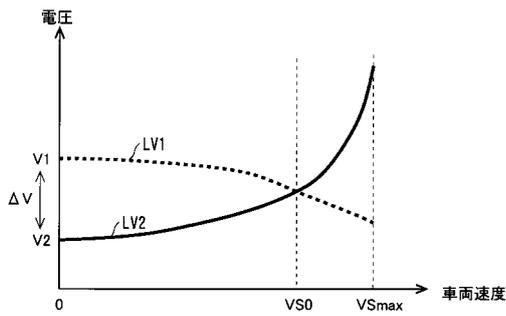


【図5】



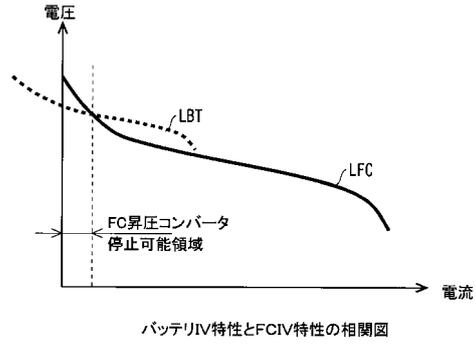
モータ必要電圧とFC電圧の相関図 (FC昇圧コンバータ無し)

【図6】



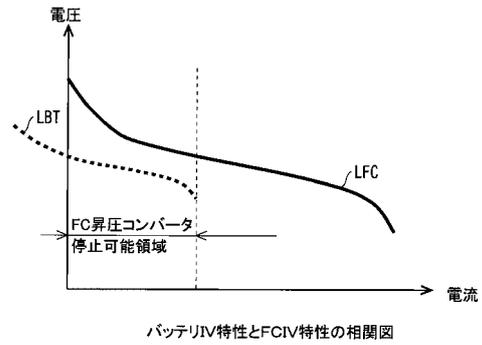
モータ必要電圧とFC電圧の相関図 (FC昇圧コンバータ有り)

【図7A】



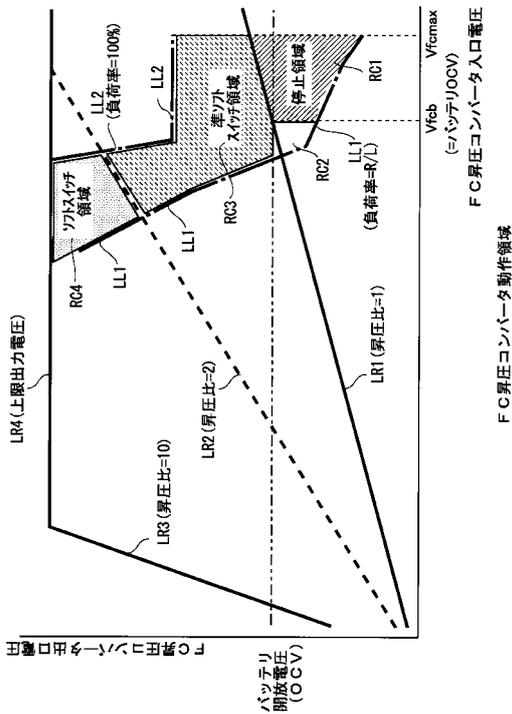
バッテリーIV特性とFCIV特性の相関図

【図7B】

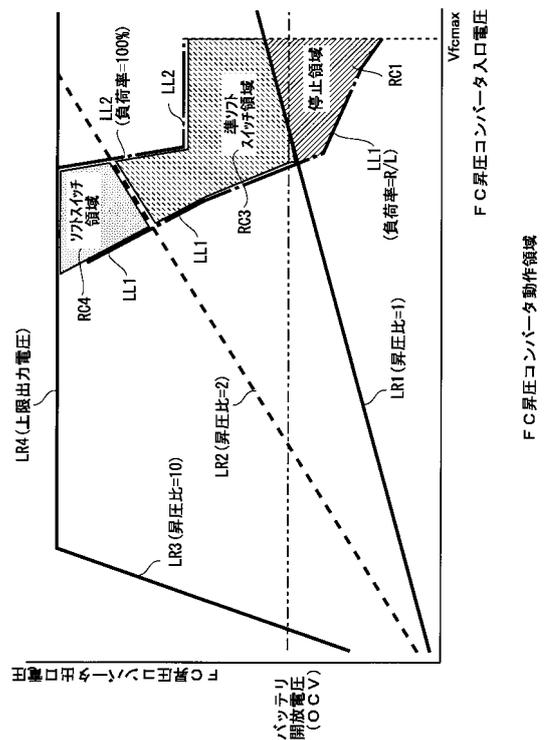


バッテリーIV特性とFCIV特性の相関図

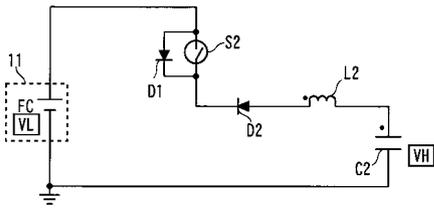
【図8A】



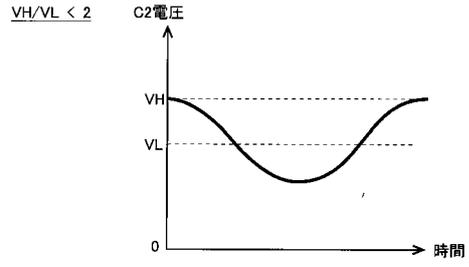
【図8B】



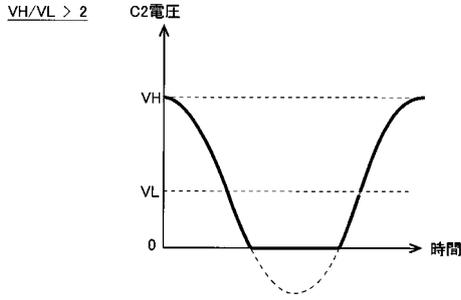
【図9】



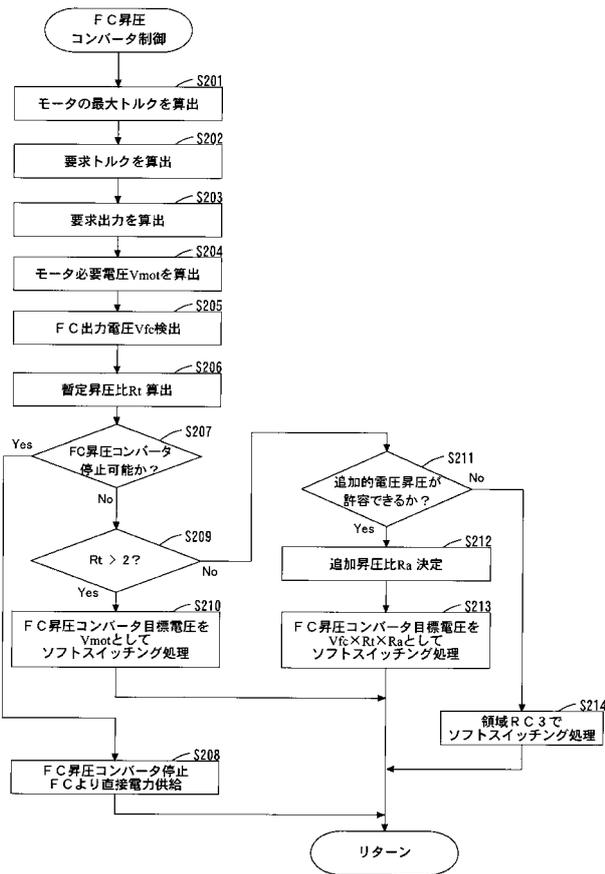
【図10B】



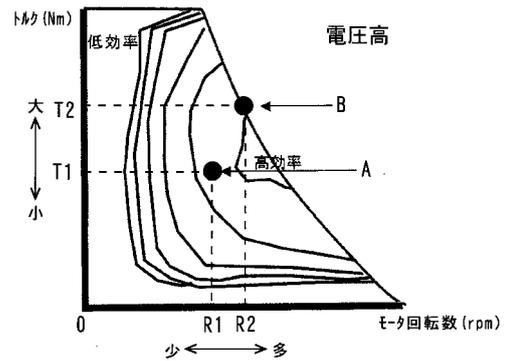
【図10A】



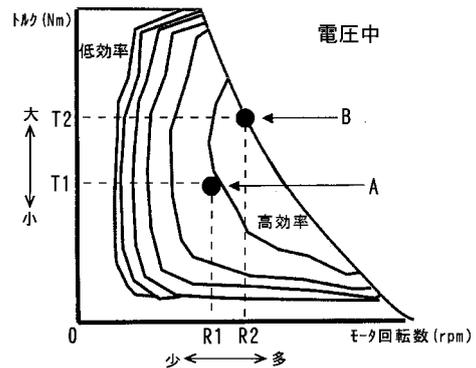
【図11】



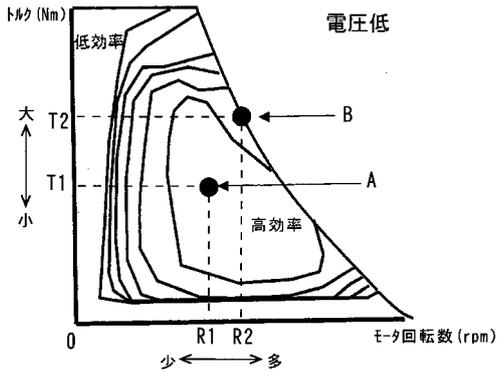
【図12A】



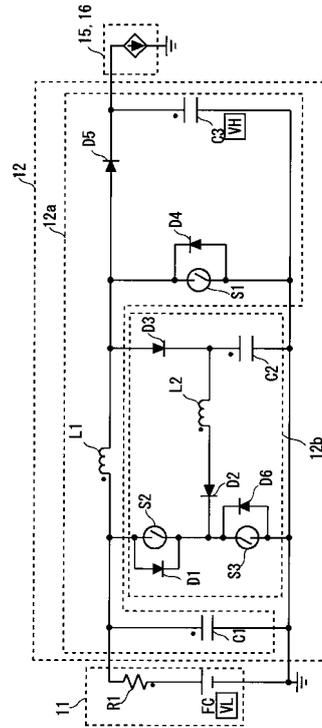
【図12B】



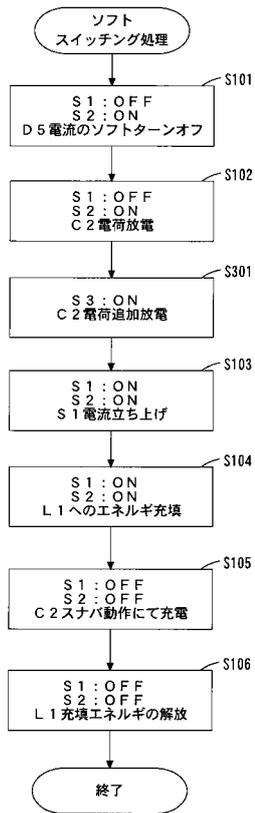
【図 1 2 C】



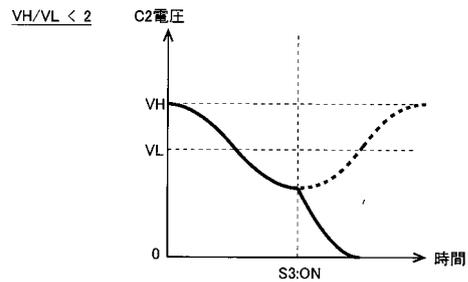
【図 1 3】



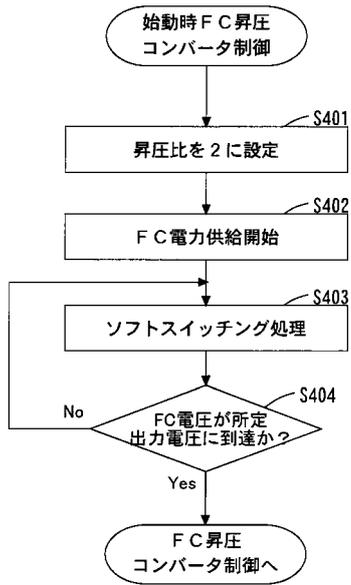
【図 1 4】



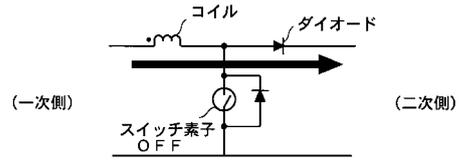
【図 1 5】



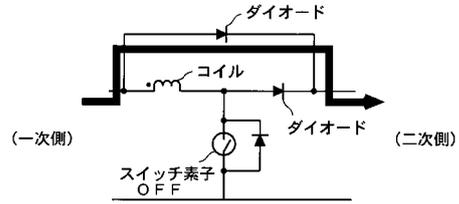
【図 16】



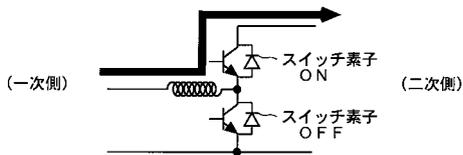
【図 17 A】



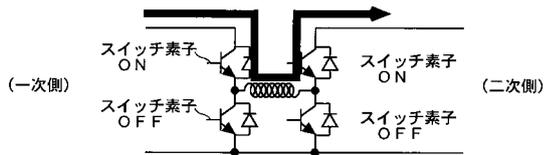
【図 17 B】



【図 17 C】



【図 17 D】



---

フロントページの続き

(72)発明者 真鍋 晃太

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 今西 啓之

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 北村 伸之

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) 5H027 AA02 BA13 DD00 DD03 KK52 KK54 MM26 MM27

5H730 AA14 AS04 AS08 AS13 BB02 BB14 BB74 DD41 EE07 EE24

FG05