

(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2009-165244
(P2009-165244A)

(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)		
HO2J	7/00	(2006.01)	HO2J	7/00	P	5G503
HO1M	8/04	(2006.01)	HO1M	8/04	P	5H027
HO1M	8/00	(2006.01)	HO1M	8/00	Z	5H030
HO1M	10/48	(2006.01)	HO1M	10/48	P	5H115
HO1M	10/44	(2006.01)	HO1M	10/44	P	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 37 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-341286 (P2007-341286)
(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

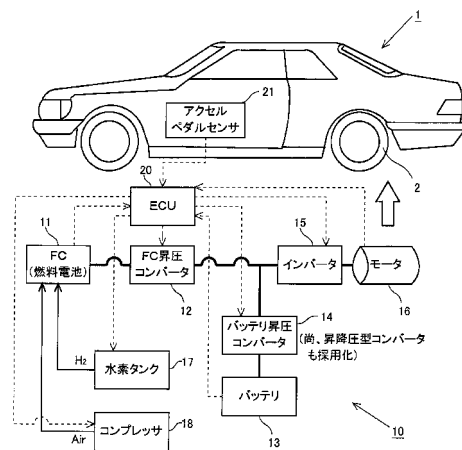
(54) 【発明の名称】 電力供給システム

(57) 【要約】

【課題】 燃料電池システムからDC - DCコンバータを介して電力を供給する場合に、効率向上と耐久性の向上を図る。

【解決手段】 駆動装置16の駆動に伴う負荷回路15への要求電圧を算出する手段と、燃料電池スタック11の端子電圧が負荷回路15の要求電圧を超える場合に、第1の電圧変換器12を停止させて燃料電池スタックの出力電力を負荷回路に伝達する手段と、第2の電圧変換器14を通じて負荷回路の入力電圧を制御することによって燃料電池スタック11の端子電圧を所定の基準電圧以下に制限する第1の電圧制限手段と、を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動体に搭載され、負荷回路を通じて前記移動体の駆動装置に電力を供給する電力供給システムであって、

前記負荷回路に電力を供給する燃料電池スタックと、

電力を蓄積するとともに、前記負荷回路に電力を供給可能な蓄電装置と、

前記燃料電池スタックと前記負荷回路との間に設けられ前記燃料電池スタックの端子電圧を前記負荷回路の入力電圧に変換する第 1 の電圧変換器と、

前記蓄電装置の端子電圧を前記負荷回路の入力電圧に変換する第 2 の電圧変換器と、制御部と、を備え、

10

前記制御部は、前記駆動装置の駆動に伴う前記負荷回路の要求電圧を算出する手段と、

前記燃料電池スタックの端子電圧が前記負荷回路の要求電圧を超える場合に、前記第 1 の電圧変換器を停止させて前記燃料電池スタックの出力電力を前記負荷回路に伝達する手段と、

前記第 2 の電圧変換器を通じて前記負荷回路の入力電圧を制御することによって前記燃料電池スタックの端子電圧を所定の基準電圧以下に制限する第 1 の電圧制限手段と、を有する電力供給システム。

【請求項 2】

前記第 2 の電圧変換器は昇圧回路であり、

前記制御部は、

20

前記第 2 の電圧変換器の蓄電装置側の電圧に対して前記負荷回路側の電圧が昇圧された関係がないときに前記第 2 の電圧変換器を停止する手段と、

前記第 2 の電圧変換器が停止したときに第 1 の電圧変換器を動作させて、前記燃料電池スタックの端子電圧を前記基準電圧以下に制限する第 2 の電圧制限手段と、を有する請求項 1 に記載の電力供給システム。

【請求項 3】

前記蓄電装置の充電状態を検知する充電センサをさらに備え、

前記制御部は、

蓄電装置の充電状態とその充電状態で蓄電装置において放電すべき電力との関係を記録した放電要求マップを保持する手段と、

30

前記負荷に供給すべき要求電力を算出する手段と、

前記充電状態が許容レベルを超えたときに、前記要求電力から前記蓄電装置において放電すべき電力を除外した燃料電池スタック要求電力を算出する手段と、

前記燃料電池スタック要求電力を前記燃料電池スタックから出力させるために前記燃料電池スタックの端子電圧の目標値を設定する手段と、

前記端子電圧の目標値が前記基準電圧を越える場合に、前記目標値を前記基準電圧以下の値に再設定する手段と、

前記燃料電池スタックの端子電圧が前記目標値となるように前記第 1 の電圧変換器を制御する手段とをさらに備える請求項 1 または 2 に記載の電力供給システム。

【請求項 4】

40

前記制御部は、

前記移動体の移動を指令する操作レバーの位置を検知する手段と、

前記操作レバーの位置が停止を指令している場合に、第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器を停止する手段と、

第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器が停止し、かつ、前記燃料電池スタックの端子電圧が前記基準電圧から所定の範囲に近づいたときに、補機を通じて前記燃料電池スタックの電力を消費する手段と、をさらに備える請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の電力供給システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、駆動装置に電力を供給する電力供給システム、例えば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装置に供給するシステムに関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

近年、運転効率および環境性に優れた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る。そこで、燃料電池とバッテリー等の蓄電装置とを並列に接続して電源を構成する技術が開示されており、ここでは、燃料電池の出力電圧をDC - DCコンバータで変換することにより、バッテリーと燃料電池の併用を図っている（例えば、特許文献1～4を参照）。

10

【 0 0 0 3 】

一方、燃料電池は、耐久性向上のため、特に触媒のシンタリング現象を回避することが必要とされる（例えば、下記特許文献1参照）。シンタリング現象を抑制するには、燃料電池出力電圧を開放端子電圧（OCVともいう）に近い高電圧状態に近づけない制御が有効とされる。そして、DC - DCコンバータは、そのような燃料電池の出力電圧制御手段としても機能する（例えば、下記特許文献2参照）。

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 1 8 4 2 4 3 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 7 - 5 0 3 8 号 公 報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 5 - 3 4 8 5 3 0 号 公 報

【 特許文献 4 】 特開 2 0 0 7 - 2 0 9 1 6 1 号 公 報

20

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、DC - DCコンバータを介して駆動装置に電力を供給する場合、リアクトルのヒステリシスに伴う鉄損、半導体素子のスイッチング動作に伴うスイッチング損失等（以下、これらを含めてスイッチング損失という）の損失が問題となる。このようなスイッチング損失は、損失が電流に比例する銅損とは異なり、供給される電力、電圧、電流等への依存が少ない。そのため、特に低負荷領域では、スイッチング損失が目立つことになる。そのような低負荷領域でのスイッチング損失を低減するため、可能な限りDC - DCコンバータの動作を停止させることが望ましい。

30

【 0 0 0 5 】

その場合、上記シンタリングの原因となり、燃料電池の耐久性に影響を与える高電位状態を回避した制御との両立をとることが重要となる。本発明の課題は、燃料電池システムからDC - DCコンバータを介して駆動装置に電力を供給する場合に、効率向上と耐久性の向上という2つの要求に配慮した電力供給システムを提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明は前記課題を解決するために、以下の手段を採用した。すなわち、本発明は、移動体に搭載され、負荷回路を通じて前記移動体の駆動装置に電力を供給する電力供給システムである。本電力供給システムは、負荷回路に電力を供給する燃料電池スタックと、電力を蓄積するとともに、負荷回路に電力を供給可能な蓄電装置と、燃料電池スタックと負荷回路との間に設けられ燃料電池スタックの端子電圧を負荷回路の入力電圧に変換する第1の電圧変換器と、蓄電装置の端子電圧を前記負荷回路の入力電圧に変換する第2の電圧変換器と、制御部とを備える。

40

【 0 0 0 7 】

そして、制御部は、駆動装置の駆動に伴う負荷回路の要求電圧を算出する手段と、燃料電池スタックの端子電圧が負荷回路の要求電圧を超える場合に、第1の電圧変換器を停止させて燃料電池スタックの出力電力を負荷回路に伝達する手段と、第2の電圧変換器を通じて負荷回路の入力電圧を制御することによって燃料電池スタックの端子電圧を所定の基

50

準電圧以下に制限する第 1 の電圧制限手段と、を有する。

【 0 0 0 8 】

本電力供給システムでは、燃料電池スタックの端子電圧が負荷回路の要求電圧を超える場合には、第 1 の電圧変換器を停止させる。したがって、不必要に、第 1 の電圧変換器を動作させず、特に、負荷回路の要求電圧が低いときに、電力供給の効率を向上できる。一方、第 2 の電圧変換器によって燃料電池スタックの端子電圧を制御し、基準電圧以下に制限することができる。

【 0 0 0 9 】

また、第 2 の電圧変換器が昇圧回路である場合、制御部は、第 2 の電圧変換器の蓄電装置側の電圧に対して負荷回路側の電圧が昇圧された関係がないときに第 2 の電圧変換器を停止する手段と、第 2 の電圧変換器が停止したときに第 1 の電圧変換器を動作させて、燃料電池スタックの端子電圧を基準電圧以下に制限する第 2 の電圧制限手段と、を有する。

10

【 0 0 1 0 】

本電力供給システムによれば、第 2 の電圧変換器が昇圧回路であって、昇圧の条件が充足されないときに、第 1 の電圧変換器を動作させて、燃料電池スタックの端子電圧を制限することができる。

蓄電装置の充電状態を検知する充電センサをさらに備え、制御部は、蓄電装置の充電状態とその充電状態で蓄電装置において放電すべき電力との関係を記録した放電要求マップを保持する手段と、負荷に供給すべき要求電力を算出する手段と、充電状態が許容レベルを超えたときに、要求電力から蓄電装置において放電すべき電力を除外した燃料電池スタック要求電力を算出する手段と、燃料電池スタック要求電力を燃料電池スタックから出力させるために前記燃料電池スタックの端子電圧の目標値を設定する手段と、端子電圧の目標値が基準電圧を越える場合に、目標値を前記基準電圧以下の値に再設定する手段と、燃料電池スタックの端子電圧が目標値となるように前記第 1 の電圧変換器を制御する手段とをさらに備える。

20

【 0 0 1 1 】

本電力供給システムによれば、蓄電装置の充電状態を反映して、燃料電池の分担出力を決定するとともに、燃料電池の端子電圧の目標値が基準電圧を越える場合に、目標値を前記基準電圧未満の値に再設定し、制御する。したがって、燃料電池と蓄電装置の負担割合を蓄電装置の充電状態から決定するとともに、燃料電池の端子電圧の目標値が基準電圧以下となるように制御できる。

30

【 0 0 1 2 】

また、制御部は、移動体の移動を指令する操作レバーの位置を検知する手段と、操作レバーの位置が停止を指令している場合に、第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器を停止する手段と、第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器が停止し、かつ、燃料電池スタックの端子電圧が基準電圧から所定の範囲に近づいたときに、補機を通じて前記燃料電池スタックの電力を消費する手段とをさらに備える。

【 0 0 1 3 】

本電力供給システムによれば、不必要な第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器の動作を抑制するとともに、燃料電池スタックの端子電圧が基準電圧から所定の範囲から遠ざける方向に、補機を通じて制御できる。なお、第 2 の電圧変換器を昇降圧可能な電圧変換器としてもよく、その場合には、第 1 の電圧変換器を停止させたいときに、いつでも停止させることが可能になる。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、燃料電池システムから DC - DC コンバータを介して駆動装置に電力を供給する場合に、効率向上と耐久性の向上という 2 つの要求に対応できる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 5 】

《 第 1 実施形態 》

50

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。

【0016】

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との間には、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。

【0017】

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ECU20に電氣的に伝えられる。また、ECU20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ECU20でモータ16の回転数が検出される。ECU20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。

【0018】

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、ECU20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。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

このように燃料電池システム 10 を F C 昇圧コンバータ 1 2 を含む構成とすることで、燃料電池 1 1 自体の出力電圧（端子間電圧）が低くても、F C 昇圧コンバータ 1 2 の昇圧動作によりモータ 1 6 を駆動することが可能となるので、燃料電池 1 1 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。

【 0 0 2 0 】

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 1 1 がモータ 1 6 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 1 1 とインバータ 1 5 との間に介在する F C 昇圧コンバータ 1 2 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 1 3 とインバータ 1 5 との間のバッテリー昇圧コンバータ 1 4 にも原則的に同様のことが当てはまる。

【 0 0 2 1 】

ここで、図 2 に基づいて、F C 昇圧コンバータ 1 2 の電気回路の特徴について説明する。図 2 は、F C 昇圧コンバータ 1 2 を中心として、燃料電池システム 10 の電気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 1 3 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の記載は省略している。

【 0 0 2 2 】

F C 昇圧コンバータ 1 2 は、D C - D C コンバータとしての昇圧動作を行うための主昇圧回路 1 2 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 1 2 b とで構成されている。主昇圧回路 1 2 a は、スイッチ素子 S 1 とダイオード D 4 で構成されるスイッチング回路のスイッチ動作によって、コイル L 1 に蓄えられたエネルギーをモータ 1 6 側（インバータ 1 5 側）にダイオード D 5 を介して解放することで燃料電池 1 1 の出力電圧を昇圧する。具体的には、コイル L 1 の一端が燃料電池 1 1 の高電位側の端子に接続される。そして、スイッチ素子 S 1 の一端の極が、コイル L 1 の他端に接続されるとともに、該スイッチ素子 S 1 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 D 5 のカソード端子がコイル L 1 の他端に接続され、更に、コンデンサ C 3 が、ダイオード D 5 のアノード端子とスイッチ素子 S 1 の他端との間に接続されている。尚、この主昇圧回路 1 2 a において、コンデンサ C 3 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 1 2 a には、燃料電池 1 1 側に平滑コンデンサ C 1 も設けられ、これにより燃料電池 1 1 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 C 3 にかかる電圧 V H は、F C 昇圧コンバータ 1 2 の出口電圧となる。また、図 2 では、燃料電池 1 1 の電源電圧を V L で示し、これは平滑コンデンサ C 1 にかかる電圧であって、且つ F C 昇圧コンバータ 1 2 の入口電圧となる。

【 0 0 2 3 】

次に、補助回路 1 2 b には、先ずスイッチ素子 S 1 に並列に接続された、ダイオード D 3 と、それに直列に接続されたスナバコンデンサ C 2 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 D 3 のカソード端子がコイル L 1 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 C 2 の一端に接続されている。更に、該スナバコンデンサ C 2 の他端は、燃料電池 1 1 の低電位側の端子に接続されている。更に、補助回路 1 2 b には、誘導素子であるコイル L 2 と、ダイオード D 2 と、スイッチ素子 S 2 及びダイオード D 1 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 L 2 の一端が、第一直列接続体のダイオード D 3 とスナバコンデンサ C 2 との接続部位に接続される。更に、ダイオード D 2 のカソード端子が、コイル L 2 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 S 2 の一端の極に接続される。また、スイッチ素子 S 2 の他端は、コイル L 1 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 L 2、ダイオード D 2、スイッチ素子 S 2 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 L 2 とスイッチ素子 S 2 等によ

10

20

30

40

50

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。

【0024】

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。

10

【0025】

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。

20

【0026】

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11からインバータ15およびモータ16に電力が供給されている状態、即ちスイッチ素子S1、S2がともにターンオフされることで、コイルL1、ダイオードD5を介して電流がインバータ15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。

【0027】

ソフトスイッチング処理において、先ずS101では図4A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S1はターンオフの状態ですwitch素子S2をターンオンする。このようにすると、FC昇圧コンバータ12の出口電圧VHと入口電圧VLの電位差によって、コイルL1及びダイオードD5を介してインバータ15側に流れていた電流が、補助回路12b側に徐々に移行していく。尚、図4A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。

30

【0028】

次に、S102では、S101の状態が所定時間継続すると、ダイオードD5を流れる電流がゼロとなり、代わってスナバコンデンサC2と燃料電池11の電圧VLとの電位差により、スナバコンデンサC2に蓄電されていた電荷が補助回路12b側に流れ込んでいく(図4Bに示すモード2の状態)。このスナバコンデンサC2は、スイッチ素子S1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S1をターンオンするときに該スイッチ素子S1に印加される電圧に影響を与えるスナバコンデンサC2の電荷が、モード2では補助回路12bに流れ込むことで、スナバコンデンサC2にかかる電圧が低下していく。このとき、コイルL2とスナバコンデンサC2の半波共振により、スナバコンデンサC2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S103でのスイッチ素子S1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。

40

【0029】

更に、S103においては、スナバコンデンサC2の電荷が抜け切ったら、スイッチ素子S1が更にターンオンされ、図4C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C2の電圧がゼロとなった状態ではスイッチ素子S1にかかる

50

電圧もゼロとなり、そして、その状態でスイッチ素子S1をターンオンすることにより、スイッチ素子S1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S1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。

【0030】

そして、S104では、S103の状態が継続することで、コイルL1に流れ込んでいく電流量を増加させて、コイルL1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4D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L1に所望のエネルギーが蓄えられると、S105において、スイッチ素子S1及びS2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C2に電荷が充電され、FC昇圧コンバータ12の出口電圧VHと同電圧に至る。この状態が、図4E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C2が電圧VHまで充電されると、S106においてコイルL1に蓄えられたエネルギーがインバータ15側に解放される。この状態が、図4F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S1にかかる電圧はスナバコンデンサC2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S1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。

【0031】

上述のようにS101～S106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12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11の出力電圧を昇圧しインバータ15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16を効率的に駆動することが可能となる。

【0032】

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～VSm_{max})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。

【0033】

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。

【0034】

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VS0が

10

20

30

40

50

、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_{S0}を110 km/hと設定する。そして、この速度V_{S0}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。

【0035】

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_{S0}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。

【0036】

一方で、車両1の車両速度がV_{S0}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。

【0037】

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13からの電力供給も可能である。バッテリ13から電力供給される場合は、バッテリ13からの出力電圧がバッテリ昇圧コンバータ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。

【0038】

そこで、バッテリ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7Aおよび図7Bに基づいて説明する。両図では、ともにバッテリ13のIV特性(図中、点線LBTで示される。)と、燃料電池11のIV特性(図中、実線LFCで示される。)とが示されている。ここで、図7Aで、燃料電池11のIV特性LFCがバッテリ13のIV特性LBT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、バッテリ昇圧コンバータ14が昇圧動作可能となり、以てバッテリ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13のIV特性LBTが、燃料電池11のIV特性LFC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13の出力分配制御が不可能となる。従って、こ

10

20

30

40

50

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。

【0039】

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7Aに示すように、比較的低電流領域で、燃料電池11のIV特性LFCがバッテリー13のIV特性LBT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7Bに示すよう

10

【0040】

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。

20

【0041】

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IV特性と燃料電池11のIV特性を決定し、両IV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8Aおよび図8Bのマップに示すようなFC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、FC昇圧コンバータ12の昇圧動作について、詳細に説明する。

【0042】

図8Aおよび図8Bは、FC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FC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8A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8B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8Aに示すマップについて説明する。ここで、当該マップには、FC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LR1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LR2と、その昇圧比が10であることを意味する直線LR3と、該FC昇圧コンバータ12の最高出力電圧を意味する直線LR4が記載されている。直線LR2については、図9、図10A、10Bに基づいて後述する。また、直線LR3は、FC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、FC昇圧コンバータ12の動作範囲は、直線LR1、LR3、LR4で囲まれる領域であることが分かる。

30

40

【0043】

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FC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LL1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FC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LL2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

50

点鎖線 LL1 と LL2 とで挟まれた領域で示される昇圧動作を、FC 昇圧コンバータ 12 に行わせることになる。

【0044】

図 8 A に示すマップでは、FC 昇圧コンバータ 12 の動作領域を RC1 ~ RC4 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 FC 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 FC 昇圧コンバータ 12 の動作を説明する。まず、昇圧比 1 を示す直線 LR1 以下の領域として、領域 RC1 が画定されている。この領域 RC1 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 FC 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 FC 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、FC 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 LR1 および一点鎖線 LL1 とで囲まれて画定される領域 RC1 においては、FC 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、FC 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 FC 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。

【0045】

次に、領域 RC2 について説明する。この領域は、FC 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 FC 昇圧コンバータ 12 の出口電圧がバッテリー 13 の OCV 以下、即ち V_{fcb} 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。

【0046】

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 V_{fcb} 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。

【0047】

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 7 A、7 B 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。

【0048】

ここで、直線 LR1 より下の領域に関して、図 8 B 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 V_{fcb} による制約を受けることがなくなる。従って、図 8 B 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 8

B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。

【0049】

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。

10

【0050】

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。

【0051】

20

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。

【0052】

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。

30

【0053】

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。

40

【0054】

50

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に区分けできるが、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。

10

【0055】

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。

【0056】

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算出される。S202の処理が終了すると、S203へ進む。

20

(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)

【0057】

S203では、S201とS202での算出結果に基づいて、モータ16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。S203の処理が終了すると、S204へ進む。

(要求出力) = (要求トルク) × (モータの回転数)

【0058】

S204では、S203で算出された要求出力とモータ16の回転数に基づいて、必要な電力がモータ16に供給されるように、インバータ15に印加されるべき電圧であるモータ必要電圧(Vmot)が算出される。具体的には、モータ16の回転数(rpm)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ECU20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16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。S204の処理が終了すると、S205へ進む。S204の処理を実行するECU20が、要求電圧を算出する手段に相当する。

30

40

【0059】

S205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(Vfc)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。S205の処理が終了すると、S206へ進む。S206では、S204で算出されたモータ必要電圧を、S205で検出された燃料電池11の出力電圧で除して暫定昇圧比Rt(=Vmot/Vfc)が算出される。S206の処理が終了すると、S207へ進む。

【0060】

50

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_{fcmax} と V_{fcb} 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_{fcb} 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_{fcb} 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_{fcb} 、 V_{fcmax} 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。

10

【0061】

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。

【0062】

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 0へ進み、F C昇圧コンバータ1 2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S 1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、S 2 0 9で否定判定されると、F C昇圧コンバータ1 2の動作領域が準ソフトスイッチ領域R C 3にあることを意味する。そこでこの場合はS 2 1 1に進む。

20

【0063】

S 2 1 1では、燃料電池システム1 0においてS 2 0 6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、S 2 0 9で否定判定されるということは、F C昇圧コンバータ1 2の動作領域が現時点では準ソフトスイッチ領域R C 3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R C 4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R C 3からソフトスイッチ領域R C 4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1 5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1 5内のスイッチング損失が大きくなるが、F C昇圧コンバータ1 2のスイッチング損失の減少分と、インバータ1 5のスイッチングロスの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、S 2 1 1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。S 2 1 1で肯定判定されると、S 2 1 2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、F C昇圧コンバータ1 2による最終的な昇圧比（ $R_t \times R_a$ による昇圧比）が、直線LR 2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、S 2 1 2の処理後、S 2 1 3へ進み、F C昇圧コンバータ1 2の目標の出力電圧が燃料電池1 1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S 1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。

30

40

【0064】

50

このように、S 2 0 9で否定判定された時点では、本来的にはF C昇圧コンバータ1 2の動作領域は準ソフトスイッチ領域R C 3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、F C昇圧コンバータ1 2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1 6の駆動に要する電圧よりも更に電圧を上げてF C昇圧コンバータ1 2の動作領域をソフトスイッチ領域R C 4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。

【0065】

一方で、S 2 1 1で否定判定されると、S 2 1 4へ進み、F C昇圧コンバータ1 2の動作領域がR C 3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1 1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1 5におけるスイッチング損失が顕著になる状態では、S 2 1 2及びS 2 1 3の処理は行われない。

10

【0066】

この図1 1に示すF C昇圧コンバータ制御によれば、モータ1 6の駆動を確保することを前提に、F C昇圧コンバータ1 2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、F C昇圧コンバータ1 2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R C 4とした上でソフトスイッチング処理が行われるため、F C昇圧コンバータ1 2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。

20

【0067】

<高電位回避制御>

以下、燃料電池の高電位回避制御について説明する。燃料電池では、Pt触媒の表面での水（およびプロトンに対する）に対する酸化還元により、Pt触媒が凝集するシタリング現象が誘発される場合がある。この酸化還元反応は、燃料電池セルの出力電圧が開放電圧（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。そこで、燃料電池システム1 0は、F C昇圧コンバータ1 2、あるいは、バッテリー昇圧コンバータ1 4を通じて、F C出力電圧を制御し、シタリングの原因となる燃料電池の高電位での発電を抑制する。

【0068】

図1 2に、F C昇圧コンバータ1 2を停止し、燃料電池1 1から直接電力を供給する場合の処理（図1 1のS 2 0 8）の詳細を例示する。この処理では、E C U 2 0は、燃料電池1 1の図示しない出力端子の出力電圧（以下、F C端子電圧という）を監視している（S 2 0 8 2）。なお、図1 2では、S 2 0 8 1の処理とS 2 0 8 2の処理とは、シリアルに実行されているが、これは、図面上の表現である。すなわち、S 2 0 8 2でのF C端子電圧の監視は、S 2 0 8 1を実行する処理と並行した処理（並行プロセス、マルチタスク）で実現すればよい。以下、他の監視処理も、同様に、基本的には、E C U 2 0による他の制御とは並行して実行される。

30

【0069】

そして、E C U 2 0は、F C端子電圧が、基準値（Vfc_OCV_REF）に近づいたか否かを判定する（S 2 0 8 3）。この場合、近づいたか否かは、F C端子電圧と基準値（Vfc_OCV_REF）との差異が、許容値未満になったか否かで判定すればよい。また、この場合の基準値（Vfc_OCV_REF）とは、シタリング現象を誘発するF Cセルの酸化還元反応電位をF Cの端子電圧に換算した値である。換算は、例えば、実験的（または理論的）にF Cセルの各酸化還元反応電位を求め、直列に接続されるF Cセル数分加算した値を基に、安全率を反映して得られている。

40

【0070】

そして、F C端子電圧が、基準値（Vfc_OCV_REF）に近づいた場合には、E C U 2 0は、バッテリー昇圧コンバータ1 4の出力電圧を基準値（Vfc_OCV_REF）より小さくなるように維持する。図1のように、バッテリー昇圧コンバータ1 4の出力端子は、F C昇圧コ

50

ンバータ 1 2 の出力端子と並列に、インバータ 1 5 に接続されている。また、F C 昇圧コンバータ 1 2 は、停止しているため、直流的に、リアクトルを通じて、インバータ 1 5 に接続されている。したがって、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 の出力電圧が、基準値 (Vfc_OCV_REF) よりも、小さくなるように維持することで、直接、F C 端子電圧が基準値 (Vfc_OCV_REF) より十分に小さく維持できる。

【 0 0 7 1 】

次に、E C U 2 0 は、F C 昇圧コンバータ 1 2 に対して、再起動が要求されているか否かを判定する (S 2 0 8 3)。再起動が要求されているとは、図 1 1 の S 2 0 7 での判定条件が満たされなくなった場合をいう。例えば、F C 昇圧コンバータ 1 2 に要求される暫定昇圧比が 1 以上となった場合である。

10

【 0 0 7 2 】

F C 昇圧コンバータ 1 2 に対して再起動が要求されていない場合には、E C U 2 0 は、制御を S 2 0 8 1 に戻す。一方、F C 昇圧コンバータ 1 4 に対して再起動が要求されている場合には、E C U 2 0 は、リターンする。

【 0 0 7 3 】

以上述べたように、本実施形態の燃料電池システム 1 0 によれば、F C 昇圧コンバータ 1 2 が停止可能な場合には、停止するとともに、F C 端子電圧を監視する。そして、F C 端子電圧がシンタリング現象を回避するための上限値である基準値 (Vfc_OCV_REF) に近づいた場合には、E C U 2 0 が、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 を通じて、F C の端子電圧が、基準値 (Vfc_OCV_REF) 以下になるように制御する。これによって、F C 昇圧コンバータ 1 2 が停止中であっても、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 により、F C の高電位状態を回避でき、シンタリング現象の誘発を抑制できる。

20

【 0 0 7 4 】

< バッテリー昇圧コンバータ停止処理 >

今、何らかの原因でバッテリー 1 3 の端子電圧が上昇した場合を考える。図 1 の構成では、F C 昇圧コンバータ 1 2、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 とともに、昇圧コンバータを使用している。また、燃料電池 1 1 自体は、シンタリングを回避するための基準値 (Vfc_OCV_REF) 未満に制御する必要がある。

【 0 0 7 5 】

そのような条件で、さらに、何らかの理由でバッテリー 1 3 の端子電圧が上昇し、上記基準値 (Vfc_OCV_REF) に近づいた場合を考える。何らかの理由とは、例えば、バッテリー 1 3 の S O C が満充電に近づいた場合、バッテリーが劣化した場合、バッテリーが低温下に置かれた場合等で、バッテリーの出力電圧が上昇した場合である。

30

【 0 0 7 6 】

この場合には、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 の入力側 (バッテリー 1 3 の端子側) と、出力側 (インバータ 1 5 の入力側、F C 昇圧コンバータの出力側) とで、昇圧比が 1 以下となる。したがって、この場合には、もはや、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 の動作を継続できず、E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 を停止させる。そして、F C 端子電圧を基準値 (Vfc_OCV_REF) 以下にする制御は、F C 昇圧コンバータ 1 2 によって実行する。

40

【 0 0 7 7 】

その場合の E C U 2 0 による制御を図 1 3 に示す。この制御は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 の昇圧比 (バッテリー 1 3 側の電圧に対するインバータ 1 5 側の電圧の比) が 1 以下のときに実行される。図 1 3 の処理は、例えば、図 1 1 の S 2 1 0、S 2 1 3、あるいは、S 2 1 4 の処理と並行して実行すればよい。

【 0 0 7 8 】

この処理では、E C U 2 0 は、バッテリー端子電圧を監視している (S 2 1 0 1)。なお、この場合も、監視処理は、E C U 2 0 の制御と並行して実行すればよい。そして、E C U 2 0 は、バッテリー端子電圧が、インバータ 1 5 の要求電圧以上か否かを判定する (S 2 1 0 2)。

50

【 0 0 7 9 】

バッテリー端子電圧が、インバータ 1 5 の要求電圧以上の場合、E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータを停止し、F C 昇圧コンバータ 1 2 の制御を実行する (S 2 1 0 3)。すなわち、E C U 2 0 は、図 1 1 の S 2 0 3、S 2 0 4 と同様の処理によって、ユーザ要求トルクおよびモータ回転数によって定まる、ユーザ要求出力およびモータ必要電圧を算出する。さらに、E C U 2 0 は、ユーザ要求出力から、バッテリー 1 3 にて出力すべきバッテリー要求出力 (W B) を除外した F C 要求出力 (W F) を算出する。なお、バッテリー要求出力は、現在の S O C に対して、出力すべき電力を保持したマップを参照して決定すればよい。例えば、S O C が満充電に近い場合には、バッテリー要求出力は大きな値に設定される。一方、S O C が空き状態に近い場合には、バッテリー要求出力は小さな値に設定される。

10

【 0 0 8 0 】

また、E C U 2 0 は、出力電力 (P) と出力電流 (I) との関係を示す P I マップをメモリに保持している。E C U 2 0 は、P I マップを参照し、F C 要求出力 (W F) を達成するための燃料電池 1 1 の出力電流を決定する。さらに、E C U 2 0 は、燃料電池 1 1 の I V 特性をマップとして保持している。E C U 2 0 は、I V 特性から出力電流を出力するときの端子電圧 (V) を決定する。そして、E C U 2 0 は、燃料電池 1 1 の端子電圧 (V) とモータ必要電圧との関係から、F C 昇圧コンバータ 1 2 の昇圧比を設定し、制御する。その結果、燃料電池 1 1 の端子電圧が、目標値に制御され、F C 要求出力 (W F) に相当する電力が F C からインバータ 1 5 に供給される。さらに、ユーザ要求出力に対する不足分であるバッテリー要求出力 (W B) がバッテリー 1 3 からインバータ 1 5 に供給される。

20

【 0 0 8 1 】

さらに、E C U 2 0 は、F C 端子電圧を監視している (S 2 1 0 4)。そして、F C 端子電圧が、上記基準値 (Vfc_OCV_REF) に近づいたか否かを判定する (S 2 1 0 5)。F C 端子電圧が、上記基準値 (Vfc_OCV_REF) に近づいた場合には、E C U 2 0 は、F C 昇圧コンバータ 1 2 によって、F C 端子電圧を上記基準値 (Vfc_OCV_REF) よりも小さく低下する方向に制御する。

【 0 0 8 2 】

この場合、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 は、停止状態であり、バッテリー出力端子は、直流的に F C 昇圧コンバータ 1 2 の出力側に接続されている。したがって、F C 昇圧コンバータ 1 2 によって、F C 端子電圧を上記基準値 (Vfc_OCV_REF) よりも小さく低下する方向に制御することによって、F C 昇圧コンバータ 1 2 の出力端子側は、バッテリー 1 3 の端子電圧より低くなり得る。したがって、燃料電池 1 1 で発電された電力は、バッテリー 1 3 の充電には供給できない場合があり得る。この場合、燃料電池 1 1 で発電された電力は、第 1 には、インバータ 1 5 を通じて、モータ 1 6 に供給される。さらに、余剰の電力が発生した場合には、補機を通じて、余剰電力が消費されることになる。

30

【 0 0 8 3 】

以上述べたように、バッテリー 1 3 の端子電圧が何らかの理由で上昇した場合には、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 を停止し、バッテリー端子電圧を直流的に、F C 昇圧コンバータの出力側 (インバータ 1 5 の入力側) に接続すればよい。そして、F C 端子電圧を、シタリングを回避するための基準値 (Vfc_OCV_REF) より小さく制御すればよい。このような制御によって、可能な限り効率を向上させた上で、燃料電池 1 1 でのシタリング現象を低減できる。

40

【 0 0 8 4 】

< F C 昇圧コンバートとバッテリー昇圧コンバータの協調制御 >

図 1 2 では、F C 昇圧コンバータ 1 2 を停止した場合の燃料電池システム 1 0 の制御について説明した。また、図 1 3 では、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 を停止した場合の燃料電池システム 1 0 の制御について説明した。ここでは、さらに、F C 昇圧コンバータ 1 2 とバッテリー昇圧コンバータ 1 4 とが協調して、システムの燃料効率の向上と、シタリングの回避とを実現するための制御について説明する。

【 0 0 8 5 】

50

FC昇圧コンバータ12とバッテリー昇圧コンバータ14とが稼働中の場合に、インバータ15の入力電圧は、例えば、バッテリー昇圧コンバータ14の昇圧比によって設定される。そして、FC昇圧コンバータ12の昇圧比を設定することによって、燃料電池11とバッテリー13との負担割合が決定され、インバータ15に電力が供給される。

【0086】

この場合、燃料電池11からインバータ15を通じてモータ16の逆起電圧に釣り合った出力電圧が、供給される。さらに、十分な電力がインバータ15に供給され、かつ、余剰の電力がある場合には、バッテリー昇圧コンバータを通じて、バッテリー13が充電されることになる。

【0087】

しかし、バッテリーのSOCが満充電に近く、バッテリー許容入力電力に余裕がない場合には、もはや、バッテリー13を充電できない。その場合、特に、モータ回転数が大きく、逆起電圧が高い一方、要求トルクが大きい状態では、FC端子電圧とシタリング現象回避のための基準値(Vfc_OCV_REF)との調整が問題となる。すなわち、通常通り、モータ回転数と要求トルクにしたがって、FC昇圧コンバータ12を制御した場合、燃料電池11で発電された電力が消費されず、FC端子電圧が基準値(Vfc_OCV_REF)を越えてしまう場合が生じ得る。そこで、ECU20は、特に、低負荷、かつ、高速回転に対応したシタリング現象に至る高電位回避のための制御を実行する。

【0088】

図14に、FC昇圧コンバータ12とバッテリー昇圧コンバータ14との協調制御処理を示す。この制御は、S210、S213、S214等のソフトスイッチングと並行して実行される処理である。ただし、図14において、ソフトスイッチングは、省略されている。

【0089】

この処理では、ECU20は、バッテリーSOCを監視している(S2111)。この監視処理も、ECU20の制御と並列して実行すればよい。そして、ECU20は、バッテリー13の充電許容電力が十分か否かを判定する(S2112)。この基準値は、バッテリー13の容量の限度として設定される。この判定は、例えば、バッテリーの満充電容量に対する現在の充電量の比率を基に実行される。現在の充電量の比率は、例えば、バッテリー13の端子電圧を基にして、バッテリー端子電圧と、充電量の関係を示すマップを参照して決定される。この処理を実行するECU20とバッテリー13の図示しない電圧センサが充電センサに相当する。

【0090】

そして、ECUは、バッテリー13の充電許容電力が十分S211Aに制御を進める。バッテリー13の充電許容電力が十分であるとは、バッテリーの充電率が所定値(例えば、20%)未満であるような場合である。

【0091】

一方、バッテリー13の充電許容電力が十分でない場合には、まず、モータ回転数、要求トルクから、モータ要求電力WMを算出する(S2113)。さらに、ECU20は、バッテリー許容電力マップを参照し、バッテリー放電要求電力を読み出す(S2114)。図15に、バッテリー許容電力マップ(放電要求マップに相当)を示す。このマップは、SOCと、バッテリー放電要求電力と、充電許容電力との関係を示すマップである。マップは、ECU20内のメモリ(放電要求マップを保持する手段に相当)に格納されている。図15において、SOCは、充電率で示されている。

【0092】

例えば、充電率が80%の場合には、30(図15では、無単位、例えば、KW)の放電要求電力となり、充電率が60%の場合には、25の放電要求電力であり、充電率が20%の場合には、放電要求がないことを示す。放電要求電力がある場合が、許容レベルを超えたときに相当する。ただし、図15は、一例であり、許容レベルが20%(あるいは40%)に限定されるわけではない。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 3 】

また、例えば、充電率が 20% の場合には、30 (図 15 では、無単位、例えば、KW) の電力の受け入れが可能であり、充電率が 40% の場合には、20 の電力の受け入れが可能であり、充電率が 80% の場合には、電力を受け入れることができないことを示す。

【 0 0 9 4 】

次に、モータ要求電力から、バッテリー放電要求電力を減算して、FC 分担出力電力を算出する (S 2 1 1 5)。この処理を実行する E C U 2 0 が、放電すべき電力を除外した燃料電池スタック要求電力を算出する手段に相当する。

【 0 0 9 5 】

さらに、E C U 2 0 は、P I マップを参照して、FC 分担出力電力を出力するために必要な電流値を決定する (S 2 1 1 6)。P I マップは、FC の出力電力と、出力電流との関係を実験的に求めたテーブルである。

10

【 0 0 9 6 】

さらに、E C U 2 0 は、現在の FC の I V 特性マップから、上記電流値を出力するために制御すべき FC の目標端子電圧 V_{FC} を決定する (S 2 1 1 7)。この処理を実行する E C U 2 0 が、燃料電池スタックの端子電圧の目標値を設定する手段に相当する。ここで、FC の I V 特性マップは、FC 端子電圧と FC 出力電流との関係を求めたマップである。

【 0 0 9 7 】

なお、S 2 1 1 6 の処理で P I マップを参照し、S 2 1 1 7 の処理で I V 特性マップを参照するのは、単に、処理上の都合である。すなわち、FC の出力電力と、出力電流が決定されれば、当然に端子電圧 V は、 $V = P / I$ によって決定できる。しかしながら、本実施形態では、P I マップ、およびその P I マップの電力の値 (P) と電流の値 (I) から決定される V の値について、別途 I V 特性マップを有している。そして、E C U 2 0 は、まず、S 2 1 1 6 の処理で P I マップを参照して、電流値 (I) を決定する。さらに、E C U 2 0 は、S 2 1 1 7 の処理で I V 特性マップを参照し、FC の端子電圧の値 (V) を決定する。

20

【 0 0 9 8 】

また、FC の出力特性 (P と I と V との関係、あるいは、I V 特性) は、運転時に、刻々更新されている。例えば、E C U 2 0 は、FC 端子電圧を検出するセンサと FC 出力電流を検出するセンサとを刻々監視し、刻々 FC の I V 特性を更新している。

30

【 0 0 9 9 】

そして、E C U 2 0 は、FC 目標端子電圧 V_{FC} が、シタリング現象回避のための基準値 ($V_{fc_OCV_REF}$) より小さいか否かを判定する。FC 目標端子電圧 V_{FC} が、シタリング現象回避のための基準値 ($V_{fc_OCV_REF}$) より小さい場合、E C U 2 0 は、制御を S 2 1 1 A に進める。

【 0 1 0 0 】

一方、FC 目標端子電圧 V_{FC} が、シタリング現象回避のための基準値 ($V_{fc_OCV_REF}$) より小さくない場合、すなわち、FC 目標端子電圧 V_{FC} が、基準値 ($V_{fc_OCV_REF}$) に近づいた場合には、E C U 2 0 は、FC 目標端子電圧 V_{FC} を基準値 ($V_{fc_OCV_REF}$) 以下の所定値に設定し、FC 昇圧コンバータを制御する (S 2 1 1 9)。この処理を実行する E C U 2 0 が、基準電圧未満の値に再設定する手段に相当する。また、この処理を実行する E C U 2 0 が、第 1 の電圧変換器を制御する手段に相当する。

40

【 0 1 0 1 】

この場合に、FC 目標端子電圧 V_{FC} を目標値より低く制御するため、究極的には、モータ要求電力から算出される FC 分担電力よりも多くの電力が出力される。しかし、その余剰電力は、バッテリーに蓄積できない。S 2 1 1 2 の判定で、バッテリー充電許容電力が十分ではないからである。そこで、余剰電力は、補機で消費されることになる。

【 0 1 0 2 】

一方、S 2 1 1 A の処理では、モータ回転数、要求トルクにしたがったバッテリー昇圧コ

50

ンバータ 1 2 の制御が実行される。

以上述べた処理によれば、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の両方を使用し、燃料電池 1 1 とバッテリー 1 3 の状態に応じて、モータ 1 6 に電力を供給できる。特に、バッテリー 1 3 の S O C が高い充電率であり、モータの逆起電力が高く、かつ、モータ要求電力が大きくない場合であっても、本実施形態の電力供給システムによれば、燃料電池 1 1 の高電位状態を回避した上、燃料電池 1 1 とバッテリー 1 3 によるモータ 1 6 への電力供給システムを実現できる。

【 0 1 0 3 】

< F C 昇圧コンバータとバッテリー昇圧コンバータの双方を停止する処理 >

モータ逆起電力が低い場合（例えば、停車中）には、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の双方を停止してもよい。その場合に、燃料電池 1 1 の高電位回避制御は、上記 2 つの昇圧コンバータによる制御によってはなされない。しかし、E C U 2 0 は、燃料電池 1 1 の端子電圧を監視して、燃料電池 1 1 の電力を消費することによって、高電位を回避する。その場合の処理を図 1 6 に示す。この処理では、E C U 2 0 は、まず、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の双方を停止する（S 2 2 1 1）。

【 0 1 0 4 】

次に、E C U 2 0 は、F C 端子電圧を監視する（S 2 2 1 2）。そして、E C U 2 0 は、F C 端子電圧が、高電位の基準値（Vfc_OCV_REF）に近づいたか否かを判定する（S 2 2 1 3）。この判定は、図 1 2 の S 2 0 8 3 と同様である。

【 0 1 0 5 】

そして、F C 端子電圧が、基準値（Vfc_OCV_REF）に近づいた場合には、E C U 2 0 は、補機による F C 電力の消費を促進する（S 2 2 1 4）。さらに、E C U 2 0 は、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 のいずれか、または双方の起動が必要か否かを判定する（S 2 2 1 5）。これらの起動が必要ない場合には、E C U 2 0 は、制御を S 2 2 1 に戻す。一方、これらの起動が必要である場合には、E C U 2 0 は、リターンする。したがって、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の双方停止処理が終了する。

【 0 1 0 6 】

以上述べた処理によれば、モータの逆起電力が十分小さい場合には、F C 昇圧コンバータ 1 2 およびバッテリー昇圧コンバータ 1 4 の双方を停止し、電力損失を低減するとともに、補機による F C 電力の消費を促進することで、バッテリーの高電位状態を回避できる。

【 0 1 0 7 】

《第 2 実施形態》

図 1 7 から図 2 0 の図面を参照して、本発明の第 2 実施形態に係る燃料電池システムを説明する。上記第 1 実施形態では、ソフトスイッチングを行う補助回路を備えた燃料電池システムについて説明した。しかし、本発明の実施は、そのような構成に限定されるわけではない。ここでは、補助回路のない構成にて、電力効率の向上と、高電位回避を実行する燃料電池システムを説明する。他の構成および作用は、第 1 実施形態と同様である。そこで、第 1 実施形態と同一の構成要素については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

【 0 1 0 8 】

図 1 7 は、燃料電池システム 1 0 A の構成図である。ただし、図 1 7 では、第 2 実施形態と直接関係のない構成、例えば、モータ 1 6、水素タンク 1 7、コンプレッサ 1 8 等は、図示されていない。また、E C U 1 0 も、図示を省略した。

【 0 1 0 9 】

図 1 7 のように、燃料電池システム 1 0 A は、燃料電池 1 1（燃料電池スタックに相当）と、燃料電池 1 1 の電圧を変換して、インバータ 1 5 に伝達する F C 昇圧コンバータ 1 2 A（第 1 の電圧変換器に相当）と、バッテリー 1 3（蓄電装置に相当）と、バッテリー 1 3 の電圧を変換して、インバータ 1 5 に伝達するバッテリー昇圧コンバータ 1 4 A（第 2 の電

圧変換器に相当)と、図示しないモータに電力を供給するインバータ15(負荷回路に相当)とを有している。

【0110】

本実施形態では、FC昇圧コンバータ12Aとして、スルーモードつき直流チョッパ回路を使用する。すなわち、スルーモード動作では、燃料電池11の端子電圧は、ダイオード(図17中のDIODE)を通じて、直接インバータ15に伝達される。なお、直流チョッパ回路は、図17のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)により直流からスイッチング波形を発生させ、さらに、リアクトルの両端に高電圧を発生させ、コンデンサで平滑化して、直流電圧を変換する。そのような動作は周知であるので、ここでは、その説明を省略する。

10

【0111】

また、本実施形態では、バッテリー昇圧コンバータ14AとしてハーフブリッジタイプのDCDCコンバータを使用する。ハーフブリッジタイプのDCDCコンバータの動作も、同様であるので、ここでは、その説明を省略する。

【0112】

さらに、図17では、各端子の電圧を測定する電圧センサおよび電流を測定する電流センサを明示した。本実施形態では、燃料電池11の端子電圧を電圧センサ61で測定する。また、燃料電池11から出力される電流を電流センサ62で測定する。また、バッテリー13の端子電圧を電圧センサ63で測定する。また、バッテリー13から出力される電流を電流センサ64で測定する。さらにまた、インバータ15に入力される入力電圧を電圧センサ65で測定する。また、インバータ15に入力される電流を電流センサ66で測定する。図示しないECU(図1のECU20)は、これら電圧センサおよび電流センサの検出値を制御プロセスと並行して監視している。

20

【0113】

図18に、燃料電池11のIV特性によって、燃料電池システム10Aの制御ロジックの概要を示す。図18において、出力制御域(1)で示されるのは、出力電力の小さい低負荷領域である。また、出力制御域(2)で示されるのは、出力電力の大きい高負荷領域である。

【0114】

低負荷か、高負荷かは、モータ要求電圧によって決定されるシステム電圧+所定の許容値が、燃料電池11の端子電圧を越えるか否かで決定される。すなわち、モータの回転数が小さく、かつ、ユーザの要求トルクが小さい間は、モータ逆起電力が小さく、燃料電池11に要求される要求出力も小さい。その結果、燃料電池11の端子電圧は、モータ要求電圧を上回る。これが、出力制御域(1)の領域である。

30

【0115】

そして、モータの回転数が上昇し、モータ逆起電力が大きくなり、かつ、燃料電池11の出力電流の増加に伴って燃料電池11の端子電圧が低下すると、出力制御域(2)となる。

【0116】

燃料電池システム10Aは、出力制御域(1)では、基本的には、バッテリー昇圧コンバータ14Aを用いて、燃料電池11の端子電圧およびインバータ15の入力電圧(これをシステム電圧ともいう)を制御する。このとき、FC昇圧コンバータ12Aは、停止する。そして、燃料電池11の出力電力は、ダイオード(DIODE)を通じて、インバータ15に供給する。ただし、図18では、省略しているが、図7Aに示したように、バッテリー13のIV特性との関係で、バッテリー13のIV特性LBTが、燃料電池11のIV特性LFCより高い領域においてはFC昇圧コンバータ12の動作停止が許容されない。

40

【0117】

一方、出力制御域(2)では、バッテリー昇圧コンバータ14Aによって、インバータ15の入力電圧(システム電圧)を制御する一方、FC昇圧コンバータ12Aによって、FC13の端子電圧を制御する。これによって、バッテリー13と燃料電池11とのインバー

50

タ 1 5 への供給電力の配分を制御する。

【 0 1 1 8 】

なお、図 1 8 には、明示していないが、車両 1 のシフトレバーが P (駐車) レンジに入っている等、停車中は、基本的には、FC 昇圧コンバータ 1 2 A と、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A とは、ともに、停止する。しかし、いずれの制御状態であっても、ECU 2 0 は、FC 1 0 の端子電圧を監視し、あるいは、端子電圧の制御の目標値を監視し、高電位状態を回避する処理を実行する。

【 0 1 1 9 】

図 1 9 は、燃料電池システム 1 0 A における制御手順を例示するフローチャートである。本実施形態では、図 1 に示した ECU 2 0 にて制御プログラムを実行することによって、図 1 9 の制御が実現される。この制御は、ECU 2 0 での、無限に繰り返されるループとして実現される。

10

【 0 1 2 0 】

ここでは、図 1 9 の S 1 0 1 の処理から説明を開始する。すなわち、ECU 2 0 は、車両 1 が停車中か否かを判定する (S 4 0 0)。停車中か否かは、車両 1 の操作レバーが、P レンジにあるか否かで判定される。なお、図示しないが、操作レバーの状態は、センサを通じて ECU 2 0 に通知されている。この処理を実行する ECU 2 0 が、検知する手段に相当する。

【 0 1 2 1 】

車両 1 が停車中の場合、ECU 2 0 は、FC 昇圧コンバータ 1 2 A と、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A をともに停止する (S 4 0 1)。モータ 1 6 (図 1 参照) に電力を供給する必要がないからである。この処理を実行する ECU 2 0 が、第 1 の電圧変換器および第 2 の電圧変換器を停止する手段に相当する。

20

【 0 1 2 2 】

ただし、FC 昇圧コンバータ 1 2 A と、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A をともに停止しても、ECU 2 0 は、電圧センサ 6 1 をによって、燃料電池 1 1 の端子電圧を監視している。そして、ECU 2 0 は、高電位回避が必要か否かを判定する (S 4 0 2)。この判定は、第 1 実施形態と同様、FC 端子電圧と基準値 (Vfc__OCV__REF) との差異が、許容値未満になったか否かで判定すればよい。

【 0 1 2 3 】

そして、高電位回避が必要でない場合、ECU 2 0 は、制御を S 1 0 1 に戻す。一方、S 1 0 2 の判定で、高電位回避が必要な場合、ECU 2 0 は、補機に燃料電池 1 1 の電力を供給し、電力を消費する (S 4 0 3)。例えば、コンプレッサ 1 8 を起動する、車両 1 の図示しないエアコンを起動する、照明を点灯する等である。この処理を実行する ECU 2 0 が、燃料電池スタックの電力を消費する手段に相当する。

30

【 0 1 2 4 】

さらに、ECU 2 0 は、補機の電力消費によって高電位回避が可能か否かを判定する (S 4 0 4)。この判定は、補機の電力消費によって、FC 端子電圧と基準値 (Vfc__OCV__REF) との差異が、許容値より大きくなったか否かで判定すればよい。補機の電力消費によって高電位回避が可能な場合には、ECU 2 0 は、制御を S 1 0 2 に戻す。一方、補機の電力消費によって高電位回避が可能でない場合、ECU 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A を起動する。そして、ECU 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A によって、燃料電池 1 1 の端子電圧を低下させる (S 4 0 5)。この場合には、燃料電池 1 1 で発電された電力は、例えば、補機その他、停車中の車両 1 のモータ 1 6 で消費され、あるいは、バッテリー 1 3 を充電するのに使用される。その後、ECU 2 0 は、制御を S 1 0 0 に戻す。

40

【 0 1 2 5 】

次に、例えば、操作レバーが P レンジから D (駆動) レンジ、R (バック) レンジ等の駆動を指示するレンジになると、ECU 2 0 は、燃料電池 1 1 の端子電圧から、モータ 1 6 の負荷が図 1 8 の出力制御域 (1) にあるか否かを判定する (S 4 0 6)。上述のよう

50

に、制御が図 18 の出力制御域 (1) にある場合は、低負荷の状態である。

【 0 1 2 6 】

出力制御域 (1) にある場合、 E C U 2 0 は、 F C 昇圧コンバータ 1 2 A を停止し、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A で出力制御を行う (S 4 0 7)。低負荷での F C 昇圧コンバータ 1 2 A の効率が低いためである。この処理を実行する E C U 2 0 が、第 1 の電圧変換器を停止させて燃料電池スタックの出力電力を負荷回路に伝達する手段に相当する。

【 0 1 2 7 】

ただし、この場合も、 E C U 2 0 は、燃料電池 1 1 の端子電圧を監視し、高電位回避が必要か否かを判定する (S 4 0 8)。そして、高電位回避が必要な場合、 E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A および停止中の F C 昇圧コンバータ 1 2 A を通じて、燃料電池 1 1 の端子電圧を低下させる (S 4 0 9)。この処理を実行する E C U 2 0 が、第 1 の電圧制限手段に相当する。

【 0 1 2 8 】

具体的には、システム電圧、すなわち、インバータ 1 5 の入力電圧を低下させる。その結果、燃料電池 1 1 の I V 特性にしたがい、出力電流が増加し、発電される電力が増加する。燃料電池 1 1 の端子電圧がモータ要求電力より高いので、増加した電力は、モータ 1 6 で消費される。また、余剰電力は、バッテリー 1 3 に蓄積されることになる。その後、 E C U 2 0 は、制御を S 1 0 6 に戻す。

【 0 1 2 9 】

また、 S 1 0 6 の判定で、高負荷、すなわち、図 1 8 の出力制御域 (2) になったと判定されると、 E C U 2 0 は、 F C 昇圧コンバータ 1 2 A と、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A の協調制御を実行する (S 4 1 0)。この処理は、図 1 4 の場合と同様である。

【 0 1 3 0 】

ただし、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A の協調制御とともに、 E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A の昇圧比を監視している。昇圧比は、バッテリーの端子を測定する電圧センサ 6 4 と、インバータ 1 5 の入力電圧を監視する電圧センサ 6 6 の測定値の比によって検知できる。ただし、インバータ 1 5 の入力電圧は、測定値に代えて、インバータ要求電圧を用いてもよい。そして、 E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A の昇圧比が 1 以下か否かを判定する (S 4 1 1)。

【 0 1 3 1 】

昇圧比が 1 以下の場合に、 E C U 2 0 は、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A を停止する (S 4 1 2)。バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A による昇圧ができないからである。この処理を実行する E C U 2 0 が、第 2 の電圧変換器を停止する手段に相当する。そして、 E C U 2 0 は、 F C 昇圧コンバータ 1 2 A によって、燃料電池 1 1 の出力を制御する (S 4 1 3)。また、このとき、 E C U 2 0 は、燃料電池 1 1 の端子電圧が、基準値 (V f c _ O C V _ R E F) に近づいたか否かを判定する。そして、燃料電池 1 1 の端子電圧が、基準値 (V f c _ O C V _ R E F) に近づいた場合に、 E C U 2 0 は、 F C 昇圧コンバータ 1 2 A により、燃料電池 1 1 の端子電圧を基準値 (V f c _ O C V _ R E F) より小さくなるように維持する。この処理を実行する E C U 2 0 が、第 2 の電圧制限手段に相当する。

【 0 1 3 2 】

そして、 E C U 2 0 は、さらに、モータ 1 6 の負荷が出力制御域 (2) にあるか否かを判定する (S 4 1 4)。この判定は、燃料電池 1 1 の端子電圧が、インバータ要求電圧より高いか、否かにより判定できる。負荷が出力制御域 (2) にある場合、 E C U 2 0 は、制御を S 1 1 0 に戻し、協調制御を継続する。この場合には、低負荷ではないと判定されたからである。一方、低負荷となり、図 1 8 の出力制御域 (1) に戻った場合には、 E C U 2 0 は、制御を S 1 0 0 に戻す。

【 0 1 3 3 】

以上述べたように、本実施形態の燃料電池システム 1 0 A によれば、停車中は、 F C 昇圧コンバータ 1 2 A と、バッテリー昇圧コンバータ 1 4 A を停止するとともに、燃料電池 1 1 の端子電圧が高電位になるのを回避する。さらに、 E C U 2 0 は、 F C 昇圧コンバータ

10

20

30

40

50

12Aの効率が悪い低負荷の領域では、極力FC昇圧コンバータ12Aを停止するとともに、燃料電池11の端子電圧が高電位になるのを回避する。そして、高負荷の領域では、FC昇圧コンバータ12Aと、バッテリー昇圧コンバータ14Aとの協調制御によって、燃料電池11の端子電圧が高電位になるのを回避しつつ、燃料電池11およびバッテリー13からインバータ15およびモータ16への供給電力の分担を制御する。

【0134】

以上のように、燃料電池システム10Aは、停車中、低負荷、および高負荷に渡るそれぞれの領域で、電圧変換効率の向上と、燃料電池11の高電位状態の回避とが両立する方向に制御することができる。

【0135】

《第3実施形態》

本発明に係る燃料電池システムの第3実施形態について、図21～23に基づいて説明する。本実施形態に係る燃料電池システムと上述の第1実施形態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12bおよびそれに関連する技術である。そこで、本実施形態では、当該相違点に着目して説明を行う。

【0136】

図21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21に示すFC昇圧コンバータ12の補助回路12b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、本実施形態においては、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22及び図23に基づいて説明する。

【0137】

図22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22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。

【0138】

ここで、S102の処理によりモード2の動作が行われているとき、FC昇圧コンバータ12では、スイッチ素子S3はターンオフ状態となっている。また、スイッチ素子S3のスイッチング動作の効果を明確に示すために、FC昇圧コンバータ12の出口電圧VHとその入口電圧VLの関係を、FC昇圧コンバータ12の電氣的状態を表すパラメータである比VH/VL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L2とスナバコンデンサC2の半波共振によって、該スナバコンデンサC2の電荷は抜けていくが、図10Bに示すようにスナバコンデンサC2の電圧はゼロとはならないことになる。

【0139】

ここで、本実施形態では、上記半波共振によるスナバコンデンサC2の電圧変動が底値となるタイミングで、S301の処理によりスイッチ素子S3をターンオンする。すると、図23に示すように、スナバコンデンサC2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S3を介して補助回路12b内に分散されていくため、スナバコンデンサC2の電圧を更に低下させることができる。その結果、S301後のS103の処理において、スイッチ素子S1をターンオンするとき、該スイッチ素子S1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、FC昇圧コンバータ12の出口電圧VHとその入口電圧VLの関係において、比VH/VLが所定値を超える場合（本実施形態では2を超える場合）は、スナバ

10

20

30

40

50

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。

【 0 1 4 0 】

《その他の変形例》

< 回生電力の燃料電池側への逆流の防止 >

本燃料電池システム 1 0 には、回生電力を発生させる回生ブレーキを採用してもよい。その場合に、回生電力は、スナバコンデンサ C 2 (図 2 参照) に蓄積されることになる。そして、ソフトスイッチング時、スナバコンデンサ C 2 に蓄えられた回生電力が F C へ入力されないようにするため、スナバコンデンサ C 2 から F C へ流れる電気回路上に回生電力を抑える素子を設け、あるいは、スナバコンデンサ C 2 に蓄えられた回生電力が二次バッテリへ流れるようにしてもよい。F C 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 C 2 から F C 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で係る電路の電圧が規定以上になるのを抑制し、あるいは、スナバコンデンサ C 2 から F C 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が挙げられる。また、回生電力を二次バッテリへ流れるようにする方法としては、例えば、S 2 の下流側を F C ではなく二次バッテリへ繋ぐ回路構成にする方法が挙げられる。

10

【 0 1 4 1 】

< 衝突時の燃料電池出力遮断 >

また、本燃料電池システム 1 0 は、車両 1 の衝突時に、燃料電池 1 1 の出力を遮断するシステムとしてもよい。具体的には、燃料電池システム 1 0 の F C 昇圧コンバータ 1 2 の下流側には、インバータ 1 5 及びバッテリ昇圧コンバータ 1 4 との電氣的な接続を O N / O F F するためのリレー回路が設けてもよい。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 1 0 は、F C 昇圧コンバータ 1 2 の下流側に流れる電流量が比較的少ないものとなっている。このため、燃料電池システム 1 0 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。

20

【 0 1 4 2 】

そして、燃料電池システム 1 0 の E C U 2 0 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、F C 昇圧コンバータ 1 2 とインバータ 1 5 及びバッテリ昇圧コンバータ 1 4 との間の電氣的な接続を切断するユニットとすればよい。

30

【 0 1 4 3 】

< 要求出力算出手順の変形 >

さらに、上記実施形態で説明したように、図 1 1 に示す F C 昇圧コンバータ制御における処理 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 の出力電圧が検出される。本変形例では、燃料電池 1 1 の出力電圧の検出について、該燃料電池 1 1 の出力 (以下、F C 出力という) に基づいて、燃料電池 1 1 の出力電圧を算出することとする。ここで、F C 出力は、以下の式 (1) に従って算出される。

40

$$(F C 出力) = (要求出力) + (補機要求出力) + (バッテリ充電 (放電) 出力) \cdots (1)$$

【 0 1 4 4 】

補機要求出力は、水素タンク 1 7 やコンプレッサ 1 8 等の補機に要求されている出力であり、バッテリ充電出力は、充電時におけるバッテリ 1 3 に要求されている出力であり、バッテリ放電出力は放電時におけるバッテリ 1 3 の出力である。バッテリ 1 3 の残蓄電量が S O C 閾値未満であれば、バッテリ充電出力を上記式 (1) に算入し、F C 出力を算出する。バッテリ 1 3 の残蓄電量が S O C 閾値以上であれば、バッテリ放電出力を上記 (1) にマイナス分として算入し、F C 出力を算出する。そして、上記式 (1) で算出した F C 出力に基づいて、燃料電池 1 1 の出力電圧が算出される。具体的には、F C 出力と燃料

50

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 ECU 20 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。

【0145】

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)・・・(2)

10

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。

【0146】

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。

20

【0147】

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。

30

【0148】

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 24A、図 24B 及び図 24C に示すような負荷の効率特性の領域を画定する。図 24A、図 24B 及び図 24C 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 24A 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 24B 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 24C 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 24A、図 24B 及び図 24C 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。

40

50

【 0 1 4 9 】

図 2 4 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 2 4 A 及び図 2 4 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 T 1 及びモータ 1 6 の回転数 R 1 では、インバータ 1 5 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 2 4 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 2 4 A 及び図 2 4 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 T 2 及びモータ 1 6 の回転数 R 2 では、インバータ 1 5 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 E C U 2 0 が有しており、インバータ 1 5 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 1 5 に印加することができる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 5 0 】

【 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 F C 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 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 4 A 】 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、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。

20

【 図 4 B 】 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、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 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。

30

【 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。

40

【 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 1 0 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。

50

【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】F C 昇圧コンバータを停止し、F C から直接電力を供給する場合の処理の詳細を例示する図である。

【図 13】バッテリー昇圧コンバータを停止し、F C 昇圧コンバータにより、F C 端子電圧を制御する処理を例示する図である。

【図 14】F C 昇圧コンバータとバッテリー昇圧コンバータとの協調制御処理を例示する図である。

【図 15】バッテリー許容電力マップの構成を例示する図である。

【図 16】F C 昇圧コンバータとバッテリー昇圧コンバータの双方を停止する処理を例示する図である。

【図 17】本発明の第 2 実施形態に係る燃料電池システムの構成図である。

【図 18】I V 特性によって、燃料電池システムの制御ロジックの概要を例示する図である。

【図 19】本発明の第 2 実施形態に係る燃料電池システムにおける制御手順を例示する図（その 1）である。

【図 20】本発明の第 2 実施形態に係る燃料電池システムにおける制御手順を例示する図（その 2）である。

【図 21】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 22】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 23】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 24 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 24 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 24 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。

【符号の説明】

【0151】

1・・・車両

10・・・燃料電池システム

11・・・燃料電池（F C）

12・・・F C 昇圧コンバータ

12 a・・・メイン昇圧回路

12 b・・・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・・・E C U

21・・・アクセルペダルセンサ

S 1、S 2、S 3・・・スイッチ素子

C 1、C 3・・・平滑コンデンサ

10

20

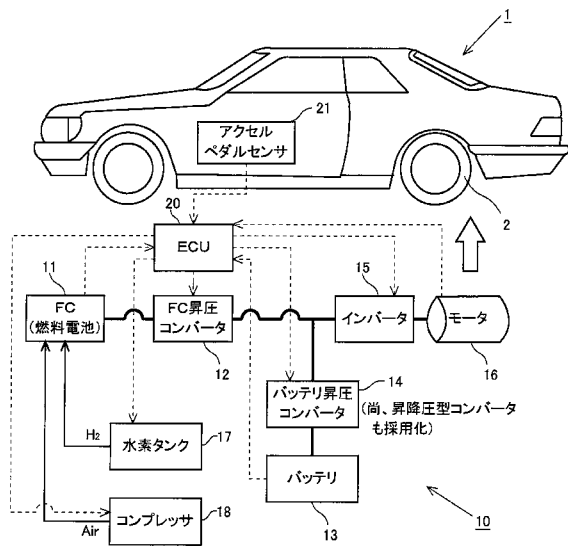
30

40

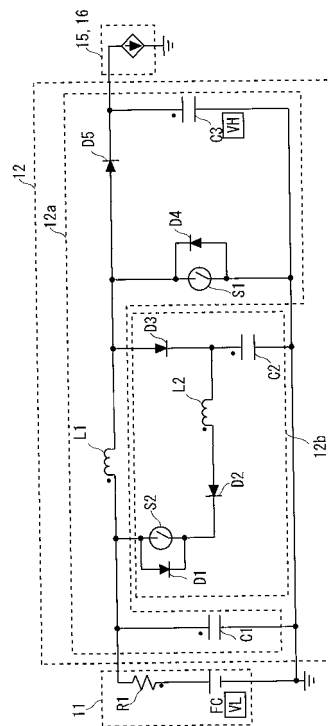
50

- C 2 スナバコンデンサ
- L 1、L 2、L 3 コイル
- D 1、D 2、D 3、D 4、D 5 ダイオード

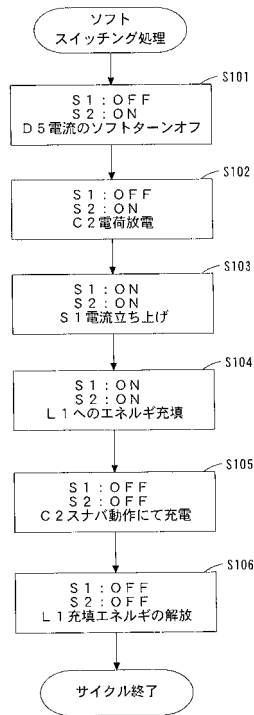
【 図 1 】



【 図 2 】

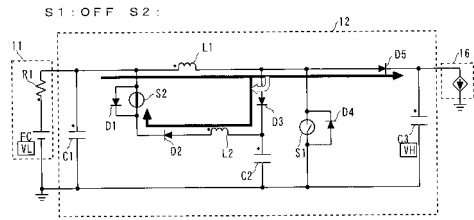


【図3】



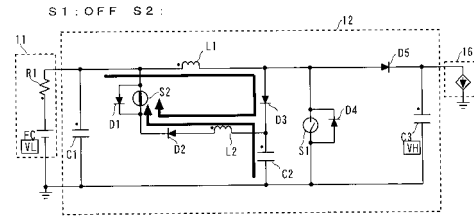
【図4A】

<モード1>



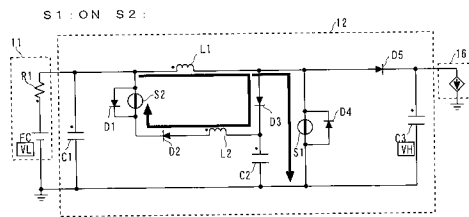
【図4B】

<モード2>



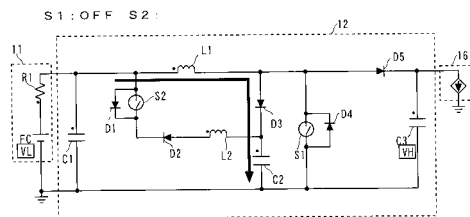
【図4C】

<モード3>



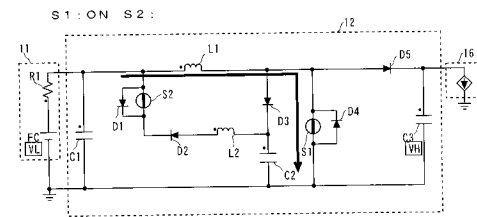
【図4E】

<モード5>



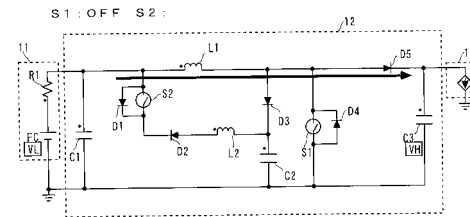
【図4D】

<モード4>

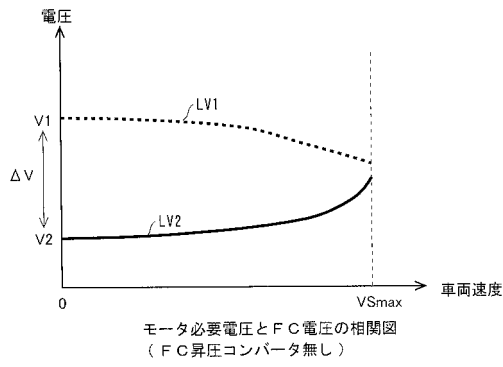


【図4F】

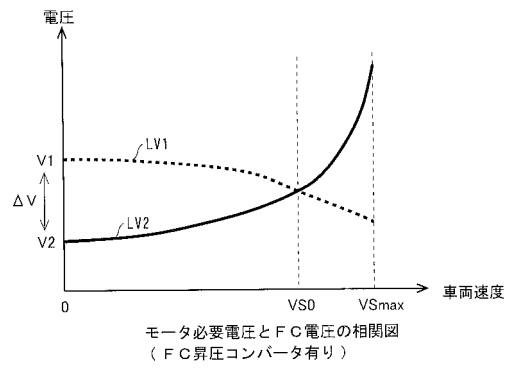
<モード6>



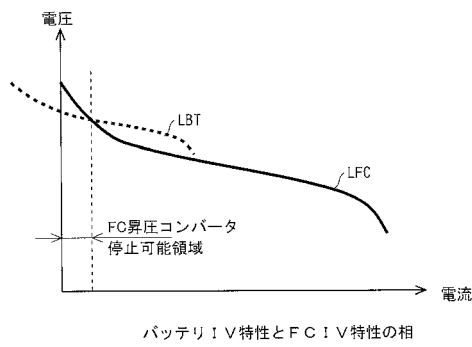
【 図 5 】



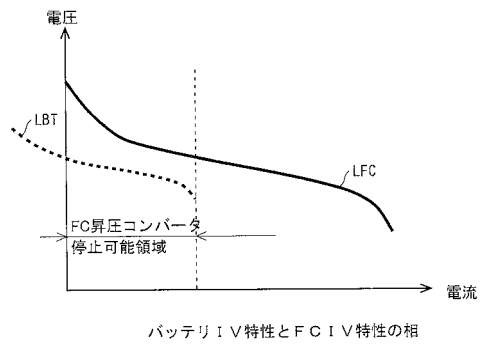
【 図 6 】



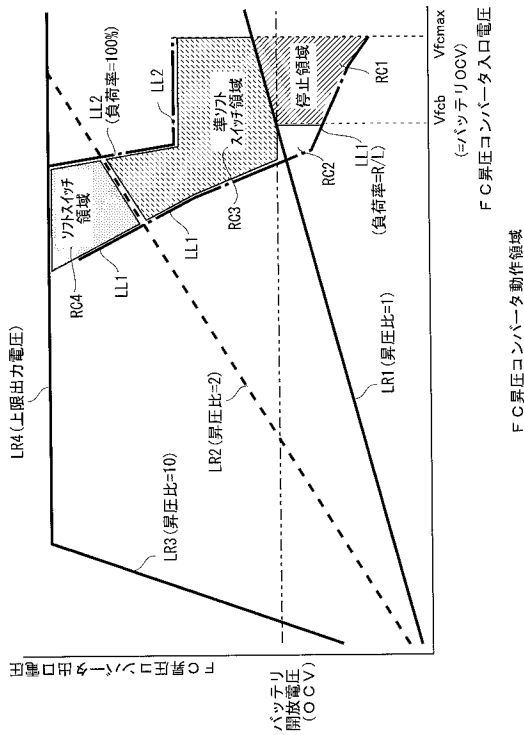
【 図 7 A 】



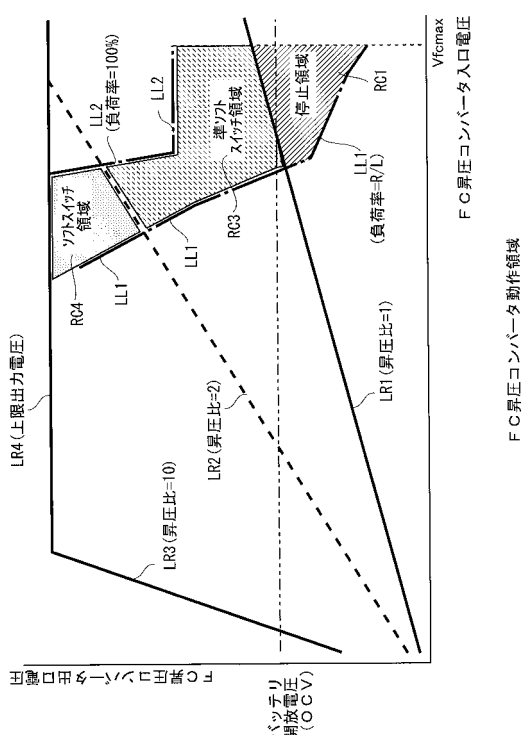
【 図 7 B 】



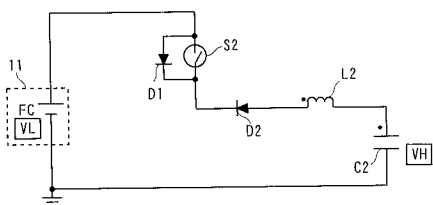
【図 8 A】



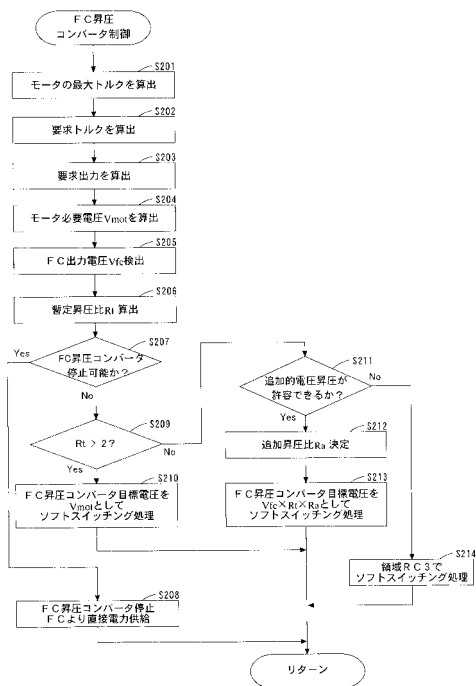
【図 8 B】



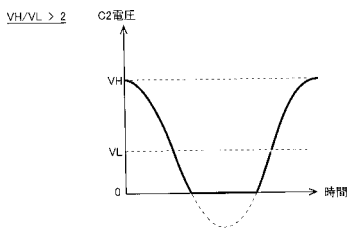
【図 9】



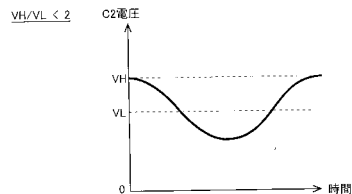
【図 11】



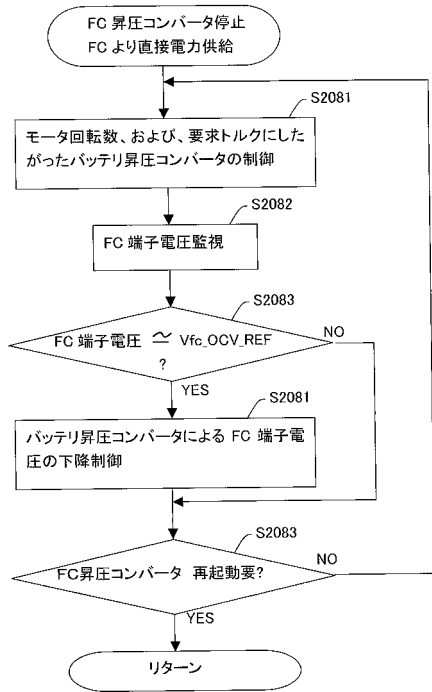
【図 10 A】



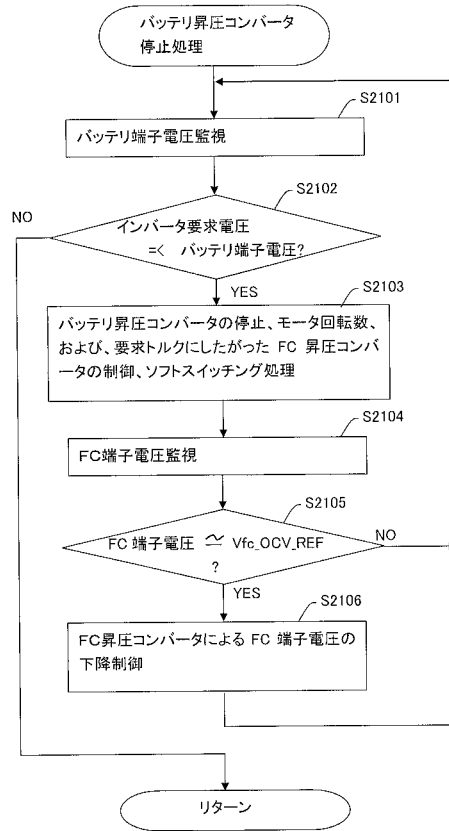
【図 10 B】



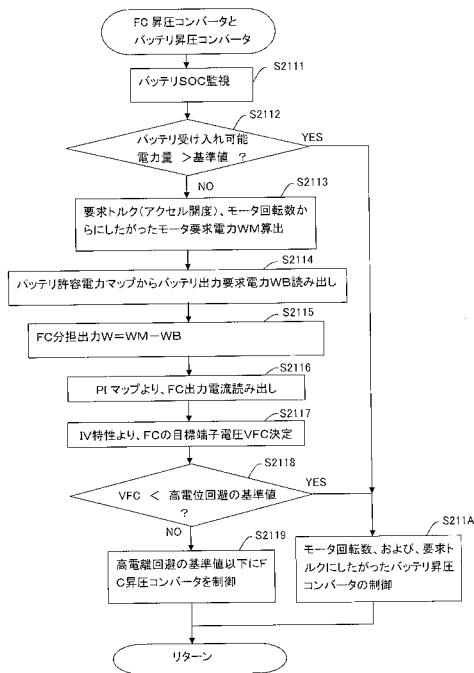
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

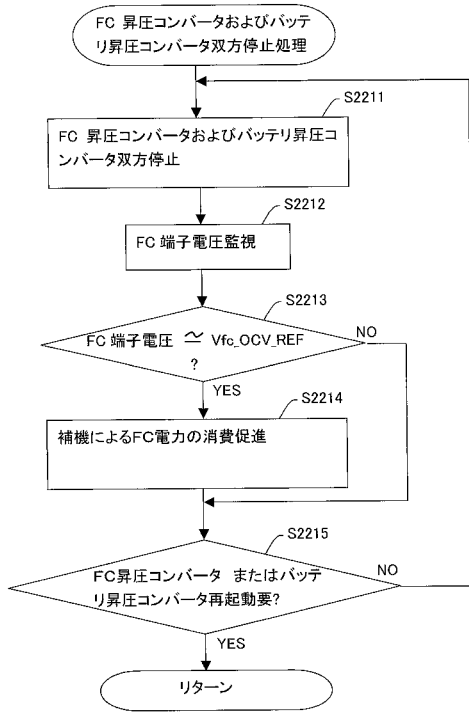


【 図 1 5 】

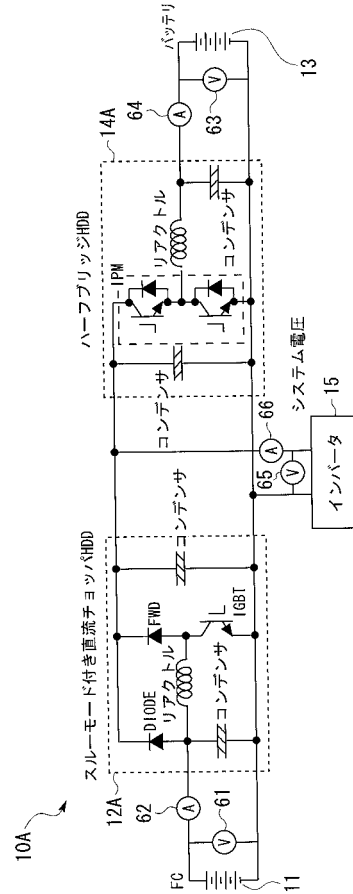
バッテリー許容電力マップ

SOC (充電率%)	20	40	60	80
放電要求電力	0	10	25	30
充電許容電力	30	20	10	0

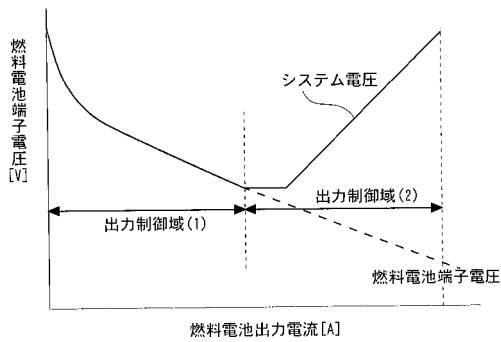
【図16】



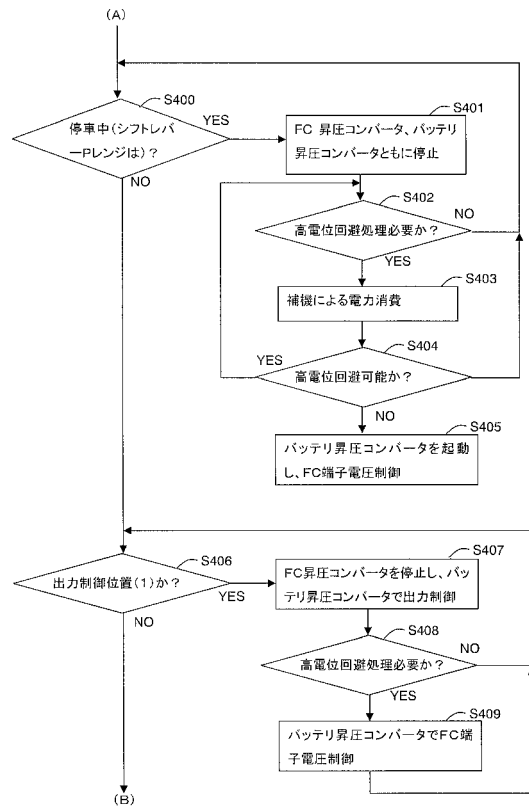
【図17】



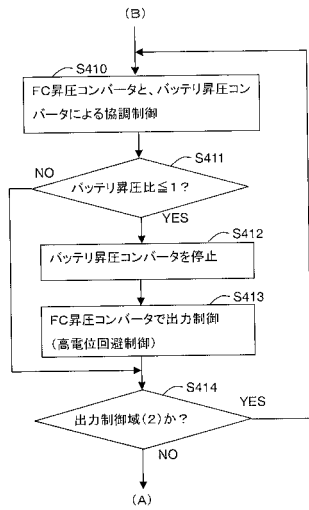
【図18】



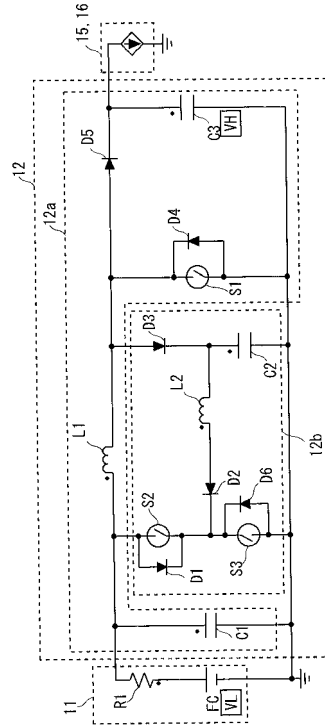
【図19】



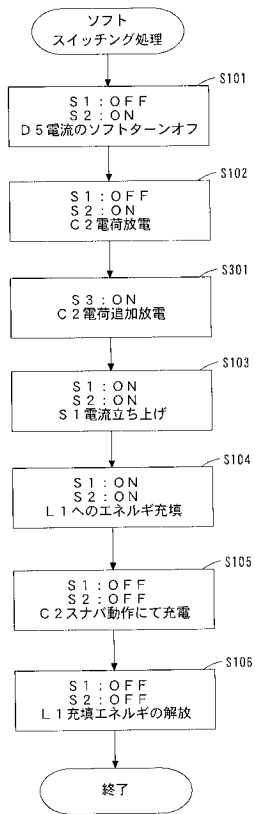
【図20】



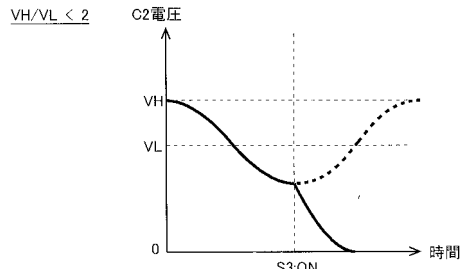
【図21】



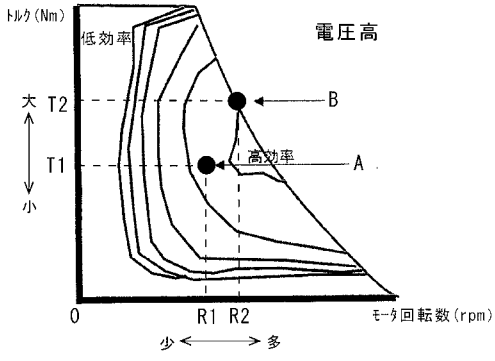
【図22】



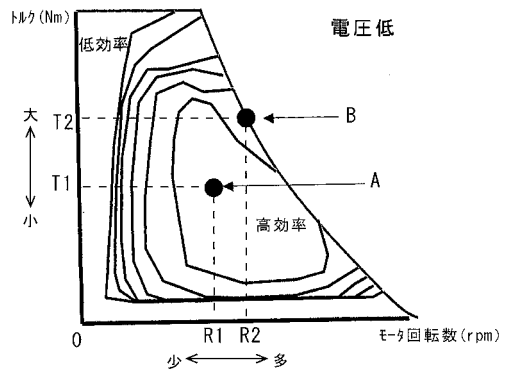
【図23】



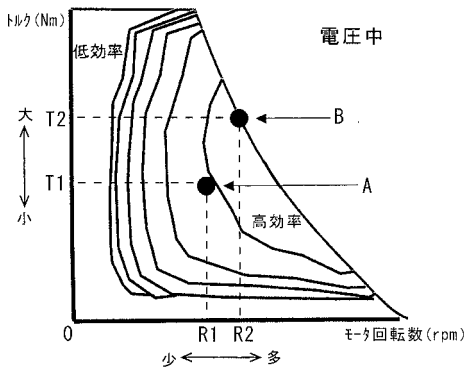
【図 2 4 A】



【図 2 4 C】



【図 2 4 B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)
H 0 2 J	7/34	(2006.01)	H 0 2 J	7/34		A
B 6 0 L	3/00	(2006.01)	B 6 0 L	3/00		S
B 6 0 L	11/18	(2006.01)	B 6 0 L	11/18		G

(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 松本 只一
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 長谷川 貴彦
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

(72)発明者 長沼 良明
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) 5G503 AA05 BA01 BB01 CA01 CA10 CA11 CC02 DA07 DA15 DA18
FA06 GB03 GB06 GD03
5H027 AA02 BA13 KK54 MM26
5H030 AS08 BB08 BB21 DD20 FF41 FF43 FF44
5H115 PA08 PA12 PC06 PG04 PI14 PI16 PI18 PI29 PI30 P006
P017 PU10 PV02 PV09 PV23 QE03 QE10 QE12 QI04 SE06
TI02 TI05 TO13 TO21 TO30 TR05 TR19 TU05 TU17 TZ03