

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5359621号
(P5359621)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int. Cl.		F I			
B60L	11/18	(2006.01)	B60L	11/18	G
H01M	8/00	(2006.01)	H01M	8/00	A
H01M	8/04	(2006.01)	H01M	8/04	P

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2009-159222 (P2009-159222)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成21年7月3日(2009.7.3)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2011-15580 (P2011-15580A)	(74) 代理人	100075258 弁理士 吉田 研二
(43) 公開日	平成23年1月20日(2011.1.20)	(74) 代理人	100096976 弁理士 石田 純
審査請求日	平成23年10月18日(2011.10.18)	(72) 発明者	田野 裕 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		審査官	上野 力

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池システムおよびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料ガスおよび酸化ガスの供給を受けて発電を行う燃料電池と、燃料電池からの発電電力が供給される負荷装置に対して前記燃料電池と並列に電圧変換装置を介して接続される蓄電装置と、前記燃料電池へのガス供給を制御するとともに前記電圧変換装置を作動制御する制御装置と、を備える燃料電池システムであって、

前記制御装置は、燃料電池に対する発電要求パワーと閾値との比較に基づいて燃料電池へのガス供給を制御することにより燃料電池の運転状態を通常発電モードおよび発電休止モードの間で切り替える間欠運転制御を実行し、燃料電池への燃料ガスおよび酸化ガスの供給が完全に又はほぼ停止される発電休止モード中に燃料電池の端子間電圧が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないようにする高電位回避制御を実行し、かつ、前記高電位回避制御されている発電休止モード中に燃料電池から流れ出る電流値が低下するに従って前記閾値を小さくする制御を実行する、制御構成を有することを特徴とする燃料電池システム。

【請求項2】

請求項1に記載の燃料電池システムにおいて、

前記制御装置は、前記発電休止モード中に燃料ガスまたは酸化ガスの補給があったことにより前記電流値が増加したときには、それに合わせて前記閾値を大きくすることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項3】

燃料ガスおよび酸化ガスの供給を受けて発電を行う燃料電池と、燃料電池から発電電力が供給される負荷装置に対して前記燃料電池と並列に電圧変換装置を介して接続される蓄電装置と、前記燃料電池へのガス供給を制御するとともに前記電圧変換装置を作動制御する制御装置と、を備える燃料電池システムの制御方法であって、

燃料電池に対する発電要求パワーと閾値との比較に基づいて燃料電池へのガス供給を制御することにより燃料電池の運転状態を通常発電モードおよび発電休止モードの間で切り替える間欠運転を行い、

燃料電池への燃料ガスおよび酸化ガスの供給が完全に又はほぼ停止される発電休止モード中に燃料電池の端子間電圧が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないようにする高電位回避制御を行い、

前記高電位回避制御されている発電休止モード中に、燃料電池から流れ出る電流値が低下するに従って前記閾値を小さくする、
ことを特徴とする燃料電池システムの制御方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の燃料電池システムの制御方法において、

前記発電休止モード中に燃料ガスまたは酸化ガスの補給があったことにより前記電流値が増加したときには、それに合わせて前記閾値を大きくすることを特徴とする燃料電池システムの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池システムおよびその制御方法に係り、特に、燃料電池について間欠運転を行う燃料電池システムおよびその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、例えば特許文献 1 に記載されるように、負荷であるモータに接続されるインバータに対し、燃料電池と二次電池とが並列に接続されて構成される燃料電池システムが知られている。このような燃料電池システムでは、モータを駆動するために必要となる要求パワーを、燃料電池に燃料ガスおよび酸化ガスを供給して発電運転させてその発電電力で賄うか、あるいは、燃料ガス等の供給を停止して燃料電池を発電休止状態として二次電池から出力させるかを、適宜に選択して、燃料電池の運転を制御している。以後、このような燃料電池の運転制御を「間欠運転」といい、発電休止状態にある運転状態を「発電休止モード」、通常発電状態にある運転状態を「通常発電モード」ということとする。

【0003】

特許文献 1 の燃料電池システムでは、要求パワーを閾値と比較して、要求パワーが前記閾値未満のときであって二次電池から前記要求パワーを出力可能であるときは発電休止モードが選択され、一方、要求パワーが前記閾値以上であるときは通常発電モードが選択されることが記載されている。そして、燃料電池の開放端電圧 (OCV) に応じて、前記閾値を調整することが述べられている。

【0004】

また、特許文献 2 には、モータ、インバータ、燃料電池およびバッテリーを備え、燃料電池の間欠運転を行う燃料電池システムが開示されている。この燃料電池システムでは、発電休止モード中に、燃料電池のアノード側の燃料オフガス中の不純物濃度が所定値以上になったときに、発電休止モードから通常発電モードに切り替えることが記載されている。ここでは、燃料オフガス中の不純物濃度を不純物濃度センサから得られる水素濃度および水蒸気濃度の検出値に基づいて算出することが述べられている。

【0005】

さらに、特許文献 3 に開示される間欠運転する燃料電池システムでは、燃料電池の発電休止モードを継続すると燃料電池の性能低下が起きると判定されると、燃料電池を発電休

10

20

30

40

50

止モードから通常発電モードに移行することが記載されている。この燃料電池システムでは、燃料オフガス中の窒素濃度等に基づいて燃料電池の性能低下が起きるか否かが判定されることが述べられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-71797号公報

【特許文献2】特開2006-318764号公報

【特許文献3】特開2005-26054号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記特許文献1の燃料電池システムでは、燃料電池を開放端電圧の状態で使用することが条件となるが、燃料電池では開放端電圧に上昇すると燃料電池内に用いられる触媒が溶出等して劣化し、燃料電池の性能が低下するという問題がある。

【0008】

また、特許文献2, 3の燃料電池システムでは、燃料電池の燃料オフガス中の不純物濃度を検出するために特別な検出手段を設ける必要があり、コスト高を招くことになる。

【0009】

本発明は、燃料電池を間欠運転させる燃料電池システムにおいて、燃料電池の触媒劣化を抑制しつつ、間欠運転する燃料電池の応答性およびエネルギー効率を向上させることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明に係る燃料電池システムは、燃料ガスおよび酸化ガスの供給を受けて発電を行う燃料電池と、燃料電池から発電電力が供給される負荷装置に対して前記燃料電池と並列に電圧変換装置を介して接続される蓄電装置と、前記燃料電池へのガス供給を制御するとともに前記電圧変換装置を作動制御する制御装置と、を備える燃料電池システムであって、前記制御装置は、燃料電池に対する発電要求パワーと閾値との比較に基づいて燃料電池へのガス供給を制御することにより燃料電池の運転状態を通常発電モードおよび発電休止モードの間で切り替える間欠運転制御を実行し、燃料電池への燃料ガスおよび酸化ガスの供給が完全に又はほぼ停止される発電休止モード中に燃料電池の端子間電圧が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないようにする高電位回避制御を実行し、かつ、前記高電位回避制御されている発電休止モード中に燃料電池から流れ出る電流値が低下するに従って前記閾値を小さくする制御を実行する、制御構成を有する。

30

【0011】

ここで「発電休止」の文言は、通常発電状態ではないことを意味するものであって、発電を全く行っていない状態を指すものではない。

【0013】

また、本発明に係る燃料電池システムにおいて、前記制御装置は、前記発電休止モード中に燃料ガスまたは酸化ガスの補給があったことにより前記電流値が増加したときには、それに合わせて前記閾値を大きくするのが好ましい。

40

【0014】

本発明に係る燃料電池システムの制御方法は、燃料ガスおよび酸化ガスの供給を受けて発電を行う燃料電池と、燃料電池から発電電力が供給される負荷装置に対して前記燃料電池と並列に電圧変換装置を介して接続される蓄電装置と、前記燃料電池へのガス供給を制御するとともに前記電圧変換装置を作動制御する制御装置と、を備える燃料電池システムの制御方法であって、燃料電池に対する発電要求パワーと閾値との比較に基づいて燃料電池へのガス供給を制御することにより燃料電池の運転状態を通常発電モードおよび発電休止モードの間で切り替える間欠運転を行い、燃料電池への燃料ガスおよび酸化ガスの供給

50

が完全に又はほぼ停止される発電休止モード中に燃料電池の端子間電圧が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないようにする高電位回避制御を行い、前記高電位回避制御されている発電休止モード中に、燃料電池から流れ出る電流値が低下するに従って前記閾値を小さくする。

【0016】

また、本発明に係る燃料電池システムの制御方法において、前記発電休止モード中に燃料ガスまたは酸化ガスの補給があったことにより前記電流値が増加したときには、それに合わせて前記閾値を大きくするのが好ましい。

【発明の効果】

【0017】

本発明に係る燃料電池システムおよびその制御方法では、燃料電池への燃料ガスの供給が完全に又はほぼ停止される発電休止モード中に燃料電池の端子間電圧が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないようにする高電位回避制御を行い、かつ、前記高電位回避制御されている発電休止モード中に燃料電池から流れ出る電流値が低下するに従って前記閾値を小さくする制御を行っている。

【0018】

発電休止モード中の燃料電池内では、残存する燃料ガスと酸化ガスとの電気化学反応により発電が継続されて端子間電圧が開放端電圧に上昇する傾向にあるが、上記のように高電位回避制御を行うことにより端子間電圧が開放端電圧に到達しないようにすることで、触媒劣化を抑制することができる。

【0019】

また、高電位回避制御されている発電休止モード中の燃料電池では、燃料電池への燃料ガス供給が基本的に停止されているため上記のように微弱発電が継続されて燃料が消費されることによって燃料電池内の燃料ガスに含まれる燃料濃度が次第に低下する一方で、カソード側から電解質膜を介して透過してくる窒素や水蒸気等の不純物濃度が高くなっていく。これに伴って、燃料電池から流れ出る電流値が次第に低下する傾向にある。このように不純物濃度が高くなってガス品質が相当低下した状態で燃料ガス等の供給を再開して発電休止モードから通常発電モードに移行すると、燃料電池内の燃料ガスのガス品質が改善されて所定の出力が出せる状態に復帰するまでに時間がかかり、この時間はガス品質が悪化するほど長くなって応答性が悪くなる。これに対し、本発明では、前記電流値に応じて前記閾値を変更する、例えば電流値が低下するに従って前記閾値を小さくすることで、発電休止モードから通常発電モードへの移行基準を下げて燃料ガスのガス品質が相当程度悪化する前に通常発電モードに移行させることにより、間欠運転する燃料電池の応答性を向上させることができる。

【0020】

一方、前記閾値が一定である場合には、燃料電池内の燃料ガスのガス品質がそれほど悪化していない状態で燃料電池が発電休止モードから通常発電モードへと移行する事態が頻繁に起こり得、そうすると燃料ガスの無駄が大きくなりエネルギー効率（または燃費）が悪くなる。これに対し、本発明では、前記電流値に応じて前記閾値を変更する、例えば発電休止モード中の燃料ガスの補給によって電流値が増加した場合等には前記閾値を大きくすることで、上記のように燃料ガスのガス品質がそれほど悪化していない状態で燃料電池が発電休止モードから通常発電モードへと移行する事態を抑制して、間欠運転する燃料電池のエネルギー効率を向上させることができる。

【0021】

さらには、本発明では、高電位回避制御されている発電休止モード中の燃料電池から流れ出る電流を検出し、それに応じて燃料電池の運転状態切り替えの参照基準である閾値の変更を行っている。燃料電池の出力状態を監視するために電流センサや電圧センサを設けるのは一般的であるから、発電休止モード中の燃料電池内の燃料ガスに含まれる不純物濃度を検出するための窒素濃度センサや水蒸気濃度センサ等の特別なセンサを必要とせず、燃料ガスのガス品質低下に適切に対応して上記閾値を変更することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、本発明の一実施形態である燃料電池システムの概略構成図である。

【図2】図2は、燃料電池の間欠運転制御の処理手順を示すフローチャートである。

【図3】図3は、発電休止モード中に高電位回避制御下にある燃料電池から流れ出る電流と、発電休止モードから通常発電モードに移行した際に所定の発電パワーを出力できる状態になるまでに要する時間との関係を示すグラフである。

【図4】図4は、発電休止モード中に、燃料電池から流れ出る電流が低下するのに応じて、通常発電モードへの移行を判定するための閾値を小さくする様子を示す図である。

【図5】図5は、発電休止モード中に、燃料電池から流れ出る電流が上昇に転じたときに、通常発電モードへの移行を判定するための閾値も大きくする様子を示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に、本発明に係る実施の形態について添付図面を参照しながら詳細に説明する。この説明において、具体的な形状、材料、数値、方向等は、本発明の理解を容易にするための例示であって、用途、目的、仕様等にあわせて適宜変更することができる。

【0024】

図1は、本願の一実施形態である燃料電池システム10が燃料電池車両の車載電源システムとして用いられている例を示すシステム概略構成図である。燃料電池システム10は、燃料および酸化ガスの供給を受けて発電する燃料電池12と、酸化ガスとしての空気中の酸素を燃料電池12に供給するための空気供給系30と、燃料としての水素を燃料電池12に供給するための水素供給系50と、燃料電池12と負荷装置であるモータ78とを電氣的に接続する電力系70と、システム全体を統括制御する制御装置であるECU(Electronic Control Unit)90とを備える。

20

【0025】

燃料電池12は、多数の燃料電池セルを電氣的に直列接続した状態で積層してなる固体高分子電解質膜型セルスタックである。燃料電池12では、燃料極(アノード極)において $H_2 \rightarrow 2H^{++} + 2e^-$ で表される酸化反応が生じ、空気極(カソード極)において $(1/2)O_2 + 2H^{++} + 2e^- \rightarrow H_2O$ で表される還元反応が生じる。そして、燃料電池12全体としては、 $H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O$ で表される電気化学反応が生じることになる。

30

【0026】

燃料電池12は、正極母線13および負極母線14を介して電力系70に電氣的に接続されている。正極母線13には、燃料電池12から出力される電流(以下、適宜に「FC電流」という。) I_{FC} を検出する電流センサ18が設けられている。また、正極母線13および負極母線14間には、燃料電池12の端子間電圧(以下、適宜に「FC電圧」という。) V_{FC} を検出する電圧センサ16が設けられている。これらのセンサ16, 18の検出信号は、ECU90へ送信されて、燃料電池システム10の制御に利用される。

【0027】

空気供給系30は、燃料電池12の空気極に供給される空気が流れる空気供給通路32と、燃料電池12から排出される空気が流れる空気排出通路34とを有している。空気供給通路32には、エアフィルタ36を介して大気中から空気を取り込むエアコンプレッサ38と、エアコンプレッサ38により圧縮加圧される空気を適度に加湿するための加湿器40と、燃料電池12への空気供給を遮断するための遮断弁42とが設けられている。一方、空気排出通路34には、燃料電池12からの空気の排出を遮断するための遮断弁44と、空気供給圧を調整するための調圧弁46とが設けられている。上記加湿器40は、空気排出通路34に燃料電池12から空気と一緒に排出された生成水が加湿器40内を通過する際に回収されて、空気供給通路32を介して供給される空気の加湿に利用されるように構成されている。

40

【0028】

50

水素供給系 5 0 は、例えば高圧水素タンクなどからなる水素供給源 5 2 と、水素供給源 5 2 から燃料電池 1 2 の燃料極に供給される水素ガスが流れる水素供給通路 5 4 と、燃料電池 1 2 から排出される水素オフガスが流れる水素排出通路 5 6 と、水素排出通路 5 6 から分岐して水素供給通路 5 4 に接続される循環通路 5 8 と、燃料電池 1 2 から排出された水素オフガスを水素排出通路 5 6 から循環通路 5 8 を介して水素供給通路 5 4 へ循環供給するための循環ポンプ 6 0 と、を含んで構成されている。

【 0 0 2 9 】

水素供給源 5 2 から燃料電池 1 2 に接続する水素供給通路 5 4 には、水素ガス供給方向の上流側から順に、水素供給源 5 2 からの水素ガスの流出を遮断する遮断弁 6 1、水素供給源 5 2 から噴出する水素ガスを適度に減圧する調圧弁 6 2、燃料電池 1 2 への水素供給量を制御するインジェクタ 6 3、燃料電池 1 2 への水素ガス供給を遮断するための遮断弁 6 4、および、燃料電池 1 2 に供給される水素ガスの圧力を検出する圧力センサ 6 5 が設置されている。一方、水素排出通路 5 6 には、水素オフガス排出方向の上流側から順に、燃料電池 1 2 からの水素オフガス排出を遮断するための遮断弁 6 6 と、水素オフガスをシステム外に排出する際に開弁される水素オフガス排出用遮断弁 6 7 とが設置されている。

【 0 0 3 0 】

なお、本実施形態の水素供給系 5 0 では、水素供給源 5 2 に貯蔵された水素が燃料電池 1 2 に供給されるものとして説明するが、これに限定されず、天然ガス等の炭化水素系燃料を水蒸気により改質して生成される水素リッチガスを燃料電池 1 2 に供給するようにしてもよい。

【 0 0 3 1 】

上記空気供給系 3 0 および水素供給系 5 0 に含まれる遮断弁 4 2 , 4 4 , 6 1 , 6 4 , 6 6 , 6 7 には、E C U 9 0 からの指令を受けて開弁または閉弁する電磁弁などが好適に用いられる。また、調圧弁 4 6 , 6 2 は、その上流側の一次圧力を予め設定した二次圧に調圧する装置であり、例えば一次圧を減圧する機械式の減圧弁などが好適に用いられる。さらに、インジェクタ 6 3 は、電磁駆動力により開閉可能な弁体を有する電磁式の開閉弁などにより好適に構成され、弁体の開度または開弁時間が制御されることによって通過する水素ガス流量および水素ガス圧を調整できるようになっている。

【 0 0 3 2 】

電力系 7 0 は、D C / D C コンバータ（電圧変換装置）7 2、バッテリー（蓄電装置）7 4、インバータ 7 6 および交流モータ（負荷装置）7 8 を含む。インバータ 7 6 は、正極母線 1 3 および負極母線 1 4 を介して燃料電池 1 2 に電氣的に接続されており、燃料電池 1 2 から供給される直流電力を交流電力に変換して交流モータ 7 8 に印加する機能と、逆に、回生制動時に交流モータ 7 8 が発電機として機能するときには交流モータ 7 8 から出力される交流電力を直流電圧に変換する機能とを有する。インバータ 7 6 は、例えばそれぞれ複数の I G B T などの電力用スイッチング素子およびダイオードによって構成されることができ、上記電力用スイッチング素子が E C U 9 0 によってオン・オフ制御されることによって、直流電圧を三相交流電圧に又はこの逆に変換することができる。

【 0 0 3 3 】

交流モータ 7 8 には、三相同期型交流モータを好適に用いることができる。交流モータ 7 8 は、インバータ 7 6 によって変換された三相交流電圧が印加されることによって駆動される。交流モータ 7 8 の駆動力は、車軸を介して車輪（いずれも図示せず。）に伝達され、これにより車両の走行力が得られる。

【 0 0 3 4 】

また、正極母線 1 3 および負極母線 1 4 には、交流モータ 7 8 に接続されるインバータ 7 6 に対して燃料電池 1 2 と並列に、D C / D C コンバータ 7 2 を介してバッテリー 7 4 が接続されている。D C / D C コンバータ 7 2 は、バッテリー 7 4 から供給される直流電力を昇圧してインバータ 7 6 に供給する昇圧機能と、交流モータ 7 8 からの回生電力および燃料電池 1 2 からの発電電力をバッテリー充電用に降圧する降圧機能とを有する双方向コンバ

10

20

30

40

50

ータであり、例えば I G B T などの電力用スイッチング素子、ダイオード、リアクトル等から構成されることができる既知の構成のものである。

【 0 0 3 5 】

また、D C / D C コンバータ 7 2 は、E C U 9 0 からの制御信号を受けて電力用スイッチング素子がオフ・オフ制御されることにより、上記のような昇圧および降圧機能を果たすことができる。さらに、D C / D C コンバータ 7 2 は、燃料電池 1 2 の発電休止モード中に、正極母線 1 3 および負極母線 1 4 との接続点を所定電位に保持することにより燃料電池 1 2 の電位が O C V (開放端電圧) へと上昇するのを抑制する高電位回避制御に用いられることができる。この高電位回避制御については、後に改めて説明する。

【 0 0 3 6 】

バッテリー 7 4 は、余剰電力の貯蔵源、回生制動時の回生エネルギー貯蔵源、燃料電池車両の加速又は減速に伴う負荷変動時のエネルギーバッファとして機能する。バッテリー 7 4 としては、例えばニッケル水素電池やリチウム二次電池等の二次電池が好適に用いられる。ただし、バッテリーに代えて、内部での化学反応を伴わずに蓄電可能なキャパシタが蓄電装置として用いられてもよい。バッテリー 7 4 には、S O C (State of charge) を検出するための S O C センサ (図示せず) が取り付けられている。具体的には、S O C センサは、バッテリー電流を検出する電流センサで構成されることができ、E C U 9 0 はその電流センサの検出値を積算することによってバッテリー 7 4 の残容量を監視することで、必要に応じてバッテリー 7 4 に対して充放電制限をかけることができる。また、バッテリー 7 4 の温度および電圧を検出する温度センサおよび電圧センサが設けられてよく、これらのセンサの検出信号を E C U 9 0 に入力してバッテリー 7 4 の状態管理に用いてもよい。

【 0 0 3 7 】

E C U 9 0 は、各種プログラムを実行する C P U、各種プログラム等を予め記憶する R O M、検出データ等を一時記憶する R A M、及び、各種信号の入出力部である入出力インターフェース等を備えるコンピュータシステムであり、燃料電池システム 1 0 の各部を制御する。例えば、E C U 9 0 は、ユーザ操作によりイグニッションスイッチ (図示せず) から出力される起動信号 I G を受信すると、燃料電池システム 1 0 の運転を開始し、アクセルセンサから出力されるアクセル開度信号 A C C や車速センサから出力される車速信号 S v c などを基に、システム 1 0 全体の要求電力を算出する。

【 0 0 3 8 】

そして、E C U 9 0 は、燃料電池 1 2 とバッテリー 7 4 とのそれぞれの出力電力の配分を決定し、燃料電池 1 2 の発電パワーが目標電力に一致するように、空気供給系 3 0 及び水素供給系 5 0 を制御するとともに、D C / D C コンバータ 7 2 を制御して、燃料電池 1 2 の出力電圧を調整することにより、燃料電池 1 2 の運転ポイント (F C 電圧、F C 電流) を制御する。更に、E C U 9 0 は、アクセル開度に応じた目標トルクが得られるように、例えば、スイッチング指令として、U相、V相、及びW相の各交流電圧指令値をインバータ 7 6 に出力し、交流モータ 7 8 の出力トルク及び回転数を制御する。

【 0 0 3 9 】

続いて、上記構成からなる燃料電池システム 1 0 における燃料電池 1 2 の間欠運転と高電位制御について図 2 ないし 4 を参照して説明する。図 2 は燃料電池 1 2 の間欠運転制御の処理手順を示すフローチャート、図 3 は、発電休止モード中に高電位回避制御下にある燃料電池 1 2 から流れ出る電流 I_{FC} と、発電休止モードから通常発電モードに移行した際に所定の発電パワーを出力できる状態になるまでに要する時間との関係を示すグラフ、図 4 は、発電休止モード中に、燃料電池 1 2 から流れ出る電流 I_{FC} が低下するのに応じて、通常発電モードへの移行を判定するための閾値 P_{thr} を小さくする様子を示す図である。

【 0 0 4 0 】

燃料電池システム 1 0 では、運転負荷に応じて、燃料電池 1 2 の運転状態を通常発電モードと発電休止モードとの間で間欠的に切り替える間欠運転を行うことによりシステム 1 0 のエネルギー効率向上が図られている。燃料電池システム 1 0 は、発電効率の低い低負

10

20

30

40

50

荷領域では、燃料電池 1 2 の発電要求パワー P^* をゼロに設定して発電休止モードでの運転状態に制御され、車両走行に要する電力やシステム運用に必要な電力をバッテリー 7 4 からの電力によって賄う。一方、発電効率の高い高負荷領域では、アクセル開度 ACC や車速 Svc などを基に燃料電池 1 2 の発電要求パワー P^* を算出して通常発電モードでの運転状態とし、車両走行に要する電力やシステム運用に必要な電力を燃料電池 1 2 による発電電力のみによって賄う。ただし、燃料電池 1 2 が通常発電モードにあるときに、燃料電池 1 2 による発電電力とバッテリー 7 4 からの電力とを合わせて車両要求パワーを満たすようにしてもよい。

【 0 0 4 1 】

図 2 に示すフローチャートにしたがって、燃料電池 1 2 の間欠運転制御の処理手順について説明する。この制御フローは、燃料電池システム 1 0 が運転されている間、所定時間（例えば数 ms ）ごとに $ECU90$ において実行される。

10

【 0 0 4 2 】

まず、燃料電池 1 2 に対する発電要求パワー P^* (kW) が所定の閾値 P_{thr} (kW) よりも小さいか否かが判定される（ステップ $S10$ ）。ここでの閾値 P_{thr} は、燃料電池 1 2 の発電効率やシステム全体としてのエネルギー効率等を考慮して設定されるものである。

【 0 0 4 3 】

上記判定において発電要求パワー P^* が閾値 P_{thr} よりも小さいと判定されると（ステップ $S10$ で YES ）、燃料電池 1 2 の運転状態が通常発電モードから発電休止モードに移行するか、または、発電休止モードが継続される（ステップ $S12$ ）。発電休止モードでは、遮断弁 42 、 44 、 61 、 64 、 66 が閉弁されるとともにエアコンプレッサ 38 および循環ポンプ 60 が作動停止され、燃料電池 1 2 への空気および水素の供給が停止される（図 1 参照）。

20

【 0 0 4 4 】

一方、上記判定において発電要求パワー P^* が閾値 P_{thr} 以上であると判定されると（ステップ $S10$ で NO ）、燃料電池 1 2 は空気および水素の供給を受けて通常発電モードで運転される（ステップ $S14$ ）。

【 0 0 4 5 】

燃料電池 1 2 が発電休止モードにあるとき、高電位回避制御が合わせて実行される（ステップ $S12$ ）。この高電位回避制御では、 $ECU90$ から制御信号によって DC/DC コンバータ 72 を作動制御することにより、燃料電池 1 2 の端子間電圧 V_{FC} が開放端電圧 OCV よりも低く設定される上限電圧を超えないように維持される。この上限電圧は、燃料電池 1 2 の各燃料電池セルに含まれる触媒、例えば白金触媒が溶出しない程度の電位であることが好ましく、1つの燃料電池セルあたりの電圧が最大出力電圧の 90% 程度になるように設定するのが好適である。

30

【 0 0 4 6 】

このように運転状態が発電休止モードにある燃料電池 1 2 について高電位回避制御を実行することにより、燃料電池 1 2 の触媒劣化を抑制することができる。ただし、このような高電位回避制御は、発電休止モード中に限らず、燃料電池 1 2 が通常発電モードで運転されるときにも行ってもよい。

40

【 0 0 4 7 】

燃料電池 1 2 が発電休止モードにあるとき、燃料電池 1 2 への空気および水素の供給が完全に停止されるが、燃料電池 1 2 内のマニホールドや燃料電池セルの流路に残存する酸素と水素との電気化学反応により微弱な発電が継続され、燃料電池 1 2 の端子間電圧 V_{FC} が上昇する傾向にあるが、上記のように高電位回避制御を行うことにより端子間電圧 V_{FC} が開放端電圧よりも低い上限電圧を超えないように一定に維持される。この様子が図 4 に示されている。図 4 において、横軸は時間であり、縦軸には上段から順に、 FC 電圧 V_{FC} 、 FC 電流 I_{FC} 、通常発電モードへの移行を判定する閾値 P_{thr} 、燃料電池 1 2 への発電要求パワー、および、 FC 運転状態が示されている。

50

【 0 0 4 8 】

図 4 に示すように、燃料電池 1 2 の運転状態が発電休止モードにあるとき、高電位回避制御によって F C 電圧 V_{FC} が O C V よりも低電位の上限電圧で一定に維持されるが、このとき燃料電池 1 2 内では微弱な発電が継続されていることにより燃料電池 1 2 から F C 電流 I_{FC} が流れ出ることになる。この F C 電流 I_{FC} は、電流センサ 1 8 によって検出される。

【 0 0 4 9 】

上記のように高電位回避制御されている発電休止モード中の燃料電池 1 2 では、上記のように微弱発電が継続されて水素が消費されることによって燃料電池 1 2 内の水素濃度が次第に低下する一方で、各燃料電池セルのカソード（空気極）側から電解質膜を介してアノード（燃料極）側に透過してくる窒素や水蒸気等の不純物濃度が高くなっていく。これに伴って、燃料電池 1 2 から流れ出る F C 電流 I_{FC} の電流値が次第に低下する傾向にある。このように燃料電池 1 2 のアノード側の不純物濃度が高くなってガス品質が相当低下した状態で水素および空気の供給を再開して発電休止モードから通常発電モードに移行すると、燃料電池 1 2 内のアノード側のガス品質が改善されて所定の発電パワーが出力できる状態に復帰するまでに時間がかかり、この時間はガス品質が悪化するほど長くなって応答性が悪くなる。その様子が図 3 のグラフに示される。図示されるように、発電休止モード中の F C 電流 I_{FC} が小さくなるほど、燃料電池 1 2 が所定の発電パワーを出力できるまでに要する時間 T_r が長くなる、すなわち燃料電池 1 2 の応答性が悪化することが分かっている。

【 0 0 5 0 】

そこで、図 2 , 4 を再び参照すると、E C U 9 0 は、検出される F C 電流 I_{FC} に応じて、発電休止モードから通常発電モードへの移行基準となる上記閾値 P_{thr} を変更する処理を実行する（ステップ S 1 6）。具体的には、F C 電流 I_{FC} が低下するに従って、閾値 P_{thr} を小さく設定する処理を行う。この処理での閾値 P_{thr} は、ROM にマップまたはテーブルの形式で予め記憶された F C 電流 I_{FC} および閾値 P_{thr} の関係から導かれる。

【 0 0 5 1 】

このように F C 電流 I_{FC} が低下するに従って閾値 P_{thr} が小さく変更される様子が、図 4 中の上から 2 段目および 3 段目に示されている。ここでは、F C 電流 I_{FC} が時間の経過に伴って直線的に低下し、これに伴って閾値 P_{thr} も直線的に小さくなるように例示されているが、勿論、閾値 P_{thr} の変更の仕方はこれに限定されるものでない。例えば、F C 電流 I_{FC} が曲線的に低下するに従って閾値 P_{thr} も曲線的に小さくなるように設定されてもよいし、あるいは、F C 電流 I_{FC} が曲線的に低下する場合でも閾値 P_{thr} が直線的に小さくなるように設定されてもよいし、この逆であってもよい。

【 0 0 5 2 】

そして、燃料電池 1 2 に対する発電要求パワー P^* が上記のように F C 電流 I_{FC} に伴って小さく設定される閾値 P_{thr} 以上であるか否かが判定される（ステップ S 1 8）。この判定で肯定されるまで、上記ステップ S 1 6 および S 1 8 が繰り返し処理され、発電要求パワー P^* が F C 電流 I_{FC} 以上になったとき、燃料電池 1 2 への空気および水素の供給が再開されることにより燃料電池 1 2 の運転状態が発電休止モードから通常発電モードに移行し、これと同時に閾値 P_{thr} が初期設定値に戻される（ステップ S 2 0）。

【 0 0 5 3 】

この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 電流 I_{FC} が低下するのに従って閾値 P_{thr} を小さく設定することで、発電休止モードから通常発電モードへの移行基準を下げて燃料電池 1 2 のアノード側のガス品質が相当程度悪化する前に通常発電モードに移行させることが可能になり、その結果、間欠運転する燃料電池 1 2 の応答性を向上させることができる。

【 0 0 5 4 】

その一方、間欠運転する燃料電池 1 2 における発電休止モードから通常発電モードへの

10

20

30

40

50

移行時の応答性を確保するために閾値 P_{thr} を比較的低い値で一定とした場合には、燃料電池 12 内の水素ガスのガス品質がそれほど悪化していない状態で燃料電池 12 が発電休止モードから通常発電モードへと移行する事態が頻繁に起こり得、そうすると水素ガスの無駄が大きくなりエネルギー効率（または燃費）が悪くなる。これに対し、本実施形態の燃料電池システム 10 では、閾値 P_{thr} の初期値をある程度高く設定しておいて FC 電流 I_{FC} の低下に応じて閾値 P_{thr} を小さくすることで、間欠運転する燃料電池 12 の応答性向上を図りながら、上記のような水素ガスの無駄を抑制してエネルギー効率を向上させることができる。

【0055】

次に、図 5 を参照して上記実施形態の変形例を示す。図 5 は、発電休止モード中に、FC 電流 I_{FC} が上昇に転じたときに、通常発電モードへの移行を判定するための閾値 P_{thr} も大きくする様子を示す、図 4 の 2 段目および 3 段目と同様の図である。

10

【0056】

燃料電池 12 が発電休止モードにあるとき、ECU 90 は、燃料電池 12 内のアノード側のガス圧低下を抑制するために、圧力センサ 65 から入力される検出信号に基づいて遮断弁 61, 64 を一時的に開弁して水素ガスを補給することがある。このような場合、燃料電池 12 内の水素濃度が少し高くなってガス品質が若干改善され、これに伴って発電性能が上がって FC 電流 I_{FC} が一旦増加に転じる。このとき、FC 電流 I_{FC} の一時的増加に合わせて上記閾値 P_{thr} も大きくするように変更することが好ましい。このようにすることで、燃料電池 12 のアノード側のガス品質により適切に対応して閾値 P_{thr} を変更することができ、上述した水素ガスの無駄抑制によるエネルギー効率向上をより効果的なものにできる。ここで、発電休止モード中に燃料電池 12 のカソード側に空気が補給されることもあり、このとき燃料電池 12 内の酸素濃度が少し高くなることにより FC 電流 I_{FC} が増加する場合がある。このような場合にも上記と同様に対応するのが好ましい。

20

【0057】

なお、上記実施形態では、燃料電池システムが車両の電源システムとして適用された例について説明したが、本発明に係る燃料電池システムは、例えば船舶、飛行機、ロボット等の車両以外に移動体の電源システムとして適用されてもよい。

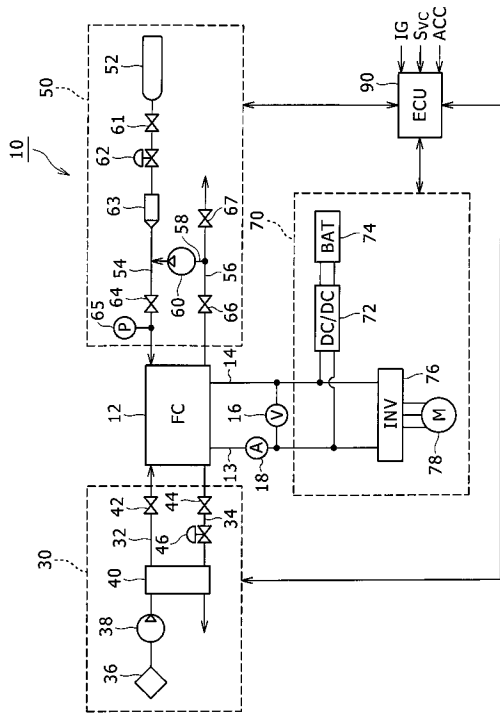
【符号の説明】

【0058】

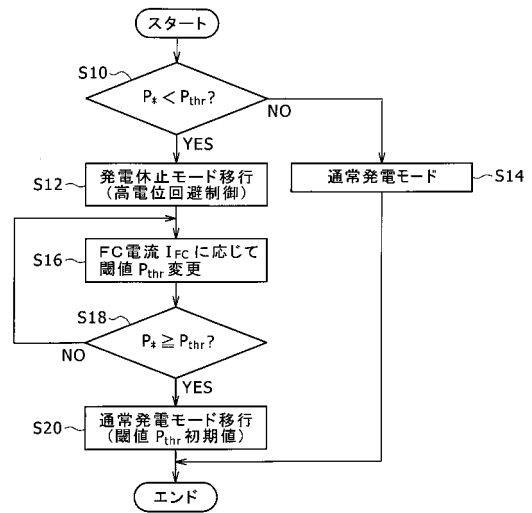
10 燃料電池システム、12 燃料電池、13 正極母線、14 負極母線、16 電圧センサ、18 電流センサ、30 空気供給系、32 空気供給通路、34 空気排出通路、36 エアフィルタ、38 エアコンプレッサ、40 加湿器、42, 44, 61, 64, 66, 67 遮断弁、46, 62 調圧弁、50 水素供給系、52 水素供給源、54 水素供給通路、56 水素排出通路、58 循環通路、60 循環ポンプ、63 インジェクタ、65 圧力センサ、70 電力系、72 DC/DC コンバータ、74 バッテリ、76 インバータ、78 交流モータ、90 ECU。

30

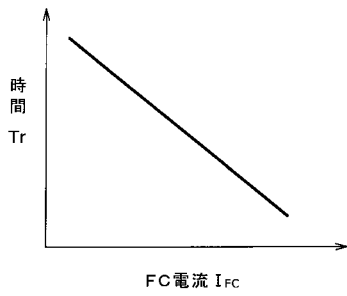
【図1】



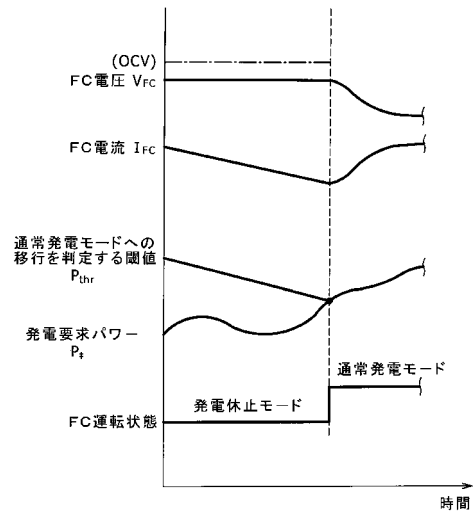
【図2】



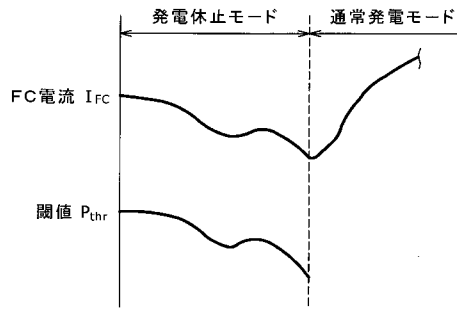
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-026736(JP,A)
特開2005-026054(JP,A)
特開2003-303605(JP,A)
特開2007-250429(JP,A)
特開2006-278276(JP,A)
特開2009-026496(JP,A)
特開2007-258117(JP,A)
特開2009-129639(JP,A)
特開2005-071797(JP,A)
特開2006-318764(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L 11/18
H01M 8/00
H01M 8/04