

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3662872号

(P3662872)

(45) 発行日 平成17年6月22日(2005.6.22)

(24) 登録日 平成17年4月1日(2005.4.1)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

H O 1 M 8/04

H O 1 M 8/04

P

B 6 O L 11/18

B 6 O L 11/18

G

H O 1 M 8/00

H O 1 M 8/00

A

H O 1 M 8/10

H O 1 M 8/00

Z

H O 2 J 1/00

H O 1 M 8/10

請求項の数 11 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-310600 (P2001-310600)  
 (22) 出願日 平成13年10月5日(2001.10.5)  
 (65) 公開番号 特開2002-216818 (P2002-216818A)  
 (43) 公開日 平成14年8月2日(2002.8.2)  
 審査請求日 平成15年11月5日(2003.11.5)  
 (31) 優先権主張番号 特願2000-351129 (P2000-351129)  
 (32) 優先日 平成12年11月17日(2000.11.17)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000005326  
 本田技研工業株式会社  
 東京都港区南青山二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100108578  
 弁理士 高橋 詔男  
 (74) 代理人 100101465  
 弁理士 青山 正和  
 (74) 代理人 100094400  
 弁理士 鈴木 三義  
 (74) 代理人 100107836  
 弁理士 西 和哉  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池電源装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料電池と電気二重層キャパシタとを電気負荷に対して並列に接続した燃料電池電源装置であって、

所定の出力状態において、該出力状態における燃料電池の電流電圧特性上の平衡点を起点とした燃料電池と電気二重層キャパシタとの合成出力特性と予め規定した負荷変動幅とに基づいて負荷変動後の燃料電池の電圧値を求め、該電圧値に対応する電流値を前記燃料電池の電流電圧特性に基づいて導出し、導出された前記電流値に対応する平衡反応ガス供給量を求め、求められた平衡反応ガス供給量に基づいた反応ガスを前記出力状態における反応ガス供給量として前記燃料電池へ供給する燃料電池電源装置。

10

【請求項2】

前記出力状態における反応ガス供給量を、前記燃料電池の電流電圧特性と、前記電気二重層キャパシタの電流電圧特性と、前記燃料電池の電流電圧特性に対応する平衡反応ガス供給量特性とに基づいて設定する請求項1に記載の燃料電池電源装置。

【請求項3】

前記燃料電池の電流電圧特性が、前記燃料電池の内部抵抗値又は所定の出力電流区分範囲に対する平均抵抗値に依存する請求項1又は請求項2に記載の燃料電池電源装置。

【請求項4】

前記電気二重層キャパシタの電流電圧特性が、前記電気二重層キャパシタの内部抵抗に依存する請求項1～請求項3のいずれかに記載の燃料電池電源装置。

20

## 【請求項 5】

前記燃料電池の反応ガス供給系から前記燃料電池に供給されている反応ガス供給量が、前記出力状態における反応ガス供給量から前記負荷変動後における平衡反応ガス供給量に達するまでの応答時間を、前記負荷変動に対する前記電気二重層キャパシタの出力補助作動時間よりも短くする請求項 1～請求項 4 のいずれかの項に記載の燃料電池電源装置。

## 【請求項 6】

前記反応ガス供給系の前記応答時間を前記電気二重層キャパシタの前記出力補助作動時間よりも短くするように前記反応ガス供給系の応答特性を設定する請求項 5 に記載の燃料電池電源装置。

## 【請求項 7】

前記反応ガス供給系の前記応答時間を前記電気二重層キャパシタの前記出力補助作動時間よりも短くするように前記電気二重層キャパシタの静電容量を設定する請求項 5 に記載の燃料電池電源装置。

## 【請求項 8】

車両の走行状態を示す入力信号に基づいて所定間隔毎に走行用モータの目標出力指令値及び前記燃料電池の目標発電指令値が演算され、前記目標発電指令値に基づいて前記燃料電池へ供給される反応ガス量が設定される燃料電池電源装置であって、

連続して求められた 2 つの目標発電指令値の変化量に基づく負荷変動幅が前記予め規定した負荷変動幅以内となるように制御される請求項 1～請求項 7 のいずれかに記載の燃料電池電源装置。

## 【請求項 9】

燃料電池と電気二重層キャパシタとを備え、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタとの間に出力制限手段を設けた燃料電池電源装置であって、前記出力制限手段は、前記装置の起動時においては、前記燃料電池の出力電流を制限しながら前記電気二重層キャパシタを充電し、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタとの電位差が、予め設定された電位差以下となった場合には、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタとを直結状態とする ことを特徴とする請求項 1～請求項 8 のいずれかの項に記載の燃料電池電源装置。

## 【請求項 10】

燃料電池と電気二重層キャパシタとを電気負荷に対して並列に接続した燃料電池電源装置であって、

前記電気負荷の変動時に生じる前記電気二重層キャパシタの内部抵抗に応じた電気負荷への電圧降下分に対応して、反応ガス量を過剰に供給する過剰供給手段を備える ことを特徴とする燃料電池電源装置。

## 【請求項 11】

前記過剰供給手段は、前記電気二重層キャパシタの内部抵抗、静電容量、負荷変動幅に応じて反応ガス供給量を設定することを特徴とする請求項 10 記載の燃料電池電源装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、燃料電池と電気二重層キャパシタとを直結状態で使用する燃料電池電源装置に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、燃料電池自動車の走行動力源として、燃料電池と電気二重層キャパシタ（以下、単にキャパシタと称する）とを組み合わせたハイブリッド型の燃料電池電源装置が知られている。

このハイブリッド型の燃料電池電源装置は、走行用のモータ負荷の過渡変動時に燃料電池の応答遅れによって生じる発電不足分をキャパシタに蓄えられたエネルギーによって補い、必要電力を安定して供給するものである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 3 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、上述したように、燃料電池は過渡変動時において応答遅れが生じるため、負荷変動直後において負荷変動に対応する量の出力を得ようとする、出力に対して燃料の供給量が不足するいわゆるガス欠状態に陥ってしまうという問題があった。

## 【 0 0 0 4 】

その対策として、燃料電池とキャパシタとの間に燃料電池の出力を制御するDC/DCコンバータ等からなる出力制限装置を設け、この出力制限装置によって燃料電池の出力を燃料電池に供給される反応ガス量（空気量、及び燃料ガス量）に見合った量に制御する方法もあるが、この出力制限装置は、内部に設けられたスイッチング素子をスイッチング動作（高速でオン/オフ動作）させることにより出力を制御するため、スイッチング動作に伴う電力損失が大きいという問題があった。

10

加えて、出力制限装置は、燃料電池から出力される電流に対応できるように比較的電流容量の大きいものが必要とされ、これに伴い装置が大型化するという問題があった。

## 【 0 0 0 5 】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、燃料電池と電気二重層キャパシタとを直結状態で使用することにより、電力効率の高い燃料電池電源装置を提供することを目的とする。

## 【 0 0 0 6 】

## 【 課題を解決するための手段 】

20

上記目的を達成するために、本発明の燃料電池電源装置は、燃料電池（例えば、燃料電池1）と電気二重層キャパシタ（キャパシタ2）とを電気負荷（走行用モータ3）に対して並列に接続した燃料電池電源装置（燃料電池電源装置10）であって、前記電気負荷の変動時に生じる前記電気二重層キャパシタの内部抵抗（ $R_{cap}$ ）に応じた電気負荷への電圧降下分（図7（a）における $\Delta V$ ）に対応して、反応ガス量を過剰に供給する過剰供給手段（制御装置4）を備える。この過剰供給手段は、例えば、前記電気二重層キャパシタの内部抵抗、静電容量、負荷変動幅（図7（b）における $I_2 - I_1$ ）に応じて反応ガス供給量を設定（増加補正）する。

また、所定の出力状態（図10（a）の出力電流 $I_{fc} = I_1$ の状態）において、該出力状態における燃料電池の電流電圧特性上（図10（a）において実線で示した特性曲線）の平衡点（図10（a）における平衡点U）を起点とした燃料電池と電気二重層キャパシタとの合成出力特性（図10（a）において点線で示した特性曲線）と予め規定した負荷変動幅（図10（a）に示した $\Delta I$ ）とに基づいて負荷変動後の燃料電池の電圧値（図10（a）における $V_2$ ）を求め、該電圧値に対応する電流値（図10（a）における $I_{fc2}'$ ）を前記燃料電池の電流電圧特性に基づいて導出し、導出された前記電流値に対応する平衡反応ガス供給量（図10（b）における $Q_{a1}$ ）を求め、求められた平衡反応ガス供給量以上の反応ガスを前記出力状態（図10（a）の出力電流 $I_{fc} = I_1$ の状態）における反応ガス供給量として前記燃料電池へ供給するようにしてもよい。

30

## 【 0 0 0 7 】

上述の構成によれば、負荷変動直後に生じる電圧降下を考慮して、予め燃料電池に供給する反応ガス量に過剰量を持たせているので、負荷変動時において燃料電池がガス欠状態（反応ガス供給量が要求出力に対して不足する状態）に陥るのを防止することができる。また、上述した設定方法によって得られる過剰供給量によれば、前記電圧降下に対応するのに必要最小限の過剰供給量を求めることができるため、より反応ガスの無駄を排除し、効率よく燃料供給を行うことができる。

40

## 【 0 0 0 8 】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記出力状態における反応ガス供給量を、前記燃料電池の電流電圧特性（例えば、図10（a）及び図11（a）に実線で示した燃料電池の電流電圧特性）と、前記電気二重層キャパシタの電流電圧特性（例えば、図10（a）に点線で示した合成電流電圧特性を導くための一特性要素）と、前記燃料電池の電

50

流電圧特性に対応する平衡反応ガス供給量特性（例えば、図 10（b）に実線で示した出力平衡時の反応ガス供給量特性曲線）とに基づいて設定する。

【0009】

このような特性に基づいて出力平衡時の反応ガス量に対する過剰供給量を設定することにより、負荷変動直後に生じる電圧降下分を正確に導出することができるので、燃料電池のガス欠状態を回避するために必要となる最小限の過剰反応ガス量を求めることが可能となる。

【0010】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記燃料電池の電流電圧特性が、前記燃料電池の内部抵抗値又は所定の出力電流区分範囲に対する平均抵抗値に依存する。

10

【0011】

このように燃料電池の電流電圧特性は、燃料電池の内部抵抗に依存するため、所定出力時において燃料電池へ供給される反応ガス供給量は、この燃料電池の内部抵抗に応じて異なる。このように各種特性に基づいて適切な反応ガス量を設定することにより、負荷変動時における燃料電池のガス欠を防ぐと共に、最適な反応ガス量を燃料電池に供給することが可能となる。

【0012】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記電気二重層キャパシタの電流電圧特性が、前記電気二重層キャパシタの内部抵抗に依存する。

【0013】

20

このよう電気二重層キャパシタの電流電圧特性は、電気二重層キャパシタの内部抵抗に依存するため、所定出力時において燃料電池へ供給される反応ガス供給量は、この電気二重層キャパシタの内部抵抗に応じて異なる。このように各種特性に基づいて適切な反応ガス量を設定することにより、負荷変動時における燃料電池のガス欠を防ぐと共に、最適な反応ガス量を燃料電池に供給することが可能となり、効率よく反応ガスを使用することができる。

【0014】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記燃料電池の反応ガス供給系（例えば、燃料電池 1 と図 5 に示したエアコンプレッサ 11 をはじめとする周辺装置（補機）であり、具体的には、エアコンプレッサ 11、熱交換機 13、高圧水素タンク 18、電動遮断弁 19、レギュレータ 17、エゼクタ 20、デミスタ 21、加湿器 15 等が挙げられる）から前記燃料電池に供給されている反応ガス供給量が、前記所定出力状態における反応ガス供給量（即ち、図 9 におけるコンプレッサの回転数  $N_{m1}$  に平衡する反応ガス量）から前記負荷変動後における平衡反応ガス供給量（即ち、図 9 に示す回転数  $N_{m2}$  に平衡する反応ガス供給量）に達するまでの応答時間（図 9 における時刻  $T_0$  から  $T_3$  までの期間）を、前記負荷変動に対する前記電気二重層キャパシタの出力補助作動時間（例えば、図 9 における時刻  $T_0$  から時刻  $T_5$  までの期間）よりも短くすることを特徴とする。

30

【0015】

上述したように、電気二重層キャパシタの出力補助作動時間内において、燃料電池の出力が平衡状態、即ち変動後の負荷電流を出力するのに最低限必要となる反応ガス量が燃料電池に供給されている状態となるため、燃料電池がガス欠状態に陥ることを防止することができる。

40

【0016】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記反応ガス供給系の前記応答時間を前記電気二重層キャパシタの前記出力補助作動時間よりも短くするように前記反応ガス供給系の応答特性（即ち、図 9 に示した COMP の応答特性）を設定することを特徴とする。

【0017】

上述したように、反応ガス供給系の応答特性を設定することにより、電気二重層キャパシタによる出力補助が可能な時間内に、燃料電池の出力を負荷変動後の平衡状態とすることができる。

50

## 【0018】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、前記反応ガス供給系の前記応答時間を前記電気二重層キャパシタの前記出力補助作動時間よりも短くするように前記電気二重層キャパシタの静電容量を設定することを特徴とする。

## 【0019】

上述したように、前記電気二重層キャパシタの静電容量を設定することにより、電気二重層キャパシタの出力補助作動時間内において、燃料電池の出力が平衡状態、即ち変動後の負荷電流を出力するのに最低限必要な反応ガス量が燃料電池に供給されている状態となるため、燃料電池がガス欠状態に陥ることを防止することができる。

## 【0020】

更に、上記記載の燃料電池電源装置において、車両の走行状態を示す入力信号（例えば、図4に示したアクセルペダル開度、車速、電装補機消費電力等の種々のパラメータ）に基づいて所定間隔毎に走行用モータの目標出力指令値及び前記燃料電池の目標発電指令値が演算され（実際は、所定のクロックに基づき、一定間隔でこれらの指令値が演算されている）、前記目標発電指令値に基づいて前記燃料電池へ供給される反応ガス量が設定される燃料電池電源装置であって、連続して求められた2つの目標発電指令値（例えば、最新の目標発電指令値とその直前に求められた目標発電指令値）の変化量（前記2つの指令値の差分）に対応する負荷変動幅が前記予め規定した負荷変動幅（例えば、図14における負荷変動幅 $\Delta I$ ）以内となるように制御されることを特徴とする。

## 【0021】

このような構成によれば、燃料電池へ供給される反応ガス量が不足するような要求出力を出さないように制御するので、燃料電池のガス欠を回避することができる。

## 【0022】

また、本発明の燃料電池電源装置は、燃料電池と電気二重層キャパシタとを備え、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタとの間に出力制限手段（例えば、実施形態におけるチョッパ型DC/DCコンバータ等からなる出力制限装置）を設けた燃料電池電源装置であって、前記出力制限手段は、前記装置の起動時においては、前記燃料電池の出力電流を制御しながら（例えば、チョッパ型DC/DCコンバータの場合であれば、スイッチング素子をスイッチング動作させながら）前記電気二重層キャパシタを充電し、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタの電位差が、予め設定された電位差以下（例えば、燃料電池と電気二重層キャパシタとを直接接続しても燃料電池がガス欠状態に陥らないような値）となった場合には、前記燃料電池と前記電気二重層キャパシタとを直結状態（例えば、チョッパ型DC/DCコンバータの場合であれば、スイッチング動作を停止して、スイッチング素子を導通状態に維持し、燃料電池と電気二重層キャパシタとが直結状態となっている状態）とすることを特徴とする。

## 【0023】

即ち、本燃料電池電源装置を車両に搭載した場合、車両の起動直後（装置の起動時）においては、主に電気二重層キャパシタから電力を供給する。これにより、電気二重層キャパシタの残容量は急激に低下するため、電気二重層キャパシタの電位は燃料電池の電位に比べてかなり低い値となる。このような状態で、電気二重層キャパシタと燃料電池とを直結状態としてしまうと、燃料電池から電気二重層キャパシタへ大きな電流が流れるため、燃料電池の出力が電気二重層キャパシタに急激に吸い取られる様な状態に陥り、燃料電池の電位が急激に低下してしまう。これにより、燃料電池は、燃料電池の出力に対して反応ガスの供給が追いつかない状態、いわゆるガス欠状態に陥ってしまう。従って、電気二重層キャパシタと燃料電池との電位差が大きい期間においては、燃料電池がガス欠状態とならないようにその出力電流を制限する必要がある。

このため、本発明では、キャパシタ2と燃料電池1との電位差が大きくなる起動時においては、電流制限装置（図示略）によって燃料電池1からの出力電流を制御しながらキャパシタ2を充電し、また、燃料電池1とキャパシタ2との電位差が、予め設定された電位差以下となった場合には、電流制限装置による燃料電池1の出力電流の制御を停止して、キ

10

20

30

40

50

ャパシタ 2 と燃料電池 1 とを直結状態として使用する。

【 0 0 2 4 】

【 発 明 の 実 施 の 形 態 】

以下、図面を参照し、本発明の一実施形態について説明する。

図 4 は本発明の一実施形態における燃料電池電源装置 1 0 を搭載した燃料電池車両の概略構成図である。

本実施形態に係る燃料電池電源装置 1 0 は、車両に搭載されて車両駆動用の電力として働く。燃料電池電源装置 1 0 は、燃料電池 1 と電気二重層キャパシタ（以下、単にキャパシタと称する）2 とが並列接続されたハイブリッド型の電源装置であり、この燃料電池電源装置 1 0 から電力が供給される走行用モータ 3 の駆動力は、図示しないリダクション、或いはトランスミッション T / M を介して駆動輪に伝達される。

10

【 0 0 2 5 】

一方、本実施形態に係る燃料電池電源装置 1 0 が搭載された燃料電池車両の減速時において、駆動輪側から走行用モータ 3 側に駆動力が伝達されると、走行用モータ 3 は発電機として機能していわゆる回生制動力を発生し、車体の運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する。走行用モータ 3 は、例えば界磁として永久磁石を利用する永久磁石式の 3 相交流同期モータとされており、3 相交流電力により駆動制御される。

【 0 0 2 6 】

燃料電池 1 は、例えば固体ポリマーイオン交換膜等からなる固体高分子電解質膜をアノードとカソードとで両側から挟み込んで形成されたセルに対し、複数のセルを積層して構成されたスタックからなり、燃料として水素ガスが供給される水素極と酸化剤として酸素を含む空気が供給される空気極とを備えている。そして、アノードで触媒反応により発生した水素イオンが、固体高分子電解質膜を通過してカソードまで移動して、カソードで酸素と電気化学反応を起こして発電している。

20

キャパシタ 2 は、例えば電気二重層キャパシタからなるキャパシタである。

【 0 0 2 7 】

制御装置 4 は、マイクロコンピュータを中心とした論理回路として構成され、CPU、ROM、RAM 及び入出力ポート（各部図示略）から構成される。CPU は予め設定された制御プログラムに従って所定の演算などを実行する。ROM には CPU で各種演算処理を実行するのに必要な制御プログラムや制御データ等が予め格納されており、RAM には同じく CPU で各種演算処理を実行するのに必要な各種データが一時的に読み書きされる。入出力ポートは残存容量モニタ等各種センサからの検出信号などを入力すると共に、CPU での演算結果に応じて各部に信号を出力し、燃料電池電源装置 1 0 及び燃料電池車両を構成する各部の駆動状態を制御する。

30

【 0 0 2 8 】

例えば、制御装置 4 は、パラメータとして入力される運転者によるアクセルペダルの踏み込み操作に関するアクセルペダル開度の信号、車速若しくはモータの回転数の信号、電装補機消費電力等の各種信号に基づき目標発電量を算出し、これを燃料電池電源装置 1 0 に対して発信する一方、目標出力を走行用モータ 3 に対して発信する。また、キャパシタ 2 に設けられている図示しない電圧センサ、電流センサからの各種信号に基づいてキャパシタの残容量を算出し、この値をパラメータの 1 つとして燃料電池電源装置の制御を行う。

40

【 0 0 2 9 】

なお、本実施形態に係る燃料電池車両を駆動するためには、上述した構成要素の他に、様々な構成要素、例えば燃料電池電源装置 1 0 から供給される直流電流を 3 相交流電流に変換して走行用モータ 3 に供給するインバータ、キャパシタ 2 の電圧、電圧、温度等を検出する各種センサ、制御装置 4 からの信号に基づいてオン / オフするスイッチング素子等を必要とするが、本発明の燃料電池電源装置 1 0 の構成、動作をより明瞭化するため、ここでは説明を省略する。

【 0 0 3 0 】

図 4 のブロック図では図示しなかったが、実際に燃料電池 1 を用いて発電を行うには、上

50

記スタック構造を有する燃料電池本体の他に所定の周辺装置を必要とする。図 5 は、燃料電池 1 とその周辺装置とからなる燃料電池システム 30 の構成を示すブロック図である。

【0031】

図 5 において、燃料電池 1 の空気極側に接続されたエアコンプレッサ 11 は、例えば、燃料電池 1 の空気極に加えて、レギュレータ 17 に対する信号圧として空気を供給する。このため、エアコンプレッサ 11 を駆動するモータ（図示略）には、回転数指令値  $N$  が制御装置 4 から入力されている。モータは入力された回転数指令値  $N$  に基づいてエアコンプレッサ 11 を駆動し、これによりエアコンプレッサ 11 は、フィルタ 12 を介して外部から取り込んだ空気を加圧して熱交換機 13 に供給する。加圧された空気は熱交換器 13 によって冷却され、フィルタ 14 により塵が除去される。

10

【0032】

加湿器 15 に供給された空気は、加湿されて燃料電池 1 へと供給され、上述した電気化学反応後、燃料電池 1 に供給される空気の圧力を調整するために設けられた空気調圧弁 16 を通過し、排出される。

一方、燃料供給側に設けられたレギュレータ（比例圧力レギュレータとも呼ばれる）17 は、空気供給側から供給された空気の圧力（パイロット信号）に基づいて高圧水素タンク 18 から燃料電池 1 へ供給される水素の圧力を調整する。このように、燃料電池 1 の空気供給側と燃料供給側の圧力はレギュレータ 17 によってバランス制御される。

【0033】

高圧水素タンク 18 から供給される水素は高圧であるため、電動遮断弁 19 によりその圧力が一時低下された後にレギュレータ 17 により圧力調整され、エゼクタ 20 を介して加湿器 15 へと供給される。加湿器 15 により加湿された水素は燃料電池 1 の燃料極側へ供給され、電気化学変化後、排出ガスとなってデミスタ 21 に出力される。デミスタ 21 では、供給された排出ガスが気液分離され、気体である水素はエゼクタ 20 を経て水素の供給部に循環、再利用される。

20

また、水素ガスの排出側には、燃料電池及びデミスタ内部に滞留した水を排出するためのパージバルブ 22 が設けられている。

なお、上述した電動遮断弁 19 は、高圧水素タンク 18 からの水素ガスの供給を遮断する働きも備えている。

【0034】

30

また、ウォーターポンプ 40、41 は、ラジエータ 23、24 により放熱、冷却された冷却水を燃料電池 1 及び補機 / 制御装置内に循環させるものであり、このように冷却水を循環させて、燃料電池 1 及び補機 / 制御装置の温度を所定の温度以下に制御する。ここでは、ウォーターポンプ 40 は、燃料電池 1 及び補機 / 制御装置の各部を冷却し、燃料供給側を加熱するために設けられ、ウォーターポンプ 41 は空気供給側の各部を冷却するために設けられている。

【0035】

上述した補機 / 制御装置においては、エアコンプレッサ 11 や空気極排気側の流路に設けられた空気調圧弁 16 に対して駆動信号を出力し、この駆動量や開閉状態を調整することで反応ガス供給量を制御して燃料電池 1 の発電力を調整している。

40

【0036】

以上、燃料電池電源装置 10 の構成について説明したが、次に、この燃料電池電源装置 10 に規定の負荷変動量が与えられた場合に、燃料電池 1 へ供給される反応ガス量について説明する。

【0037】

まず、図 6 に本実施形態に係る燃料電池電源装置 10 の等価回路を示す。同図において  $V_{fc}$  は燃料電池の起電力、 $R_{fc}$  は燃料電池の内部抵抗、 $I_{fc}$  は燃料電池を流れる電流である。同様にキャパシタ 2 において、 $V_{cap}$  は充電電圧、 $R_{cap}$  は内部抵抗、 $I_{cap}$  は流れる電流である。 $V_{out}$  は燃料電池電源装置 10 の出力電圧であり、 $I_{out}$  は燃料電池電源装置 10 を流れる電流である。

50

## 【 0 0 3 8 】

上述したような回路で示される燃料電池電源装置 10 において、負荷変動が生じた場合の燃料電池電源装置 10 の動作について、以下説明する。

ここでは説明の便宜上、負荷電流が  $I_1$  から  $I_2$  にステップ応答的に変化した場合について説明する。なお、実際の車両走行時における負荷変動はステップ応答ではない。

## 【 0 0 3 9 】

このような負荷電流の変動が生じた場合、制御装置 4 は燃料電池電源装置 10 に対して負荷変動に見合った出力、即ち負荷電流  $I_2$  に対応する出力を要求する。しかしながら、図 5 に示したように、燃料電池 1 は、補機であるエアコンプレッサ 11 を駆動するモータに対して負荷変動に応じた回転数指令値  $N$  が制御装置 4 から発信され、これによりモータの回転数が上がり、この結果、反応ガスの供給量が増加し、その後、燃料電池 1 内で電気化学反応が生じて初めて出力が得られるものであるため、燃料電池 1 の出力が負荷変動に応じた電力となるまでに時間を要する。

10

従って、上述したような燃料電池 1 の応答遅れの期間、燃料電池 1 に並列に接続されたキャパシタ 2 が走行用モータ 3 に対して電力を供給することにより、負荷変動に応じた出力を達成している。

しかしながら、キャパシタ 2 は図 6 に示したように、内部抵抗  $R_{cap}$  を有しているため、電力を供給することによって増加した電流分の電圧降下が生じる。

図 7 に、負荷電流  $I_{out}$  が  $I_1$  から  $I_2$  にステップ応答的に変化した場合における燃料電池電源装置 10 の出力電圧  $V_{out}$  の推移（応答特性）を示す。なお、図 7 ( a ) に出力電圧の応答特性を示し、図 7 ( b ) に負荷電流の応答特性を示す。

20

## 【 0 0 4 0 】

同図に示すように、まず負荷変動前（時刻  $t_0$  前）では、負荷電流  $I_1$  に応じた電圧、即ち  $V_{out} = V_{fc} - (R_{fc} \times I_1)$  で平衡状態となっている。

時刻  $t_0$  において負荷変動が生じると、変動直後においては、キャパシタ 2 は負荷変動に応じた電力を供給しようとするために電流  $I_{cap}$  が急激に増加するため、この電流によって電圧降下（ $\Delta V = R_{fc} \times I_{fc2} = R_{cap} \times I_{cap2}$ ）が生じる。その後、出力電圧  $V_{out}$  はキャパシタ 2 の放電によって徐々に減少し、 $V_{out} = V_{fc} - (R_{fc} \times I_2)$  となった時点で平衡状態となる。従って、 $V_{out} = V_{fc} - (R_{fc} \times I_2)$  への収束状態は、キャパシタ 2 の静電容量が大きいほど傾きが小さくなり平衡状態となるまでに、より長い時間を要することとなる。また、負荷変動直後における電圧降下分は、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が小さいほど小さい値となる。

30

## 【 0 0 4 1 】

そして、上述したような負荷変動直後に電圧降下が生じると、即ち燃料電池 1 の応答期間内において出力電圧  $V_{out}$  が  $\Delta V$  降下すると、燃料電池 1 は出力電圧に対して反応ガス量が不足する状態、いわゆるガス欠状態に陥る。

このようなガス欠状態が続く、或いは頻繁に発生すると、燃料電池内の固体ポリマーイオン交換膜等からなる固体高分子電界質膜内に含まれている水分が欠乏することにより、水素イオンがこの膜を透過する際の抵抗が高くなるため、膜の劣化が生じ、燃料電池の寿命が短くなる。

40

従って、このようなガス欠状態を防止するために、予め内部抵抗による電圧降下分に対応する反応ガス供給量（過剰供給量）を燃料電池 1 へ余分に供給しておく必要がある。

## 【 0 0 4 2 】

この過剰供給量は、燃料電池電源装置 10 を構成するキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  及び静電容量、規定の負荷変動幅、燃料電池 1 及び燃料電池システム 30 固有の特性値に基づいて設定される。

## 【 0 0 4 3 】

例えば、上述の燃料電池 1 の特性値としては、燃料電池 1 の電流電圧特性（ $V_{out} = V_{fc} - (R_{fc} \times I_{fc})$ ）から導出される燃料電池電力及び内部抵抗が挙げられ、燃料電池システム 30 固有の特性値としては、後述する燃料電池の反応ガス供給系の応答速度特性が挙

50

げられる。

以下、過剰供給量をどのように設定するかについて図 1 ~ 図 3 を参照して説明する。

#### 【 0 0 4 4 】

まず、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が燃料電池 1 の内部抵抗  $R_{fc}$  より大きい場合における過剰供給量の設定について図 1 を参照して説明する。

同図において、線 A は燃料電池 1 の電流電圧特性を示しており、出力する電流値が小さいときには大きな電圧値を得ることができ、電流値が大きくなるに従って電圧値は低下する。そして、電流及び電圧で決まる座標が線 A よりも下側の領域にある場合には、燃料電池 1 はガス欠状態であると見なすことができる。

また、同図線 B 1 は負荷変動前における燃料電池 1 への反応ガス供給量を最大に設定した場合の燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性を示すものである。

上述したような電流電圧特性を持つ燃料電池 1 を備えた燃料電池電源装置 10 において、負荷電流を電流  $I_1$  から電流  $I_2$  までステップ応答的に変動させた場合について考える。

#### 【 0 0 4 5 】

ここで、例えば、負荷変動前における燃料電池 1 への反応ガス供給量を、燃料電池 1 が電流  $I_{L1}$  (但し、 $I_1 < I_{L1} < I_2$ ) まで出力可能である量に設定したとする。即ち、反応ガス量と平衡する燃料電池の出力電流が  $I_{L1}$  となるように、反応ガス量を設定したとする。なお、この時、過剰供給量は電流  $I_{L1} - I_1$  分の出力を可能とする反応ガス量に相当する。

この場合、電流  $I_{L1}$  以上の領域においては、燃料電池 1 の出力が間に合わず、負荷変動に対応する出力を得ることができないため、キャパシタ 2 によって出力が補助される。そして、負荷変動に対応する出力が燃料電池 1 によって行われるようになる迄の間、即ち、負荷変動に対する燃料電池 1 の応答期間、燃料電池電源装置 10 の出力はキャパシタ 2 の出力に依存することとなる。

#### 【 0 0 4 6 】

この結果、燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性は、電流  $I_1$  から電流  $I_{L1}$  の領域においては、燃料電池 1 とキャパシタ 2 の合成電流電圧特性、即ち同図中線 B 1 で示す特性となり、電流  $I_{L1}$  以上の領域においては、キャパシタ 2 の電流電圧特性、即ち同図中線 D 1 となる。なお、線 D 1 で示されるキャパシタ 2 の電流電圧特性は、 $V_{out} = V_{cap} - (I_{cap} \times R_{cap})$  で表される (但し、 $R_{cap} > R_{fc}$ 、且つ  $V_{cap}$  は一定とする)。

#### 【 0 0 4 7 】

そして、負荷変動直後、即ち電流  $I_2$  における燃料電池電源装置 10 の出力電圧は、線 D 1 から  $V_{d1}$  と導出することができ、これにより、電流  $I_1$  から電流  $I_2$  までステップ応答的に負荷変動を与えた場合の燃料電池電源装置 10 の電圧降下量  $\Delta V$  は、電流  $I_1$  における出力電圧  $V_1$  から電流  $I_2$  における出力電圧  $V_{d1}$  を引いた値となる。

一方、燃料電池 1 が出力可能な電圧値は、負荷変動前において供給されている反応ガス量と平衡する出力電流に対応する電圧値であるから、線 A から電圧  $V_{L1}$  となる。即ち、負荷変動直後における燃料電池 1 の出力電圧許容量  $\Delta V'$  は、電流  $I_1$  における出力電圧  $V_1$  から電流  $I_{L1}$  における出力電圧  $V_{L1}$  を引いた値となる。

#### 【 0 0 4 8 】

従って、負荷変動前に燃料電池 1 に予め供給されている反応ガス量による出力電圧許容量  $\Delta V'$  が、負荷変動直後における電圧降下量  $\Delta V$  よりも大きいため、負荷変動直後において燃料電池 1 がガス欠状態に陥ることを回避することができる。

このように、負荷変動が与えられた直後の燃料電池電源装置 10 の出力電圧  $V_{d1}$  が、負荷変動前に燃料電池 1 に供給されている反応ガス量と平衡する燃料電池の出力電流に対する電圧値  $V_{L1}$  よりも高くなるように、燃料電池に供給する出力平衡時の反応ガス量に対する過剰供給量を設定することにより、上述した燃料電池 1 のガス欠状態を回避することが可能となる。

#### 【 0 0 4 9 】

次に、図 2 を参照して、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が燃料電池 1 の内部抵抗  $R_{fc}$  と

10

20

30

40

50

等しい場合について説明する。

図 2 に示す線 A は図 1 と同様の燃料電池 1 の電流電圧特性を示している。

また、同図線 B 2 は負荷変動前における燃料電池 1 への反応ガス供給量を最大に設定した場合の燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性を示すものである。ここでは、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  は燃料電池 1 の内部抵抗  $R_{fc}$  に等しいため燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性 B 2 は、図 1 に示した電流電圧特性 B 1 に比べ、傾きが緩やかな直線となる。

このような燃料電池電源装置 10 において、負荷電流を電流  $I_1$  から電流  $I_2$  までステップ応答的に変動させた場合について考える。

#### 【 0 0 5 0 】

ここで、例えば、負荷変動前における燃料電池 1 への過剰供給量を、燃料電池 1 が電流  $I_{L12}$  (但し、 $I_1 < I_{L12} < I_2$ ) まで出力可能である量に設定した場合、即ち、反応ガス量と平衡する出力電流が  $I_{L12}$  となるように、反応ガス量を設定した場合には、上述した図 1 と同様、電流  $I_{L12}$  以上の領域においては、燃料電池 1 の出力が間に合わず、負荷変動に対応する出力を得ることができないため、キャパシタ 2 によって出力が補助される。なお、この時、過剰供給量は電流  $I_{L12} - I_1$  分の出力を可能とする反応ガス量に相当する。このため、燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性は、電流  $I_1$  から電流  $I_{L12}$  の領域においては、燃料電池 1 及びキャパシタ 2 の合成電流電圧特性、即ち図 2 中線 B 2 で示す特性となり、電流  $I_{L12}$  以上の領域においては、キャパシタ 2 の電流電圧特性、即ち線 D 2 となる。

#### 【 0 0 5 1 】

ここで、線 C 2 で示されるキャパシタ 2 の電流電圧特性は、 $V_{out} = V_{cap} - (I_{cap} \times R_{cap})$  で表される直線となり (但し、 $V_{cap}$  は一定とする)、また、 $R_{cap} = R_{fc}$  なので、線 D 2 の傾きは燃料電池 1 の電流電圧特性である線 A の傾きと等しくなる。

そして、電流  $I_2$  における燃料電池電源装置 10 の出力電圧は、線 D 2 から  $V_{d2}$  と求めることができる。そして、負荷電流が  $I_1$  から  $I_2$  にステップ応答的に変動した場合におけるキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  による電圧降下量  $\Delta V$  は、図 1 で説明したように、図 2 に示す値となる。

#### 【 0 0 5 2 】

一方、負荷変動前において、燃料電池 1 に供給されている反応ガス量と平衡する出力電流に対応する電圧値は、線 A の特性から  $V_{L12}$  となり、この電圧値まで燃料電池 1 は出力可能であるということができる。これにより、負荷電流  $I_1$  から負荷電流  $I_2$  における燃料電池 1 の出力電圧許容量  $\Delta V'$  は、図 2 中  $\Delta V'$  で示される値となる。

この結果、負荷変動直後においてキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  による電圧降下  $\Delta V$  が生じて、燃料電池 1 にはその電圧降下分を考慮した過剰供給量が予め供給されているため、負荷変動直後においてガス欠状態に陥ることを回避することができる。

#### 【 0 0 5 3 】

次に、図 3 を参照して、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が燃料電池 1 の内部抵抗  $R_{fc}$  よりも小さい場合について説明する。

図 2 に示す線 A は図 1 と同様の燃料電池 1 の電流電圧特性を示している。

また、同図線 B 3 は負荷変動前における燃料電池 1 への反応ガス供給量を最大に設定した場合の燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性を示すものである。ここでは、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  は燃料電池 1 の内部抵抗  $R_{cap}$  よりも小さいため、燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性 B 3 は、図 2 に示した電流電圧特性 B 2 よりも更に傾きが緩やかな直線となる。

このような燃料電池電源装置 10 において、負荷電流を電流  $I_1$  から電流  $I_2$  までステップ応答的に変動させた場合について考える。

#### 【 0 0 5 4 】

ここで、例えば、負荷変動前における燃料電池 1 への過剰供給量を、燃料電池 1 が電流  $I_{L13}$  (但し、 $I_1 < I_{L13} < I_2$ ) まで出力可能である量に設定した場合、即ち、反応ガス量と平衡する出力電流  $I_{L13}$  がとなるように反応ガス量を設定した場合には、上述した図 1

10

20

30

40

50

と同様、電流  $I_{L13}$  以上の領域においては、燃料電池 1 の出力が間に合わず、負荷変動に対応する出力を得ることができないため、キャパシタ 2 によって出力が補助される。なお、この時、過剰供給量は電流  $I_{L13} - I_1$  分の出力を可能とする反応ガス量に相当する。このため、燃料電池電源装置 10 の電流電圧特性は、電流  $I_1$  から電流  $I_{L13}$  の領域においては、燃料電池 1 及びキャパシタ 2 の合成電流電圧特性、即ち図 3 中線 B3 で示す特性となり、電流  $I_{L13}$  以上の領域においては、キャパシタ 2 の電流電圧特性、即ち線 D3 となる。

#### 【0055】

ここで、線 C3 で示されるキャパシタ 2 の電流電圧特性は、 $V_{out} = V_{cap} - (I_{cap} \times R_{cap})$  で表される直線となり（但し、 $V_{cap}$  は一定とする）、また、 $R_{cap} < R_{fc}$  なので、線 D3 の傾きは図 1 及び図 2 に示したいずれのキャパシタ 2 の電流電圧特性よりも傾きが小さくなる。

10

そして、電流  $I_2$  における燃料電池電源装置 10 の出力電圧は、線 D3 から  $V_{d3}$  と求めることができる。そして、負荷電流が  $I_1$  から  $I_2$  にステップ応答的に変動した場合におけるキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  による電圧降下量  $\Delta V$  は、図 1 で説明したように、図 3 に示す値となる。

#### 【0056】

一方、負荷変動前において、燃料電池 1 に供給されている反応ガス量と平衡する出力電流に対応する電圧値は、線 A の特性から  $V_{L13}$  となり、この電圧値まで燃料電池 1 は出力可能であるということができる。これにより、負荷電流  $I_1$  から負荷電流  $I_2$  における燃料電池 1 の出力電圧許容量  $\Delta V'$  は、図 3 中  $\Delta V'$  で示される値となる。

20

この結果、負荷変動直後においてキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  による電圧降下  $\Delta V$  が生じて、燃料電池 1 にはその電圧降下分を考慮した反応ガス量が予め供給されているため、負荷変動直後においてガス欠状態に陥ることを回避することができる。

#### 【0057】

なお、上述した図 1、図 2 及び図 3 の場合において、上記条件を満たす過剰供給量の内、最も小さい値を適用することにより、反応ガス供給量のロスを軽減させ、効率よく燃料を供給することが可能となる。

#### 【0058】

以上、過剰供給量の設定について図 1 ~ 図 3 を参照してそれぞれの場合において説明してきたが、以下に述べるような手法により過剰供給量を設定することも可能である。以下、図 10 を参照し、他の過剰供給量の設定手法について説明する。

30

図 10 (a) の実線は、燃料電池 1 の電流電圧特性を示している。また、図 10 (a) の点線は、燃料電池 1 とキャパシタ 2 の合成電流電圧特性であり、当該点線で示した特性の起点（図中平衡点 U）は、燃料電池 1 とキャパシタ 2 とが直結状態で接続されている平衡点である。

一方、図 10 (b) の実線は、燃料電池 1 の出力平衡時の反応ガス供給量  $Q_{air}$  の特性を示している。同図に示すように、電流が増加するほど、燃料電池 1 へ供給する反応ガス供給量は増加する。また、図 10 (b) の点線は電流負荷変動による電圧降下による燃料電池 1 のガス欠状態を回避するための過剰供給量を加味した反応ガス供給量特性（以下、単に反応ガス供給量特性と記載する）を示している。この反応ガス供給量特性についての詳細は後述する。

40

#### 【0059】

図 10 (a) に実線で示されている燃料電池 1 の電流電圧特性は、図 10 (b) に実線で示した反応ガス供給量に依存している。即ち、電流値が  $I_{fc} = I_1$  である状態において、反応ガス供給量として  $Q_{a1}'$  を燃料電池 1 へ供給した結果、出力電圧として  $V_1$  が得られる。換言すると、図 10 (b) の実線の特性は、図 10 (a) に実線で示した燃料電池 1 の電流電圧特性を得るために必要最低限の反応ガス供給量であるといえる。なお、このような関係を持つことから、この出力平衡時の反応ガス供給量特性上の反応ガス供給量を平衡反応ガス供給量とする。

#### 【0060】

50

次に、図 10 を用い、過剰供給量の算出方法について説明する。

電流負荷変動として、電流が  $I_1$  から  $I_2$  (過剰供給量算定のために想定した規定の負荷変動幅  $\Delta I$ ) へ変動すると想定した場合、電流  $I_2$  に対応する燃料電池 1 とキャパシタ 2 の合成出力電圧  $V_2$  を図 10 (a) より求める。

次に、この合成出力電圧  $V_2$  に対応する燃料電池 1 の出力電流  $I_{fc_2}'$  を燃料電池 1 の電流電圧特性から求め、この出力電流  $I_{fc_2}'$  に対応する平衡反応ガス供給量  $Q_{a_1}$  を図 10 (b) の出力平衡時の反応ガス供給両特性から求める。こうして求められた平衡反応ガス供給量  $Q_{a_1}$  を電流  $I_1$  の時点で燃料電池 1 へ供給する反応ガス供給量とする。ここで、電流  $I_{fc} = I_1$  における平衡反応ガス供給量  $Q_{a_1}$  から  $Q_{a_1}$  を減算した値が、過剰供給量となる。

10

#### 【0061】

このように、負荷変動が起きた場合に生ずる電圧降下分に対応する反応ガス供給量を過剰供給量として電流  $I_1$  の時点で予め供給しておけば、燃料電池 1 のガス欠を回避できる。そして、上述の手法により求められた過剰供給量を加味する反応ガス供給量特性を示したものが、図 10 (b) の点線となる。

#### 【0062】

ところで、図 10 (a) に示した燃料電池 1 の電流電圧特性は過剰供給量の説明を簡易にするために用いた特性曲線の一部であり、実際は、図 11 (a) 実線のような特性曲線となる。即ち、燃料電池 1 の電流電圧特性は直線特性ではなく、図 11 (a) に実線で示すような特性曲線を示す。また、この図における点線は、任意に定めた平衡点を起点とした

20

燃料電池 1 とキャパシタ 2 との合成電流電圧特性である。そして、上述したような燃料電池の特性曲線に対応する平衡反応ガス供給量は、図 11 (b) の実線で示すような特性となり、また、実際に燃料電池 1 へ供給される反応ガス供給量は図 11 (b) の点線で示す特性曲線となる。

#### 【0063】

次に、図 12 を用いてキャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  の抵抗値の変化に応じた合成電流電圧特性と過剰供給量との関係について説明する。

図 12 (a) に示すように、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が大きくなるほど燃料電池 1 とキャパシタ 2 の合成電流電圧特性の傾きは大きくなる。従って、図 10 で説明した過剰供給量の算出方法に基づいて図 12 (a) に示した各電流電圧特性に対応する反応ガス供給量特性を求めると、図 12 (b) に示すように、キャパシタ 2 の内部抵抗  $R_{cap}$  が大きいほど、過剰供給量を大きく設定することが必要となる。逆に、過剰供給量を少なくしたい場合には、できるだけ内部抵抗  $R_{cap}$  が小さいキャパシタ 2 を選定すればよいこととなる。

30

#### 【0064】

次に、図 13 を用いてキャパシタ 2 の静電容量と燃料電池 1 へ反応ガスを供給する反応ガス供給系の応答特性との関係について説明する。なお、ここで反応ガス供給系とは、燃料電池 1 と図 5 に示したエアコンプレッサ 11 をはじめとする周辺装置 (補機) であり、具体的には、エアコンプレッサ 11、熱交換機 13、高圧水素タンク 18、電動遮断弁 19、レギュレータ 17、エゼクタ 20、デミスタ 21、加湿器 15 等が挙げられる。

40

#### 【0065】

例えば、図 13 (a) に示すように、負荷電流が  $I_1$  から  $I_2$  へステップ応答的に変化した場合、燃料電池 1 とキャパシタ 2 との合成出力電圧  $V_{out}$  は、図 13 (b) に示すように、負荷電流変動 ( $t_0$ ) の瞬間に電流  $I_2$  に応じた電圧降下  $\Delta V = I_{fc_2} \cdot R_{fc}$  を生じ、その後  $I_2$  に対応する電圧  $V_2$  まで過渡的に降下していく。

このとき、過渡時における合成出力電圧  $V_{out}$  の変化は、 $V(t) = V_{fc} \cdot (1 - e^{-(1/RC)t})$  で表すことができ、キャパシタ 2 の静電容量  $C$  が大きいほど平衡状態 (出力電圧が  $V_2$  となる状態) となるまでに時間を要する。ここで、平衡状態となるまで所要する時間は、図 13 (b) に示すように、キャパシタ 2 の静電容量  $C$  が大きいほど時間を要する。

#### 【0066】

50

更に、図 13 (c) に反応ガス供給量の時間的推移を示す。同図において、それぞれの特性曲線は、上述した図 13 (b) に示した各特性曲線に対応しており、対応するそれぞれの特性曲線を同一の線種で示した。

ここで、図 13 (c) における各反応ガス量  $Q_{a1}'$ 、 $Q_{a1}$ 、 $Q_{a2}'$ 、 $Q_{a2}$  は、それぞれ図 14 に示すように、負荷変動前における負荷電流  $I_1$  に対応する平衡反応ガス供給量  $Q_{a1}'$ 、負荷電流  $I_1$  における過剰供給量を加味した反応ガス供給量  $Q_{a1}$ 、負荷変動後における負荷電流  $I_2$  に対応する平衡反応ガス供給量  $Q_{a2}'$ 、負荷電流  $I_2$  に対応する過剰供給量を加味した反応ガス供給量  $Q_{a2}$  に対応している。

#### 【0067】

ここで、燃料電池 1 へ供給する反応ガス供給量が、変動前の反応ガス供給量  $Q_{a1}$  から負荷変動後における平衡反応ガス供給量  $Q_{a2}'$  に達するまでの応答時間を、上記キャパシタ 2 の出力補助作動時間よりも短くすることが必要となる。これは、キャパシタ 2 が上記負荷変動に対する出力補助可能な時間（出力補助作動時間）内に、負荷変動後の電流  $I_2$  に対応した出力を燃料電池 1 だけで供給できるような状態にしなければ、要求出力に対して燃料電池 1 及びキャパシタ 2 の出力が不足する状態が生じ、この結果、燃料電池 1 がガス欠状態となってしまうからである。

#### 【0068】

従って、図 13 (c) に示すように、キャパシタ 2 による出力補助が可能である時間内に、即ち、図 13 (b) において燃料電池 1 とキャパシタ 2 との合成出力電圧が  $V_2$  に達してしまう前に、燃料電池 1 へ供給する反応ガス供給量を値  $Q_{a2}'$  まで増加させることが必要となる。

これにより、上述したような条件を満たすような応答特性を有する反応ガス供給系、又は、上記条件を満たすような静電容量のキャパシタ 2 を適用する必要がある。

#### 【0069】

次に、上述したキャパシタの静電容量と反応ガス供給系の応答特性について、図 9 を参照して更に詳しく説明する。

図 9 は燃料電池電源装置 10 の負荷変動時の応答特性を示した図である。同図において、アクセルペダルが運転者等によって踏み込まれることにより、アクセルペダルの変化量に応じた要求トルク  $A_p$  は時刻  $T_0$  から時刻  $T_2$  にかけて  $I_1$  から  $I_2$  へ変化する。この要求トルク  $A_p$  の変化に伴い、モータ要求値  $I_{mot}$  も少しの遅れ時間を持ちながら同様に電

#### 【0070】

一方、燃料電池に供給される反応ガス量の応答特性として、ここではエアコンプレッサ 11 によって供給される反応ガス量と平衡するエアコンプレッサ 11 の回転数を示した。負荷変動前の  $T_0$  以前における反応ガス量と平衡する回転数は  $N_{m1}$  であり、上述したモータ要求値  $I_{mot}$  の変化開始後から所定の遅れ時間後、例えば時刻  $T_1$  において緩やかに変化を始め、時刻  $T_3$  において負荷変動後の出力電流  $I_2$  に対応する回転数  $N_{m2}$  に達し、その後、更に上昇を続け、最終的には負荷変動後の回転数  $N_{m2}$  に過剰供給量を加味した回転数で平衡状態となる。

#### 【0071】

燃料電池 1 の出力電流  $I_{fc}$  は、負荷変動開始後から反応ガス量の変化に伴って電流値が上昇し、時刻  $T_4$  において、負荷変動後の平衡電流である電流値  $I_2$  に達し、その後、一時電流値  $I_2$  を上回る出力を続けた後、電流値  $I_2$  に収束する。

一方、キャパシタ 2 は、燃料電池 1 の出力が不足する期間において放電を行い、出力を補う。このためキャパシタ 2 の電流特性は、時刻  $T_1$  において放電を開始し、以後、燃料電池 1 の出力電流  $I_{fc}$  が平衡状態となるまで燃料電池 1 の出力電流  $I_{fc}$  に伴って変化する。

この結果、燃料電池 1 の出力電流  $I_{fc}$  とキャパシタ 2 の出力電流  $I_{cap}$  との合成出力電流  $I_{all}$  は、要求トルク  $A_p$  を満足するように変化する。

#### 【0072】

10

20

30

40

50

一方、燃料電池 1 とキャパシタ 2 の合成電圧出力である  $V_{out}$  は、時刻  $T_1$  から徐々に減少し、時刻  $T_5$  において負荷電流変化後の平衡電圧値となる。

そして図 9 に示したように、予め規定した負荷変動が与えられた場合に、燃料電池 1 の反応ガス供給系から燃料電池 1 に供給される反応ガス量が、時刻  $T_0$  の前記負荷変動直前の供給量、即ちエアコンプレッサ 11 の回転数  $N_{m1}$  に平衡する供給量から、燃料電池 1 が負荷変動後の出力電流値（例えば  $I_2$ ）を少なくとも出力するのに必要な供給量（図 9 では、回転数  $N_{m2}$  に平衡する供給量）に達するまでに要する反応ガス供給系の応答時間、即ち時刻  $T_0$  から時刻  $T_3$  までの応答時間が、負荷変動時点  $T_0$  から燃料電池 1 とキャパシタ 2 との合成出力電圧  $V_{out}$  が、負荷変動後の燃料電池 1 の平衡電流  $I_2$  に対応する電圧値  $V_2$  に達するまでのキャパシタ 2 による出力補助作動時間、即ち時刻  $T_0$  から時刻  $T_5$  までの期間、よりも短くなるように燃料電池 1 に供給する出力平衡時の反応ガス量に対する過剰供給量及びキャパシタ 2 の特性値を設定する。

10

#### 【0073】

このように、燃料電池電源装置 10 に対して、予め規定した負荷変動が与えられた場合に、負荷変動後において燃料電池 1 及びキャパシタ 2 の合成出力電圧が負荷変動後の平衡電流に対応する電圧に達する前に、燃料電池 1 への反応ガス供給量が負荷変動後の平衡電流を少なくとも出力するのに必要な供給量に達するように燃料電池 1 に供給する出力平衡時の反応ガス量に対する過剰供給量及びキャパシタ 2 の特性を設定することにより、燃料電池 1 がガス欠状態に陥ることを防止することができる。

#### 【0074】

20

なお、反応ガス供給系が燃料電池 1 へ供給する反応ガス供給量は、制御装置 4 によって演算される目標発電量に基づいて設定される。この目標発電量は、制御装置 4 が、アクセルペダル開度、車速、電装補機消費電力等の車両の走行状態を示す種々の入力信号に基づいて所定間隔毎に演算する値である（図 4 参照）。従って、過剰供給量を考慮した反応ガス量を燃料電池 1 へ供給するためには、制御装置 4 が過剰供給量を考慮して目標発電量を演算する必要がある。

即ち、図 8 (a) に示したような負荷出力が生じた場合には、制御装置 4 は、図 8 (b) に示すように、過剰供給量に対応する発電量を加えた目標発電量を設定する。これにより、時刻  $t_0$  において負荷出力がステップ的に増加し、電圧降下が発生しても、電圧降下分に対応する反応ガス量が予め燃料電池 1 へと供給されていることとなるので、燃料電池 1 のガス欠を防止することができる。

30

#### 【0075】

更に、制御装置 4 は、上述したように所定の間隔毎に目標発電指令値を演算しているわけであるが、連続して求められた 2 つの目標発電指令値、例えば、演算された最新の目標発電指令値と、その直前に設定した目標発電指令値とに基づく負荷変動幅が、過剰供給量を設定するために想定した上記規定の負荷変動幅以下となるように最新の目標発電指令値を設定する。

即ち、車両の走行状態を示す種々の入力信号に基づいて目標発電指令値を設定したときに、直前に算出した目標発電指令値との関係で、負荷変動幅が規定の負荷変動幅  $\Delta I$  を越えてしまう場合には、その増加分が  $\Delta I$  以下となるように、最新の目標発電値を補正する。このような補正を行うのは、過剰供給量を上記規定の負荷変動幅  $\Delta I$  に基づいて設定しているにも拘わらず、これ以上の負荷変動幅を与えてしまうと、要求出力に対して燃料電池 1 の出力が間に合わなくなり、結果、ガス欠状態となってしまうからである。

40

従って、制御装置 4 が上記条件を満たすように目標発電指令値を常に設定することにより、反応ガス供給量が不足するような出力要求を燃料電池 1 に対して要求しないように制御するので、燃料電池 1 のガス欠を防ぐことができる。

#### 【0076】

なお、上述してきたように、本実施形態に係る燃料電池電源装置では、燃料電池 1 とキャパシタ 2 とを直結状態で使用しているが、実際は、燃料電池 1 とキャパシタ 2 との間には燃料電池 1 の出力電流を制御するための電流制限装置（図示略）が設けられている。以下

50

、この電流制限装置について図 1 を参照して説明する。

【 0 0 7 7 】

例えば、車両の起動直後においては、主にキャパシタ 2 から電力を供給する。これにより、キャパシタ 2 の残容量は急激に低下するため、キャパシタ 2 の電位は燃料電池 1 の電位に比べてかなり低い値となる。このような状態で、キャパシタ 2 と燃料電池 1 とを直結状態としてしまうと、燃料電池 1 からキャパシタ 2 へ大きな電流が流れるため、燃料電池 1 の電位も急激に低下してしまう。

【 0 0 7 8 】

これにより、燃料電池 1 は、燃料電池 1 の出力に対して反応ガスの供給が追いつかない状態、いわゆるガス欠状態に陥ってしまう。従って、キャパシタ 1 と燃料電池 2 との電位差が大きい期間においては、燃料電池 1 がガス欠状態とならないようにその出力電流を制限する必要がある。このため、本発明では、キャパシタ 2 と燃料電池 1 との電位差が大きくなる起動時においては、電流制限装置（図示略）によって燃料電池 1 からの出力電流を制御しながらキャパシタ 2 を充電し、また、燃料電池 1 とキャパシタ 2 との電位差が、予め設定された電位差以下となった場合には、電流制限装置による燃料電池 1 の出力電流の制御を停止して、キャパシタ 2 と燃料電池 1 とを直結状態として使用する。

【 0 0 7 9 】

結局、起動時においては、従来と同様に燃料電池 1 のガス欠を防止するために燃料電池 1 とキャパシタ 2 との間には、チョッパ型 DC / DC コンバータ等からなる電流制限装置が設けられており、電流制限装置内のスイッチング素子がオン / オフすることにより、燃料電池 1 の出力電流を制限する。しかしながら、車両の起動後において燃料電池 1 とキャパシタ 2 の電位差が小さくなり、燃料電池 1 の出力電流を制限しなくてもよい状態になると、電流制限装置はスイッチング動作を停止し、スイッチング素子がオン状態に固定され、キャパシタ 2 と燃料電池 1 とが直結状態となる。

このように、実際の装置構成としては、燃料電池 1 とキャパシタ 2 との間に電流制御装置が介在するのであるが、本実施形態で説明してきたような実使用時においては、電流制限装置はスイッチング動作を行わなくなるので、あたかも燃料電池 1 とキャパシタ 2 との間に電流制限装置が介在しないような状態となる。

【 0 0 8 0 】

以上、この発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【 0 0 8 1 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の燃料電池電源装置によれば、電気負荷の変動時に生じる電気二重層キャパシタの内部抵抗に応じた電気負荷への電圧降下分に対応して、反応ガスを過剰に供給するので、また、所定の出力状態において、該出力状態における燃料電池の電流電圧特性上の平衡点を起点とした燃料電池と電気二重層キャパシタとの合成出力特性と予め規定した負荷変動幅とに基づいて負荷変動後の燃料電池の電圧値を求め、該電圧値に対応する電流値を燃料電池の電流電圧特性に基づいて導出し、導出された電流値に対応する平衡反応ガス供給量を求め、求められた平衡反応ガス供給量以上の反応ガスを出力状態における反応ガス供給量として燃料電池へ供給するので、負荷変動直後に生じる電圧降下により、燃料電池がガス欠状態に陥るのを防止しつつ、燃料電池とキャパシタとを並列で使用することにより、電力効率の高い燃料電池電源装置を実現させることができるという効果が得られる。

また、上述した設定方法によって得られる過剰供給量によれば、前記電圧降下に対応するのに必要最小限の過剰供給量を求めることができるため、より反応ガスの無駄を排除し、効率よく燃料供給を行うことができる。

【 0 0 8 2 】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、電気二重層キャパシタの内部抵抗、静電容量、負荷変動幅に応じて反応ガス供給量を設定するので、また、前記所定の出力状態にお

10

20

30

40

50

ける反応ガス供給量を、燃料電池の電流電圧特性と、電気二重層キャパシタの電流電圧特性と、燃料電池の電流電圧特性に対応する平衡反応ガス供給量特性とに基づいて設定するので、負荷変動直後に生じる電圧降下分を正確に導出することができ、上述の各設定値をより適切な値とすることが可能となる。これにより、燃料電池電源装置の性能向上を図ることが可能となる。

【0083】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、燃料電池の電流電圧特性が、燃料電池の内部抵抗値又は所定の出力電流区分範囲に対する平均抵抗値に依存するので、所定出力時において燃料電池へ供給される反応ガス供給量は、この燃料電池の内部抵抗に応じて異なることとなる。このように各種特性に基づいて適切な反応ガス量を設定することにより、負荷変動時における燃料電池のガス欠を防ぐと共に、最適な反応ガス量を燃料電池に供給することが可能となり、燃料電池電源装置の性能向上を図ることが可能となる。

10

【0084】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、電気二重層キャパシタの電流電圧特性が、電気二重層キャパシタの内部抵抗及び静電容量に依存するので、所定出力時において燃料電池へ供給される反応ガス供給量は、この電気二重層キャパシタの内部抵抗に応じて異なることとなる。このように各種特性に基づいて適切な反応ガス量を設定することにより、負荷変動時における燃料電池のガス欠を防ぐと共に、最適な反応ガス量を燃料電池に供給することが可能となり、効率よく反応ガスを使用することができ、燃料電池電源装置の性能向上を図ることが可能となる。

20

【0085】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、燃料電池の反応ガス供給系から燃料電池に供給されている反応ガス供給量が、出力状態における反応ガス供給量から負荷変動後における平衡反応ガス供給量に達するまでの応答時間を、負荷変動に対する電気二重層キャパシタの出力補助作動時間よりも短くするので、燃料電池がガス欠状態に陥ることを防止しつつ、燃料電池に対して効率よく燃料供給を行うことができ、又、電力効率の高い燃料電池電源装置を実現させることができるという効果が得られる。

【0086】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、反応ガス供給系の応答時間を電気二重層キャパシタの出力補助作動時間よりも短くするように反応ガス供給系の応答特性を設定するので、燃料電池がガス欠状態に陥ることを防止しつつ、燃料電池に対して効率よく燃料供給を行うことができ、又、電力効率の高い燃料電池電源装置を実現させることができるという効果が得られる。

30

【0087】

また、本発明の燃料電池電源装置によれば、反応ガス供給系の応答時間を電気二重層キャパシタの出力補助作動時間よりも短くするように電気二重層キャパシタの静電容量を設定するので、燃料電池がガス欠状態に陥ることを防止しつつ、燃料電池に対して効率よく燃料供給を行うことができ、又、電力効率の高い燃料電池電源装置を実現させることができるという効果が得られる。

【0088】

車両の走行状態を示す入力信号に基づいて所定間隔毎に走行用モータの目標出力指令値及び燃料電池の目標発電指令値が演算され、目標発電指令値に基づいて燃料電池へ供給される反応ガス量が設定される燃料電池電源装置であって、連続して求められた2つの目標発電指令値の変化量に基づく負荷変動幅が予め規定した負荷変動幅以内となるように制御されるので、反応ガス供給量が不足するような要求出力を要求しないように制御することにより、燃料電池のガス欠を防ぐことができる。

40

【0089】

また、本発明の燃料電池電源装置は、装置の起動時においては、燃料電池の出力電流を制限するために燃料電池と電気二重層キャパシタとの間に設けられた電流制限手段が動作し、また、燃料電池と電気二重層キャパシタとの電位差が、予め設定された電位差以下とな

50

った場合には、燃料電池と電気二重層キャパシタとを直結状態とする。このように、装置の起動後においては、電流制限装置を使用せずに燃料電池と電気二重層キャパシタとを直結状態とすることができるため、電流制限器のスイッチング素子によるスイッチング電力損失を回避することができ、電力を効率よく負荷へと供給することができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施形態による燃料電池の電流電圧特性図の一例である。

【図 2】 同実施形態に係る燃料電池の電流電圧特性図の一例である。

【図 3】 同実施形態に係る燃料電池の電流電圧特性図の一例である。

【図 4】 同実施形態に係る燃料電池電源装置を燃料電池車両に搭載した場合の車両の概略構成図である。 10

【図 5】 同実施形態に係る燃料電池及びその周辺装置の構成を示す図である。

【図 6】 同実施形態に係る燃料電池電源装置の等価回路図である。

【図 7】 同実施形態に係る燃料電池電源装置の電圧応答特性及び電流応答特性図である。

。

【図 8】 同実施形態における燃料電池電源装置に係る各種出力特性を示す図である。

【図 9】 同実施形態における燃料電池電源装置の各種応答特性図である。

【図 10】 過剰供給量の設定手法について説明するための各種特性曲線の一部を示した図である。

【図 11】 燃料電池の電流電圧特性とこの燃料電池の電流電圧特性に応じた反応ガス供給量特性を示す図である。 20

【図 12】 電気二重層キャパシタの内部抵抗と反応ガス供給量の関係を示す図である。

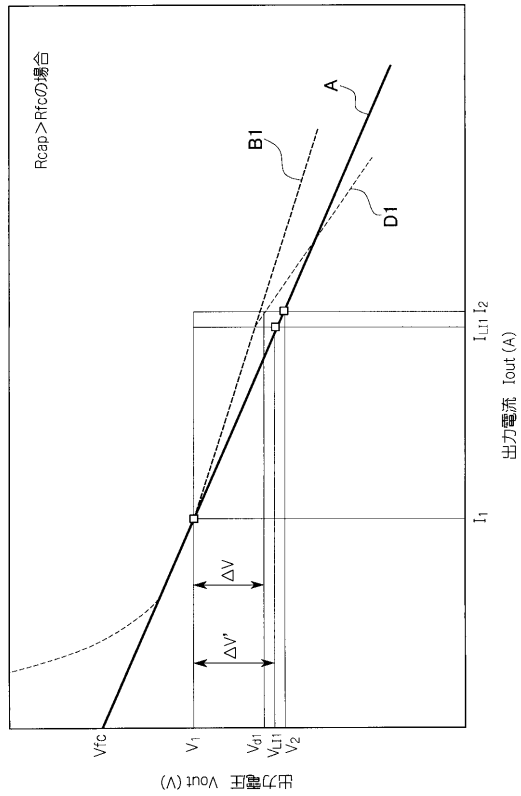
【図 13】 電気二重層キャパシタの静電容量と、反応ガス供給系の応答特性との関係を説明するための各種特性曲線である。

【図 14】 出力電流に対応する各反応ガス供給量を導出するための反応ガス供給量特性を示した図である。

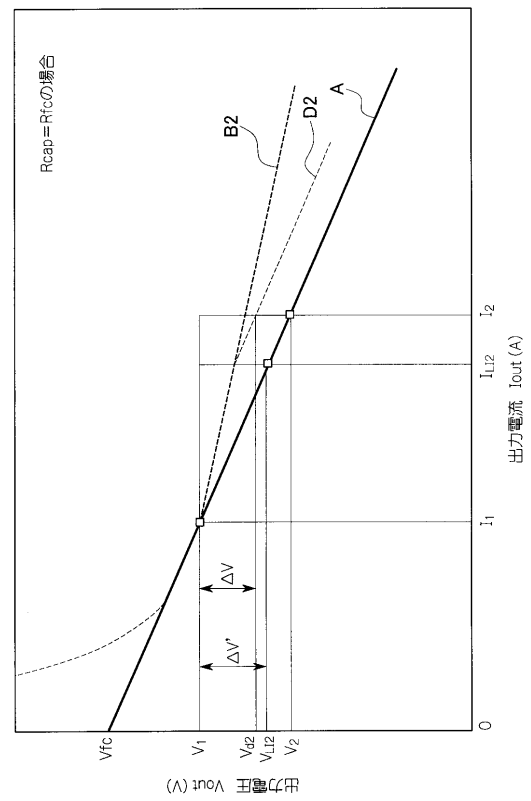
【符号の説明】

1 ... 燃料電池、2 ... キャパシタ（電気二重層キャパシタ）、3 ... 走行用モータ、4 ... 制御装置、10 ... 燃料電池電源装置、11 ... エアコンプレッサ

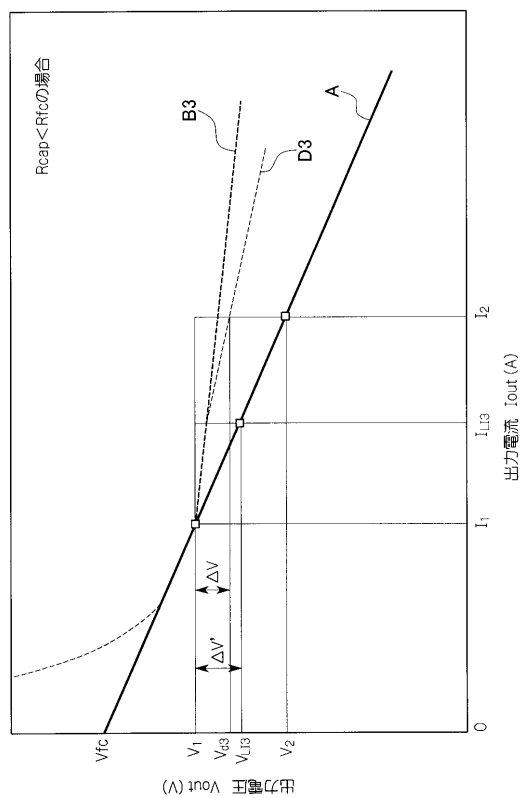
【図 1】



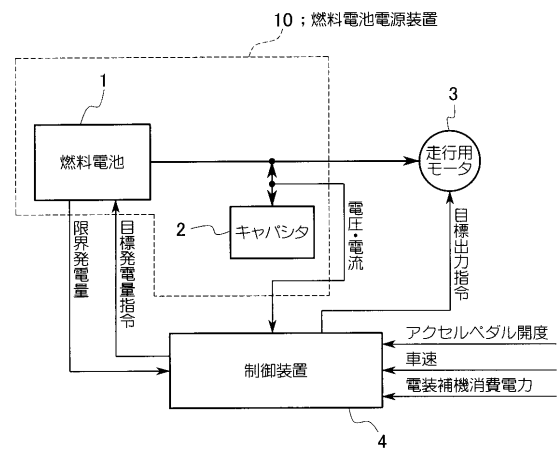
【図 2】



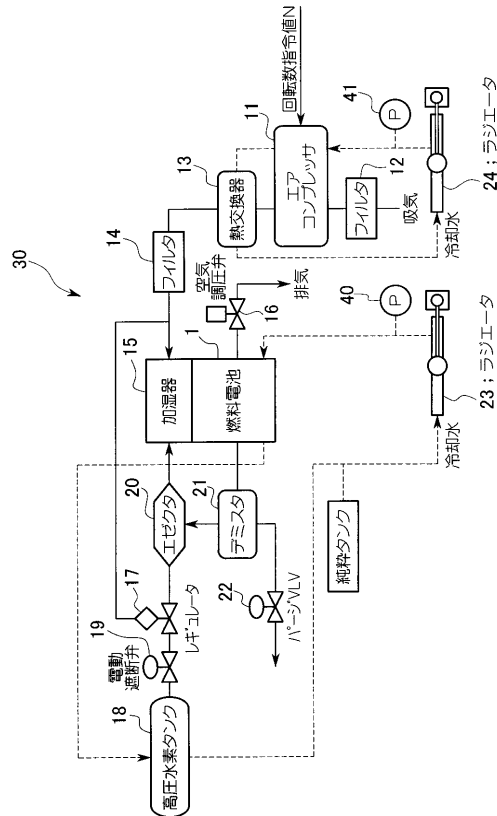
【図 3】



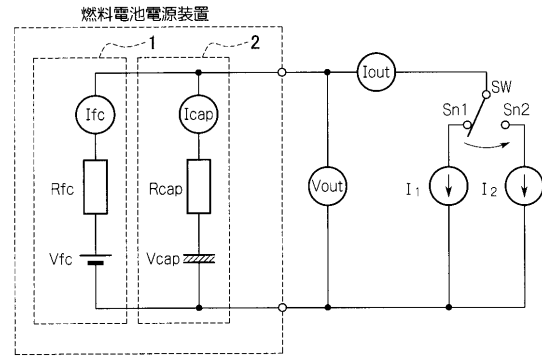
【図 4】



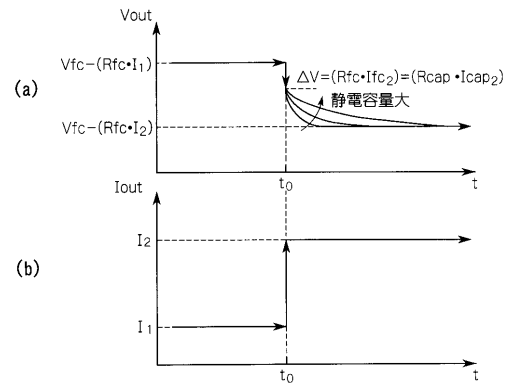
【図 5】



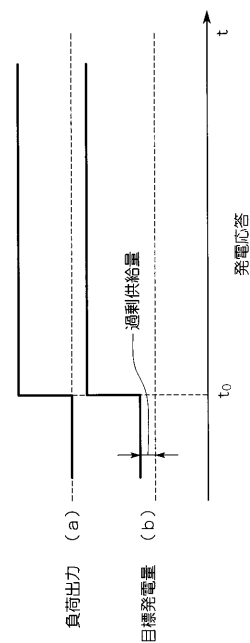
【図 6】



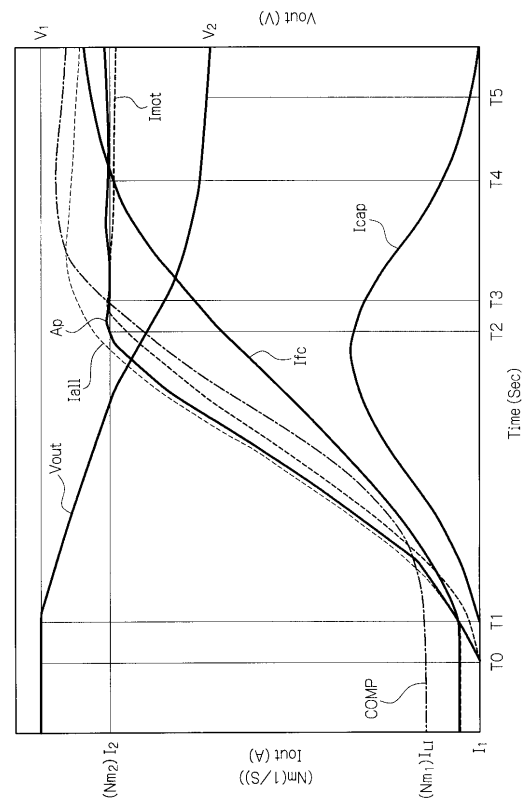
【図 7】



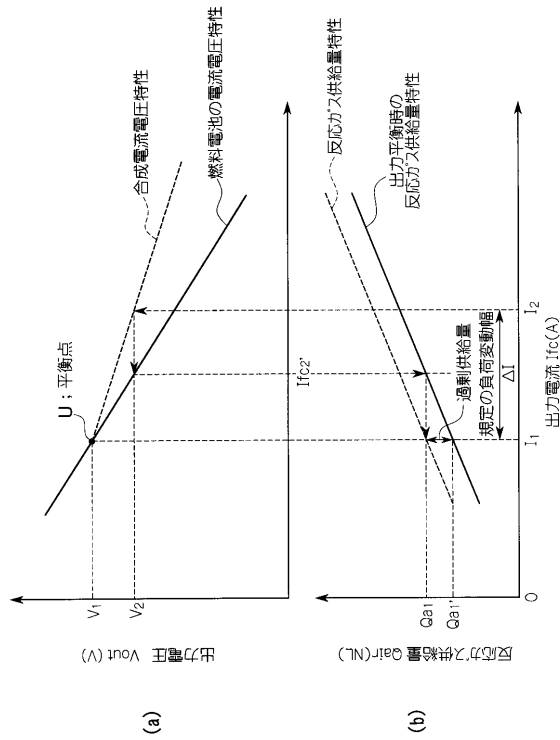
【図 8】



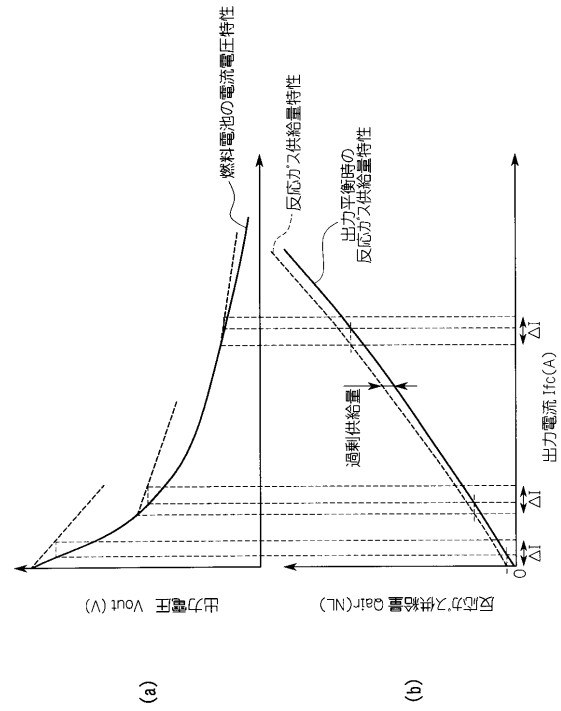
【図 9】



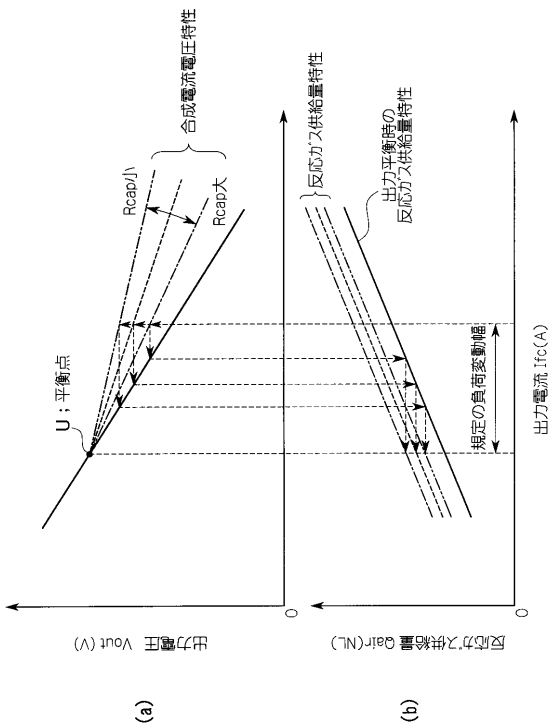
【図 10】



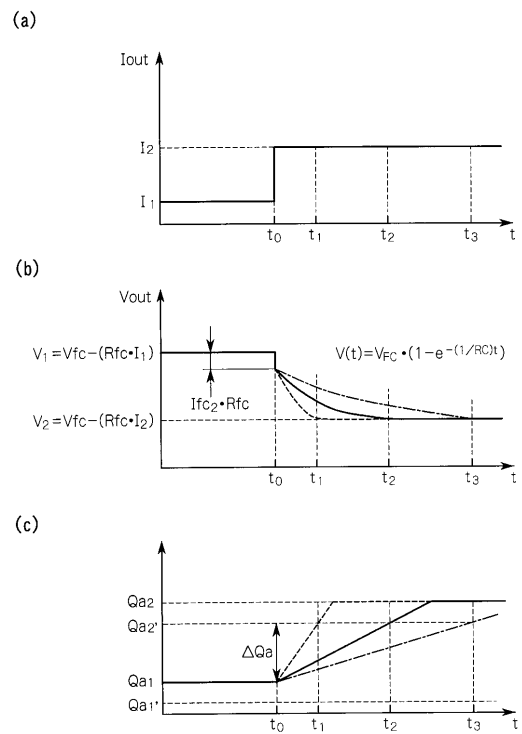
【図 11】



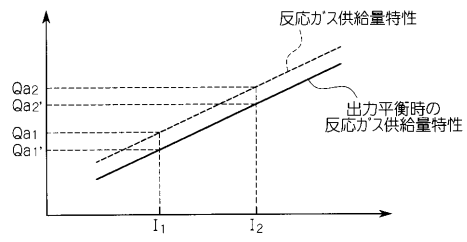
【図 12】



【図 13】



【図 14】



## フロントページの続き

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | F I                  |
| H 0 2 J 7/00              | H 0 2 J 1/00 3 0 6 K |
|                           | H 0 2 J 7/00 P       |
|                           | H 0 2 J 7/00 3 0 2 D |

(72)発明者 青柳 暁  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 佐伯 響  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 長谷川 祐介  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 香▲高▼ 和男  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

審査官 守安 太郎

(56)参考文献 特開平08-214452(JP,A)  
特開平08-130805(JP,A)  
特開平10-040962(JP,A)  
特開2000-033585(JP,A)  
特開昭63-045763(JP,A)  
特開平03-276573(JP,A)  
特開平06-275296(JP,A)  
特開平08-321319(JP,A)  
特開平09-007618(JP,A)  
特開平10-326625(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01M 8/00,8/04  
H02J 1/00,7/00  
H01M 10/44  
H01G 9/155  
B60L 11/18