(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5023717号
(P5023717)

(45)発行日　平成24年9月12日(2012.9.12)　(24)登録日　平成24年6月29日(2012.6.29)

(51)Int.Cl.		F I		
B60W 10/08	(2006.01)	B60K	6/20	320
B60W 20/00	(2006.01)	B60L	11/14	ZHV
B60L 11/14	(2006.01)	H02P	9/14	G
H02P 9/14	(2006.01)	B60K	6/44	
B60K 6/44	(2007.10)			

請求項の数 4　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2007-16393(P2007-16393)
(22)出願日　平成19年1月26日(2007.1.26)
(65)公開番号　特開2008-183918(P2008-183918A)
(43)公開日　平成20年8月14日(2008.8.14)
審査請求日　平成22年1月21日(2010.1.21)

(73)特許権者　000003997
日産自動車株式会社
神奈川県横浜市神奈川区宝町２番地
(74)代理人　100066980
弁理士　森　哲也
(74)代理人　100103850
弁理士　田中　秀▲てつ▼
(74)代理人　100116012
弁理士　宮坂　徹
(72)発明者　得能　英通
神奈川県横浜市神奈川区宝町２番地　日産自動車株式会社内
(72)発明者　杉田　秀彦
神奈川県横浜市神奈川区宝町２番地　日産自動車株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】車両の駆動力制御装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
内燃機関と、内燃機関で駆動される発電機と、発電機の発電電力を電力変換して出力するインバータと、インバータの出力電圧が供給されて駆動輪を駆動する交流モータと、発電機の出力電圧及び出力電流で特定される動作点であって、モータトルク指令値に応じた最適動作点を算出する最適動作点設定手段と、上記最適動作点に応じて上記インバータの出力電圧を矩形波制御若しくは変調率を固定したＰＷＭ制御で制御するモータ制御部と、上記最適動作点に対応した発電機の出力となるように発電機の界磁を制御する発電制御手段と、を備えた車両の駆動力制御装置において、
上記モータトルクの指令値の変動に伴って発電電圧が変動する際に、その発電電圧の電圧変動が所定電圧偏差内に収まる、最適動作点の上限最適動作点及び下限最適動作点を設定する最適動作点限界設定手段と、
最適動作点限界設定手段で設定した上限最適動作点と下限最適動作点との間の範囲に、最適動作点設定手段で算出した最適動作点を制限する最適動作点制限手段とを備えることを特徴とする車両の駆動力制御装置。
【請求項２】
上記最適動作点限界設定手段は、現在の最適動作点を含む発電機の出力可能特性線での発電電圧の電圧変動が予め設定した所定電圧偏差内に収まる動作点を、次回の最適動作点の上限最適動作点及び下限最適動作点として算出することを特徴とする請求項１に記載した車両の駆動力制御装置。

【請求項３】
上記最適動作点限界設定手段は、発電機の回転数及びモータの回転数の少なくとも一方の回転数に基づき、上限最適動作点と下限最適動作点との間の範囲の幅を変更し、上記回転数が大きいほど当該所定の範囲の幅を小さく設定変更することを特徴とする請求項１又は請求項２に記載した車両の駆動力制御装置。
【請求項４】
上記最適動作点限界設定手段は、現在の最適動作点を含む発電機の出力特性線上における、当該最適動作点から所定電圧偏差だけ電圧を増加及び減少した動作点を限界動作点と定義したときに、
現在の最適動作点に対して、モータ・インピーダンス特性で特定される傾きを持った直線である位相一定線を、上記限界動作点を通過する位置に配置した場合における、当該位相一定線と交わる最適動作点を、それぞれ上記上限最適動作点及び下限最適動作点として設定して、次回の目標モータトルクに応じた最適動作点に対する上限及び下限の制限値として使用することを特徴とする請求項１～請求項３のいずれか１項に記載した車両の駆動力制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、内燃機関で駆動される発電機の出力電力を、インバータを介して交流モータに供給し、その交流モータで車輪を回転駆動する車両の駆動力制御装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
前輪及び後輪のうちの一方をエンジンで駆動すると共に、そのエンジンで駆動される発電機の出力電力を、インバータによって電力変換して交流モータに供給し、そのモータの駆動力で前輪及び後輪のうちの他方の車輪を駆動する、いわゆるハイブリッド車両で使用される駆動力制御装置としては、たとえば特許文献１に記載されるものがある。
そして、この特許文献１に記載の技術のように、発電機が発電した電力をモータへ印加するため、インバータの出力電圧を変調率可変のパルス幅変調方式（ＰＷＭ駆動）で制御する技術が知られている。
【特許文献１】特開２００２－１８６１０９号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
一般に発電機の制御応答性は低く、インバータによるモータ制御の応答性は高いことが知られており、発電機とインバータを組み合わせた場合に、発電機の出力電圧と出力電流は、電気負荷となるインバータの制御状態によって変動する可能性があるため、両者を協調して動作する必要がある。例えば、モータトルク指令が急増する過程では、発電機出力の増加が遅れ、インバータへの入力が不十分な状態でモータトルク指令を出力するようにモータ制御が動くため、車両総駆動力の面で不利となったり、制御系が発散し電圧、電流、トルクのハンチング現象が発生したりするというおそれがある。
【０００４】
このハンチング現象は、インバータによるモータ制御にて電圧変調を施さない、変調率固定のＰＷＭ制御（以下、負荷固定制御と称す。）や矩形波制御を適用することで対応可能である。
しかしながら、負荷固定制御や矩形波制御では、モータ電流はインバータの電源電圧に依存するため、モータトルク指令値の急変など発電機の動作点が急変する場合に、電圧の落ち込み等の問題が発生する。
【０００５】
すなわち、負荷固定制御や矩形波制御により交流モータを駆動する場合、発電機及びインバータの状態で決定される発電機の動作点（ＤＣ電流およびＤＣ電圧）は、その瞬間の

発電特性と、モータ・インピーダンス（インバータ及びモータの電気負荷）の特性により決定されるが、上述のように、発電機の制御応答性よりもインバータによるモータ制御の応答性の方が高いために、単純にモータトルク指令に応じた最適動作点となるように、発電機の制御状態及びインバータの制御状態を変化させると、発電特性の変化よりも、モータ・インピーダンスの方が早く変化することから、実動作点は、モータ・インピーダンスの変化に従って実動作点を含む発電特性線Ｓｔに沿って移動するように動作をした後に、つまり今回のモータトルク指令値に応じた最適動作点の電圧よりも電圧が増加、若しくは減少した後に最適動作点に移行するように動作することで、発電電圧が変動する。

【０００６】

以上のことから、発電状態に対してモータトルク指令が急増しすぎた場合には、インバータ入力電圧が急減し、モータの実トルクが非常に小さくなる可能性がある。一方、発電状態に対してモータトルク指令値が急減しすぎた場合には、インバータ入力電圧が急増し、モータの実トルクが非常に大きくなる可能性がある。

本発明は、上記のような点に着目して成されたもので、発電機、インバータ、及び交流モータの組み合わせで、安定したモータトルク制御を行うことができる車両用の駆動制御装置を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記課題を解決するために、本発明は、内燃機関で駆動される発電機の発電電力を、インバータを介して交流モータに供給し、モータトルク指令値に応じた最適動作点をとるようにして上記インバータの出力電圧を矩形波制御若しくは変調率を固定したＰＷＭ制御で制御すると共に、上記最適動作点に対応した発電機の出力となるように発電機の界磁を制御する車両の駆動力制御装置において、

上記モータトルクの指令値の変動に伴って発電電圧が変動する際に、最適動作点の上限最適動作点及び下限最適動作点を設定し、その上限最適動作点と下限最適動作点との間の範囲に、最適動作点を制限することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【０００８】

本発明によれば、モータを制御するインバータの制御として矩形波波形電圧もしくは変調率固定の印加電圧をモータに印加する制御を適用すると共に、発電機の状態に応じて、モータトルク指令値に応じた発電機の最適動作点の取り得る上限値及び下限値を算出し、その範囲にモータトルク指令値に応じた上記最適動作点を制限することで、発電電圧の変動が小さくなる。この結果、安定したモータトルク制御を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００９】

次に、本発明に係る実施形態について図面を参照しつつ説明する。

図１は、本実施形態を説明するための概略構成図である。

（構成）

この図１に示すように、本実施形態の車両は、左右前輪１Ｌ、１Ｒが、内燃機関であるエンジン２によって駆動される主駆動輪であり、左右後輪３Ｌ、３Ｒが、モータ４によって駆動可能な従駆動輪である。

【００１０】

上記エンジン２の吸気管路には、例えばメインスロットルバルブとサブスロットルバルブとが介装されている。メインスロットルバルブは、アクセルペダルの踏込み量等に応じてスロットル開度が調整制御される。サブスロットルバルブは、ステップモータ等をアクチュエータとし、そのステップ数に応じた回転角により開度が調整制御される。従って、サブスロットルバルブのスロットル開度をメインスロットルバルブの開度以下等に調整することによって、運転者のアクセルペダルの操作とは独立して、エンジンの出力トルクを減少させることができる。つまり、サブスロットルバルブの開度調整が、エンジン２による前輪１Ｌ、１Ｒの加速スリップを抑制する駆動力制御となる。

【００１１】
上記エンジン２の出力トルクＴｅは、トランスミッション及びデファレンスギヤ５を通じて左右前輪１Ｌ、１Ｒに伝達される。また、エンジン２の出力トルクＴｅの一部は、無端ベルト６を介して発電機７に伝達されることで、発電機７は、エンジン２の回転数Ｎｅにプーリ比を乗じた回転数Ｎｇで回転する。
上記発電機７は、４ＷＤコントローラ８によって調整される界磁電流Ｉｆｇに応じてエンジン２に対し負荷となり、その負荷トルクに応じた発電をする。この発電機７の発電電力の大きさは、回転数Ｎｇと界磁電流Ｉｆｇとの大きさにより決定される。なお、発電機７の回転数Ｎｇは、エンジン２の回転数Ｎｅからプーリ比に基づき演算することができる。
【００１２】
図２は、発電機７の界磁電流駆動回路の構造の一例を示す図である。この回路は、図２（ａ）に示すように、界磁電流電源として車両の１４Ｖバッテリ７ａのような定電圧電源と発電機自身の出力電圧とを選択する構成を適用し、界磁電流電源のプラス側を界磁コイル７ｂに繋げて、トランジスタ７ｃをスイッチングするように構成されている。この場合、発電機出力がバッテリ電圧Ｖｂを下回っている状態では、他励領域となってバッテリ電圧Ｖｂが界磁コイル７ｂの電源となり、発電機出力が増加して出力電圧Ｖｄｃがバッテリ電圧Ｖｂ以上となると、自励領域となって発電機の出力電圧Ｖｄｃが選ばれて界磁コイル７ｂの電源となる。即ち、界磁電流値を発電機の電源電圧により増大することができるので、大幅な発電機出力の増加が可能である。
【００１３】
なお、界磁電流駆動回路は、図２（ｂ）に示すように界磁電流電源として車両の１４Ｖバッテリ７ａのみ（他励領域のみ）を適用するようにしてもよい。
発電機７が発電した電力は、ジャンクションボックス１０及びインバータ９を介して交流モータ４に供給可能となっている。上記モータ４の駆動軸は、減速機１１及びクラッチ１２を介して後輪３Ｌ、３Ｒに接続可能となっている。なお、図中の符号１３はデファレンスギヤを示す。
【００１４】
ジャンクションボックス１０内には、インバータ９と発電機７とを接続・遮断するリレーが設けられている。そして、このリレーが接続されている状態で、発電機７から図示しない整流器を介して供給された直流の電力は、インバータ９内で三相交流に変換されてモータ４を駆動する。
また、ジャンクションボックス１０内には、発電電圧Ｖｄｃを検出する発電機電圧センサと、インバータ９の入力電流である発電電流Ｉｄｃを検出する発電機電流センサとが設けられ、これらの検出信号は４ＷＤコントローラ８に出力される。また、モータ４の駆動軸にはレゾルバが連結されており、モータ４の磁極位置信号θを出力する。
【００１５】
また、上記クラッチ１２は、例えば湿式多板クラッチであって、４ＷＤコントローラ８からの指令に応じて締結及び開放を行う。なお、本実施形態においては、締結手段としてのクラッチを湿式多板クラッチとしたが、例えばパウダークラッチやポンプ式クラッチであってもよい。
また、各車輪１Ｌ、１Ｒ、３Ｌ、３Ｒには、車輪速センサ２７ＦＬ、２７ＦＲ、２７ＲＬ、２７ＲＲが設けられている。各車輪速センサ２７ＦＬ、２７ＦＲ、２７ＲＬ、２７ＲＲは、対応する車輪１Ｌ、１Ｒ、３Ｌ、３Ｒの回転速度に応じたパルス信号を車輪速検出値として４ＷＤコントローラ８に出力する。
【００１６】
上記４ＷＤコントローラ８は、例えばマイクロコンピュータ等の演算処理装置を備えて構成され、上記各車輪速度センサ２７ＦＬ～２７ＲＲで検出される車輪速度信号、ジャンクションボックス１０内の電圧センサ及び電流センサの出力信号、モータ４に連結されたレゾルバの出力信号及びアクセルペダル（不図示）の踏込み量に相当するアクセル開度等

が入力される。

【００１７】

４ＷＤコントローラ８は、図３に示すように、目標モータトルク演算部８Ａ、発電機の界磁を制御する手段としての発電機制御部８Ｂ、モータ制御部８Ｃ、ＴＣＳ制御部８Ｄ、およびクラッチ制御部８Ｅを備える。

目標モータトルク演算部８Ａは、４輪の車輪速度信号に基づいて算出される前後輪の車輪速度差とアクセルペダル開度信号とから、モータトルク指令値Ｔｔを算出する。

【００１８】

すなわち、目標モータトルク演算部８Ａは、図４に示すような構成となっており、先ず、前後回転差演算部８１で、４輪の車輪速度信号Ｖｆｒ～Ｖｒｒに基づき、次式をもとに前後回転差ΔＶを算出する。

ΔＶ＝（Ｖｆｒ＋Ｖｆｌ）／２－（Ｖｒｒ－Ｖｒｌ）／２

そして、前後回転差ΔＶに基づいて、第１モータ駆動力演算部８２で予め格納されたマップを参照し、第１モータ駆動力ＴΔＶを算出して後述するセレクトハイ部に出力する。この第１モータ駆動力ＴΔＶは、前後回転差ΔＶが大きくなると共に比例的に大きく算出されるように設定されている。

【００１９】

車速演算部８３では、４輪の車輪速度信号と車両が発生する総駆動力Ｆとをセレクトローして車速信号Ｖを算出する。ここで、総駆動力Ｆは、トルクコンバータ滑り比から推定される前輪駆動力とモータトルク指令値Ｔｔから推定される後輪駆動力との和によって求められる。

第２モータ駆動力演算部８４では、第２モータ駆動力Ｔｖを算出する。具体的には、車速演算部８３から出力された車速Ｖとアクセル開度Ａｃｃとに基づいて、予め格納されたマップを参照して、算出する。この第２モータ駆動力Ｔｖは、アクセル開度Ａｃｃが大きくなるほど大きく、車速Ｖが大きくなるほど小さく算出されるように設定されている。

【００２０】

次にセレクトハイ部８５で、上記第１モータ駆動力演算部８２から出力された第１モータ駆動力ＴΔＶと、上記第２モータ駆動力演算部８４から出力された第２モータ駆動力Ｔｖとをセレクトハイした値を目標トルクＴｔｔとして後輪ＴＣＳ制御部８６に出力する。

そして、後輪速Ｖｒｌ，Ｖｒｒ、車速Ｖに基づいて、公知の方法により後輪トラクションコントロール制御を行って、モータ４のモータトルク指令値Ｔｔを出力する。

【００２１】

発電機制御部８Ｂは、目標モータトルク演算部８Ａからのモータトルク指令値Ｔｔに基づいて後述する発電制御を行い、発電機７の界磁電流Ｉｆｇを制御する。

モータ制御部８Ｃは、発電機７の発電状態から、インバータ９に出力する３相パワー素子のスイッチング制御信号を算出して、３相交流電流を制御する。このとき、後述するように、公知の３相電流フィードバック制御を行わず、変調率固定の印加電圧として変調率固定のＰＷＭ波電圧をモータ４に印加する負荷固定制御を行うと共に、発電機制御部で求めた最適動作点となるように制御する。なお、最適動作点などの演算処理を、モータ制御部で行うようにしても良い。

【００２２】

ＴＣＳ制御部８Ｄは、エンジントルク制御コントローラ（ＥＣＭ）からのエンジン発生駆動トルクデマンド信号Ｔｅｔ、前輪回転速度Ｖｆｒ，Ｖｆｌ、車速Ｖに基づいて、公知の方法によりＥＣＭに対してエンジン発生駆動トルクデマンド信号Ｔｅを送り返すことにより前輪トラクションコントロール制御を行う。

クラッチ制御部８Ｅは、上記クラッチ１２の状態を制御し、４輪駆動状態と判定している間はクラッチ１２を接続状態に制御する。

【００２３】

図５は、発電機７の発電制御を行う発電機制御部８Ｂの詳細を示すブロック図である。

この発電機制御部８Ｂは、モータ必要電力演算部１０１と、目標発電電力演算部１０２

と、発電電力制限部１０３と、目標発電電力決定部１０４と、最適動作点設定手段としての最適動作点設定部１０５と、発電制御手段としての発電電力制御部１０８とで構成され、発電機７の界磁電流Ｉｆｇを制御する。

【００２４】

モータ必要電力演算部１０１は、上記目標モータトルク演算部８Ａで算出されたモータトルク指令値Ｔｔとモータ回転速度Ｖｍとに基づいて、次式をもとに、モータ４に必要なモータ必要電力Ｐｍを算出する。

Ｐｍ＝Ｔｔ×Ｖｍ

目標発電電力演算部１０２では、モータ必要電力演算部１０１から出力されるモータ必要電力Ｐｍに基づいて、次式をもとに発電機７が出力すべき発電機必要電力Ｐｇを算出する。

Ｐｇ＝Ｐｍ／Ｉｍ

ここで、Ｉｍはモータ効率である。つまり、発電機必要電力Ｐｇはモータ必要電力Ｐｍよりモータ効率分多く出力しなければならないことになる。

【００２５】

発電電力制限部１０３では、発電電力の制限値ＰＬ１及びＰＬ２を出力する。電力制限値ＰＬ１は、発電電力が発電機７を駆動するベルトの伝達可能トルクに応じて決まる電力を上回らないようにするための上限値であり、次式をもとに算出する。

ＰＬ１＝Ｔｂ×ωｇ×Ｉｇ

ここで、Ｔｂはベルト伝達可能トルク、ωｇは発電機７の回転速度、Ｉｇは発電機効率であり、ＰＬ１はベルト伝達可能トルクがＴｂであるときに発電機７が発電可能な最大発電量に相当する。

つまり電力制限値ＰＬ１は、図６（ａ）に示すように、発電機７の回転速度ωｇが大きくなるにつれて比例的に大きく算出されることになる。

【００２６】

また、電力制限値ＰＬ２は、発電電力が、エンジンの負荷過大によるエンストや運転性劣化を起こす可能性のある電力を上回らないようにするための上限値である。この制限値ＰＬ２は、エンジントルク制御コントローラ（ＥＣＭ）から与えられる。

この電力制限値ＰＬ２は、図６（ｂ）に示すように、発電機７の回転速度ωｇが大きくなるほど、またアクセル開度Ａｃｃが大きくなるほど大きく算出されることになる。

【００２７】

そして、目標発電電力演算部１０２及び発電電力制限部１０３の演算結果が目標発電電力決定部１０４に入力されて、発電機必要電力Ｐｇと電力制限値ＰＬ１，ＰＬ２とがセレクトローされ、発電機の目標出力電力ＰＧが算出される。

図６（ｃ）は、発電機必要電力Ｐｇと電力制限値ＰＬ１，ＰＬ２とのうち、発電機必要電力Ｐｇが最も小さい場合を示しており、この場合、現在速度での発電機必要電力Ｐｇが目標出力電力ＰＧとして選択される。

【００２８】

最適動作点設定部１０５では、目標発電電力決定部１０４から出力される目標出力電力ＰＧ即ちモータ使用可能電力と、予め格納された発電機出力最大特性マップとに基づいて、発電機７の最適動作点（インバータ９の入力電圧及び入力電流、即ち発電機７の目標電圧$Ｖｄｃ^{*}$及び目標電流$Ｉｄｃ^{*}$）を算出する。

具体的には、図７に示すように、モータ使用可能電力ＰＧに相当する電力一定線Ｐと、破線で示す発電機出力最大特性線ηとの交点を発電機７の最適動作点（$Ｖｄｃ^{*}$，$Ｉｄｃ^{*}$）として選定する。

【００２９】

この図７において、曲線Ｓｔは発電機回転速度と界磁電流とをパラメータとした発電機出力特性線（発電機の出力可能特性線）であり、ある回転速度である界磁電流が与えられているとき、発電機はこの出力可能特性線上の電圧・電流を発生する。この出力可能特性線Ｓｔ上には出力（発電電力）が最大となる点が存在し、各出力可能特性線Ｓｔの最大出

力点を連続した線が発電機出力最大特性線ηである。この発電機出力最大特性線ηを、発電機出力最大特性マップとして予め格納しておく。そして、この発電機出力最大特性線η上に最適動作点を取るように設定される。

【００３０】

最適動作点制限部１０６では、最適動作点設定部１０５が設定した最適動作点ＴＲＱＣＭＤ（＝（Ｖｄｃ*，Ｉｄｃ*））が制限範囲内か否かを判定し、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ以上であれば上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈに、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗ以下であれば下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗに制限する。ここで、最適動作点制限部１０６は、最適動作点限界設定手段を構成する。

【００３１】

すなわち、後述の最適動作点限界検出部１０７で、前回の最終的な最適動作点ＴＲＱＣＭＤを基準に求めた上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ、および下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを使用して、図８に示すような処理を行う。すなわち、今回の最適動作点ＴＲＱＣＭＤと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈを比較して上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの方が小さければ、ステップＳ２０に移行し、最適動作点ＴＲＱＣＭＤが上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ以下であればステップＳ３０に移行する。

【００３２】

ステップＳ２０では、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈとして、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを制限して処理を終了する。

ステップＳ３０では、今回の最適動作点ＴＲＱＣＭＤと下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを比較して下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗの方が大きければ、ステップＳ４０に移行する。一方、最適動作点ＴＲＱＣＭＤが上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ以上であれば、そのまま処理を終了して最適動作点ＴＲＱＣＭＤの制限を行わない。

【００３３】

ステップＳ４０では、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗとして、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを制限して処理を終了する。

また最適動作点限界検出部１０７は、上記最適動作点制限部１０６で制限処理後の最適動作点ＴＲＱＣＭＤを使用して、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ及び下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを算出する。最適動作点限界検出部１０７は、最適動作点限界設定手段を構成する。

【００３４】

その処理を、図９を参照しつつ説明すると、まず、ステップＳ１００にて、モータ・インピーダンス特性の傾きＡを算出してステップＳ１１０に移行する。

ここで、負荷固定電圧や矩形波波形電圧により交流モータを駆動する場合、発電機とインバータ間の動作点（ＤＣ電流／ＤＣ電圧）はその瞬間の発電特性（発電機出力特性線Ｓｔ）と、モータ・インピーダンスにより決定される（図１０参照）。

また、モータ・インピーダンス特性を示す特性式は、下記式のように表されることが知られている。

【００３５】

【数１】

$$Idc=\frac{k^2}{R^2+\omega^2\cdot Ld\cdot Lq}\{R+\omega\cdot\cos\theta v\cdot\sin\theta v(Ld-Lq)\}Vdc$$

$$-\frac{k}{R^2+\omega^2\cdot Ld\cdot Lq}(\omega^2\cdot Lq\cdot\phi\cdot\cos\theta v+R\cdot\omega\cdot\phi\cdot\sin\theta v)$$

【００３６】

なお、Ｒ：巻線抵抗［Ω］、Ｌｄ、Ｌｑ：ｄ、ｑ軸インダクタンス、ω：モータ回転角速度［ｒａｄ／ｓｅｃ］、φ：磁束［Ｗｂ］、θｖ：ｄ軸正方向を基準とした電圧位相［ｒａｄ］、Ｖｄｃ：ＤＣ電圧［Ｖ］、ｋ：電圧係数、である。

この式から分かるように、モータ・インピーダンス特性におけるＶｄｃに対するＩｄｃの傾きであるＩｄｃ切片（位相一定線）は、モータ回転速度ωとｄ軸正方向を基準としたモータ電圧位相θｖにより決まる。

また、モータ電圧位相θｖは、

【００３７】

【数２】

$$Vd=\sqrt{Vd^2+Vd^2}\cos\theta v=Vm\cos\theta v$$

$$Vq=\sqrt{Vd^2+Vd^2}\sin\theta v=Vm\sin\theta v$$

$$Vm=kVdc$$

【００３８】

となるため、インバータがモータ駆動条件を決定するために定数化しているインバータ入力電圧Ｖｄｃ、ｄ軸電圧Ｖｄ、ｑ軸電圧Ｖｑによって決定する。

このようなことに基づき、モータ巻線抵抗Ｒ、ｄ軸インダクタンスＬｄ、ｑ軸インダクタンスＬｑ、モータ回転角速度ω、ｄ軸正方向を基準としたモータ電圧位相θｖを特性式に入力し、下記式で表される、モータ・インピーダンス特性の傾きＡを算出する。

【００３９】

【数３】

$$A=\frac{R^2+\omega^2\cdot Ld\cdot Lq}{K^2\{R+\omega(Ld-Lq)\sin\theta v\cdot\cos\theta v\}}$$

【００４０】

このとき、モータ電圧位相θｖは、インバータがモータ駆動条件を決定するために定数化しているインバータ入力電圧Ｖｄｃ、ｄ軸電圧Ｖｄ、ｑ軸電圧Ｖｑによって決定されるが、モータ電圧位相θｖは、モータ回転数とトルク指令から直接求められるように定数化しておき、演算処理を簡略化させても良い。

ステップＳ１１０では、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを演算して、ステップＳ１２０に移行する。

ここでは、図１１のように、モータ・インピーダンス特性式のＩｄｃ軸切片（位相一定線）を小さくしていき、最適動作点ＴＲＱＣＭＤとの電圧偏差がΔＶｄｃとなるときのモータ電圧位相θｖ'を求め、このモータ電圧位相θｖ'となる発電機出力最大特性線η上の動作点を下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと設定する。

【００４１】

すなわち、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを含む発電機の出力可能特性線Ｓｔ上における、最適動作点ＴＲＱＣＭＤよりも電圧偏差がΔＶｄｃだけ大きな限界動作点である仮想上限動作点Ｈ１を求める。次に、その仮想上限動作点Ｈ１を通過し、上記モータ・インピーダンス特性の傾きＡを持った直線（位相一定線）と、上記発電機出力最大特性線ηとの交点を下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗとして設定し記憶する。なお、最適動作点は、発電機出力最大特性線η上に設定される。

【００４２】

ここで、電圧偏差ΔＶｄｃは、目標とする電圧制御精度であって、発電機の動作点が最適動作点ＴＲＱＣＭＤから変動する際に安定した動作を確保される電圧の偏差の限界値である。例えば、ΔＶｄｃ＝５Ｖとする。また、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗの初期値として例えば、取り得る最小値を設定しておく。

ステップＳ１２０では、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈを演算する。

【００４３】

モータ・インピーダンス特性式のＩｄｃ軸切片（位相一定線）を大きくしていき、最適

動作点ＴＲＱＣＭＤとの電圧偏差がΔＶｄｃとなるときのモータ電圧位相θｖ’を求め、このモータ電圧位相θｖ’となる発電機出力最大特性線η上の動作点を上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈと設定する。

すなわち、最適動作点ＴＲＱＣＭＤを含む発電特性線Ｓｔ上における、最適動作点ＴＲＱＣＭＤよりも電圧偏差がΔＶｄｃだけ小さな限界動作点である仮想下限動作点Ｈ２を求める。次に、その仮想下限動作点Ｈ２を通過し、上記モータ・インピーダンス特性の傾きＡを持った直線（位相一定線）と、上記発電機出力最大特性線ηとの交点を上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈとして設定し記憶する。

【００４４】

ここで、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの初期値として例えば、取り得る最大値を設定しておく。

そして、最適動作点制限部１０６で制限処理が施された後の最終的な目標電圧Ｖｄｃ*が発電電力制御部１０８に入力され、発電電力制御部１０８で発電機７の出力電圧Ｖｄｃが目標電圧Ｖｄｃ*となるように界磁電流Ｉｆｇを制御する。

【００４５】

また、発電電力制御部１０８は、ブロック図である図１２に示すように、目標電圧Ｖｄｃ*と出力電圧Ｖｄｃとの偏差が零となるように、発電機界磁電流ＩｆｇをＰＷＭ制御する。この場合、先ず目標電圧Ｖｄｃ*と出力電圧Ｖｄｃとの偏差ΔＶｄｃをＰＩ制御部１２１に出力する。

ＰＩ制御部１２１では偏差ΔＶｄｃに対してＰＩ制御を施し、次いで、ＰＷＭデューティ指令値演算部１２２で、発電機７の界磁電流駆動回路のＰＷＭデューティ比の指令値Ｄを演算する。具体的には、Ｖｄｃ*＞ＶｄｃであるときＰＷＭデューティ比を増加し、Ｖｄｃ*＜ＶｄｃであるときＰＷＭデューティ比を減少するようにＰＷＭデューティ指令値Ｄが演算される。なお、ＰＩ制御部１２１では、偏差ΔＶｄｃに対してＰＩ制御を施す代わりに、ＰＩＤ制御を施すようにしてもよい。

【００４６】

図１３は、ＰＷＭデューティ比Ｄと界磁電流Ｉｆｇとの関係を示す特性図であり、横軸はＰＷＭデューティ比Ｄ、縦軸は界磁電流Ｉｆｇである。この特性図に示すように、デューティ比Ｄが０％のとき界磁電流Ｉｆｇは流れず、デューティ比Ｄが１００％に近づくにつれて界磁電流Ｉｆｇはたくさん流れるようになっている。また、この特性は、界磁電源電圧Ｖｆが大きいほど傾きが大きく、界磁コイルの抵抗が小さいほど傾きが大きくなるようになっており、発電機出力電圧Ｖｄｃがバッテリ電圧Ｖｂ以下であるときＩｆｇ＝ａ×Ｄで表され、Ｖｄｃ＞ＶｂであるときＩｆｇ＝ａ×Ｖｆ×Ｄで表される。ここでａは定数である。

【００４７】

そして、このようにして出力されたＰＷＭデューティ指令値ＤをＰＷＭ駆動部１２３で制御することで、界磁電流Ｉｆｇを制御することができ、結果として発電機７の出力電圧Ｖｄｃが目標電圧Ｖｄｃ*となるように制御することができる。

つまり、発電機７の出力電圧Ｖｄｃ及び出力電流Ｉｄｃから決定される現在の動作点が最適動作点ＴＲＱＣＭＤに一致し、発電機７は、モータ４が必要とするモータ必要電力Ｐｍから算出される発電機７が出力すべき目標出力電力ＰＧを、効率良く発生することができる動作点で作動されることになる。

【００４８】

又、図１４は、本実施形態におけるモータ制御部８Ｃを示すブロック図である。

このモータ制御部８Ｃは、電圧位相演算部１３１と、Ｖｄ，Ｖｑ指令値演算部１３３と、モータ制御手段としての負荷固定制御部１３４と、モータ界磁電流制御部１３５と、で構成されて、インバータ９の３相のパワー素子を負荷固定制御でスイッチング制御する。

電圧位相演算部１３１では、最適動作点制限部１０６から出力された、モータトルク指令値に応じた最適動作点ＴＲＱＣＭＤ、及びモータ・インピーダンス特性式に基づきモータ電圧位相θｖを求め出力する。

【００４９】
Ｖｄ，Ｖｑ指令値演算部では、電圧位相制御部１３２から出力されるモータ電圧位相θｖに基づいて、ｄｑ軸電圧指令値Ｖｄ*，Ｖｑ*を演算し、これを負荷固定制御部１３４に出力する。
負荷固定制御部１３４では、図１５に示す負荷固定制御を行ってインバータ９に出力するスイッチング信号を生成する。この負荷固定制御部１３４は、ｄｑ／ｕｖｗ変換部１３４ａと、変調率固定部１３４ｂと、三角波比較＆デッドタイム補償部１３４ｃとで構成される。
【００５０】
先ず、ｄｑ／ｕｖｗ変換部１３４ａでは、ｄｑ軸電圧指令値Ｖｄ*，Ｖｑ*とモータ４の磁極位置信号θとに基づいて、３相正弦波電圧指令値Ｖｕ*，Ｖｖ*，Ｖｗ*を演算する。ここで、磁極位置信号θは、モータ４に連結されたレゾルバから出力される。
次に、変調率固定部１３４ｂでは、ｄｑ／ｕｖｗ変換部１３４ａで演算された３相正弦波電圧指令値Ｖｕ*，Ｖｖ*，Ｖｗ*と発電機７の出力電圧Ｖｄｃとから、モータ４へ印加するＰＷＭ波電圧の変調率を設定する。本実施形態では、変調率を“１”に固定するものとする。
【００５１】
そして、三角波比較＆デッドタイム補償部１３４ｃでは、３相正弦波指令値と三角波とを比較する三角波比較及びデッドタイム補償が行われて、インバータ９に出力するスイッチング信号が生成される。このスイッチング信号がインバータ９に出力されることにより、インバータ９は、上記スイッチング信号に応じたＰＷＭ波電圧を生成してモータ４へ印加し、これによりモータ４が駆動される。
【００５２】
このように、本実施形態では、変調率固定の印加電圧として、変調率を“１”に固定したＰＷＭ波電圧を適用し、この印加電圧をモータ４に印加することで当該モータ４を制御する。
また、図１４のモータ界磁電流制御部１３５では、モータ回転数Ｎｍに基づいてモータ４の界磁電流指令値Ｉｆｍ*を演算し、この界磁電流指令値Ｉｆｍ*に基づいてモータ４の界磁電流Ｉｆｍを制御する。
【００５３】
（作用効果）
負荷固定制御及び矩形波制御において、図１６を使用して、トルク指令値が急変した場合の発電機動作点の動きを説明する。
ここで、図１６中、発電機７の出力即ちインバータ９の入力における動作点（電圧Ｖｄｃ＊・電流Ｉｄｃ＊）を示す図である。曲線Ｓｔは、発電機回転速度と界磁電流とをパラメータとした発電機出力特性線（発電機７の出力可能特性線）であり、ある回転速度である界磁電流が与えられているとき、発電機７はこの出力可能特性線Ｓｔ上の電圧・電流を発生する。また、双曲線状の曲線Ｐは、あるトルク指令値に相当する電力一定線である。
【００５４】
発電機動作点が、トルク指令値Ｔ１に対応した点ａ０にある状態で、トルク指令値がＴ１からＴ２に急増したものとする。このとき、従来にあっては、発電機７側では出力可能特性線Ｓｔ１が目標の出力可能特性線Ｓｔ２となるように界磁電流Ｉｆｇを増加制御する。一方、モータ４・インバータ９側では、位相一定線が現在の位相一定線θ１から目標の位相一定線θ２となるように、モータ電圧位相θｖを増加する。
【００５５】
ここで、位相一定線とは、モータ・インピーダンス特性の傾きＡのＩｄｃ軸切片の直線であって、モータ電圧位相θｖをパラメータとした特性線であり、あるモータ電圧位相θｖが与えられているとき、発電機７は、界磁電流の変化に伴ってこの位相一定線上の電圧・電流を発生する。そして、この位相一定線は、モータ電圧位相θｖが大きいほど発電機７の出力電流Ｉｄｃが大きい側にオフセットするようになっている。また、図１６中の曲

線Ｐ１、Ｐ２は、トルク指令値Ｔ１、Ｔ２に相当する電力一定線である。

【００５６】

ここで、発電機７の応答はモータ４・インバータ９と比較して遅いため、発電機動作点は、出力可能特性線Ｓｔ１上を移動して、出力可能特性線Ｓｔ１と位相一定線θ２との交点ａ１となる。その後、発電機７の界磁電流Ｉｆｇの増加に伴って、位相一定線θ２上を移動して最適動作点ａ*に到達することになる。

このように、トルク指令値が急増すると一旦電圧が落ち込むため、発電機出力電力Ｖｄｃとモータトルクとが一旦落ちてから最適動作点に収束する。このとき、電圧の落ち込みがモータ誘起電圧以下の場合、モータが制動状態となる恐れがある。

【００５７】

これに対して、本実施形態では、現在の動作点（前回の最適動作点）に対する、モータトルク指令値に対応した最適動作点ＴＲＱＣＭＤの変動が、電圧偏差ΔＶｄｃ以下に収まるように、発電状態に応じて当該最適動作点ＴＲＱＣＭＤの上限値及び下限値を制限することで、結果的に、発電状態に合わせてモータトルク値が制限されて、インバータ入力電圧の電圧落ち込みやトルク抜け、電圧跳ね上がりやトルク過剰となることを防止することが出来る。

【００５８】

次に、本発明の実施形態における動作について、図１７をもとに説明する。

今、発電機動作点が出力可能特性線Ｓｔ１上で最大電力を出力できる動作点ａ０（前回の最適動作点ＴＲＱＣＭＤ）にあるものとする。このときのトルク指令値Ｔ１に相当する電力一定線がＰ１であり、動作点ａ０が出力可能特性線Ｓｔ１と電力一定線Ｐ１との交点であるとする。この状態から、トルク指令値がＴ１からＴ２に急増する場合を想定する。

【００５９】

このとき、発電機７は、このトルクをモータ４が発生できるような動作点に向かって界磁電流Ｉｆｇを増加させ、発電電力を上げていく。このときの発電機７の最適動作点ＴＲＱＣＭＤは、トルク指令値Ｔ２に相当する電力一定線Ｐ２と発電機出力最大特性線ηとの交点ａ２である。また、モータ４及びインバータ９によるモータ制御では、トルク指令値Ｔ２に応じた出力可能特性線Ｓｔ２上で最大電力を出力できる最適動作点ａ２となるように、モータ電圧位相θｖが制御されることにより、位相一定線がθ２となる。

【００６０】

このとき、発電機７側の応答が遅いために、実動作点は、出力可能特性線Ｓｔ１上を、位相一定線θ２との交点ａ４まで移動するように変化した後に、当該位相一定線θ２上を動いて、モータトルク指令値Ｔ２に対応する最適動作点ａ２に移動する。このように、一時的に電圧が低下若しくは上昇した後に、モータトルク指令値Ｔ２に対応する最適動作点ＴＲＱＣＭＤの発電状態となる。

このため、前述のように、急激なモータトルク指令値の変化があると、インバータ入力電圧に許容以上の電圧跳ね上がりによるトルク過剰や、許容以上の電圧落ち込みによるトルク抜けが発生する。

【００６１】

これに対し、本実施形態では、発電状態に応じて今回の最適動作点に基づき次回の最適動作点ａ２に対する上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ及び下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを設定しておき、モータトルク指令値Ｔ２に応じた最適動作点ａ２が、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈと下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗとの範囲外となったら、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ若しくは下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗに最適動作点ＴＲＱＣＭＤを制限することでモータトルク指令値を制限して、電圧跳ね上がりや電圧の落ち込みを確実に電圧偏差内に収めることで、安定したモータトルクを得る。

【００６２】

例えば図１７のように、モータトルク指令Ｔ２に対応する最適動作点ａ２が上限最適動作点ａ３よりも大きい場合には、最適動作点を上限最適動作点ａ２に制限し、モータトルク指令値Ｔ２よりも小さなモータトルク指令値Ｔ２′に対応する最適動作点ａ３に向けて

、発電機７は、界磁電流Ｉｆｇを増加させ発電電力を上げていく。このとき、新たに上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ及び下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを発電状態に応じて算出しなおしておく。

【００６３】

また、モータ４及びインバータ９によるモータ制御でも、トルク指令値Ｔ２′に応じた出力可能特性線Ｓｔ３上で最大電力を出力できる最適動作点ａ３となるように、モータ電圧位相θｖが制御されることにより、位相一定線がθ３となる。このとき、発電機７側の応答が遅いために、実動作点は、出力可能特性線Ｓｔ１上を、位相一定線θ３との交点ａ１まで移動するように変化した後に、当該位相一定線θ３上を動いて、モータトルク指令値Ｔ２′に対応する最適動作点ａ３に移動する。

【００６４】

続いて、モータトルク指令値Ｔ２が入力されたとすると、そのモータトルク指令値Ｔ２に対応する最適動作点ａ２を求め、新たに動作点ａ３を基準にして算出し直した上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ及び下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗとの間に最適動作点ａ２がある場合には、モータトルク指令値Ｔ２に対応する最適動作点ａ２となるように、発電機７は、界磁電流Ｉｆｇを増加させ発電電力を上げ、モータ４及びインバータ９によるモータ制御でも、トルク指令値Ｔ２に応じた出力可能特性線Ｓｔ２上で最大電力を出力できる最適動作点ａ２となるように、モータ電圧位相θｖが制御される。

【００６５】

これによって、インバータ入力電圧の落ち込みが常に電圧偏差ΔＶｄｃ以内に抑えながら、目標とするモータトルク指令値Ｔ２のトルクに移行することが可能となる。

ここで、その実動作点に対する許容する電圧偏差をΔＶｄｃとした場合に、単純に実動作点（前回の目標動作点）からの最適動作点ＴＲＱＣＭＤの上限若しくは下限を、実動作点からΔＶｄｃだけ増減した最適動作点ＴＲＱＣＭＤを上限値若しくは下限値として制限することも、考えられる。しかし、この場合には、発電状態によっては、トルク指令値の急変によって、実動作点から今回のモータトルク指令値に対応する目標動作点へ移行する際に、電圧偏差ΔＶｄｃ以上にインバータ入力電圧が一時的に増減するおそれがある。

【００６６】

これに対して、本実施形態では、単純に実動作点（前回の最適動作点ＴＲＱＣＭＤ）からΔＶｄｃだけ増加減少した、最大特性線η上の最適動作点位置を上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ若しくは下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗとして取るのではなく、現在の発電状態を示す発電機７の出力可能特性線Ｓｔと、発電機７に対して電気負荷となるモータ・インピーダンス特性式によって決定されるモータ・インピーダンス特性線の傾きを持つ直線（位相一定線）に応じて、上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈ及び下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗを設定するので、モータトルク指令が急変しても、電圧偏差ΔＶｄｃ以上にインバータ入力電圧が増減することを防止できる。

【００６７】

ここで、発電機７の出力可能特性線Ｓｔは、エンジン回転数、つまり発電機回転数が大きくなるほど、図１８に示すように、電圧Ｖｄｃの変化量に対する電流Ｉｄｃの変化量が小さくなる。このため、電圧偏差ΔＶｄｃが一定とした場合に、図１９，図２０のように、発電機回転数が大きくなるほど下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの範囲の幅が小さくなる。

【００６８】

また、モータ・インピーダンス特性線の傾きは、モータ回転数が大きくなるほど、図２１のように、傾きが大きくなる。この結果、図２０中の一点鎖線のように、電圧偏差ΔＶｄｃが一定とした場合に、モータ回転数が大きくなるほど下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの範囲の幅が小さくなる。

このように、本実施形態では、図１９，図２０，および図２２のように、発電機回転数及びモータ回転数の少なくとも一方が大きくなるほど、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの範囲の幅が小さく、つまりトルク指令値の変化幅が小さく

なるように制限されるように、発電機７の発電状態及びモータの回転数によって、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈが変化する。

【００６９】

すなわち、モータ回転速度ωの変動に対しても、その変動に応じて下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈの範囲の幅が適切に設定される効果があるため、機械振動や走行状態から入力されるモータ回転速度外乱に対しても、安定した動作が可能となる。

ここで、上記実施形態では、前回の最適動作点ＴＲＱＣＭＤである実動作点と、発電状態及びモータ・インピーダンス特性線の傾きを有する位相一定線から、下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈとを求めているが、上述のように下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈは、発電機７の回転数とモータの回転数によって変化する値であるので、発電機７の回転数とモータの回転数を変数としたマップを予め用意しておき、そのマップを使用し発電機７の回転数とモータの回転数に基づき上記下限最適動作点ＴＲＱｌｏｗと上限最適動作点ＴＲＱｈｉｇｈを求めて、モータトルク指令値に応じた最適動作点ＴＲＱＣＭＤの上限値及び下限値を制限するようにしても良い。

【００７０】

ここで、上記実施形態においては最適動作点ＴＲＱＣＭＤの選定において、発電機出力最大特性マップを用いる場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、各出力可能特性線Ｓｔの発電機７の効率が最大となる動作点を結んだ発電機効率最大特性マップや、各出力可能特性線Ｓｔのモータ４の効率が最大となる動作点を結んだモータ効率最大特性マップを用いるようにしてもよい。

【００７１】

また、発電電力制御部１０８で、界磁電源電圧ＶｆとＰＷＭデューティ比Ｄとの乗算値をフィードバック制御するようにしてもよい。この場合、出力電圧Ｖｄｃと目標電圧Ｖｄｃ*との偏差ΔＶｄｃがＰＩＤ制御部１２５に入力され、下記式に示すＰＩＤ制御を施してＰＷＭデューティ比Ｄを出力する。

$$Vf \times D = \alpha \times (Vdc^{*} - Vdc) + \beta \times \int (Vdc^{*} - Vdc)$$

$$D = \{\alpha \times (Vdc^{*} - Vdc) + \beta \times \int (Vdc^{*} - Vdc)\} / Vf$$

【００７２】

前述したように、Ｖｄｃ＞Ｖｂにおいて界磁電流Ｉｆｇ＝ａ×Ｖｆ×Ｄであり、この関係から（Ｖｆ×Ｄ）を界磁電流Ｉｆｇと見立ててフィードバック制御することが可能となる。つまり、界磁電源電圧ＶｆとＰＷＭデューティ比Ｄとの積をフィードバック制御することで、実質的に界磁電流Ｉｆｇをフィードバック制御しているような制御効果を得ることができる。また、界磁電源電圧Ｖｆが大きい領域では、ＰＷＭデューティ比の重みを低電圧時と比べて小さく設定することができるので、界磁電源電圧の大きさを考慮した適切な制御を行うことができる。

【００７３】

また、発電機制御部８Ｂにおいて、上記説明では、出力電圧が目標電圧となるように発電機７の界磁を制御しているのに対し、発電機７の実界磁電流が目標界磁電流となるように制御するようにしても良い。すなわち、発電機制御部８Ｂで、図５に示す前述した最適動作点設定部１０５を、目標出力電力ＰＧと発電機出力最大特性マップとに基づいて目標界磁電流Ｉｆｇ*を算出する図示しない目標界磁電流設定部１０９に置換し、発電電力制御部１０８で図２３に示す界磁電流制御を行うようする。

【００７４】

この場合には、目標界磁電流設定部１０９では、目標発電電力決定部１０４から出力される目標出力電力ＰＧと予め格納された発電機出力最大特性マップとに基づいて、図７に示すように、モータ使用可能電力ＰＧに相当する電力一定線Ｐと、破線で示す発電機出力最大特性線ηとの交点である最適動作点ＴＲＱＣＭＤ（＝（Ｖｄｃ*，Ｉｄｃ*））を選定し、この目標電圧Ｖｄｃ*及び目標電流Ｉｄｃ*をもとに、目標界磁電流Ｉｆｇ*（出力可

能特性線Ｓｔが図中Ｓｔとなるような発電機界磁電流）を算出する。

【００７５】

そして、発電電力制御部１０８では、図２３に示すように、界磁電流センサで検出した実界磁電流Ｉｆｇと目標界磁電流Ｉｆｇ*との偏差が零となるように、発電機界磁電流Ｉｆｇを ＰＷＭ制御する。先ず、実界磁電流Ｉｆｇと目標界磁電流Ｉｆｇ*との偏差ΔＩｆｇをＰＩ制御部１４１に出力し、ＰＩ制御部１４１で偏差ΔＩｆｇに対してＰＩ制御を施す。次いで、ＰＷＭデューティ指令値演算部１４２で、発電機７の界磁電流駆動回路のＰＷＭデューティ比の指令値Ｄを演算する。これにより、Ｉｆｇ*＞ＩｆｇであるときＰＷＭデューティ比を増加し、Ｉｆｇ*＜ＩｆｇであるときＰＷＭデューティ比を減少するようにＰＷＭデューティ指令値Ｄが演算される。そして、このようにして出力されたＰＷＭデューティ指令値ＤをＰＷＭ駆動部１４３で制御することで、界磁電流Ｉｆｇを制御することができ、結果として発電機７の界磁電流Ｉｆｇが目標界磁電流Ｉｆｇ*となるように制御することができる。

【００７６】

なお、ＰＩ制御部１４１では、偏差ΔＩｆｇに対してＰＩ制御を施す代わりにＰＩＤ制御を施すようにしてもよい。つまり、本実施形態における発電電力制御部１０８では、現在の動作点（Ｖｄｃ，Ｉｄｃ）が最適動作点（Ｖｄｃ*，Ｉｄｃ*）となるように発電機７の界磁電流Ｉｆｇをフィードバック制御する、言い換えると、現在の動作点（Ｖｄｃ，Ｉｄｃ）を含む現在の発電機出力特性線Ｓｔが、最適動作点ＴＲＱＣＭＤ（Ｖｄｃ*，Ｉｄｃ*）を含む目標の発電機出力特性線Ｓｔとなるように発電機７の界磁電流Ｉｆｇを制御することになる。

この場合には、発電機界磁電流を検出する界磁電流センサを設け、発電機７の動作点が最適動作点ＴＲＱＣＭＤとなるように発電機界磁電流をフィードバック制御するので、発電機制御の制御性を向上することができる。

【００７７】

（第２実施形態）

次に、第２実施形態について図面を参照しつつ説明する。なお、上記実施形態と同様な部品については同一の符号を付して説明する。

本実施形態の基本構成は、上記実施形態と同様であるが、モータ制御部８Ｃにおいて、上記実施形態ではモータ４の制御方法として電圧変調を停止する負荷固定制御を適用しているのに対し、矩形波制御を適用するようにしたものである。

すなわち、第２の実施形態のモータ制御部８Ｃでは、図１３に示す前述した第１の実施形態のモータ制御部８Ｃにおける負荷固定制御部１３４を、図示しない矩形波制御部１３６に置換し、この矩形波制御部１３６で、図２４に示す矩形波制御を行うようにしたものである。その他は、上記第１実施形態と同様の構成を有するため、その詳細な説明は省略する。

【００７８】

矩形波制御部１３６では、先ず、電圧位相演算部１３６ａで、ｄｑ軸電圧指令値Ｖｄ*，Ｖｑ*、及びモータ４の磁極位置信号θに基づいて、次式をもとにモータ電圧位相θｖを算出する。

$$\theta v = \theta + \tan^{-1}(Vq^{*} / Vd^{*})$$

そして、スイッチングパターン演算部１３６ｂで、上記式をもとに算出された電圧位相θｖに基づいて、インバータ９に出力するスイッチング信号を生成する。インバータ９は、このスイッチング信号に応じた電圧を生成してモータ４へ印加することにより、矩形波電圧駆動が行われる。

【００７９】

つまり、本実施形態では、変調率固定の印加電圧としてＰＷＭのデューティ比が高い状態で固定された矩形波電圧を適用し、この印加電圧をモータ４に印加することで当該モータ４を制御する。

このように、上記第２の実施形態では、モータ・インバータによるモータ制御にて矩形

波制御を行うと共に、現在の発電機７の発電状態に応じてモータ電圧位相を制御することで、前述した第１の実施形態と同様に、トルク指令値が急変した場合であっても、発電電力及びモータトルクの落ち込みが発生することなく、常に効率の良い動作点での作動を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【００８０】

【図１】本発明に基づく実施形態に係る概略構成図である。

【図２】発電機の界磁構造を示す図である。

【図３】本発明に基づく実施形態に係る４ＷＤコントローラの詳細を示すブロック図である。

【図４】本発明に基づく実施形態に係る目標モータトルク演算部の詳細を示すブロック図である。

【図５】本発明に基づく実施形態に係る発電機制御部の詳細を示すブロック図である。

【図６】本発明に基づく実施形態に係る電力制限値と目標出力電力との関係を示す図である。

【図７】最適動作点の選定方法を説明する図である。

【図８】最適動作点制限部を説明する図である。

【図９】最適動作点限界検出部を説明する図である。

【図１０】実動作点の決定を説明する図である。

【図１１】上限及び下限最適動作点の算出を説明する図である。

【図１２】本発明に基づく実施形態に係る発電電力制御部の詳細を示すブロック図である。

【図１３】ＰＷＭデューティ比Ｄと界磁電流Ｉｆｇとの関係を示す特性図である。

【図１４】本発明に基づく実施形態に係るモータ制御部の詳細を示すブロック図である。

【図１５】負荷固定制御部の詳細を示すブロック図である。

【図１６】従来の動作を説明する図である。

【図１７】本発明に基づく実施形態に係る動作例を説明する図である。

【図１８】エンジン回転数と発電特性の関係を示す図である。

【図１９】エンジン回転数及びモータ回転数が小さい場合を示す図である。

【図２０】エンジン回転数が大きい場合を示す図である。

【図２１】モータ回転数とモータ・インピーダンス特性との関係を示す図である。

【図２２】エンジン回転数及びモータ回転数が大きい場合を示す図である。

【図２３】別の発電電力制御部の詳細を示すブロック図である。

【図２４】本発明に基づく第２実施形態に係る矩形波制御部の詳細を示すブロック図である。

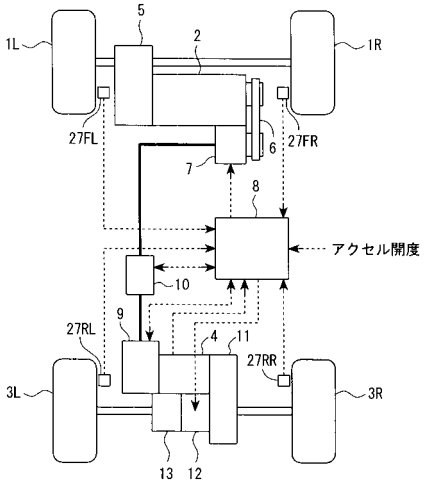
【符号の説明】

【００８１】

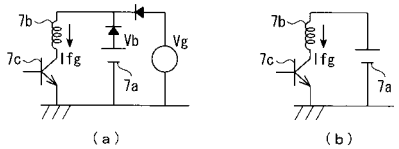
２　エンジン
４　交流モータ
７ｂ　界磁コイル
７　発電機
８Ｃ　モータ制御部
８Ｂ　発電機制御部
８Ａ　目標モータトルク演算部
９　インバータ
１０５　最適動作点設定部
１０７　最適動作点限界検出部
１０８　発電電力制御部
１３４　負荷固定制御部
１３６　矩形波制御部

Ｈ１　仮想上限動作点（限界動作点）
Ｈ２　仮想下限動作点（限界動作点）
Ｉｄｃ　発電電流
Ｐ　　電力一定線
Ｓｔ　発電特性線
ＴＲＱＣＭＤ　　最適動作点
ＴＲＱｈｉｇｈ　　上限最適動作点
ＴＲＱｌｏｗ　　下限最適動作点
Ｔｔ　モータトルク指令値
Ｖｄｃ　　発電電圧
Ｖｍ　モータ回転速度
ΔＶｄｃ　　電圧偏差
η　　発電機出力最大特性線
θ１、θ２，θ３　位相一定線
θｖ　モータ電圧位相

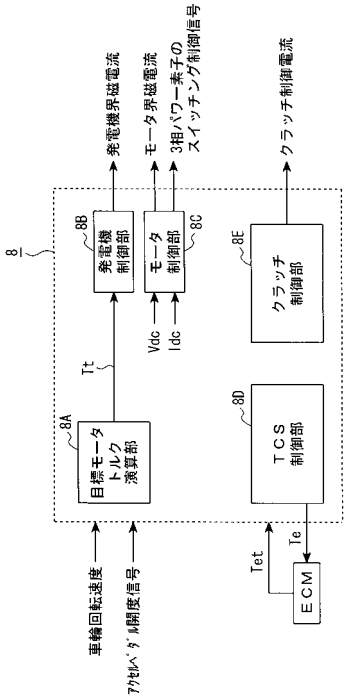
【図１】



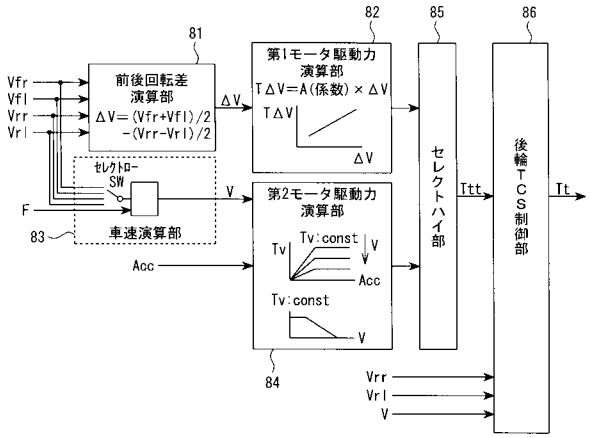
【図２】



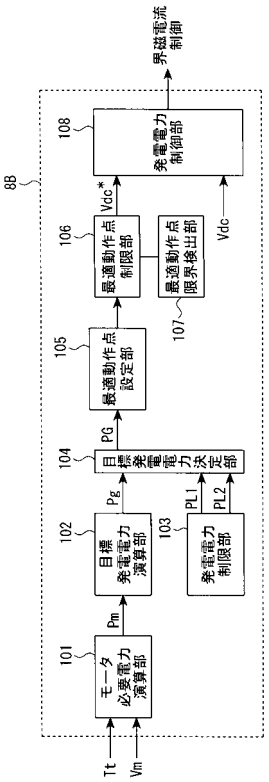
【図３】



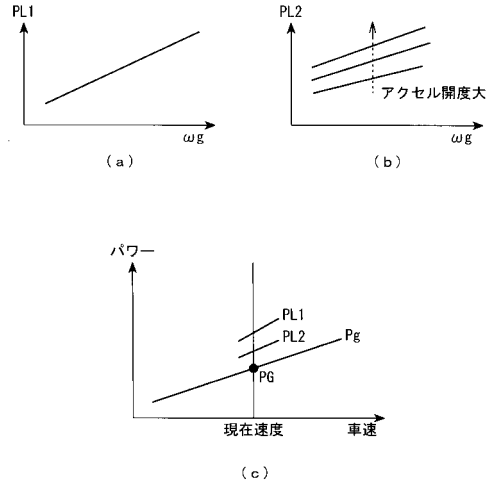
【図４】



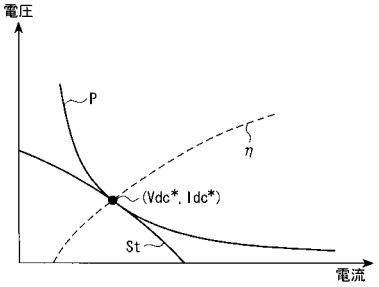
【図５】



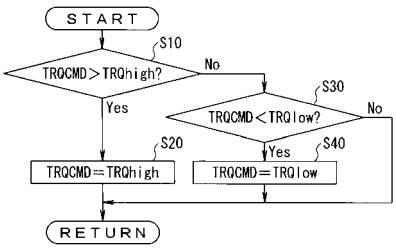
【図６】



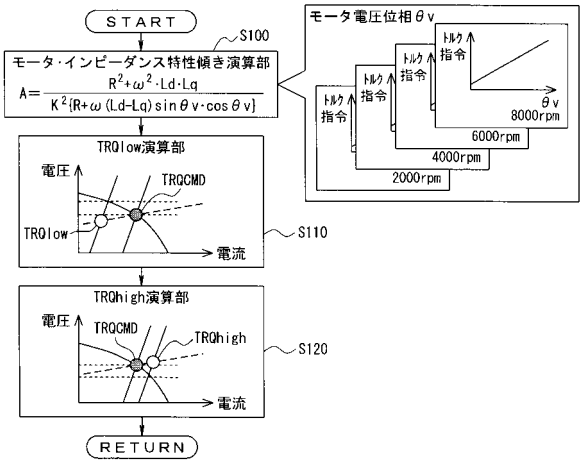
【図７】



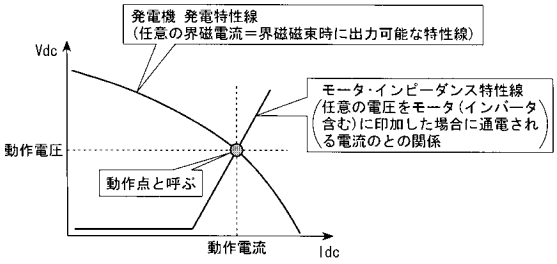
【図８】



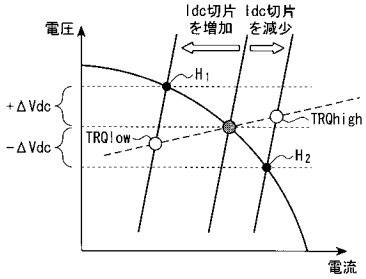
【図９】



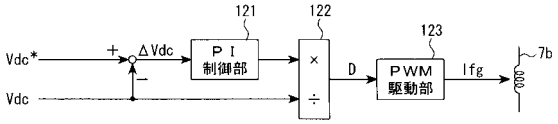
【図１０】



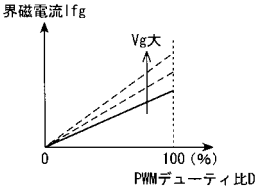
【図１１】



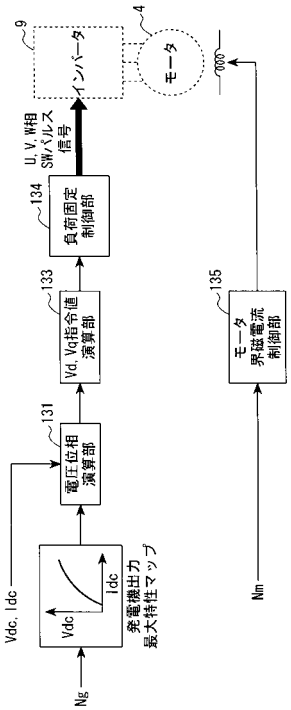
【図１２】



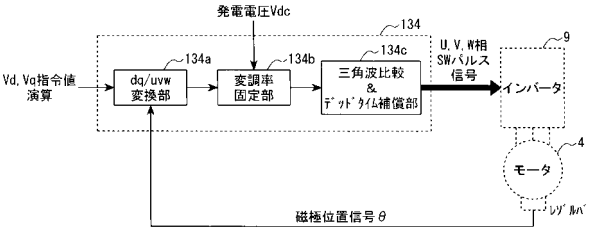
【図１３】



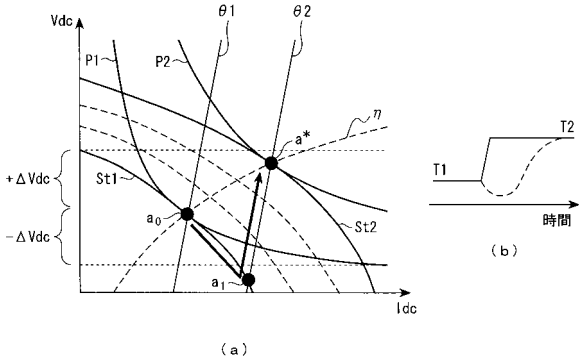
【図１４】



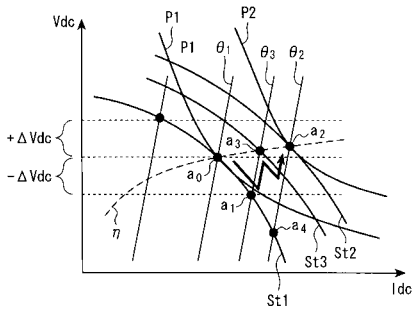
【図１５】



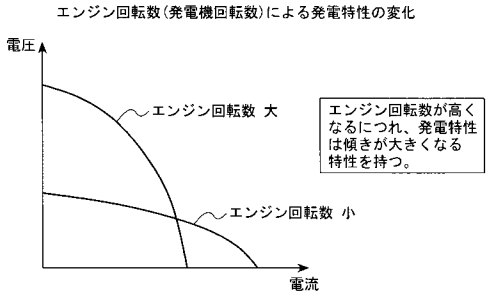
【図１６】



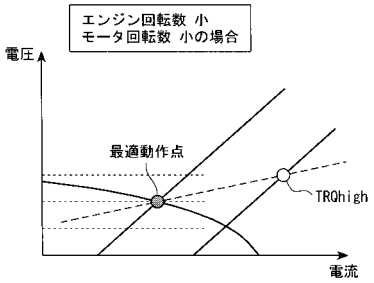
【図１７】



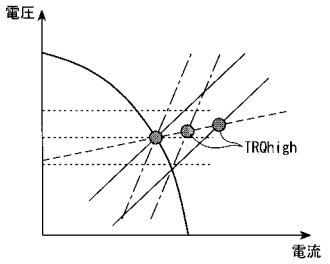
【図１８】



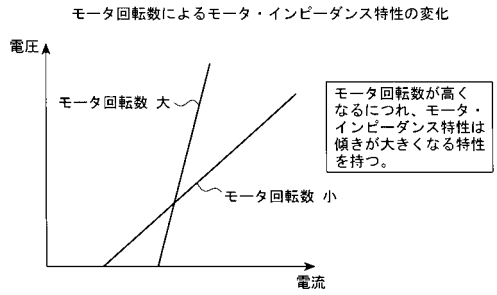
【図１９】



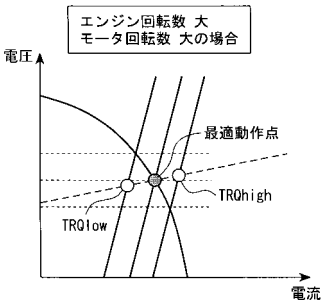
【図２０】



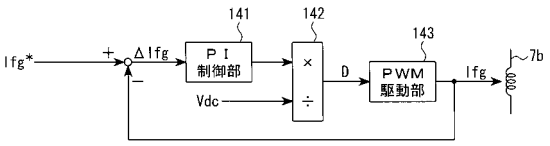
【図２１】



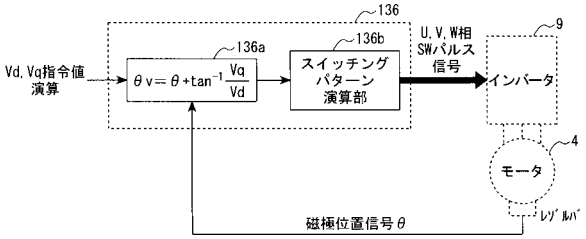
【図２２】



【図２３】



【図２４】


136
136a
136b
9
Vd, Vq指令値
演算
θv＝θ＋tan⁻¹ Vq/Vd
スイッチング
パターン
演算部
U, V, W相
SWパルス
信号
インバータ
4
モータ
レゾルバ
磁極位置信号θ

フロントページの続き

(72)発明者　折田　崇一
神奈川県横浜市神奈川区宝町２番地　日産自動車株式会社内
(72)発明者　川島　英樹
神奈川県横浜市神奈川区宝町２番地　日産自動車株式会社内

審査官　平田　信勝

(56)参考文献　特開２００６－３１５６６０（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２４５７６５（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２４５７６３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ６０Ｗ　２０／００
Ｂ６０Ｗ　１０／０８
Ｂ６０Ｋ　６／４４