

(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2007-245762

(P2007-245762A)

(43) 公開日 平成19年9月27日(2007.9.27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B60W 10/08 (2006.01)	B60K 6/04 320	5H115
B60W 20/00 (2006.01)	B60L 11/14 ZHV	
B60L 11/14 (2006.01)	B60K 6/04 310	
B60W 10/06 (2006.01)	B60K 6/04 360	
B60W 10/02 (2006.01)	B60K 6/04 550	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-68026 (P2006-68026)
 (22) 出願日 平成18年3月13日 (2006.3.13)

(71) 出願人 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 100075579
 弁理士 内藤 嘉昭
 (74) 代理人 100103850
 弁理士 崔 秀▲てつ▼
 (74) 代理人 100116012
 弁理士 宮坂 徹
 (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

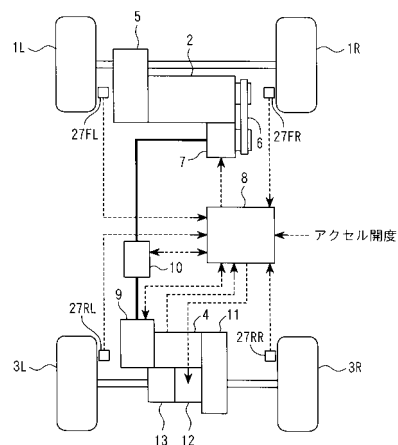
(54) 【発明の名称】 車両用駆動制御装置

(57) 【要約】

【課題】 発電機と交流モータとの組み合わせで、4WD性能を向上することができる車両用駆動制御装置を提供する。

【解決手段】 モータトルク指令値 T_t に基づいて発電機7が出力すべき電力 P_g を演算し、実発電電流値 I_{dc} が電力 P_g を出力するための発電電流指令値 I_{dc}^* に追従するように発電機7の界磁電流 I_{fg} を制御する。また、モータ4に印加するPWM波電圧の変調率に上限 Mod_{hi} 及び下限 Mod_{low} を設けることでインバータ9の負荷に制限を設けてモータ制御を行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主駆動輪を駆動する熱機関と、その熱機関で駆動される発電機と、当該発電機の電力がインバータを介して供給されて従駆動輪を駆動する交流モータとを備える車両用駆動制御装置において、

前記交流モータが必要とするモータ必要電力に基づいて前記発電機の界磁を制御する界磁制御手段と、交流モータにPWM波電圧を印加して当該交流モータを制御するモータ制御手段と、前記PWM波電圧の変調率に制限を設ける変調率制限手段とを備えることを特徴とする車両用駆動制御装置。

【請求項 2】

前記変調率制限手段は、変調率下限値を設定する変調率下限設定手段を備え、前記変調率下限値により前記PWM波電圧の変調率に下限を設けることを特徴とする請求項 1 に記載の車両用駆動制御装置。

【請求項 3】

前記変調率下限設定手段は、前記発電機の目標動作点に基づいて、前記変調率下限値を設定することを特徴とする請求項 2 に記載の車両用駆動制御装置。

【請求項 4】

前記変調率下限設定手段は、前記発電機の出力電圧及び出力電流から決定される動作点を含む現在の発電機出力特性線上で電圧値がシステム上限電圧となる動作点に基づいて、前記変調率の下限値を設定することを特徴とする請求項 2 に記載の車両用駆動制御装置。

【請求項 5】

前記変調率制限手段は、変調率上限値を設定する変調率上限設定手段を備え、前記変調率上限値により前記PWM波電圧の変調率に上限を設けることを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載の車両用駆動制御装置。

【請求項 6】

前記変調率上限設定手段は、前記モータ必要電力を安定限界で出力できる動作点に基づいて、前記変調率上限値を設定することを特徴とする請求項 5 に記載の車両用駆動制御装置。

【請求項 7】

前記変調率上限設定手段は、前記発電機の出力電圧及び出力電流から決定される動作点を含む現在の発電機出力特性線上で最大電力を出力できる動作点に基づいて、前記変調率上限値を設定することを特徴とする請求項 5 に記載の車両用駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主駆動軸を駆動する熱機関（例えば、エンジン）で発電機を駆動し、その発電機の出力で交流モータを駆動する車両用駆動制御装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来は、従来車両用駆動制御装置としては、従駆動軸を発電機の電力で駆動される直流モータで駆動し、この直流モータの界磁電流を制御することで駆動トルクを制御するというものが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【特許文献 1】特開 2001 - 239852 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、上記従来車両用駆動制御装置にあつては、直流モータを適用してモータトルクを制御しているので、トルクアップをするためには直流モータの電機子電流を増加させる必要があるが、直流モータのブラシの寿命に限界があるため、電機子電流の増加に限界があり、質量の重い車両への適用が困難であつたり 4WD 性能の向上が図れなかつ

10

20

30

40

50

たりという未解決の課題がある。

そこで、本発明は、上記従来例の未解決の課題に着目してなされたものであり、発電機と交流モータとの組み合わせで、4WD性能を向上することができる車両用駆動制御装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0004】

上記目的を達成するために、本発明に係る車両用駆動制御装置は、界磁制御手段で交流モータが必要とするモータ必要電力に基づいて発電機の界磁を制御し、モータ制御手段で交流モータにPWM波電圧を印加して当該交流モータを制御し、変調率制限手段で前記PWM波電圧の変調率に制限値を設ける。

10

【発明の効果】

【0005】

本発明によれば、モータに印加するPWM波電圧の変調率に制限を設けるので、トルク指令値が急変した場合であっても、発電電圧の落ち込みや跳ね上がりを抑制して、安定したモータトルク制御を行うことができ、4WD性能を向上させることができるという効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明を四輪駆動車両に適用した場合の概略構成図である。

20

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。

【0007】

前記エンジン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み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。

30

【0008】

上記エンジン2の出力トルク T_e 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 T_e 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 N_e にプーリ比を乗じた回転数 N_g 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 I_{fg} 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 N_g と界磁電流 I_{fg} との大きさにより決定される。なお、発電機7の回転数 N_g は、エンジン2の回転数 N_e からプーリ比に基づき演算することができる。

40

【0009】

図2は発電機7の界磁電流駆動回路の構造を示す図である。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バッテリー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ー電圧 V_b を下回っている状態では、他励領域となってバッテリー電圧 V_b 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 V_g がバッテリー電圧 V_b 以上となると、自励領域となって発電機の出力電圧 V_g が選ばれて界磁コイル7bの電源と

50

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。

【0010】

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バッテリー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を介してモータ4に供給可能となっている。前記モータ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、本実施形態のモータ4は交流モータである。また、図中の符号13はデファレンスギヤを示す。

【0011】

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mを出力する。

【0012】

また、前記クラッチ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。

【0013】

前記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、前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。

【0014】

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、発電機供給電力演算部8B、発電電流指令演算部8C、発電機制御部8D、モータ制御部8E、TCS制御部8F、クラッチ制御部8Gを備える。

目標モータトルク演算部8Aは、従駆動輪である後輪3L、3Rの要求駆動力、例えば、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。

【0015】

発電機供給電力演算部8Bは、トルク指令値Tt、モータ回転数Nmに基づいて、次式をもとに発電機供給電力Pgを演算する。

$$P_g = T_t \times N_m / \eta \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 η はインバータ効率である。即ち、発電機供給電力Pgは、トルク指令値Ttとモータ回転数Nmとの積により求められるモータに必要な電力Pm(=Tt×Nm)よりインバータ効率 η 分多い値となる。

発電電流指令演算部8Cは、前記発電機供給電力演算部8Bで算出された発電機供給電力Pgと、後述するモータ制御部8Fで算出されるdq軸電圧指令値Vd*, Vq*から求められる発電電圧指令値Vdc*とに基づいて、次式をもとに発電電流指令値Idc*を演

10

20

30

40

50

算する。

$$I_{dc}^* = P_g / V_{dc}^* \dots\dots\dots (2)$$

【0016】

図4は、発電機7の発電制御を行う発電機制御部8Dの詳細を示すブロック図である。

この発電機制御部8Dは、P制御部101と、I制御部102と、FF制御部103と、制御量加算部104と、界磁制御部105とで構成され、界磁電圧PWMデューティ比C1を決定して発電機7の界磁電流IfgをPWM制御する。

P制御部101では、前記(2)式により算出された発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差に基づいてP制御を行う。まず、発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差に所定のゲインを乗算する。そして、発電機の回転数変動に対してゲインの感度を一定にするために、この値に発電機回転数 N_g の逆数を乗算し、これをP制御における制御量 V_p として後述する制御量加算部104に出力する。

10

【0017】

I制御部102では、前記(2)式により算出された発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差に基づいてI制御を行う。つまり、発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差を積分していく。ここで、積分値は上限値及び下限値をもつ。そして、上記P制御同様、この積分値に発電機回転数 N_g の逆数を乗算し、これをI制御における制御量 V_i として後述する制御量加算部104に出力する。

【0018】

FF制御部103では、図5に示すように予め格納された回転数毎の発電機特性マップを参照し、発電電圧指令値 V_{dc}^* と発電電流指令値 I_{dc}^* とに基づいて、フィードフォワードで発電機界磁電圧のPWMデューティ比 D_1 を求める。この図5において、曲線a1~a4は、発電機7の自励領域において界磁電圧PWMデューティ比 D_1 を固定とし、発電機7の負荷を徐々に変化させた場合の動作点の軌跡であり、曲線a1~a4はデューティ比 D_1 の違いを示している。

20

【0019】

そして、このPWMデューティ比 D_1 と発電電圧指令値 V_{dc}^* とに基づいて、次式をもとにFF制御における制御量 V_{ff} を算出し、制御量加算部104に出力する。

$$V_{ff} = D_1 \times V_{dc}^* \dots\dots\dots (3)$$

なお、本実施形態においては、PWMデューティ比 D_1 と発電電圧指令値 V_{dc}^* とに基づいて制御量 V_{ff} を算出す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、発電機7の界磁電流Ifと界磁コイル抵抗 R_f とに基づいて制御量 V_{ff} を算出するようにしてもよい。

30

【0020】

この場合、まず、モータ回転数 N_m とトルク指令値 T_t とから予め格納されたマップを参照して発電機7に必要な必要発電電圧 V_0 及び必要発電電流 I_0 を算出し、これらをもとに図6に示すように予め格納された回転数毎の発電機7の界磁電流特性マップを参照し、必要界磁電流 I_{f0} を算出する。そして、このようにして算出された必要界磁電流 I_{f0} に基づいて、 $V_{ff} = I_{f0} \times R_f$ により制御量 V_{ff} を算出するようにすればよい。

制御量加算部104では、制御量 V_p と制御量 V_i と制御量 V_{ff} とを加算し、これを界磁コイルにかかる電圧 V_f として界磁制御部105に出力する。

40

【0021】

界磁制御部105では、実発電電圧値 V_{dc} が発電機7の界磁電流電源としてのバッテリー電圧 V_b 以下であるか否かを判定し、 $V_{dc} < V_b$ であるときには下記(4)式をもとに界磁電圧PWMのデューティ比C1を算出する。

$$C_1 = V_f / V_b \dots\dots\dots (4)$$

一方、 $V_{dc} > V_b$ であるときには、下記(5)式をもとに界磁電圧PWMデューティ比C1を算出する。

$$C_1 = V_f / V_{dc} \dots\dots\dots (5)$$

そして、このようにして算出されたデューティ比C1に応じて、発電機7の界磁電流I

50

f g を制御する。

【0022】

つまりこの発電機制御部 8 D では、トルク指令値 T_t から決まる発電機供給電力 P_g を実現する発電機動作点をフィードフォワードで指定すると共に、発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差を P I 補償にてフィードバックすることにより、実発電電流値 I_{dc} を発電電流指令値 I_{dc}^* に追従させる。これにより、モータ 4 の要求に応じた電力をインバータ 9 に供給するように発電機 7 の界磁電流 I_{fg} が制御される。

【0023】

なお、ここではフィードバック制御に用いる制御手法として P I 補償を適用しているが、これに限定されるものではなく、系を安定にする制御手法であればよい。

また、図 3 の T C S 制御部 8 F は、図示しないエンジントルク制御コントローラ (E C M) からのエンジン発生駆動トルクデマンド信号 T_{et} 、左右前輪の回転速度 V_{FR} 、 V_{FL} 、車速 V に基づいて、公知の方法により E C M に対してエンジン発生駆動トルクデマンド信号 T_e 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。

【0024】

クラッチ制御部 8 G は、上記クラッチ 1 2 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 1 2 を接続状態に制御する。

ところで、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、このような発電機とインバータとを組み合わせた場合、従来装置では、例えばトルク指令が急増する過程で発電機出力の増加が遅れ、インバータの入力が不十分な状態でトルク指令を出力するようにモータ制御が動くため、低電圧・大電流の電気効率の悪い動作点で発電機が使われるという問題がある。また、トルク指令値が急減する過程では、発電機出力の減少が遅れ、発電機出力電圧が所定値 (フェイル電圧) を超えることにより部品が破損する恐れがあるという問題がある。

そこで、本実施形態では、モータ制御部 8 E で、モータ 4 に印加する P W M 波電圧の変調率に制限を設けることで、トルク指令値が急変したときの上記問題の発生を抑制する。

【0025】

図 7 は、モータ制御部 8 E の詳細を示すブロック図である。

このモータ制御部 8 E では、まず、3 相 / 2 相変換部 2 0 1 で、電流センサにより検出された 3 相の交流電流値である U 相電流値 I_u 、V 相電流値 I_v 、W 相電流値 I_w を、モータ 4 の磁極位置信号 m を用いて 2 相の直流電流値である d 軸電流値 I_d 、q 軸電流値 I_q に変換し、電流 F / B 制御部 2 0 2 に出力する。

【0026】

電流 F / B 制御部 2 0 2 では、3 相 / 2 相変換部 2 0 1 から出力される d q 軸電流値 I_d 、 I_q と、後述する I_d 、 I_q 検索部 2 0 3 で演算される d q 軸電流指令値 I_d^* 、 I_q^* との偏差に対し P I 制御を行って、後述する V_d 、 V_q 指令値演算部 2 0 4 で演算される d q 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* にフィードバックする。

I_d 、 I_q 検索部 2 0 3 では、モータ回転数 N_m とトルク指令値 T_t とに基づいて、モータ回転数 N_m を引数とする d q 軸電流指令値 I_d^* 、 I_q^* のマップを参照し、トルク指令値 T_t に一致するトルクを出力するための d 軸電流と q 軸電流との指令値 I_d^* 、 I_q^* を演算して V_d 、 V_q 指令値演算部 2 0 4 に出力する。

【0027】

V_d 、 V_q 指令値演算部 2 0 4 では、 I_d 、 I_q 検索部 2 0 3 から入力される電流指令値 I_d^* 、 I_q^* と、モータ回転数 N_m と、モータパラメータ (インダクタンス、界磁磁束) とに基づいて、d 軸電流値 I_d を d 軸電流指令値 I_d^* にするための d 軸電圧指令値 V_d^* と、q 軸電流値 I_q を q 軸電流指令値 I_q^* にするための q 軸電圧指令値 V_q^* とを演算する。

【0028】

2 相 / 3 相変換部 2 0 5 では、d q 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* を、モータ 4 の磁極位置信号 m を用いて 3 相正弦波指令値である 3 相座標系の U 相電圧指令値 V_u^* 、V 相電圧

10

20

30

40

50

指令値 V_v^* 、W相電圧指令値 V_w^* に変換し、デッドタイム補償部 206 に出力する。

デッドタイム補償部 206 では、2相/3相変換部 205 から出力される3相電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に対してデッドタイム補償を加えて後述する電圧変調部 210 に出力する。

【0029】

また、変調率演算部 207 では、d q 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* と発電機 7 の実出力電圧 $V_{dc\ data}$ とに基づいて、次式をもとに変調率 Mod を演算する。

$$Mod = 2 \cdot \sqrt{(V_d^{*2} + V_q^{*2})} / 3 / V_{dc\ data} \dots\dots\dots (6)$$

セレクトハイ部 208 では、変調率演算部 207 で演算される変調率 Mod と、後述する変調率下限演算部 214 で演算される変調率下限値 $Mod\ low$ とを大小比較し、大きい方の変調率を選択して、セレクトロー部 209 に出力する。

10

【0030】

セレクトロー部 209 では、セレクトハイ部 208 でセレクトハイされた変調率と、後述する変調率上限演算部 215 で演算される変調率上限値 $Mod\ hi$ とを大小比較し、小さい方の変調率を選択して電圧変調部 210 に出力する。

電圧変調部 210 では、前記デッドタイム補償部 206 でデッドタイム補償を加えた3相電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を前記セレクトロー部 209 でセレクトローされた変調率で電圧変調することにより、正規化された3相正弦波指令値をPWM生成部 211 に出力する。

【0031】

PWM生成部 211 では、電圧変調部 210 で正規化された3相正弦波指令値と三角波とを比較して、PWM指令を演算し、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。

20

また、安定限界電圧演算部 212 では、先ず、トルク指令値 T_t とモータ回転数 N_m とに基づいて、次式をもとに発電機 7 が出力すべき必要電力 P_g を演算する。

$$P_g = T_t \times N_m / \dots\dots\dots (7)$$

【0032】

次に、この必要電力 P_g と発電機回転数 N_g とに基づいて、予め格納された安定限界電圧算出マップを参照し、安定限界電圧 V_{lim} を算出する。ここで、安定限界電圧算出マップは、発電機回転数 N_g 、必要電力 P_g を軸とする2次元マップであり、それぞれの格子点に回転数 N_g と必要電力 P_g とから決まる安定限界電圧 V_{lim} を持たせる。この安定限界電圧 V_{lim} は、必要電力 P_g を安定限界で出力できる発電機 7 の出力電圧に相当する。

30

【0033】

図 8 は、安定限界電圧 V_{lim} 算出の概念を示す図である。図中曲線 S_t は、発電機回転速度 ω_g と界磁電流 I_{fg} とをパラメータとした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 S_t 上の電圧・電流を発生する。

また、二点鎖線で示す双曲線状の曲線 P^* は電力一定線であり、この線上では発電機 7 の出力電力が一定となる。つまり、出力可能特性線 S_t 上での出力電力は動作点によって異なり、各出力可能特性線上の動作点において、発電機 7 の出力電力が最大となる点が存在する。この出力電力が最大となる点を結んでできる線が安定限界線となる。そして、この安定限界線によって分けられる2つの領域のうち、出力可能特性線 S_t 上の動作点の出力電力が、発電電流の増加に伴って増加する領域が安定領域 A、発電電流の増加に伴って減少する領域が不安定領域 B となる。

40

【0034】

曲線 P^* が必要電力 P_g に相当する電力一定線であるとする、前記安定限界電圧 V_{lim} は、電力一定線 P^* と安定限界線との交点の電圧値となる。

なお、本実施形態においては、安定限界電圧演算部 212 で2次元マップを用いて安定

50

限界電圧 V_{lim} を演算す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、必要電力 P_g に相当する電力一定線 P^* と安定限界線 との近似式を用いて電力一定線 P^* と安定限界線 との交点を求め、その交点の電圧値を安定限界電圧 V_{lim} として適用するようにしてもよい。

【0035】

また、変調率定数演算部 213 では、 dq 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* に基づいて、次式をもとに、変調率上限値 $Modhi$ 及び変調率下限値 $Modlow$ を演算するための定数 V_0 を演算する。

$$V_0 = 2 \cdot 2 \cdot (V_d^{*2} + V_q^{*2}) / 3 \dots\dots\dots (8)$$

変調率下限演算部 214 では、変調率定数演算部 213 で演算された定数 V_0 と、発電機目標電圧 $V_{dc dem}$ とに基づいて、次式をもとに変調率下限値 $Modlow$ を演算し、前記セレクトハイ部 208 に出力する。

$$Modlow = V_0 / V_{dc dem} \dots\dots\dots (9)$$

【0036】

ここで、発電機目標電圧 $V_{dc dem} =$ 発電電圧指令値 V_{dc}^* である。この発電電圧指令値 V_{dc}^* は、 dq 軸電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* に基づいて演算され、 $V_{dc}^* = 2 \cdot 2 \cdot (V_d^{*2} + V_q^{*2}) / 3$ である。したがって、本実施形態では、変調率下限値 $Modlow = 1$ となる。このように、発電機 7 の目標動作点に基づいて変調率下限値 $Modlow$ を設定する。

【0037】

変調率上限演算部 215 では、変調率定数演算部 213 で演算された定数 V_0 と、安定限界電圧演算部 212 で演算された安定限界電圧 V_{lim} とに基づいて、次式をもとに変調率上限値 $Modhi$ を演算し、前記セレクトロー部 209 に出力する。

$$Modhi = V_0 / V_{lim} \dots\dots\dots (10)$$

このように、発電機 7 が出力すべき必要電力 P_g を安定限界で出力することができる動作点に基づいて、変調率上限値 $Modhi$ を設定する。

【0038】

つまり、このモータ制御部 8E では、発電機目標電圧 $V_{dc dem}$ に基づいて算出された変調率下限値と、必要電力 P_g を安定して出力できる安定限界電圧 V_{lim} に基づいて算出された変調率上限値とによって、モータ 4 に印加する PWM 波電圧の変調率に制限を

図 7 において、変調率下限演算部 214 が変調率下限設定手段に対応し、変調率上限演算部 215 が変調率上限設定手段に対応している。

【0039】

次に、本発明の第 1 の実施形態の動作について図 9 をもとに説明する。

今、発電機動作点が出力可能特性線 $St1$ とトルク指令値 $T1$ に相当する電力一定線 $P1$ との交点 $a0$ にあるときに、車輪速及びアクセル開度に基づいてモータトルク指令値が $T1$ から $T2$ へ急減したものとす。この場合には、発電機供給電力演算部 8B において、トルク指令値 $T2$ 、モータ回転数 Nm に基づいて、発電機供給電力 P_g が演算される。発電機供給電力 P_g に相当する電力一定線は、図 9 の曲線 $P2$ で表される。そして、発電機制御部 8D において、発電機供給電力 P_g から算出される発電電流指令値 I_{dc}^* と実発電電流値 I_{dc} との偏差に対して PI 制御が施され、実発電電流値 I_{dc} が発電電流指令値 I_{dc}^* に追従するように発電機 7 の界磁電流 I_{fg} が減少制御される。このとき、図 9 の発電機 7 の特性図に示すように、出力可能特性線は、現在の出力可能特性線 $St1$ から目標の出力可能特性線 $St2$ へ徐々に移行することになる。

【0040】

モータ制御部 8E では、変調率下限演算部 214 で変調率下限値 $Modlow$ が “1” に設定されると共に、変調率上限演算部 215 で、電力一定線 $P2$ と安定限界線 との交点 $b1$ の電圧値である安定限界電圧 V_{lim} に基づいて変調率上限値 $Modhi$ が演算される。このとき、変調率下限値 $Modlow$ に相当する負荷一定線は $A1$ となり、変調率

上限値 Mod_{hi} に相当する負荷一定線は A_2 となる。

【0041】

このとき、発電機7の出力電圧が目標電圧以上であることから、変調率演算部207で前記(6)式をもとに演算される変調率 Mod が変調率下限値 Mod_{low} と変調率上限値 Mod_{hi} との間の範囲内に収まらず、 $Mod < Mod_{low} < Mod_{hi}$ となる。すると、セレクトハイ部208で変調率下限値 Mod_{low} が選択され、セレクトロー部209でも変調率下限値 Mod_{low} が選択されるため、この変調率下限値 Mod_{low} に基づいてインバータ9に出力するスイッチング信号が生成される。これにより、発電機動作点は a_0 から出力可能特性線 St_1 上を移行して、出力可能特性線 St_1 と負荷一定線 A_1 との交点 a_1 に変化する。

10

【0042】

その後、界磁電流 I_{fg} が徐々に減少すると、この界磁電流 I_{fg} の減少に伴って発電機動作点は負荷一定線 A_1 上を移行し、出力可能特性線が St_2 となったとき目標動作点 a^* に到達する。

このように、発電機7の出力電圧が目標電圧以上であるときには、変調率を変調率下限値 Mod_{low} に固定する負荷固定制御が実行される。

【0043】

一方、従来の3相電流フィードバック制御によるモータ制御においては、トルク指令値が T_1 から T_2 へ急減した場合、図10に示すように、現在の発電状態でトルク指令値 T_2 を出力できる動作点、即ち出力可能特性線 St_1 と電力一定線 P_2 との交点である a_2 で発電機7を動作させるようにインバータ9の負荷を変更してしまうため、発電機動作点は点 a_0 から点 a_2 に変化し、発電電圧がフェイル電圧閾値 V_{max} を超えてしまうという問題がある。

20

【0044】

これに対して本実施形態では、モータ4に印加するPWM波電圧の変調率に下限値 Mod_{low} を設けることで、発電機7から見たインバータ9のインピーダンスが大きくなりすぎるのを制限するので、トルク指令値 T_t が急減した場合であっても発電電圧の上昇を抑制することができ、過電圧になりにくくすることができる。

また、トルク指令値 T_t が一定で発電機界磁電流 I_{fg} が増加した場合、従来装置にあっては比較的容易に発電電圧がフェイル電圧閾値 V_{max} を超えてしまうのに対し、本実施形態では、これを抑制することができる。これを、図11をもとに詳述する。

30

【0045】

今、発電機動作点が出力可能特性線 St_1 とトルク指令値 T_1 に相当する電力一定線 P_1 との交点 a_0 にあるときに、発電機界磁電流 I_{fg} が増加したものとすると、このとき、出力可能特性線が St_1 から St_2 に変化したものとすると、従来装置にあっては、界磁電流 I_{fg} の増加に伴い、3相電流フィードバック制御によりインバータ9の負荷が変更されて負荷一定線が A_1 まで変化する。つまり、発電機界磁電流 I_{fg} の増加に伴って変調率が徐々に小さくなり、発電機動作点は点 a_0 から電力一定線 P_1 上を移行して出力可能特性線 St_2 と負荷一定線 A_1 との交点 a_1 に変化し、発電電圧がフェイル電圧閾値 V_{max} を超えてしまう。

40

【0046】

これに対して、本実施形態では、上記のように発電機界磁電流 I_{fg} が増加した場合には、発電機7の出力電圧が目標電圧以上となることにより、変調率が変調率下限値 Mod_{low} に固定されるので、発電機界磁電流 I_{fg} の増加に伴って、発電機動作点は点 a_0 から変調率下限値 Mod_{low} に相当する負荷一定線 A_2 上を移行し、出力可能特性線 St_2 と負荷一定線 A_2 との交点 a_2 に変化する。このように、発電機界磁電流 I_{fg} の増加による発電電圧の上昇を従来装置と比較して緩やかにすることができるので、発電電圧がフェイル電圧閾値 V_{max} を超えにくくして、高電圧フェイルとなることを抑制することができる。

【0047】

50

また、図12に示すように、発電機動作点が出力可能特性線 $S t 3$ とトルク指令値 $T 3$ に相当する電力一定線 $P 3$ との交点 $a 3$ にあるときに、車輪速及びアクセル開度に基づいてトルク指令値が $T 3$ から $T 4$ に急増したものとする。この場合には、発電機供給電力演算部8Bにおいて、トルク指令値 $T 4$ 、モータ回転数 $N m$ に基づいて、発電機供給電力 $P g$ が演算される。発電機供給電力 $P g$ に相当する電力一定線は、図12の曲線 $P 4$ で表される。そして、発電機制御部8Dにおいて、実発電電流値 $I d c$ が発電機供給電力 $P g$ から算出される発電電流指令値 $I d c^*$ に追従するように発電機7の界磁電流 $I f g$ が増加制御される。このとき、図12の発電機7の特性図に示すように、出力可能特性線は、現在の出力可能特性線 $S t 3$ から目標の出力可能特性線 $S t 4$ へ徐々に移行することになる。

10

【0048】

モータ制御部8Eでは、変調率下限演算部214で変調率下限値 $M o d l o w$ が“1”に設定されると共に、変調率上限演算部215で、電力一定線 $P 4$ と安定限界線との交点 $b 2$ の電圧値である安定限界電圧 $V l i m$ に基づいて変調率上限値 $M o d h i$ が演算される。このとき、変調率下限値 $M o d l o w$ に相当する負荷一定線は $A 3$ となり、変調率上限値 $M o d h i$ に相当する負荷一定線は $A 4$ となる。

【0049】

このとき、トルク指令値 $T 4$ が現在の発電機7の発電状態で出力可能な最大トルクである出力可能トルク（現在の出力可能特性線上で出力可能な最大電力に相当するトルク）を上回っていることから、変調率演算部207で前記(6)式をもとに演算される変調率 $M o d$ が変調率下限値 $M o d l o w$ と変調率上限値 $M o d h i$ との間の範囲内に収まらず、 $M o d l o w < M o d h i < M o d$ となる。その結果、セレクトハイ部208で変調率 $M o d$ が選択され、セレクトロー部209で変調率上限値 $M o d h i$ が選択されるため、この変調率上限値 $M o d h i$ に基づいてインバータ9に出力するスイッチング信号が生成される。これにより、発電機動作点は $a 3$ から出力可能特性線 $S t 3$ 上を移行して、出力可能特性線 $S t 3$ と負荷一定線 $A 4$ との交点 $a 4$ に変化する。

20

【0050】

その後、界磁電流 $I f g$ が増加してトルク指令値 $T 4$ が上記出力可能トルクと等しくなるまで（出力可能特性線が $S t 3'$ となるまで）、この界磁電流 $I f g$ の増加に伴って、発電機動作点は負荷一定線 $A 4$ 上を移行し、点 $a 4$ から点 $b 2$ に変化する。

30

その後は、トルク指令値 $T 4$ が出力可能トルクを下回ることから、変調率演算部207で演算される変調率 $M o d$ が $M o d l o w < M o d < M o d h i$ となり、セレクトハイ部208で変調率 $M o d$ が選択され、セレクトロー部209でも変調率 $M o d$ が選択されるため、通常の3相電流フィードバック制御が行われ、この変調率 $M o d$ に基づいてインバータ9に出力するスイッチング信号が生成される。つまり、界磁電流 $I f g$ の増加に伴って徐々に変調率 $M o d$ が減少し、発電機動作点は点 $b 2$ から電力一定線 $P 4$ 上を移行して、出力可能特性線が $S t 4$ となったとき目標動作点 a^* に到達する。このとき、変調率を変調率上限値 $M o d h i$ で固定する負荷固定制御と、変調率を変調率 $M o d$ で制御する通常のPWM制御との切り替え時の電力不連続はない。

【0051】

40

このように、モータトルク指令値が出力可能トルク以下であるときには通常の3相電流フィードバック制御が実行され、モータトルク指令値が出力可能トルクを上回っているときには変調率を変調率上限値 $M o d h i$ に固定する負荷固定制御が実行される。

一方、従来の3相電流フィードバック制御によるモータ制御においては、トルク指令値が $T 3$ から $T 4$ へ急増した場合、電流を増加させることで電力を供給しようとして、図13に示すように、発電機動作点が出力可能特性線 $S t 3$ と負荷一定線 $A 5$ との交点である $a 5$ に変化するため、発電電圧が落ち込んでしまう。その後は、さらに落ち込んだ電圧をもとに変調率を変化するため、変調率の限界まで落ち込んでしまい、最終的には不安定領域の効率の悪い動作点で動作してしまうという問題がある。

【0052】

50

これに対して本実施形態では、モータ4に印加するPWM波電圧の変調率に上限値Modhiを設けることで、発電機7から見たインバータ9のインピーダンスが小さくなりすぎるのを制限するので、トルク指令値Ttが急増した場合であっても発電電圧の落ち込みを防止することができる。

このように、上記第1の実施形態では、モータに印加するPWM波電圧の変調率に制限を設けるので、モータトルク指令値が急変したときの発電電圧の落ち込みや跳ね上がりを抑制して、安定したモータトルク制御を行うことができ、4WD性能を向上させることができる。

【0053】

また、変調率に下限を設けることにより、モータトルク指令値が急減した場合であっても、発電電圧が過電圧となってフェイル電圧閾値を越えることを抑制することができるので、高電圧フェイルに起因する部品の破損を抑制することができる。

さらに、発電機の目標動作点に基づいて変調率下限値を設定するので、発電機の実出力電圧が目標電圧を下回っているときは通常の3相電流フィードバック制御を行い、出力電圧が目標電圧以上であるときは変調率を固定とすることができる。その結果、トルク指令値が急減し出力電圧が目標電圧を上回っている状態では、変調率が変調率下限値で固定となって発電電圧の上昇を抑制することができ、高電圧フェイルを抑制することができる。

【0054】

また、変調率に上限を設けることにより、モータトルク指令値が急増した場合であっても、発電電圧が落ち込むことを抑制することができるので、効率の悪い動作点で発電機が動作することを抑制することができる。

さらにまた、モータの必要電力を安定限界で出力できる動作点に基づいて変調率上限値を設定するので、モータトルク指令値が出力可能トルク以下であるときは通常の3相電流フィードバック制御を行い、モータトルク指令値が出力可能トルクを上回っているときは変調率を固定とすることができる。その結果、トルク指令値が急増した場合には、変調率が変調率上限値で固定となって、常に発電機動作点を安定領域で動作させることができる。

なお、上記第1の実施形態においては、発電機目標電圧 $V_{dc-dem} = V_{dc}^* \times V_{dc-gain}$ とす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、所定のマップから検索される発電機目標電圧 $V_{dc-dem} (= V_{dc}^* \times V_{dc-gain})$ を適用するようによい。

【0055】

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。

この第2の実施形態は、モータに印加するPWM波電圧の変調率下限値を現在の発電状態で電圧値がシステム電圧上限値となる動作点に基づいて設定すると共に、変調率上限値を現在の発電状態で最大電力を出力できる動作点に基づいて設定するようにしたものである。

すなわち、第2の実施形態におけるモータ制御部8Eのブロック図を図14に示すように、図7に示す第1の実施形態におけるモータ制御部8Eのブロック図において、安定限界電圧演算部212を削除し、後述する出力トルク演算処理を行う出力トルク演算部221を追加し、 I_d 、 I_q 検索部203を出力トルク演算部221から出力されるトルク指令値 T_{rqm} に基づいてd軸電流とq軸電流との指令値 I_d^* 、 I_q^* を演算する I_d 、 I_q 検索部222に置換し、変調率下限演算部214を現在の発電状態で電圧値がシステム電圧上限値 V_{up} となる動作点に基づいて変調率下限値Modlowを演算する変調率下限演算部223に置換し、変調率上限演算部215を現在の発電状態で最大電力を出力可能な動作点に基づいて変調率上限値Modhiを演算する変調率上限演算部224に置換したことを除いては、図7と同様の構成を有するため、その詳細な説明は省略する。

【0056】

出力トルク演算部221では、図15に示す出力トルク演算処理を実行する。この界磁電流推定演算部301では、先ず、 $V_{dc} = V_b$ であるときには下記(11)式をもとに

、 $V_{dc} > V_b$ であるときには下記(12)式をもとに界磁コイルにかかる電圧 V_f を算出する。

$$V_f = C_1 \times V_b \quad \dots \dots (11)$$

$$V_f = C_1 \times V_{dc} \quad \dots \dots (12)$$

そして、このように算出された電圧 V_f に基づいて、次式をもとに発電機7の界磁電流 I_{fg} を推定し、出力可能電力・最低出力電力演算部302に出力する。

$$I_{fg} = 1 / (1 + f \cdot s) \times V_f / R_f \quad \dots \dots (13)$$

【0057】

なお、界磁電流 I_{fg} を検出する界磁電流センサを設けている場合には、その界磁電流センサの検出値を用いるようにしてもよい。

10

出力可能電力・最低出力電力演算部302では、界磁電流推定演算部301で推定された界磁電流 I_{fg} と発電機回転数 N_g とが入力され、発電機7が現在の発電状態で出力可能な最大電力である出力可能電力 P_{abl} と、発電機7が安定して動作するために最低限出力しなければならない電力である最低出力電力 P_{btm} とを演算する。

【0058】

出力可能電力 P_{abl} は、出力可能電力算出マップを参照して算出する。この出力可能電力算出マップは、発電機7の回転数 N_g 、界磁電流 I_{fg} 、出力可能電力 P_{abl} 及び最大出力時電圧 V_{pmax} を関連付ける2次元マップであり、例えば、横軸に界磁電流 I_{fg} 、縦軸に回転数 N_g を取り、それぞれの格子点に、回転数 N_g と界磁電流 I_{fg} とから決まる出力可能電力 P_{abl} 及び最大出力時電圧 V_{pmax} を持たせる。

20

【0059】

つまり、図16に示すように、発電機7の出力電流及び出力電圧から決定する現在の出力可能特性線が S_t であるとする、出力可能電力 P_{abl} は出力可能特性線 S_t 上で出力可能な最大電力であり、これは出力可能特性線 S_t と安定限界線との交点での出力電力である。そして、出力可能特性線 S_t と安定限界線との交点の電圧値が最大出力時電圧 V_{pmax} となる。この図16において、曲線 P_{abl} は出力可能電力 P_{abl} に相当する電力一定線である。また、二点鎖線で示す曲線 P^* は発電機7が出力すべき必要電力 P_g に相当する電力一定線である。

【0060】

また、最低出力電力 P_{btm} は、最低出力電力算出マップを参照して算出する。この最低出力電力算出マップは、発電機7の回転数 N_g 、界磁電流 I_{fg} 及び最低出力電力 P_{btm} を関連付ける2次元マップであり、例えば、横軸に界磁電流 I_{fg} 、縦軸に回転数 N_g を取り、それぞれの格子点に、回転数 N_g と界磁電流 I_{fg} とから決まる最低出力電力 P_{btm} を持たせる。

30

【0061】

つまり、図16に示すように、最低出力電力 P_{btm} は出力可能特性線 S_t 上で最低限出力しなければならない電力であり、これは出力可能特性線 S_t とシステム上限電圧 V_{up} としてのフェイル電圧閾値 V_{max} (60V)との交点、即ち出力可能特性線 S_t 上で電圧値がシステム上限電圧 V_{up} となる動作点での出力電力である。この図16において、曲線 P_{btm} は最低出力電力 P_{btm} に相当する電力一定線である。なお、システム

40

【0062】

なお、本実施形態においては、出力可能電力・最低出力電力演算部302で2次元マップを用いて出力可能電力 P_{abl} 及び最低出力電力 P_{btm} を演算す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、現在の発電状態での出力可能特性線 S_t と安定限界線との近似式を用い、出力可能特性線 S_t と安定限界線との交点や、出力可能特性線 S_t とフェイル電圧閾値 V_{max} との交点を求め、これらの交点の電力値を出力可能電力 P_{abl} 、最低出力電力 P_{btm} として適用するようにしてもよい。

【0063】

50

必要電力演算部 303 では、トルク指令値 T_t とモータ回転数 N_m とが入力され、次式をもとに必要電力 P_g を算出する。

$$P_g = T_t \times N_m / \dots \dots \dots (14)$$

このようにして算出された必要電力 P_g は、モータ 4 がトルク指令値 T_t を発生するために、発電機 7 が出力すべき電力となる。

セレクトロー部 304 では、出力可能電力 P_{abl} と必要電力 P_g とを比較し、小さい方の電力を選択する。また、セレクトハイ部 305 では、前記セレクトロー部 304 でセレクトローした結果と、最低出力電力 P_{btm} とを比較し、大きい方の電力を選択し、これを目標出力電力 P_m^* とする。

【0064】

インバータ指令トルク演算部 306 では、目標出力電力 P_m^* とモータ回転数 N_m と後述する効率演算部 307 で演算される効率 η とに基づいて、次式をもとにトルク指令値 T_{rqm} を演算する。

$$T_{rqm} = P_m^* \times \eta / N_m \dots \dots \dots (15)$$

効率演算部 307 では、トルク指令値 T_{rqm} の前回値と現在のモータ回転数 N_m とから、予め格納された効率算出マップを参照して効率 η を算出する。

図 15 において、出力可能電力・最低出力電力演算部 302 が出力可能電力演算手段及び最低出力電力演算手段に対応し、必要電力演算部 303 が必要電力演算手段に対応し、セレクトロー部 304 ~ インバータ指令トルク演算部 306 がトルク指令値演算手段に対応している。

【0065】

図 14 の I_d , I_q 検索部 222 では、出力トルク演算部 221 で演算されたトルク指令値 T_{rqm} とモータ回転数 N_m とに基づいて、このトルク指令値 T_{rqm} に一致するトルクを出力するための d 軸電流と q 軸電流との指令値 I_d^* , I_q^* を演算し、前述した V_d , V_q 指令値演算部 204 に出力する。これにより、 V_d , V_q 指令値演算部 204 では、出力トルク演算部 221 で演算されたトルク指令値 T_{rqm} をもとに d q 軸電圧指令値 V_d^* , V_q^* が演算され、変調率定数演算部 213 では、この d q 軸電圧指令値 V_d^* , V_q^* に基づいて定数 V_0 が演算されることになる。

【0066】

また、変調率下限演算部 223 では、変調率定数演算部 213 で演算された定数 V_0 と、システム上限電圧 V_{up} とに基づいて、次式をもとに変調率下限値 $Modlow$ を演算し、前記セレクトハイ部 208 に出力する。

$$Modlow = V_0 / V_{up} \dots \dots \dots (16)$$

変調率上限演算部 224 では、変調率定数演算部 213 で演算された定数 V_0 と、出力トルク演算部 221 で演算された最大出力時電圧 V_{pmax} とに基づいて、次式をもとに変調率上限値 $Modhi$ を演算し、前記セレクトロー部 209 に出力する。

$$Modhi = V_0 / V_{pmax} \dots \dots \dots (17)$$

【0067】

つまり、第 2 の実施形態のモータ制御部 8E では、現在の発電状態で最低出力電力 P_{btm} を出力できる動作点をもとに算出した変調率下限値と、現在の発電状態で出力可能電力 P_{abl} を出力できる動作点をもとに算出した変調率上限値とによって、モータ 4 に印加する PWM 波電圧の変調率に制限を設け、この範囲内でモータ制御を行う。

【0068】

次に、本発明の第 2 の実施形態の動作について図 17 をもとに説明する。

今、発電機動作点が出力可能特性線 S_{t1} とトルク指令値 T_1 に相当する電力一定線 P_1 との交点 a_0 にあるときに、車輪速及びアクセル開度に基づいてモータトルク指令値が T_1 から T_2 へ急減したものとする。この場合には、発電機供給電力演算部 8B において、トルク指令値 T_2 、モータ回転数 N_m に基づいて、発電機供給電力（必要電力） P_g が演算される。発電機供給電力 P_g に相当する電力一定線は、図 17 の曲線 P_2 で表される。そして、発電機制御部 8D において、実発電電流値 I_{dc} が発電機供給電力 P_g から算

10

20

30

40

50

出される発電電流指令値 I_{dc}^* に追従するように発電機 7 の界磁電流 I_{fg} が減少制御される。このとき、図 17 の発電機 7 の特性図に示すように、出力可能特性線は、現在の出力可能特性線 S_{t1} から目標の出力可能特性線 S_{t2} へ徐々に移行することになる。

【0069】

このとき、出力可能特性線 S_{t1} と安定限界線との交点 b_1 から出力可能電力 P_{abl} (電力一定線 P_{abl} に相当) が求められ、出力可能特性線 S_{t1} とシステム上限電圧 V_{up} との交点 a_1 から最低出力電力 P_{btm} (電力一定線 P_{btm} に相当) が求められる。このとき、 $P_g < P_{btm} < P_{abl}$ であるため、図 15 のセレクトロ一部 304 で必要電力 P_g が選択され、セレクトロハイ部 305 で最低出力電力 P_{btm} が選択される。したがって、最低出力電力 P_{btm} が目標出力電力 P_m^* として設定されて、この目標出力電力 P_m^* に基づいてトルク指令値 T_{rqm} が演算される。このトルク指令値 T_{rqm} に相当する電力一定線は曲線 P_{btm} となる。

10

【0070】

すると、図 14 のモータ制御部 8E では、システム上限電圧 V_{up} に基づいて前記(16)式をもとに算出される変調率下限値 Mod_{low} が最終的な変調率として選択されるため、負荷一定線は A_1 となって、発電機動作点は点 a_0 から出力可能特性線 S_{t1} と負荷一定線 A_1 との交点 a_1 に移行する。その後、発電機 7 の界磁電流 I_{fg} が減少すると、この界磁電流 I_{fg} の減少に伴って最低出力電力 P_{btm} も減少し、必要電力 P_g が最低出力電力 P_{btm} と等しくなるまで(出力可能特性線が S_{t1}' となるまで)、最低出力電力 P_{btm} が目標出力電力 P_m^* として設定される。

20

【0071】

そして、出力可能特性線が S_{t1}' となったとき、出力トルク演算部 221 では、出力可能特性線 S_{t1}' とシステム上限電圧 V_{up} との交点 a_2 から最低出力電力 P_{btm} (= P_g) が求められる。そして、この最低出力電力 P_{btm} に相当するトルク指令値 T_{rqm} (= T_2) とシステム上限電圧 V_{up} とに基づいて算出される変調率下限値 Mod_{low} が最終的な変調率として選択されるため、発電機動作点は出力可能特性線 S_{t1}' と負荷一定線 A_2 との交点 a_2 となる。つまり、出力可能特性線が S_{t1} から S_{t1}' までの間では、発電機動作点はシステム上限電圧 V_{up} 上を移行して、点 a_1 から点 a_2 に変化することになる。

【0072】

その後は、 $P_{btm} < P_g < P_{abl}$ となることから、必要電力 P_g が目標出力電力 P_m^* として選択されるため、トルク指令値 T_2 に基づいたモータ制御が継続される。このとき、変調率演算部 207 で演算される変調率 Mod が $Mod_{low} < Mod < Mod_{hi}$ であるため、変調率 Mod が最終的な変調率として選択される。つまり、通常の 3 相電流フィードバック制御が行われることにより、発電機 7 の界磁電流 I_{fg} の減少に伴って変調率 Mod が増加し、発電機動作点は点 a_2 から電力一定線 P_2 上を移行して、出力可能特性線が S_{t2} となったとき目標動作点 a^* に到達する。

30

【0073】

このように、変調率下限値 Mod_{low} を、現在の発電状態で最低出力電力 P_{btm} を出力できる動作点に基づいて算出するため、トルク指令値が急減する場合であっても、発電電圧が過電圧となって高電圧フェイルとなることを確実に防止することができる。

40

また、トルク指令値 T_t が一定で発電機界磁電流 I_{fg} が増加した場合、従来装置にあっては前述したように比較的容易に発電電圧がフェイル電圧を超えてしまうのに対し、本実施形態では、変調率下限値 Mod_{low} を設けることで、これを確実に防止することができる。これを、図 18 をもとに詳述する。

【0074】

今、発電機動作点が出力可能特性線 S_{t1} とトルク指令値 T_1 に相当する電力一定線 P_1 との交点 a_0 にあるときに、発電機界磁電流 I_{fg} が増加したものとすると、出力可能特性線が S_{t1} から S_{t2} に変化したものとすると、従来装置にあっては、前述したように、発電機動作点が点 a_0 から点 a_1 に変化し、発電電圧がフェイル電圧閾値 V

50

max を超えてしまう。

【0075】

これに対して、本実施形態では、上記のように発電機界磁電流 I_{fg} が増加した場合、出力可能特性線が S_{t1}' となるまでは、発電電圧 V_{dc} がシステム上限電圧 V_{up} を下回ることから、通常の3相電流フィードバック制御が行われるため、界磁電流 I_{fg} の増加に伴って変調率が減少して、発電機動作点は点 a_0 から電力一定線 P_1 上を移行して出力可能特性線 S_{t1}' と負荷一定線 A_2 との交点 a_2 に変化する。

【0076】

その後は、 $P_g < P_{btm}$ となることから最低出力電力 P_{btm} が目標出力電力 P_m^* として設定され、発電電圧 V_{dc} がシステム上限電圧 V_{up} 以上であることから、変調率は前記(16)式をもとに算出される変調率下限値 $ModLow$ に固定される。つまり、出力可能特性線が S_{t1}'' であるときには負荷一定線が A_3 となり、出力可能特性線が S_{t2} であるときには負荷一定線が A_4 となる。したがって、発電機界磁電流 I_{fg} の増加に伴って、発電状態はシステム上限電圧 V_{up} を維持しながらDC電流のみ増加することになり、発電機動作点は点 a_2 からシステム上限電圧 V_{up} 上を移行して、出力可能特性線 S_{t2} と負荷一定線 A_4 との交点 a_4 に変化する。このように、発電機界磁電流 I_{fg} が増加した場合であっても、発電電圧がシステム上限電圧 V_{up} を超えることがないので、高電圧フェイルとなることを確実に防止することができる。

【0077】

また、図19に示すように、発電機動作点が出力可能特性線 S_{t3} とトルク指令値 T_3 に相当する電力一定線 P_3 との交点 a_0 にあるときに、車輪速及びアクセル開度に基づいてトルク指令値が T_3 から T_4 に急増したものとする。この場合には、発電機供給電力演算部8Bにおいて、トルク指令値 T_4 、モータ回転数 N_m に基づいて、発電機供給電力 P_g が演算される。発電機供給電力 P_g に相当する電力一定線は、図19の曲線 P_4 で表される。そして、発電機制御部8Dにおいて、実発電電流値 I_{dc} が発電機供給電力 P_g から算出される発電電流指令値 I_{dc}^* に追従するように発電機7の界磁電流 I_{fg} が増加制御される。このとき、図19の発電機7の特性図に示すように、出力可能特性線は、現在の出力可能特性線 S_{t3} から目標の出力可能特性線 S_{t4} へ徐々に移行することになる。

【0078】

このとき、出力可能特性線 S_{t3} と安定限界線との交点 a_3 から出力可能電力 P_{abl} (電力一定線 P_{abl} に相当) が求められ、 $P_{btm} < P_{abl} < P_g$ であるため、図15のセレクトロ一部304で出力可能電力 P_{abl} が選択され、セレクトハイ部305でも出力可能電力 P_{abl} が選択される。したがって、出力可能電力 P_{abl} が目標出力電力 P_m^* として設定されて、この目標出力電力 P_m^* に基づいてトルク指令値 T_{rqm} が演算される。このトルク指令値 T_{rqm} に相当する電力一定線は曲線 P_{abl} となる。

【0079】

すると、図14のモータ制御部8Eでは、交点 a_3 の電圧値である最大出力時電圧 V_{pmax1} に基づいて前記(17)式をもとに算出される変調率上限値 $Modhi$ が最終的な変調率として選択されるため、負荷一定線は A_3 となって、発電機動作点は点 a_0 から出力可能特性線 S_{t3} と負荷一定線 A_3 との交点 a_3 に移行する。その後、発電機7の界磁電流 I_{fg} が増加すると、この界磁電流 I_{fg} の増加に伴って出力可能電力 P_{abl} も増加し、必要電力 P_g が出力可能電力 P_{abl} と等しくなるまで(出力可能特性線が S_{t3}' となるまで)、出力可能電力 P_{abl} が目標出力電力 P_m^* として設定される。

【0080】

そして、出力可能特性線が S_{t3}' となったとき、出力トルク演算部221では、出力可能特性線 S_{t3}' と安定限界線との交点 a_4 から出力可能電力 P_{abl} (= P_g) が求められる。そして、この出力可能電力 P_{abl} に相当するトルク指令値 T_{rqm} (= T_4) と交点 a_4 の電圧値である最大出力時電圧 V_{pmax2} とに基づいて算出される変調率上限値 $Modhi$ が最終的な変調率として選択されるため、発電機動作点は出力可能特

10

20

30

40

50

性線 $S t 3'$ と負荷一定線 $A 4$ との交点 $a 4$ となる。つまり、出力可能特性線が $S t 3$ から $S t 3'$ までの間では、発電機動作点は安定限界線 上を移行して、点 $a 3$ から点 $a 3$ に変化することになる。

【0081】

その後は、 $P b t m < P g < P a b 1$ となることから、必要電力 $P g$ が目標出力電力 $P m^*$ として選択されるため、トルク指令値 $T 4$ に基づいたモータ制御が継続される。このとき、変調率演算部 207 で演算される変調率 $M o d$ が $M o d l o w < M o d < M o d h i$ であるため、変調率 $M o d$ が最終的な変調率として選択される。つまり、通常の3相電流フィードバック制御が行われるので、発電機7の界磁電流 $I f g$ の増加に伴って変調率 $M o d$ が減少し、発電機動作点は点 $a 4$ から電力一定線 $P 4$ 上を移行して、出力可能特性線が $S t 4$ となったとき目標動作点 a^* に到達する。

10

【0082】

したがって、変調率上限値 $M o d h i$ を、その時々々の発電状態で最大電力を出力可能な動作点に基づいて算出することで、トルク指令値が急増した場合であっても、発電電圧の落ち込みを確実に防止して、常に安定領域での作動を確保することができる。

このように、上記第2の実施形態では、現在の発電状態で最低出力電力を出力できる動作点に基づいて変調率下限値を算出するので、トルク指令値が急減して発電機の出力電圧がシステム上限電圧を上回っているときには、変調率をその時々々の変調率下限値に固定することができるので、発電電圧がフェイル電圧閾値を超えることを確実に防止することができ、高電圧フェイルとなることに起因する部品の故障を防止することができる。

20

【0083】

また、現在の発電状態で最大電力を出力可能な動作点に基づいて変調率上限値を算出するので、トルク指令値が急増し当該トルク指令値が出力可能トルクを上回っているときには、変調率をその時々々の変調率上限値に固定することで、発電電圧が落ち込むことを確実に防止することができる。さらに、現在の発電状態で最大電力を出力可能な動作点まで発電機の動作領域を広げることができるので効率が良い。

【0084】

なお、上記第2の実施形態においては、必要電力 $P g$ 、出力可能電力 $P a b 1$ 及び最低出力電力 $P b t m$ を大小比較した結果に基づいて、モータ制御を行うためのトルク指令値 $T r q m$ を算出す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、従駆動輪の要求駆動力に基づいてトルク指令値 $T t$ を算出し（第一のトルク指令値に相当）、発電機7の出力可能電力 $P a b 1$ に基づいてトルク指令値 $T a b 1$ を算出し（第二のトルク指令値に相当）、発電機7の最低出力電力 $P b t m$ に基づいてトルク指令値 $T b t m$ を算出し（第三のトルク指令値に相当）、第一～第三のトルク指令値を大小比較してトルク指令値 $T r q m$ を算出するようにしてもよい。この場合、トルク指令値 $T t$ とトルク指令値 $T a b 1$ とのうち小さい方のトルク指令値と、トルク指令値 $T b t m$ とのうち大きい方のトルク指令値をトルク指令値 $T r q m$ として適用する。

30

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】本発明の実施形態を示す概略構成図である。

40

【図2】発電機の構造を示す図である。

【図3】図1の4WDコントローラの詳細を示すブロック図である。

【図4】図3の発電機制御部の詳細を示すブロック図である。

【図5】回転数毎の発電機特性マップである。

【図6】回転数毎の界磁電流特性マップである。

【図7】第1の実施形態におけるモータ制御部の詳細を示すブロック図である。

【図8】安定限界電圧算出の概念を説明する図である。

【図9】第1の実施形態の動作を説明する図である。

【図10】従来装置における動作を説明する図である。

【図11】第1の実施形態の動作を説明する図である。

50

- 【図 1 2】第 1 の実施形態の動作を説明する図である。
 【図 1 3】従来装置における動作を説明する図である。
 【図 1 4】第 2 の実施形態におけるモータ制御部の詳細を示すブロック図である。
 【図 1 5】図 1 3 の出力トルク演算部の詳細を示すブロック図である。
 【図 1 6】出力可能電力及び最低出力電力算出の概念を説明する図である。
 【図 1 7】第 2 の実施形態の動作を説明する図である。
 【図 1 8】第 2 の実施形態の動作を説明する図である。
 【図 1 9】第 2 の実施形態の動作を説明する図である。

【符号の説明】

【0086】

- 1 L、1 R 前輪
 2 エンジン
 3 L、3 R 後輪
 4 モータ
 6 ベルト
 7 発電機
 8 4WD コントローラ
 8 A 目標モータトルク演算部
 8 B 発電機供給電力演算部
 8 C 発電電流指令演算部
 8 D 発電機制御部
 8 E モータ制御部
 8 F TCS 制御部
 8 G クラッチ制御部
 9 インバータ
 10 ジャンクションボックス
 11 減速機
 12 クラッチ
 27 FL、27 FR、27 RL、27 RR 車輪速センサ
 201 3相/2相変換部
 202 電流 F/B 制御部
 203 Id, Iq 検索部
 204 Vd, Vq 指令値演算部
 208 セレクトハイ部
 209 セレクトロー部
 212 安定限界電圧演算部
 213 変調率定数演算部
 214 変調率下限演算部
 215 変調率上限演算部
 221 出力トルク演算部
 301 界磁電流推定演算部
 302 出力可能電力・最低出力電力演算部
 303 必要電力演算部
 304 セレクトロー部
 305 セレクトハイ部
 306 インバータ指令トルク演算部

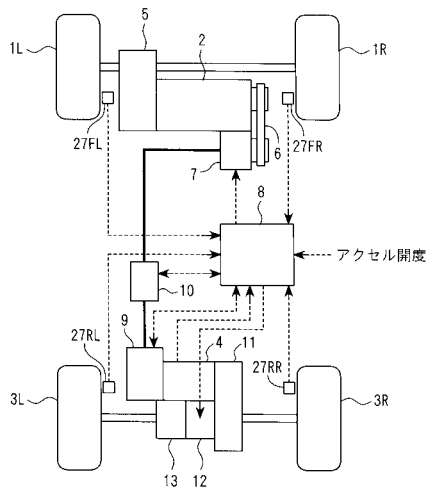
10

20

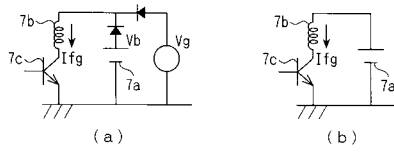
30

40

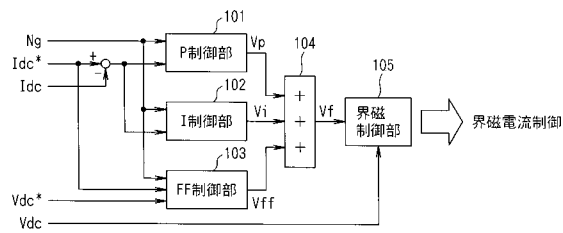
【 図 1 】



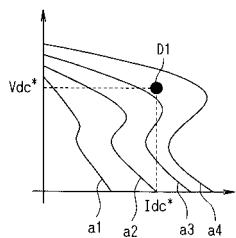
【 図 2 】



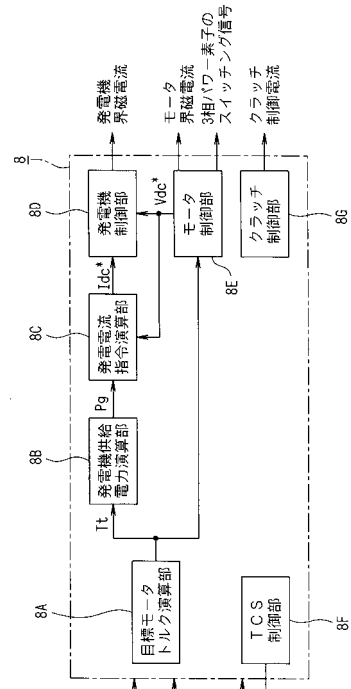
【 図 4 】



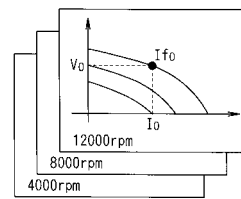
【 図 5 】



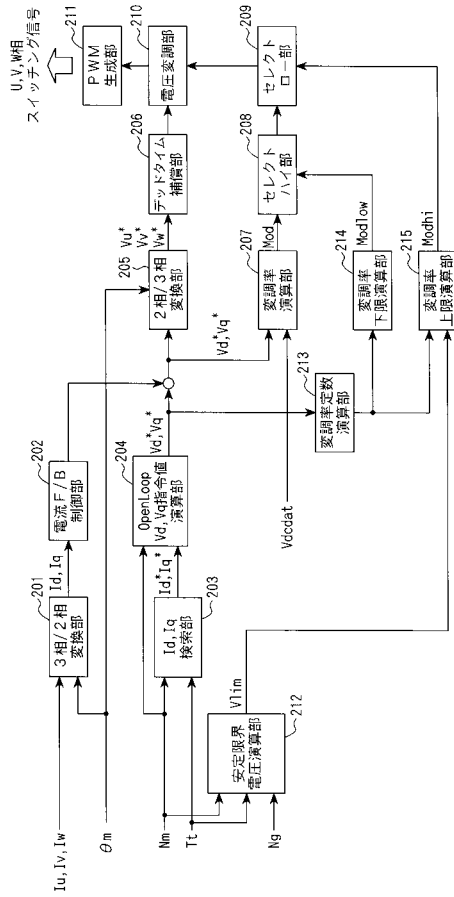
【 図 3 】



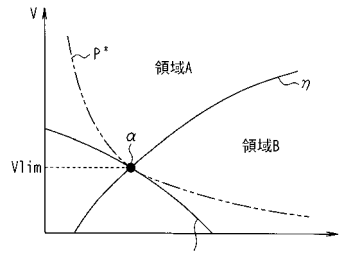
【 図 6 】



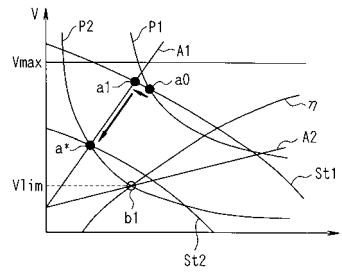
【 図 7 】



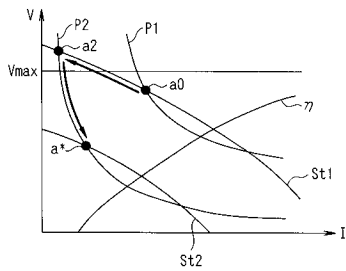
【 図 8 】



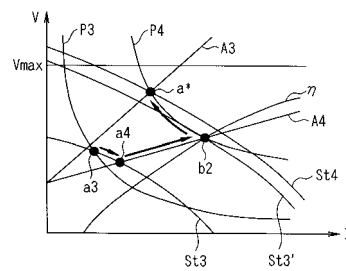
【 図 9 】



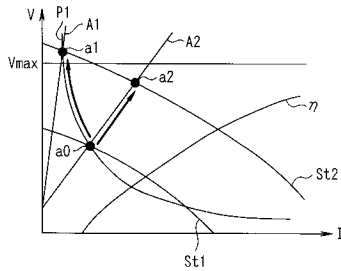
【 図 10 】



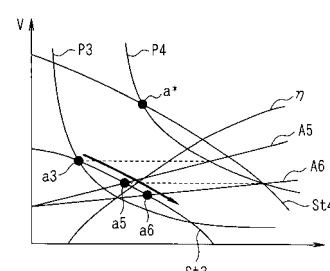
【 図 12 】



【 図 11 】



【 図 13 】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)
B 6 0 K 6/04 (2006.01) B 6 0 K 6/04 7 1 0

Fターム(参考) 5H115 PA01 PC06 PG04 PI24 PI29 PU08 PU25 PV09 QN09 RB08
RB22 RB26 RB27 RE05 SE02 SE03 TB03 T012 T013 T022
T024