(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3815113号
(P3815113)
(45)発行日　平成18年8月30日(2006.8.30)　(24)登録日　平成18年6月16日(2006.6.16)

(51)Int.Cl.　　F I
H02P 21/00 (2006.01)　H02P 5/408 A
H02P 27/04 (2006.01)　H02P 5/41 302K
H02P 27/06 (2006.01)

請求項の数 22　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願平11-115941
(22)出願日　平成11年4月23日(1999.4.23)
(65)公開番号　特開2000-312496(P2000-312496A)
(43)公開日　平成12年11月7日(2000.11.7)
審査請求日　平成16年5月13日(2004.5.13)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100100310
弁理士　井上　学
(72)発明者　戸張　和明
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号
株式会社　日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　奥山　俊昭
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号
株式会社　日立製作所　日立研究所内

審査官　川端　修

最終頁に続く

(54)【発明の名称】誘導電動機の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

電力変換器と、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数値と出力電圧値を制御する速度制御装置により誘導電動機を駆動するための誘導電動機の制御方法において、

前記変換器の出力電圧指令値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出力電流値を用いて演算したすべり周波数演算値を、前記速度指令値に加算し、該加算値に応じて前記変換器の出力周波数を制御することを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項２】

電力変換器と、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電流検出値あるいは指令値および前記変換器の出力周波数指令値に基づいて変換器の出力電圧基準値を演算する演算器を備え、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数値を制御する速度制御装置により誘導電動機を駆動するための誘導電動機の制御方法において、

前記変換器の出力電圧指令値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出力電流値を用いて演算したすべり周波数演算値を、前記速度指令値に加算し、該加算値に応じて前記変換器の出力周波数を制御することを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項３】

電力変換器と、電流指令値に従い前記変換器の出力電流を制御する電流制御器を備え、速度指令値あるいは速度推定値に従い前記変換器の出力周波数値を制御する速度制御装置により誘導電動機を駆動するための誘導電動機の制御方法において、

前記変換器の出力電圧指令値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出

力電流値を用いて演算したすべり周波数演算値を、前記周波数指令値に加算し、該加算値に応じて前記変換器の出力周波数を制御することを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項４】

請求項１～３のいずれか１項において、

前記すべり周波数推定値は、ｄ軸の誘導起電力値と、ｑ軸の誘導起電力値との比に基づいて演算することを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項５】

請求項１～３のいずれか１項において、

前記すべり周波数推定値は、各々、ｄ軸の電圧指令値あるいは検出値と、ｑ軸の電圧指令値あるいは検出値を用いて演算により求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項６】

請求項１～３のいずれか１項において、

前記すべり周波数推定値は、ｑ軸の磁束値と、ｄ軸の磁束値の比に基づいて演算により求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項７】

請求項１～３のいずれか１項において、

前記すべり周波数推定値は、各々、ｄ軸の電圧指令値あるいは検出値と前記変換器の出力周波数値を用いて演算したｑ軸の磁束値と、ｑ軸の電圧指令値あるいは検出値と前記変換器の出力周波数値を用いて演算したｄ軸の磁束値との比に基づいて、演算により求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項８】

請求項６において、

前記磁束値は、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電圧指令値あるいは検出値と、ｄ軸およびｑ軸の抵抗電圧降下演算値と、ｄ軸およびｑ軸の漏れリアクタンス電圧降下演算値の和（差）を求め、該加算（減算）値と前記変換器の出力周波数値の比に基づいて、演算により求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項９】

請求項６において、前記磁束値は、ｄ軸およびｑ軸の電圧指令値あるいは検出値と、ｄ軸およびｑ軸の抵抗電圧降下演算値と、ｄ軸およびｑ軸の漏れリアクタンス電圧降下演算値と、ｄ軸およびｑ軸の誘導起電力値との和（差）を積分することにより求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項１０】

請求項１～３のいずれか１項において、前記すべり周波数演算値は、前記ｑ軸電流の指令値あるいは検出値と、請求項１７～１９記述のｄ軸の磁束値との比に基づいて演算により求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項１１】

電力変換器と、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数値と出力電圧値を制御する速度制御装置により誘導電動機を駆動するための誘導電動機の制御方法において、

速度指令値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記誘導電動機の出力トルク値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項１２】

電力変換器と、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電流検出値あるいは指令値、および前記変換器の出力周波数に基づいて変換器の出力電圧基準値を演算する電圧演算器を用い、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数を制御する誘導電動機の制御方法において、

速度指令値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記誘導電動機の出力トルク値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項１３】

電力変換器と、電流指令値に従い該変換器の出力電流を制御する電流制御器を用い、速

度指令値あるいは速度推定値に従い前記変換器の出力周波数値を制御する誘導電動機の制御方法において、
速度指令値あるいは速度推定値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記誘導電動機の出力トルク値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１４】
請求項１１～１３のいずれか１項において、
前記誘導電動機の出力トルク値に応じて修正する前記出力電流を、ｄ軸電流値成分とすることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１５】
請求項１１～１３のいずれか１項において、
前記出力トルク値に応じて修正する前記出力電流を、ｑ軸電流値成分とすることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１６】
請求項１１～１３のいずれか１項において、
前記出力トルク値は、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電圧指令値あるいは検出値と、ｄ軸およびｑ軸の電流指令値あるいは検出値に基づいて求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１７】
請求項１１～１３のいずれか１項において、
前記出力トルク値は、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電圧指令値あるいは検出値と、前記変換器の出力周波数値を用いて演算したｄ軸およびｑ軸の磁束値と、ｄ軸およびｑ軸の電流検出値あるいは電流指令値を用いて求めることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１８】
電力変換器と、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数値と出力電圧値を制御する速度制御装置により誘導電動機を駆動するための誘導電動機の制御方法において、
速度指令値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記変換器の出力電圧指令値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出力電流値を用いて演算したすべり周波数演算値の加算値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項１９】
電力変換器と、回転座標系のｄ軸およびｑ軸の電流検出値あるいは指令値と、前記変換器の出力周波数に基づいて変換器の出力電圧基準値を演算する電圧演算器を用い、速度指令値に従い前記変換器の出力周波数を制御する誘導電動機の制御方法において、
速度指令値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記変換器の出力電圧値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出力電流指令値を用いて演算したすべり周波数演算値の加算値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項２０】
誘導電動機を駆動する電力変換器と、電流指令値に従い該変換器の出力電流を制御する電流制御器を用い、速度指令値あるいは速度推定値に従い前記変換器の出力周波数値を制御する誘導電動機の制御方法において、
速度指令値あるいは速度推定値が所定値以下の場合は、前記電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御すると共に、前記変換器の出力電圧指令値を用いて演算したすべり周波数推定値と、前記変換器の出力電流値を用いて演算したすべり周波数演算値の加算値に応じて、該出力電流値を修正するようにしたことを特徴とする誘導電動機の制御方法。

【請求項２１】
請求項１８～２０のいずれか１項において、
前記すべり周波数推定値と前記すべり周波数演算値の加算値に応じて修正する前記出力電流を、ｄ軸電流値成分とすることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【請求項２２】
請求項１８～２０のいずれか１項において、
前記すべり周波数推定値と前記すべり周波数演算値の加算値に応じて修正する前記出力電流を、ｑ軸電流値成分とすることを特徴とする誘導電動機の制御方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、誘導電動機の速度制御方法に関し、特に電動機取り付けの速度センサが不要で零速度域から高トルクが得られ、高精度な速度制御が可能な速度センサレスベクトル制御法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
誘導電動機のベクトル制御においては、電動機の回転速度とすべり周波数演算値の加算値に応じて変換器の出力周波数を制御する方法が一般的である。一方、速度センサレスベクトル制御においては、実回転速度の代わりに速度推定値を用いて出力周波数を制御する。ところが、速度推定値には誤差が含まれるため、実すべり周波数は適正基準値から変動するようになる。このとき、電動機磁束はトルクに応じて変動（減少）するようになり、この結果、電動機発生トルクはトルク電流に比例しなくなり、極度の場合は、トルク不足を来たす場合がある。
【０００３】
速度推定の誤差原因としては、速度推定演算に用いる電動機定数（１次および２次抵抗）の設定誤差、並びにこれを１次原因として２次的に発生する電動機磁束の変動が挙げられる。従来はこれらの変動を補償する十分な方法がなく、このため、特に零速度近傍においてトルク不足を生じる場合があった。なお、関係の文献としては、奥山、他「速度，電圧センサレスベクトル制御における制御定数設定誤差の影響とその補償」電学論Ｄ，１１０，４４７（平２－５）がある。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
本発明の目的は、電動機定数の変動等による速度推定誤差の影響を受けることなく、零速度域からトルク不足を生じない高精度，高効率な誘導電動機の制御法を提供することにある。
【０００５】
【課題を解決するための手段】
本発明は、速度指令値が所定値以下の場合、電力変換器の出力電流を通常運転時の無負荷電流値より大きな所定値に制御し、または、周波数指令値を速度推定値に代えて速度指令値に基づいて演算する。これにより、速度推定誤差による零速度近傍の低速域におけるトルク不足を防止できる。
【０００６】
【発明の実施の形態】
本発明の実施例について図を用いて説明する。
【０００７】
図１は、本発明の一実施例の速度センサレスベクトル制御装置の構成例を示す。１は誘導電動機、２は電圧指令値Ｖ1*に比例した出力電圧を出力する電力変換器、３は変換器出力電流ｉｕ，ｉｗを座標変換し、ｄ軸およびｑ軸電流Ｉd，Ｉqを演算する座標変換器、４はｑ軸電圧指令値Ｖｑ**およびＩｑに基づいて、速度推定値ωr^を演算する速度推定器、５は速度指令値ωr*と速度推定値ωr^の偏差に応じて、ｑ軸電流指令値Ｉq*を出力する速度

制御器で、Ｉｄ に応じてＩｑ*を制限する制限器を備えている。６はＩｑ*とＩｑ に応じてΔｑを出力するｑ軸電流制御器、７はすべり周波数演算器であり、７を構成する７１はＩｑ*に基づいてすべり周波数演算値ωｓ*を演算するすべり周波数演算器、８はωｒ^とωｒ*を回転速度の大小に応じて切り替えてωｒ^^ を出力する切り替え器で、ωｒ^と関数器８１の出力Ｇａ1を乗算する乗算器８２，ωｒ*と関数器８３の出力Ｇａ2を乗算する乗算器８４、および両乗算器の出力を加算する加算器８５により構成される。９は切り替え器８からの出力信号ωｒ^^とωｓ*を加算して信号ω1* を得る加算器、１０は加算器９からの出力周波数指令値ω1*を積分して位相基準値θを出力する位相発生器、１１はｄ軸電流指令器で、添加電流値ΔＩｄ と関数器１１１の出力Ｇａ3を乗算する乗算器１１２、および基準電流値Ｉｄ*と乗算器出力を加算して、ｄ軸電流指令値を演算する加算器１１３で構成される。１２はＩｄ** とＩｄ の偏差に応じた信号Δｄを出力するｄ軸電流制御器、１３はＩｄ**，Ｉｑ* 、およびω1*に基づいてｄ軸およびｑ軸電圧基準値Ｖｄ*，Ｖｑ*を演算する電圧演算器、１４はＶｄ*とΔｄの加算値Ｖｄ**を出力する加算器、１５はＶｑ*とΔｑの加算値Ｖｑ**を出力する加算器、１６はＶｄ**とＶｑ**を座標変換し、変換器出力電圧指令値Ｖ1*（３相）を出力する座標変換器である。

【０００８】

以上において、８，１１が本実施例に特徴的なところである。８，１１内の関数器の特性は次のようである。関数器８１の出力Ｇａ1はωｒ*が零近傍では０、大では１の値をとり、関数器８３の出力Ｇａ2はその逆の値をとる。すなわち、Ｇａ1，Ｇａ2は互いに相補の（数１）の関係にある。

【０００９】

Ｇａ1＋Ｇａ2＝１ …（数１）

したがって、切り替え器８の出力ωｒ^^は(数２）で与えられる。これより、 ωｒ^^は零速域ではωｒ*に、中高速域ではωｒ^に一致する。Ｇａ1，Ｇａ2 の漸増／漸減領域は切り替えを円滑に行うためのもので、この領域ではωｒ^^としてωｒ*とωｒ^の中間値が出力される。

【００１０】

ωｒ^^＝ωｒ^・Ｇａ1＋ωｒ*・Ｇａ2 …（数２）

また、関数器１１１の出力Ｇａ3は、ωｒ*が零近傍では１、大では０の値をとる。これにより、Ｉｄ**およびＩｄ は零速度域において基準値Ｉｄ*からΔＩｄだけ強められる。Ｇａ3の漸増／漸減領域は切り替えを円滑に行うためのもので、この領域ではＩｄ**としてＩｄ*＋ΔＩｄ の中間値が出力される。

【００１１】

次にシステム全体の動作について述べる。構成要素の１～７，９，１０，１２～１６については、従来の速度センサレスベクトル制御システムと同様であるが、先ず概要について述べる。

【００１２】

速度センサレスベクトル制御においては、変換器出力電圧および出力電流に基づいて回転速度を推定し、これを速度制御器５にフィードバックして速度制御を行うと共に、速度推定値ωｒ^とすべり周波数演算値ωｓ*の加算値に従い変換器の出力周波数を制御する。周知の速度センサ付きベクトル制御との違いは、電動機取り付けの速度センサからの速度検出値を用いる代わりに速度推定値を用いる点にあるが、基本動作は同様である。

【００１３】

ｄ軸電流指令Ｉｄ**並びに速度制御器５からのｑ軸電流指令値Ｉｑ* に従い電動機電流Ｉｄ，Ｉｑ を制御するには、このために必要な電動機電圧を変換器より供給する必要がある。そこで、電圧演算器１３において、電流指令値Ｉｄ**，Ｉｑ*および出力周波数指令値ω1*に基づいてｄ軸およびｑ軸電圧基準値Ｖｄ*，Ｖｑ*を演算し、これを用いて変換器出力電圧を制御する。しかし、これだけでは制御誤差により電流Ｉｄ，Ｉｑ が各指令値に一致しないため、ｄ軸およびｑ軸電流制御器１２，６からのΔｄ，Δｑにより電圧Ｖｄ*，Ｖｑ*を修正し、Ｉｄ，Ｉｑ を指令値に一致するように制御する。このようにしてすべり周波数制御

型ベクトル制御の動作が行われ、電動機トルクはＩq*に比例して制御される。

【００１４】

次に、各構成要素の詳細な動作について述べる。

【００１５】

速度推定器４において（数３）に従い速度推定値ωr^を演算する。

【００１６】

ωr^＝{１／(１＋Ｔ0s)}{Ｌ2*／(M*・φ2d*}{Ｖq** －ω1*・Ｌσ*・Ｉd**－(Ｒσ*＋Ｌσ*・ｓ)Ｉq}　　…（数３）

ここに、Ｔ0　　：オブザーバ時定数

Ｌ2*, Ｍ*：２次および励磁インダクタンス（基準値）

φ2d*　：２次ｄ軸磁束（基準値）

Ｒσ*　：１次および２次抵抗の和（基準値）

Ｌσ*　：１次および２次漏れインダクタンスの和（基準値）

ω1*　：変換器出力周波数（指令値）

図２に、速度推定器４の（数３）に基づく演算内容を示す。４１は電動機モデルであり、電動機ｑ軸電圧Ｖq（＝Ｖq**）と誘導起電力Ｅq および電流Ｉq の関係を示す。推定原理は、Ｅq を逆モデル４２により推定し、基準磁束量で割算することにより速度推定値ωr^を演算するものである。

【００１７】

ωr^は速度制御器５へのフィードバック信号に用いると共に、ω1*の演算に用いられる。この演算式を（数４）に示す。従来制御ではωr^がそのまま出力周波数指令値ω1*に使用され、変換器出力周波数が制御される。

【００１８】

ω1*＝ωr^＋ωs*　　…（数４）

一方、速度制御器５において、速度偏差ωr*－ωr^に応じて、ｑ軸電流指令値Ｉq*が演算される。電動機トルクは基本的にはＩq*に比例するため、ωr^がωr*に一致するように速度制御が行われる。電動機トルクがＩq*に正しく比例するためには、電動機電流Ｉq がＩq*に一致し、また電動機磁束が基準値に保たれることが条件である。これには電動機電流Ｉd，Ｉq を各指令値Ｉd**，Ｉq* に一致するように制御することが必要であり、このために、ｄ軸およびｑ軸電流制御器１２，６が設けてある。各運転条件における電動機電圧は（数５）で示されるが、これに相当の電圧Ｖd*，Ｖq*はＩd**，Ｉq*，ω1* および電動機定数に基づいて（数６）を用い、予め演算により求めることができる。電圧演算器１３においてこの演算を行う。

【００１９】

Ｖd＝ｒ1・Ｉd－ω１・Ｌσ・Ｉq

Ｖq＝ｒ1・Ｉq＋ω１・Ｌσ・Ｉd＋ω1(Ｍ／Ｌ2)φ2d　　…（数５）

ここに、ｒ1　　：１次抵抗（実際値）

Ｌσ　　：１次および２次漏れインダクタンスの和（実際値）

Ｌ2, Ｍ　：２次および励磁インダクタンス（実際値）

φ2d　　：２次ｄ軸磁束（実際値）

Ｖd*＝ｒ1*・Ｉd**－ω1*・Ｌσ*・Ｉq*

Ｖq*＝ｒ1*・Ｉq*＋ω1*・Ｌσ*・Ｉd**＋ω1*(Ｍ*／Ｌ2*) φ2d*…（数６）

ここに、＊および＊＊は、基準値／指令値を示す。

【００２０】

変換器出力電圧（電動機電圧）は、基本的にはこのＶd*およびＶq*に従い制御される。しかし、制御誤差があると、これだけでは実電流Ｉd，Ｉq が各指令値に一致しないため、ｄ軸およびｑ軸電流制御器１２，６により電流偏差に応じた信号Δｄ，Δｑを求め、これにより出力電圧を修正し、Ｉd，Ｉq を指令値に一致するように制御している。以上が従来からのものと共通な動作である。

【００２１】

図３に、従来の零速度近傍における電動機トルクτmと回転速度ωrの関係を示す。図中に示す斜線部は、トルク低下が発生し易い不安定領域である。

【００２２】

この斜線部は、力行域（τｍ とωｒ が同符号）では、ωｒ ＝０．５～１Ｈｚ以下、回生域（τｍ とωｒ が異符号）では、数Ｈｚ以下の範囲であり、速度推定器４で求めたωr^に含まれる推定誤差が増大すると、斜線部が拡大し、低速での負荷運転が不能に陥る場合がある。

【００２３】

推定誤差の原因は、１次，２次抵抗の温度変化並びに電動機の鉄心飽和による漏れインダクタンスの変動などがあり、特に零速度域では種々の原因からトルク低下が生じ易い。

【００２４】

本実施例は、零速度域のトルク低下の防止を目的に、零速度域では前述と異なる原理により速度制御を行う。以下、この内容について述べる。

【００２５】

トルク低下は前述のように速度推定誤差が原因であるが、更にこれを分析すると次の２つに大別できる。

【００２６】

（１）速度推定値を基に周波数を制御することから、推定誤差により実すべり周波数が適正値から変動する。

【００２７】

（２）速度推定値を用いて速度制御するため、推定誤差によりトルク電流を適　正値に制御できない。

【００２８】

そこで本実施例においては、それぞれを次のようにして解決する。

【００２９】

「１」零速度域では、推定値ωr^に代えて速度指令値ωr*を用い出力周波数指令値ω1*を演算する。

【００３０】

すなわち、零速度域では、切り替え器８により通常時のωr^に代えてωr*を選択し出力させ、変換器の出力周波数を速度指令値ωr*に応じて制御する。

【００３１】

「２」零速度域では、電力変換器の出力電流を通常時の無負荷電流値より大きな所定値に制御する。

【００３２】

例えば、ｑ軸電流Ｉｑ を零に固定し、代わりにｄ軸電流Ｉｄ を通常時の無負荷電流値より大きな所定値に制御する。この場合、ｄ軸電流指令器１１において、通常時の基準値Ｉｄ*にΔＩｄ を加算し、Ｉｄ を強め制御する。

【００３３】

「１」「２」を適用した場合の、電動機発生トルクτｍ と電流I_1 の関係を　（数７）に示す。

【００３４】

$$\tau m = K(\omega s \cdot T2) / (1 + (\omega s \cdot T2)^2) I_1^2 \quad \cdots（数７）$$

ここに、Ｋ　：比例定数

ωｓ ：すべり周波数

Ｔ2：２次時定数

I_1 ：電動機一次電流の大きさ

I_1 が一定の場合、電動機トルクτｍ は、ωｓ・Ｔ2＝±１において最大値をとるが、ωｓ＝０からこの間は、τｍ はすべり周波数ωｓ に応じて変化する。この場合、ωｓ は、実速度ωｒ が変換器出力周波数ω1(＝ωr*）に対して変動することにより受動的に発生する。すなわち、負荷トルクの増／減に応じてωｓ が増／減することにより、τｍ は負荷トルク

に追従して発生する。この結果、電動機速度ωｒ はωr*の近傍（すべり分だけ変動）に保たれる様になり、速度指令値に応じて速度制御が行われる。

【００３５】

ここで、電動機の最大トルクは負荷最大トルク以上であることが必要なため、I_1 を負荷最大トルクに見合う値以上に予め制御する必要がある。このために

Ｉｄ あるいはＩｑ を所定値に制御する。

【００３６】

この方法としては、Ｉq*を速度偏差とは無関係に所定値に設定する方法もあるが、零速度域では負荷トルクの方向をωr^などから検知することが精度上難しいので、Ｉq*の極性の設定が行えない。このため、極性の設定が不要なＩd** を所定値に設定する方法を図１の実施例では適用している。このとき、前記「２」でも記述したように、Ｉq* を零に、Ｉd**を、通常時の基準値Ｉd*にΔＩｄ を加算した値とし、Ｉｄ（＝I_1 相当）を最大負荷トルクに見合う値に制御する。

【００３７】

零速度域においては、以上のように変換器の出力周波数と出力電流を制御するため、前記（１)(２）の問題が解決され、トルク不足も解消する。

【００３８】

図４に、本実施例における電動機トルクと回転速度の関係を示す。図３に示す不安定領域（斜線部）は無くなり、回転速度は、すべり周波数分だけ変動するが、０Ｈｚを挟む運転においても連続した高トルクを実現することができる。

【００３９】

出力周波数が数Ｈｚ以上の範囲では、図１中の切り替え器８の出力はωr*からωr^に切り替えられ、従来方式と同様に速度推定値ωr^を用いて周波数制御を行う。また、切り替えを円滑にするため、切り替えに伴うω1*の急激な変化を抑制するように、ωr*とωr^を漸次切り替える。関数器８１，８３の出力Ga1, Ga2の漸増／漸減特性はこのために設けてある。またｄ軸電流指令器１１においても、Ｉｄ の急変を抑えるため、Ga3の漸増／漸減特性を設けており、Ｉｄ を強めた状態（零速度域）では、電動機電流I_1 が定格値を超えないようにするため、

Ｉq*を制限する必要があること、また、この期間では、ωr^の精度低下により、Ｉq*は適正値から離れるため、Ｉq*を所定値または略零に制限することが必要である。本実施例では、（数８）に従いＩｄ に応じてＩq*の制限値Ｉｑ ＭＡＸを可変する方法を用いている。

【００４０】

$$Iq\ MAX = \sqrt{(I_1^{*2} - Id^2)} \qquad \cdots（数８）$$

ここに、I_1*：電動機電流設定値

図５は、本発明の他の実施例を示す。本実施例は、速度推定値ωr^をｑ軸電流制御器６ａの出力より得る方式の速度センサレスベクトル制御装置への適用例である。図において、１～３，５，７～１４，１６は図１のものと同一物である。６ａはＩq*とＩｑ の偏差に応じてωr^を出力するｑ軸電流制御器、切り替え器８は前記実施例と同様にωr*の大小に応じてωr*とωr^を選択し出力する。従来制御の状態では、切り替え器８よりωr^が出力され、また、電流制御器６ａの出力がωr^相当となることを考慮すれば、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られることは明らかである。

【００４１】

図６は、本発明の他の実施例を示す。信号ω1*'をｑ軸電流制御器６ｂの出力より得る方式の速度センサレスベクトル制御装置への適用例である。図において、１～３，５，７～１４，１６は図１のものと同一物である。６ｂはＩq*とＩｑ の偏差に応じてω1*を出力するｑ軸電流制御、９ａはω1*'からωs*を減算し、速度推定値ωr^を求め速度制御器５にフィードバックする減算器であり、切り替え器８は前記実施例と同様にωr*の大小に応じてωr*とωr^を選択し出力する。従来制御の状態では、切り替え器８よりωr^が出力され、また、電流制御器６ｂの出力がω1*相当となることを考慮すれば、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られることは明らかである。

【００４２】
前記実施例では、零速度域においてＩｄ を所定値に強め制御しているが、零速度域でのトルクが正負両方向あり、一定していない場合は、Ｉｑ を零に制御し、Ｉｄ を強めるこの方法が適している。一方、トルクが片方向のみの場合は、Ｉｑ*の極性はトルク方向に応じて設定すればよいので、前記実施例のようにＩｄ を所定値に設定する代わりに、零速度域においてＩｑ*を所定値（負荷最大トルクに見合う値）に設定する方法も可能である。
【００４３】
図７に、この実施例の構成を示す。図において、構成要素の１～１０，１２～１６は図１のものと同一物であり、動作も同じである。１７は回転速度の大小に応じて速度制御器５の出力Ｉｑ*と設定電流値Ｉｑ0を加算して出力するｑ軸電流指令器で、漸増／漸減特性をもつ関数発生器１７１の出力Ｇａ4（０≦Ｇａ4≦１）とＩｑ0を乗算する乗算器１７２，乗算器１７２の出力とＩｑ*とを加算し、Ｉｑ** を出力する加算器１７３から構成される。
【００４４】
ｑ軸電流指令器１７の動作は、以下である。Ｇａ4は、零速度域においては「１」それ以外では、「０≦Ｇａ4≦１」の漸増／漸減特性をもっているため、零速度域では、ｑ軸電流指令器１７からはＩｑ0が出力される。従って、零速度近傍では、Ｉｑ0に従いＩｑ が制御され、十分なトルクが得られる（Ｉｑ0は負荷最大トルクに見合う値に設定される）。なお、零速度域以外では、これとは逆にＩｑ*に従い
Ｉｑ が制御され、動作は従来のものと同一となる。
【００４５】
以上のようにして、零速度域では、ωｒ*に応じて変換器出力周波数を、また、所定値Ｉｑ0に従い電動機電流を制御することから、このものにおいても前記実施例と同様の効果が得られる。
【００４６】
前記実施例までは、速度制御器５を備え、その出力信号Ｉｑ*あるいはＩｑ**に応じてトルクを制御する速度制御方式への適用例であったが、速度制御器を備えない方式にも本発明を適用し同様の効果が得られる。
【００４７】
図８は、この実施例の構成を示す。図において、構成要素の１～３，１０～１４，１６は図１のものと同一物である。７ａ１はｑ軸電流値Ｉｑ に基づいてすべり周波数演算値ωｓ*を求めるすべり演算器、９ｂは速度指令値ωｒ*と信号ωｓ*を加算して信号ω1*を得る加算器である。
【００４８】
次にシステム全体の動作について述べる。零速度域以外の状態ではωｒ*＋ωｓ*の周波数指令値ω1*が、また、ｄ軸電流指令器１１からは基準値Ｉｄ*が出力される。このとき全体の動作は従来の速度センサレスベクトル制御システムと同一となる。すなわち、略ωｒ*に応じて変換器出力周波数を制御すると共に、電圧演算器１３においてＩｄ*，Ｉｑ およびω1*に基づいて所要の電動機電圧を演算し、これにより変換器出力電圧を制御する。
【００４９】
以上のようにして、変換器の出力電圧と周波数が制御されることから、Ｖ／ｆ制御に類似の動作が行われる。しかし、電圧演算器１３により、電動機の内部電圧降下を補償して誘導起電力（電動機磁束）が所定値となるように制御しているため、低速度域まで十分なトルクが得られるものである。
【００５０】
このものにおいては、ｄ軸電流指令器１１は、Ｉｄ*にΔＩｄ を加算した指令値Ｉｄ** を出力し、Ｉｄ を強め制御する。これにより、前記実施例と同様に、速度指令値ωｒ*に応じて周波数指令値ω1*を制御し、ｄ軸電流を通常時より大きめの所定値に制御することが行われるため、零速度域のトルク不足は解消される。
【００５１】
前記実施例までは、零速度域において、Ｉｑ*を零に制御するため、ωｓ*が零となることか

ら、変換器の出力周波数ω1は速度指令値ωr* に一致する。このため、負荷トルクが作用すると、電動機の回転速度ωｒ はすべり周波数ωｓ 分だけωr*から変動する。この補償は、図１の実施例における電圧指令値Ｖd**, Ｖq**または、電流制御器出力Δｄ, Δｑなど、電力変換器の出力電圧値を用いて、零速度域のすべり周波数を推定し、このすべり推定値ωs^を周波数指令値に加算することにより行うことができる。

【００５２】

更に、この出力電圧値を用いて演算した零速度域のすべり周波数推定値ωs^と、電流指令値Ｉq*を用いて演算したにすべり周波数演算値ωs*の加算値を、新たな、すべり周波数演算値ωs** とし周波数指令値を修正することにより、零速度から全速度範囲において、トルクに応じた回転速度の変動を補償できる。

【００５３】

図９は、この実施例の構成を示す。図１の速度センサレスベクトル制御装置に本発明を適用した例である。

【００５４】

図において、１～６, ８～１６は図１のものと同一物である。７ｂはすべり周波数演算値ωs*とすべり周波数推定値ωs^の加算値、ωs** を演算するすべり周波数演算器、７ｂ１は電流指令値Ｉq*を用いて、前記ωs*を求めるすべり演算器、７ｂ２は電流制御器出力Δｄ, Δｑと、出力周波数指令値ω1*を用いて、前記ωs^を求めるすべり推定器、７ｂ３はωs*とωs^を加算する加算器である。

【００５５】

ここで、加算器９の出力ω1*は、零速度域では、ωr*＋ωs^に、それ以外では（ωr^・Ga1＋ωr*・Ga2＋ωs^＋ωs*）に一致する。

【００５６】

次に、すべり推定器７ｂ２について説明する。まず、７ｂ２の構成を、図１０を用いて説明する。

【００５７】

７ｂ２に入力されたω1*は、係数（M*／L2*）を乗じた後、ｄ軸磁束基準値φ2d*が乗算され、Δｑと共に、加算器７ｂ２２に入力される。更に、Δｄと加算器７ｂ２２の出力信号は、除算器７ｂ２３に入力される。７ｂ２３の出力信号に電動機の二次時定数の逆数（１／Ｔ２*）を乗算し、すべり周波数推定値ωs^を出力する。

【００５８】

次に、このすべり推定器７ｂ２のもたらす効果について説明する。

【００５９】

図９に示す電圧指令値Ｖd**, Ｖq**、電流制御器出力Δｄ, Δｑおよび、電動機電圧Ｖd, Ｖqは、それぞれ（数９), (数１０）で示される。

【００６０】

Ｖd**＝ｒ1*・Ｉd**－ω1*・Ｌσ*・Ｉq*＋Δｄ

Ｖq**＝ｒ1*・Ｉq*＋ω1*・Ｌσ*・Ｉd**＋ω1*(M*／Ｌ2*)φ2d*＋Δｑ…（数９）

Ｖd＝ｒ1・Ｉd－ω1・Ｌσ・Ｉq－ω1(M／Ｌ2)φ2q

Ｖq＝ｒ1・Ｉq＋ω1・Ｌσ・Ｉd＋ω1(M／Ｌ2)φ2d …（数１０）

ここで、（９式）＝（１０式）の関係より、電流制御器出力Δｄ, Δｑは、 （数１１）で示される。

【００６１】

$$\Delta d=(r1-r1*)Id-\omega 1(L\sigma-L\sigma*)Iq-\omega 1(M/L2)\phi 2q$$

$$\Delta q=(r1-r1*)Iq+\omega 1(L\sigma-L\sigma*)Id+\omega 1\{(M/L2)\phi 2d-(M*/L2*)\phi 2d*\} \quad \cdots (数11)$$

但し、ω1*＝ω1, Ｉd*＝Ｉd , Ｉq*＝Ｉq

先ず、零速度域では、ｑ軸電流値Ｉq を０に制御していることから、(数１１)における、

Ｉｑ＝０、また、Ｌσ*　Ｌσ であれば、同式の第２項は、第３項に比べて、小さく無視できる。

【００６２】

すると、（数１２）のΔｄ，Δｑは（数１２）で示される。

【００６３】

Δｄ　(ｒ1－ｒ1*)Ｉｄ－ω1(Ｍ／Ｌ2)φ2q

Δｑ　ω1{(Ｍ／Ｌ2)φ2d－(Ｍ*／Ｌ2*)φ2d*}　　…（数１２）

よって、Δｄは、ｑ軸磁束φ2qに関係した誘導起電力

Ｅｄ{＝－ω1(Ｍ／Ｌ2)φ2q}

にほぼ一致する。

【００６４】

一方、Δｑに誘導起電力基準値{ω1*(Ｍ*／Ｌ2*)φ2d*}を加算すると、（数１３）で示すように、ｄ軸磁束φ2dに関係した誘導起電力

Ｅｑ{＝ω1(Ｍ／Ｌ2)φ2d}

が得られる。

【００６５】

Δｑ＋ω1*(Ｍ*／Ｌ2*)φ2d*＝ω1(Ｍ／Ｌ2)φ2d　　…（数１３）

ところで、このような方法を用いて、Ｉｄ：所定値，Ｉｑ＝０に制御した場合は、磁束φ2d，φ2qと電動機のすべり周波数ωｓの関係は（数１４）で示される。

【００６６】

$$\omega s=(1/T2)(-\phi 2q/\phi 2d)$$
$$=(1/T2)(ed/eq) \quad \cdots (数14)$$

そこで、（数１５）で示す演算を行うことにより、すべり周波数推定値ωｓ^を求めることができる。

【００６７】

ωｓ^＝(１／Ｔ2*){Δｄ／(Δｑ＋ω1*(Ｍ*／Ｌ2*)φ2d*)}　　…（数１５）

一方、零速度域以上では速度制御器５により電流指令値Ｉｑ*が発生する。この時は、（数１６）のようにＩｑ*を用いて、すべり周波数演算値ωｓ*を演算する。

ωｓ*＝Ｉｑ*・Ｍ*／(Ｔ2*・φ2d*)　　…（数１６）

ここで、（数１５）で求めたωｓ^と（数１６）で求めたωｓ*の加算値ωｓ**を 、切り替え器８の信号ωｒ^^に加算して、（数１７）に示すように出力周波数指令値ω1*を演算する。

【００６８】

ω1*＝ωｒ^^＋ωｓ*＋ωｓ^　　…（数１７）

図１１に、本発明によるすべり周波数補償を用いた場合の電動機トルクと回転速度の関係を示す。本すべり周波数補償を用いると、ωｒ　０からトルクに応じた回転速度の変動を補償でき、高精度な速度制御を行うことができる。

【００６９】

また、本実施例（図９）では、Δｄ，Δｑを用いて、ωｓ^を演算したが、電圧指令値（Ｖｄ**，Ｖｑ**）から誘導起電力値（ｅｄ^，ｅｑ^）を演算して、ωｓ^を求めることもできる。

【００７０】

Ｖｄ**から、抵抗電圧降下演算値（ｒ1・Ｉｄ）を、Ｖｑ**から、漏れインダクタンス電圧降下演算値（ω1・Ｌσ・Ｉｄ）を差し引くと、（数１８）に示すように、ｅｄ^，ｅｑ^を求めることができる。

【００７１】

なお、零速度域ではＩｑ＝０である。

【００７２】

$$ed' = Vq^{**} - r1^{*} \cdot Id^{*}$$
$$= -\omega 1^{*} (M^{*}/L2^{*}) \phi 2q'$$
$$eq' = Vd^{**} - \omega 1^{*} \cdot L\sigma^{*} \cdot Id^{**}$$
$$= \omega 1^{*}(M^{*}/L2^{*})\phi 2d' \quad \cdots (数18)$$

ωs は、（数１４）に示される関係にあるので、ωs^は、これら、ｅd^，ｅq^あるいは、φ2d^，φ2q^を用いて、（数１９）に従い演算することができる。

【００７３】

$$\omega s' = (1/T2^{*})(-\phi 2q'/\phi 2d')$$
$$= (1/T2^{*})(ed'/eq') \quad \cdots (数19)$$

このωs^とωs*を用いて、ω1*を（数１７）に従い制御すれば、（数１５）を用いた場合と同様に動作し、同様の効果がある。

【００７４】

更に、前記実施例（図９）では、図１の制御装置に、本発明を適用した例であるが、図５，図６，図８の制御装置に適用する場合は、ωs^を、電圧指令基準値Ｖq*と電流制御器出力Δｄより演算する。

【００７５】

すなわち、Ｖq*＝Ｖqの関係から、(数６の２行目＝数１０の２行目）であり、前述したように、零速度域では、Ｉｑ ＝０、また、漏れインダクタンス電圧降下の影響が小さい(例え、Ｌσ*≠Ｌσであっても無視できる）ことから、Ｖq*は、（数２０）で示される。

【００７６】

$$Vq^{*} \quad \omega 1(M/L2)\phi 2d \quad \cdots (数20)$$

また、Δｄは（数１２）であり、Δｄと Ｖq*を用いて、（数２１）に従い、ωs^を演算することができる。

【００７７】

$$\omega s^{\wedge} = (1/T2^{*})(\Delta d/Vq^{*}) \quad \cdots (数21)$$

このωs^とωs*を用いて、ω1*を（数１７）に従い制御すれば、（数１５）を用いた、前記実施例（図９）と同様に動作し、同様の効果がある。

【００７８】

これまでは、図９のすべり周波数演算器７ｂについて説明してきたが、７ｂの代わりに、図１２の実施例に示す７ｃを用いても、同様の効果がある。

【００７９】

７ｃは、ωs*とωs^の加算値ωs**を演算する、すべり周波数演算器であり、構成を説明すると、７ｃ１はＩq*とφ2d^を用いて、前記ωs*を求めるすべり演算器、７ｃ２はφ2d^とφ2q^を用いて、ωs^を求めるすべり推定器、７ｃ３はωs*とωs^を加算する加算器、７ｃ４はΔｑとω1*を用いてφ2d^を演算するｄ軸磁束推定器、７ｃ５はΔｄとω1*を用いてφ2q^を演算するｑ軸磁束推定器である。

【００８０】

最初に、７ｃの構成要素のｄ軸磁束推定器７ｃ４について、図１３を用いて説明する。

【００８１】

７ｃ４に入力されたω1*は、係数(M*／Ｌ2*）を乗じた後、ｄ軸磁束基準値φ2d* が乗算され、Δｑと共に加算器７ｃ４２に入力される。更に、加算器7c42の出力信号と、ω1*(M*／Ｌ2*)が除算器７ｃ４３に入力され、磁束推定値φ2d^を出力する。

【００８２】

次に、ｑ軸磁束推定器７ｃ５について、図１４を用いて説明する。

【００８３】

７ｃ５に入力されたω1*は、係数（M*／Ｌ2*）を乗じた後、Δｄと共に、除算器７ｃ５２に入力され、磁束推定値φ2q^を出力する。

【００８４】
更に、これら演算したφ2d^とφ2q^を用いて、ωs^を演算する、すべり推定器７ｃ２の構成を、図１５に示す。
【００８５】
７ｃ２に入力されたφ2d^とφ2q^は除算器７ｃ２１に入力される。
【００８６】
除算器７ｃ２１の出力信号に電動機二次時定数の逆数（１／Ｔ2*）を乗算して、すべり周波数推定値ωs^を出力する。このωs^と前述のωs*を用いて周波数指令値を修正する。
【００８７】
この方法では、出力電圧値から、磁束推定値φ2d^，φ2q^を（数２２）より求め、その値を用いて、ωs^とωs*を、(数２３）に示すように演算し、ω1*を(数１７）に従い制御する。
【００８８】
φ2d^＝［{Δｑ＋ω1*(Ｍ＊／Ｌ2*)φ2d*}／(ω1*・Ｍ＊／Ｌ2*)］
φ2q^＝{Δｄ／(ω1*・Ｍ＊／Ｌ2*)}　　…（数２２）
ωs^＝(１／Ｔ2*)(－φ2q^／φ2d^)
ωs*＝(Ｉq*・Ｍ*)／(Ｔ2*・φ2d^)　　…（数２３）
この方法でも、（数１４）を用いた、前記実施例（図９）と同様に動作し、同様の効果が得られる。
【００８９】
更に、図９のすべり周波数演算器７ｂの代わりに、図１６の実施例に示す７ｄを用いても同様の効果がある。
【００９０】
７ｄはωs*とωs^の加算値ωs** を演算するすべり周波数演算器であり、構成を説明すると、
７ｄ１はＩq*とφ2d^を用いて、前記ωs*を求めるすべり演算器、７ｄ２は　φ2d^とφ2q^を用いて、前記ωs^を求めるすべり推定器、７ｄ３はωs*とωs^を加算する加算器、７ｄ４はＶｄ**，Ｖq**とω1*を用いて、φ2d^，φ2q^ を演算する磁束推定器である。
【００９１】
次に、７ｄの構成要素である磁束推定器７ｄ４の構成を、図１７に示す。
【００９２】
７ｄ４の減算器７ｄ４１には、Ｖd**と、抵抗電圧演算値（ｒ1*・Ｉd**）および漏れインダクタンス電圧演算値(－ω1*・Ｌσ*・Ｉq*）が入力される。また、ω1*に、係数（Ｍ*／Ｌ2*）を乗じた後、φ2q^を乗算し、ｄ軸の誘導起電力値ｅd^を求める。ｅd^は、減算器７ｄ４１の出力信号と共に減算器７ｄ４３に入力される。減算器７ｄ４３の出力信号は積分器７ｄ４４に入力され、磁束推定値φ2d^を出力する。
【００９３】
一方、Ｖq** と、抵抗電圧演算値（ｒ1*・Ｉq*）と漏れインダクタンス電圧演算値（ω1*・Ｌσ*・Ｉｄ**）が減算器７ｄ４５に入力される。
【００９４】
また、ω1*に、係数（Ｍ*／Ｌ2*）を乗じた後、φ2d^を乗算し、ｑ軸の誘導起電力値ｅq^を求める。ｅq^は、減算器７ｄ４５の出力信号と共に加算器７ｄ４６に入力される。加算器７ｄ４６の出力信号は積分器７ｄ４７に入力され磁束推定値φ2q^を出力する。
【００９５】
この方法では、出力電圧値より、φ2d^，φ2q^を（数２４）より求めて、ωs^を演算する。
【００９６】
φ2d^＝∫［Ｖd**－ｒ1・Ｉd**＋ω1*・Ｌσ*・Ｉq*
－ω1*(Ｍ*／Ｌ2*)φ2q^］ｄｔ
φ2q^＝∫［Ｖq**－ｒ1・Ｉq*＋ω1*・Ｌσ*・Ｉd*

＋ω1*（M*／L2*）φ2d^］ｄｔ …（数２４）
すなわち、電圧指令値(Ｖd**，Ｖd**）を利用した磁束推定器を用いて、φ2d^，φ2q^を求め、（数２３）に従い、図１６の７ｄ１，７ｄ２において、ωs* とωs^を演算する。７ｄ３では、ωs*とωs^を加算し、この値を用いて、周波数指令値を修正する。
【００９７】
この方法でも、図９と同様に動作し、同様の効果が得られる。
【００９８】
なお、７ｄ１，７ｄ２は、７ｃ１，７ｃ２と演算内容は同一である。
【００９９】
前記実施例までは、ｄ軸電流値Ｉｄを負荷トルクに関係なく一定に制御する方式であったが、軽負荷時には運転効率が低下する。そこで、トルク推定値τm^により電流指令値Ｉd** を修正することにより、軽負荷時の運転効率を高くすることができる。
【０１００】
図１８は、この実施例の構成を示す。本実施例は、図１の制御装置に、本発明のｄ軸電流の修正補償を適用した例である。
【０１０１】
図において、１～１０，１２～１６は図１のものと同一物である。１８は電圧指令値Ｖd**，Ｖq**と、電流検出値Ｉｄ，Ｉｑおよび周波数指令値ω1*により誘導電動機の出力トルクを演算するトルク推定器である。
【０１０２】
１８の出力信号τm^はｄ軸電流指令器１１ａ内の関数発生器１１ａ１に入力される。１１ａ１では、１８の出力信号τm^により、修正ゲインＧa5（０≦Ｇa5≦１）を演算する。
【０１０３】
乗算器１１ａ２では、電流指令値の増加分ΔＩd*と、前述のＧa5が乗算される。その乗算値とＩd*が加算されて、Ｉd**が演算され、１１ａより出力される。 次に、トルク推定器１８について説明する。１８では、Ｖd**，Ｖq**と、Ｉd,Ｉqおよびω1*に基づいて、（数２５）に示す演算を行う。
【０１０４】
τm^＝(Ｖd**・Ｉd＋Ｖq**・Ｉq)／ω1* …（数２５）
このτm^を用いて、（数２６）に従い、負荷トルクに見合ったＩd**を演算する。
【０１０５】
Ｉd**＝Ｉd*＋Ｆ(τm^)・ΔＩd* …（数２６）
但し、Ｆ(τm^)は、
｜τm^｜＝０のとき、 Ｇa5＝０
｜τm^｜≠０のとき、０＜ Ｇa5≦１
となるような関数。
【０１０６】
（数２６）で求めた、Ｉd**を用いれば、
無負荷（｜τm^｜＝０）では、Ｉd**＝Ｉd*
負荷時（｜τm^｜＞０）では、Ｉd**≧Ｉd*
となり、負荷トルク（トルク推定値τm^）に応じて、Ｉd** が修正されるため、軽負荷時の運転効率を高くすることができる。
【０１０７】
前記実施例は、図１の制御装置への適用例であるが、図５，図６，図８の制御装置に適用する場合は、電圧指令値Ｖq**に代わりに電圧指令基準値Ｖq* を用いて、τm^を（数２７）で演算する。
【０１０８】
τm^＝(Ｖd**・Ｉd＋Ｖq*・Ｉq)／ω1* …（数２７）
このτm^を用いて、負荷トルクに応じて変化するＩd**を演算することより、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られる。

【０１０９】
また、本実施例では、Ｖd**，Ｖq**と、Ｉd，Ｉqを用いてトルク推定値を演算したが、電圧指令値の代わりに、前述した磁束推定値（φ2d^，φ2q^）を用いて、（数２８）に示す演算を行うことにより、τm^を求めることもできる。
【０１１０】
τm^＝Ｋ１(φ2d^・Ｉq－φ2q^・Ｉd)　　…（数２８）
ここに、Ｋ１：トルク係数
このτm^を用いて、負荷トルクに応じて変化するＩd** を演算することより、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られる。
【０１１１】
また、前記実施例では、τm^に応じて、Ｉd を修正することにより軽負荷時の運転効率を向上させたが、τm^の代わりにすべり周波数演算値ωs** を用いても同様の効果が得られる。
【０１１２】
図１９は、この実施例を示す。本実施例は、図１の制御装置に、ωs** によるＩd**の修正制御を適用した例である。
【０１１３】
図において、１～１０，１２～１６は図７のものと同一物である。１１ｂはωs**を用いて、修正ゲインＧａ６を演算するｄ軸電流指令器である。
【０１１４】
ωs**は、１１ｂ内の関数発生器１１ｂ１に入力される。１１ｂ１では、ωs**に基づいて、修正ゲインＧa6（０≦Ｇa6≦１）を演算する。
【０１１５】
乗算器１１ｂ２では、電流指令値の増加分ΔＩd*と、前述のＧａ６が乗算される。その乗算値とＩd*が加算されて、Ｉd** が演算され、１１ｂより出力される。
【０１１６】
次に、本発明の特徴であるｄ軸電流指令器１１ｂのもたらす効果について説明する。すべり周波数演算値ωs**と、トルクには比例関係がある。
【０１１７】
よって、ωs**を用いて（数２９）に関係したＩdを制御すれば、前記実施例と同等の動作を行うことができる。
【０１１８】
Ｉd**＝Ｉd*＋Ｆ(ωs**)・ΔＩd*　　…（数２９）
但し、Ｆ(ωs**)は、
｜ωs**｜＝０のとき、　　Ｇa6＝０
｜ωs**｜＞０のとき、０＜Ｇa6≦１
となるような関数。
【０１１９】
（数２９）で求めた、Ｉd**を用いれば、
無負荷（｜ωs**｜＝０）では、Ｉd**＝Ｉd*
負荷時（｜ωs**｜＞０）では、Ｉd**＞Ｉd*
となり、負荷トルク（ωs**）に応じてＩd**が修正されるため、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られることは明らかである。
【０１２０】
前記実施例は、図１の制御装置への適用例であるが、図５，図６，図８の制御装置に適用する場合は、（数２１）に従い、ΔｄとＶq*の比により、ωs^を演算し、このωs^とωs*の加算値ωs**に応じて、Ｉd**を修正すれば、前記実施例と同様に動作し、同様の効果が得られる。
【０１２１】
【発明の効果】

本発明によれば、零速度においてもトルク不足を生じない誘導電動機の速度制御方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施例を示す、誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図２】図１の装置における速度推定器の演算内容の説明図である。

【図３】従来方式による誘導電動機の発生トルクと回転速度の特性である。

【図４】本発明による誘導電動機の発生トルクと回転速度の特性である。

【図５】本発明の他の実施例を示す誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図６】本発明の他の実施例を示す誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図７】本発明の他の実施例を示す誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図８】本発明の他の実施例を示す誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図９】本発明の他の実施例を示す誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【図１０】図９の装置における、すべり推定器の演算内容の説明図である。

【図１１】本発明のすべり推定器とすべり周波数演算器を用いた場合の誘導電動機の発生トルクと回転速度の特性である。

【図１２】図９における、他のすべり周波数演算器の内容の説明図である。

【図１３】図１２の演算器における、ｄ軸磁束推定器の演算内容の説明図である。

【図１４】図１２の演算器における、ｑ軸磁束推定器の演算内容の説明図である。

【図１５】図１２の演算器における、すべり推定器の演算内容の説明図である。

【図１６】図９における、他のすべり周波数演算器の内容の説明図である。

【図１７】図１６の演算器における、磁束推定器の演算内容の説明図である。

【図１８】本発明の他の実施例を示す、誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

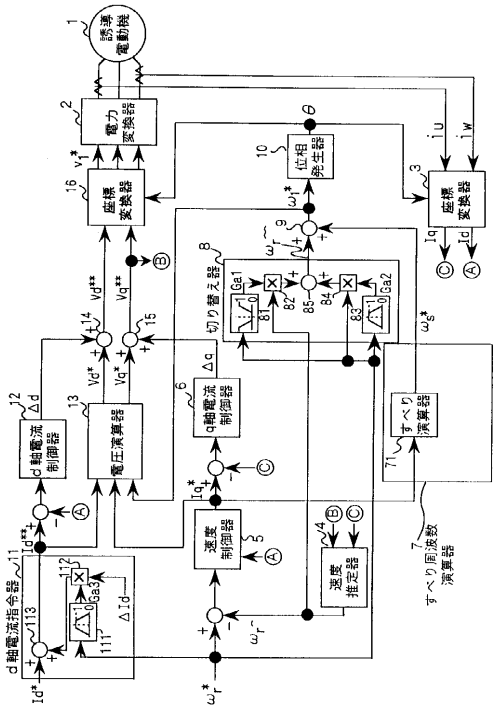
【図１９】本発明の他の実施例を示す、誘導電動機の速度制御装置の制御回路構成図である。

【符号の説明】

１…誘導電動機、２…電力変換器、３…座標変換器、４…速度推定器、５…速度制御器、６…ｑ軸電流制御器、７…すべり周波数演算器、８…切り替え器、９…加算器、１０…位相発生器、１１…ｄ軸電流指令器、１２…ｄ軸電流制御器、１３…電圧演算器、１６…座標変換器、１８…トルク推定器。

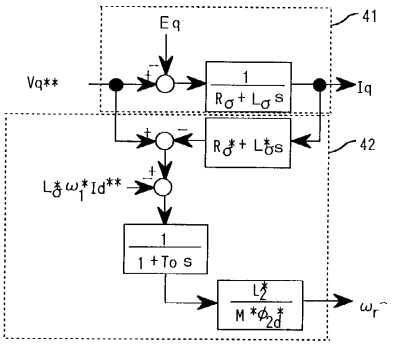
【図１】

図 1



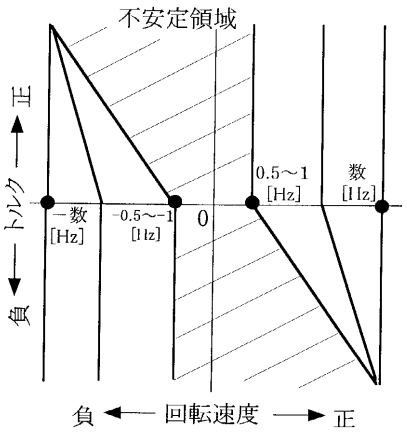
【図２】

図 2



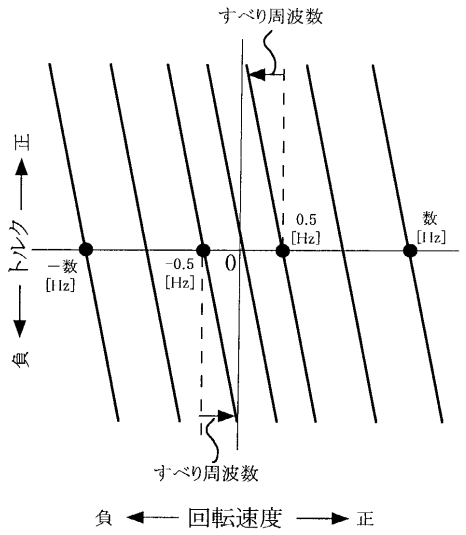
【図３】

図 3



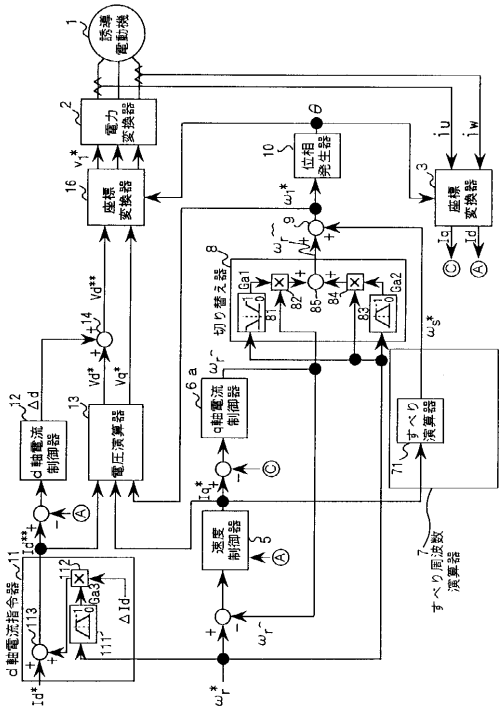
【図４】

図 4



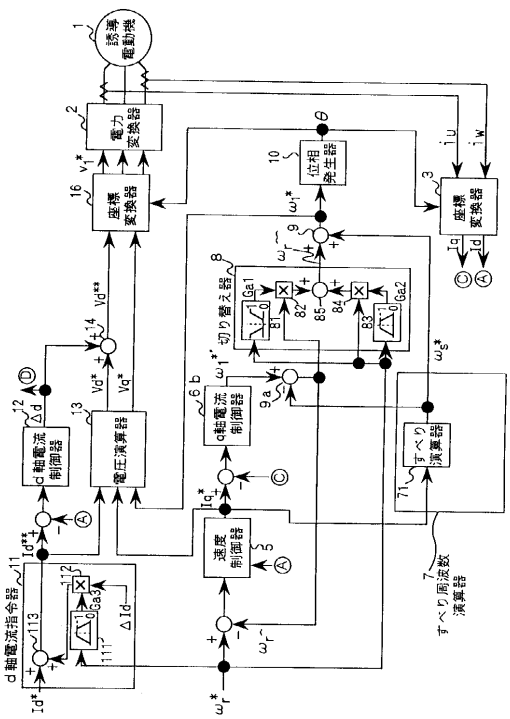
【図５】

図 5



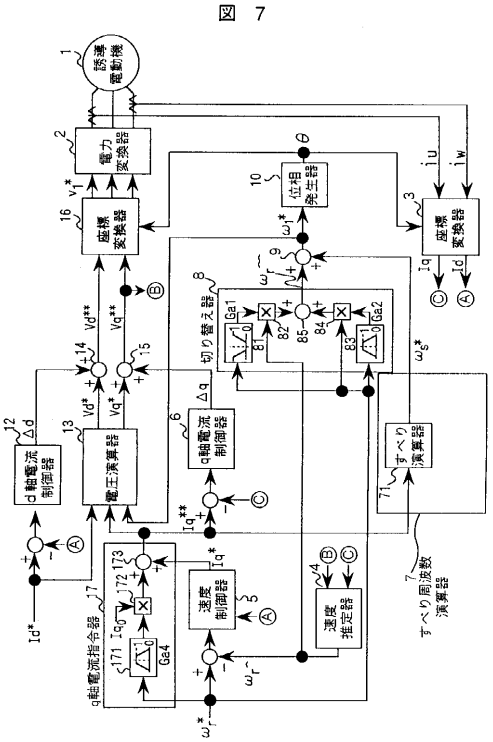
【図６】

図 6



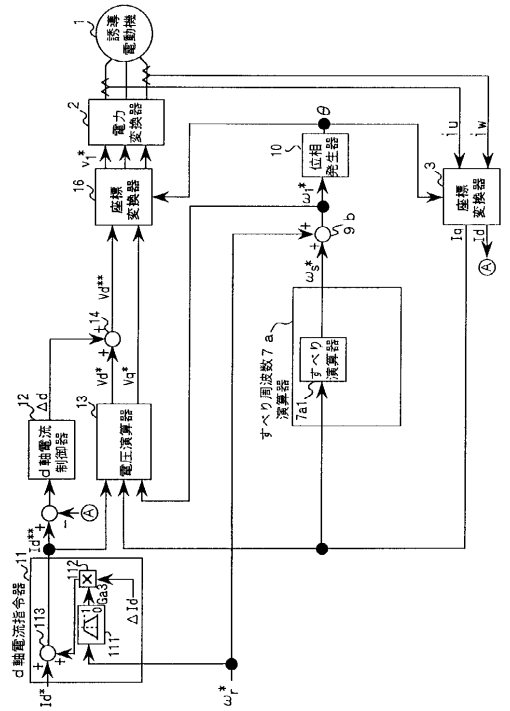
【図７】

図 7



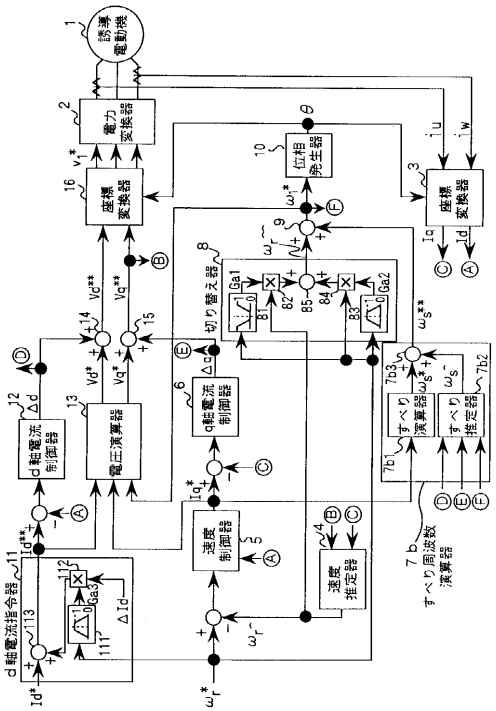
【図８】

図 8



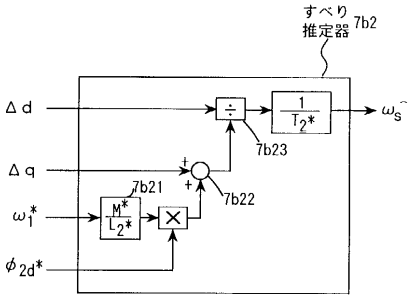
【図９】

図 9



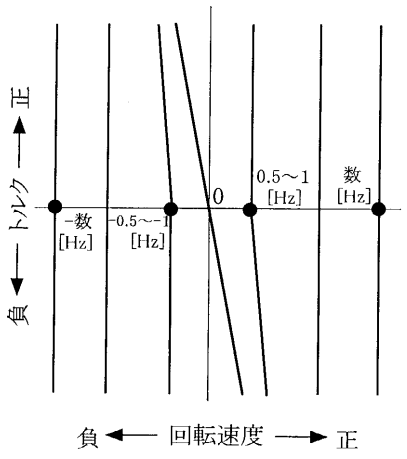
【図１０】

図 10



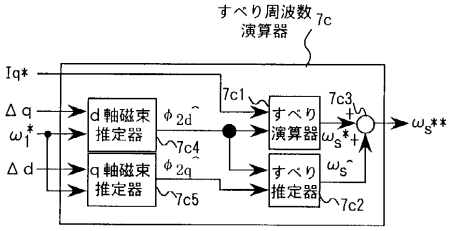
【図１１】

図 11



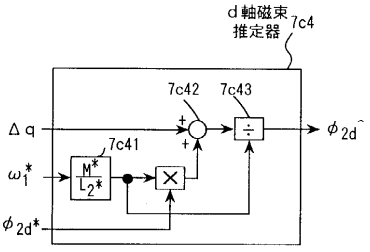
【図１２】

図 12



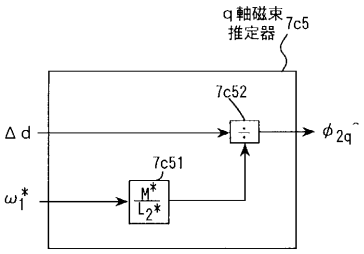
【図１３】

図 13



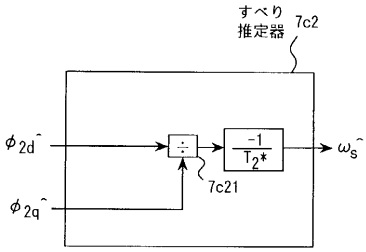
【図１４】

図 14



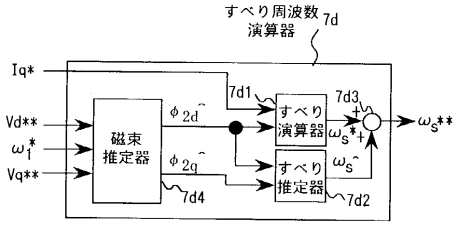
【図１５】

図 15



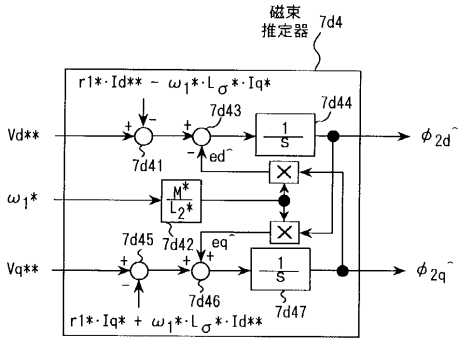
【図１６】

図 16



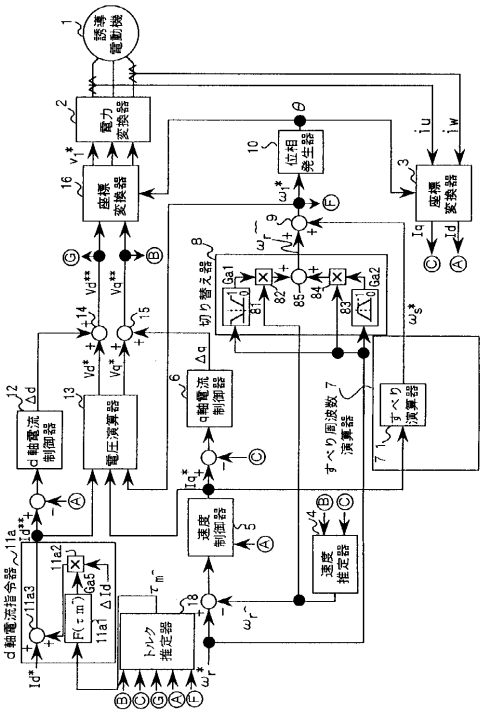
【図１７】

図 17



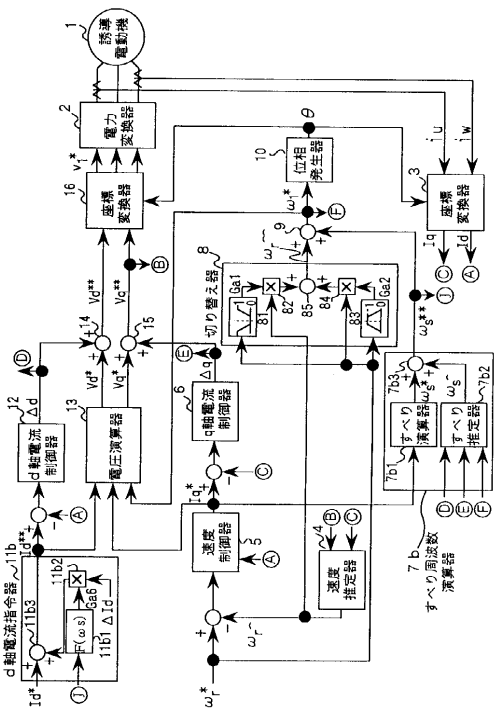
【図１８】

図 18



【図１９】

図 19



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平１０－０２３８００（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０９８８９１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０１８４９７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H02P 21/00
H02P 27/04
H02P 27/06