

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6682313号  
(P6682313)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月27日(2020.3.27)

(51) Int.Cl. F I  
**H02P 21/22 (2016.01)** H O 2 P 21/22  
**G05B 11/32 (2006.01)** G O 5 B 11/32 A

請求項の数 3 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2016-63510 (P2016-63510)	(73) 特許権者	390014384 株式会社 R E J
(22) 出願日	平成28年3月28日 (2016.3.28)		神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目3番地の2
(65) 公開番号	特開2017-184307 (P2017-184307A)	(74) 代理人	100121119 弁理士 花村 泰伸
(43) 公開日	平成29年10月5日 (2017.10.5)	(72) 発明者	紙本 貞雄 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目3番地2 日本リライアンス株式会社内
審査請求日	平成31年2月25日 (2019.2.25)	審査官	池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

d軸電流指令からd軸電圧指令を生成し、q軸電流指令からq軸電圧指令を生成し、前記d軸電圧指令及び前記q軸電圧指令から3相交流電圧指令を生成し、前記3相交流電圧指令を電力増幅器へ出力することで交流モータを制御するモータ制御装置において、

前記交流モータにおけるq軸電流により発生するd軸上の干渉電圧をキャンセルするためのd軸非干渉電圧補償、及び前記交流モータにおけるd軸電流により発生するq軸上の干渉電圧をキャンセルするためのq軸非干渉電圧補償を算出する非干渉電圧補償部と、

前記d軸電圧指令に、前記非干渉電圧補償部により算出された前記d軸非干渉電圧補償を加算し、新たなd軸電圧指令を求め、前記q軸電圧指令に、前記非干渉電圧補償部により算出された前記q軸非干渉電圧補償を加算し、新たなq軸電圧指令を求める第1の加算器と、

前記第1の加算器により求めた前記新たなd軸電圧指令及び前記新たなq軸電圧指令を、前記3相交流電圧指令に座標変換する座標変換部と、を備え、

前記非干渉電圧補償部は、

前記交流モータの回転子電気角速度に前記q軸電流指令を乗算して第1の乗算結果を求め、前記第1の乗算結果に予め設定されたq軸リアクタンス同定値を乗算して第2の乗算結果を求める第1の乗算器と、

前記第1の乗算器により求めた前記第2の乗算結果を反転させ、前記d軸非干渉電圧補償を求める第1の反転器と、

10

20

前記交流モータの回転子電気角速度に前記 d 軸電流指令を乗算して第 3 の乗算結果を求め、前記第 3 の乗算結果に予め設定された d 軸リアクタンス同定値を乗算して第 4 の乗算結果を求める第 2 の乗算器と、

前記交流モータの回転子電気角速度に予め設定された逆起電圧定数を乗算して第 5 の乗算結果を求める第 3 の乗算器と、

前記第 2 の乗算器により求めた前記第 4 の乗算結果に、前記第 3 の乗算器により求めた前記第 5 の乗算結果を加算し、前記 q 軸非干渉電圧補償を求める第 2 の加算器と、を備え、

前記予め設定された逆起電圧定数は、前記交流モータがシンクロナスリラクタンスモータの場合、0 が用いられ、前記交流モータが IPM シンクロナスモータの場合、所定値が用いられ、

当該モータ制御装置は、さらに、前記 d 軸電流指令及び前記 q 軸電流指令を生成する電流指令生成部を備え、

前記電流指令生成部は、

前記第 1 の加算器により求めた前記新たな d 軸電圧指令及び前記新たな q 軸電圧指令に基づいて、電圧指令フィードバックを算出する電圧指令 FB (フィードバック) 生成部と、

前記電力増幅器の直流バス電圧の設定値を示す端子電圧指令から、前記電圧指令 FB 生成部により算出された前記電圧指令フィードバックを減算し、端子電圧偏差を求める第 1 の減算器と、

前記第 1 の減算器により求めた前記端子電圧偏差が 0 になるように、端子電流指令を算出し、前記端子電流指令に対して 0 からマイナスの所定値までの範囲で制限を加え、前記 0 からマイナスの所定値までの範囲の前記端子電流指令を出力する端子電圧制御部と、

予め設定された速度指令から、前記交流モータの速度を示す速度フィードバックを減算し、速度偏差を求める第 2 の減算器と、

前記第 2 の減算器により求めた前記速度偏差が 0 になるように、速度偏差電流指令を算出し、予め設定された外部電流指令に前記速度偏差電流指令を加算して電流指令を求め、前記電流指令及び予め設定された電流位相角指令に基づいて、d 軸分担電流指令及び q 軸分担電流指令を求め、前記 q 軸分担電流指令を前記 q 軸電流指令とする速度制御部と、

前記速度制御部により求めた前記 d 軸分担電流指令に、前記端子電圧制御部により出力された前記端子電流指令を加算し、前記 d 軸電流指令を求める第 3 の加算器と、を備え、

前記予め設定された電流位相角指令は、前記交流モータがシンクロナスリラクタンスモータの場合、第 1 の所定値が用いられ、前記交流モータが IPM シンクロナスモータの場合、第 2 の所定値が用いられる、ことを特徴とするモータ制御装置。

#### 【請求項 2】

請求項 1 に記載のモータ制御装置において、

前記速度制御部は、

前記第 2 の減算器により求めた前記速度偏差が 0 になるように、前記速度偏差電流指令を算出する速度制御器と、

前記交流モータの回転速度の制限値を示す予め設定された制限速度指令、及び前記速度フィードバックに基づいて、前記予め設定された制限速度指令と前記速度フィードバックとの間の偏差に対応した速度制限電流を算出する速度制限電流生成器と、

前記所定の外部電流指令に、前記速度制御器により算出された前記速度偏差電流指令及び前記速度制限電流生成器により算出された前記速度制限電流を加算し、前記電流指令を求める第 4 の加算器と、

前記第 4 の加算器により求めた前記電流指令について、その絶対値を算出する絶対値演算器と、

前記絶対値演算器により算出された前記電流指令の絶対値に対し、前記予め設定された電流位相角指令を角度とした余弦関数を乗算し、前記 d 軸分担電流指令を求めるコサイン演算器と、

10

20

30

40

50

前記第4の加算器により求めた前記電流指令に対し、前記予め設定された電流位相角指令を角度とした正弦関数を乗算し、前記q軸分担電流指令を前記q軸電流指令として求めるサイン演算器と、を備えたことを特徴とするモータ制御装置。

【請求項3】

請求項2のモータ制御装置において、

前記速度制限電流生成器は、

前記予め設定された制限速度指令から前記速度フィードバックを減算し、制限速度偏差を求める第3の減算器と、

前記第3の減算器により求めた前記制限速度偏差に、予め設定された係数を乗算し、乗算結果の制限速度偏差を求める第4の乗算器と、

前記第4の乗算器により求めた前記乗算結果の制限速度偏差に対し、0からマイナスの所定値までの範囲で制限を加え、前記0からマイナスの所定値までの範囲の前記乗算結果の制限速度偏差を出力する第1のリミッタと、

前記予め設定された制限速度指令を反転させる第2の反転器と、

前記第2の反転器により反転させた前記予め設定された制限速度指令から、前記速度フィードバックを減算し、反転制限速度偏差を求める第4の減算器と、

前記第4の減算器により求めた前記反転制限速度偏差に、予め設定された係数を乗算し、乗算結果の反転制限速度偏差を求める第5の乗算器と、

前記第5の乗算器により求めた前記乗算結果の反転制限速度偏差に対し、プラスの所定値から0までの範囲で制限を加え、前記プラスの所定値から0までの範囲の前記乗算結果の反転制限速度偏差を出力する第2のリミッタと、

前記第1のリミッタにより出力された前記乗算結果の制限速度偏差に、前記第2のリミッタにより出力された前記乗算結果の反転制限速度偏差を加算し、前記速度制限電流を求める第5の加算器と、を備えたことを特徴とするモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、交流モータを制御するモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、交流モータをd軸及びq軸にてベクトル制御するモータ制御装置が知られている。このモータ制御装置は、電流指令(d軸電流指令 $i_d^*$ 及びq軸電流指令 $i_q^*$ )を生成し、電流指令をPI制御器により電流制御して電圧指令(d軸電圧指令 $v_d^*$ 及びq軸電圧指令 $v_q^*$ )を生成する。

【0003】

モータ制御装置は、電圧指令を座標変換し、U相、V相及びW相の3相交流電圧指令(U相交流電圧指令 $V_u^*$ 、V相交流電圧指令 $V_v^*$ 及びW相交流電圧指令 $V_w^*$ )を生成する。そして、モータ制御装置は、3相交流電圧指令を電力増幅器へ出力することで、交流モータを制御する。

【0004】

また、モータ制御装置は、電力増幅器と交流モータとの間に設けられた電流検出器により検出されたU相、V相及びW相の3相交流電流フィードバック(U相交流電流フィードバック $i_u$ 、V相交流電流フィードバック $i_v$ 及びW相交流電流フィードバック $i_w$ )を入力する。そして、モータ制御装置は、3相交流電流フィードバックを座標変換し、電流フィードバック(d軸電流フィードバック $i_d$ 及びq軸電流フィードバック $i_q$ )を生成する。

【0005】

このようなモータ制御装置により制御される交流モータは、d軸電流によって、位相が $90^\circ$ 進む方向のq軸上に電圧が発生し、また、q軸電流によって、位相が $90^\circ$ 進む方向のd軸上に電圧が発生する。これらの電圧は、それぞれq軸上及びd軸上で干渉電圧と

10

20

30

40

50

なる。このため、モータ制御装置は、これらの干渉電圧を考慮して交流モータを制御する必要がある。

【0006】

干渉電圧をキャンセルするための制御を、非干渉制御といい、様々な手法が提案されている（例えば、特許文献1を参照）。この特許文献1では、モータ制御装置は、d軸電流フィードバック $i_d$ 及びq軸電流フィードバック $i_q$ 等に基づいて、これらの干渉電圧の影響をなくすためのd軸非干渉電圧及びq軸非干渉電圧を生成する。そして、モータ制御装置は、d軸電圧指令 $v_d^*$ にd軸非干渉電圧を加算して新たなd軸電圧指令 $v_d^*$ を求め、q軸電圧指令 $v_q^*$ にq軸非干渉電圧を加算して新たなq軸電圧指令 $v_q^*$ を求める。このようにして求めた新たなd軸電圧指令 $v_d^*$ 及び新たなq軸電圧指令 $v_q^*$ により、交流モータが制御され、干渉電圧をキャンセルすることができる。

10

【0007】

また、非干渉制御を、PI制御器にて実現する手法もある。具体的には、PI制御器は、干渉電圧に対応する指令を生成するために、これに相当する分のゲインを通常のゲインに加えて制御を行う。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2008-99472号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、前述の特許文献1には、干渉電圧をキャンセルするためのd軸非干渉電圧及びq軸非干渉電圧を生成する具体的な処理内容が記載されていない。また、この手法が、必ずしも全ての交流モータに適用できるとは限らない。複数種類の交流モータに適用するためには、交流モータの種類毎に、非干渉制御を実現する回路を設ける必要があり、回路規模が大きくなってしまおうという問題がある。

【0010】

また、前述のPI制御器を用いる場合は、ゲインを通常よりも大きく設定することから、過補償となり、交流モータを適切に制御することができない場合があるという問題がある。

30

【0011】

そこで、本発明は前記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、シンクロナスリラクタンスモータ(SynRM)またはIPMSインクロナスモータ(IPMSM)を制御する際に、これらの交流モータに適用する共通回路にて非干渉制御を実現可能なモータ制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

前記課題を解決するために、請求項1のモータ制御装置は、d軸電流指令からd軸電圧指令を生成し、q軸電流指令からq軸電圧指令を生成し、前記d軸電圧指令及び前記q軸電圧指令から3相交流電圧指令を生成し、前記3相交流電圧指令を電力増幅器へ出力することで交流モータを制御するモータ制御装置において、前記交流モータにおけるq軸電流により発生するd軸上の干渉電圧をキャンセルするためのd軸非干渉電圧補償、及び前記交流モータにおけるd軸電流により発生するq軸上の干渉電圧をキャンセルするためのq軸非干渉電圧補償を算出する非干渉電圧補償部と、前記d軸電圧指令に、前記非干渉電圧補償部により算出された前記d軸非干渉電圧補償を加算し、新たなd軸電圧指令を求め、前記q軸電圧指令に、前記非干渉電圧補償部により算出された前記q軸非干渉電圧補償を加算し、新たなq軸電圧指令を求める第1の加算器と、前記第1の加算器により求めた前記新たなd軸電圧指令及び前記新たなq軸電圧指令を、前記3相交流電圧指令に座標変換する座標変換部と、を備え、前記非干渉電圧補償部が、前記交流モータの回転子電気角速

40

50

度に前記 q 軸電流指令を乗算して第 1 の乗算結果を求め、前記第 1 の乗算結果に予め設定された q 軸リアクタンス同定値を乗算して第 2 の乗算結果を求める第 1 の乗算器と、前記第 1 の乗算器により求めた前記第 2 の乗算結果を反転させ、前記 d 軸非干渉電圧補償を求める第 1 の反転器と、前記交流モータの回転子電気角速度に前記 d 軸電流指令を乗算して第 3 の乗算結果を求め、前記第 3 の乗算結果に予め設定された d 軸リアクタンス同定値を乗算して第 4 の乗算結果を求める第 2 の乗算器と、前記交流モータの回転子電気角速度に予め設定された逆起電圧定数を乗算して第 5 の乗算結果を求める第 3 の乗算器と、前記第 2 の乗算器により求めた前記第 4 の乗算結果に、前記第 3 の乗算器により求めた前記第 5 の乗算結果を加算し、前記 q 軸非干渉電圧補償を求める第 2 の加算器と、を備え、前記予め設定された逆起電圧定数は、前記交流モータがシンクロナスリラクタンスモータの場合、0 が用いられ、前記交流モータが I P M シンクロナスモータの場合、所定値が用いられ、当該モータ制御装置が、さらに、前記 d 軸電流指令及び前記 q 軸電流指令を生成する電流指令生成部を備え、前記電流指令生成部が、前記第 1 の加算器により求めた前記新たな d 軸電圧指令及び前記新たな q 軸電圧指令に基づいて、電圧指令フィードバックを算出する電圧指令 F B (フィードバック) 生成部と、前記電力増幅器の直流バス電圧の設定値を示す端子電圧指令から、前記電圧指令 F B 生成部により算出された前記電圧指令フィードバックを減算し、端子電圧偏差を求める第 1 の減算器と、前記第 1 の減算器により求めた前記端子電圧偏差が 0 になるように、端子電流指令を算出し、前記端子電流指令に対して 0 からマイナスの所定値までの範囲で制限を加え、前記 0 からマイナスの所定値までの範囲の前記端子電流指令を出力する端子電圧制御部と、予め設定された速度指令から、前記交流モータの速度を示す速度フィードバックを減算し、速度偏差を求める第 2 の減算器と、前記第 2 の減算器により求めた前記速度偏差が 0 になるように、速度偏差電流指令を算出し、予め設定された外部電流指令に前記速度偏差電流指令を加算して電流指令を求め、前記電流指令及び予め設定された電流位相角指令に基づいて、d 軸分担電流指令及び q 軸分担電流指令を求め、前記 q 軸分担電流指令を前記 q 軸電流指令とする速度制御部と、前記速度制御部により求めた前記 d 軸分担電流指令に、前記端子電圧制御部により出力された前記端子電流指令を加算し、前記 d 軸電流指令を求める第 3 の加算器と、を備え、前記予め設定された電流位相角指令は、前記交流モータがシンクロナスリラクタンスモータの場合、第 1 の所定値が用いられ、前記交流モータが I P M シンクロナスモータの場合、第 2 の所定値が用いられる、ことを特徴とする。

#### 【 0 0 1 4 】

また、請求項 2 のモータ制御装置は、請求項 1 に記載のモータ制御装置において、前記速度制御部が、前記第 2 の減算器により求めた前記速度偏差が 0 になるように、前記速度偏差電流指令を算出する速度制御器と、前記交流モータの回転速度の制限値を示す予め設定された制限速度指令、及び前記速度フィードバックに基づいて、前記予め設定された制限速度指令と前記速度フィードバックとの間の偏差に対応した速度制限電流を算出する速度制限電流生成器と、前記所定の外部電流指令に、前記速度制御器により算出された前記速度偏差電流指令及び前記速度制限電流生成器により算出された前記速度制限電流を加算し、前記電流指令を求める第 4 の加算器と、前記第 4 の加算器により求めた前記電流指令について、その絶対値を算出する絶対値演算器と、前記絶対値演算器により算出された前記電流指令の絶対値に対し、前記予め設定された電流位相角指令を角度とした余弦関数を乗算し、前記 d 軸分担電流指令を求めるコサイン演算器と、前記第 4 の加算器により求めた前記電流指令に対し、前記予め設定された電流位相角指令を角度とした正弦関数を乗算し、前記 q 軸分担電流指令を前記 q 軸電流指令として求めるサイン演算器と、を備えたことを特徴とする。

#### 【 0 0 1 5 】

また、請求項 3 のモータ制御装置は、請求項 2 のモータ制御装置において、前記速度制限電流生成器が、前記予め設定された制限速度指令から前記速度フィードバックを減算し、制限速度偏差を求める第 3 の減算器と、前記第 3 の減算器により求めた前記制限速度偏差に、予め設定された係数を乗算し、乗算結果の制限速度偏差を求める第 4 の乗算器と、

前記第 4 の乗算器により求めた前記乗算結果の制限速度偏差に対し、0 からマイナスの所定値までの範囲で制限を加え、前記 0 からマイナスの所定値までの範囲の前記乗算結果の制限速度偏差を出力する第 1 のリミッタと、前記予め設定された制限速度指令を反転させる第 2 の反転器と、前記第 2 の反転器により反転させた前記予め設定された制限速度指令から、前記速度フィードバックを減算し、反転制限速度偏差を求める第 4 の減算器と、前記第 4 の減算器により求めた前記反転制限速度偏差に、予め設定された係数を乗算し、乗算結果の反転制限速度偏差を求める第 5 の乗算器と、前記第 5 の乗算器により求めた前記乗算結果の反転制限速度偏差に対し、プラスの所定値から 0 までの範囲で制限を加え、前記プラスの所定値から 0 までの範囲の前記乗算結果の反転制限速度偏差を出力する第 2 のリミッタと、前記第 1 のリミッタにより出力された前記乗算結果の制限速度偏差に、前記第 2 のリミッタにより出力された前記乗算結果の反転制限速度偏差を加算し、前記速度制限電流を求める第 5 の加算器と、を備えたことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0016】

以上のように、本発明によれば、シンクロナスリラクタンスモータ及びIPMシンクロナスモータを制御する際に、これらの交流モータに適用する共通回路にて、非干渉制御を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図 1】本発明の実施形態によるモータ制御装置を含むモータ制御システムの構成例を示す全体図である。

20

【図 2】電流指令生成部の構成例を示すブロック図である。

【図 3】端子電圧制御部の構成例を示すブロック図である。

【図 4】速度制御部の構成例を示すブロック図である。

【図 5】速度制限電流生成部の構成例を示すブロック図である。

【図 6】非干渉電圧FF補償部の構成例を示すブロック図である。

【図 7】シンクロナスリラクタンスモータを用いた場合の実機による測定結果を示すグラフである。

【図 8】IPMシンクロナスモータを用いた場合の実機による測定結果を示すグラフである。

30

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明を実施するための形態について図面を用いて詳細に説明する。

〔モータ制御システム〕

図 1 は、本発明の実施形態によるモータ制御装置を含むモータ制御システムの構成例を示す全体図である。このモータ制御システムは、モータ制御装置 1、電力増幅器 2、交流モータ 3 及び PG (パルスジェネレータ) 4 を備えて構成される。尚、図 1 には、本発明と直接関連する構成部のみ示してあり、直接関連しない構成部は省略してある。交流モータ 3 は、シンクロナスリラクタンスモータまたは IPMシンクロナスモータのいずれかとする。

40

【0019】

モータ制御装置 1 は、交流モータ 3 を d 軸及び q 軸にてベクトル制御する装置である。モータ制御装置 1 は、交流モータ 3 の回転速度を制御する電流指令 (d 軸電流指令  $i_d^*$  及び q 軸電流指令  $i_q^*$ ) を生成する。この電流指令は、交流モータ 3 の回転速度を所定の制限速度以下とする指令でもある。

【0020】

モータ制御装置 1 は、電流指令を電流制御し、非干渉電圧を加算することで、電圧指令 (d 軸電圧指令  $v_d^*$  及び q 軸電圧指令  $v_q^*$ ) を生成する。この電圧指令は、交流モータ 3 にて発生する干渉電圧をキャンセルするための指令でもある。

【0021】

50

モータ制御装置 1 は、電気角  $e$  に基づいて、電圧指令を U 相、V 相及び W 相の 3 相交流電圧指令 (U 相交流電圧指令  $V_u^*$ 、V 相交流電圧指令  $V_v^*$  及び W 相交流電圧指令  $V_w^*$ ) に変換し、3 相交流電圧指令を電力増幅器 2 へ出力する。

【0022】

モータ制御装置 1 は、電力増幅器 2 と交流モータ 3 との間に設けられた電流検出器により検出された U 相、V 相及び W 相の 3 相交流電流フィードバック (U 相交流電流フィードバック  $i_u$ 、V 相交流電流フィードバック  $i_v$  及び W 相交流電流フィードバック  $i_w$ ) を入力する。また、モータ制御装置 1 は、PG 4 から、交流モータ 3 の速度を示す速度フィードバック  $v$  を入力する。

【0023】

電力増幅器 2 は、インバータを備えている。電力増幅器 2 は、モータ制御装置 1 から 3 相交流電圧指令を入力し、3 相交流電圧指令から PWM 信号を生成し、PWM 信号によってインバータのスイッチング素子のゲートをオンオフし、インバータに入力される直流バス電圧  $e_{bus}$  をスイッチングして交流電圧に変換する。そして、電力増幅器 2 は、交流電圧を交流モータ 3 へ供給する。

【0024】

PG 4 は、交流モータ 3 の回転に応じたパルス信号を発生する。このパルス信号のカウント値から交流モータ 3 の回転速度である速度フィードバック  $v$  が得られ、当該速度フィードバック  $v$  がモータ制御装置 1 へ入力される。尚、図 1 には、PG 4 からモータ制御装置 1 へ、速度フィードバック  $v$  が入力されるように略して示してある。

【0025】

〔モータ制御装置 1〕

次に、図 1 に示したモータ制御装置 1 について詳細に説明する。図 1 に示すように、モータ制御装置 1 は、電流指令生成部 10、減算器 11、12、電流制御部 13、14、加算器 15、16、座標変換部 17、18、変換器 19、積分器 20 及び非干渉電圧 FF (フィードフォワード) 補償部 21 を備えている。

【0026】

電流指令生成部 10 は、予め設定された端子電圧指令  $v^*$  及び速度指令  $v$  を入力すると共に、PG 4 から速度フィードバック  $v$ 、加算器 15 から d 軸電圧指令  $v_d^*$ 、及び加算器 16 から q 軸電圧指令  $v_q^*$  を入力する。端子電圧指令  $v^*$  は、電力増幅器 2 の直流バス電圧  $e_{bus}$  の設定値を示す。そして、電流指令生成部 10 は、これらのデータに基づいて、d 軸電流指令  $i_d^*$  及び q 軸電流指令  $i_q^*$  を生成する。これにより、交流モータ 3 の回転速度を、予め設定された制限速度指令  $v_{MAX}$  以下とする d 軸電流指令  $i_d^*$  及び q 軸電流指令  $i_q^*$  が生成される。

【0027】

電流指令生成部 10 は、d 軸電流指令  $i_d^*$  を減算器 11 及び非干渉電圧 FF 補償部 21 に出力すると共に、q 軸電流指令  $i_q^*$  を減算器 12 及び非干渉電圧 FF 補償部 21 に出力する。電流指令生成部 10 の詳細については後述する。

【0028】

減算器 11 は、電流指令生成部 10 から d 軸電流指令  $i_d^*$  を入力すると共に、後述する座標変換部 18 から d 軸電流フィードバック  $i_d$  を入力する。そして、減算器 11 は、d 軸電流指令  $i_d^*$  から d 軸電流フィードバック  $i_d$  を減算し、減算結果を d 軸電流偏差として電流制御部 13 に出力する。

【0029】

減算器 12 は、電流指令生成部 10 から q 軸電流指令  $i_q^*$  を入力すると共に、後述する座標変換部 18 から q 軸電流フィードバック  $i_q$  を入力する。そして、減算器 12 は、q 軸電流指令  $i_q^*$  から q 軸電流フィードバック  $i_q$  を減算し、減算結果を q 軸電流偏差として電流制御部 14 に出力する。

【0030】

電流制御部 13 は、減算器 11 から d 軸電流偏差を入力し、d 軸電流偏差が 0 になるよ

10

20

30

40

50

うに、予め設定された比例ゲイン及び積分ゲインを用いてP I制御器による電流制御を行い、d軸電圧指令を算出する。そして、電流制御部13は、d軸電圧指令を加算器15に出力する。

【0031】

電流制御部14は、減算器12からq軸電流偏差を入力し、q軸電流偏差が0になるように、予め設定された比例ゲイン及び積分ゲインを用いてP I制御器による電流制御を行い、q軸電圧指令を算出する。そして、電流制御部14は、q軸電圧指令を加算器16に出力する。

【0032】

加算器15は、電流制御部13からd軸電圧指令を入力すると共に、後述する非干渉電圧FF補償部21からd軸非干渉電圧FF(フィードフォワード)補償  $v_d^*$  を入力する。そして、加算器15は、d軸電圧指令にd軸非干渉電圧FF補償  $v_d^*$  を加算し、加算結果をd軸電圧指令  $v_d^*$  として座標変換部17及び電流指令生成部10に出力する。これにより、交流モータ3のd軸上に発生した干渉電圧をキャンセルするためのd軸電圧指令  $v_d^*$  が算出される。

10

【0033】

加算器16は、電流制御部14からq軸電圧指令を入力すると共に、後述する非干渉電圧FF補償部21からq軸非干渉電圧FF補償  $v_q^*$  を入力する。そして、加算器16は、q軸電圧指令にq軸非干渉電圧FF補償  $v_q^*$  を加算し、加算結果をq軸電圧指令  $v_q^*$  として座標変換部17及び電流指令生成部10に出力する。これにより、交流モータ3のq軸上に発生した干渉電圧をキャンセルするためのq軸電圧指令  $v_q^*$  が算出される。

20

【0034】

ここで、d軸非干渉電圧FF補償  $v_d^*$  及びq軸非干渉電圧FF補償  $v_q^*$  のフィードフォワードは、後述する非干渉電圧FF補償部21において、フィードバック制御ではなくフィードフォワード制御にて生成されることを意味する。

【0035】

座標変換部17は、加算器15からd軸電圧指令  $v_d^*$  を入力すると共に、加算器16からq軸電圧指令  $v_q^*$  を入力し、さらに、後述する積分器20から電気角  $e$  を入力する。そして、座標変換部17は、電気角  $e$  に基づいて、回転座標系のd軸電圧指令  $v_d^*$  及びq軸電圧指令  $v_q^*$  をU相交流電圧指令  $V_u^*$ 、V相交流電圧指令  $V_v^*$  及びW相交流電圧指令  $V_w^*$  に座標変換する。座標変換部17は、U相交流電圧指令  $V_u^*$ 、V相交流電圧指令  $V_v^*$  及びW相交流電圧指令  $V_w^*$  を電力増幅器2へ出力する。

30

【0036】

変換器19は、PG4から速度フィードバック  $v$  を入力し、速度フィードバック  $v$ 、並びに予め設定された対極数  $N_p$  ( $=$ 極数/2)、定格角速度  $\omega_0$  (rad/s) 及び基底角速度  $\omega_{base}$  (rad/s) に基づいて、回転子電気角速度  $\omega_r$  を算出する。具体的には、変換器19は、 $(N_p \times \omega_0) / (N_p \times \omega_{base})$  の演算を行い、回転子電気角速度  $\omega_r$  を求める。そして、変換器19は、回転子電気角速度  $\omega_r$  を積分器20及び非干渉電圧FF補償部21に出力する。

40

【0037】

積分器20は、変換器19から回転子電気角速度  $\omega_r$  を入力し、回転子電気角速度  $\omega_r$  を積分することで電気角  $e$  を求める。そして、積分器20は、電気角  $e$  を座標変換部17, 18に出力する。

【0038】

座標変換部18は、電力増幅器2と交流モータ3との間に設けられた電流検出器により検出されたU相交流電流フィードバック  $i_u$ 、V相交流電流フィードバック  $i_v$  及びW相交流電流フィードバック  $i_w$  を入力すると共に、積分器20から電気角  $e$  を入力する。そして、座標変換部18は、電気角  $e$  に基づいて、U相交流電流フィードバック  $i_u$ 、V相交流電流フィードバック  $i_v$  及びW相交流電流フィードバック  $i_w$  を回転座標系のd

50



軸電流フィードバック  $i_d$  及び  $q$  軸電流フィードバック  $i_q$  に座標変換する。座標変換部 18 は、 $d$  軸電流フィードバック  $i_d$  を減算器 11 に出力すると共に、 $q$  軸電流フィードバック  $i_q$  を減算器 12 に出力する。

【0039】

非干渉電圧  $FF$  補償部 21 は、予め設定された逆起電圧定数  $e_c^{\wedge}$ 、 $d$  軸リアクタンス同定値  $X_d^{\wedge}$  及び  $q$  軸リアクタンス同定値  $X_q^{\wedge}$  を入力する共に、変換器 19 から回転子電気角速度  $\omega_1$ 、電流指令生成部 10 から  $d$  軸電流指令  $i_d^*$  及び  $q$  軸電流指令  $i_q^*$  を入力する。そして、非干渉電圧  $FF$  補償部 21 は、これらのデータに基づいて、 $d$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_d^*$  及び  $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_q^*$  を算出する。

【0040】

これにより、交流モータ 3 の  $d$  軸上に発生した干渉電圧をキャンセルするための  $d$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_d^*$  が算出される。また、交流モータ 3 の  $q$  軸上に発生した干渉電圧をキャンセルするための  $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_q^*$  が算出される。

【0041】

非干渉電圧  $FF$  補償部 21 は、 $d$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_d^*$  を加算器 15 に出力し、 $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_q^*$  を加算器 16 に出力する。非干渉電圧  $FF$  補償部 21 の詳細については後述する。

【0042】

(電流指令生成部 10)

次に、図 1 に示した電流指令生成部 10 について詳細に説明する。前述のとおり、電流指令生成部 10 は、予め設定された端子電圧指令  $v^*$ 、速度指令  $\omega^*$  及び制限速度指令  $\omega_{MAX}$  等、並びに入力した速度フィードバック  $\omega_{FB}$ 、 $d$  軸電圧指令  $v_d^*$  及び  $q$  軸電圧指令  $v_q^*$  に基づいて、 $d$  軸電流指令  $i_d^*$  及び  $q$  軸電流指令  $i_q^*$  を生成する。

【0043】

図 2 は、電流指令生成部 10 の構成例を示すブロック図である。この電流指令生成部 10 は、電圧指令  $FB$  (フィードバック) 生成部 30、減算器 31、32、端子電圧制御部 33、速度制御部 34 及び加算器 35 を備えている。

【0044】

電圧指令  $FB$  生成部 30 は、加算器 15 から  $d$  軸電圧指令  $v_d^*$  を入力すると共に、加算器 16 から  $q$  軸電圧指令  $v_q^*$  を入力し、 $d$  軸電圧指令  $v_d^*$  及び  $q$  軸電圧指令  $v_q^*$  に基づいて、以下の式により電圧指令フィードバック  $v_1^*$  を算出する。

$$v_1^* = \sqrt{(v_d^*)^2 + (v_q^*)^2}$$

そして、電圧指令  $FB$  生成部 30 は、電圧指令フィードバック  $v_1^*$  を減算器 31 に出力する。

【0045】

減算器 31 は、予め設定された端子電圧指令  $v^*$  を入力すると共に、電圧指令  $FB$  生成部 30 から電圧指令フィードバック  $v_1^*$  を入力し、端子電圧指令  $v^*$  から電圧指令フィードバック  $v_1^*$  を減算する。そして、減算器 31 は、減算結果を端子電圧偏差  $v_1$  として端子電圧制御部 33 に出力する。

【0046】

端子電圧制御部 33 は、減算器 31 から端子電圧偏差  $v_1$  を入力し、端子電圧偏差  $v_1$  が 0 になるように電圧制御を行い、端子電流指令を算出する。そして、端子電圧制御部 33 は、0 から -1 までの範囲の端子電流指令を端子電流指令  $i_d1^*$  として加算器 35 に出力する。

【0047】

図 3 は、端子電圧制御部 33 の構成例を示すブロック図である。この端子電圧制御部 33 は、電圧制御器 40 及びリミッタ 41 を備えている。電圧制御器 40 は、減算器 31 から端子電圧偏差  $v_1$  を入力し、端子電圧偏差  $v_1$  が 0 になるように、予め設定された比例ゲイン及び積分ゲインを用いて  $PI$  制御器による電圧制御を行い、端子電流指令を算出する。そして、端子電圧制御部 33 は、端子電流指令をリミッタ 41 に出力する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 8 】

リミッタ 4 1 は、電圧制御器 4 0 から端子電流指令を入力し、端子電流指令に対して 0 から - 1 までの範囲で制限を加え、0 から - 1 までの範囲の端子電流指令  $i_{d1}^*$  を加算器 3 5 に出力する。

## 【 0 0 4 9 】

これにより、電圧指令フィードバック  $v_{1}^*$  が端子電圧指令  $v^*$  よりも大きい場合、0 から - 1 までの範囲の端子電流指令  $i_{d1}^*$  が加算器 3 5 に出力され、加算器 3 5 にて d 軸電流指令  $i_d^*$  を小さくすることができる。そして、d 軸電流指令  $i_d^*$  が小さくなると d 軸電圧指令  $v_d^*$  も小さくなるから、結果として、電圧指令フィードバック  $v_{1}^*$  を小さくして、電圧指令フィードバック  $v_{1}^*$  を端子電圧指令  $v^*$  に近づけることができる。

10

## 【 0 0 5 0 】

図 2 に戻って、減算器 3 2 は、予め設定された速度指令  $v^*$  を入力すると共に、PG 4 から速度フィードバック  $v_{fb}$  を入力し、速度指令  $v^*$  から速度フィードバック  $v_{fb}$  を減算し、減算結果を速度偏差  $v_{err}$  として速度制御部 3 4 に出力する。

## 【 0 0 5 1 】

速度制御部 3 4 は、減算器 3 2 から速度偏差  $v_{err}$  を入力し、速度偏差  $v_{err}$  が 0 になるように速度制御を行い、速度偏差電流指令  $i_{1}^*$  を算出する。そして、速度制御部 3 4 は、速度偏差電流指令  $i_{1}^*$ 、後述する速度制限電流  $i_{1LMT}$ 、後述する外部電流指令  $i_{ext}^*$ 、及び電流位相角指令  $\theta^*$  に基づいて、d 軸分担電流指令  $i_{d'}^*$  及び q 軸分担電流指令  $i_{q'}^*$  を算出する。

20

## 【 0 0 5 2 】

速度制御部 3 4 は、d 軸分担電流指令  $i_{d'}^*$  を加算器 3 5 に出力し、q 軸分担電流指令  $i_{q'}^*$  を q 軸電流指令  $i_q^*$  として減算器 1 2 及び非干渉電圧 FF 補償部 2 1 に出力する。速度制御部 3 4 の詳細については後述する。

## 【 0 0 5 3 】

加算器 3 5 は、端子電圧制御部 3 3 から 0 から - 1 までの範囲の端子電流指令  $i_{d1}^*$  を入力すると共に、速度制御部 3 4 から d 軸分担電流指令  $i_{d'}^*$  を入力する。そして、加算器 3 5 は、d 軸分担電流指令  $i_{d'}^*$  に 0 から - 1 までの範囲の端子電流指令  $i_{d1}^*$  を加算し、加算結果を d 軸電流指令  $i_d^*$  として減算器 1 1 及び非干渉電圧 FF 補償部 2 1 に出力する。

30

## 【 0 0 5 4 】

図 4 は、速度制御部 3 4 の構成例を示すブロック図である。この速度制御部 3 4 は、速度制御器 4 2、速度制限電流生成器 4 3、加算器 4 4、絶対値演算器 4 5、コサイン演算器 4 6 及びサイン演算器 4 7 を備えている。

## 【 0 0 5 5 】

速度制御器 4 2 は、減算器 3 2 から速度偏差  $v_{err}$  を入力し、速度偏差  $v_{err}$  が 0 になるように、予め設定された比例ゲイン及び積分ゲインを用いて P I 制御器による速度制御を行い、速度偏差電流指令  $i_{1}^*$  を算出する。そして、速度制御器 4 2 は、速度偏差電流指令  $i_{1}^*$  を加算器 4 4 に出力する。

40

## 【 0 0 5 6 】

速度制限電流生成器 4 3 は、予め設定された制限速度指令  $v_{MAX}$  及び速度フィードバック  $v_{fb}$  に基づいて、速度制限電流  $i_{1LMT}$  を算出し、速度制限電流  $i_{1LMT}$  を加算器 4 4 に出力する。制限速度指令  $v_{MAX}$  は、交流モータ 3 の回転速度の制限値を示し、交流モータ 3 の最高速度が設定される。速度制限電流生成器 4 3 の詳細については後述する。

## 【 0 0 5 7 】

加算器 4 4 は、速度制御器 4 2 から速度偏差電流指令  $i_{1}^*$  を入力すると共に、速度制限電流生成器 4 3 から速度制限電流  $i_{1LMT}$  を入力し、さらに、予め設定された外部電流指令  $i_{ext}^*$  を入力する。加算器 4 4 は、速度偏差電流指令  $i_{1}^*$  に速度制限電流  $i_{1LMT}$  及び外部電流指令  $i_{ext}^*$  を加算し、加算結果を電流指令  $i_{1}^*$  として絶対値演算器 4 5 及

50

びサイン演算器 4 7 に出力する。

【 0 0 5 8 】

絶対値演算器 4 5 は、加算器 4 4 から電流指令  $i_{1*}$  を入力し、電流指令  $i_{1*}$  の絶対値  $|i_{1*}|$  を算出し、電流指令  $i_{1*}$  の絶対値  $|i_{1*}|$  をコサイン演算器 4 6 に出力する。

【 0 0 5 9 】

コサイン演算器 4 6 は、絶対値演算器 4 5 から電流指令  $i_{1*}$  の絶対値  $|i_{1*}|$  を入力すると共に、予め設定された電流位相角指令  $\theta$  を入力し、電流指令  $i_{1*}$  の絶対値  $|i_{1*}|$  に  $\cos(\theta)$  (電流位相角指令  $\theta$  を角度とした余弦関数) を乗算する。そして、コサイン演算器 4 6 は、乗算結果を d 軸分担電流指令  $i_{d*}$  として加算器 3 5 に出力する。

10

【 0 0 6 0 】

ここで、電流位相角指令  $\theta$  には、交流モータ 3 の最大トルクまたは最大効率等を実現する目的に応じて、交流モータ 3 の種類毎に異なる値が予め設定される。例えばシンクロナスリクタンスモータの場合、電流位相角指令  $\theta = 45^\circ$  が設定され、IPMシンクロナスモータの場合、電流位相角指令  $\theta = 90^\circ$  が設定される

【 0 0 6 1 】

サイン演算器 4 7 は、加算器 4 4 から電流指令  $i_{1*}$  を入力すると共に、予め設定された電流位相角指令  $\theta$  を入力し、電流指令  $i_{1*}$  に  $\sin(\theta)$  (電流位相角指令  $\theta$  を角度とした正弦関数) を乗算する。そして、サイン演算器 4 7 は、乗算結果である q 軸分担電流指令  $i_{q*}$  を q 軸電流指令  $i_{q*}$  として減算器 1 2 に出力する。

20

【 0 0 6 2 】

図 5 は、速度制限電流生成器 4 3 の構成例を示すブロック図である。この速度制限電流生成器 4 3 は、減算器 5 0, 5 2、反転器 5 1、乗算器 5 3, 5 4、リミッタ 5 5, 5 6 及び加算器 5 7 を備えている。

【 0 0 6 3 】

減算器 5 0 は、予め設定された制限速度指令  $v_{MAX}$  を入力すると共に、PG 4 から速度フィードバック  $v_{FB}$  を入力し、制限速度指令  $v_{MAX}$  から速度フィードバック  $v_{FB}$  を減算し、減算結果を制限速度偏差として乗算器 5 3 に出力する。

【 0 0 6 4 】

乗算器 5 3 は、減算器 5 0 から制限速度偏差を入力し、制限速度偏差に、予め設定された係数  $K_{DROOP}$  を乗算し、乗算結果の制限速度偏差をリミッタ 5 5 に出力する。

30

【 0 0 6 5 】

リミッタ 5 5 は、乗算器 5 3 から乗算結果の制限速度偏差を入力し、乗算結果の制限速度偏差に対し、0 から予め設定されたマイナスの値 ( $-v_{lim}$ ) までの範囲で制限を加え、0 から  $-v_{lim}$  までの範囲の速度制限電流を加算器 5 7 に出力する。

【 0 0 6 6 】

これにより、交流モータ 3 の正転運転時には、0 から  $-v_{lim}$  までの範囲の速度制限電流が算出される。

【 0 0 6 7 】

反転器 5 1 は、予め設定された制限速度指令  $v_{MAX}$  を入力し、制限速度指令  $v_{MAX}$  に  $-1$  を乗算することで、制限速度指令  $v_{MAX}$  の符号を反転させ、反転した制限速度指令  $-v_{MAX}$  を減算器 5 2 に出力する。

40

【 0 0 6 8 】

減算器 5 2 は、反転器 5 1 から反転した制限速度指令  $-v_{MAX}$  を入力すると共に、PG 4 から速度フィードバック  $v_{FB}$  を入力し、反転した制限速度指令  $-v_{MAX}$  から速度フィードバック  $v_{FB}$  を減算し、減算結果を反転制限速度偏差として乗算器 5 4 に出力する。

【 0 0 6 9 】

乗算器 5 4 は、減算器 5 2 から反転制限速度偏差を入力し、反転制限速度偏差に、予め設定された係数  $K_{DROOP}$  を乗算し、乗算結果の反転制限速度偏差をリミッタ 5 6 に出力する。

50

## 【 0 0 7 0 】

リミッタ 5 6 は、乗算器 5 4 から乗算結果の反転制限速度偏差を入力し、乗算結果の反転制限速度偏差に対して、予め設定されたプラスの値 ( + ) から 0 までの範囲で制限を加え、 + から 0 までの範囲の速度制限電流を加算器 5 7 に出力する。

## 【 0 0 7 1 】

これにより、交流モータ 3 の逆転運転時には、 + から 0 までの範囲の速度制限電流が算出される。

## 【 0 0 7 2 】

加算器 5 7 は、リミッタ 5 5 から、 0 から - までの範囲の速度制限電流を入力すると共に、リミッタ 5 6 から、 + から 0 までの範囲の速度制限電流を入力する。そして、加算器 5 7 は、入力した 2 つの速度制限電流を加算し、加算結果を速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  として加算器 4 4 に出力する。この場合、加算器 5 7 は、リミッタ 5 5 から、 0 から - までの範囲の速度制限電流を入力した場合、リミッタ 5 6 から 0 の速度制限電流を入力する。また、加算器 5 7 は、リミッタ 5 6 から、 + から 0 までの範囲の速度制限電流を入力した場合、リミッタ 5 5 から 0 の速度制限電流を入力する。つまり、加算器 5 7 は、リミッタ 5 5 から入力した 0 から - までの範囲の速度制限電流、または、リミッタ 5 6 から入力した + から 0 までの範囲の速度制限電流を出力する。

10

## 【 0 0 7 3 】

これにより、交流モータ 3 が正転運転している場合に、 0 から - までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  が加算器 4 4 に出力され、交流モータ 3 が逆転運転している場合に、 + から 0 までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  が加算器 4 4 に出力される。そして、前述のとおり、加算器 4 4 において、速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  が外部電流指令  $i^*$  及び速度偏差電流指令  $i_{1^*}$  に加算され、電流指令  $i_{1^*}$  が求められる。

20

## 【 0 0 7 4 】

例えば交流モータ 3 が正転運転しており、速度フィードバック が制限速度指令  $v_{\text{MAX}}$  よりも大きくなり、外部電流指令  $i^*$  がプラスの場合を想定する。この場合、速度制限電流生成器 4 3 により、 0 から - までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  が算出される。そして、図 4 の加算器 4 4 において、 0 から - までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  がプラスの外部電流指令  $i^*$  及び速度偏差電流指令  $i_{1^*}$  に加算されることで、電流指令  $i_{1^*}$  は 0 に近づく。一方、例えば交流モータ 3 が逆転運転しており、マイナスの速度フィードバック の絶対値が制限速度指令  $v_{\text{MAX}}$  よりも大きくなり、外部電流指令  $i^*$  がマイナスの場合を想定する。この場合、速度制限電流生成器 4 3 により、 + から 0 までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  が算出される。そして、図 4 の加算器 4 4 において、 + から 0 までの範囲の速度制限電流  $i_{1\text{LMT}}$  がマイナスの外部電流指令  $i^*$  及び速度偏差電流指令  $i_{1^*}$  に加算されることで、電流指令  $i_{1^*}$  は 0 に近づく。このように、電流指令  $i_{1^*}$  を 0 に相殺することで、電流制御において、交流モータ 3 の回転速度を、制限速度指令  $v_{\text{MAX}}$  以下とすることができる。

30

## 【 0 0 7 5 】

このように、電流指令生成部 1 0 により、予め設定された端子電圧指令  $v^*$ 、速度指令  $v^*$  及び制限速度指令  $v_{\text{MAX}}$  等、並びに入力した速度フィードバック、d 軸電圧指令  $v_d^*$  及び q 軸電圧指令  $v_q^*$  に基づいて、交流モータ 3 の回転速度を、予め設定された制限速度指令  $v_{\text{MAX}}$  以下とする d 軸電流指令  $i_d^*$  及び q 軸電流指令  $i_q^*$  が生成される。また、電流指令生成部 1 0 の処理は、予め設定された電流位相角指令  $\theta$  に応じて、シンクロナスリラクタンスモータまたは I P M シンクロナスモータに適用することができる。

40

## 【 0 0 7 6 】

( 非干渉電圧 F F 補償部 2 1 )

次に、図 1 に示した非干渉電圧 F F 補償部 2 1 について詳細に説明する。前述のとおり、非干渉電圧 F F 補償部 2 1 は、予め設定された逆起電圧定数  $e_c^{\wedge}$ 、d 軸リアクタンス同定値  $X_d^{\wedge}$  及び q 軸リアクタンス同定値  $X_q^{\wedge}$ 、並びに入力した回転子電気角速度  $\omega_1$ 、d 軸電流指令  $i_d^*$  及び q 軸電流指令  $i_q^*$  に基づいて、d 軸非干渉電圧 F F 補償  $v$

50

$d^*$  及び  $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_{q^*}$  を算出する。

【0077】

図6は、非干渉電圧  $FF$  補償部21の構成例を示すブロック図である。この非干渉電圧  $FF$  補償部21は、乗算器60、61、62、63、64、反転器65及び加算器66を備えている。

【0078】

乗算器60は、変換器19から回転子電気角速度  $\omega_r$  を入力すると共に、電流指令生成部10から  $q$  軸電流指令  $i_{q^*}$  を入力し、回転子電気角速度  $\omega_r$  に  $q$  軸電流指令  $i_{q^*}$  を乗算し、乗算結果を乗算器62に出力する。

【0079】

乗算器62は、乗算器60から乗算結果を入力し、乗算結果に、予め設定された  $q$  軸リアクタンス同定値  $X_{q^{\wedge}}$  を乗算し、その乗算結果 ( $i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) を反転器65に出力する。

【0080】

反転器65は、乗算器62から乗算結果 ( $i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) を入力し、乗算結果 ( $i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) に  $-1$  を乗算することで、乗算結果 ( $i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) の符号を反転させる。そして、反転器65は、反転した乗算結果 ( $-i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) を  $d$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_{d^*}$  として加算器15に出力する。

【0081】

乗算器61は、変換器19から回転子電気角速度  $\omega_r$  を入力すると共に、電流指令生成部10から  $d$  軸電流指令  $i_{d^*}$  を入力し、回転子電気角速度  $\omega_r$  に  $d$  軸電流指令  $i_{d^*}$  を乗算し、乗算結果を乗算器63に出力する。

【0082】

乗算器63は、乗算器61から乗算結果を入力し、乗算結果に、予め設定された  $d$  軸リアクタンス同定値  $X_{d^{\wedge}}$  を乗算し、その乗算結果 ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}}$ ) を加算器66に出力する。

【0083】

乗算器64は、変換器19から回転子電気角速度  $\omega_r$  を入力し、回転子電気角速度  $\omega_r$  に、予め設定された逆起電圧定数  $e_{c^{\wedge}}$  を乗算し、その乗算結果 ( $\omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) を加算器66に出力する。

【0084】

ここで、逆起電圧定数  $e_{c^{\wedge}}$  には、交流モータ3の種類毎に異なる値が予め設定される。例えばシンクロナスリラクタンスモータの場合、逆起電圧定数  $e_{c^{\wedge}} = 0$  が設定され、IPMシンクロナスモータの場合、所定の逆起電圧定数  $e_{c^{\wedge}}$  が設定される。

【0085】

加算器66は、乗算器63から乗算結果 ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}}$ ) を入力すると共に、乗算器64から乗算結果 ( $\omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) を入力し、乗算結果 ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}}$ ) に乗算結果 ( $\omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) を加算する。そして、加算器66は、加算結果 ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}} + \omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) を  $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_{q^*}$  として加算器16に出力する。

【0086】

このように、非干渉電圧  $FF$  補償部21により、予め設定された逆起電圧定数  $e_{c^{\wedge}}$ 、 $d$  軸リアクタンス同定値  $X_{d^{\wedge}}$  及び  $q$  軸リアクタンス同定値  $X_{q^{\wedge}}$ 、並びに入力した回転子電気角速度  $\omega_r$ 、 $d$  軸電流指令  $i_{d^*}$  及び  $q$  軸電流指令  $i_{q^*}$  に基づいて、交流モータ3にて発生する干渉電圧をキャンセルするための  $d$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_{d^*}$  ( $-i_{q^*} \times X_{q^{\wedge}}$ ) 及び  $q$  軸非干渉電圧  $FF$  補償  $v_{q^*}$  ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}} + \omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) が算出される。

【0087】

つまり、交流モータ3に  $d$  軸電流が流れることにより、 $q$  軸上に、 $q$  軸電流と同じ極性の干渉電圧 ( $i_{d^*} \times X_{d^{\wedge}} + \omega_r \times e_{c^{\wedge}}$ ) が発生し、この干渉電圧が  $q$  軸非干

10

20

30

40

50

渉電圧  $F F$  補償  $v q^*$  として算出される。また、交流モータ 3 に  $q$  軸電流が流れることにより、 $d$  軸上に、 $d$  軸電流とは逆の極性の干渉電圧 ( $-1 \times i q^* \times X q^{\wedge}$ ) が発生し、この干渉電圧が  $d$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v d^*$  として算出される。

【0088】

また、非干渉電圧  $F F$  補償部 21 の処理は、予め設定された逆起電圧定数  $e c^{\wedge}$  に応じて、シンクロナスリラクタンスモータまたは  $I P M$  シンクロナスモータに適用することができる。交流モータ 3 がシンクロナスリラクタンスモータの場合、逆起電圧定数  $e c^{\wedge} = 0$  が設定され、非干渉電圧  $F F$  補償部 21 により、 $d$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v d^*$  ( $-1 \times i q^* \times X q^{\wedge}$ ) 及び  $q$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v q^*$  ( $1 \times i d^* \times X d^{\wedge}$ ) が算出される。また、交流モータ 3 が  $I P M$  シンクロナスモータの場合、所定の逆起電圧定数  $e c^{\wedge}$  が設定され、非干渉電圧  $F F$  補償部 21 により、 $d$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v d^*$  ( $-1 \times i q^* \times X q^{\wedge}$ ) 及び  $q$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v q^*$  ( $1 \times i d^* \times X d^{\wedge} + 1 \times e c^{\wedge}$ ) が算出される。

10

【0089】

以上のように、本発明の実施形態のモータ制御装置 1 によれば、電流指令生成部 10 は、予め設定された端子電圧指令  $v^*$ 、速度指令  $\omega^*$  及び制限速度指令  $\omega_{MAX}$  等、並びに入力した速度フィードバック  $\omega_{fb}$ 、 $d$  軸電圧指令  $v d^*$  及び  $q$  軸電圧指令  $v q^*$  に基づいて、交流モータ 3 の回転速度を制限速度指令  $\omega_{MAX}$  以下とする  $d$  軸電流指令  $i d^*$  及び  $q$  軸電流指令  $i q^*$  を生成する。ここで、電流指令生成部 10 は、予め設定された電流位相角指令  $\theta^*$  に応じて、シンクロナスリラクタンスモータまたは  $I P M$  シンクロナスモータのいずれかに適用する  $d$  軸電流指令  $i d^*$  及び  $q$  軸電流指令  $i q^*$  を生成する。

20

【0090】

これにより、シンクロナスリラクタンスモータ及び  $I P M$  シンクロナスモータの 2 種類の交流モータ 3 を制御する際に、交流モータ 3 の回転速度を制限速度指令  $\omega_{MAX}$  以下とした制御を共通回路にて実現することができる。

【0091】

また、非干渉電圧  $F F$  補償部 21 は、予め設定された逆起電圧定数  $e c^{\wedge}$ 、 $d$  軸リアクタンス同定値  $X d^{\wedge}$  及び  $q$  軸リアクタンス同定値  $X q^{\wedge}$ 、並びに入力した回転子電気角速度  $\omega_1$ 、 $d$  軸電流指令  $i d^*$  及び  $q$  軸電流指令  $i q^*$  に基づいて、交流モータ 3 にて発生する干渉電圧をキャンセルするための  $d$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v d^*$  ( $-1 \times i q^* \times X q^{\wedge}$ ) 及び  $q$  軸非干渉電圧  $F F$  補償  $v q^*$  ( $1 \times i d^* \times X d^{\wedge} + 1 \times e c^{\wedge}$ ) を算出する。ここで、非干渉電圧  $F F$  補償部 21 は、シンクロナスリラクタンスモータの場合、予め設定された逆起電圧定数  $e c^{\wedge} = 0$  にて処理を行い、 $I P M$  シンクロナスモータの場合、予め設定された所定の逆起電圧定数  $e c^{\wedge}$  にて処理を行う。

30

【0092】

これにより、シンクロナスリラクタンスモータ及び  $I P M$  シンクロナスモータを制御する際に、これらの交流モータ 3 に適用する共通回路にて、非干渉制御を実現することが可能となる。

【0093】

〔測定結果〕

40

次に、モータ制御装置 1 による測定結果について説明する。図 7 は、シンクロナスリラクタンスモータを用いた場合の実機による測定結果を示すグラフであり、図 8 は、 $I P M$  シンクロナスモータを用いた場合の実機による測定結果を示すグラフである。

【0094】

図 7 及び図 8 において、グラフの上から、速度フィードバック  $\omega_{fb}$ 、電流指令  $i 1^*$ 、 $d$  軸電流指令  $i d^*$ 、 $d$  軸電流フィードバック  $i d_{fb}$ 、 $q$  軸電流指令  $i q^*$ 、 $q$  軸電流フィードバック  $i q_{fb}$ 、直流バス電圧  $e_{bus}$  及び電圧指令フィードバック  $v 1^*$  の特性を示している。横軸は時間である。

【0095】

図 7 及び図 8 を参照して、交流モータ 3 が正転加速、正転減速、逆転加速及び逆転減速

50

のパターンの速度フィードバックで動作した場合、d軸電流指令  $i_d^*$  に対してd軸電流フィードバック  $i_d$  が追従していることがわかる。また、q軸電流指令  $i_q^*$  に対してq軸電流フィードバック  $i_q$  も追従していることがわかる。つまり、シンクロナスリラクタンスモータ及びIPMシンクロナスモータの2種類の交流モータ3に対し、モータ制御装置1における共通回路にて非干渉制御を実現していることがわかる。

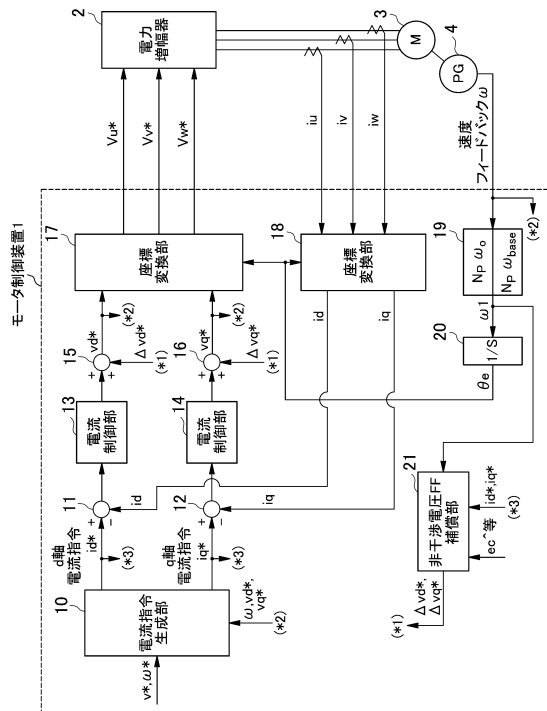
【符号の説明】

【0096】

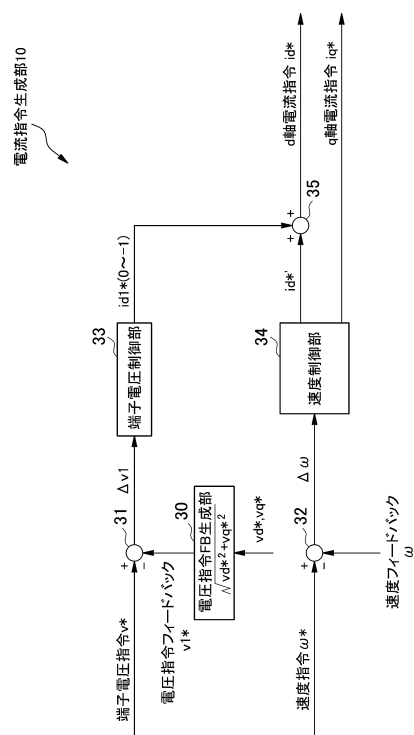
1	モータ制御装置	
2	電力増幅器	
3	交流モータ	10
4	PG (パルスジェネレータ)	
10	電流指令生成部	
11, 12, 31, 32, 50, 52	減算器	
13, 14	電流制御部	
15, 16, 35, 44, 57, 66	加算器	
17, 18	座標変換部	
19	変換器	
20	積分器	
21	非干渉電圧FF (フィードフォワード) 補償部	
30	電圧指令FB (フィードバック) 生成部	20
33	端子電圧制御部	
34	速度制御部	
40	電圧制御器	
41, 55, 56	リミッタ	
42	速度制御器	
43	速度制限電流生成器	
45	絶対値演算器	
46	コサイン演算器	
47	サイン演算器	
51, 65	反転器	30
53, 54, 60, 61, 62, 63, 64	乗算器	
$i_d^*$	d軸電流指令	
$i_d^{* \prime}$	d軸分担電流指令	
$i_q^*$	q軸電流指令	
$i_q^{* \prime}$	q軸分担電流指令	
$v_d^*$	d軸電圧指令	
$v_q^*$	q軸電圧指令	
$v_d^{* \prime}$	d軸非干渉電圧FF (フィードフォワード) 補償	
$v_q^{* \prime}$	q軸非干渉電圧FF (フィードフォワード) 補償	
$v^*$	端子電圧指令	40
$v_1^*$	電圧指令フィードバック	
$i_1^*$	速度偏差電流指令	
$V_u^*$	U相交流電圧指令	
$V_v^*$	V相交流電圧指令	
$V_w^*$	W相交流電圧指令	
$i_{d1}^*$	端子電流指令	
$i^*$	外部電流指令	
$i_1^*$	電流指令	
	電流位相角指令	
$max$	制限速度指令	50

- i u U相交流電流フィードバック
- i v V相交流電流フィードバック
- i w W相交流電流フィードバック
- i d d軸電流フィードバック
- i q q軸電流フィードバック
- i 1<sub>LMT</sub> 速度制限電流
- 1 速度フィードバック
- 1 回転子電気角速度
- e 電気角
- N<sub>p</sub> 極対数
- 0 定格角速度
- base 基底角速度
- v 1 端子電圧偏差
- 速度偏差
- X d ^ d軸リアクタンス同定値
- X q ^ q軸リアクタンス同定値
- e c ^ 逆起電圧定数
- e<sub>bus</sub> 直流バス電圧

【図1】

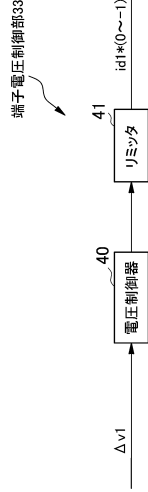


【図2】

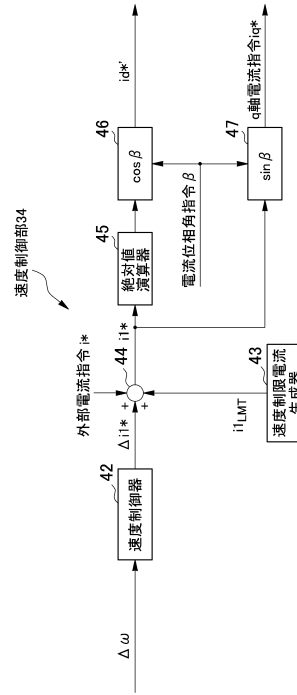




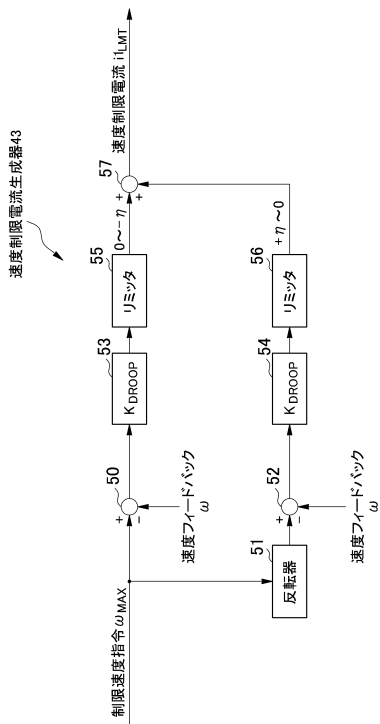
【図3】



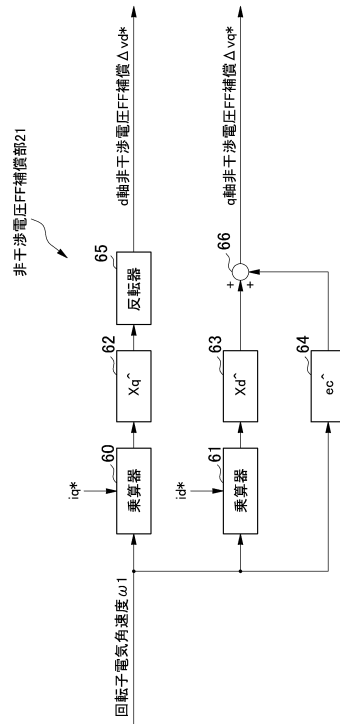
【図4】



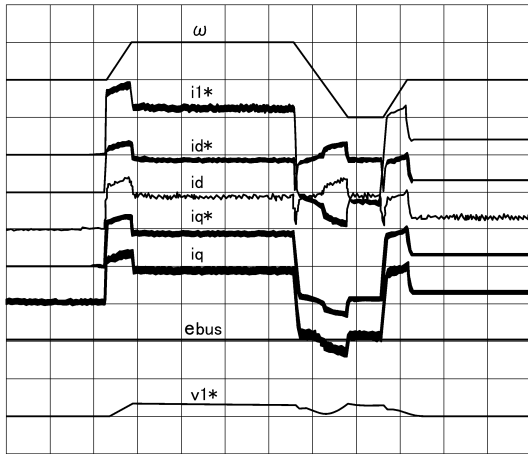
【図5】



【図6】

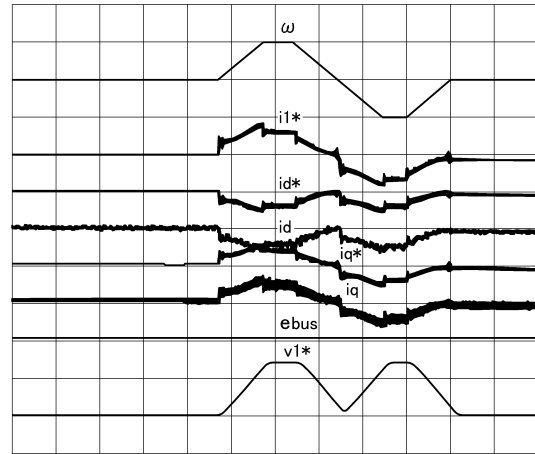


【 図 7 】



シンクロナスリラクタンスモータの測定結果

【 図 8 】



IPMシンクロナスモータの測定結果

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-121855(JP,A)  
特開2001-251889(JP,A)  
中国特許出願公開第101194415(CN,A)  
米国特許出願公開第2015/0333681(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02P 21/22  
G05B 11/32