

(11) 特許出願公開番号

特開2020-43631

(P2020-43631A)

(43) 公開日 令和2年3月19日 (2020.3.19)

(51) Int.Cl.

F 1

テーマコード (参考)

H02P 21/22 (2016.01)

H02P 21/22

5H505

H02P 27/06 (2006.01)

H02P 27/06

H02P 25/024 (2016.01)

H02 P 25/024

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2018-167039 (P2018-167039)

(22) 出願日 平成30年9月6日 (2018.9.6)

(71) 出願人 502129933

株式会社日立産機システム

東京都千代田区神田練塀町3番地

(74) 代理人 110002066

特許業務法人筒井国際特許事務所

(72) 発明者 高野 裕理

東京都千代田区神田練塀町 3 番地 株式会
社日立産機システム内

(72) 発明者 大橋 敬典

東京都千代田区神田練塀町3番地 株式会社
日立産機システム内

(72) 発明者 高田 英人

東京都千代田区神田練塀町3番地 株式会社
日立産機システム内

[最終頁に続く](#)

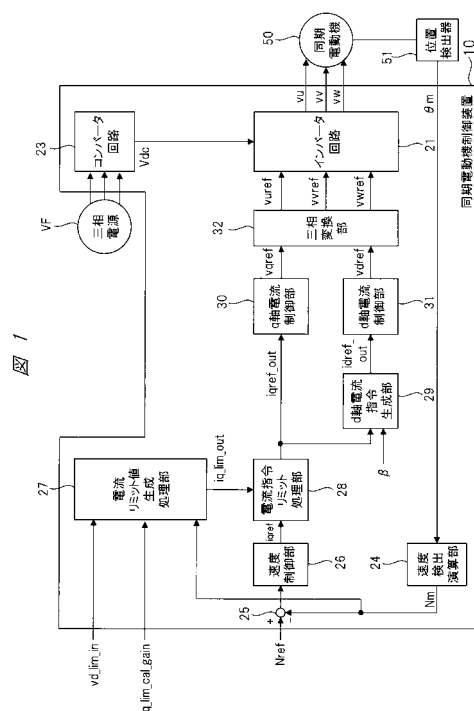
(54) 【発明の名称】 同期電動機制御装置

(57) 【要約】

【課題】同期電動機制御装置の電源電圧が低下した場合でも、高速域において余分に出力トルクを低減しすぎることなく、同期電動機の急激な出力トルク低下を抑制する。

【解決手段】同期電動機制御装置 10 において、電流リミット値生成処理部 27 は、同期電動機 50 の速度検出値、d 軸電圧の制限値を示す d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ 、および q 軸電流指令値を導出する演算乗数値を示す電流指令リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ に基づいて、同期電動機 50 の電圧飽和を制限する q 軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_out}$ を導出する。電流指令リミット処理部 28 は、電流リミット値生成処理部 27 が導出した q 軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_out}$ に基づいて、q 軸電流指令値を制限する。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

三相電源を入力として直流電圧を出力するコンバータ回路から前記直流電圧を印加され、同期電動機に対して三相電圧指令を印加するインバータ回路と、

前記同期電動機の回転速度を設定する速度指令値と前記同期電動機の回転速度を示す速度検出値との差分に応じて q 軸電流指令値を演算する速度制御部と、

前記同期電動機の電圧飽和を制限する電流指令リミット値を出力する電流リミット値生成処理部と、

前記電流リミット値生成処理部から出力される前記電流指令リミット値に基づいて、前記速度制御部が演算した前記 q 軸電流指令値を抑制する q 軸電流制限指令値を生成する電流指令リミット処理部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記 q 軸電流制限指令値に基づいて、任意の起磁力相差角に従って d 軸電流指令値を生成する d 軸電流指令生成部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記 q 軸電流制限指令値に基づいて、q 軸電圧指令値を生成する q 軸電流制御部と、

前記 d 軸電流指令生成部が生成する前記 d 軸電流指令値に基づいて、d 軸電圧指令値を生成する d 軸電流制御部と、

前記 q 軸電流制御部が生成する前記 q 軸電圧指令値および前記 d 軸電流制御部が生成する d 軸電圧指令値を前記三相指令値に変換する三相変換部と、

を有し、

前記電流リミット値生成処理部は、前記同期電動機の速度検出値、d 軸電圧の制限値を示す d 軸電圧制限値、および q 軸電流指令リミット値を導出する演算乗数値を示す電流指令リミット値演算ゲインをパラメータとして前記同期電動機の負荷の変化に応じた前記電流指令リミット値を導出し、

前記電流指令リミット処理部は、前記電流リミット値生成処理部が導出した前記電流指令リミット値に基づいて、前記 q 軸電流指令値を制限する、同期電動機制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の同期電動機制御装置において、

前記電流リミット値生成処理部に入力される前記 d 軸電圧制限値および前記電流指令リミット値演算ゲインは、外部から入力される、同期電動機制御装置。

【請求項 3】

三相電源を入力として直流電圧を出力するコンバータ回路から前記直流電圧を印加され、同期電動機に対して三相電圧指令を印加するインバータ回路と、

前記同期電動機の回転速度を設定する速度指令値と前記同期電動機の速度を示す速度検出値との差分に応じて q 軸電流指令値を演算する速度制御部と、

前記同期電動機の電圧飽和を抑制する電流指令リミット値を出力する電流リミット値生成処理部と、

前記電流リミット値生成処理部から出力される前記電流指令リミット値に基づいて、前記速度制御部が演算した前記 q 軸電流指令値を制限する q 軸電流制限指令値を生成する電流指令リミット処理部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記 q 軸電流制限指令値に基づいて、任意の起磁力相差角に従って d 軸電流指令値を生成する d 軸電流指令生成部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記 q 軸電流制限指令値に基づいて、q 軸電圧指令値を生成する q 軸電流制御部と、

前記 d 軸電流指令生成部が生成する前記 d 軸電流指令値に基づいて、d 軸電圧指令値を生成する d 軸電流制御部と、

前記 q 軸電流制御部が生成する前記 q 軸電圧指令値および前記 d 軸電流制御部が生成する d 軸電圧指令値を前記三相指令値に変換する三相変換部と、

を有し、

前記電流リミット値生成処理部は、前記同期電動機の速度検出値、前記インバータ回路

10

20

30

40

50

に供給される前記直流電圧、d軸電圧制限値を導出する演算乗数値を示すd軸電圧制限値演算ゲイン、d軸電圧の制限値を導出するオフセット値を示すd軸電圧制限値演算オフセット、およびq軸電流指令リミット値を導出する演算乗数値を示すq軸電流指令値リミット値演算ゲインをパラメータとして前記インバータ回路に供給される前記直流電圧の変化に応じた前記電流指令リミット値を導出し、

前記電流指令リミット処理部は、前記電流リミット値生成処理部が導出した前記電流指令リミット値に基づいて、前記q軸電流指令値を制限する、同期電動機制御装置。

【請求項4】

請求項3記載の同期電動機制御装置において、

前記電流リミット値生成処理部に入力される前記d軸電圧制限値演算ゲイン、前記d軸電圧制限値演算オフセット、および前記q軸電流指令値リミット値演算ゲインは、外部から入力される、同期電動機制御装置。

【請求項5】

三相電源を入力として直流電圧を出力するコンバータ回路から前記直流電圧を印加され、同期電動機に対して三相電圧指令を印加するインバータ回路と、

前記同期電動機の転速度を設定する速度指令値と前記同期電動機の色度を示す速度検出値との差分に応じてq軸電流指令値を演算する速度制御部と、

前記同期電動機の電圧飽和を抑制する電流指令リミット値を出力する電流リミット値生成処理部と、

前記電流リミット値生成処理部から出力される前記電流指令リミット値に基づいて、前記速度制御部が演算した前記q軸電流指令値を制限するq軸電流制限指令値を生成する電流指令リミット処理部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記q軸電流制限指令値に基づいて、任意の起磁力相差角に従ってd軸電流指令値を生成するd軸電流指令生成部と、

前記電流指令リミット処理部が生成する前記q軸電流制限指令値に基づいて、q軸電圧指令値を生成するq軸電流制御部と、

前記d軸電流指令生成部が生成する前記d軸電流指令値に基づいて、d軸電圧指令値を生成するd軸電流制御部と、

前記q軸電流制御部が生成する前記q軸電圧指令値および前記d軸電流制御部が生成するd軸電圧指令値を前記三相指令値に変換する三相変換部と、

を有し、

前記電流リミット値生成処理部は、前記同期電動機の速度検出値、前記インバータ回路に供給される前記直流電圧、d軸電圧制限値を導出する演算乗数値を示すd軸電圧制限値演算ゲイン、d軸電圧の制限値を導出するオフセット値を示すd軸電圧制限値演算オフセット、q軸電流指令リミット値を導出する演算乗数値を示すq軸電流指令値リミット値演算ゲイン、制限するq軸電流指令値の最大値を示すq軸電流指令値リミット値、q軸電流指令値を切り替える演算乗数値を示すq軸電流指令値リミット値切り替え速度演算ゲイン、およびq軸電流指令の切り替え速度を導出するオフセット値を示すq軸電流指令リミット値切り替え速度演算オフセットをパラメータとして前記インバータ回路に供給される前記直流電圧の変化および前記同期電動機の回転速度に応じた前記電流指令リミット値を導出し、

前記電流指令リミット処理部は、前記電流リミット値生成処理部が導出した前記電流指令リミット値に基づいて、前記q軸電流指令値を制限する、同期電動機制御装置。

【請求項6】

請求項5記載の同期電動機制御装置において、

前記電流リミット値生成処理部に入力される前記d軸電圧制限値演算ゲイン、前記d軸電圧制限値演算オフセット、前記q軸電流指令値リミット値演算ゲイン、前記q軸電流指令値リミット値、前記q軸電流指令値リミット値切り替え速度演算ゲイン、および前記q軸電流指令リミット値切り替え速度演算オフセットは、外部から入力される、同期電動機制御装置。

10

20

30

40

50

【請求項 7】

請求項 6 記載の同期電動機制御装置において、
前記電流リミット値生成処理部は、前記電流指令リミット値を一次遅れフィルタ処理する一次遅れフィルタを有する、同期電動機制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、同期電動機制御装置に関し、特に、同期電動機における飽和電圧によるトルク低下の低減に有効な技術に関する。

【背景技術】

10

【0002】

同期電動機の制御方法として、例えばベクトル制御や電流制御などが知られている。ベクトル制御は、電動機の磁極方向にとられる d 軸とこれに直交する q 軸とに流れる電流をそれぞれ独立に調整して制御するものである。また、電流制御は、例えば比例積分 (PI) 方式によって電流の制御を行なうものである。

【0003】

リラクタンストルクを利用する同期電動機では、同期電動機制御装置より印加する電流に対して、インダクタンスが変化する。そのため、同期電動機の速度に対する駆動電圧は、非線形特性となる。

【0004】

20

このとき、同期電動機制御装置の電源電圧が低下した場合は、電圧飽和によって同期電動機の実出力トルクが急激に低下する。また、電圧飽和となると、同期電動機の電流制御特性が悪化して、急激な回転速度の落ち込みやトルクリプルが発生するなどの問題がある。

【0005】

この種の同期電動機における出力トルクの低下を解決する技術としては、同期電動機制御装置の電源電圧が低下した場合でも、電源電圧に合わせて電圧飽和が発生しないように電流指令値に対して電流制限処理を施すものが知られている (例えば特許文献 1 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

30

【特許文献 1】特開 2015-35923 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した特許文献 1 の技術において、例えば電圧飽和が発生しないように電流指令値に対して電流制限処理を施す場合は、同期電動機の速度に対する一次関数として電流制限値を導出する。

【0008】

しかしながら、電源電圧と電圧飽和限界となる電流制限値との関係性は、一次関数ではない。そのため、この電流制限値を一次関数で設定することによって電圧飽和は、発生しないものの、同期電動機の速度によっては、電流指令値を必要以上に制限してしまい、その結果、出力トルクが制限されてしまう恐れがある。

40

【0009】

本発明の目的は、同期電動機制御装置の電源電圧が低下した場合でも、高速域において余分に出力トルクを低減しすぎることなく、同期電動機の急激な出力トルク低下を抑制することのできる技術を提供することにある。

【0010】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴については、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 1 1 】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【 0 0 1 2 】

すなわち、代表的な同期電動機制御装置は、インバータ回路、速度制御部、電流リミット値生成処理部、電流指令リミット処理部、d軸電流指令生成部、q軸電流制御部、d軸電流制御部、および三相変換部を有する。

【 0 0 1 3 】

インバータ回路は、直流電圧から三相電圧指令を生成して、生成した三相電圧指令を同期電動機に印加する。速度制御部は、同期電動機の回転速度を設定する速度指令値と同期電動機の回転速度を示す速度検出値との差分に応じてq軸電流指令値を演算する。

10

【 0 0 1 4 】

電流リミット値生成処理部は、同期電動機の電圧飽和を抑制する電流指令リミット値を出力する。電流指令リミット処理部は、電流リミット値生成処理部から出力される電流指令リミット値に基づいて、速度制御部が演算したq軸電流指令値を制限するq軸電流制限指令値を生成する。

【 0 0 1 5 】

d軸電流指令生成部は、電流指令リミット処理部が生成するq軸電流制限指令値に基づいて、任意の起磁力相差角に従ってd軸電流指令値を生成する。q軸電流制御部は、電流指令リミット処理部が生成するq軸電流制限指令値に基づいて、q軸電圧指令値を生成する。

20

【 0 0 1 6 】

d軸電流制御部は、d軸電流指令生成部が生成するd軸電流指令値に基づいて、d軸電圧指令値を生成する。三相変換部は、q軸電流制御部が生成するq軸電圧指令値およびd軸電流制御部が生成するd軸電圧指令値を三相指令値に変換する。

【 0 0 1 7 】

また、電流リミット値生成処理部は、同期電動機の速度検出値、d軸電圧の制限値を示すd軸電圧制限値、およびq軸電流指令リミット値を導出する演算乗数値を示す電流指令リミット値演算ゲインをパラメータとして前記同期電動機の負荷の変化に応じた電流指令リミット値を導出する。電流指令リミット処理部は、電流リミット値生成処理部が導出した電流指令リミット値に基づいて、q軸電流指令値を制限する。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【 0 0 1 9 】

(1) 同期電動機の急激なトルク変動を軽減することができる。

【 0 0 2 0 】

(2) 上記 (1) により、同期電動機の動作を安定化させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

40

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】 実施の形態 1 による同期電動機制御装置における構成の一例を示すブロック図である。

【 図 2 】 図 1 の同期電動機制御装置によって制御される同期電動機のトルク - 速度特性の一例を示した説明図である。

【 図 3 】 図 1 の同期電動機制御装置におけるd軸電圧 v_d およびq軸電圧 v_q における電圧ベクトルを示す説明図である。

【 図 4 】 同期電動機におけるトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

【 図 5 】 電圧飽和現象を説明する説明図である。

【 図 6 】 実施の形態 2 による同期電動機制御装置における構成の一例を示すブロック図で

50

ある。

【図 7】図 6 の同期電動機制御装置が有する電流リミット値生成処理部における構成の一例を示す説明図である。

【図 8】実施の形態 2 による同期電動機におけるトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

【図 9】実施の形態 3 による同期電動機制御装置における構成の一例を示す説明図である。

【図 10】図 9 の同期電動機制御装置が有する電流リミット値生成処理部における構成の一例を示す説明図である。

【図 11】実施の形態 3 による同期電動機におけるトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0022】

実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0023】

(実施の形態 1)

以下、実施の形態を詳細に説明する。

【0024】

同期電動機制御装置の構成例

20

図 1 は、本実施の形態 1 による同期電動機制御装置 10 における構成の一例を示すブロック図である。

【0025】

同期電動機制御装置 10 は、同期電動機 50 の回転動作を制御する。同期電動機 50 は、例えばサーボモータなどからなる。この同期電動機 50 には、位置検出器 51 が接続されている。位置検出器 51 は、同期電動機 50 の回転子位置 θ_m を検出する。

【0026】

同期電動機制御装置 10 は、図 1 に示すように、インバータ回路 21、コンバータ回路 23、速度検出演算部 24、減算器 25、速度制御部 26、電流リミット値生成処理部 27、電流指令リミット処理部 28、d 軸電流指令生成部 29、q 軸電流制御部 30、d 軸電流制御部 31、および三相変換部 32 などから構成されている。

30

【0027】

なお、図 1 の例では、同期電動機制御装置 10 がコンバータ回路 23 を備えて構成された例を示したが、該コンバータ回路 23 は、同期電動機制御装置 10 の外部に設けるようにしてもよい。

【0028】

インバータ回路 21 は、同期電動機 50 に三相電圧指令 v_u, v_v, v_w をそれぞれ印加する。コンバータ回路 23 は、三相電源 V_F を直流電圧 V_{dc} に変換してインバータ回路 21 に供給する。三相電源 V_F は、三相交流電源である。

【0029】

40

速度検出演算部 24 は、位置検出器 51 が検出した回転子位置 θ_m から同期電動機 50 の回転速度である速度検出値 N_m を演算する。減算器 25 は、速度指令値 N_{ref} と速度検出演算部 24 が演算した速度検出値 N_m との差分を演算する。

【0030】

速度指令値 N_{ref} は、外部に設けられる上位の制御装置から入力される。例えば同期電動機 50 がプレス機などに用いられている場合、上位の制御装置は、該プレス機の制御を司る制御装置などであり、プレス機を駆動する同期電動機への回転速度指令値が出力される。

【0031】

速度制御部 26 は、減算器 25 の演算結果に基づいて、q 軸の電流を制御する q 軸電流

50

指令値 i_{qref} を演算する。電流リミット値生成処理部 27 は、速度検出演算部 24 から出力される速度検出値 N_m 、パラメータである d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ 、および演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ に基づいて、q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を生成して出力する。

【0032】

d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ は、d 軸電圧の制限値を示す。演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ は、q 軸電流指令値を導出する演算乗数値を示す。

【0033】

これら d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ および演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ などのパラメータは、例えば同期電動機制御装置 10 に外部接続されるパーソナルコンピュータなどによって設定される。あるいは、ディップスイッチなどを用いてパラメータを設定するようにしてもよい。

【0034】

電流指令リミット処理部 28 は、電流リミット値生成処理部 27 が生成した q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ から速度制御部 26 が演算した q 軸電流指令値 i_{qref} を制限する q 軸電流指令値 i_{qref_out} を出力する。

【0035】

d 軸電流指令生成部 29 は、電流指令リミット処理部 28 から出力される q 軸電流指令値 i_{qref_out} に基づいて、d 軸（磁界成分）と電機子起磁力中心との相角度である起磁力相角度 β に従って d 軸電流指令値 i_{dref_out} を出力する。

【0036】

q 軸電流制御部 30 は、電流指令リミット処理部 28 から出力される q 軸電流指令値 i_{qref_out} に基づいて、q 軸電圧指令値 v_{qref} を演算する。d 軸電流制御部 31 は、q 軸電流指令値 i_{qref_out} に基づいて、d 軸電圧指令値 v_{dref} を演算する。

【0037】

三相変換部 32 は、q 軸電流制御部 30 が出力する q 軸電圧指令値 v_{qref} および d 軸電流制御部 31 が出力する d 軸電圧指令値 v_{dref} を三相指令値 v_{uref} , v_{vref} , v_{wref} に変換してインバータ回路 21 に供給する。

【0038】

続いて、同期電動機制御装置 10 が有する電流リミット値生成処理部 27 の動作について詳しく説明する。

【0039】

図 2 は、図 1 の同期電動機制御装置 10 によって制御される同期電動機 50 のトルク - 速度特性の一例を示した説明図である。

【0040】

図 2 の一点鎖線は、リラクタンストルクを利用する同期電動機 50 の設計上におけるトルク - 速度特性を示したものである。ここでは、コンバータ回路 23 から出力される直流電圧 V_{dc} の低下は考慮しないものとしており、該直流電圧 V_{dc} は、例えば 270 V 程度とする。

【0041】

図 2 に示すように、同期電動機 50 の最高速度 N_{max} で負荷トルクを上げていくと、あるトルクから速度が線形特性に近い特性をもって低下していく。また、このときの直流電圧 V_{dc} (= 270 V) を基準電圧と呼ぶことにする。

【0042】

しかし、直流電圧 V_{dc} が低くなった場合 ($V_{dc} < 270 V$) は、q 軸電流制御部 30 もしくは d 軸電流制御部 31 の電流指令にて同期電動機 50 に電圧飽和が発生して、図 2 の実線に示すように、電圧飽和開始点から非線形特性によって速度が低下する。

【0043】

この速度低下の原因である電圧飽和現象について、図 3 を用いて説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

図 3 は、図 1 の同期電動機制御装置 1 0 における d 軸電圧 v_d および q 軸電圧 v_q における電圧ベクトルを示す説明図である。

【 0 0 4 5 】

d 軸電圧 v_d の最大値を電圧 v_{d_max} とし、q 軸（トルク成分）電圧 v_q の最大値を電圧 v_{q_max} とすると、インバータ回路 2 1 が出力可能な電圧の最大値は、図 3 に示すように、円形になる。

【 0 0 4 6 】

電圧ベクトルの長さが、この円内であれば電圧飽和は発生しない。逆に、電圧ベクトル B のように、この円の外側になると、電圧飽和が発生する。電圧飽和を抑制するためには、図 3 に示す電圧ベクトル A のように、この円内に収まるようにベクトルの長さを抑制する必要がある。

10

【 0 0 4 7 】

そこで、同期電動機制御装置 1 0 において、電流リミット値生成処理部 2 7 は、q 軸電流制御部 3 0 あるいは d 軸電流制御部 3 1 の電流指令によって電圧飽和が発生しない電流指令の制限値、すなわち q 軸電流リミット値を導出する。

【 0 0 4 8 】

電流リミット値生成処理部 2 7 は、上述した q 軸電流リミット値を以下の原理から導出する。

【 0 0 4 9 】

20

電流リミット値生成処理部 2 7 は、d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ と電動機速度 N_m に従って、q 軸電流リミット値を導出する。具体的には、同期電動機の d 軸電圧方程式の干渉項から導出する。

【 0 0 5 0 】

一般的に、d q 座標表現での同期電動機の電圧方程式は、以下に示す式 (1) のとおりである。式 (1) の同期電動機の電圧方程式において、干渉項は、式 (2) のとおりであり、d 軸電圧方程式の干渉項は v_{od} である。

【 0 0 5 1 】

式 (1) および式 (2) において、 v_d は d 軸電圧、 v_q は q 軸電圧、 v_{od} は d 軸の干渉電圧、 v_{oq} は q 軸の干渉電圧、 i_d は d 軸電流、 i_q は q 軸電流、 R は同期電動機の巻線抵抗値、 L_d は同期電動機の d 軸のインダクタンス値、 L_q は同期電動機の q 軸のインダクタンス値、 ω は同期電動機の電気角速度、 Ψ_a は同期電動機の鎖交磁束である。

30

【 0 0 5 2 】

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{od} \\ v_{oq} \end{bmatrix} \quad \cdots(1)$$

$$\begin{bmatrix} v_{od} \\ v_{oq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_q \\ \omega L_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Psi_a \end{bmatrix} \quad \cdots(2)$$

40

次に、電流リミット値生成処理部 2 7 による具体的な q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ の導出方法について、数式を用いて説明する。

【 0 0 5 3 】

電流リミット値生成処理部 2 7 は、電動機速度 N_m に従って、以下の式 (3) を用いて、q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を導出する。また、q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ の値が負の値となった場合は、q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out} = 0$ とする。ここでは、電動機速度 N_m の単位として $[min^{-1}]$ を想定している。また、式 (3) における P_p は同期電動機の極対数である。

【 0 0 5 4 】

50

式(3)の v_{dlim_in} は、次のように事前に導出する。

【0055】

【数2】

$$i_{q_lim_out} = (v_{dlim_in} \times i_{q_lim_cal_gain}) / (N_m \times (2\pi/60) \times P_p) \quad \dots(3)$$

同期電動機が最高回転数（電気角速度）にて駆動している時に印加される電流値 i_d 、 i_q を同期電動機の d 軸電圧方程式の干渉項（式(2)）に代入することによって v_{od} を導出して、この時の v_{od} を v_{dlim_in} とする。

10

【0056】

v_{od} は、式(2)によれば、同期電動機の回転数（電気角速度） ω にて値が変化しますが、この回転数 ω を上記のように最高回転数（電気角速度）[固定値]として代入することによって式(3)を簡略化する。これにより、同期電動機制御装置10の演算処理負荷を軽減することができる。

【0057】

また、q 軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ は、式(4)により、事前に導出する。

【0058】

【数3】

20

$$i_{q_lim_cal_gain} = 1 / L_q \quad \dots(4)$$

以上のように、電流リミット値生成処理部27にて導出した q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ に従って電流指令を制限するリミット処理を施すことによって、同期電動機50の負荷が過大になった際でも、q 軸電流制御部30あるいは d 軸電流制御部31からの電流指令による電圧飽和の発生を抑制することができる。

【0059】

図4は、同期電動機におけるトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

【0060】

30

図4において、一点鎖線にて示すトルク - 速度特性Cは、同期電動機が出力可能なトルク - 速度特性である。点線にて示すトルク - 速度特性Dは、電圧飽和の対策として課題にて述べた同期電動機の速度に対する一次関数として電流制限値を導出した際のトルク - 速度特性である。実線にて示すトルク - 速度特性Eは、電流リミット値生成処理部27が導出した電圧飽和が発生しない電流指令の制限値である q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を用いた際のトルク - 速度特性である。

【0061】

q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ は、d 軸電圧方程式から導出しているので、電圧飽和が発生しない境界レベルの値とすることができる。すなわち、図4の実線にて示すトルク - 速度特性Eのように、高速域において余分に出力トルクを低減しすぎることなく、同期電動機の急激な出力トルク低下を抑制することができる。

40

【0062】

それにより、同期電動機50を安定して動作させることのできる同期電動機制御装置10を提供することができる。

【0063】

（実施の形態2）

実施の形態1では、コンバータ回路23が出力する直流電圧 V_{dc} が略一定値であることを前提として、q 軸電流リミット値を導出したが、本実施の形態2においては、コンバータ回路23が出力する直流電圧 V_{dc} の電圧が降下した場合に、その電圧降下分を考慮して q 軸電流リミット値を導出する例について説明する。

50

【 0 0 6 4 】

図 6 は、本実施の形態 2 による同期電動機制御装置 1 0 における構成の一例を示すブロック図である。

【 0 0 6 5 】

図 6 に示す同期電動機制御装置 1 0 が前記実施の形態 1 の図 1 に示す同期電動機制御装置 1 0 と異なっているところは、外部から入力されるパラメータである。図 6 に示す同期電動機制御装置 1 0 では、d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in}$ のパラメータの代わりに、d 軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ および d 軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ の 2 つのパラメータが新たに電流リミット値生成処理部 2 7 に入力される。また、電流リミット値生成処理部 2 7 に直流電圧 V_{dc} が入力されているところも図 1 に示す同期電動機制御装置 1 0 と異なっている点である。

10

【 0 0 6 6 】

d 軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ は、d 軸電圧制限値を導出する演算乗数値を示す。d 軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ は、d 軸電圧の制限値を導出するオフセット値を示す。その他の接続構成については、図 1 と同様であるので説明は省略する。

【 0 0 6 7 】

電流リミット値生成処理部 2 7 は、速度検出演算部 2 4 から出力される速度検出値 N_m 、コンバータ回路 2 3 が出力する直流電圧 V_{dc} 、電流リミット値を生成するパラメータである d 軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ 、d 軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ 、および q 軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ に基づいて、q 軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_out}$ を生成して出力する。

20

【 0 0 6 8 】

つづいて、直流電圧 V_{dc} と電圧飽和現象の関係性について説明する。

【 0 0 6 9 】

図 5 は、電圧飽和現象を説明する説明図である。

【 0 0 7 0 】

この図 5 は、d 軸電圧 v_d および q 軸電圧 v_q における電圧ベクトルを示している。図 5 において、直流電圧 V_{dc} が基準電圧である $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ の場合は、d 軸電圧 v_d および q 軸電圧 v_q の最大値は、それぞれ電圧 v_{d_max1} 、電圧 v_{q_max1} であり、図 6 のインバータ回路 2 1 が出力可能な電圧の最大値は、図 5 に示すインバータ回路出力電圧最大値 $C1$ ように円形になる。

30

【 0 0 7 1 】

このとき、電圧ベクトルの長さが、この円内であれば電圧飽和は発生しない。逆に、電圧ベクトルの長さが、電圧ベクトル $B1$ に示すように、この円の外側の領域（図 6 のハッチングにて示す領域）になると、電圧飽和が発生する。電圧飽和を抑制するためには、電圧ベクトル $A1$ に示すように、この円内に収まるようにベクトルの長さを抑制する必要がある。

【 0 0 7 2 】

また、直流電圧 V_{dc} が最低電圧値である $v_{d_lim_in_v_{dc_min}} (< v_{d_lim_in_v_{dc_base}})$ の場合は、d 軸電圧 v_d および q 軸電圧 v_q の最大値は、それぞれ電圧 v_{d_max2} 、電圧 v_{q_max2} であり、インバータ回路 2 1 が出力可能な電圧の最大値は、図 5 のインバータ回路出力電圧最大値 $C2$ に示す円形になる。

40

【 0 0 7 3 】

直流電圧 V_{dc} が $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ の場合と同様に、電圧飽和を抑制するためには、図 5 の電圧ベクトル $A2$ に示すように、この円内に収まるようにベクトルの長さを抑制する必要がある。

【 0 0 7 4 】

50

直流電圧 V_{dc} の大小関係と同様に、電圧ベクトルの長さは、式 (5) の関係となる。

【0075】

【数4】

$$|\text{電圧ベクトル}A2| < |\text{電圧ベクトル}A1| \quad \dots(5)$$

よって、上記のように、直流電圧 V_{dc} が変化する場合は、電圧飽和現象を抑制するために直流電圧 V_{dc} に従って最大の電圧ベクトル長を抑制する必要がある。

【0076】

図7は、図6の同期電動機制御装置10が有する電流リミット値生成処理部27における構成の一例を示す説明図である。 10

【0077】

電流リミット値生成処理部27は、図7に示すように、d軸電圧制限値生成処理部35およびq軸電流制限値生成処理部36から構成されている。d軸電圧制限値生成処理部35には、直流電圧 V_{dc} 、パラメータであるd軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ 、およびパラメータであるd軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ が入力される。

【0078】

そして、d軸電圧制限値生成処理部35は、直流電圧 V_{dc} 、d軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ 、およびd軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ に基づいて、d軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ を算出して出力する。 20

【0079】

q軸電流制限値生成処理部36には、速度検出値 N_m 、d軸電圧制限値生成処理部35から出力されるd軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ 、およびパラメータであるq軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ がそれぞれ入力される。

【0080】

そして、q軸電流制限値生成処理部36は、入力された速度検出値 N_m 、d軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ 、およびq軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ に基づいて、q軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_out}$ を算出して出力する。 30

【0081】

電流リミット値生成処理部27は、直流電圧 V_{dc} を考慮して、q軸電流制御部30もしくはd軸電流制御部31にて電圧飽和が発生しない電流指令の制限値であるq軸電流リミット値を導出する。

【0082】

電流リミット値生成処理部27は、このq軸電流リミット値を以下の原理から導出している。具体的には、直流電圧 V_{dc} を考慮して、同期電動機50のd軸電圧方程式の干渉項から導出する。

【0083】

続いて、電流リミット値生成処理部27による具体的なq軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ の導出方法を数式を用いて説明する。 40

【0084】

まず、d軸電圧制限値生成処理部35において、以下に示す式(6)にて、計算値であるd軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ を導出する。 V_{dc_base} は、コンバータ回路23が供給する直流電圧 V_{dc} の基準電圧であり、 V_{dc_min} は、コンバータ回路23が供給する直流電圧 V_{dc} の最低電圧である。

【0085】

【数 5】

$$vd_lim_cal = Vdc \times vd_lim_cal_gain + vd_lim_cal_ofst \quad \dots(6)$$

d 軸電圧制限値演算ゲイン $vd_lim_cal_gain$ は、式 (7) により、d 軸電圧制限値 (基準) $vd_lim_in_vdc_base$ 、d 軸電圧制限値 $vd_lim_in_vdc_min$ 、直流電圧の基準電圧 Vdc_base 、直流電圧の最低電圧 Vdc_min を代入することによって事前に導出する。

【0086】

【数 6】

$$vd_lim_cal_gain = (vd_lim_in_vdc_base - vd_lim_in_vdc_min) / (Vdc_base - Vdc_min) \quad \dots(7)$$

10

また、d 軸電圧制限値演算オフセット $vd_lim_cal_ofst$ においても、式 (8) により、d 軸電圧制限値演算ゲイン $vd_lim_cal_gain$ 、d 軸電圧制限値 $vd_lim_in_vdc_base$ 、直流電圧の基準電圧 Vdc_base を代入することにより、事前に導出する。

【0087】

【数 7】

$$vd_lim_cal_ofst = vd_lim_in_vdc_base - (vd_lim_cal_gain \times Vdc_base) \quad \dots(8)$$

20

$vd_lim_in_vdc_base$ は、直流電圧 $Vdc = Vdc_base$ の場合、同期電動機が最高回転数 (電気角速度) で駆動している時に印加する電流値 id 、 iq を同期電動機の d 軸電圧方程式の干渉項 (式 (2)) に代入することによって vod を導出する。この時の vod は、 $vd_lim_in_vdc_base$ として事前に設定する。

【0088】

また、 $vd_lim_in_vdc_min$ は、直流電圧 $Vdc = Vdc_min$ の場合、同期電動機が最高回転数 (電気角速度) で駆動している時に印加する電流値 id 、 iq を同期電動機の d 軸電圧方程式の干渉項 (式 (2)) に代入することによって vod を導出する。この時の vod を $vd_lim_in_vdc_min$ として事前に設定する。

30

【0089】

q 軸電流制限値生成処理部 36 は、速度検出値 Nm に従って、式 (9) にて q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out を導出する。また、q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out の値が負の値となった場合は、 $iq_lim_out = 0$ とする。ここでは、速度検出値 Nm の単位は $[min^{-1}]$ を想定している。また、 Pp は同期電動機の極対数である。

【0090】

【数 8】

$$iq_lim_out = (vd_lim_cal \times iq_lim_cal_gain) / (Nm \times (2\pi/60) \times Pp) \quad \dots(9)$$

40

また、q 軸電流指令値リミット値演算ゲイン $iq_lim_cal_gain$ は、上記した式 (4) により、事前に導出する。

【0091】

以上のように、電流リミット値生成処理部 27 にて導出した q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out に従って電流指令リミット処理を施すことによって、たとえ直流電圧 Vdc が変動する場合であっても、同期電動機 50 の負荷が過大になった際の電圧飽和の発生を抑制することができる。

50

【 0 0 9 2 】

図 8 は、本実施の形態 2 による同期電動機におけるトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

【 0 0 9 3 】

図 8 において、点線にて示すトルク-速度特性 A 3 は、直流電圧 V_{dc} が d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ である場合の同期電動機が出力可能なトルク - 速度特性である。一点鎖線にて示す示すトルク-速度特性 A 4 は、直流電圧 V_{dc} が d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in_v_{dc_min}}$ である場合の同期電動機が出力可能なトルク - 速度特性を示している。

【 0 0 9 4 】

実太線にて示すトルク - 速度特性 C 1 は、直流電圧 V_{dc} が d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in_v_{dc_min}}$ の場合において、電圧飽和が発生しない電流指令の制限値である q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を用いた際のトルク - 速度特性である。

【 0 0 9 5 】

実細線にて示すトルク-速度特性 C 2 は、直流電圧 V_{dc} が d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ の場合において、電圧飽和が発生しない電流指令の制限値である q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を用いた際のトルク - 速度特性である。

【 0 0 9 6 】

上述したように q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ は、d 軸電圧方程式から導出しているので、電圧飽和が発生しない境界レベルでの値とすることができる。すなわち、図 8 のトルク - 速度特性 C 1 , C 2 に示すように、同期電動機 50 の高速回転域において余分に出力トルクを低減させることなく、該同期電動機 50 の急激な出力トルクの低下を抑制することができる。

【 0 0 9 7 】

以上により、同期電動機 50 をより安定して動作させることのできる同期電動機制御装置 10 を提供することができる。

【 0 0 9 8 】

(実施の形態 3)

前記実施の形態 2 では、コンバータ回路 23 が出力する直流電圧 v_{dc} の電圧が降下した際に、その電圧降下分を考慮して q 軸電流リミット値を導出していた。q 軸電流リミット値の導出の基準となる d 軸電圧制限値 (基準) $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ および d 軸電圧制限値 (最低) $v_{d_lim_in_v_{dc_min}}$ は、いずれも同期電動機 50 が最高速度にて運転している場合の値としている。

【 0 0 9 9 】

そのため、低速域では、電圧飽和せずに印加することのできる軸電流値に対して、q 軸電流リミット値が小さくなり、同期電動機 50 が出力可能なトルクに対して出力トルクが小さくなる場合がある。

【 0 1 0 0 】

そこで、本実施の形態 3 においては、コンバータ回路 23 が出力する直流電圧 V_{dc} が電圧降下した場合であっても、その電圧降下分と同期電動機 50 の速度とを考慮して、該同期電動機 50 が効率的にトルクを出力することのできる q 軸電流リミット値を導出する例について説明する。

【 0 1 0 1 】

図 9 は、本実施の形態 3 による同期電動機制御装置 10 における構成の一例を示す説明図である。

【 0 1 0 2 】

図 9 に示す同期電動機制御装置 10 が、前記実施の形態 2 の図 6 に示す同期電動機制御装置 10 と異なるところは、電流リミット値生成処理部 27 に入力されるパラメータである。

10

20

30

40

50

【0103】

図9の同期電動機制御装置10では、図6の電流リミット値生成処理部27に入力されるq軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ とd軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ に加えて、q軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_max}$ 、q軸電流指令値リミット値切り替え速度演算ゲイン $N_{chg_cal_gain}$ 、およびq軸電流指令値リミット値切り替え速度演算オフセット $N_{chg_cal_offset}$ が新たに電流リミット値を生成するパラメータとして入力される構成となっている。q軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_max}$ は、q軸電流指令値リミット値の最大値である。

【0104】

電流リミット値生成処理部27は、これら入力されるパラメータに基づいて、q軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を生成して出力する。その他の接続構成については、図6の同期電動機制御装置10と同様であるので説明は省略する。

【0105】

図10は、図9の同期電動機制御装置10が有する電流リミット値生成処理部27における構成の一例を示す説明図である。

【0106】

電流リミット値生成処理部27は、図10に示すように、d軸電圧制限値生成処理部35、q軸電流制限値生成処理部36、q軸電流制限値切替速度生成処理部37、q軸電流制限値切替処理部38、および一次遅れフィルタ39から構成されている。

【0107】

d軸電圧制限値生成処理部35は、コンバータ回路23が出力する直流電圧 V_{dc} 、d軸電圧制限値演算ゲイン $v_{d_lim_cal_gain}$ 、およびd軸電圧制限値演算オフセット $v_{d_lim_cal_offset}$ に基づいて、d軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ を生成して出力する。

【0108】

q軸電流制限値生成処理部36は、速度検出演算部24から出力される速度検出値 N_m 、d軸電圧制限値生成処理部35から出力されるd軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ 、およびパラメータであるq軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ に基づいて、q軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_cal}$ を生成して出力する。

【0109】

q軸電流制限値切替速度生成処理部37は、直流電圧 V_{dc} 、パラメータであるq軸電流指令値リミット値切り替え速度演算ゲイン $N_{chg_cal_gain}$ 、およびq軸電流指令値リミット値切り替え速度演算オフセット $N_{chg_cal_offset}$ に基づいて、q軸電流指令値を切り替えるq軸電流指令値リミット値切り替え速度 N_{chg_lvl} を生成して出力する。

【0110】

q軸電流制限値切替処理部38は、速度検出値 N_m 、q軸電流制限値生成処理部36から出力されるq軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_cal}$ 、q軸電流制限値切り替え速度生成処理部37から出力されるq軸電流指令値リミット値切り替え速度 N_{chg_lvl} 、およびパラメータであるq軸電流指令値リミット値(最大) $i_{q_lim_max}$ に基づいて、q軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_set}$ を生成して出力する。

【0111】

一次遅れフィルタ39は、例えばローパスフィルタなどからなり、q軸電流制限値切替処理部38から出力されるq軸電流指令値リミット値 $i_{q_lim_set}$ を一次遅れフィルタ処理を施してq軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ を出力する。

【0112】

このように、電流リミット値生成処理部27は、直流電圧 V_{dc} の電圧レベルを考慮して、q軸電流制御部30もしくはd軸電流制御部31にて電圧飽和が発生しないように電

10

20

30

40

50

流指令の制限値、すなわち q 軸電流リミット値を導出する。

【 0 1 1 3 】

電流リミット値生成処理部 27 は、q 軸電流リミット値を以下の原理にて導出している。具体的には、q 軸電流リミット値は、直流電圧 V_{dc} を考慮して、同期電動機 50 の d 軸電圧方程式の干渉項から導出する。加えて、この導出結果を速度検出値 N_m に基づいて q 軸電流指令値リミット値（最大） $i_{q_lim_max}$ に切り替えている。

【 0 1 1 4 】

続いて、電流リミット値生成処理部 27 における具体的な q 軸電流指令リミット値 $i_{q_lim_out}$ の導出方法について数式を用いて説明する。

【 0 1 1 5 】

まず、d 軸電圧制限値生成処理部 35 が、上記した式 (6) ~ 式 (8) にて d 軸電圧制限値 $v_{d_lim_cal}$ を導出する。そして、q 軸電流制限値生成処理部 36 が、速度検出値 N_m に従って、式 (10) から q 軸電流リミット値 $i_{q_lim_cal}$ を導出する。

【 0 1 1 6 】

また、q 軸電流リミット値 $i_{q_lim_cal}$ が負の値となった場合は、 $i_{q_lim_cal} = 0$ とする。ここでは、速度検出値 N_m の単位は $[min^{-1}]$ を想定している。また、 P_p は同期電動機の極対数である。

【 0 1 1 7 】

【数 9】

$$i_{q_lim_cal} = (v_{d_lim_cal} \times i_{qlim_cal_gain}) / (N_m \times (2\pi/60) \times P_p) \quad \dots(10)$$

(式) 7 における $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ は、コンバータ回路 23 から出力される直流電圧 $V_{dc} = V_{dc_base}$ の場合において、同期電動機 50 が最高回転数（電気角速度）で駆動している時に印加する電流値 i_d 、 i_q を同期電動機 50 の d 軸電圧方程式の干渉項（式 (2)）に代入することで v_{od} を導出し、この時の v_{od} を $v_{d_lim_in_v_{dc_base}}$ として事前に設定する。

【 0 1 1 8 】

また、式 (7) の $v_{d_lim_in_v_{dc_min}}$ は、直流電圧 $V_{dc} = V_{dc_min}$ の場合において、同期電動機 50 が最高回転数（電気角速度）で駆動している時に印加する電流値 i_d 、 i_q を同期電動機 50 の d 軸電圧方程式の干渉項（式 (2)）に代入することで v_{od} を導出し、この時の v_{od} を $v_{d_lim_in_v_{dc_min}}$ として事前に設定する。

【 0 1 1 9 】

また、q 軸電流指令値リミット値演算ゲイン $i_{q_lim_cal_gain}$ は、前記式 (4) により、事前に導出する。

【 0 1 2 0 】

q 軸電流制限値切り替え速度生成処理部 37 は、式 (11) を用いて d 軸電圧制限値 N_chg_lvl を導出する。

【 0 1 2 1 】

【数 10】

$$N_chg_lvl = V_{dc} \times N_chg_cal_gain + N_chg_cal_ofst \quad \dots(11)$$

q 軸電流指令値リミット値切り替え速度演算ゲイン $N_chg_cal_gain$ は、式 (12) を用いて事前に導出する。ここで、式 (12) における $N_chg_lvl_base$ は、直流電圧 V_{dc} が基準電圧の時の同期電動機 50 の q 軸電流指令値リミット値の切り替え点である。同じく式 (12) における $N_chg_lvl_min$ は、直流電圧 V_{dc} が最低電圧の時の q 軸電流指令値リミット値の切り替え点を示す。

【 0 1 2 2 】

10

20

30

40

50

【数 1 1】

$$N_chg_cal_gain = (N_chg_lvl_base - N_chg_lvl_min) / (Vdc_base - Vdc_min) \quad \dots(12)$$

また、q 軸電流指令値リミット値切り替え速度演算オフセット $N_chg_cal_ofst$ は、式 (13) を用いて事前に導出する。

【0 1 2 3】

【数 1 2】

$$N_chg_cal_ofst = N_chg_lvl_base - (N_chg_cal_gain \times Vdc_base) \quad \dots(13)$$

10

また、q 軸電流制限値切替処理部 38 において、式 (14) にて q 軸電流指令値リミット値 iq_lim_set を導出する。

【0 1 2 4】

【数 1 3】

$$\begin{aligned} iq_lim_set &= iq_lim_cal && : Nm \geq N_chg_lvl \text{ の場合} \\ &= iq_lim_max && : Nm < N_chg_lvl \text{ の場合} \end{aligned} \quad \dots(14)$$

q 軸電流制限値切替処理部 38 は、q 軸電流指令値リミット値 iq_lim_set を切り替えした際に発生する同期電動機 50 の切り替えショックを軽減するために、一次遅れフィルタ 39 によって q 軸電流指令値リミット値 iq_lim_set に対して一次遅れフィルタ処理を施した後、q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out を出力する。

20

【0 1 2 5】

このように、一次遅れフィルタ 39 によるフィルタ処理を行うことによって、同期電動機 50 に供給される電流値を滑らかに変化させることができるので、該同期電動機 50 の急激な回転変化を防止することができる。

【0 1 2 6】

以上のように、電流リミット値生成処理部 27 が導出した q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out に従って電流指令リミット処理を施すことによって、直流電圧 Vdc が時変する場合においても、同期電動機 50 の負荷が過大になった際に q 軸電流制御部 30 もしくは d 軸電流制御部 31 にて圧飽和が発生することを抑制することができる。

30

【0 1 2 7】

さらに、この q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out は、d 軸電圧方程式から導出しているので、電圧飽和が発生しないレベルでの値とすることができる。また、同期電動機 50 の速度を監視して、q 軸電流指令リミット値を q 軸電流指令値リミット値 (最大) iq_lim_max へ切り替えることにより、低速域において q 軸電流リミット値を過度に小さくしすぎないようにすることができる。

【0 1 2 8】

図 11 は、直流電圧 Vdc が変化する場合における同期電動機 50 のトルク - 速度特性の一例を示す説明図である。

40

【0 1 2 9】

図 11 において、点線にて示すトルク - 速度特性 A3 は、直流電圧 Vdc が d 軸電圧制限値 $vd_lim_in_vd_base$ である場合の同期電動機が出力可能なトルク - 速度特性である。

【0 1 3 0】

一点鎖線にて示すトルク - 速度特性 A6 は、直流電圧 Vdc が d 軸電圧制限値 $vd_lim_in_vd_min$ である場合の同期電動機が出力可能なトルク - 速度特性である。

【0 1 3 1】

実太線にて示すトルク - 速度特性 C3 は、直流電圧 Vdc が d 軸電圧制限値 vd_li

50

$m_in_vdc_base$ の場合において、電圧飽和が発生しない電流指令の制限値である q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out を用いた際のトルク - 速度特性である。

【0132】

実細線にて示すトルク - 速度特性 $C4$ は、直流電圧 Vdc が d 軸電圧制限値 $vd_lim_in_vdc_min$ の場合において、電圧飽和が発生しない電流指令の制限値である q 軸電流指令リミット値 iq_lim_out を用いた際のトルク - 速度特性である。

【0133】

上述したように、直流電圧 Vdc の電圧が低下しても、同期電動機 50 の速度を考慮して q 軸電流リミット値を q 軸電流指令値リミット値（最大） iq_lim_max へ切り替えることにより、図 11 のトルク - 速度特性 $C3$, $C4$ に示すように、同期電動機 50 の低速域ならびに高速域において、余分に出力トルクを低減しすぎることなく、同期電動機 50 の急激な出力トルク低下を抑制することができる。

【0134】

これにより、直流電圧 Vdc の電圧が低下した場合であっても、その電圧降下分および同期電動機 50 の速度を考慮して、効率的に同期電動機 50 のトルクを出力させることができる。

【0135】

よって、同期電動機 50 をより一層安定して動作させることができる。

【0136】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0137】

なお、本発明は上記した実施の形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施の形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

【0138】

また、ある実施の形態の構成の一部を他の実施の形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施の形態の構成に他の実施の形態の構成を加えることも可能である。また、各実施の形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることが可能である。

【符号の説明】

【0139】

- 10 同期電動機制御装置
- 21 インバータ回路
- 23 コンバータ回路
- 24 速度検出演算部
- 25 減算器
- 26 速度制御部
- 27 電流リミット値生成処理部
- 28 電流指令リミット処理部
- 29 d 軸電流指令生成部
- 30 q 軸電流制御部
- 31 d 軸電流制御部
- 32 三相変換部
- 35 d 軸電圧制限値生成処理部
- 36 q 軸電流制限値生成処理部
- 37 q 軸電流制限値切替速度生成処理部
- 38 q 軸電流制限値切替処理部

10

20

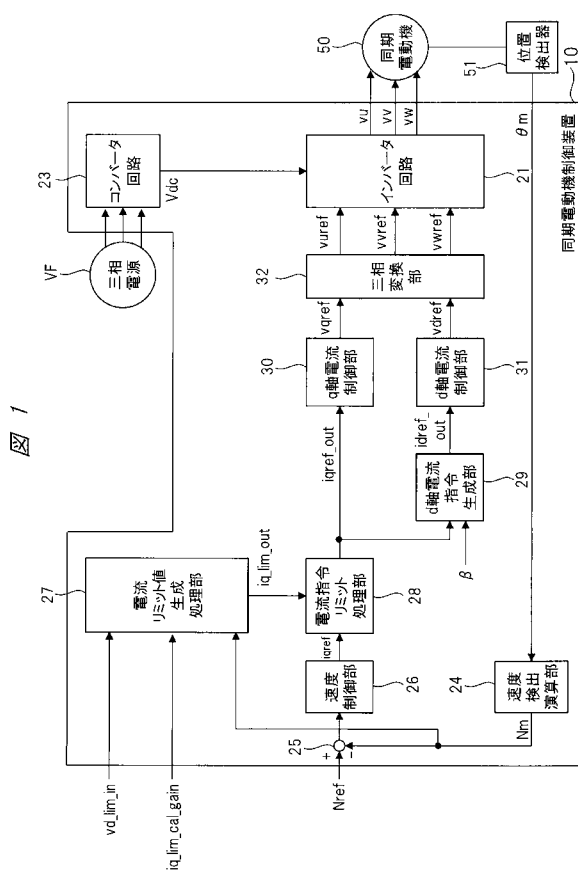
30

40

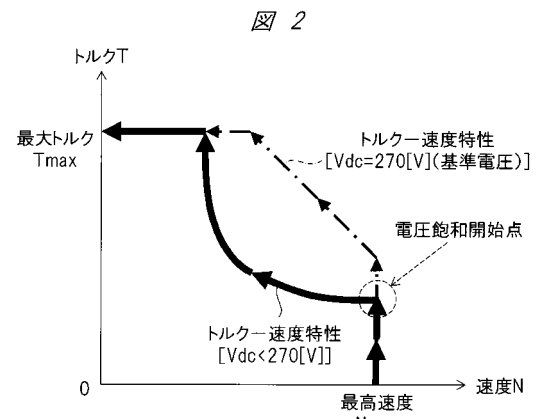
50

- 3 9 一次遅れフィルタ
 5 0 同期電動機
 5 1 位置検出器

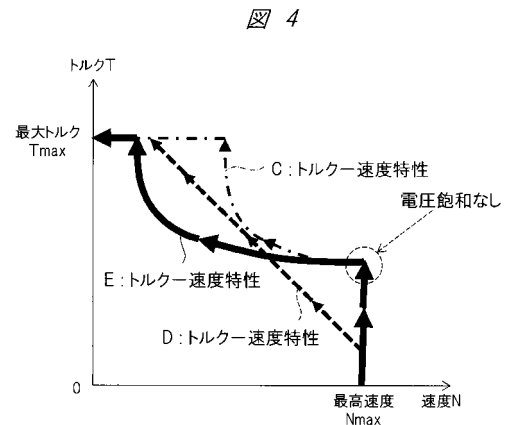
【図 1】



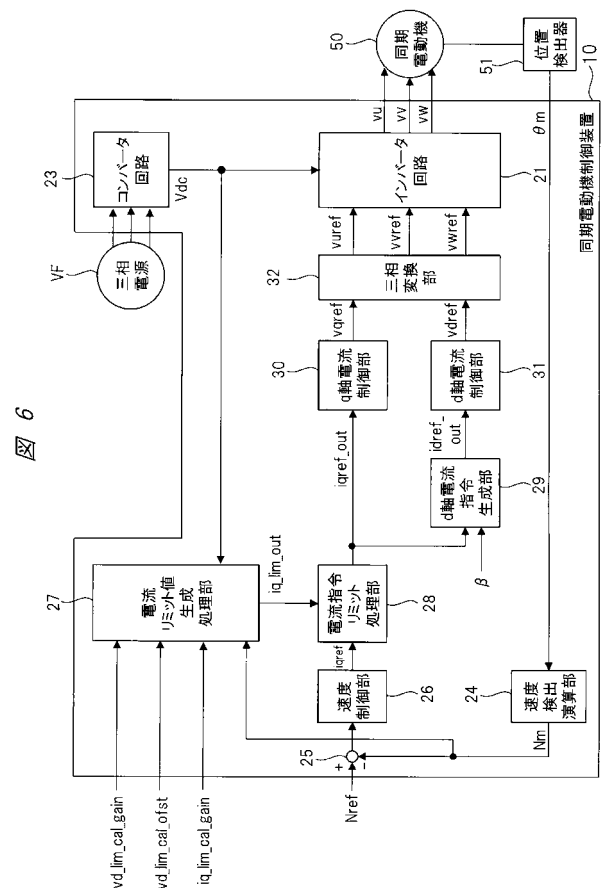
【図 2】



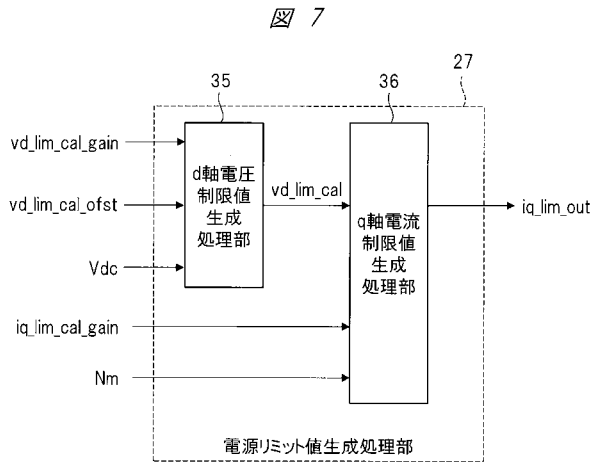
【 図 4 】



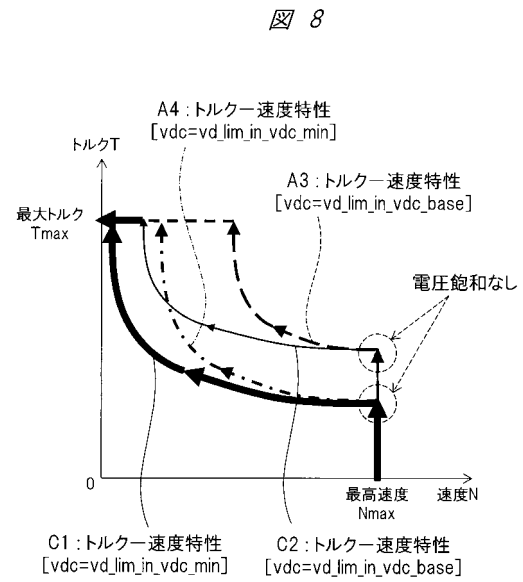
【 図 6 】



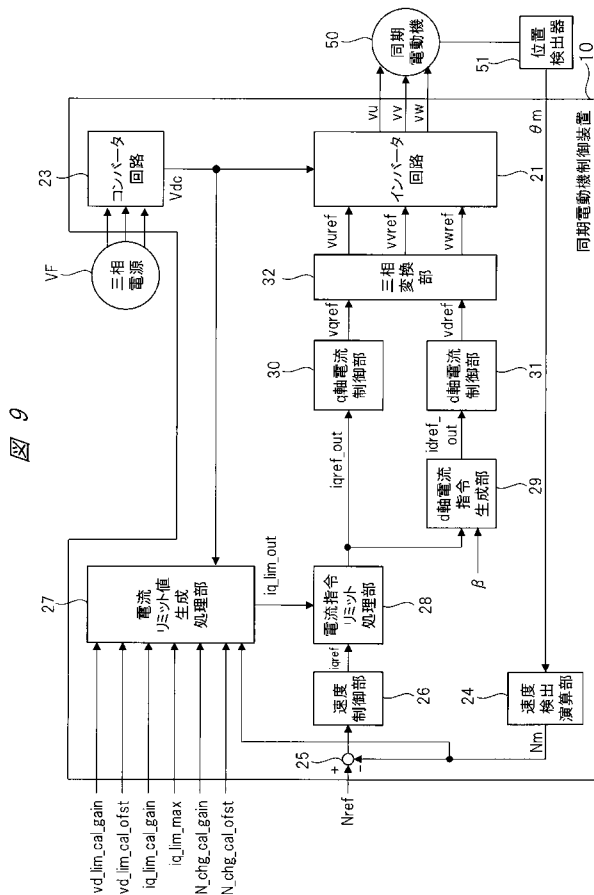
【図 7】



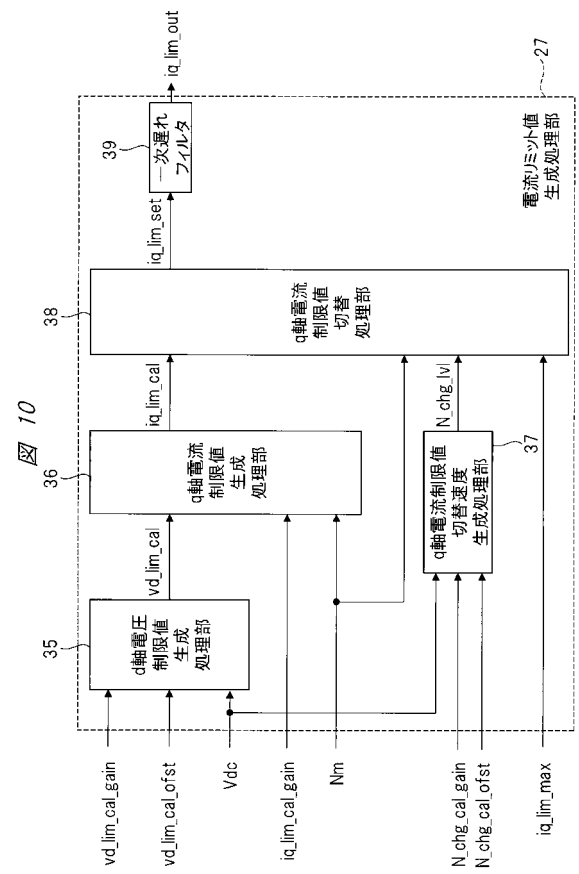
【図 8】



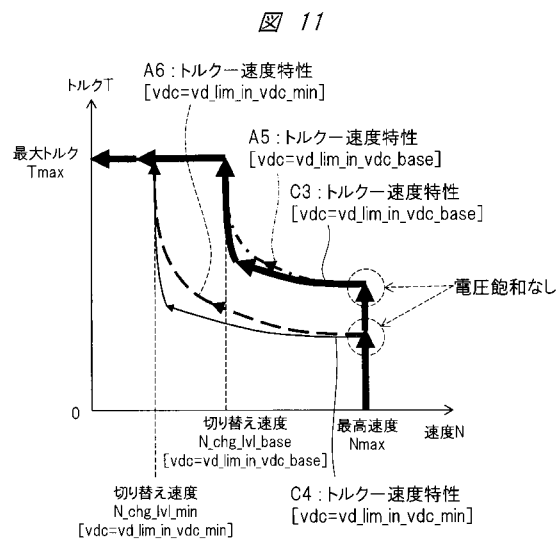
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 梁田 哲男

東京都千代田区神田練堀町 3 番地 株式会社日立産機システム内

(72)発明者 藤澤 勸也

東京都千代田区神田練堀町 3 番地 株式会社日立産機システム内

F ターム(参考) 5H505 CC05 DD03 DD06 EE07 EE41 GG02 GG08 HB01 JJ26 JJ28
LL01 LL24 LL41 MM16