

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4768366号  
(P4768366)

(45) 発行日 平成23年9月7日(2011.9.7)

(24) 登録日 平成23年6月24日(2011.6.24)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO2P</b>	<b>6/16</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>HO2P</b>	<b>6/02</b>	<b>341N</b>
<b>HO2P</b>	<b>9/48</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>HO2P</b>	<b>9/48</b>	<b>A</b>
<b>HO2P</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>HO2P</b>	<b>9/00</b>	<b>F</b>

請求項の数 10 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2005-252299 (P2005-252299)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成17年8月31日 (2005.8.31)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2007-68345 (P2007-68345A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成19年3月15日 (2007.3.15)	(74) 代理人	100075557
審査請求日	平成20年3月18日 (2008.3.18)		弁理士 西教 圭一郎
		(74) 代理人	100072235
			弁理士 杉山 毅至
		(74) 代理人	100101638
			弁理士 廣瀬 峰太郎
		(72) 発明者	澤田 正志
			兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 同期機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

インバータ回路から交流電力を与えることによって同期電動機を回転駆動する同期電動機の制御装置であって、

同期電動機を流れる電流に基づいて、同期電動機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、

推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置とに基づいて、磁極の角速度が予め定められる角速度となるように、インバータ回路にゲート信号を与える制御部とを有し、

制御部は、同期電動機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始したときのインバータ回路におけるデッドタイムを、同期電動機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのインバータ回路におけるデッドタイムよりも広くすることを特徴とする同期電動機の制御装置。

10

【請求項2】

推定部は、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とで推定方法を異ならせることを特徴とする請求項1記載の同期電動機の制御装置。

【請求項3】

粗推定期間において、

制御部は、デッドタイムを広げた状態から、同期電動機を流れる電流が予め定める設

20

定電流値となるように、デッドタイムを調整し、

推定部は、デッドタイムに基づいて、磁極の角速度と角度位置とを推定することを特徴とする請求項 2 記載の同期電動機の制御装置。

【請求項 4】

粗推定期間において、

制御部は、デッドタイムを広げた状態から、デッドタイムが時間経過とともに狭まるように変化させることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の同期電動機の制御装置。

【請求項 5】

同期発電機から与えられる交流電力を、コンバータ回路によって整流する同期発電機の制御装置であって、

同期発電機を流れる電流に基づいて、同期発電機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、

推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置に、コンバータ回路の動作が追従するように、コンバータ回路にゲート信号を与える制御部とを有し、

制御部は、同期発電機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始したときのコンバータ回路におけるデッドタイムを、同期発電機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのコンバータ回路のデッドタイムよりも広くすることを特徴とする同期発電機の制御装置。

【請求項 6】

推定部は、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とで、推定方法を異ならせることを特徴とする請求項 5 記載の同期発電機の制御装置。

【請求項 7】

粗推定期間において、

制御部は、デッドタイムを広げた状態から、同期発電機から流れる電流が予め定める設定電流値となるように、デッドタイムを調整し、

推定部は、デッドタイムに基づいて、磁極の角速度と角度位置とを推定することを特徴とする請求項 6 記載の同期発電機の制御装置。

【請求項 8】

粗推定期間において、

制御部は、デッドタイムを広げた状態から、デッドタイムが時間経過とともに狭まるように変化させることを特徴とする請求項 5 または 6 記載の同期発電機の制御装置。

【請求項 9】

インバータ回路から交流電力を与えることによって同期電動機を回転駆動する同期電動機の制御方法であって、

同期電動機を流れる電流に基づいて、同期電動機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定し、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始したときのインバータ回路におけるデッドタイムを、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのインバータ回路のデッドタイムよりも広くし、

推定結果に基づいて、インバータ回路にゲート信号を与えることを特徴とする同期電動機の制御方法。

【請求項 10】

同期発電機から与えられる交流電力を、コンバータ回路によって整流する同期発電機の制御方法であって、

同期発電機を流れる電流実測値に基づいて、同期発電機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定し、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始したときのコンバータ回路におけるデッドタイムを、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのコンバータ回路のデッドタイムよりも広くし、

10

20

30

40

50

推定結果に基づいて、コンバータ回路にゲート信号を与えることを特徴とする同期発電機の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、角度センサレスの同期機について、回転子が回転した状態から始動制御することができる制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術の技術として、電車車両用の換気装置に同期電動機が用いられることがある。この換気装置は、車両に供給される電力によって、同期電動機を回転制御し、車内を換気する。無電区間であるセクションを車両が通過するときには、車両に電力が供給されず、換気装置は、瞬時停電状態となる。

10

【0003】

セクション通過後には、換気装置は、再び電力が供給され、同期電動機の回転制御を再開する。このとき換気装置は、同期電動機の回転子が回転した状態で回転制御を開始することになる。換気装置は、回転制御を開始するにあたって、同期電動機のロータの角度および角速度を、推定する必要がある。回転子の角度および角速度の推定が正確でないと、インバータ電圧の大きさと位相とが、電動機の誘起電圧の大きさと位相とに対応せず、同期電動機およびインバータ回路に過電流が流れたり、過電圧が発生したりするおそれがある。この場合、換気装置に多大な負荷がかかり、装置が損傷するおそれがある。

20

【0004】

上記の問題を解決する方法として、従来、次の対策がとられている。(1)同期電動機の誘起電圧を検出する電圧センサを用いる。(2)初期電流を流し、それによりオブザーバを用いて推定する(特許文献1参照)。(3)電流および電圧容量の大きな部品を用いる。(4)回転子の回転が停止してから制御を開始する。

【0005】

【特許文献1】特開2004-40837号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0006】

上述した各方法には、次のような問題点がある。(1)電圧センサを用いることでコスト増およびメンテナンス性の低下を招く。(2)オブザーバによる推定が完了するまでの初期段階に発生する過電流を抑制することができない。(3)容量の大きな部品を用いることで装置の大形化、重量化およびコスト増を招く。(4)回転子の回転が停止してから制御を開始すると、所定回転速度に回転するまでに時間を費やす。

【0007】

なお、このような問題は、回転した状態で同期機の始動制御を開始する同期機の制御装置全般に生じる。たとえば同期発電機を用いた風力発電装置におけるコンバータ制御なども同様の問題が生じる。したがって本発明の目的は、回転子が回転した状態から始動制御を開始するときに、過電流が発生することを防ぐことができる同期機の制御装置を提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、インバータ回路から交流電力を与えることによって同期電動機を回転駆動する同期電動機の制御装置であって、

同期電動機を流れる電流に基づいて、同期電動機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、

推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置とに基づいて、磁極の角速度が予め定められる角速度となるように、インバータ回路にゲート信号を与える制御部とを有し、

50

制御部は、同期電動機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始したときのインバータ回路におけるデッドタイムを、同期電動機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのインバータ回路におけるデッドタイムよりも広くすることを特徴とする同期電動機の制御装置である。

【0009】

また本発明は、推定部は、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とで推定方法を異ならせることを特徴とする。

【0010】

また本発明は、粗推定期間において、  
制御部は、デッドタイムを広げた状態から、同期電動機を流れる電流が予め定める設定電流値となるように、デッドタイムを調整し、  
推定部は、デッドタイムに基づいて、磁極の角速度と角度位置とを推定することを特徴とする。

【0011】

また本発明は、粗推定期間において、  
制御部は、デッドタイムを広げた状態から、デッドタイムが時間経過とともに狭まるように変化させることを特徴とする。

【0012】

また本発明は、同期発電機から与えられる交流電力を、コンバータ回路によって整流する同期発電機の制御装置であって、  
同期発電機を流れる電流に基づいて、同期発電機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、  
推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置に、コンバータ回路の動作が追従するように、コンバータ回路にゲート信号を与える制御部とを有し、  
制御部は、同期発電機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始したときのコンバータ回路におけるデッドタイムを、同期発電機の回転子が回転した状態で推定部が推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのコンバータ回路のデッドタイムよりも広くすることを特徴とする同期発電機の制御装置である。

【0013】

また本発明は、推定部は、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とで、推定方法を異ならせることを特徴とする。

【0014】

また本発明は、粗推定期間において、  
制御部は、デッドタイムを広げた状態から、同期発電機から流れる電流が予め定める設定電流値となるように、デッドタイムを調整し、  
推定部は、デッドタイムに基づいて、磁極の角速度と角度位置とを推定することを特徴とする。

【0015】

また本発明は、粗推定期間において、  
制御部は、デッドタイムを広げた状態から、デッドタイムが時間経過とともに狭まるように変化させることを特徴とする。

【0016】

また本発明は、インバータ回路から交流電力を与えることによって同期電動機を回転駆動する同期電動機の制御方法であって、  
同期電動機を流れる電流に基づいて、同期電動機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定し、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始したときのインバータ回路に

10

20

30

40

50

おけるデッドタイムを、同期電動機の回転子が回転した状態で推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのインバータ回路のデッドタイムよりも広くし、  
推定結果に基づいて、インバータ回路にゲート信号を与えることを特徴とする同期電動機の制御方法である。

【0017】

また本発明は、同期発電機から与えられる交流電力を、コンバータ回路によって整流する同期発電機の制御方法であって、

同期発電機を流れる電流実測値に基づいて、同期発電機の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定し、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始したときのコンバータ回路におけるデッドタイムを、同期発電機の回転子が回転した状態で推定を開始してから  
予め定める条件が成立した後の通常推定期間でのコンバータ回路のデッドタイムよりも広くし、

推定結果に基づいて、コンバータ回路にゲート信号を与えることを特徴とする同期発電機の制御方法である。

【発明の効果】

【0018】

請求項1記載の本発明によれば、回転子の磁極が回転した状態で、磁極の角速度および角度位置の推定結果に基づいて、磁極が予め定める角速度となるように、インバータ回路にゲート信号を与える。なお、磁極の角速度および角度位置の推定は、時間が経過するにつれて、その推定精度が高くなる。言い換えると、推定を開始しはじめた初期期間では、  
推定精度が低い。

【0019】

本発明では、推定部によって推定を開始したときに、インバータ回路におけるデッドタイムが広く設定される。これによって推定開始の初期期間では、インバータ回路から同期電動機に流れる電流が少なくなる。ここで、デッドタイムとは、インバータ回路に含まれるスイッチング素子のうち、直列に接続されるスイッチング素子がともにオフとなる期間である。そして初期期間が終了して通常推定期間に移行すると、デッドタイムを狭める。

【0020】

このように初期期間に同期電動機に流れる電流を少なくすることによって、磁極の角速度と角度位置との推定が正確でなくとも、インバータ回路および同期電動機に流れる電流が過電流となることを抑制することができる。また通常推定期間では、推定開始から時間が経過して推定精度が高くなっているため、デッドタイムを狭めてインバータ回路から同期電動機に流れる電流を大きくしても、インバータ回路および同期電動機に流れる電流が過電流となることが防がれる。また初期期間からの推定結果を利用することによって、通常推定期間での推定精度を高めることができ、同期電動機に与える電流が小さくても、制御部によって同期電動機が発生可能なトルクを大きくすることができる。すなわち同期電動機のトルクを効率よく発生させることができる。

【0021】

また本発明によれば、磁極の角速度および角度位置を推定することによって、磁極の角速度および角度位置を実測するためのセンサを必要とせず、構造を簡略化することができる。大幅なコストダウンを見込めるとともにメンテナンス性を向上することができる。また推定を開始した初期期間における推定精度が低くても、過電流となることを防ぐことができるので、インバータ回路および同期電動機に過大な負荷がかかることを無くすることができる。それらを構成する各素子が損傷することを防ぐことができる。また回転子が停止するまで待たずに、インバータ回路の制御を開始することができるので、時間的ロスをなくすることができる。

【0022】

また請求項2記載の本発明によれば、デッドタイムが異なることによって、誘起電圧が一定であってもインバータ回路から同期電動機に流れる電流が異なる。本発明では、通常推定期間と粗推定期間とで、推定部の推定方法を異ならせることによって、粗推定期間お

10

20

30

40

50

よび通常推定期間での電流値からそれぞれ精度良く磁極の角速度および角度位置を推定することができ、推定精度を向上することができる。たとえば、粗推定期間と通常推定期間とで推定に用いる制御モデルを変更することによって、推定精度を向上することができる。

【 0 0 2 3 】

また請求項 3 記載の本発明によれば、磁極の角速度と角度位置とが推定可能となる電流値が設定電流値として設定されることで、デッドタイムと磁極の角速度および角度位置とを一対一で対応させることができる。これによって推定部は、デッドタイムを求めるだけで、磁極の角速度と角度位置とを容易に推定することができる。また、同期電動機を流れる電流値を指令値として設定し、指令値に達するときのデッドタイムに基づいて磁極の角速度および角度位置を推定することによって、インバータ回路から同期電動機を流れる電流が指令値を超えることを防ぎ、過電流を確実に抑えることができる。

10

【 0 0 2 4 】

また請求項 4 記載の本発明によれば、デッドタイムを広げた状態から時間経過とともに狭まるようにデッドタイムを変化させる。これによって電流値に基づいてデッドタイムを変化させるフィードバック制御を設定する必要がない。たとえば、粗推定期間の終わりのデッドタイムが、通常推定期間に設定されるデッドタイムとほぼ同じとなるように設定することによって、粗推定期間から通常推定期間へ滑らかに移行させることができる。

【 0 0 2 5 】

また請求項 5 記載の本発明によれば、回転子の磁極が回転した状態で、磁極の角速度および角度位置を推定し、推定結果にコンバータ回路の動作が追従するように、コンバータ回路にゲート信号を与える。なお、磁極の角速度および角度位置の推定は、時間が経過するにつれて、その推定精度が高くなる。言い換えると、推定を開始しはじめた初期期間では、推定精度が低い。

20

【 0 0 2 6 】

本発明では、推定部によって推定を開始したときに、コンバータ回路におけるデッドタイムが広く設定される。これによって推定開始の初期期間では、コンバータ回路から同期発電機に流れる電流が少なくなる。ここで、デッドタイムとは、コンバータ回路に含まれるスイッチング素子のうち、直列に接続されるスイッチング素子とともにオフとなる期間である。そして初期期間が終了して通常推定期間に移行すると、デッドタイムを狭める。

30

【 0 0 2 7 】

このように初期期間に同期発電機に流れる電流を少なくすることによって、磁極の角速度と角度位置との推定が正確でなくとも、コンバータ回路および同期発電機に流れる電流が過電流となることを抑制することができる。また通常推定期間では、推定開始から時間が経過して推定精度が高くなっているため、デッドタイムを狭めてコンバータ回路から同期発電機に流れる電流を大きくしても、コンバータ回路および同期発電機に流れる電流が過電流となることが防がれる。また初期期間からの推定結果を利用することによって、通常推定期間での推定精度を高めることができ、同期発電機から与えられる電流が小さくても、制御部によって交流電力を効率よく直流電力に変換することができる。

【 0 0 2 8 】

40

また本発明によれば、磁極の角速度および角度位置を推定することによって、磁極の角速度および角度位置を実測するためのセンサを必要とせず、構造を簡略化することができる。また大幅なコストダウンを見込めるとともにメンテナンス性を向上することができる。また推定開始からの初期期間における推定精度が低くても、過電流となることを防ぐことができるので、コンバータ回路および同期発電機に過大な負荷がかかることを無くすることができる。またそれらを構成する各素子が損傷することを防ぐことができる。また回転子が停止するまで待たずに、コンバータ回路の制御を開始することができるので、時間的ロスをなくすることができる。

【 0 0 2 9 】

また請求項 6 記載の本発明によれば、デッドタイムが異なることによって、誘起電圧が

50

一定であっても同期発電機からコンバータ回路に流れる電流が異なる。本発明では、粗推定期間と通常推定期間とで、推定部の推定方法を異ならせることによって、粗推定期間および通常推定期間での電流値からそれぞれ精度良く磁極の角速度および角度位置を推定することができ、推定精度を向上することができる。たとえば、粗推定期間と通常推定期間とで推定に用いる制御モデルを変更することによって、推定精度を向上することができる。

【0030】

また請求項7記載の本発明によれば、磁極の角速度と角度位置とが推定可能となる電流値が設定電流値として設定されることで、デッドタイムと磁極の角速度および角度位置とを一対一で対応させることができる。これによって推定部は、デッドタイムを求めるだけで、磁極の角速度と角度位置とを容易に推定することができる。また、同期発電機を流れる電流値を指令値として設定し、指令値に達するときのデッドタイムに基づいて磁極の角速度および角度位置を推定することによって、同期発電機からコンバータ回路に流れる電流が指令値を超えることがなく、過電流を確実に抑えることができる。

10

【0031】

また請求項8記載の本発明によれば、デッドタイムを広げた状態から時間経過とともに狭まるようにデッドタイムを変化させる。これによって電流値に基づいてデッドタイムを変化させるフィードバック制御を設定する必要がない。たとえば、粗推定期間の終わりのデッドタイムが、通常推定期間に設定されるデッドタイムとほぼ同じとなるように設定することによって、粗推定期間から通常推定期間へ滑らかに移行させることができる。

20

【0032】

また請求項9記載の本発明によれば、推定を開始した初期期間において、インバータ回路のデッドタイムを広くすることによって、インバータ回路から同期電動機へ流れる電流を小さく抑えた状態で、磁極の角速度および角度位置を推定し、推定した角速度と角度位置とに基づいて、磁極の角速度が予め定める角速度となるように、インバータ回路にゲート信号を与える。これによって初期期間における磁極の角速度および角度位置との推定が正確でなくても、インバータ回路および同期電動機に流れる電流が過電流となることを防ぐことができる。

【0033】

また請求項10記載の本発明によれば、推定を開始した初期期間において、コンバータ回路のデッドタイムを広くすることによって、同期発電機からコンバータ回路へ流れる電流を小さく抑えた状態で、磁極の角速度および角度位置を推定し、推定結果に、コンバータ回路の動作を追従させることができる。これによって粗推定期間における磁極の角速度および角度位置との推定が正確でなくても、コンバータ回路および同期発電機に流れる電流が過電流となることを防ぐことができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

図1は、本発明の実施の第1形態である電動機駆動制御システム20を示すブロック図である。本実施の形態では、電動機駆動制御システム20は、同期電動機21を用いて電車車両を換気する換気装置に用いられる。この場合、車両がセクションを通過するときには車両に電力が供給されず、制御システム20は、瞬時停電状態となる。そしてセクション通過後は、制御システム20は、再び電力が供給され、同期電動機の回転制御を再開する。このとき制御システム20は、同期電動機の回転子が回転した状態で、同期電動機の回転制御を開始することになる。

40

【0035】

制御システム20は、同期電動機21の回転子の磁極の角速度および角度位置を推定して、推定した磁極の角速度および角度位置に基づいて、回転子が所望の角速度で回転するように、同期電動機21に与える交流電圧を調整する。

【0036】

電動機駆動制御システム20は、同期電動機21と、PWMインバータ回路22と、直

50

流回路部 2 3 と、制御装置 2 4 とを含んで構成される。同期電動機 2 1 は、3 相同期モータであり、回転子の角速度を検出するための角度センサが存在せずに、センサレスに構成される。たとえば、同期電動機 2 1 として円筒形ブラシレス DC モータが用いられる。直流回路部 2 3 は、予め定める直流電力を生成する回路であり、電圧センサ 2 9 が設けられる。電圧センサ 2 9 は、直流回路部 2 3 からインバータ回路 2 2 に印加される電圧を示す直流母線電圧信号を制御装置 2 4 に与える。

【 0 0 3 7 】

図 2 は、P W M インバータ回路 2 2 の回路構成の一例を示す図である。P W M (Pulse Width Modulation、パルス幅変調) インバータ回路 2 2 は、たとえば三相のブリッジ回路によって実現される。インバータ回路 2 2 は、直流回路部 2 3 から与えられる直流電力を、3 相の交流電力に変換して同期電動機 2 1 に与える。インバータ回路 2 2 は、3 つの出力端子 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c を有し、それらが接続経路 2 7 a , 2 7 b , 2 7 c を介して、同期電動機 2 1 の 3 つの端子 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c にそれぞれ接続される。

10

【 0 0 3 8 】

インバータ回路 2 2 は、交流電流を各接続経路 2 7 a ~ 2 7 c にそれぞれ流すための複数のスイッチング素子 T r が設けられる。スイッチング素子 T r は、制御装置 2 4 からゲート信号が与えられることによって、オンオフ状態が切換る。スイッチング素子 T r は、オン状態でスイッチング素子 T r の両端の端子間を導通状態とし、オフ状態でスイッチング素子 T r の両端の端子間を遮断状態とする。本実施の形態では、各スイッチング素子 T r は、トランジスタによって実現される。各スイッチング素子 T r には、逆並列にダイオード D がそれぞれ接続される。

20

【 0 0 3 9 】

制御装置 2 4 は、パルス幅変調したゲート信号を各スイッチング素子 T r に与えることによって、1 2 0 度ずつ位相がずれた正弦波形の交流電流を各接続経路 2 7 a ~ 2 7 c に流すことができる。このような交流電流を各接続経路 2 7 a ~ 2 7 c に流すことによって、同期電動機 2 1 の回転子を回転駆動する。制御装置 2 4 は、ゲート信号を調整することで同期電動機 2 1 の回転子の速度を変更することができる。

【 0 0 4 0 】

インバータ回路 2 2 と同期電動機 2 1 とを接続する 3 つの接続経路 2 7 a ~ 2 7 c のうちの 2 つの接続経路 2 7 a , 2 7 c には、電流センサ 2 8 a , 2 8 c が介在される。第 1 の電流センサ 2 8 a は、3 つのうち 1 つの接続経路 2 7 a を流れる電流を実測し、実測値を第 1 電流センサ信号として制御装置 2 4 に与える。第 2 の電流センサ 2 8 c は、3 つのうち他の 1 つの接続経路 2 7 c を流れる電流を実測し、実測値を第 2 電流センサ信号として制御装置 2 4 に与える。このように各電流センサ 2 8 a , 2 8 c は、インバータ回路 2 2 から同期電動機 2 1 に流れる電流を実測し、実測した実測値を電流センサ信号として制御装置 2 4 に与える。

30

【 0 0 4 1 】

制御装置 2 4 は、電圧センサ 2 9 から与えられる直流母線電圧センサ信号と、電流センサ 2 8 から与えられる各電流センサ信号とを取得する。制御装置 2 4 は、取得した電流センサ信号に基づいて、同期電動機 2 1 を流れる電流実測値を判断する。また制御装置 2 4 は、制御装置 2 4 を駆動するための電源装置からの電源供給が停止したあとに電源供給が開始されると、セクション通過を判断し、回転子の磁極の角速度および角度位置の推定開始を判断する。このほか、他の装置から制御開始指令に基づいて、推定開始のタイミングを判断してもよい。

40

【 0 0 4 2 】

制御装置 2 4 は、同期電動機 2 1 を流れる電流実測値に基づいて、同期電動機 2 1 の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置とに基づいて、磁極の角速度が予め定められる角速度となるように、インバータ回路 2 2 の各スイッチング素子 T r にゲート信号をそれぞれ与える制御部とを有する。

50

## 【 0 0 4 3 】

制御部は、推定部による磁極の角速度と角度位置との推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、推定部による推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とを判断する。本実施の形態では、制御部は、推定部による推定を開始してから予め定める時間が経過するまで粗推定期間として判断し、予め定める時間が経過した後、通常推定期間の開始を判断する。また本実施の形態では、制御部は、通常推定期間において、推定部の推定結果に基づいて、インバータ回路 2 2 を介して同期電動機 2 1 を制御する。

## 【 0 0 4 4 】

また粗推定期間は、推定を開始した直後の初期期間を含む。制御部は、粗推定期間におけるデッドタイム  $d_n$  が、通常推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  よりも広く、すなわち長くなるように、インバータ回路 2 2 の各スイッチング素子  $T_r$  にゲート信号を与える。ここで、デッドタイム  $d$  とは、インバータ回路 2 2 に含まれるスイッチング素子  $T_r$  のうち、交流変換に寄与するスイッチング素子  $T_r$  が全てオフ状態となる期間であり、直列に接続されるスイッチング素子  $T_r$  がともにオフとなる期間である。

## 【 0 0 4 5 】

以下、理解を容易にするために、インバータ回路 2 2 を単相のフルブリッジ回路 2 2 A として説明する。図 3 は、インバータ回路 2 2 の一部を、単相のフルブリッジ回路 2 2 A として示す回路図である。フルブリッジ回路 2 2 A は、直流回路部 2 3 からの直流電圧が印加される 2 つの入力端子 4 1, 4 2 に並列に接続される第 1 入力経路 4 3 と第 2 入力経路 4 4 とが形成される。第 1 入力経路 4 3 および第 2 入力経路 4 4 には、2 つのスイッチング素子  $T_{r1U}, T_{r1L}; T_{r2U}, T_{r2L}$  が直列に並んでそれぞれ介在される。また第 1 入力経路 4 3 の 2 つのスイッチング素子  $T_{r1U}, T_{r1L}$  の間の経路部分 9 0 が第 1 出力経路 9 2 を介して第 1 出力端子 2 5 a に連なり、第 2 入力経路 4 4 の 2 つのスイッチング素子  $T_{r2U}, T_{r2L}$  の間の経路部分 9 1 が第 2 出力経路 9 3 を介して第 2 出力端子 2 5 b に連なる。

## 【 0 0 4 6 】

第 1 出力端子 2 5 a と第 2 出力端子 2 5 b とは、連結経路 4 6 によって連結される。連結経路 4 6 は、抵抗  $R$  およびインダクタ  $L$  が直列に接続される。この連結経路 4 6 は、同期電動機 2 1 の 3 つの端子 2 6 a ~ 2 6 c のうちの 2 つの端子間を結ぶ経路に相当する。したがって同期電動機 2 1 の回転子が回転することで、連結経路 4 6 には、誘起電圧  $E_m$  が発生する。

## 【 0 0 4 7 】

2 つの入力端子 4 1, 4 2 のうち、直流回路部 2 3 から印加される電圧に起因して、電位が高いほうの入力端子を第 1 入力端子 4 1 とし、電位が低いほうの入力端子を第 2 入力端子 4 2 とする。各スイッチング素子  $T_r$  は、オン状態では、各入力経路 4 3, 4 4 を第 1 入力端子 4 1 側から第 2 入力端子 4 2 側に電流が流れることを許容する。また各スイッチング素子  $T_r$  に逆並列にそれぞれ接続される各ダイオード  $D$  は、第 2 入力端子 4 2 側から第 1 入力端子 4 1 側に電流が流れることを許容する。

## 【 0 0 4 8 】

第 1 入力経路 4 3 の 2 つのスイッチング素子  $T_{r1U}, T_{r1L}$  のうちの第 1 入力端子 4 1 寄りとなるスイッチング素子を  $T_{r1U}$  とし、第 2 入力端子 4 2 寄りとなるスイッチング素子を  $T_{r1L}$  とする。また第 2 入力経路 4 4 の 2 つのスイッチング素子  $T_{r2U}, T_{r2L}$  のうちの第 1 入力端子 4 1 寄りとなるスイッチング素子を  $T_{r2U}$  とし、第 2 入力端子 4 2 寄りとなるスイッチング素子を  $T_{r2L}$  とする。

## 【 0 0 4 9 】

制御装置 2 4 が、 $T_{r1U}$  と  $T_{r2L}$  とをオン状態とし、 $T_{r2U}$  と  $T_{r1L}$  とをオフ状態とすることによって、連結経路 4 6 を電流が、図 3 の矢符に示す第 1 方向に流れる。また制御装置 2 4 が、 $T_{r1U}$  と  $T_{r2L}$  とをオフ状態とし、 $T_{r2U}$  と  $T_{r1L}$  とをオン状態とすることによって、連結経路 4 6 を電流が、第 1 方向と反対となる第 2 方向に流

10

20

30

40

50

れる。このように制御装置 24 が各スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態を切換えて、連結経路 46 を流れる電流の方向を交互に切換えることで、交流電流を連結経路 46 に流すことができる。この場合、デッドタイム  $d$  は、 $T_{r1U}$  と、 $T_{r1L}$  と、 $T_{r2U}$  と、 $T_{r2L}$  とが全てオフ状態となる期間を意味する。

【0050】

図 4 は、通常推定期間における各スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態を示すタイミングチャートである。

【0051】

直列に接続される 2 つのスイッチング素子  $T_r$  が同時にオン状態となると、直流電源部 23 が短絡して非常に大きな電流が流れ、スイッチング素子  $T_r$  が破壊するおそれがある。このような状態を避けるために、通常推定期間において、直列に接続される 2 つのスイッチング素子  $T_{r1U}$ 、 $T_{r1L}$ ； $T_{r2U}$ 、 $T_{r2L}$  が同時にオン状態にならないようにしたうえで、可及的に狭くなるようにデッドタイム  $d_n$  が設定される。このようなデッドタイム  $d_n$  は、スイッチング素子  $T_r$  の性能に起因して決定される。

【0052】

具体的には、図 4 に示すように、各スイッチング素子  $T_r$  は、交流電流を流すために、PWM キャリア周期  $W_0$  ごとに切換動作を繰り返す。PWM キャリア周期  $W_0$  のうちで、 $T_{r1U}$  および  $T_{r2L}$  がともにオン状態となる第 1 オン期間  $W_1$  と、 $T_{r2U}$  および  $T_{r1L}$  がともにオン状態となる第 2 オン期間  $W_2$  とがそれぞれ設定される。そして第 1 オン期間  $W_1$  が終了してから第 2 オン期間  $W_2$  が開始するまでの期間  $d_{n1}$  と、第 2 オン期間  $W_2$  が終了してから第 1 オン期間  $W_1$  が開始するまでの期間  $d_{n2}$  とがそれぞれデッドタイム  $d_n$  となる。たとえば PWM キャリア周波数が 8 kHz、すなわち PWM キャリア周期  $W_0$  が 125  $\mu$  秒の場合、通常推定期間におけるデッドタイム  $d_{n1}$ 、 $d_{n2}$  は、たとえば 5  $\mu$  秒に設定される。

【0053】

このような通常推定期間における各スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態は、一例である。したがって上述する各スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態とは異なるオンオフ状態が、通常推定期間に行われてもよい。たとえば後述する粗推定期間のように通常推定期間においても、 $T_{r1U}$  および  $T_{r2U}$  がオン状態となる期間  $W_{11}$  と、 $T_{r1L}$  および  $T_{r2L}$  がオン状態となる期間  $W_{12}$  とを設定することに対応して、 $T_{r1U}$  および  $T_{r1L}$  が一対、 $T_{r2U}$  および  $T_{r2L}$  が一対となってオンオフ状態が切換る場合もある。

【0054】

図 5 は、粗推定期間における各スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態を示すタイミングチャートである。本実施の形態では、粗推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  が、通常推定期間におけるデッドタイム  $d_n$  よりも広く設定される。

【0055】

具体的には、図 5 に示すように、各スイッチング素子  $T_r$  は、PWM キャリア周期  $W_0$  ごとに切換動作を繰り返す。PWM キャリア周期  $W_0$  のうちで、 $T_{r1U}$  および  $T_{r2U}$  がともにオン状態となる第 1 オン期間  $W_{11}$  と、 $T_{r1L}$  および  $T_{r2L}$  がともにオン状態となる第 2 オン期間  $W_{12}$  とがそれぞれ設定される。そして第 1 オン期間  $W_{11}$  が終了してから第 2 オン期間  $W_{12}$  が開始するまでの期間  $d_{w1}$  と、第 2 オン期間  $W_{12}$  が終了してから第 1 オン期間  $W_{11}$  が開始するまでの期間  $d_{w2}$  とが、それぞれデッドタイム  $d_w$  となる。たとえば粗推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  は、PWM 周期の 1/2 未満に設定され、一例として PWM キャリア周波数が 8 kHz、すなわち PWM キャリア周期  $W_0$  が 125  $\mu$  秒の場合、粗推定期間におけるデッドタイム  $d_{w1}$ 、 $d_{w2}$  は、たとえば 57  $\mu$  秒に設定される。

【0056】

このように制御装置 24 は、インバータ回路 22A に与えるゲート信号を調整して、粗推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  を、通常推定期間におけるデッドタイム  $d_n$  よりも広くする。言い換えると、制御装置 24 は、粗推定期間のうちの各オン期間  $W_{11}$ 、 $W_{12}$

10

20

30

40

50

の合計期間 ( $W_{11} + W_{12}$ ) を、通常推定期間のうちの各オン期間  $W_1$  ,  $W_2$  の合計期間 ( $W_1 + W_2$ ) よりも狭くする。これによって粗推定期間では、同期電動機 21 から見た電源インピーダンスが等価的に高くなり、連結経路 46 に流れる電流を少なくすることができる。このことは、3相のブリッジ回路 22 であって、同期電動機 21 のインバータ回路 22 にも適用することができる。

【0057】

このようにして粗推定期間に同期電動機 21 に流れる電流を少なくすることによって、粗推定期間での磁極の角速度と角度位置との推定が正確でなくとも、インバータ回路 22 に生じる過電流を抑制することができる。また通常推定期間では、粗推定期間での推定値を用いて、磁極の角速度と角度位置との推定を行う。これによって推定精度が高くなっているため、通常推定期間におけるデッドタイム  $d_n$  を狭めてインバータ回路 22 から同期電動機 21 に流れうる電流が大きくなっても、インバータ回路 22 に過電流が生じることを防ぐことができる。また初期期間からの推定結果を利用して通常推定期間での推定精度を高めて、その推定結果に基づいてインバータ回路 22 を制御することで、同期電動機 21 に与える電流が小さくても、同期電動機 21 が発生可能なトルクを大きくすることができる。すなわち効率よくトルクを発生させることができる。

【0058】

図 6 は、粗推定期間におけるスイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態、誘起電圧  $E_m$ 、線間電圧  $E_a$  および線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。誘起電圧  $E_m$  は、同期電動機 21 の回転子の角変位によって発生する電圧である。線間電圧  $E_a$  は、インバータ回路 22 A において、2つの出力端子 25 a , 25 b の間の電圧である。線間電流  $i_a$  は、連結経路 46 を流れる電流であって、電流センサ 28 a によって検出可能である。線間電流  $i_a$  は、電流が連結経路 46 を図 3 の矢符に示す第 1 方向に流れる場合を、正の値とする。また誘起電圧  $E_m$  は、デッドタイム  $d_w$  において、電流が、図 3 の矢符に示す第 1 方向とは反対の第 2 方向に連結経路 46 を流れる場合を、正の値とする。

【0059】

図 6 において、スイッチング素子  $T_r$  およびダイオード  $D$  による電圧効果がゼロであると仮定する。また PWM キャリア周期  $W_0$  が極めて短いので、1つの PWM キャリア周期  $W_0$  の間における誘起電圧  $E_m$  が一定であると仮定する。また図 6 には、誘起電圧  $E_m$  が負の値である場合を示す。この場合、線間電流  $i_a$  は、デッドタイム  $d_w$  において連結経路 46 を図 3 の矢符に示す第 1 方向に流れる。

【0060】

本実施の形態では、制御装置 24 は、粗推定期間において、1つの PWM キャリア周期  $W_0$  あたりに  $T_{r1U}$  ,  $T_{r2U}$  がオン状態となり、かつ  $T_{r1L}$  ,  $T_{r2L}$  がオフ状態となる第 1 オン期間  $W_{11}$  と、 $T_{r1U}$  ,  $T_{r2U}$  がオフ状態となり、かつ  $T_{r1L}$  ,  $T_{r2L}$  がオン状態となる第 2 オン期間  $W_{12}$  との大きさが一致するようにゲート信号を調整する。言い換えると、インバータ回路 22 の PWM 変調率をゼロに調整する。また第 1 オン期間  $W_{11}$  が終了してから第 2 オン期間  $W_{12}$  が開始するまでの期間である第 1 デッドタイム  $d_{w1}$  と、第 2 オン期間  $W_{12}$  が終了してから第 1 オン期間  $W_{11}$  が開始するまでの期間である第 2 デッドタイム  $d_{w2}$  との大きさが一致するようにゲート信号を調整する。

【0061】

各オン期間  $W_{11}$  ,  $W_{12}$  における線間電圧  $E_a$  の値は、誘起電圧  $E_m$  の正負が反転した値と等しくなる。したがって誘起電圧  $E_m$  の値を  $-V_{E_m}$  とすると、オン期間  $W_{11}$  ,  $W_{12}$  の線間電圧  $E_a$  の値は、 $V_{E_m}$  となる。また連結経路 46 にインダクタ  $L$  が設けられ、インバータ回路 22 にダイオード  $D$  が設けられるので、各デッドタイム  $d_{w1}$  ,  $d_{w2}$  における線間電圧  $E_a$  の値は、インバータ回路 22 の 2つの入力端子 41 , 42 間の電圧である電源電圧  $E$  の値  $V_{P_N}$  の正負が反転した値 ( $-V_{P_N}$ ) と、誘起電圧  $E_m$  の正負が反転した値 ( $V_{E_m}$ ) とを加算した値 ( $-V_{P_N} + V_{E_m}$ ) となる。

【0062】

10

20

30

40

50

このように線間電圧  $E_a$  は、誘起電圧  $E_m$  と、電源電圧  $E$  と、スイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態によってその電圧値が決定される。また線間電流  $i_a$  は、線間電圧  $E_a$  によって、その電流値が決定される。

【0063】

線間電流  $i_a$  は、線間経路 46 に抵抗  $R$  およびインダクタ  $L$  が存在するので、4つの状態  $X_1 \sim X_4$  を繰り返す。まず第1オン期間  $W_{11}$  で、第1状態  $X_1$  として連結経路 46 を第1方向に流れる電流が増加して、線間電流  $i_a$  が時間経過とともに増加する。次に第1デッドタイム  $d_{w1}$  で、第2状態  $X_2$  として連結経路 46 を第1方向に流れる電流が減少して、線間電流  $i_a$  が時間経過とともに減少する。

【0064】

次に、第2オン期間  $W_{12}$  で、第3状態  $X_3$  として連結経路 46 を第1方向に流れる電流が増加して、線間電流  $i_a$  が時間経過とともに増加する。次に第2デッドタイム  $d_{w2}$  で、第4状態  $X_4$  として連結経路 46 を第1方向に流れる線間電流  $i_a$  が減少して、線間電流  $i_a$  が時間経過とともに減少する。表1に各状態  $X_1 \sim X_4$  におけるスイッチング素子  $T_r$  と線間電流  $i_a$  の状態とをそれぞれ示す。表1において、線間電流  $i_a$  の増加とは、第1方向に流れる電流の増加を意味し、電流の減少とは、第1方向に流れる電流の減少を意味する。

【0065】

【表1】

	$Tr_{1U}$	$Tr_{1L}$	$Tr_{2U}$	$Tr_{2L}$	電流の流れる方向	電流の変化量
第1状態 $X_1$	ON	OFF	ON	OFF	第1方向	増加
第2状態 $X_2$	OFF	OFF	OFF	OFF	第1方向	減少
第3状態 $X_3$	OFF	ON	OFF	ON	第1方向	増加
第4状態 $X_4$	OFF	OFF	OFF	OFF	第1方向	減少

【0066】

線間電流  $i_a$  は、スイッチング素子  $T_r$  の各オン期間  $W_{11}$  ,  $W_{12}$  が短ければ、線間電流  $i_a$  が小さくなる。言い換えると、線間電流  $i_a$  は、スイッチング素子  $T_r$  のデッドタイム  $d_{w1}$  ,  $d_{w2}$  が長ければ、線間電流  $i_a$  が小さくなる。また線間電圧  $E_a$  は、誘起電圧  $E_m$  に対応して変化するので、線間電圧  $E_a$  に対応して変化する線間電流  $i_a$  も、誘起電圧  $E_m$  に対応して変化する。

【0067】

本実施の形態では、デッドタイム  $d_w$  などの設定可能な設定値が適切に設定されることで、誘起電圧  $E_m$  の値 ( $-V_{Em}$ ) が負の値である場合、線間電流  $i_a$  の平均電流値が、誘起電圧  $E_m$  の値の大きさに対応した正の値を維持するように調整される。また誘起電圧  $E_m$  の値 ( $V_{Em}$ ) が正の値である場合、線間電流  $i_a$  の平均電流値が、誘起電圧  $E_m$  の値の大きさに対応した負の値を維持するように調整される。

【0068】

このように線間電流  $i_a$  と誘起電圧  $E_m$  とは一對一の関係性を有するので、線間電流  $i_a$  を実測することによって、誘起電圧  $E_m$  を求めることができる。具体的には、線間電流  $i_a$  の値を  $I_a$  とし、誘起電圧  $E_m$  の値を  $E_m$  とすると、誘起電圧  $E_m$  の値は、以下に示す関係式を満たす。

$$E_m = f(I_a) \quad \dots (1)$$

【0069】

なお、(1)式において、 $f(I_a)$  は、線間電流  $i_a$  の値の関数である。この関数は、実験によって求まる近似式や理論式などによって予め求めることができる。このような(1)式に従うことによって、線間電流  $i_a$  から誘起電圧  $E_m$  を求めることができる。

【0070】

さらに誘起電圧  $E_m$  と磁極の角速度  $\omega$  とは、以下に示す関係式を満たすので、誘起電圧

10

20

30

40

50

$E_m$ から磁極の角速度 を推定することができる。

$$E_m = K_e \cdot \dots (2)$$

【0071】

なお、(2)式において、 $E_m$ は誘起電圧を、 は磁極の角速度を、 $K_e$ は定数を表わす。また、(2)式によって求められる磁極の角速度 を積分することによって磁極の角度位置を推定することができる。

【0072】

図7は、粗推定期間におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態、誘起電圧 $E_m$ 、線間電圧 $E_a$ および線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。図7は、図6に示す場合に比べて誘起電圧 $E_m$ が正の値 $V_{E_m}$ となる。この場合、線間電流 $i_a$ は、負の値となる。すなわちデッドタイム $d_w$ において、電流は、連結経路46を第2方向に流れる。

10

【0073】

この場合、各オン期間 $W_{11}$ 、 $W_{12}$ における線間電圧 $E_a$ の値は、誘起電圧 $E_m$ の正負が反転した値と等しくなる。したがって誘起電圧 $E_m$ の値を $V_{E_m}$ とすると、オン期間 $W_{11}$ 、 $W_{12}$ の線間電圧 $E_a$ の値は、 $-V_{E_m}$ となる。また各デッドタイム $d_{w1}$ 、 $d_{w2}$ における線間電圧 $E_a$ の値は、電源電圧 $E$ の値 $V_{PN}$ と、誘起電圧 $E_m$ の正負が反転した値( $-V_{E_m}$ )とを加算した値( $V_{PN} - V_{E_m}$ )となる。この場合のスイッチング素子 $T_r$ と線間電流 $i_a$ の状態とを表2に示す。表2において電流の増加とは、第2方向に流れる電流の増加を意味し、電流の減少とは、第2方向に流れる電流の減少を意味する。

20

【0074】

【表2】

	$Tr_{1U}$	$Tr_{1L}$	$Tr_{2U}$	$Tr_{2L}$	電流の流れる方向	電流の変化量
第1状態X1	ON	OFF	ON	OFF	第2方向	増加
第2状態X2	OFF	OFF	OFF	OFF	第2方向	減少
第3状態X3	OFF	ON	OFF	ON	第2方向	増加
第4状態X4	OFF	OFF	OFF	OFF	第2方向	減少

【0075】

このように、誘起電圧 $E_m$ の正負にかかわらずに、上述した(1)式および(2)式を用いることによって、線間電流 $i_a$ から磁極の角速度 を求めることができる。また線間電流 $i_a$ がゼロの場合には、線間電圧 $E_a$ もゼロとなる。

30

【0076】

また本実施の形態では、誘起電圧 $E_m$ が正の値 $V_{E_m}$ の場合には線間電流 $i_a$ が負の値に維持され、誘起電圧 $E_m$ が負の値( $-V_{E_m}$ )の場合には線間電流 $i_a$ が正の値に維持されるように、デッドタイム $d_w$ が設定されることによって、誘起電圧 $E_m$ を容易にかつ精度よく求めることができる。

【0077】

図8は、デッドタイム $d_n$ が狭い場合におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態、誘起電圧 $E_m$ 、線間電圧 $E_a$ および線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。比較例として図8に示すように、各デッドタイム $d_{n1}$ 、 $d_{n2}$ が狭い場合には、スイッチング素子がオン状態となる期間 $W_1$ 、 $W_2$ が長くなるので、線間電流 $i_a$ が大きくなる。この場合、線間電流 $I_a$ が、予め設定される許容電流の値 $I_{max}$ を超えてしまうおそれがある。

40

【0078】

これに対して、本実施の形態では、図6、図7に示すように、デッドタイム $d_w$ を広くすることによって、磁極の角速度、ひいては誘起電圧 $E_m$ の推定が正確でなくとも、線間電流 $i_a$ が過電流になることを防ぐことができ、インバータ回路22および同期電動機21が損傷することを防ぐことができる。

50

## 【 0 0 7 9 】

なお、粗推定期間を終えて通常推定期間に移行すると、精度良く磁極の角速度および角度位置を推定することができているので、誘起電圧  $E_m$  に基づいたインバータ電圧を与えることができる。したがって通常推定期間において、デッドタイム  $d$  を狭くしても、線間電圧  $E_a$  が大きくなることを防ぐことができ、線間電流  $i_a$  が過電流になることを防ぐことができる。また粗推定期間からの推定結果を利用することによって、通常推定期間での推定精度を高めて、その推定結果に基づいてインバータ回路 22 を制御することで、同期電動機 21 に与える電流が小さくても、同期電動機 21 が発生可能なトルクを大きくすることができる。すなわち同期電動機 21 のトルクを効率よく発生させることができる。またこのような効果は、インバータ回路の回路構成にかかわらずに達成することができる。したがって図 2 に示す三相のブリッジ回路 22 であっても、同様の効果を得ることができる。またスイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態は、他に選択が可能である。

10

## 【 0 0 8 0 】

図 9 は、第 1 実施形態の変形例での粗推定期間におけるスイッチング素子  $T_r$  のオンオフ状態および線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。この変形例でも、スイッチング素子  $T_r$  およびダイオード  $D$  による電圧効果がゼロであると仮定する。また 1 つの PWM キャリア周期  $W_0$  の間における誘起電圧  $E_m$  が一定であると仮定する。

## 【 0 0 8 1 】

本実施の形態では、1 つの PWM キャリア周期  $W_0$  あたりに  $T_{r1U}$ ,  $T_{r2L}$  がオン状態となり、かつ  $T_{r1L}$ ,  $T_{r2U}$  がオフ状態となる第 1 オン期間  $W_{21}$  と、 $T_{r1U}$ ,  $T_{r2L}$  がオフ状態となり、かつ  $T_{r1L}$ ,  $T_{r2U}$  がオン状態となる第 2 オン期間  $W_{22}$  との大きさが一致するようにゲート信号を調整する。すなわちインバータ回路 22 の PWM 変調率をゼロに調整する。

20

## 【 0 0 8 2 】

また第 1 オン期間  $W_{11}$  が終了してから第 2 オン期間  $W_{12}$  が開始するまでの期間である第 1 デッドタイム  $d_{w11}$  と、第 2 オン期間  $W_{12}$  が終了してから第 1 オン期間  $W_{11}$  が開始するまでの期間である第 2 デッドタイム  $d_{w12}$  との大きさが一致するようにゲート信号を調整する。

## 【 0 0 8 3 】

本実施の形態でも、粗推定期間のうちの定常状態において、誘起電圧  $E_m$  が正の値の場合には線間電流  $i_a$  が負の値に維持され、誘起電圧  $E_m$  が負の値の場合には線間電流  $i_a$  が正の値に維持されるように、デッドタイム  $d_w$  が設定される。

30

## 【 0 0 8 4 】

図 9 ( 3 ) に示すように、誘起電圧  $E_m$  が負の値 ( $V_{E_m} < 0$ ) の場合、線間電流  $i_a$  は、まず第 1 オン期間  $W_{11}$  で、第 1 状態  $X_{11}$  として線間電流  $i_a$  が時間経過とともに増加する。次に第 1 デッドタイム  $d_{w21}$  および第 2 オン期間  $w_{21}$  で、第 2 状態  $X_{12}$  として線間電流  $i_a$  が時間経過とともに減少する。第 2 状態  $X_{12}$  では、時間が経過するとともに、線間電流  $i_a$  は、一定値に近づく。そして線間電流  $i_a$  は、第 1 状態  $X_{11}$  と第 2 状態  $X_{12}$  とを順番に繰返し、正の値を維持する。ここで、線間電流  $i_a$  の増加とは、第 1 方向に流れる電流の増加を意味し、電流の減少とは、第 1 方向に流れる電流の減少を意味する。

40

## 【 0 0 8 5 】

また図 9 ( 4 ) に示すように、誘起電圧  $E_m$  が正の値 ( $V_{E_m} > 0$ ) の場合、線間電流  $i_a$  は、まず第 1 オン期間  $W_{11}$  および第 1 デッドタイム  $d_{w11}$  で、第 1 状態  $X_{21}$  として線間電流  $i_a$  が時間経過とともに減少する。第 1 状態  $X_{21}$  では、時間が経過するとともに、線間電流  $i_a$  は、一定値に近づく。次に第 2 オン期間  $w_{21}$  で、第 2 状態  $X_{22}$  として線間電流  $i_a$  が時間経過とともに増加する。次に第 2 デッドタイム  $d_{w12}$  で、第 3 状態  $X_{23}$  として線間電流  $i_a$  が時間経過とともに減少する。そして線間電流  $i_a$  は、第 1 状態  $X_{21}$  ~ 第 3 状態  $X_{23}$  を順番に繰返し、負の値を維持する。ここで、線間電流  $i_a$  の増加とは、第 2 方向に流れる電流の増加を意味し、電流の減少とは、第 2 方向に流

50

れる電流の減少を意味する。

【0086】

このような変形例に示すスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態であっても、前述した方法と同様にして、線間電流 $i_a$ から磁極の角速度を推定することができる。また通常推定期間に比べて、各デッドタイム $d_{w11}$ 、 $d_{w12}$ を広げることで、線間電流 $i_a$ が過電流になることを防ぐことができ、インバータ回路22および同期電動機21が損傷することを防ぐことができる。

【0087】

また初期期間からの推定結果を利用することによって、通常推定期間での推定精度を高めることができ、同期電動機21に与える電流が小さくても、同期電動機21が発生可能なトルクを大きくすることができる。すなわち同期電動機21のトルクを効率よく発生させることができる。なお、図6～図9では、電流の流れる方向が誘起電圧の正負に応じて一定に維持されるとしたがこれに限定されない。

10

【0088】

図10は、デッドタイム $d$ と誘起電圧 $E_m$ と線間電流 $i_a$ との関係を示すグラフである。インバータ回路22から同期電動機21に出力される平均出力電圧が予め定められる値である場合、デッドタイム $d$ と誘起電圧 $E_m$ と線間電流 $i_a$ とは、相対関係がある。具体的には、デッドタイム $d$ が一定の場合には、誘起電圧 $E_m$ が大きくなるとともに線間電流 $i_a$ が大きくなる。また誘起電圧 $E_m$ が一定の場合には、デッドタイム $d$ が広くなるとともに線間電流 $i_a$ が小さくなる。

20

【0089】

したがってデッドタイム $d$ を広くすることによって、線間電流 $i_a$ を抑えることができるが、デッドタイム $d$ を過度に広くと誘起電圧 $E_m$ の値が大きいために線間電流 $i_a$ を流すことができず、磁極の角速度を測定することができない。またデッドタイム $d$ を狭くすると、誘起電圧 $E_m$ の値が大きいために線間電流 $i_a$ が過電流となる。

【0090】

したがって誘起電圧 $E_m$ の発生可能範囲が予め予想可能な場合には、その予想に基づいてデッドタイム $d$ を決定することによって、線間電流 $i_a$ が過電流となることを防いで、磁極の角速度を測定することができる。たとえば同期電動機21の発生誘起電圧範囲が既知である場合、その発生可能範囲において適切なデッドタイム $d$ を粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ としてもよい。また制御装置24は、フライング制御開始前の実測値または推測値から、粗推定時における誘起電圧 $E_m$ の発生可能範囲を求められる場合、求めた発生可能範囲に基づいて、図10に示すような関係に従って、線間電流 $i_a$ が過電流となることを防いで磁極の角速度を測定可能なデッドタイム $d_w$ を決定してもよい。

30

【0091】

たとえば図10に示すような関係が成り立ち、線間電流 $i_a$ の絶対値が30Aを超えると過電流となる場合、粗推定時における誘起電圧 $E_m$ が52～60Vの範囲で発生することが予想されると、制御装置24は、デッドタイム $d$ を30 $\mu$ 秒(3 $\times 10^{-5}$ 秒)に設定する。これによって、線間電流 $i_a$ の電流値を-30Aを超えて0A未満にすることができ、磁極の角速度を測定可能でかつ過電流となることを防ぐことができる。

40

【0092】

また本発明の第1実施形態では、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ が一定値であるとしたが、より確実に過電流を防ぐために、第2の実施形態として、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ を可変とし、連結経路46から目的とする電流が流れるように、デッドタイム $d_w$ を変化させてもよい。以下に第2の実施形態について説明する。

【0093】

第2の実施形態では、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ の初期値を、通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ よりも広く設定する。たとえばフィールドプログラマブルゲートアレイ(Field Programmable Gate Array、FPGA)を用いることによって、粗推定期間中にデッドタイムを変化させることができる。FPGAを用いてデッドタイム $d$ を可

50

変にすることによって、ハードウェアによるデッドタイム  $d$  の変更を可能とすることができる。これによってソフトウェアによってデッドタイムを変更する場合に比べて、制御装置 24 の安定性を向上することができる。

【0094】

図 11 は、デッドタイム  $d$  を可変とした場合を説明するためのグラフである。インバータ回路 22 から同期電動機 21 に出力される平均出力電圧が予め定められる値である場合、デッドタイム  $d$  と誘起電圧  $E_m$  と線間電流  $i_a$  とは、相関関係がある。具体的には、線間電流  $i_a$  の電流値が予め定める値となるときに、デッドタイム  $d$  と誘起電圧  $E_m$  とが比例関係となる。

【0095】

図 11 に示すように線間電流  $i_a$  の電流値がゼロとなる場合には、誘起電圧を  $E_m$  とし、デッドタイムを  $d$  とすると、以下に示す関係式を満たす。

$$E_m = K_1 \cdot d \quad \dots (3)$$

【0096】

なお、(3) 式において、 $K_1$  は、予め定められる定数であり、図 11 では、 $1.7 \times 10^6$  [V/秒] に設定される。これによってある任意の時点での誘起電圧  $E_m$  が、その時点のデッドタイム  $d$  の  $K_1$  倍よりも大きければ線間電流  $i_a$  が流れ、デッドタイム  $d$  の  $K_1$  倍よりも小さければ線間電流  $i_a$  が流れない。

【0097】

線間電流  $i_a$  が流れないと測定することができないので、粗推定期間では、過電流となることがない線間電流  $i_a$  が流れるようにした状態で、粗推定を行う。本実施の形態では、線間電流  $i_a$  の電流値が予め定める設定電流値となるようにして粗推定を行う。図 11 に示すように線間電流  $i_a$  の電流値が設定電流値となる場合には、以下に示す関係を満たす。

$$E_m = K_1 \cdot d + K_2 \quad \dots (4)$$

【0098】

なお、(4) 式において、 $K_2$  は、予め定められる定数である。図 11 において設定電流値が  $-30$  A である場合には、 $K_2$  は、 $10$  [V] に設定される。

【0099】

本実施の形態では、粗推定期間の最初の期間におけるデッドタイムを初期デッドタイム  $d_0$  として設定し、初期デッドタイム  $d_0$  から予め定める設定電流値の線間電流  $i_a$  が流れるまで、デッドタイム  $d$  を徐々に狭くする。なお、初期デッドタイム  $d_0$  は、想定される最大の誘起電圧  $E_m$  が発生しても過電流が発生せず、PWM 周期の  $1/2$  以下に設定され、たとえば  $5 \times 10^{-5}$  秒 ( $50 \mu$  秒) として設定される。また、初期デッドタイム  $d_0$  は、少なくとも通常推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  よりは広く設定される。また、設定電流値は、0 を超えて許容電流値範囲内に設定され、たとえば絶対値として  $30$  A として設定される。

【0100】

実際の誘起電圧  $E_m$  が  $50$  V である場合、図 11 に示すように、デッドタイム  $d$  を初期デッドタイム  $d_0$  となる  $5 \times 10^{-5}$  秒から徐々に狭くし、約  $2.9 \times 10^{-5}$  秒まで狭くすると電流が流れはじめ、約  $2.3 \times 10^{-5}$  秒となると線間電流  $i_a$  の電流値が  $-30$  A となる。このようにして線間電流  $i_a$  の電流値が  $-30$  A となる時のデッドタイムが求まると、(4) 式に、そのデッドタイム  $d$  を代入することで、誘起電圧  $E_m$  が  $50$  V であると推定することができる。また推定した誘起電圧  $E_m$  に基づいて、磁極の角速度と角度位置とを求めることができる。

【0101】

なお、誘起電圧  $E_m$  が正の場合について説明したが、誘起電圧  $E_m$  が負の場合についてのグラフは、図 11 のグラフを Y 軸に線対称に配置したグラフとなり、以下に示す関係を満たす。

$$-E_m = -K_1 \cdot d - K_2 \quad \dots (5)$$

10

20

30

40

50

## 【0102】

本実施の形態では、粗推定期間においてデッドタイムを徐々に変化させるにあたって、制御装置24が、線間電流 $i_a$ の電流値に基づいて、デッドタイム $d$ を能動的に変化させる。そして設定される線間電流 $i_a$ の電流値に達したあとでは、デッドタイムが一定となるように調整する。制御装置24は、デッドタイムが一定となるように調整して所定期間経過すると、そのときに推定される磁極の角速度および角度位置の精度が高いことを判断して、通常推定期間に移行してもよい。

## 【0103】

図12は、本発明の第2実施形態の制御装置24の粗推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。図12に示す本実施の形態では、粗推定期間においてデッドタイム $d$ を能動的に変化させる。その他の構成については、第1実施形態の制御装置24と同様であるので、同様である構成については説明を省略する。

10

## 【0104】

制御装置24は、2つの電流センサ28a, 28bからそれぞれ与えられる線間電流 $i_a$ から、磁極と同じ速度で回転する回転座標系上の磁極が発生する磁束に平行な $d$ 軸電流と、これより $(\pi/2)$ 位相が進んだ $q$ 軸電流とに変換する。そして制御装置24は、粗推定期間において、 $q$ 軸電流に基づいて、デッドタイムを操作する。なお、 $q$ 軸電流は、電流センサによる実効値を用いることもある。

## 【0105】

具体的には、制御装置24は、実際に測定された電流から求められる $q$ 軸電流実測値 $I_r$ を入力値とし、予め定める $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ を目標値とする。また $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ は、線間電流 $i_a$ の設定電流値となる $-30A$ に設定される。また初期デッドタイム $d_0$ も予め定められる値が設定される。

20

## 【0106】

制御装置24は、インバータ回路を制御するための制御部70として、第1減算器60と、第1演算器61と、第1加算器62とを有する。第1減算器60は、 $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ と、 $q$ 軸電流実測値 $I_r$ とを取得して、 $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ から $q$ 軸電流実測値 $I_r$ を減算し、その演算結果を第1演算器61に与える。第1演算器61は、第1減算器60の演算結果を予め定める演算式に従って演算処理し、デッドタイムを変化させるための操作量を演算する。本実施の形態では、第1演算器61は、第1減算器60の演算結果に予め定める比例ゲイン $K_{q_p}$ を乗算した比例値と、第1減算器60の演算結果を積分した積分値に予め定める積分ゲイン $K_{q_i}$ を乗算した積分値とを求める。

30

## 【0107】

第1加算器62は、初期デッドタイム $d_0$ と、第1演算器61で演算された比例値と積分値とを取得して、それらを加算し、その演算結果を新たなデッドタイムとして設定する。そして設定したデッドタイムとなるようにゲート信号をインバータ回路22に与えて、インバータ回路22を制御する。

## 【0108】

これによって $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ と $q$ 軸電流実測値 $I_r$ とが一致しないと、デッドタイムを変化させ、時間経過とともに $q$ 軸電流実測値 $I_r$ を $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ に一致させることができるデッドタイムにすることができる。なお、第1演算器61で積分演算を含ませることで、 $q$ 軸電流実測値 $I_r$ と $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ との間に定常偏差が生じることを防いで、より正確に $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ と $q$ 軸電流実測値 $I_r$ とを一致させることができるデッドタイムを演算することができる。

40

## 【0109】

図11に示したように、 $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ の電流が流れるときのデッドタイムを求めることで、誘起電圧 $E_m$ を求めることができる。制御装置24は、磁極の角速度と角度位置とを推定するための推定部71として、スケール変換器67と、第2減算器64と、第2演算器65と、第2加算器66と、積分器68とを有する。

## 【0110】

50

スケール変換器 67 は、制御部 70 によって演算されるデッドタイムを取得し、取得したデッドタイムに、予め定めるスケール変換係数  $K_{w_t}$  を乗算する。このスケール変換係数  $K_{w_t}$  は、デッドタイムから磁極の角速度を演算するための係数であり、上述した(4)式または(5)式と、(2)式とに基づいて、求めることができる。スケール変換部 67 は、演算結果を、磁極の角速度推定値として出力する。

【0111】

第2減算器 64 は、d 軸電流指令値  $I_d^*$  と、d 軸電流実測値  $I_d$  とを取得して、d 軸電流指令値  $I_d^*$  から d 軸電流実測値  $I_d$  を減算し、その演算結果を第2演算器 65 に与える。たとえば d 軸電流指令値  $I_d^*$  は、0 A に設定される。第2演算器 65 は、第2減算器 64 の演算結果を予め定める演算式に従って演算処理し、磁極の角度を推定するための演算量を演算する。本実施の形態では、第2演算器 65 は、第2減算器 64 の演算結果に予め定める比例ゲイン  $K_{d_p}$  を乗算した比例値と、第2減算器 64 の演算結果を積分した積分値に予め定める積分ゲイン  $K_{d_i}$  を乗算した積分値と、を加算した演算結果を第2加算器 66 に与える。

10

【0112】

積分器 68 は、スケール変換部 67 から与えられる磁極の角速度推定値を取得し、その推定値を積分し、第2加算器 66 に与える。第2加算器 66 は、第2演算器 65 から与えられる演算結果と、積分器 68 から与えられる演算結果とを加算し、磁極の角度推定値として出力する。

【0113】

このようにして、制御装置 24 は、粗推定期間における磁極の角速度と角度位置とを推定することができる。なお、上述した制御部 70 および推定部 71 の各ブロックによる動作は、ハードウェア的に実現してもソフトウェア的に実現してもよい。ソフトウェア的に実現する場合、制御装置 24 が図 12 のブロック図に相当する制御プログラムを実行することによって各ブロックに相当する動作が実現される。また、上述したブロック構成は、実施の形態の一例である。したがって各演算器の一部が異なったり、加算器および減算器の加減算が異なったりしても、本実施の形態に含まれる。

20

【0114】

図 13 は、制御装置 24 の通常推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。制御装置 24 は、粗推定期間と通常推定期間とで推定方法を異ならせる。通常推定期間においては、デッドタイム  $d_n$  を予め定められる値に固定する。なお、通常推定期間における磁極の角速度と角度の推定と、インバータ回路 22 の制御については、周知の推定方法および制御方法を用いることができる。

30

【0115】

本実施の形態では、制御装置 24 は、磁極の角速度と角度位置を推定するための推定部 72 と、インバータ回路 22 を制御するための制御部 73 とを有する。推定部 72 は、d 軸電流実測値  $I_d$  と q 軸電流実測値  $I_q$  とを演算する dq 変換器 80 と、同期電動機 21 のモデルを表わすモデル演算式を有するモデル器 81 と、第3減算器 83 と、モデル器 81 の出力に基づいて磁極の角速度、角度位置、誘起電圧を推定する推定アルゴリズムを有する推定器 82 とを含む。

40

【0116】

dq 変換器 80 は、電流センサから与えられる電流値  $I_u$ 、 $I_v$  と、推定部 82 によって推定される磁極の角度位置  $\theta_m$  とに基づいて、d 軸電流実測値  $I_d$  と q 軸電流実測値  $I_q$  とを演算し、演算結果をモデル器 81 に与える。

【0117】

モデル器 81 は、dq 変換器 80 から d 軸電流実測値  $I_d$  と q 軸電流実測値  $I_q$  とが与えられるとともに、制御部 73 から d 軸電圧操作値  $V_d$  と q 軸電圧操作値  $V_q$  とが与えられる。また推定器 82 によって推定された誘起電圧  $E_m$  が与えられる。

【0118】

モデル器 81 は、与えられたそれらの情報をモデル演算式に代入してモデル演算式を解

50

く。そして同期電動機 2 1 に流れるであろう電流値である、d 軸モデル実電流値  $I_M$  と q 軸モデル実電流値  $I_M$  とを演算し、演算結果を第 3 減算器 8 3 に与える。第 3 減算器 8 3 は、モデル器 8 1 から d 軸モデル実電流値  $I_M$  と q 軸モデル実電流値  $I_M$  とが与えられるとともに、d q 変換器 8 0 から d 軸電流実測値  $I_r$  と q 軸電流実測値  $I_r$  とが与えられ、それらの偏差を演算する。具体的には、d 軸電流実測値  $I_r$  から d 軸モデル実電流値  $I_M$  を減算して、d 軸電流誤差  $I$  を求め、q 軸電流実測値  $I_r$  から q 軸モデル実電流値  $I_M$  を減算して、q 軸電流誤差  $I$  を求める。第 3 減算器 8 3 は、演算結果を推定器 8 2 に与える。

#### 【 0 1 1 9 】

推定器 8 2 は、第 3 減算器 8 3 から各電流誤差  $I$  ,  $I$  が与えられ、各電流誤差  $I$  ,  $I$  と、予め定められる推定アルゴリズムとに基づいて、誘起電圧  $E_m$  と、磁極の角度位置  $m$  と、磁極の角速度  $m$  とを推定する。推定器 8 2 は、推定した誘起電圧  $E_m$  をモデル器 8 1 に与える。また推定した磁極の角度位置  $m$  を、d q 変換器 8 0 と、逆 d q 変換器 8 7 とに与える。また推定した磁極の角速度  $m$  を制御部 7 3 に与える。

#### 【 0 1 2 0 】

制御部 7 3 は、第 4 減算器 8 4 と、速度制御器 8 5 と、電流制御器 8 6 と、逆 d q 変換器 8 7 と、PWM パルス発生器 8 8 とを有する。第 4 減算器 8 4 は、予め設定される速度指令値  $r$  と推定角速度  $m$  とを取得する。そして、速度指令値  $r$  から推定角速度  $m$  を減算し、演算結果を速度制御器 8 5 に与える。速度制御器 8 5 は、第 4 減算器 8 4 から与えられる演算結果に基づいて、q 軸電流指令値  $I$  を演算し、電流制御器 8 6 に演算結果を与える。

#### 【 0 1 2 1 】

電流制御器 8 6 は、速度制御器 8 5 から与えられた q 軸電流指令値  $I$  が与えられるとともに、トルクおよび速度などに応じて設定される d 軸電流指令値  $I$  が与えられる。そしてこれらの情報から、d 軸電圧操作値  $V$  と q 軸電圧操作値  $V$  を演算する。そして演算結果をモデル器 8 1 と逆 d p 変換器 8 7 とに与える。逆 d p 変換器 8 7 は、与えられる各電圧操作値  $V$  ,  $V$  を、3 相の電圧操作値に変換し、PWM パルス発生器 8 8 に与える。PWM パルス発生器 8 8 は、逆変換器 8 7 から与えられた 3 相の電圧操作値を、パルス幅変調し、ゲート信号として PWM インバータ回路 2 2 に与える。

#### 【 0 1 2 2 】

このように通常推定期間において、制御装置 2 4 が、速度指令  $r$  に基づくことによって、同期電動機 2 1 の回転子を所定の回転速度で回転させることができる。また制御装置 2 4 は、d 軸電流指令値  $I$  に基づいて電流制御を行うことで、d 軸成分の電流を同期電動機 2 1 に与えることができる。これによって弱め界磁制御を行うことができる。すなわち回転子が高速回転することに起因して誘起電圧  $E_m$  が増大した場合に、同期電動機 2 1 の発生トルクの低下を抑えることができる。なお、本実施形態では、磁極の角速度および角度を推定する推定部 7 2、いわゆるオブザーバを有する。したがってエンコーダおよびレゾルバなどの磁極の角速度を測定するセンサを必要としない。これによって電動機駆動制御システム 2 0 を安価に構成できるとともに、構造を簡単化することができる。

#### 【 0 1 2 3 】

また、粗推定期間から通常推定期間に移行するときに、粗推定期間で推定された磁極の角速度および角度位置を、通常推定期間における推定値の初期値とする。具体的には、速度制御器 8 5 に与えられる推定角速度  $m$ 、d q 変換器 8 0 および逆 d q 変換器 8 7 に与えられる推定角度  $m$ 、モデル器 8 1 に与えられる誘起電圧  $E_m$  に与えられる。また推定部 7 2 および制御部 7 3 の有する複数の積分器のうちのいくつかに、初期値として適切に与えられる。

#### 【 0 1 2 4 】

図 1 4 は、制御装置 2 4 の動作を示すフローチャートである。制御装置 2 4 は、ステップ s 0 では、電圧センサ 2 9 などから電源が投入されたことを判断すると、ステップ s 1

10

20

30

40

50

に進み、PWMインバータ回路22の制御動作を開始する。

【0125】

ステップs1では、制御装置24を初期化し、ステップs2に進む。ステップs2では、上述した粗推定期間における推定方法で磁極の角速度と角度位置との推定を開始する。具体的には、デッドタイムを初期デッドタイムから徐々に狭めながら、線間電流 $i_a$ の電流値を設定電流 $i_a$ となるように調整し、ステップs3に進む。

【0126】

ステップs3では、線間電流 $i_a$ が設定電流値に調整されて、デッドタイム $d$ が一定となったことを判断すると、そのときの磁極の角速度と角度位置と誘起電圧とを記憶し、ステップs4に進む。ステップs4では、ステップs3で記憶した磁極の角速度と角度位置と誘起電圧とを、通常推定期間の開始時における推定値の初期値として代入する。そして通常推定期間における推定方法で磁極の角速度と角度位置とを推定しながら、予め設定される速度で磁極が角変位するように、PWMインバータ回路22にゲート信号を与える。そして終了指令が与えられると、ステップs5に進み、動作を終了する。

【0127】

図15は、デッドタイム $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。まず推定が開始されると、粗推定期間となり、次に通常推定期間となる。

【0128】

制御開始時には、デッドタイムは、初期デッドタイム $d_0$ であり、時間経過とともに狭くなり、誘起電圧 $E_m$ に依存する一定値に調整される。線間電流 $i_a$ は、初期デッドタイムが広い値に設定されるので、電流値がゼロまたは非常に小さい状態から始まる。そして時間が経過して、ある程度デッドタイムが狭くなってから電流が流れ始める。電流が流れたあとは、時間経過とともに電流値の絶対値が増加する。磁極の角速度および角度位置の推定は、デッドタイムの変化とともに変化する。

【0129】

線間電流 $i_a$ の電流値が予め定める設定電流値に達すると、磁極の角速度および角度位置の推定が精度良く行われたことになる。デッドタイムは、線間電流 $i_a$ の電流値が予め定める設定電流値に達したあとは、一定値となる。デッドタイムが予め定める時間一定であることを制御装置24が判断すると、通常推定期間に移行する。

【0130】

通常推定期間に移行すると、デッドタイムを通常推定期間におけるデッドタイムに調整する。また粗推定期間で推定した磁極の角速度および角度位置を初期値として、通常推定期間の推定を開始する。また同期電動機の制御に起因して線間電流 $i_a$ の大きさを变化させる。

【0131】

以上のように、第2の実施形態によれば、通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ よりも、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ を広くする。これによって推定開始の初期期間において、インバータ回路22から同期電動機21に流れる電流を少なくすることができる。これによってインバータ回路22の推定を開始した初期期間において、磁極の角速度および角度位置の推定精度が低い場合であって、インバータ回路22の出力電圧と同期電動機によって発生する誘起電圧との位相がずれている場合、誘起電圧が大きい場合でも、インバータ回路22から同期電動機21に流れる電流が過電流となることを防ぐことができる。また通常推定期間では、粗推定期間において推定された磁極の角速度および角度位置を、通常推定期間における推定に関する初期値として代入することで、推定精度が高くなっているので、デッドタイムを狭めて同期電動機21に流れる電流を大きくしても、インバータ回路22および同期電動機21に流れる電流が、過電流となることを防ぐことができる。これによって通常推定期間においてセンサレス制御を開始しても、同期電動機21をショックレスにかつ滑らかに回転させることができる。また粗推定期間からの推定結果を利用することによって、通常推定期間での推定精度を高めることができ、同期電動機

10

20

30

40

50

21に与える電流が小さくても、同期電動機21が発生可能なトルクを大きくすることができる。すなわち同期電動機21のトルクを効率よく発生させることができる。

【0132】

このように本実施形態によれば、磁極の角度位置を測定するためのセンサを用いる必要がないので、電動機駆動制御システム20の構造を簡単化することができ、大幅なコストダウンが見込めるとともに、メンテナンス性を向上することができる。また、同期電動機が用いられる環境条件として、粉塵、振動、温度などの条件が厳しく、センサを用いることができない場合でも、センサレスで同期電動機を制御可能とすることができる。

【0133】

また推定を開始した初期期間における推定精度が低くても、過電流となることを防ぐことができるので、インバータ回路22および同期電動機21に過大な負荷がかかることをなくすことができ、それらが損傷することを防いで、電動機駆動制御システム20の寿命を延ばすことができる。また回転子が停止するまで待たずに、インバータ回路22の制御を開始することができるので、時間的ロスをなくすことができる。またデッドタイムを変化させることによって、能動的に電流を絞ることができ、制御装置24によって設定される推定方法、フィードバック周期などの影響にかかわらずに、確実に過電流を防ぐことができる。これによって広い範囲で本実施形態を適用することができる。

【0134】

また粗推定期間と通常推定期間とでは、デッドタイムが異なることで、インバータ回路22から流れる電流も異なる。本実施形態では、図12および図13に示すように、通常推定期間と粗推定期間とで、推定部の推定方法を異ならせることによって、粗推定期間および通常推定期間での電流値から、磁極の角速度および角度位置をそれぞれ精度良く推定することができ、推定精度を向上することができる。具体的には、粗推定期間と通常推定期間とで推定に用いるインバータ回路22のモデルを変更することによって、推定精度を向上することができる。また、図12および図13に示す制御装置24の制御ブロック構成を模式的に示すものであって、制御装置24の一部を示すものである。したがって制御装置24は、図12および図13の構成が全てではなく、他の構成を有していてもよい。たとえば図12および図13に示す制御ブロックは、制御装置24のうちの記憶手段に記憶される動作プログラムを制御装置24のうちの演算手段が実行することによってそれぞれ実現することができる。

【0135】

図6に示すように本発明の第1実施形態として、通常推定期間のデッドタイムよりも、粗推定期間においてデッドタイムを広くした固定のデッドタイムを用いたときに、測定される電流値に基づいて誘起電圧を推定してもよい。しかしながら、粗推定期間においてデッドタイムが一定の場合には、誘起電圧 $E_m$ が大きければ過電流となり、誘起電圧 $E_m$ が小さければ電流が流れないおそれがある。

【0136】

これに対して本発明の第2実施形態では、粗推定期間においてデッドタイムを、初期デッドタイム $d_0$ から徐々に狭める。この場合、電流値が徐々に変化し設定電流値に達する。これによって過電流となる前に、磁極の角速度および角度位置を推定可能となるような電流値の電流を流すことができ、過電流とならずに、確実に推定を行うことができる。また、デッドタイムを操作量とすることによって、設定電流値に達するデッドタイムを短時間で設定することができ、粗推定期間を短縮することができる。これによって通常推定期間に素早く移行することができる。

【0137】

また図11に示すように、本実施形態では、インバータ回路22の出力平均電圧をゼロとした状態で、予め定める設定電流値が流れた場合のデッドタイムに基づいて誘起電圧を推定する。そして、図12に示すブロック構成に従い、誘起電圧 $E_m$ から磁極の角速度および角度位置を推定する。これによってデッドタイムの変化にかかわらず、磁極の角速度および角度位置を容易に推定することができる。また、電流実測値を電流指令値となるよ

10

20

30

40

50

うにデッドタイムを制御することで、インバータ回路 22 から同期電動機に流れる電流値が指令値を超えることを防ぎ、過電流を確実に抑えることができる。

【0138】

このような本実施の形態の電動機駆動制御システム 20 は、同期電動機の回転子が高速で回転する分野に好適に適用することができ、たとえば電車車両に搭載される空調換気装置に好適に適用することができ、車両がセクション通過して電力が再供給された場合に、負荷なく、素早く同期電動機の制御を再開することができる。

【0139】

図 16 は、制御装置 24 の他の動作を示すフローチャートである。制御装置 24 は、推定開始時の磁極の角速度が、予め定める始動速度以下の場合には、始動速度に達するよう  
10  
に、同期電動機を始動制御する場合がある。この場合は、ステップ s10 ~ ステップ s13 において、図 14 に示すステップ s0 ~ ステップ s3 と同様の動作を行い、ステップ s13 で粗推定が完了したことを判断すると、ステップ s14 に進む。ステップ s14 では、制御装置 24 は、推定した磁極の角速度が、予め定める始動速度以上であるか否かを判断する。制御装置 24 が、推定した磁極の角速度が始動速度未満であると判断した場合には、ステップ s15 に進む。また推定した磁極の角速度が始動速度以上であると判断すると、ステップ s16 に進む。

【0140】

ステップ s15 では、予め定められる始動シーケンスに従って、インバータ装置 22 を制御して同期電動機を回転させ、ステップ s16 に進む。ステップ s16 においても、  
20  
ステップ s13 で推定した磁極の角速度、角度位置、誘起電圧を、始動シーケンスにおける初期値として代入する。そして磁極の角速度が、始動速度以上となると、そのときの磁極の角速度と角度位置と誘起電圧とを記憶し、ステップ s16 に進む。

【0141】

ステップ s16 では、その前のステップで記憶した磁極の角速度と角度位置と誘起電圧とを、通常推定期間の開始時における推定値の初期値として代入する。そして通常推定期間における推定方法で磁極の角速度と角度位置とを推定しながら、予め設定される速度で磁極が角変位するように、PWM インバータ 22 にゲート信号を与える。そして終了指令が与えられると、ステップ s17 に進み、動作を終了する。

【0142】

このような動作を行う場合であっても、上述と同様の効果を得ることができる。また粗推定期間における推定値を初期値として、始動シーケンスを行うことで、始動シーケンス動作時においても、過電流が生じることを抑えることができる。また始動時において、同期電動機 21 をショックレスにかつ滑らかに回転させることができる。始動シーケンスとして、たとえば所定速度に達するまで、インバータの出力電圧、周波数を一定とする方法がある。

【0143】

図 17 は、本発明の第 3 実施形態における制御装置 24 の粗推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。第 3 実施形態は、第 2 実施形態の構成と類似する構成を有する。第 3 の実施形態のうち、第 2 実施形態の構成に相当する構成については、説明  
40  
を省略し、同様の参照符号を付する。第 2 の実施形態では、q 電流実測値  $I_r$  に従ってデッドタイムを変化させたが、第 3 の実施形態では、デッドタイムは、q 電流実測値  $I_r$  にかかわらず、初期デッドタイム  $d_0$  から時間経過とともに狭くなるように設定する。したがってデッドタイム  $d$  の変化は、時間の関数  $f(t)$  によって決定される。また粗推定期間におけるデッドタイム  $d_n$  を時間とともに狭くさせて、粗推定期間におけるデッドタイムが通常推定期間におけるデッドタイム  $d_w$  と等しくなると、デッドタイムの変化を停止させる。

【0144】

制御装置 24 の制御部 70 は、インバータ回路 22 の推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通  
50

常推定期間とを判断する。

【0145】

制御部70は、インバータ回路22の推定を開始したときの初期デッドタイム $d_0$ が、通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ よりも広くする。そして粗推定期間における時間経過とともにデッドタイム $d_w$ が狭くなるように変化させる。なお、本実施形態では、制御部は、粗推定期間の終了直前におけるデッドタイム $d_w$ を、通常推定期間のデッドタイム $d_n$ とほぼ等しくする。

【0146】

また制御部70は、q軸電流実測値 $I_r$ に基づいて、インバータ回路22のPWM変調率を変化させる。推定部71は、制御部70から出力されるPWM変調率に基づいて、磁極の角速度を推定する。また推定した磁極の角速度とd軸電流実測値 $I_r$ とに基づいて、磁極の角度位置を推定する。たとえば通常推定期間のデッドタイム $d_w$ に到達したときの、PWM変調率と誘起電圧との関係式を既に取り得しており、この関係式に変調率を代入することで誘起電圧を推定する。

10

【0147】

具体的には、制御装置24は、第2の実施形態と同様に、第1減算器60と、第1演算器61と、第1加算器62とを有する。第2の実施形態と異なるのは、第1演算器61がインバータ回路22のPWM電圧変調率およびインバータ周波数を変化させるための操作量を演算することである。また第1加算器62は、第1減算器60の演算結果に予め定める比例ゲイン $K_{q_p}$ を乗算した比例値と、第1減算器60の演算結果を積分した積分値に

20

【0148】

予め定める積分ゲイン $K_{q_i}$ を乗算した積分値とを求め、第1加算器62は、第1演算器61で演算された比例値と積分値とを取得して、それらを加算し、その演算結果を新たなPWM変調率として設定する。そして制御装置24は、演算したデッドタイムおよびPWM変調率となるように、インバータ回路22を制御する。なお変調率は、大略的に誘起電圧 $E_m$ に依存した値となるので、変調率から磁極の角速度および角度位置とを求めることができる。制御装置24は、第2の実施形態と同様に、推定部71として、スケール変換器67と、第2減算器64と、第2演算器65と、第2加算器66と、積分器68とを有する。

【0149】

スケール変換器67が、制御部70によって演算されるPWM変調率を取得し、取得したPWM変調率に予め定めるスケール変換係数 $K_{w_v}$ を乗算する。このスケール変換係数は、変調率から磁極の角速度を演算するための係数である。スケール変換部67は、演算結果を、磁極の角速度推定値として出力する。なお、第2減算器64と、第2演算器65と、第2加算器66と、積分器68とについては、第2の実施形態と同様であるので説明を省略する。また本実施の形態では、PWM変調率を変化させて、q軸電流実測値 $I_r$ をq軸電流指令値 $I$ に近づけ、そのときのPWM変調率に基づいて誘起電圧 $E_m$ を求めた。このほか、PWM変調率以外のパラメータを変更させて、q軸電流指令値 $I$ に達したときのパラメータ値に基づいて誘起電圧 $E_m$ を求めることができる。このパラメータは、線間電流 $i_a$ が予め定める設定電流値において、誘起電圧 $E_m$ と一対一で対応するパラメータであり、制御装置24によって制御可能なパラメータとなる。

30

【0150】

図18は、デッドタイム $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。まず制御動作が開始されると、粗推定期間となり、次に通常推定期間となる。

【0151】

制御開始時には、デッドタイムは、初期デッドタイム $d_0$ であり、時間経過とともに狭くなり、通常推定期間のデッドタイム $d_n$ と同じになるとその変化を停止する。線間電流 $i_a$ は、初期デッドタイム $d_0$ が広く設定されるので、電流値がゼロまたは非常に小さい状態から始まる。そして時間が経過して、ある程度デッドタイムが狭くなると、電流が流

40

50

れ始める。そして電流実測値が予め定める電流指令値に収束するように、PWM電圧変調率と、インバータ周波数と、推定角度とが調整される。たとえば図18では、電流指令値はゼロに設定される。磁極の角速度および角度位置の推定は、PWM変調率の変化とともに変化する。

【0152】

このような実施形態においても、推定時間が長くなるにつれて、磁極の角速度および角度位置の推定の精度が向上し、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ が通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ に達した状態では、磁極の角速度と角度位置の推定が正確に行われることになる。制御装置24は、通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ と等しくなってきたから、予め定める時間が経過したと判断すると、通常推定期間に移行し、同期電動機21の制御を開始する。同期電動機21の制御を開始する場合、粗推定期間に推定した磁極の角速度および角度位置を初期値として、通常推定期間の推定を開始する。また同期電動機の制御に起因して線間電流 $i_a$ の大きさが変化する。たとえば粗推定期間は、同期電動機の回転周期の $1/4$ 以内に設定される。

10

【0153】

以上のように、第3の実施の形態によれば、第2の実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、粗推定期間におけるデッドタイム $d_w$ の変化を、電流実測値にかかわらずに行わせることによって、デッドタイム $d$ を能動的に変化させる必要がなく、デッドタイム $d$ の設定を容易に行うことができる。また、粗推定期間が終わる直前には、デッドタイム $d_w$ は、通常推定期間のデッドタイム $d_n$ と等しく設定されるので、粗推定期間から通常推定期間に移行しても、デッドタイム $d$ の変化によるショックをなくすることができる。したがって通常推定期間においてセンサレス制御を開始しても、同期電動機21をショックレスにかつ滑らかに回転させることができる。

20

【0154】

また、粗推定期間のうちで、デッドタイム $d$ を変化させる変化期間と、通常推定期間と等しいデッドタイム $d_n$ とする定常期間を設ける。定常期間を設けることで、変調率とデッドタイムとがともに変化する場合であっても、粗推定期間の終わりには、磁極の角速度と角度位置とを精度良く推定することができる。

【0155】

図19は、本発明の第4実施形態である発電制御システム120を示すブロック図である。本発明の第4実施形態の発電制御システム120は、同期発電機121を用いて直流電力を生成し、たとえば風力発電機などに用いられる。この場合、同期発電機121の回転子に風によって回転する風車が接続される。制御システム120は、同期発電機121の回転子が回転した状態で、同期発電機121から発電される電力の整流制御を開始することになる。

30

【0156】

制御システム120は、同期発電機121の回転子の磁極の角速度および角度位置を推定して、推定した磁極の角速度および角度位置に追従するように、整流装置であるPWMコンバータ回路122の動作を調整する。発電制御システム120は、同期発電機121と、PWMコンバータ回路122と、負荷回路部123と、制御装置124とを含んで構成される。

40

【0157】

同期発電機121は、3相同期発電機であり、回転子の角度位置を検出するための角度センサが設けられないセンサレスに構成される。負荷回路123は、PWMコンバータ回路122によって整流された直流電力が与えられ、電圧センサ129が設けられる。電圧センサ129は、コンバータ回路122から負荷回路123へ印加される直流母線電圧信号を制御装置124に与える。

【0158】

PWMコンバータ回路122は、同期発電機122で発生された交流電力を直流電力に整流し、たとえば三相のブリッジ回路から成る。コンバータ回路122の構成は、図2に

50

示すインバータ回路 2 2 とほぼ同様であり、説明を省略する。またコンバータ回路 1 2 2 と同期発電機 1 2 2 とを接続する 3 つの接続経路 1 2 7 のうちの 2 つには、電流センサ 1 2 8 が介在される。各電流センサ 1 2 8 は、電流の実測値を制御装置 1 2 4 に与える。

【 0 1 5 9 】

制御装置 1 2 4 は、電圧センサ 1 2 9 から与えられる直流母線電圧センサ信号と、電流センサ 1 2 8 から与えられる各電流センサ信号とを取得する。制御装置 1 2 4 は、取得した電流センサ信号に基づいて、同期発電機 1 2 1 を流れる電流実測値を判断する。また制御装置 1 2 4 は、他の装置から制御開始指令に基づいて、推定開始のタイミングを判断する。

【 0 1 6 0 】

制御装置 1 2 4 は、同期発電機 2 1 を流れる電流実測値に基づいて、同期発電機 1 2 1 の回転子の磁極の角速度と角度位置とを推定する推定部と、推定部によって推定された磁極の角速度と角度位置とに基づいて、磁極の角速度が予め定められる角速度となるように、コンバータ回路 1 2 2 の各スイッチング素子  $T_r$  にゲート信号をそれぞれ与える制御部とを有する。

【 0 1 6 1 】

本実施の形態では、このような発電システムにおいても適用することができる。制御部は、推定部による磁極の角速度と角度位置との推定を開始してから予め定める条件が成立するまでの粗推定期間と、推定部による推定を開始してから予め定める条件が成立した後の通常推定期間とを判断する。制御部は、粗推定期間におけるデッドタイムが、通常推定期間におけるデッドタイムよりも広くなるように、コンバータ回路 1 2 2 の各スイッチング素子  $T_r$  にゲート信号を与える。また本実施の形態では、制御部は、通常推定期間において、推定部の推定結果に基づいて、コンバータ回路 1 2 2 を介して同期電動機 2 1 の制御を開始する。

【 0 1 6 2 】

図 2 0 は、第 4 実施形態におけるデッドタイム  $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。第 4 実施形態では、制御装置 1 2 4 の構成は、第 2 の実施の形態に類似する。

【 0 1 6 3 】

制御装置 1 2 4 は、図 1 2 および図 1 3 に相当する制御ブロックを有し、粗推定期間におけるデッドタイムを、通常推定期間におけるデッドタイムよりも広くする。制御装置 1 2 4 は、粗推定期間において、 $q$  軸電流実測値  $I_r$  が  $q$  軸電流指令値  $I$  となるように、デッドタイムを徐々に狭める。そして変化させたデッドタイムに基づいて、同期発電機 1 2 1 の回転子の磁極の角速度を推定する。また推定した角速度と  $d$  軸電流実測値  $I$  とに基づいて、磁極の角度位置を推定する。

【 0 1 6 4 】

図 2 0 に示すように、制御開始時には、デッドタイムは、初期デッドタイム  $d_0$  であり、 $q$  軸電流指令値  $I$  と  $q$  軸電流実測値  $I_r$  との偏差に基づいて狭くなり、誘起電圧  $E_m$  に依存する一定値に調整される。線間電流  $i_a$  は、初期デッドタイム  $d_0$  が広い値に設定されるので、電流値がゼロまたは非常に小さい状態から始まる。そして時間が経過して、ある程度デッドタイムが狭くなってから電流が流れ始める。電流が流れたあとは、時間経過とともに電流値の絶対値が増加する。磁極の角速度および角度位置は、デッドタイムの変化にともなって推定される。

【 0 1 6 5 】

線間電流  $i_a$  の電流値が予め定める設定電流値に達したあと、デッドタイムは、一定値となる。この場合、磁極の角速度および角度位置の推定が精度良く行われたことになる。デッドタイムが予め定める時間一定であることを制御装置 1 2 4 が判断すると、通常推定期間に移行する。

【 0 1 6 6 】

通常推定期間に移行すると、デッドタイム  $d$  を通常推定期間におけるデッドタイム  $d_n$

10

20

30

40

50

に調整する。また粗推定期間で推定した磁極の角速度および角度位置を初期値として、通常推定期間における磁極の角速度および角度位置の推定を開始する。そして磁極の角速度および角度位置に追従した動作が行われるように、コンバータ回路122を制御する。

【0167】

図21は、本発明の第5実施形態におけるデッドタイム $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。本発明の第5実施形態では、制御装置124の構成は、第3の実施の形態に類似する。

【0168】

制御装置124は、図13および図17に相当する制御ブロックを有し、粗推定期間のうちの初期デッドタイム $d_0$ を通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ よりも広くする。制御装置124は、粗推定期間を開始してから、時間経過とともにデッドタイム $d$ を徐々に狭める。また粗推定期間において、 $q$ 軸電流実測値 $I_r$ が $q$ 軸電流指令値 $I_r^*$ となるように、PWMの電圧変調率を調整する。そして変化させた変調率に基づいて、同期発電機121の回転子の磁極の角速度を推定する。また推定した角速度と $d$ 軸電流実測値 $I_r$ とに基づいて、磁極の角度位置を推定する。

【0169】

図21に示すように、制御開始時には、デッドタイム $d$ は、初期デッドタイム $d_0$ であり、時間経過に基づいて狭くなり、通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ と等しくなるよう調整される。線間電流 $i_a$ は、初期デッドタイム $d_0$ が広い値に設定されるので、電流値がゼロまたは非常に小さい状態から始まる。そして時間が経過して、ある程度デッドタイムが狭くなってから電流が流れ始める。電流が流れたあとは、時間経過とともに電流値の絶対値が増加する。電流値は、デッドタイムの増加とともに変化するが、PWM変調率が調整されることによって、予め定める値に調整される。磁極の角速度および角度位置の推定は、PWM変調率の変化にともなって推定される。

【0170】

粗推定期間においてデッドタイム $d_w$ が通常推定期間のデッドタイム $d_n$ と等しくなってから、予め定める期間経過すると、磁極の角速度および角度位置の推定が精度良く行われたことになる。デッドタイムと等しくなってから予め定める期間が経過したことを制御装置124が判断すると、通常推定期間に移行する。

【0171】

通常推定期間に移行すると、デッドタイム $d$ を通常推定期間におけるデッドタイム $d_n$ に調整する。また粗推定期間で推定した磁極の角速度および角度位置を初期値として、通常推定期間における磁極の角速度および角度位置の推定を開始する。そして磁極の角速度および角度位置に追従した動作が行われるように、コンバータ回路122を制御する。

【0172】

第4実施形態および第5実施形態によれば、制御開始の初期期間では、コンバータ回路122から同期発電機121に流れる電流が少なくなり、初期期間における磁極の角速度と角度位置との推定が正確でなくとも、コンバータ回路122および同期発電機121が過電流となることを抑制することができる。また通常推定期間では、制御開始から時間が経過して推定精度が高くなっているため、デッドタイムを狭めてコンバータ回路122から同期発電機121に流れる電流を大きくしても、コンバータ回路122および同期発電機121が過電流となることが防がれる。これによって、上述した第1～第3実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0173】

上述した本発明の各実施形態は、本発明の例示に過ぎず、発明の範囲内において構成を変更することができる。たとえば粗推定期間においてデッドタイムを広くすればよく、粗推定期間と通常推定期間とで推定方法が同じであってもよい。また第2～第5実施形態では、粗推定期間においてデッドタイム $d_w$ を広い状態から狭い状態に変化させるようにしたが、一定の値であってもよい。この場合の粗推定期間におけるデッドタイムは、少なくとも通常推定期間のデッドタイムよりも広く設定される。また粗推定期間と通常推定期間

10

20

30

40

50

とで推定方法を異ならせる場合も、上述した方法に限定されない。

【0174】

また制御部は、推定部による推定を開始してから予め定める時間が経過すると、通常推定期間の開始を判断するとしたが、これに限らず、予め定める条件が成立したことによって、通常推定期間の開始を判断してもよい。たとえば粗推定期間において、磁極の角速度および角度位置の推定に用いられる物理量、たとえば同期電動機または同期発電機を流れる電流値、デッドタイム、電圧変調率などが予め定める一定期間以上、安定すると通常推定期間の開始を判断してもよい。また推定値と実測値との偏差が予め定める範囲内に達した場合に、通常推定期間の開始を判断してもよい。

【0175】

また第1実施形態において、粗推定期間においてデッドタイムが短くなっていればよく、誘起電圧 $E_m$ が正負のいずれかである場合に、線間電流 $i_a$ が正負のいずれかとなるようにデッドタイムが調整されなくてもよい。また第1オン期間 $W_{11}$ と第2オン期間 $W_{12}$ とが異なる場合、第1デッドタイム $d_{w1}$ と第2デッドタイム $d_{w2}$ とが同じに設定されなくてもよい。

【0176】

また、上述した電子回路およびブロック図は、本発明の一例示であり、同様の効果を得ることができるならば適宜変更してもよい。PWMインバータ/コンバータ回路として、フルブリッジ型としたが、ハーフブリッジ型でも同様に実現でき、いわゆる自励インバータ/コンバータ回路であればよい。また図12および図17に示す演算器61, 65の演算内容は、これに限定されず、他の構成であってもよい。また本実施形態では、車両の換気装置、風力発電装置に適用した例について示したが、回転した状態で同期機の制御を開始する制御装置全般に適用することができる。なお、同期機とは、同期電動機および同期発電機を含む。また本実施の形態では、制御部は、通常推定期間においてインバータ/コンバータ回路を介して同期機の制御を開始するとしたが、粗推定期間においても、推定部の推定結果に基づいて、インバータ/コンバータ回路を介して同期機の制御を行ってもよい。

【0177】

また上述する同期機の回転子の角速度および角度位置の推定方法および同期機の制御方法、同期機の制御に用いられるインバータ/コンバータ回路を制御する制御方法についても、本発明に含まれる。またこれらの方法を制御装置に実行させるプログラムおよびプログラムが記憶された記憶媒体についても本発明に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0178】

【図1】本発明の実施の第1形態である電動機駆動制御システム20を示すブロック図である。

【図2】PWMインバータ回路22の回路構成の一例を示す図である。

【図3】インバータ回路22の一部を、単相のフルブリッジ回路22Aとして示す回路図である。

【図4】通常推定期間における各スイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態を示すタイミングチャートである。

【図5】粗推定期間における各スイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態を示すタイミングチャートである。

【図6】粗推定期間におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態、誘起電圧 $E_m$ 、線間電圧 $E_a$ および線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。

【図7】粗推定期間におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態、誘起電圧 $E_m$ 、線間電圧 $E_a$ および線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。

【図8】デッドタイム $d_n$ が狭い場合におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ状態、線間電圧 $E_a$ および線間電流 $i_a$ の時間変化を示すタイミングチャートである。

【図9】第1実施形態の変形例での粗推定期間におけるスイッチング素子 $T_r$ のオンオフ

10

20

30

40

50

状態および線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。

【図 10】デッドタイム  $d$  と誘起電圧  $E_m$  と線間電流  $i_a$  との関係を示すグラフである。

【図 11】デッドタイム  $d$  を可変とした場合を説明するためのグラフである。

【図 12】本発明の第 2 実施形態の制御装置 24 の粗推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。

【図 13】制御装置 24 の通常推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。

【図 14】制御装置 24 の動作を示すフローチャートである。

【図 15】デッドタイム  $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。

10

【図 16】制御装置 24 の他の動作を示すフローチャートである。

【図 17】本発明の第 3 実施形態における制御装置 24 の粗推定期間における制御ブロック構成を示すブロック図である。

【図 18】デッドタイム  $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。

【図 19】本発明の第 4 実施形態である発電制御システム 120 を示すブロック図である。

【図 20】第 4 実施形態におけるデッドタイム  $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。

【0179】

20

【図 21】本発明の第 5 実施形態におけるデッドタイム  $d$ 、磁極の角速度、磁極の角度位置、線間電流  $i_a$  の時間変化を示すタイミングチャートである。

【符号の説明】

【0180】

20 電動機駆動制御システム

21 同期電動機

22 インバータ回路

24 制御装置

70, 73 制御部

71, 72 推定部

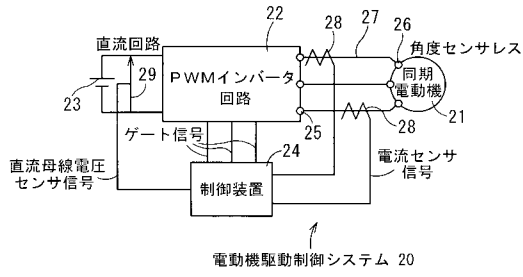
30

120 発電制御システム

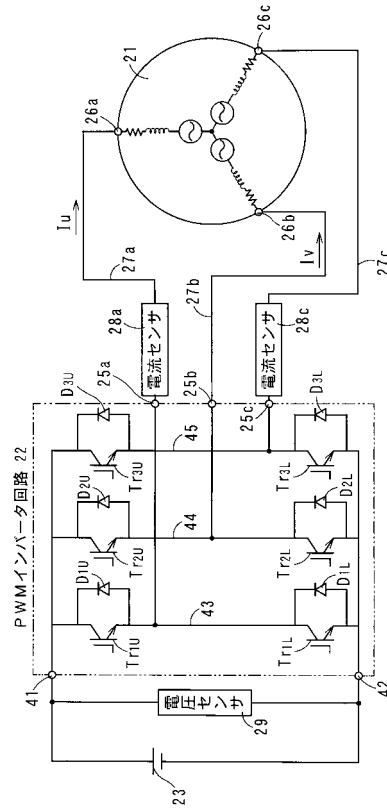
121 同期発電機

122 コンバータ回路

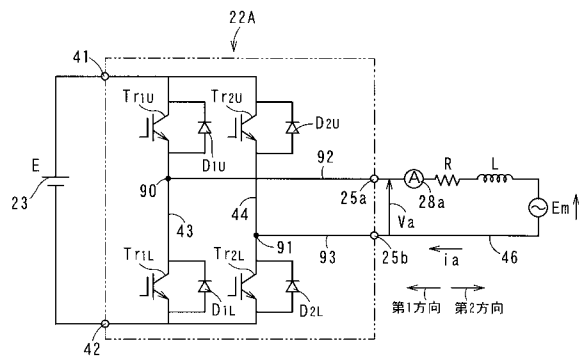
【図1】



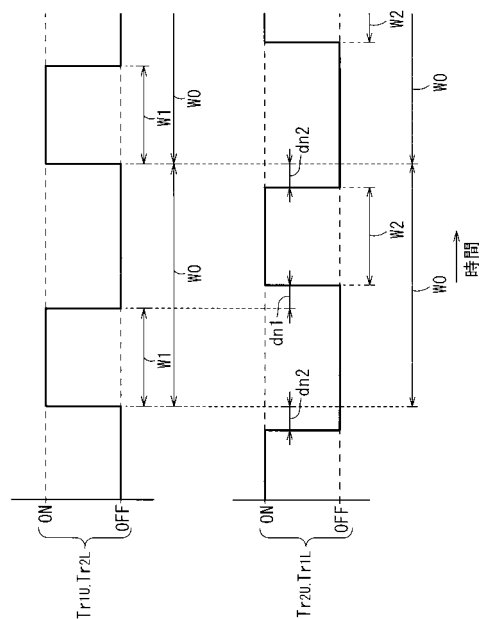
【図2】



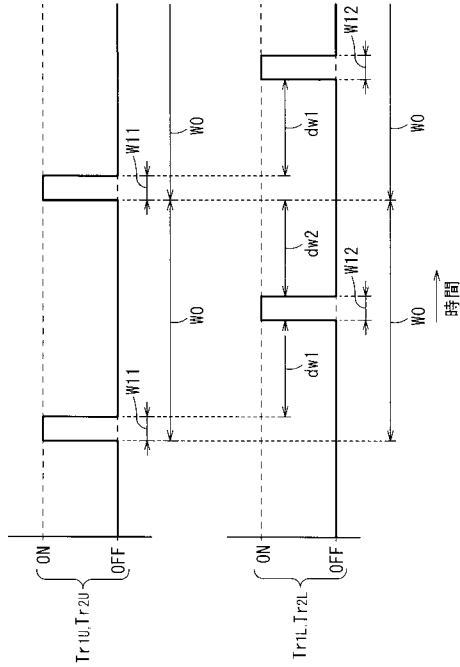
【図3】



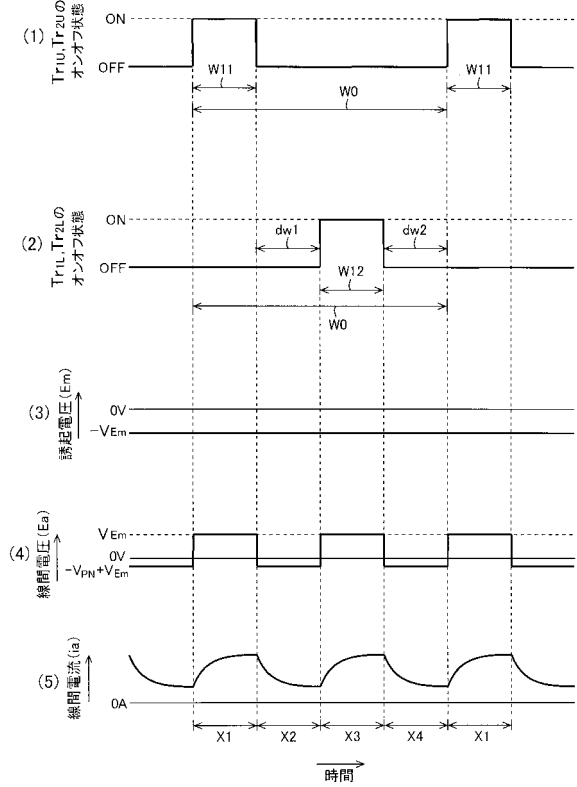
【図4】



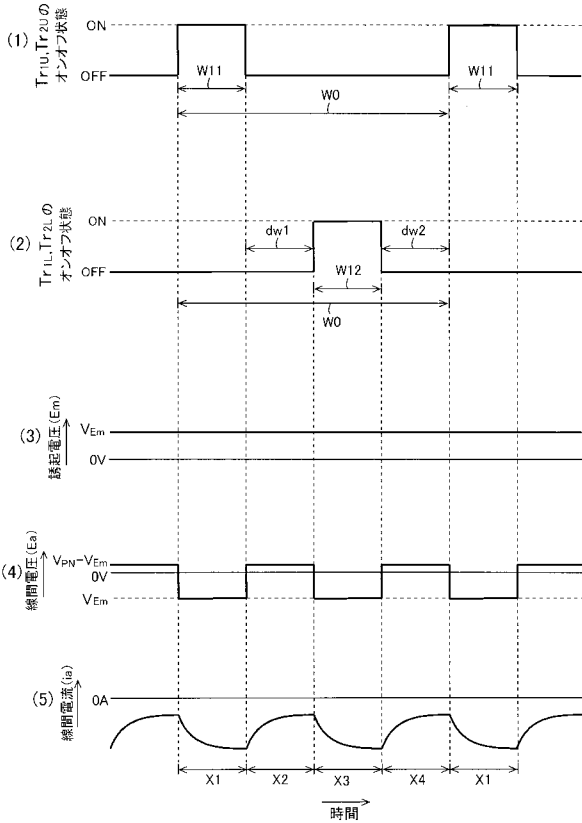
【図5】



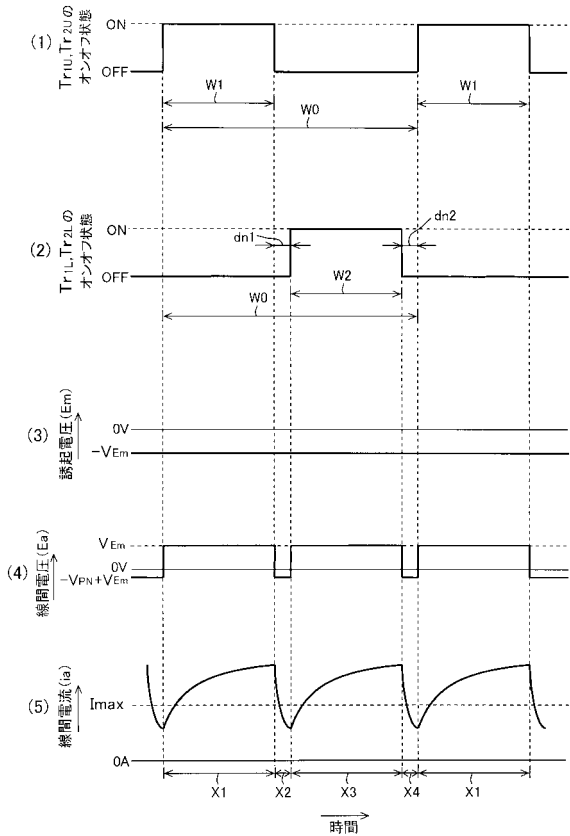
【図6】



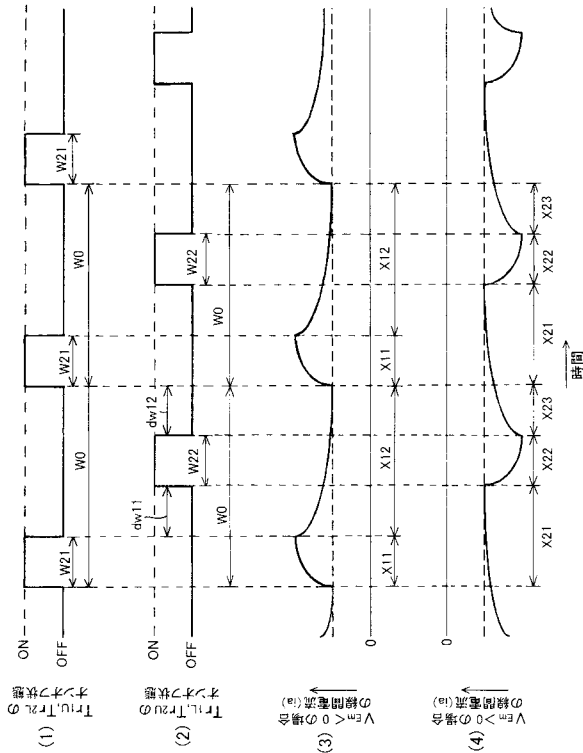
【図7】



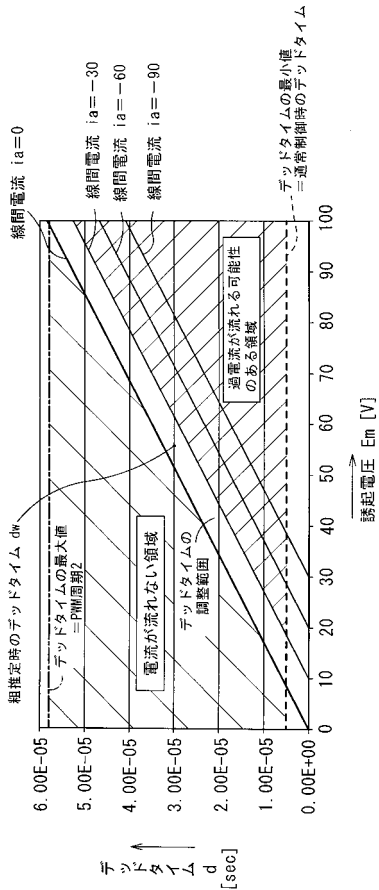
【図8】



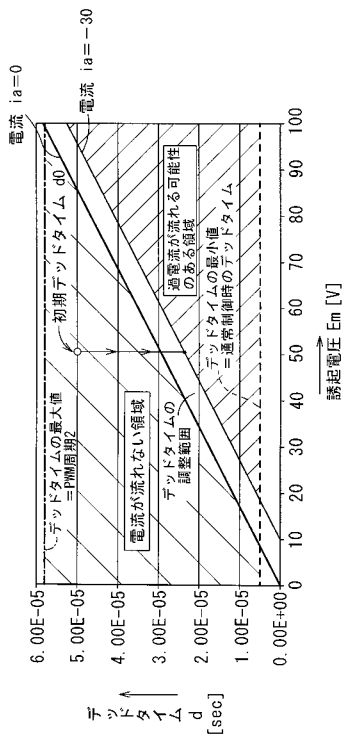
【図 9】



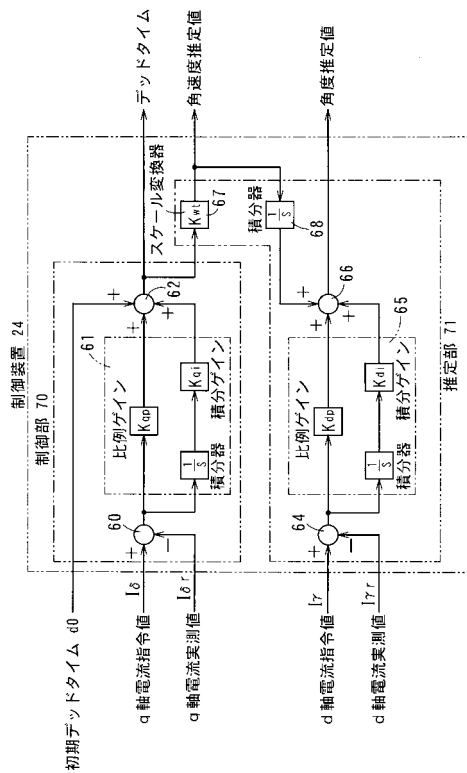
【図 10】



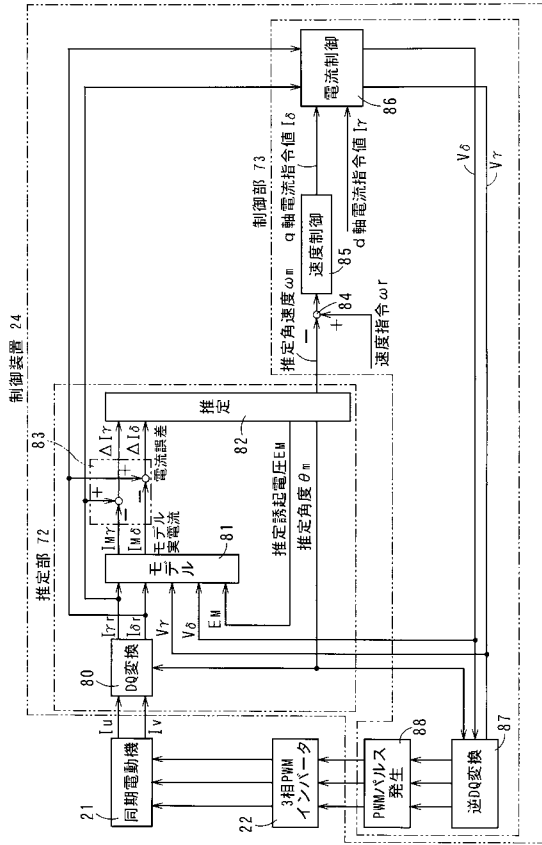
【図 11】



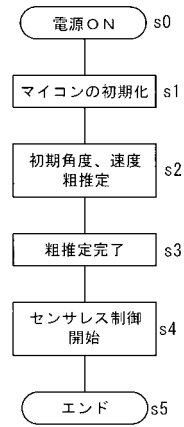
【図 12】



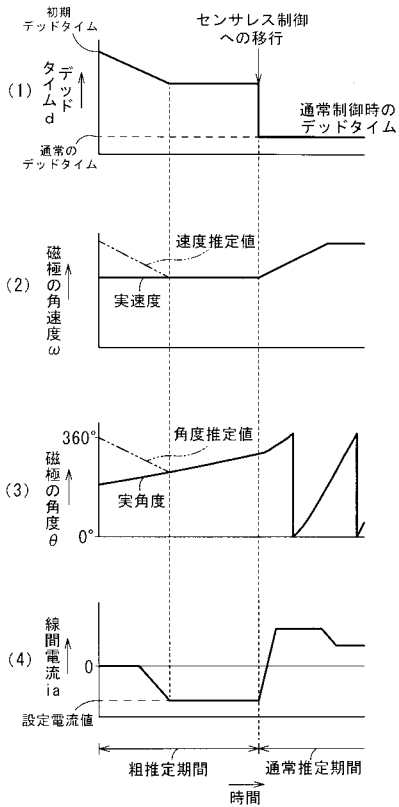
【図13】



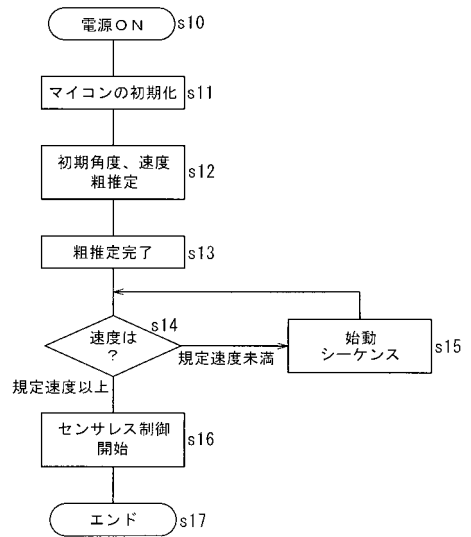
【図14】



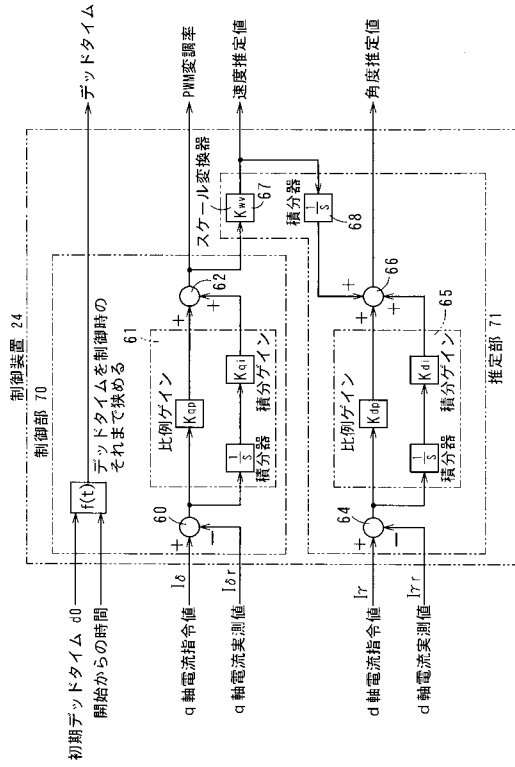
【図15】



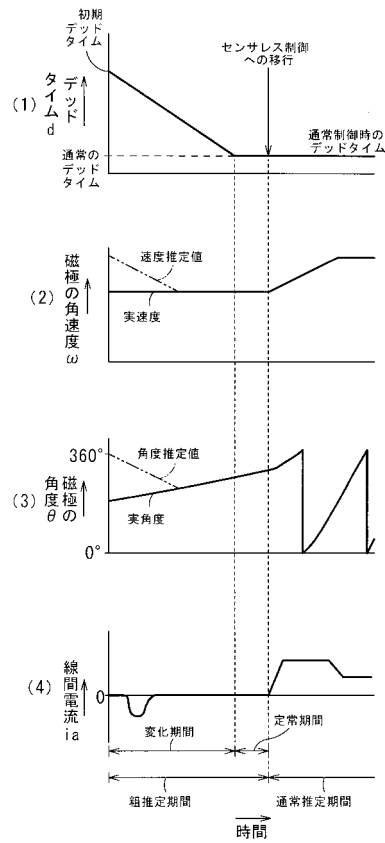
【図16】



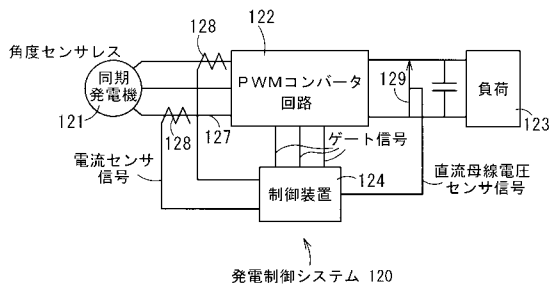
【図17】



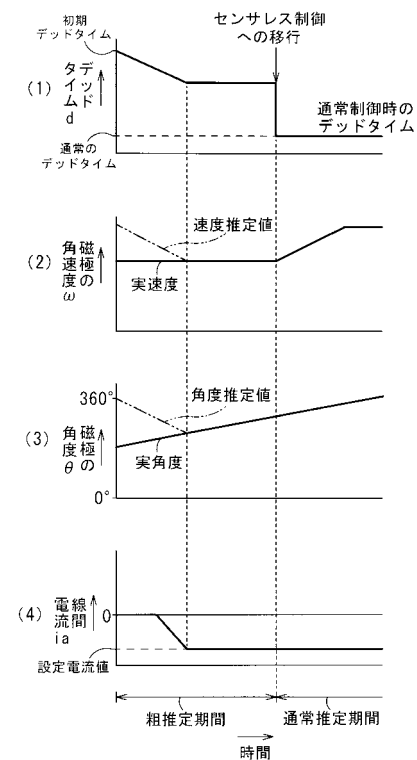
【図18】



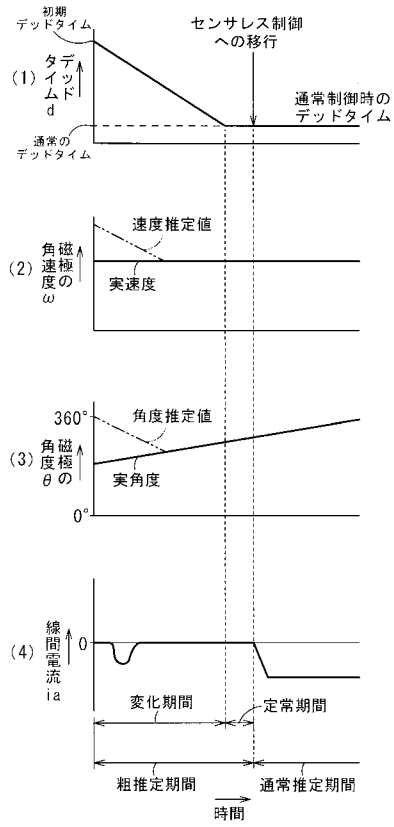
【図19】



【図20】



【図 2 1】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 進藤 裕司  
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内
- (72)発明者 小倉 一樹  
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

審査官 齋藤 健児

- (56)参考文献 特開平10-191685(JP,A)  
特開2004-040837(JP,A)  
特開2001-339984(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |      |
|------|------|
| H02P | 6/16 |
| H02P | 9/00 |
| H02P | 9/48 |