

明 細 書

発明の名称：

電力変換装置、電力変換装置の制御方法、回転センサレス制御装置及び回転センサレス制御装置の制御方法

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、電力変換装置、電力変換装置の制御方法、回転センサレス制御装置及び回転センサレス制御装置の制御方法に関する。

背景技術

[0002] PWM電力変換装置の電磁騒音を低減するため、特許文献1では搬送波の周波数を時間的に変化させるPWM電力変換装置が開示されている。また、特許文献2では、搬送波周波数を乱数に応じて変更することで、PWMの高調波成分を分散してPWM高調波による電磁騒音を低減する技術が開示されている。また、特許文献3の技術では、複数の搬送波周波数を変更する際、高調波の周波数分布特性が平坦になるように各搬送波周波数の発生確率を決定する技術が開示されている。

[0003] また、永久磁石同期電動機（PMSM：Permanent Magnet Synchronous Motor）を回転センサを用いずに制御するPMSM回転センサレス制御においては、発生する誘起電圧の小さい低速域において、電動機鉄心突極性を利用して回転角度を推定するために、高周波電圧を重畳し、電流応答を検出する方式が広く用いられている。

しかしながら、重畳される高周波電圧により電磁騒音が発生することがわかっており、この発生する電磁騒音を低減するために、重畳する高周波電圧の周波数を時間的に切り替える（変更する）技術が提案されている（たとえば、特許文献4参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特公平3－79959号公報

特許文献2：特許第3 1 5 4 9 6 5号公報

特許文献3：特開2 0 0 9－3 0 3 2 8 8号公報

特許文献4：特開2 0 0 4－3 4 3 8 3 3号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、搬送波周波数を切り替える（変更する）際には、切替（変更）前後の周波数の平均値の成分が発生することが、発明者らの試験から明らかになった。

したがって、PWM電力変換に用いるPWM信号の搬送波周波数の影響を低減するために、複数の搬送波周波数を切り替えて用いた場合には、切替回数が多くなるほど平均周波数の成分が大きくなり、狙った通りの周波数スペクトル分布を実現できず、機械共振を回避するのが困難となり電磁騒音が発生する虞があった。

また、PWM電力変換に用いるPWM信号に重畳される重畳高周波周波数の影響を低減するために、複数の重畳高周波周波数を切り替えて用いた場合には、切替回数が多くなるほど平均周波数の成分が大きくなり、平坦な周波数スペクトル分布の実現が困難となる虞れがある。特に、一般的には重畳高周波周波数を選択できる範囲には制約があり、狭い範囲しか選択できないことに起因して平均周波数の成分が大きくなり、電磁騒音が発生する虞があった。

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、PWM制御時の電磁騒音を低減可能な電力変換装置、電力変換装置の制御方法、回転センサレス制御装置、回転センサレス制御装置の制御方法及び制御プログラムを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 実施形態の電力変換装置の設定部は、継続時間をランダムに設定するとともに、互いに異なる複数の搬送波周波数のうちいずれか一の搬送波周波数を設定搬送波周波数として設定する。

これにより、搬送波発生部は、所定の設定搬送波周波数の搬送波を所定の継続時間の間発生する。

そして、PWM信号発生部は、搬送波発生部において発生された搬送波に基づいて、PWM信号を発生し、電力変換部は、発生されたPWM信号に基づいて電力変換を行って負荷に供給する。

[0007] また、実施形態の回転センサレス制御装置の設定部は、PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である互いに異なる複数の重畳高周波周波数のうちいずれかの重畳高周波周波数を設定するとともに、設定した重畳高周波周波数を有する電圧あるいは設定した重畳高周波周波数を有する電流の継続時間をランダムに設定する。

[0008] これにより、発生部は、重畳高周波周波数の電圧あるいは電流を継続時間の間発生し、推定部は、発生された重畳高周波周波数を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加し、あるいは、発生された重畳高周波周波数を有する電流を永久磁石同期電動機に供給して、永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、第1実施形態のPWM電力変換装置の概要構成ブロック図である。

[図2]図2は、継続判定部の概要構成ブロック図である。

[図3]図3は、第1実施形態のタイミングチャートである。

[図4]図4は、搬送周波数の切替状態の説明図である。

[図5]図5は、搬送波周波数と高調波成分との関係説明図である。

[図6]図6は、第1実施形態の変形例の説明図である。

[図7]図7は、第2実施形態のPWM電力変換装置の概要構成ブロック図である。

[図8]図8は、第2実施形態のタイミングチャートである。

[図9]図9は、第2実施形態の動作説明図である。

[図10]図10は、第2実施形態の効果の説明図である。

[図11]図 1 1 は、第 3 実施形態の P W M電力変換装置の概要構成ブロック図である。

[図12]図 1 2 は、機械特性判定において負荷に流す電流の一例の説明図である。

[図13]図 1 3 は、機械特性判定における負荷の騒音特性の説明図である。

[図14]図 1 4 は、機械特性と設定される搬送波周波数との関係説明図である。

[図15]図 1 5 は、機械特性と設定される搬送波周波数とその他の関係説明図である。

[図16]図 1 6 は、第 1 変形例の概要構成説明図である。

[図17]図 1 7 は、第 4 実施形態の P M S M回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

[図18]図 1 8 は、継続判定部の概要構成ブロック図である。

[図19]図 1 9 は、第 4 実施形態のタイミングチャートである。

[図20]図 2 0 は、重畳高周波周波数の切替状態の説明図である。

[図21]図 2 1 は、重畳高周波周波数と高調波成分との関係説明図である。

[図22]図 2 2 は、高周波電圧指令生成部の概要構成ブロック図である。

[図23]図 2 3 は、変形例の動作説明タイミングチャートである。

[図24]図 2 4 は、他の高周波電圧指令生成部の概要構成ブロック図である。

[図25]図 2 5 は、第 5 実施形態の P M S M回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

[図26]図 2 6 は、第 5 実施形態の動作説明図である。

[図27]図 2 7 は、第 5 実施形態の効果の説明図である。

[図28]図 2 8 は、第 6 実施形態の P M S M回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

[図29]図 2 9 は、第 6 実施形態のタイミングチャートである。

[図30]図 3 0 は、第 6 実施形態の変形例の説明図である。

発明を実施するための形態

[0010] 次に図面を参照して、実施形態について詳細に説明する。

[1] 第 1 実施形態

図 1 は、第 1 実施形態の PWM 電力変換装置の概要構成ブロック図である。

PWM 電力変換装置 10 は、大別すると、直流電源 11 からの入力直流電圧を降圧して駆動電圧として負荷 12 に出力する電力変換部として機能する降圧チョッパ 13 と、搬送波周波数を演算して搬送波周波数信号を出力する搬送波周波数演算部 14 と、搬送波周波数信号に相当する搬送波周波数を有する搬送波信号を発生する搬送波信号発生部 15 と、出力電圧指令信号を生成し、出力する出力電圧指令生成部 16 と、入力された搬送波信号及び出力電圧指令信号に基づいて PWM 信号を降圧チョッパ 13 に出力する PWM 信号発生部 17 と、を備えている。

上記構成において、搬送波周波数演算部 14、搬送波信号発生部 15、出力電圧指令生成部 16 及び PWM 信号発生部 17 は、PWM 電力変換を制御する制御部 18 を構成している。

[0011] 搬送波周波数演算部 14 は、乱数を発生する乱数発生部 21 と、入力された乱数の値に基づいて継続期間（継続時間）を決定し、継続期間データ（継続時間データ）を出力する継続期間決定部 22 と、入力された継続期間データに基づいて継続判定を行い、周波数選択信号を出力する継続判定部 23 と、周波数選択信号に基づいて、搬送波周波数として設定可能な周波数のうち最も周波数の高い最大搬送波周波数 f_{max} あるいは搬送波周波数として設定可能な周波数のうち最も周波数の低い最小搬送波周波数 f_{min} のいずれか一方を搬送波周波数信号として出力する周波数選択部 24 と、を備えている。

[0012] 図 2 は、継続判定部の概要構成ブロック図である。

継続判定部 23 は、継続期間データ及びカウントデータが入力され、継続期間データの値及びカウントデータの値が一致したか否かを判別して、比較結果信号を出力する比較器 31 と、比較結果信号が一致を表す場合にリセッ

トされ、比較結果信号が不一致の状態のカウント値を増加してカウントデータとして出力するカウンタ 32 と、比較結果信号及び周波数選択信号が入力され、比較結果信号と周波数選択信号とが不一致の場合に、周波数選択信号を反転する反転処理器 33 と、を備えている。

[0013] 次に第 1 実施形態の動作を説明する。

まず、搬送波周波数演算部 14 の乱数発生部 21 は、乱数値を発生して継続期間決定部 22 に出力する。ここで、乱数発生部 21 は、疑似乱数を演算して乱数値として出力したり、乱数テーブルを参照したりして乱数値を出力する。

[0014] この結果、継続期間決定部 22 は、入力された乱数に基づいて選択搬送波周波数の継続期間を決定し、継続期間データとして出力する。より具体的には、搬送波 1 周期分を基準として (1) 式で計算する。

$$\text{継続期間} = \text{搬送波 1 周期} \times \text{乱数値} \quad \dots\dots (1)$$

[0015] 継続判定部 23 は、入力された継続期間データに基づいて、継続判定を行い、周波数選択信号を出力する。本第 1 実施形態においては、搬送波周波数は、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは、最小搬送波周波数 f_{min} の 2 種類であるので、周波数選択信号は、“0” 又は “1” のいずれかの値を有する 2 値データである。したがって、継続期間データの値に応じて、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは、最小搬送波周波数 f_{min} のいずれかに対応する周波数選択信号が周波数選択部 24 に出力される。

[0016] 周波数選択部 24 は、周波数選択信号に基づいて、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれかを排他的に搬送波周波数信号として出力する。

[0017] この結果、搬送波信号発生部 15 は、搬送波周波数信号に対応する周波数 (本第 1 実施形態では、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれか) の搬送波信号を生成し、PWM 信号発生部 17 に出力する。

[0018] 一方、出力電圧指令生成部 16 は、降圧チョッパ 13 の出力電圧に相当す

る出力電圧指令信号（＝PWM制御における基本波に相当）を生成し、PWM信号発生部17に出力する。

[0019] これらの結果、PWM信号発生部17は、入力された搬送波信号及び出力電圧指令信号に基づいてPWM信号を降圧チョッパ13に出力する。

降圧チョッパ13は、PWM信号に基づいて直流電源11からの入力直流電圧を降圧して駆動電圧として負荷12に出力し、負荷12が駆動されることとなる。

[0020] 次により具体的な動作について説明する。

図3は、第1実施形態のタイミングチャートである。

図3に示すように、PWM信号発生部17の直流電源電圧を V_{dc} [V]とした場合に、搬送波信号発生部15が発生する搬送波信号 S_C は、0 [V]と直流電源電圧 V_{dc} [V]との二つの電圧レベルの間で遷移する三角波となる。

一方、出力電圧指令信号 S_B の電圧は、一定である。

これらの結果、PWM信号発生部17で発生されるPWM信号 S_P は、搬送波信号 $S_C < \text{出力電圧指令信号 } S_B$ の場合には、“H”レベルとなり、搬送波信号 $S_C \geq \text{出力電圧指令信号 } S_B$ の場合には、“L”レベルとなる。

[0021] 図4は、搬送周波数の切替状態の説明図である。

図4に示すように、本第1実施形態によれば、乱数発生部20において発生された乱数に基づいて、搬送波信号 S_C の周波数（設定搬送波周波数）は、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれかの継続期間がランダムに変化するようにされている。

[0022] 本第1実施形態によれば、同一周波数の搬送波の継続期間が毎回異なるため、搬送波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

また、本第1実施形態においては、乱数値に応じて継続期間を変更することで、同一周波数の搬送波の継続期間の変化に規則性が無くなるため、継続期間の変化に伴う聴覚上の違和感が生じることが無くなる。

[0023] 以上の説明においては、乱数発生部21にて乱数を発生させ、乱数に応じ

て継続期間を変更したが、例えば正弦波に応じて継続期間を変更しても、搬送波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

搬送波によって発生する高調波の周波数スペクトル分布において、各搬送波周波数によって発生する高調波成分のピークは搬送波周波数選択範囲内に表れる。

[0024] また、通常、搬送波周波数の選択範囲は、上限周波数 (f_{max}) は、マイクロンの制御演算処理時間の制限を受け、下限周波数 (f_{min}) は、制御遅れによる制御性の悪化による制限を受ける。したがって、上限周波数 (f_{max}) から下限周波数 (f_{min}) にいたる周波数帯域としては、広く取ることができない。

[0025] 図5は、搬送波周波数と高調波成分との関係説明図である。

すなわち、図5に示すように、下限の搬送波周波数である最小搬送波周波数 f_{min} による高調波成分のピーク71と上限の搬送波周波数である最大搬送波周波数 f_{max} による高調波成分のピーク72、周波数の変移に伴う高調波成分のピーク73はそれぞれ重なることになる。したがって、搬送波周波数選択範囲の中で、分散の範囲を可能な限り広げると、搬送波周波数選択範囲の下限の最小搬送波周波数 f_{min} と上限の最大搬送波周波数 f_{max} の2つの周波数を搬送波周波数として選択して、継続期間を変化させることで分散するのがより好ましいことがわかる。

[0026] また、可能であれば、搬送波周波数の更新タイムングが搬送波の山または谷になるように、継続期間は、搬送波が三角波の場合には搬送波周期の半周期の整数倍、搬送波が鋸波の場合には搬送波一周期の整数倍にするのが好ましい。これによって、搬送波の山から谷の間の出力電圧の平均値が出力電圧指令の電圧値となるというPWMの前提が保たれ、搬送波周波数の変更によって、出力電圧に生じる誤差の発生を防ぐことができる。

[0027] 図6は、第1実施形態の変形例の説明図である。

本第1実施形態では、降圧チョップ13による負荷12の制御について示したが、例えば、図6に示すように、インバータ13Aによる交流モータ1

2 A の制御の場合等、PWM 電力変換装置であれば同様に高調波成分の分散効果が得られ、機械的共振などの発生を抑制することができる。

[0028] [2] 第2実施形態

図7は、第2実施形態のPWM電力変換装置の概要構成ブロック図である。

図7において、図1の第1実施形態と同様の部分には、同一の符号を付すものとする。

本第2実施形態が第1実施形態と異なるのは、第1実施形態が、単純に乱数値によって同一周波数の搬送波をPWM信号の生成に継続して用いる継続期間を設定していたのに対し、本第2実施形態は、乱数値及び変移確率値を用い、乱数値が変移すべき条件を満たしているか否かを変移確率値に基づいて行う搬送波周波数演算部を備えた点である。この場合に、変移確率値を複数用いることにより、ある搬送波周波数から他の搬送波周波数に切り替えるか否かを判別しているため、より一層均一に搬送波周波数を切り替えることができ、得られる高調波成分の周波数を均一に分散させることができる。

[0029] PWM電力変換装置10の搬送波周波数演算部14Aは、大別すると、図7に示すように、乱数を発生する乱数発生部21と、周波数選択信号に基づいてあらかじめ設定された複数の変移確率値のいずれかを選択して出力する変移確率選択部41と、入力された乱数値及び入力された変移確率値に基づいて周波数変移を行うべきか否かの変移判定を行い変移指令信号を出力する変移判定部42と、入力された変移指令信号に基づいて、周波数選択信号を出力する周波数選択指示部43と、周波数選択信号に基づいて、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれかを排他的に搬送波周波数信号として出力する周波数選択部24と、を備えている。

[0030] 本第2実施形態においては、用いる搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} 及び最小搬送波周波数 f_{min} の2種類としているので、変移確率値は、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min}

に変移させる確率値である変移確率値 P_{hl} と、搬送波周波数を最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる確率値である変移確率値 P_{lh} と、の二つが用いられている。

[0031] 次に第2実施形態の動作を説明する。

まず、搬送波周波数演算部14Aの乱数発生部21は、乱数値を発生して変移判定部42に出力する。ここで、乱数発生部21は、第1実施形態と同様に、疑似乱数を演算して乱数値として出力したり、乱数テーブルを参照したりして乱数値を変移判定部42に出力する。

[0032] これと並行して、変移確率選択部41は、周波数選択指示部43が出力している周波数選択信号に基づいてあらかじめ設定された複数の変移確率値 P_{hl} 、 P_{lh} のいずれかを選択して変移判定部42に出力する。

[0033] 具体的には、周波数選択指示部43が出力している周波数選択信号が最大搬送波周波数 f_{max} に対応するものである場合には、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min} に変移させる確率値である変移確率値 P_{hl} が変移判定部42に出力される。

[0034] また、周波数選択指示部43が出力している周波数選択信号が最小搬送波周波数 f_{min} に対応するものである場合には、搬送波周波数を最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる確率値である変移確率値 P_{lh} が変移判定部42に出力される。

[0035] これらの結果、変移判定部42は、入力された乱数値と変移確率値とに基づいて周波数変移を行うべきか否かの変移判定を行い変移指令信号を周波数選択指示部43に出力する。

より具体的には、例えば、乱数値を0～1として、入力された乱数値が変移確率値（例えば、変移確率値 $P_{hl} = 0.45$ ）以下の場合には、現在の搬送波周波数とは異なる搬送波周波数に変移する変移指令信号を周波数選択指示部43に出力する。

[0036] 周波数選択指示部43は、入力された変移指令信号に基づいて、周波数選択信号を周波数選択部24に出力する。

この結果、周波数選択部 24 は、入力された周波数選択信号に基づいて、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のうちいずれか一方を搬送波周波数信号として搬送波信号発生部 15 に出力する。

搬送波信号発生部 15 は、搬送波周波数信号に対応する周波数（本第 2 実施形態では、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれか）の搬送波信号を生成し、PWM 信号発生部 17 に出力する。

[0037] 一方、出力電圧指令生成部 16 は、降圧チョッパ 13 の出力電圧に相当する出力電圧指令信号（＝PWM 制御における基本波に相当）を生成し、PWM 信号発生部 17 に出力する。

これらの結果、PWM 信号発生部 17 は、入力された搬送波信号及び出力電圧指令信号に基づいて PWM 信号を降圧チョッパ 13 に出力する。

降圧チョッパ 13 は、PWM 信号に基づいて直流電源 11 からの入力直流電圧を降圧して駆動電圧として負荷 12 に出力し、負荷 12 が駆動されることとなる。

[0038] 図 8 は、第 2 実施形態のタイミングチャートである。

以上の構成により、搬送波周波数演算部 14A においては、第 1 実施形態と同様に、最大搬送波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} の継続期間がランダムに変化する搬送波信号 SC1 が出力され、PWM 信号発生部 17 により、図 8 に示すような PWM 信号 SP1 が出力される。

[0039] さらに、本第 2 実施形態においては、第 1 実施形態の効果に加えて、適切な変移確率値を用いることによって搬送波周波数の変移状態を調整することができるので、所望の高調波の周波数スペクトル分布の生成が容易になる。

[0040] ここで、変移確率値による高調波の周波数スペクトル分布の調整について説明する。

本第 2 実施形態においては、動作モードとしては、以下の 4 つしか存在しない。

（1）最小搬送波周波数 f_{min} の継続

(2) 最大搬送波周波数 $f_{\max}$ の継続

(3) 最小搬送波周波数 $f_{\min}$ から最大搬送波周波数 $f_{\max}$ への変移

(4) 最大搬送波周波数 $f_{\max}$ から最小搬送波周波数 $f_{\min}$ への変移

[0041] 図9は、第2実施形態の動作説明図である。

この場合において、生じる高調波の周波数スペクトル分布としては、図9に示すように、3種類の周波数スペクトル分布となる。(3) 最小搬送波周波数 $f_{\min}$ から最大搬送波周波数 $f_{\max}$ への変移と(4) 最大搬送波周波数 $f_{\max}$ から最小搬送波周波数 $f_{\min}$ への変移はいずれも73となるので、共通で扱う。

[0042] したがって、これら3種類の周波数スペクトル分布を用いて考察する。

各周波数スペクトル分布のピークにおける高調波成分の振幅は、(2)式～(4)式で表せる。

[0043] [数1]

$$f_{\min} \text{成分の高調波振幅} = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \frac{P_{hl}(1-P_{lh})}{f_{\min}P_{lh} + f_{\max}P_{hl}} C \quad \dots (2)$$

[0044] [数2]

$$f_{\max} \text{成分の高調波振幅} = \frac{f_{\min}}{f_{\max}} \frac{P_{hl}(1-P_{lh})}{f_{\min}P_{lh} + f_{\max}P_{hl}} C \quad \dots (3)$$

[0045] [数3]

$$\frac{2f_{\min}f_{\max}}{f_{\min} + f_{\max}} \text{成分の高調波振幅} = \frac{(f_{\min} + f_{\max})^2}{2f_{\min}f_{\max}} \frac{P_{hl}P_{lh}}{f_{\min}P_{lh} + f_{\max}P_{hl}} C \quad \dots (4)$$

[0046] ここで、定数Cは、変調率や分散範囲などによって変化するが、3つの分散で共通の定数である。

以上に基づいて、本第2実施形態においては、高調波の周波数スペクトル分布を調整している。

[0047] 例えば、最小搬送波周波数 $f_{\min}$ の高調波成分を多くしたい場合には、搬送波周波数を最大搬送波周波数 $f_{\max}$ から最小搬送波周波数 $f_{\min}$ に変移させる変移確率値 P_{hl} を大きくするか、あるいは、搬送波周波数を最

小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる変移確率値 P_{lh} を小さくすれば良い。

[0048] また、最大搬送波周波数 f_{max} の高調波成分を多くしたい場合には搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min} に変移させる変移確率値 P_{hl} を小さくするか、あるいは、搬送波周波数を最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる変移確率値 P_{lh} を大きくすれば良い。

[0049] さらに、最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} への変移、あるいは、最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min} への変移によって生じる高調波成分を多くしたい場合には、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min} に変移させる変移確率値 P_{hl} 、あるいは、搬送波周波数を最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる変移確率値 P_{lh} を大きくすれば良い。これによって、任意の周波数スペクトル分布の生成が可能になる。

[0050] ところで、第1実施形態でも述べたように、通常、搬送波周波数の選択範囲は広く取ることができない。

したがって、図5に示したように、搬送波周波数選択範囲の下限の搬送波周波数である最小搬送波周波数 f_{min} による高調波成分のピーク71、搬送波周波数選択範囲の上限の搬送波周波数である最大搬送波周波数 f_{max} による高調波成分のピーク72及び搬送波周波数の変移に起因する高調波成分のピーク73はそれぞれ重なることになる。

[0051] 図10は、第2実施形態の効果の説明図である。

そのため、搬送波周波数の変移に起因する高調波のピーク73を、最小搬送波周波数 f_{min} による高調波成分のピーク71及び最大搬送波周波数 f_{max} による高調波成分のピーク72に対して小さくすることで、図10に示すように、搬送波周波数の選択範囲内で可能な限り平坦にすることが可能になる。

[0052] 本第2実施形態においても、第1実施形態と同様に、乱数ではなく、例え

ば正弦波に応じて変移判定を実施しても、搬送波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。また、本第2実施形態でも、第1実施形態と同様に、降圧チョッパ13による負荷12の制御について示したが、PWM電力変換装置であれば同様に高調波成分の分散効果が得られる。

[0053] また、可能であれば、搬送波周波数の更新タイミングが搬送波のピーク（山）またはボトム（谷）になるように、搬送波周波数の変更はピーク位置またはボトム位置のみで実施した方が良い。これによって、搬送波のピークからボトムの間の出力電圧の平均値が出力電圧指令となるというPWMの前提が保たれ、搬送波周波数の変更によって、出力電圧に生じる誤差の発生を防ぐことができる。

[0054] [3] 第3実施形態

本第3実施形態が上記第2実施形態と異なる点は、負荷の機械特性に基づいて変移確率値および搬送波周波数を決定する変移確率搬送波周波数決定部を備えた点である。

図11は、第3実施形態のPWM電力変換装置の概要構成ブロック図である。

図11において、図7の第2実施形態と同一の部分には、同一の符号を付すものとする。

[0055] PWM電力変換装置10の搬送波周波数演算部14Bは、大別すると、図11に示すように、乱数を発生する乱数発生部21と、入力された負荷の機械特性に基づいて、変移確率値 P_{hl} 、 P_{lh} 、最大搬送波周波数 f_{max} 及び最小搬送波周波数 f_{min} を決定する変移確率搬送波周波数決定部51と、変移確率搬送波周波数決定部51により設定された複数の変移確率値のいずれかを周波数選択信号に基づいて選択して出力する変移確率選択部41と、入力された乱数値及び入力された変移確率値に基づいて周波数変移を行うべきか否かの変移判定を行い変移指令信号を出力する変移判定部42と、入力された変移指令信号に基づいて、周波数選択信号を出力する周波数選択指示部43と、変移確率搬送波周波数決定部51により設定された最大搬送

波周波数 f_{max} あるいは最小搬送波周波数 f_{min} のいずれかを、周波数選択信号に基づいて搬送波周波数信号として出力する周波数選択部 24 と、を備えている。

[0056] 図 12 は、機械特性判定において負荷に流す電流の一例の説明図である。

図 13 は、機械特性判定における負荷の騒音特性の説明図である。

上述した第 3 実施形態の PWM 電力変換装置 10 の構成において、機械特性とは、例えば、図 12 のようなホワイトノイズに近いような電流を負荷に流した際における、図 13 に示す負荷の騒音特性や、単純に負荷の機械共振点の周波数（例えば、図 13 においては、3.4 kHz 及び 3.9 kHz）である。

[0057] 図 14 は、機械特性と設定される搬送波周波数との関係説明図である。

そして、変移確率搬送波周波数決定部 51 は、入力された機械特性に応じて、例えば、図 14 に示すように、機械特性 82 における機械共振点を、最大搬送波周波数 f_{max} 及び最小搬送波周波数 f_{min} の平均周波数
$$\left[= 2 f_{min} \times f_{max} / (f_{max} + f_{min}) \div (f_{max} + f_{min}) / 2 \right]$$
 と一致させるように最大搬送波周波数 f_{max} 及び最小搬送波周波数 f_{min} を決定する。さらに、変移確率値 P_{hl} 、 P_{lh} を小さくすることにより、搬送波周波数の変移の回数を抑制し、平均周波数における高調波のピークの発生を抑制することで、機械共振を回避した周波数スペクトル分布 81 にする。

[0058] 図 15 は、機械特性と設定される搬送波周波数とその他の関係説明図である。

例えば、図 15 に示すように、最大搬送波周波数 f_{max} における騒音が大きく出る機械特性 84 の場合には、搬送波周波数を最大搬送波周波数 f_{max} から最小搬送波周波数 f_{min} に変移させる変移確率値 P_{hl} よりも、搬送波周波数を最小搬送波周波数 f_{min} から最大搬送波周波数 f_{max} に変移させる変移確率値 P_{lh} を小さくして最大搬送波周波数 f_{max} の高調波のピークよりも最小搬送波周波数 f_{min} の高調波のピークが大きくなる

ように、機械共振を回避した周波数スペクトル分布 83 にする。

[0059] 以上のように構成した本第 3 実施形態によれば、機械共振を避けることができ、電磁騒音を低減することが可能になる。

本第 3 実施形態においても、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、乱数ではなく、例えば正弦波に応じて変移判定を実施しても、搬送波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

[0060] また、本第 3 実施形態でも、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、降圧チョッパ 13 による負荷 12 の制御について示したが、PWM 電力変換装置であれば同様に高調波成分の分散効果が得られる。

[0061] 本第 3 実施形態においても、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、乱数ではなく、例えば正弦波に応じて変移判定を実施しても、機械共振を回避できる。

また、第 3 実施形態においても、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、降圧チョッパ 13 による負荷 12 の制御について示したが、例えば、負荷 12 として機能する交流モータ 12A を制御するインバータであっても交流モータ 12A の機械特性に応じて本発明を用いれば同様に電磁騒音低減効果が得られる。

[0062] [4] 第 1 実施形態乃至第 3 実施形態の変形例

[4. 1] 第 1 変形例

図 16 は、第 1 実施形態乃至第 3 実施形態の第 1 変形例の概要構成説明図である。

以上の各実施形態においては、負荷の機械特性を別途入力（設定）する構成を採っていたが、図 16 に示すように、負荷の近傍に騒音検出用のマイクロフォン 91 を設け、マイクロフォン 91 の出力を高速フーリエ変換（FFT）して分析する FFT アナライザ 92 を設け、FFT 分析結果に基づいて最大搬送波周波数 f_{max} 、最小搬送波周波数 f_{min} 及び搬送波継続期間を定めるように構成することも可能である。

[0063] [4. 2] 第 2 変形例

第1実施形態乃至第3実施形態の第1変形例と同様にFFTアナライザを設け、さらに、第2実施形態で用いた変移確率値 P_{hl} 及び変移確率値 P_{lh} をFFT分析結果に基づいて定めるように構成することも可能である。

[0064] [4. 3] 第3変形例

上記第3実施形態においては、変移確率搬送波周波数決定部51を持つ構成を採っていたが、第2実施形態の構成において、機械共振を避けるようにあらかじめ変移確率値 P_{hl} 、 P_{lh} 及び搬送波周波数 f_{max} 、 f_{min} を計算しておき、それを設定するように構成することも可能である。

[0065] [4. 4] 第4変形例

第1実施形態乃至第3実施形態のPWM電力変換装置の制御部は、CPUなどの制御装置と、ROM (Read Only Memory) やRAMなどの記憶装置と、HDD、CDドライブ装置などの外部記憶装置と、ディスプレイ装置などの表示装置と、キーボードやマウスなどの入力装置を備えており、通常のコンピュータを利用したハードウェア構成として構成することも可能である。

[0066] [4. 5] 第5変形例

また第1実施形態乃至第3実施形態のPWM電力変換装置の制御部で実行される制御プログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、フレキシブルディスク (FD)、CD-R、DVD (Digital Versatile Disk) 等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供されるようにしてもよい。

[0067] [4. 6] 第6変形例

また、第1実施形態乃至第3実施形態のPWM電力変換装置の制御部で実行される制御プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成しても良い。また、本実施形態のPWM電力変換装置で実行される制御プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供または配布するように構成してもよい。

[0068] [4. 7] 第7変形例

また、第1実施形態乃至第3実施形態のPWM電力変換装置の制御部の制御プログラムを、ROM等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

[0069] [5] 第4実施形態

図17は、第4実施形態のPMSM回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

PMSM回転センサレス制御システム110は、大別すると、電力変換を行うインバータ111と、インバータ111により回転駆動されるPMSM112と、電動機鉄心突極性を利用してPMSM112の回転角度を推定するために重畳する高周波電圧の周波数を演算し、設定するための重畳高周波周波数演算部113と、重畳高周波周波数演算部113により設定された周波数を有する高周波信号を制御信号に重畳しつつ、インバータ111を制御するインバータ制御部114と、を備えている。このとき、重畳高周波周波数演算部113はインバータ制御部114内部または外部に設けることが可能である。

[0070] 重畳高周波周波数演算部113は、乱数を発生する乱数発生部121と、入力された乱数の値に基づいて継続期間を決定し、継続期間データを出力する継続期間決定部122と、入力された継続期間データに基づいて後述する継続判定を行い、周波数選択信号を出力する継続判定部123と、周波数選択信号に基づいて、重畳高周波周波数として設定可能な周波数のうち最も周波数の高い最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは重畳高周波周波数として設定可能な周波数のうち最も周波数の低い最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれか一方を重畳高周波周波数信号として出力する周波数選択部124と、を備えている。

[0071] 図18は、継続判定部の概要構成ブロック図である。

継続判定部123は、比較器161、カウンタ162、反転処理器163を備えている。

比較器 161 は、継続期間データ及びカウントデータが入力され、継続期間データの値及びカウントデータの値が一致したか否かを判別して、比較結果信号を出力する。

[0072] カウンタ 162 は、内部にメモリを有しており、メモリにはカウント値が保存されている。カウント値の初期値は例えば 0 とする。そのカウント値に対して制御周期毎に一定値（例えば 1）を加算してメモリ内のカウント値を更新する。

[0073] カウンタ 162 には、比較結果信号が入力され、比較結果信号が一致に相当する場合にカウント値は初期値にリセットされる。また、カウンタ 162 は、比較結果信号が不一致に相当する場合は、継続して制御周期毎に一定値を加算してカウント値として出力する。

反転処理器 163 は、比較結果信号及び周波数選択信号が入力され、比較結果信号と周波数選択信号とが不一致となった場合に、周波数選択信号を反転する。

以上の一連の処理が継続判定となる。

[0074] インバータ制御部 114 は、周波数選択部 124 より出力される重畳高周波周波数信号に基づいて、重畳すべき高周波電圧の周波数の指示を行うための重畳電圧指令信号 v_{dc}^* を出力する高周波電圧指令生成部 131 を備えている。また、インバータ制御部 114 は、入力された重畳電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に基づいて PMSM 12 の回転位相角を推定して推定位相角 θ_{est} を出力する回転位相角推定部 132 を備えている。

[0075] また、インバータ制御部 114 は、運転室等の外部から入力される d 軸電流指令信号 i_{dc}^* 、q 軸電流指令信号 i_{qc}^* 、電流検出部 137 の検出値から算出される d 軸電流検出信号 i_{dc} 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に基づいて電流制御を行うために基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* 、 v_{qcf}^* を生成し出力する電流制御部 133 と、基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* 、 v_{qcf}^* および重畳電圧指令信号 v_{dc}^* に基づいて d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 、q

軸電圧指令信号 v_{qc}^* を出力する高周波電圧重畳部 134 と、を備えている。

[0076] また、インバータ制御部 114 は、入力された d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* の座標変換を行って U 相電圧指令信号 v_u^* 、V 相電圧指令信号 v_v^* 、W 相電圧指令信号 v_w^* を出力する第 1 座標変換部 135 と、入力された電圧指令信号 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* と、搬送波である三角波あるいは鋸波と、を比較して PWM 変調を行い、インバータ 11 の各相スイッチング素子のオン／オフ指令であるゲート信号を出力する PWM 変調部 136 と、を備えている。

[0077] また、インバータ制御部 114 は、PMSM 12 に流れる 3 相交流電流のうち複数相（図 17 の例では、U 相及び W 相の 2 相）の電流応答値を検出し、電流検出信号（図 17 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）を出力する電流検出部 137 と、電流検出部 137 により出力された電流検出信号（図 17 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）の座標変換（UVW／dcqc 変換）を行って d 軸電流検出信号 i_{dc} 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} を出力する第 2 座標変換部 138 と、を備えている。

[0078] 次に第 4 実施形態の動作を説明する。

まず、重畳高周波周波数演算部 113 の乱数発生部 121 は、乱数値を発生して継続期間決定部 122 に出力する。ここで、乱数発生部 121 は、疑似乱数を演算して乱数値として出力したり、乱数テーブルを参照したりして乱数値を出力する。

[0079] この結果、継続期間決定部 122 は、入力された乱数値に基づいて重畳高周波周波数の継続期間を決定し、継続期間データとして出力する。より具体的には、重畳高周波周波数の 1 周期分を基準として（5）式で計算する。

$$\text{継続期間} = \text{重畳高周波周波数の 1 周期} \times \text{乱数値} \quad \cdots \cdots (5)$$

[0080] 継続判定部 123 は、入力された継続期間データに基づいて、継続判定を行い、周波数選択信号を出力する。本第 4 実施形態においては、重畳高周波

電圧の周波数は、最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは、最小重畳高周波周波数 f'_{min} の２種類であるので、周波数選択信号は、“０”又は“１”のいずれかの値を有する２値データである。したがって、継続期間データの値に応じて、最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは、最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれかに対応する周波数選択信号が周波数選択部 124 に出力される。

[0081] 周波数選択部 124 は、周波数選択信号に基づいて、最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれか一方を重畳高周波周波数信号として高周波電圧指令生成部 131 に出力する。

[0082] インバータ制御部 114 の高周波電圧指令生成部 131 は、入力された重畳高周波周波数信号に基づいて重畳すべき高周波電圧の周波数の指示を行うための重畳電圧指令信号 v_{dc}^* を回転位相角推定部 132 及び高周波電圧重畳部 134 に出力する。

[0083] 一方、電流制御部 133 は、入力された d 軸電流指令信号 i_{dc}^* 、q 軸電流指令信号 i_{qc}^* 、d 軸電流検出信号 i_{dc} 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に基づいて電流制御を行うために基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* 、 v_{qcf}^* を生成し高周波電圧重畳部 134 に出力する。

[0084] これらの結果、高周波電圧重畳部 134 は、基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* および重畳電圧指令信号 v_{dc}^* に基づいて d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* を生成し、基本波電圧指令信号 v_{qcf}^* および重畳電圧指令信号 v_{dc}^* に基づいて q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* を生成し、生成した d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* を第 1 座標変換部 135 に出力する。

[0085] 第 1 座標変換部 135 は、入力された d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* の座標変換を行って U 相電圧指令信号 v_u^* 、V 相電圧指令信号 v_v^* 及び W 相電圧指令信号 v_w^* を PWM 変調部 136 に出力する。

[0086] PWM 変調部 136 は、入力された電圧指令信号 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* と、搬送波である三角波あるいは鋸波と、を比較して PWM 変調を行い、インバータ 111 の各相スイッチング素子のオン／オフ指令であるゲート信号をイ

ンバータ 11 に出力する。

この結果、インバータ 111 より PMSM 112 には、同期した状態で U 相電流、V 相電流及び W 相電流が流れて、PMSM 112 の図示しない回転子が回転することとなる。

[0087] これと並行して、電流検出部 137 は、PMSM 112 に流れる 3 相交流電流のうち複数相（図 17 の例では、U 相及び W 相の 2 相）の電流応答値を検出し、電流検出信号（図 17 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）を第 2 座標変換部 138 に出力する。

[0088] 第 2 座標変換部 138 は、電流検出部 137 により出力された電流検出信号（図 17 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）の座標変換（UVW/dcq 変換）を行って d 軸電流検出信号 i_{dc} を電流制御部 133 に出力し、q 軸電流検出信号 i_{qc} を回転位相角推定部 132 及び電流制御部 133 に出力する。

[0089] この結果、回転位相角推定部 132 は、入力された重畳電圧指令信号 v_{dch^*} 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に基づいて PMSM 112 の回転位相角を推定して推定位相角 θ_{est} を第 1 座標変換部 135 及び第 2 座標変換部 138 に出力する。

[0090] 上記動作の結果、第 1 座標変換部 135 は、推定位相角 θ_{est} に相当する PMSM 112 の回転状態に最適な電圧指令信号 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を PWM 変調部 136 に対して出力することとなるので、インバータ 111 は、騒音を抑制しつつ、PMSM 112 の回転状態に応じて回転駆動を行う。

[0091] 次により具体的な動作について説明する。

図 19 は、第 4 実施形態のタイミングチャートである。

図 19 に示すように、PWM 変調部 136 の直流電源電圧を V_{dc} [V] とした場合に、搬送波発生部が発生する搬送波信号 SC は、0 [V] と直流電源電圧 V_{dc} [V] との 2 つの電圧レベルの間で遷移する三角波となる。

[0092] また、高周波電圧指令生成部 131 が出力する重畳電圧指令信号 v_{dch^*} は、図 19 に示すように、その周期が重畳高周波周波数（最大重畳高周波周

波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min}) に応じた周波数を有する矩形波となる。

より詳細には、図 19 において、時刻 t_1 から時刻 t_2 に至る期間及び時刻 t_3 から時刻 t_4 に至る期間においては、重畳電圧指令信号 v_{dch}^* は、重畳高周波周波数 = 最小重畳高周波周波数 f'_{min} であるので、比較的低い周波数の矩形波となっている。

[0093] 一方、図 19 において、時刻 t_2 から時刻 t_3 に至る期間及び時刻 t_4 以降の期間においては、重畳電圧指令信号 v_{dch}^* は、重畳高周波周波数 = 最大重畳高周波周波数 f'_{max} であるので、比較的高い周波数の矩形波となっている。

[0094] 図 20 は、重畳高周波周波数の切替状態の説明図である。

ここで図 20 は、図 19 (a) の長期的な時間軸で表現した図になっている。

図 20 に示すように、本第 4 実施形態によれば、乱数発生部 121 において発生された乱数値に基づいて、重畳高周波周波数は、最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれかの継続期間がランダムに変化するようにされている。

[0095] したがって、本第 4 実施形態によれば、同一周波数の重畳高周波が印加される継続期間が毎回異なるため、重畳高周波周波数選択範囲における平均周波数の成分を低減できる。

また、本第 4 実施形態においては、乱数値に応じて継続期間を変更することで、同一周波数の重畳高周波の継続期間の変化に規則性が無くなるため、継続期間の変化に伴う聴覚上の違和感を生じることが無くなる。

[0096] 本第 4 実施形態によれば、重畳高周波の継続期間が毎回異なるため、重畳高周波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

また、本第 4 実施形態によれば、乱数値に応じて継続期間を変更しているので、同一の重畳高周波周波数を維持し、継続する継続期間の変化に規則性が無くなり、継続期間の変化に伴う聴覚上の違和感が生じることが少なくな

る。

[0097] また、通常、搬送波周波数の選択範囲は、上限周波数 (f'_{max}) は、マイクロンの制御演算処理時間の制限を受け、下限周波数 (f'_{min}) は、制御遅れによる制御性の悪化による制限を受ける。したがって、上限周波数 (f'_{max}) から下限周波数 (f'_{min}) に至る周波数帯域としては、広く取ることができない。

[0098] 図 21 は、重量高周波周波数と高調波成分との関係説明図である。

すなわち、図 21 に示すように、下限の周波数である最小重量高周波周波数 f'_{min} による高調波成分の山 171、上限の周波数である最大重量高周波周波数 f'_{max} による高調波成分の山 172 及び周波数の変移に伴う高調波成分の山 173 はそれぞれ重なることになる。したがって、重量高周波周波数選択範囲の中で、分散の範囲を可能な限り広げるためには、重量高周波周波数選択範囲の下限の周波数である最小重量高周波周波数 f'_{min} と上限の周波数である最大重量高周波周波数 f'_{max} の 2 つの周波数を重量高周波周波数として選択して、継続期間を変化させることで分散するのがより好ましいことがわかる。

[0099] また、可能であれば、重量高周波周波数の更新タイムリングが搬送波の山また谷になるように、継続期間としては、搬送波が三角波の場合には搬送波の半周期の整数倍、搬送波が鋸波の場合には搬送波の 1 周期の整数倍にするのが好ましい。これによって、搬送波の山から谷の間の出力電圧の平均値が出力電圧指令の電圧値となるという PWM の前提が保たれ、搬送波周波数の変更によって、出力電圧に生じる誤差の発生を防ぐことができる。

[0100] [5.1] 第 4 実施形態の変形例

[5.1.1] 第 1 変形例

上記構成において、重量高周波周波数を維持する継続期間を、重量高周波の周期の半周期の整数倍とし、高周波電流が零となるタイムリングで重量高周波の周波数を切り替えるように構成することも可能である。

[0101] これにより、より安定した切り替えが実現できる。

また、さらに、継続期間を、重畳高周波の 1 周期の整数倍とすることで、高周波 1 周期のフーリエ級数演算によって回転位相角の推定、すなわち、推定位相角 θ_{est} を正確に算出することができる。

[0102] [5. 1. 2] 第 2 変形例

上記第 4 実施形態では、高周波電圧を重畳する方法を示したが、高周波電流を重畳する方法でも同様の効果を得ることが可能である。

また、上記第 4 実施形態では、重畳高周波電圧を d 軸に矩形波を重畳している例を示したが、d 軸と q 軸の両方あるいは q 軸だけに電圧を重畳する、あるいは正弦波を重畳する場合でも同様の効果が得られる。

[0103] [5. 1. 3] 第 3 変形例

図 22 は、高周波電圧指令生成部の概要構成ブロック図である。

[0104] 高周波電圧指令生成部 131 は、重畳高周波周波数設定部 13X から入力された重畳高周波周波数 (f'_{max} または f'_{min}) を、(6) 式あるいは (7) 式で表される中心重畳高周波周波数 f_{h_c} で除し、第 1 の重畳高周波電圧振幅指令値 V_{dh*} を乗じた値を第 2 の重畳高周波電圧振幅指令値 V_{dh**} として出力する重畳高周波電圧振幅指令生成部 301 と、入力された重畳高周波周波数 (f'_{max} 又は f'_{min}) の重畳高周波電圧振幅を第 2 の重畳高周波電圧振幅指令値 V_{dh**} に相当する値として重畳電圧指令信号 v_{dch*} とする矩形波生成部 302 と、を備えている。

[0105] [数 4]

$$f_{h_c} = \frac{2f'_{max} f'_{min}}{f'_{min} + f'_{max}} \quad \dots (6)$$

[0106] [数 5]

$$f_{h_c} = \frac{f'_{max} + f'_{min}}{2} \quad \dots (7)$$

[0107] 図 23 は、第 3 変形例の動作説明タイミングチャートである。

上記構成の結果、図 23 に示すように、時刻 t_1 から時刻 t_2 に至る期間及び時刻 t_3 から時刻 t_4 に至る期間は、重畳高周波周波数 = f'_{min} (

$< f'_{max}$) となっている。この期間における重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の値は、重畳高周波周波数が、中心重畳高周波周波数 f_{h-} における重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の振幅 $= v_h [V]$ の場合に、重畳高周波周波数 $= f'_{min} < v_h$ となっている。

[0108] また、図 23 に示すように、時刻 t_2 から時刻 t_3 に至る期間及び時刻 t_4 以降の期間は、重畳高周波周波数 $= f'_{max}$ となっており、この期間に

おける重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の値は、重畳高周波周波数が、中心重畳高周波周波数 f_{h-} における重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の振幅 $= v_h [V]$ の場合に、重畳高周波周波数 $= f'_{max}$ における重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の振幅 $v_h f'_{max} > v_h$ となっている。

[0109] 高周波電流 $i_{dc}h$ の振幅 i_h は、重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ の振幅 v_h と重畳高周波周波数 f_h 、インダクタンス L を用いて、次式のように近似でき

$$i_h \div v_h / (4 f_h \times L)$$

したがって、上記構成の結果、 v_h / f_h が一定となるので、図 23 に示すように、重畳した高周波電圧によって発生する高周波電流 $i_{dc}h$ の振幅が重畳高周波周波数の値 $(f'_{min}$ または $f'_{max})$ にかかわらず一定となり、 SN 比を一定に保つことができる。

このように構成することで、騒音を低減するために重畳高周波周波数を可変にすることで回転子磁極位置の推定精度が落ちるような場合があっても、重畳高周波周波数の電圧振幅に応じて制御することができるため、重畳高周波周波数が一定のときと同様の推定精度を維持することができる。

[0110] 図 24 は、他の高周波電圧指令生成部の概要構成ブロック図である。

図 24 の構成においては、図 17 の継続判定部 123 から高周波電圧指令生成部 131 へ周波数選択信号が送られる。

高周波電圧指令生成部 131 は、継続判定部 123 から入力された周波数選択信号に基づいて、重畳高周波周波数 f'_{max} に対応する重畳高周波電

圧振幅 $v_{hf'} \max$ あるいは重畳高周波周波数 $f' \min$ に対応する重畳高周波電圧振幅 $v_{hf'} \min$ のいずれかを出力する電圧振幅選択部 303 と、入力された重畳高周波周波数 ($f' \max$ または $f' \min$) 及び入力された重畳高周波電圧振幅 ($v_{hf'} \max$ または $v_{hf'} \min$) に基づいて、重畳電圧指令信号 v_{dch}^* とする矩形波生成部 302 と、を備えている。

本構成によっても、重畳した高周波電圧によって発生する高周波電流 i_{dch} の振幅が重畳した高周波電圧周波数の値にかかわらず一定となり、S/N 比を一定に保つことができる。

図 24 の高周波電圧指令生成部 131 を第 4 実施形態の重畳高周波周波数演算部 113 と組み合わせることで、図 24 に示すように重畳高周波周波数演算部 113 で生成した周波数選択信号を用いて電圧振幅選択部 303 のようにスイッチによる切り替えだけで重畳高周波電圧振幅指令 V_{dh}^* を選択でき、プログラムを単純にすることができる。

[0111] [6] 第 5 実施形態

図 25 は、第 5 実施形態の PMSM 回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

図 25 において、図 17 の第 4 実施形態と同様の部分には、同一の符号を付すものとする。

[0112] 本第 5 実施形態が第 4 実施形態と異なるのは、第 4 実施形態が、単純に乱数値によって継続して用いる同一の重畳高周波周波数の継続期間を設定していたのに対し、本第 2 実施形態は、乱数値及び変移確率値を用い、乱数値が変移すべき条件を満たしているか否かを変移確率値に基づいて行う重畳高周波周波数演算部を備えた点である。この場合に、変移確率値を複数用いることにより、ある重畳高周波周波数から他の重畳高周波周波数に切り替えるか否かを判別しているため、発生する高周波成分を制御することでより一層均一に重畳高周波周波数を切り替えることができ、得られる高調波成分を均一に分散させることができる。

[0113] PMSM回転センサレス制御システム110Aの重畳高周波周波数演算部113Aは、大別すると、図25に示すように、乱数を発生する乱数発生部121と、周波数選択信号に基づいてあらかじめ設定された複数の変移確率値のいずれかを選択して出力する変移確率選択部141と、入力された乱数値及び入力された変移確率値に基づいて周波数変位を行うべきか否かの変移判定を行い変移指令信号を出力する変移判定部142と、入力された変移指令信号に基づいて、周波数選択信号を出力する周波数選択指示部143と、周波数選択信号に基づいて、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれかを排他的に重畳高周波周波数信号として出力する周波数選択部124と、を備えている。

[0114] 本第5実施形態においても、用いる重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} 及び最小重畳高周波周波数 f'_{min} の2種類としている。変移確率値は、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳高周波周波数 f'_{min} に変移させる確率値である変移確率値 P'_{hl} と、重畳高周波周波数を最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数 f'_{max} に変移させる確率値である変移確率値 P'_{lh} と、の二つが用いられている。

[0115] 次に第5実施形態の動作を説明する。

まず、重畳高周波周波数演算部113Aの乱数発生部121は、乱数値を発生して変移判定部142に出力する。ここで、乱数発生部121は、第1実施形態と同様に、疑似乱数を演算して乱数値として出力したり、乱数テーブルを参照したりして乱数値を変移判定部142に出力する。

[0116] これと並行して、変移確率選択部141は、周波数選択指示部143が出力している周波数選択信号に基づいてあらかじめ設定された複数の変移確率値 P'_{hl} 、 P'_{lh} のいずれかを選択して変移判定部142に出力する。

[0117] 具体的には、変移確率選択部141に周波数選択指示部143から最大重畳高周波周波数 f'_{max} に対応する周波数選択信号が入力される場合には、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳高周波

周波数 f'_{min} に変移させる確率値である変移確率値 P'_{hl} が変移判定部 142 に出力される。

[0118] また、変移確率選択部 141 に周波数選択指示部 143 から最小重畳高周波周波数 f'_{min} に対応する周波数選択信号が入力される場合には、重畳高周波周波数を最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数 f'_{max} に変移させる確率値である変移確率値 P'_{lh} が変移判定部 142 に出力される。

[0119] これらの結果、変移判定部 142 は、入力された乱数値と変移確率値とに基づいて周波数変位を行うべきか否かの変移判定を行う。その後、行われた変移判定の結果に対応する変移指令信号を周波数選択指示部 143 に出力する。

より具体的には、例えば、乱数値を 0～1 として、入力された乱数値が変移確率値（たとえば、変移確率値 $P'_{hl} = 0.45$ ）以下の場合には、現在の重畳高周波周波数とは異なる重畳高周波周波数に変移する変移指令信号を周波数選択指示部 143 に出力する。

[0120] 周波数選択指示部 143 は、入力された変移指令信号に基づいて、周波数選択信号を周波数選択部 124 に出力する。

この結果、周波数選択部 124 は、入力された周波数選択信号に基づいて、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min} のうちいずれか一方を重畳高周波周波数信号として高周波電圧指令生成部 131 に出力する。高周波電圧指令生成部 131 は、重畳高周波周波数信号に対応する周波数（本第 2 施形態では、最大重畳高周波周波数 f'_{max} あるいは最小重畳高周波周波数 f'_{min} のいずれか）に対応する重畳電圧指令信号 v_{dc}^* を生成する。また、生成した重畳電圧指令信号 v_{dc}^* を回転位相角推定部 132 及び高周波電圧重畳部 134 に出力する。

[0121] 一方、電流制御部 133 は、入力された d 軸電流指令信号 i_{dc}^* 、q 軸電流指令信号 i_{qc}^* 、d 軸電流検出信号 i_{dc} 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に

基づいて電流制御を行うために基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* 、 v_{qcf}^* を生成し高周波電圧重畳部 134 に出力する。

[0122] これらの結果、高周波電圧重畳部 134 は、基本波電圧指令信号 v_{dcf}^* および重畳電圧指令信号 v_{dch}^* に基づいて d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 、を生成し、基本波電圧指令信号 v_{qcf}^* および重畳電圧指令信号 v_{qch}^* に基づいて q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* を生成する。生成した d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* を第 1 座標変換部 135 に出力する。

[0123] 第 1 座標変換部 135 は、入力された d 軸電圧指令信号 v_{dc}^* 及び q 軸電圧指令信号 v_{qc}^* の座標変換を行って U 相電圧指令信号 v_u^* 、V 相電圧指令信号 v_v^* 及び W 相電圧指令信号 v_w^* を生成する。生成した U 相電圧指令信号 v_u^* 、V 相電圧指令信号 v_v^* 及び W 相電圧指令信号 v_w^* を PWM 変調部 136 に出力する。

[0124] PWM 変調部 136 は、入力された電圧指令信号 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* と、搬送波である三角波あるいは鋸波と、を比較して PWM 変調を行い、インバータ 111 の各相スイッチング素子のオン／オフ指令であるゲート信号を PMSM 112 に出力する。

この結果、PMSM 112 には、同期した状態で U 相電流、V 相電流及び W 相電流が流れて、PMSM 112 の図示しない回転子が回転することとなる。

[0125] これと並行して、電流検出部 137 は、PMSM 112 に流れる 3 相交流電流のうち複数相（図 25 の例では、U 相及び W 相の 2 相）の電流応答値を検出し、電流検出信号（図 25 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）を第 2 座標変換部 138 に出力する。

[0126] 第 2 座標変換部 138 は、電流検出部 137 により出力された電流検出信号（図 25 の例では、U 相電流検出信号 i_u 及び W 相電流検出信号 i_w ）の座標変換（UVW/dcq 変換）を行って d 軸電流検出信号 i_{dc} を電流制御部 133 に出力し、q 軸電流検出信号 i_{qc} を回転位相角推定部 132 及び電流制御部 133 に出力する。

[0127] この結果、回転位相角推定部 132 は、入力された重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ 及び q 軸電流検出信号 i_{qc} に基づいて PMSM 12 の回転位相角を推定して推定位相角 θ_{est} を第 1 座標変換部 135 及び第 2 座標変換部 138 に出力する。

[0128] 上記動作の結果、第 1 座標変換部 135 は、推定位相角 θ_{est} に相当する PMSM 12 の回転状態に最適な電圧指令信号 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を PWM 変調部 136 に対して出力することとなるので、インバータ 111 は、騒音を抑制しつつ、PMSM 112 の回転状態に応じて回転駆動を行う。

[0129] さらに、本第 5 実施形態においては、第 4 実施形態の効果に加えて、適切な変移確率値を用いることによって重畳高周波周波数の変移状態を調整することができるので、所望の高調波の周波数スペクトル分布の生成が容易になる。

[0130] ここで、変移確率値による高調波の周波数スペクトル分布の調整について説明する。

本第 5 実施形態において、動作モードとしては、以下の 4 つしか存在しない。

- (1) 最小重畳高周波周波数 f'_{min} の継続
- (2) 最大重畳高周波周波数 f'_{max} の継続
- (3) 最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数 f'_{max} への変移
- (4) 最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳高周波周波数 f'_{min} への変移

[0131] 図 26 は、第 5 実施形態の動作説明図である。

この場合において、生じる高調波の周波数スペクトル分布としては、図 26 に示すように、3 種類の周波数スペクトル分布となる。

すなわち、

- (1) 最小重畳高周波周波数 f'_{min} の継続時が周波数スペクトル分布 171、

(2) 最大重畳高周波周波数 $f'_{\max}$ の継続時間が周波数スペクトル分布 172、

(3) 最小重畳高周波周波数 $f'_{\min}$ から最大重畳高周波周波数 $f'_{\max}$ への変移時及び最大重畳高周波周波数 $f'_{\max}$ から最小重畳高周波周波数 $f'_{\min}$ への変移時はいずれも周波数スペクトル分布 173 となるので、共通で扱う。

したがって、これら 3 種類の周波数スペクトル分布を用いて考察する。

各周波数スペクトル分布のピークにおける高調波成分の振幅は、(8) 式～(10) 式で表せる。

[0132] [数6]

$$f'_{\min} \text{ 成分の高調波振幅} = \frac{f'_{\max}}{f'_{\min}} \frac{P'_{hl}(1-P'_{lh})}{f'_{\min} P'_{lh} + f'_{\max} P'_{hl}} C \quad \dots (8)$$

[0133] [数7]

$$f'_{\max} \text{ 成分の高調波振幅} = \frac{f'_{\min}}{f'_{\max}} \frac{P'_{lh}(1-P'_{hl})}{f'_{\min} P'_{lh} + f'_{\max} P'_{hl}} C \quad \dots (9)$$

[0134] [数8]

$$\frac{2f'_{\min} f'_{\max}}{f'_{\min} + f'_{\max}} \text{ 成分の高調波振幅} = \frac{(f'_{\min} + f'_{\max})^2}{2f'_{\min} f'_{\max}} \frac{P'_{hl} P'_{lh}}{f'_{\min} P'_{lh} + f'_{\max} P'_{hl}} C \quad \dots (10)$$

[0135] ここで、定数 C は、変調率や分散範囲などによって変化するが、3つの分散で共通の定数である。

以上に基づいて、本第5実施形態においては、高調波の周波数スペクトル分布を調整している。

[0136] 例えば、最小重畳高周波周波数 $f'_{\min}$ の高調波成分を多くしたい場合には、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 $f'_{\max}$ から最小重畳高周波周波数 $f'_{\min}$ に変移させる変移確率値 P'_{hl} を大きくするか、あるいは、重畳高周波周波数を最小重畳高周波周波数 $f'_{\min}$ から最大重畳高周波周波数 $f'_{\max}$ に変移させる変移確率値 P'_{lh} を小さくすれば良い。

[0137] また、最大重畳高周波周波数 f'_{max} の高調波成分を多くしたい場合に

は重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳高周波周波数 f'_{min} に変移させる変移確率値 P' 、 h' を小さくするか、あるいは、重畳高周波周波数を最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数 f'_{max} に変移させる変移確率値 P' 、 h' を大きくすれば良い。

[0138] さらに、最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数 f'_{max} への変移、あるいは、最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳

高周波周波数 f'_{min} への変移によって生じる高調波成分を多くしたい場合には、重畳高周波周波数を最大重畳高周波周波数 f'_{max} から最小重畳

高周波周波数 f'_{min} に変移させる変移確率値 P' 、 h' 、あるいは、重畳

高周波周波数を最小重畳高周波周波数 f'_{min} から最大重畳高周波周波数

f'_{max} に変移させる変移確率値 P' 、 h' を大きくすれば良い。これによ

って、任意の周波数スペクトル分布の生成が可能になる。

[0139] ところで、第4実施形態でも述べたように、通常、重畳高周波周波数の選

択範囲は広く取ることができない。

したがって、図21に示したように、下限の重畳高周波周波数 f'_{min}

による高調波成分の周波数スペクトル分布171と最大重畳高周波周波数 f'_{max}

による高調波成分の周波数スペクトル分布172、重畳高周波周波

数の変移に起因する高調波成分の周波数スペクトル分布173はそれぞれ重

なることになる。

[0140] 図27は、第5実施形態の効果の説明図である。

図27では、重畳高周波周波数の変移に起因する高調波の周波数スペクト

ル分布173が、最小重畳高周波周波数 f'_{min} による高調波成分の周波

数スペクトル分布171及び最大重畳高周波周波数 f'_{max} による高調波

成分の周波数スペクトル分布172と重なり合った際にスペクトルの和が平

坦となっている。スペクトルの和を平坦とするために、周波数スペクトル分

布173が、周波数スペクトル分布171及び周波数スペクトル分布172

に対して低くなるように変移確率 P' 、 h' と P' 、 h' を設定することで、図

27に示すように、重畳高周波周波数の選択範囲内で可能な限り平坦にすることが可能になる。

[0141] 本第5実施形態においても、第4実施形態と同様に、乱数ではなく、例えば正弦波に応じて変移判定を実施しても、重畳高周波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

[0142] また、可能であれば、重畳高周波周波数の更新タイミングが搬送波の周波数スペクトル分布のピークまたは周波数スペクトル分布のボトムになるように、重畳高周波周波数の変更はピーク位置またはボトム位置のみで実施した方が良い。これによって、搬送波のピークからボトムの間の出力電圧の平均値が出力電圧指令となるというPWMの前提が保たれ、重畳高周波周波数の変更によって、出力電圧に生じる誤差の発生を防ぐことができる。

[0143] [7] 第6実施形態

図28は、第6実施形態のPMSM回転センサレス制御システムの概要構成ブロック図である。

図28において、図17の第4実施形態と同様の部分には、同一の符号を付すものとする。

[0144] 本第6実施形態が第4実施形態と異なるのは、重畳高周波周波数演算部113に代えて、PMSM回転センサレス制御システム110Bにおいて、PWM変調部136で用いる搬送波周波数（図28の場合、最大搬送波周波数 f'_{max1} または最小搬送波周波数 f'_{min1} のいずれか）を決定する搬送波周波数演算部151を用いた点と、搬送波周波数演算部151により決定された搬送波周波数を有する搬送波SCを生成してPWM変調部136に出力する搬送波発生部52を設けた点と、搬送波周波数信号に基づいて重畳すべき高周波電圧の周波数の指示を行うための重畳電圧指令信号 v_{dch*} を出力する高周波電圧指令生成部131Aと、を備えた点である。

[0145] 次に第6実施形態の動作を説明する。

まず、搬送波周波数演算部151の乱数発生部121は、乱数値を発生して継続期間決定部122に出力する。ここで、乱数発生部121は、疑似乱

数を演算して乱数値として出力したり、乱数テーブルを参照したりして乱数値を出力する。

[0146] この結果、継続期間決定部 122 は、入力された乱数に基づいて重畳高周波周波数の継続期間を決定し、継続期間データとして出力する。より具体的には、重畳高周波周波数の 1 周期分を基準として第 1 実施形態において、上述した (1) 式で計算する。

[0147] 継続判定部 123 は、入力された継続期間データに基づいて、継続判定を行い、周波数選択信号を出力する。本第 3 実施形態においては、搬送波の周波数は、最大搬送波周波数 f'_{max1} あるいは最小搬送波周波数 f'_{min1} の 2 種類であるので、周波数選択信号は、“0” 又は “1” のいずれかの値を有する 2 値データである。したがって、継続判定に応じて、最大搬送波周波数 f'_{max1} あるいは最小搬送波周波数 f'_{min1} のいずれかに対応する周波数選択信号が周波数選択部 124 に出力される。

[0148] 周波数選択部 124 は、周波数選択信号に基づいて、最大搬送波周波数 f'_{max1} あるいは最小搬送波周波数 f'_{min1} のいずれか一方を搬送波周波数信号として高周波電圧指令生成部 131A および搬送波発生部 152 に出力する。

[0149] この結果、高周波電圧指令生成部 131A は、入力された搬送波周波数信号に基づいて、重畳すべき高周波電圧の周波数の指示を行うための重畳電圧指令信号 $v_{dc}h^*$ を回転位相角推定部 132 及び高周波電圧重畳部 134 に出力する。

[0150] 一方、搬送波発生部 152 は、搬送波周波数信号に対応する周波数（本第 3 実施形態では、最大搬送波周波数 f'_{max1} あるいは最小搬送波周波数 f'_{min1} のいずれか）の搬送波信号 SC を生成し、PWM 変調部 136 に出力する。

[0151] 図 29 は、第 6 実施形態のタイミングチャートである。

以上の構成により、第 3 実施形態の搬送波周波数演算部 151 においては、最大搬送波周波数 f'_{max1} あるいは最小搬送波周波数 f'_{min1} の

継続期間がランダムに変化する搬送波周波数が生成される。搬送波周波数は搬送波周波数演算部 151 より搬送波発生部 152 へ出力される。搬送波発生部 152 において、入力された搬送波周波数を用いて搬送波信号 SC を PWM 変調部 136 に出力する。

[0152] 本第 6 実施形態によれば、重畳高周波を搬送波に同期させることで、重畳高周波周波数による電磁騒音と重畳高周波による電磁騒音の両方を同時に低減できる。

以上の説明においては、重畳高周波電圧の周波数を搬送波周波数と等しくしたが、同期していれば、例えば重畳高周波周波数の半分、3分の1などにしてもよい。

[0153] 図 30 は、第 6 実施形態の変形例の説明図である。

また、本第 6 実施形態では、搬送波周波数演算部 151 として、第 1 実施形態の重畳高周波周波数演算部 13 と同様の演算方法を用いたが、本第 6 実施形態の変形例は、PMSM 回転センサレス制御システム 110C において、図 30 に示すように、第 5 実施形態の重畳高周波周波数演算部 113A と同様の演算方法を用いた搬送波周波数演算部 151A の構成を採ることも可能である。

[0154] 本第 6 実施形態においても、第 4 実施形態及び第 5 実施形態と同様に、乱数値ではなく、例えば正弦波に応じて変移判定を実施しても、重畳高周波周波数選択範囲の平均周波数の成分を低減できる。

また、本第 6 実施形態においても、第 4 実施形態及び第 5 実施形態と同様に、高周波電流を重畳する方法でも同様の効果が得られる。また、d 軸と q 軸の両方あるいは q 軸だけに電圧を重畳する、あるいは正弦波を重畳する場合でも同様の効果が得られる。

[0155] [8] 第 4 実施形態乃至第 6 実施形態の変形例

[8.1] 第 1 変形例

第 4 実施形態乃至第 6 実施形態の回転センサレス制御装置は、CPU などの制御装置と、ROM (Read Only Memory) や RAM など

の記憶装置と、HDD、CDドライブ装置などの外部記憶装置と、ディスプレイ装置などの表示装置と、キーボードやマウスなどの入力装置を備えており、通常のコンピュータを利用したハードウェア構成として構成することも可能である。

[0156] [8. 2] 第2変形例

また第4実施形態乃至第6実施形態の回転センサレス制御装置で実行される制御プログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、フレキシブルディスク(FD)、CD-R、DVD(Digital Versatile Disk)等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供されるようにしてもよい。

[0157] [8. 3] 第3変形例

また、第4実施形態乃至第6実施形態の回転センサレス制御装置で実行される制御プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成しても良い。また、本実施形態の回転センサレス制御装置の制御部で実行される制御プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供または配布するように構成しても良い。

[0158] [8. 4] 第4変形例

また、第4実施形態乃至第6実施形態の回転センサレス制御装置の制御プログラムを、ROM等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

[0159] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 所定の設定搬送波周波数の搬送波を所定の継続時間の間発生する搬送波発生部と、
- 前記継続時間をランダムに設定するとともに、互いに異なる複数の搬送波周波数のうちいずれか一の搬送波周波数を前記設定搬送波周波数として設定する設定部と、
- 前記搬送波発生部において発生された前記搬送波に基づいて、PWM信号を発生するPWM信号発生部と、
- 前記PWM信号に基づいて電力変換を行って負荷に供給する電力変換部と、
- を備えた電力変換装置。
- [請求項2] 前記設定部は、乱数を発生する乱数発生部と、
- 発生された前記乱数に基づいて、前記継続時間を決定する継続時間決定部と、
- を備えた請求項1記載の電力変換装置。
- [請求項3] 前記設定部は、乱数を発生する乱数発生部と、
- 発生された前記乱数及び所定の設定変移確率値に基づいて、現在の設定搬送波周波数を他の搬送波周波数に変移させるか否かを判定する変移判定部と、を備え、
- 前記設定部は、前記変移判定部の判定結果が変移させるものであった場合に、前記設定搬送波周波数を他の搬送波周波数に設定するとともに、互いに異なる複数の変移確率値のうちいずれか一の變移確率値を前記設定変移確率値として設定する、
- 請求項1記載の電力変換装置。
- [請求項4] 前記負荷の機械的共振特性が入力され、当該入力された機械的共振特性に基づいて、前記複数の搬送波周波数及び前記複数の変移確率値のうち少なくともいずれか一方をあらかじめ決定する値決定部を備えた、

請求項3記載の電力変換装置。

[請求項5] PWM信号に基づいて電力変換を行って負荷に供給する電力変換部を備えた電力変換装置において実行される電力変換装置の制御方法であって、

所定の設定搬送波周波数の搬送波を所定の継続時間の間発生する搬送波発生過程と、

前記継続時間をランダムに設定するとともに、互いに異なる複数の搬送波周波数のうちいずれか一の搬送波周波数を前記設定搬送波周波数として設定する設定過程と、

前記搬送波発生過程において発生された前記搬送波に基づいて、PWM信号を発生する信号発生過程と、

を備えた電力変換装置の制御方法。

[請求項6] PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である互いに異なる複数の重畳高周波周波数のうちいずれか一の重畳高周波周波数を設定するとともに、設定した重畳高周波周波数を有する電圧あるいは設定した重畳高周波周波数を有する電流の継続時間をランダムに設定する設定部と、

前記重畳高周波周波数の電圧あるいは電流を前記継続時間の間発生する発生部と、

発生された前記重畳高周波周波数を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加し、あるいは、発生された前記重畳高周波周波数を有する電流を前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する推定部と、

を備えた回転センサレス制御装置。

[請求項7] 前記設定部は、乱数を発生する乱数発生部と、

発生された前記乱数に基づいて、前記継続時間を決定する継続時間決定部と、

を備えた請求項6記載の回転センサレス制御装置。

- [請求項8] 前記設定部は、乱数を発生する乱数発生部と、
発生された前記乱数及び所定の設定変移確率値に基づいて、現在の設定重畳高周波周波数を他の重畳高周波周波数に変移させるか否かを判定する変移判定部と、を備え、
前記設定部は、前記変移判定部の判定結果が変移させるものであった場合に、前記設定重畳高周波周波数を他の重畳高周波周波数に設定するとともに、互いに異なる複数の変移確率値のうちいずれか一の変移確率値を前記設定変移確率値として設定する、
請求項6記載の回転センサレス制御装置。
- [請求項9] PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である互いに異なる複数の重畳高周波周波数のうちいずれか一の重畳高周波周波数を設定するとともに、設定した重畳高周波周波数を有する電圧の継続時間をランダムに設定する設定部と、
前記重畳高周波周波数の電圧を前記継続時間の間発生する発生部と、
発生された前記重畳高周波周波数を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する推定部と、
前記重畳高周波周波数に応じて重畳高周波周波数の電圧の振幅を決定する高周波電圧指令生成部と、
を備えた回転センサレス制御装置。
- [請求項10] 前記設定部は、二つの重畳高周波周波数を交互に設定する、
請求項7または請求項9記載の回転センサレス制御装置。
- [請求項11] PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である重畳高周波周波数を可変設定可能な第1設定部と、
設定した重畳高周波周波数を有する電圧あるいは設定した重畳高周波周波周波数を有する電流の継続時間をランダムに設定する第2設定部と、
、

前記設定部において設定された重畳高周波周波数に応じて振幅を決定する振幅決定部と、

設定された前記重畳高周波周波数及び前記振幅に基づいて重畳高周波電圧指令を生成する指令生成部と、

前記重畳高周波周波数及び前記振幅を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加し、あるいは、発生された前記重畳高周波周波数を有する電流を前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する推定部と、

を備えた回転センサレス制御装置。

[請求項12] 前記設定部は、前記PWM制御における搬送波周波数と、前記重畳高周波周波数を同期させる、

請求項6、請求項9又は請求項11のいずれかに記載の回転センサレス制御装置。

[請求項13] 永久磁石同期電動機をPWM制御するに際し、回転センサレス制御を行う回転センサレス制御装置において実行される回転センサレス制御装置の制御方法であって、

PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である互いに異なる複数の重畳高周波周波数のうちいずれか一の重畳高周波周波数を設定するとともに、設定した重畳高周波周波数を有する電圧あるいは設定した重畳高周波周波数を有する電流の継続時間をランダムに設定する過程と、

前記重畳高周波周波数の電圧あるいは電流を前記継続時間の間発生する過程と、

発生された前記重畳高周波周波数を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加し、あるいは、発生された前記重畳高周波周波数を有する電流を前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する過程と、

を備えた回転センサレス制御装置の制御方法。

[請求項14] 永久磁石同期電動機をPWM制御するに際し、回転センサレス制御を行う回転センサレス制御装置において実行される回転センサレス制御装置の制御方法であって、

PWM制御における基本波周波数よりも高い周波数である互いに異なる複数の重畳高周波周波数のうちいずれか一の重畳高周波周波数を設定するとともに、設定した重畳高周波周波数を有する電圧の継続時間をランダムに設定する過程と、

前記重畳高周波周波数の電圧を前記継続時間の間発生する過程と、

発生された前記重畳高周波周波数を有する電圧を前記永久磁石同期電動機に印加して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する過程と、

前記重畳高周波周波数の電圧によって発生する高周波電流の振幅が一定となるように制御する過程と、

を備えた回転センサレス制御装置の制御方法。

[請求項15] PWM制御における基本周波数よりも高い周波数である重畳高周波周波数を可変に設定する重畳高周波周波数設定と、

前記重畳高周波周波数に応じて振幅を決定する重畳高周波周波数振幅決定部と、

前記重畳高周波周波数と前記重畳高周波周波数振幅より重畳高周波電圧指令を生成する高周波電圧指令生成部と、

発生された前記重畳高周波周波数を有する電圧を永久磁石同期電動機に印加して、前記永久磁石同期電動機の回転子磁極位置及び回転速度を推定する推定部と、

を備えた回転センサレス制御装置。