

論文の内容の要旨

論文題目 「Vector control of two-phase inverter-fed three-phase induction motor drive」

(二相インバータのベクトル制御による三相誘導電動機駆動)

学位申請者 EKONG UFOT UFOT

キーワード: motors, transformation matrix, field weakening control, power electronics, electrical equipment.

In recent years, advances in power electronics have led to an increase of three-phase motor drive systems controlled by three-phase inverters. In these motor drive systems, if the inverter breakdown, the motor operation stops/ceases. In specific applications such as electric vehicles, the inverter failure results in a loss of the vehicle's propulsion ability, causing safety issues like traffic accidents and many other consequences. Therefore, there has been a need to consider countermeasures against/for inverter failure in electric vehicles. Hence, in this dissertation, the utilization of a two-phase inverter as an emergency strategy for inverter failure was demonstrated.

A three-phase inverter composes of six switching devices and has a three-phase output. On the other hand, a two-phase inverter composes of four switching devices but also has a three-phase output. For this reason, over the years, research has been conducted on a two-phase inverter as a low-cost inverter to drive a three-phase motor. However, from its working principle, a two-phase inverter has a low voltage utilization factor (ratio of output voltage to power supply voltage), thus, it could not be put into practical use in applications such as home appliances, where importance is attached to efficiency. Nevertheless, research continued on the utilization of a two-phase inverter as an emergency strategy for inverter failure. In this emergency strategy, when one phase circuit of the three-phase inverter fails, a two-phase inverter is configured from the remaining healthy two-phase circuit to drive the three-phase motor. In terms of implementation, when inverter failure occurs, the wiring of the damaged phase is disconnected and reconnected to the neutral point of the DC power source, and by switching the control software, the three-phase motor can be driven by a two-phase inverter. In this emergency strategy, although the maximum speed and output of the electric vehicle reduces to about one-half of its nominal value, the electric vehicle can propel and move to a safe place or back home.

In this dissertation, vector control was adopted as the control method for two-phase inverter used as an emergency method because vector control is the control method required for the motor drive systems in electric vehicles. Furthermore, an induction motor was selected as the three-phase motor to be driven by the inverter. This dissertation focuses on the enhancement of the vector control method for a two-phase inverter-fed induction motor drive and improvement of the motors operating performance. This dissertation consists of 5 chapters, the contents and results of each chapter are summarized as follows.

In chapter 1, the research background and problems of the previous research were explained. Followed by, a detailed description of the problem statements and research objectives. The organization of this dissertation was also described.

In chapter 2, a transformation matrix was proposed to facilitate instantaneous coordinate transformation to derive an output voltage reference for a vector controlled two-phase inverter. The proposed transformation matrix can perform the coordinate transformation, irrespective of the inverter phase (U, V,

or W) of the three-phase inverter that fails. This ability shows that the proposed transformation matrix is a practical transformation matrix for emergency operation, where there is no prior knowledge of the inverter phase that will breakdown. In this chapter, the procedure of deriving the proposed transformation matrix was described in detail. Furthermore, in order to verify that the proposed transformation matrix can be used in motor control, its ability to retain the same power before and after the coordinate transformation was proved. Therefore, it can be said that the proposed transformation matrix is power invariant. Consequently, it was clarified that using the proposed transformation matrix, vector control of a three-phase induction motor is achievable.

In chapter 3, using the proposed transformation matrix, the performance of a vector controlled two-phase inverter-fed three-phase induction motor drive system was verified by simulation and experiment. Also, in the course of experimental verification, due to the limitations of the experimental apparatus, the performance of the whole operating region could not be performed. Thus, the experimental apparatus was improved and the verification of the entire operating region was achieved. Subsequently, the effectiveness of the proposed transformation matrix and the performance of the vector controlled two phase inverter-fed three-phase induction motor was clarified.

In addition, the proposed method and the previous method described in this dissertation, for the vector control of two phase inverter was compared using the same three-phase induction motor system in experiment. From the experimental results of both methods, the speed response characteristics, torque characteristics, efficiency characteristics, and so on were compared. The comparison results showed that in all aspects, compared to the previous method, the proposed method achieved a better performance.

In chapter 4, a field weakening control method was proposed, in order to improve the performance of a two-phase inverter-fed three-phase induction motor in the high-speed region. If the three-phase motor is driven by a two-phase inverter that has a low voltage utilization factor, the nonlinearity of the motor torque increases in the high-speed region. For this reason, the conventional field weakening control used in the three-phase inverter reduces the accuracy of current control. The proposed field weakening control method can achieve precise current control in the high-speed region. The effectiveness of the proposed field weakening control method was verified by simulation and experiment. A comparison of the proposed field weakening control method for a two-phase inverter drive and without field weakening control was performed by simulation and experiment. The results showed that by using the proposed field weakening control, the speed-torque characteristics and motor efficiency improved in the high-speed region.

Chapter 5 describes the summary of the results and conclusion of this dissertation.

As described above, this dissertation proposes a coordinate transformation method and field weakening control method for a vector controlled two-phase inverter-fed three-phase induction motor drive. The proposed vector control of two-phase inverter in this dissertation is a fundamental technique required to achieve practical application of a two-phase inverter as an emergency strategy when a failure occurs in a three-phase inverter. Furthermore, in this dissertation, although an induction motor was adopted, the results demonstrated is a general purpose technique that is also applicable to other types of three-phase motors. Therefore, it can be said that the results obtained in this dissertation have greatly contributed to the practical application and future development of a two-phase inverter.

論文の内容の要旨(和訳)

論文題目 「Vector control of two-phase inverter-fed three-phase induction motor drive」

(二相インバータのベクトル制御による三相誘導電動機駆動)

学位申請者 EKONG UFOT UFOT

キーワード: 電動機、座標変換、弱め界磁制御、パワーエレクトロニクス、電気機器

近年、パワーエレクトロニクスの進歩により、三相インバータにより三相電動機を制御するシステムが増加している。これらのモータ制御システムはインバータの故障により電動機が運転不可能となる。特にインバータにより駆動されている電気自動車はインバータの故障により走行不能となる。これは交通事故等の安全上の問題を生じるばかりでなく、遠隔地で移動不能となってしまうという事態を生ずる。従って、電気自動車に搭載されるインバータでは故障時の対策を考慮する必要がある。この課題を解決するため、本論文では三相インバータ故障時の応急運転法として二相インバータを構成し、応急運転に用いることを提案した。

二相インバータは4個のスイッチングデバイスで構成されるが、三相出力を得ることが出来る。そのため、三相電動機を駆動するための低コストなインバータとして古くから研究が行われてきた。しかし、二相インバータは原理的に電圧利用率(電源電圧に対する、出力電圧の比)が低く、効率を重視する家電機器などの用途では実用化には至らなかった。一方、三相インバータ故障時に二相インバータを応急運転に利用するための研究は継続して検討されてきた。本論文で提案した応急運転は、三相インバータの一回路が故障したとき、残りの二相回路により二相インバータを構成し、三相電動機を駆動する運転方法である。具体的には、インバータ故障時に、故障相の配線変更を行い、ソフトウェアを切り替え、三相電動機を駆動する。この場合、電動機の最高速度と最大出力は約二分の一に低下するが、電気自動車は自走可能となり、安全な場所までの移動が可能となる。

本論文では、応急運転に用いる二相インバータの制御方法として電気自動車を駆動するために必要なベクトル制御を採用した。さらに、インバータで駆動する電動機として誘導電動機を用いた。本論文では二相インバータによる三相誘導電動機のベクトル制御の高度化と二相インバータによりベクトル制御された電動機の運転性能の向上に取り組んだ。本論文は5章から構成されており、各章の内容と成果は以下の通りである。

第1章は序論であり、研究背景を述べ、これまでの研究の問題点を明らかにした。それにより、本研究の位置づけと、本研究の目的を明かにした。

第2章では、二相インバータのベクトル制御のための出力電圧指令を瞬時に座標変換するための変換行列を提案した。提案した変換行列を用いることにより、三相インバータのU相、V相、W相のいずれの相が故障した場合でも座標変換が可能である。本章では提案した変換行列の導出の手順を詳細に記述し、さらに、提案した変換行列が電動機の制御式として使用可能であることを明らかに

するために、座標変換前後に電力が不変であることを証明した。この結果、提案した変換行列を用いて三相誘導電動機がベクトル制御可能であることを明らかにした。

第 3 章では、提案した変換行列を用いて二相インバータで三相誘導電動機をベクトル制御するシステムの性能をシミュレーションおよび実験により検証した。さらに、実験装置を改良することにより電動機の全速度領域での検証を可能にした。これにより、提案した変換行列を用いて三相電動機をベクトル制御した時の性能を明らかにした。

本論文での提案法と従来法を用いて同一の三相電動機を駆動し、速度応答性、トルク特性、効率特性などを比較した。その結果、すべての性能において、従来提案されてきた二相インバータのベクトル制御法よりも優れた結果が得られることを明らかにした。

第 4 章では二相インバータによりベクトル制御された三相誘導電動機の高速度領域の性能向上を図るため、二相インバータのための弱め界磁制御法を提案した。電圧利用率の低い二相インバータで電動機を駆動すると、高速回転時に電動機トルクの非線形性が増加するため、三相インバータで用いられてきた従来の弱め界磁制御法では、電流制御の精度が低くなる。提案した弱め界磁制御法により、高速回転時でも精密な電流制御を可能にすることが可能となった。提案した二相インバータのための弱め界磁制御法と、従来、三相インバータで用いられてきた弱め界磁制御法をシミュレーションおよび実験により比較し、高速回転時のトルク特性およびモータ効率が改善されたことを明らかにした。

第 5 章は結論であり、本研究の成果をまとめている。

本論文で提案した二相インバータのベクトル制御法は、二相インバータを三相インバータ故障時の応急運転法として実用化するために必要な基本的な制御法である。また、本論文では三相電動機として誘導電動機を取り上げているが、本論文で得られた成果は他の形式の三相電動機にも適用可能な汎用的な技術である。したがって、本論文で得られた成果は工学的価値が非常に高いものである。