

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 23 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360138

研究課題名（和文）電気自動車 4 輪独立駆動用 5 レグインバータによる 2 交流モータ独立制御システムの開発

研究課題名（英文）Development of Independent 2 AC Motors Control System fed by a Five-Leg Inverter for Independent Four Wheels Drive of Electric Vehicle.

研究代表者

松瀬 貢規（MATSUSE KOUKI）

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：40061999

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、電気自動車の独立 4 輪駆動を行うため 1 組の 5 レグインバータまたは 4 レグインバータで 2 台の三相交流電動機のトルクと速度を独立に制御できる方式を開発して、電気自動車駆動推進システムを確立することである。最終目標は 2 組の 5 レグインバータまたは 4 レグインバータで電気自動車の 4 個の車輪を独立に駆動できる 4 輪完全独立駆動システムを構築して、電気自動車独特の新しい操作機能をもつ駆動方式を確立することである。

5 レグインバータおよび 4 レグインバータとその制御システムを研究開発して製作し、2AC モータの独立駆動実機実験を行うことができた。これらのインバータシステムを 2 セット使用して電気自動車の 4 輪独立駆動が可能であることをシミュレーションおよび実機実験で確認した。まず、5 レグインバータおよび 4 レグインバータで 2 台の三相誘導電動機を独立に速度制御が可能な PWM 制御法の拡張 2 アーム変調法を考案して開発し、諸特性を明らかにした。次に、同インバータで 2 台の三相永久磁石形同期電動機の位置・速度が独立に制御可能な PWM 制御法を開発した。この PWM 変調法をさらに改善して空間ベクトル法を導入し、制御性能の改善を図った。一般に、電気自動車駆動には誘導電動機あるいは同期電動機を用いており、この 2 種類の交流電動機に適用可能な 5 レグインバータおよび 4 レグインバータの PWM 制御法を開発して実機実験で検証して、所期の目的を達成した。本研究で得られた多くの成果はアメリカ、IEEE および日本、電気学会等の論文誌に掲載され、さらに IEEE 主催の関連する多くの国際会議に発表し高い評価をえた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the purpose of our work is to propose and develop the independent 2 AC motors control system fed by a Five-Leg Inverter for independent four wheels drive of electric vehicle.

At first, the independent vector control characteristics and its drive system of two three-phase permanent magnet synchronous motors (PMSMs) fed by a five-leg inverter (FLI) was proposed and developed. Recently, the use of PMSM is more and more spreading in industrial field and transportation system. It has the features of saving-weight and high-efficiency compared with DC motor and induction motor. The maximum feature of the

PMSMs is the realization of high performance position and speed control. The independent position and speed control validates for the factory automation (FA) apparatus as machine tool and electric vehicles. If the independent position and speed control of two motors with the FLI may be realized, the belt conveyer used at the FA apparatus will become possible not only one dimension but also two dimensions without double three-phase voltage source inverters. In this research, experimental results are verified for the independent position and speed control of two PMSMs fed by the FLI with the vector control. In addition, two PMSMs independent characteristics on condition that one motor operates at speed control and the other PMSM at position control also investigated. The next, the independent drive characteristics of two three-phase induction motors (IMs) fed by a four-leg inverter (FLI) was proposed and developed in this research. The FLI is a single inverter that can drive two three-phase AC motors independently. The inverter consists of four legs and two capacitors connected in a series. The U and V phases of both motors are connected in each leg respectively whereas the W phase of both motors is connected in the neutral point of two split capacitors. The PWM technique in three-phase voltage source inverter (three-VSI) is not directly applicable for the FLI because only two phases must be modulated. Then, the paper also analyzes about the neutral point potential of two-split capacitors and inverter output voltage. Next, modulation technique in the FLI is also shown. Experimental results demonstrate the characteristics of two IM independent drives and the validity of those analytic results. We presented many results of this research at the IEEE IAS Annual Conference, the IEEE Energy Conversion Congress & Expo, and several International Conferences, and also published the IEEE and the IEEJ Transactions on Industry Applications.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パワーエレクトロニクス, 電気自動車, 5レグインバータ, 4レグインバータ, 2ACモータ制御, 独立駆動

## 1. 研究開始当初の背景

電気自動車は、一般に前輪に結合された1台の交流電動機の色度とトルクを制御する駆動方法が採用されている。その交流電動機を制御するために1台の3レグ構造のインバータを用いており、この方法は一般に普及しているガソリンエンジン駆動の方法を電気モータに切り替えた単純な方式であり、電動機駆動方式の利点を活かしていない。また、最近ハイブリッドEVは前輪と後輪をそれぞれ3レグインバータで電動機を駆動する方式もでてきた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、電気自動車の4輪駆動を行うため1組の5レグインバータで2台の三相交流電動機の色度と速度を独立に制御できる方式を開発して、電気自動車駆動推進システムを確立することである。最終目標は2組の5レグインバータで電気自動車の4個の車輪を独立に駆動できる4輪完全独立駆動システムを構築して、電気自動車独特の新しい操作機能をもつ駆動方式を確立することである。

## 3. 研究の方法

5レグインバータ主回路の設計製作し、ゲート制御回路は、FPGAとDSPで構成されるパワーエレクトロニクス装置制御用PE-Expert3を改良してホストPCで入出力信号を操作して主回路のIGBTのゲートドライブ信号を作成する方式とした。インバータのPWM制御法として拡張2アーム変調PWM制御法および空間ベクトル変調法などを開発した。交流電動機としては三相誘導電動機および永久磁石同期電動機をそ

れぞれ2台またはその組み合わせ運転も可能な制御法とした。

2台の三相交流電動機の色度と速度を独立に制御できる方式を確立し実負荷運転試験装置を製作して実証試験を行った。

## 4. 研究成果

5レグインバータによる2ACモータ独立制御法の確立の後、共通アームに2台のモータの電流が流れるため他のアームのIGBTとの電流定格の違いを考慮する必要がある。この課題を解決するため共通アームは同静電容量のコンデンサを2個の直列に接続した4レグインバータを新たに開発しこの課題を解決した。しかし、コンデンサ電圧の平衡を保つ必要があり、この電圧補償法を提案解決して実機実験で検証を行った。またコンデンサは最近開発が進んでいる電気2重層キャパシタの応用が可能である。さらに、開発した駆動システムは各車輪を完全に独立に制御できるので経路探索機能を搭載すれば目的地までの無人自動操縦などプログラム制御が可能でもある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- 1) K. Matsuse, N. Ketzuka, K. Oka, "Characteristics of Independent Two Induction Motor Drives Fed by a Four-Leg Inverter", IEEE, Transactions on Industry Applications, VOL. 47, No. 5, pp. 2125-2134, Oct. 2011

2)H. Enokijima, K. Oka, K.Matsuse,  
“Independent Position Control of Two  
Permanent Magnet Synchronous Motor Drives  
Fed by a Five-Leg Inverter” , Journal of  
International Council on Electrical  
Engineering, Vol.1, No.4, pp. 400  
-404, Oct. 2011

3) K.Oka, K.Matsuse,” A Novel PWM  
Technique with Switching-Loss Reduction  
for Independent Drives of Two Three- Phase  
AC Motors fed by a Five-Leg Inverter, IEEJ,  
Transactions on Electrical and Electronic  
Engineering, Vol.6, No.3, pp.260-265,  
May, 2011

4) 岡和男, 松瀬貢規「2 アーム変調適用 5 レ  
グインバータの PWM 制御法」電気学会 論文  
誌 D, Vol. 129, No. 8, pp. 811-816, 2009

5)Y. Katagiri, N.Kezuka, H.Tanaka,  
K.Matsuse,” Performance of Independent  
Two Induction Motor Drives Fed by a  
Four-Leg Inverter with Vector Control  
Method,” Proceedings of IEEE IAS Annual  
Meeting 2011, CD-ROM, 8p, OCT. 2011

6) A. Hara, H.Enokijima, and K. Matsuse,  
” Independent Vector Control of Two  
Induction Motors Fed by a Five-Leg  
Inverter with Space Vector Modulation” ,  
Proceedings of IEEE IAS Annual Meeting  
, CD-ROM, 8p, Oct. 2011.

7)A. Hara,H. Enokijima, K.Matsuse,”  
Independent Speed Control of Two Induction  
Motors Fed by a Five-leg Inverter with  
Space Vector Modulation” , Proceedings of

IEEE Energy Conversion Congress &  
Exposition , ECCE 2011, CD-ROM, Sept. 2011

8) H.Enokijima, K.Oka, K.Matsuse,”  
Independent Position Controls of Two  
Permanent Magnet Synchronous Motors Fed by  
a Five-Leg Inverter” , IEEE, Proceedings  
of 2010 IEEE Industry Applications Society  
Annual Meeting, CD-ROM, OCT. 2010

9)N.Kezuka, K.Oka, K.Matsuse,”  
Characteristics of Independent Two  
Induction Motor Drives Fed by a Four-Leg  
Inverter” , IEEE, Proceedings of 2010 IEEE  
Energy Conversion Congress and Exposition,  
pp. 2114-2120, Sept. 2010

10)K. Oka, N. Kezuka, I. Miki, K.Matsuse,  
“Novel PWM Technique with Switching-Loss  
Reduction in Five-Leg Inverter for  
Independent Drives of Two 3 Phase AC  
Motors” , Proceedings of 2009 IEEE Energy  
Conversion Congress and Exposition,  
pp. 877-884, Sept., 2009

11) K.Oka, H. Enokijima, H. Kubota, K.  
Matsue, “Analysis and Compensation  
Method of Voltage Error by Dead-Time with  
Five-Leg Inverter for Two-AC Motor  
Independent Drives” , Proceedings of 2009  
IEEE Energy Conversion Congress and  
Exposition, pp. 869-873, 2009

〔雑誌論文〕 (計 6 件)

〔学会発表〕 (計 26 件)

国際会議 ( 15 件 )

国内学会 ( 11 件 )

〔図書〕（計1件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.isc.meiji.ac.jp/~matsusel/matsuse-infoe2.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松瀬 貢規 (MATSUSE KOUKI)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：40061999

### (2) 研究分担者

三木 一郎 (MIKI ICHIRO)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：20130833

久保田 寿夫 (KUBOTA HISAO)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：10170036