

平成21年5月31日現在

研究種目：基盤研究 (C)	
研究期間：2007～2008	
課題番号：19560296	
研究課題名 (和文)	PM モータ駆動用昇圧器付インバータの電気二重層コンデンサ方式小形低コスト回生回路
研究課題名 (英文)	Compact and Low Cost Circuit with Electric Double-Layer Capacitor for Regenerative Energy Absorption in PWM Inverter with Voltage Boosters for PM Motor.
研究代表者	
山本 吉朗 (YAMAMOTO KICHIRO)	
鹿児島大学・工学部・准教授	
研究者番号：70220457	

研究成果の概要：提案していた小形低コスト回生回路に関して、(1)回路全体の効率改善にはチョッパ部導通損失の低減が最重要であること、(2)運転時間は、バッテリーと電気二重層コンデンサの電圧比がほぼ1:1のとき最長となること、(3)直流電源とチョッパ、電気二重層コンデンサとチョッパを組み合わせ、それぞれ独立にインバータに接続する回路方式と提案方式の比較により、提案法がより低損失で、パワーデバイスの電流定格もより小さくなることなどを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度			
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：電気機器・パワーエレクトロニクス

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電気機器工学

キーワード：電気二重層コンデンサ、電流可逆チョッパ、電気自動車、回生エネルギー、エネルギー効率化、電気機器工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本では主に永久磁石同期電動機を用いた電気自動車が開発されており、希土類磁石の高性能化により、それがますます強まる傾向にあった。

(2) 永久磁石同期電動機を定格回転数以上で運転する場合、普通、負の励磁成分電流により磁石磁界を打ち消す磁束弱め運転が用いられ効率が低下する。しかも、磁束弱め運転時には、内部で高い誘導起電力が発生しているにもかかわらず、負の励磁電流成分により端

子電圧を強制的に定格電圧に抑えているため、もしインバータに故障が起これば定格電圧よりも高い電圧が端子に現れ、接続されている装置だけでなく、電動機本体の絶縁などにも多大な影響を与える恐れがあった。

(3) 研究代表者らは、バッテリーとインバータとの間に直流リンク電圧調整用の昇圧チョッパを設けることで、磁束弱め運転を行うことなく高速運転を行う昇圧チョッパ付PWMインバータ駆動永久磁石同期電動機システムを既に提案していた。また、エネルギーという

観点から見た場合、電気自動車の長所は下り坂や減速時にエネルギーの回生が可能なことであるにもかかわらず、実際には直流リンク電圧の上昇やバッテリーへの大電流の流入（これはバッテリーの寿命を縮める）を防ぐため、この回生エネルギーの一部は抵抗などで浪費されていた。

(4) 研究開始当初にいただいていた科学研究費補助金では、大電流での急速充放電が可能な電気二重層コンデンサと提案システムを組み合わせることで回生エネルギーの回収率を上げ、駆動システムをさらに高効率にする研究を進めていた。しかし、電気二重層コンデンサの価格が高いこと、1セルあたりの電圧が低く、多数段を直列にして使わなければならないことなどの問題があった。

(5) 研究代表者らは、電気二重層コンデンサの個数を減らすべく、バッテリーと電気二重層コンデンサを直列接続にした構成の回生エネルギー回収回路を考案した。このバッテリー-電気二重層コンデンサ直列接続方式は、バッテリーと電気二重層コンデンサを並列接続する方式に比べ、コスト、体積、重量の点では非常に優れていると思われたが、回生可能な昇圧チョッパが2組必要で、しかも、それらの制御が並列接続方式に比べて複雑になるという問題があった。

2. 研究の目的

(1) 研究代表者らが提案したバッテリーと電気二重層コンデンサを直列接続した構成の回生エネルギー回収回路について、その制御法を検討し、シミュレーション、実験により動作の確認を行うこと。

(2) 提案の回生エネルギー回収回路について、バッテリー、電気二重層コンデンサの最適な電圧比と接続される負荷との関係を明らかにすること。

(3) 提案の回生エネルギー回収回路を用いた場合の運転状態と効率の関係を明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 実験システムの基本設計 回路構成についての検討を行い、2つのチョッパを干渉なく動作させるために、一方を電圧制御モードで、もう一方を電流制御モードで用いる制御法を導入した。さらに、コンデンサやリアクトルの定数、制御系のサンプリング周期などを見直した。

(2) シミュレーションによる新制御方式の検討 シミュレーションにより提案の回収回路に対する新制御方式の解析を行い、(1)で決定した定数やパラメータが妥当であることを確認した。また、負荷を変えた解析を

行い、提案システムの動作範囲を調べた。

(3) 実験システムの改良 それまでの DSP システムでは、複雑になったプログラムに対して、サンプリング周期を維持できなくなったため、高速な DSP に変更し、制御プログラムの変更を行った。さらに、チョッパ動作時のノイズでシステムの誤動作が生じたため、基板加工機を用いて、基板からのノイズ対策を施した。

(4) 実験システムの動作確認、改良と制御用ソフトウェアの改良 モータの加減速運転に対する動作確認を行った。さらに、制御用ソフトウェアのパラメータを調整し、動作をより安定化した。また、回路にさらなるノイズ対策を施し、直流電圧ひずみ、チョッパ電流ひずみを改善した。

(5) 実験システムの各部効率測定と評価 モータ回転数、負荷状態をパラメータとして、定常状態の各部効率を測定した。

(6) バッテリーと電気二重層コンデンサの最適な電圧比の検討 バッテリーと電気二重層コンデンサの電圧比をパラメータにして、加減速運転繰り返しシミュレーションを行い、満充電で運転可能な時間を調べた。

(7) 昇圧チョッパ部の接続方式に関する比較 提案のシステムでは、バッテリーと電気二重層コンデンサを直列に接続したのに対してチョッパを1つ、電気二重層コンデンサのみに対してチョッパを1つ用いている。この提案方式と、バッテリーと電気二重層コンデンサをそれぞれ単独に配置し、それぞれにチョッパを1つ用いる接続方式について、効率や特徴の比較を行った。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

①提案システムにおいて2つの電流可逆チョッパを干渉なく動作させるために、一方を電圧制御モードで、もう一方を電流制御モードで用いる制御法を導入した。これにより、電気二重層コンデンサに出入りする電力を積極的に制御できるようになった。

②提案の制御法を用いて、PMモータの負荷を変えた解析を行い、提案システムの動作範囲を調査し、この動作範囲における損失最小の動作点を明らかにした。

③提案の実験システムにノイズ対策を施し、シミュレーション波形とほぼ同様の実験波形を得られるようにした。

④モータ回転数、負荷状態をパラメータとした定常状態各部効率の測定から、実験システム全体の効率改善にはチョッパ部導通損失の低減が最重要であることを明らかにした。

⑤バッテリーと電気二重層コンデンサの電圧比をパラメータにして、加減速運転繰り返しのシミュレーションを行い、満充電で運転可

能な時間を調べた。この結果、運転可能な時間は、バッテリーと電気二重層コンデンサの電圧比がほぼ1:1のときに最長になることを明らかにした。

⑥ 直流電源とチョップパ、電気二重層コンデンサとチョップパを組み合わせ、それぞれ独立にインバータに接続する回路方式と提案システムの比較を行い、提案法の方がより低損失で、パワーデバイスの電流定格も、より小さくなることを明らかにした。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけ

提案の直列方式回生エネルギー回収回路についての同様の研究は、現在のところ、国内外において行われておらず、得られた成果についても、重要な知見であると考えられる。

(3) 今後の展望

提案回路のさらなる小形化、低コスト化を進めるためには、適用対象を限定し、それに合わせこんだ設計を進めていく必要がある。また、今回の回生エネルギー吸収回路に関して得られた知見は、バッテリー電源のみならず、回生エネルギー吸収不可能な燃料電池に対しても有効であるので、燃料電池と組み合わせたシステムについての展開も期待できる。

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)

[雑誌論文] (計8件)

- ① 山本吉朗、今給黎明大、飯盛憲一、電流可逆チョップパ付 PWM インバータにおけるバッテリーと電気二重層キャパシタの接続法、平成 21 年電気学会全国大会講演論文集、4 巻、pp. 219-220、2009、査読なし
- ② 山本吉朗、今給黎明大、飯盛憲一、電流可逆チョップパ付 PWM インバータ駆動 PM モータシステムの定常特性、電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会資料、PE-09-26、PSE-09-34、SPC-09-68、pp. 31-36、2009、査読なし
- ③ Kichiro Yamamoto, PWM Inverter with Voltage Boosters for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives, Proceedings of Kagoshima University - National Institute of Technology Karnataka Joint Seminar 2008, Recent Advances in Engineering & Technology, pp. 8-14, 2008, 査読なし
- ④ 山本吉朗、今給黎明大、飯盛憲一、電流可逆チョップパ付 PWM インバータ駆動 PM モータシステムの定常状態における効率、平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集、CD-ROM、p. 10-2P-13、2008、査読なし

- ⑤ 山本吉朗、今給黎明大、篠原勝次、EDLC を付加した電流可逆チョップパ付 PWM インバータのバッテリーと EDLC の電圧比、平成 20 年電気学会産業応用部門大会講演論文集、Vol. I、pp. I-443~I-444、2008、査読なし
- ⑥ 今給黎明大、山本吉朗、電気二重層キャパシタにより回生機能を強化した電流可逆チョップパ付 PWM インバータの最適動作点、Power Electronics Digest、Vol. 25、pp. 26~27、2008、査読なし
- ⑦ 山本吉朗、篠原勝次、今給黎明大、電気二重層コンデンサにより回生機能を強化した電流可逆チョップパ付 PWM インバータの運転特性、平成 20 年電気学会全国大会講演論文集、4 巻、pp. 239-240、2008、査読なし
- ⑧ 山本吉朗、篠原勝次、今給黎明大、電気二重層コンデンサにより回生機能を強化した電流可逆チョップパ付 PWM インバータの最適動作点、平成 19 年電気関係学会九州支部連合大会講演論文集、p. 432、2007、査読なし

[学会発表] (計7件)

- ① 山本吉朗(代表のみ)、電流可逆チョップパ付 PWM インバータにおけるバッテリーと電気二重層キャパシタの接続法、平成 21 年電気学会全国大会、2009 年 3 月 17 日、北海道大学高等教育機能開発総合センター
- ② 山本吉朗(代表のみ)、電流可逆チョップパ付 PWM インバータ駆動 PM モータシステムの定常特性、電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会、2009 年 3 月 3 日、琉球大学工学部
- ③ 山本吉朗(代表のみ)、電流可逆チョップパ付 PWM インバータ駆動 PM モータシステムの定常状態における効率、平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会、2008 年 9 月 25 日、大分大学工学部
- ④ 山本吉朗(代表のみ)、EDLC を付加した電流可逆チョップパ付 PWM インバータのバッテリーと EDLC の電圧比、平成 20 年電気学会産業応用部門大会、2008 年 8 月 29 日、高知市文化プラザ「かるぽーと」
- ⑤ Kichiro Yamamoto, PWM Inverter with Voltage Boosters for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives, National Institute of Technology Karnataka - Kagoshima University Joint Seminar, 2008 年 6 月 26 日、鹿児島大学工学部
- ⑥ 山本吉朗(代表のみ)、電気二重層コンデンサにより回生機能を強化した電流可逆チョップパ付 PWM インバータの運転特性、平成 20 年電気学会全国大会、2008 年 3 月 19 日、福岡工業大学

- ⑦ 山本吉朗(代表のみ)、電気二重層コンデンサにより回生機能を強化した電流可逆チョッパ付PWMインバータの最適動作点、平成19年電気関係学会九州支部連合大会、2007年9月19日、琉球大学工学部

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 吉朗 (YAMAMOTO KICHIRO)
鹿児島大学・工学部・准教授
研究者番号：70220457

(2) 研究分担者

篠原 勝次 (SHINOHARA KATSUJI)
鹿児島大学・工学部・教授
研究者番号：80112358

※平成19年度のみ(平成20年3月退職のため)

(3) 連携研究者

なし