

令和 4 年 7 月 12 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14965

研究課題名(和文) 不平衡電圧補償機能を備えた誘導機の駆動法

研究課題名(英文) Drive Method of Induction machine with voltage unbalance compensator

研究代表者

今給黎 明大 (Imakiire, Akihiro)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：30710264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電力系統の不平衡電圧の新しい対策として、誘導電動機内部に備えた不平衡電圧補償回路で不平衡電圧を補償することで、外部の補償回路を用いることなく運転継続可能な不平衡電圧補償機能付き誘導電動機の提案をしている。対称座標法を適用した不平衡電圧補償器について、実機の750 W誘導機のシミュレーションを行い、モータ電流をバランスさせトルク脈動を低減できることを明らかにした。また、実機検証については補償電圧を出力するところまでは動作確認済みであり、不平衡電圧補償器の動作確認の実験を継続中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案している不平衡電圧補償器付き誘導機を用いれば、外部の補償回路を用いることなく不平衡電圧発生時にも誘導機を運転継続可能な利点がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed an induction machine with a voltage unbalance compensator which continue to drive even if the voltage unbalance occurs without outside voltage compensator such as SVC and STATCOM. We clarified that the voltage unbalance compensator using a method of symmetrical components keeps motor currents balanced and suppress torque ripple for a 750 W induction machine by simulation. In addition, it was conducted that output voltage of the voltage unbalance compensator was observed in the experiment. Now, we continue to do experiment to clarify the effectiveness the voltage unbalance compensator.

研究分野：電気機器・パワーエレクトロニクス

キーワード：誘導機 不平衡電圧 不平衡電圧補償 対称座標法 トルクリップル 電圧不平衡率 インバータ オープン巻線

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国内の電動機を容量別で比較すると80%が誘導機であり、ファン、ポンプ、プロア等のパワーシステム用途では電力系統から直接駆動される場合が多い。近年、太陽光発電やエコキュートシステム等の単相負荷の増大により三相交流電圧が不平衡になる問題がある。不平衡電圧は誘導機の局部過熱やトルクの脈動を引き起こし、誘導機の停止、寿命の低下、最終的には故障の問題を引き起こす。

対策として電力系統の電圧補償には SVC (Static Var Compensator) もしくは STATCOM (STATIC synchronous COMPensator) と呼ばれる補償装置が用いられている。しかし、これらの補償装置は電力系統に直接接続されるため、6.6 kV、MW クラスの高電圧、大容量の装置であり、サイズが大きく、コストが高い。また、住宅・業務用途で実際に電力系統と接続された先で不平衡電圧が発生しているケースが確認されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、不平衡電圧発生時にも外部の補償回路を用いることなく駆動できる不平衡電圧補償機能付き誘導機を提案することである。

3. 研究の方法

(1) 不平衡電圧補償器付き誘導機のシミュレーションを行い不平衡電圧発生時にトルクリプルを抑制して駆動できる方法を検討する。シミュレーションソフトには PSIM (Powersim) および MATLAB (Math Works) を用いる。不平衡電圧補償精度、不平衡電圧補償限界、過渡応答の特性についてもシミュレーションを用いて明らかにする。

(2) (1) のシミュレーション結果を基に不平衡電圧補償回路の設計・試作を行い、実験により実際に不平衡電圧補償器付き誘導機の駆動特性を確認する。

4. 研究成果

(1) 図1は不平衡電圧補償器 (VUC: Voltage Unbalance Compensator) を備えた誘導機の回路構成と制御ブロック図である。VUC は、PWM コンバータ、DC リンクコンデンサおよび PWM インバータで構成されている。PWM インバータから系統線間電圧の不平衡を補償する逆相電圧を出力することにより、不平衡が発生してもモータに印加される電圧は平衡に保たれる。直流リンク電圧は一定電圧で PWM コンバータにより系統電圧から供給される。

制御ブロック図では、対称座標法を用いて逆相電圧指令が作成される。

(2) 図2にVUCを備えた誘導機の簡略化した概念図を示す。VUCは三相正弦波交流電圧源で模擬される。対称座標法を使用することにより、不平衡線間電圧は、2つの対称三相成分である正相成分 V_1 と逆相成分 V_2 の組み合わせによって表される。線間電圧の合計は常にゼロであるため、ゼロ相成分 V_0 は除去される。VUCが逆相電圧 V_2 を出力すると、系統電圧の逆相成分はモータ巻線でキャンセルされ、モータ巻線に印加される電圧は正相成分 V_1 のみになる。正相成分電圧 V_1 は対称三相電圧であるため、電圧不平衡が発生してもモータに印加される電圧は常に平衡に保たれる。

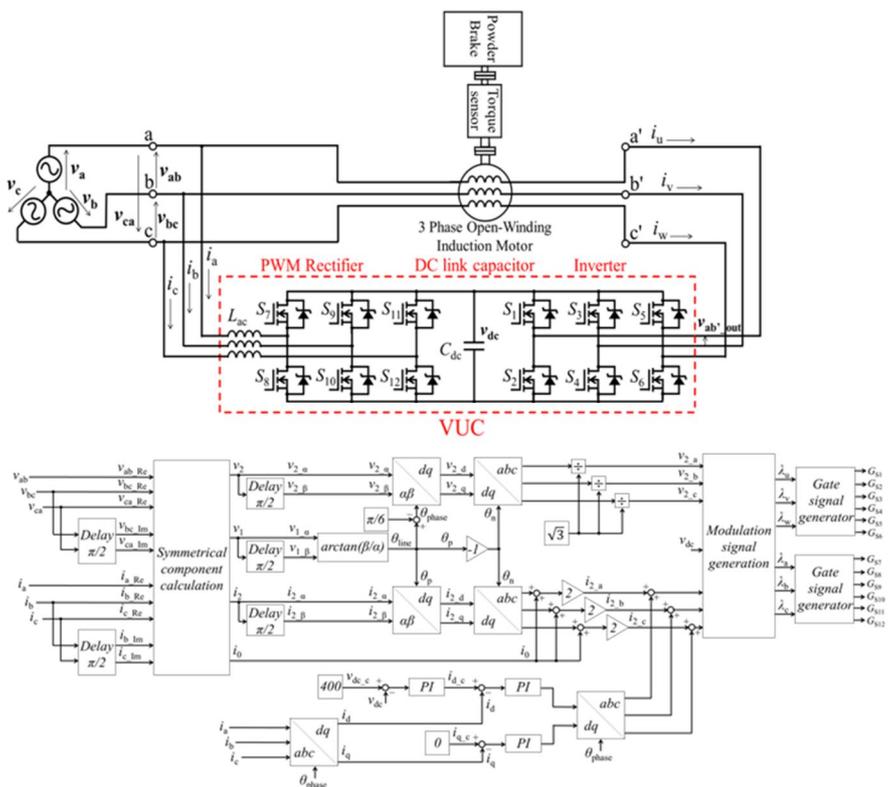


図1 不平衡電圧補償器付き誘導機の回路構成および制御ブロック図

(3) 図3に不平衡電圧補償器なし・ありの誘導機の電流波形とトルク波形の比較結果を示す。

VUCなしの図3(a)では、モータ電流が不平衡であり、a相の電圧が理想値の115.5V (RMS値)から80%の値92.4V(電圧不平衡率:7%)に低下すると負荷トルクが供給電圧の2倍の周波数で脈動することが分かる。

一方、VUCを使用した図3(b)では、VUCによる不平衡電圧補償の効果として不平衡電圧発生時でもモータ電流の平衡が保たれ、トルクの脈動がなくなることが分かる。

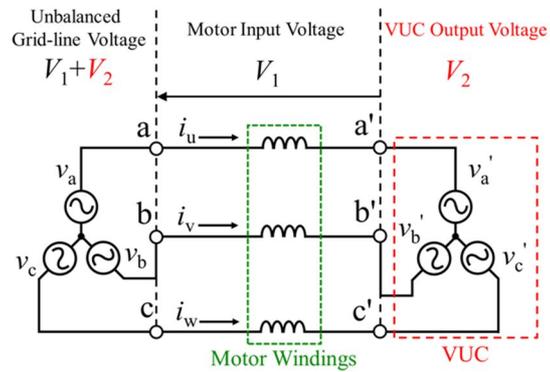
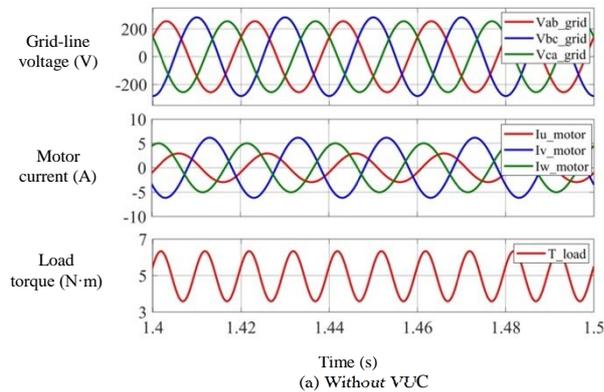


図2 不平衡電圧補償器付き誘導機概念図

(4) 図4は過渡状態での電圧不平衡補償動作のシミュレーション結果である。

図4は、相電圧 v_a の振幅がステップ変化したときのVUC出力電圧の応答になる。制御アルゴリズムでは、位相遅延 $\pi/2$ を生成する動作が行われるため、補償電圧が安定して出力されるまでには半サイクル(10ms)必要となる。

その結果、図4のトルクは、トルクを一定に保つのに40ms要する。



(a) Without VUC

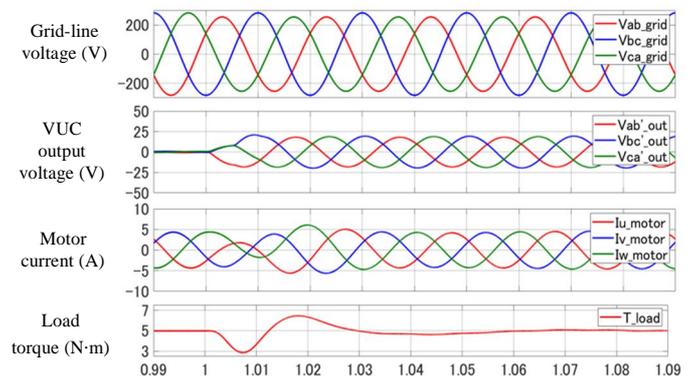
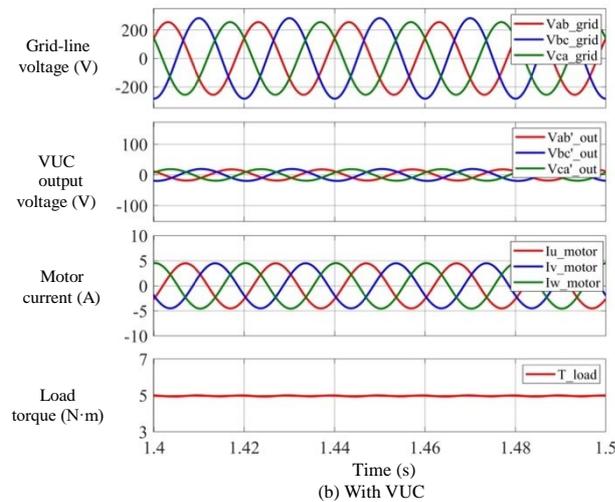


図4 不平衡電圧補償器付き誘導機の過渡特性



(b) With VUC

図3 不平衡電圧補償器なし・ありのモータ電流とトルク波形の比較

以上により、シミュレーションにより、不平衡電圧補償器付き誘導機の定常状態と過渡状態の両方の駆動特性を明らかにした。

(5) 図5に実験に使用したVUCの装置を示す。図5より、VUCはDCリンクキャパシタと空冷フィン回路、SiC-MOSFET実装回路、電圧検出とPWM制御回路、インバータ制御回路用の電源回路の4つの回路基板で構成されている。

なお、誘導機の端に VUC を取り付けするために VUC 回路基板の形状を円形にした。さらに、駆動効率を向上させるために CREE, C2M0080120D の SiC-MOSFET が使用されている。電圧検出および PWM 制御回路基板で系統線間電圧を検出し、VUC を制御して補償電圧を出力する。この回路では、VUC の性能を評価するために系統電圧と VUC 出力電圧の両方を監視している。

(6) 図 6 に実験により明らかにした線間電圧とその際の電圧不平衡率(VUF: Voltage Unbalance Factor)の値の比較を示す。なお、系統電圧はインバータ電圧で模擬している。

条件(i)および(ii)では、系統側インバータの出力電圧を観測した。条件(iii)では、系統側と VUC 出力の差電圧を計算して観測した。系統線間電圧のバランスが取れている場合、VUF は 0.45% である。相電圧 v_a が 57.7V (RMS) から VUC なしの 80% 値の 46.2 V に低下すると VUF は 6.91% に達する。一方、VUC ありでは v_a が 80% に低下しても、VUF は 1.69% に抑制される。VUC を使用しない場合と比較して、VUF は 5.22 ポイント改善される。この結果から、対称座標法で制御される VUC は、モータの端子に印加される電圧不平衡を補償する電圧を出力できることを明らかにした。



- 1: DC link capacitor and air-cooling fin circuit.
- 2: SiC-MOSFET mounted circuit.
- 3: Voltage detection and PWM control circuit.
- 4: Power supply circuit for inverter control circuit.

図 5 設計・試作した不平衡電圧補償器 (VUC)

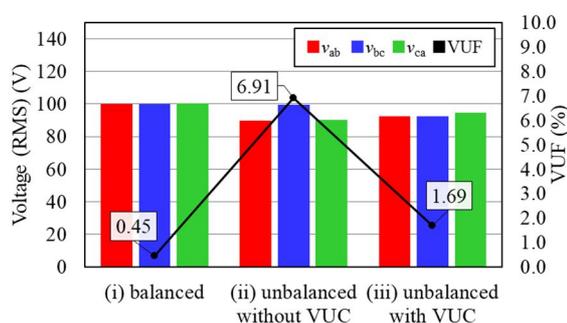


図 6 不平衡電圧補償器なし・ありの線間電圧実効値の比較 (実験)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Akihiro Imakiire, Thomas A. Lipo
2. 発表標題 Induction Machine with Localized Voltage Unbalance Compensation
3. 学会等名 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC) (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Akihiro Imakiire
2. 発表標題 Squirrel-cage Induction Motor with Voltage Unbalance Compensation for Power System Application
3. 学会等名 The 7th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Tomoya Katsuki, Akihiro Imakiire, Satoshi Matsumoto
2. 発表標題 Current and Torque Performance of Induction Motor with Voltage Unbalance Compensator with Voltage Booster
3. 学会等名 2020 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州工業大学 工学部 工学研究院 電気電子工学科 研究者紹介ホームページ
https://www.tobata.kyutech.ac.jp/lab-info/professor/imakiire_akihiro/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------