

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14721

研究課題名(和文)高周波モータシステムの磁気特性の研究

研究課題名(英文)Study on magnetic property of high-frequency motor system

研究代表者

八尾 惇(Yao, Atsushi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員

研究者番号：70779074

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、高効率な高周波モータシステムを実現するための基礎検討として、インバータ駆動時の磁性材料の高周波特性の基礎評価を行なった。まず、高周波インバータ駆動時(MHzオーダー)の磁性材料を実験的に評価し、高周波領域での、駆動電圧の立ち上がり時間が鉄損増加の原因になる事を明らかとした。また、ナノ結晶材では、アモルファス材と比較し、高周波領域でのデッドタイムによる鉄損増加を抑制できることを示した。さらに、高周波領域において、SBDを内蔵したインバータ駆動時の磁性材料の鉄損が、ボディダイオードを用いたインバータ駆動時と比較し、低減することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高周波直流交流変換器(インバータ)駆動されている高周波磁性材料の基礎特性の評価を行なった。本研究で得られた知見は、高周波領域の直流交流変換器と磁性材料システムの損失低減に寄与することから、高効率な高周波モータシステム実現に貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文): In order to develop high-efficiency motor drive system at high carrier frequencies on the order of MHz, we have focus on evaluations of magnetic properties of magnetic cores excited by high-frequency inverter. We show that the iron losses increase at high carrier frequencies due to distortions of the voltage waveform. We find that the nanocrystalline magnetic materials suppress the increasing rate of iron losses caused by the dead time compared with the case of the amorphous magnetic materials. We show that the iron loss of magnetic materials excited by the inverter with the SBD is less than that in the case of using the inverter with the body PiN diode.

研究分野：電力工学関連

キーワード：磁性材料 鉄損 高周波 パワーエレクトロニクス インバータ モータ 磁気測定

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車、工作機械用のモータにおいて使用される高周波モータシステムの検討が課題となっている。モータシステムは、図1に示すように、主に、半導体素子等で構成されるインバータ(直流交流変換器)および磁性材料等で作製されるモータの2つの構成要素からなる。このようなモータシステムでは、PWM (Pulse Width Modulation)インバータなどのスイッチング動作を行うため、必然的に時間高調波成分を含みモータコアの磁性材料が励磁される。このような必然的に含まれる時間高調波成分により、インバータ励磁下(インバータでモータコアなどの磁性材料を励磁すること)の磁性材料の鉄損は、正弦波励磁した場合の鉄損と比較し、増加することがよく知られている。したがって、高効率な高周波モータシステム実現に向けて、インバータ励磁下の磁性材料の高周波磁気特性を評価することが重要となる。

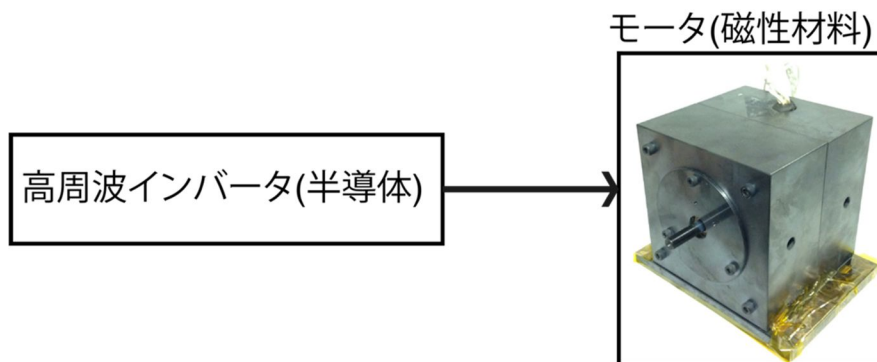


図1 高周波モータシステム

2. 研究の目的

本研究では、高効率な高周波モータシステムを実現するための基礎検討として、インバータ励磁下の磁性材料の高周波磁気特性を把握することを目的とする。ここでは、高周波インバータ駆動時の磁性材料の特性評価を行い、高周波インバータの出力特性と磁気特性の関係性を明らかにする。また、複数の磁性材料を用いて、磁性材料の差異による特性の変化を把握する。さらに、システム(磁性材料コア部およびインバータ部)における損失の関係性の議論を行う。

3. 研究の方法

本研究では、高周波インバータ励磁下の磁性材料のリングコアの磁気特性を実験的に明らかにする。また、実験で得られた磁気特性結果を基に、電気と磁気の連成解析を行い、数値計算を用いてインバータ励磁下の磁性材料の基礎特性の評価を行う。

4. 研究成果

本研究では、高効率な高周波・高速モータシステムの実現を目指し、インバータ(直流交流変換回路)駆動時の高周波磁性材料研究を行う。ここでは、高周波(MHz オーダー)インバータ駆動時の磁性材料の基礎特性の測定等を行う。本研究で得られた主な成果としては、以下の3点である。

(1)高周波インバータ駆動時 (MHz オーダー)の磁性材料の評価システムを作製し、高周波インバータ励磁下の NO (無方向性電磁鋼板)材の磁気ヒステリシス曲線を実験的に評価した。図2に示すように、高周波領域での、駆動電圧の立ち上がり波形が鉄損増加の原因になる事を明らかにした。以上の結果をまとめた論文 (Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 44, No. 4, pp. 87-90 (2020))が出版された。

(2)作製した高周波インバータ励磁下の評価システムを用い、アモルファス材およびナノ結晶材の磁気ヒステリシス曲線を実験的に評価した(図3)。また、ナノ結晶材では、アモルファス材と比較し、高周波領域でのデットタイムによる鉄損増加を抑制できることを示した。以上の結果に関連する内容をまとめ、65th Annual Conference on MMM で発表した。また、論文 (Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 44, No. 6, pp.129-132 (2020))が出版された。

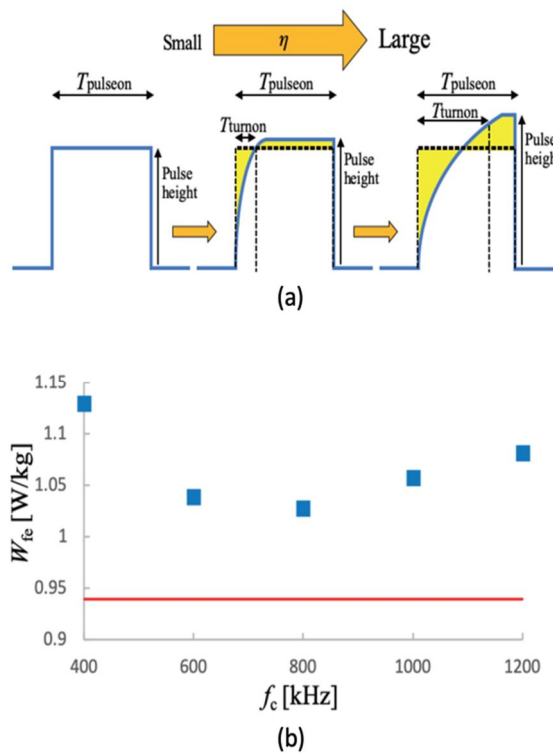


図 2 (a) 駆動電圧の立ち上がり波形と鉄損増加原因の概略図 (b) 駆動周波数 (MHz 領域を含む) と鉄損の関係(実験)。

発表論文 (Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 44, No. 4, pp. 87-90 (2020) *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 43, No. 3, pp. 46-49 (2019))より転載。

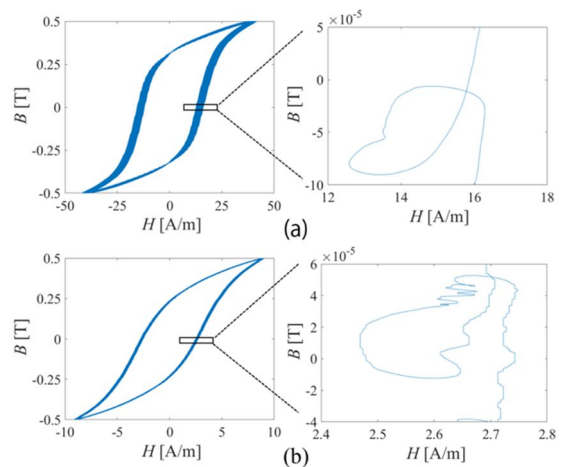


図 3 高周波インバータ駆動時の磁気ヒステリシス曲線。スイッチング周波数が 1MHz 時の(a) アモルファス材、(b) ナノ結晶材の結果

発表論文 (Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 44, No. 6, pp.129-132 (2020))の一部抜粋

(3)高周波領域において、SBD (Schottky Barrier Diode)を内蔵したインバータ駆動時の NO 材の鉄損が、ボディダイオードを用いたインバータ駆動時と比較(図 4)し、低減することを示した。以上の結果をまとめた論文 (AIP Advances, Vol. 10, No. 12, pp. 125129-1-5 (2020))が出版された。

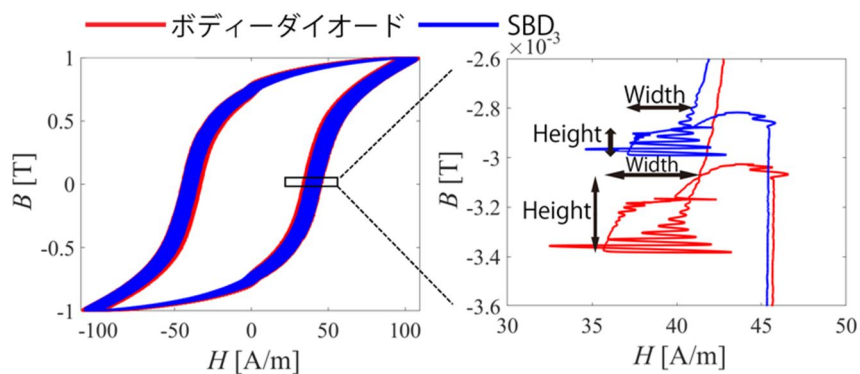


図 4 SBD (Schottky Barrier Diode)を内蔵したインバータ駆動時とボディダイオードを用いたインバータ駆動時の磁気特性の比較。

発表論文 (AIP Advances, Vol. 10, No. 12, pp. 125129-1-5 (2020))の一部抜粋。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yao A., Moriyama R., Hatakeyama T.	4. 巻 44
2. 論文標題 Iron Losses and Magnetic-Hysteresis Properties Under GaN Inverter Excitation at High-Frequencies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 87~90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3379/msjmag.2007L002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yao A., Kato F., Sato H.	4. 巻 44
2. 論文標題 Iron Loss and Hysteresis Properties of Nanocrystalline Magnetic Materials Under High Frequency Inverter Excitation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 129~132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3379/msjmag.2011L001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yao Atsushi, Kato Fumiki, Hozoji Hiroshi, Harada Shinsuke, Yamaguchi Hiroshi, Sato Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Iron loss evaluation of magnetic materials excited by a SiC inverter with a Schottky barrier diode wall-integrated trench MOSFET	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 125129~125129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/9.0000035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Daiki Yamaguchi, Shinji Sato, Atsushi Yao, Hiroshi Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental Verification of a Gate-Drive Circuit Using Distributed Signal Processing for Fast-Switching Operation of SiC MOSFETs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 International Power Electronics Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yao A., Kato F., Sato H.
2. 発表標題 Iron loss and magnetic properties of amorphous and nanocrystalline ring core under inverter excitation on the order of MHz
3. 学会等名 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yao A., Kato F., Sato H.
2. 発表標題 Iron loss and hysteresis properties of magnetic materials excited by multi level PWM inverter
3. 学会等名 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Yamaguchi, Shinji Sato, Atsushi Yao, Hiroshi Sato
2. 発表標題 Experimental Verification of a Gate-Drive Circuit Using Distributed Signal Processing for Fast-Switching Operation of SiC MOSFETs
3. 学会等名 2022 International Power Electronics Conference
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------