

深尾 正 「無効電力補償装置と超高速回転機・ベアリングレスモータの先駆的研究」

FUKAO Tadashi “The Pioneering Research on Reactive Power Compensators, High Speed Electric Machines and Bearingless Motors”

1. 略歴

1940.5 静岡県静岡市で誕生
1964.3 東京工業大学理工学部電気工学科卒業
1969.3 同大学院博士課程修了、工学博士
1969.9 東京工業大学工学部助手、1977.3 同助教授、1986.6 同教授
2000.3 東京工業大学定年退官 名誉教授
2000.4 武蔵工業大学工学部機械システム工学科教授、 2006.3 退職



2. 要約

パワーエレクトロニクス技術の黎明期に、パワーエレクトロニクス応用機器が普及した折に問題になるとされる無効電力・高調波に着目してこれらの問題を解決した交直変換装置・無効電力補償装置・電力用フィルタを提案し、また、超高速回転機並びにベアリングレスモータを提案して回転機の適用領域の拡大に貢献した。

3. 研究

主要な研究テーマと主な発表論文・成果は以下の通りである。

3.1 SCR 電力増幅器⁽¹⁾ および交直変換装置、

二方向性を持った交直変換装置⁽²⁾、力率と波形を考慮した交直変換装置^{(3)、(4)}、

3.2 アクティブフィルタ、無効電力・三相不平衡補償装置

スイッチングフィルタ⁽⁵⁾、無効電力補償装置^{(6)、(7)}、三相不平衡補償装置^{(8)、(9)}、

文献(6)は1987.5に電気学会電気学術振興賞論文賞を受賞した。

これらの研究は発表当初は実現は困難と指摘されたが、スイッチング性能の優れたパワー半導体デバイスの出現によって、1980年代-90年代にかけてすべて実用化できるようになり、新幹線用の交直変換装置にも用いられている。

3.3 サイクロコンバータ

高調波解析^{(10)、(11)}、マイクロコンピュータ直接制御⁽¹²⁾、高周波サイクロコンバータ⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾、文献(13)-(15)の高周波サイクロコンバータで以下の特許を取得した。

平 2-16663 (JPB 1990-16663) 他励インバータ装置

3.4 超高速リラクタンス機・ベアリングレスモータ

超高速リラクタンス発電機⁽¹⁶⁾⁻⁽²³⁾、

1985年の IEEE Industry Application Society Annual Meeting で Super High-Speed Reluctance Generator⁽¹⁶⁾について発表したところ、Dr. Thomas A. Lipo (Univ. of Wisconsin-Madison) が強い関心を示し、Annual Meeting での Tutorial Course の講師を依頼され、1992年⁽²¹⁾および1994年⁽²²⁾に講義を行った。

ベアリングレスモータ⁽²⁴⁾⁻⁽³⁰⁾

1987 年、当時博士課程 3 年次学生の千葉明君が、モータ自体にトルクと軸受け機能を持たせた全く新しい回転機の基本原理を見出し、これを“ベアリングレスリラクタンスモータ”と命名した^{(24)・(26)}。この原理を他の形式の回転機に拡張して各種のベアリングレスモータ、永久磁石形⁽²⁷⁾、ホモポーラ形⁽²⁹⁾、スイッチトリラクタンス形⁽³⁰⁾他を提案した。

これらの内、電気学会論文誌掲載論文の(28)は1998年5月に、また(30)は2005年5月に電気学会学術振興賞論文賞を受賞した。学会誌論文に加えて、4件の国際特許を含む35件の特許を取得した。日本国特許の3件のみを以下に示す。

- ・特許 2670986 電磁回転機械 (1997.7.11)
- ・特許 2835522 半径方向回転体位置制御巻線付き電磁回転機械及び半径方向回転体位置御装置 (1998.10.9)
- ・特許 3524303 半径方向回転体位置制御装置 (2004.2.20)

ベアリングレス回転機の回転子は磁氣的に完全に非接触で支持される。そこで、機械的軸受とその潤滑剤が不要になり、軸受や潤滑剤の交換が不要、潤滑剤による環境の汚染がなくなるために、

1. 高速・大容量回転機駆動用、2. メンテナンスが困難な宇宙空間、高温・極低温・放射線や有毒物質のある環境で使用する機器の駆動用、3. 高度の清浄度が要求される半導体製造装置・医薬品・食品製造装置用機器駆動用に開発・実用化が活発に進んでいる。既に、冷房機に用いられるコンプレッサ駆動用の出力 60kW ,回転速度 37,000r/min (現時点で世界最大容量)のベアリングレスモータがわが国で開発されている⁽³¹⁾。

これらの活動に対して IEEE から以下の認証・賞を受けた。

1. IEEE Fellow “For developments of synchronous reluctance motors and generators in super-high speed applications” 1994.1
2. IEEE Industry Applications Society Distinguished Lecturer “Advanced Power Electronics in Japan, High-Speed Motor Drives and the Development of Bearingless Motors” 2001.10
3. IEEE William E. Newell Power Electronics Award “For contributions to the development of cycloconverters and bearingless drives” 2009.9

4. 教育活動

1969-1977 新強電実験室の移設と整備ならびに電気工学学生実験の改革を行った⁽³³⁾。

5. 電気学会活動

1994.5-1995.5 産業応用部門 部門長

1996.5-1997.5 東京支部長

1997.5-1998.5 編修理事

1998.5-1999.5 副会長

2002.5-2003.5 会長代理

2003.5-2004.5 会長

2015.1 深尾のオーラルヒストリーが電気学会誌に掲載された⁽³⁴⁾。

6. 主な著書

パワーエレクトロニクス演習(単著) (昭晃堂) 1984

Magnetic Bearings and Bearingless Drives(分担) (Elsevier) 2005

最新電気機器入門(監修) (実教出版) 2007

電気機器・パワーエレクトロニクス通論(単著) (電気学会) 2012

7. 特記事項

4名のIEEE Field Awards 受賞者(赤木泰文東京工業大学名誉教授－2018 IEEE Medal in Power Engineering, 2008 IEEE Richard H. Kaufmann Award 他多数受賞, 千葉明東京工業大学教授－2020 IEEE Nikola Tesla Award 受賞, 松瀬貢規明治大学名誉教授[1975年度宮入研究室研究生、第96代電気学会会長、参考文献(8)の共著者]－2020 IEEE Richard H. Kaufmann Award 受賞、Prof.Feng Zheng Peng, Florida State University, [1992.4-1994.3 深尾研究室助手、参考文献(32)の共著者]－2022 IEEE William E. Newell Power Electronics Award 受賞)をはじめ極めて有能な学生諸君、共同研究者と仕事できたことは大変に幸運であった。

8. 参考文献

- (1) 宮入庄太、深尾正、「SCR を用いた電力用増幅器とその回路定数決定の基礎条件」、電気学会誌、vol.87-3、no.942、pp.603-612、1967.3
- (2) 深尾正、宮入庄太、「二方向性を持った交直変換装置とその動作解析」、電気学会誌、vol.88-9、no.960、pp.1675-1684、1967.3
- (3) 深尾正、宮入庄太、「力率と波形を考慮した交直変換装置」、電気学会論文誌、vol.94-B、no.8、pp.391-398、1974.8
- (4) 深尾正、野口正晴、宮入庄太、「多相多重チョッパ方式交直変換装置の高調波解析」、電気学会誌、vol.95、no.6、pp.283-290、1975.6
- (5) 深尾正、飯田等、宮入庄太、「サイリスタを用いたスイッチングフィルタによるひずみ波の力率改善」、電気学会論文誌、vol.92-B、no.6、pp.342-349、1972.6
- (6) 深尾正、松井幹彦、山下和男、「サイクロコンバータを用いた無効電力補償装置の無効電力平衡に着目した動作解析と補償限界」、電気学会論文誌 B、vol.104B、no.12、pp.833-840、1984.12
- (7) 深尾正、松井幹彦、「デルタ接続サイクロコンバータを用いた無効電力補償装置」、電気学会論文誌 D、vol.107D、no.8、pp.1041-1048、1987.8
- (8) 深尾正、松瀬貢規、石原正彦、宮入庄太、「三相不平衡補償用サイリスタ逆相電流源の原理と基礎特性」、電気学会論文誌 B、vol.97-B、no.4、pp.207-214、1977.4
- (9) 深尾正、吉浦敏昭、宮入庄太、「2 台の電流源を用いた三相不平衡・力率補償装置とその原理」、電気学会論文誌 B、vol.98-B、no.3、pp.211-218、1978.3
- (10) 赤木泰文、深尾正、藤田昌雄、宮入庄太、「サイクロコンバータの出力電圧実効値の計算理論と高調波関係からみた整流回路との等価性」、電気学会論文誌 B、vol.98-B、no.6、pp.511-518、1978.6
- (11) S.Miyairi, H.Akagi, T.Fukao and M.Fujita, "Equivalence in Harmonics Between Cycloconverters and Bridge Converters", IEEE Transaction on Industry Applications, vol.IA-15, no.1, pp.92-99, Jan./Feb.1979.
- (12) T.Fukao, H.Akagi and S.Miyairi, "A Direct Digital Control of a Three-Phase Six-Pulse Cycloconverter Using a Microprocessor, PROC. of IEEE-IECI 1979 5Th Annual Meeting, pp.2-7, 1979.3
- (13) T.Fukao and M.Matsui, "Basic Characteristics of Cycloconverter for Linking Commercial and

- High-Frequency Distribution Lines”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.IA-23, no.5, pp.927-936, Sep./Oct. 1987.
- (14) 成世鎮、松井幹彦、深尾正、「循環電流断続モードで動作する高周波サイクロコンバータの振舞と循環電流制御法」、電気学会論文誌 D、vol.109D、no.4、pp.243-250、1989.4
- (15) M.Matsui and T.Fukao, ”A Detecting Method for Active—Reactive—Negative-Sequence Powers and Its Application, ”IEEE Transactions on Industry Applications, vol.26, no.1, pp.99-106, Jan./Feb. 1990.
- (16) T.Fukao, ”Principles and Output Characteristics of Super High-Speed Reluctance Generator System,” IEEE Transaction on Industry Applications, vol.IA-22, no.4, pp.702-707, Jul./Aug.1986.
- (17) 深尾正、千葉明、松井幹彦、「超高速リラクタンス電動機閉ループ制御の一方式」、電気学会論文誌 D、vol.107D、no.2、pp.271-278、1987.2
- (18) 千葉明、深尾正、「超高速リラクタンス電動機の高速トルク制御方式」、電気学会論文誌 D、vol.107D、no.10、pp. 1229-1235、1987.10
- (19) T.Fukao、A.Chiba and M.Matsui, ” Test Results on a Super-High-Speed Amorphous-Iron Reluctance Motor,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.25, no.1, pp.119-125, Jan./Feb. 1989.
- (20) T.Fukao、Z. Yang and M.Matsui, ”Voltage Control of Super High-Speed Reluctance Generator System with a PWM Voltage Source Converter,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.28, no.4, pp.880-886, Jul./Aug.1992.
- (21) T.A.Lipo, A.Vagati, L.Malesani and T.Fukao, ”Synchronous Reluctance Motors and Drives – A New Alternative,” IEEE Industry Applications Society Annual Meeting Tutorial Course Textbook, 1992.5
- (22) Coeditor :A.Vagati and T.A.Lipo. Course Faculty: I.Boldea, T.Fukao, T.A.Lipo, L.Malesani. T.J.E.Miller and A.Vagati, ” Synchronous Reluctance Motors and Drives – A New Alternative,” IEEE Industry Applications Society Annual Meeting Tutorial Course, 1994.10
- (23) A.Chiba, F.Nakamura, T.Fukao and M.A. Rahman, ” Inductances of Cageless Reluctance-Synchronous Machines Having Nonsinusoidal Space Distributions,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.27, no.1, pp.119-125, Jan./Feb. 1991
- (24). A.Chiba, M.A. Rahman and T.Fukao, “Radial Force in a Bearingless Reluctance Motor,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.27, no.2, pp.786-790, Jan./Feb.1991
- (25) A.Chiba, T.Deido、T.Fukao and M.A. Rahman, ” An Analysis of Bearingless AC Motors,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.9, no.1, Mar. pp.61-68, 1994
- (26) A.Chiba, M.Hanazawa, T.Fukao and M.A. Rahman, ” Effects of Magnetic Saturation on Radial Force of Bearingless Synchronous Reluctance Motors,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.32, no.2, pp.356-362, Mar./Apr..1996
- (27) M.Oshima, S.Miyazawa, T.Deido, A.Chiba, F.Nakamura and T.Fukao, “Characteristics of a Permanent Magnet type Bearingless Motor,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.32, no.2, pp.363-370, Mar./Apr..1996

- (28)市川修、道岡力、千葉明、深尾正、「ベアリングレスリラクタンスモータの半径方向力の解析と軸位置制御装置の構成」、電気学会論文誌 D、vol.117D、no.9、pp. 1123-1131、1997.9
- (29) O.Ichikawa, A.Chiba and T.Fukao, “ Inherently Decoupled Magnetic Suspension in Homopolar-Type Bearingless Motors,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol.37, no.6,pp.1668-1674,Nov./Dec..2001
- (30) 竹本真紹、千葉明、赤木泰文、深尾正、「ベアリングレススイッチトリラクタンスモータのトルクと支持力」、電気学会論文誌 D、vol.124D、no.6、pp. 556-565、2004.6
- (31) Z. Liu, A. Chiba, Y. Irino and Y. Nakazawa,” Optimum Pole Number Combination of a Buried Permanent Magnet Bearingless Motor and Test Results at an Output of 60kW With a Speed of 37000 r/min”, IEEE Open Journal of Industry Applications, vol.1, pp.33-41, 2020
- (32) Feng Zheng Peng, T.Fukao,” Robust Speed Identification for Speed-Sensorless Vector Control of Induction Motors”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 3 .no.5, pp.1234-1240, Sept./Oct. 1994
- (33) 深尾正、「電気工学学生実験改革への取り組み」、工学教育、vol.59、no.1, pp.20-23、2011.1
- (34) 赤木泰文、「平成 22 年度名誉員 深尾正氏 ～研究生生活を振り返って～」、電気学会誌、vol.135, no.1, pp.24-25、2015.1

(2022.1.27 深尾正一談)