

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6月25日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560312

研究課題名（和文） 方形波配電システムの実用化研究

研究課題名（英文） A Study on Rectangular Voltage-Fed Distributing System for Practical Use

研究代表者

西田 保幸（NISHIDA YASUYUKI）

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：70237709

研究成果の概要（和文）：方形波配電システムについて、解析と実験を通して実用化の際のメリット・デメリットを研究した。その結果、従来の配電システムで問題であった電源の力率の悪化や電源電流の高調波電流の抑制に効果がある事や整流器出力直流電圧の変動率が低い事や直流フィルタキャパシタの容量が削減できる事が分かった。

研究成果の概要（英文）：Through analytical and practical study, merits and demerits of the Rectangular-Voltage-Fed Distribution System have been pointed out and it has been known that the Rectangular Voltage-Fed Distribution System can improve the Total-Power-Factor and decrease harmonics involved in the utility currents as well as variation of dc output voltage of a loaded rectifier and capacitance of the dc smoothing capacitor can be decreased.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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、方形波配電、力率、高調波電流、整流器負荷

1. 研究開始当初の背景

50Hz または 60Hz の正弦波交流電圧を用いた現状の配電・給電システムは長い歴史のある確立した技術である。一方、パワーエレクトロニクス技術がほとんどの家電・民生機器で活用されている現在、入力電源である（商用電源等の）交流電源は同機器内で整流器に接続されるため、同交流電源に流れ出す高調波電流による各種障害のみならず電源側設備や当該家電・民生機器内の部品類の利用率の低下も発生しており、電氣的エネルギーや

設備の高効率利用および省エネ化を阻害している。その対策として、低周波の正弦波交流電圧に基づく古典的配電システムを直流配電方式に代替える事が諸外国で提案されており、実証試験が行われている。しかしながら直流は、絶縁および事故電流の遮断が難しいことや人体への安全性確保の面で交流より技術的難易度が高い事から、宇宙ステーションなどの特殊な用途を除き、一般的な配電システムとして実用にまで至っていない。直流配電システムの欠点を解消し、負荷

装置に廉価なダイオード整流回路を用いることができる配電システムとして方形波交流式配電システムが以下の論文にて提案されている。

本提案方式の方形波電圧配電方式は次の革新的な特長をもち、実用化の可能性を充分持っている。

- ・ 負荷に廉価なダイオード整流回路を利用しても負荷力率をほぼ1にできる。
- ・ 負荷ダイオード整流回路および入力線路の電流は、台形波電圧の下では 120° 通電となり利用率が低い、本方形波電圧の下では 180° 通電になり利用率が改善され、入力電流の実効値を $3/4$ に低減できる。その結果、整流回路や線路の損失低減と配電設備利用率が改善され、省エネ効果が高い。
- ・ 同一電力の下で、方形波配電は正弦波配電に対し、入力電流の波高値と実効値を共に 0.87 倍にでき、スイッチング素子の最大電流定格、線路損失および線路電流容量を低くできる。

このように本研究では、廉価な負荷装置用いづつも線路損失と電流容量を低減できる方形波配電システムの実用化という新たな産業分野を創出する研究を実施する。

本研究ではこれまでに、平成19～20年度・研究費補助金・萌芽研究（日本学術振興会）（課題番号：19656075、題目：方形波交流理論と配電システムへの応用）の研究費を得ながら、提案する三相方形波配電システムで整流器負荷を運転した際と同配電システムと整流器の動作特性、より適切な整流器負荷の構成、変圧器を介在させた場合についての動作等の検討を行った。

2. 研究の目的

50Hz または 60Hz の正弦波交流電圧を用いた現状の配電・給電システムは長い歴史のある確立した技術である。一方、パワーエレクトロニクス技術がほとんどの家電・民生機器で活用されている現在、入力電源である（商用電源等の）交流電源は同機器内で整流器に接続されるため、同交流電源に流れ出す高調波電流による各種障害のみならず電源側設備や当該家電・民生機器内の部品類の利用率の低下も発生しており、電気的エネルギーや設備の高効率利用および省エネ化を阻害している。その対策として直流配電方式に代替する事が諸外国で提案されており、実証試験が行われているが、絶縁および事故電流の遮断が難しいことや人体への安全性確保の面で交流より技術的難易度が高い事から、一般的な配電システムとして実用にまで至っていない。また、方形波電圧や台形波電圧を用いた交流配電システムについての検

討もなされているが、前者では三相への適用ができなかったり、後者では電圧波形発生の為の電力変換が複雑・効果であったり負荷ダイオード整流回路の入力力率が低くなる難点があったりしている。そこで本研究では、廉価な負荷装置を用いづつも線路損失と電流容量を低減できる三相方形波配電システムの実用化という新たな産業分野を創出する研究を実施する。

3. 研究の方法

本研究では実用性と理論的裏付けの双方を重要視する観点から、

- ・ 整流回路方式と変圧器結線方式の組み合わせの評価
- ・ 整流器と三相変圧器の利用率の評価
- ・ 整流器直流出力側への波及効果の評価

の項目のそれぞれで、「実験的検討」と「理論展開」を研究代表者・西田と研究分担者・竹下が共同しつつ併行して進める。これら3つの研究項目に最初の二カ年を費やす。三年度目（最終年度）には、本研究のさらなる発展に繋がる「重要負荷への高品質電力給電の可能性」を行う。

また、本研究は下記の計画で実施する。

- ・ 整流回路方式と変圧器結線方式の組み合わせの評価

本研究項目は、現象の実験的把握（実験的検討）とその理論的裏付け（理論展開）に分けられる。同研究項目は設備の許す範囲で一部開始しているが、本申請科研費による助成金にて高精度測定を行うに必要な三相デジタルパワーメータを導入して実用レベルの実験を高精度で実施する計画である。

現有実験設備がより充実している代表研究者・西田側で実験的検討を、理論的検討で実績のある研究分担者・竹下側で理論的検討を、それぞれ行う。

- ・ 整流器と三相変圧器の利用率の評価

研究代表者・西田側で非正弦波電流の下での三相変圧器の容量の算定に関する研究を長年行っており、同成果を元に本研究項目（非正弦波電圧・電流の下での利用率）を実用的側面から検討する。一方、平成19～20年度・研究費補助金・萌芽研究（日本学術振興会）（課題番号：19656075、題目：方形波交流理論と配電システムへの応用）などでこの利用率の基礎的検討を行った連携研究者・竹下側で理論的検討を行う。両検討内容・結果を定期的な打合せにて照合しながら、理論的裏付けがある実用的な利用率評価法を考案・開発する。

4. 研究成果

図1に本研究で実用化研究の為に製作した

実験システムを、表1のその仕様をそれぞれ示す。

平成22年度(第2年度)では、まず、「整流器と三相変圧器の利用率の評価」(平成21年度からの継続課題)を行い、理論的および実験的に三相方形波配電システムにおける整流器と三相変圧器の利用率が従来の正弦波配電システムの場合より勝っている事を明らかにした。

さらに平成23年度(第2年度)では、「整流器出力側への波及効果」(平成22年度開始の課題)を行った。本課題では、直流フィルタ用キャパシタ・インダクタの定格やストレスに関する理論的および実験的検討を行った。具体的には、従来の正弦波電圧配電システムに於けるPWM整流器の場合と提案する方形波電圧配電システムに於けるダイオード整流器の直流フィルタ用キャパシタ・インダクタについて、必要とされる定数、定格、電圧・電流ストレスを比較・吟味し、方形波電圧配電システムの有用性を定量的に明らかにした。

また、チョーク入力形ダイオード整流器負荷の場合について、方形波電源の周波数が動作特性に与える影響を検討した。

平成23年度(第3年度・最終年度)では、商用周波数(50Hz)での実験を継続して回路各部の挙動を分析すると共に、運転周波数(方形波インバータの運転周波数、即ち負荷整流器の入力電圧の周波数)を商用周波数より上げて変圧器、インダクタ、直流キャパシタの小型・軽量化を行う場合についての提案システムの動作についての解析と実験的検討を行い、提案システムがもくろみ通りに動作する事を確認した。

図1は測定した整流器負荷の入力力率であるが、一般の商用電源の場合では0.5~0.7であるが、提案する方形波配電の場合は軽負荷時でも0.96を越える良好な値を示す事が分かった。

以上の成果から、本研究によって特に整流器負荷を負った場合に方形波給電によって従来の商用電源給電における諸問題(力率悪化、

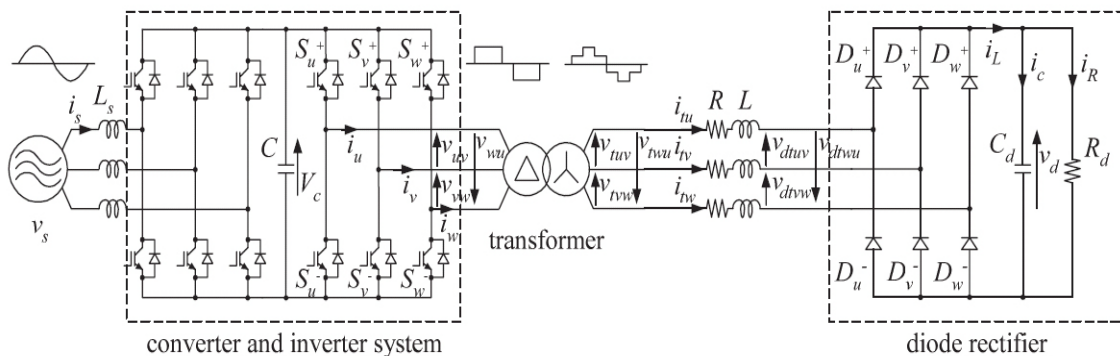


図1. 実験システム図

表1. 実験システムの仕様

Converter-inverter system	
source line voltage v_s	173.2 V, 60 Hz
input inductance L_s	4.0 mH
dc voltage V_c	264 V
dc capacitance C	1880 μ F
frequency of output voltage f_a	400 Hz
sixth period of output voltage T_s	417 μ s
Transformer	
rated input/output voltage	220 V/125 V
turn ratio a	1.76
Diode rectifier circuit	
rated output power P_{Load}	2.4 kW
amplitude of rectangular voltage V_a	300 V
maximum dc output voltage V_d	300 V
line resistance R	0.34 Ω
line inductance L	0.15 mH
dc smoothing capacitor C_d	100 μ F

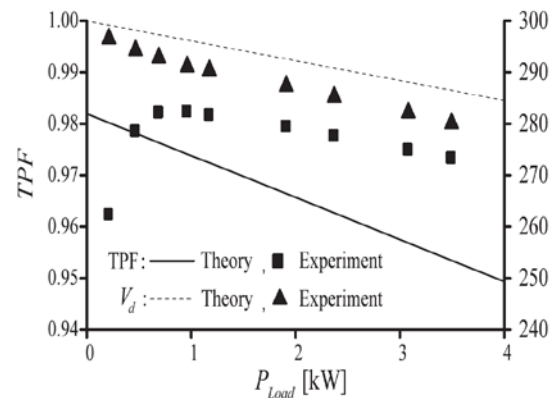


図2. 入力総合力率(左軸)と直流電圧(右軸)

高調波電流)が抜本的に解決できる事が分かった。また、直流給電では実施できない変圧器による絶縁と電圧変成が方形波給電では実施可能である事が実験による分かった。

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1件)

①鬼頭稔, 渡邊純兵, 竹下隆晴, 西田保幸:
「三相方形波配電システムに於ける変圧器絶縁負荷ダイオード整流負荷の解析」, 電気学会論文誌D, 査読有, Vol. 130, No. 5, 2010年, pp. 639-654

[学会発表] (計5件)

①Tomooki Imada, Takaharu Takeshita and Yasuyuki Nishida: “ Frequency Characteristics of Choke-Input-Type Diode Rectifier Circuit for Three-Phase Rectangular-Voltage-Fed Distribution System”, Conference Proceedings of IEEE PEDS 2011, 2011年12月5日, Singapore

②Yasuyuki NISHIDA, Hiromichi OHYAMA and Takaharu TAKESHITA, “ Practical Evaluation of Rectangular-Voltage-Fed Distribution System Loaded by Choke-Input Type Three-Phase Diode Rectifier Through Delta/Star Winding Isolation Transformer”, Conference Proceeding of EPE-2011, 2011年8月30日, Birmingham (イギリス)

③今枝智明, 鬼頭稔, 竹下隆晴, 西田保幸, 「三相方形波配電システムにおけるチョークインプット形負荷整流回路の周波数特性」, 平成23年電気学会全国大会講演論文集, 2011年3月16日, 大阪大学(大阪府)

④鬼頭 稔, 今枝智明, 竹下隆晴, 西田保幸, 「高周波三相方形波配電システムにおける負荷整流回路の特性解析」, 電気学会研究会資料, 2011年3月7日, 琉球大学(沖縄県)

⑤Minoru Kito, Takaharu Takeshita and Yasuyuki Nishdia, “ Characteristic Analysis of Three-Phase Diode Rectifier Loaded by Transformer with Delta-Star Winding on Rectangular-Voltage-Fed Distribution System ”, Conference Proceedings of EPE-PEMC-2010, 2010年9月6日, Ohrid (マケドニア)

6. 研究組織

(1)研究代表者

西田 保幸 (NISHIDA YASUYUKI)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号: 70237709

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

竹下 隆晴 (TAKESHITA TAKAHARU)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号: 70171634