

## FPGA を用いた PV インバータ用デジタルコントローラの開発

学生員 瀬尾 祐介 (東京農工大学) 正員 黒川 浩助 (東京農工大学)

## The Development of FPGA-based Digital Controller on for PV Inverter

Yusuke Seo, Student Member, (TUAT), Kosuke Kurokawa, Member, (TUAT)

## 1. まえがき

2001 年に示された「PV2030」では、2030 年までに総量 100GW の導入を目指しており、そのためには年産 10 ~ 20GW の自動生産ラインによる大量生産が必要となる。これには、太陽電池モジュールはもちろんインバータについても革新的な技術が必要とされる<sup>(1)</sup>。

本稿では、市販されている低価格な評価用 FPGA ボードをコントローラとして用いた太陽光発電用インバータの開発を行い、その試験結果を報告する。また、地域新生コンソーシアム研究開発事業によって開発されたデジタルコントローラ<sup>(2)</sup>との組み合わせ試験を行い、その結果についても報告する。

## 2. システム構成概要

本研究で用いたデジタルインバータの構成図を図 1 に示す。本システムは、FPGA ボードとインバータ本体が一つになった FPGA インバータと既存のデジタルコントローラの 2 つからなっている。インバータの回路パラメータを表 1 に示す。

表 1 システムパラメータ

Table 1. System Parameters.

$L_1, L_2$	438 $\mu$ H	$C_1$	4.75 $\mu$ F
$R_L$	10	Carrier Frequency	50kHz
MOS-FET	IRF644	FPGA	FLEX10K30A
最大入力電圧	36V	出力電力	20W

FPGA インバータには、交流電圧波形をレベルダウンした電流指令波形  $v_{ref}$ 、インバータ出力電流波形  $i_o$  が A/D コンバータによって取り込まれ、定電流制御が行われる。

デジタルコントローラでは、主にインバータの起動、MPPT 制御、単独運転検出が行われており、インバータ運転指令値である出力電流定数 (電流定数  $k$ ) の増減計算を行

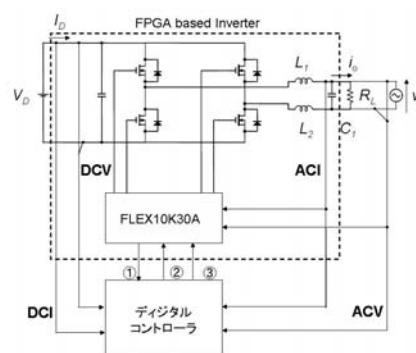
いインバータ本体へ出力している。電流定数は以下の(1)式を満たす。

$$i_o = i_{o\_max} \times k \dots (1)$$

ただし、 $i_{o\_max}$ :インバータ定格出力電流

(1)式より、 $k$  の調整により交流出力電流が変化し、その結果直流入力電圧、電流の調整が可能である<sup>(3)</sup>。

図中、 $\Phi$  はインバータの運転可否信号、 $\Psi$  はインバータ起動信号、 $\Gamma$  は電流定数  $k$  を表している。



(a) 概要図

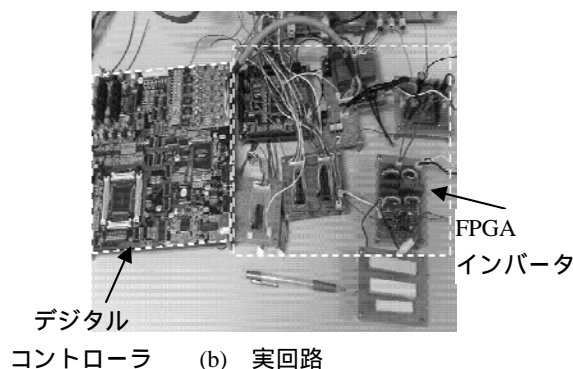


図 1 システム構成図

Fig. 1. System Configuration.

### 3. FPGA デザイン

図 2 に FPGA の内部構成を示す。電流指令波形  $v_{ref}$  からサイクル信号のみを取り出し、PLL にて内部に格納された正弦波データとシステムとの同期制御を行う。システムと同期した正弦波データに、デジタルコントローラから出力された電流係数  $k$  を乗算し、定電流制御をかけ PWM 信号を出力する。

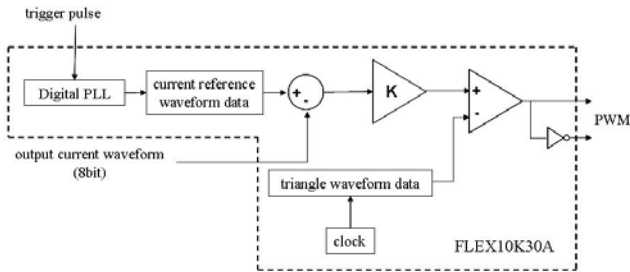


図 2 FPGA 内部構成図

Fig. 2. Internal Configuration of FPGA.

### 4. FPGA based Inverter 基本動作試験

図 3 にシステム連系時における定電流制御の結果を示す。系統側には実際の系統波形をトランスによって降圧したものを使用した。ここでは、デジタルコントローラボードは使用せず、電流定数  $k$  は一定としている。

電流指令波形  $v_{ref}$  からは系統波形のサイクル信号を取り出している。図 4 に各次の電流歪率の計算結果を示す。また、その計算結果より総合電流歪率の計算を行ったところ、3.48% となった。これより、出力電流の歪率は電気技術指針<sup>(4)</sup>で述べられている総合歪率 5%、各次歪率 3% 以内の規定内であった。

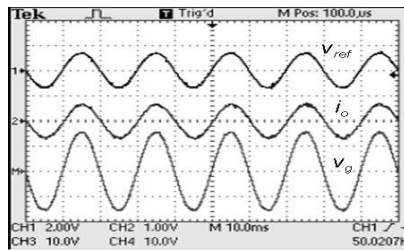


図 3 定電流制御時の波形

Fig. 3. Waveforms at Current Control.

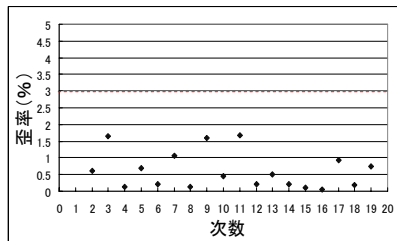


図 4 各次における歪率

Fig. 4. Harmonic Distortion.

### 5. デジタルコントローラとの組み合わせ試験

デジタルコントローラの動作を確認するために、AC バイポーラ電源をシステムとして模擬した縮小実験を行った。

試験結果を図 5 に示す。インバータはデジタルコントローラの起動条件をクリアした後に運転を開始する。コントローラはインバータの運転状態を確認して MPPT 制御に移る。

図 5 では直流安定電源を模擬的につなぎ試験を行った。電流定数  $k$  の増加に伴ってインバータ出力電流波形の振幅が増加している。また、 $k$  値が急変した際も電流はその変化に追従できている。この結果よりインバータ、デジタルコントローラが正常に起動し動作していることが示された。

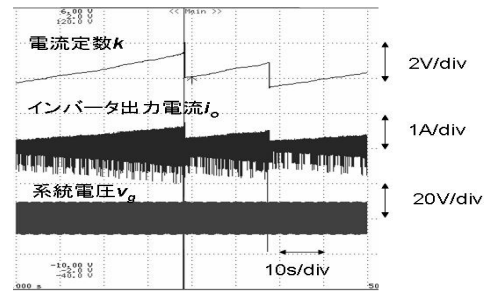


図 5 MPPT 制御時の波形

Fig. 5. Waveforms at MPPT Control.

### 6. まとめ

本稿では、FPGA ボードをコントローラとして用いた FPGA インバータの開発ならびに、既存のデジタルコントローラボードとの組み合わせ試験を行い、オールデジタルのコントローラとしての動作を確認した。試験により、FPGA ボードとデジタルコントローラボードとの協調を取ることができ、静特性における安定性を確認することができた。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の革新次世代太陽光発電システム研究開発、自律度向上型太陽光発電システム先導研究開発の一環として実施された。

### 文 献

- (1) K. Kurokawa, "Mass Production Scale of PV Modules and Components in 2030s and beyond" in Proc. 15<sup>th</sup> International Photovoltaic Science & Engineering Conference (PVSEC-15), pp272-274, Shanghai, China, Oct 11-15, 2005.
- (2)平成 13 年度 地域新生コンソーシアム研究開発事業「地域新生コンソーシアムエネルギー研究開発分野」「太陽光発電用分散型パワーコンディショナの研究開発」(第 2 年度) 成果報告書
- (3) 皆藤 貴志他:「太陽光発電用インバータ向けデジタル MPPT 法の開発」, 電気学会全国大会, NO.7-131, pp201-202 東北学院大学, 2003.3.17-19,
- (4)分散型電源系統連系技術指針(電気技術指針分散型電源系統連系編), 社団法人 日本電気協会, 2001