

60GHz 無線モジュールを用いたワイヤレス・ゲートドライブ回路

山本 研一* 市原 文夫 長谷川 一徳 大村 一郎 (九州工業大学)

A wireless gate-drive circuit using 60-GHz radio-frequency module

Kenichi Yamamoto*, Fumio Ichihara, Kazunori Hasegawa, Ichiro Omura (Kyushu Institute of Technology)

Networking of power converters is becoming popular such as smart grid, where wireless communication technology will play an important role. This paper addresses a wireless gate drive circuit for an IGBT using 60-GHz radio-frequency modules. Experimental results verify that the IGBT was driven with a significantly short delay time.

キーワード： IGBT, ゲートドライブ回路, 信号絶縁, 無線通信
(IGBT, gate drive circuit, signal isolation, radio communication)

1. まえがき

高電圧で用いられる IGBT 等のパワーデバイスのゲート信号絶縁には従来フォトカプラ、光ファイバー、トランス等が用いられている。フォトカプラ、光ファイバーは光学的に信号を伝えることで絶縁を確保し、トランスは磁気結合により信号絶縁を可能にしている。無線 LAN、Bluetooth など最近のワイヤレス技術の進歩と低コスト化により [1]、無線通信によるパワーデバイスへのゲート信号伝送の可能性が出てきた。無線通信によるゲート信号伝送では、パワーエレクトロニクスシステム内の多数のパワーデバイスを一つの送信機で制御でき、超高耐圧化にも対応できるなど多くのメリットがある。

パワーデバイス制御に無線通信を用いるにはリアルタイム性の確保が必要である。即ち、一般的なデータ伝送用無線プロトコルとは異なり、信号遅延や遅延の揺らぎ（ジッタ）を十分に小さく抑えたゲート信号伝送の構成が要求される。そこで、本論文では 60GHz 無線モジュールを用いてワイヤレス・ゲートドライブ回路を構成し、制御信号から IGBT のスイッチングまでのリアルタイム性を確保できることを実験により実証した。

2. 60GHz 無線モジュールを用いたゲート信号伝送システム

図 1 はワイヤレス・ゲートドライブ回路を用いたパワーエレクトロニクス回路の例を図 1 に示す。パワーデバイスのスイッチングはリアルタイム性が重要視されるが、情報通信に使用される無線通信は送信データの入力から受信後の出力までの遅延時間が大きく、その遅延時間にゆらぎ（ジ

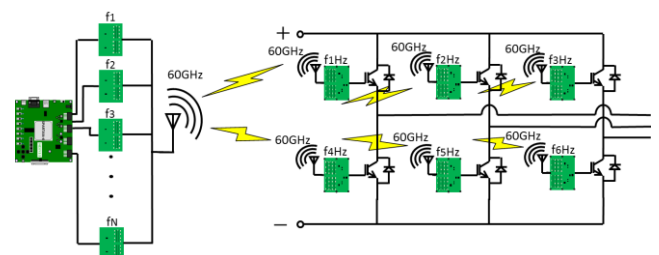


図 1 ワイヤレス・ゲートドライブ回路を用いた
パワーエレクトロニクス回路

Fig.1 power electronic circuit using wireless gate-drive
circuits

ッタ）が存在する。この遅延時間が生じる理由は、無線通信モジュール内部あるいはモジュール同士でのデータのやり取りによるものである。表 1 は情報通信に用いられる OSI(Open Systems Interconnection)階層モデルである。一般に普及している無線モジュールは表のような階層構造をもっている。これらの層同士のデータのやり取りにより遅延が発生する。一般に層が高いほど遅延時間が大きくなるため、物理層（第 1 層）に近いところで無線通信を行う必要がある。今回 60GHz 帯の無線モジュール（Vubiq 社、V60TXWG2 V60RXWG2）を用いた。このモジュールは直接物理層にアクセスすることができる。60GHz 帯はアンテナ、高周波部を一体化、集積化する技術開発が着実に成果を上げており [2-3]、将来的な低コスト化が期待できる。60GHz 無線モジュールを使用したゲート信号のデータの伝送システムを図 2 に示すゲート制御パルス信号を 400MHz の AM 信号に変換している。更に、60GHz AM 変調（I 入力）を行いアンテナに入力している。受信側では、60GHz の信号を AM 復調し、さらに 400MHz の復調モジュールで、

表 1 OSI 階層モデル
Table.1 OSI layer model

第 7 層	アプリケーション層	人、他のプログラムに提供
第 6 層	プレゼンテーション層	第 5 層と第 7 層の相互変換を行う
第 5 層	セッション層	アプリケーションが互いの存在確認
第 4 層	トランスポート層	データ圧縮、誤り訂正、再送信制御
第 3 層	ネットワーク層	アドレス管理
第 2 層	データリンク層	他回線との混信を防ぐ
第 1 層	物理層	データを通信回線に送出

矩形波に復調している。複数の IGBT を 1 対 N 方式で制御する場合は、例えば 380MHz、400MHz、420MHz と複数の周波数に信号を割り当てることで無線によりゲート制御が可能となる。また位相変調 (Q 入力) 等を用いることも可能である。

3. ワイヤレス・ゲートドライブの実証

実験に使用した部品、モジュールの型番を表 2 に示す。60GHz 無線モジュールを図 3 に示す。実験回路と無線通信のブロック図を図 4 に示す。回路はバックコンバータを採用しハイサイドの IGBT を駆動している。IGBT は ON

Semiconductor 社の NGTB15N60S1EG を用いた。図 5 と図 6 に実験回路の写真を示す。送信側 FPGA で 10kHz デューティ比 0.1 の矩形波ゲート信号を作成し、400MHz 変調モジュールを介し 60GHz での通信を行う。受信側では 400MHz での復調を行うことにより、送信側 FPGA で作成した矩形波と同一の信号が再現される。受信側 FPGA はバッファとして用いゲートドライブ回路に信号を出力する。最後に IGBT を駆動させることでバックコンバータが動作する。図 7 に電源電圧 100V で試験した際の動作波形を示す。ハイサイドの IGBT は正常に動作し、バックコンバータとして動作している。図 8 にバックコンバータの動作時の波形を示す。コレクタエミッタ間電圧 V_{CE} はジッタの幅 (立ち上がり 250ns、立ち下がり 500ns) の影響を受けているが、IGBT のデッドタイムよりも小さい。図 9 に送信側 FPGA と受信側のゲートドライブに入力する信号を示す。

表 2 無線モジュール・デジタル回路

Table2. Radio modules and digital circuits

品名	型番	メーカー
400MHz 変調モジュール	MAX1472	MAXIM
400MHz 復調モジュール	AD8307	ANALOG DEVICES
60GHz 送信モジュール	V60TXWG2	Vubiq
60GHz 受信モジュール	V60RXWG2	Vubiq
FPGA	Spartan-6	Xilinx

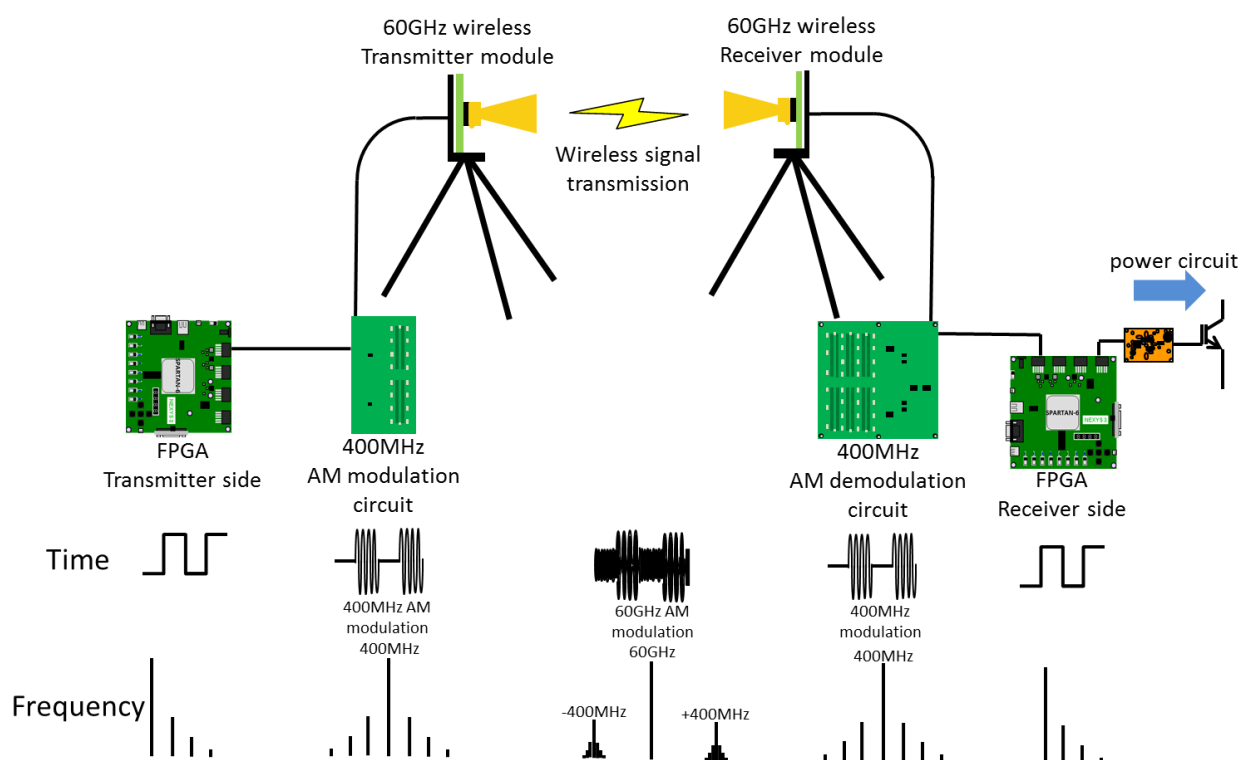


図 2 60GHz 無線モジュールを使用したゲート信号伝送システム
Fig. 2 Gate signal transmission using 60-GHz radio-frequency modules

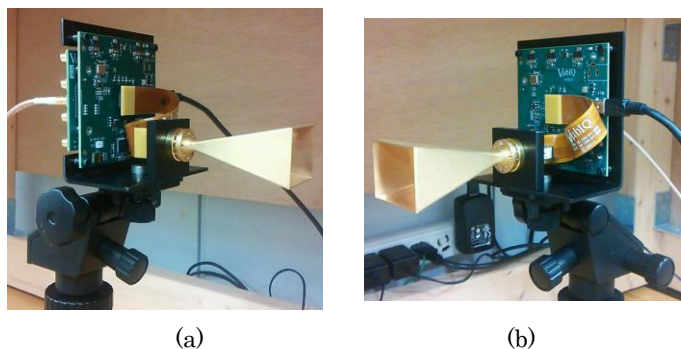


図3 60GHz 無線モジュール(a)送信側(b)受信側
Fig.3 60-GHz radio frequency modules
(a) Transmitter module (b) Receiver module

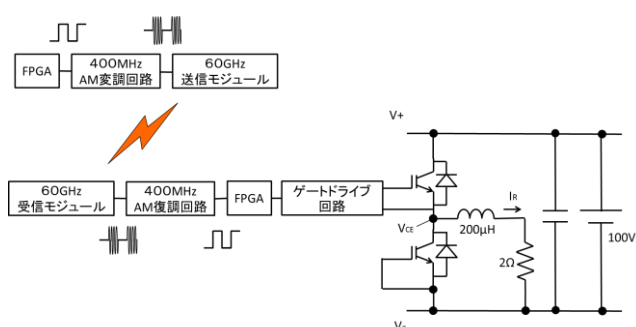


図4 実験回路とゲート信号伝送のブロック図
Fig.4 Experimental circuit and the block diagram of gate-signal transmission

図9中のヒストグラムは送信側FPGAの波形を基準に受信側FPGAの波形を読み取り、矩形波が立ち上がるまたは下がった時の個数を高さとして表示している。立ち上がり時の遅延時間は最小200nsでジッタの大きさは250nsであった。立ち下がり時の遅延時間は最小320nsで、ジッタの大きさは500nsであった。立ち上がり、立ち下りのジッタは共に、IGBTのデッドタイムよりも小さく、パワーデバイスの制御を行う信号として十分に用いることができる。この立ち上がりと立ち下りに時間差が生じる主な理由は、

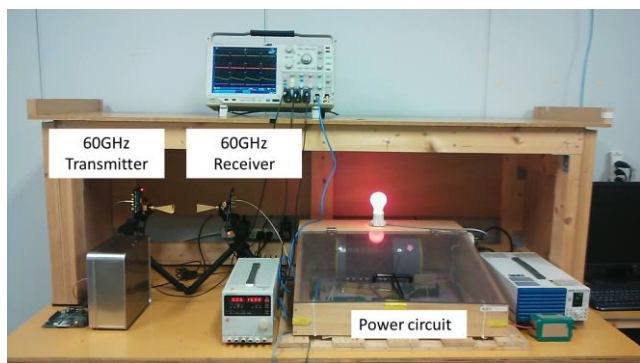


図5 実験装置 (全体)
Fig.5 Picture of experimental

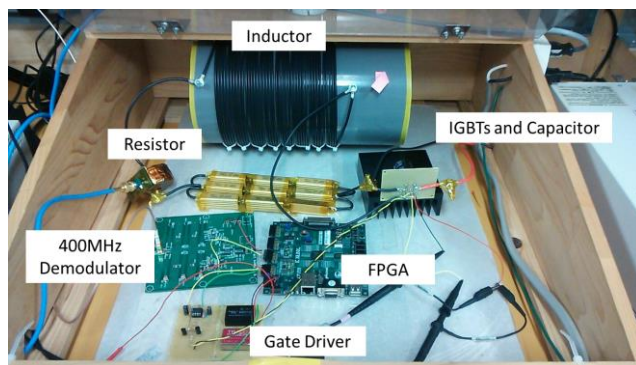


図6 実験装置 (主回路部)
Fig.6 Picture of the main circuit

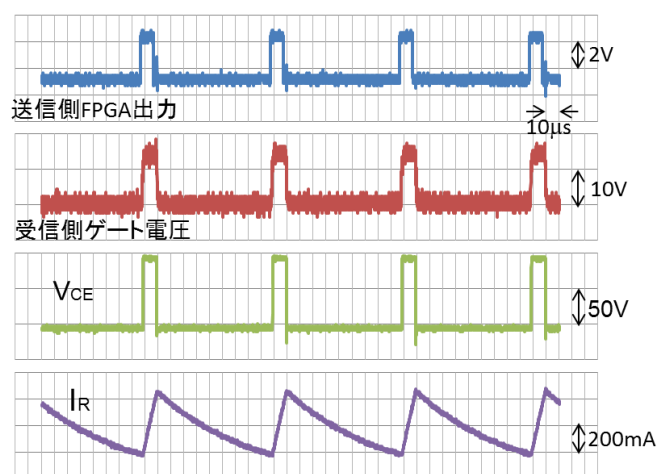


図7 バックコンバータ動作波形
(入力 100V0.5A 出力 10V5A)

Fig.7 Operating waveforms of the buck converter where input voltage is 100V, input current is 0.5A, output voltage is 10V, output current is 5A

400MHz 受信モジュール内部の回路構成によるものである。

4. 結論

60GHzの高速な無線通信を利用することにより、遅延時間とジッタの小さい無線通信を実現した。遅延時間は立ち上がり時で最小200ns、立ち下がりで320nsであった。ジッタの幅は立ち上がり250ns、立ち下がり500nsであった。このリアルタイム性に優れた無線通信によりバックコンバータのワイヤレス制御を実現した。

文 献

- (1) H. Shoki, Y.Tsutsumi, S.Sekine: "Millimeter Antenna Technologies to Realize Ultra High Speed Wireless Communication Systems", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers J90-B(9), 810-820, (2007)
- (2) Daniels R.C., Murdock J.N., Rappaport T.S., and Heath R.W.: "60 GHz Wireless: Up Close and personal", IEEE Microwave Magazine, Vol.11, Issue: 7, p.44-50 (2010)
- (3) Zhang Y.P., Sun M., and Guo L.H.: "On-chip antennas for 60-GHz radios in silicon technology", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.52, Issue: 7, p.1664-1668(2005)
- (4) 400MHz 変調モジュール MAX1472 datasheet
<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1472.pdf>
- (5) 400MHz 復調モジュール AD 8307 datasheet
http://www.analog.com/static/imported-files/jp/data_sheets/AD8307_JP.pdf
- (6) 60GHz 無線モジュール V60WGD012 datasheet
<http://www.admiral-microwaves.co.uk/pdf/vubiq/V60WGD02.pdf>
- (7) IGBT NGTB15N60S1EG datasheet
http://www.onsemi.jp/pub_link/Collateral/NGTB15N60S1E-D.PDF

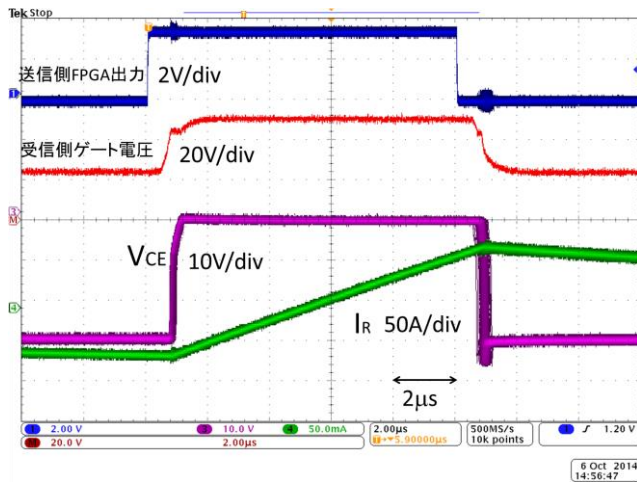
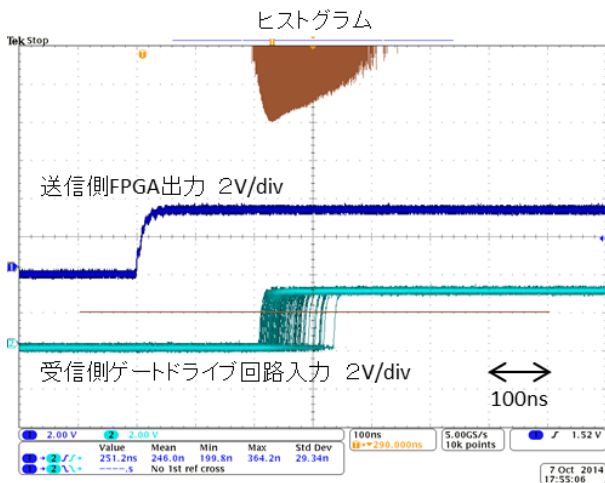
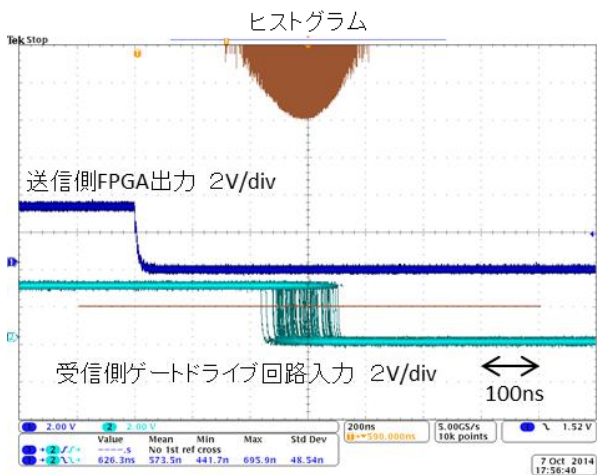


図 8 バックコンバータ動作時の波形

Fig.8 Operating waveforms of the buck converter



(a)



(b)

図 9 PGA 出力信号とゲートドライブ入力信号

(a) 立ち上がり (b) 立ち下がり

Fig.9 Output signal of the FPGA of the transmitter side and the input signal of the gate-drive circuit

(a) Rising (b) Falling