

マイクロ波によるワイヤレス電力伝送の研究

製品・機能評価課 奈須野雅明、宮田直幸

1. 緒言

空間型ワイヤレス電力伝送は、数メートル離れた IoT・ICT 等のセンサモジュールに給電することが可能となる。関連法令¹⁾の整備により、920 MHz 帯と 2.4 GHz 帯、および 5.7 GHz 帯のマイクロ波については、登録された無線局構内で使用可能となった。現在、920 MHz 帯を中心に開発および実証試験が進められており、幅広い分野での実用化が期待される。

本研究では空間型ワイヤレス電力伝送のマイクロ波を受電し直流電力を出力するレクテナ(整流回路付き受電アンテナ)の試作開発や、効率よくマイクロ波を送る送電システムの開発を行う。本報では、送電できる電力が大きく、デバイスの小型化が見込める 5.7 GHz 帯用の整流回路について試作評価を行った。

2. 実験方法及び結果

2.1 5.7GHz 帯整流回路の設計・試作

高周波回路は、ショットキーバリアを 1 つ用いるシングルシャント型の整流回路とした。図 1 にシングルシャント型整流回路の回路図と、試作した整流回路の外観を示す。回路の基板は、利昌工業社製の低誘電率 PPE 両面銅張積層板(CS-3376C)を約 30 mm 角に切断して使用した。回路の線路は、マイクロストリップ線路(MSL)型とし、中心周波数 5.75 GHz に合わせた線路幅および $\lambda/4$ 線路長さを、高周波回路シミュレータ(QucsStudio Transmission Line Calculator4.3.1)を用いて算出し、CNC ルーターで切削加工を行った。ショットキーバリアダイオード(SBD)は、Infineon Technologies 社製の BAT15-02LRH を、DC カット用の C_0 に 1608 サイズの $10\mu\text{F}$ のコンデンサを、出力側の C_L には同サイズの 0.5pF のコンデンサ使用し、SMA コネクタとともに実装した。

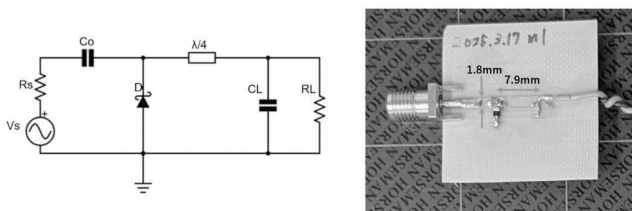


Fig. 1 Schematic diagram of single shunt rectifier circuit and appearance of rectifier circuit

2.2 整流回路の評価方法および結果

試作した高周波整流回路は、図 2 に示す測定系²⁾により評価を行った。使用した測定機器の一覧を表 1 に示す。整流回路の RF-DC(高周波-直流)の変換効率 η [%]を求めるため、直流の出力電力 $P_{\text{out}}[\text{mW}]$ は式 (1) とした。ここで、 $V_{\text{out}}[\text{V}]$ は整流回路の出力電圧で $R_L[\Omega]$ は負荷抵抗である。また、信号発生器の設定電力から方向性結合器とサーキュレータの挿入損失(VNA で測定)の差を整流回路に入力する電力 $P_{\text{in}}[\text{dBm}]$ とした。整流回路に入力する電力 P_{in} の単位を[dBm]から[mW]に換算し、式(1)の電力 $P_{\text{out}}[\text{mW}]$ を用いて式(2)の変換効率 η [%]とした。

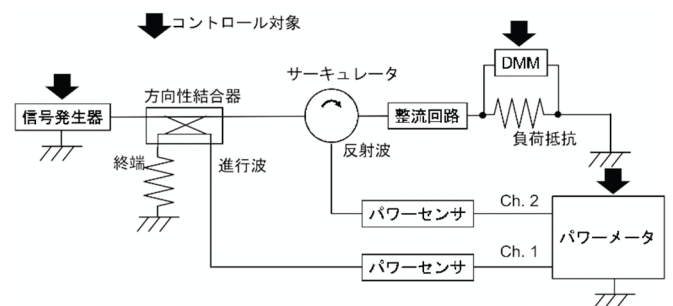


Fig. 2 Conceptual diagram of measurement system

Table 1 List of measuring instruments used

種類	メーカー	型名
信号発生器	KEYSIGHT	N5171B
方向性結合器	PASTERNAK	PE2245-30
サーキュレータ	SMT	SMS-2060-C
パワーメータ	AGILENT	N1914A
パワーセンサ	AGILENT	E9304A
DMM	ADVANTEST	R6581

$$P_{\text{out}}[\text{mW}] = \frac{V_{\text{out}}[\text{V}]^2}{R_L[\Omega]} \times 10^3 \quad (1)$$

$$\eta[\%] = \frac{P_{\text{out}}[\text{mW}]}{P_{\text{in}}[\text{mW}]} \times 100 \quad (2)$$

出力電圧と周波数の特性は、信号発生器の出力設定電力は 0 dBm(1 mW)に固定し、周波数 4 GHz から 6 GHz まで 0.5 GHz ステップで測定を行った。負荷抵抗 R_L は 125Ω から 2 倍ずつ $8\text{k}\Omega$ までの測定を行った。図 3 に整流回路の出力電圧と周波数特性を示し、図 4 に変換効率と周波数の特性を示す。図 3 より周波数の増加に伴い出力電

圧が上がり、また、負荷抵抗 R_L の増加に伴い出力電圧が高くなることがわかる。また、図 4 から、設定目標の周波数 5.75 GHz では 0.5 k Ω が最も変換効率が高くなった。

次に、負荷抵抗 0.5 k Ω とその前後の 0.25 k Ω と 1 k Ω において、周波数を 5.75 GHz に固定、出力設定電力を -20 dBm(0.01 mW)から 19 dBm(79.4 mW)まで、5 dBm ずつ増加して測定した出力電圧特性の結果を図 5 に示し、変換効率特性を図 6 に示す。出力電圧は、入力電力 19 dBm、負荷抵抗 1 k Ω で最大電圧 3.1 V 得られた。また、変換効率は入力電力 15 dBm(31.6mW)、負荷抵抗 0.25 k Ω で最大 61 % となった。

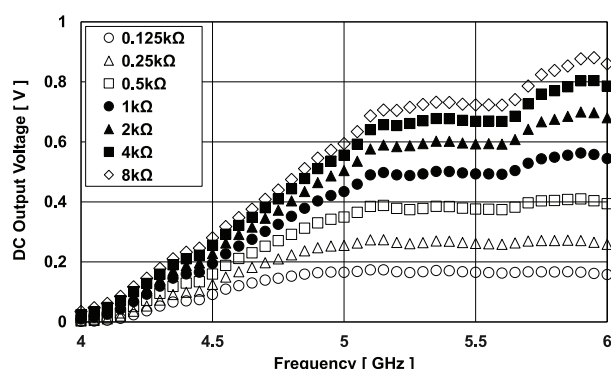


Fig. 3 DC output voltage characteristics of rectifier circuit

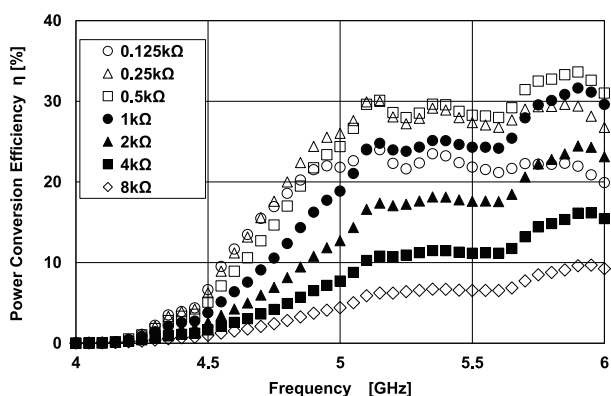


Fig.4 Conversion efficiency of the rectifier circuit vs. frequency

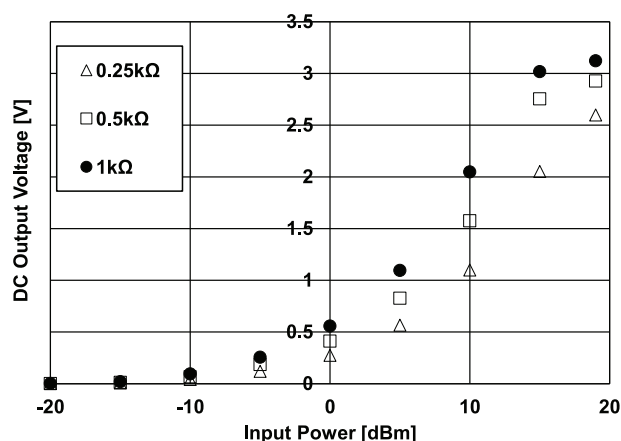


Fig. 5 DC output voltage of rectifier circuit vs. input power

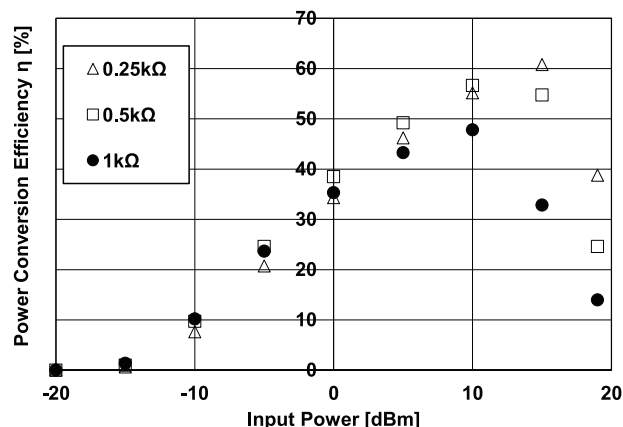


Fig.6 Conversion efficiency of the rectifier circuit vs. frequency vs. input power

3. 結言

5.7GHz 帯の整流回路を試作し特性評価を行った。本実験下では、入力電力 15 dBm のとき、負荷抵抗 250 Ω で、変換効率 61 %を得た。試作評価した整流回路をもとに、IoT/ICT 等に給電する実証試験を試みる予定である。

参考文献

- 1)総務省 情報通信白書令和 4 年度版 第 4 章第 3 節
- 2)令和 5 年度(第 37 回)若い研究者を育てる会研究発表
会研究論文集 (2023) 8-14

キーワード：マイクロ波、WPT、高周波整流回路

Development of Microwave-based Wireless Power Transfer System

Product and Function Evaluating Section; Masaaki NASUNO and Naoyuki MIYATA

Microwave wireless power transmission (MWPT) is a technology that wirelessly transmits microwave energy in space. MWPT can effectively solve the problem of energy supply for IoT devices. In this report, a rectifier circuit with a frequency in the 5.7 GHz band was designed using a high frequency circuit simulator, and prototype evaluation was performed. As a result, the rectifier circuit achieved a conversion efficiency of 61% at 15 dBm input power with a 0.25 k Ω load.