

RF エネルギーハーベスティングに用いるモジュールの最適化

～日本大学理工学部船橋校舎四号館において～

Optimization of the Module used for a RF Energy Harvesting

～At the Nihon University's Funabashi Campus No.4 Building～

○秋葉直樹¹, 柴田国明², 三枝健二²*Naoki Akiba¹, Kuniaki Shibata², Kenji Saegusa²

Abstract: In this research, we developed the RF energy harvesting module that can collect radio waves propagating as energy in the atmosphere, and we are investigating factors necessary for high efficiency. In this paper, we study the operating frequency and RF / DC conversion circuit in RF energy harvesting. As a result, we decided to use the TV broadcasting wave as the operating frequency and the charge pump circuit as the RF / DC conversion circuit.

1. まえがき

近年, TV 放送や無線 LAN といった空中に存在する電波を回収し, 電力として利用するエネルギーハーベスタの研究が盛んである^{[1][2]}. この技術はアンテナにより回収した電波を RF/DC 変換回路で直流電圧に変換しセンサネットワーク用の電源としての利用が期待されている.

本研究では, 日本大学理工学部船橋校舎四号館において利用可能なエネルギーハーベスタモジュールの作成を目標とする. RF エネルギーハーベスタモジュール全体の開発を行い, 高効率を実現するために必要な要素を検討する. 本稿では, 基礎検討として船橋校舎四号館における LED の常時点灯または点滅を目標とし, RF エネルギーハーベスタモジュールの開発を行う.

2. 使用周波数の検討

本研究では, アンテナの大きさを考慮して, TV 放送電波と無線 LAN 電波に焦点をあて, 比較検討を行う. 表 1 に船橋校舎四号館における各周波数帯の測定仕様を示す. TV 放送電波は四号館屋上を測定場所とし, 市販のアンテナ(東芝社製 DUA-1000)を用いて測定を行う. このとき, アンテナの向きは図 1 に示す船橋三山送信所に向けて測定を行う.

無線 LAN 電波においては研究室にあるルータ(NEC 製 WG1800HP)より放射される電波を測定する. 使用チャンネルを 9ch(2441~2463MHz)のみとし, ストリーミング動画を閲覧している状態で測定を行う. アンテナは, 2.45GHz を中心周波数とするマイクロストリップアンテナを使用する. ルータより 5m 離れた位置での水平偏波の測定を行う.

電波の測定にはスペクトラムアナライザ

(ROHDE&SCHWARZ 社製 FSH18)を用いて, 掃引回数 999 回における各周波数帯の平均電波強度を測定し, その測定結果を図 2 に示す.

表 1 各周波数帯の測定仕様

	TV放送電波	無線LAN電波
受信アンテナ	東芝社製UHFアンテナ	自作パッチアンテナ
利得[dBi]	8.4~9.8	6.8
測定周波数帯[GHz]	0.5~0.6	2.4~2.5
測定場所	日本大学理工学部 船橋校舎屋上	研究室内



図 1 TV 放送電波の測定環境

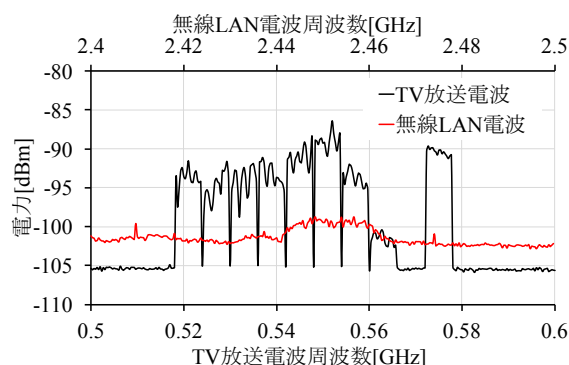


図 2 各周波数帯の平均電波強度

最大平均電波強度を比較すると、TV 放送電波が無線 LAN 電波より約 10dB 大きい。アンテナの利得の差を考慮しても TV 放送電波の強度が高い。ある瞬間における電力においては無線 LAN の方が高い値であるが、時間に対する電力量では TV 放送電波の方が安定した結果となる。したがって、本研究では受信電波を TV 放送電波に決定し、モジュールの試作を行う。

3. RF/DC 変換回路の検討

アンテナで受信した交流電圧を直流電圧に変換する RF/DC 変換回路について検討する。本研究では、チャージポンプ回路^[2]を基にして試作および測定を行う。試作を行う 5 段のチャージポンプ回路に使用する素子を図 3 に示す。回路はチップコンデンサ(GRM15)と 2 種のダイオード(SMS7630, HSMS2860)およびカーボン抵抗にて構成され、コンデンサの容量は入力信号とのカップリングを考慮して決定した。

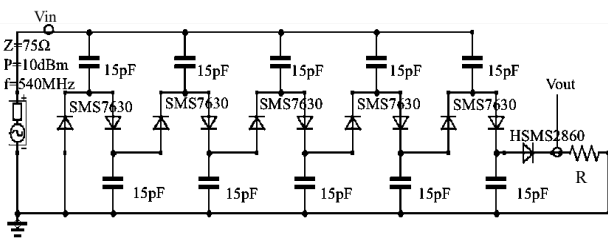


図 3 チャージポンプ回路

以上の条件における回路を基板($\epsilon_r = 2.6$)に実装して測定し、回路シミュレータによる解析値と比較する。実測および解析は共に、チャージポンプ回路に周波数 540MHz の正弦波を入力し、出力電圧を測定する。

負荷抵抗 R を変化させた時の出力電力と出力電圧の測定結果を図 4 に示す。負荷抵抗を大きくするほど、出力電圧が大きくなるが、約 6 V 付近で収束する。出力電力は抵抗の増加に対して 12k Ω までは増加し、それ以上となると電力が低下する。電力最大値は 12k Ω において、1.7mW となる。以上の結果より、負荷抵抗を 12k Ω に設定する。

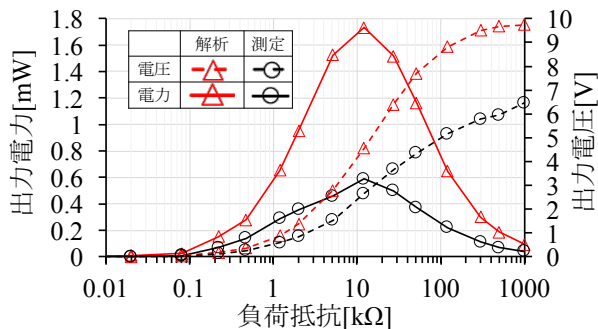


図 4 チャージポンプ回路の負荷抵抗特性

図 5 に入出力電圧特性を示す。入力電力が -15dBm 未満においては測定値と解析値がよい一致である。-15 dBm 以上では測定値と解析値が乖離し、測定値が解析値よりも小さくなる。しかしながら、両者の傾向は概ね同じである。出力電圧の差の原因としては、解析に使用したコンデンサが実際特性と異なり、理想的な特性であることが原因の一つと考えられる。

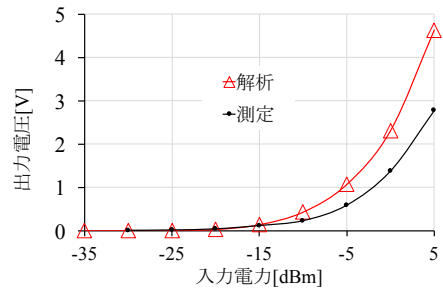


図 5 チャージポンプ回路の出力電圧特性

以上の回路を用いて、四号館の屋上における出力電圧の測定を行う。測定条件は表 1 における TV 放送電波の条件と同様である。テスターを用いてチャージポンプ回路の出力電圧を測定した結果、10.2mV が得られた。負荷抵抗 12k Ω であるため、チャージポンプ回路の出力電力は 8.7nW となる。この結果と図 5 の結果を比較するとチャージポンプ回路に約 -26dBm の電力が入力されていると考えられる。

しかしながら、この電力では、現在の目標である LED の点灯の実現には至らない。よって、回路定数および使用素子の選定、アンテナの改良が必要であり、モジュール全体の効率をあげる必要がある。

4. まとめ

本稿では、RF エネルギーハーベストモジュールの各要素における検討結果について報告した。はじめに船橋校舎四号館屋上にて電波環境を測定し、使用周波数を TV 放送電波とした。

次に RF/DC 変換回路としてチャージポンプ回路を試作し、回路シミュレータとの比較を行った。両者は概ね一致したが、現状の回路では十分な出力電力を得ることができなかった。しかし、さらなる改良に向けての知見が得られた。

参考文献

- [1] 川原, 他, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-UBI-30 No.2, 2011.
- [2] R.Shigeta *et al.*, IEEE Sensors Journal Vol.13, Issue: 8, pp. 2973 - 2983 May. 2013.