

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 ~発振回路による出力電力の効率化~

Optimization of the Module used for a RF Energy Harvesting

~ Efficiency of the output power by oscillation circuit~

○藤田裕樹¹, 柴田国明², 三枝健二²

*Fujita Yuki¹, Kuniaki Shibata², Kenji Saegusa²,

Abstract: In this paper, we study RF energy harvesting module to light the LED at the Nihon University's Funabashi Campus No.4 Building. In order to improve the efficiency of the output power, we insert the oscillation circuit in the subsequent stage of RF / DC conversion circuit. Result of experiments suggest that the lighting of LED is possible in a conventional half the power and effectively.

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]。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等の電力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製作を目標とする。これまでに、基礎検討として船橋校舎四号館にて利用できる電波の測定を行い特性を確認し、RF-DC 変換回路についての検討を行った^[2]。しかし、LED の常時点灯には至らなかった。

本稿では、RF-DC 回路の後段に発振回路を用いることにより出力電力の効率化を図る。その結果、従来の約 50%の電力で LED 点灯が可能であることを示す。

2. モジュールの構成

本研究の RF エネルギーハーベスタモジュール構成図を図 1 に示す。4 号館屋上にて TV 放送電波をアンテナで受信し、チャージポンプ回路で高周波電圧を直流電圧に変換する。変換した直流電圧を昇圧発振し、電力制御を行うことで、LED の常時点灯に必要な電力を管理する。

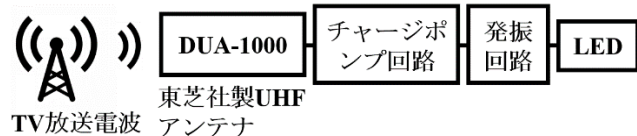


図 1 RF エネルギーハーベスタモジュール構成

3. 発振回路の構成

エネルギーハーベスタモジュールの RF/DC 変換回路

として、電力効率の良い 5 段のチャージポンプ回路^[2]を使用する。先行研究では、チャージポンプ回路の終端に LED を取り付け、実験を行った。その結果、LED の常時点灯には $-2.05 \text{ dBm} (0.5 \text{ V}_{\text{pp}})$ 必要であった。

そこでチャージポンプ回路の後に発振回路を組み込み、整流した直流電圧を発振させて電力制御を行う。発振回路の DUTY 比を制御して電力制御を行い、低入力電力で高輝度となるように設計する。目標はチャージポンプ回路に搭載されているダイオード(SMS7630)が動作可能な最小入力である $-7.4 \text{ dBm} (0.27 \text{ V}_{\text{pp}})$ で LED の点灯を目指す。

図 2 に設計した発振回路を示す。LMC555 の OUT 端子にチャージ用のコンデンサ C_{12} を取り付け、LED のカソード側の負電位とチャージポンプ回路の出力である V_0 との電位差により、LED を点灯させる。発振回路をプリント基板上に製作し、素子値を変更させて回路の最適化を図る。実験にはアンテナの代わりに発振器(MG3700A)を用い、周波数は TV 放送電波帯の中心周波数である 550 MHz とし、入力信号を正弦波として実験を行う。

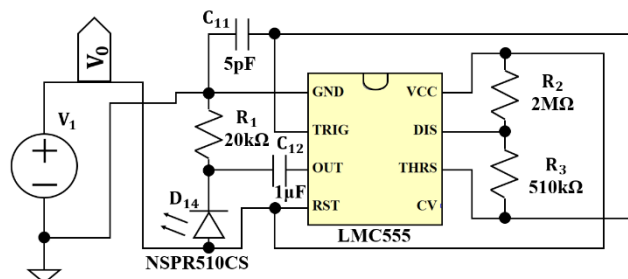


図 2 発振回路

4. 実験結果

発振回路の DUTY 比は以下の式のように求められる。

$$\frac{R_3}{R_2+2R_3} \quad (1)$$

$R_2=2\text{ M}\Omega$ とし, $R_3=1\text{ k}\Omega, 2\text{ M}\Omega, 10\text{ M}\Omega$ のときにおける LED 両端における電圧波形を図 3 に示す. なお, 入力電圧はチャージポンプ回路が十分に動作する $0.5V_{pp}$ とする. R_3 の値が大きくなるにつれて DUTY 比が大きくなり, ON 電圧と OFF 電圧の差も大きくなる. この原因は, 発振回路の入力および電源にチャージポンプ回路の出力を用いているため, ON 時間に増加に伴い発振回路への入力電力が減少するためであると考えられる. 表 1 に示した DUTY 比の計算値と実験値を比較すると R_3 増加に伴う DUTY 比の増加は確認できるものの計算値と異なる結果となった.

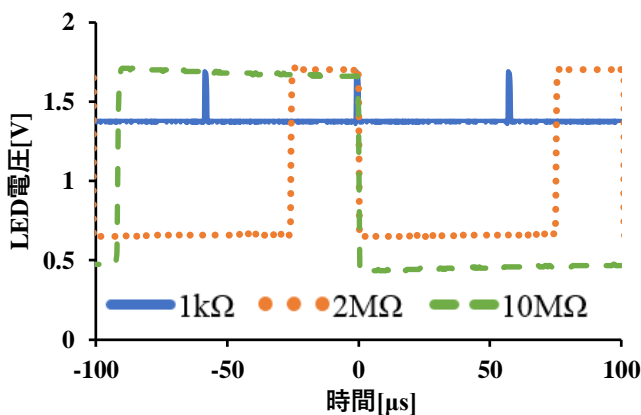


図 3 DUTY 比比較(入力 $0.5V_{pp}$)

表 1 各 R_3 の DUTY 比および最大電圧

| R_3 [Ω] | DUTY 比 実測値 | DUTY 比 計算値 | ON-OFF 電圧差[V] |
|-----------------------|---------------|---------------|------------------|
| 1k | 0.0095 | 0.0005 | 0.33 |
| 2M | 0.25 | 0.33 | 1.07 |
| 10M | 0.374 | 0.45 | 1.28 |

次に各 R_3 の値における入力電圧-LED 電圧特性を図 4 に示す. R_3 の変化によって LED 電圧に差が生じており, 特に入力電圧が $0.35 V_{pp}$ 以下においては, 抵抗変化による電圧差が顕著である. $0.4 V_{pp}$ 以降では各抵抗における電圧差は収束する.

チャージポンプ回路単体の結果と比較すると, 入力が $0.4 V_{pp}$ 以下では発振回路を入れた方が LED 電圧は高くなり, 入力増加に伴い発振回路の LED 電圧と同程度となる. R_3 の最適化を図るため, チャージポンプの最小動作電圧である $0.271V_{pp}$ で R_3 を変化させた結果, $R_3=510\text{ k}\Omega$ において, LED 電圧が最大値($1.631V$)となることを確認した.

次に, DUTY 比の制御に関わらないチャージ用のコ

ンデンサ C_{12} を変化させたときの LED 電圧特性を検討し, 図 5 に示す. LED 電圧は C_{12} 増加と共に増加し, $C_{12}=10\text{ pF}$ 以上で 1.5 V 以上となり LED が点灯する. 400 pF 以上では LED 電圧が 1.75 V となり電圧値が飽和する. このとき, C_{12} を増加するにつれて LED 電圧が上昇する時間が長くなった. この結果より C_{12} を LED 電圧が飽和し, 電圧上昇時間の短い $1\text{ }\mu\text{F}$ に設定する. 以上で設定した素子定数を用いた結果 $0.27V_{pp}$ で LED の点灯が行えた.

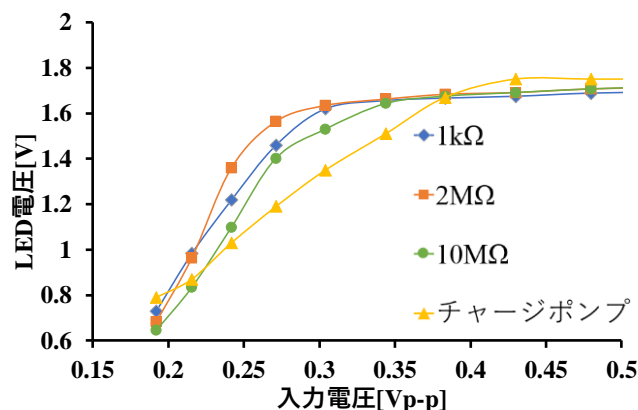


図 4 入力電圧-LED 電圧特性

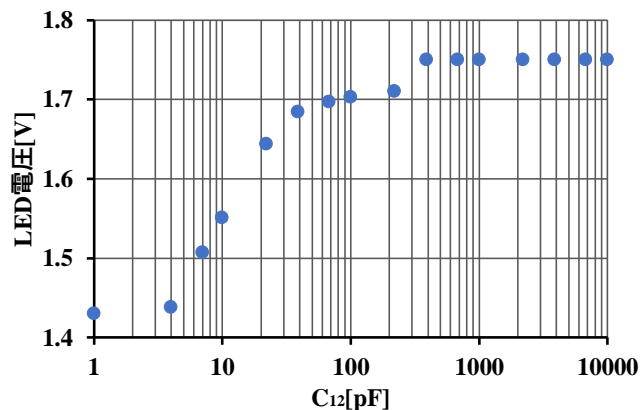


図 5 C_{12} -LED 電圧特性(入力 $0.5V_{pp}$)

5. まとめ

本稿では, RF エネルギーハーベストモジュールに用いる発振回路における検討結果について述べた. その結果 LED の常時点灯に必要な入力電力を先行研究の 54%程度まで小さくすることができた. これにより, チャージポンプ回路に搭載されているダイオード (SMS7630) が動作可能な最小入力である -7.4 dBm ($0.27V_{pp}$) で LED の点灯が可能であることを示した.

参考文献

- [1] R. Shigeta *et al.*, IEEE Sensors Journal Vol.13, Issue: 8, pp. 2973 - 2983 May. 2013.
- [2] 秋葉 直樹, 他, 平成 29 年度日本大学理工学部学術講演会, M-23.