

Study on Rectifying Circuit for Rectenna using Lumped Constant Circuit and its Application

Hiroki OKE, Takahiro NAKANO, Yoshiyuki FUJINO

Faculty of Science and Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering,
Toyo University 2100 Kujirai, Kawagoe, Saitama, 350-8585

Abstract

Space Solar Power System (SSPS) is expected as a new energy source. A rectenna is used for the SSPS, and it is composed of a rectifying circuit and antenna. In the design of rectifying circuit, higher RF-DC conversion efficiency is required and there are one technique to get high efficiency which is called higher harmonic matching technique (HHMT). To confirm the fundamental design of HHMT, a rectifying circuit constituted by a lumped constant circuit is designed. Improvement of improving RF-DC conversion efficiency in the frequency of 6.78MHz and 350 MHz is confirmed. As an application of this rectifying circuit, a small model car with rectenna is demonstrated.

集中定数を用いたレクテナ用整流回路とその応用に関する研究

桶博貴 中野剛宏 藤野義之

東洋大学理工学部電気電子情報工学科 〒350-8585 川越市鯨井 2100

1. 概要

レクテナはアンテナと整流回路を組み合わせたもので、電波方式の無線電力伝送に使用される。これは送信側から電波などの電磁波を放射し、受信側レクテナによって高周波から直流へ変換することによる電力伝送の方式である。この方式は長距離の伝送が可能であるため、宇宙空間で太陽光発電をし、発電した電力を地上へマイクロ波を用いて地上へ送る宇宙太陽光発電への応用が期待されている。

整流回路は電源回路(50Hz)などの場合は半波整流回路や全波整流回路を用いて整流することが可能であるが、無線電力伝送では高周波を用いるため、ダイオードの少数キャリア蓄積効果によって波形が単純ではなくなってしまう。そのため高周波の整流では、ダイオードの前後に挿入される入出力フィルタで高調波周波数のインピーダンスを所望の値にする高調波マッチング処理が用いられる。

本研究ではレクテナ用整流回路を集中定数回路で構成し、高調波マッチング処理の効率向上を確認するとともに、ミニカーへの応用を検討した。

2. 研究内容

高調波マッチング処理は分布定数回路と集中定数回路で実現することができるが、今回は物理的意味が分かりやすいことや、 L 、 C などを直接測定できるため調整が容易などの理由から集中定数回路を用いて検証を行った。周波数は集中定数回路で有効な周波数として、マイクロ波帯より低い周波数の6.78MHzおよび350MHzを使用した。350MHzについては集中定数回路を用いたレクテナの応用としてレクテナによる給電し走行するレクテナカーを作製した。

3. 実験内容

3-1. 整流回路の構成

整流回路として、ダイオードの前後に入出力フィルタを挿入した設計を考える。入力フィルタと出力フィルタの設計は高調波マッチングの手法として文献[1]で述べられている。これを図2に示す。条件は入力フィルタでは基本波の時、入力インピーダンスと等しい値、直流時と奇数次高調波の場合ではインピーダンスが無限になる。また出力フィルタでは、直流時負荷抵抗と等しい値、偶数次高調波ではインピーダンスが0、奇数次高調波ではインピーダンスが無限になる条件になる。実際のこの条件を満たす集中定数回路の構成例を図3に示す。このインピーダンス条件を満たすため、入力フィルタのコンデンサでは直流時のインピーダンス ∞ 、並列共振回路では奇数次高調波でのインピーダンス ∞ 、出力フィルタにおいても並列共振回路によって基本波と奇数次高調波時のインピーダンス ∞ 、直列共振回路によって偶数次高調波のときインピーダンス0とする設計をした。

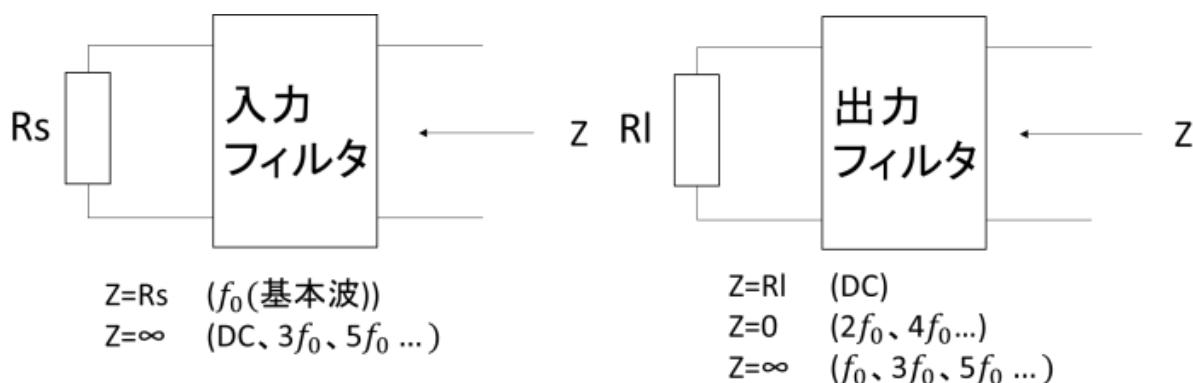


図2 フィルタの条件

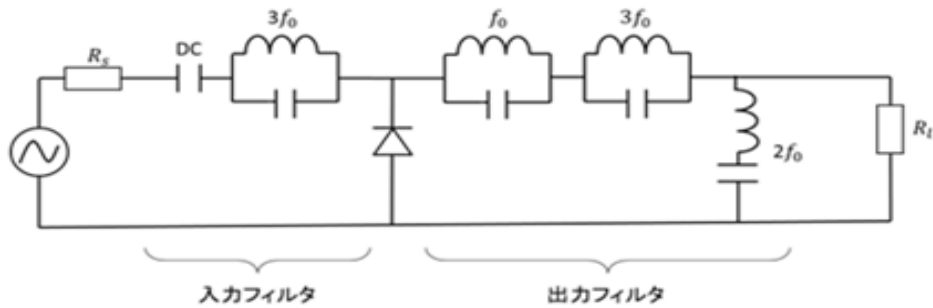


図 3 設計回路

3-2 LとCの選定

実際に集中定数回路で共振回路を作製する際 L と C の組み合わせは無数にある，そのため L と C の最適な組み合わせを求める指標として Q 値を考え，式 (1) にその定義を示す．

$$Q = \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ (並列共振)} \quad (1)$$

このとき Q 値と効率の関係を実験により求めた．実験構成図を図 4 に示す．今回の実験では入力フィルタは直流用のコンデンサのみ，出力フィルタは基本波用フィルタの並列共振回路のみの回路を構成し，出力フィルタの共振回路の Q 値を変更したときの Q 値と効率の関係を求めた．その結果を図 5 に示す．その結果 Q 値が低い値で効率が高くなることが分かり，Q 値が 0.01 以下は有効であると分かる．この実験により集中定数回路で高調波マッチング処理を行う際の共振回路の選択の指針を得ることができた．

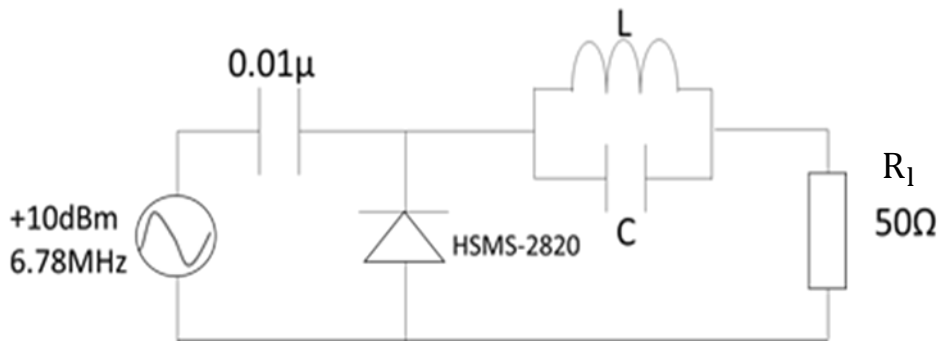


図 4 Q 値を変更したときの効率測定構成図

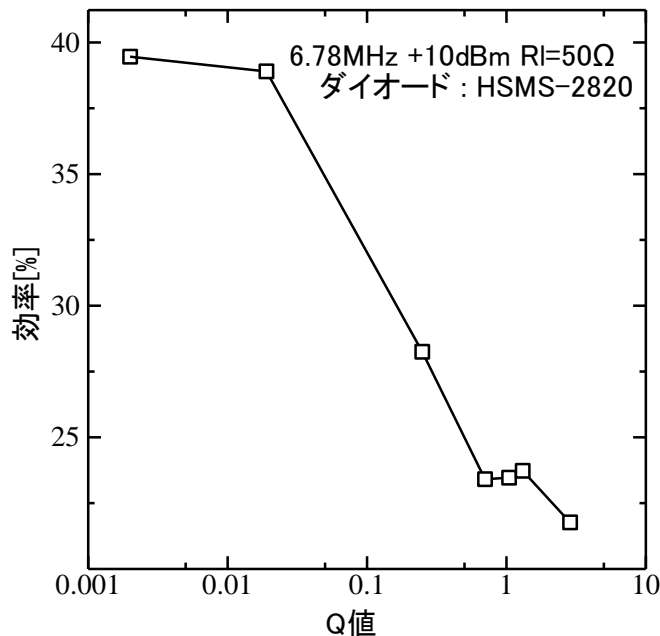


図 5 Q 値と効率の実験結果

3-3 実測とシミュレーション結果

次に整流回路の整流素子に理想ダイオードを用いた効率シミュレーションを行った。シミュレーションはADSを用いたハーモニックバランスを用いた。その結果を図6に示す。図6のグラフは横軸が入出力段数となっており、これは入力および出力フィルタの数を示している。また、入力段数0、出力段数0の場合は入力フィルタに直流用のコンデンサのみを接続し、出力フィルタには共振回路を接続していない回路としており、この条件を高調波マッチング処理が行われていない回路とする。シミュレーションの結果、高調波マッチング処理を行うことにより、効率が42%から91%へと約50%効率の向上を確認することができ、高調波マッチング処理による効率向上を確認することができた。

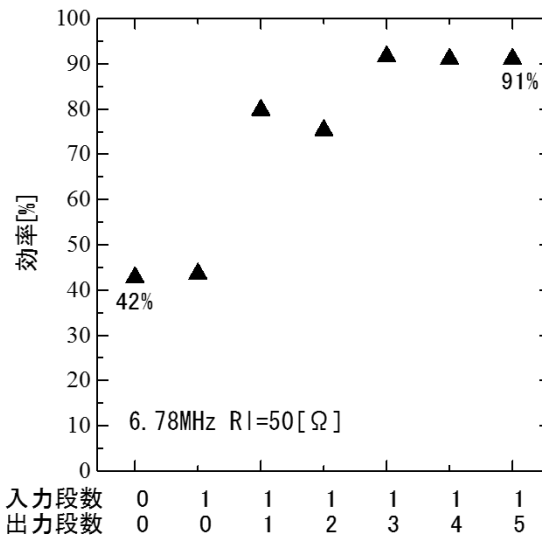


図6 理想ダイオードの効率シミュレーション結果

4. 集中定数回路を用いたレクテナの応用

集中定数回路を用いたレクテナの応用としてレクテナカー（図7）を製作した。レクテナカーは無線電力伝送により電力を供給されモーターが駆動するミニカーである。送信源には携帯型デジタル簡易無線機（図8）を使用することにより、誰でも簡単に無線電力伝送を体験できる。送信源である無線機は周波数350MHz、最大の出力電力は5Wである。



図7 レクテナカー



図8 無線機

5. 結論

集中定数回路で高調波マッチング処理を行う場合、共振回路のLとCの組み合わせは無数に存在するため、L、Cの組み合わせの指針を求めた。その結果、LとCの組み合わせをQ値で表したとき、Q値が低い場合で効率が高くなり、特に0.01以下で有効であると分かった。

理想ダイオードを用いた整流回路において、高調波マッチング処理を行うことによる効率向上をシミュレーションにより確認した。その結果、高調波マッチング処理を行わない場合は42%となり、高調波マッチング処理を行うことにより91%に約50%の効率向上を確認することができ、これらの応用としてレクテナカーを作製した。

参考文献

- [1] Ronald J. Gutmann, and Hose M. Borrego “Power Combining in an Array of Microwave power Rectifiers”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. vol.MTT-27, No.12, pp.958-968,Dec.,1979.