

審査の結果の要旨

氏 名 池内 尚史

本論文は英文で書かれ、「Design of Multitone Waveforms for RF Energy Harvesting Systems (RF エネルギーハーベスティングシステムを実現するマルチトーン波形の設計)」と題し、5章からなる。従来のマイクロ波給電システムでは送信電力の出力制限のため、デバイスの動作範囲が限定的であった。この問題に対し、小さな電力でも高効率に整流可能な素子の改善や回路構成の研究が多く取り組まれてきた。近年では、これらの改善に加え、送信波形を工夫することで整流効率を改善する手法も提案されている。しかし、それら先行研究では、伝送時や回路内で生じる帯域制限や素子の非線形性が考慮されていなかった。そこで、本論文では、これらの制約を考慮した上で、整流効率の改善、高感度化、電力と情報の同時伝送を可能にするマルチトーン波形の設計手法について論じている。

第1章は、「Introduction (序論)」であり、エネルギーハーベスティングの様々な手法の比較、マイクロ波無線給電の課題や過去の関連研究が紹介されている。

第2章は「Multitone Waveform Design for Improving Power Conversion Efficiencies (整流効率改善のためのマルチトーン波形設計)」と題し、サブ GHz帯におけるマイクロ波給電システムの給電効率を改善するマルチトーン波形の設計について論じている。整流回路内におけるダイオードと静電容量によって形成されるローパスフィルタ (LPF) の透過帯域特性に着目し、整流効率がマイクロ波無線給電システム内の4つのパラメータ間の関係性に依存することを明らかにした。これらの依存関係から、整流器の静電容量からマルチトーン波形の周波数差を決定し、整流負荷の値から足し合わせることで、より高い整流効率を実現できる波形を設計できることが示されている。試作した整流回路での測定結果では、連続波を用いた手法に比べて、最大で15%の整流効率向上を実現している。

第3章は「Multitone Waveform Design for Improving Sensitivities (高感度特性を実現するマルチトーン波形設計)」と題し、デバイスに高い電圧を印加することで、低い入力電力でも受信感度を高められるマルチトーン波形の設計に関して論じている。整流回路内でのダイオードと静電容量によって形成されるLPFの透過域に着目することで整流電圧に交流電圧を出力させ、高いピーク出力電圧取り出す方法が示されており、実際に用いられている汎用デバイスで実験をしたところ、従来の連続波形に対し9 dB感度が改善している。

第4章は「Waveform Design for Frequency-Shifted SWIPT Using Multitone Waveform (マルチトーン波形を用いたSWIPTを実現する波形設計)」と題し、電力と情報を同時に伝送する(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer:SWIPT)際に生じる給電効率低下を改善するマルチトーン波形の設計に関して論じている。従来の連続波を用いたSWIPTでは、振幅レベルを変化させることで情報を伝送している。そのため、振幅が下がる領域での伝送波形の給電効率低下が著しい。これに対し、マルチトーン波形を用いることで給電効率を改善する波形が提案されてきた。しかし、従来のマルチトーンSWIPT波形は正弦波の数を変化させる必要があり、デバイス個々に対し、適する正弦波の数を固定できない、もしくは、情報の復調時に高速フーリエ変換 (FFT) を施す必要があり、足し合わせる正弦波の数が大きい場合でのFFTによる計算負荷が与える影響が大きい。これらを解決する手法として、本章では、正弦波間の周波数差を整流後のピーク対平均電力で測定する軽量な手法が新たに提案されている。これによって、デバイスによって最適な正弦波の数におけるマルチトーン波形を送信しながら情報を伝送でき、送信基地局からコマンドの指令を送れる程度の通信が可能になったことが示されている。

第5章は、「Conclusions (結論)」であり、本論文の貢献と、展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、マルチトーン波形の特性を明らかにしつつ、目的に応じた波形の設計指針を明らかにしており、従来の連続波を用いた無線給電及びSWIPTと比べて、整流効率と受信感度を向上し、そしてSWIPT波形における効率低下の改善を実現しており、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士 (情報理工学) の学位請求論文として合格と認められる。