

ウェアラブルシステムのためのPT対称な結合共振器系による無線電力伝送の研究

1250138 福井 哲平 (環境浸透型エレクトロニクス研究室)

(指導教員 野田 聡人 准教授)

1. はじめに

近年、全身にセンサを分布させ、日常活動における詳細なデータを取得するというウェアラブルデバイスについて研究が進められている [1]. 各デバイスに個別バッテリーを内蔵すると充電・交換の手間が大きいため、身体装着型バッテリーから電力を供給する. 身体上にバッテリーを装着する際、上半身装着は姿勢変化や疲労の原因となるため下半身装着が望ましいが、下半身と上半身のデバイスを有線で接続すると快適性が損なわれる. そこで、図1に示すようにトップスと重なる位置にあるベルトやボトムスなどに送受電コイルを配置することでワイヤレスの電力伝送 (WPT) を行い、衣服を通してデバイスに電力を供給する方法を提案する. しかし、服のはためきや姿勢の変化により図1のようにコイルの位置ずれ、距離の変動により動作条件が変化するという問題がある. この問題を解決するために、ロバストな WPT を用いる Parity-Time (PT) 対称性をもつ磁界共鳴方式を用いる [2]. 本研究ではウェアラブルデバイスに対して PT 対称な WPT を実装する際に効果的な回路について研究する.

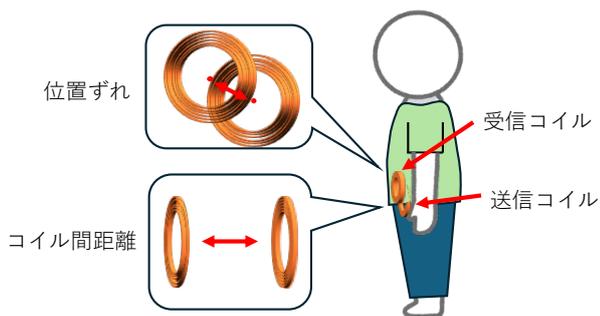


図1: ボトムス、トップスに配置した送受電コイルを用いた衣服上を通じたワイヤレス電力伝送の概念図. 衣服の動きや姿勢変化によりコイルの位置関係が変化する.

2. Parity-Time 対称性を持つ磁界共鳴方式

磁界共鳴方式とは、送受信コイルにコンデンサを接続し、送信側と受信側の共振周波数に合わせた周波数で電力を供給することで磁界の共鳴を起こして電力伝送を行う方式である. しかし、磁界共鳴方式では伝送効率が最大となる結合係数 (臨界結合係数) が決まっており、結合係数が大きくても伝送効率は低下する.

結合係数が大きい場合に伝送効率の低下を防ぐ方法の1つとして回路の動作周波数を制御する方法がある [3]. そこで、最適な周波数を自動で追従するシステムとしてPT対称性を導入する. PT対称なWPTにより周波数が自動で追従されるため、周波数を制御するためにフィードバック制御が必要なくなり回路をコンパクトにできる. ウェアラブルデバイスとして用いるにあたってこれはメリットとなる. PT対称性を持たせるために電力の供給源としてオペアンプによる負性抵抗を実装した. 結合係数によって変化する回路全体の損失に対し、オペアンプが発振を開始して送信回路に供給されるエネルギーがシステム全体の損失とバランスすると定常状態となる. それにより、結合係数が臨界結合係数より大きな領域において一定の伝送効率を維持することができる.

3. Coupled-Mode-Theory モデルによる解析とシミュレーションによる実証

PT対称性を持つ磁界共鳴方式のWPTシステムに対し、Coupled-Mode-Theory モデルを用いた解析を行い、素子パラメータと伝送効率 η ・臨界結合係数 k_c の関係を導出した. 図2に各インダクタンスにおける結合係数 k と伝送効率 η の関係を示す. 理想的には結合係数が臨界結合係数よりも大きな領域で常に伝送効率が一定となるが、実際はコイルの内部抵抗による損失によって伝送効率が低下する. コイルのQ値, LC共振器の共振周波数が一定の状態であっても、インダクタンスを大きくすると、PT対称領域における伝送効率の低下が抑えられ、最大伝送効率は大きくなるしかし、インダクタンスが大きいほど臨界結合係数も大きくなるため伝送距離と伝送効率はトレードオフの関係にある.

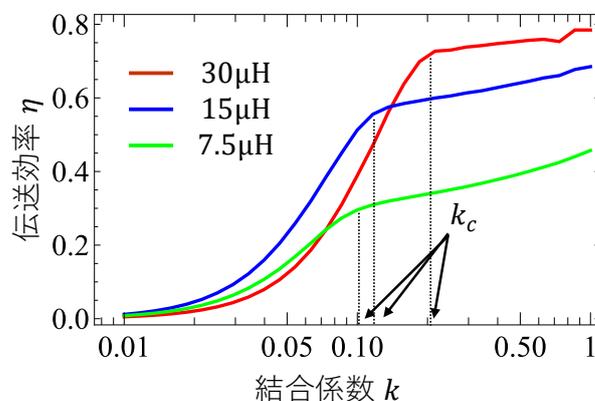


図2: 結合係数 k と伝送効率 η の関係. インダクタンスを大きくすると伝送効率が高くなり、PT対称領域における効率低下が少なくなるが、臨界結合係数 k_c が大きくなる.

4. おわりに

本稿では、ウェアラブルデバイスへの電力供給を目的として、PT対称性を持つ磁界共鳴方式を用いたWPTシステムを採用し、その特性を解析した. 解析の結果、PT対称性の活用により、コイルの位置関係の変化により動作条件が変化する状況でも高い伝送効率を維持できることを確認した. しかし、伝送効率と伝送距離がトレードオフの関係にあるため、実用化に向けては使用するコイルの特性や衣服の構造に応じた適切なパラメータ選定が重要となる. それにより、安定した電力供給の実現が期待できる.

参考文献

- [1] A. Noda, "Wearable nfc reader and sensor tag for health monitoring," IEEE BioCAS 2019, pp. 1-4.
- [2] S. Assaworrorarit, et al., "Robust wireless power transfer using a nonlinear parity-time-symmetric circuit," Nature, vol. 546, no. 7658, pp. 387-390, 2017.
- [3] 藤田, 和田, "磁界共鳴型ワイヤレス給電における周波数分割現象の考察とPLLを用いた極大電力点自動追従回路の検討", 信学論B, vol. J102-B, no. 6, pp. 459-472, 2019.