

ウェアラブルデバイスにおける 電界結合型ワイヤレス電力伝送技術の検討

製品・機能評価課 室 慧悟、奈須野雅明

1. 緒言

近年、様々なウェアラブルデバイスが開発されている。現在のウェアラブルデバイスは小型の内蔵電池により動作するため、頻繁に充電を行う必要があり、使用者の負担となっている。電源管理の負担を低減するため、ワイヤレス電力伝送(WPT)技術の適用が望まれている¹⁾。近距離での WPT 技術としては磁界結合型と電界結合型が挙げられる。磁界結合型はコイルを必要とするのに対し、電界結合型はキャパシタを形成するための平面電極であり²⁾。そのため、電界結合型は送受電部のコスト、重量において磁界結合型に優位性をもち、ウェアラブルデバイスにおける給電技術に適しているといえる。

本研究では生地を使用した電極を作製、伝送実験を行い、衣類型ウェアラブルデバイスへの電界結合型 WPT 技術の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 電極作製

Fig. 1 に示すように綿生地、ホットメルト接着シート、銅メッシュ(線径: 0.37 mm、網目寸法: 2.5 mm)を重ねた上で加熱して一体化させ、受電(Rx)電極とした。送電(Tx)電極はアルミニウム板を使用した。

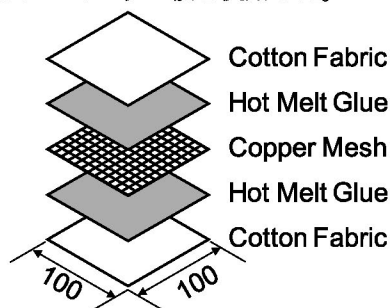


Fig. 1 Schematic diagram of Rx electrode structure

2.2 伝送効率測定

電力伝送に用いる周波数は 450kHz であり、電極は Fig. 2(a) のように配置した。Fig. 2(b) に示すように負荷の有効電力(P_L [W])、負荷、送受電部を含めた回路の複素電力(S_{in} [VA])を用いて、伝送効率(η [%])を Eq. (1) のように定義する。

$$\eta = \frac{P_L}{|S_{in}|} \quad (1)$$

伝送効率を求めるにあたり、Eq. (1) を変形し、Eq. (2) とした。Eq. 2 の各値は負荷のコンダクタンス(G_L [S])、負荷、

送受電部を含めた回路のアドミタンス(Y_{in} [S])、各電圧(V_1 、 V_2 [V])である。

$$\eta = \frac{G_L}{|Y_{in}|} \left(\frac{|V_2|}{|V_1|} \right)^2 \quad (2)$$

Fig. 2(c) に示すように G_L 、 $|Y_{in}|$ 、 $|V_1|$ をインピーダンスアナライザ(Agilent Tech., 4294A)、 $|V_2|$ をオシロスコープ(Agilent Tech., DSO6034A) および差動プローブ(Agilent Tech., N2790A) を用いて取得した。 G_L は差動プローブを含めて測定を行った。

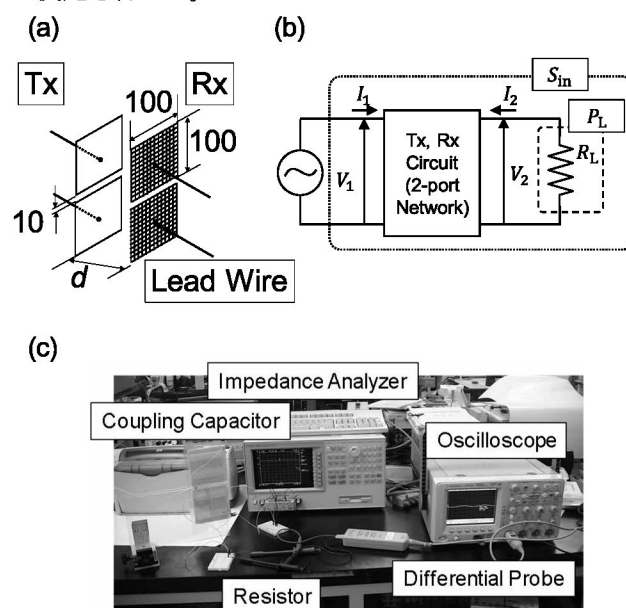


Fig. 2 Experiment for Capacitive WPT (a) Schematic diagram of Coupling Capacitor, (b) Circuit Diagram of WPT, (c) Measurement of efficiency

2.3 補償インダクタ条件の算出

補償トポロジによる電界結合型の WPT の伝送効率の向上が居村らにより報告されている。本研究では補償インダクタを送電部に並列、受電部に直列に接続する PS トポロジを適用する。PS トポロジの補償インダクタの理想条件はインダクタを接続した送受信部における F パラメータの B および C の虚部が 0 を満たすことである³⁾。

補償インダクタ条件の算出には送受電電極により形成される二端子対回路の F パラメータが必要である。ベクトルネットワークアナライザ(VNA)の 2 ポート S パラメータ測定が考えられるが、電界結合型の二端子対回路は VNA からは送受電部の負端子同士が短絡してみえるため、適さない。この問題に対し、栗井らにより VNA の 1 ポー

ト測定により Z パラメータを求める手法が提案された⁴⁾。本研究では粟井らの手法を改良し、Y パラメータを取得する手法を用いる。得られた Y パラメータを F パラメータに変換し、補償インダクタ条件を算出する。

Y パラメータを取得する手法について Fig. 3 に示す。受電側を短絡したときの送電側のアドミタンス(Y_{1S})、受電側を開放したときの送電側のアドミタンス(Y_{10})、送電側を短絡したときの受電側のアドミタンス(Y_{2S})から Eq. (3)-(5)より Y パラメータを求める。

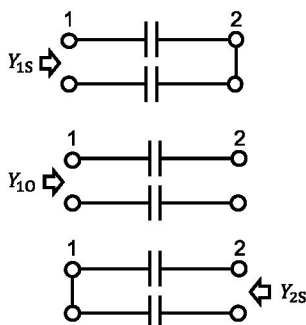


Fig. 3 Evaluation of Y parameter

$$Y_{11} = Y_{1S} \quad (3)$$

$$Y_{22} = Y_{2S} \quad (4)$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -\sqrt{Y_{2S}(Y_{1S} - Y_{10})} \quad (5)$$

3. 実験結果および考察

補償インダクタを接続しない(NN トポロジ)ときにおいて伝送距離(d [mm]) と伝送効率との関係を Fig. 4 に示す。抵抗器は $3 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ のものを用いた。伝送距離の増加に伴い、効率が大きく低下している。

密着時($d=0\text{mm}$)において NN、PS トポロジの負荷と伝送効率の関係について Fig. 5 に示す。PS トポロジにおいては大幅な伝送効率の向上が確認できる。実線、点線は送受電電極と補償インダクタの実測値から各 F パラメータを算出し、理想抵抗器を接続したとして求めた値である。これら計算値は実測値とよく一致している。

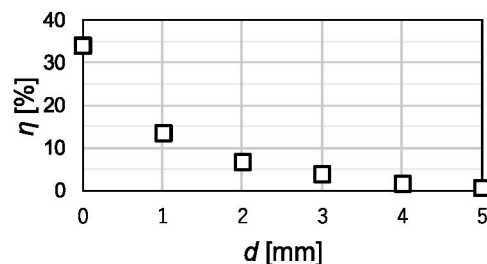


Fig. 4 Efficiency vs. transfer distance (NN topology)

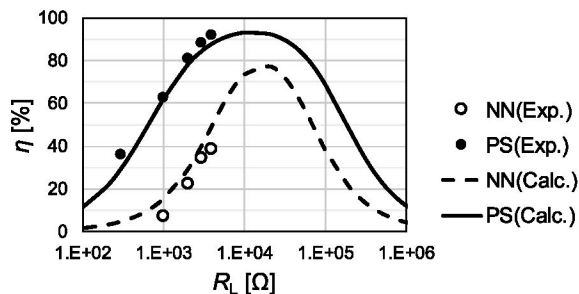


Fig. 5 Efficiency vs. load resistance

4. 結言

生地と銅メッシュから受電電極を作製し、電界結合型ワイヤレス電力送電を行った。伝送効率向上のための補償インダクタの条件の算出手法を新たに提案した。補償インダクタの接続により密着時において伝送効率が 85% 超えることが確認され、ウェアラブルデバイスへの適用が期待される。

参考文献

- 1) 宮村 騎久也, 宮路 祐一, 大村 廉: 研究報告高齢社会デザイン, **9**(2017)no. 13, pp.1-6
- 2) 増田 満, 楠 正弘, 梅上大勝, 服部文哉 ほか: エレクトロニクス実装学会誌, **18**(2015) pp. 327-330
- 3) T. Imura, K. Suzuki, K. Hata and Y. Hori: IEEJ J. Ind. Appl., **10**(2021) pp. 339-347
- 4) 粟井 郁雄, 荒木 純道: 信学技報, **119**(2019)WPT2019-35, pp. 47-52

キーワード: ワイヤレス、電界結合、ウェアラブル

Examination of Capacitive Power Transfer Applying to Wearable Devices

Product and Function Evaluating Section; Keigo MURO and Masaaki NASUNO

Power supply management is a bottleneck for wearable device users. Wireless Power Transfer (WPT) has emerged as a promising technology to this problem lately. We produced receiver electrodes form cotton fabric and copper meshes, and examined Capacitive WPT for wearable devices. The prototype WPT circuit demonstrates power transfer at a frequency of 450 kHz with >85% efficiency.