

水中電界結合型非接触給電の伝送解析

出野 聡史*, 増田 樹, 石飛 学 (奈良工業高等専門学校)

Transmission Analysis of Underwater Capacitive Power Transfer

Satoshi Deno, Itsuki Masuda, Manabu Ishitobi (National Institute of Technology, Nara College)

1. はじめに

海底資源の探索において期待されている無人探査機は、バッテリー交換の度に浮上する必要があるため、運用効率の面で課題を抱えている。そこで、磁界や電界を介した水中給電について検討されているが、空気中と異なって導電性の流体（水、海水）が間に入るため、この対策が未だ不十分な状況にある⁽¹⁾。本研究室では電界型を取り上げ、導電性流体が非接触給電に与える影響をみるため、先に伝送空間の物理的現象に対応した等価回路を提案し、実験を通してその有効性を示した⁽²⁾。本研究では、この等価回路を用いて、導電性流体が非接触給電に与える影響を明らかにする。

2. 水中電界結合型非接触給電部の等価回路

水中における電界結合型非接触給電部の等価回路⁽³⁾を図1に示す。電界結合型において、4枚の電極がクロス結合しないモードの優位性が報告されており⁽³⁾、したがって、本研究でも独立した2つの電極対をもつ給電方式を採用する。ここで、水中の静電容量とコンダクタンスをそれぞれ C_{water} 、 G_{water} 、両電極の錆防止用保護膜における静電容量と誘電損失に対応するコンダクタンスをそれぞれ C_{ins} 、 G_{ins} 、配線のインダクタンスを L_{copper} としている。なお、各値は以下の(1)~(3)式で表される。

$$C_{\text{ins}} = \epsilon_{\text{ins}} \frac{S}{d_{\text{ins}}} (1+A), \quad C_{\text{water}} = \epsilon_{\text{water}} \frac{S}{d_{\text{water}}} (1+B) \quad (1)$$

$$G_{\text{ins}} = \omega C_{\text{ins}} \tan \delta, \quad G_{\text{water}} = \sigma_{\text{water}} \frac{S}{d_{\text{water}}} \quad (2)$$

$$A = \frac{2d_{\text{ins}}}{\sqrt{\pi S}} \ln \left(\frac{e\sqrt{\pi S}}{d_{\text{ins}}} \right), \quad B = \frac{2d_{\text{water}}}{\sqrt{\pi S}} \ln \left(\frac{e\sqrt{\pi S}}{d_{\text{water}}} \right) \quad (3)$$

ここで、電極保護膜と水の誘電率をそれぞれ ϵ_{ins} 、 ϵ_{water} 、電極保護膜と水の厚さをそれぞれ d_{ins} 、 d_{water} 、電極保護膜の誘電正接を $\tan \delta$ 、電極の断面積を S 、水の導電率を σ_{water} としている。また、 A 、 B はエッジ効果を考慮した補正係数である。この等価回路において、 G_{water} の電流が水中のイオンによる伝導電流を、 C_{water} の電流が電界を介した変位電流を表している。また、回路定数が周波数で大きく変化しないことを実験的に確かめている。

3. 等価回路を用いた非接触給電部の解析

水中を流れる伝導電流 I_{con} と変位電流 I_{dis} の周波数に対する分流特性（振幅比）を図2に示す。図2を見ると、低周波領域において I_{con} の割合が増加し、高周波領域において I_{dis} の割合が増加している。これは、周波数によって各コン

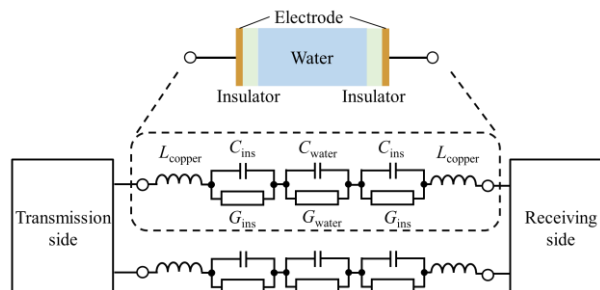


Fig. 1. Equivalent circuit of underwater capacitive power transfer

図1 水中電界結合型非接触給電部の等価回路

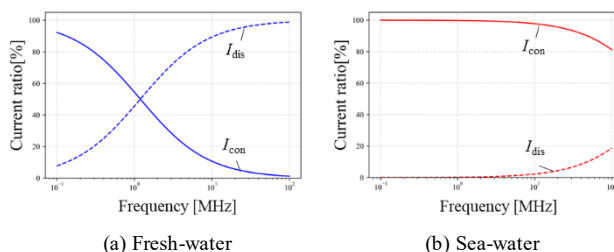


Fig. 2. Frequency characteristics of shunt current ratio

図2 水中給電部の電流特性

ダクタンスが変動しないのに対し、キャパシタ部のサセプタンスが比例的に変化するためである。また、淡水では I_{con} と I_{dis} が周波数で交代するのに対し、導電率が高い (G_{water} が大きい) 海水では、100MHz 以下で I_{con} が支配的となっている。このため、伝送部においては、伝導電流が低下する高周波領域の電力伝送が好ましいと考えられる。

4. むすび

伝送部のみ考慮すると高い動作周波数が好ましいとわかった。ただし、外付けする力率改善用インダクタの損失を考慮すると容易に高周波化できない。取り上げた伝送方式において、このインダクタは全体で1つあればよく、今後、システムの総合的な評価が必要である。

文献

- (1) Masaya Tamura, Kousuke Murai, Marimo Matsumoto: 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, pp.1176-1179, 2020
- (2) 門田修平・増田樹・石飛学: パワーエレクトロニクス学会誌, Vol.48, p.144, 2022
- (3) Masaya Tamura, Kousuke Murai: IEEE T-MTT, Vol.69, No1, pp.1161-1175, 2021