

クレーン用ワイヤーロープ電力伝送システムの伝送効率改善方法

Transmission efficiency improvement method of wire rope power transmission system for crane

立山 純平

杉本 大志

都築 伸二

Junpei Tateyama

Masashi Sugimoto

Shinji Tsuzuki

愛媛大学大学院 理工学研究科

1 まえがき

日本が抱えている社会問題として少子高齢化がある。この問題はクレーン業界にも影響を及ぼしている。クレーンなどに物を掛け外しする作業である玉掛けでは、クレーンの大型化もあり熟練の作業者の不足と外国人労働者の必要性などによる技術不足への対応が迫られている。これらの問題を解決するため、クレーンのフックにセンサやアクチュエータを取り付けるためのシステムを検討している。これにより作業者のためにフック側に安全装置やアシスト機能などを取り付けることができ、フック側の高機能化を図ることで作業者の技術不足に対応することができる。

通信には 154kHz から 403kHz の帯域を使用する PLC (Power Line Communication) モデムの利用を提案している [1]。無線ではなく有線通信を用いる理由は、ノイズの多い工事現場で使用されても通信品質が保証できるからである。特に提案システムの通信路はクレーンのワイヤーであり、切断することはない。

フック側のデバイスに給電するための回路としてもワイヤーを使用することを提案している。電力供給に電池を用いない理由は、フック側の無駄な大型化を避けるためである。第3節で述べるように従来の電力伝送効率 η は最大 37% 程度であった [1]。しかし十分とは言えなかったため、本研究室では電力伝送効率の改善を行ってきた。本稿では η の改善方法に加え、改善に至った経緯についても述べる。

2 電力伝送システムの概要

提案システムの全体図を図1に示す。クレーンのブームの先端側のアンプから、ループとなっているワイヤーロープを伝送路としてフック側へ電力を供給する。回路とワイヤーロープはそれぞれトロイダルコアを介して、電磁誘導により非接触で結合されている。フック側では供給された電力を全波整流と DC/DC コンバータを用いて直流に変換する。 R_p は電源の出力インピーダンス、 T_1 、 T_2 はそれぞれ送電側、受電側のトランスである。また、電力伝送効率の測定のための回路を図2に示す。[1] より、電力と情報の同時伝送時の等価回路は図2となる。この回路にはアンプ及び直流変換用の回路は組み込まれていない。橙線が情報伝送回路である。赤線が電力伝送回路であり、両回路は同一のトロイダルコアを共用して、電磁誘導によりワイヤー

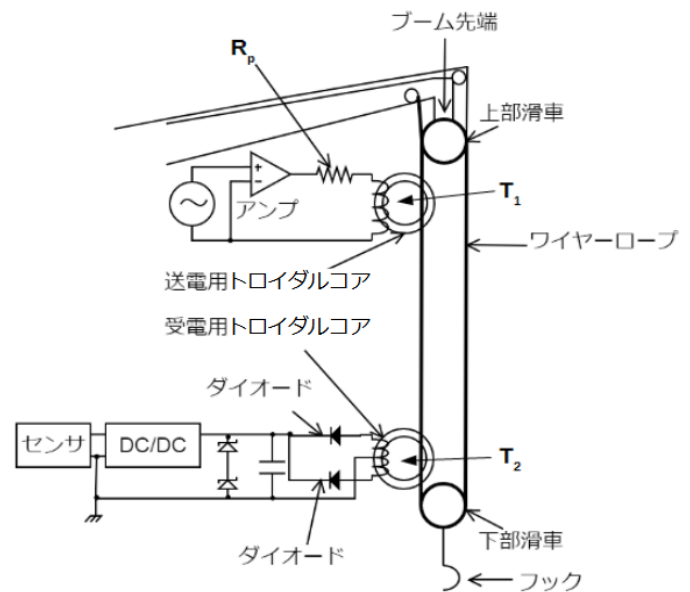


図 1: 電力伝送システム

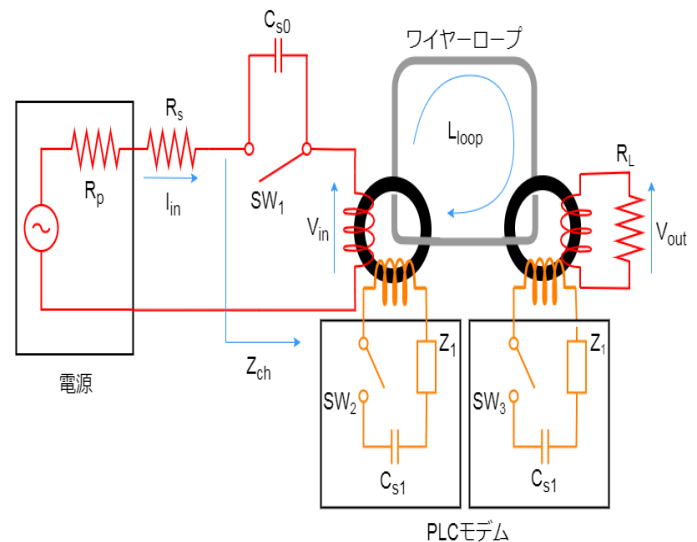


図 2: 電力伝送効率測定回路

ロープと非接触結合する．入力電力を P_{in} と出力電力 P_{out} との比を伝送効率 η とすると，

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}^2/R_L}{V_{in}I_{in}} \quad (1)$$

となる．ただし簡単のため，受電負荷 R_L は電力源出力インピーダンスと等しい $50\ \Omega$ としている． I_{in} はシャント抵抗 R_S を流れる電流であり，トロイダルトランスの巻き線比は，送電側受電側それぞれ，6:1 および 1:6 である [1]．また， Z_1 ， C_{s1} はそれぞれ PLC モデムのインピーダンスとコンデンサである．次節で述べるように，電力伝送用周波数と PLC 帯域は異なるため，スイッチ SW_2 ， SW_3 を ON にすれば，PLC モデムも同時に使用することができる．

3 電力・情報同時伝送時の伝送効率

EMC (Electromagnetic Compatibility) の観点から，電力伝送には 10kHz 未満の搬送波を用いる．よって PLC で使用する周波数帯域とは異なるため，図 2 の SW_2 ， SW_3 を ON にすることで PLC を用いた電力と情報の同時伝送を行える．また， SW_2 ， SW_3 それぞれの ON，OFF を変化させることで，PLC モデムの挿入方法をなし，送電側のみ，受電側のみ，両側の 4 種類に分けることができる．その際の η を図 3 に示す．ただし，使用したワイヤロープは，直径 $\phi = 8\text{mm}$ ，ループ長 $L_{loop} = 29.4\text{ m}$ である．

従来は SW_1 が ON， SW_2 ， SW_3 が OFF のモデムなしであり，電源の周波数が 4kHz 付近で伝送効率は最大 37%程度であった．しかし電力と情報の同時伝送のため SW_2 ， SW_3 を ON にしたところ，電源の周波数 6kHz 付近で伝送効率 η が最大 60%程度に上昇することを発見した．この伝送効率の改善の要因について次節で述べる．

4 電力伝送効率の改善方法

PLC モデムなし (SW_2 ， SW_3 が OFF) の状態での電力伝送効率の改善方法について述べる．今回使用している帯域では通信路インピーダンス Z_{ch} は図 4a のとおり，誘導性である．また，PLC モデムはハイパスフィルタとなっているため，その入力インピーダンスは容量性を示す．そのため通信路にコンデンサが直列に挿入されている状態となり，通信路インピーダンス

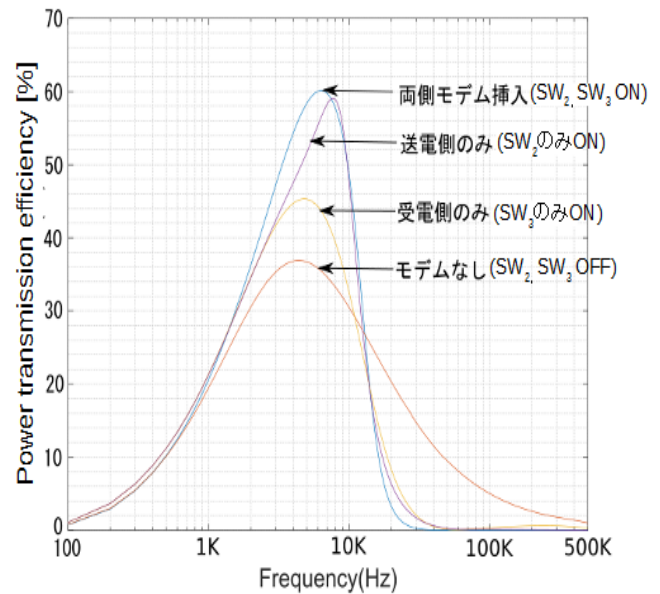
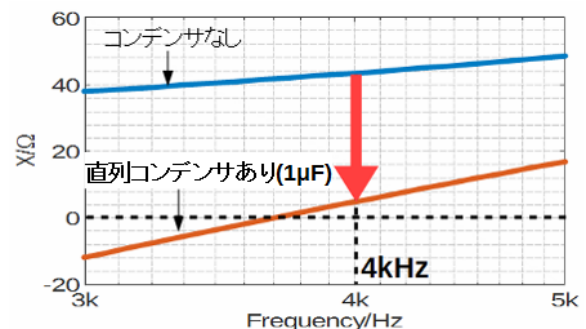
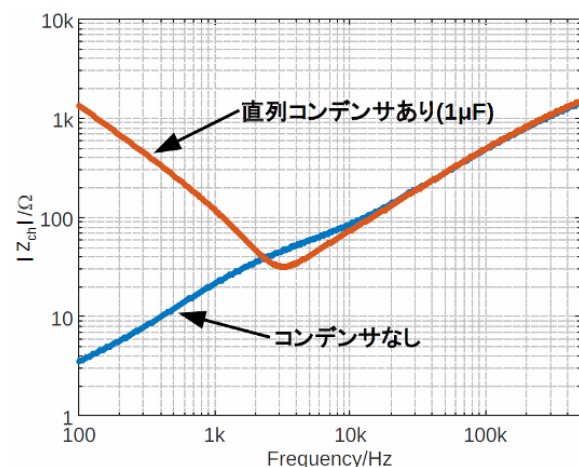


図 3: PLC モデムの有無による伝送効率の変化



(a) Z_{ch} のリアクタンス X



(b) Z_{ch} の絶対値 $|Z_{ch}|$

図 4: PLC モデムなしでの SW_1 が ON，OFF の Z_{ch}

Z_{ch} の虚部が減少し、無効電力が減るので伝送効率を改善することができると考えられる。そのため、PLC モデムの代わりにコンデンサを直接挿入することで、電力伝送効率の改善を図る。これまでと同様に、使用したワイヤーロープは、直径 $\phi = 8\text{mm}$ 、ループ長 $L_{loop} = 29.4\text{ m}$ での結果について述べる。この時 SW_2 , SW_3 は OFF の状態である。従来は SW_1 が ON、つまりコンデンサ C_S が無い状態であり、図 5 のとおり最大効率となる 4.4kHz において $\eta = 37\%$ であった。そこで、 4kHz におけるリアクタンス分 $X = 44\Omega$ に相当するコンデンサ C_{s0} を直列に挿入すれば、インピーダンスが整合し η の最大値を改善できる。伝送効率を最も改善できる C_{s0} の値は、虚部を 0 にしたい周波数 f とその周波数でのリアクタンス X を用いて以下の式で求める。

$$C_{s0} = \frac{1}{2\pi f X} \quad (2)$$

PLC モデムなしで図 2 の C_{s0} を、市販のもののうち上記の式の結果に最も近い $1\mu\text{F}$ として SW_1 を ON にした場合の Z_{ch} の虚部の変化を図 4a に示す。その結果 4kHz での通信路インピーダンスのリアクタンスをほぼ 0 に近づけることができている。また、同じ状態での通信路インピーダンスの絶対値を図 4b に示す。図 4a のようにリアクタンスを減少させたことで通信路全体のインピーダンスは伝送効率がピークとなる 4kHz 付近が共振周波数となっている。そして、図 5 に示すように、 4.0kHz で伝送効率 η は 62% となっている。

この方法での伝送効率の改善が効果的かどうかを確かめるため、 C_{s0} を、市販のもののうち求めた値の前後となるコンデンサに変化させた時の伝送効率と比較する。図 5 に C_{s0} の値を変えた時の η を示す。どの値においても SW_1 すなわちコンデンサを挿入しない場合に比べて伝送効率は改善しているが、 C_{s0} を計算により求めた値に市販のものうち最も近い $1\mu\text{F}$ とした場合が最も高い伝送効率となっている。また、 SW_1 が ON の状態でループ長が変化しても、 SW_1 が OFF の状態より伝送効率が低下することはない。

5 むすび

本稿では、電力伝送効率の改善のために通信路のインピーダンスの虚部を打ち消すコンデンサを挿入することを提案した。その結果、ループ長 29.4m において電力伝送効率は 37% から 62% に上昇した。図 4a 及び 5 では、 SW_2 , SW_3 は OFF の結果であるが、ON にしても適切な容量のコンデンサを挿入することで同様に改善できると考えられる。

今後の課題として、出力インピーダンスが小さくなったり受電負荷が変化しても、提案方法が適用できるかを確認する必要がある。なぜなら本稿で述べた実験ではアンプや DC/DC コンバータ等が含まれていないからである。また、本稿では C_{s0} は実験的に求めているが、今後は通信路のインピーダンスをモデル化し、コンピュータシミュレーションでも求められるようにする予定である。

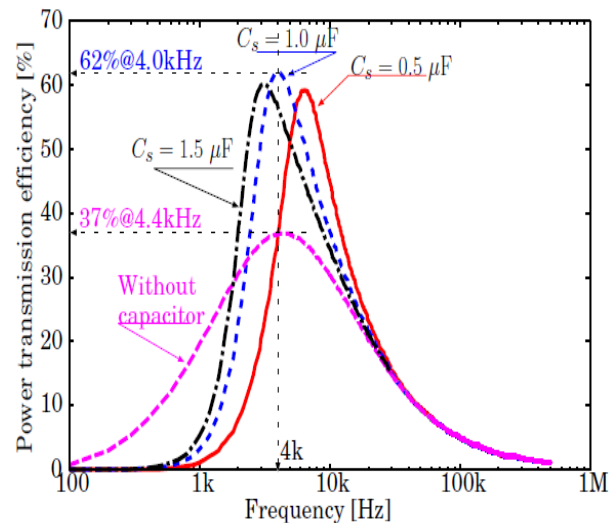


図 5: PLC モデムなしでの C_{s0} を変化した時の η

参考文献

- [1] S.Tsuzuki, "Simultaneous Transmission Method of Power and Information Using Hoist Ropes for Mobile Crane PLC," 2019 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC), pp.24-29, Prague, April 4, 2019.
- [2] 都築伸二, 立山純平, 杉本大志, "クレーン用ワイヤーロープによる電力・情報同時伝送システムの電力伝送効率," 2019 電気関係学会四国支部連合大会, 2019 年 9 月 21 日.