

風車用ログウスキーコイルの 低周波数対応

■ 藤岡 博文

Hirofumi Fujioka

■ 小川 晃一

Koichi Ogawa

■ 山口 達史

Tatsushi Yamaguchi

1 はじめに

東光高岳では、落雷の検知と外部への通知（風力発電設備と連携して運転を停止）、電荷量（エネルギー）の計測（耐雷設計の妥当性を把握）といった、風力発電設備の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する雷電流計測装置を開発し、これまでに全国に納入している⁽¹⁾。

最近の観測では、風力発電設備に被害をもたらす、大きなエネルギーを有し、継続時間の長い日本海沿岸地域の冬季直撃雷電流を正確に検出するためには、より低い周波数帯域からの測定が必要であることが報告されている⁽²⁾。このため、ログウスキーコイルを用いた雷電流計測装置のセンサ I/F（インターフェース）部において、低周波数帯域への対応を行った。本稿では、その設計概要および性能評価について紹介する。

2 計測原理

ログウスキーコイルは、一次電流 $I(t)$ を電圧信号に変換して計測するものである。コイルで誘起される電圧 $e(t)$ は、一次電流の微分波形となり、この誘起電圧を積分することで一次電流に比例した電圧信号 $u(t)$ を出力する。また、低域補償回路と組み合わせることで、低い周波数の電流も計測可能になる（図1）。

すなわち、センサ I/F 部の総合特性が、ログウスキーコイルの微分特性と相対する積分特性となるように、積分回路と低域補償回路の定数を選定して加算することにより、平坦な周波数特性を実現している（図2）。

ここで、周波数特性の下限を、低域カットオフ周波

数（入出力比（ゲイン）が 3 dB 低下した点の周波数）と称する。

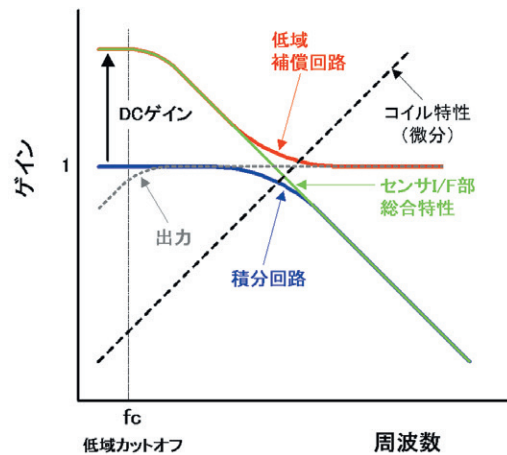


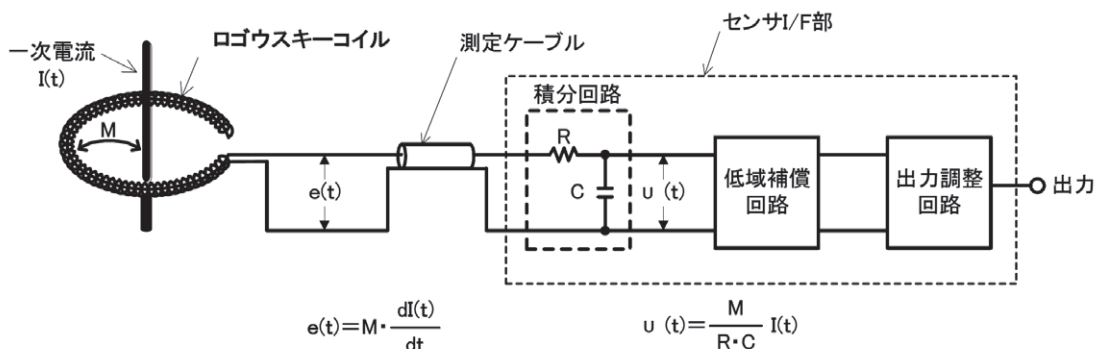
図2 周波数特性の模式図

3 センサ I/F 部の設計

設計においては、低域カットオフ周波数を「0.1 Hz」に設定して、回路定数の検討を実施した。

設計の妥当性を評価するため、電子回路シミュレーションを実施した。その際、ログウスキーコイルは、巻線抵抗と自己インダクタンスおよび測定ケーブルの静電容量による等価回路にて模擬し、その値には実測値を使用した（対象品：コイル長 16 m（風車タワー外径：約 5 m 相当）、測定ケーブル長 15 m）。

図3に、シミュレーション結果の周波数特性を示す。低域カットオフ周波数（-3 dB）が約 0.1 Hz になっていることが確認できる。



$$e(t) = M \cdot \frac{dI(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{M}{R \cdot C} I(t)$$

M: ログウスキーコイルの相互インダクタンス

図1 ログウスキーコイルの計測原理

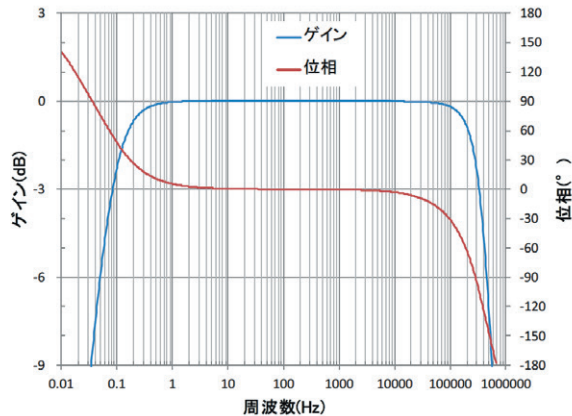


図3 シミュレーション結果

4 センサ I/F 部の性能評価

設計したセンサ I/F 部にロゴウスキーコイルを接続して、低周波数域の電流計測性能評価試験を実施した。ロゴウスキーコイルへの印加電流は、電流値「10 kA 相当（実効値）」、周波数「0.05 Hz～100 Hz」の正弦波（連続波）である。

図4に、周波数特性の測定結果を示す。図3と図4の特性はほぼ一致しており、試験の結果から低域カットオフ周波数（-3dB）が約0.1 Hzであることも含めて、センサ I/F 部の動作が設計通りとなっていることが確認できる。また、周囲温度（-20℃～60℃：雷電流計測装置の動作温度範囲）を変化させても、特性にほとんど変動はなく良好な結果となっている。

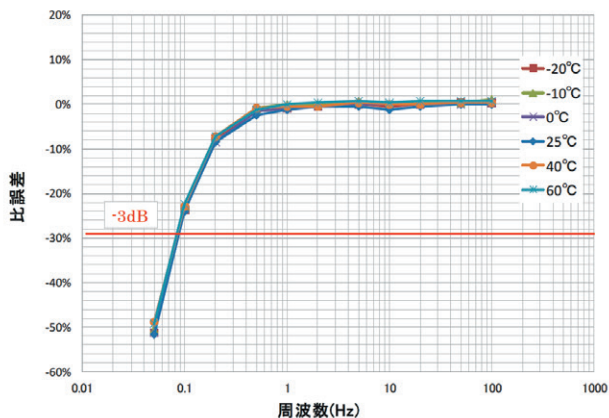


図4 周波数特性測定結果

図5に、例として周波数2 Hzにおける、ロゴウスキーコイルへの印加電流（入力電流）とセンサ I/F 部の出力電流の波形を示す。1波目の立ち上がりには、センサ I/F 部の積分特性に起因して、わずかな位相の進みが見られるが、波形全体としては十分な追従性を有している。

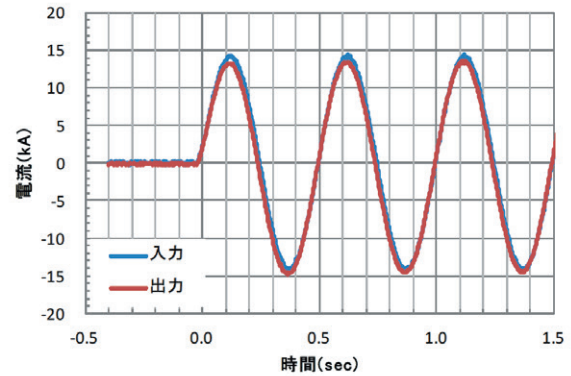


図5 入出力電流波形例（2 Hz）

5 おわりに

本稿では、ロゴウスキーコイルを用いた雷電流計測装置のセンサ I/F 部における低周波数帯域への対応について報告した。

なお、センサ I/F 部を雷波形観測装置に内蔵し、昨冬から日本海沿岸冬季雷地域の風車において、実フィールド観測を実施中であり、今後は、順次、雷電流計測装置に導入していく。

参考文献

- (1) 酒井，細谷，藤岡：「風力発電設備用雷電流計測装置」，東光高岳技報，No.2，pp.38-39（2015）
- (2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：「風力等自然エネルギー技術研究開発／次世代風力発電技術研究開発／自然環境対応技術等（落雷保護対策）平成24年度成果報告書」，（2013）

藤岡 博文

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

小川 晃一

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

山口 達史

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属