

修士学位論文要約（令和4年3月）

電磁波伝搬解析による電力設備の部分放電監視用 TEV センサの 検出信号成分と伝搬経路に関する研究

三浦 拓朗

指導教員：斎藤 浩海， 研究指導教員：八島 政史

Study on Detection Signal Components and Propagation Path of TEV Sensor for Partial Discharge Monitoring of Electric Power Equipment by Electromagnetic Wave Propagation Analysis

Takuro MIURA

Supervisor : Hiroumi SAITOH, Research Advisor : Masafumi YASHIMA

In recent years, the aging of the power distribution facilities in Japan is developing, thus there are expectations for the method of insulation diagnosis of these facilities by using simple sensors for partial discharge (PD) measurement. In this study, the PD signal components detected by the TEV sensor, a kind of simple sensor, were classified based on their generation principle using electromagnetic wave propagation analysis, in order to clarify their propagation paths. As a result, it is discovered that the length of circuit containing PD source has an effect on frequency of current and electromagnetic wave emitted from PD source, and that there is a PD signal component generated by the resonance of grounded facility housing.

1. はじめに

我が国では電力流通設備の経年化に伴う事故リスク増加の懸念から、効率的・定量的な絶縁診断手法の需要が高まっており、その一案として機器に外付け可能な TEV (Transient Earth Voltage) センサ等の簡易センサによる部分放電 (Partial Discharge, PD) の監視がある。TEV センサの検出信号には複数の特徴的な周波数成分が含有されることが報告されており、本研究では、シミュレーションに基づいて TEV センサが実際に検出する信号 (TEV 検出信号) と、TEV センサが検知する各種 PD 信号成分の対応を明らかにし、成分ごとの伝搬経路を明らかにした。

2. 箱型電力設備を想定した電磁波伝搬解析

箱型電力設備を想定した模擬筐体を 3 次元電磁界シミュレーションソフト CST Studio Suites (開発元:Dassault Systems)により図 1 の如くモデル化し、その内部で図 2 に示す時間一周波数特性を持つ疑似 PD パルスを発生させた。ただし図 1 では筐体モデルの側面を透過して内部が見えるよう加工している。筐体は一辺 500mm の立方体型であり、上面に 2 つの開口部 (半径 25mm) と、側面にも半径 2.5mm の開口部を設けた。この筐体に長さ l_{bh} [m] の接地線を与えた場合と筐体が非接地の場合、2 通りの条件にて TEV センサの表面電界 (TEV 検出信号に相当) および接地線を通る電流を計算した。

図 3 に、筐体に $l_{bh} = 1.2$ の接地線を与えた場合

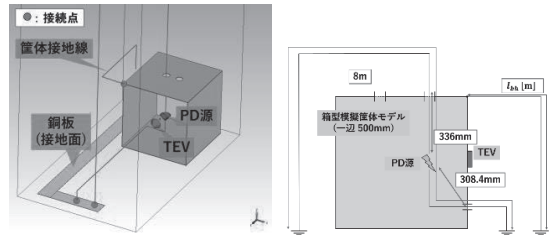


図 1 解析対象 (左:解析モデル, 右:回路構成)

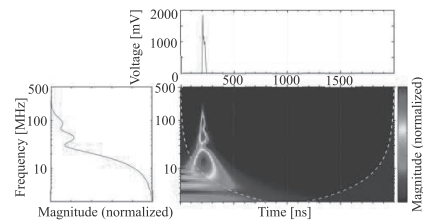


図 2 疑似 PD 信号

の TEV 検出信号の時間一周波数特性を示す。130, 93, 38MHz の周波数成分は筐体が非接地の場合にも共通して出現した。なお、筐体が非接地の場合は上記 3 つの周波数に加えて 18MHz にも特徴が見られ、これらの周波数は電源回路 $l_{total} = 8$ [m] が接地面に対する鏡像を考慮した場合に構成する仮想的なループアンテナの共振周波数理論 (1) 式によって求まる周波数と概ね一致した。ただし、 c は真空中の光速、 m は任意の自然数である。本論文

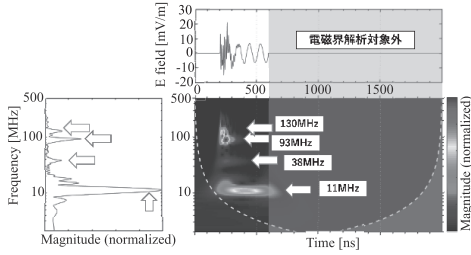


図3 筐体接地時のTEV検出信号 ($l_{bh} = 1.2$)

$$f [\text{Hz}] = m \times \frac{c}{2l_{total}} \quad (1)$$

ではPD源から放射される電磁波にはこの仮想ループアンテナが影響することについても報告しており、共通成分は電磁波を検出したものと考えられる。一方、図3で11MHzに現れた比較的長い時間的持続を持つ成分は筐体接地時にのみ現れたため11MHz成分を接地線起因成分として扱う。

筐体接地線に電流が伝搬の様子を図4に示す。また、図4中に星印で示した点に電流が出現した時刻と、PD発生から電磁波、または電流が星印点に到達するまでの理論時刻の比較を表1に示す。シミュレーション上のPD発生時刻は $t = 4.6 [\text{ns}]$ であり、 $t = 8 [\text{ns}]$ の時点で既に星印点には電流が出現していたことから、筐体接地線を通る電流はPD源から放射された電磁波の到達によって誘起されたことが分かった。このとき接地線に流れた電流についてウェーブレット変換により求めた時間一周波数特性は図5の通りであり、検出開始から11MHz、すなわち接地線起因成分が主体であった。したがって接地線起因成分は電磁波の到達と共に出現したことになるが、一方でPD源から放出される電磁波には11MHz成分は含有されていない。また、表2のように l_{bh} を変化させることにより、接地線起因成分の周波数を変化した。本論文ではこの変化がセンサ取付対象を箱型筐体から平鉄板(いずれも接地と接続)に変えることによっても生じ、接地線長が等しくとも異なる周波数となることについても報告した。

以上から接地線起因成分は接地線を含む筐体系が電源回路とは独立に有する共振周波数に起因し、PD源から放射された電磁波を受けることによって共振することで出現する成分であると推測する

3. PD信号の分類と伝搬経路に関する考察

箱型電力設備に取り付けたTEVセンサが検出する周波数成分は発生原理に基づく、①電源回路の共振によって周波数が決定される成分、②筐体系の共振によって生じる成分に大別可能であると考え。①にはPD源から放出される電流・電磁波および電磁波によって誘起される筐体表面電流が該当し、②は接地線起因成分である。電磁波はPD源から放射

表1 PD信号が筐体接地線に到達する時刻

	電磁波経路	電流経路
PD源~開口部距離	336.0mm	336.0mm
開口部~星印点距離	575.5mm	1255.2mm
総経路長	911.5mm	1591.2mm
PD信号到達時刻	$t = 7.6 [\text{ns}]$	$t = 9.9 [\text{ns}]$

表2 接地線長と接地線起因成分の関係

$l_{bh} [\text{m}]$	0.6	0.9	1.2	1.5
接地線起因成分 [MHz]	17	14	11	10

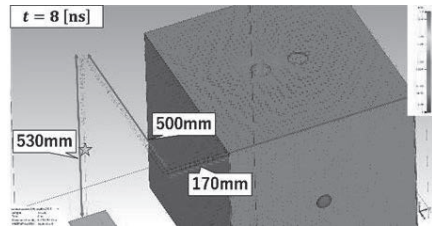


図4 電流の伝搬様相

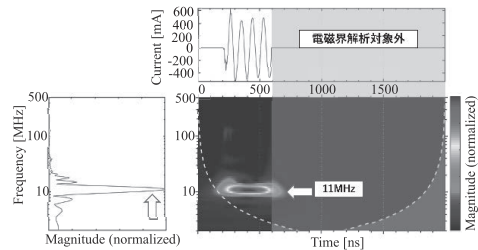


図5 筐体接地線に流れる電流 ($l_{bh} = 1.2$)

されたのち最短経路で各開口部から漏洩し、開口部を中心に広がる。電磁波が筐体表面に沿って伝搬するに伴い同一の周波数成分を持つ面電流が誘起され、かつ②の成分も共振されるため、これら3種のPD信号の伝搬経路は等価と考えられる。PD電流のみ電源回路を流れ接地へ至り、その後接地面を介して過渡的に筐体へと流入する可能性がある。

4. まとめ

TEV検出信号が含有するPD信号成分を発生原理に基づいて分類し、その伝搬経路を解明した。以上の結果はTEVセンサの監視対象設備で発生するPD信号の特性予測に応用可能であり、PD検出精度の向上やPD源の位置推定への応用などが期待できる。今後はTEV検出信号中の各種成分についてより正確な定式化を行うと共に、具体的なTEVセンサの適用手法について検討を進める必要がある。

文献

- 吉積 ほか:「過渡接地電圧法の低周波成分伝搬メカニズムの考察」, 電学論 A, Vol.139, No.3, pp.154-160 (2019)