

博士学位論文審査要旨

2010年7月20日

論文題目： Development of the PEEC Method and Its Application to a Lightning Surge Study (PEEC 法の開発とその雷サージ研究への応用)

学位申請者： Peerawat YUTTHAGOWITH

審査委員：

主査： 同志社大学大学院工学研究科 教授 雨谷 昭弘

副査： 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 長岡 直人

副査： 三菱電機株式会社 主任技師 天満 耕司

要 旨：

本論文では、電気回路論的手法に代わる新しい解析手法として注目されてきている数値電磁界解析手法の一つである Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) 法に注目し、この PEEC 法を雷サージ解析手法に応用できるよう修正・改良を加えた新しい PEEC 法を開発し、更に、従来の手法では厳密に解析できなかった雷サージに関わる測定法の問題および各種現象について検討している。

本論文は6章から成り、第1章では本論文で行った研究の概要を述べている。

第2章では数値電磁界解析手法の基本原理と各種計算法について説明している。

第3章では、まず従来の電子回路分野での PEEC 法について説明し、次に本論文の主題となる雷サージ研究に応用するために必要な各種の修正、改良について述べ、結果として新しい PEEC 法を開発している。

第4章では雷サージを含めナノ秒(ns)からマイクロ秒(μ s)領域での過渡現象測定法に関して実測と PEEC 法シミュレーション結果の比較から、被測定導体、測定系の過渡誘導特性を明らかにすると共に、最適な測定系配置および電圧測定プローブの影響を示している。

第5章では、鉄塔雷サージ応答、接地系過渡応答、雷電流電磁界および誘導雷サージについて検討し、実測、各種数値電磁界解析手法によるシミュレーション結果との比較から、PEEC 法が十分な計算精度を有していることを確認すると共に、これまで知られてなかった新しい知見を得ている。

第6章では本論文の研究成果のまとめを行っている。

以上、本論文では電子回路分野で利用されていた PEEC 法を修正改良し、雷サージ解析に応用できる手法を開発している。この手法は対象とする現象の物理性を用意に把握でき、かつ近似を用いると従来の電気回路論に基づく解析手法に対応する回路モデルを作成できる利点を有する。

この修正 PEEC 法を用いて ns- μ s オーダー過渡現象の実験測定系について解析を行ない、被測定導体、電流印加線および基準電位線間の過渡誘導特性を明らかにすることで測定系導体の最適配置を提案している。更に、電圧測定用プローブの内部静電容量の測定結果への影響を明らかにしている。

次に、送電鉄塔での雷サージ応答について検討し、電磁波遅延の影響を明らかにし、遅延を無視しても雷サージ応答には大きな差異が生じないことを示している。

また、接地系過渡特性のシミュレーションを行ない、過渡応答解析に際してはスカラーポテンシャルを用いるのが妥当であることを示している

更に、雷電流により生ずる電磁界について検討し、測定点迄の距離が 100m を超える場合、Cooray-Rubinstein の近似を用いても十分な解析精度が得られることを明らかにしている。

最後に、誘導雷サージ現象について検討し、垂直構造体での修正 PEEC 法による解析結果はこの分野で広く利用されている FDTD 法と同程度の精度であることを示すと共に、その雷サージ特性を明らかにしている。

本論文で開発された修正 PEEC 法は、これまでの雷サージ解析手法にない特徴を有しており、今後の雷サージ研究への大きな寄与が期待され、その学術的価値は大である。また、雷サージに関わる各種の研究成果は工学的に極めて有用である。

よって、本論文は博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2010年7月20日

論文題目: Development of the PEEC Method and Its Application to a Lightning Surge study (PEEC法の開発とその雷サージ研究への応用)

学位申請者: Peerawut YUTTHAGOWITH

審査委員:

主査: 同志社大学大学院工学研究科 教授 雨谷 昭弘

副査: 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 長岡 直人

副査: 三菱電機株式会社 主任技師 天満 耕司

要 旨:

本論文の提出者は、Chulalongkorn University 大学院工学研究科電気工学専攻修士課程を2001年10月に修了し、2008年4月本大学院博士課程後期に入学、現在、在学中である。

本論文の主たる内容はIEEE Trans. EMC誌に1件、電気学会英文論文誌に2件掲載され、また、CIGRE 2009 Colloquium, International Conference on Electrical Engineering (ICEE)等において発表され、すでに十分な評価を受けている。

本年7月10日午後1時より2時間にわたり、提出論文に関する学術講演会が開かれ、種々の質疑討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。

さらに講演会終了後、審査員により、論文に関係した諸問題につき口頭試験を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。なお、英語に関してはChulalongkorn University 在学中に合格しており、更に多数の国際学会で英語による講演を行っている。また、ドイツ語に関しては大学院在学中に単位を認定されており、十分な語学力を有しているものと認められる。以上により、本論文提出者の専門分野に関する学力ならびに語学力は十分であると認める。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： Development of the PEEC Method and Its Application to a Lightning Surge Study (PEEC 法の開発とその雷サージ研究への応用)

氏名： Peerawut YUTTHAGOWITH

要旨：

雷サージ研究は電力の安定供給に不可欠であり、1900年代初期から多数の研究成果が発表されている。近年、測定機器および通信技術の進歩により山間部や海岸部での雷撃様相および雷サージ特性の実測データが得られるようになった。その中で、従来のいわゆる電気回路論的方法では説明し得ない現象が見出され、その解析が重要な研究課題となりつつある。

本論文では、電気回路論的手法に代わる新しい解析手法として注目されてきている数値電磁界解析手法の一つである Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) 法に注目し、この PEEC 法を雷サージ解析手法に応用できるよう修正・改良を加えた新しい PEEC 法を開発し、更に、従来の手法では厳密に解析できなかった雷サージに関わる測定法の問題および各種現象について検討している。

本論文は6章から成り、第1章では、本論文で行った研究の概要を述べている。

第2章では、数値電磁界解析手法の基本原理と各種計算手法について説明している。数値電磁界解析手法は電気現象を説明する基本式である Maxwell の方程式を空間差分および時間もしくは周波数差分を用いて差分方程式に変形することで数値計算により、解を直接求めようとするもので、回路論的手法における各種仮定や前提条件（例えば回路論的手法では電磁波の TEM 伝搬を前提としている。）を必要としない特徴がある。代わりに多量の計算機資源を必要とする欠点がある。

第3章では、まず従来の PEEC 法について説明している。これまで、PEEC 法は電子回路パッケージの特性解析用に開発され、用いられてきた。しかし、電力分野ではほとんど注目されず、ビル構造物への応用例のみであった。本論文では雷サージ解析の基本となる細線導体模擬法を開発し、従来の PEEC 法の計算効率を向上させ、雷サージ解析を可能としている。また、数値ラプラス逆変換を用いることで周波数領域での PEEC 法を確立している。第2章で説明した FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法や MoM (Method of Moment) 法に比べ PEEC 法は対象とする現象の物理性の把握が容易かつ回路論手法に対応する回路モデルを簡単に作成できる利点がある。

第4章では、雷サージを含めナノ秒 (ns) からマイクロ秒 (μ s) 領域での過渡現象測定について検討している。このような実験では誘導の影響 (ノイズ) を排除するため被測定導体、電流印加線および基準電位線を互いに直交するように配置している。それでも過渡誘導を完全に排除することはできないので、PEEC 法によるシミュレーション結果から、各導体での誘導特性を明らかにすることで、測定結果の妥当性を検証する方法について述べている。また、波形観測用オシロスコープに必要な電圧プローブの測定結果への影響についても検討している。これらの結果により最適な測定系導体配置を提案している。

第5章では、(1) 鉄塔の雷サージ応答、(2) 接地系の過渡応答特性、(3) 雷電流により発生する電磁界、(4) 誘導雷サージについて PEEC 法によるシミュレーションの結果と測定結果および FDTD 法によるシミュレーション結果の比較を行い、PEEC 法の計算精度が良好であることを示している。更にこれらの結果から、(1) 鉄塔雷サージ応答の解析に際して電磁波の遅延を無視してもシミュレーション結果には大きな差異が生じない、(2) 接地系過渡応答の解析ではスカ

ラーポテンシャルを用いるのが適当である。(3) 雷電流による電磁界解析において、測定点までの距離が 100 m 以上であれば, Cooray-Rubinstein の近似式は十分な精度を有している, 等の結論を得ている。

最後に, 第 6 章で本論文の研究成果のまとめを行っている。