

氏名(本籍)	え ばら やす お 江 原 康 生 (兵 庫 県)
学位の種類	博 士 (情報科学)
学位記番号	情博第 144 号
学位授与年月日	平成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科(博士課程) システム情報科学専攻
学位論文題目	アーク放電による電磁ノイズ発生に関する計測と制御の研究
論文審査委員	(主 査) 東北大学教授 根元 義章 東北大学教授 鈴木 陽一 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学助教授 曾根 秀昭 (工学研究科) 東北大学助教授 加藤 寧

論文内容要旨

第 1 章 序論

現代社会の情報・通信分野における技術の進展により、将来的に、一般家庭内における情報ネットワークシステムの更なる拡大が予測される。それに伴い、多数の情報・通信機器と電気機器が使用される家庭内における電磁環境の劣化も見込まれる。情報・通信機器の信頼性を確保するためには、電磁ノイズの抑制および、機器のノイズイミュニティ技術の確立が重要な課題とされる。本論文では、家庭内の情報 LAN への妨害が問題であると考えられる開閉電気接点のアーク放電による電磁ノイズを対象にして、電磁ノイズ発生の制御技術の提案及び検証を本研究の目的とした。またその中でアーク放電による電極表面変化に注目して、電磁ノイズ発生の制御を検討するという新しい視点からノイズの発生メカニズムに迫り、実際にノイズ発生の制御に取り組む点で意義深く、それは本研究が初めての試みであることを述べた。

第 2 章 情報ネットワークシステムの EMC とアーク放電による電磁ノイズ

情報ネットワークシステムの EMC (Electromagnetic Compatibility, 環境電磁工学あるいは電磁両立性) について、家庭内の電源線を用いた LAN 環境におけるアーク放電による電磁ノイズの及ぼす影響を指摘した。次にアーク放電による電磁ノイズの従来の研究について概観し、従来は実際に電磁ノイズ発生の制御に着目した研究がほとんど行われていないことを示した。電磁ノイズに影響するパラメータを明確化するために、アーク放電現象の分析において重要項目である電気接点の電極表面変化に注目した。そこでアーク放電による電極表面変化に関する従来の研究について概観し、電磁ノイズと関連づけた研究例がないことも示した。以上の点から、本研究の目的となるアーク放電による電磁ノイズ発生の制御における課題として、電磁ノイズ発生に影響するパラメータを明確化するために、他のパラメータを含めた現象の総合的な検討が重要であると判断し、電磁ノイズと電極表面変化の関連性を明らかにすることを本研究の基本方針として決定した。

第 3 章 異種材料電気接点のアーク放電による電磁ノイズ発生パターン

異種材料電気接点のアーク放電による電磁ノイズの計測を行い、それぞれのノイズの発生パターンを把握し、ノイズと電極表面変化の関係について検討を行うために最適な分析手法の提案を行った。電気接点の試料として、一般的な電気接点材料である Ag と Pd, また整流子モータの整流子及びブラシの材料であ

る Cu と C を扱った。また電極材料の電流極性による電磁ノイズ発生に与える影響を調べるために、同一実験条件の下、電極材料の電流極性を変化させて計測を行った。その結果、Ag-Pd 電極の場合は両電流極性において、アーク放電が生じている期間にバーストノイズが継続して発生する。一方、Cu-C 電極の場合、Cu(陽極)-C(陰極)ではバーストノイズが散発的に複数回発生する。また C(陽極)-Cu(陰極)では、アーク放電が生じている期間にバーストノイズが継続して発生する。これより、Cu-C 電極では、電極材料の電流極性によりノイズの発生形態が異なることが明らかになった。その結果より、それぞれの電極の組合せにおける電磁ノイズの発生パターンを散発的及び継続的バーストノイズの二種類に分類できることを示した。

次に、ノイズと電極表面変化との関係に関する検討を行う上で、それぞれのノイズ発生パターンにおいて最適な分析手法について検討を行った。散発的バーストノイズについては、一回の電極開離時に二つの発生形態の異なるアーク放電が混在していることがわかった。そこで、この二つのアーク放電に着目し、これらと電極表面変化の関連性について分析を行う手法を提案した。一方、継続的バーストノイズについては、波形の詳細を見ると、部分的にノイズが大きくなる区間や減少する区間が見られる。またアーク電圧波形においても、電圧変動が大きい区間や小さい区間が観測されたり、また不連続に電圧上昇する区間も見られる。これより、ノイズ波形及びアーク電圧の波形の特徴による区間分割の方法を提案し、各区間と電極表面変化の発生パターンの関連性について分析する方法を提案した。次章以降にそれぞれの場合について、分析を行った。

第4章 アーク放電の発生形態に対する電磁ノイズと電極表面変化の関係

散発的バーストノイズが発生する Cu(陽極)-C(陰極)の場合において生じる二つの発生形態の異なるアーク放電に注目して、電極表面変化との関連性について分析を行った。散発的バーストノイズが発生する場合、電極表面において円形状の放電痕(以下、領域 A と呼ぶ)と表面が溶融したらしき部分(以下、領域 B と呼ぶ)の二種類の領域に分類できることを示した。そこでまず、(1) 散発的バーストノイズの発生回数と領域 A の発生個数の関連性、(2) アーク放電開始時に生じるバーストノイズの発生パターンに注目し、それぞれについて検討を行った。散発的バーストノイズの発生回数と領域 A の発生個数の関連性については、同一条件での計測を多数回行い、結果を基に統計的検討を行った。これより、バーストノイズの発生回数と等しい数の領域 A が C(陰極)表面に生じることが明らかになった。次に、複数回発生している散発的なバーストノイズの中で、アーク放電開始時に生じるバーストノイズが最も期間が長く、且つノイズレベルが大きいことに注目して、ノイズの継続時間及び波形の形態によって発生パターンの分類を行った。バーストノイズは三つの発生パターンに分類され、各パターンと電極表面変化との関連性について調べた。その結果より、領域 B の発生とバーストノイズとの間、及び揺らぎの小さいアークと領域 A の面積との間に関連性があることを見出し、統計的に有意な相関関係があることを示した。

本章で得られた知見を基に、散発的バーストノイズ発生の制御を行う観点から考察を行った。バーストノイズが発生している期間においては、電極表面に領域 B の形成が維持され、表面全体に分布する。本研究ではこの知見に注目し、領域 B の発生を抑制することによって、バーストノイズ発生の制御の可能性があると判断し、電極の接触面積を変化させてノイズを制御する手法を提案した。この手法におけるノイズ発生の制御効果について、第6章で検証実験を行うことにした。

第5章 アーク放電と電磁ノイズにおける特徴の関連性

継続的バーストノイズが発生する C(陽極)-Cu(陰極)の場合及び Ag-Pd 電極の場合について、ノイズ及びアーク電圧波形の特徴による区間分割と電極表面変化の発生パターンの分類を提案した。それを基に、各区間と各発生パターンの関連性について検討を行った。

まず C(陽極)-Cu(陰極)の場合、アーク電圧の変動およびノイズレベルの特徴によって、波形を四つの区間に分割することができた。一方、電極表面に円形状の放電痕の集合(以下、領域 α と呼ぶ)と表面が溶融したと見られる部分(以下、領域 β と呼ぶ)の二種類の変化パターンが発生する。それぞれが電極表面に生じる領域面積を算出して分析を行った結果、ノイズの小さい区間 L_2 においては領域 β が発生し、ノイズが大きい区間 H_1, H_2 において、領域 α が表面に広く分布することが明らかになった。

次に Ag-Pd 電極について、電磁ノイズと電極表面変化の関係について検討を行った。アーク電圧及びノイズ波形が三区間に分類され、中央の区間 (アークの金属相からガス相の移行期間) においてノイズが大きくなる。電極表面変化パターンについて、顕微鏡写真における表面の変色領域及びラフネス (凹凸) による分類方法を提案した。電極表面の変色は表面に生じる物質の差異を示し、またラフネスは表面の微細構造を表すので、これらを指標として分類し、各領域の発生と波形の各区間との関連性について分析を行った。ノイズが大きい区間 II において、陽極表面には、オレンジ色 (領域 a) 及び青色 (領域 b) の変色部分が生じる。ノイズが下降する区間 III では、領域 a 及び b の拡大によって、陽極表面に黒色の混合領域が分布する。また Pd(陽極)-Ag(陰極) の場合では、Ag(陰極) 表面に黒色の混合領域が分布することが明らかになった。

以上の結果より、C(陽極)-Cu(陰極) の場合及び Ag-Pd 電極の場合について、ノイズの大小の各区間と電極表面変化の発生パターンとの間に相関関係があることが明らかになった。最後に、得られた知見を基に、継続的バーストノイズ発生制御の観点から考察を行った。ノイズ発生制御のためには、電極表面変化の抑制も手法として考えられるが、ノイズの大きい区間の制御にしか有効でない。そのため一回の電極開離時におけるアーク放電全体の期間で考えると、ノイズ抑制に効果的でない可能性がある。本研究では、バーストノイズ全体の継続時間を制御する方を優先させるのが効果的と判断し、アーク継続時間の制御によるノイズ発生を制御できる可能性があることを提案し、この検証を第 6 章で行うことにした。

第 6 章 アーク放電による電磁ノイズ発生制御

第 4, 5 章で得られた電磁ノイズと電極表面変化の相関に関する知見を基にして、本研究の目的であるアーク放電による電磁ノイズ発生制御について、それぞれのノイズ発生パターン毎に検証を行った。

まず、散発的バーストノイズについて検討を行った。散発的バーストノイズが発生している期間においては、電極表面に表面が溶融したと見られる部分 (領域 B) の形成が維持され、表面全体に分布する。この知見に注目し、領域 B の発生を抑制することによって、バーストノイズ発生制御の可能性があると判断し、電極の接触面積を変化させる方法を提案した。接触面積を変化させるために、Cu 電極径を変化させてそれぞれの電極の場合におけるバーストノイズ及び電極表面変化について観測を行った。その結果、接触面積が小さくなるに従ってアーク開始時のバーストノイズの継続時間が短くなり、電極表面においても領域 B の発生が抑制されていることが統計的に確認された。以上の結果から、形状を考慮した電極設計が、散発的なバーストノイズ発生制御に有効であることが実証された。

継続的バーストノイズの場合については、バーストノイズ全体の継続時間を制御することが重要であると判断して検討を行った。バーストノイズ継続時間はアーク継続時間と等しいことから、アーク継続時間の制御として、熱的条件によるノイズ制御手法を提案した。Ag-Pd 電極の場合及び C(陽極)-Cu(陰極) の場合について、電極径により熱的条件を変化させた結果、Ag, Cu 電極径を太くすることによって、バーストノイズ全体及びノイズが大きい区間の継続時間が短くなることを統計的に確認された。以上の結果より、継続的バーストノイズに関しては、熱的条件を考慮した電極設計によってノイズ発生制御が可能であるという基礎技術が得られた。

第 7 章 結論

本論文では、情報・ネットワークシステムの信頼性を確保するために、電気機器に含まれる開閉電気接点のアーク放電による電磁ノイズ発生制御技術の提案及び実証に向けての研究を行った。その中で電磁ノイズ発生制御に関する検討に、アーク放電による電極表面変化を取り入れた。これは従来にはない新しい視点である。その結果、電磁ノイズ発生と電極表面変化パターンとの間に相関関係があることを明らかにし、またその知見を応用して、電磁ノイズ発生制御の基礎技術を与えることができ、本研究は有意義な成果を得ることができた。

論文審査の結果の要旨

情報ネットワークシステムの信頼性を確保するために、電気機器からの電磁ノイズの発生を抑制することが重要な課題となっている。著者は電磁ノイズ発生の制御を目的とし、電気機器内の電気接点から生じるノイズの特徴パターンと電極表面変化の関連性を測定・分析する研究を進め、ノイズ発生を制御する方法を与えた。本論文はこの研究成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論で、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、電気接点のアーカ放電による電磁ノイズの発生を制御する課題について考察し、電極表面変化との関連性を含めた総合的な検討の必要性を述べている。

第3章では、ノイズの発生を詳細に観察した結果から、電極材料の条件によって散発的および継続的バーストノイズの二つに分類できることを示した。また、本研究を通して用いる、ノイズと電極表面変化の同時測定による分析方法を提案している。

第4章では、散発的バーストノイズが発生する場合について分析を行い、ノイズが発生している間に電極表面に溶融痕が形成されるという新しい知見を得るとともに、溶融痕の形成を抑制できればノイズの発生を制御できる可能性があることを初めて明らかにした。これは有用な知見である。

第5章では、電磁ノイズが継続的に発生する場合について、電磁ノイズが大きい区間の時間が、C-Cu電極では陰極表面の放電痕の面積と、Ag-Pd電極では陽極表面の変色部分の面積とそれぞれ相関をもつことを初めて明らかにした。また、ノイズ発生を抑制するためには、アーカ継続時間を低減すべきであることを述べている。

第6章では、第4章および第5章で提案したノイズ制御方法について実験を行っている。散発的バーストノイズの場合は電極の接触面積を小さくすることにより、また、継続的バーストノイズの場合は電極を太くすることにより、ノイズの継続時間が短くなることが確認された。これらの結果は、形状を考慮した電極設計がノイズ発生の抑制に有効であるという、著者の提案を実証したものであり、重要な成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、情報ネットワークシステムの電磁環境におけるノイズの抑制を目的として、アーカ放電の発生パターンと電極表面変化を測定分析し、アーカ放電とノイズ発生との関連性を明らかにすることにより、ノイズ発生の抑制手法を提案し、その有効性を実証したもので、システム情報科学および環境電磁工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。