

氏 名	うちむらけいいち 内村圭一
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和62年2月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和52年2月 熊本大学大学院工学研究科電子工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	電気接点の放電に伴う電磁雑音に関する実験的研究
論文審査委員	東北大学教授 高木 相 東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 佐藤 徳芳 東北大学助教授 越後 宏

論 文 内 容 要 旨

第1章 緒 論

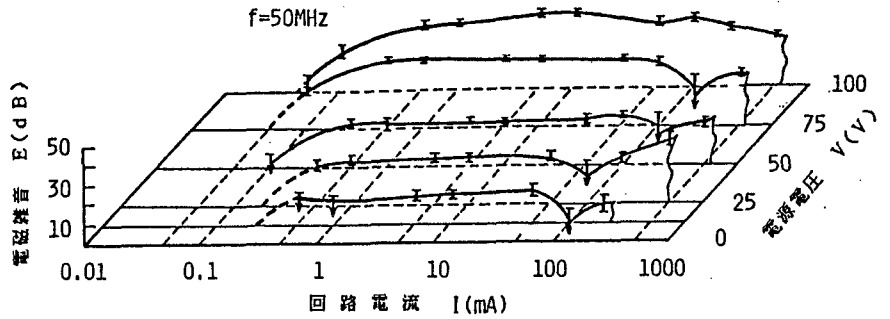
電気・電子機器の種類・数量の増加および電気エネルギー消費量の増加に伴い、これらの機器から発生する不要電磁エネルギーも増加の傾向にあり、この不要電磁エネルギーの人間生活に及ぼす影響が重大な問題となっている。この種の問題を扱う学問は環境電磁工学と呼ばれる。発生原理の立場で検討すると不要電磁エネルギー源の主要因には放電が関与するものが比較的多い。

ところで、電磁継電器は電気・電子機器の進歩発達に伴い電力、自動制御はもちろんのこと情報伝達用としても広い範囲に使用されてきている。特に、電子デバイスの高密度実装に対応して電磁継電器は小型化、低電力化が図られ、電子デバイスと電磁継電器が同一環境内で用いられることが多くなってきた。このために、電気接点の放電に伴う雑音が電子デバイスに妨害を与える機会が多くなってきた。

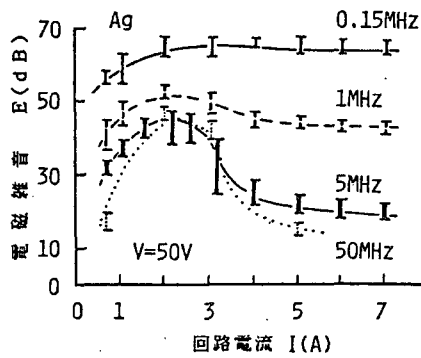
本論文は電気接点の開閉時に生ずる放電に伴う電磁雑音の実験的研究成果をまとめたものである。

第2章 電気接点の開閉に伴う電磁雑音の測定

環境電磁工学的立場から、電気接点開閉に伴う電磁雑音の特性をおおまかに測定した。その結果、例えば、無誘導抵抗負荷接点回路の場合、回路電流が最小アーク電流以下であればアーク放電は生ぜず、電磁雑音も生じないものと想像されがちであるが、実験によれば、Ag接点、電源電圧50V、



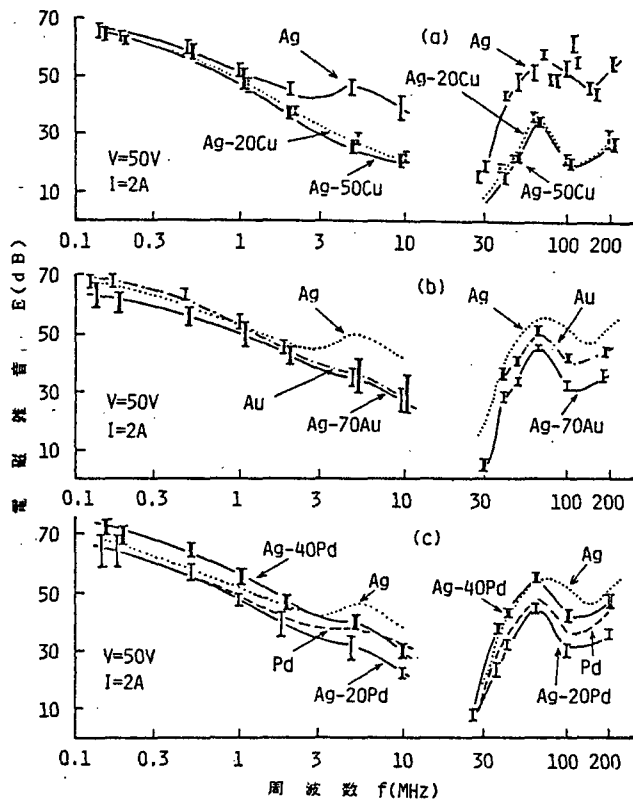
(a)



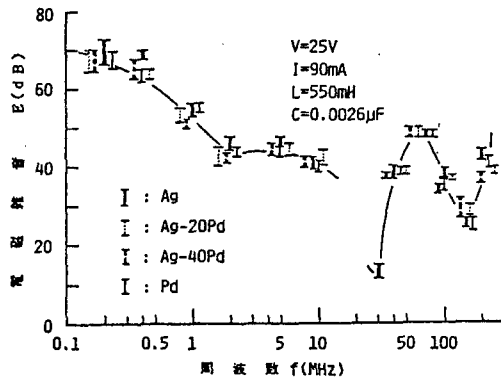
(b)

図1 無誘導抵抗負荷接点回路における電磁雑音

電流範囲 0.1 ~ 100 mA で約 20 dB の電磁雑音が測定された。これを図 1(a) に示す。一方、回路電流が最小アーク電流以上においては、電流の増大と共に電磁雑音も増大すると考えられがちであるが、実際には、電磁雑音の極大が観測された。これを図 1(b) に示す。次に、図 2(a) のように電磁雑音レベルは接点材料によって異なるが、図 2(b) のように回路条件によっては接点材料にほとんど依存しない場合もあることが判明した。また、Ag 系接点の場合、電磁雑音アーク放電継続時間中一様に発生するものではなく、アーク放電中期に生ずる電圧（電流）変動が主要原因となって発生していることが分かった。



(a)



(b)

図 2 電磁雑音の周波数分布

第 3 章 電気接点の放電形態

前章で示した電磁雑音の諸特性については放電現象が関与していることは明らかであるが、電気接点の動作条件や接点材料と電磁雑音スペクトルやレベルとの関係は単純ではなく複雑な現象が含

まれているように推察される。そこで、電気接点開離時の放電の発生・消滅状況を詳しく観察して、これらの複雑な現象を解明する手がかりとした。すなわち、電気接点回路と放電形態との関係を実験的に検討し放電形態を分類した。その結果、無誘導抵抗負荷接点回路の場合には小電流側から電流増加順に、放電が生じない無放電、間欠放電、準無放電（極小アークを含む）および通常アーク放電の四つの放電領域が存在することを明らかにした。一方、誘導性負荷接点回路の場合では、小電流側から順に、無放電、間欠放電およびアーク、間欠、グロー放電が同時に混在する放電の三つの放電領域が存在することが分かった。誘導性負荷時の間欠放電については放電物理的な観点から種々報告されているが、無誘導抵抗負荷時の間欠放電の存在についてはこれまで指摘されていなかった現象で、本研究においてはじめて明らかとなったものである。

また、電気接点の間欠放電発生機構は Paschen の法則では説明できないことを述べ、従来の極短ギャップの放電特性の研究成果をふまえて、無誘導抵抗負荷における間欠放電の発生および消滅条件について論じた。つまり、「接点开離に伴い時間的に増大する接点間電圧が絶縁破壊電圧を上回ったときは接点間に絶縁破壊を起こして間欠放電を発生するが、上回らないと間欠放電は発生しない。」という仮説により間欠放電消滅の上限回路電流を定めた。

第 4 章 無誘導抵抗負荷接点回路における間欠放電に伴う電磁雑音

無誘導抵抗負荷接点回路において間欠放電発生領域に対応して生ずる電磁雑音を測定し、その特性について考察した。実験によると、電磁雑音レベルは間欠放電発生領域内で差がないが、領域の境界では減少した。次に、接点局部回路に流れる接点電流に注目して雑音測定器の応答特性を考慮した電磁雑音発生に関するモデル的考察を行い、上述の電磁雑音特性について考察した。

第 5 章 無誘導抵抗負荷接点回路における通常アーク放電に伴う電磁雑音

無誘導抵抗負荷時の通常アーク放電に伴う電磁雑音については、Ag 系接点でアーク継続時間が約 2～10 ms と比較的長い場合にはアーク放電中期に生ずる電圧（電流）変動が電磁雑音の主原因であることや、この時の電磁雑音のスペクトルやレベルがある程度計算出来ることを示した。また、電磁雑音の測定結果は接点材料の種類によりそのレベルに相違が現れ Ag-Cu 合金は低レベルであった。これらから接点の材料的立場からの電磁雑音抑制への示唆が得られた。Ag 系接点の開離時にも閉成時にも回路電流 2～3 A で電磁雑音が極大となったが、これらの原因はそれぞれアーク相の移行の際のアーク電圧（電流）の激変およびサージ電圧の発生であることを示した。

第 6 章 誘導性負荷接点回路における放電現象と電磁雑音

誘導性負荷における間欠放電ならびに通常アーク放電に伴って生ずる電磁雑音と放電現象の関連について述べた。すなわち、実験によると間欠放電に伴う電磁雑音は回路電流の増加と共に増加した。この原因は、回路電流が増すと接点間の絶縁破壊電圧が高くなる事と関連があると推察された。また、間欠放電に伴う電磁雑音は接点材料の影響をほとんど受けないことが分かった。この原因について間欠放電発生機構によって検討し、同一回路条件では間欠放電電圧波形（電流波形）が接点

材料にはほとんど依存しないためと考えられた。通常アーク放電に伴って生ずる電磁雑音はアーク中期電圧変動に伴うアーク電流の変動のみならず消弧電圧変動に伴う消弧電流の変動も大きな要因となっていることを示した。さらに、電磁雑音の抑制法について述べた。その際に不適切な抵抗-容量のサージ抑制回路使用時には電磁雑音が特定周波数でかえって急増することを実験的に示し注意を促した。

第7章 結 論

本論文では電気接点开閉時に生ずる放電に伴う電磁雑音の環境電磁工学的立場からの研究成果について述べた。この結果、放電領域は無放電、間欠放電、準無放電と通常アーク放電の四つの領域に分類され、これらの放電領域と電磁雑音レベルとは対応することが分かった。従って、この分類は接点工学の面から接点消耗対策の一指針となり実用上意義有るのみならず、環境電磁工学の観点からは、例えば、電子デバイスと電気接点とが共存するシステムの耐雑音設計上の有効な手がかりを与えるものとなる。

審査結果の要旨

情報化社会が進展し、情報機器や通信ネットワークが多様化するに伴い、情報信号を妨害する電磁雑音の問題は、益々深刻化しつつある。そのため、電磁雑音の発生機構や性質の解明およびその対策が急がれている。

本論文は、主要な電磁雑音発生源のひとつである開閉電気接点の放電に伴う電磁雑音のレベルや周波数スペクトルと電気接点の使用条件（電圧、電流、負荷、材料）との関係を実験的に明らかにすることを試みたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、電気接点の種々の使用条件下で、発生する電磁雑音の測定結果について述べ、解明すべき諸現象を分類している。すなわち、抵抗(R)負荷で最小アーク電流(I_m)以下でも電流に無関係な一定レベルの電磁雑音が観測されること、 I_m 以上のアーク発生領域では、ある電流値で電磁雑音のピークが観測されること、また、インダクタンス(L)負荷では電磁雑音レベルは接点材料には依存しないこと、などである。

第3章では、電気接点の使用条件と放電形態について述べている。著者はここで、 R 負荷でのアーク放電と L 負荷での間欠放電など、従来から知られている放電形態のほか、 R 負荷で I_m 以下において、間欠的な放電が存在することを示し、これは極短ギャップ放電現象と接点間容量の存在によって説明できることを明らかにしている。これは新しい知見である。

第4章では、 I_m 以下の R 負荷時に発生する電磁雑音の観測結果を、第3章の間欠放電の性質（放電々流と放電々圧との比例関係、発生頻度との逆比例関係）から説明している。この領域の電磁雑音の性質は、本論文によってはじめて明らかにされたものである。

第5章では、 I_m 以上のアーク発生領域における電磁雑音について述べている。ここで、電磁雑音がある電流でピークを生ずる現象は、いわゆる金属相アークからガス相アークへの移行現象に関係していることを定性的に示している。これは興味ある知見である。

第6章では、 L 負荷における間欠放電と電磁雑音の関係について述べている。電磁雑音レベルが接点材料に依存しない現象を放電の電圧波形から説明することを試みている。また、この雑音を抑制するために従来から用いられているRCサージ抑制回路の設計法を述べている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、電気接点の放電と電磁雑音との関係を、放電の形態に着目して実験的研究を行い、接点の使用条件と電磁雑音の性質に新知見を加えたもので、通信工学ならびに放電・環境電磁工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。