

外 21-6

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

障害波遮断変成器の  
開発に関する研究

Research and Development  
In Special Isolation Transformers

申 請 者

矢ヶ崎 昭彦

Akihiko Yagasaki

2001 年 7 月

情報技術が人間の知的作業までも代行し産業や社会活動上に中枢的な役割を占め始めるに従い、巨額な損失や人身事故にまで及ぶ情報機器・装置の障害が著しく増加し、物証を残さず解決の困難な公害となって拡大している。それらは殆どすべて電磁ノイズによる機器・装置類の誤動作や破壊に起因し、今後更に深刻化することが予想される。なぜならば高度情報化社会の進展には、これら機器類の更なる高速動作化と小形・高集積密度化が不可欠であり、それに伴って機器自体が新たなノイズ源となると同時に、現在より桁違いの微少なノイズにも敏感な素子と回路構成が必要となるからである。従ってノイズ障害を防止することは健全な高度情報化社会の構築のために欠くことのできない前提条件となる。

このように情報技術装置類やそれらが制御する様々なアクチュエータが構成するシステムやネットワークが、一層複雑・広域化すると同時に、そのノイズに対する耐性は低下する。遂には、これら電気回路のすべてが導通したままであるとどのようなにしても障害を防止することが不可能になるに至る。そこで全体を適宜小ユニットに分割して相互に絶縁し、必要な電気信号や電力は別のエネルギー(結合エネルギー)に変換して相互に伝達することにより、伝導と放射によるノイズの伝搬を防いで正常に動作を営ませる“アイソレート技術”が不可欠になる。言うまでもなくアイソレート技術上で最も大切なものの一つが信頼性の高いアイソレート形ノイズ防止素子(アイソレーション素子)である。

著者はノイズ障害防止に資することを目的とし、1959年に電力回路用の静止形アイソレーション素子として、結合エネルギーを磁気求めた“障害波の磁路による遮断装置”の開発に着手した。当時このような技術は全く存在しなかった。続いてこれを「障害波遮断変成器」として改良を重ねてきた。現在障害波遮断変成器は伝導性ノイズ防止素子全般の中でも最もノイズ減衰率が高く、接続相手により信頼性を失うことの殆どないアイソレーション素子として認知され、広く実用化されている。本論文は著者によるこの障害波遮断変成器の開発研究を主題とするものであって、下記の各章で構成されている。

I. ノイズ障害の様相と本研究の課題、II. アイソレートと障害波遮断変成器の概要(備えるべき特性・機能・構造)、III. 障害波遮断変成器のコイル配置、IV. 障害波遮断変成器の磁心、V. 障害波遮断変成器の遮蔽構造、VI. 不平衡線路の超高電圧サージと障害波遮断変成器、VII. 障害波遮断変成器の更なる性能向上にむけた薄膜短絡環による向上効果、VIII. 研究の要約と今後の展望(結語)。

以下各章の内容について簡略に述べる。

#### I. ノイズ障害の様相と研究の課題

本章は緒論であって、ノイズ発生源の急増と、被害機器の耐性の急激な低下とデジタル化、およびそれによるノイズ障害の進行の現況を実例によって説明し、本研究の背景を述べる。

#### II. アイソレートと障害波遮断変成器の概要

本章ではノイズ防止のための回路のアイソレートが今後一層不可欠になることとその利点について一般的に説明する。さらにアイソレート形ノイズ防止素子としての視点から変成器の分類を行い、障害波遮断変成器の備えねばならない特性・機能・構造を下記のように要約して、その実現を研究の目標として掲げる。

##### 1. 備えるべき特性

(1) 電流の経路により分類されるモード中の「ノーマルモード」においては、伝達すべき周波数成分はすべて伝達し、不要な成分(より高周波の成分)はすべて遮断する。

(2) 「コモンモード」においては、すべての周波数成分を遮断する。

##### 2. 備えるべき機能

(1) 1次導体に入力した電気エネルギーが2次導体に伝達される過程のうち、電気抵抗を介する伝達を絶縁抵抗を最大限大きくして防止する。

(2) 同じく静電誘導による1次側から2次側への伝達を最大限に防止する。

(3) 同じく電磁誘導による伝達のうち、必要な周波数成分の伝達は妨げず、不要な高周波の伝達は防止する。

##### 3. 備えるべき構造

(1) 周波数により透磁率が変化しない1次コイル内の空芯と周辺の空間を通過する磁束が、2次コイルに鎖交し難い位置となるように両コイルを配置する。

(2) 実効透磁率が低周波では高く高周波になるに従い急激に低下する材質・形状と、上記(1)に相応する外形の磁心を両コイルに貫通させる。

(3) 使用時に接続する相手回路のグラウンド(アース)のどのような条件にも対応できるように、1次と2次の導体を各々独立に包覆する遮蔽板を設け、さらにその中間にも設けて、ノイズの進行方向に対し3重になる遮蔽を施す。

#### III. 障害波遮断変成器のコイル配置

上記II. 3(1)に述べた構造に相応するためには、2個の空芯コイルを一般変成器と同じ同軸同心状の配置から同軸異心状に引離して配置することによって、-20dB以上の相互誘導の減少を得ることを計算によって示す。次にこれを基にして同軸異心・異軸異心・異軸異心ツイストの3種類のコイル配置の各々について、空芯コイル及びコイルに磁心を施したサンプルを作成してその周波数-ノイズ減衰率特性を測定した実験結果を述べる。それによると後者においては減衰率の相異がより著しく現われ、一般変成器と同様の配置では殆ど減衰を得られないのに対し同軸異心では-30dB~-70dB、異軸異心では-50dB~-80dB、異軸異心ツイストでは-70dB~-100dBの減衰率を得られる。

#### IV. 障害波遮断変成器の磁心

まず現在得られる主要な磁性材料の基礎データにより上記のII. 3(2)に述べた構造となるための磁性材料の適否と、渦電流損について考察する。次にIII. に述べた異軸異心ツイストのコイル配置に最も適するように開発した脚の部分が

90°で交差するツイスト形磁心を用いて、必要な電力用周波成分の変動率の増加を0.8%効率の低下を2%にとどめながら、100kHz以上の帯域で最低-70dB~-90dB以上の減衰率を得た開発について詳述する。

#### V. 障害波遮断変成器の遮蔽構造

まず良伝導の金属板による遮蔽効果を計算によって求め、磁界に対する遮蔽効果は殆んどないことを示し、従って障害波遮断変成器の遮蔽は専ら電界の遮蔽に徹して施すべきであること、またノイズが電荷の激しい移動を伴う高周波の交流電磁界であることから、高周波インピーダンスの極めて低く、部分的な急変や透き間のない構造にする必要があることを主張する。あわせて必要とする遮蔽体構造について以下の提案を行なう。

- (1) 1次と2次の導電部を別々に全く露出することなく遮蔽板で包む。
- (2) 接合部はすべて広い面積で圧接する。
- (3) 1次と2次の遮蔽の中間に、磁心と同電位になる遮蔽板を設け、合計してノイズの進行方向に対し3重の遮蔽となるようにする。
- (4) 装着相手のグラウンドの導体と広い面積で接続できる接続端子を各遮蔽板に個別に設ける。また装着相手のグラウンドの状況に応じた接続方法を例示する。

#### VI. 不平衡線路の超高電圧サージと障害波遮断変成器

変成器一般のコイルの端子から見た対地回路定数の分布は一様ではなく、それにより多数の微細な局部共振回路が密集した回路となる。そのため両端子から侵入して進行波となり遮蔽板に移行して大地に流れるコモンモードノイズは激しく振動し、しかも不均一の分布定数中を逆方向に辿るため位相と振幅が合致しなくなり、互いに打消し合えない成分がノーマルモードとなって1次コイル内を流れ、2次側に誘導し、ノイズ防止効果上極めて不利的な作用を行なう。

しかしノーマルモードノイズの防止機能を設けてある障害波遮断変成器ではこれを防止できる。このことを効果が最も明瞭に現われる超高電圧の標準インパルス電圧を用いた実験により証明した研究を述べる。この結果によると本研究による障害波遮断変成器では在来型装置に比べて2~3桁に及ぶ性能の向上がある。

#### VII. 薄膜短絡環による障害波遮断変成器の性能向上

VI.に述べた回路定数の分布の不均一によるコイル内の局部共振回路はそれぞれの直列共振周波数において減衰率を著しく低下させる。この弱点を除くために良伝導性の薄膜短絡環により共振を抑制し、特性曲線をフラットにし、信頼性を高めることができる。計算と実験によってその効果を証明した。

#### VIII. 要約と今後の展望

本章は終章である。著者の研究を要約し、変成器の今後の発展についての視点から展望したとき、すべての周波数成分を損失なく伝達する全変成を理想とした従来の利用の他に、不用な成分は伝達しない弁別変成を指向する更なる改良と利用の方向があること、今後その発展が予想されることを述べて、結語とした。