

氏 名	ひさ かつ たか し 久 門 尚 史
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1659 号
学位授与の日付	平 成 9 年 9 月 24 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	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学位論文題目	Study on Bifurcation Phenomena in Three-Phase Circuit (三相回路における分岐現象に関する研究)

論文調査委員 (主 査)
教授 奥村 浩 士 教授 上田 院 亮 教授 荒木 光 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、対称三相回路に発生する非線形振動を、分岐現象という視点から理論的、実験的に明らかにしたものであり、9章からなっている。

第1章は序論であり、三相回路における非線形振動の研究の歴史的背景を述べ、その分岐現象を解析することの意義ならびにその新規性について言及している。また、三相回路は対称性および非線形結合をもつため、多自由度回路システムにおける対称性の破壊現象や同期、非同期現象を明らかにするための基礎的研究としての重要性を述べている。

第2章では三相回路の非線形振動の解析に用いた理論を示している。すなわち、三相回路の周期振動を2点境界値問題として定式化し、シューティング法とホモトピー法を組合せて、周期振動の分岐現象の詳細を厳密に解析する方法を示している。

第3章では室内規模で構成した三相実験回路を説明している。まず構成された三相回路の詳細を示し、とくに実験に再現性をもたせるために構成した投入位相制御装置の原理を説明している。また、実験方法および分岐現象などの計測方法を示している。

第4章では1/3分数調波振動の単相化現象の解析と実験について述べている。すなわち、三相回路での1/3分数調波振動の単相化現象と、単相化回路での1/3分数調波振動とについて、周期解曲線及び分岐集合を計算することによって、周期解曲線の折り返しの生成が単相化回路の1/3調波振動と異なることを示している。また、3個の単相回路を抵抗結合した回路の解析によって、その折り返しの発生は2個のインダクタを流れる僅かの電流が関与していることを明らかにしている。また厳密な実験によって、ホモトピー法で解析した現象が実際に起きることを確かめている。

第5章では1/3分数調波振動の二相化現象の解析と実験について述べている。すなわち、二相化した1/3調波振動の周期解曲線および分岐集合を求めることにより、二相化現象における特徴として、ナイマルクサッカー分岐とともに余次元2の分岐が起こり、分岐のU字型の構造がパラメータ空間において出現することを明らかにしている。また、単相化回路を三相回路へと徐々に変化させることにより、単相化現象と二相化現象の関連性を明らかにしている。さらに、実験においてもホモトピー法によって得た結果と同様の現象を確認するとともに、ナイマルクサッカー分岐で発生する概周期運動からカオスの振動に至る過剰が存在することを明らかにしている。

第6章では三相全相に対称的に発生する1/3分数調波振動の解析と実験について述べている。まず、うなりを伴わない同期した1/3分数調波対称振動が対称三相回路には構造的に発生しえないことを理論的に示している。また、うなりを伴ういわゆる概周期振動については、振動が同期化する領域に対して分岐現象を明らかにするとともに、非周期的な振動の領域ではリアプノフ指数を計算し、ハイパーカオスの発生を示している。また、実験においても同様の現象が発生することを確認している。

第7章では基本調波振動の解析と実験について述べている。まず、三相全体に発生する対称な基本調波振動は、ナイマル

クサッカー分岐により概周期振動に移行するが、単相回路での基本調波振動ではこれが起こらないことを示している。また、その概周期振動のパラメータ領域には、三相回路の特徴であるデルタ結線が引き起こすカオスの振動が存在することを示している。さらに、単相化現象における周期解曲線の折り返し、3個のインダクタが関与する非対称振動のナイマルクサッカー分岐等、三相回路で発生する基本調波振動の分岐の特徴を明らかにしている。一方、実験においては、ホモトピー法での計算結果が観測されることを示し、実験によって求められた過渡波形を $0\alpha\beta$ 変換することにより、投入位相と発生するモードの関連を明らかにしている。

第8章では1/2分数調波振動の解析と実験について述べている。すなわち、単相化現象では、周期解曲線の折り返し、周期倍分岐とナイマルクサッカー分岐の複雑な結合等、単相化回路や単相回路では見られない現象を明らかにしている。さらに、1/2分数調波振動の場合には、非線形インダクタの励磁特性の奇対称性が崩れるため、ピッチフォーク分岐が構造的に発生しないことを理論的に示している。さらに、実験によりホモトピー法による解析で得られた分岐現象の発生を確認している。また、対称な振動についても単相回路や単相化回路と比較することによって1/2分数調波振動の分岐現象の特徴を明らかにしている。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は電力システムの基礎となる対称三相回路における非線形振動、特にその周波数が電源周波数と同一の基本調波振動、分数倍となる1/2調波振動と1/3調波振動の分岐現象を非線形ダイナミクスの観点から理論的ならびに実験的に究明した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 非線形インダクタを含む対称三相回路の振動現象を、非線形常微分方程式系の2点境界値問題として定式化し、シューティング法とホモトピー法を組み合わせ、周期振動の分岐現象を詳細に解析する方法を示した。
2. 1/3調波振動は、非対称に発生する同期した単相化振動と二相化振動、三相全相に対称に発生する概周期振動およびカオスの振動に分類できることを分岐集合の計算と実験によって示し、特に同期した1/3調波振動は三相には対称に発生し得ないことを理論的に証明した。
3. 二相化する1/3調波振動の分岐集合はU字型の構造になり、この構造はナイマルクサッカー分岐と余次元2の分岐の生成によって生じることを解析と実験により明らかにした。
4. 三相に対称に発生する基本調波振動は電源電圧の上昇に伴いナイマルクサッカー分岐し、デルタ結線されたインダクタを電流が一方向にのみ一定期間流れるカオスの振動に移行することを解析と実験により見出した。
5. 1/2調波振動ではピッチフォーク分岐が構造的に発生しないことを理論的に示し、解析で求めたサドルノード分岐と周期倍分岐を実験により確認した。

以上要するに、本論文は非線形対称三相回路における基本調波振動と主な分数調波振動の分岐現象を理論的ならびに実験的に明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年7月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。