

## 審査の結果の要旨

氏名 安田 祐治

本論文は、「周波数特性同定に基づいたリアルタイム電力系統デジタルシミュレータにおける送電網モデルに関する研究」と題し、8章よりなる。

第1章は「序論」で、今後の電力自由化、分散電源の電力系統への大量導入などの状況を踏まえて、多種多様そして多数の機器を含む電力系統のリアルタイムシミュレーションが重要となり、リアルタイム電力系統シミュレータの研究が必要となる背景を述べ、既存のさまざまなリアルタイムシミュレータの概要を示している。その中で特に、本研究で対象としている市販のCADソフトを用いて安価で使いやすいデジタルシミュレータを開発する目的、そのシミュレータ用の送電網モデルの開発の必要性についても述べている。

第2章は「三相瞬時値解析手法」と題し、大規模電力系統のリアルタイムデジタルシミュレーションに三相瞬時値解析手法を適用するにあたり、シミュレーションの演算精度を落とさずに演算のプロセスを少なくするために、対象とする系統現象を周波数1kHz以内と限定し、従来用いられてきたBergeron法やJ.R.Martiモデルではなく、集中定数回路で模擬した送電線モデルを用いることで送電網モデルの演算を単純化することを提案している。また不平衡故障を扱うために相互インピーダンスを考慮した送電網モデルを構築している。

第3章は「送電網モデルの構成」と題し、送電網をモデル化する際に、それぞれの送電線のモデルを一つ一つつなぎ合わせて構成するのは労力がかかり、また大規模系統になるほどシミュレーション時間の増大をもたらすことになるので、その問題の解決策として、送電網全体を伝達関数行列で表現し、その各要素を周波数特性データから低次の有理伝達関数として同定する手法を提案し、系統内の浮遊ノードの縮約を行うことで伝達関数行列の次元を下げることを提案している。また、機器モデルと送電網モデルの接続ノードにおいて、送電線の対地キャパシタンスを利用して送電網モデルに電圧源機器モデルと電流源機器モデルの双方を接続可能にする手法を開発している。

第4章は「連続時間処理手法」と題し、系統シミュレーションにおいて、一般に離散時間領域よりも数値安定性にすぐれていると言われている連続時間領域において、送電網を低次の有理伝達関数行列モデルとして同定する手法を述べている。本同定手法は重み付け線形化最小二乗法を用いている。使用するCADソフト上で代数ループを生じないように同定結果の分母の次数が分子の次数よりも大きくなることを条件とし、周波数特性を1kHzまでに制限し、同定次数を徐々に上げていくというアルゴリズムにより、低次の有理伝達関数に同定することを可能にしている。

第5章は「離散時間処理手法」と題し、前章の連続時間領域での同定手法では、送電線の相互インピーダンスを考慮すると送電網伝達関数行列モデルの要素の伝達関数の極が不安定になるという問題が生じるために、離散時間領域において、離散化の手法に工夫を加えることによって数値安定性、シミュレーション精度の維持可能な送電網モデルを作成する手法について述べている。また、離散化のための差分方程式の作成を自動化することが困難であるため、近似を加えたz変換を用いて周波数特性から直接、伝達関数行列を同定

する手法を提案している。

第6章は「結果」で、提案した手法の妥当性を検証するために、周波数特性から同定した送電網モデルの同定精度、同定した送電網モデルを用いてシミュレーションを行った結果の精度、数値安定性といった観点からの検討を行っている。さまざまな系統においてCADソフト上でシミュレーションを行った結果、送電線の相互インピーダンスを考慮する場合は離散時間領域での同定が効果的であることが明らかとなった。シミュレーションの数値的安定性の観点からも離散時間領域での同定が有効であった。送電網の中に浮遊ノードが多く存在する場合には、縮約が可能な本提案手法による伝達関数行列モデルがシミュレーションプロセスの削減に効果的であることもわかった。

第7章は「DSPへの実装」と題し、リアルタイム・デジタルシミュレータとしての検証を行うため、Linx社の提供するdSPACEというDSPボードに市販CADソフトであるMATLAB/SIMULINKで作成したアプリケーションモデルをダウンロードし、シミュレーションを行った結果について述べている。リアルタイムでのシミュレーションを実現するためにはいくつかの条件を遵守しなければならないが、条件を満たしていれば、DSPの処理能力を超えない範疇であればMATLAB/SIMULINK上とまったく同じシミュレーション結果を実時間単位でリアルタイムに再現することが可能であることがわかった。また、DSP1枚あたりの処理能力には限界があるが、DSPを複数並列処理させることでより大規模な系統がリアルタイムで取り扱えることがわかった。

第8章は「結論」で、本研究で得られた知見をまとめている。

以上を要するに、本論文は、大規模電力系統の不安定現象や電力制御機器導入によって生じる系統現象を、できるだけ詳細かつ低コストに三相瞬時値で解析するリアルタイム・デジタルシミュレータ用の低次同定送電網モデルを提案し、連続時間領域と離散時間領域において自動的に作成する手法を開発し、シミュレータへの適用上の特徴を明らかにすることによってリアルタイムシミュレーションの可能性を示したもので、電気工学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。