

フジタ ユウ

氏 名	藤田 悠
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博第1122号
学位授与の日付	平成30年3月26日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学 位 論 文 題 目	不平衡配電系統における電力品質改善に関する研究 (Improvement of Power Quality in Unbalanced Distribution System)

論文審査委員	主 査	准教授	青木 睦
		教授	竹下 隆晴
		教授	水野 幸男
		教授	雪田 和人
			(愛知工業大学)

## 論文内容の要旨

本研究では、不平衡配電系統の電力品質向上に関する研究を行った。配電系統には電圧制御機器として、自動電圧調整器が配電線途中に設置されているが、三相一括で制御するため、不平衡配電系統では電圧を適正範囲内に維持することが難しい。そのため、不平衡配電系統における電圧適正範囲維持について検討した。配電系統の電圧を適正範囲に維持するためには、系統側だけではなく、需要家側の対策が重要である。需要家側の対策としては、高圧需要家の進相コンデンサ(以下、SC)の常時投入による電圧上昇を抑制するため、自動力率調整装置(以下、APFC)を導入することが効果的である。そこで、高圧需要家へのAPFC導入率を向上させるため、従来より低コストなAPFCを実現するための手法の提案を行った。また、系統側の対策としては、単相SCを用いた電圧不平衡抑制手法および単相SC台数を削減した装置について提案した。また、将来的な配電系統の電力品質に関する課題を解決する手法として、ループパワーフローコントローラを用いた配電系統のループ化が検討されている。しかし、ループ化することで高調波の共振条件が変化することが考えられる。また、上記のようなSCを用いた機器を配電系統に導入すると、系統の高調波共振条件が変化するため、より高調波制御が難しくなると考えられる。そこで、ループパワーフローコントローラを用いた高調波潮流制御について検討した。

以下に内容を概説する。

1) 高圧需要家の APFC 導入率を向上させるため、APFC の低コスト化に着目した。低コスト化を目指して提案された APFC として、電圧計測を省略して電流計測のみで SC を制御する APFC があるが、制御が複雑で処理が煩雑になっているという課題があった。そこで、この制御方式を簡素化した APFC を提案した。具体的には、SC 制御時に用いる電流しきい値をあらかじめ変換しておくことで、常時必要であった電流の変換処理がいらなくなり、制御を簡素化できた。その結果、開発した APFC では、既存の APFC と比較して約 50% の低価格化を実現した。

2) 不平衡配電システムを再現できるモデリング手法について検討した。具体的には、配電システムの各箇所測定した電圧と電圧不平衡率を再現する不平衡配電システムモデルを探索手法 (PSO) を用いて作成した。その結果、作成した不平衡配電システムモデルは、誤差 0.5% 以内の精度で測定した電圧と電圧不平衡率を再現できることを確認した。

3) 単相 SC を相別に制御することで、配電システムの電圧不平衡を抑制する手法と、低コスト化を目指して単相 SC 台数を削減した電圧不平衡抑制装置を提案した。具体的には、単相 SC 動作時の電圧を推定する計算式を導出し、SC 開閉回数や SC による電圧上昇を許容値内に抑制でき、電圧不平衡率を目標値内に抑制できる SC の投入パターンを決定する手法を提案した。また、単相 SC 台数を、通常考えられる半分の台数に削減した回路構成を提案した。そして、(2) で提案した不平衡配電システムモデルをリアルタイムシミュレータで再現し、提案した SC 制御装置の動作検証を行った結果、1 日の電圧不平衡率を目標値である 1% 以下に抑制し、系統電圧を適正範囲内に維持できたことを確認した。

4)、(3) で示した手法では、SC 動作後の電圧を推定する手法であるため、系統切替等により配電線インピーダンスが変化すると SC が想定通りに動作しないという課題があった。そこで、単相 SC 開閉時の電圧実効値変化から配電線インピーダンスを推定する手法を提案した。そして、提案手法により配電線インピーダンスを誤差 0.5% 以内で推定できることを確認した。

5) ループパワーフローコントローラ (以下、LPC) を用いた高調波潮流制御について検討した。LPC の回路構成には、BTB 方式と UPFC 型があるが、直列機器であることから機器容量が小さくなる UPFC 型を用いた。そして、LPC の高調波出力変化に対する各配電システムの LPC 接続点の高調波電圧変化から、配電システムの高調波インピーダンスを計算し、これを用いて、ループ化した各配電システムの高調波電圧を抑制するのに最適な LPC の高調波電流出力を決定する手法を提案した。そして、例題システムを用いて、各配電システムの高調波を抑制できることを確認した。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、電圧不平衡がある配電系統の電力品質向上に関する研究をまとめたものである。近年の住宅用負荷の増加や太陽光発電の増加に伴い、配電系統において電圧不平衡が増加し電圧管理が困難になることが懸念されているが、この電圧不平衡抑制を行い、系統の電圧を適正範囲に維持するためには、系統側だけではなく、需要家側の対策も重要である。

需要家側の対策としては、高圧需要家に設置されている進相コンデンサ(Static Capacitor: 以下, SC)の管理が重要であるが、SCを制御するための自動力率調整装置(Automatic Power Factor Controller: 以下, APFC)のコストが高く、広く普及するに至っていないという課題があった。そこで、本論文では高圧需要家へのAPFC導入率を向上させるため、低コストなAPFCを実現するための制御手法の提案を行っている。先行研究において提案されている電圧計測を省略して電流計測のみでSCを制御する方法を改良し、SCの制御時に用いる電流しきい値をあらかじめ求めておくことで電流の変換処理を削減して、制御を簡素化することができた。その結果、既存のAPFCと比較して約50%の低価格化を実現した。

一方、系統側の対策としては、単相SCを用いた電圧不平衡抑制手法および単相SC台数を削減した新しい装置を提案した。この装置の特性を検証するために配電系統モデルが必要であるが、実測データをもとに探索手法の一つであるPSO (Particle Swarm Optimization)を用いて電圧不平衡をもつ配電系統を再現できるモデリング手法を提案している。また、単相SCによる電圧不平衡を抑制する手法として、SC動作時の電圧を推定する計算式を導出し、SC開閉回数やSCによる電圧上昇を考慮して電圧不平衡率を目標値内に抑制できるSCの投入パターンを決定する手法を提案した。一方、単相SC台数を、通常考えられる半分の台数に削減した回路構成を提案し、リアルタイムシミュレータを用いて動作検証を行った結果、一日を通して、電圧不平衡率を1%以下に抑制し、系統電圧を適正範囲内に維持できることを示した。また、制御において配電線インピーダンスの情報が不可欠であるが、系統切替等によるインピーダンスの変化時においても、単相SC開閉時の電圧実効値変化から配電線インピーダンスを推定する手法を提案している。

さらに、将来の配電系統の電力品質に関する課題を解決する手法として、配電系統のループ化が検討されている。しかし、ループ化や前述のSCの活用により系統の容量成分が複雑に変化し、系統の高調波共振条件も変化してしまい、高調波対策が困難になると考えられる。これに対し、本論文では、ループパワーフローコントローラ(Loop Power flow Controller: 以下, LPC)を用いた高調波潮流制御について提案している。提案手法では、LPCの出力変化に対する各配電系統のLPC接続点の高調波電圧変化から、配電系統の高調波インピーダンスを計算し、これを用いて、ループ化した各配電系統の高調波電圧を抑制するために最適なLPCの高調波電流出力を決定する手法を提案している。

このように、本論文は、配電系統の電力品質改善方法として、SCやLPCの活用など実用的な観点からの新たな提案を行っており、今後の活用が期待される有用な研究である。