

論文の内容の要旨

論文題目 需要家機器を用いた無効電力制御による
配電系統電圧逸脱の抑制

氏 名 近藤 健一

近年、二酸化炭素排出量の削減に向けた取り組みが盛んに行われている。その中の一つである再生可能エネルギー電源固定価格買取制度により、再生可能エネルギーの導入が増加している。中でも住宅用太陽光発電など、分散形電源として配電系統に導入される電源が増加している。電力系統での変化は分散形電源の増加による発電側の変化だけでなく、負荷側においても発生している。電気自動車やプラグインハイブリッド自動車等の導入により夜間の充電負荷集中が発生すると懸念されている。また、ヒートポンプ給湯機の導入により従来ガス等で行われた給湯が電気に置き換えられている。分散形電源の導入増加は電圧上昇を引き起こし、配電系統電圧上限の逸脱の可能性がある。また、電気自動車の導入増加による夜間の充電負荷集中や、夜間のヒートポンプ給湯機による負荷集中により、電圧降下が発生し、配電系統電圧下限を逸脱する可能性がある。今後とも続くと予想される分散形電源の導入増加、夜間負荷の集中に対して、配電系統電圧逸脱への対策が求められる。配電系統電圧逸脱への対策としては、配電線の増強、変圧器、SVR でのタップ切り替え、分散形電源の有効電力出力の抑制、SVC、STATCOM 等の無効電力制御機器の設置、もしくは分散形電源による無効電力制御等が考えられる。配電線増強及び系統側機器設置は設置にかかるコストの問題、分散形電源を用いた有効・無効電力の制御は発電機会を逃すことにつながりうる。このため、系統側機器設置を減らすことによる対策コスト削減、分散形電源の発電抑制の回避のため、系統側機器、分散形電源以外による電圧上昇への対策が求められる。本研究では低圧需要家が持つ負荷機器、特に直流電源を必要とし、整流回路を搭載した機器を用い、整流回路の制御方法を変更することによる無効電力制御を行うことによる配電系統電圧逸脱への対策を検討する。低圧需要家から見た低圧配電系統の線路インピーダンスは高圧配電系統のそれと相対的に大きく見えるため、低圧需要家機器による無効電力制御は高圧側での無効電力制御に比べ、必要となる無効電力容量が小さくなる。また、問題となっている低圧配電系統の電圧のみを局所的に制御できるといった利点も挙げられる。

需要家機器内蔵の整流回路はコスト削減のため、無効電力制御には適さない回路構成が採用されることが多い。回路構成起因の制御制約により、需要家機器内蔵の整流回路での無効電力制御では高調波電流が発生する。回路構成起因の制御制約のもとで無効電力制御を実現するとともに、発生する高調波電流の影響を評価する手法を提案し、実証する。提案した手法を用いて配電系統電圧を制御できることを確認するとともに、発生する高調波電流による配電系統電圧歪みへの影響及び制御自体への影響を検討する。需要家機器は配電系統に複数台設置される。複数の需要家機器間で協調を取った配電系統電圧制御方法を検討する。

需要家機器内蔵の整流回路による無効電力制御を実現する手法の提案、実証では、発生する高調波電流を低減することで無効電力制御可能容量を増加させる手法を提案し、制約のもとで無効電力制御可能な範囲を検討する。本研究の目的の一つである対策コスト削減は主に系統側機器設置を削減することにより行われるが、負荷機器に無効電力制御を導入するための改造・設計変更が大規模で、系統側機器設置によるコスト削減効果を相殺することは避けるべきである。そのため、負荷機器による無効電力制御は最小限の機器変更により低コストで実現されるよう提案する。整流回路主回路部分への変更をせず、制御方法のみの変更により実現する。提案手法による無効電力制御が検討された無効電力制御可能範囲内で制御可能であることを実験により検証する。需要家機器を用いるため、需要家の利便性を損なわないことが求められる。無効電力制御により機器本来の機能が損なわれることがないことを示すため、無効電力制御により入力有効電力に変化がないこと、整流回路出力直流電圧の変動が増大しないことを合わせて検証する。

提案手法による配電系統電圧制御が可能であることの確認、及び発生する高調波電流による配電系統電圧歪み及び制御自体への影響評価では配電系統モデルを用いた瞬時値シミュレーションにより高調波成分を含めた検討を行う。はじめに流出する高調波電流と配電線インピーダンスの相互作用により提案する無効電力制御自体に悪影響が生じないかを評価する。提案する無効電力制御による配電系統電圧制御結果と、正弦波電力変換装置を用いた無効電力制御による配電系統電圧制御結果を比較し、提案手法による無効電力制御による配電系統制御能力を確認する。また、この能力評価から、提案手法の導入により増加可能となる分散形電源・電気自動車充電器等の電力を示す。提案する無効電力制御を実施した場合、配電系統に高調波電流が流出する。需要家機器を対象とした高調波電流規格には適合する範囲での流出であるが、多数台が同じ制御を行い、同位相の高調波電流を流出させる条件における悪影響を評価する。高調波電流による配電系統電圧の総合歪率が高压配電系統に対して定められた許容値に収まる範囲内で、制御可能な最大容量を検討する。

複数の需要家機器間で協調を取った配電系統電圧制御方法の検討では、複数需要家機器間で制御が干渉し合い、配電系統電圧変動が増加したり、振動的とならない制御方法を提案し、シミュレーションにより、その有効性を検討する。想定する干渉として、提

案手法を導入した需要家機器単体での安定性, 提案手法を導入した需要家機器同士での干渉を検討する。提案手法を導入した需要家機器同士の干渉としてはじめに配電線内のとあるノードの単体の機器のみでの検討から電圧-無効電力制御方法として取るべき手法の方針を検討する。その後, 配電線内の複数ノードの機器間での干渉, 無効電力分担に関して検討する。本論文は分散形電源導入や夜間負荷の増加により懸念される配電系統電圧維持に関する問題に対し, 需要家機器を用いた無効電力制御を提案する。無効電力制御の対象として検討されてきた需要家機器は電気自動車充電器程度であった。これは需要家機器に内蔵された回路が無効電力制御を想定しておらず, 制御制約があるためである。

本論文は需要家機器内蔵の整流回路を用いた無効電力制御を導入する上で必要となる制御手法の提案とその制御効果の確認を行い, 需要家機器を無効電力制御機器の一つの候補となることに寄与する。従来検討されていなかった需要家機器による無効電力制御が一つの選択肢となることで, 配電系統電圧の維持に貢献するとともに需要家不利益となる分散形電源出力抑制・電気自動車充電電力抑制の回避につながるものである。