

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名	やま みつ ふみ のり 山 光 史 哲
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	産 第 3 3 号
学位授与の日付	平 成 23 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規程第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	磁束制御形可変リアクトルの構成法とその応用に関する研究
論文審査委員 (主 査)	教 授 園 田 敏 勝
(副主査)	教 授 角 藤 亮
(副主査)	教 授 江 崎 秀

国内におけるエネルギー需要の中で電気エネルギーの占める割合は年々増加しており、これに伴い全発電電力の増加が求められている。これに対して火力発電の占める割合は、化石燃料の有限性と原油高に伴い増えているとは言えない。近年では、京都議定書や洞爺湖サミットの例に見られるように、地球環境を考慮した新エネルギーの開発が強く求められている。今日、太陽光、風力、波力、地熱と言ったいわゆるクリーンエネルギーの開発が行われているが、未だ十分とは言えない。その大きな問題の一つに「希薄（単位面積当たりの発電電力が小さい）」、「気まま（天候に依存する）」と言った問題がある。しかしながら、世界的な動向として、太陽光発電と風力発電に対する期待は益々大きくなっている。その中で自励式誘導発電機の発電電圧は、誘動機定数と外付けコンデンサ容量ならびに負荷によって定まるため、限られた回転数でのみ発電が可能であった。そこで、一定の回転数を得るため、風車ブレードのピッチ角制御が行われている。しかしながら、このピッチ角制御は風車が受けた風力エネルギーの一部を逃がしているため風力エネルギーを効率よく回転エネルギーへ変換しているとは言えない。これに対して、風車の回転数変化に依存することなく発電電圧を一定に制御することができれば、今まで逃がしていた風力エネルギーを有効に電気エネルギーに変換できることが可能となり、風力発電のエネルギー変換効率を向上すると考えられる。

本論文では、広範な風速に対して定電圧発電を可能とする自励式誘導発電機の電圧制御について述べる。従来、自励発電電圧を制御する方法としては、固定子巻線に供給する進相電流の大きさを回転速度の変化に応じて変える方式が提案されている。しかしながら、それらの多くの方式は、コンデンサの進相電流に対して、遅相電流をサイリスタによるリアクトルの点弧角制御によって供給する方式である。従って、高調波発生の問題と電圧の連続制御が困難であると言う問題があった。

これに対して検討する自励式誘導発電機は、進相電流用コンデンサと研究室で提案開発した磁束制御形可変リアクトルを用いて発電機に供給する無効電力を連続的に制御することにより、発電可能上限風速を従来の3倍程度拡大することができた。この3倍の拡大を発電エネルギーから見ると、約2倍の拡大に相当する。この実験結果は、開発した可変リアクトルを自励式誘導発電機の電圧制御に適用することにより、広範な風速に対して定電圧発電を可能にしたと言える。

今後、大型化した太陽光、風力発電設備を電力系統に連携すると、単に電力潮流の問題だけでなく、系統電圧の変動も引き起こしてしまう問題がある。また、大電力需要家等における急峻な負荷変動は、同一配電線路網に繋がる一般需要家の電圧変動の原因となり、供給する電力の品質を低下させてしまう。

電力の品質とは、①Stability(電圧安定性)、②Reliability(供給信頼性)、③Waveform(電圧、電流波形の良さ)で定義されており、今日の種々の負荷を考えるとより高品質な電力の供給が望ましい。例えば、白熱灯照明負荷に周期的な電圧変動が生じると人間はそれを「ちらつき」として認識する。この電圧変動が 10 Hz 程度になると、人間は最も敏感に反応

して嫌悪することが知られている。

このように電力の高品質化の中で問題となっている電圧変動に対して、種々の調相設備が提案されている。その中で、近年では、アクティブフィルタ (AF) や無効電力発生装置 (SVG : Static Var Generator) 等が広く開発実用化されている。また、この他にパワーエレクトロニクス応用回路として、入力端子から見た回路が等価的にインダクタンスとなるように制御電圧を制御する方式も報告されている。しかしながら、それらの多くは、半導体スイッチを用いたリアクトルの点弧角制御であるため、新たな高調波を発生させ、電力の品質を低下させてしまう。

本論文は、問題となっている電圧変動に対して、開発した磁束制御形可変リアクトルを模擬電力系統に適用した結果、変動する受電端電圧を 10ms 以内に一定に制御できることを確認した。これは、時間変動を伴う太陽光発電、風力発電や大電力需要家における急峻な負荷変動に基づいて生じる電圧変動の問題を解決し、より高品質な電力の供給を可能にすると言える。

以上のように本論文は、磁束制御形可変リアクトルの構成法とその応用例として、「自励式誘導発電機の発電電圧制御」および「模擬電力系統における受電端電圧制御」についてまとめたものである。

国内におけるエネルギー需要の中で電気エネルギーの占める割合は年々増加しており、これに伴い全発電電力の増加が求められている。これに対して火力発電の占める割合は、化石燃料の有限性と原油高に伴い増えているとは言えない。近年では、京都議定書や洞爺湖サミットの例に見られるように、地球環境を考慮した新エネルギーの開発が強く求められている。

今日、太陽光、風力、波力、地熱と言ったいわゆるクリーンエネルギーの開発が行われているが、未だ十分とは言えない。その大きな問題として「希薄 (単位面積当たりの発電電力が小さい)」、「気まま (天候に依存する)」がある。しかしながら、世界的な動向として、太陽光発電と風力発電に対する期待は益々大きくなっている。その中で風力発電における自励式誘導発電機の発電電圧は、誘動機定数と外付けコンデンサ容量ならびに負荷によって定まるため、限られた回転数でのみ発電が可能であった。そこで、一定の回転数を取得するため、風車ブレードのピッチ角制御が行われている。しかしながら、このピッチ角制御は風車が受けた風力エネルギーの一部を逃がしているため風力エネルギーを効率よく回転エネルギーへ変換しているとは言えない。これに対して、風車の回転数変化に依存することなく発電電圧を一定に制御することができれば、今まで逃がしていた風力エネルギーを有効に電気エネルギーに変換できることが可能となり、風力発電のエネルギー変換効率は向上すると考えられる。

本論文では、広範な風速に対して定電圧発電を可能とする自励式誘導発電機の電圧制御について検討している。従来、自励発電電圧を制御する方法としては、固定子巻線に供給する進相電流の大きさを回転速度の変化に応じて変える方式が提案されている。しかしながら、それらの多くの方式は、コンデンサの進相電流に対して、遅相電流をサイリスタによるリアクトルの点弧角制御によって供給する方式である。従って、高調波発生の問題と電圧の連続制御が困難であると言う問題があった。

この問題に対して本論文で提案された自励式誘導発電機は、進相電流用コンデンサと磁束制御形可変リアクトルを用いて発電機に供給する無効電力を連続的に制御することにより、発電可能上限風速を従来の 3 倍程度拡大している。この 3 倍の拡大を発電エネルギーから見ると、約 2 倍の拡大に相当する。この実験結果は、著者たちにより共同開発された可変リアクトルを自励式誘導発電機の電圧制御に適用することにより、広範な風速に対して定電圧発電を可能にしたと言える。

今後、大型化した太陽光、風力発電設備を電力系統に連携すると、単に電力潮流の問題だけでなく、系統電圧の変動も引き起こしてしまう問題がある。また、大電力需要家等における急峻な負荷変動は、同一配線路網に繋がる一般需要家の電圧変動の原因となり、供給する電力の品質を低下させてしまう。電力の品質とは、①Stability (電圧安定性)、②Reliability (供給信頼性)、③Waveform (電圧、電流波形の良さ) で定義されており、今日の種々の負荷を考えるとより高品質な電力の供給が望ましい。例えば、白熱灯照明負荷に周期的な電圧変動が生じると人間はそれを「ちらつき」として認識する。この電圧変動が

10 Hz 程度になると、人間は最も敏感に反応して嫌悪することが知られている。

このように電力の高品質化の中で問題となっている電圧変動に対して、種々の調相設備が提案されている。その中で、近年では、アクティブフィルタや無効電力発生装置等が広く開発実用化されている。しかしながら、それらの多くは、半導体スイッチを用いたリアクトルの点弧角制御であるため、新たな高調波を発生させ、電力の品質を低下させてしまう問題がある。

本論文は、問題となっている電圧変動に対して、開発した磁束制御形可変リアクトルを模擬電力系統に適用した結果、変動する受電端電圧を 10ms 以内に一定に制御できることを確認している。これは、時間変動を伴う太陽光発電、風力発電や大電力需要家における急峻な負荷変動に基づいて生じる電圧変動の問題を解決し、より高品質な電力の供給を可能にすると言える。

以上のように本論文では、磁束制御形可変リアクトルの構成法とその応用例として、「自励式誘導発電機の発電電圧制御」および「模擬電力系統における受電端電圧制御」について検討している。これらの研究内容は、査読付き論文 1 編の他、査読制度のある国際会議プロシーディング 2 編が報告されており、本研究科「課程博士の学位審査に係わる細則」に定める（別表 D2）公表学術論文に関する要件（課程博士）を満たしており、博士（工学）の学位論文に十分値すると判断した。