

一般論文

太陽光発電の大量導入に伴う課題に対応する高機能化パワコンの開発

Development of High Function Power Conditioner Corresponding to the Problem by the Mass Introduction of Photovoltaic Systems

宇田 怜史* 柏原 弘典*
S. Uda H. Kashihara
羽田 儀宏* 西村 莊治*
Y. Hada S. Nishimura
田中 健二**
K. Tanaka

概要

再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）の施行により、国内の太陽光発電の導入が急速に拡大している。しかし、電力の安定供給への影響が懸念され、発電事業者が電力系統への接続を制限される事態が発生している。これに対し、当社は独自の技術で電力系統の安定運用に貢献する高機能化パワコンを開発している。本稿では高機能化の内容と開発状況について報告する。

Synopsis

By the enforcement of Feed-In-Tariff(FIT) system, introduction of the domestic photovoltaic system increases rapidly. However, the influence on steady operation of the electricity is concerned about, and a situation confined the connection to an utilities grid to electric power system occurs. We are developing a new function power conditioner which can solve the problem for that by our unique techniques. We report contents and development status of the high function in this paper.

1. はじめに

再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FIT）が2012年7月より施行され、太陽光発電（以下、PV）が急速に導入されつつある。2014年7月時点で、国内の認定量は70GW程度となっており、国が定めた2030年目標を上回る勢いである。しかし、電力会社によっては接続可能容量の限界に達し、電力の安定供給への影響が懸念される中で、発電事業者が電力系統への接続を制限される事態が発生している。

電力系統の安定運用へ向けた課題は、表1の様に公衆安全と電力品質に関するものであり、PVを導入する発電事業者に系統連系について対策が要求されている。

弊社はこれらの課題の解決を狙って、PV用パワーコンディショナ（以下、パワコン）に課題に対応する機能を搭載して高機能化を進めてきた。本稿ではこれらの技術開発状況について報告する。

表1 PV導入拡大に伴う課題と高機能化パワコンの対応技術

電力系統の安定運用へ向けた課題		発電事業者への要求	高機能化パワコンの対応技術
公衆安全	単独運転の継続による電気災害の防止	「無効電力変動方式」による単独運転検出機能を用いる場合は次の検討が必要 ・電圧フリッカの発生の有無 ・相互干渉による不検出の有無	電圧フリッカの発生と相互干渉による不検出のない「次数間高調波注入方式」の単独運転検出機能を搭載
	一斉解列による広域停電の防止	FRT*機能の搭載 *Fault Ride Through (事故時に運転継続する) ⁽¹⁾	FRT機能を搭載 (製品対応済み)
電力品質	電圧の安定化	力率一定機能の搭載	力率一定機能を搭載 (製品対応済み)
	余剰電力の抑制 (周波数の安定化)	出力抑制機能の搭載 (規制化の見通し)	双方向通信による出力抑制機能を搭載 (経産省補助事業で実証試験中)

* 研究開発本部
** 新エネルギー・環境事業本部

2. 高機能化パワコンの開発

高機能化パワコンとは、PV導入拡大に伴う課題の対策機能を搭載したパワコンを指す。各対策機能及び技術開発状況について以下に解説する。

2.1 単独運転検出機能

パワコンには受動的方式と能動的方式の単独運転検出機能の搭載が義務付けられている。当社のパワコンに搭載している能動的方式の単独運転検出機能は無効電力変動方式である。無効電力変動方式は無効電力を一定周期で変動させ、単独運転時に生じる位相変化を検出する方式のため、複数のパワコンを設置する場合は干渉しないよう、無効電力変動の位相を通信線で同期させる必要がある。しかし、同じ発電所や近隣発電所に他メーカーの同方式の単独運転検出機能を搭載しているパワコンが設置されている場合、通信線が敷設できず相互干渉により単独運転が検出できない可能性がある。また、無効電力を変動させることによってフリッカが発生する。PVの導入拡大により、これらの課題が顕著となってきたことから、対策機能として次数間高調波注入方式の単独運転検出装置（エネリンク）と同等の機能をパワコンに内蔵させる技術開発を進めている。（図1）

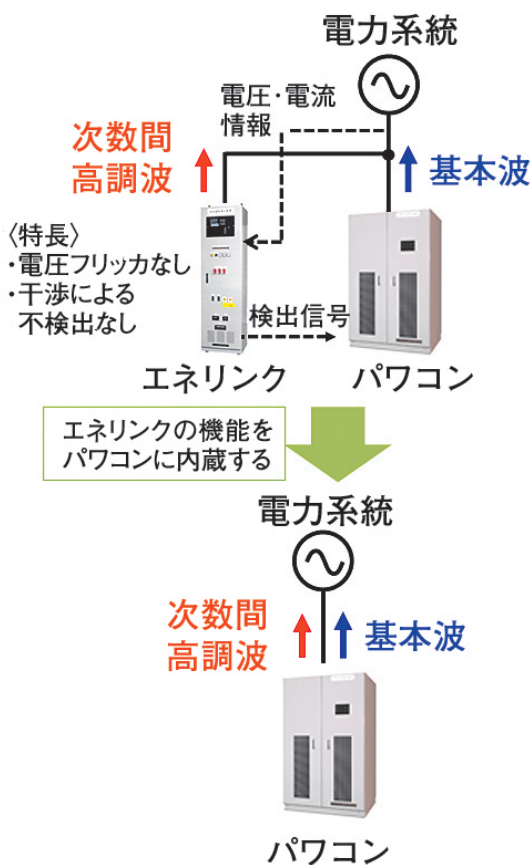


図1 次数間単検のパワコンへの内蔵

2.2 FRT機能⁽²⁾

パワコンは系統側の停電等の異常を検出すると解列する機能を有するが、上位系統に起因する瞬低や周波数変動を検知して一斉解列すると、需要と供給のバランスが崩れて広域停電をまねく可能性がある。よって、これら系統事故時に運転継続するFRT（Fault Ride Through）機能の搭載がパワコンに要求されている。

系統連系規程⁽¹⁾には2014年度からFRT機能の搭載が明記されており、2014年度は暫定の要件が、更に2017年度から正規の要件が適用される。当社は既に100kW、250kW、500kWパワコンに対し、すべて2017年度以降の要求仕様（図2）を満足できるようにしている。

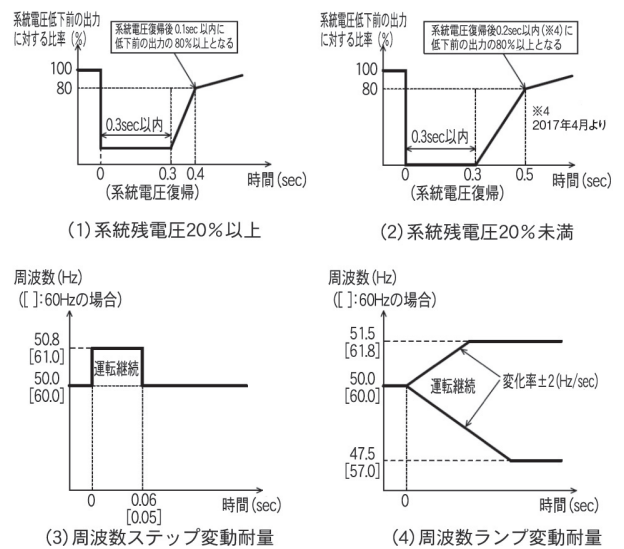


図2 FRT要求仕様（2017年度以降）

2.3 力率一定機能⁽³⁾

系統に太陽光発電を連系し逆潮流すると配電線の電圧が上昇する。図3のように連系点から見た系統側のインピーダンスを $r+jx[\%]$ 、太陽光発電所から系統に逆潮流した有効電力、無効電力をそれぞれ P 、 Q とすると、 $\Delta V=rP-xQ$ として連系点の電圧が上昇する。有効電力 P が大きいか、 r が大きい場合（変電所からの距離が遠い場合等）に電圧上昇が大きくなり、適正電圧を逸脱する可能性がある。これに対し、有効電力 P に応じて $Q=r/x \cdot P$ として、系統側から見て遅れ無効電力（パワコン側から見て進み無効電力）を出力する力率一定機能を搭載した。

2.4 双方向通信による出力抑制機能

PV導入拡大による逆潮流が増えると、電力需要の少ない時期（春・秋）に余剰電力が発生し、電力系統の周波数を変動させることで安定供給に支障を与える可能性がある。最近ではPV設備認定状況について、認定量が管内のピーク需要を上回る地域が出てきてお

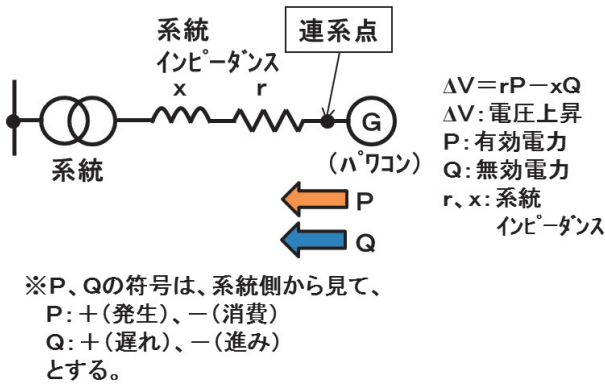


図3 配電線の電圧上昇

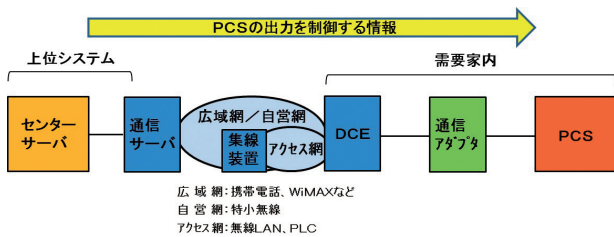


図4 双方向通信による出力抑制機能⁽⁴⁾

り、電力会社が系統への接続を制限する事態が発生している。これに対し、出力抑制機能を搭載すれば個別協議で系統への接続を許可されるケースも出てきており、PV出力の抑制機能のニーズが高まってきている。

これに対し当社は、経産省が主導する国家プロジェクト「次世代型双方向通信出力制御実証事業」(2011～2013年度)にて、双方向通信による出力制御機能を搭載したパワコンを開発し(図4)、フィールド検証において目標通り動作することを確認した。今後の制度化と製品化に向けて迅速に対応できるよう準備を進めている段階である。

3. 単独運転検出機能の高機能化検証

高機能化パワコンに搭載する機能の中で、現在、社内検証を進めている次数間高調波注入方式の単独運転検出機能(以下、次数間単検)について報告する。

3.1 次数間高調波電流注入方法と性能検証

単独運転を検出するための能動信号である次数間高調波電流(以下、次数間電流)を、パワコン内部のインバータを用いて出力する構成とした。(図5)次数間電流指令をパワコン制御部で生成し、基本波電流指令に加算することで基本波に重畳した形で次数間電流を出力させる。

この次数間電流の電力品質への影響について、高調波とフリッカに関する検証試験の結果を以下に報告する。次数間電流を出力した場合のパワコン出力電流の高調波解析結果を示す。(図6、7)次数間電流の周

波数は、エネルギーと同様2～3次の周波数帯を選定した。⁽⁵⁾例として、136Hz(基本波60Hzに対して2.27次)、2%及び10%(基本波定格電流ベース)で出力すると、総合電流歪や近傍の整数次高調波電流歪(例として2次調波)が増加するが、高調波ガイドラインで規制している規制値⁽¹⁾(総合電流歪率:5%、各次電流歪率:3%)を超えないことを確認している。次数間高調波は非整数次の高調波であり、近傍の整数次高調波に分散して重畳するため、各整数次高調波に対して微小な増加にとどまる。次数間電流を出力してもパワコンの基本性能に与える影響が小さいことを確認している。

無効電力変動方式は基本波の無効電力を変動させるため、基本波電圧の振幅・実効値も変動してフリッカが発生する。一方、次数間高調波電流は高調波であり、それによる次数間高調波電圧(以下、次数間電圧)が発生しても基本波電圧の振幅・実効値に与える影響

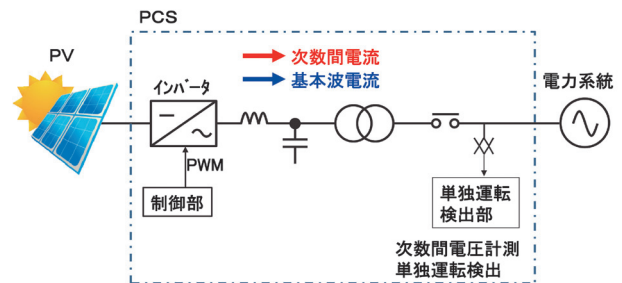


図5 パワコンによる次数間電流注入方式

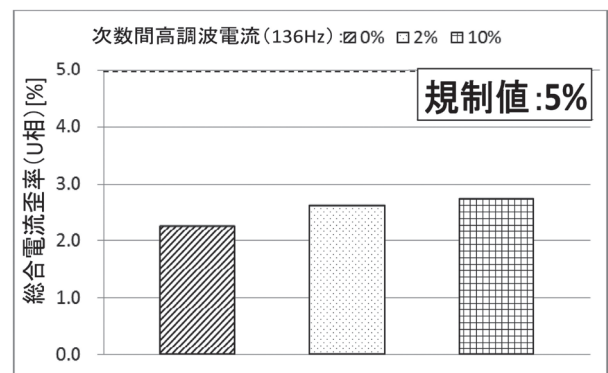


図6 次数間電流出力時の総合電流歪率に与える影響

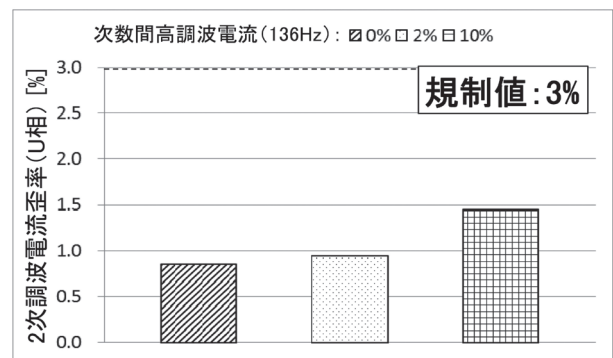


図7 次数間電流出力時の2次調波電流歪率に与える影響

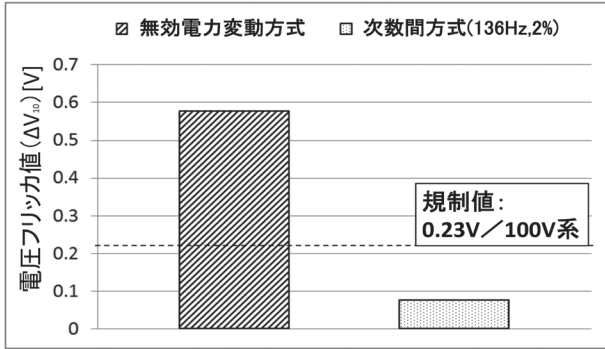


図8 電圧フリッカ値 (ΔV_{10}) の比較結果

が極めて小さいので、フリッカがほとんど発生しない。図8に能動信号として無効電力変動と次数間高調波電流をそれぞれパワコンから出力した場合の電圧フリッカ値 (ΔV_{10}) を比較したものを示す。無効電力変動方式で ΔV_{10} が、系統連系規程で規制されている規制値 (100V系において0.23V) を超えるような系統条件であっても、次数間方式ではこれを下回っていること、更に能動信号を出力しない場合と比較して ΔV_{10} が増加しないことを確認している。

3. 2 単独運転検出方法と性能検証

エネリンクでは高圧系統に注入した次数間電流と、発生した次数間電圧からインピーダンスを計算し、単独運転時の系統側インピーダンスの変化を検出する。(図9) 一方、次数間電流出力機能を内蔵させたパワコンを同じ発電所で複数台連系する場合、パワコンから次数間電流を同期注入する形となる。しかし、個々のパワコンの交流側計測で次数間電流、電圧を見る場合、次数間電流は $I_{m1} \sim I_{m2}$ と計測されるのに対し、次数間電圧は(1)式より V_m を計測する形となる。これにより、連系台数によって次数間電圧 (V_m) が変化するため、直接インピーダンスを求めることが困難である。

$$V_m = (I_{m1} + I_{m2} + \dots + I_{mn}) \cdot Z_m \dots (1)$$

このため、単独運転判定方法をインピーダンスの変化ではなく、 V_m の変化率を見て検出する方法を採用することにした。(図10) 変化率の算出は、次数間電圧の現在値 (V_{m0}) と過去の移動平均値 ($\overline{V_{mi}}$) を用いて、下記 (2) 式で算出することにした。

$$dV_m = \frac{|V_{m0}|}{|\overline{V_{mi}}|} \dots (2)$$

系統連系時は $|V_{m0}|$ と $|\overline{V_{mi}}|$ は同じレベルとなり、 dV_m は1付近の値をとる。一方、単独運転時は V_{m0} の増加に伴い dV_m も増加するので、これをとらえて単独運転を判定する。連系→単独運転時の dV_m はパワコンの連系台数によらず一定なので、判定レベルを容易に決めることができる。

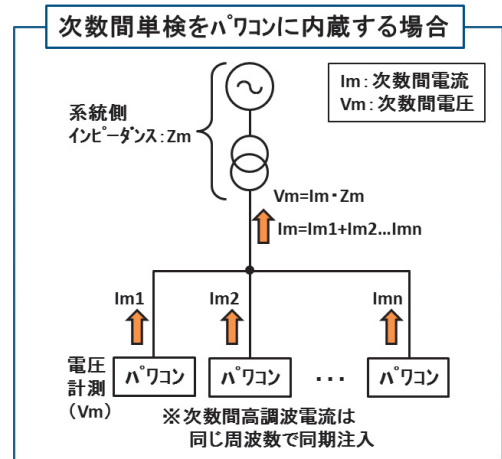
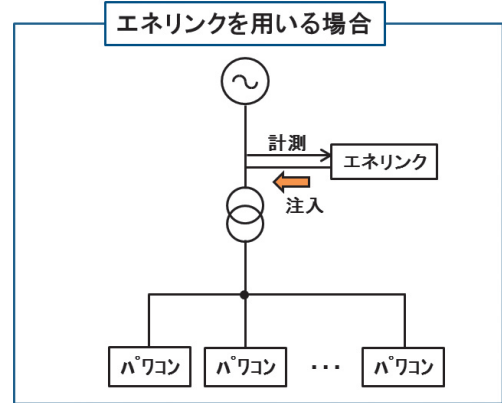


図9 複数台連系時の次数間単検の運用

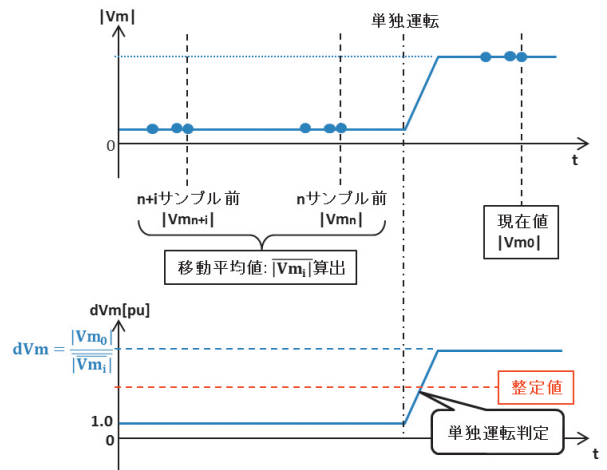
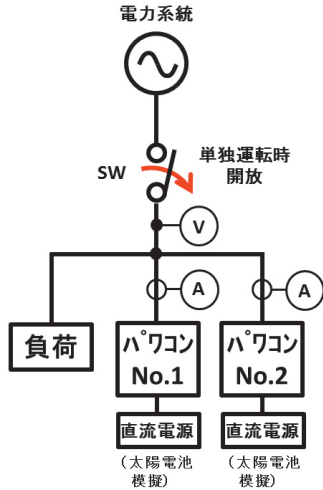


図10 単独運転判定方法

3. 3 相互干渉の検証試験

本方式の相互干渉の有無を検証するための検証回路を図11に示す。受電点においてパワコン出力電力と負荷電力を等しくさせた状態で、遮断器 (SW) を開放することで単独運転を模擬した。検証内容は表2のように、2台の検証用パワコンに無効電力変動方式及び次数間高調波注入方式のいずれかを搭載し、相互干渉の有無を評価している。評価の方法は図12のように、遮断器



SW:開閉器 V:電圧計 A:電流計

図11 相互干渉の検証回路

表2 検証内容一覧

検証ケース	パワコン No.1 能動的な方式	パワコン No.2 能動的な方式
1	無効電力変動方式	無効電力変動方式
2	次数間高調波注入方式(136Hz)	次数間高調波注入方式(138Hz)
3	次数間高調波注入方式(136Hz)	無効電力変動方式

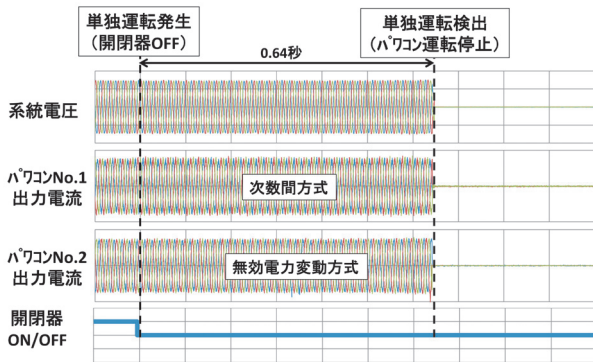


図12 検証結果例（ケース3）

の開放時間とパワコンの停止時間（出力電流が無くなる時間）の時間差を計測し、連系規程⁽¹⁾で定めている0.5～1.0秒の時間範囲に入っているか確認した。より正確に評価するため、ケースあたりの検証回数を複数回（5回）実施して評価している。単独運転時からのパワコン1、2の停止時間をグラフにしたものを図13～15に示す。

検証ケース1の結果：無効電力変動方式同士の場合、複数回検証の中で検出しないケースがあることを確認した。この時のパワコン両者の無効電力変動の位相差は140～180°となっており、干渉が発生して両者の無効電力変動を打ち消しあうことにより、単独運転を検出しないことを確認した。

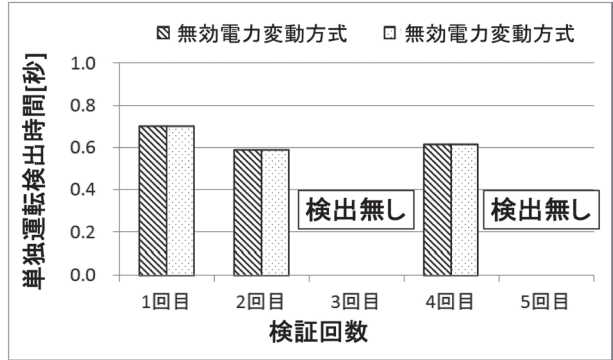


図13 検証ケース1の結果

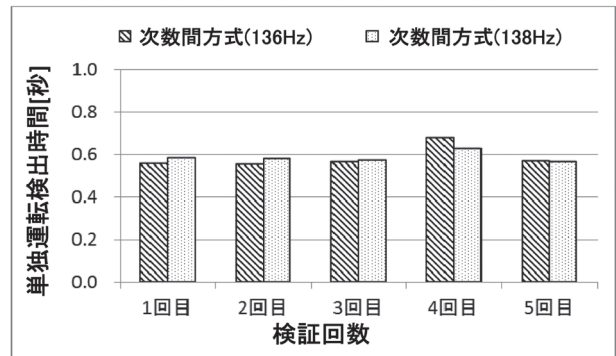


図14 検証ケース2の結果

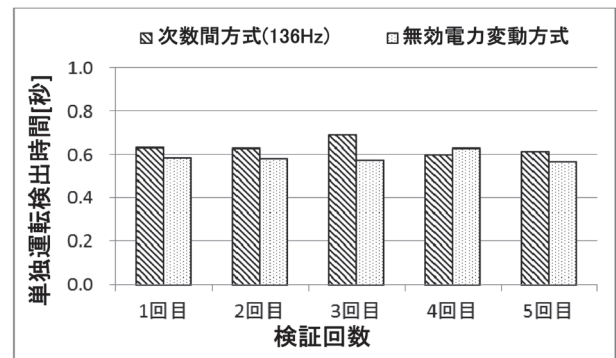


図15 検証ケース3の結果

検証ケース2の結果：次数間高調波注入方式同士の場合、5回の検証結果すべて0.5～1.0秒の範囲内でパワコンが停止した。両者違う周波数で注入することにより、干渉せずに単独運転を確実に検出することを確認した。

検証ケース3の結果：次数間高調波注入方式と無効電力変動方式の組み合わせの場合、すべて0.5～1.0秒の範囲内でパワコンが停止した。無効電力変動と次数間高調波電流は周波数が異なるため、干渉することなく確実に単独運転検出することを確認した。

検証ケース1～3の結果より、次数間単検を内蔵したパワコンを系統連系しても、同方式及び他方式（無効電力変動方式）に対して互いに干渉することなく、確実に単独運転検出することを確認した。

4. まとめ

本稿では、PV大量導入に伴う電力系統の安定運用へ向けた課題の解決を狙ったパワコンの高機能化技術の紹介と、製品化・技術開発状況について報告した。特に次数間単検について、フリッカや相互干渉が発生しないことを実機を用いて確認した。今後PV大量導入に対応すべく、100kW・250kW・500kWパワコンの高機能化を進めていく予定である。

(注)「エネリンク」は日新電機株式会社の登録商標です。

参考文献

- (1) 日本電気協会「系統連系規程 JEAC 9701-2012」(2012)
- (2) 山田、長瀬 他「太陽光発電用パワーコンディショナ (SOLARPACK) のシリーズ化」、日新電機技報 Vol.59 No.2, pp.15-21 (2014)
- (3) 後藤、井筒「太陽光発電システム導入拡大と顕在化する技術課題」、日新電機技報 Vol.59 No.2, pp.9-14 (2014)
- (4) 本林「次世代型双方向通信出力制御実証事業における通信仕様」、電気学会電気電子・情報・システム部門大会 (2012)
- (5) 山本、西村 他「分散電源の単独運転検出装置の開発—次数間高調波注入方式—」、pp.946-947、電気設備学会誌 平成16年12月号 (2004)
- (6) 柏原、宇田 他「太陽光発電用パワーコンディショナの次数間高調波注入による単独運転検出機能の検証」、平成27年電気学会全国大会 (2015)

執筆者紹介



宇田 怜史 Satoshi Uda
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部
制御開発グループ



柏原 弘典 Hironori Kashihara
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部
制御開発グループ



羽田 儀宏 Yoshihiro Hada
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部
制御開発グループ長



西村 荘治 Shoji Nishimura
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部 技師長
博士(工学)



田中 健二 Kenji Tanaka
新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
設計部 主幹