

大容量パワーコンディショナの開発

Development of Power Conditioner for Large Scale Photovoltaic Power Plant

辻本 賢次※
Kenji Tsujimoto
水野 秀則※
Hidenori Mizuno
白井 伸明※
Nobuaki Shirai
青山 浩二※
Kouji Aoyama
神部 晃※
Akira Kanbe

1. はじめに

地球温暖化防止のため、太陽光や風力といった自然エネルギーや燃料電池を利用した発電システムの導入が世界的に進められている。日本政府は、太陽光発電を2020年までに2,800万kW、2030年までには5,300万kW導入する目標を掲げている。これを受けて電力会社を中心として、数MW級の大規模太陽光発電設備の導入が進められている。

当社は、平成3年から太陽光発電用のパワーコンディショナ(以下、パワコン)の開発に取り組んできている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。また、燃料電池用のパワコン開発も行なっている⁽⁴⁾。以上のように、当社は、各種パワコンを開発していたが、単体の出力は50kWが最大であった。

今回、大規模太陽光発電設備に対応するため、250kW出力の大容量パワコンの開発を行なった。

本稿では、今回開発した250kWパワコン(以下、開発品)の概要と、効率向上を図るための技術、および大容量のパワコンに要求されるFRT(Fault Ride Through: 系統擾乱発生時のパワコンの不要解列防止)機能を実現するための基礎技術開発について紹介する。

2. 開発品の概要

2.1 仕様

開発品の仕様を表1に、その外観を図1に示す。仕様面の特徴は、屋外仕様(塩害・砂塵対策仕様)としたことと、系統連系規程⁽⁵⁾の力率下限値0.85の場合にも250kW出力が可能なことである。

屋外仕様としたことでパワコンを収納する建物が不要となる。また、塩害・砂塵対策を施したことで、海岸沿いや砂漠地帯などにもそのまま設置可能である。

出力に関しては、当社では従来から力率0.85においても定格出力可能な仕様としている。パワコンの系統電圧上昇抑制機能により進相無効電力を出力している場合でも、太陽電池が発電した電力を最大限取出せるようにするためである。そのため今回は、力率0.85の場合にも250kW出力が可能で、容量は294kVAとしている。

表1 パワコンの仕様

項目	仕様	
直流入力	定格電圧	DC 360 V
	許容電圧	DC 580 V
	運転電圧範囲	DC 290 ~ 540 V
交流出力	電気方式	三相3線式
	定格電圧	AC 420 V
	定格周波数	50 / 60 Hz
	定格出力	250 kW (最大容量294kVA(力率0.85))
	電力変換効率	94.0%以上(最大) ただし、クーラーの消費電力(4.4kW)を除く
	力率	系統電圧上昇抑制機能動作時 : 0.85以上 系統電圧上昇抑制機能不動作時 : 0.95以上
	電流歪率	5%以下
	電流高調波含有率	各次3%以下
	絶縁方式	商用周波絶縁トランス方式
寸法	2200 mm(W) × 2550 mm(H) × 1670 mm(D)	
質量	2900 kg	
周温	-10 ~ 40 °C	
設置場所	屋外(塩害・砂塵対策仕様)	



図1 パワコンの外観

※ 電力事業部 環境エネルギー技術部 パワエレG

2.2 回路構成

開発品の回路構成を図2に示す。太陽電池が発電した直流電力を交流電力に変換するインバータには、スイッチング素子を並列使用して大容量化したフルブリッジインバータを使用している。スイッチング素子には大容量で高速スイッチングが可能なIGBT(Insulated Gate Bipolar Transister)を採用している。スイッチングによって発生する出力電圧の高周波成分を除去するフィルタを、新規開発した絶縁トランスの漏れインダクタンスとコンデンサで構成し、高周波リアクトルを省略することで効率向上とコストダウンを図った。

制御部は、パワコンの運転制御や、太陽電池の発電電力を最大限引き出すPmax制御、インバータの出力電流制御(ロバスト瞬時出力電流制御)を行なう。また、系統連系に必要な保護リレーを搭載している。

3. 大容量化・高効率化技術

3.1 大容量化

開発品では、1アームあたり3個のIGBTを並列接続して大容量化している。各IGBTに流れる電流を均等化するために、IGBTの配置を検討し、並列接続する各配線のインピーダンスと、配線に錯交する磁界が極力均等となるよ

うな構造にしている。

IGBTの電流分担特性の測定結果を図3に示す。図に示すように、電流分担のバラツキは定常状態では平均電流値482Aに対して、最大510A(+5.8%)、最小460A(-4.6%)となっており、電流アンバランスの設計許容値±18%に対して十分な余裕がある。また、ターンオンおよびターンの瞬間の電流分担のバラツキも±12%以下となっていることを確認している。

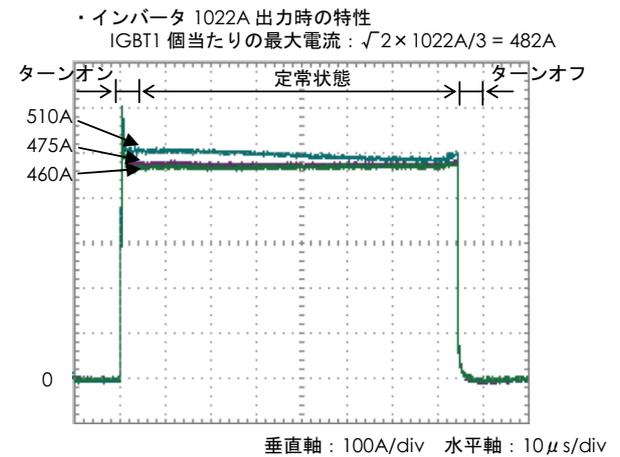


図3 IGBT電流分担測定結果(IGBT電流波形)

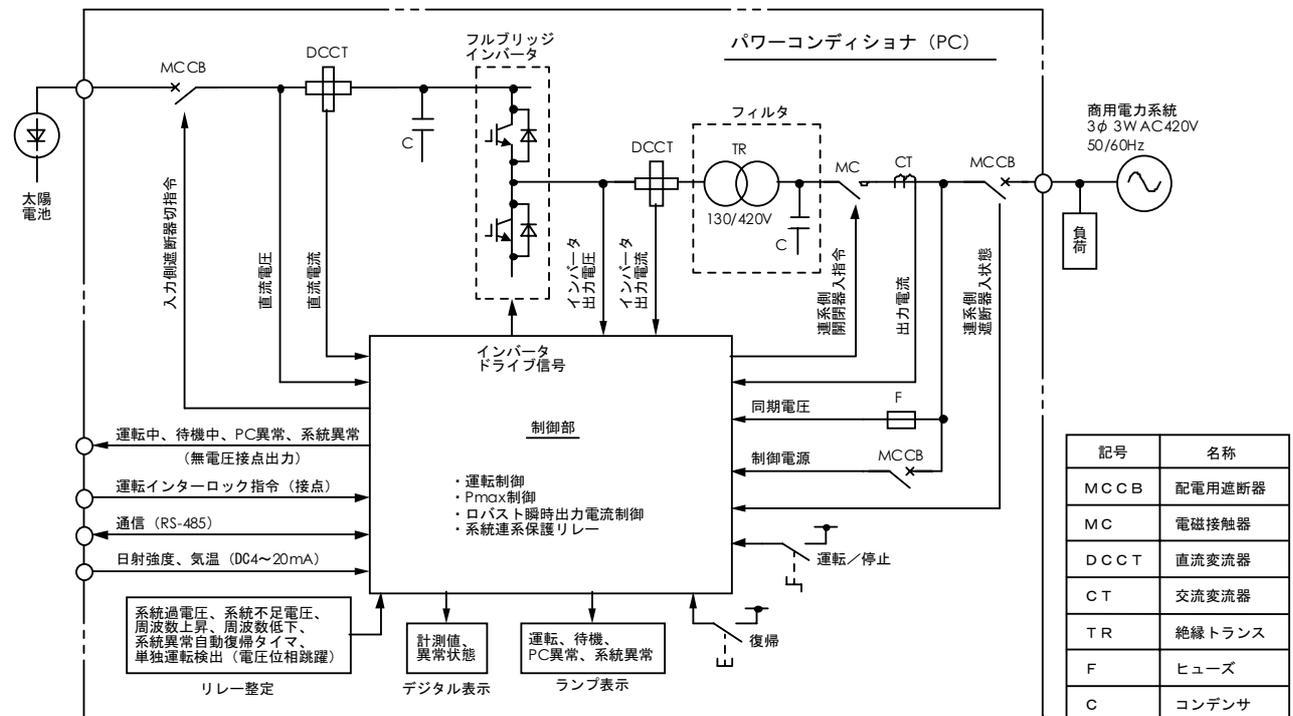


図2 パワコンの回路構成

3.2 パワコンの高効率化

従来構成のフィルタ回路を図4に、新たに開発した絶縁トランスを用いて構成したフィルタ回路を図5に示す。

これまで当社のパワコンは、インバータの出力電圧に含まれる高周波成分を除去するフィルタ(高周波リアクトルとコンデンサ)と、商用周波絶縁トランスを設置して電力系統と連系していた。この方式では、高周波リアクトルに大きな損失が発生し、高効率化の妨げとなっていた。

そこで、高周波リアクトルを省略し損失を低減する方策を検討し、絶縁トランスの漏れインダクタンスをフィルタとして積極的に利用する方式を採用した。開発した絶縁トランスの漏れインダクタンスは、インバータ側の巻線を系統側の巻線の外側に必要間隔だけ離して巻くことにより、インバータ側に集中するような構造にしている。

開発品のフィルタ回路では、インバータの出力電圧に含まれる高周波成分は絶縁トランスの漏れインダクタンスに印加される。漏れインダクタンスをインバータ側に集中させているので、高周波成分はインバータ側の漏れインダクタンスに加わることになる。その結果、トランスの鉄心を励磁する電圧の高周波成分が、高周波リアクトルの場合と比較して小さくなり、鉄損を削減することができる。これにより、トランスの鉄心材料を、高周波リアクトルに使用するような高周波特性の良い高価な珪素鋼板ではなく、従来のトランスと同等の廉価な物とすることができると同時に、効率を向上させることができる。

新たな絶縁トランスの採用により、パワコンの効率は1%向上した。

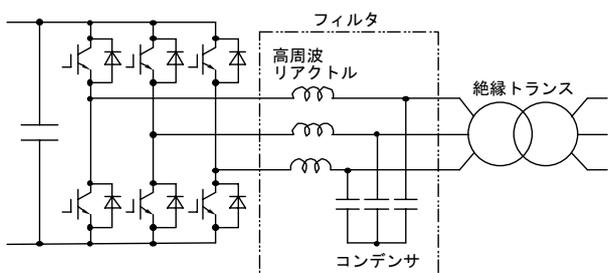


図4 従来のフィルタ回路

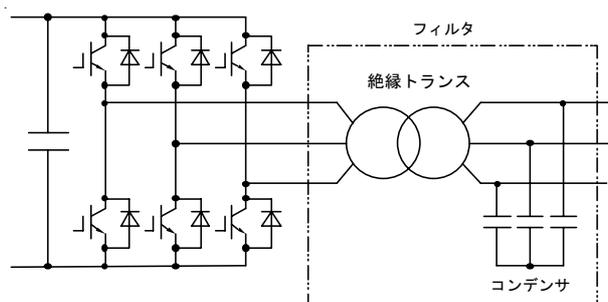


図5 開発品のフィルタ回路

3.3 システムの高効率化

従来、採用されている屋内仕様パワコンを屋外で使用する場合は、屋外盤に収納する必要があるが、コストがかなりアップする。また、パワコンの発熱を屋外盤の外に放出するための換気設備が消費する電力によって、システム効率が低下していた。特に、大規模太陽光発電設備では海岸沿いに設置される場合が多く、パワコンの塩害・砂塵防止のために屋外盤を密閉構造にする必要がある。この場合、クーラーなどの特殊な冷却設備を使用するため、システム全体の効率はさらに低下していた。

その結果、例えば図6に示した従来方式では、屋内仕様のパワコンの効率が94.0%であっても、密閉屋外盤に収納してクーラーを取り付けると、クーラーの消費電力を含めたシステム効率は91.0%に低下する。

このような効率の低下を防ぐため、開発品は、筐体を屋外仕様(塩害・砂塵対策仕様)とするとともに、パワコンのスイッチング素子の発熱をヒートパイプ式冷却器を用いて直接盤外へ放出する方式を採用した。

今回採用した方式を図7に示す。ヒートパイプ式冷却器を用いてスイッチング素子の発熱を直接盤外へ放出することにより、クーラー設置台数が2台から1台となり、その消費電力も約半分となった(ヒートパイプ式冷却器での電力消費はない)。その結果、図7に示した例では、効率は92.5%となり、図6の方式よりも1.5%効率が向上する。

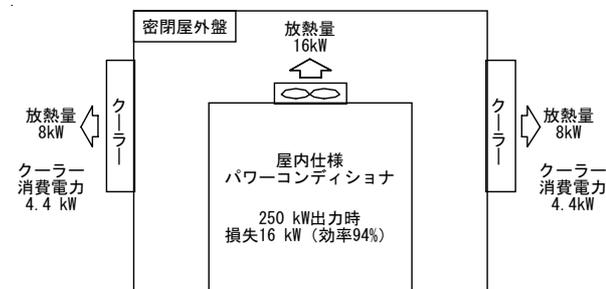


図6 屋外設置方法1(従来方式)

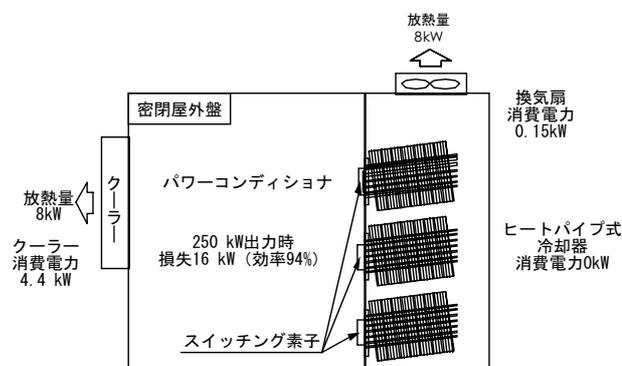


図7 屋外設置方法2(開発方式)

4. FRT 機能実現のための基礎技術

4.1 太陽光発電大量導入時の問題点

太陽光発電や風力発電といった自然エネルギーを利用した発電設備は、日射量や風速などの気象条件によって出力が大きく変動する。このような出力が不安定な発電設備が大量に電力系統に連系するようになった場合、系統の電圧変動や周波数変動が大きくなり、これらの適正な維持が困難になってくる。また、落雷などの事故により系統電圧が瞬時低下した場合、上記のような発電設備が一斉に系統から解列して電力の需給バランスが崩れ、電力系統に不安定現象を引き起こす恐れがある。そして、最悪の場合には広域停電へと拡大波及することが懸念される。

このように、太陽光発電などが大量導入された場合に懸念される問題点を表2に示す。これらの問題に対応するため、現在、大容量パワコンに要求される機能として、系統電力系統へ及ぼす影響をできるだけ小さくし、系統の安定化を図る機能(安定化機能)が、電力会社および各メーカーを中心に検討されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

今回、系統安定化機能の中のFRT機能を実現するための基礎技術開発を行なった。

表2 太陽光発電など大量導入時の問題点

No.	問題点	内容
1	電圧上昇	太陽光発電などからの逆潮流により配電線の電圧が上昇し、規定電圧を逸脱する。
2	電圧変動	風速や日射量の変動により風力発電や太陽光発電の出力が大きく変動する。その結果、系統に大きな電圧変動が発生する。
3	周波数変動	風力発電や太陽光発電の出力が大きく変動すると、系統周波数も変動する。
4	単独運転検出リレーの誤不動作	能動型検出装置の相互干渉などにより、検出感度が低下し単独運転が検出できなくなる。
5	系統擾乱時の一斉解列	系統擾乱により太陽光発電などが一斉解列した場合、電力需給バランスが崩れ電力系統に不安定現象を招く恐れがある。

4.2 FRT(Fault Ride Through)機能

他系統の事故などにより瞬時的な電圧低下や周波数変動が発生すると、系統連系保護機能によりパワコンが一斉解列し、電力系統に不安定現象を招く恐れがある(表2 No.5項)。このため、系統運用上想定される系統擾乱発生時にも解列せずにできるだけ運転を継続する機能(FRT機能)が、大規模太陽光発電設備に使用されるパワコンに要求される。

FRT機能を実現するためには、想定される電圧変動や周波数変動、位相変動の各変動要素に対応した運転継続技

術が必要となる。現在のところ、各メーカーで電圧低下時に運転継続する機能の検討が行なわれており、開発品ではこのための基礎技術開発を行なった。

特に、電圧が大幅に低下する瞬時電圧低下(以下、瞬低)時に出力過電流が発生するため、これを抑制する技術が運転継続する上で重要となる。

4.3 瞬低時の出力過電流抑制

系統電圧の電圧低下率とパワコンが運転を継続しなければならない時間が提案されている(図8)⁽⁶⁾。電圧低下時に、パワコンは、過電流が発生しないように出力電流を制御して運転継続する必要がある。

出力電流制御系の応答が速く、系統電圧変動という外乱に対するロバスト性能が高ければ、パワコンの出力電流はほとんど変化することなく、瞬低発生前と同じ電流を流す。したがって、パワコンの出力電流制御系の応答速度を高速化して系統電圧変動に対するロバスト性能を向上させている。

具体的には、出力電流制御周期を80 μ sから40 μ sに短縮し、処理速度を従来との2倍に高速化した。

シミュレーションにて瞬低時の出力電流の変化を確認した。従来のもので比較した結果を図9に示す。これは、3相共に、電圧低下率100%の瞬低を発生させた場合の結果で、電流ピーク値が定格の154%→140%に抑制できていることがわかる。時間的にも2ms程度で過電流が収まっている。この結果から、当社のパワコンは、電圧低下率100%という過酷な瞬低時にも系統から解列することなく運転を継続し、電力系統に不安定現象を発生させない見通しを得た。

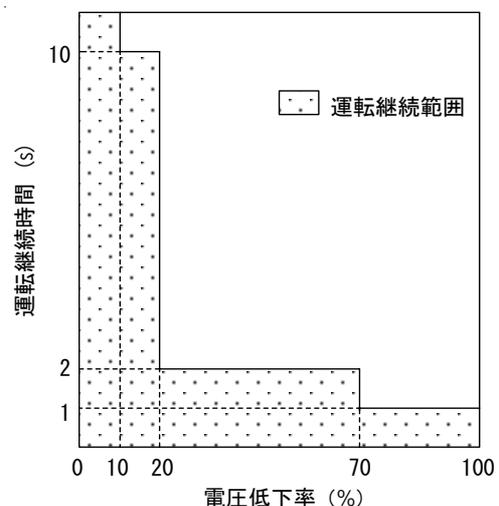


図8 電圧低下に対する運転継続範囲

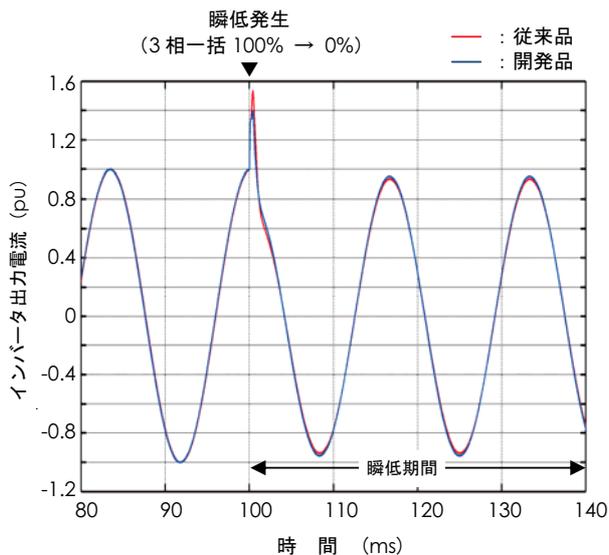


図9 瞬低シミュレーション結果(1相分)

5. あとがき

今回、大規模太陽光発電設備に対応するため、250kW出力の大容量パワコンの開発を行なった。パワコンの効率は、今回の効率向上策により94.0%と向上したが、さらなる向上が必要である。FRT機能に関しては、系統電圧低下時に運転継続可能な見通しが立ち、現在、周波数変動や位相変動時の運転継続技術について検討を進めている。

平成21年度から当社は、ソーラープロジェクト推進チームを立ち上げ、大規模太陽光発電設備の受注体制を強化した。

このチームの下、パワコンの効率向上とコスト低減を図るとともに、太陽光発電が電力系統へ大量導入された場合に懸念される諸問題に対応する機能を付加した、電力系統にやさしいパワコンの提供を図っていく予定である。

最後に、本機の開発に御協力いただいた関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) 佐藤、神部、他：「太陽光発電用インバータ(PVI)の開発」愛知電機技報No.14(1993)
- (2) 神部、桑原、他：「10kW PVインバータの開発」愛知電機技報No.17(1996)
- (3) 桑原、若松、他：「独立型ハイブリッド発電システム」愛知電機技報No.27(2006)
- (4) 神部、桑原、他：「燃料電池用パワーコンディショナーの開発」愛知電機技報No.27(2006)
- (5) 日本電気協会系統連系専門部会 編：『系統連系規程』JEAC 9701-2010(オーム社 2010)29-30

(6) 草川、加藤、他：「メガソーラーに用いる大容量パワーコンディショナーに付加する系統安定化機能の検討」電気学会保護リレーシステム研究会資料PPR-09-35(2009)

(7) 三村、相原、他：「大規模太陽光発電システムの開発」日立評論 Vol.91, No.3(2009)

最近登録された愛知出願

特許

特許番号	名称	発明者	共有権利者
4565949	粉粒体搬送装置	大嶋 昭彦	
4588466	電子キー及びこれを用いた電池駆動式電気錠	佐藤 秀隆 伊藤 康裕 他社発明者 他社発明者	美和ロック株式会社
4596828	巻鉄心の製造装置	鈴木 康夫 椎名 卓	
4625170	シャッターの昇降回数計数装置	山田 隆男 他社発明者	東洋シャッター株式会社
4629380	高温加熱混合機のヒータ通電制御方法	大嶋 昭彦 他社発明者 他社発明者 他社発明者	中部電力株式会社

最近公開された愛知出願

特許

公開番号	名称	発明者	共同出願人
2010-8175	油中ガスの分析方法及び分析装置	宮島 極	
2010-85299	吸湿剤の寿命推定方法	宮島 極	
2010-104104	超伝導コイル電源システム	青山 浩二 水野 秀則	
2010-115083	超伝導コイル電源システム	青山 浩二 水野 秀則	
2010-125241	暖房便座	松井 正顯 山崎 周一 安田 徹	
2010-129595	地上設置形変圧器装置	横地 智宏 他社発明者 他社発明者 他社発明者 他社発明者	中部電力株式会社 株式会社ダイヘン
2010-172836	吸湿剤乾燥装置および吸湿剤乾燥方法	宮島 極	
2010-207671	有機塩素化合物を含有した難分解性廃液の処理装置	田中 良	