

大容量太陽光パワーコンディショナ の高性能化

辻本 賢次※
Kenji Tsujimoto
河合 俊哉※
Toshiya Kawai
高木 俊明※
Toshiaki Takagi

水野 秀則※
Hidenori Mizuno
白井 伸明※
Nobuaki Shirai
桑原 祐※
Tasuku Kuwahara

Upgrade of Power Conditioner for large Scale Photovoltaic Power Plant

1. はじめに

地球温暖化防止のため、新エネルギーの導入が世界規模で加速的に進んでいる。また、日本では東北地方太平洋沖地震を契機に日射があれば発電できる太陽光発電が注目を集めている。

近年の我が国における太陽光発電導入の特徴は、発電容量が数MWに達するいわゆるメガソーラと呼ばれる大規模設備が増えている点にある。この設備に使用されるパワーコンディショナ(以下、パワコン)は、大容量でかつ、従来の家庭用パワコンにはない性能が要求される。このため、当社では昨年度に250 kWパワコンを開発した⁽¹⁾。このパワコンは、当社従来機に比べ、大容量化と変換効率を向上させ、またFRT(Fault Ride Through: 系統擾乱時のパワコン不要解列防止)機能などを搭載している。

本稿では、今年度開発した100 kW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、および系統電圧上昇対策となる無効電力出力機能について紹介する。

スの高周波損失が減少する。また、3レベルインバータの中性点クランプ用スイッチにはRB-IGBT(Reverse-Block-IGBT: 逆阻止IGBT)で構成した双方向スイッチを採用し、更なる低損失化を図った。

表1 パワコンの仕様

項目		仕様
直流 入力	定格/許容電圧	DC 350 V / DC 600 V
	運転電圧範囲	DC 320 ~ 600 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	100 kW (最大容量118 kVA(力率0.85))
	最大変換効率	95.0 % 以上
	力率	系統電圧上昇抑制機能 動作時: 0.85 以上 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		1200 mm(W) 2200 mm(H) 900 mm(D)
質量		1500 kg
周温		-10 ~ 40 °C
設置場所		屋内

2. 開発品の概要

2.1 仕様

開発品の仕様を表1に、その外観図を図1に示す。

当社従来品に比べ、変換効率を従来機から1ポイント上昇させ95%以上とした。また、今後太陽光の大量導入で重要な問題となる系統電圧の上昇を抑制する無効電力出力機能を重要視し、パワコン出力力率0.85においてを定格100 kWが出力可能である。このため、力率0.85まで太陽電池が発電した電力を出力制限することなく系統電圧上昇を抑制できる。

2.2 インバータ回路方式

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、NPC(Neutral Point Clamp)3レベルインバータを採用した。インバータの入力電圧(直流)を V_{cc} とすると、従来のインバータ(2レベル)の出力電圧は $+V_{cc}$ と $-V_{cc}$ の2値であったが、3レベルインバータは $+V_{cc}$ 、0、 $-V_{cc}$ の3値となる。そのため、きめ細かい制御が可能となると同時に、フィルタに印加される高周波電圧が軽減され、リアクトルやトラン



図1 外観図

※ 電力事業部 環境エネルギー技術部 パワエレG

2.3 出力制御方式

パワコンの制御部には様々な機能が搭載されている(図2制御部参照)。この中でパワコンが出力する電流をコントロールする出力電流制御には、ロバスト電流制御を採用し、出力電流の低歪化などに効果を発揮している⁽²⁾。

今回、この制御に出力電圧制御を追加し、性能向上を図った(図3)。

パワコンは、出力電流の瞬時値を制御しているため、定電流源として動作している。系統が正常な場合、パワコンの出力電圧は、連系インピーダンス(パワコンと系統間の

インピーダンス)で発生する電圧を系統電圧に加えた電圧に等しくなっている。系統が停止した場合パワコンの出力電圧は、パワコンの出力電流と接続されている負荷によって決まる(図4)。すなわち、負荷のインピーダンスが非常に高い場合(軽負荷時)はパワコンの出力電圧は高くなり、負荷に過電圧が印加される。開発品ではこの現象を防ぐため、パワコンの出力電圧が過電圧とならないよう制御している。また、この制御により、インバータの入出力伝達特性の非線形性やゲイン変動を補正することができるため、出力電流の歪みが軽減できる。

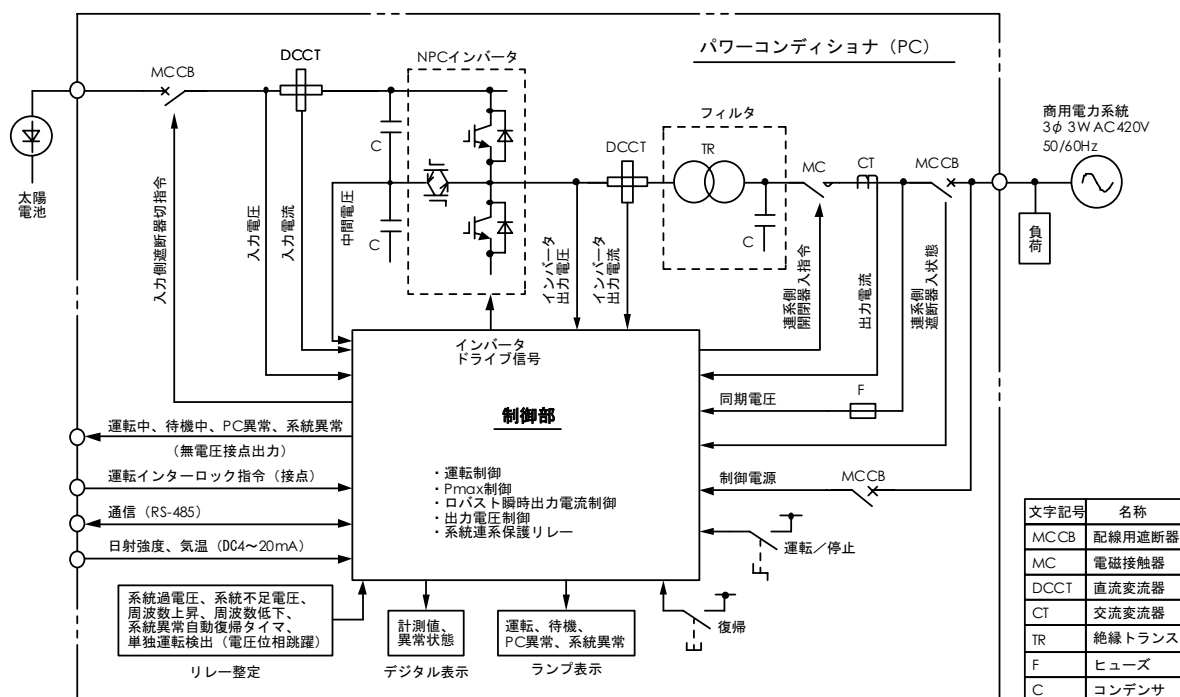


図2 回路構成

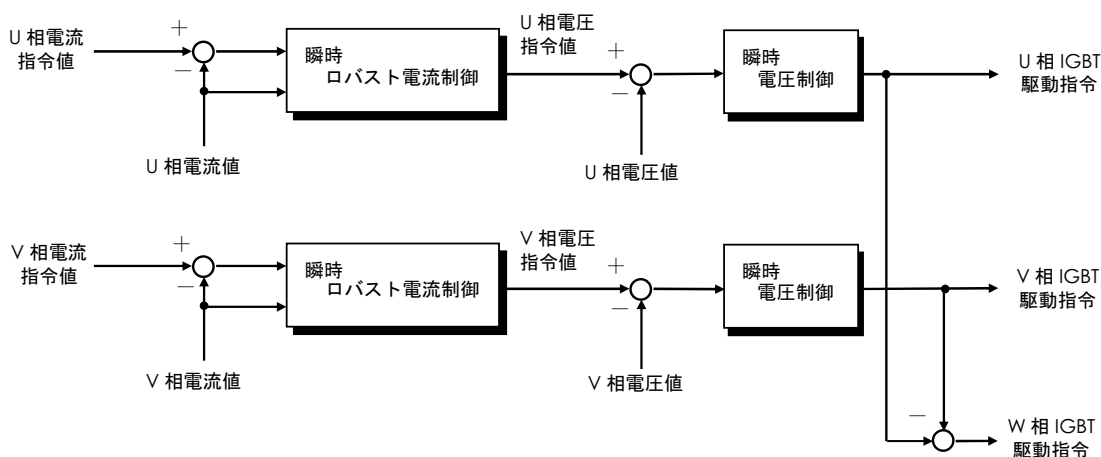


図3 電流・電圧制御ブロック図

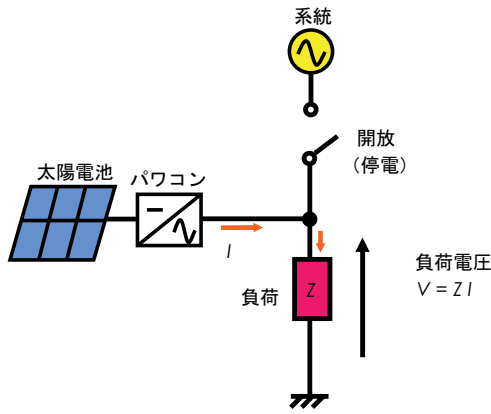


図4 停電時の負荷電圧

3. インバータの高効率化

3.1 従来方式の問題点

従来、当社のパワコンのインバータには2レベルインバータを用いていた。この回路構成(1相分)と出力電圧波形、商用周波電圧波形を図5に示す。この回路の出力電圧は、 $+V_{cc}$ と $-V_{cc}$ の2つのレベルになる。出力電圧が2値のため、高周波成分が大きく、フィルタに使用するリアクトルなどの高周波漂遊損失や、コンデンサの高周波電流が大きくなり、フィルタが大型化していた。

また、IGBT(スイッチング素子)をスイッチング(オンからオフ、オフからオンへの状態遷移)させる時にIGBTの電圧変化が $2V_{cc}$ となり、スイッチング損失が大きくなる。

この方式は、構成が単純で1相分あたりのIGBTは2個で済み、部品点数が少ないという利点を持つため、汎用インバータやパワコンに採用されている。しかし、高効率化は難しい方式である。

3.2 3レベルインバータの特長

3レベルインバータは、1相分あたりIGBTを4個使用する。回路構成(1相分)と出力電圧波形、商用周波電圧波形を図6に示す。この回路の出力電圧は、 $+V_{cc}$ 、0、 $-V_{cc}$ の3つのレベルになり、きめ細かい電圧調整が可能である。

出力電圧の高周波成分の振幅は、2レベルインバータでは、 $2V_{cc}$ であるが(図5)、3レベルインバータでは V_{cc} となり小さくなるため(図6)、フィルタが小型化できる。また、フィルタの損失が減るため、効率が向上できる。

3レベルインバータは、IGBTをスイッチングさせる時にIGBTの電圧変化が V_{cc} となり、2レベルインバータの半分となるため、スイッチング損失が減少する。また、中性点クランプ用双方向スイッチにRB-IGBTを採用することで、従来の双方向スイッチにIGBTを用いた場合と比べ

電流が流れる半導体の数を減らすことができる。これによりオン損失を約1/2に低減できる。双方向スイッチにRB-IGBTを用いた場合とIGBTを用いた場合の中性点クランプ用双方向スイッチの構成を図7に示す。

これらによりインバータ全体の損失を、2レベルインバータよりも減少させ、開発品の変換効率を向上させた。

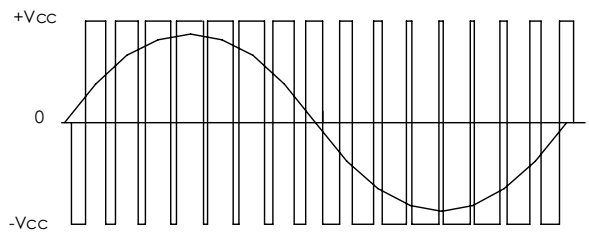
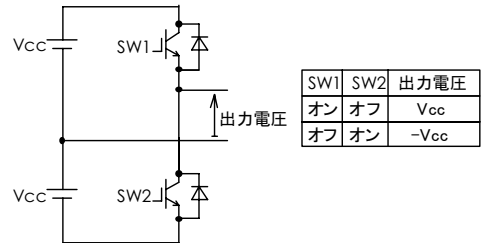


図5 2レベルインバータ

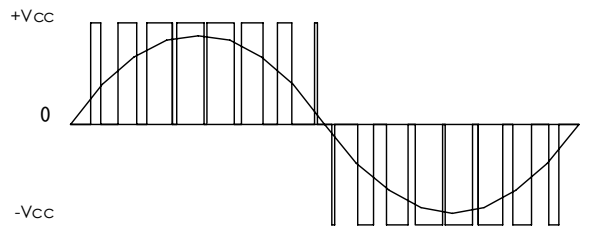
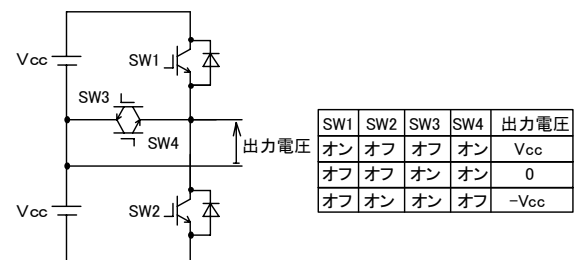


図6 3レベルインバータ

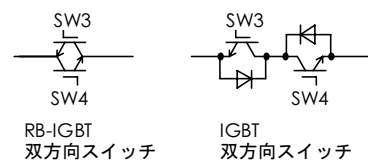


図7 中性点クランプ用双方向スイッチの構成

4. 無効電力出力機能

4.1 本機能の必要性

パソコンは、太陽電池が発電した電力を系統に逆流(逆潮流)させる。通常パソコンは、有効電力のみを出力するよう系統電圧と同位相(力率1)の電流を出力する。このため、出力電流が大きくなると連系点の電圧は上昇してしまう。今後、太陽光発電の導入が進むと更に逆潮流が増加し、系統の電圧が上昇する。

この対策として、パソコンには無効電力出力機能が搭載されている。当社は、大容量の太陽光発電設備ではこの機能が非常に重要になると考えている。パソコンが無効電力を出力することで、系統の電圧上昇を抑制できる。しかし、パソコンの出力容量が不十分な場合は、有効電力を絞って無効電力を出力せざるを得ない。したがって、太陽電池の発電電力を最大限有効活用するために、パソコンの設置台数を増加させなければならない。たとえば、500kWの太陽電池に100kWパソコンを組み合わせて太陽光設備を構成した際に、パソコン最大出力容量が100kVAであるとすると、電圧上昇対策として系統連系規定⁽³⁾の力率下限値0.85まで無効電力を出力するためには、出力容量が589kVA(500kW÷0.85)必要となり100kW機が6台必要となる(図8)。

当社の100kWパソコンはパソコン5台で有効電力を100%出力させながら無効電力を力率0.85まで出力できる(図9)。したがって、当社製パソコンの設置台数は太陽電池の発電電力のみを考慮すればよい。

4.2 本機能の効果

太陽光発電を連系した時の電圧変動に対する無効電力出力制御の効果を把握するため、当社で開発した配電線電圧計算プログラムを使用し、シミュレーションを行った。

シミュレーションは図10に示す系統モデルで行い、無効電力制御を行った場合と行わなかった場合の比較をした。

この系統は総延長14km、SVRが2台設置されている。太陽光発電設備は、接続されている負荷の消費電力の60%を供給できる500kWとした。連系箇所は、電圧上昇が最も顕著な末端a点とした。太陽光発電の出力電力変動が非常に大きいパターンでのa点の電圧変化及びパソコンの無効電力出力、SVR2のタップの変化の様子を図11と図12に示す。パソコンが無効電力を出力しない場合、SVRでは太陽光発電の出力変動に対しほとんど反応できておらず、系統の電圧は激しく変動する(図11)。それに対しパソコンが無効電力を出力すると、太陽光の発電出力が変動しても電圧上昇を抑制できていることがわかる(図12)。パソコンは、出力電圧が定格の102%以上で無効電力を出力する設定とした。このように太陽光発電による電

圧変動に対しては、パソコンの無効電力出力制御が非常に有効である。

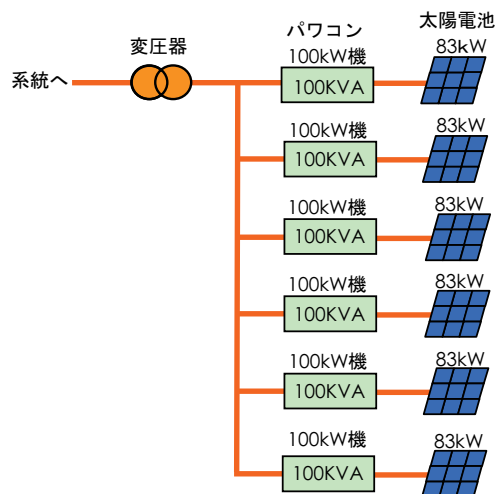


図8 無効電力出力性能が不足する場合

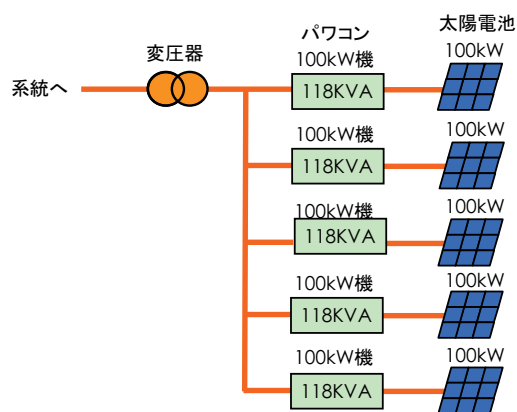


図9 無効電力出力性能が充分な場合

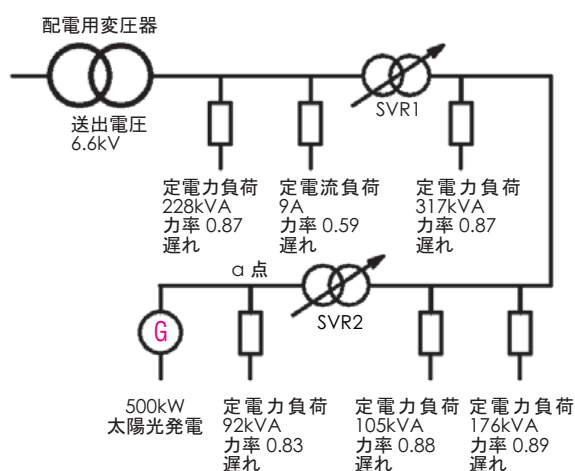


図10 配電線系統モデルの概要

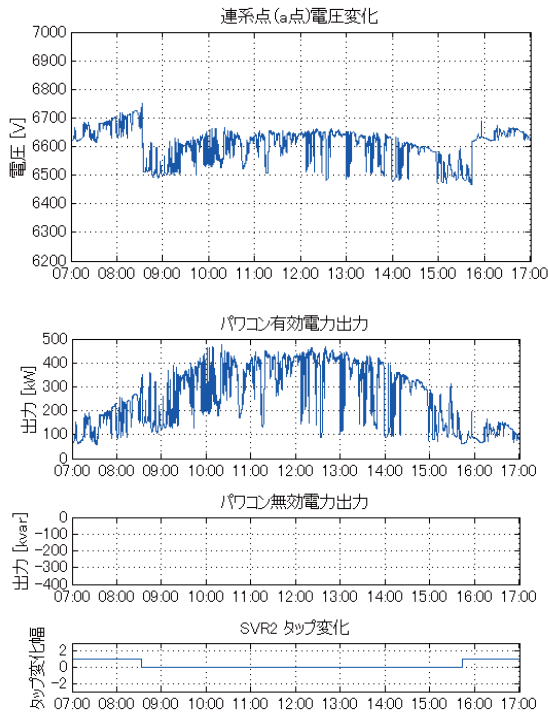


図11 パワコン無効電力出力無

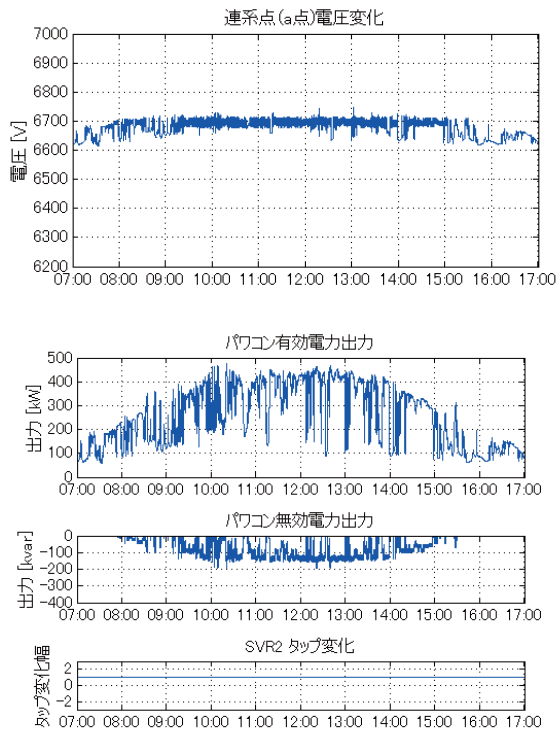


図12 パワコン無効電力出力有

5. あとがき

今回、大規模太陽光発電設備用のパワーコンディショナの高効率化を図り、変換効率を当社従来品から1ポイント向上させた。また、停電時の負荷への影響を小さくするため、出力制御方式の見直しも行った。

今後の課題は、太陽光発電の導入量が増えた場合にも、系統の電力品質を低下させないことである。この課題解決は、太陽光発電設備だけでは困難であり、各方面で研究が行なわれている。

当社は、配電自動化システムや電圧調整器(SVR、TVR、LVRなど)の開発にも取り組んでいる。これらの開発と連系し、系統全体を俯瞰した技術開発に取り組んでいく所存である。

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次第である。

参考文献

- (1) 辻本、水野、ほか：「大容量パワーコンディショナの開発」
愛知電機技報No.32(2011)
- (2) 神部、桑原、ほか：「10kW PVインバータの開発」
愛知電機技報No.17(1996)
- (3) 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)