R03-(2) 太陽電池用パワーコンディショナの電流制御方式に関する研究

Study of a Current Control Method for
the Residential Photovoltaic Power Conditioner

○ 非 外山 浩司(三菱重工) 正 大嶽 宏之(三菱重工) 非 松田 聡(三菱重工)

非 小林 真一(三菱重工) 非 森本 雅之(三菱重工) 非 杉本 英彦(福井大)

Koji Toyama, Mitsubishi Heavy Industries, Iwatsuka-cho Nakamura-ku, Nagoya
 Hiroyuki Ohtake, Mitsubishi Heavy Industries, Nishibiwajima-cho Nisikasugai-gun, Aichi
 Satoshi Matsuda, Mitsubishi Heavy Industries, Iwatsuka-cho Nakamura-ku, Nagoya
 Shin'ichi Kobayashi, Mitsubishi Heavy Industries, Iwatsuka-cho Nakamura-ku, Nagoya
 Masayuki Morimoto, Mitsubishi Heavy Industries, Iwatsuka-cho Nakamura-ku, Nagoya
 Hidehiko Sugimoto, Fukui University, Bunkyo3-9-1 Fukui-shi, Fukui

Repetitive control is installed into the current control of the residential photovoltaic power generation system. The generation system is interconnected to the utility grid. The control command and disturbance of the inverter is a periodic line frequency value. The control stability and suppression of the disturbance are realized by the repetitive control of the current signal. The control is implemented into single-chip microcomputer by the software. 18kHz control of the current realizes low distortion output and enables us to use smaller power inductor of the filter.

Key words : single phase inverter, PI control, PWM, utility grid interconnection, distortion factor, solar cell, periodic disturbance, distortion factor

1. まえがき

新エネルギーの導入は省エネルギーの推進及び地球環境への負荷を軽減するために不可欠である。なかでも、無尽蔵な太陽エネルギーを直接電気に変換できる太陽光発電システムは極めて有効なシステムである。

Fig. 1 に太陽光発電システムの基本構成図を示す。パワーコンディショナは太陽電池パネルで発電された直流電力を交流電力に変換する機能を有し、商用電力システムに連系して電力制御を行う。このパワーコンディショナにより系統に連系する場合には、通産省の「系統連系技術要件ガイドライン」で定められている条件を満たす必要があり、パワーコンディショナのインバータでは出力電流・電圧の歪みを小さく抑える高精度な電流制御と出力電流電力率 1 制御が必要とされる。

Fig. 1 Block diagram of the PV system.

Fig. 2 に太陽電池の電力特性を示す。太陽電池は電池電圧により出力電力が変化する特性を持ち、また、日射量が変われば出力電力も変わる特性を有する。太陽電池の出力を最大限に利用するために、太陽電池の出力電力、電圧の状態を検出し、最大出力動作点となるように制御する必要がある。

Fig. 2 Power characteristics of the solar cell.

パワーコンディショナのインバータは電動機駆動等に用いられるインバータと類似であり、通常は出力電流制御では PI 制御器が用いられる。しかしながら、パワーコンディショナでは、出力電流・電圧の波形歪みを小さくするために制御周波数は 10kHz 以上であることが要求される。一方、この電流制御における外乱は、系統周波数の繰り返し外乱であり、電源周波数において高精度かつ安定な出力電流制御を実現することは困難である。

本論文では、繰り返し補償器を用いたインバータ出力電流制御法を提案する。繰り返し制御は、周期性のある外乱抑制のためモーションコントロールに既に適用例がある。繰り返し補償器は外乱の整数倍周波数で制御ゲインを高くできるので、電源周波数成分の外乱の影響を抑制できる。当社は、単純なアルゴリズムである繰り返し補償器の特徴を活かし、ワンチップ RISC(Reduced Instruction Set Computer)-CPU を用いた住宅用パワーコンディショナの開発に成功した。以下にそれらの制御について述べる。

2. 繰り返し制御

繰り返し制御は前周期の誤差を用いて制御量の補正を行うものである [3]。Fig.3 に繰り返し制御系のブロック図を示す。図中の $P(s)$ は制御対象、 $C(s)$ はコントローラ、 R は制御信号、 Y は帰還信号、 D は繰り返し周期である。フィルタ $F(s)$ が無い場合は、繰り返し周期の整数倍周波数 $2n\pi/D$ でゲインは無限大となるとなるため、外乱の繰り返し周期の成分は零に補償される。

しかしながら、制御ループの安定化のためにはフィルタ $F(s)$ が不可欠であるが、繰り返し周期 D として外乱周期 L を与えた場合、フィルタ位相遅れが原因で補償器のピークゲインは $2n\pi/L$ の周波数からずれる問題がある。そこで、ピークゲインが外乱周期 $2n\pi/L$ の整数倍となるように繰り返し制御器を設計する必要がある。ここで、フィルタ $F(s)$ を一次遅れ要素と仮定すると、時定数 T のフィルタ位相遅れを考慮して、繰り返し周期 D を(1)式で与えることにより高ゲイン化が図れる [3]。

$$D = L \left\{ 1 - \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi T}{L} \right) \right\} \quad (1)$$

Fig.3 Block diagram of the repetitive control system.

3. 実験結果

提案した電流制御法の有効性を確認するために実験を実施した。Fig.4 に連系点の電流・電圧波形を示す。出力電流の低歪みが達成できている。

Fig.4 Current and the voltage waveforms at the inter connection point.

4. あとがき

本稿では、住宅用太陽光発電システムの出力量制御において繰り返し制御器の適用について提案した。パワーコンディショナのインバータでは、繰り返し制御を適用すれば電源周波数の外乱成分を抑制できるこ

とを示した。繰り返し補償器は、動作周波数 32MHz のシングルチップ RISC マイコンでも容易に構成でき、システムの低コスト化を実現できた。

パワーコンディショナの仕様を Table 1 に示す。パワーコンディショナは 200V 単相 3 線式の商用電力系統に連系され、定格出力は 3.5kW である。

開発したパワーコンディショナの外形図を Fig.5 に示す。パワーコンディショナの制御は全制御をソフトウェアによるデジタル制御にて実現し、運転制御の大部分は自動で行うため、外形は状態表示 LED のみのシンプルなものになっている。本パワーコンディショナは、(財)電気安全環境研究所の要求する仕様を満足し、家電認証を取得することができた。

太陽光発電システムは、次世代の新エネルギーシステムとして、需要が拡大していくことが期待される。今後の改善点としては、各種機能の充実や更なるコスト低減であると考えている。

Table 1 Specification of the power conditioner.

Type	SPV350
Rated input voltage	150V—300V DC
Rated output power	3.5kW
Rated output voltage	202VAC, 50/60Hz
Grid line	single phase, 200V
Size	W390×D122×H273
Volume	13 litter

Fig.5 Outside view of the power conditioner.

文献

- [1] J.P.Benner, C.L.Kazmerski, "Photovoltaics gaining greater visibility", IEEE SPECTRUM, SEPTEMBER, pp.35-42(1999).
- [2] 森本, 松田, 横山, 大嶽, 飯尾, 「太陽光発電システム用パワーコンディショナーの開発」, 三菱重工技報, Vol.36, No.2, pp.74-77(1999).
- [3] 杉本, 鷺田, 「無駄時間補正型修正繰り返し制御の提案」, 計測自動制御学会論文集, Vol.34, No.6, pp.645-647, (1998).