ソフトスタータ付き風力発電システム用ハイブリッドフィルタの始動法

正 員 山田 洋明* 正 員 平木 英治**

上級会員 田中 俊彦**

A New Starting Method of the Hybrid Power Filter for Wind Power Generation Systems with Soft Starter

Hiroaki Yamada*, Member, Eiji Hiraki**, Member, Toshihiko Tanaka**, Senior Member

This paper proposes a new method of starting the hybrid power filter for wind power generation systems with soft starter. In the proposed method, an active filter of the hybrid power filter behaves a resistor for the source current under the starting condition. Thus the inrush phenomena of the passive filter are perfectly suppressed. The basic principle of the proposed starting method is discussed, and then confirmed by digital computer simulation using PSCAD/EMTDC. Simulation results demonstrate that the proposed starting method can overcome the inrush currents for the passive filter, building up the dc voltage of the active filter.

キーワード：風力発電，誘導発電機，ソフトスタート方式，ハイブリッドフィルタ，高調波電流

Keywords: wind power generation, induction generator, soft start method, hybrid power filter, harmonic currents

1. まえがき

著者らは先に，ハイブリッドフィルタ⁽¹⁾を用いたソフトスタータ付き風力発電システムの高調波電流補償装置を提案し，計算機シミュレーションによりその有効性を確認した⁽²⁾。しかしながら，先に提案した方式では始動時にパッシブフィルタの過渡現象に伴う電流振動が生じる問題があった。本稿では，先に提案した高調波電流補償装置の始動法を提案し，計算機シミュレーションにより有効性を確認する。

2. 提案する電流振動抑制法

Fig.1 に，提案する電流振動抑制法を適用した高調波電流補償装置のシステム構成図を示す。ハイブリッドフィルタは，単一の同調フィルタからなるパッシブフィルタとアクティブフィルタから構成される。パッシブフィルタは，基本波に対して進相キャパシタとして動作する。スイッチ SW をオンとしてパッシブフィルタをソフトスタート前に系統並列する際に，過渡現象に伴う電流振動が生じる。

本稿では，高調波補償装置の系統投入直後だけアクティブフィルタを電源電流に対して抵抗として動作させる電流

Fig. 1. A circuit diagram of the harmonic currents compensator using the proposed starting method.

振動抑制法を提案する。提案方式では，アクティブフィルタが電源電流に対して抵抗として動作するため，電流振動を生じることなくパッシブフィルタを系統並列できる。各相の電流振動抑制時のアクティブフィルタの出力電圧指令値 v_r^* は次式となる。

$$v_r^* = K_S \cdot i_S \dots \dots \dots (1)$$

ここで， K_S は始動時のアクティブフィルタの制御ゲインである。

Fig.2 に，1 相分の等価回路を示す。先の提案方式では，

* 釧路工業高等専門学校 電子工学科
〒084-0916 釧路市大楽毛西 2-32-1
Department of Electronic Engineering, Kushiro National College of Technology
2-32-1, Otanoshike, Kushiro 084-0916
** 山口大学大学院 理工学研究科
〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1
The Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University
2-16-1, Tokiwadai, Ube 755-8611

Fig. 2. Equivalent circuits with and without the active filter.

Fig. 2(a) のようにソフトスタータ動作前は PWM 変換器を短絡しているため、パッシブフィルタの過渡現象による電流振動が生じる。しかしながら、Fig. 2(b) および (1) 式から、アクティブフィルタは電源電流に対して等価的に K_S [Ω] の抵抗として動作し、 $R_F + K_S \geq 2\sqrt{(L_S + L_F + L_r)/C_F}$ を満たすように制御ゲイン K_S を決定することで、電流振動を抑制できる。 $\tilde{i}_{sd}$ および $\tilde{i}_{sq}$ が 0 となる電流振動収束後、 K_S を可変として徐々に減少させてパッシブフィルタ印加電圧の急変による再振動を防止しながら、電流振動の抑制動作を停止する。

3. シミュレーション結果

本稿で提案した方式の有効性を確認するため、PSCAD/EMTDC を用いた計算機シミュレーションを行った。電源は 200 V、60 Hz であり、電源側インピーダンス L_S は定格インピーダンスの 5% を考慮した。また、スイッチングリプル抑制用フィルタはカットオフ周波数が約 1.6 kHz となるように $L_r = 1.0$ mH、 $C_r = 0.1$ μ F、 $R_r = 50$ Ω とした。また、ゲイン K_S は原理確認を目的として時変とし、提案手法を用いない場合の電流振動収束時間 150 ms に到達すると $K_S = 0$ として抑制動作を停止する。

Fig. 3 に、直流コンデンサの初期電圧を 150 V として提案する電流振動抑制法を適用した場合のシミュレーション結果を示す。シミュレーション波形は上から、a 相受電端電圧 v_{Ta} 、アクティブフィルタ出力電圧 v_{Outa} 、電源電流 i_{Sa} 、直流コンデンサ電圧 v_{DC} である。Fig. 3 のシミュレーション結果から、電源電流に対してアクティブフィルタを 40 Ω の抵抗として動作させることにより電流振動を生じることなく、パッシブフィルタを系統並列できていることが確認できた。また、PI 制御器 ($K = 0.1$, $T_I = 0.05$ s) を用いた直流コンデンサ電圧一定制御により、直流コンデンサ電圧を 150 V 付近に一定に制御できている。

Fig. 4 に、アクティブフィルタの直流コンデンサ電圧を確立しながらシステムを始動した場合のシミュレーション結果を示す。直流コンデンサ電圧一定制御系には、目標値との偏差を考慮して I-P 制御器 ($K = 0.1$, $T_I = 0.5$ s) を用い

Fig. 3. Simulation waveforms using the proposed starting method with the initial voltage of the dc capacitor of the active filter.

Fig. 4. Simulation waveforms using the proposed starting method without the initial voltage of the dc capacitor of the active filter.

た。Fig. 4 のシミュレーション波形から、直流コンデンサ電圧を確立させながら電流振動は約 8 ms で収束しており、提案手法を適用しない場合と比較して約 1/5 の時間で収束している。また、 v_{Outa} に i_{Sa} と同相の電圧が出力されており、直流キャパシタ電圧一定制御系が電流振動抑制後も動作していることが確認できる。

4. むすび

本稿では、ハイブリッドフィルタを用いた風力発電システムのソフトスタート時における高調波電流補償装置の始動法を提案した。計算機シミュレーション結果から、直流コンデンサ電圧を確立しながらパッシブフィルタを系統並列する際の電流振動を抑制でき、提案する高調波電流補償装置の始動法の有効性を確認した。

(平成 21 年 4 月 15 日受付, 平成 21 年 10 月 1 日再受付)

文 献

- (1) S. Srianthumrong and H. Akagi: "A Medium-Voltage Transformerless AC/DC Power Conversion System Consisting of a Diode Rectifier and a Shunt Hybrid Filter", *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.39, No.3, pp.874-882 (2003)
- (2) H. Yamada, E. Hiraki, and T. Tanaka: "A New Method of Compensating Harmonic Currents for Wind Power Generation Systems with the Soft Starter Using Hybrid Active Filter", *IEEJ Trans. on Industry Applications*, Vol.128, No.7, pp.885-891 (2008)