

仮想同期発電機制御を用いた 無瞬断系統切替装置の開発

西川 滉大*, 日下 佳祐, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Development of Seamless Grid Switching System with Virtual Synchronous Generator Control
Kodai Nishikawa, Keisuke Kusaka, Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーを始めとした分散型電源の普及により系統連系インバータの利用が拡大している。その中でも、停電時等に自立運転を行うことによって負荷へ連続的に電力を供給できる連系インバータの研究が行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。これらの連系インバータは負荷の電源を系統-分散型電源間で切替えを行っているため、分散型電源に問題が生じた場合、負荷を異なる分散型電源へ切替えることができない。自立運転時の連系インバータは電圧源動作であるため独立した小規模の電力系統としてふるまう。2つの系統間では電圧値や周波数、位相が同期しているとは限らないため、実際に系統間での負荷電源切替動作を達成するためには2つの系統と同期可能な電力変換器が必要となる。そこで本稿では、Back-to-Back(BTB)構成による電力変換器と系統との接続を制御可能なスイッチとを組み合わせることによって無瞬断で系統切替を実現する系統切替装置を提案する。提案する系統切替装置は仮想同期発電機(VSG)制御を適用することで、電圧制御と電流制御を切り替えることなく、無瞬断で系統切替を実現する。ここでは、提案する系統切替装置による系統切替動作を実機実験により確認したため報告する。

2. 提案システム構成

<2・1>無瞬断系統切替システムの構成 図1に負荷電源である系統の無瞬断切替を行うシステム全体像を示す。本システムでは、異なる系統A-B間に提案する系統切替装置を接続することにより、負荷B電源切替を行う。系統切替装置はPWM整流器とフルブリッジインバータを組み合わせたBTB構成となっている。BTB構成を適用することにより、入出力で電圧条件が異なっている場合でも入出力それぞれに同期した動作を行う。また切替動作中に系統切替装置を用いて系統間での電力供給を行うことで、無瞬断での負荷B電源切替動作を達成する。切替動作間では系統切替装置の入出力を短絡することで電力変換に伴う損失を低減している。

系統切替装置による系統Bから系統Aへの負荷B電源切替動作手順は以下の6ステップとなる。

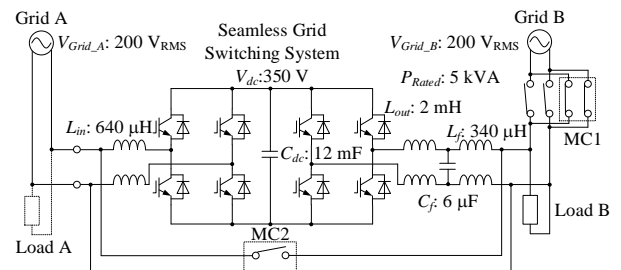


Fig. 1. Configuration of the seamless grid switching system.

- (1)系統切替装置から負荷Bへ電力供給を開始
 - (2)系統Bからの負荷Bへの電力供給が0付近になるまで系統切替装置の出力を増加
 - (3)負荷Bへの系統Bからの供給電力がほぼ0になったら電磁接触器(MC1)をOFFにして系統Bを切り離し
 - (4)系統切替装置にて負荷B電圧を系統Aと同期
 - (5)MC2をONにして系統Aから負荷Bへ直接電力伝送
 - (6)系統切替装置を停止
- また、系統Aから系統Bへの負荷B電源切替動作手順は以下の6ステップとなる。
- (7)系統切替装置から負荷Bへ電力供給を開始
 - (8)MC2を介した系統Aから負荷Bへの電力供給が0付近になるまで出力増加
 - (9)負荷Bへの系統Aからの供給電力がほぼ0になったらMC2をOFFにして系統Aを負荷Bから切り離し
 - (10)系統切替装置にて負荷B電圧を系統Bと同期
 - (11)MC1をONにして系統Bを負荷Bへと接続
 - (12)系統切替装置を停止

今回、Step 3,9での系統切り離し条件は系統電流振幅値5A、Step 5, 11での系統接続条件は電圧位相差0.015radとした。

<2・2>系統切替装置の制御手法 図2に系統切替装置の制御ブロック図を示す。PWM整流器では、切替動作中において常に系統Aと連系し、PI制御器を用いて直流中間電圧の制御を行う。インバータではStep 1-3,10-12時は系統B、Step 4-6,7-11時は系統Aの情報を用いて制御を行う。切替動作においては負荷と系統を切り離す際にインバータは自立運転を行うため、系統連系と自立運転動作の切替を行う。そのため、動作切替時に同一の電圧制御系で制御可能な

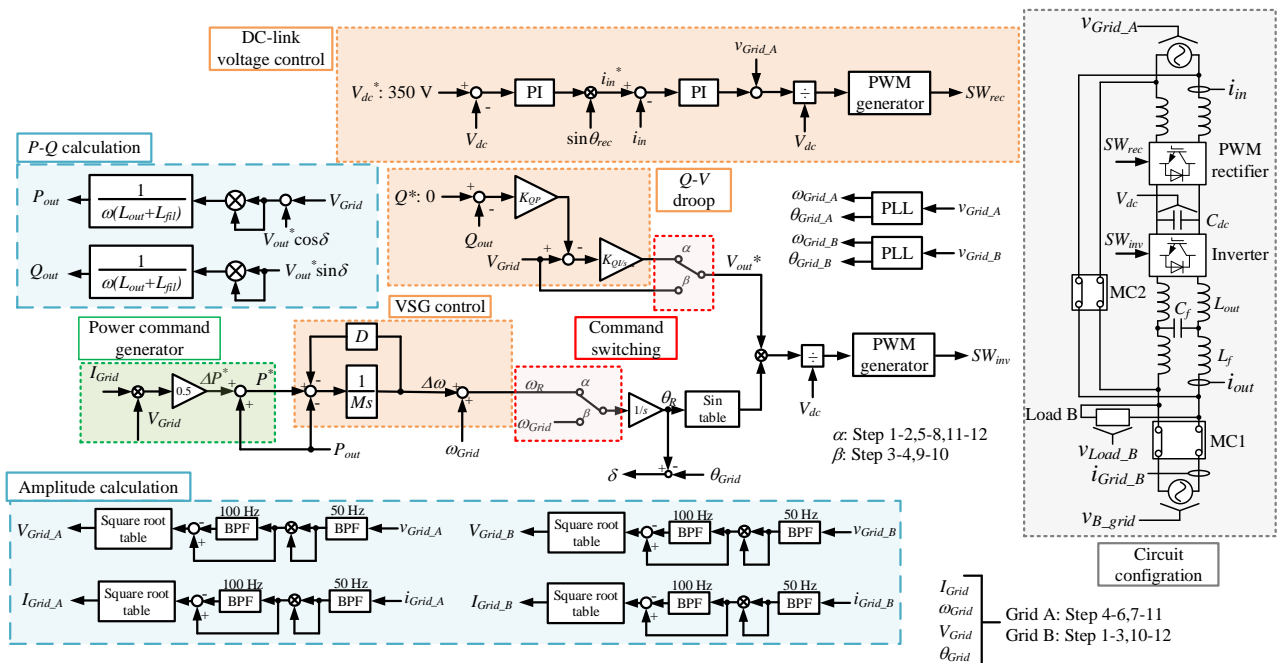


Fig. 2. Control diagram of proposed system.

VSG 制御を用いてインバータ制御を行う。系統連系と自立運転の動作切替は出力電圧指令と出力周波数指令の切替によって達成する。Step 1-2,5-8,11-12 時では系統連系動作となるため、VSG 制御による連系を行う。Step 3-4,9-10 時では自立運転動作となるため、Phase-locked loop(PLL)を用いた系統との位同期を行う。系統連系時の出力電力指令は系統から負荷へ供給される電力を相殺するように決定することで、切替時に負荷に発生する電圧サージを抑制している。

3. 実験結果

図 3 に図 1 の提案システムによる負荷と系統の切り離しから位同期までの動作波形を示す。図 3(a)では、Step 1 から Step 4 による系統 B 切り離しから系統 A との位同期までの結果を、図 3(b)では Step 7 から Step 10 による系統 A 切り離しから系統 B との位同期までの結果をそれぞれ示す。図 3(a)より、Step 4 での系統電流が 0 となっていることから、Step 1-3 において系統 B から系統切替装置への負荷 B 電源切替動作を達成していることが確認できる。また、負荷 B 電源切替時における負荷 B 電圧が連続した正弦波となっていることから、無瞬断での切替動作を達成していることが確認できる。同様に図 3(b)より、Step 7-9 における系統 A から系統切替装置への負荷 B 電源切替動作を無瞬断で達成していることが確認できる。今後、非線形負荷を適用した場合における切替動作の確認および高パワー密度化を目的とした低インダクタンス化についての検討を行う。

文 献

(1) X. Xiong et al, IEEE Tran. on PE, Vol. 36, No. 8, pp. 9136-9148,

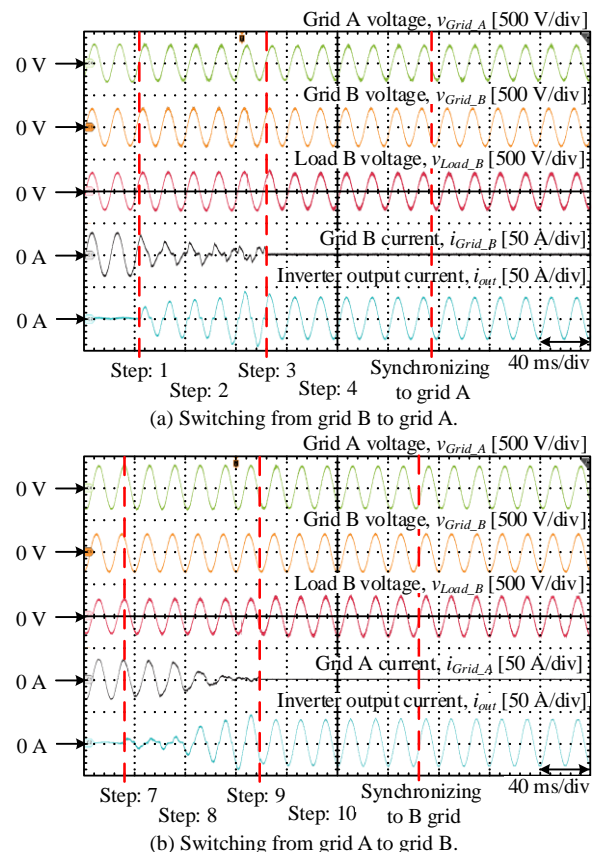


Fig. 3. Switching operation waveform of load B power supply.

2021

(2) Y. Hirase et al, IEEJ Journal of IA, Vol.4, No.3, pp. 143-151, 2014

(3) H. Cheng et al, IEEE Tran. on PE, Vol. 35, No. 8, pp. 8751-8765, 2020