

電源同期スイッチングを用いた三相 VVCF 電力変換器の瞬時電圧低下補償機能の実機検証

米田 一己*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

An Experimental Verification of the Boost Mode of Three Phase VVCF Power Converter with Grid Synchronous Switching
Kazuki Yoneda, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

従来, DVR(Dynamic Voltage Restorer), UPS (Uninterruptable Power Supply) をはじめとする系統機器向けに, 三相 AC-AC 変換器が盛んに研究されている⁽¹⁾. しかし, 従来回路で用いられる PWM 駆動法は, 常時スイッチを高速駆動するため, スwitching 損失が常時発生する問題をもつ. そこで著者らは電源の位相に同期したスイッチングが可能な三相 AC-AC 変換器を提案しており, CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)動作時においてスイッチング回数を 90%以上低減している⁽²⁾. 本論文では, 同回路の変調法を拡張することで, VVCF(Variable Voltage Constant Frequency)動作が可能であることを実験より確認したので報告する.

2. 電源同期スイッチングを用いた CVCF 電力変換

図 1 に著者らが提案している三相 VVCF 電力変換器の回路図を示す. 提案回路は双方向スイッチを用いた Vienna 整流器と T 型 3 レベルインバータで構成される. 提案回路の最大の特徴は, 電圧の振幅と周期が入出力間で等しい CVCF 動作時は, 電源位相角 60deg.毎にしかスイッチングしないため, スwitching 回数が PWM 駆動法に対して極めて少ない点にある. 本章では, 電源同期スイッチングを用いた提案回路の CVCF 動作を説明する.

図 2 に提案回路が CVCF 動作時の入力相電圧波形と直流リンク電圧波形, 出力相電圧波形, 電源同期スイッチングの駆動信号を示す. また, 同図は電源位相 60deg.毎に State number を割り当てている. CVCF 動作において整流器は, 入力電圧のステート変化時のみにスイッチングし, 直流リンクの p, o, n 点にそれぞれ入力電圧の最大相電圧 v_{max} , 中間相電圧 v_{mid} , 最小相電圧 v_{min} を整流している.

なお, 提案回路は直流リンクのコンデンサ C_{DC} を小容量とし, 直流リンク電圧は図 2 に示す非平滑の波形となる. また, インバータにおいても整流器と同様に, 入力電圧のステート変化時に同期してスイッチングすることで負荷側の三相交流電圧 v_u, v_v, v_w を復元する. 従って提案回路は, スwitch の高速駆動が必要な, 従来の PWM 駆動方式に対して, スwitching 損失を大幅に低減できる.

3. 整流器の昇圧モード適用による VVCF 電力変換

提案回路は前章の電源同期スイッチングを拡張することで, 昇圧動作と降圧動作が可能である. 昇圧動作では, 整流器側をスイッチングし, 降圧動作では同様にインバータ側をスイッチングすればよい. 本章は昇圧動作を説明する.

図 3 に Vienna 整流器の等価回路とスイッチングテーブルを示す. 提案回路の整流器は, 電源同期スイッチングの 1 ステート間については, 図 3 の V 結線昇圧チョップ回路と等価である. ここで, 最大相と最小相の双方向スイッチである P1 と P2 のみをスイッチングすることで直流リンク電圧を昇圧することができ, インバータは CVCF 動作時と同様に電源同期スイッチングを行うことで昇圧された正弦波状電圧を出力可能である. なお, 実際のスイッチと P1, P2

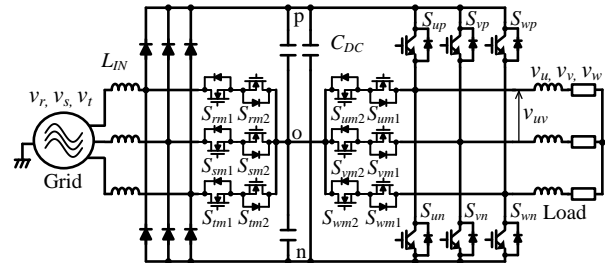


Fig. 1. Proposed AC-AC converter for UPS.

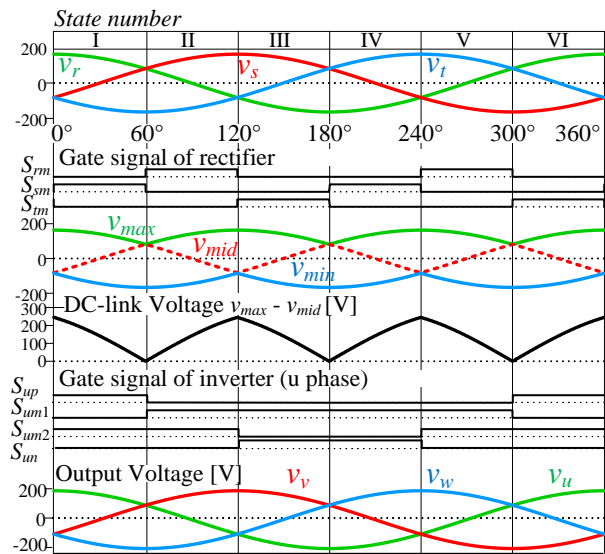


Fig. 2. Operation waveforms of the proposed circuit in CVCF mode.

の対応は図3のテーブルのように変化する。

図4に提案回路のVVCF動作に用いる制御ブロック図を示す。提案回路のVVCF動作は三角波状の直流リンク電圧を制御するため、一般的な直流出力のチョッパ回路に対して高速の制御応答が必要である。そのため、本論文では昇圧モードのデューティ比は、入力電圧と所望する出力電圧の比により求めている。なお、入力電流リップル低減のため、P1とP2ではキャリア位相を半周期分シフトさせている。

4. 3 kW 試作器を用いたVVCF動作の実機検証

本章では、提案回路のVVCF動作を確認するため、実機検証を行う。本検証では、試作回路の入力電圧を過渡的に変化させた時の負荷電圧波形と、一定の昇圧比で連続的にVVCF動作した時の変換効率特性を評価する。

表2に実機検証に用いる試作回路の仕様を示す。提案回路の昇圧動作時は負荷電力を維持した状態で入力電圧が低下するため、整流器電流は増加する。そのため、整流器のダイオードと双方向スイッチは、入力電流の増加分、大きい電流定格のデバイスを選定する必要がある。今回は、0.4 p.u.の瞬時電圧低下までに対応するため、整流器のデバイスは電流定格が1.8 p.u.以上となるよう選定している。

図5に提案回路の入力電圧を瞬時電圧低下させたときの入力電圧波形、入力電流波形、出力電圧波形、また整流器R相の双方向スイッチ S_{m1} の駆動信号を示す。瞬時電圧低下の期間は40 msとし、瞬時電圧低下時の電圧は定格の60%の120 Vとしている。図5より、瞬低発生時に整流器の制御を昇圧モードとし、整流器の中間相スイッチを50 kHzのスイッチング動作に切り替えることができています。従って、瞬低が発生し入力電圧が0.6 p.u.まで低下した状態でも、負荷電圧を1 p.u.に維持出来ていることがわかる。

図6にCVCFとVVCFそれぞれの駆動法での変換効率特性を示す。提案回路はVVCF動作時において、整流器をスイッチングするためスイッチング損失が発生し、全負荷領域でCVCF動作時より効率が低下している。また昇圧動作時は、入力電圧が低下した状態でCVCF動作時と同様の電力を供給するため電流が増加し、導通損失は増加する。この傾向は負荷電力が大きいほど顕著となり、3 kWの定格負荷時において、CVCF動作時の変換効率が97.1%であるのに対し、VVCF動作時は4.2%低下した93.0%となっている。

5. 結論

本論文では、提案回路の整流器側にV結線昇圧チョッパを構成することで同回路のVVCF駆動が可能であることを実験より明らかにした。また、瞬時電圧低下発生時の過渡応答評価を行い、入力電圧が0.6 p.u.まで低下した場合においても、整流器でV結線チョッパを構成し、50 kHzでのスイッチング動作に切り替えることで、負荷電圧を1 p.u.に維持できることを確認した。

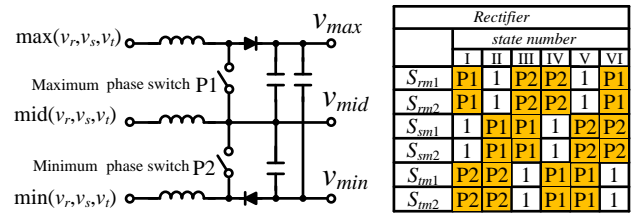


Fig. 3. Equivalent circuit of Vienna rectifier and a switching table that achieves VVCF operation.

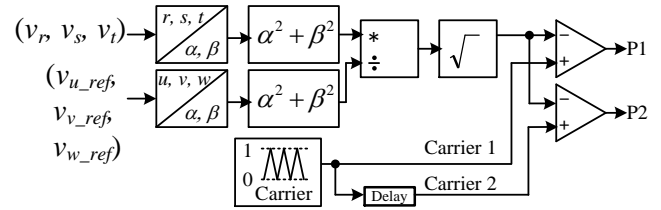


Fig. 4 Control block diagram of boost mode in Vienna rectifier.

Table 2 Specifications of prototype circuit 3 kW.

Input and Output rated line voltage		200V(rms)	
Rated power	3 kW	Load resistance	11 Ω
Grid frequency	50 Hz	Load inductance	2.4 mH
Input inductance L_{IN}	2 mH	Capacitor C_{DC}	4.4 μ F
Carrier frequency for P1 and P2		50 kHz	

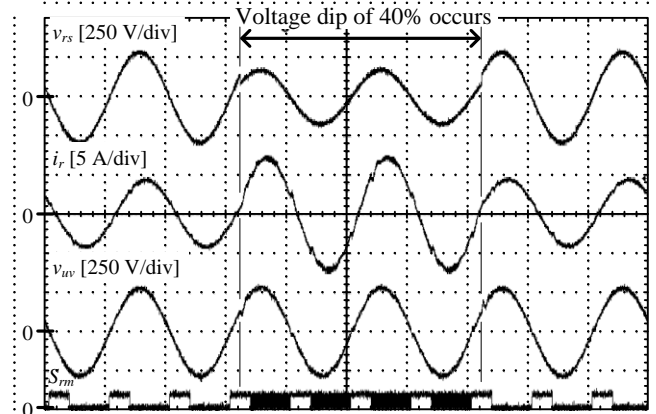


Fig. 5 Operation waveforms of the proposed circuit when voltage dip occurs. Where, v_{uv} is input voltage, i_r is input current, v_{uv} is load voltage, S_{m1} is gate signal of the bidirectional switch used in Vienna rectifier.

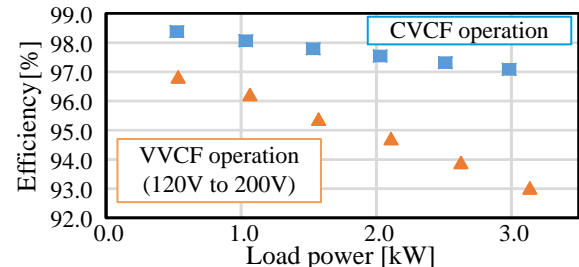


Fig. 5 Efficiency characteristics of the prototype circuit

文 献

- (1) Hirofumi Uemura 他, IPEC2014, 2834-2841, (2014)
- (2) 米田・伊東, JIASC2015, 1-10, (2015)