

# Hブリッジクランプ回路を用いた単相三線式マルチレベル回路の電圧バランス制御

唐木 隆行\*, 野下 裕市, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Voltage Balancing Control for Single-phase Three-wire System using H-bridge Clamp Circuit  
Takayuki Karaki, Yuichi Noge, Jun-ichi Itoh(Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

近年、太陽光発電システムの普及が進み、系統連系インバータを高効率化する観点から、非絶縁型が主流となっている。三相電源に連系する機種では、マルチレベル回路による半導体損失と連系リアクトル損失の低減が検討されている<sup>(1)</sup>。しかし、日本国内で広く使用される単相三線式系統に関してはマルチレベル方式があまり検討されていない。単相三線式系統では、インバータ直流中点を接地した単相 Hブリッジ構成がよく使用される。この回路は 3 レベルの線間電圧を出力することができ、2 レベルの電圧出力に対し、連系リアクトルの小型化、および直流中点の接地による安全性の向上を図ることができる。

これに対して筆者らは、単相三線式系統が接地点基準で相補的に動作することに着目し、Active neutral point clamp (ANPC)回路二相分を一体化し、出力側に Hブリッジクランプ回路を設けることで、スイッチ数を削減する回路構成を提案している。この回路により単相三線式に系統連系すると、系統電圧が変化した場合、直流電圧にアンバランスが生じることがわかった。

そこで本論文では、出力電流制御系を加えた系統連系運転時の動作を実機検証し、系統連系動作時に発生する、直流部コンデンサ電圧の上下アンバランス補償法を検討したので報告する。

## 2. 提案回路の構成

図 1 に提案回路の概念図を示す。提案回路は直流中点の上下に n-level のインバータ、出力側に Hブリッジ型のクランプ回路を持つ。単相三線式系統は U, W 相の電圧極性が相補的に変化するため、系統周波数の半周期ごとにクランプ極性を切り替える。よってクランプ回路のスイッチング損失は n-level インバータに比べ非常に小さく、ANPC 方式よりもクランプ回路のスイッチ数を削減できる。図 2 に 5 レベル構成の回路図を示す。直流中点の上下にフライングキャパシタ(FC)形 3 レベルインバータを配置することにより、コンデンサ  $C_3, C_4$  の電圧を補助回路なしに  $V_{dc}/4$  に一定に保持することが可能である。その結果、 $V_{dc}/4$  ステップの出力電圧を得る。

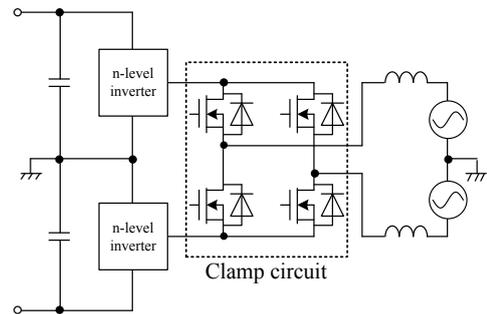


Fig. 1. Concept of the proposed circuit

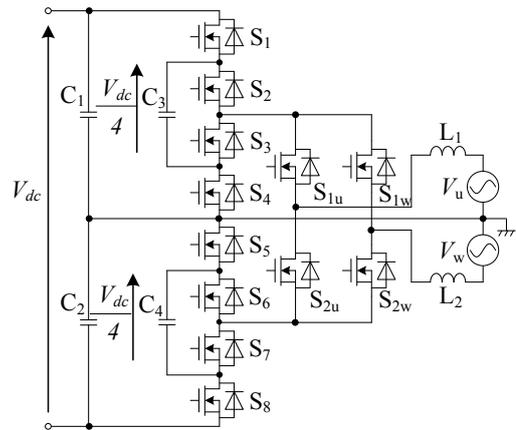


Fig. 2. Circuit configuration of the proposed five-level

## 3. 系統の電位変動で発生する問題

提案回路は上下の 3 レベルインバータから、それぞれ U, W 相の半周期の PWM 電圧波形を交互に出力している。そのため、上下コンデンサ電圧は理想的には電源周期で平衡する。しかし、単相三線式系統のいずれかの相に瞬時電圧低下が発生すると、電源 1 周期の有効電力が上下で不平衡となり、 $C_1, C_2$  にアンバランスが発生する。

図 3 に U 相の系統電圧を図の左の点線の位置で 5% 電圧低下させた場合のシミュレーション結果を示す。電圧低下を起点として、 $C_1, C_2$  にアンバランスが発生し、やがて一定に保持されることを確認した。

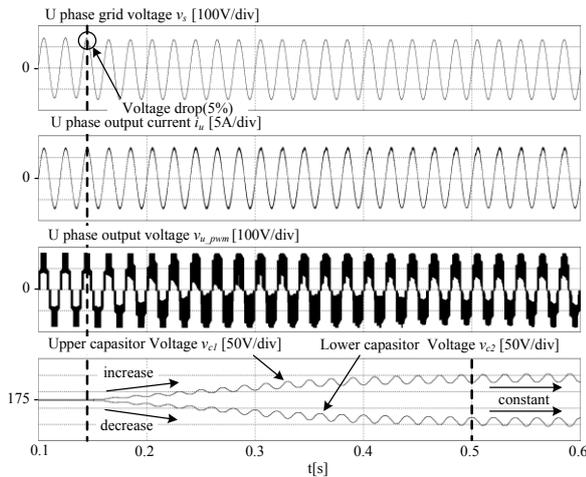


Fig.3. Operation waveform when the voltage drop occurs

図4に提案回路の制御ブロック図を示す。各相の電流を独立にPI制御し、上下インバータへの指令値を電源極性に応じて入れ替える。またHブリッジクランプ回路は、電圧極性に応じて切り替えるのみで、PWM動作しない。上下インバータは位相シフトPWM変調を適用し、 $C_3$ 、 $C_4$ の電圧を制御する。前述の $C_1$ 、 $C_2$ の電圧アンバランスは電流指令にゼロ相分を重畳することにより、補償する。具体的には、 $C_1$ 、 $C_2$ の電圧を検出し、 $C_1$ 、 $C_2$ の電位差を0に調節するPI制御器を配置し、補償電流指令をU,W相の電流指令値に加減算している。

#### 4. 実験結果

表2に実験条件を示す。5レベル構成の提案回路の、連系運転時の動作を確認する。

図5(a)に補償電流を重畳しない場合の動作波形を示す。 $C_1$ 、 $C_2$ の電圧に68Vの電位差が生じている。また、出力電流は良好な正弦波であり、電流ひずみ率は3.94%となる。

図5(b)に補償電流を重畳した場合の動作波形を示す。電流指令値にオフセットを重畳することで $C_1$ 、 $C_2$ の電圧が一致している。出力電圧PWM波形は5レベルの階段状で、出力電流は良好な正弦波となっており、電流ひずみ率は3.62%となる。したがって、 $C_1$ 、 $C_2$ の電圧アンバランスの有無にかかわらず、電流ひずみ率はほぼ変動しない。また、補償電流は過渡的なアンバランスを対象としているため、定常的に直流電流を流すものではない。

#### 5. まとめ

本論文では、提案する単相三線式マルチレベルインバータについて、実際の連系運転時想定される電源電圧変動によるアンバランスや制御誤差等が発生したときの補償動作について検証を行った。その結果、系統電圧が変化してもコンデンサ電圧のアンバランスを補償できることを確認した。今後の課題として、詳細な連系運転の性能検証や他マルチレベル回路との比較検討が挙げられる。

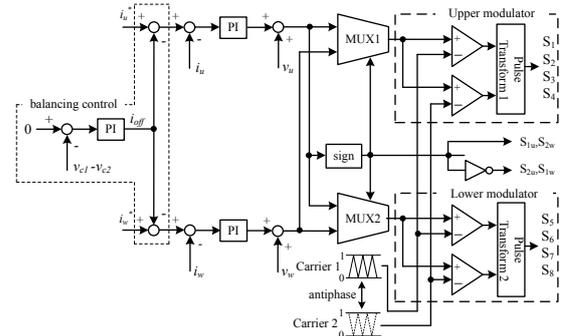
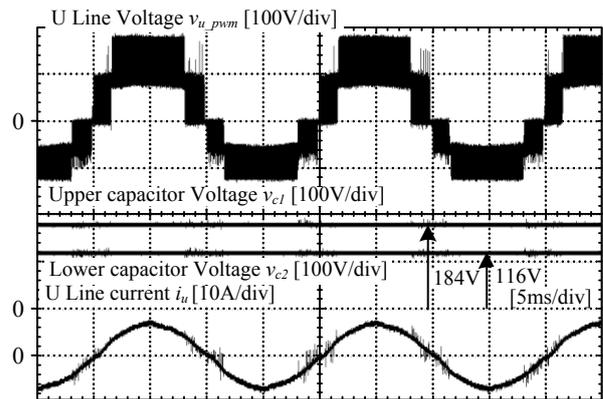


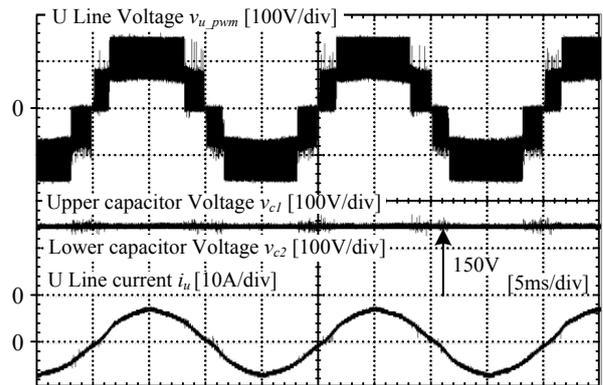
Fig. 4. Control block diagram

Table 2. Parameters and conditions

Rated power	1 kW	Inductor	4 mH(%6.28)
DC bus voltage	300 V	Flying capacitor	4.7 $\mu$ F
Output voltage	200 V	Electrolytic capacitor	360 $\mu$ F
Grid frequency	50 Hz	Carrier frequency	20 kHz
Rated current	5 A	Power factor	99.7%
FC voltage ripple	28.9%	Output current ripple	3.29%



(a) Without superimposed offset of reference current



(b) With superimposed offset of reference current

Fig. 5. Experimental results

文献

- (1) Lin Ma, et.al, : EPE 2009, No.0079 (2009)
- (2) 平地克也, 平地研究室技術メモ No.20090930, (2009)
- (3) 唐木, 野下, 伊東 : JIASC, Vol.1\_1-22(2012)