

# 直接有効・無効電力制御形 NPC コンバータの実験検証

佐藤 明\* 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Experimental Verification of Direct-Power Controlled Neutral-Point-Clamped Converter  
Akira Sato, and Toshihiko Noguchi (Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

筆者らは直接有効・無効電力制御法を用いた NPC コンバータ<sup>[1]</sup>のシステム構成を検討し、シミュレーションによりその妥当性を検討してきた<sup>[2]-[4]</sup>。

本稿では直接有効・無効電力制御形 NPC コンバータの基本的な制御特性を実験により検証したので報告する。

## 2. 制御原理

<2.1>システム構成 Fig. 1 に直接有効・無効電力制御形 NPC コンバータを示す。有効電力指令値  $P^*$  は、直流バス電圧  $V_{dc}$  とその指令値  $V_{dc}^*$  の偏差を PI 制御器に入力して得られた  $I^*$  と、 $V_{dc}$  の積により得られる。また、無効電力指令値  $Q^*$  は外部より直接与える。 $P^*$  と  $P$ 、 $Q^*$  と  $Q$  の誤差  $P$ 、 $Q$  を Fig. 2 に示す多段ヒステリシスコンパレータに入力し量子化する。この量子化信号  $S_p$ 、 $S_q$  により瞬時電力の増減を決定する。電源電圧位相を Fig. 3 に示すように 30 [deg] ごとに  $q_1 \sim q_{12}$  と量子化し、空間的に 12 分割して検出する。また、中性点電位を制御するために、正側コンデンサ電圧  $V_{c1}$  と負側コンデンサ  $V_{c2}$  の誤差も  $S_{vn}$  と量子化する。これらの量子化信号  $S_p$ 、 $S_q$ 、 $q_n$  および  $S_{vn}$  をスイッチングテーブルに入力し、その組み合わせに応じて瞬時的なスイッチングモードを直接決定する。

スイッチングテーブル構成法として、(1)、(2)を用いて 1 つの領域における各スイッチングパターンの有効・無効電力の傾き  $dP/dt$ 、 $dQ/dt$  を算出し、操作量に適したスイッチングパターンを選定する。このように得られたスイッチングテーブルを Table 1 に示す。

$$\frac{dP}{dt} = K_a \left[ K_b \left( S_a - \frac{S_b}{2} - \frac{S_c}{2} \right) - \frac{\sqrt{3}}{2} K_c (S_b - S_c) \right] \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{dt} = -K_a \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} K_b (S_b - S_c) + K_c \left( S_a - \frac{S_b}{2} - \frac{S_c}{2} \right) \right] \quad (2)$$

$K_a = V_{rms} V_{dc} / L$ 、 $K_b = \omega t \sin \omega t - \cos \omega t$ 、 $K_c = \omega t \cos \omega t + \sin \omega t$   
<2.2>ベクトル選択法 1 つの領域においても有効電力を増加させ、無効電力を減少させるの傾きの異なる 3 つの

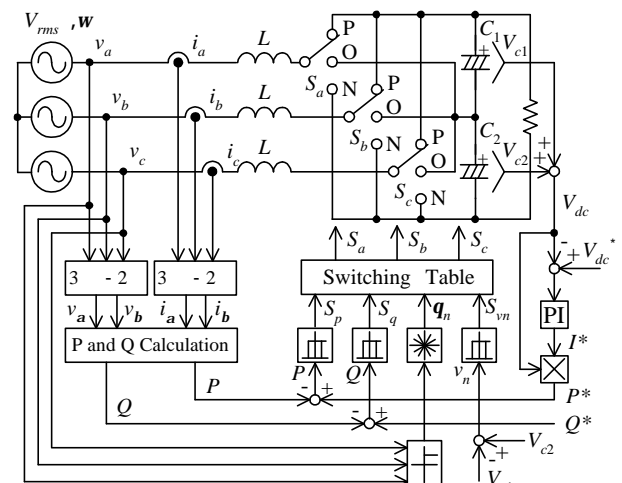


Fig. 1. Block diagram of direct power controlled neutral-point-clamped converter.

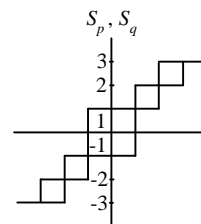


Fig. 2. Multi-level hysteresis comparator.

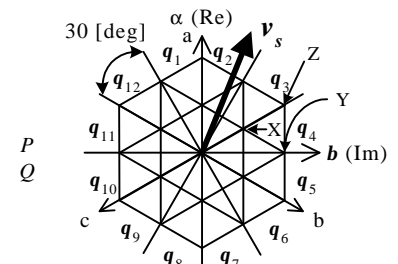


Fig. 3. Power-source-voltage vector quantization.

Table 1 Switching table.

$S_p$	$S_q$	$S_{vn}$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$	$q_9$	$q_{10}$	$q_{11}$	$q_{12}$
1	-1	1	OOP	POP	POP	POO	POO	PPO	PPO	OPO	OPO	OPP	OPP	OOP
		-1	NNO	ONO	ONO	ONN	ONN	OON	OON	NON	NON	NOO	NOO	NNO
2	-2	+1	ONP	ONP	PNO	PNO	PON	PON	OPN	OPN	OPN	NPO	NPO	NOF
		-1	ONN	ONN	ONN	ONN	ONN	ONN	ONN	NON	NON	NOO	NOO	NOO
3	-3	+1	NNP	PNP	PNP	PNN	PNN	PPN	PPN	NPN	NPN	NPP	NPP	NPP
		-1	PPP	PPP	OOO	OOO	NNN	NNN	PPP	PPP	OOO	OOO	NNN	NNN
-1	-1	1	POP	POO	POO	PPO	PPO	OPO	OPO	OPP	OPP	OOP	OOP	POP
		-1	ONN	ONN	ONN	OON	OON	NON	NON	NOO	NOO	NNO	NNO	ONO
-2	-2	+1	PNO	PNO	PON	PON	OPN	OPN	NPO	NPO	NOP	NOP	ONP	ONP
		-1	PNP	PNN	PNN	PPN	PPN	NPN	NPN	NPP	NPP	NNP	NNP	PNP
-3	-3	+1	PNN	PNN	PNN	PPN	PPN	NPN	NPN	NPP	NPP	NNP	NNP	PNN
		-1	POO	PPO	PPO	OPO	OPO	OPP	OPP	OOP	OOP	POP	POP	POO
-1	1	-1	ONN	ONN	ONN	ONN	ONN	NON	NON	NOO	NOO	NNO	NNO	ONO
		+1	PON	PON	OPN	OPN	NPO	NPO	NOP	NOP	ONP	ONP	PNO	PNO
-2	2	+1	PON	PON	OPN	OPN	NPO	NPO	NOP	NOP	ONP	ONP	PNO	PNO
		-1	PNN	PPN	PPN	NPN	NPN	NPP	NPP	NNP	NNP	PNN	PNN	PNN

ベクトルが存在する。この 3 つのベクトルにおいて, Fig. 3 の X を小ベクトル, Y を中ベクトル, Z を大ベクトルとする。これらのうち 1 つのベクトルを選択するために, 多段ヒステリシスコンパレータを用いて  $P$ ,  $Q$  の大きさからベクトルの選択を行う。 $S_p, S_q$  が  $\pm 3$  では大ベクトルを,  $\pm 2$  では中ベクトルを,  $\pm 1$  では小ベクトルを選択する。また,  $S_p$  が 1,  $S_q$  が 2 となった場合, 大きいベクトルを優先的に選択する。

<2.3>中性点電位変動補償法 Table 2 はベクトル X, Y, Z における中性点電位  $v_n$  の挙動を示している。ここで, ベクトル  $X_p, X_N$  は NPC コンバータが出力可能な最小電圧ベクトルのうち正側または負側コンデンサを充電するベクトルである。したがって, 中性点電位を制御可能なスイッチングモードはベクトル  $X_p, X_N$  を出力する場合のみである。この選択法として,  $S_p, S_q$  がともに “1” か “-1” の時, 中性点電位  $v_n$  が上昇するモードであれば  $X_N$  を, 下降するモードであれば  $X_p$  を選択する。このような小ベクトルの選択により, 中性点電位の変動を抑制することができる。

3. 実験結果

実験条件は電源電圧 100 [V], 直流バス電圧 180 [V] である。Fig. 4 に一例として無効電力指令値 0 [var], 負荷 434 [W] における電源電圧, 電流およびコンバータ出力線間電圧波形を示す。無効電力は 0 [var] に制御され, 結果的に電源電流は電源電圧と同相になっている。総合入力力率は 98.4 [%] であった。Fig. 5(a) に中性点電位変動補償法の適用前, (b) に補償法適用後の中性点電位波形を示す。適用前の中性点電位はアンバランスとなっていることがわかる。しかし, 適用後の中性点電位の不平衡は良好に抑制されていることがわかる。Fig. 6 に総合入力力率を Fig. 7 に総合効率を示す。力率は最大で 99 [%], 効率は最大で 94 [%] となった。

4. まとめ

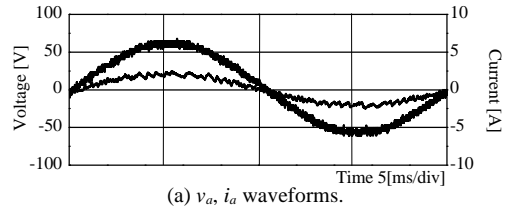
本稿では直接有効・無効電力制御形 NPC コンバータの基本的な制御特性を実験検証した。今後は電源電圧 200[V] における制御特性を実験検証するとともに, PWM 波形をはじめ各種制御特性の改善について検討していく。

参考文献

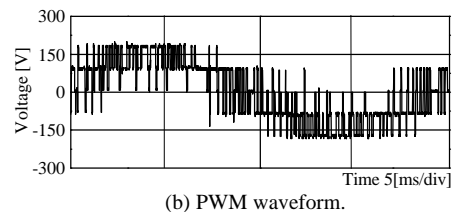
[1] A. Nabae, I. Takahashi, and H. Akagi “A New Neutral Point Clamped PWM Inverter.” *IEEE Trans. Ind. App.*, vol. 17, no. 5, 1981.  
 [2] T. Noguchi, H. Tomiki, S. Kondo, and I. Takahashi “Direct Power Control of PWM Converter Without Power-Source-Voltage Sensors.” *IEEE Trans. Ind. App.*, vol. 34, no. 3, 1998.  
 [3] 佐藤・野口: 「中性点クランプ形コンバータの直接電力制御法」電気関係学会北陸支部連合大会, A-36, 2002  
 [4] 佐藤・野口: 「直接電力制御方式中性点クランプ形コンバータの中性点電位変動補償法」電気学会東京支部新潟支所研究発表会, -8, 2002

Table 2 Behaviour of neutral-point potential.

ベクトル	中性点電位変動	
Z	変化なし	
Y	位相による	
X	$X_p$	上昇
	$X_N$	下降

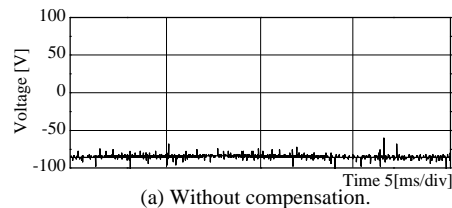


(a)  $v_a, i_a$  waveforms.

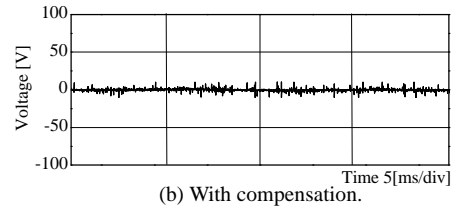


(b) PWM waveform.

Fig. 4. Experimental results of proposed method.



(a) Without compensation.



(b) With compensation.

Fig. 5. Experimental results of neutral point potential.

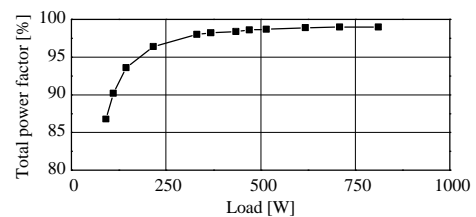


Fig. 6. Total power factor.

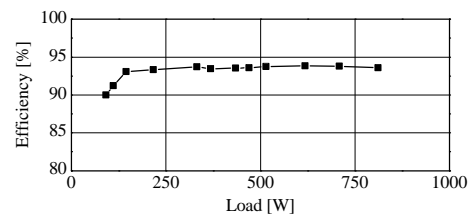


Fig. 7. Efficiency.