

# 부트스트랩 회로를 적용한 3-레벨 NPC 인버터의 저속 운전을 위한 PWM 스위칭 전략

정준형<sup>1</sup>, 구현근<sup>1</sup>, 임원상<sup>2</sup>, 김 옥<sup>1</sup>, 김장목<sup>†</sup>

## A PWM Control Strategy for Low-speed Operation of Three-level NPC Inverter based on Bootstrap Gate Drive Circuit

Jun-Hyung Jung<sup>1</sup>, Hyun-Keun Ku<sup>1</sup>, Won-Sang Im<sup>2</sup>, Wook Kim<sup>1</sup>, and Jang-Mok Kim<sup>†</sup>

**Abstract** - This paper proposes the pulse width modulation (PWM) control strategy for low-speed operation in the three-level neutral-point-clamped (NPC) inverters based on the bootstrap gate drive circuit. As a purpose of the cost reduction, several papers have paid attention to the bootstrap circuit applied to the three-level NPC inverter. However, the bootstrap gate driver IC cannot generate the gate signal to the IGBT for low-speed operation, because the bootstrap capacitor voltage decreases under the threshold level. For low-speed operation, the dipolar and partial-dipolar modulations can be the effective solution. However, these modulations have drawbacks in terms of the switching loss and THD. Therefore, this paper proposes the PWM control strategy to operate the inverter at low-speed and to minimize the switching loss and harmonics. The experimental results are presented to verify the validity on the proposed method.

**Keywords:** bootstrap circuit, gate drive circuit, three-level NPC inverter, carrier-based PWM

### 1. 서 론

3-레벨 NPC 인버터는 2-레벨 인버터와 비교하여 향상된 dv/dt 특성과 고조파 특성을 가지므로 높은 품질의 전류와 전압 파형의 출력이 가능하다. 때문에 3-레벨 NPC 인버터는 고출력 중전압 시스템 영역에서 강점을 가진다. 하지만 3-레벨 NPC 인버터는 2-레벨 인버터와 비교하여 스위치의 개수가 2배 많기 때문에 게이트 드라이버 회로의 복잡성, 비용, 부피가 증가한다. 이는 저출력 시스템에서는 치명적인 문제가 될 수 있지만 부트스트랩 회로를 적용하면 효과적인 해결책이 될 수 있으며 오늘날까지 많은 연구가 진행되었다.<sup>[1]~[4]</sup> 부트스트랩

회로는 상대적으로 간단한 회로 구조, 구동 원리와 비용 대비 효율적인 장점을 가지며 상용 게이트 드라이버 IC를 사용하여 회로 구성이 가능하다. 그러나 부트스트랩 게이트 드라이버 회로는 내부 캐패시터를 항상 일정 전압(한계 전압, Threshold voltage) 이상으로 유지해야 하는 단점을 가지고 있다. 만약 일정 전압 이하로 전압이 감소하게 되면 스위칭 동작이 불가능하다.<sup>[5]~[6]</sup>

3-레벨 NPC 인버터에 관해 연구한 논문들은 주로 Carrier-Based PWM(CBPWM)중 간단하게 사용가능한 Unipolar 방법을 적용했다. 하지만 Unipolar 방법은 부트스트랩 회로가 적용된 3-레벨 NPC 인버터의 저속 운전에 부적합하다. 왜냐하면 Unipolar 방법을 사용하는 경우 부트스트랩 캐패시터는 DC 전원으로 부터 충전 없이 반복적으로 방전을 하기 때문에 저속 운전일 경우 캐패시터 전압이 한계 전압 이하로 감소하고 그 결과 게이트 드라이버로부터 스위칭 신호가 출력되지 않고 인버터 동작이 정지되는 치명적인 문제가 발생한다.

본 논문에서는 인버터의 저속 운전 시 발생하는 부트스트랩 캐패시터의 전압 감소 현상을 개선하기 위해 Dipolar 방법과 Partial-dipolar 방법을 이용하였다.<sup>[7]~[8]</sup> 두 PWM 방법은 매 주기마다 캐패시터의 충전이 가능

Paper number: TKPE-2014-19-4-11

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: jmok@pusan.ac.kr, Dept. of Electrical Eng., Pusan National University

Tel: +82-51-510-2366 Fax: +82-51-510-0212

<sup>1</sup> Dept. of Electrical Eng., Pusan National University

<sup>2</sup> Dept. of Electrical and Computer Eng., New Mexico State University, Las Cruces.

Manuscript received Aug. 20, 2013; accepted Jun. 17, 2014

— 본 논문은 2013년 전력전자학술대회 우수추천논문임

— 본 논문은 2013년 전력전자학술대회 외부장학금 수혜논문임

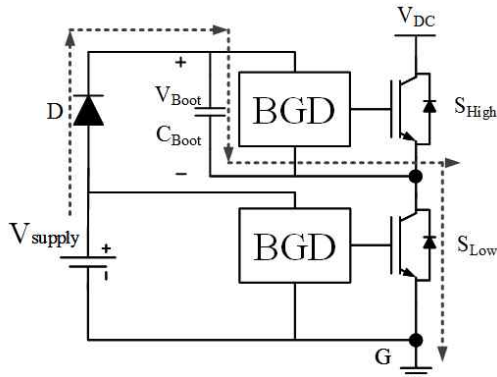


Fig. 1 Operation of bootstrap circuit in two-level system

한 Dipolar 스위칭을 포함하므로 캐패시터의 전압 개선을 통해 인버터의 저속운전을 가능하게 한다. 그러나 Dipolar, Partial-Dipolar 방법은 Unipolar 방법과 비교하여 스위칭 손실이 크며 고조파 특성이 좋지 않다.<sup>[9]</sup> 따라서 본 논문에서는 스위칭 손실과 고조파 특성을 고려하여 인버터의 저속 운전을 위한 PWM 스위칭 전략을 제안하였다. 제안한 방법은 실험을 통해 그 타당성을 증명하였다.

## 2. 부트스트랩 회로가 적용된 3-레벨 NPC 인버터

### 2.1 3-레벨 NPC 인버터와 부트스트랩 회로의 동작 원리

그림 1은 2-레벨 시스템에 적용된 부트스트랩 회로에 대한 설명이다. 부트스트랩 회로는 인버터 동작에 따라 내부 캐패시터를 충전하여 상단 스위치에 입력되는 게이팅 신호의 전위를 생성 할 수는 게이트 드라이브 회로이다. 부트스트랩 캐패시터는 하단 스위치( $S_{Low}$ )가 On 될 때, 전원  $V_{supply}$ 로부터 다이오드(D), 하단 스위치를 따라 흐르는 전류를 통해 충전이 가능하다. 캐패시터의 최대 충전량은 전원 전압( $V_{supply}$ )에 다이오드와 하단 스위치의 전압 강하량을 뺀 값이다. 상단 스위치는 부트스트랩 캐패시터에 충전된 전압을 통해 스위칭 동작이 가능하다.

그림 2는 부트스트랩 회로가 적용된 3-레벨 NPC 인버터의 한 상에 대한 그림이다. 3-레벨 NPC 인버터에 적용된 부트스트랩 회로는 4개의 스위치에 게이팅 신호를 입력하기 위해 3-레벨의 부트스트랩 차지펌프 회로로 구성되어 있다. 각 캐패시터는 스위칭 상태에 따라 전원  $V_{supply}$ 으로부터 흐르는 전류에 의해 충전되거나 캐패시터간에 흐르는 전류에 의해 충전, 방전이 일어난다. 각 캐패시터  $C_n(n=1,2,3)$ 의 최대 충전전압  $V_{n,MAX}$ 는 식 (1)~(3)과 같다.  $V_D$ 는 부트스트랩 다이오드의 전압 강하,  $V_{CE(ON)}$ 는 스위치 내부 저항에 의한 전압 강하이며  $V_{FD}$ 는 Freewheeling 다이오드의 전압 강하이다.

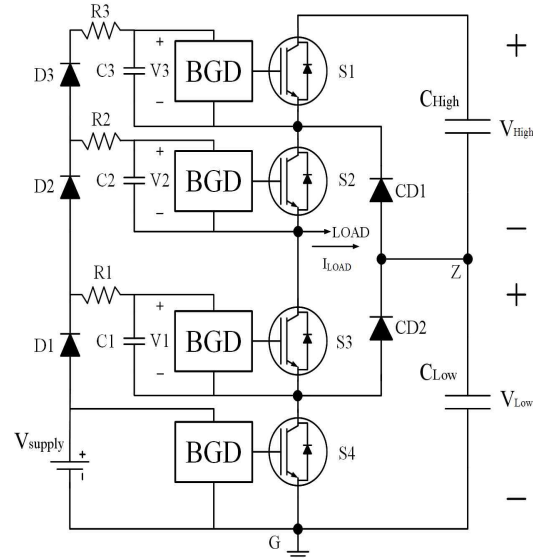


Fig. 2 A leg of the three-level NPC inverter based on bootstrap gate drive circuit

$$I_{Load} = 0: V_{n,MAX} = V_{supply} - nV_D \quad (1)$$

$$I_{Load} < 0: V_{n,MAX} = V_{supply} - nV_D - nV_{CE(ON)} \quad (2)$$

$$I_{Load} > 0: V_{n,MAX} = V_{supply} - nV_D + nV_{FD} \quad (3)$$

3-레벨 NPC 인버터 한 상은 3가지의 스위칭 상태를 가진다. 최상단 2개의 스위치가 On이 되고 나머지 스위치가 Off 상태인 'P-state', 4개의 스위치중 내부 2개의 스위치가 On이 되는 'O-state'와 최하단 2개의 스위치가 On되는 'N-state'가 있다. 각 스위칭 상태에 따른 부트스트랩 회로 동작은 그림 3에서 나타내었다. 각 부트스트랩 캐패시터 양단에 충전되는 전압이 일정 전압 이상으로 유지되지 않으면 게이팅 드라이버의 동작에 영향을 주기 때문에 스위칭 신호 출력에 문제가 발생할 수 있다. 즉 인버터의 동작과 직접적으로 관련이 있기 때문에 항상 일정 전압 이상으로 유지되도록 주의해야 한다. 특히 N-state는  $V_{supply}$ 으로부터 부트스트랩 캐패시터가 충전 될 수 있는 유일한 스위칭 상태이므로 가장 중요한 스위칭 상태이다.

### 2.2 인버터의 저속 운전 시 발생하는 문제점

일반적인 3-레벨 시스템에서는 구현의 편리성 때문에 주로 Carrier-based PWM 중 Unipolar 방법이 사용된다. 하지만 Unipolar 방법은 부트스트랩 회로가 적용된 3-레벨 NPC 인버터의 저속 운전에는 적합하지 않다. Unipolar 방법을 사용하는 경우 부트스트랩 캐패시터 전압 특성은 전압 지령에 따라 '충전 영역'과 '방전 영역'으로 구분 가능하다. 충전 영역에서는 N-state와 O-state의 반복된 스위칭에 따라 3개의 캐패시터가 충전된다.

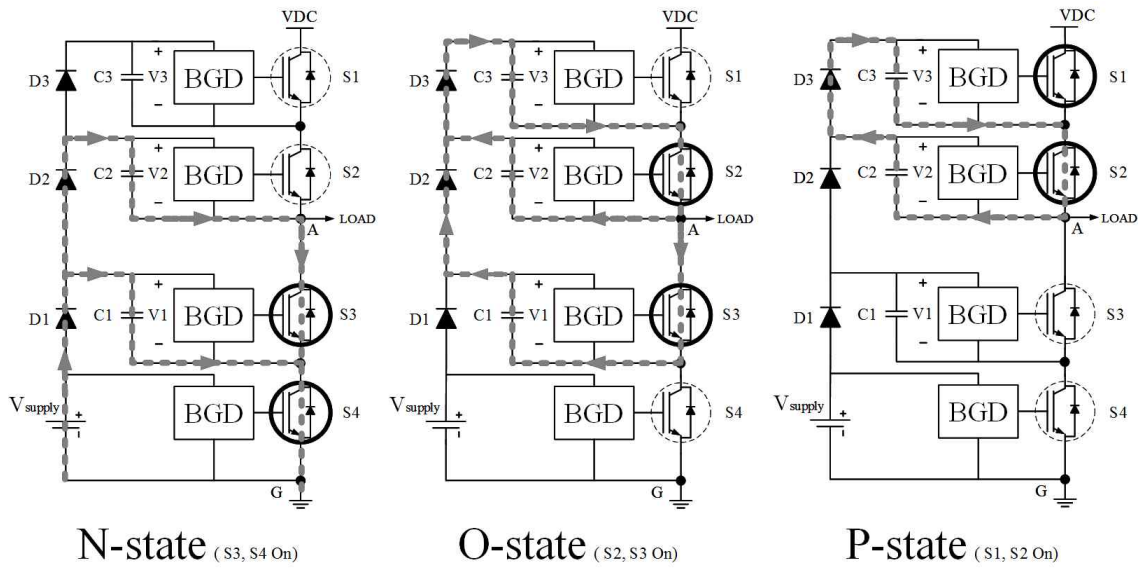
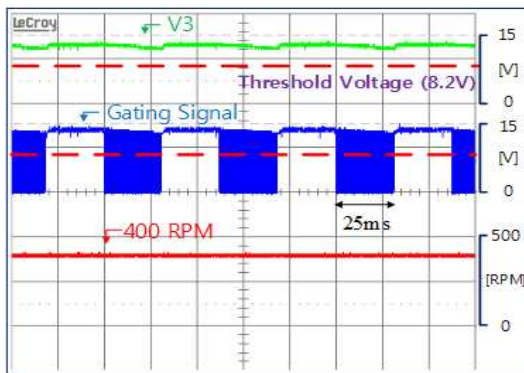


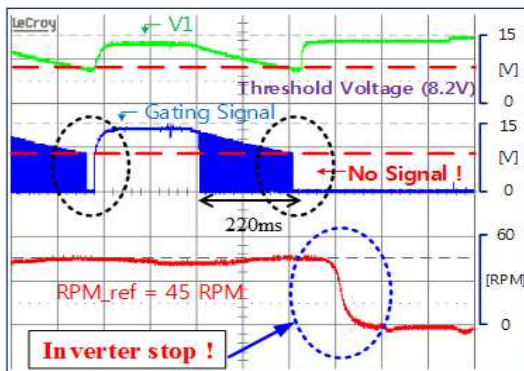
Fig. 3 Bootstrap circuit operation according to the switching state

그리고 방전 영역에서는 P-state, O-state의 스위칭이 반복되며 이 스위칭 상태에서는 전원  $V_{supply}$ 로부터 충전이 가능한 N-state가 없으므로 캐패시터는 스위칭 동작에 따라 방전되어 전압이 감소한다.

인버터의 저속 운전 시, 전압 지령의 주기가 고속 운전과 비교하여 길기 때문에 충전 영역과 방전 영역의 시간 또한 증가한다. 방전 영역의 시간이 증가했으므로 그만큼 스위칭 횟수도 증가한다. 즉 스위칭에 의한 캐패시터의 방전량이 증가하기 때문에 캐패시터 전압 감소 현상이 두드러진다. 만약 캐패시터 전압이 게이팅 신호 출력을 위한 한계 전압 이하로 감소하면 게이트 드라이버 IC 내부의 UV detector(Undervoltage Detector)에 의해 게이팅 신호가 출력되지 않는다. 이로 인해 정상적인 스위칭이 불가능하므로 인버터는 정지된다. 그림 4에서는 인버터 저속 운전시 발생하는 문제에 대해 나타내었다. 그림 4(a)는 상대적으로 고속 조건으로 방전 주기가 짧기 때문에 부트스트랩 캐패시터 전압 감소량이 작아 안정적인 운전이 가능하다. 하지만 그림 4(b)와 같이 저속 운전 조건에서는 방전 주기가 길어지기 때문에 부트스트랩 캐패시터 전압의 감소량은 증가하여 캐패시터 전압이 한계 전압(Threshold voltage(IR2106 : 8.2V)) 이하로 감소된다. 이 경우 스위칭 신호가 더 이상 출력되지 않으며 그 결과 정상적인 제어가 불가능하여 전동기가 정지하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 4의 실험 조건은 표1과 같다.



(a) 400RPM Speed Control



(b) 50 RPM Speed Control

Fig. 4 Voltage variation of bootstrap capacitor as the operation speed of inverter

### 3. 저속 운전을 위한 PWM 스위칭 전략

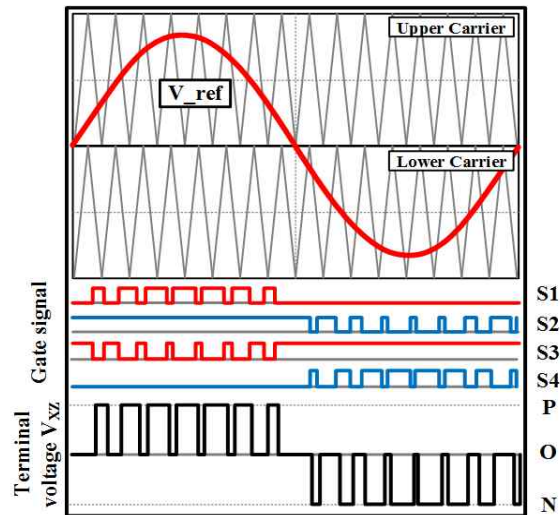
그림 5는 3-레벨 시스템에서 사용되는 3가지의 CBPWM의 스위칭 특성에 대해 나타내었다. 그림 5(a)는 Unipolar 방법에 대한 그림이다. Unipolar 방법은 하나의 지령을 통해 반주기당 2개의 PWM 신호를 상보적으로 출력하여 P-O-P(방전 영역), N-O-N(충전 영역)의

Table 1 Inverter Part List and PMSM parameter

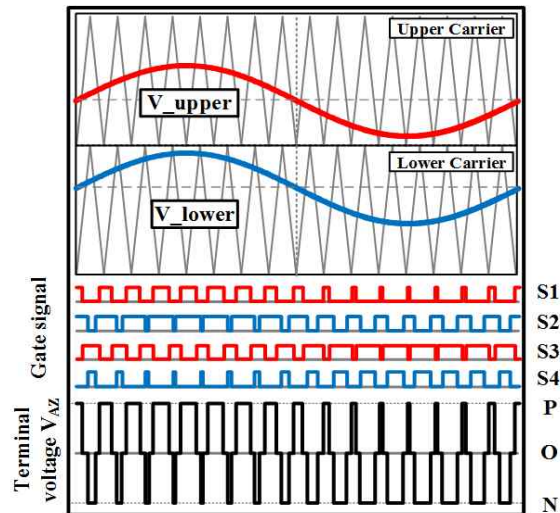
Bootstrap capacitor C1, C2, C3	10 [uF]
IGBT	IRG4BC20KD
Gate driver IC	IR2106, IRS21171
DC voltage supply	15 [V]
Rated output	100 [W]
Rated speed	1200 [RPM]
Pole pair	3

스위칭을 한다. 충전 영역(N-O-N)에서는 반복적인 N-state 스위칭을 통해  $V_{supply}$ 로 부터 캐패시터 충전이 가능하다. 반면에 방전 영역(P-O-P)에서는 N-state 스위칭을 하지 않으므로 캐패시터는 충전 없이 스위칭에 의한 방전만 하게 된다. 그림 5(b)는 Dipolar 방법에 대해 설명하고 있다. Dipolar 스위칭은 PWM 스위칭 한 주기에 P-O-N-O-P의 스위칭을 하므로 PWM 스위칭 주기마다 N-state에서 캐패시터 충전이 가능하다. 따라서 Dipolar 방법은 캐패시터 전압 감소가 거의 없으므로 영속 영역을 포함한 모든 속도 영역에서 운전이 가능하다. 하지만 전영역에서 4개의 스위치가 모두 스위칭을 하기 때문에 Unipolar 방법보다 스위칭 손실이 2배 정도 크며 고조파 특성이 나쁜 단점이 있다. 그림 5(c)의 Partial-Dipolar 방법은 Unipolar 방법과 Dipolar 방법의 혼합형으로 부분적인 Dipolar 스위칭을 한다. Dipolar 스위칭 영역이 넓어질수록 Unipolar 스위칭 영역이 줄어들어 부트스트랩 캐패시터 전압의 감소량이 작아진다. 하지만 Dipolar 방법과 유사하게 전체 스위칭 주기 중 Dipolar 스위칭의 비율에 따라 스위칭 손실이 커지며 고조파 특성이 나빠지는 단점을 가지고 있다. 그러므로 그림 6과 같이 3가지의 CBPWM을 운전 속도에 따라 적절하게 사용하여 효율적인 운전이 가능하다.

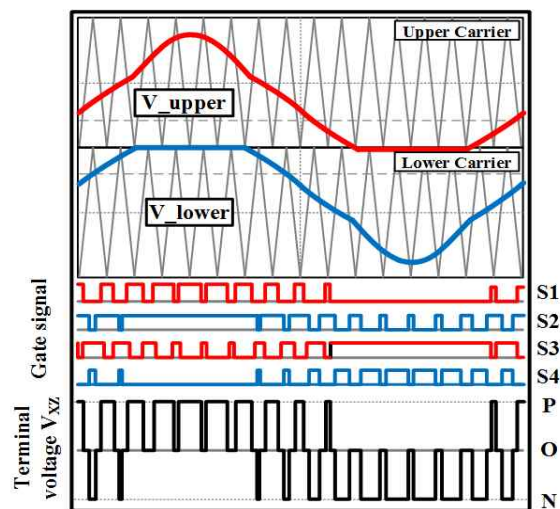
그림 6에서는 본 논문에서 제안하는 효율적인 저속 운전을 위한 PWM 스위칭 전략에 대해 나타내었다. 3가지의 PWM 방법 중 상대적으로 Unipolar 방법이 가장 효율적이 때문에 Unipolar 방법은 운전 가능한 최저속도  $\omega_{min}$ 까지 최대한으로 사용된다. 최저속도  $\omega_{min}$  이하의 저속 영역에서는 캐패시터 전압 부족으로 인해 Unipolar 방법으로는 더 이상 인버터 운전을 할 수 없기 때문에 이 영역에서는 Dipolar, Partial-Dipolar 방법을 통해 인버터 운전이 가능하다. 그리고 효율적인 저속 운전을 위해 운전 속도에 따라 Dipolar 스위칭 영역의 비율 (Dipolar ratio,  $x$ )이 제어 가능한 Partial-Dipolar 방법을 사용한다. 영속에 가까운 운전 영역에서는 PWM 스위칭 주기마다 캐패시터 충전이 가능한 Dipolar 방법을 사용한다. Dipolar 방법을 사용하게 되면 캐패시터 전압을 최대값으로 유지 할 수 있다.



(a) Unipolar modulation



(b) Dipolar modulation



(c) Partial-dipolar modulation

Fig. 5 Three modulations for PWM control strategy

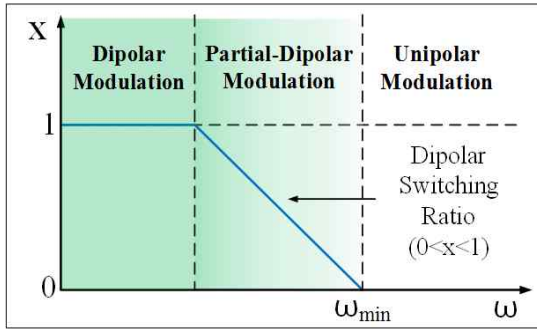


Fig. 6 The PWM control strategy for the efficient operation at low speed

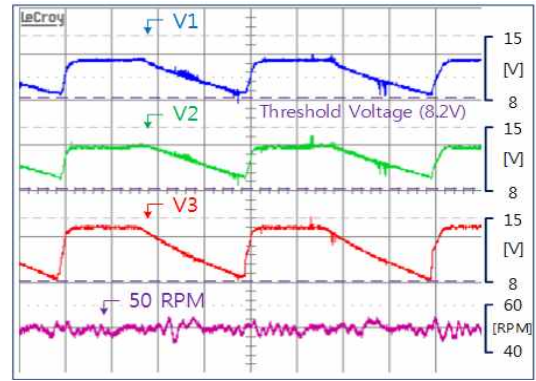
#### 4. 실험 결과

실험에 사용된 3-레벨 NPC 인버터의 재원은 표 1에 나타내었다. 인버터 제어를 위해 TI사의 TMS320c28346 기반의 DSP 제어 보드를 사용했으며 PWM 스위칭 주파수는 10kHz이다.

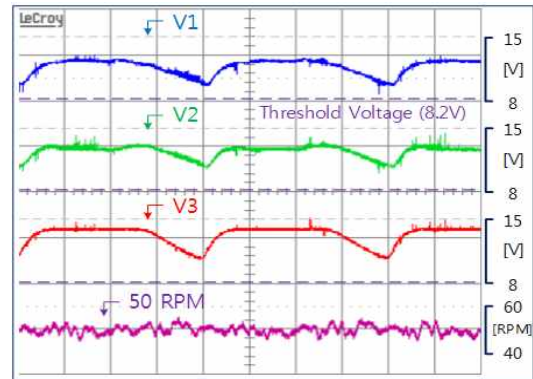
인버터 운전 시 부트스트랩 커패시터 전압에 영향을 주는 요소는 부트스트랩 커패시터 용량, IGBT Gate charge, Gate Driver IC에서 소모하는 대기 전하량, DC 전압원 등이 있다. 스위칭시 소모되는 전하량은 IGBT, 게이트 드라이버 IC 특성에 따라 정해지며 그 크기에 따라 전압 감소 특성이 달라진다.

그림 7(a)는 저속 영역에서 Unipolar 방법을 사용했을 때, 각 부트스트랩 커패시터의 전압 파형이다. 방전 영역에서 각 커패시터 전압은 방전에 의해 한계 전압 가까이 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 만약 이보다 더 저속에서 운전 할 경우 방전 영역 시간이 증가하여 커패시터 전압이 한계 전압 이하로 감소하게 된다. 정상적인 게이트 신호 출력을 못하게 되어 그림 4와 같이 인버터가 정지 하게 된다.

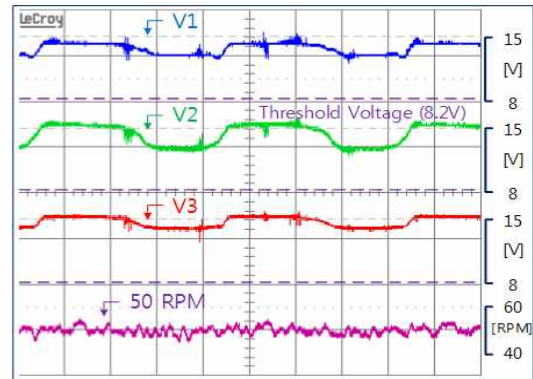
그림 7(b)와 7(c)는 Partial-Dipolar방법과 Dipolar 방법의 저속 운전에 대한 실험 결과이다. 그림 7(b)의 Partial-Dipolar 방법은 부분적인 Dipolar 스위칭(전체 운전 주기의 50%)을 통해 Unipolar 스위칭의 방전 영역 시간을 감소시켜 커패시터의 전압 감소 현상을 개선 할 수 있다. 왜냐하면 Dipolar 스위칭에 포함된 N-state에서 PWM 스위칭 주기마다 커패시터가 충전되기 때문이다. 그러므로 Partial-Dipolar 방법은 Unipolar 방법보다 저속에서 인버터 운전이 가능하다. 하지만 Dipolar 스위칭 비율이 커질수록 스위칭 손실이 커지며 THD 특성이 나빠지므로 이를 고려하여 효율적인 운전을 해야 한다. 그림 7(c)와 같이 Dipolar 방법을 사용한 경우, 전 영역에서 Dipolar 스위칭을 하기 때문에 부트스트랩 커패시터는 충분한 전압( $V_{n,Max} = V_{supply} - nV_D - nV_{CE(on)}$ )을 안정적으로 유지 할 수 있다. 그러므로 Dipolar 방법은 영속 영역을 포함한 저속 영역에서의 운전이 가능하다.



(a) Unipolar modulation



(b) Partial-Dipolar modulation

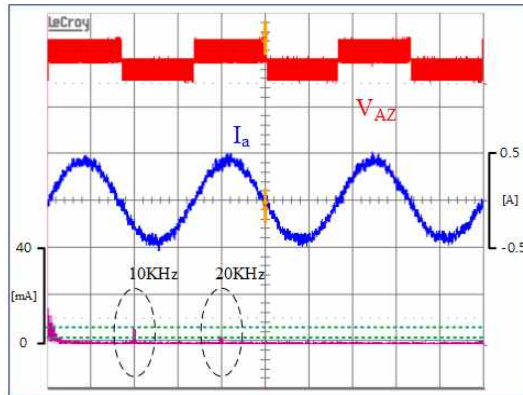


(c) Dipolar modulation

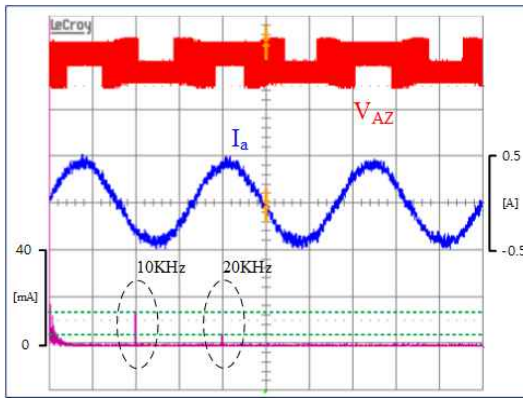
Fig. 7 Experiment result about improvement of bootstrap capacitor voltage

그림 8은 3가지 PWM 방법의 극전압 출력과 고조파 특성에 대한 파형이다. 그림 8(a)에서 나타내는 Unipolar 방법의 경우 극전압 출력은 스위칭 주기당 P-O-P, N-O-N 2번의 변화를 가진다. 이에 따라 상전류는 스위칭 주파수(10kHz)에 따라 맥동이 발생한다.

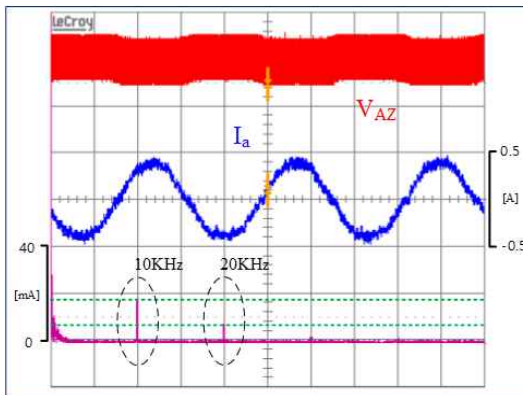
그림 8(b),(c)의 Dipolar 스위칭을 사용하는 Partial-Dipolar 방법과 Dipolar 방법의 경우 극전압 출력은 P-O-N-O-P, N-O-P-O-N 총 4번의 변화를 가진다. PWM 스위칭 주기당 극전압 출력의 변화가 Unipolar 방법과 비교하여 2배 이므로 스위칭 주파수(10kHz)의



(a) Unipolar modulation



(b) Partial-Dipolar modulation



(c) Dipolar modulation

Fig. 8 Harmonic spectrum of phase current according to three modulations

두배인 20kHz에서 고조파가 더 크게 발생하며 Dipolar 스위칭 영역이 넓어질수록 크기가 증가한다. 그리고 PWM 스위칭 주기 동안 P 와 N의 스위칭 상태에 가지므로 전류 맥동의 크기가 Unipolar 방법보다 더 크다. 이 때문에 스위칭 주파수인 10kHz에서 나타나는 고조파의 크기가 Unipolar 방법과 비교하여 더 크다. 그림 8의 실험 결과를 통해 Dipolar 스위칭의 영역이 넓어질수록 고조파 특성은 저하되는 것을 확인 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 부트스트랩 회로가 적용된 3-레벨 NPC 인버터의 저속 운전에 적용하기 위한 PWM 스위칭 전략을 제안하였다. 인버터의 저속 운전을 위해 Partial-Dipolar와 Dipolar 방법을 제안했으며, 실험 결과를 통해 Partial-Dipolar와 Dipolar 방법이 저속에서 운전 가능 한 것을 확인하였다. 그리고 효율적인 저속 운전을 위해 PWM 스위칭 전략을 제안하였다.

부트스트랩 회로는 저비용으로 간단하게 회로를 구성할 수 있지만 저속 운전의 한계점 때문에 그동안 제한적으로 사용되어 왔다. 그러나 본 논문에서 제안한 스위칭 전략을 통해 영, 저속의 운전이 가능하므로 다양한 운전속도 조건을 가지는 인버터에 적용할 수 있다. 특히 에어컨 인버터의 경우 EMI/EMC 기준을 만족하기 위해 필터를 사용하는 대신 3-레벨 인버터의 적용에 대해 연구 중이므로 제안한 영, 저속 운전 전략을 활용하는 부트스트랩 회로가 적용 가능하다.

본 연구는 2011학년도 부산대학교 교내학술연구비 (신임교수연구정착금)에 의한 연구임

## References

- [1] B. A. Welchko, M. B. de Rossiter Correa, and T. A. Lipo, "A three level MOSFET inverter for low-power drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 51, No. 3, pp. 669 - 674, June 2004.
- [2] J. J. Graczkowski, K. L. Neff, and X. Kou, "A low-cost gate driver design using bootstrap capacitors for multilevel MOSFET inverters," in Proc. 5<sup>th</sup>CES/IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf., Vol. 2, pp. 1 - 5, Aug. 2006.
- [3] C. Klumpner, N. Shattock, "A cost-effective solution to power the gate drivers of multilevel inverters using bootstrap power supply technique," in Proc. 24th Annual IEEE Applied Power Electron. Conf. and Exposition, pp. 1773-1779, Feb. 2009.
- [4] Q. T. V. Nguyen, D.C. Lee, "Bootstrap Power Supply for Three-Level Neutral-Point-Clamped Voltage Source Inverters," in Proc. 7<sup>th</sup>CES/IEEE Int.Power Electron. Motion Control Conf., pp. 1038-1043, June 2012.
- [5] "Application Note AN978," HV Floating MOS-Gate Driver ICs.
- [6] "Design Tips DT 04-4," Using monolithic high voltage gate drivers.
- [7] R. M. Tallam, R. Naik, and T. A. Nondahl, "A carrier-based PWM scheme for neutral-point voltage balancing in three-level inverters," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 41, No. 6, pp. 1734 - 1743, Nov./Dec. 2005.

- [8] B. Velaerts, P. Mathys and E. Tatakis, "A Novel Approach to the Generation and Optimization of three level PWM waveforms," in Proc. IEEE PESC'88. Conf., 1988, pp. 1255- 1262.
- [9] R. K. Behera, T. V. Dixit, and S. P. Das, "Analysis of experimental investigation of various carrier-based modulation schemes for three level neutral point clamped inverter-fed induction Motor Drive," in Proc. of PEDES'06, Delhi, India, pp. 1-6, Dec. 2006,



#### **정준형(鄭準衡)**

1986년 8월 13일생. 2012년 부산대 전자전기통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



#### **구현근(具賢根)**

1984년 12월 11일생. 2009년 부산대 전자전기통신공학부 졸업. 2009년~현재 동 대학원 석·박사 통합과정.



#### **임원상(林遠相)**

1981년 10월 3일생. 2007년 부산대 전기전자통신공학부 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박) 2013년~현재 뉴멕시코 주립대학 박사 후 과정.



#### **김욱(金煜)**

1968년 2월 11일생. 1990년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학부 졸업(공박). 1997년~2001년 LS산전 선임연구원. 2002년~2003년 삼성증권 연구위원. 2003년~2011년 한국남부발전 차장. 2011년~현재 부산대 전기공학과 조교수.



#### **김장목(金長睦)**

1961년 8월 6일생. 1988년 부산대 전기공학과 졸업. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박) 1997년~2001년 한국전력 전력연구원 선임연구원. 2007년 Florida state University 방문교수. 2001년 3월~현재 부산대 전기공학과 교수. LG전자 스마트제어 센터장.