

# 3-레벨 Hybrid ANPC 인버터를 이용한 디젤전기기관차 추진시스템의 제어방법

## Control Method of Diesel Electric Motive Driving System Using 3-level Hybrid ANPC Inverter

김태형\*, 윤범렬\*, 이준석\*<sup>†</sup>, 이건복\*\*

Tae-Hyeong Kim\*, Bum-Ryul Yoon\*, June-Seok Lee\*<sup>†</sup>, Gunbok Lee\*\*

**초 록** 본 논문은 3-레벨 Hybrid ANPC (Active Neutral Point Clamping) 인버터를 이용한 디젤전기기관차 추진시스템의 제어방법을 제안한다. 디젤전기기관차 추진시스템의 DC link 전압은 디젤엔진에 연결된 발전기의 회전속도에 의해 결정된다. 따라서 제안하는 방법에서는 DC link 전압의 크기 변동을 고려한 전류 제어 지령을 생성함으로써 인버터의 출력전압을 출력 가능한 범위 내로 생성한다. 또한, 고속 영역에서 동기 PWM 방법을 적용하여 출력 전압의 불평형을 방지한다. 제시하는 제어방법의 타당성은 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다.

**주요어** : Hybrid ANPC 인버터, 디젤전기 기관차, 전류제어, 출력전압, 동기 PWM

### 1. 서 론

디젤전기 기관차의 견인전동기를 구동 시 발전기의 회전속도에 의해 결정되는 DC link 전압은 인버터의 최대 출력 전압을 제한한다. 따라서 인버터의 출력전압 범위는 DC link 전압의 크기를 고려하여 제어되어야 한다.

3-레벨 ANPC 인버터는 2-레벨 인버터보다 시스템 수명 증가 및 THD 감소가 가능하지만 전력반도체 수의 증가로 인해 고속 운전에서는 스위칭 손실이 증가한다. 이 문제점은 SiC MOSFET을 적용한 Hybrid ANPC 인버터를 사용하여 해결할 수 있다[1].

본 논문에서는 3-레벨 Hybrid ANPC 인버터를 적용한 추진시스템의 제어방법과 고속 운전 시 동기 PWM을 적용하는 방법에 대해 제안한다. 제안하는 방법의 타당성은 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다.

<sup>†</sup> 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학부 (ljs@dankook.ac.kr)

\* 단국대학교 공과대학 전자전기공학부

\*\* 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

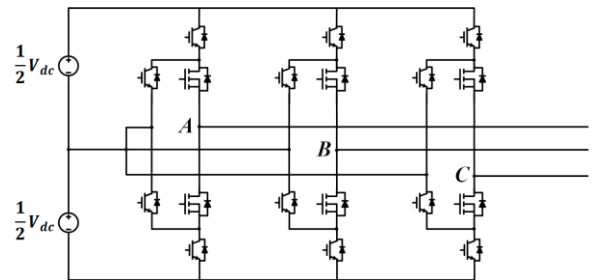


Fig. 1 Three phase Hybrid ANPC Inverter Topology.

### 2. 본 론

#### 2.1 Hybrid ANPC 인버터

일반적으로 ANPC 인버터의 전력반도체 소자는 하나의 레그가 6개의 Si IGBT로 구성되며 이 IGBT들의 손실을 균등하게 분배하기 위해서는 복잡한 제어가 요구된다. 하지만 Fig. 1과 같이 일부 IGBT를 SiC MOSFET으로 교체하여 Hybrid ANPC 토폴로지를 구성하게 되면, 복잡한 제어를 사용하지 않고도 균등하게 손실을 분배할 수 있다.

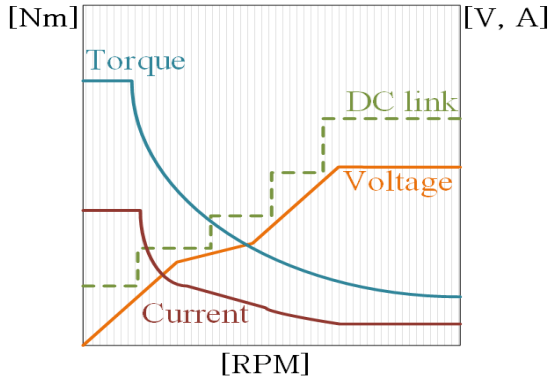


Fig. 2 Characteristic curve of traction motor.

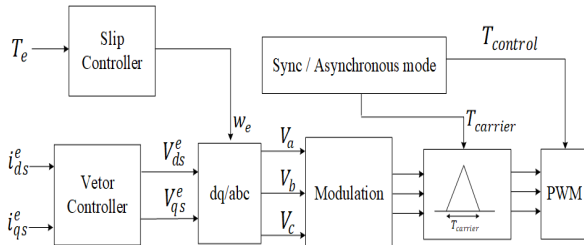


Fig. 3 Control block diagram.

## 2.2 DC link 전압 변동을 고려한 제어방법

Fig. 2는 견인전동기의 능력곡선을 나타낸다. 능력곡선에 보이듯이 속도에 따라 DC link 전압이 변동하므로 이를 고려하여 제어가 수행되어야 한다.

정토크영역에서는 벡터제어를 사용하며 전류지령은 식 (1), (2)에 의해 결정된다. 정출력영역에서는 벡터제어와 슬립제어를 모두 사용하며 전류지령은 식 (1), (3)에 의해 결정된다.

$$T_m = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pole}{2} \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot i_{ds}^e i_{qs}^e \quad (1)$$

$$I_s = \sqrt{i_{ds}^e{}^2 + i_{qs}^e{}^2} \quad (2)$$

$$i_{ds}^e = \sqrt{\frac{(V_{smax} / w_e)^2 - (\sigma L_s I_{smax})^2}{L_s^2 - \sigma L_s^2}} \quad (3)$$

또한 고속 운전에서는 동기 PWM을 적용하여 기본파와 삼각파의 시작점을 일치시키고, 이를 통해 출력전압의 불평형을 방지한다. 제안하는 전체 제어 블록도는 Fig. 3과 같다.

## 2.3 시뮬레이션

Fig. 4는 견인전동기를 유도전동기로 모의한 정격속도까지의 파형이다. Fig. 4(d)는 제어방

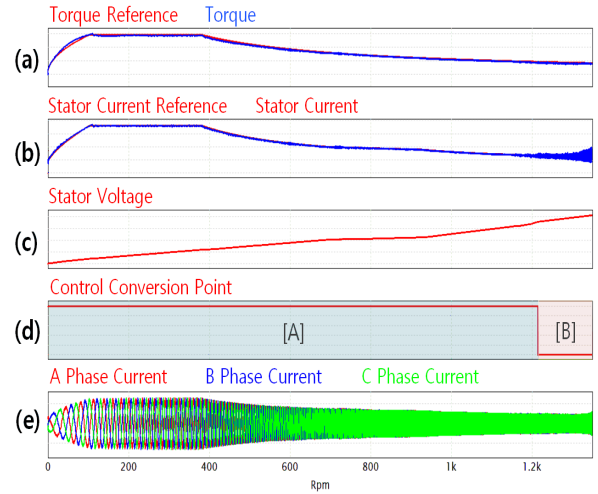


Fig. 4 Simulation verification.

Table 1 Parameter of Induction Motor.

|    |         |      |         |
|----|---------|------|---------|
| Rs | 10.3mΩ  | Rr   | 19mΩ    |
| Ls | 7.388mH | Lr   | 7.388mH |
| Lm | 7.1mH   | Pole | 6       |

법의 전환시점을 나타내며 구간 A는 벡터제어, B는 슬립제어에 해당된다. Fig. 4(b), (c)는 고정자 전압과 전류를 나타내며, 기울기가 Fig. 2의 능력곡선과 동일함을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 Hybrid ANPC를 적용한 디젤 전기 기관차 추진시스템의 제어방법을 제안하였다. 제안하는 방법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 능력곡선을 동일하게 구현함으로써 입증하였다.

## 후기

본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 21RTRP-B146051-04).

## 참고문헌

- [1] M.-G. Song, S.-M. Kim and K.-B. Lee (2021) Elimination of Abnormal Output Voltage in a Hybrid Active NPC Inverter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 5, pp. 5348-5361