

전기자동차 구동용 인버터의 전력회로 병렬 구성을 통한 스위칭 소음 및 손실 저감 방법

이종찬*, 홍성민*, 유두영*, 방이석*
*현대중공업

Switching acoustic noise & thermal loss reduction method through power circuit parallel construction of electric vehicle propulsion inverter

Jong Chan Lee*, Sung Min Hong*, Doo Young You*, Lee Seok Bang*
*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

최근 계속되는 유가 상승과 화석에너지의 고갈 문제, 그리고 환경에 대한 관심 증가로 인해 자동차의 연비 개선 및 배기가스 저감을 위한 친환경 자동차 기술로 전기자동차에 대한 연구 활동이 활발하게 진행 중이다.

전기자동차에서 동력을 발생시키는 대용량 전동기는 큰 토크 발생에 필요한 전류를 받아들이기 위하여 내부적으로 이중 권선을 갖도록 구성되어 있고, 인버터 전력소자는 대용량 소자를 사용하거나 병렬로 구성하여 전동기 1상의 전류를 감당하도록 되어 있다.

본 논문에서는 전동기의 이중 권선에 인버터의 전력회로를 병렬로 구성하여 6선 3상으로 연결함으로써 전동기에 인가되는 인버터의 PWM 스위칭 주파수를 기존보다 낮게 사용하더라도 스위칭 소음, 전류의 맥동 및 손실을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다.

1. 서론

전기자동차에서 동력을 발생시키는 유도 전동기는 분포권으로 권선이 배열되어 있고, 회전자계를 만들기 위하여 120도 위상차를 가지는 3상 전원이 사용된다.

이러한 전동기를 제어하기 위해서는 주파수와 전압을 제어하여 토크나 속도를 제어하게 되는데, 이때, 인버터를 사용하며, 인버터의 3상 출력이 전동기의 3상 단자에 연결된다.

대용량 전기자동차의 전동기 구동장치는 큰 전류를 공급받을 수 있도록 내부적으로 3개의 이중 권선, 이중 권선들과 각각 연결된 3개의 단자(U, V, W)를 갖는 전동기, PWM 제어기에 의해 제어되는 인버터를 구비하는 전력변환장치를 포함한다. PWM 제어기의 제어에 의해 인버터로부터 출력되는 120도 위상 차이를 갖는 3상 전원을 전동기의 3개의 단자(U, V, W)에 인가하여 전동기에 토크를 발생시킨다.^[1,2]

본 논문에서는 대용량 전기자동차의 병렬 구조 전력회로를 갖는 시스템에 적용할 수 있는 새로운 스위칭 기법을 제안하였다. 동일한 스위칭 주파수를 설정하였을 때, 기존의 방법과 비교하여 스위칭 소음과 전류 맥동 및 손실에서 개선됨을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 검증하였다.

2. 제안한 PWM 스위칭 방법

2.1 대용량 전기자동차의 PWM 스위칭 기법

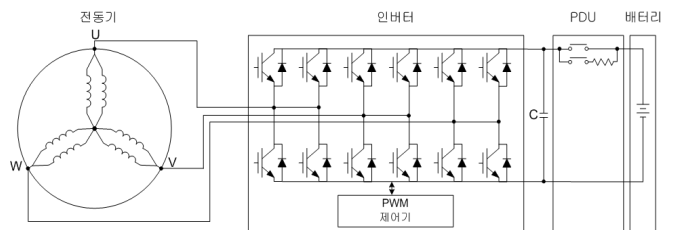


그림 1 대용량 전기자동차 시스템
Fig. 1 The heavy duty electric vehicle system

그림 1은 대용량 전기자동차 시스템의 구성도이다. 큰 전류를 흘려주기 위하여 인버터의 전력 소자에 병렬로 전력 소자를 더 연결하여 전동기 1상의 전류를 제공할 수 있도록 구성된다.

기존의 대용량 전기자동차의 전동기 구동장치는 1개의 PWM 제어기에 의해 제어되는 인버터를 사용하여 전동기에 입력되는 전원과 주파수를 제어하여 전동기를 구동시킨다.

이때, 전압과 주파수를 제어하기 위한 방법으로 사용되는 PWM 스위칭은 필연적으로 소음을 발생시키는데, 이 소음을 저감시키기 위해서 PWM 스위칭 주파수를 가청 주파수 이상으로 사용한다.

이로 인하여 고속으로 스위칭되는 인버터의 전력 소자에 많은 열이 발생하는 문제점이 있다.

2.2 제안한 PWM 스위칭 기법

그림 2는 동일한 주파수이지만, 서로 180도의 위상 차이를 갖는 PWM 파형과 이에 따른 각각의 전류, 합성전류를 나타낸다. 제안하는 PWM 스위칭 기법은 이중 권선을 포함하는 전동기를 구동하는 방법에 있어서, 권선에 각각 연결되며, 서로 병렬로 연결되는 제 1 인버터 및 제 2 인버터로부터 각각 출력되는 구동 전압을 각각의 권선에 동시에 공급하여 전동기를 구동한다.

따라서, 전력변환장치 내의 인버터를 병렬로 구성함으로써, 기존보다 낮은 가청 주파수의 스위칭 신호를 사용하더라도, 전동기에 인가되는 전류는 스위칭 신호의 2배의 주파수를 갖게 되므로 가청주파수 영역 밖으로 유도되어 소음을 줄일 수 있

다.

그림 3은 제안한 PWM 스위칭 기법을 적용한 대용량 전기자동차 구동 시스템이다.

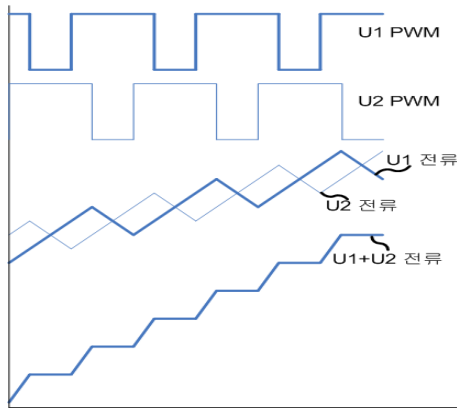


그림 2 제안한 PWM 스위칭 기법
Fig. 2 Proposed PWM switching method

또한, 전동기에 인가되는 전류의 맥동을 줄임으로써, 고조파의 크기를 감소시켜, 전동기의 토크에 기여하지 못하는 고조파 전류에 의한 손실을 저감시킬 수 있다.

따라서, 낮은 스위칭 주파수에 의한 인버터의 전력 반도체 소자의 스위칭 손실을 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라 전동기의 입력 전류 고조파 크기를 감소시켜 전동기의 효율을 향상시킬 수 있게 된다.

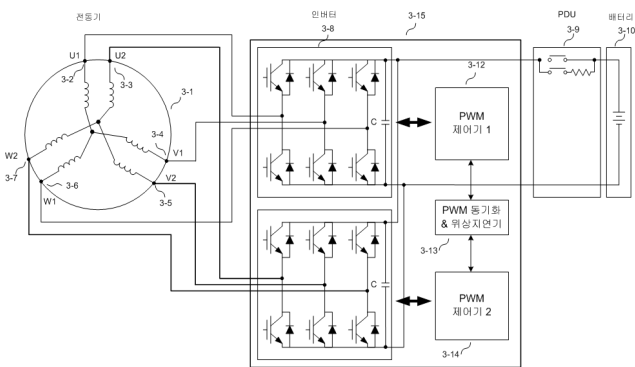


그림 3 제안한 PWM 스위칭 기법을 적용한 대용량 전기자동차 시스템 구성도
Fig. 3 The heavy duty electric vehicle system by Proposed PWM switching method

3. 시뮬레이션 및 실험

표 1 60/120kW 부하에서 PWM 주파수에 따른 IGBT 손실 비교^[3]
Table 1 With varying PWM frequencies, IGBT loss comparison in 60/120kW load

| PWM 주파수 | Rated current(60kW) | Over load(120kW) | Ratio(%) | |
|---------|---------------------|------------------|----------|-----|
| | | | | |
| 8kHz | 1443 W | 3513 W | 100 | 100 |
| 5kHz | 1131 W | 2808 W | 78 | 80 |
| 4kHz | 1032 W | 2592 W | 72 | 74 |

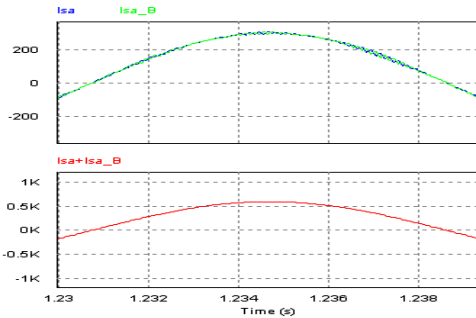


그림 4 시뮬레이션 전류 파형
Fig. 4 Simulation current wave

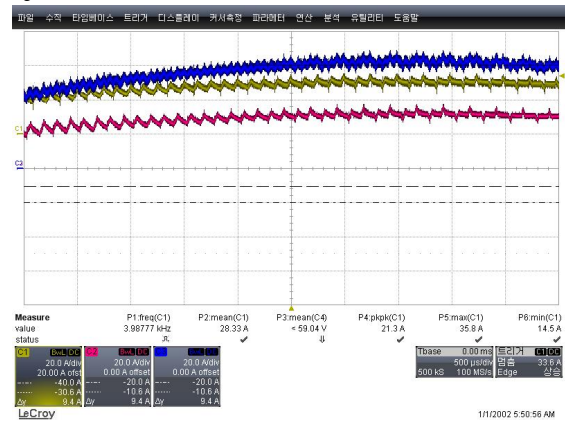


그림 5 구동용 전동기의 1상 전류 파형
Fig. 5 1 phase current wave of propulsion motor

4. 결론

본 논문은 소음 저감을 위하여 가청주파수 밖의 PWM 주파수를 사용하는 전기자동차 구동용 인버터에서 가청주파수 이내의 비교적 낮은 PWM 주파수를 사용하여 전력소자의 스위칭 손실을 저감하고 소음을 저감시키는 방법을 제시하였다. 이 제안한 방법은 시뮬레이션과 실험을 통하여 25%이상의 전력소자 스위칭 손실 저감과 전동기 맥동 전류 감소를 확인하였다. 이 제안한 기법은 전기자동차 구동용 인버터뿐만아니라 이중 권선 전동기와 병렬 구조를 갖는 산업용 인버터에도 쉽게 적용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] Seung Ki Sul, Control Theory for Electric Motors, Hongrung publishing, pp. 239 298, 2005.
- [2] 유두영, KR A 0049094, Dual type electric vehicle driving device, May 3, 2013.
- [3] www.semikron.com