

하이브리드 자동차용 3-레벨 ANPC 인버터의 열 분배 및 THD 분석

김모세*, 이희준*, 신수철*, 이정효*, 원충연*, 이택기**
성균관대학교*, 한경대학교**

Analysis of Heat Distribution on Switches and THD of 3-Level ANPC VSI for Hybrid Vehicle

Mo Se Kim*, Hee Jun Lee*, Soo Chul Shin*, Jung Hyo Lee*, Taeck Kie Lee** Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Hankyong University**

ABSTRACT

본 논문에서는 3 레벨 ANPC 방식을 적용하여 하이브리드 자동차에 장착된 IPMSM을 구동하는 인버터를 제안하였다. 3 레벨 ANPC 인버터는 전력 반도체 스위치의 열 분배에 용이하다. 또한 3 레벨 인버터의 경우 dv/dt가 작기 때문에 THD를 감소시켜 출력 필터의 부피와 EMI를 저감시킬 수 있다. 따라서 자동차의 신뢰성과 안전성을 높일 수 있다. 제안된 논문에서는 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터 출력 특성을 분석하고, 스위치 간 온도 특성 분석 및 THD를 시뮬레이션 통하여 비교하였다.

1. 서 론

자동차의 연료인 화석에너지로부터 발생하는 배기가스로 인한 대기오염과 지구온난화가 세계적으로 문제되면서 공기오염이 적은 하이브리드 자동차에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있고, 또한 자동차의 동력전달장치인 인버터에 대한 관심이 높아지고 있다. 2 레벨 인버터의 경우 출력전압이 구형파의 형태로 나타나 출력 필터의 부피가 커지고, EMI (Electro Magnetic Interference)가 발생한다. EMI로 인하여 시스템의 주변 인터페이스 장치들에 오동작 문제가 발생하고, 이러한 시스템은 EMI를 제거하기 위하여 추가적인 필터를 사용해야 하는 어려움을 가지고 있다. 하지만 3 레벨 ANPC(Active Neutral Point Clamped) 인버터는 각 전력 반도체 소자에 열을 분배하여 방열 설계에 유리하며, dv/dt를 줄여 고조파가 감소되는 등의 많은 장점을 가진다.[1]

본 논문에서는 하이브리드 자동차에 장착된 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)을 구동하는 3 레벨 ANPC 인버터를 제안하였다.[2] 제안된 3레벨 ANPC 인버터의 구조와 구동 방식을 설명하고, PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터의 각 전력 반도체 소자에서 발생하는 발열과 입·출력 전압 및 전류의 고조파를 분석하여 3 레벨 ANPC 인버터의 우수함을 검증하였다.

2. 본 론

3 레벨 ANPC 인버터를 이용하면 2 레벨 인버터에 비해 전압정격이 작은 스위치를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 전류의 도통 경로를 각 스위치에 고르게 분배하여 특정 스위치에 열 발생이 집중되는 집중현상을 방지할 수 있다. 이는 하이브리드

자동차의 제한된 공간에서 인버터의 방열 장치의 부피와 무게를 줄일 수 있고 스위칭 소자의 전압 정격을 낮출 수 있다. 또한 3 레벨 ANPC 인버터를 적용한 멀티레벨 인버터는 출력 전압이 3 레벨의 형태로 나타나기 때문에 2 레벨 인버터에 비해 고조파가 감소되고 출력 측 필터의 크기를 줄일 수 있다. 고조파 감소로 인해 인버터에서 발생하는 EMI를 감소시켜 다른 전자기기의 오작동을 방지 할 수 있다.

2.1 3-레벨 ANPC 인버터의 구조

2 레벨 인버터는 간단한 구성과 이미 검증된 제어 및 PWM 기법을 사용하여 구현이 가능하다. 2 레벨 인버터는 스위칭 주파수를 높이면 저차 고조파 성분이 감소되고, 가청소음을 해소할 수 있다. 또한 출력 필터의 크기를 줄일 수 있는 여러 가지 장점을 가진다. 하지만 스위칭 손실의 증가에 따른 전력 변환 효율이 저하되며 출력 상 전압은 +와 -의 형태인 구형파의 형태로 나타나 스위칭 동작 시 큰 dv/dt 스트레스의 증가로 인해 외부로 방출되는 EMC, EMI 노이즈 문제가 발생한다.

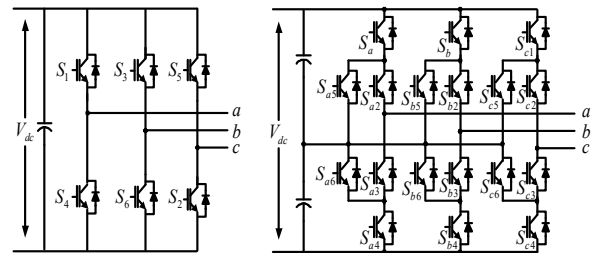


그림 1 2레벨 인버터와 3레벨 ANPC 인버터의 구조
Fig. 1 Structure of 2-Level Inverter and 3-Level ANPC Inverter

그림 1은 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터를 나타낸다. 3 레벨 ANPC 인버터는 한 폴에 6개의 스위치와 6개의 다이오드로 구성되어 있으며, 출력 상 전압을 +, 0, -인 3 레벨로 나타낸다. 3 레벨 형태로 나누어서 출력을 나타내기 때문에 2 레벨 인버터 보다 dv/dt가 작아 EMI가 줄어든다. 2 레벨 인버터에 비해 제어는 복잡하나 두 개의 스위치를 사용하여 각 전력 반도체 스위치에 열 손실을 고르게 분포 시킨다.

2.2 시뮬레이션

본 논문에서는 제안된 3 레벨 ANPC 인버터를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 구성된 시스템의 파라미터는 다음과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

Parameter	Value	Unit
DC link 전압	200	[V]
정격 전류	46	[A]
스위칭 주파수	20	[kHz]
Power Rating	16	[kW]
Ld	303	[uH]
Lq	907	[uH]
Flux linkage	0.0455	[Wb]
Pole	8	

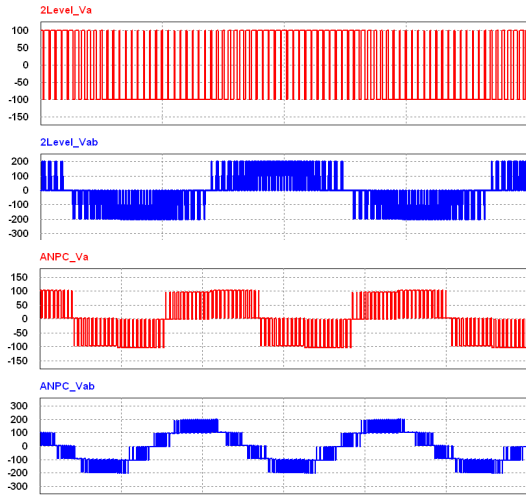


그림 2 2-레벨 인버터와 3-레벨 ANPC 인버터의 출력 상 전압과 출력 선간 전압
Fig. 2 Output phase voltages and output line - to - line voltage for 2-level inverter and 3-level ANPC inverter

그림 2는 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터의 출력 상 전압과 출력 선간전압을 나타낸 파형이다. 2 레벨 인버터는 출력 상 전압이 2 레벨로, 3 레벨 ANPC 인버터는 출력 상 전압이 3 레벨로 나타는 것을 확인하였다.

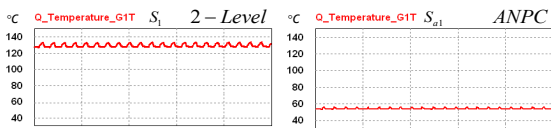


그림 3 2-레벨 인버터와 3-레벨 ANPC 인버터의 온도 특성 분석
Fig. 3 Thermal Analysis comparison of 2-level inverter and 3-level ANPC inverter

그림 3은 2 레벨 인버터와 3레벨 ANPC 인버터의 온도특성을 나타내었다. 실온 25°C일 경우 2레벨 인버터는 스위치의 온도가 약 135°C이며, 3 레벨 ANPC 인버터가 약 55°C로 열 손실이 개선되었다.

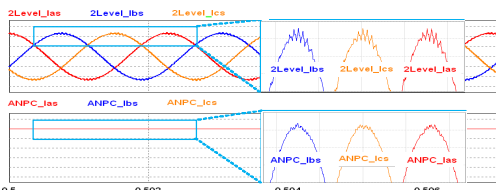


그림 4 2-레벨 인버터와 3-레벨 ANPC 인버터의 출력 전류 파형
Fig. 4 Output current waveform of 2-level inverter and 3-level ANPC inverter

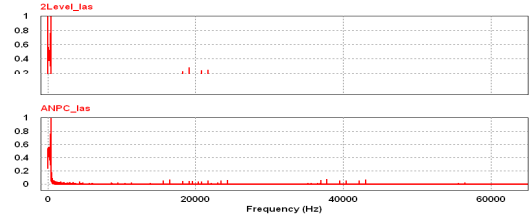


그림 5 2레벨 인버터와 ANPC 인버터의 FFT 분석
Fig. 5 FFT analysis of 2-level inverter and 3-level ANPC inverter

그림 4는 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터의 출력 전류의 파형을 확대한 파형으로 2 레벨 인버터가 3 레벨 ANPC 인버터 보다 많은 리플을 나타낸다. 그림 5는 두 인버터의 FFT 분석 파형을 나타낸다. 3 레벨 인버터의 경우 2 레벨의 인버터보다 고조파 성분의 크기가 더 크게 나타난다. 또한 전류 THD가 높게 나타남을 확인하였다. 표 2는 2 레벨 인버터와 3 레벨 ANPC 인버터의 출력 전류 THD를 분석해 표로 비교한 것이다. 표 2을 보면 3 레벨 ANPC 인버터가 2 레벨 인버터에 비해 THD가 낮게 나오는 것을 확인하였다.

표 2 2레벨 인버터와 ANPC 인버터의 THD 비교
Table 2 THD analysis of 2-level inverter and 3-level ANPC inverter

	I _a	I _b	I _c
2-Level	1.6933	1.6681	1.6836
ANPC	0.9236	0.8979	0.8733

3. 결론

본 논문에서는 하이브리드 자동차에 3 레벨 ANPC 인버터를 적용하여 IPMSM를 구동 하였다. 제안된 3 레벨 ANPC 인버터를 구성하면 낮은 dv/dt로 인해 노이즈 저감을 할 수 있다. 또한 2 레벨 인버터보다 3 레벨 ANPC 인버터의 스위치에 발생하는 발열이 줄었으며, 이로 인해 방열 설계 및 높은 전력 밀도를 가져갈 수 있다. 시뮬레이션을 이용한 FFT 분석을 비교하여 3 레벨 ANPC 인버터가 2 레벨 인버터에 비해 고조파 성분이 상대적으로 낮음을 검증하였다. 향후, 배터리와 3 레벨 ANPC 인버터 사이에 벅 부스트 컨버터를 연결하여 내연기관에 토크를 올리거나 기동 시에 필요한 전력을 배터리에서 전동기 쪽으로 보낸다. 또한 배터리팩에 전동기에서 발생하는 기계적인 잉여 에너지를 보내는 역할이 연구되어야 한다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 삼성중공업(2012T00100064)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

[1] Xi Lu, Craig Rogers, Fang Zheng Peng, "Mild hybrid traction system based on a bidirectional half bridge interleaved converter and a three level active NPC inverter fed PMSM" Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE, pp 1505 1510

[2] Mattia Morandin, Silverio Bolognani, Roberto Petrella, Alessandro Pevere, Sandro Calligaro, "Voltage Balancing Control of Three Level Active NPC Converter Using SHE PWM," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp 1644 1651