

전기자동차 급속충전시스템용 3상 전압형컨버터 스위칭손실저감 변조기법

이원혁, 조춘호, 변철홍, 김성곤*, 김태웅
경상대학교, 전북자동차기술원*

Switching Loss Reduction Modulation Scheme Based 3-phase Voltage Source Converter for EV Quick Charging System

Won Hyeok Lee, Choon Ho Cho, Cheol Hong Byeon, Sung Gon Kim*, Tae Woong Kim
Gyeongsang National University, Jeonbuk Institute of Automotive Technology*

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차 급속충전시스템용 3상 전압형컨버터의 스위칭손실저감 변조기법을 제안한다. 제안된 변조기법은 SVPWM 기법의 기존 5단계 스위칭시퀀스를 간략화시킴으로 스위칭절환이 감소하고 스위칭손실이 저감됨을 제시하며 이에 대한 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 전기자동차에 대한 관심이 높아지고 이와 관련하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 전기자동차의 핵심기술인 배터리 충전기술은 고효율의 특성을 지닌 별도의 충전시스템을 필요로 한다. 일반적으로 전기자동차 충전시스템용 3상 전압형컨버터의 제어는 5단계 및 7단계 스위칭시퀀스를 사용하는 SVPWM 기법과 7단계 스위칭시퀀스를 사용하는 SPWM 기법이 사용되고 있다. 본 논문에서는 스위칭시퀀스가 많을수록 스위칭손실이 높아지는 문제점에 초점을 두고 스위칭시퀀스를 최소화하여 적절한 스위칭 룩업데이블을 적용함으로써 스위칭손실을 저감하는 전기자동차 충전시스템용 3상 전압형컨버터의 SVPWM 기법을 제안하고 이에 대한 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

2. 3상 전압형컨버터의 제어기법

2.1 전기자동차 충전시스템 용 3상 전압형컨버터

전기자동차 충전시스템은 그림 1에 나타난다. 전기자동차의 충전시스템은 크게 3상 교류 전원을 입력 받아 직류 에너지로 변환시키는 AC/DC 컨버터와 전기자동차의 배터리충전에 적합한 직류에너지로 변환시키며 안정성을 고려한 절연형 DC/DC 컨버터 및 대용량의 배터리로 구성된다. 특히 전기자동차의 충전시스템에서 스위칭절환이 가장 많이 이루어지는 3상 전압형컨버터는 효율향상에 큰 영향을 미치기 때문에 스위칭절환을 감소시켜 스위칭손실을 저감시킬 필요성이 있다.

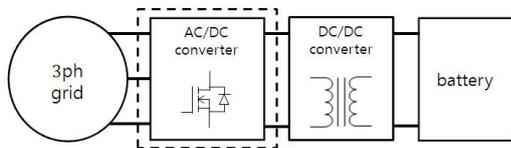


그림 1. 전기자동차 충전시스템

2.2 기존 전압형컨버터의 제어기법

기존 전압형컨버터는 SPWM 기법 및 SVPWM 기법을 통해 제어된다. SPWM 기법은 7단계 스위칭시퀀스로 동작하고 SVPWM 기법은 5단계 스위칭시퀀스로 동작하는 것이 보편화되어있다. 여기서 스위칭시퀀스의 단계는 한 제어주기에 대해서 다른 스위칭패턴의 변화에 따라 유효벡터 및 영벡터의 인가시간을 나타낸다. 따라서 스위칭시퀀스의 단계가 많을수록 스위칭절환이 증가함을 알 수 있다.

3상 전압형컨버터의 SVPWM 기법은 입력전압의 각정보를 이용하여 6개의 섹터정보를 판별하고 각 섹터에 해당하는 스위칭패턴을 적용하여 제어하게 된다. 위상에 따라 6가지의 스위칭패턴으로 구성된 유효벡터와 2가지 스위칭패턴으로 구성된 영벡터를 조합하여 평균치로 임의의 전압을 출력한다^[1].

아래의 식 (1)은 전압형컨버터의 SVPWM 기법의 순시공간 전압벡터에 대한 표현이며, 식 (2)는 각 섹터에 대한 벡터인가 시간을 나타낸다.

$$\int_0^{T_s} V^* dt = \int_0^{T_1} V_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} V_0 dt \quad (1)$$

$$T_1 = T_s \cdot \frac{|V^*| \sin(\pi/3 - \alpha)}{2V_{dc}/3 \sin(\pi/3)}$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{|V^*| \sin(\alpha - \pi/3(n-1))}{2V_{dc}/3 \sin(\pi/3)} \quad (2)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2)$$

기존의 SVPWM 기법에서 한 번의 제어주기마다 분할된 5단계 스위칭시퀀스는 다음과 같다.

$$\frac{T_1}{2} \rightarrow \frac{T_2}{2} \rightarrow T_0 \rightarrow \frac{T_2}{2} \rightarrow \frac{T_1}{2}$$

3. 제안된 SVPWM 기법

본 논문에서는 기존 5단계 스위칭시퀀스가 아닌 3단계 스위칭시퀀스를 적용하여 3상 전압형컨버터의 스위칭절환을 감소시켜 스위칭손실을 저감하는 SVPWM 기법을 제안한다.

고정된 3단계 스위칭시퀀스를 시스템에 적용할 경우 제어주기마다 두 상의 스위칭절환이 일어나는 구간이 발생하며 5단계 스위칭시퀀스를 시스템에 적용한 경우와 비교해 스위칭절환이

줄어들지 않는다. 또한 스위칭시퀀스를 유동적으로 바꿀 수 있다고 하더라도 스위칭시퀀스에 적합한 스위칭상태가 되도록 고려해주어야 하며, 섹터가 변할 때 스위칭절환이 최소로 이루어지도록 스위칭시퀀스의 형태와 스위칭 특업테이블이 적절하게 구성되어야 한다.

본 논문에서 제안된 SVPWM 기법에서는 유효벡터 인가시간에 대해 2분주 하지 않고 두 가지 스위칭시퀀스로 구분하여 제어주기마다 한 번씩 교차로 적용하도록 설계하였다. 또한 섹터 변화에 대해서 최소한의 스위칭절환이 발생할 수 있도록 스위칭패턴을 적용한다. 제안 SVPWM 기법의 스위칭시퀀스는 표 1에 나타난다.

표 1. 제안 SVPWM 기법의 스위칭

sector	sequence 1	sequence 2
1, 3, 5	$T_0 \rightarrow T_1 \rightarrow T_2$	$T_0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$
2, 4, 6	$T_0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$	$T_0 \rightarrow T_1 \rightarrow T_2$

4. 시뮬레이션 및 실험

4.1 시뮬레이션 해석

시뮬레이션 해석을 위한 3상 전압형컨버터의 회로 구성을 그림 2에서 보여준다. 시뮬레이션은 보편적으로 사용되고 있는 기존 5단계 스위칭시퀀스로 구동되는 컨버터회로와 제안된 3단계 스위칭시퀀스로 구동되는 컨버터회로의 비교를 통해 실시하였다. 시뮬레이션 조건은 3상 30V 교류전원, 역병렬 다이오드가 결합된 6개 스위칭소자, 입력측 R L(0.5Ω, 200μH), 출력측 커패시터(200μF), R부하 20Ω을 사용하였고, 스위칭주파수는 10kHz로 설정하였다.

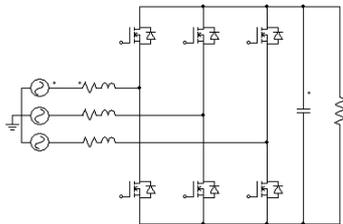


그림 2. 시뮬레이션용 3상 전압형컨버터 구성회로

스위칭시퀀스에 대한 정보를 그림 3에 보여준다. 그림 3(a)는 기존 5단계 스위칭시퀀스를 나타내며 그림 3(b)는 제안 3단계 스위칭시퀀스를 나타낸다. 그림 3(b)에서 T_1 및 T_2 에 대한 스위칭시퀀스가 제어주기에 따라 교차함을 통해 제안 제어기법의 스위칭시퀀스가 적절하게 구성됨을 확인할 수 있다. 출력 전압파형은 기존의 제어기법과 동일한 출력전압레벨을 그림 4에서 보여준다.

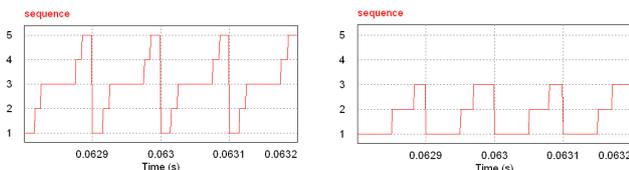


그림 3. 스위칭시퀀스 파형(x축:100μs/div, y축:1V/div)

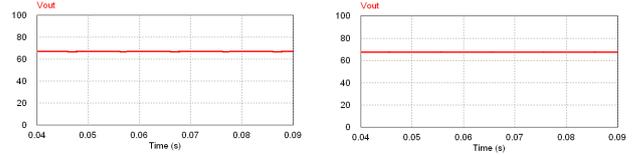


그림 4. 출력전압 파형(x축:10ms/div, y축:20V/div)

그림 5는 입력 전류파형을 나타내며 FFT분석 결과 제안된 기법의 스위칭테이블 주기에 의해 5kHz에서 스위칭고조파가 발생하는 것을 그림 6(b)에 나타낸다. 이로 인해 제안된 기법이 제대로 동작하는 것을 알 수 있다.

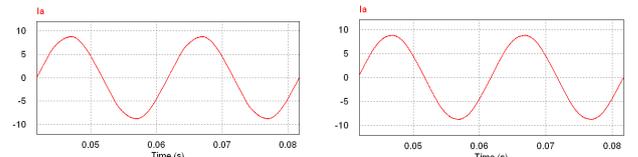


그림 5. 입력전류 파형(x축:10ms/div, y축:5V/div)

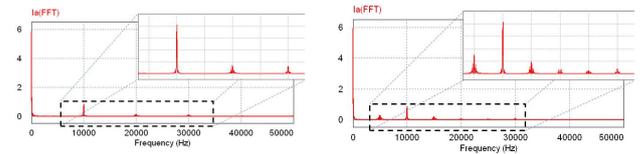


그림 6. 입력전압 FFT분석(x축:10kHz/div, y축:2V/div)

5. 결론

본 논문에서는 3상 전압형컨버터의 기존 5단계 스위칭시퀀스를 간략화하여 스위칭손실을 저감하여 효율을 향상시킬 수 있는 변조기법을 제안하였다.

제안된 SVPWM 기법은 기존 5단계 스위칭시퀀스 변조기법과 비교하여 2단계 스위칭시퀀스가 감소하며 이에 따라 스위칭주파수 10kHz 및 50Hz 입력전압 한 주기에 대해 스위칭절환이 1572회에서 1200회로 총 372회(24%) 감소하게 된다. 그러므로 고효율이 필요한 시스템에 도입하면 스위칭절환 감소에 의한 스위칭손실을 저감할 수 있고, 또한 높은 스위칭주파수를 필요로 하는 시스템에 적용할 경우 더 높은 효율향상이 기대된다. 현재 제안된 SVPWM 기법의 유효성을 입증하기 위해 실험검증을 추진하고 있다.

이 논문은 호남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참고 문헌

- [1] 김태웅, 최재호, “전력전자회로” 내하출판사, pp 73 172, 2005.
- [2] 조준호, 김동현, 최창영, 변철홍, 김성근, 김태웅 “3상 전압형 인버터의 최소스위칭절환 SVPWM 제어기법 제안” 전력전자기술대회 논문집, pp 228 229, 2012