

전기자동차 구동용 인버터의 고효율 스위칭변조기법

심동준, 조춘호, 김동현*, 최재호**, 김태웅
경상대학교, LG전자*, 충북대학교**

High-Efficient Switching Modulation Scheme Based Inverter for Electric Vehicle

Dong Jun Sim, Choon Ho Cho, Dong Hyun Kim*, Jaeho Choi**, Tae Woong Kim
Gyeongsang National University, LG Electronics*, Chungbuk National University**

ABSTRACT

본 논문에서 제안된 스위칭변조기법은 전기 자동차의 제한된 배터리 출력 전력으로 보다 향상된 주행거리 확보를 위해 기존 3상 SVPWM 제어기반 인버터의 스위칭 패턴을 분석한 후 이를 개선하기 위해 2개 스위칭시퀀스를 도입하여 조건에 따라 스위칭패턴을 선택하여 제어함으로써 스위칭손실을 저감시킬 수 있음을 시뮬레이션 및 실험해석을 통해 그 유효성을 검증한다.

1. 서론

지구 온난화로 인한 환경오염 및 유한 에너지 고갈로 인해 대체에너지에 관한 연구 및 개발에 관심이 높아지고 있다. 그 중 하나인 전기자동차의 제한된 배터리 출력 전력으로 보다 향상된 주행거리 확보를 위해 전력변환시스템 인버터 스위칭손실을 저감 할 수 있는 스위칭변조기법을 제안한다.

3상 전압형인버터의 SVPWM 제어기법에 있어서 5단계의 스위칭시퀀스로 동작하는 것이 일반적으로 정형화 되어있다[1]. 본 논문에서는 정형화 되어있는 5단계, 7단계 스위칭시퀀스 변조기법에서 발생하는 스위칭손실을 저감하기 위해 기존 방식과는 다른 2개의 스위칭시퀀스를 구성하여 제어한다. 이에 따라 최소 스위칭절환이 가능한 3단계 스위칭시퀀스를 새로이 도입하여 스위칭절환을 최소화시켜 스위칭손실을 저감하여 전기 자동차의 주행거리를 늘릴 수 있는 전기자동차 구동용 인버터의 고효율 스위칭변조기법을 제안한다.

2. 전기자동차 구동용 인버터의 제어기법

2.1 기존 SVPWM 제어기법

전기자동차 동력원인 전동기 구동을 위한, 3상 전압형인버터를 제어하기 위해 3상 지령전압에 대한 각과 크기의 정보를 계산하여 유효벡터 인가시간과 영벡터 인가시간을 구하고, 스위칭 패턴에 의해 만들어진 전압 공간벡터에서의 섹터정보와 벡터 인가시간을 이용하여 스위칭시퀀스를 정한 후 적절한 스위칭패턴을 이용하여 제어한다. 여기서 제어주기(T_s)는 유효벡터 인가시간(T_1, T_2)와 영벡터 인가시간(T_0)의 합으로 이루어져 있다.

보편적으로 3상 전압형인버터의 SVPWM 제어기법은 모노안정(monostable)을 이용한 전체 벡터 인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 5개로 분할하여 제어한다. 계산된 벡터 인가시간에 대한 스위칭시퀀스와 스위칭절환은 표 1과 같다.

표 1. 기존 5단계 스위칭시퀀스의 스위칭절환(Sector 1)

	$T_1/2$	$T_2/2$	T_0	$T_2/2$	$T_1/2$	$T_1/2$	$T_2/2$	T_0	$T_2/2$	$T_1/2$
a 상	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b 상	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
c 상	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

스위칭절환: 8*2 회(스위칭 두 주기 마다)

2.2 제안된 SVPWM 제어기법

본 논문은 기존 5단계 스위칭시퀀스의 스위칭절환을 저감하기 위해 스위칭시퀀스의 단계를 감소한다. 여기서 스위칭시퀀스란 한 제어주기(T_s)에서 스위칭패턴에 따른 벡터 인가시간(T_1, T_2, T_0)의 변화를 나타낸 것이며, 이때 표현되는 스위칭패턴의 수가 그 스위칭시퀀스의 단계를 나타낸다.

이와 같은 원리로 스위칭시퀀스를 3단계로 감소했을 때 발생하는 스위칭절환은 표 2와 같다. 여기서 기존 5단계 스위칭시퀀스와 비교하면 스위칭절환이 감소함을 알 수 있다. 그러나 스위칭손실과 시스템성능 향상에는 큰 영향을 나타내지 못하며 스위칭시퀀스가 적용됨에 따라 두 상의 스위치가 동시에 절환되는 부분이 발생하여 시스템안정성에 악영향을 보인다.

표 2. 3단계 스위칭시퀀스의 스위칭절환(Sector 1)

	T_0	T_1	T_2	T_0	T_1	T_2
a 상	0	1	1	0	1	1
b 상	0	0	1	0	0	1
c 상	0	0	0	0	0	0

스위칭절환: 8*2 회(스위칭 두 주기 마다)

표 2의 시스템안정성 및 스위칭절환 저감을 위하여 스위칭시퀀스를 표 3과 같이 나누어 제어한다. 이와 같은 스위칭 변조기법으로 표 4의 경우는 스위칭절환이 저감되고 표 5와 같이 섹터변화 시에는 스위칭절환이 유지된다. 또한 두 상의 스위치가 동시에 절환 되는 부분이 제거되어 3단계 스위칭시퀀스의 안정성 또한 향상됨을 알 수 있다. 추가적으로 데드타임을 적용하여 한 상 절환 시에도 안정성을 확보하였다.

표 3. 제안 SVPWM 제어기법의 스위칭그룹 분리

섹터	스위칭시퀀스 1	스위칭시퀀스 2
1, 3, 5	$T_0 \rightarrow T_1 \rightarrow T_2$	$T_0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$
섹터	스위칭시퀀스 2	스위칭시퀀스 1
2, 4, 6	$T_0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$	$T_0 \rightarrow T_1 \rightarrow T_2$

표 4. 제안1 3단계 스위칭시퀀스 동일섹터 스위칭절환(Sector 1)

	T_0	T_1	T_2	T_0	T_2	T_1
a 상	0	1	1	1	1	1
b 상	0	0	1	1	1	0
c 상	0	0	0	1	0	0

스위칭절환: 6*2 회(스위칭 두 주기 마다)

표 5. 제안2 3단계 스위칭시퀀스 섹터변화 스위칭절환(Sector 1->2)

	T_0	T_1	T_2	T_0	T_1	T_2
a 상	0	1	1	1	1	0
b 상	0	0	1	1	1	1
c 상	0	0	0	1	0	0

스위칭절환: 1*2 회(스위칭 두 주기 마다)

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션 해석

3상 전압형인버터의 회로 구성조건은 50V 직류전원, 역방향 다이오드가 달린 6개의 스위칭소자 및 3상 R L부하를 사용하며 스위칭주파수는 10kHz로 설정하였고 전체 회로 구성은 그림 1에서 보여준다.

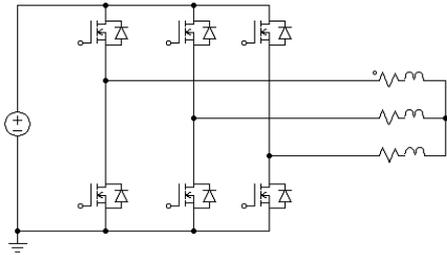


그림 1. 3상 전압형인버터의 시뮬레이션 구성회로

시뮬레이션 수행 결과, 기존 변조기법과 제안된 변조기법의 출력 주파수 및 진폭이 동일함을 그림 2에 보여준다.

제안된 변조기법에서는 스위칭시퀀스의 추가로 인해 한 제어주기가 선형적 특성을 가지지 않고 두 제어주기에서 선형적인 특성을 가짐으로 선간전압 FFT분석에 5kHz주파수에 고조파가 발생된다. 출력 선간 전압의 FFT분석 결과는 그림 3에 보여주며, 기존 변조기법에서 발생하는 고조파보다 제안된 변조기법에서 고조파가 저감됨을 확인할 수 있다.

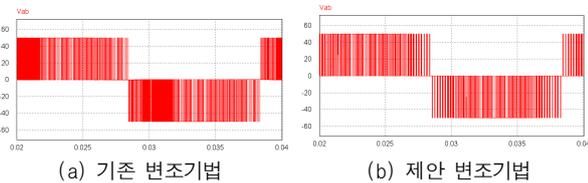


그림 2. 출력선간전압 파형(x축: 5ms/div, y축: 20V/div)

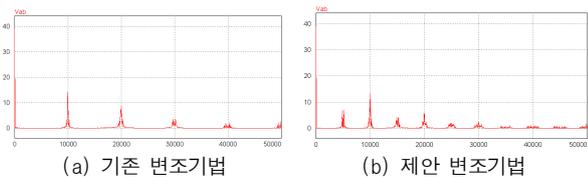


그림 3. 출력 선간전압 FFT분석(x축: 10kHz/div, y축: 10V/div)

3.2 실험 해석

3상 전압형인버터를 구성하였고, 출력 선간 전압과 FFT분석을 그림 4, 5에서 보여준다. 조건은 20V 직류전원, 스위칭소자 MOSFET 6개 및 3상 R L부하(5Ω, 5mH)를 사용하고 스위칭 주파수는 10kHz로 설정하였다. 기존 변조기법과 제안 변조기법의 출력선간전압을 그림 4에서 보여주며 동일한 출력을 가짐을 알 수 있다. 또한 FFT분석도 시뮬레이션 결과와 차이가 없음을 그림 5에서 보여준다.



그림 4. 출력선간전압 파형(x축: 5ms/div, y축: 10V/div)

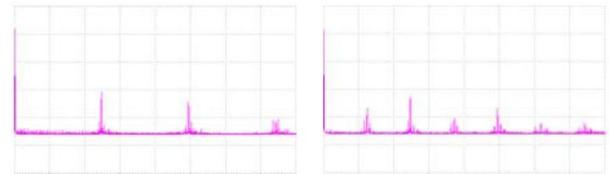


그림 5. 출력 선간전압 FFT분석(x축: 10kHz/div, y축: 5V/div)

4. 결론

본 논문은 전기자동차 동력원인 전동기의 효율 향상을 위해 일반적으로 사용되는 인버터의 공간벡터 제어기법의 스위칭절환을 저감시킬 수 있는 스위칭변조기법을 제안하였다. 제안된 변조기법은 스위칭주파수 10kHz 및 50Hz 출력 전압의 한 주기에 대해 기존 5단계 스위칭시퀀스를 사용하는 인버터시스템과 동일한 출력을 가지며 스위칭절환은 표 6과 같으며, 스위칭절환이 저감됨에 따라 제안된 배터리 출력전력으로 보다 향상된 주행거리를 가질 것을 기대한다. 본 논문은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안된 스위칭변조기법의 유효성을 검증하였다.

표 6. 스위칭시퀀스 각 단계별 스위칭절환

스위칭시퀀스 단계	스위칭 절환 (출력 50Hz 및 스위칭주파수 10kHz)
5 단계	1600 회(동일섹터 시) + 12 회(섹터변화 시)
3 단계	1588 회(동일섹터 시) + 12 회(섹터변화 시)
제안 3단계	1188 회(동일섹터 시) + 12 회(섹터변화 시)

5단계와 제안 3단계의 스위칭절환 차이 = 412회

이 논문은 호남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참 고 문 헌

- [1] 김태웅, 최재호, "전력전자회로" 내하출판사, pp. 137 207, 2005.
- [2] 조준호, 김동현, 최창영, 변철홍, 김성곤, 김태웅, "3상 전압형인버터의 최소스위칭절환 SVPWM 제어기법 제안" 전력전자학술대회 논문집 pp. 228 229, 2012.