

# 전기자동차 구동용 인버터의 고효율 SV-PWAM 제어기법

조춘호, 김동현\*, 변철홍, 민완기\*\*, 최재호\*\*\*, 김태웅  
경상대학교, LG전자\*, 조선이공대학\*\*, 충북대학교\*\*\*

## SV-PWAM Control Based High-Efficiency Inverter for Electric Vehicle

Choon-Ho Cho, Dong-Hyun Kim\*, Cheol-Hong Byeon, Wan-Ki Min\*\*, Jaeho Choi\*\*\*, Tae-Woong Kim  
Gyeongsang National University, LG Electronics\*,  
Chosun College of Science & Technology\*\*, Chungbuk National University\*\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차의 효율적인 구동을 위해 3상 전압형인버터를 기존 삼각파비교방식의 PWAM 기법을 탈피하고 공간벡터 비교방식의 새로운 PWAM 기법을 제안한다. 공간벡터 변조방식의 장점인 자유도가 높은 특징을 살려 3상 전압형인버터의 스위칭절환이 최소로 이루어지도록 벡터인가시간과 스위칭 특업테이블을 설계하고, 시뮬레이션 및 실험 해석을 통해 유효성을 검증한다.

### 1. 서론

전기자동차에 있어 배터리, 인버터, 전동기는 핵심 요소기술이다. 특히 DC/AC 전력변환시스템인 인버터에 있어서 주행거리향상을 위한 효율이 중요하게 대두되고 있으며 또한 고정밀도 및 낮은 고조파성분을 가지는 변조기법에 대하여 큰 관심이 모아지고 있다. 기존 PWAM 기법은 삼각파비교방식으로 제어되며 인버터의 각상에 출력주파수의 2/3 휴지기간을 가지게 되어 PWM 기법과 비교해 스위칭손실을 저감할 수 있으나, 제어가 복잡하고 자유도가 낮다는 단점을 지니고 있다. 이에 본 논문에서는 공간벡터비교방식을 도입해 삼각파비교방식의 단점을 보완하고 효율을 높인 인버터의 제어기법을 제안한다.

### 2. 3상 전압형인버터의 변조기법

#### 2.1 기존 3상 전압형인버터의 변조기법

전압형인버터의 변조기법은 일반적으로 PWM 기법, PAM 기법, 그리고 PWAM 기법으로 구분된다. 일정전압인 직류입력을 바탕으로 하는 PWM 기법은 현재 인버터 시스템을 제어하는 데 있어서 가장 많이 사용되고 있는 변조기법이며, PAM 기법은 하드웨어가 복잡해진다는 이유로 사용이 제한되어왔지만 최근 DC/DC 컨버터부의 직류전압 가변에 대한 연구가 활발히 진행되면서 새로이 주목되고 있는 변조기법이다. 본 논문에서 사용하는 PWAM 기법은 PWM 기법과 PAM 기법의 하이브리드 변조기법으로써 직류전압가변형 PWM 기법이라고도 불리며 효율적인 부분에서 많은 장점을 가지고 있다.

그림 1은 전기자동차의 구동시스템을 나타내며, PWM 기법은 DC/DC 컨버터부에서의 일정한 직류전압을 입력으로 받아 인버터부에서 정현파 교류전압으로 변환하는 변조기법이며, PAM 기법은 DC/DC 컨버터부에서의 가변직류전압을 입력으로 받아 인버터부에서 펄스폭을 통해서 교류전압으로 변환하는

기법이다. 또한 본 논문에서 사용한 PWAM 기법은 DC/DC 컨버터부에서의 가변 직류전압은 인버터부에서 출력주파수에 대한 제어를 통해 3상 정현파 출력을 가능하게 한다.

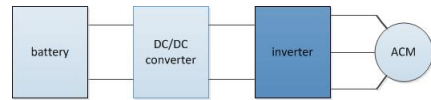


그림 1. 전기자동차 구동시스템

#### 2.2 3상 전압형인버터의 PWAM 변조기법

전기자동차 구동용 전력변환시스템은 그림 2에 보여준다.

DC/DC 컨버터에 의하여 입력직류전압을 가변직류전압으로 제어 한 후, 지령 3상 교류전압으로 변환하는 전력변환 시스템 구성은 DC전원, DC/DC 컨버터, 인버터 및 부하로 구성된다.

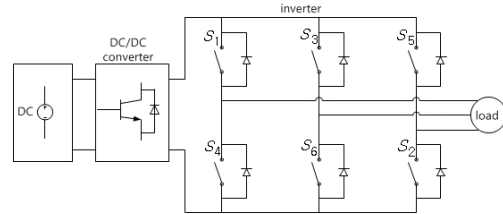


그림 2. 전기자동차 구동용 전력변환시스템 구성

본 논문에서는 상기 PWM과 PAM 기법이 지닌 단점을 최소화하고 장점을 부각시킬 수 있는 PWAM 기법을 채택했으며, 삼각파비교방식 PWAM 기법의 단점을 보완한 SV PWAM 기법을 제안하며, 아래의 3가지 규칙을 기반으로 설계가능하다.

**규칙 1** : 전압형인버터 제어에 필요한 최소 스위칭시퀀스 단계 사용

**규칙 2** : 스위칭 특업테이블을 변경에 의한 스위칭절환 최소화

**규칙 3** : 섹터 전환 시 스위칭절환 최소화

규칙 1은 제안 변조기법에 있어서 가장 중심이 되는 규칙으로써 영벡터인가시간  $T_0$ 를 제외한 유효벡터인가시간으로 구성된 스위칭시퀀스 단계로 최소화한 것이다. 스위칭시퀀스는 단지 T1과 T2로 2분주 되지 않은 유효벡터인가시간 만을 이용하여 인버터의 각상에 출력주파수의 2/3 휴지기간을 가지도록 하였다. 그러나 유효벡터인가시간 T1과 T2로 구성된 2단계 스위칭시퀀스를 사용하게 되면 인버터 출력은 완벽한 정현파를 얻을

수 없으며 가변 입력직류전압을 도입해 이를 해결할 수 있다.

규칙 2는 스위칭 절환을 가장 많이 줄일 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 2개의 록업테이블 및 스위칭시퀀스의 교차 동작을 통해 동일 섹터 내 한 제어주기에서 다음 제어주기로 바뀌는 과정에서 동일한 스위칭상태를 유지하도록 제어하여 스위칭 절환을 최소화 하는 방식을 채택한다.

규칙 3은 섹터가 전환될 때 스위칭절환을 최소화 시키는 것이다. 3상 전압형 인버터의 유효백터인가시간은  $T_1$ 과  $T_2$ 로 구성된 스위칭패턴일 경우에 한 상의 스위칭패턴이 1인 경우와 두 상의 스위칭패턴이 1인 경우가 발생하게 된다(인버터 상단의 스위치가 on 하단의 스위치가 off일 때 : 1). 섹터가 바뀔 때 스위칭절환에 대하여 적절한 패턴방식을 선택하지 않으면 불필요한 스위칭손실이 발생하게 된다.

본 논문에서 제안한 전압형인버터 제어기법 설계 시 위 3가지 규칙을 만족시키기 위해 섹터 및 스위칭시퀀스에 따른 제어 그룹의 분리는 표 1에 보여주며 이에 대한 스위칭테이블의 구성은 표 2에 보여준다.

표 1. 제안된 제어기법의 제어 그룹의 분리

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

표 2. 기존 제어기법의 3단계 스위칭시퀀스 동작(섹터 1의 경우)

T1	T2	T2	T1
1	1	1	1
0	1	1	0
0	0	0	0

제어주기 2회 스위칭 절환 횟수 = 10

### 3. 시뮬레이션 및 실험

#### 3.1 시뮬레이션해석

본 논문에서 제안한 3상 전압형인버터 SV PWM 기법에 대한 유효성을 검증하기 위해 PSIM기반 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 시뮬레이션 회로는 그림 2의 전기자동차 구동용 전력 변환시스템의 구성과 동일하게 구성하였으며, 시뮬레이션 조건은 표 2에 나타낸다.

표 3. 시뮬레이션 조건

item	value
input DC voltage	200V
switching devices	6-MOSFETs with freewheeling diodes
load	10Ω
inductor	1mH
control frequency	10kHz
output frequency	50Hz

제안한 SV PWM 기법은 유효백터인가시간( $T_1$ ,  $T_2$ )만으로 스위칭 록업테이블이 구성된다. 따라서 일정한 직류전압을 인가하였을 경우, 출력선간전압은 그림 3(a)와 같이 정현파가 아닌 형태의 출력선간전압(with LPF) 파형을 얻게 되지만 앞 절에 설명한 가변된 직류전압을 인가할 경우, 그림 3(b)와 같이 정현파 출력선간전압(with LPF) 파형을 얻을 수 있다.

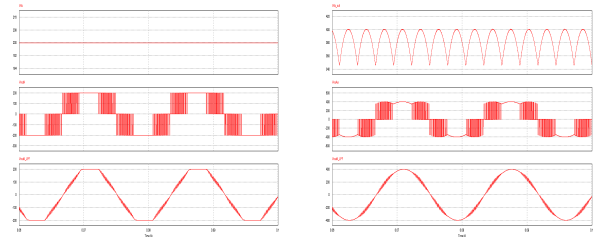


그림 3. 시뮬레이션 결과; (상) 입력전압, (중) 출력선간전압, (하) 출력선간전압 with LPF

#### 3.2 실험해석

본 논문에서 제안 SV PWM 기법의 유효성에 대한 실험을 DC/DC 컨버터 부를 제외한 DC/AC 인버터 부의 프로토타입을 설계하여 실험을 실시하였으며, 실험조건은 표 3에 나타낸다.

표 4. 실험 조건

item	value
input DC voltage	10V
switching devices	IRFP360A
micro processor	DSP
FPGA	ALTERA EP1C6Q240C8N
control frequency	10kHz
output frequency	50Hz

실험을 수행한 결과 고정 직류전압 입력의 경우 시뮬레이션과 동일한 출력선간전압 파형을 출력함을 통해 제안 SV PWM 기법의 유효성을 검증하였으며, 출력 선간전압파형은 그림 4에 나타낸다. 향후 정현파 출력선간전압을 검증하기 위한 DC/DC 컨버터 부를 구성한 추가적인 실험이 필요하다.

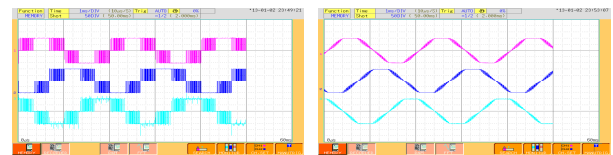


그림 4. 실험결과 파형(출력 선간전압)

### 4. 결론

본 논문에서는 전기자동차 구동시스템의 3상 전압형인버터에 대해 SV PWM 기법을 적용하고, 스위칭절환을 최소로 할 수 있는 제어기법을 설계함으로써 스위칭손실을 최소화 시킨 인버터부의 제어기법을 제안하였으며 시뮬레이션과 DC/AC 인버터부의 실험을 통해 유효성을 검증하였다.

본 연구는 호남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 참고 문헌

[1] 김태웅, 최재호 “전력전자회로”, 일본전기학회 반도체 전력 변환 시스템 조사전문 위원회 편, pp. 137 207, 2005.  
 [2] 이현우, 정기화, 우정인, “PAM PWM 인버터에 의한 정현파출력”, 한국통신학회 논문지, vol.17, no5, pp. 518 521, 1992