

# 이득 및 변조지수 제어에 의한 Z-소스 인버터의 출력전압 제어

김세진\*, 정영국\*\*, 임영철\*  
 전남대학교\*, 대불대학교\*\*

## Output Voltage Control of Z-Source Inverter by the Modulation Index and Gain Control

\*S.J. Kim, \*\*Y.G. Jung, \*Y.C. Lim  
 \*Chonnam National University, \*\*Daebul University

### Abstract

본 논문에서는 전압형 3상 ZSI(Z-source Inverter)의 입력전압과 커패시터 충전전압을 검출하고 ZSI의 기본 정의를 이용해 지령전압에 대한 변조지수(Modulation Index)를 결정하는 방법과 출력전압 제어가 가능한 변형된 SVM(공간벡터 변조방식)으로 구성된 알고리즘을 소개한다. 제안된 알고리즘은 ZSI의 이득과 변조지수의 정의를 이용한 간단한 방법으로 변조지수를 변화시켜 출력전압을 일정하게 유지하는 방법이다. PSIM을 통하여 타당성을 입증하였다.

### 1. Introduction

중전의 전압형 3상 인버터는 전력변환장치를 통해 승압된 직류전압을 인버터의 입력전압으로 사용한다. 이상의 2단 구조 인버터는 비용 상승과 손실 증가로 인한 출력효율의 감소와 복잡한 제어방법 등이 단점이다. 또한 인버터 동작 중 동일 압의 스위치에서 발생하는 단락현상으로 인한 스위치 소자 파괴 등의 문제점들이 발생한다. 인버터의 압 단락 현상을 방지하기 위해 사용되는 Dead Time은 출력파형의 왜곡[1][2]과 효율감소 및 제어 기법 이 복잡해지는 문제점이 있다.

위와 같은 기존의 인버터 시스템의 문제점을 보완 하기 위해 L, C로 구성된 Z-임피던스 망(Z-Impedance Network)을 사용한 1단 구조의 ZSI가 제안되었다[3]. ZSI는 전력변환장치 대신에 동일 압을 단락 시키는 간단한 제어 기법을 가지고 있다. 중전 인버터 시스템에 비해 구성이 간단하고 Dead Time이 필요 없기 때문에 출력효율과 신뢰성이 향상되는 장점이 있다.

중전의 논문에서는 ZSI의 제어방법으로 SPWM(정현파 변조방식)이나 3고조파 인가방식[4] 또는 SVM(공간벡터 변조방식)을 이용한 방법들이 제안 되었으나 정확한 압 단락시간을 산출하기 어렵거나, 적용하는데 다소 복잡한 면이 있었다.

본 연구에서는 입력전압 변화에도 ZSI의 기준 출력전압을 유지하기 위한 변조지수를 산출하는 방법과 변형된 SVM을 통해 출력전압의 제어가 가능한 방법을 소개한다. 제안된 방법의 타당성을 입증하기 위한 P-SIM Simulation을 이용하였으며 부하 및 입력 직류전압이 급변하는 과도 상태에 대한 특성을 분석 하였다.

### 2. Space Vector Modulation Method

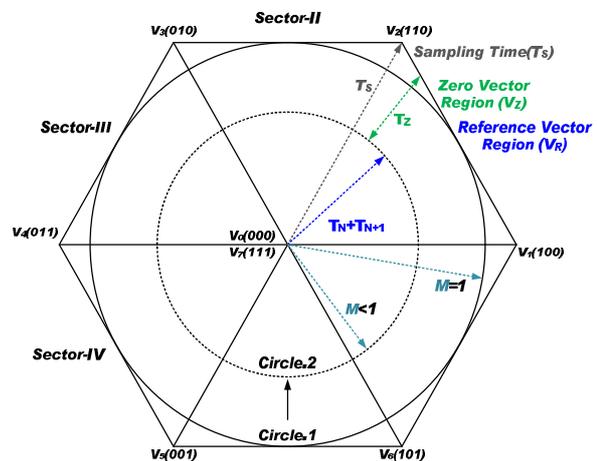


그림 1 중전의 공간벡터 변조방식  
 Fig. 1 Conventional SVM

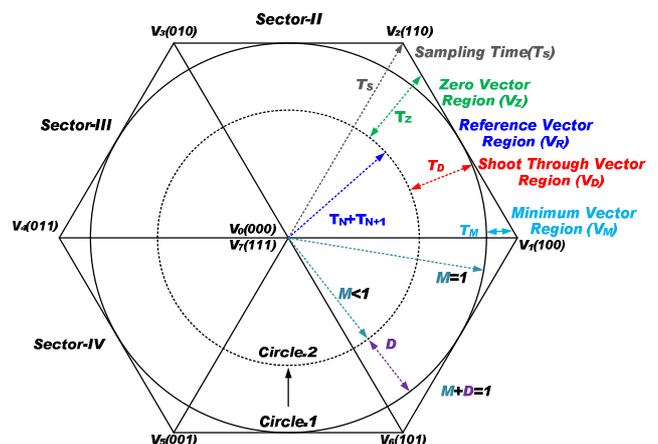


그림 2 변형된 공간벡터 변조방식  
 Fig. 2 The modified SVM

SVM은 SPWM보다 높은 변조율과 고조파 함유율이 낮아 PWM인버터에 많이 사용되어 왔다. 그림 1에서 나타난 중전의 SVM은 두 유효벡터(\$V\_N\$, \$V\_{N+1}\$)에 의해 지령 벡터

( $V_R$ )가 결정 된다. 유효벡터 및 영 벡터( $V_Z$ )의 인가 시간은 식(1)~(4)로 정의 된다

$$T_N = \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot \hat{v}_{ac}}{V_{IN}} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot N}{3} - \alpha\right) \quad (1)$$

$$T_{N+1} = \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot \hat{v}_{ac}}{V_{IN}} \cdot \sin\left(\alpha - \frac{\pi \cdot (N-1)}{3}\right) \quad (2)$$

$$T_Z = T_s - (T_N + T_{N+1}) \quad (3)$$

$$N = \text{Sector Number } (N=1 \sim 6) \quad (4)$$

중전의 SVM에 대해 암 단락 인가시간을 설정하기 위해 그림 2와 같이  $T_Z$ (영 벡터 인가시간)를  $T_D$ (암 단락 벡터 인가시간)과  $T_M$ (최소 영 벡터 인가시간)로 분할하여 적용시킨다.

즉, 기본 공간벡터 인가방식에 식(5)~(6)의 정의를 적용시켜 암 단락 인가시간을 설정 할 수 있다.

$$T_D = T_Z - T_M \quad (5)$$

$$T_M = T_Z - T_D \quad (6)$$

### 3. Proposed Control Method

제안한 방법은 ZSI 고유의 이득 및 변조지수 정의에 의해 유도된 간단한 알고리즘을 이용하는 방법으로 아래의 식(7)~(8)에 의하여 표현된다.

$$V_C = V_{IN} \cdot G \quad G = \frac{V_C}{V_{IN}} \quad (7)$$

$$G = \frac{M}{-(1+2M)} \quad M = \frac{G}{2G-1} \quad (8)$$

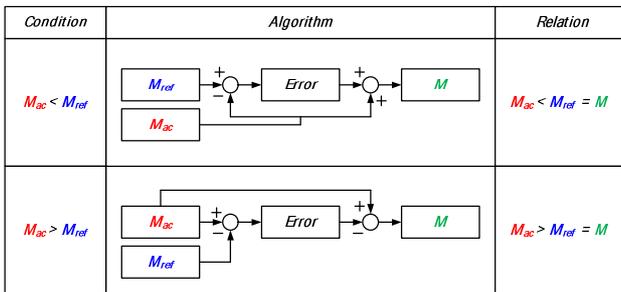


그림 3 제안된 변조지수 제어방법  
Fig. 3 The proposed modulation index control method

식(7)~(8)을 통해 먼저 지령전압( $V_{ref}$ )을 결정한 후 지령전압의 기준 변조지수( $M_{ref}$ )와 현재 출력전압에 대한 변조지수 ( $M_{ac}$ )를 구한다. 그리고 그림 3의 알고리즘을 통해 출력전압의 변조지수가 기준 변조지수에 추종되는 방법이며 변조지수들의 관계를 그림 3에 나타내었다.

### 4. Simulation Results

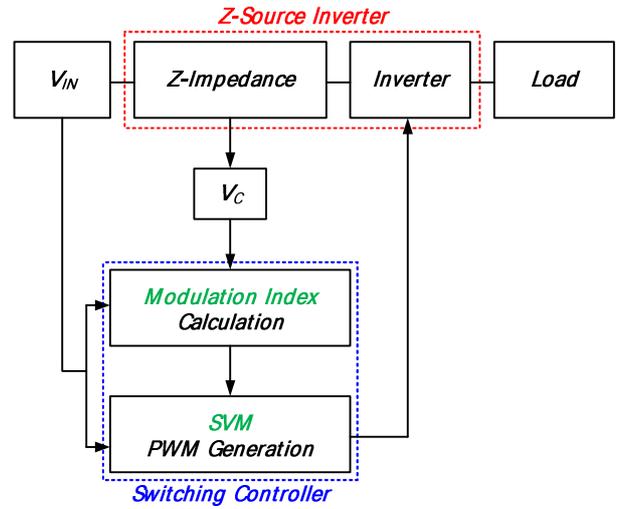


그림 4 제안된 시스템  
Fig. 4 The proposed system

입력전압( $V_{IN}$ )과 커패시터 충전전압( $V_C$ )을 검출하여 출력전압을 제어하는 제안된 시스템을 그림 4에 나타내었다. 표 1에 P-SIM 시뮬레이션에 사용한 시스템 파라미터를 나타내었다.

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System Parameter

$V_{IN}$	0.00s~0.10s	100.0V
	0.10s~0.25s	50.0V~150.0V
$V_{ref}$	156.0V	
Load (Resistor)	0.00s~0.15s	30.0Ω
	0.15s~0.25s	10.0Ω
Switching	21.6KHz	
Inductor	500.0uH	
Capacitor	400.0uF	
L-Filter	1.0mH	
C-Filter	100.0uF	

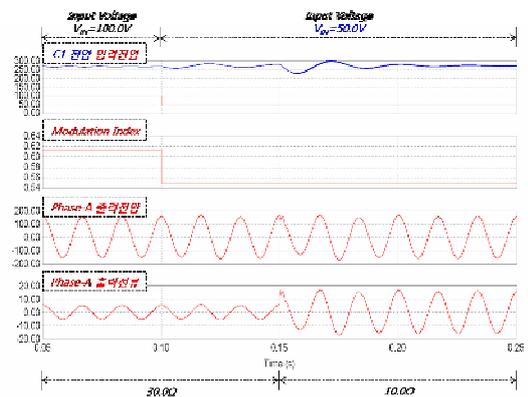


그림 5 입력전압과 부하의 변동에 따른 출력전압  
Fig. 5 Output voltage which follows in the input voltage and load change ( $V_{in}=100V \rightarrow 50V$ )

그림 5는 입력전압이 100.0V에서 50.0V로 낮아지는

경우의 시뮬레이션 파형이다. 변조지수는 0.10s 이후 입력전압에 대응되어 낮아지고 암 단락 시간이 증가한다.

[4] M.Shen, J.Wang, F.Z.Peng, L.M.Tolbert, and D.J.Adams, "Maximum Constant Boost Control of the Z-Source Inverter", in Conf. Rec. IEEE- IAS Annual Meeting, 2004, pp.142-147.

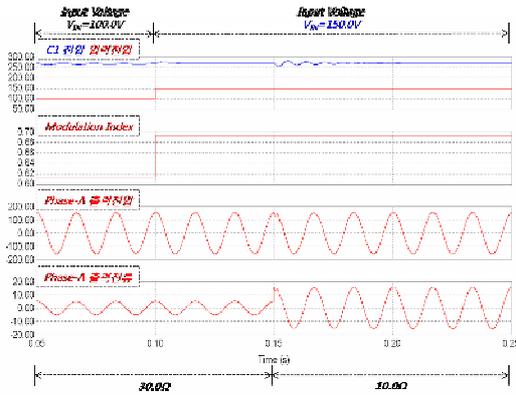


그림 6 입력전압과 부하의 변동에 따른 출력전압  
 Fig. 6 Output voltage which follows in the input voltage and load change (Vin=100V→150V)

그림 6은 입력전압이 100.0V에서 150.0V로 높아졌을 경우로 변조지수는 출력전압에 대응되어 높아지고 암 단락인가 시간이 감소한다. 또한 제안된 방법은 그림 5,6에서 보는 바와 같이 부하가 급변하는 경우에도 출력전압을 일정하게 제어 할 수 있다. 부하가 3배 급변하는 경우, 커패시터 충전전압과 출력전압에 발생하는 맥동은 정밀한 PI제어기 등에 의하여 해결 가능하리라 생각된다. 본 연구에서는 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위하여 이 부분에 대한 부분은 크게 고려하지 않았다.

### 5. Conclusion

본 논문에서 ZSI의 출력전압을 일정하게 유지하는 방법으로 기존 변조지수를 결정한 후에 변형된 SVM방식을 사용하는 방법을 소개하고 특성을 고찰하였다. 제안된 변조지수 결정 방법은 ZSI의 기본 수식을 이용하는 간단한 방법으로 P-SIM을 통해 타당성을 검증하였다. 입력전압이 100.0V에서 50.0V 또는 150.0V로 변동될 경우, 변조지수 역시 동시에 변화하여 출력전압을 일정하게 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

### Acknowledgment

이 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단) 및 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

### Reference

[1] H.Zhao, Q.M.Jonahan, A.Kawamura, "An Accurate Approach of Nonlinearity Compensation for VSI Inverter Output Voltage", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 19, no.4, pp.1029-103, 2004.  
 [2] 류호선, 김봉석, 이주현, 임익현, 황성환, 김장목, "전압형 PWM인버터의 새로운 데드타임 보상기법" 전력전자학회 논문지, 11권, 5호, pp.395-403,2006.  
 [3] F.Z.Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Industry Applications, vol.39, no.2, 2003, pp.504-510