

Z-소스 인버터의 Z-네트워크 커패시터 전압 제어를 위한 변조지수 적분제어

김세진*, 정영국**, 임영철*, 오승열***
*전남대학교, **대불대학교, ***전자부품연구원

Integral control of modulation index for Z-network capacitor voltage control of Z-source inverter

*Se-Jin Kim, **Young-Gook Jung, *Young-Cheol Lim, Seung-Yeol Oh***
*Chonnam National University, **Daebul University, ***KETI

ABSTRACT

본 논문에서는 Z-네트워크 커패시터 전압 제어를 위한 변조지수 적분제어를 이용하여 3상 Z-소스 인버터(ZSI)의 출력 교류전압을 일정하게 제어하는 방법을 제안하였다. ZSI의 직류전압 및 부하가 변동되는 상황에서도 제안된 방법을 사용하여 일정한 출력 교류전압을 유지하는 것이 가능하다. 제안된 방법의 타당성을 입증하기 위해 ZSI의 직류전압이 200[V]에서 150[V]로 급감 하는 경우와 부하가 60[Ω]에서 20[Ω]으로 급감하는 경우를 PSIM 시뮬레이션을 이용해 검증하였다.

1. 서 론

신재생 에너지를 입력전원으로 사용하는 종전의 직류-교류 인버터는 대부분 입력 전원 측에 부스트 컨버터를 추가한 2단 시스템으로 구성되어있다. 이러한 종전의 인버터 시스템은 부스트 컨버터의 제어 방법이 추가로 필요하여 구성과 제어의 복잡성 및 손실 발생, 동작 중 인버터와 컨버터의 상호작용에 의한 문제점, 데드시간 설정 등이 필요하다. 반면에 Z-소스 인버터(ZSI)^[1]는 종전의 인버터의 문제점을 해소하기 위한 방법으로 부스트 컨버터 대신 L, C로 구성되는 임피던스 망을 이용해 기존의 문제점을 대부분 해결 가능하다. 본 연구에서는 ZSI의 L-C임피던스 망을 구성하는 커패시터C와 ZSI의 직류전압을 검출하고 변조지수의 적분제어를 이용하여, 직류전압 및 부하의 변동에 무관하게 출력 교류전압을 일정하게 유지하는 방법을 제안하였다. PSIM시뮬레이션을 이용해 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

제안된 방법은 동작중인 ZSI의 직류전압(V_{IN})과 Z-임피던스 망의 커패시터 전압($V_{C-actual}$)을 검출하여, 전압이득(G_{actual}) 및 변조지수(M_{actual})를 계산한다. 같은 방법으로 V_{IN} 과 기준 커패시터 전압(V_{C-ref})를 계산하여 기준 전압이득(G_{ref})과 기준 변조지수(M_{ref})를 계산한다. 이렇게 계산된 M_{actual} 과 M_{ref} 를 비교하여 ZSI의 출력 교류전압이 일정하게 유지될 수 있는 추종 변조지수(M_{follow})를 결정하게 된다.

ZSI의 임피던스 망을 구성하는 수동소자는 동일한 정격으로 가정^[1]하고 각 부분에 인가되는 전압은 암 단락 모드의 경우 식 (1)과 비 암 단락모드의 경우 식 (2)와 같다.

$$v_L = V_{IN} - V_C, v_d = V_{IN}, v_{PN} = V_C - v_L = 2V_C - V_{IN} \quad (1)$$

$$v_L = V_C, v_d = 2V_C, v_{PN} = 0 \quad (2)$$

동일 암의 두 스위치가 단락 되는 시간(T_D)과 비 단락 되는 시간(T_R)의 합은 스위칭 한 주기 시간(T_S)이므로 T_S 동안 인덕터 L에 인가되는 평균 전압은 0[V]이다.

식 (1)과 식 (2)에 의해 L에 인가되는 평균전압은 식 (3)과 같다.

$$V_L = v_L = \frac{T_D V_C + T_R (V_{IN} - V_C)}{T_S} = 0 \quad (3)$$

식 (3)에 의해 커패시터 C에 인가되는 전압(V_C)을 구하면 식 (4)와 같다.

$$V_C = \frac{T_R}{T_R - T_D} V_{IN} = \frac{1 - \frac{T_D}{T_S}}{1 - 2\frac{T_D}{T_S}} V_{IN} \quad (4)$$

3차 고조파 PWM^[2]를 사용하는 ZSI의 C에 인가되는 평균전압($V_{C-actual}$)과 출력 상 전압(v_a)의 최대치(v_{out-pk})는 식 (5)와 (6)으로 정의된다.

$$V_{C-actual} = \frac{1-D}{1-2D} V_{IN} = G V_{IN} \quad (5)$$

$$v_{out-pk} = \frac{M V_{IN}}{\sqrt{3}(1-2D)} = \frac{1}{\sqrt{3}} G V_{IN} \quad (6)$$

동작 중인 ZSI의 G_{actual} 은 V_{IN} 및 Z-임피던스 망의 커패시터 전압($V_{C-actual}$)을 검출하여 식 (5)를 이용하면 알 수 있으며, G_{ref} 는 식 (6)을 이용해서 구 할 수 있다. 또한 일반적으로 ZSI의 변조지수와 이득사이에는 식 (7)과 같은 관계가 있으므로 M_{actual} 과 M_{ref} 를 알 수 있다.

$$M = \frac{G}{2G-1} \quad (7)$$

위의 과정들을 이용해 M_{ref} 를 결정하는 방법을 식 (8)에 나타내었다.

$$M_{follow} = M_{actual} + (M_{ref} - M_{actual}) \quad (8)$$

그러나 식 (8)을 이용한 제어방법은 출력 교류전압 및 기준 출력전압 사이에 오차가 발생한다. 이상의 오차발생은 Z-임피던스의 커패시터 인가전압 $V_{C-actual}$ 과 식 (5)의 기준 커패시터 전압 V_{C-ref} 와의 차이를 적분 제어한 결과를 변조지수 제어 결과에 추가하면 쉽게 해결 가능하다. 식 (9)와 그림 1에 적분 제어(I_{con})를 추가하는 방법을 나타내고 있다.

$$M_{follow} = M_{actual} + (M_{ref} - M_{actual}) - I_{con} \quad (9)$$

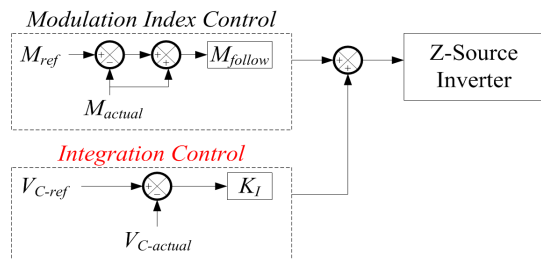


그림 1 변조지수 제어에 적분제어를 추가한 제안된 제어방법
Fig. 1 Proposed control adding the integration control to the modulation index control

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여, ZSI의 V_{IN} 과 부하가 급변하는 경우에 대하여 출력 교류의 상전압 v_a 를 110Vrms($v_{out-pk}=156V$)로 일정하게 제어하는 시뮬레이션을 그림 2과 같이 수행하였다. 표 1은 PSIM 시뮬레이션에 사용한 파라미터를 나타내고 있다.

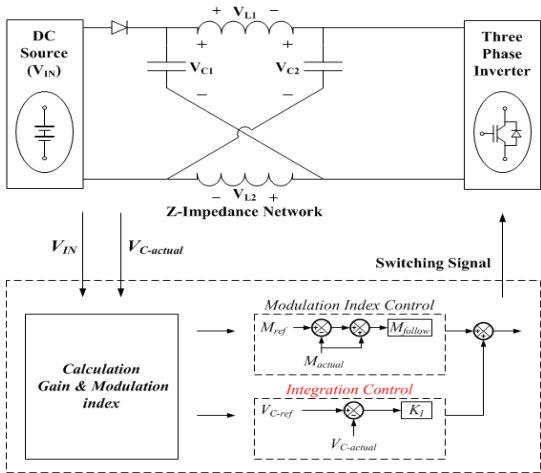


그림 2 제안된 시스템의 블록다이아그램
Fig. 2 Block diagram of the proposed system

표 1 시뮬레이션 변수
Table 1 Simulation Parameters

DC Source (V_{IN})	70[V] - 150[V]	
Z-Impedance Network	Inductor (L_1, L_2)	1000[uH]
	Capacitor (C_1, C_2)	150[uF]
Output AC Voltage (v_a)	110[Vrms] ($v_{out-pk}=156[V]$)	
Load	60[Ω]-20[Ω]	
Output filter	L-filter	200[uH]
	C-filter	10[uF]
f_s	20[KHz]	

그림 3의 상단 부분은 Z-네트워크의 커패시터 전압 V_c 에 대한 제안된 방법과 종전 방법의 결과를 나타내고 있다. 이 부분은 부하가 60[Ω] → 20[Ω]로 급격한 변동을 한 0.15 - 0.3[S] 구간으로서, 제안된 방법에 의해 약간의 전압 리플의 과도 상태

를 거쳐 $V_{C-actual}$ 은 V_{C-ref} 를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 부하가 60[Ω]의 조건에서 V_{IN} 이 200[V]에서 150[V]로 급증하는 0.0 - 0.1[S]구간과 나머지 부하 변동 구간에서도 출력교류 전압은 156[V]로 일정하게 제어되고 있다.

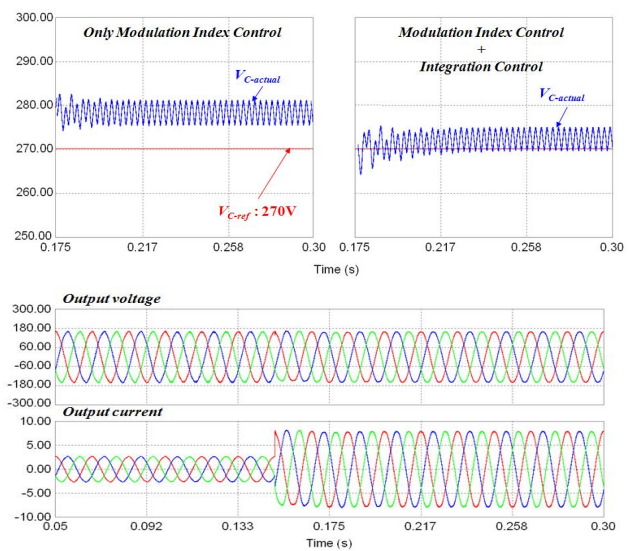


그림 3 커패시터 전압 V_c 와 출력 상전압 v_a , 상전류 i_a 에 대한 파형
Fig. 3 Output waveforms of V_c and v_a, i_a

4. 결론

본 논문에서는 3상 ZSI의 출력 교류전압을 일정 제어하기 위한 변조지수 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 M_{ref} 와 M_{actual} 을 이용하여 변조지수를 제어하고 그 결과에 대하여, $V_{C-actual}$ 과 V_{C-ref} 의 오차를 적분 제어한 결과를 추가하여 ZSI를 제어하였다. 제안된 방법에 의하여, ZSI의 V_{IN} 또는 부하변화에 의한 Z-네트워크의 커패시터 전압의 변화에도 ZSI의 출력 교류전압을 일정하게 제어하였다.

본 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업 단) 및 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.2007-P-EP-HM-E-09-0000)

참고 문헌

[1] F. Z. Peng, "Z-Source Inverter," IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 39, No.2, pp. 504-510, March/April 2003.
[2] F. Blaabjerg, J.K. Pedersen and P. Thogersen, "Improved modulation techniques for PWM-VSI drives," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 44, No.1, pp. 87-89, Feb. 1997.