

변압기의 자화 인덕턴스를 고려한 X자형 스위치드 변압기 ZSI의 Z-네트워크 설계

김세진¹, 정영국², 임영철¹
 전남대학교¹, 대불대학교²

Design of Z-network of X-shaped Switched Trans ZSI considering trans magnetizing inductance

Se Jin Kim¹, Young Gook Jung², Young Cheol Lim¹
 Chonnam National University¹, Daebul University²

ABSTRACT

본 연구에서는 종전의 X자형 임피던스 망을 갖는 Z 소스 인버터(X ZSI)에 비해 부스트 성능을 향상시킨 변압기를 이용한 ZSI(X STZSI)의 임피던스 망을 설계하였다. 사용된 변압기는 이상적인 변압기에 자화 인덕턴스를 고려한 모델을 이용하였다. 따라서 임피던스 망을 구성하는 변압기의 자화 인덕턴스와 커패시터 용량을 산정하는 방법을 함께 설명하고 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

본 논문에서는 종전의 X ZSI (X shaped Z source inverter)^[1]에 비해 부스트 성능을 향상 시킨 X STZSI (X shaped Switched Trans Z source inverter)의 임피던스 망을 설계하였다. X ZSI의 임피던스 망은 두 개의 인덕터와 커패시터로 구성되어 있으나, X STZSI는 두 개의 커패시터와 두 개의 변압기 셀(ST cell)로 구성되어 있다. ST cell의 변압기는 이상적인 변압기 모델에 자화 인덕턴스를 계산하였다. 또한 커패시터 용량을 산정하는 방법을 함께 설명하고, 이론을 바탕으로 PSIM 시뮬레이션을 이용해 타당성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

그림 1은 C_1, C_2 가 X 모양으로 교차되어 구성되어있는 변압기를 이용한 X STZSI를 나타내고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 종전의 X ZSI와 동일하게 입력 측에는 다이오드 D_1 가 구성되며 입력 전류는 D_1 에 흐르는 전류로 나타낼 수 있다. 반면에 종전의 임피던스 망과 달리 인덕터 대신 변압기와 다이오드로 구성된 ST cell(Switched Trans Cell)을 이용하는 차이점이 있다. 이러한 구성의 차이는 종전에 비해 낮은 단락 비에서 높은 부스트 성능을 나타내기 위한 방법이다. ST cell의 변압기의 해석을 위해 이상적인 절연 변압기 모델에 자화 인덕턴스($L_M=L_{MP}=L_{ML}$)를 고려하였다.

그림 2는 ZSI를 등가화 하여 표현한 것으로 X 임피던스 망을 가지는 모든 토폴로지^{[1][2]}에 적용 가능하다. 스위치 S는 턴 온 시에 3상 인버터의 세 암의 6개의 스위치 또는 하나의 암의 두 스위치가 동시에 턴 온 되는 단락 모드(shoot through

state)를 의미하며, 스위치 S가 턴 오프 시에는 일반 전압형 인버터와 동일하게 동작하는 비 단락 모드(active state)를 의미한다.

단락 모드 동안 입력 측의 다이오드 D_1 는 역 전압에 의한 차단 상태로 X 임피던스 망의 C_1, C_2 는 방전하며 변압기의 자화 인덕턴스(L_M) 전류는 증가한다. 비 단락 모드에서는 D_1 가 턴 온, C_1, C_2 는 충전하며 L_M 전류는 감소한다. X 임피던스 망을 가지는 ZSI는 손실을 무시한 경우 입, 출력 관계는 식 (1)과 같다.

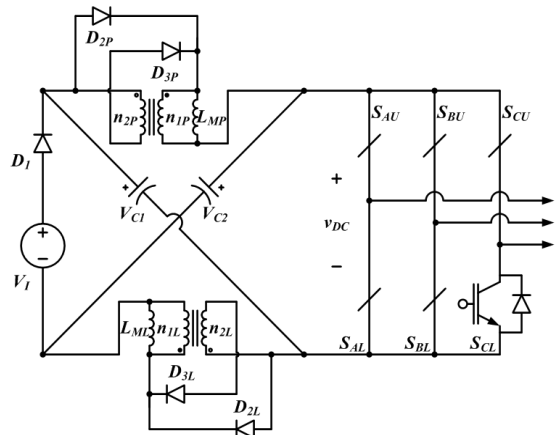


그림 1 X형 임피던스 망을 가지는 STZSI
 Fig. 1 X-shaped Switched Trans Z-source inverter

$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{I_{D1-avg}}{I_{O-avg}} = G \quad (1)$$

식 (1)에서 G는 입, 출력 사이의 이득이며 $V_O=V_I G, I_{O-avg}=V_I G/R_O$ 와 같다. 전체 스위칭 한주기 시간(T) 중 단락 모드($0 \sim DT$)와 비 단락 모드($DT \sim T$) 동안 자화 인덕터(L_M)의 양단전압은 식 (2), 식 (3)과 같다.

$$V_{LM-shoot} = L_M \frac{di_{LM}}{dt} = V_C \quad (2)$$

$$V_{LM-active} = L_M \frac{di_{LM}}{dt} = V_I - V_C \quad (3)$$

V_C 는 C_1, C_2 의 전압으로서 동일한 전압이다. 정상상태 동안

C_1, C_2 의 평균전류가 0이므로, L_M 의 평균전류는 입력전류와 동일하다. 식 (1)의 관계를 이용하여 L_M 의 평균전류 I_{LM} 은 G^2V_I/R_O 로 정의되며, 전류리플은 단락모드 동안 L_M 의 전류를 나타낸 식 (2)를 이용하면 식 (4)와 같다. 따라서 L_M 의 전류는 식 (5)로 된다. L_M 에 흐르는 전류가 연속일 조건은 최소 전류가 0이상이므로 L_M 의 최소값은 식 (6)과 같다.

$$di_{LM-shoot} = i_{LMmax} - i_{LMmin} = \frac{V_C}{L_M}DT \quad (4)$$

$$i_{LM} = I_{LM} \pm \Delta i_{LM} = \frac{G^2V_I}{R_O} \pm \frac{V_C}{2L_M}DT \quad (5)$$

$$L_M > \frac{V_C R_O DT}{2G^2 V_I} \quad (6)$$

C_1, C_2 의 경우 평균 전류가 0이므로 각각의 동작 모드에서 L_M 의 리플성분이 중, 방전 전류로 나타난다. 따라서 전하 $q=C_2 \Delta V_C$ 와 평균전류 이상의 삼각형 넓이(전하의 적분값) $q=T \Delta i_{LM}/4$ 를 이용하면 식 (7)과 같이 정의 할 수 있다.

$$C_{1,2} > \frac{T \Delta i_{LM}}{8 \Delta V_C} \quad (7)$$

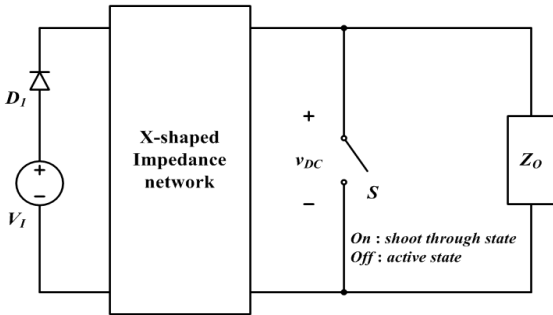


그림 2 X형 임피던스 망을 가지는 ZSI의 등가모델
Fig. 2 Equivalence model of X-shaped ZSI

3. 시뮬레이션

PSIM 시뮬레이션 조건을 표 1에 나타내었으며 식 (6)을 계산하면 L_M 의 최소 크기는 0.8mH이므로 시뮬레이션에서는 1.0mH를 사용하였다. L_M 이 0.1mH인 경우 L_M 에 흐르는 평균전류는 3.25A이며 전류리플(Δi_{LM})은 0.18A로 계산되었다. 또한 커패시터 전압의 경우 전압리플(ΔV_C)을 0.01V로 하여 식 (7)을 이용하여 118uF로 선정하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

Input voltage	50V	Gain (G)	1.8
Output voltage	45V	Switching frequency	20kHz
Duty ratio	0.1	Turn ratio of transformer	2:1

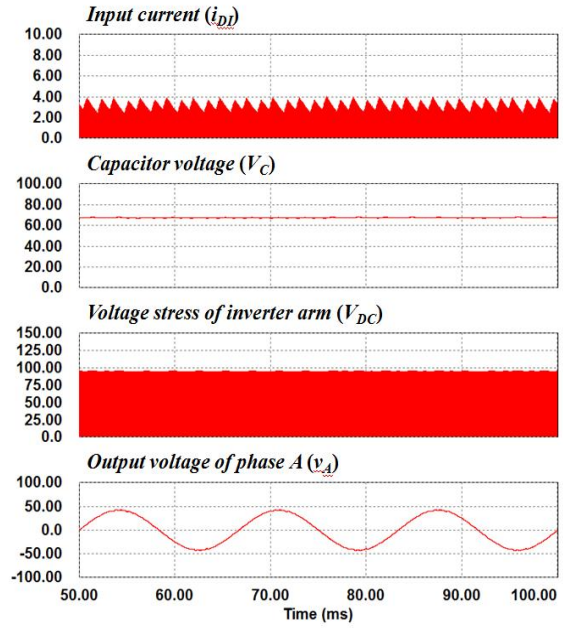


그림 3 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation results

PSIM 시뮬레이션 결과, 입력전류는 L_M 에 흐르는 평균전류와 동일한 3.25A로 나타나며, 커패시터 전압 V_C 의 전압 리플 역시 매우 낮은 것을 알 수 있다. 출력 상 전압 역시 계산상의 결과와 동일한 45V로 안정적인 동작을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 X STZSI의 임피던스 망을 구성하는 ST cell의 변압기와 커패시터의 용량을 설계하였다. 변압기의 경우 자화 인덕터스 값을 1mH로 선정하고 커패시터의 경우 118uF으로 선정하였다. 선정된 임피던스 망을 이용한 PSIM 시뮬레이션 결과 입력전류는 자화 인덕터에 흐르는 전류와 같이 3.25A로 나타났으며 커패시터 전압 역시 매우 낮은 리플을 보여 설계한 내용과 동일한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

호남광역권 광역경제권 선도사업의 “3 Level 기법을 이용한 3MW 이상급 풍력발전기용 전력변환기 개발” 과제의 지원으로 연구되었음

참고 문헌

[1] F. Z. Peng, “Z Source Inverter,” IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol.39, No.2, pp. 504 510, March/April 2003.
[2] Miao Zhu, Kun Yu and Fang Lin Luo, “Switched Inductor Z Source Inverter”, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 25, Issue. 8, pp. 2150 2158, June 2010.