

멀티레벨 인버터의 입력 고조파 저감을 위한 확장 델타 변압기 설계

김종철, 이현원, 박영민
현대중공업

Extended-Delta Transformer Design for Input Harmonic Reduction of the Multilevel Inverter

Jong-Cheol Kim, Hyun-Won Lee, Young-Min Park
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

H-브릿지 멀티레벨 인버터에서는 계통 전원과의 절연, 각 인버터 Power Cell에 독립된 전원 공급 등의 목적을 위하여 다권선 변압기가 사용된다. 이러한 변압기를 확장 델타 결선 방법의 위상 천이 변압기로 제작할 경우, 멀티레벨 인버터 입력 전류의 고조파 성분을 감쇄시키고 THD를 개선할 수 있다.

본 논문에서는 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 확장 델타 변압기를 설계하고, PSIM으로 구성된 시뮬레이션 모델을 사용하여 변압기의 입력단에서 1차단 고조파 성분이 2차단과 비교하여 감쇄되는 것을 확인하도록 한다.

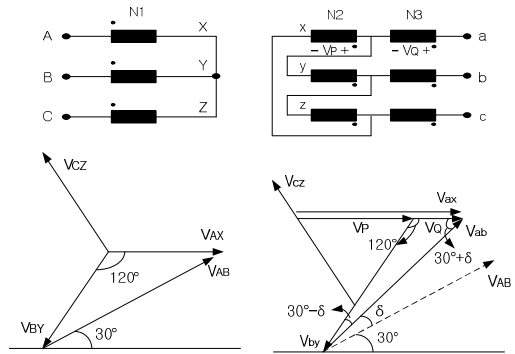


그림 1. Y/Z-1 변압기 연결 및 페이저도

1. 서론

H-브릿지 멀티레벨 인버터 시스템의 입력부는 2차측이 지그재그 또는 확장 델타 결선방법의 여러 개의 탭을 갖는 변압기로 연결된다. 입력측 변압기는 두 가지의 용도로 사용된다. 첫번째 용도는 H-브릿지 인버터의 각 Power Cell에 독립된 전원을 공급하기 위함이고, 두번째 용도는 2차측 탭간에 위상차를 두어 Multi-Pulse 방식의 정류기형 컨버터를 구성함으로써 기존의 6-Pulse 정류 방식에 비하여 아주 낮은 입력단 THD(Total Harmonic Distortion)를 얻기 위함이다.^[1]

본 논문에서는 H-브릿지 멀티레벨 인버터에서 사용되는 확장 델타 변압기의 각 권선 간 위상 천이각 계산 방법을 알아본다. 또한 확장 델타 변압기를 설계하고 PSIM 시뮬레이션을 통해 변압기의 1차단에서 전류 고조파가 감쇄되고 있는 것을 확인하도록 한다.

2. 확장 델타 변압기 설계

입력단에 사용되는 확장 델타 변압기는 효과적인 고조파 저감을 위해 인버터의 셀 개수가 증가함에 따라 위상 천이각이 바뀌게 된다. 2차측 권선의 연결에 따라 변압기 2차측의 선간 전압과 1차측 전압의 위상각이 δ 만큼 차이나게 된다. 이 때 위상각의 부호에 따라, Y/Z-1 변압기($\delta > 0$)와 Y/Z-2 변압기($\delta < 0$)로 구분할 수 있다.^[2]

그림 1은 Y/Z-1 타입 확장 델타 변압기의 권선 연결 방식과 페이저도를 나타낸 것으로서 1차측 권선 N1과 2차측 권선 N2, N3 사이에는 식(1)~(3)과 같은 관계가 있다.^[2]

$$0^\circ \leq \delta \leq 30^\circ \quad (1)$$

$$\frac{N_3}{N_2+N_3} = \frac{V_Q}{V_{ax}} = \frac{\sin(30^\circ-\delta)}{\sin(30^\circ+\delta)} \quad (2)$$

$$\frac{N_1}{N_2+N_3} = \frac{V_{AX}}{V_{ax}} = \frac{1}{2 \sin(30^\circ+\delta)} \frac{V_{AB}}{V_{ab}} \quad (3)$$

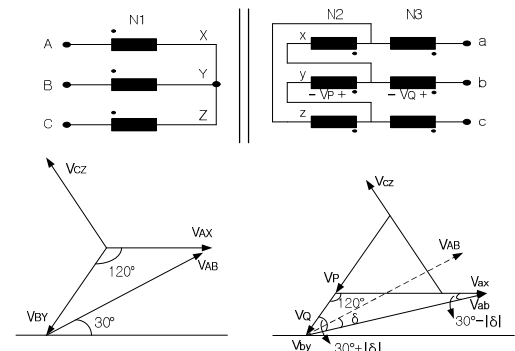


그림 2. Y/Z-2 변압기 연결 및 페이저도

그림 2는 Y/Z-2 타입 확장 델타 변압기의 권선 연결 방식과 페이저도를 나타낸 것으로서 1차측 권선 N1과 2차측 권선 N2, N3 사이에는 식(4)~(6)과 같은 관계가 있다.^[2]

$$-30^\circ \leq \delta \leq 0^\circ \quad (4)$$

$$\frac{N_3}{N_2+N_3} = \frac{V_Q}{V_{ax}} = \frac{\sin(30^\circ - |\delta|)}{\sin(30^\circ + |\delta|)} \quad (5)$$

$$\frac{N_1}{N_2+N_3} = \frac{V_{Ax}}{V_{ax}} = \frac{1}{2 \sin(30^\circ + |\delta|)} \frac{V_{AB}}{V_{ab}} \quad (6)$$

본 논문에서는 각 상당 5모듈 씩, 총 15모듈로 구성된 멀티레벨 인버터에서 사용되는 확장 델타 변압기를 설계하도록 한다. 변압기는 1차측의 1권선과 2차측의 각 상당 5권선 씩 도합 15권선이 존재하며, 2차측 권선 간 위상 천이각은 식(7)에 따라 12° 가 된다. 즉, 변압기의 1차측과 2차측 5권선 간 $24^\circ, 12^\circ, 0^\circ, -12^\circ, -24^\circ$ 의 위상차가 발생한다.

$$\theta = \frac{60^\circ}{N} = \frac{60^\circ}{5} = 12^\circ \quad (7)$$

위의 식 (1)~(7)을 이용하여, 상당 5개의 모듈을 가진 인버터용 확장 델타 변압기의 턴 비를 표 1과 같이 계산할 수 있다.

표 1. 변압기 타입/위상각에 따른 1/2/3차측 턴 비

변압기 타입	위상 각 δ	$N1/(N2+N3)$	$N3/(N2+N3)$	VAB=6600V, Vab=760V일 때 N1 : N2 : N3
Y/Z-1	24°	$0.618 \frac{V_{AB}}{V_{ab}}$	0.1292	6600 : 1071 : 159
Y/Z-1	12°	$0.747 \frac{V_{AB}}{V_{ab}}$	0.4618	6600 : 547 : 470
Y/Y	0°	$\frac{V_{AB}}{V_{ab}}$	1	6600 : 0 : 760
Y/Z-2	-12°	$0.747 \frac{V_{AB}}{V_{ab}}$	0.4618	6600 : 547 : 470
Y/Z-2	-24°	$0.618 \frac{V_{AB}}{V_{ab}}$	0.1292	6600 : 1071 : 159

3. 모델링 및 시뮬레이션

PSIM을 사용하여 N5000 멀티레벨 인버터를 모델링 한다. 확장 델타 변압기는 PSIM의 Core와 Winding 라이브러리를 이용하여, Y/Z-1 및 Y/Z-2 형태에 따라 연결 방식을 다르게 하여 구성할 수 있다.

모델링을 진행한 전체 인버터의 구성도는 그림 3과 같다.

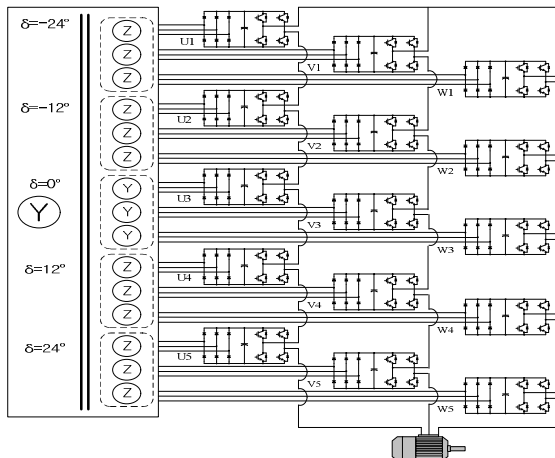


그림 3. 15모듈 멀티레벨 인버터의 구성

그림 4의 시뮬레이션 파형을 보면, 1차측 권선과 2차측 다권선 사이에 각각 12° 씩 위상 차이가 생겼음을 확인할 수 있다.

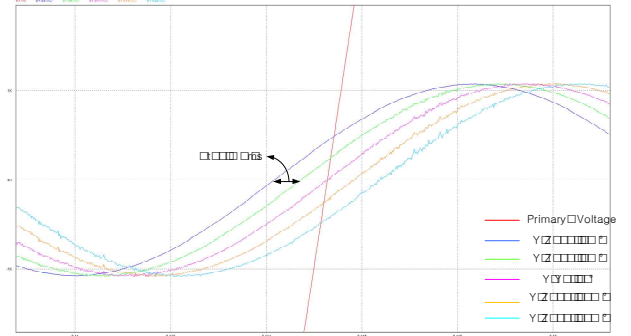


그림 4. 변압기 1/2차 권선 전압 파형

$$360^\circ : \frac{1}{60} s = \theta : 0.559 ms, \quad \theta \approx 12^\circ$$

그림 5는 시뮬레이션을 통해 입력 변압기의 1차측과 2차측의 전류 고조파 성분을 비교한 그래프이다. 2차측에 나타나는 5,7,11,13차 등의 고조파 성분이 변압기 1차측에는 감쇄되어 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

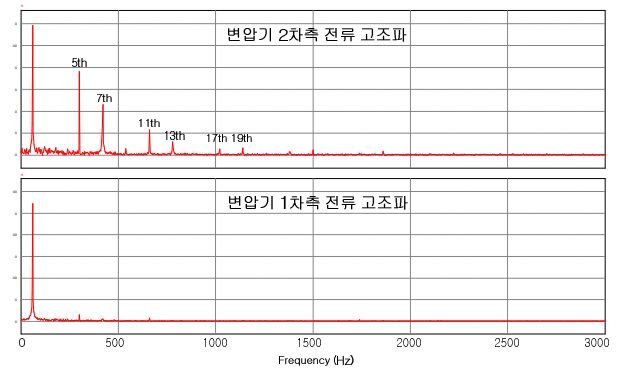


그림 5. 변압기 1/2차단 전류 고조파 비교

4. 결론

본 논문에서는 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 입력단에, 확장 델타형 다권선 위상 천이 변압기가 사용되었을 경우 입력 측 전류의 고조파 성분이 감쇄된다는 것을 확인했다. 이를 위해 15모듈로 구성된 멀티레벨 인버터의 확장 델타 변압기를 설계하고 PSIM을 이용하여 모델링 한 후, 시뮬레이션을 통해 이를 검증했다.

참고 문헌

- [1] 박영민, 이광환, 이세현, “고전압 대용량 유도전동기 구동용 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 신뢰성 향상”, 전력전자학회 논문지 제19권 제2호 pp.99-105, 2014.4.
- [2] Bin Wu, “High-Power Converters and AC Drives”, A John Wiley & Sons, 2006.