

LLC 컨버터에 대한 센터탭 방식과 배전류 방식의 손실 비교 해석

신정운*, 황순상**, 김학원*, 조관열*, 임병국*
한국교통대학교*, 동아일렉콤**

A comparative analysis of Center-tap and Current-doubler loss for LLC resonant converter

Jung Yoon Shin*, Soon Sang Hwang**, Hag Wone Kim*, Kwan Yuhl Cho*, Byung Kuk Lim*
Korea National University of Transportation* DongahElecomm R&D Center**

ABSTRACT

본 논문에서는 센터탭 방식과 배전류 방식의 차이점을 살펴보고 각 회로의 변압기 손실을 계산하여 비교한다. 또한 실제 설계한 변압기의 측정값을 이용한 손실을 계산 손실과 비교한다. 앞에서 비교한 값들을 이용하여 Matlab/Simulink 프로그램으로 LLC 컨버터의 전류와 전압 파형 등을 알아보고 이에 따른 전체 손실에서 변압기 손실이 차지하는 부분을 비교 분석한다. 따라서 이를 통해 센터탭 방식과 배전류 방식의 손실을 비교한다.

1. 서론

LLC 컨버터는 DC/DC 컨버터 회로 가운데 가장 뛰어난 특성을 보유하고 있다. 높은 스위칭 주파수에서도 높은 효율을 얻을 수 있으므로 통신용 장치에서도 이용되고 있다. 대용량 컨버터는 전압 변환 시에 1차 측과 2차 측 간에 높은 전압 변환 비율로 인하여 변압기의 손실이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 LLC 컨버터의 2차 측엔 배전류 정류방식을 적용하여 기존의 센터탭 방식보다 손실을 줄인다.^[1] 또한 이에 대하여 각각의 동손과 철손을 계산하고^[2] 실제 변압기를 설계하여 이에 대한 측정 손실을 알아본다. 이를 통해 센터탭 방식과 배전류 방식의 손실을 수치를 통하여 비교 분석한다.

2. 본론

2.1 센터탭 방식과 배전류 방식의 구성

기존의 LLC 공진 컨버터에 경우 그림 1의 (a)와 같이 2차 측에 센터탭 방식을 적용하는 것이 일반적이다. 이는 2차 측이 두 개의 권선과 두 개의 정류 다이오드로 구성된 형태이다. 그러므로 두 개의 권선이 모두 동일한 특성을 가져야 한다. 배전류 방식은 그림 1의 (b)와 같이 2차 측에 한 개의 권선만을 필요로 하며 출력 단에 유도성 부하가 포함 된 형태를 갖는다. 또한 센터탭 방식과 동일하게 두 개의 다이오드를 포함하고 있다.

앞서 언급했듯이 통신용 정류기의 대용량화로 인해 고효율이 가능한 LLC 컨버터가 3상 입력을 갖는 DC/DC 컨버터의 출력을 DC/DC 컨버터가 입력으로 할 때 높은 전압으로 인하여 1차 측과 2차 측 간 전압 변환 비율이 매우 높게 되어 변압

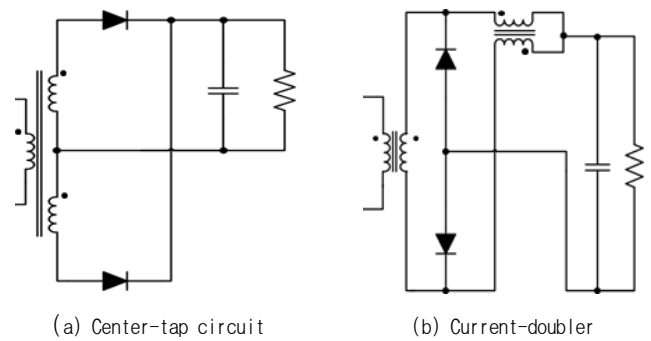


그림 1. 2차 측의 센터탭 방식과 배전류 방식의 비교
Fig. 1. Comparison of center tap circuit and current doubler circuit for secondary side.

기의 손실이 발생하게 된다. 배전류 방식을 사용하게 되면 1차 측에 비해 전류가 큰 변압기 2차 측의 전류 감소로 인하여 변압기의 동손이 감소하게 된다.

앞서 언급했듯이 통신용 정류기의 대용량화로 인해 고효율이 가능한 LLC 컨버터가 3상 입력을 갖는 DC/DC 컨버터의 출력을 DC/DC 컨버터가 입력으로 할 때 높은 전압으로 인하여 1차 측과 2차 측 간 전압 변환 비율이 매우 높게 되어 변압기의 손실이 발생하게 된다. 배전류 방식을 사용하게 되면 1차 측에 비해 전류가 큰 변압기 2차 측의 전류 감소로 인하여 변압기의 동손이 감소하게 된다.

2.2 변압기의 손실 계산

변압기의 손실은 인덕터와 마찬가지로 크게 코어로 인한 철손과 권선에 의한 동손 두 성분으로 나눌 수 있다. 이 중 철손은 크게 히스테리시스 손실과 와전류 손실의 합으로 볼 수 있다. 또한 이 때 동손은 1차 측 권선에 의한 성분과 2차 측 권선에 의한 성분으로 나눌 수 있다.

동손은 식 (1)과 같이 전류와 직류 저항에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{copperloss} = I_s^2 \times R_{dc} \quad (1)$$

위의 식 (1)을 이용하여 각각 센터탭 방식의 1차 측과 2차 측 권선에 의한 동손을 구할 수 있으며 이는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{tap1,cop} &= I_{1s}^2 \times R_{dc1} \\ P_{tap2,cop} &= I_{2s}^2 \times R_{dc2} \end{aligned} \quad (2)$$

각 1,2차 권선의 직렬 저항 값은 식 (3)과 같이 구할 수 있으며, 이때 고유 저항률(ρ)은 $2.38 \times 10^{-8} [\Omega/m]$ 이며 턴 당 평균 권선 길이(MLT), 도선의 반지름(r), Nnos 등은 실험적으로 구해지는 값을 이용하여 구한다.

$$R_{dl1} = \frac{12 \times (2.38 \times 10^{-8}) \times 9.57}{\pi \times (0.65 \times 10^{-2})^2} = 20.59 \times 10^{-3} [\Omega] \quad (3)$$

$$R_{dl2} = \frac{8 \times (2.38 \times 10^{-8}) \times 9.57}{\pi \times (0.06 \times 10^{-2})^2 \times 250} = 6.44 \times 10^{-3} [\Omega]$$

식 (3)에서 나온 직렬 저항 값을 이용하여 식 (2)에서 전류 값을 이용하여 계산하면 센터탭 방식의 1차 측과 2차 측의 동손을 구할 수 있으며, 이를 계산 하면 1차 측 동손은 74.59[W] 2차 측은 52.53[W]이 나오게 되므로 센터탭 방식의 전체 손실 ($P_{tap,cop}$)은 127.11[W]가 된다. 마찬가지로 배전류 방식도 동일한 방법으로 변압기의 동손을 구할 수 있으며, 이를 구하면 배전류 방식의 1차 측 손실은 20.91[W], 2차 측은 32.86[W]의 동손이 나오게 되므로 배전류 회로 변압기 전체 동손 ($P_{doubler,cop}$)은 53.78[W]가 나온다. 또한 배전류 회로의 경우 출력단 측에 결합된 인덕터의 손실까지 고려해야 하므로 결합된 인덕터도 앞에서와 동일한 방법으로 동손을 구하게 되면 8.58[W]라는 값이 나온다.

철손에서 히스테리시스 손실과 와전류 손실을 합하여 정리하면 식(4)와 같이 정리되며, 이를 이용하여 설계자가 알고자하는 코어의 철손을 구할 수 있다.

$$P_{coreloss} = K_C B_m^{13} f^{25} V_L \quad (4)$$

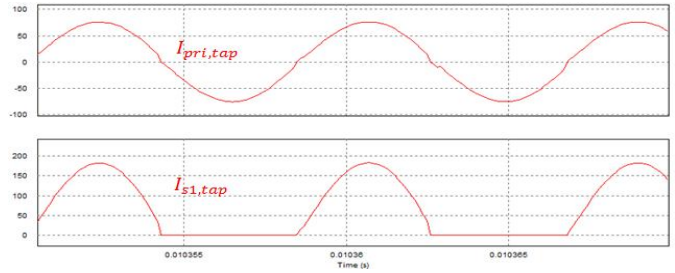
이 때 K_C 와 B_{max} 등은 제조사에서 데이터를 제공하는 값이다. 본 논문은 삼화전자의 PL 7을 기준으로 설계 하였으며 이를 이용하여 철손을 계산한 값은 센터탭 회로의 경우 27.94[W]이며 배전류 방식의 철손은 센터탭과 거의 비슷한 25.07[W]이다. 동손에 비해 철손은 매우 작으므로 동손을 중심으로 비교하였을 때 센터탭 방식에 비해 배전류 방식의 변압기 손실이 매우 작음을 계산을 통해 확인할 수 있다.

2.3 2차 측의 계산값과 측정값 비교

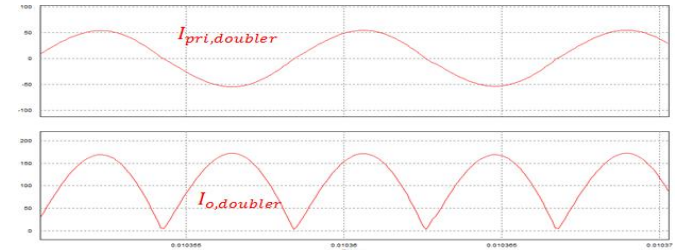
표 1 센터탭과 배전류 방식의 동손에 대한 계산값과 측정값 비교
Table 2 Comparison of estimation data and experimental value for center-tap and current-doubler

		센터탭	배전류	
			결합된 인덕터	
계산치	동손 [W]	127.11	53.78	8.58
	철손 [W]	27.94	25.07	-
측정치	동손 [W]	155.75	36.82	10.42

표 1은 앞에 2.2에서 도출해낸 센터탭 방식과 배전류 방식의 변압기의 손실 값을 나타내며 이를 다시 계산된 값과 실제 설계한 변압기의 측정된 값을 비교하여 나타낸다. 센터탭 방식의 동손 계산값과 측정값 사이에 약 20[W] 이상의 차이가 나지만 거의 차이가 나지 않는 것을 알 수 있으며, 배전류 회로 또한 계산치와 측정치가 거의 근사함을 확인할 수 있다. 동손의 계산치에서 배전류 정류회로는 결합된 인덕터의 동손을 포함하더라도 센터탭 회로보다 대략 2배 정도 효율이 좋은 것을 알 수 있으며, 측정치에서 동손만을 비교 하였을 때 또한 결합된 인



(a) Center-tap 회로의 1차 측과 2차 측 전류 파형



(b) Current-doubler 회로의 1차 측과 2차 측 전류 파형

그림 2 1차 측과 2차 측의 전류파형
Fig. 2 Primary and Secondary Current waveform

덕터의 동손을 포함하더라도 기존의 센터탭 방식의 손실에 비해 매우 적은 것을 확인할 수가 있다. 이를 통해 기존의 센터탭 방식에 비해 배전류 방식을 이용할 경우 2차 측 출력단의 결합된 인덕터가 포함되더라도 변압기의 전체 손실은 센터탭 정류회로보다 배전류 정류회로가 더 적다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 LLC 컨버터의 2차 측에 각각 센터탭 방식과 배전류 방식을 적용하여 각 회로에서의 변압기 손실을 계산하여 이를 분석하였다. 또한 실제 설계한 변압기 모델에서 측정하여 나타낸 실제 측정 손실을 계산값과 비교하였다. 비교를 통해 기존에 제안했던 방식인 2차 측의 배전류 방식을 적용한 회로가 일반적으로 사용되는 센터탭 방식의 회로보다 높은 전압을 입력으로 할 때 변압기의 동손과 철손 모두가 감소하여 변압기 전체 손실이 감소하였으며 배전류 방식에서 2차 측에 결합된 인덕터의 동손을 포함하더라도 센터탭 방식보다 변압기 손실이 적다는 것을 비교 분석하였다.

이 논문은 동아일렉콤의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 정동욱, 황순상, 박귀철, 김학원 "다입력 변압기와 배전류 정류회로를 적용한 LLC 공진형 컨버터의 특성 분석", 전력전자학회, 전력전자학회 2013학년도 전력전자 학술대회 산업기술세션, pp. 101 102, 2013, 7.
- [2] 김민국, 우동균, 이병국, 김남준, 김중수 "전력 변환 장치 효율 개선을 위한 손실 분석 연구", 전력전자 학술대회, pp. 80 90, 2014, 2.