

다중출력 LLC 공진 컨버터의 Cross-regulation 특성 분석

정진우*, 임정규*, 정세교*, 김종해**, 오동성**
 경상대학교 제어계측공학과*, (주)삼성전기**

Analysis of Cross-Regulation Characteristics for Multi-Output LLC Resonant Converter

Jin Woo Jeong*, Jeong Gyu Lim*, Se Kyo Chung*, Jong Hae Kim**, Dong Sung Oh**
 Gyeongsang National University*, Samsung Electro-Mechanics**

ABSTRACT

This paper describes a cross regulation characteristics of a multi output LLC resonant converter widely used in consumer electronics. The output characteristics of the multi output LLC converter is derived from the assumption that the current and voltage to flow through the resonant network is sinusoidal and the duty loss is investigated. The simulation results are provided to verify the theoretic results.

1. 서 론

높은 전력밀도와 무게 및 크기 저감을 위해 다중출력 LLC 공진 컨버터는 하나의 코어에 다수의 권선으로 구성된 변압기를 사용하여 다수의 출력을 낼 수 있도록 구성될 수 있다. 다중출력 LLC 공진 컨버터의 출력은 하나의 공진회로와 변압기를 공통으로 사용함으로써 각 출력의 부하 특성 변동 시 전체 이득 특성의 변화를 야기하며 출력 상호간에 영향을 미치게 된다. 이러한 Cross regulation 특성은 각 출력의 부하 범위와 출력 전압의 범위를 제한하는 요소로 작용하며 제어 성능에도 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 다중출력 LLC 공진 컨버터의 Cross regulation 특성에 대한 분석을 수행하였다. 시비율의 변화가 각각의 출력 특성에 미치는 영향과 전파 반파 또는 반파 반파 구성 등의 2차 측 구성에 따른 영향을 분석하였다. 분석의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며 제시된 결과를 이용하여 분석의 타당성을 입증하였다.

2. 본 문

2.1 다중 출력 LLC 공진 컨버터의 구성

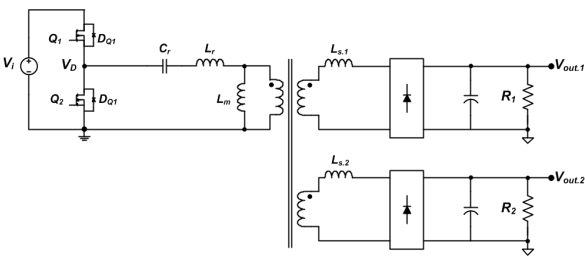
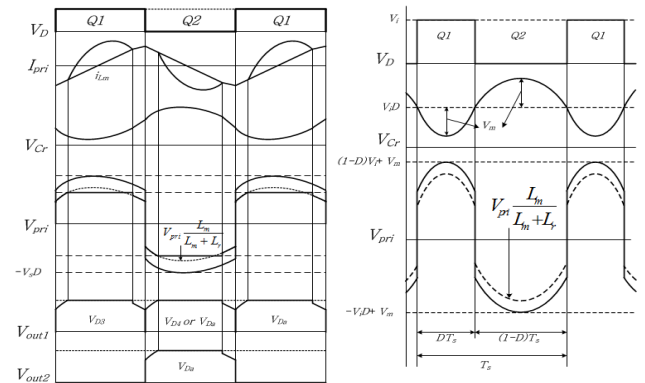


그림 1 다중 출력 LLC 공진 컨버터

그림 1의 다중 출력 LLC 공진 컨버터는 반파 반파 정류기, 전파 반파 정류기를 이용하여 각각 2차 측 출력이 구성될 수 있다. 회로의 형태는 2차 측 출력 형태에 의해 결정되며, 이때

주 출력 전압은 V_{out1} , 보조 출력 전압은 V_{out2} 이다.

2.2 다중 출력 LLC 공진 컨버터의 출력 특성



(a) 정상 동작 파형 (b) 간략화 한 동작 파형

그림 2 이중 출력 LLC공진 컨버터의 주요 동작 파형

그림 2 (a)는 다중 출력 LLC 공진 컨버터의 주요 동작 파형이다. 그림 2 (b)는 그림 2 (a)의 실제 컨버터 주요 동작 파형을 해석의 간편화를 위해 공진 네트워크에 흐르는 전류와 전압이 Sinusoidal의 형태라고 가정을 한 단순화된 형태이다.

이때의 V_{Cr} 은 공진 커패시터 Cr 의 양단 전압이며 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$V_{Cr} = V_i D - V_m \sin(\omega t + \phi) \quad (1)$$

위의 식(1)에서 D 는 Q1의 ON시간이며, $(1-D)$ 는 Q2의 ON 시간이다. V_m 은 V_{Cr} 의 최대값이며, ϕ 는 공진 주파수와 스위칭 주파수 간의 위상차이다. V_{pri} 는 변압기 1차 측 양단 전압이며 다음과 같다.

$$V_{pri} = V_i - V_{Cr} \quad (2)$$

$$V_{pri.Q1} = (1-D)V_i + V_m \sin(\omega t + \phi) \quad (3)$$

(Q1이 ON일 경우)

$$V_{pri.Q2} = -V_i D + V_m \sin(\omega t + \phi) \quad (4)$$

(Q2가 ON일 경우)

그림 1에서 반파 반파 정류기의 경우, D , $(1-D)$ 의 Duty cycle 동안의 변압기 양단 전압은 주 출력 전압, V_{out1} 과 보조 출력 전압, V_{out2} 를 각각 결정하며 V_{out1} 과 V_{out2} 는 다음과 같다.

$$V_{out1} = \frac{1}{n_1} \frac{L_m}{L_m + L_r} V_{pri.Q1} \quad (5)$$

$$V_{out2} = \frac{1}{n_2} \frac{L_m}{L_m + L_r} V_{pri.Q2} \quad (6)$$

위의 식(5), (6)을 통해 시비율이 변함으로써 주 출력 전압과 보조 출력전압이 상보적으로 증가하고 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 1에서 전파 반파 정류기의 경우 주 출력 전압은 변압기 양단 전압의 절대 값의 평균으로 나타 낼 수 있으며 다음과 같이 나타난다.

$$V_{out.1} = \frac{1}{n_1} \frac{L_m}{L_m + L_r} \left(\frac{V_{pri.Q1} + |V_{pri.Q2}|}{2} \right) \quad (7)$$

이때의 보조 출력 전압은 수식 (6)과 동일하며, 수식 (7)을 통해 전파 반파 정류기의 주 출력 전압은 시비율의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

2.3 Duty Loss

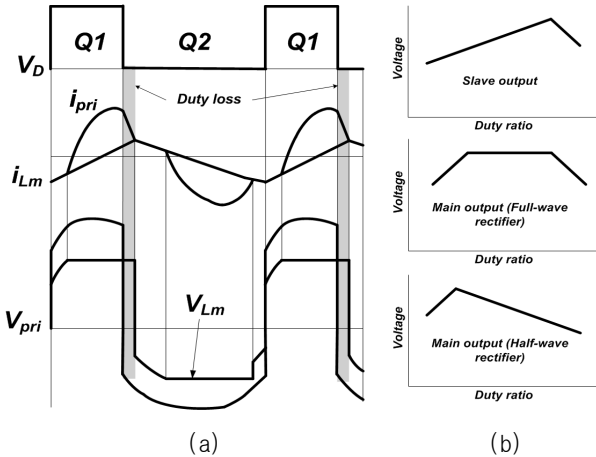


그림 3 Duty loss와 Gain 특성

그림 3(a)는 시비율의 변화로 인해 야기되는 Duty loss를 나타낸다. 공진 주기 내에 스위치 Q1이 off 되면 공진 전류 i_{pri} 는 선형적으로 급격하게 감소한다. 하강예지에서 i_{pri} 의 감소는 2차 측의 시비율을 증가시킨다. 이득 특성은 시비율이 최대 혹은 최소값에 가까워지면 역으로 줄어들게 된다. 부하가 증가 할수록 Duty loss가 증가하며, 만약 스위칭주파수가 공진 주파수보다 작다면 공진 전류에 영향을 받지 않는 시비율의 범위가 존재하게 된다. 이때 시비율의 범위는 다음과 같이 얻어진다.

$$D_{min} = \frac{f_s}{2f_r} \quad (8)$$

$$D_{max} = 1 - D_{min} \quad (9)$$

2.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 이용된 컨버터는 다음과 같이 설계 되었다.

입력전압 $V_i=400V$, 주 출력전압 $V_{out1}=220\pm 40V$, 보조 출력 전압 $V_{out2}=12.8V$, 변압기 턴비 $N_p:N_s1:N_s2=43:35:2$, 동작주파수 $f_s=128kHz$, $L_m=350\mu H$, $L_r=70\mu H$, $D_{min}=0.38$, $D_{max}=0.67$

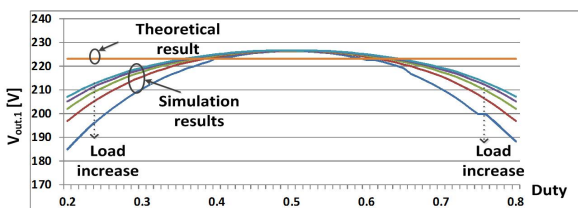


그림 4 전파 정류기의 시뮬레이션 출력

그림 4는 전파 정류기의 시비율 변화에 따른 출력을 나타낸 그래프 이다. 시비율 0.4~0.6 사이의 결과는 이론적으로 계산된 값과 유사한 결과를 보이지만 부하가 시비율의 최대, 최소값으로 갈수록 출력 전압이 줄어든다.

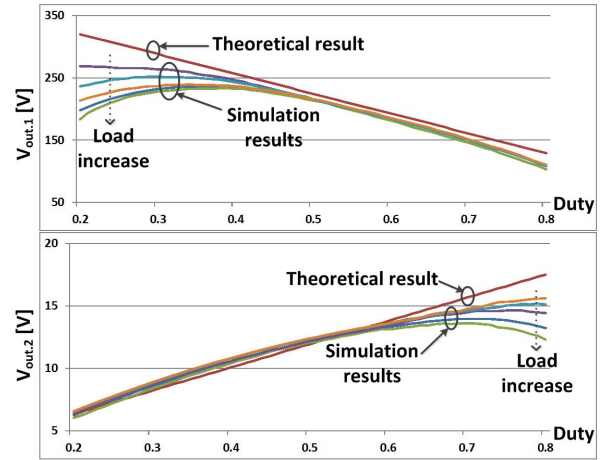


그림 5 반파 - 반파 정류기의 시뮬레이션 출력

그림 5는 2차 측 출력이 반파 반파 정류기로 구성된 회로의 시뮬레이션 결과 이다. Duty loss로 인해 일정 시비율 이상이나 이하가 되면 출력 전압이 이론적인 결과와 큰 차이를 보인다.

3. 결론

다중 출력 LLC 공진 컨버터는 2차 측의 주 출력과 보조 출력 전압은 상호 보완적으로 증가 또는 감소하는 현상을 보이는 것을 수식과 시뮬레이션을 통해 확인 하였다. 그림 5, 6의 시뮬레이션은 Duty 비율을 0.2~0.8로 변화를 주었으며 각 시비율에 따라 출력 전압을 확인 하였다. 그래프에서 확인 할 수 있듯이 시비율 0.4~0.6의 범위 내에서는 이론적 결과와 거의 근사한 결과를 보인다. 부하가 커질수록 출력 전압이 감소하는 현상을 확인 할 수 있다. 이것은 시비율의 변화로 야기되는 Duty loss로 분석되며 위의 결과를 통해서 영향력 있는 시비율의 최소 범위를 유추 할 수 있게 한다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] C, E, Kim, K. B. Park, G. W. Moon and J. Y. Lee, "New multi output LLC resonant converter for high efficiency and low cost PDP power module," *Conf. Rec. IEEE PESC*, 2006, pp. 1 7
- [2] Hangseok Choi, "Analysis and Design of LLC Resonant Converter with Integrated Transformer," *APEC2007*, pp. 1630 1635