

고정된 주파수에서 넓은 입력전압과 부하범위를 갖는 고효율 LLC 공진형 컨버터

정봉근, 심치화, 김은수, 원종섭, 오성진*
 전주대학교, 카코뉴에너지(주)*

High Efficiency LLC Resonant Converter with Wide Input Voltage and Load Range at Fixed Frequency

B.G Chung, C.H Sim, S. Phum, E.S Kim, J.S Won , S.J Oh
 Jeonju University, KACO new energy Inc

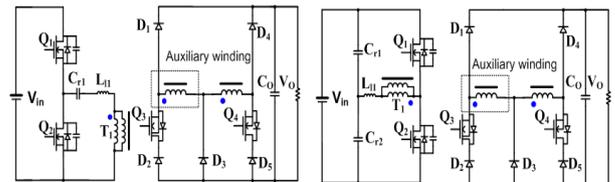
1.서론

최근 계속되는 원유와 같은 원자재 가격인상과 더불어 환경 오염 문제를 해결하고자 태양광 발전과 같은 신재생 에너지를 이용한 PCS(Power Conditioning System)에 대한 연구가 활발히 이루어짐에 따라 고집적화와 고기능화 특성을 가지는 절연형 DC/DC 컨버터 개발이 필요하다. 고집적화와 효율특성을 증가시키기 위해 높은 스위칭주파수에서 동작하며 소프트 스위칭 동작이 가능한 LLC공진형 컨버터에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 일사량에 따라 출력 전압이 심하게 변하는 태양광 발전을 이용한 넓은 입력 전압 범위에서 높은 출력전압을 만족하는 공진형 컨버터를 구현하기 위해서는 작은 값을 가지는 자화인덕턴스로 구성된 변압기를 사용하여 높은 전압이득을 가지며 넓은 입력전압 범위에서도 일정한 출력전압을 얻을 수 있도록 구성하여야 한다. 하지만 작은 값의 자화인덕턴스를 가지는 변압기를 적용하여 공진컨버터를 구성하게 되면 자화전류의 증가에 따라 스위칭소자의 도통손실이 증가하며, 입력전압이 높거나 출력용량이 낮은 경우 일정한 출력전압을 제어하기 위해 높은 주파수에서 동작하기 때문에 순환전류의 증가에 따라 낮은 효율특성을 가지게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 그림1(a)와 그림1(b)와 같이 넓은 입력전압 범위에서 높은 출력전압을 제어 할 수 있는 고정 시비율 LLC 공진 컨버터를 제안하고 구현 하였다.

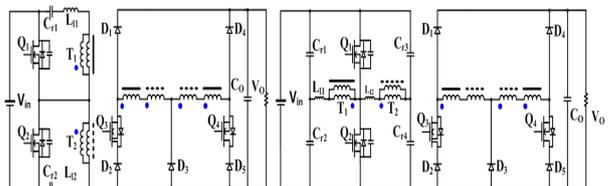
2.제안된 LLC 공진컨버터

기존 2차측 보조스위치를 사용하여 넓은 입력전압 변화와 부하 범위에서 일정한 출력전압 제어를 하는 LLC 공진형 컨버터의 경우는 2개의 보조스위치와 6개의 정류 다이오드로 구성되어 정류 구조가 복잡하며 많은 다이오드 사용에 따라 부피가 증가하고 비대칭하프브릿지 컨버터에서 입력전압 보다 높은 출력전압을 얻기 위해서는 2차측 권선수를 증가시킴에 따라 2차측 누설인덕턴스가 급격하게 증가 하게 되어 보조스위치의 스트레스를 증가시키는 원인이 된다. 또한 1차측에 많은 전류가 흘러 큰 직류를 가지는 권선 사용에 따른 사용면적이 크며 하나의 변압기가 큰 용량을 감당 하여야 하기 때문에 큰 자로면적을 가지는 코어를 선택하여 사용함에 따라 전체 시스템의 부피가 증가하는 문제점을 가지게 된다.^[1] 이러한 문제점을 개선하고자 낮은 출력전압이 적용 가능한 경우에는 2차측 정류부를 2개의 보조스위치와 5개의 정류다이오드로 구성된 회로를 그림

1(a)에 제안하였다. 또한 높은 출력전압에 큰 용량을 요구하는 사양에서 하나의 변압기를 적용 하게 될 경우 큰 자로면적과 사용면적을 가지는 변압기를 사용함에 따른 집적화에 한계성을 가지게 되기 때문에 사이즈가 작은 두개의 변압기를 사용하여 회로를 구성하도록 하여 집적화에 용이하다. 이러한 높은 출력전압을 얻기 위해 일반적으로 2차측 직렬구조를 가지며 입력측에서는 두 개의 탱크회로가 적용된 회로를 적용하여 회로를 구성 하여 2차측 권선수를 감소시켜 2차측 누설인덕턴스의 감소에 따른 보조스위치의 손실감소와 부피감소와 같은 장점을 가지는 회로를 그림1(b)에 제안하였다. 제안된 넓은 입력전압과 넓은 부하범위를 가지는 LLC 공진컨버터는 1차측 주 스위치는 고정된 주파수에서 동작을 하게 되며 2차측 보조스위치의 턴-온 시간 제어를 통해 일정한 출력전압을 얻게 된다. 1차측 주스위치는 고정된 주파수에서 지상전류가 흐르기 때문에 ZVS 동작을 할 수 있어 높은 효율 특성을 가지도록 하였고 2차측 보조스위치의 턴-온 시간을 증가시켜 2차측 누설인덕턴스에 저장된 에너지에 의해 흐르는 지연전류가 끝나는 시기까지 턴-온 시켜 보조스위치가 ZCS 턴-오프가 되도록 하였다.



(a) 보조 권선을 갖는 하나의 공진탱크로 구성된 LLC공진형 컨버터



(b) 두 개의 공진탱크로 구성된 LLC공진형 컨버터
 그림1. 제안된 넓은 입력전압을 가지는 LLC 공진형 컨버터

3.동작원리

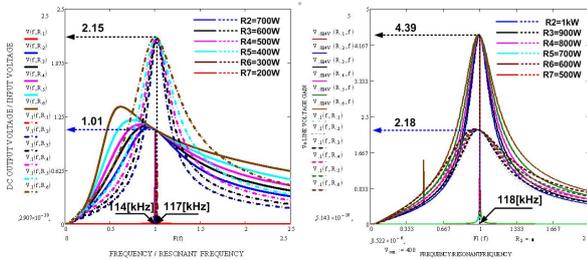
제안된 회로 그림1(a) 1차측은 하나의 공진탱크로 구성되어 있으며 2차측은 보조권선을 사용하여 넓은 입력전압 범위에서 일정한 출력전압 제어가 가능하도록 하였다. 보조권선 사용에 따른 전압이득 특성은 그림 2(a)에 나타내었다. 그림2(a)을 통해 알 수 있듯이 보조스위치가 완전히 턴-온 되었을 때와 턴-

오프 되었을 때 등가누설인덕턴스에 의한 공진 주파수는 거의 같은 지점에 존재한다. 따라서 고정된 스위칭 주파수에서 동작을 하여도 보조스위치의 동작 상태에 따라 상관없이 1차측 주스위치는 ZVS 동작을 하게 된다. 또한 높은 출력전압을 얻기 위해 2차 직렬 구조를 가지며 1차측은 두 개의 공진탱크로 구성된 회로 그림1(b)의 전압이득 특성은 그림 2(b)에 나타내었다. 두 개의 공진탱크를 가지는 LLC 공진컨버터 역시 보조스위치가 완전 턴-온 되었을 때와 턴-오프 되었을 때 등가누설인덕턴스에 의한 공진 주파수는 거의 같은 지점에 존재하여 보조스위치의 동작에 상관없이 1차측은 ZVS 동작을 하게 된다.

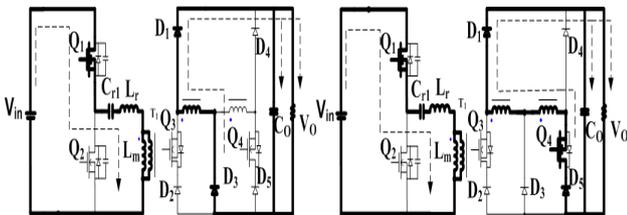
보조스위치의 턴-오프시 1차측 변압기 양단 전압이 2차측 출력전압이 1차측으로 반영된 전압($N \cdot V_{out}$)보다 낮은 경우 출력측 전류다이오드에 의해 1차측 에너지는 2차측으로 전달되지 않는다. 이와 같은 경우 1차측에는 자화전류만 흐르게 되고 보조스위치가 턴-온 되는 시점에서 높은 공진전류가 흐르게 되어 컨버터의 전체 효율을 감소시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 그림3(a)와 같이 보조스위치가 턴-오프된 상태에서 부하로 에너지를 전달 되도록 전류경로($D_1-D_3-C_0, R_0$)를 생성 시켜야 하며 이와같은 조건을 만족하기 위한 식은 식(1)과 같다. 2차측 출력전압이 1차측으로 반영된 전압($N \cdot V_{out}$)보다 식(1)의 자화인덕턴스에 걸리는 전압이 높은 경우 1차측 에너지가 2차측으로 전달되게 되며 이와같은 조건을 만족하기 위해서는 공진커패시터의 리플전압(V_{cr})을 증가시켜야 한다. 따라서 작은 값의 공진커패시터를 사용하도록 하였고 작은 값의 공진커패시터를 사용함에 따른 원하는 스위칭 주파수 영역을 얻기 위해 1차측과 2차측 권선을 서로 분리하여 등가 누설인덕턴스를 증가 시켰다.

$$(V_{IN} + V_{cr}) \cdot \left(\frac{1}{1+A}\right) > N \cdot V_{OUT}$$

$$A = L_r / L_m, \quad N = N_1 / N_2 \quad (1)$$



(a) 2차측 보조권선이 적용된 LLC 공진형 컨버터
(b) 두개의 공진탱크 적용된 LLC 공진형 컨버터
그림2. 제안된 LLC 공진형 컨버터 전압이득 특성

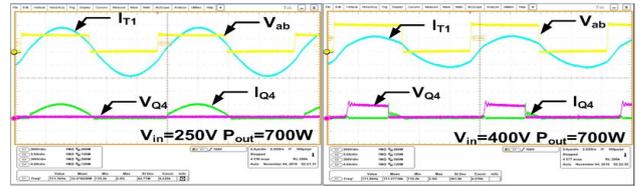


a) 보조스위치 Q4가 턴-오프시 (b) 보조스위치 Q4가 턴-온시
그림3. 보조스위치 동작에 따른 동작상태

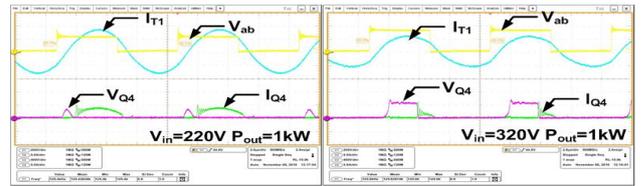
4. 실험결과

본 논문에서 제안한 넓은 입력 전압 범위를 가지는 LLC 공

진컨버터에 대한 실험을 하기위해 입력전압 범위(250V~400V)에 출력전압 250V, 출력용량 700W를 만족하는 그림1(a)의 하나의 변압기로 구성된 회로에 대한 실험파형을 그림4(a,b)에 나타내었고, 입력전압 범위(220V~320V)에 출력전압 400V, 출력용량 1kW를 만족하는 그림1(b)의 두 개의 변압기를 적용한 공진형 컨버터에 대한 실험파형을 그림4(c,d)에 나타내었다. 그림(4)을 통해 알 수 있듯이 1차측 주스위치는 입력전압 변화에 대해 모두 ZVS 동작을 하는 것을 알 수 있으며 보조스위치의 양단 전압은 출력 전압만큼 제한되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 제안된 회로 그림1(a)에서 입력전압 또는 부하변화에 따라 최저 90.6%에서 최대 95.3% 효율을 가지며 제안된 회로그림1(b)에서 입력전압 또는 부하변화에 따라 최저 87%에서 최대 94.36% 효율 특성을 가진다.



(a) 입력전압 250V, 출력용량 700W
(b) 입력전압 400V, 출력용량 700W



(c) 입력전압 220V, 출력용량 1kW
(d) 입력전압 320V, 출력용량 1kW

그림4. 중부하에서 입력전압 변화에 따른 실험파형

5. 결론

일반적으로 넓은 입력전압 및 부하 제어범위를 가지는 시스템에 LLC 공진형 컨버터를 적용할 경우 작은 값의 자화인덕턴스를 가지는 변압기를 적용해야하기 때문에 많은 자화전류가 흐르게 되어 스위치 도통손실을 증가시키게 되며, 높은 입력전압 또는 경부하에서 일정한 출력전압을 제어하기 위해 높은 스위칭 주파수에서 동작하게 되어 순환전류의 증가에 따라 낮은 효율특성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로는 1차측 주스위칭 소자는 고정된 주파수에서 동작을 하도록 하였고 2차측 보조스위치의 턴-온 시간 조절을 통해 출력전압을 제어하도록 하여 높은 효율특성을 가지는 LLC 공진형 컨버터를 제작하였고 실험하였으며 향후 변압기 최적설계 또는 소자 선정을 통해 높은 효율을 가지는 컨버터 제작이 가능할 것으로 간주된다.

이 논문은 카오뉴에너지(주)의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

참고 문헌

[1] F.Canales, P. Barbosa and F. C.Lee, "A wide Input Voltage and Load Output Variations Fixed-Frequency ZVS DC/DC LLC Resonant Converter for High-Power Applications," in IEEE Proc.7th LAS Annual Meeting of Industry Applications Conference, pp.2306~2313, Nov/Dec.200