

고전압용 LCL 공진 푸시풀 컨버터 구현

홍정표*, 정승환**, 이도걸**, 권순재***
 동의과학대학*, 전기안전공사**, 부경대학교***

The LCL- Resonant Push-Pull Converter Topology for a High voltage generation

Jeng-Pyo Hong*, Seung-Hwan Jung**, Do-Geol Lee**, Soon-Jae Kwon**
 Dong-Eui Institute of Technology*, KESCO**, Pukyong National Univ.***

Abstract - 본 논문은 재생에너지의 고전압크기 변환에 적용하기 위해 출력 정류 다이오드 뒤에 LCL 공진회로를 갖는 푸시풀 컨버터를 나타내었다. 푸시풀 컨버터의 공진회로는 두 배의 스위칭 주파로 동작함으로써 공진요소의 값이 작아도 되어 소형 경량이다. 제안된 푸시풀 컨버터 토폴로지는 낮은 전압에서 높은 전압까지 안정된 전압을 얻을 수 있다. 실험 컨버터는 입력전압 24[V], 전류 80-A, 출력전압 320[V] 출력 1.5 [kW]이고 동작 주파수 20 [kHz]에서 양호하게 동작하였고 시뮬레이션과 실험 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다.

1. 서 론

태양전지 등 신 재생에너지는 무한히 많은 에너지를 사용할 수 있고, 저공해 특성을 가지고 있다. 신재생 에너지는 부하가 밀집된 대도시 혹은 변전소에 분산 설치가 용이하여 송전 손실을 줄일 수 있고, 또 운전 중에 발생하는 열을 이용하여 열병합발전이 가능하여 가장 효율적인 차세대 에너지 전원으로 주목 받고 있다 [1]

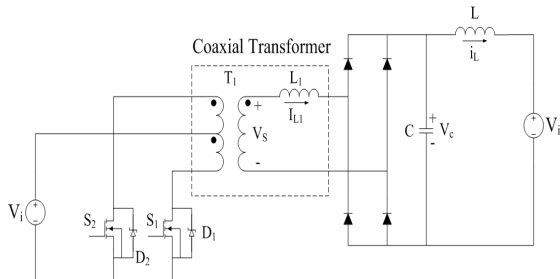
최근, 저전압 ·대전류 출력 특성을 갖는 전력변환기 시스템은[2]~[3] 신 재생에너지의 새로운 발전시스템으로 주목받고 있다. 신재생 에너지 발전 출력은 낮은 출력전압과 비선형적인 출력특성을 가지고 있기 때문에 출력특성을 보완할 수 있는 전력변환 장치가 필요하다. 신재생 에너지 발전 출력은 낮은 출력전압과 비선형적인 출력특성을 가지고 있기 때문에 출력특성을 보완할 수 있는 전력변환 장치가 필요하다.

본 논문은 재생에너지의 고전압크기 변환에 적용하기 위해 출력 정류 다이오드 뒤에 LCL 공진회로를 갖는 푸시풀 컨버터를 나타내었다. 푸시풀 컨버터의 공진회로는 두 배의 스위칭 주파로 동작함으로써 공진요소의 값이 작아도 되어 소형 경량이다. 제안된 푸시풀 컨버터 토폴로지는 낮은 전압에서 높은 전압까지 안정된 전압을 얻을 수 있다. 실험 컨버터는 MOSFET스위치, 입력전압 24[V], 전류 80-A, 출력전압 320[V] 출력 1.5 [kW]이고 동작 주파수 20 [kHz]에서 양호하게 동작하였고 시뮬레이션과 실험 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다.

2. 고전압 LCL 공진 푸시풀 컨버터

2.1 LCL 공진 푸시풀 컨버터 동작

적용한 LCL 공진 푸시풀 컨버터는 CL 공진요소가 출력 정류기 후단에 위치하고 축전지 전압과 같이 일정한 저전압을 높은 전압으로 변환하는 전력변환기에 적합하다. 그림 1은 LCL 공진 푸시풀 공진컨버터를 나타내고 스위치 S_1, S_2 도통시 매우 낮은 온 저항(R_{ds})을 갖는 MOSFET 두개가 병렬로 연결되어 있다. 이것은 전류 분배가 좋고 뛰어난 내 서지와 스위치 효과를 가지고 있다.



<Fig. 1> LCL resonant push-pull dc-dc converter topology

변압기 T1은 이 컨버터에 사용된 동축 코일 변압기이고 1차측은 중간탭을 갖는다. 이것의 1차측은 중간 탭에 의해 2개의 권선으로 분할하였기 때문에 2차측의 코일(L_1)에 비하여 누설인덕턴스가 매우 작다. 또한 누설자속은 변압기 철

심을 통하지 않기 때문에 철심의 포화현상이 없다고 가정한다. 따라서 변압기 코일로 인하여 후방의 공진점은 변화하지 않는다. 결국 공진요소 L-C는 변압기의 2차측 누설인덕턴스를 가지고 스위치 S_1, S_2 의 2배의 스위칭 주파수에서 공진한다.

특성이 좋은 커패시터(C)와 공극 인덕터(L)를 사용한 LCL 공진주파수는 컨버터부하의 전체범위에 걸쳐서 일정한 값이 될 것이다.

컨버터는 50% 듀티 싸이클로 스위칭 되며 위상은 서로 180도 바뀐다. 그 결과 변압기 1차측에 구형파전압 $\pm V_i$ 가 인가 되는 것이다. 스위치 전류(commutation)동안 변압기의 자화전류는 MOSFET의 다이오드를 통해 흐르고 turn on시 영전압(zero voltage)보다 앞선다. 출력단은 전통적인 전파정류기에 C와 L의 공진성분을 갖는 것 이외 변압기의 누설자속에 따라 LCL 공진회로는 (1) 주파수로 동작한다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{L_L}{L_1 LC}} \quad (1)$$

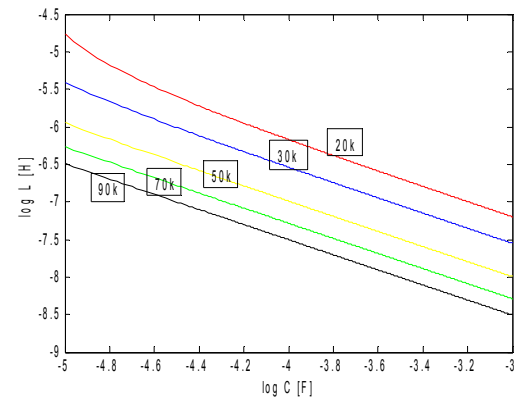
여기서 $L_L = L_1 + L_2$ 이다.

2.2 공진 푸시풀 컨버터 요소 설계

직 · 병렬 공진 DC/DC 변환기의 설계 사양은 입력 DC전압 24[V]이고 출력 DC전압은 350[V]이다.

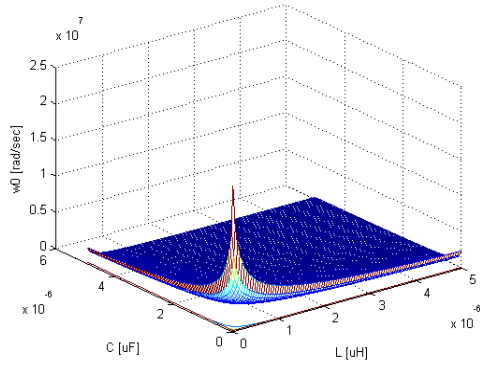
L-C-L 공진 요소의 수학적 표현은 복잡하지만 설계는 비교적 간단하다. 변압기와 이것의 주어진 누설 인덕턴스로서 LCL 탱크의 공진 주파수는 식 (1)를 사용하여 C와 L 성분의 범위를 계산될 수 있다.

그림 2는 L-C에 대한 일정 공진주파수 [kHz]를 나타낸 것이고 이 그림은 희망하는 공진 주파수에 대하여 주어진 변압기 누설 인덕턴스가 결정되면 L과 C 요소 값의 범위를 알 수 있다.

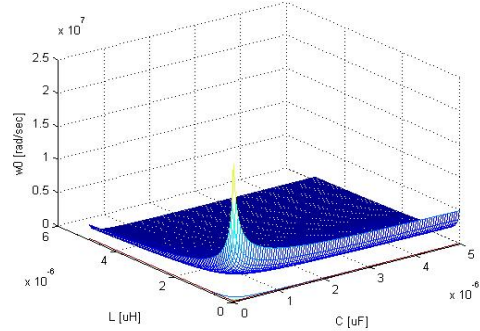


<Fig. 2> L-C constant resonant frequency line [kHz]

그림 3은 L-C 평면에 대한 공진주파수 (ω_0)를 3차원으로 나타낸 것이고 공진 주파수에서 L-C 값을 선정할 수 있다. 이 경우 그림 (a)는 누설 인덕턴스 L_1 은 18[μH] 이고 그림 (b)는 L_1 은 1[mH] 이다. 그 결과 컨버터의 스위칭 주파수는 20[kHz]가 되는 것을 알 수 있다.



(a) $L=180[\mu H]$



(b) $L=1[mH]$

<Fig. 3> The resonant frequency ω_0 for $L-C$ plan

3. 시뮬레이션과 실험

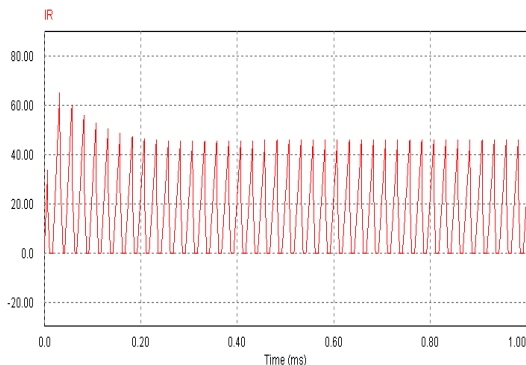
컨버터의 기본과 동작을 시뮬레이션하기 위해서 시간영역에서 시뮬레이션은 동작회로의 미분 방정식기초하여 행한다. 이 경우 부하는 일정한 것으로 한다. 아래 식은 시뮬레이션에 사용된 식을 나타낸다.

$$i_{L1} = \frac{1}{L_1}(V_s - i_{L1}R_{L1} - vc) \quad (2)$$

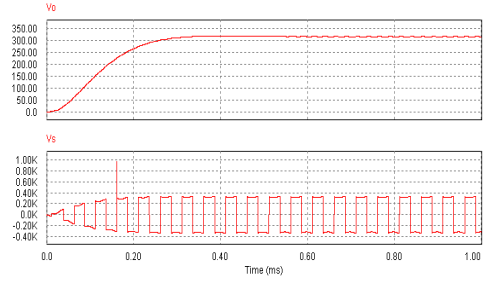
$$ic = \frac{1}{C}(i_{L1} - i_L) \quad (3)$$

다른 모드에서 미분 방정식도 유사하게 나타낼 수 있다. 누설 인덕턴스 이외에, 변압기는 이상적이라 가정하고 $V_s = \pm(NV_i)$ 이다. (1)식에서 LCL 공진 주파수는 그 응답이 감쇠하지 않고 일정한 정현파가 되도록 하기 위한 평가는 미분방정식에 나타낸 초기치는 모드2에 나타낸 식에서 결정된다.

원하는 스위칭 주파수 f_s 에 대하여 L와 C의 범위가 식(2)를 사용하여 구할 수 있고 $\omega_0 = 2\pi f_s$ 이다. 또한 L와 식(1)를 만족시키는 C의 어떤 조합이 이론에서 구할 수 있다. 그러나 각 모드에서 제시된 방정식에 의해 정확한 L, C 값을 설계하기 어렵다. L을 크게 하면 전류 리플은 줄일 수 있지만 더 큰 C가 요구되어 가격이 증가한다. 주어진 조건에서 가장 적절한 값을 구하기 위하여 식(2)를 이용한 시뮬레이션에서 구할 수 있다.



(a) resonant current waveform



(b) Waveform of output voltage and transformer secondary voltage

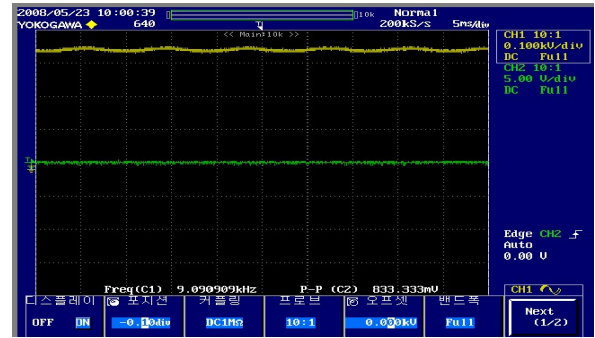
<Fig. 4> The simulation waveform at $f=20[kHz]$

시뮬레이션은 PSIM ver 7.0에 의해 실행하며 정수는 $V_{DC}=24[V]$, $L1=0.00001[H]$, $L=0.001[H]$, $C=8[\mu F]$, $R_L=20[\Omega]$, $d=0.5$, $Nt=5$, $Ns=5$, $Np=200$ 이다.

그림 4은 $f=20[kHz]$ 으로 했을 때, 공진전류, 출력전압 및 변압기 2차 푸시풀 출력의 전압파형을 나타낸 것이다.

그 결과 $f=20[kHz]$ 일 때 설계사양을 만족하는 직류 출력 320V를 얻을 수 있는 것을 알 수 있고, 결정한 L, C 값에서 오버슈트 없는 만족한 응답을 얻을 수 있었다.

그림 5는 하드웨어로 구성된 푸시풀 DC-DC 컨버터의 부하특성 실험에서 출력전압을 관측한 결과 DC 320[V]로 관측됨을 알 수 있다. 푸시풀 DC-DC 컨버터의 파라미터 정수와 회로 정수를 시뮬레이션에서 이용한 것과 동일한 것을 사용하였으며 시뮬레이션에서 얻은 파형과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 5> Experimental output voltage

3. 결 론

본 논문은 재생에너지 전압크기 변환에 적용하기 위해 출력 정류 다이오드 뒤에 CL 공진 요소를 둔 LCL 공진회로를 갖는 새로운 푸시풀 컨버터 토폴로지를 나타내었다. 제안된 푸시풀 컨버터 토폴로지는 낮은 전압에서 높은 전압까지 안정된 전압을 얻을 수 있다.

실험과 시뮬레이션에서 저항 부하에 유효전력을 공급하는 푸시풀 DC-DC 컨버터는 그 실험결과가 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다. 시뮬레이션과 실험결과는 설계한 DC-DC 증폭기가 유효 부하에 대한 유효전력의 변환이 성공적으로 이루어졌음을 증명 해준다.

[참 고 문 헌]

- [1] Brad Bryant, Marian K.Kazimierczuk, "Modeling the Closed-Current Loop of PWM Boost DC-DC Converters Operating in CCM With Peak Current-Mode Control.", IEEE Transactions on Circuits and System- Regular Papers, Vol.52, No.11, pp. 2404-2412, 2005.
- [2] Tsai-Fu Wu, Jin-Chyuan Hung, Jeng-Tsuen Tsai, Cheng-Tao Tsai and Yaow-Ming Chen, "An Active-clamp Push-Pull Converter for Battery Sourcing Applications.", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.44, No.1, pp. 196-204, 2008.
- [3] A Brambilla, "New Approach to Photovoltaic Arras Maximum Power Point Tracking", Proceeding of 3_th IEEE Power Electronics Conference, Vol. 2, pp. 632-637 20008.