

넓은 입력전압과 부하범위를 갖는 LLC 공진컨버터

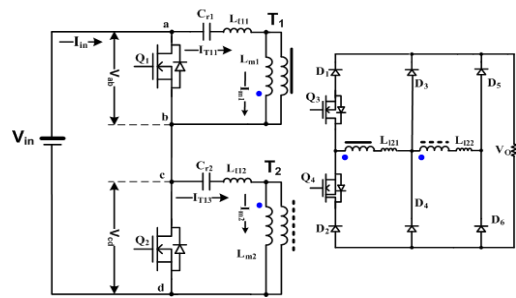
김은수, 정봉근, 장상호, 윤광호
전주대학교

A Wide Input Voltage And Load Range LLC Resonant Converter

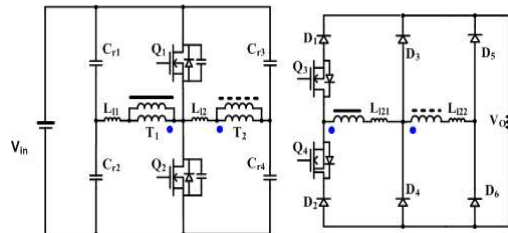
E.S Kim, B.G Chung, S.H Jang, G.H Yoon
Jeonju University

1. 제안된 LLC 공진컨버터

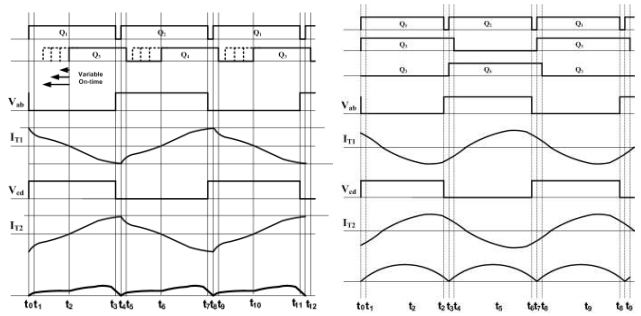
본 논문에서는 넓은 입력전압 및 부하범위에서도 높은 출력전압을 제어 할 수 있으며, 소프트 스위칭 할 수 있는 장점을 갖고 있는 LLC 공진컨버터를 제안 하였다. 본 논문에서 제안된 회로의 기본적인 동작은 그림 1(a), (b), (c)에서와 같이 1차측에 위치한 주 스위치(Q1,Q2)는 공진주파수 지점의 고정된 스위칭주파수에서 50% 듀티사이클을 가지고 동작을 하고 있으며, 입력전압과 부하변화에 대응하여 일정한 출력전압을 제어 하기 위해 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)가 1차측 스위칭소자와 동기되어 턴-온 듀티(Duty)(또는 위상제어)를 제어 하도록 하였다. 입력전압이 더 낮아지고 부하가 증가하면 그림 1(a), (b), (d)에서처럼 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)의 턴-온 듀티가 1차측에 위치한 주스위치(Q1,Q2)의 턴-온 시간과 같아지는 풀 듀티에 이르게 되고, 이후 요구된 출력전압을 제어하기 위해 공진주파수 지점의 고정된 스위칭주파수 동작에서 LLC 공진컨버터 주회로 이득특성으로부터 승압할 수 있는 범위까지 낮은 스위칭주파수로 주파수가변제어를 통해 승압하게 된다. 그림 1(a), (b), (c), (d)에 나타난 것처럼 2차측 보조스위치(Q3,Q4)의 스위칭 동작에 의해 두 개의 공진탱크가 동작시 2차측 권선이 직렬로 연결되기 때문에 높은 출력전압을 가질 수 있도록 하여 낮은 입력전압 범위에서도 충분한 전압이득 특성을 얻게 된다.^[3] LLC 공진컨버터의 입력전압이 가장 높을 경우 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)의 듀티가 0%가 되어 동작 하지 않게 되었을 때 주회로 1차측 하단에 위치한 공진탱크만 동작하고, 주회로 1차측 상단에 위치한 공진탱크에는 여자전류만 흐르고 있는 상태로 동작하게 된다. 이때 입력전압이 더 높아지거나 경부하 또는 무부하로 동작 시 1차측에 위치한 주 스위치(Q1,Q2)는 공진주파수 지점의 고정된 스위칭주파수에서 LLC 공진컨버터 주회로 이득특성에서 강압할 수 있는 범위까지 높은 스위칭주파수로 주파수가변제어를 통해 강압하여 출력전압을 제어하게 된다. 따라서 기존 LLC 공진컨버터에서 높은 입출력이득특성을 얻기 위해 요구된 작은 자화인덕턴스 값 변압기 사용에 의한 큰 여자전류에 따라 스위칭소자 도통손실이 많이 발생하지만, 제안된 LLC 공진컨버터의 경우 1차측 및 2차측에 위치한 주 스위칭소자 및 보조스위치의 동작에 의해 출력전압을 제어하기 때문에 넓은 입력전압 및 부하범위에서도 높은 출력전압을 제어할 수 있어 기존에 비해 큰 자화인덕턴스를 갖는 변압기 사용할 수 있으므로 도통손실을 저감에 따른 효율 특성을 개선할 수 있게 된다.



(a) Two Tank회로를 갖는 제안된 LLC 공진컨버터 1



(b) Two Tank회로를 갖는 제안된 LLC 공진컨버터 2



(c) 넓은 입력전압 (34VDC~67VDC)과 부하에서의 동작상태

(d) 낮은 입력전압(30VDC~34VDC)과 부하에서의 동작상태

그림 1. 넓은 입력전압 및 부하범위에서 동작되는 Two Tank회로를 갖는 제안된 LLC 공진컨버터와 동작파형

2. 전압이득특성분석

본 논문에서 제안된 LLC 공진컨버터는 넓은 입력전압 및 부하범위에서 출력전압 제어에 따라 동작상태가 다르게 된다. 입력전압이 가장 낮은 경우 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)의 턴-온 시간과 1차측에 위치한 주스위치(Q1,Q2)의 턴-온 시간이 같아지게 되고 이때 동작은 그림 1(d)와 같이 동작을 하게 되며 두 개의 공진탱크회로가 동작시 2개의 입력전원이 준

재하기 때문에 등가회로로 나타내기 위해서는 중첩의 원리를 적용하여 등가화 한다. 중첩의 원리를 적용하여 나타낸 등가회로는 그림2와 같다. 또한 입력전압이 가장 높은 경우 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)는 턴-오프 상태가 되어 주회로의 상단에 위치한 공진탱크에는 여자전류만 흐르게 되고 하단에 위치한 하나의 공진탱크만 부하로 에너지를 전달하게 된다. 이때 등가회로는 그림3과 같이 나타낼 수 있게 된다. 그림 2, 3의 등가회로를 통한 전압이득 특성 식을 추출하였고 그에 대한 시뮬레이션 결과는 그림4에 나타내었다. 그림4에 나타낸바와 같이 하나의 공진탱크와 두 개의 공진탱크 동작시 규준화된 공진 주파수는 같은 지점을 나타내고 있는 걸 알 수 있게 된다.

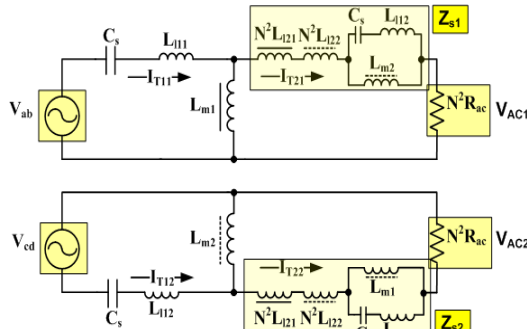


그림 2. 두 개의 공진회로에 있어서 중첩원리 적용 등가회로

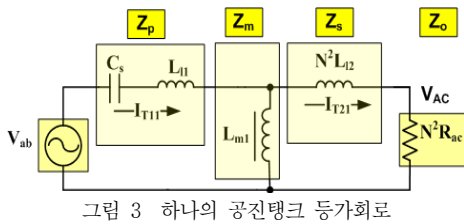


그림 3 하나의 공진탱크 등가회로

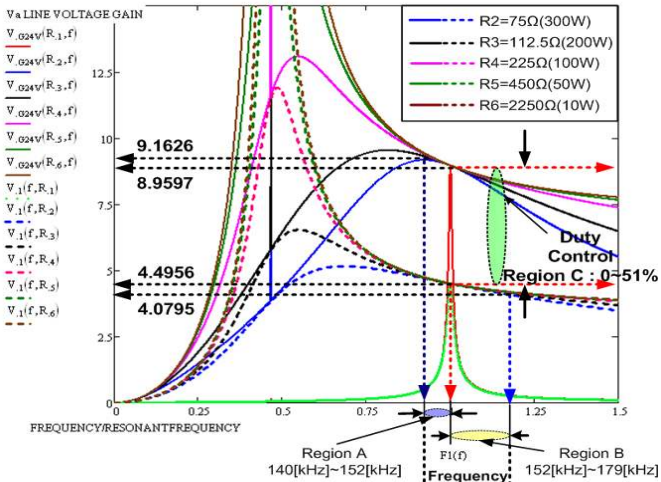


그림 4. 부하변화에 따른 전압이득특성

따라서 제안된 LLC 공진컨버터는 3가지 동작모드로 동작하게 된다. 첫 번째 동작은 그림 1(c)와 그림 4에 나타낸 바와 같이 주 스위칭소자(Q1,Q2)는 공진주파수(152[kHz]) 지점의 고정된 스위칭주파수에서 50% 듀티사이클을 가지고 동작을 하고 있으며, 입력전압과 부하변화에 대응하여 일정한 출력전압을 제어하기 위해 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)는 1차측 스위칭소자와 동기되어 턴-온 듀티(Duty)(또는 위상제어)를 제어

하도록 하였다. 특히 보조스위치(Q3,Q4)의 영전류 턴-오프 스위칭(ZCS) 동작을 위해 변압기 전압극성이 바뀌어 스위치에 흐르는 전류가 0이 되는 시간점도의 지연시간을 가지고 턴-오프 되도록 제어된다.

두 번째 동작은 입력전압이 낮아져서 주스위칭소자와 보조스위칭소자가 풀-듀티에 이르게 되고 이후 요구된 출력전압을 제어하기 위해 그림 4에 나타낸 것처럼 공진주파수(152[kHz]) 지점의 고정된 스위칭주파수 동작에서 LLC 공진컨버터 주회로 이득특성에서 승압할 수 있는 범위(Region A)까지 낮은 스위칭주파수(140[kHz])로 주파수가변제어를 통해 승압하게 된다.

세 번째 동작은 LLC 공진컨버터의 입력전압이 가장 높고 경부하의 경우 2차측에 위치한 보조스위치(Q3,Q4)의 듀티가 0%가 되어 동작 하지 않게 되고, 이후 출력전압을 강압되지 않을 경우 공진주파수(152[kHz]) 지점의 고정된 스위칭주파수 동작에서 LLC 공진컨버터 주회로 이득특성에서 강압할 수 있는 범위(Region B)까지 높은 스위칭주파수(179[kHz])로 주파수가변제어를 통해 강압 제어할 수 있다.

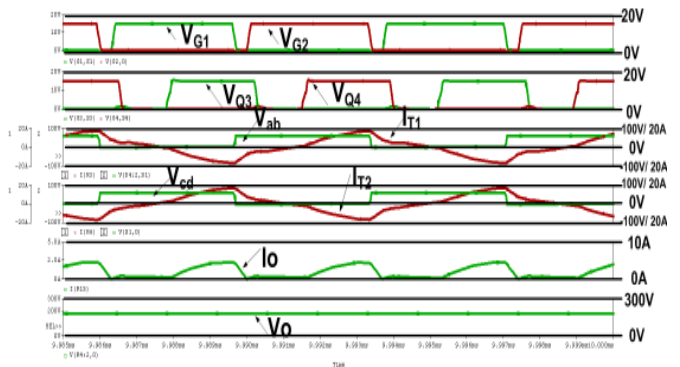
3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 넓은입력 전압 범위(30V~70V)를 가지는 LLC 공진컨버터에 대한 시뮬레이션을 하기 위해 입력전압 30V~70V에 출력전압 150V를 만족하는 변압기를 제작하여 파라미터를 추출하여 표1에 나타내었고 추출된 파라미터를 통해 시뮬레이션 한 결과를 그림5에 나타내었다. 그림 1(c)에 나타낸 낮은 입력전압 범위에서의 첫 번째 동작모드에 대한 동작 시뮬레이션 파형을 그림 5(a)에 나타내었고, 그림 1(d)에 나타낸 높은 입력전압 범위에서의 두 번째 동작모드에 대한 동작 시뮬레이션 파형을 그림 5(b)에 나타내었다.

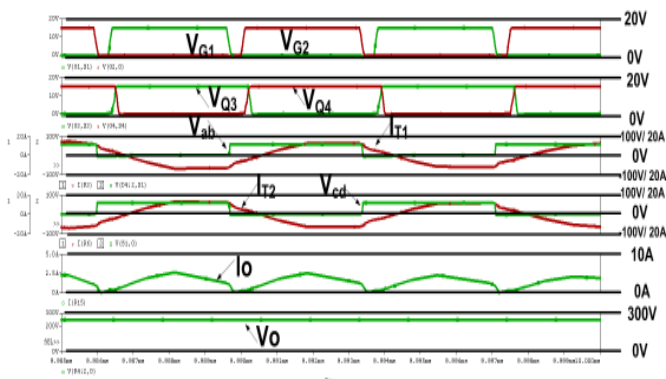
그리고 높은 입력전압 및 경 부하조건에서의 세 번째 동작에 대한 시뮬레이션파형을 그림 5(c)에 나타내었다.

표 1. 넓은 입력 전압을 가지는 승압형 컨버터 주요성격 및 파라미터

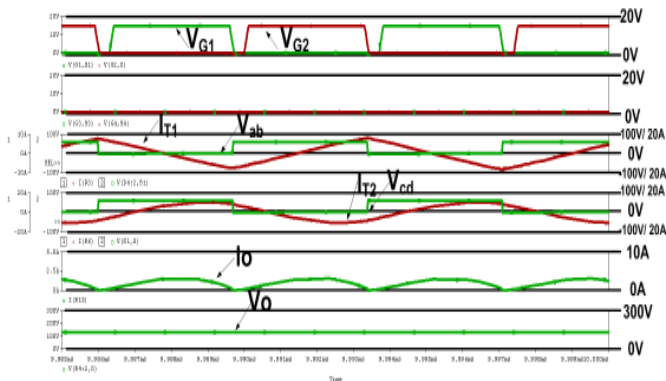
변압기 파라미터	변압기 T ₁	변압기 T ₂
1차측누설인덕턴스	L ₁₁₁ 0.7381uH	L ₁₁₂ 0.834uH
2차측누설인덕턴스	L ₁₂₁ 24.95uH	L ₁₂₂ 22.74uH
자화인덕턴스	L _{m1} 9.298uH	L _{m2} 9.256uH
A(L ₁₁₁ /L _{m1} , L ₁₁₂ /L _{m2})	0.079	0.09
B(N ² L ₁₂₁ /L _m)	0.149	0.17
등가누설인덕턴스	L _{eq1} 2.195uH	L _{eq2} 2.18uH
N(n ₁ /n ₂)	0.263(5/19)	0.263(5/19)
공진커패시터	C _{r1} 500nF (C _{r1} ,C _{r2}) (250nF)	C _{r2} 500nF (C _{r3} ,C _{r4}) (250nF)



(a) 넓은 입력전압에서의 시뮬레이션 파형



(b) 낮은 입력전압에서의 시뮬레이션 파형



(c) 높은 입력전압에서의 시뮬레이션 파형
그림 5. 동작영역에 따른 시뮬레이션 파형

4. 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 넓은 스위칭 주파수에서 동작을 하게 되어 순환전류의 증가에 따라 낮은 효율특성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로의 경우 표준화된 고정된 공진주파수에서의 2차측 보조스위치의 듀티 제어에 따라 출력전압제어가 가능하고 보다 넓은 입력전압 및 부하조건에서는 주파수가변제어가 가능하기 때문에 순환전류에 의한 효율저감과 큰 값의 자화인덕턴스를 가지는 변압기를 적용할 수 있어 전체 시스템의 효율개선에 용이하다.

본 논문에서는 설계조건에 따라 실제로 변압기를 제작하여 시뮬레이션을 하였고, 시뮬레이션 결과를 통해 회로의 타당성과 가능성을 제시하였다.

5. 응용회로

그림 1(a)와 (b)에 나타난 Two Tank LLC 공진컨버터의 2차측에 양방향 전력스위칭소자를 적용하여 그림 6에 나타난 Two Tank LLC 공진인버터적용 계통연계형 PCS에도 응용할 수 있으며, 다른 응용분야로서 전압원 DC/DC 컨버터의 경우 넓은 입력전압 범위에서 동작의 경우 변압기 자속변동율(dB) 범위가 크고, 변압기 누설인덕턴스에 의한 순환전류 증가로 인해 듀티손실이 증가하는 단점을 갖는다. 따라서 앞 절의 그림 1(b)에서 제안된 컨버터를 응용하여 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2} , C_{r3} ,

C_{r4}) 대신에 큰 용량의 전해콘덴서(C_1 , C_2 , C_3 , C_4)적용 및 출력측 필터인덕터(L_f)를 적용하면 넓은 입력전압범위에서 동작 가능한 전압원 DC/DC 컨버터로 적용할 수 있다.

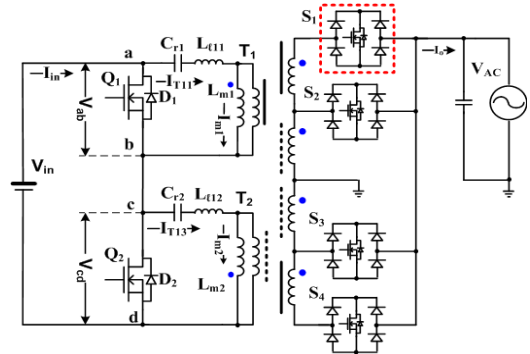
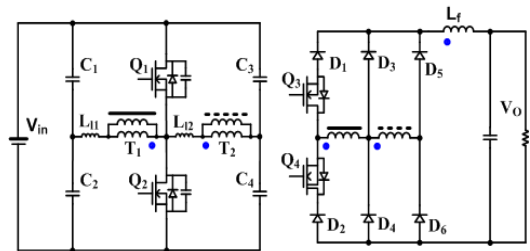
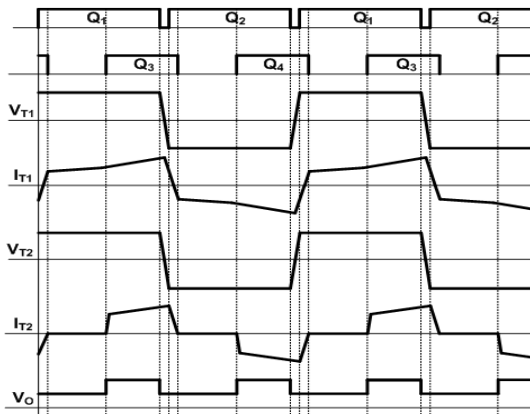


그림 6. 제안된 Two Tank LLC 공진인버터적용 계통연계 PCS



(a) 제안된 넓은 입력전압 및 부하에서 동작 가능한 DC/DC 컨버터



(b) 동작 파형

그림 7. 제안된 DC/DC 컨버터 및 동작파형

이 논문은 학술진흥재단(KRF-2008-313-D00369)주관으로 수행된 과제임

참고 문헌

[1] Jiangtao Feng, Yuequan Hu, Wei Chen and Chau-chun Wen, "ZVS Analysis of Asymmetrical Half-Bridge Converter," IEEE PESC '01, Vol.1, pp.243-247, 2001. 6
 [2] 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.2002
 [3] 김주훈, 강성인, 김은수, 전용석, 이재삼, 허동영, "두 개의 변압기와 공진탱크로 구성된 LLC 공진 컨버터", 전력전자학회 논문지 제 14 권 제 5호, 2009.10, pp. 406-414.