

두 개의 공진탱크를 적용한 넓은 입력전압을 가지는 LLC공진형 컨버터

정봉근, 윤광호, 장상호, 이승민, 김은수
전주대학교

A Wide Input Range LLC Resonant Converter with Two Resonant Tanks

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

1.서론

최근 노트북의 사용증가에 따라 노트북의 시장이 확대 되고 있으며 반도체 성능의 향상으로 인해 높은 수행능력을 가지면서 작은 사이즈를 가지는 노트북이 출시되고 있는 중이다. 노트북 전원장치인 어댑터(Adapter)는 밀폐형 구조이기 때문에 발열문제를 개선하기 위해서는 높은 효율특성을 가지는 컨버터를 적용하여 시스템을 구성하여야 한다.^[1,2] 뿐만 아니라, 70W 이상의 용량을 가지는 어댑터의 경우 고조파 규제를 만족시키기 위해 PFC회로부를 사용하여야 하기 때문에 출력전압을 제어하기 위한 제어부와 주회로부의 증가에 따라 어댑터의 크기가 증가하게 된다.^[3] 하지만 그림1에서처럼 70W이하의 어댑터의 경우 PFC 회로부를 사용하지 않아 어댑터의 사이즈를 줄일 수 있지만 넓은범위의 AC전압(universal input voltage: $85V_{AC} \sim 260V_{AC}$)에서 사용이 가능하도록 제작하여야 하기 때문에 정류부에 적용되는 커패시터가 큰 값을 가져야 하고 변압기 또한 큰 사이즈를 가져야 하기 때문에 전원장치를 고집적화 하는데 제약이 발생하게 된다. 또한 PFC회로부가 없기 때문에 정류된 넓은 입력전압 범위에서 일정한 출력전압 제어를 위해서는 일반적으로 Flyback 컨버터와 같은 PWM 제어방식을 적용할 수 있지만 스위칭 주파수가 증가되면 스위칭손실에 의한 전체효율이 감소하게 되어 스위칭 주파수를 증가 시키는데 제약을 받게 된다. 따라서 어댑터의 크기 및 부피를 줄이는데 한계를 가지게 되며 스위치의 하드스위칭에 의한 효율도 감소하게 된다. 이러한 스위칭 손실저감 및 집적화를 위해 LLC 공진형 컨버터를 사용하지만 PFC 회로부가 미 적용시 넓은 입력전압 범위에서 LLC 공진형 컨버터가 동작되기 위해서는 작은 값의 자화인덕턴스가 적용된 변압기를 사용하기 때문에, 작은 값의 자화인덕턴스에 의해 자화전류가 증가하게 되어 도통손실 및 전류 스트레스 증가하는 문제점이 발생된다. 또한 높은 입력전압 또는 경부하시에 일정한 출력전압을 얻기 위해 높은 스위칭 주파수에서 동작하기 때문에 순환전류가 증가하게 되어 넓은 입력전압 범위에서 적용되는 LLC 공진형 컨버터의 효율은 PWM제어를 적용한 컨버터 보다 낮은 효율특성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 PFC회로부를 포함하지 않는 70W급 미만의 어댑터에 적용이 가능한 제한된 LLC DC/DC 공진형 컨버터를 제안하여 시뮬레이션 하였다.

2.제안된 LLC 공진형 DC/DC 컨버터 동작원리

입력전압이 $110V_{AC}(90V_{AC} \sim 127V_{AC} : 125V_{DC} \sim 180V_{DC})$ 인 경우 그

림 2에서 스위치 Q3를 턴-온 시켜 2개의 공진탱크가 동작하도록 하였다. 두 개의 공진탱크가 동작시 공진전류분담에 따라 공진커패시터의 전압을 감소시켜 작은 내압을 가지는 커패시터를 사용할 수 있도록 하였고, 입력전류 감소에 따라 변압기에 사용되는 권선의 두께도 감소시킬 수 있는 구조를 가지도록 하였다. 또한 스위치 Q3가 동작시 2차측 권선이 직렬로 연결되어 있기 때문에 높은 출력전압을 가질 수 있도록 하여 낮은 입력전압 범위에서도 충분한 전압이득 특성을 얻게 된다. 입력전압이 $220V_{AC}(185V_{AC} \sim 260V_{AC} : 260V_{DC} \sim 367V_{DC})$ 인 경우 그림2의 스위치 Q3가 턴-오프 되어 공진커패시터 Cr1에는 입력전압만큼 충전이 하게 된다. 따라서 전류는 더 이상 스위치 Q3의 내부다이오드를 통해 흐르지 않게 되어 그림 2와 같이 1차측 하단에 위치한 공진회로만 동작하도록 하였다. 이처럼 입력전압 범위에 따라 스위치 Q3의 동작에 의해 입력전압이 낮은 범위 $110V_{AC}(125V_{DC} \sim 180V_{DC})$ 에서는 두 개의 공진탱크가 동작하여 높은 전압이득 특성을 가지게 하고 입력전압이 높은 범위 $220V_{AC}(260V_{DC} \sim 367V_{DC})$ 에서는 하나의 공진 탱크만 동작하게 하기 때문에 작은 값을 가지는 자화인덕턴스로 변압기를 설계하지 않아도 넓은 입력전압 범위에서 높은 효율을 가지는 승압형 DC/DC 컨버터의 구성이 용이하도록 하였다.

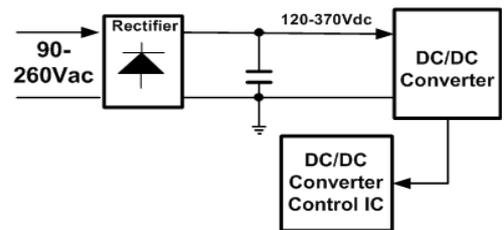


그림 1. 70W이하의 용량을 갖는 어댑터 구성도

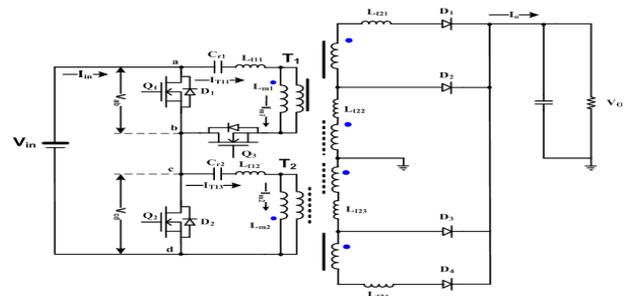
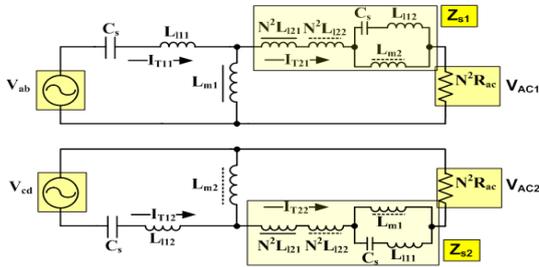


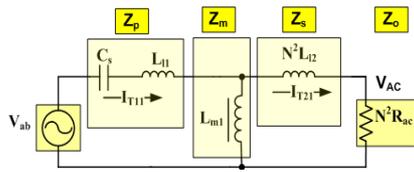
그림 2. 넓은 입력전압범위($125V_{DC} \sim 367V_{DC}$)에서 동작될 수 있는 두 개의 공진탱크회로를 적용한 LLC 공진컨버터

3. 전압이득특성분석

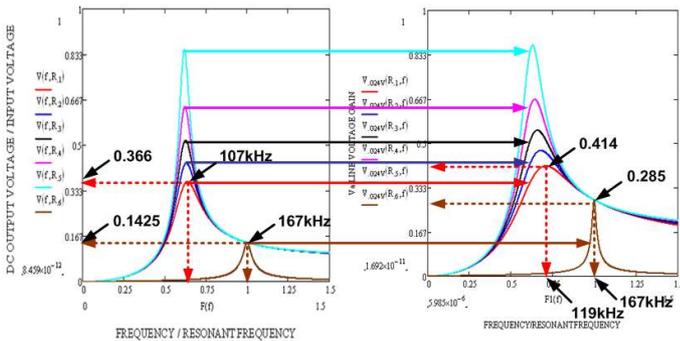
본 논문에서 제안된 공진형 DC/DC 컨버터는 입력전압의 범위에 따라 두 개의 동작 상태로 나누어진다. 입력전압이 낮은 경우 $110V_{AC}(125V_{DC} \sim 180V_{DC})$ 스위치 Q3가 턴-온이 되어 두 개의 공진탱크가 동작을 하게 된다. 이때 등가회로는 그림3(a)에 나타내었다. 입력전압이 높은 경우 $220V_{AC}(260V_{DC} \sim 367V_{DC})$ 스위치 Q3가 턴-오프를 하게 되고 하나의 공진탱크가 동작하게 된다. 이때 등가회로는 그림3(b)에 나타내었다. 이와 같은 등가회로를 통한 시뮬레이션 결과를 그림4에 나타내었다. 그림4(a)에서처럼 하나의 공진탱크회로가 동작시 규준화된 공진주파수와 그림4(b)에서 두 개의 공진탱크회로가 동작시 규준화된 공진주파수는 같은 지점에 존재하게 되지만, 하나의 공진탱크가 동작시 부하 변화에 대한 등가공진주파수는 두 개의 공진탱크가 동작시 부하 변화에 대한 등가공진주파수보다 낮은 영역에서 동작하게 되는걸 알 수 있다.



(a) 두개의 공진회로에 있어서 중첩원리적용 등가회로



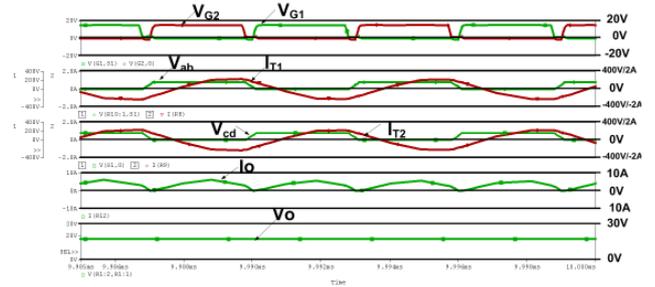
(b) 하나의 공진회로에 있어서 등가회로
그림 3 등가회로



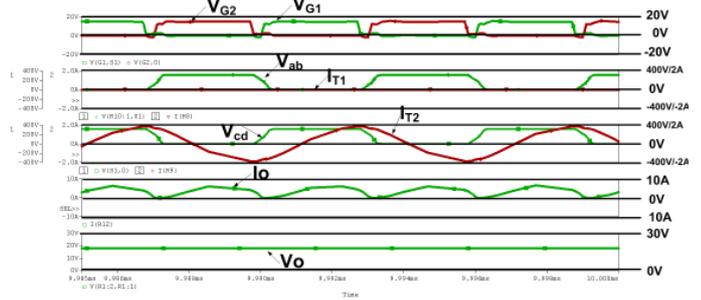
(a) 하나의 공진탱크 동작시 (b) 두개의 공진탱크 동작시
그림 4. 입력전압 및 부하 조건에 따른 스위칭 동작주파수 범위

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서의 주회로 동작특성을 나타내기 위하여 70W급 DC/DC Converter를 시뮬레이션 하여 결과를 서술하였다. 제작된 변압기로 파라미터를 추출하여 표1에 나타내었고 낮은 입력 전압 $110V_{AC}(125V_{DC} \sim 180V_{DC})$ 일때 두개의 공진탱크 동작시와 높은 입력전압 $220V_{AC}(260V_{DC} \sim 367V_{DC})$ 일때 하나의 공진탱크 동작시 조건과 부하 70W의 조건으로 시뮬레이션의 결과를 그림 6에 나타내었다.



(a) 두개 공진탱크 동작시 시뮬레이션 파형



(b) 한개 공진탱크 동작시 시뮬레이션 파형

그림 6. 시뮬레이션 결과

표 1 측정된 변압기 파라미터

파라미터	변압기 T ₁	변압기 T ₂
1차측누설인덕턴스	L ₁₁₁ 43.93uH	L ₁₁₂ 44.56uH
2차측누설인덕턴스	L ₁₂₁ 0.5193uH	L ₁₂₂ 0.5032uH
자화인덕턴스	L _{m1} 156.2uH	L _{m2} 155.9uH
A(L ₁₁₁ /L _{m1} , L ₁₁₂ /L _{m2})	0.281	0.286
B(N ² L ₁₂₁ /L _{m1} , L ₁₂₂ /L _{m2})	0.265	0.247
등가누설인덕턴스	L _{eq1} 75.62uH	L _{eq2} 75.45uH
N(n ₁ /n ₂)	8.75 (35:4)	8.75 (35:4)

5. 결론

본 논문에서는 PFC회로부를 포함하지 않는 70W급 미만의 어댑터에 적용이 가능한 LLC DC/DC 공진형 컨버터 제안하였고, 전압이득특성식과 시뮬레이션을 비교 분석하여 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

이 논문은 한국에너지자원기술기획평가원 에너지기술 인력양성 학술진흥 (2007-E-AP-HM-P-18-0000) 연구비지원에 의하여 연구되었음

6. 참고문헌

- [1] J. M. Zhang, X.G.Xie and Z.Qian. "A High Efficiency Adaptor with Novel Current Driven Synchronous Rectifier." INTELEC 03, pp. 205-210
- [2] 김준형, 남원석, 한상규, 노정욱, 홍성수, 사공석진, 김종선, 유병우 "200W급 외장형 Adapter를 위한 최적 Topology에관한 연구," 전력전 학회 논문지, pp.378-380, 2006.
- [3] 김봉철."고 전력 밀도 어댑터를 위한 링크 전압 변화를 갖는 LLC 공진 컨버터의 분석 및 설계."