

단일단 아답터를 위한 새로운 LLC 공진컨버터

장상호, 정봉근, 윤광호, 이승민, 김은수[†]
전주대학교

A Novel LLC Resonant Converter for Single-Stage Adapter

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

1. 서론

본 논문에서는 넓은 입력문제제를 해결할 수 있는 새로운 형태의 공진형 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 모든 입력 전원(110VAC/220VAC) 및 부하조건을 만족하기 위해 110VAC 입력전원 시 보조 스위치를 통해 두 개의 공진탱크가 동작하고, 220VAC입력전원 시 하나의 공진탱크가 동작하여 높은 효율특성을 가지며, 경 부하 및 대기전력 시 Burst mode 제어 기법을 적용하여 입력전력을 최소화 하였다. 60W급 아답터를 제안하여 이론적인 분석을 하였고, 시제품제작 및 실험하였다.

2. 본 론

최근 아답터와 같은 AC/DC 컨버터의 사용량의 증가에 따라 정상상태와 대기전력 시 효율 개선연구가 많이 이루어지고 있다. 입력유효전력 75W 이상의 용량을 가지는 아답터의 경우 입력전류의 고조파 규제인 IEC 61000-3-2^[1]를 만족시키기 위해 입력단에 PFC(Power Factor Correction Circuit) 회로부 적용하여야 한다. 저용량 컨버터에는 역률보상회로와 구동회로를 추가 하지 않아도 되기 때문에 비용절감 효과가 있다.[그림 1]

하지만, 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 단일단 60W급 아답터에 적용이 가능한 새로운 LLC 공진형 컨버터를 제안하여 실험하였다.

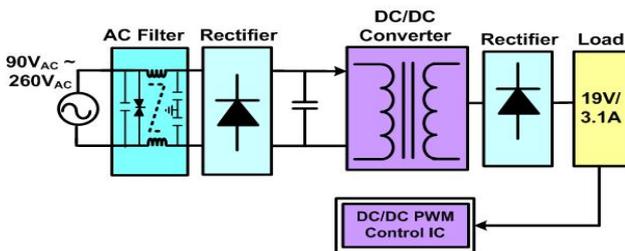


그림 1. 75W이하의 용량을 갖는 어댑터 구성도

2.1 제안된 LLC 공진형 컨버터 동작원리

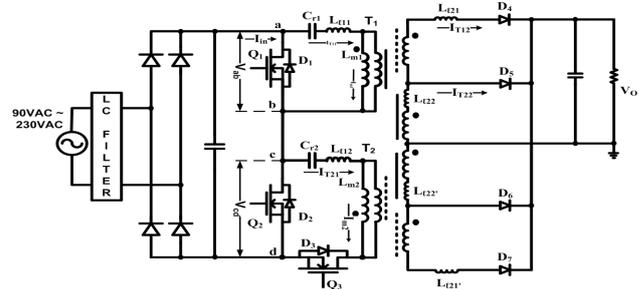


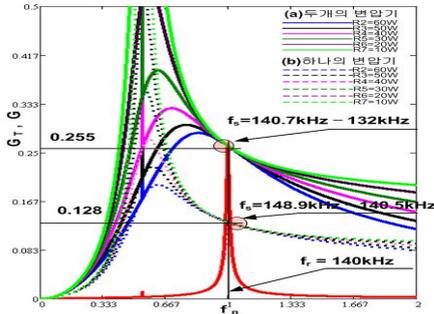
그림 2. 넓은 입력전압범위(90VAC ~ 230VAC)에서 동작될 수 있는 두 개의 공진탱크회로를 적용한 LLC 공진컨버터

제안된 회로는 일차측 보조스위치 Q₃에 의해 공진탱크 동작이 두 가지모드로 나누어진다. 첫 번째, 입력전압이 110V_{AC}인 경우 그림 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. 두 번째, 입력전압이 220V_{AC}(185V_{AC}~260V_{AC} : 260V_{DC}~367V_{DC})인 경우 그림2의 스위치 Q₃가 턴-오프 되어 공진커패시터 C_{r2}에는 입력전압만큼 충전될 하게 된다. 따라서 전류는 더 이상 스위치 Q₃를 통해 흐르지 않게 되어 그림 2와 같이 1차측 상단에 위치한 공진회로만 동작하도록 하였다. 이처럼 입력전압 범위에 따라 스위치 Q₃의 동작에 의해 입력전압이 낮은 범위 110V_{AC}(125V_{DC}~180V_{DC})에서는 두 개의 공진탱크가 동작하여 높은 전압이득 특성을 가지게 하고 입력전압이 높은 범위 220V_{AC}(260V_{DC}~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. 또한 보조스위치 Q₃는 하단의 그라운드와 같으므로, 스위치 직접구동에도 용의하다.

2.2 전압이득특성분석

본 논문에서 제안된 공진형 DC/DC 컨버터는 입력전압의 범위에 따라 두 개의 동작 상태로 나누어진다. 그림 3은 부하 변

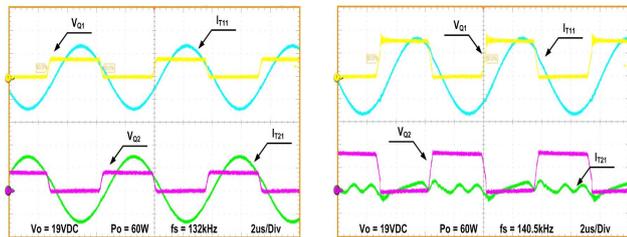
화에 따른 전압이득 특성을 하나의 탱크 동작시, 두 개의 공진 탱크 동작시로 나누어 Math-Cad 시뮬레이션 결과이다. 입력 전압이 낮은 경우 110V_{AC}(125V_{DC}~180V_{DC}) 스위치 Q₃가 턴-온이 되어 두 개의 공진 탱크가 동작을 하게 된다. 이때 부하 변화에 따른 전압이득은 그림3(a)에 나타내었고, 입력 전압이 높은 경우 220V_{AC}(260V_{DC}~367V_{DC}) 스위치 Q₃가 턴-오프를 하게 되고 하나의 공진 탱크가 동작하게 된다. 이때 부하 변화에 따른 전압이득은 그림3(b)에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 그림3에 나타내었다. 그림3(b)에서처럼 하나의 공진 탱크 회로가 동작시 표준화된 공진 주파수와 그림3(a)에서 두 개의 공진 탱크 회로가 동작시 표준화된 공진 주파수는 같은 지점에 존재하게 되지만, 하나의 공진 탱크가 동작시 부하 변화에 대한 등가 공진 주파수는 두 개의 공진 탱크가 동작시 부하 변화에 대한 등가 공진 주파수보다 낮은 영역에서 동작하게 되는걸 알 수 있다.



(a) 두개의 공진 탱크 동작시 (b) 하나의 공진 탱크 동작시
그림 3. 입력 전압 및 부하 조건에 따른 스위칭 동작 주파수 범위

3. 실험 결과

본 논문은 60W급 정격 출력 용량을 가지는 제안된 LLC 공진 컨버터를 적용하여 낮은 입력 전압 110V_{AC}(125V_{DC}~180V_{DC})일 때 두 개의 공진 탱크 동작시와 높은 입력 전압 220V_{AC}(260V_{DC}~367V_{DC})일 때 하나의 공진 탱크 동작시 실험 조건에서 최대 정격 출력 용량 60W(19V/3.15A)에 대해 각각 실험하였다. 그림 4는 정격 출력 용량 60W 조건에서 입력 전압 변화에 따른 단자 전압, 전류 파형이다. 그림 5는 정상 동작 시 부하별 효율 특성이고, 표 1은 측정된 파라미터이다. 제안된 컨버터의 실험 조건과 주요 정격은 표 2에 나타내었다.



(a) 두개 공진 탱크 동작시 파형 (b) 한개 공진 탱크 동작시 파형
그림 4. 입력 전압 변화에 따른 단자 전압 / 전류

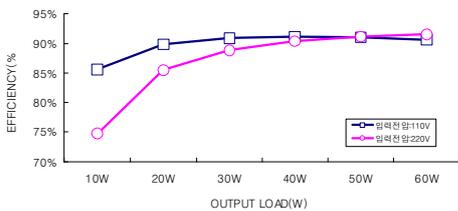


그림 5. 정상 동작 시 부하별 효율 특성

표 1. 측정된 변압기 파라미터

	제안된 컨버터			
	변압기 T ₁		변압기 T ₂	
1차측 누설 인덕턴스	L _{l11}	99.35uH	L _{l12}	100.9uH
2차측 누설 인덕턴스	L _{l21}	1.293uH	L _{l22}	1.264uH
자화 인덕턴스	L _{m1}	542.6uH	L _{m2}	545uH
등가 누설 인덕턴스	L _{eq1}	190.67uH	L _{eq2}	189.98uH
N(n ₁ /n ₂)		9.1(55/6)		9.1(55/6)
직렬 공진 커패시터	C _{r1}	6.8nF	C _{r2}	6.8nF
적용 코어	코어: EFD2025			

표 2. 제안된 LLC 공진 컨버터 주요 정격

입력 전압 (V _{in})	110V _{AC} ~ 220V _{AC}
출력 전압 및 전류	19V/3.15A
출력 용량 (P _o)	60W
스위칭 주파수 (f _s)	132kHz ~ 148.9kHz
공진 주파수 (f _r)	140kHz
공진 커패시터 (C _r)	6.8nF
입력/출력 커패시터 (C _{in} /C _o)	320uF (450V), 470uF X 2 (25V)
스위칭 소자 (Q ₁ , Q ₂)	IRFP460 500V, 20A
출력 전류 다이오드 (D ₃ -D ₆)	MBRF2080CT 100V, 20A
적용된 LLC 공진 컨버터 제어 IC	L6599

4. 결론

본 논문에서는 PFC 회로부를 포함하지 않는 60W 이하의 어댑터에 적용이 가능한 LLC DC/DC 공진형 컨버터 제안하였고, 정격 출력 전력 60W 조건에서 입력 전압이 110V_{AC} 때 90.6%, 입력 전압 220V_{AC} 에서 91.5% 효율 특성을 보여주었다. 또한 경부하 및 대기 전력시 (19V, 3mA ~ 70mA) Burst mode 제어 기법을 사용하여 110V_{AC} 에서 입력 소모 전력은 0.2W, 220V_{AC} 에서 입력 소모 전력은 0.258W로 정상 동작시 및 대기 전력시 높은 효율 특성을 전압이득 특성식과 실험을 비교 분석하여 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

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

6. 참고 문헌

- [1] IEC 61000-3-2, International Electro technical Commission, 3, Geneva, Switzerland, 1998.
- [2] J. Zhang, M. M. Javanovic, and F. C. Lee, "Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters," IEEE APEC, 1999, pp. 335-341.
- [3] 김봉철, "고 전력 밀도 아답터를 위한 링크 전압 변화를 갖는 LLC 공진 컨버터의 분석 및 설계."
- [4] 정봉근, 윤광호, 장상호, 이승민, 김은수 "두 개의 공진 탱크를 적용한 넓은 입력 전압을 가지는 LLC 공진형 컨버터" 전력전자학술대회 논문집 2010.07 pp 491~492