

200W급 외장형 Adapter를 위한 최적 Topology 에 관한 연구

김준형, 남원석, 한상규, 노정욱, 홍성수 사공석진, 김종선*, 유병우*
 국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기 (주) P&M 사업부*

A study on the optimal topology for external adapter in the 200 watt class

Jun-Hyoung Kim, Won-Suk Nam, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh, Sung-Soo Hong,
 Seok-Chin Sakong, *Jong-Sun Kim, *Byoung-Woo Ryu
 Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

Adapter는 그 특성상 밀폐된 환경 및 대전류 구동으로 인하여 회로 소자의 발열이 매우 심각하며 이를 위해서는 주어진 사양에서 최고의 효율을 갖는 최적 Topology의 선정이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 기존에 제안된 바 있는 몇 가지 회로에 대한 이론적 및 실험적 검증을 통해 200W 급 외장형 Adapter를 위한 최적 Topology를 제시하며 아울러 출력 정류 다이오드의 도통손실 및 발열을 개선하기 위해 동기정류기에 대하여 고찰한다.

1. 서 론

최근 전자기술의 급속한 성장과 더불어 Mobile phone, CD players, PDAs, 소규모 가정용 전원공급기 등의 다양한 전자 기기들이 개발됨에 따라 이들 기기들이 요구하는 전력을 공급할 수 있는 고효율 및 고성능의 Adapter가 필수적이 되었다. 이들 Adapter는 그 특성상 밀폐된 상태로 존재하기 때문에, 구동 시 발생하는 발열로 인한 전력 효율의 감소가 우려되며, 이는 전력 소모가 큰 대용량으로 갈수록, 그리고 출력에서 소모되는 전류의 크기가 커질수록 심각한 문제로 정의된다. 본 논문에서 다루게 되는 200W 급 외장형 adapter는 부하 전류의 크기가 출력 전압에 비해 상대적으로 큰 편이다. 이러한 대전류 시스템의 경우, 소자 전류 스트레스 증가와 도통손실의 증가가 우려되는 부분이며, 이는 발열에 주 원인이 된다.

본 논문에서는 대용량 외장형 adapter의 효율 개선 측면과 대전류 시스템의 발열 문제를 개선하기 위한 몇 가지 토폴로지의 prototype 구현 검증 및 성능 평가를 제시한다. 덧붙여 절연형 converter의 경우, 1차측 보다도 2차측 정류단의 발열이 심각하며 이를 위해 동기 정류기(synchronous rectifier)를 채용한 회로에 대해 고찰한다.^[1]

2. 200W 급 adapter용 전원 회로

2.1 200W 급 adapter 용 전원 회로 topology

본 장에서는 200W 급 adapter 사양에 적합한 몇 가지 topology들에 대해 소개하고, 그 특성에 대해 고찰한다. 특히, 200W 급 고효율 동작에 적합하며 기존에 제안된 바 있는 다음의 3 가지 회로 방식에 대해 살펴보고, 모의실험을 통해 비교 분석 한다.

- Active Clamp Forward converter
- Asymmetrical ZVS Half Bridge Converter
- LLC Resonant Converter

2.1.1 Active Clamp Forward converter

그림 1 은 능동 클램프 포워드 컨버터(ACF)를 보이고 있다. 그림의 사각형 점선 안에 있는 능동 클램프 회로는 변압기 리셋기능과 스위치의 전압을 클램프 시켜주며 보조 및 주 스위치의 ZVS를 가능하게 한다. 그러나, 주 스위치가 도통하기 전 변압기의 누설 인덕터에 저장된 에너지가 작아 넓은 부하 영역에 대해 만족스런 ZVS를 얻기가 용이하지가 않다.^[2]

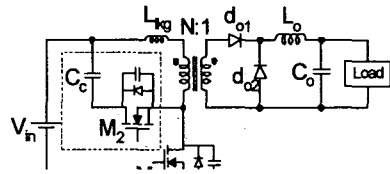


그림 1 능동 클램프 포워드 컨버터

한편, 최대 출력 전류가 17A로 전류가 크므로, 효율을 극대화 하기 위해 동기 정류 방식 적용을 고려할 필요가 있으며, 이 경우 그림 2 는 능동 클램프 포워드 컨버터에 동기 정류 방식을 적용한 예로서 그림 1에 비해 약 2~3%의 효율 증대를 기대할 수 있다.

2.1.2 Asymmetrical ZVS Half-bridge converter

그림 2은 비대칭 하프브릿지 컨버터(AHB)를 보이고 있다. 스위치의 전압은 입력전압에 의해 클램프 되므로 스위치 차단 시 항상 V_{in} 으로 보장되며, 변압기 자화전류의 윗셋은 $(1-2D)I_o$ 로 앞서 고찰된 ACF보다 변압기 이용률이 더욱 우수하고 출력단에 인덕터 필터가 있어 출력전압의 맥동이 작은 장점이 있고, 또한 변압기 누설 인덕터와 출력 부하가 어느 정도 클 경우 모든 스위치는 ZVS가 보장되는 특징을 가지고 있다. 변압기 자화전류의 윗셋은 $(1-2D)I_o$ 로 앞서 고찰된 ACF보다 변압기 이용률이 더욱 우수하고 출력단에 인덕터 필터가 있어 출력전압의 맥동이 작은 장점이 있고, 또한 변압기 누설 인덕터와 출력 부하가 어느 정도 클 경우 모든 전력 스위치는 ZVS가 보장되는 특징을 가지고 있다. 그러나 출력 정류 다이오드의 전압 스트레스가 $2DV_{in}/N$ 또는 $2(1-D)V_{in}/N$ 으로 매우 큰 것이 단점이며, 다이오드 차단 시 다이오드의 접합 캐패시터와 변압기 누설 인덕터와의 공진에 의해 심각한 전압 Ringing이

발생되며 이는 출력 전류 다이오드의 내압 증가 및 온도 상승

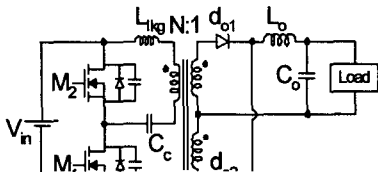


그림 2 비대칭 하프 브릿지 컨버터

을 가져온다. AHB의 경우 넓은 부하영역에 대하여 ZVS를 보장할 수 없는 한계를 가지고 있다.

2.1.3 LLC Resonant converter

그림 3은 LLC 직렬 공진 컨버터를 보이고 있다. 시스템 효율이 우수한 장점을 지니며, 큰 자화전류로 인해 전 부하영역에 대해 영전압 스위칭을 보장한다.

반면, 본 회로의 경우 스위치 시비율이 0.5로 항상 고정된 상태에서 주파수제어를 통해 출력전압을 제어하기 때문에 변압기와 제어기 등의 최적설계가 어려운 단점이 있다. 또한 공진 전류가 커 소자 전류 스트레스가 크며, 대전류 시스템에서 전류 실효치가 커 도통 손실이 큰 단점으로 지적된다.

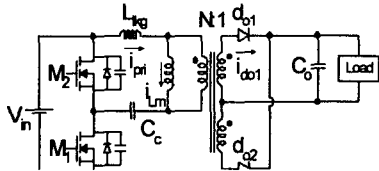


그림 3 LLC 직렬 공진형 컨버터

2.2 모의 실험 및 고찰

앞서 소개된 3 가지 회로에 대한 모의 실험 결과와 고찰에 관한 내용이다. 사용된 입출력 사양은 다음과 같다.

- Input voltage range : 124Vdc~186.6Vdc(AC90V~130V)
- Output Voltage : 12V ,Maximum Load : 0.7ohm(200W)

표 1은 모의실험을 통해 얻은 결과를 보이고 있다. 스위치 전압 스트레스는 ACF가 가장 크지만, 스위치 전류 스트레스 측면에서는 가장 우수했다. 출력 다이오드 전압 스트레스는 ACF가 가장 우수했으나 LLC의 경우 입력 전압 185V에서 동작 영역이 달라져 다이오드 Ringing이 발생하여 높아진 것이므로 정확한 설계를 통한 비교에서는 ACF와 LLC가 비슷한 수준이 될 것이다. 출력 전류 리플이나 첨두치 측면에서도 ACF가 가장 우수했다. LLC의 경우 전류가 공진형태로 흐르기 때문에 대전류 시스템에는 적합하지 않다.

표 1 모의실험 비교 결과표

	ZVS		Switch volt. stress	Switch curr. stress	Diode volt. stress	Diode curr. stress	Inductor curr. Ripple	Diode reverse recovery
	M2	M1						
ACF	Good	Bad	311V	4A	38V	20.9A	7.4A	Bad
AHB	Good	Medium	186V	8.1A	66V	21.9	10.4A	Bad
LLC	Good	Good	186V	7.9A	43V	44A	44A	Good

한편, 스위치의 ZVS 관점에서 볼 때는 LLC가 가장 우수하나, 대전류 시스템에서는 주로 스위칭 손실보다 도통손실이 우세하기 때문에 위의 모의 실험 결과를 종합해 볼 때 대전류 시스템에 가장 적합한 회로는 ACF라는 결론을 얻을 수 있다.

3. 대전류 시스템에 적합한 ACF방식 회로

본 장에서는 대전류 시스템에서 도통 손실에 가장 큰 원인이 되는 출력 인덕터 리플을 줄일 수 있는 회로에 대해 이론 및 실험적 고찰을 하였다.

3.1 Double ended active clamp forward converter

그림 4는 동기정류기를 채용한 double ended 능동 클램프 포워드 컨버터의 동기정류 방식을 나타내고 있다. 주요 특징으로 듀티비 0.5에서 전류 리플이 이론적으로 0A이므로, 대전류 시스템에 가장 이상적인 모델이라 할 수 있다. 회로 동작은 single ended 타입과 유사하며 다만 출력 단이 center tap 구조인 것이 차이가 있다.

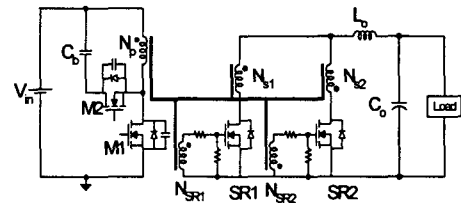


그림 4 동기 정류기를 채용한 Double ended active clamp forward converter

3.2 실험

실험 사양은 다음과 같다.

- Input voltage : AC 90Vrms~130Vrms
- Output Voltage : 12V ,Output current : 0~16.5A
- Magnetizing Inductance : 1.2mH
- turn ratio (Np:Ns1:Ns2:Nsr1:Nsr2=32:3:3:2:2)
- 동기 정류기 : IRF1405

Nominal input(AC 110Vrms)에서 듀티비가 0.5가 되는 것을 확인하기 위해서 그림 5와 같이 Full 부하 시 입력 전압이 증가함에 따라 변압기 1차측 전류 파형을 측정하였다. 그림 5.(C)에서 보는 바와 같이 최적 동작 점인 듀티비 0.5 근처에서 동작함을 알 수 있다.

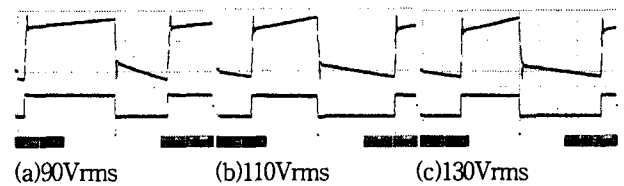


그림 5 입력 전압에 따른 변압기 1차측 전류(위) 와 보조 스위치 양단 전압(아래) 파형 (200V/div, 1A/div, 2us/div)

그림 6은 Full 부하 시 입력 전압 변화에 따른 출력 인덕터 전류 파형을 측정한 것이다. 입력 전압 90Vrms에서는 2.4A의 리플을 보이지만 nominal 입력 전압인 110Vrms에서는 듀티비 0.5로 동작되므로 0.3A정도의 매우 적은 전류 리플을 보이고 있다. 이는 각 소자에 흐르는 전류의 실효치를 감소시키므로 도통 손실 측면에서 매우 유리한 이점을 가져온다.

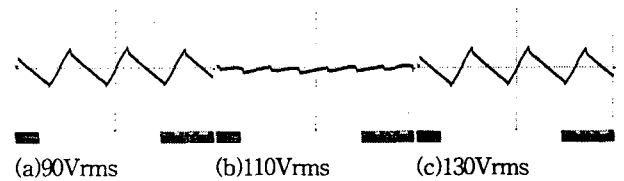
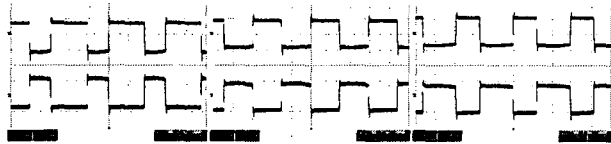


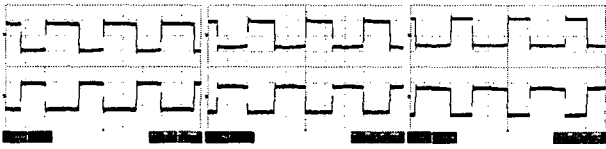
그림 6 입력 전압에 따른 변압기 출력 인덕터 전류 ripple 파형

(1A/div, 5us/div)

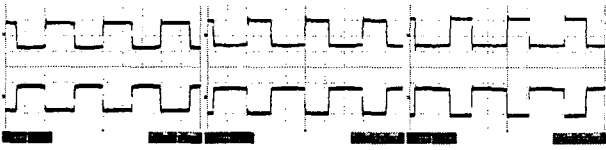
2차측 정류단의 도통 손실을 최소화하기 위해 채용한 동기 정류기는 정류된 입력 전압의 범위가 90Vrms~130Vrms로 매우 넓어 변압기와 coupling된 동기 정류기 게이트 구동 전압의 변화폭도 크다. 그러나 실험에서 사용된 동기 정류기는 IRF1405로써 구동 전압이 +20V이내가 되어야 하는 제한이 있다. 따라서 입력 전압 및 출력 전류 변화시 항상 본 조건을 만족해야 한다. 다음 그림 7-1,2,3은 상기의 조건을 만족함을 보여주는 구동 전압 파형으로 입력 전압 및 출력 전류 별로 측정 한 결과이다.



(a)90Vrms (b)110Vrms (c)130Vrms
그림 7.1 Full load($I_o=16.5A$)시 입력전압에 따른 동기 정류기 구동전압 파형 (위:SR1 아래:SR2)



(a)90Vrms (b)110Vrms (c)130Vrms
그림 7.2 Typical load($I_o=10A$)시 입력전압에 따른 동기 정류기 구동전압 파형 (위:SR1 아래:SR2)



(a)90Vrms (b)110Vrms (c)130Vrms
그림 7.3 No load($I_o=0A$)시 입력전압에 따른 동기 정류기 구동전압 파형 (위:SR1 아래:SR2) (10V/div, 5us/div)

그림 8 은 앞서 살펴본 ACF와 DEACF의 입력전압 변화에 따른 효율변화를 나타낸 것이다. DEACF 회로의 DC/DC 단은 110Vrms 입력전압 및 205W에서 효율 94.4%의 높은 값을 보였으며, 입력 라인에서 출력 라인 끝 단까지의 효율은 그림 8-2와 같이 Worst case(90Vrms, Full load)에서 85.6%로 측정되었다.

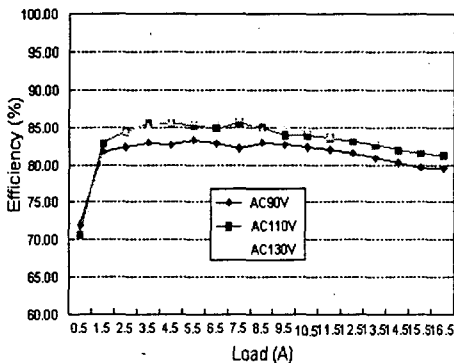


그림 8.1 Active Clamp forward converter의 입력 전압 변화에 따른 효율 변화

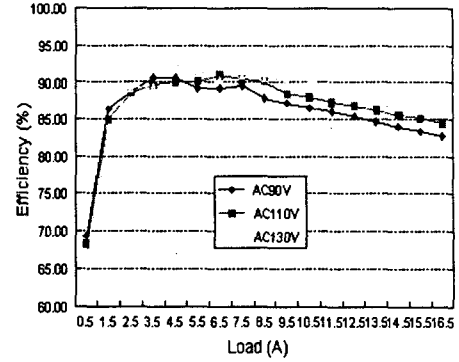


그림 8.2 Double Ended Active Clamp forward converter의 입력 전압 변화에 따른 효율 변화

3. 결론

200W급 대용량 외장형 adapter의 효율 개선을 위한 연구를 지금까지 진행해 왔으며, 이를 위해 언급된 ACF,AHB,LLC, current forced flyback, double ended ACF에 대해 다이오드 및 동기 정류기를 적용하여 이론적 검토와 실험적 검증을 수행하였다. 그 결과 대전류 시스템에서는 스위칭 손실보다 도통 손실이 더 많이 발생하고, 도통 손실은 1차측 보단 2차측에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 2차측 중에서도 정류기 부분의 손실이 가장 크다는 것을 이론 및 실험적으로 증명하였으며, 동기정류기의 손실에 있어 출력 인덕터 전류 리플이 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 이로부터 상기 회로 중 인덕터 전류 리플 및 회로 스트레스 측면에서 가장 유리한 회로방식은 Double ended active clamp forward converter 임을 실험적으로 검증하였다. 따라서 Double ended 능동 클램프 컨버터가 대전류 시스템에서는 가장 적합하다는 것을 입증하였다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Yilei Gu, "A Nover Driving Scheme for Synchronous Rectifier Suitable for Modules in Parallel" , IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20. No. 6. 2005 pp.1287-1293.
- [2] Bill Andreyckak, "Active Clamp and Reset Technique Enhances Forward Converter Performance",Texas Instrument Incorporated, 1994 pp. 7-14.
- [3] Qiong M. Li, "Design Consideration of the Active-Clamp Forward Converter With Current Mode Control During large-Signal Transient",IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18. No. 4. 2003 pp.1287-1293.
- [4] wilson Eberlei, "A Zero Voltage Switching Asymmetrical Half-Bridge DC/DC Converter With Unbalanced Secondary Winding For Improved Bandwidth" IEEE Power Electronics. Specialists Conference (PESC), 2001.