

slim type 65W급 고효율 adapter를 위한 준-공진형 플라이백 컨버터에 관한 연구

윤종규, 한상규, 노정욱, 홍성수, 사공석진, 유병우*, 이효범*
국민대학교 전력전자 연구소, *삼성전기(주) P&M사업부

A study on Quasi-Resonant Flyback Converter for high efficiency slim type 65W adapter

Jong-Kyu Yoon, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh,
Sung-Su Hong, Sug-Chin Sakong, Byoung-Woo Ryu*, Hyo-Bum Lee*
Kookmin University Power Electronics Center. *Samsung Electro-Mechanics Co.,LTD

ABSTRACT

이동 PC 및 기타 여러 가지 전자기기의 휴대화가 급속도로 증가함에 따라 저가형 Adapter의 소형화와 고효율화가 지속적으로 요구되고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 기존의 다양한 토폴로지 중 구성소자의 개수가 적고, 스위칭 손실을 저감할 수 있는 준-공진형 플라이백 컨버터에 대한 최적 설계 방법을 제시하고 이론적 및 실험적 검증을 통해 Slim type 65W급의 고효율 Adapter를 구현한다.

1. 서론

AC/DC adapter는 저 전력을 소비하는 수많은 장비에 광범위하게 적용된다. 이런 종류의 부품은 Mobile Phones, Note PC, LCD 모니터, 소규모 휴대용 전자제품 등에 사용된다. Adapter 시장에는 간단한 회로의 사용으로 비용을 줄이거나 높은 비용의 회로를 통해 크기를 줄이는 두 가지의 경향이 있다. 그러나 시장경쟁력 확보를 위한 가격저감 문제와 휴대성을 고려한 부피문제를 위하여 기존의 다양한 토폴로지에 비해 상대적으로 구성소자의 개수가 적어 소형화가 보다 쉬운 노멀 플라이백 컨버터^[1]가 대부분의 소형 Adapter에 이용되어왔다. 때문에 본 논문에서는 노멀 플라이백 컨버터의 단점을 보완하며 고효율 특성을 갖는 준-공진형 플라이백 컨버터^[2]를 제시하고 노멀 플라이백과 비교하여 이론적 및 실험적 검증제시한다.

2. 노멀 플라이백 컨버터

2.1 노멀 플라이백 기본특성

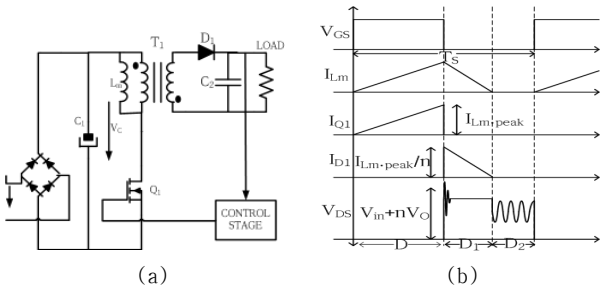


그림 1. 노멀 플라이백의 회로도 및 주요 파형도(DCM)

그림 1은 노멀 플라이백의 기본 회로도와 주요 파형도를 나타내고 있다. 기본적으로 1차측의 스위치와 2차측의 다이오드,

그리고 트랜스포머가 주요소자가 되는 간단한 구조로 이루어져 있으며 스위치의 양단전압이 CCM(Continuous Conduction Mode)인 경우 $V_{in}+nV_o$ 또는 DCM(Discontinuous Conduction Mode)인 경우 V_{in} 근처 지점에서 턴-온하게 되어 손실이 크게 발생하는 단점을 가지고 하드 스위칭을 하게 됨에 따라 효율 및 온도, EMI 측면에서의 단점이 존재한다. DCM의 경우 듀티에 따른 동작설명은 다음과 같다.

D1(스위치-온) : 스위치가 턴-온하게 됨에 따라 트랜스포머의 L_m 전류가 D1 구간동안 V_{in}/L_m 의 기울기로 상승하게 되며 이때 전력전달은 발생하지 않는다.

D2(스위치-오프) : 스위치가 턴-오프하게 됨에 따라 L_m 전류가 D2 구간동안 nV_o/L_m 의 기울기로 하강하게 되며 턴비에 의해 2차측으로 전력전달이 일어나게 된다. 이때 스위치의 양단전압은 C_{oss} 성분과 L_r 의 공진으로 인한 스파이크-전압이 발생하게 되므로 내압을 유의한 스위치를 사용하여야 한다.

D3(스위치-오프) : 스위치는 턴-오프되어있는 상태이며 1차측으로 인한 전력 전달은 일어나지 않고 C_{oss} 성분과 L_m 및 L_r 의 공진으로 인한 스위치 양단전압이 나타난다.

2.2 노멀 플라이백 컨버터를 이용한 Adapter특성

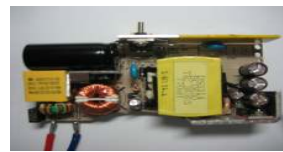


그림 2. Prototype Sample _ 노멀 플라이백 컨버터

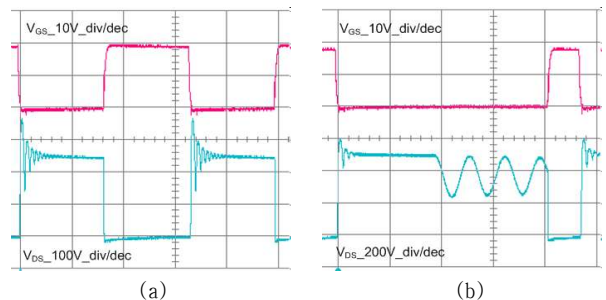


그림 3. 게이트 파형과 드레인-소스 전압

(a)AC 90V, V_{GS} & V_{DS} _Full Load (3.34A)

(b)AC 264V, V_{GS} & V_{DS} _Full Load (3.34A)

그림 2는 실험을 목적으로 제작한 Prototype Sample이며

그림 3에서 보는 바와 같이 입력 AC90V, Full Load 상태에서는 노멀 플라이백 컨버터가 CCM으로 동작하고 출력전류가 작아지거나 입력전압이 높아지게 되면 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 DCM으로 동작함을 알 수 있다. 특히 드레인-소스 간 전압파형 중 턴-온 시점을 보면, 노멀 플라이백 컨버터의 특징인 하드 스위칭 형태를 확인할 수 있으며 DCM 동작시에 턴-온시점이 valley 점이 아닌 지점에서 스위칭하는 특징을 확인할 수 있다. 때문에 전도손실이 크며 하드 스위칭에 따른 EMI 측면의 마진을 확보하기 위해 입력필터의 스트레스가 매우 크다는 단점을 가진다.

2.3 Voltage Regulation과 Efficiency

표 1. 입력전압 및 부하 변동에 따른 출력전압 및 효율 변화

Input Voltage	Load Condition	Output Voltage	Efficiency
AC90V	Load : 0A	19.584V	-
	Load : 3.34A	19.262V	85.27%
AC264V	Load : 0A	19.590V	-
	Load : 3.34A	19.271V	87.75%

표 1은 노멀 플라이백 토폴로지를 사용하는 Adapter의 Voltage Regulation 및 효율에 대해 나타내었다. 표에서는 최소 입력 전압과 최대입력 전압시 최대부하에 따른 효율을 기재하였으며 보는 바와 같이 출력전압은 Line의 변화, Load의 변화에도 19.5V의 5%이내로 Regulation이 되고 있고 효율은 최대 부하상태, 케이블 끝 지점에서 85%이상을 보이고 있다.

2.4 EMI 분석

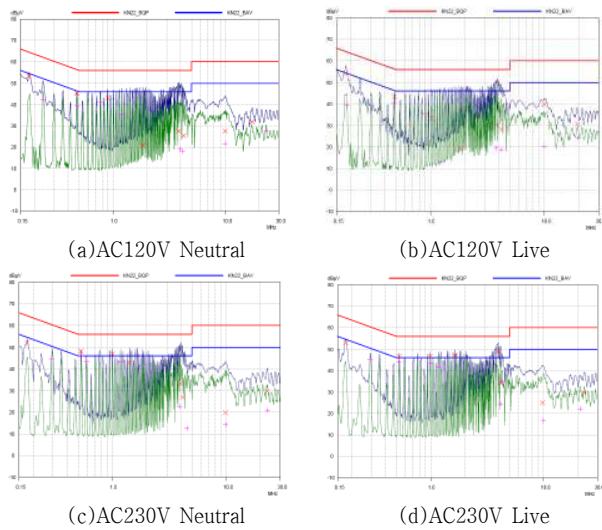


그림 4. EMI 측정 결과(Conducted Emissions)

EMI 측정은 NEMKO에서 실시하였다. 그림 4.(a) ~그림 4.(d)는 Conducted Emissions에 대한 측정 파형이다. Live, Neutral 모두 전 영역에 걸쳐 Peak 점들이 기준선 이내로 만족하고 있음을 볼 수 있으며 평균 값은 약 4dB정도의 마진을 확인할 수 있었다.

2.5 온도 분석

표 2에서 보는 바와 같이 Bridge Diode의 경우 방열판이 있음에도 불구하고 119.4°C로 매우 높은 값을 나타내고 있으며 전체적으로 초크 및 반도체 소자 모두 높은 값을 나타내고 있

다. 이는 반도체의 신뢰성에 큰 문제가 될 수 있다.

표 2.각 Components의 온도를 측정된 데이터

Component	Temp	ΔT
input filter#1	106.5	81.8
input filter#2	84.7	60.0
bridge diode	119.4	94.7
input cap	80.1	55.4
switch	93.8	69.1
transformer core	101.0	76.4
output diode	97.5	72.9
output cap	94.7	70.1

3. 준-공진형 플라이백 컨버터

3.1 준-공진형 플라이백 기본특성

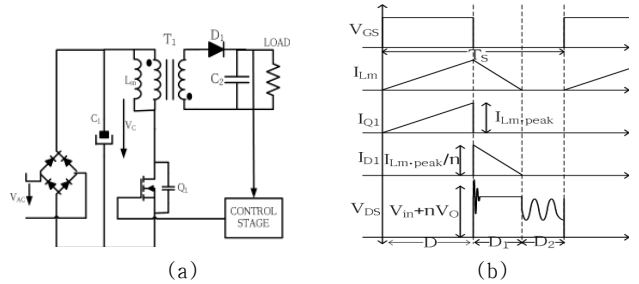


그림 5. 준-공진형 플라이백의 회로도 및 주요 파형도(DCM)

그림 5에서 보는 바와 같이 기본적인 구성은 노멀 플라이백과 같은 간단한 구조를 가지나 CCM 및 DCM 모두 최소전압인 지점 즉 valley 시점에서 턴-온 하게 되어 노멀 플라이백에 비해 적은 전도손실이 발생하는 장점을 갖는다. 실제 특징으로는 Valley를 찾아 스위칭을 용이하게 하기위해 스위치 양단에 설계자가 원하는 캐패시터를 필요로 한다. DCM의 경우 듀티에 따른 동작설명은 노멀 플라이백과 같다.

3.2 준-공진형 플라이백 컨버터를 이용한 Adapter특성



그림 6. Prototype Sample - 준-공진형 플라이백 컨버터

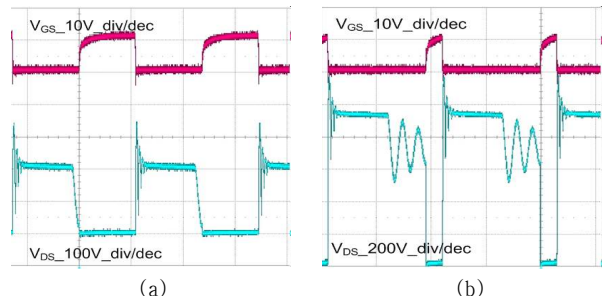


그림 7. 게이트 파형과 드레인-소스 전압
(a)AC 90V, V_{GS} & V_{DS} _Full Load (3.34A)
(b)AC 264V, V_{GS} & V_{DS} _Full Load (3.34A)

그림 6는 실험을 목적으로 제작한 Prototype Sample이며 그림 7는 TEA1532^[3]를 기반으로 준-공진형 플라이백을 적용하여 제작한 Prototype Sample의 결과 파형을 나타내고 있다.

입력전압은 AC 90V와 264V, 출력전류는 0A와 3.34A에서 측정하였다.

그림 7에서 기존 노멀 플라이백이 적용된 adapter와 비교하여, 드레인-소스간 전압 파형의 차이를 확인할 수 있다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 입력 AC90V, Full Load 상태에서는 준-공진형 플라이백 컨버터가 첫 번째 Valley에서 스위칭 동작을 하고 출력전류가 작아지거나 입력전압이 높아지게 되면 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 여러 번의 Valley를 지난 후에 스위칭 동작함을 알 수 있다. 위의 동작과 같이 소프트 스위칭을 하게 되므로 전도손실이 줄어들게 되며 노멀 플라이백에 비해 EMI 마진 확보가 용이하므로 입력필터의 스트레스가 줄어들어 소형화 가능 및 발열문제 측면의 장점을 갖는다.

3.3 Voltage Regulation과 Efficiency

Input Voltage	Load Condition	Output Voltage	Efficiency
AC90V	Load : 0A	19.738V	-
	Load : 3.34A	19.421V	87.53%
AC264V	Load : 0A	19.726V	-
	Load : 3.34A	19.426V	88.27%

표3) 입력전압 및 부하 변동에 따른 출력전압 및 효율 변화

표 3은 준-공진형 플라이백 컨버터를 이용한 adapter의 Voltage Regulation 및 효율에 대해 나타내었다. 표에서는 최소 입력 전압과 최대입력 전압시 최대부하에 따른 효율을 기재하였으며 보는 바와 같이 출력전압은 입력전압의 변화, Load의 변화에도 19.5V의 5%이내로 Regulation이 되고 있고 효율은 최대 부하상태, 케이블 끝 지점에서 87%이상을 보이고 있다.

이는 노멀 플라이백과 비교하였을 때 대략 2%정도의 향상을 보여주고 있다.

3.4 EMI 분석

그림 8.(a) ~ 그림 8.(d)는 EMI 분석 데이터를 나타내고 있다. EMI 측정은 NEMKO에서 실시하였다. 그림 8.(a) ~ 그림 8.(d)는 Conducted Emissions에 대한 측정 파형이다. Live, Neutral 모두 전 영역에 걸쳐 Peak 점들이 기준선 이내로 만족하고 있음을 볼 수 있으며 평균 값은 10dB 정도의 마진을 확인할 수 있었다. 노멀 플라이백에 비하여 큰 마진을 가짐으로써 입력 필터의 스트레스가 줄어들게 되어 작은 필터를 사용할 수 있게 되므로 소형화가 가능하다.

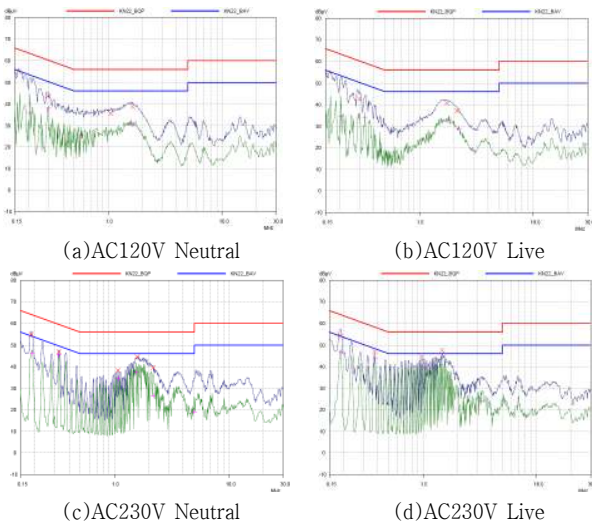


그림 8. EMI 측정 결과(Conducted Emissions)

3.5 온도 분석

표 4에서 보는 바와 같이 온도가 가장 높았던 Bridge Diode의 경우 노멀 플라이백 컨버터보다 17°C정도 낮은 온도를 보이고 있으며 초크 및 반도체 소자 모두 낮은 값을 나타냄에 따라 반도체 신뢰성 문제를 경감시킬 수 있다.

노멀 플라이백 컨버터를 사용한 adapter와 비교하여 온도가 전체적으로 모두 낮은 값을 나타내고 있다.

표 4. 각 Components의 온도를 측정된 데이터

Component	준-공진형 플라이백		노멀 플라이백	
	Temp	ΔT	Temp	ΔT
input filter#1	82.7	57.9	106.5	81.8
input filter#2	94.7	69.9	84.7	60.0
bridge diode	102.7	78.0	119.4	94.7
input cap	79.4	54.6	80.1	55.4
switch	90.1	65.4	93.8	69.1
transformer core	93.1	68.3	101.0	76.4
output diode	97.1	72.3	97.5	72.9
output cap	91.6	66.8	94.7	70.1

4. 결론

본 논문에서는 65W Slim형 Adapter를 개발하기 위하여 Slim형 65W 급 고효율 DC/DC 전원 회로 기술 연구, 준-공진형 플라이백 기반의 65W급 DC/DC 전원 회로 Prototype 구현 검증 및 성능 평가(효율, 발열), 65W급 Adapter의 요소 기술 분석에 대해 제시하였다.

Slim형 65W 급 고효율 DC/DC 전원 회로 기술 연구를 위해 기존방식인 노멀 플라이백이 적용된 proto type sample 을 제작하여 다양하게 비교 분석하였다. Slim형 Adapter를 개발 진행 하면서 기존방식의 토폴로지와 차별화를 둔 부분은 바로 구동 방식이다. Slim형 Adapter를 구현하기 위하여 Slim형 부품들을 이용하여 설계하고, 또한 높은 효율과 우수한 EMI 특성을 갖기 위하여 기존방식인 노멀 플라이백 대신 준-공진형 플라이백을 이용하였다. 준-공진형 플라이백의 가장 큰 특징은 Hard Switching이 아닌 Valley Switching으로 Switching Loss 를 저감시킬 수 있으며, 또한 기존의 노멀 플라이백 컨버터를 이용한 adapter 보다 약 6dB 정도의 마진을 더 확보하여 EMI 특성면에서 더욱 우수한 특성을 확인하였다.

결론적으로 효율 및 발열특성, EMI 특성 등으로 비춰볼 때 준-공진형 플라이백 컨버터가 Slim Type 65W Adapter에 적합할 것으로 판단된다.

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Robert W. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics second edition", 2001, February, pp161-165.
- [2] Yuri Panov, "Adaptive Off-time Control for Variable-Frequency, Soft-switched Flyback Converter at Light Loads", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 17, NO.4, JULY 2002, pp596-603.
- [3] "Philips Semiconductors" GreenChip SMPS control IC