

# 인피니언 고효율 및 고전력밀도 USB Type-C PD 충전기 기술 소개

장상호, 최용복  
인피니언 테크놀로지스 코리아

## Introduction to High Efficiency & High Power-Density for USB Type-C PD Adapter

Sang-ho Jang, Yong-Bok Choi  
Infineon Technologies Korea

### ABSTRACT

환경에 대한 관심 증가와 CO2 규제 강화에 따라 EU CoC(Code of Conduct)는 단출력 외부 전원 공급장치인 AC 어댑터, 배터리 충전기 뿐만 아니라, 전자 및 전기 제품용 AC-DC 및 AC-AC 전원 공급장치에 효율 규제가 확대 적용되었다. 휴대전화, 가전제품, 전동공구, IT기기용으로 0.3 W ~ 250 W 범위의 출력을 갖는 시스템에 더 높은 효율이 요구되는 이유이다. 그에 따라 USB-PD(Power Delivery) EPR(External Power Range) 규격이 개정되었다. 이 개정은 최대 출력 240 W(48 V/ 5 A)까지 규제내용이 포함되어 있다. 시장에서는 편리한 사용을 위해서 더 작은 크기와 더 가벼운 제품을 요구하고 있다. 본 논문에서 소개하는 XDPS2221 컨트롤러는 75W 이상의 역률개선이 필요한 사양에 적합한 솔루션으로, 역률 개선을 위한 PFC 부스트 컨버터의 컨트롤러와 하이브리드 플라이백 컨버터 컨트롤러를 단일 패키지로 결합한 고집적 컨트롤러이다. 스위칭 소자에 GaN을 사용하였고, 140 W(28 V/ 5 A) Proto 보드를 제작하여 성능 검토를 하였다. 정격출력조건(140 W)에서 최대 95% 이상의 효율을 갖는다.

### 1. 서론

전자제품에 전원공급(충전)을 위해 종래 사용하던 어댑터의 출력 단자가 USB Type-C로 빠르게 변경되고 있다. 최근 모바일 뿐만 아니라, 거의 모든 신규 노트북은 USB Type-C 단자로부터 전원을 공급 받는다. USB Type-C 단자가 더 폭 넓게 채택됨에 따라, 충전용량도 기존 SPR(Standard Power Range)에서 EPR(Extended Power Range)<sup>[1]</sup>로 확대 개정되었다.

Power Range	Available Current and Voltages	PDP Range
Standard Power Range (SPR)	3A: 5V, 9V, 15V, 20V	15 -60W
	5A <sup>1</sup> : 20V	>60 -100W
Extended Power Range (EPR)	3A <sup>2</sup> : 5V, 9V, 15V, 20V	15 -60W
	5A <sup>2</sup> : 20V	>60 -100W
	5A <sup>2</sup> : 28V, 36V, 48V	>100 -240W

<sup>1</sup>Requires 5A cable.  
<sup>2</sup>Requires EPR cable.

표 1 USB-PD Rev3.1 규격

Table 1 USB PD Specification, Rev. 3.1

### 2. 본문제목

#### 2.1 절 XDPS2221, PFC + 하이브리드 플라이백 통합된 컨트롤러<sup>[2]</sup>

XDPS2221 컨트롤러는 역률개선을 위한 PFC와 하이브리드 플라이백 컨버터가 단일 패키지에 통합된 디지털 컨트롤러이다. AC-DC 전력변환을 담당하는 PFC 부스트 컨버터는 QRM(Quasi-Resonant Mode)으로 동작하고, DC-DC 전력변환을 담당하는 하이브리드 플라이백 컨버터는 정격 부하조건에서 CRM(Continuous Resonant Mode)로 동작한다.

#### 2.1.1 절 기존 3-stage 회로 구성

일반적으로 고효율의 AC-DC 전력변환을 위해서, PFC 부스트 컨버터와 LLC 공진 컨버터로 구성된 2-stage 토폴로지가 많은 제품에 적용되어 있다. 하지만 USB-PD의 경우 출력전압 가변범위가 5 V - 48 V로 넓은 출력전압을 제어해야하기 때문에, DC-DC 회로를 단일 LLC로 구성하여 넓은 출력전압을 제어하기에는 LLC 전압이득특성에 의한 한계가 있다. 때문에, 넓은 출력전압을 제어하기 위해서 DC-DC 회로를 추가 구성하여 LLC는 고정주파수에서 구동하고, 요구되는 출력전압에 따라 추가된 DC-DC의 시비율 제어를 통해 넓은 출력전압을 제어하여 원하는 출력전압을 제어한다.

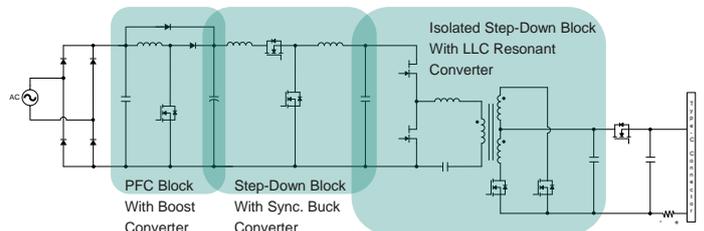


그림1 기존 3-stage 회로 구성(Boost + Buck + LLC Resonant 컨버터)  
Fig.1 Existing 3-stage topology (Boost + Buck + LLC Resonant Converter)

#### 2.1.2 절 제안된 2-stage 회로 구성

제안된 회로는 기존에 3-stage에 적용된 Buck 컨버터와 절연형 LLC 공진 컨버터의 기능을 통합하였으며, 듀티제어를 통해 넓은 출력전압 제어가 가능하다.

$$V_{out} = D \frac{V_{in}}{N} \frac{L_m}{L_m + L_r} \quad (1)$$

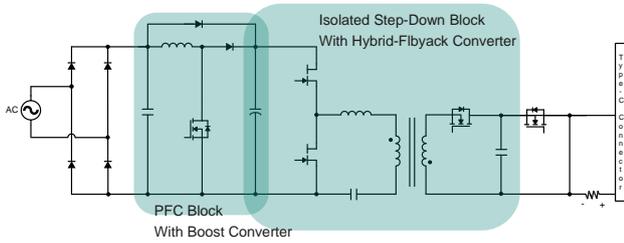


그림2 제안된 2-stage 회로 구성(Boost + Hybrid Flyback 컨버터)  
Fig.2 Proposed 2-stage topology(Boost + Hybrid Flyback Converter)

제안된 2-stage는 역률 개선을 위한 PFC 부스트 컨버터와 하이브리드 플라백 컨버터로 구성되어 있었다.

제안된 부스트 컨버터는 QRM(Quasi-Resonant Mode)로 제어하고, 일반적인 고정된 출력전압으로 동작하는 부스트 컨버터와 달리, 시스템 최대 효율을 갖기위해 USB-PD 출력전압에 따라 부스트출력 전압을 변경하여 제어 한다.

제안된 하이브리드 플라이백 컨버터는 정격출력부하조건에서 CRM(Continuous Resonant Mode)으로 제어되며, 입력 전압 및 출력 전류의 모든 조건에서 ZVS(Zero Voltage Switching) 및 ZCS(Zero Current Switching)를 달성할 수 있다. 또한 변압기 누설 인덕턴스(Lr)와 공진 캐패시터(Cr)의 에너지를 이용하여 손실을 줄이고 효율을 극대화한다. 더 높은 효율을 얻기위해 2차 측에서 출력 다이오드를 대체하여 동기식 정류를 사용할 수 있다.

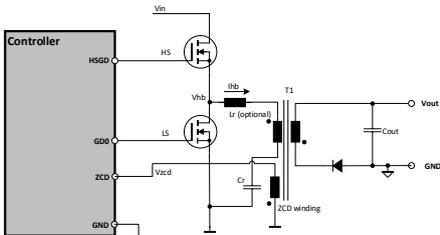


그림3 제안된 Hybrid-Flyback컨버터  
Fig3. Proposed Hybrid-Flyback Converter

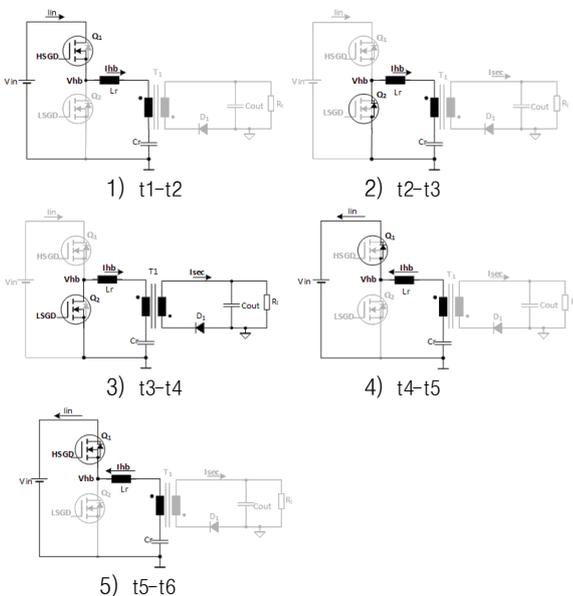


그림4 제안된 Hybrid-Flyback컨버터 동작 모드  
Fig4. Proposed operation mode of Hybrid-Flyback Converter

제안된 회로의 동작모드는 다음과 같다.

- 1)  $t_1-t_2$  구간: 스위치 Q1이 턴온, 스위치 Q2가 턴오프되고, 변압기의 누설인덕턴스(Lr), 자화인덕턴스(Lm) 그리고 공진캐패시터(Cr)에 에너지를 저장하는 구간이다. 이때 변압기에 인가된 전압은  $V_{in}-V_{cr}$ 이며, 변압기 도트에 + 전압이 각각 1차측, 2차측에 인가되고, 2차측 출력 다이오드에 역전압이 인가되어 출력 다이오드는 도통하지 못한다.
- 2)  $t_2-t_3$  구간: 스위치 Q1과 Q2가 모두 턴오프되고, Q1 스위치의  $C_{oss}$ 는 입력전압으로 충전되고, 변압기에 흐르던 전류는 스위치 Q2의 바디 다이오드를 통해서 흐르게 된다.
- 3)  $t_3-t_4$  구간: 스위치 Q1은 여전히 턴오프되어있고, 스위치 Q2가 ZVS(Zero Voltage Switching) 턴온되어 2차측으로 에너지를 전달하는 구간이다. 이때, LC공진 탱크인 변압기의 누설인덕턴스(Lr)과 공진 캐패시터(Cr)에 의한 공진이 발생하며, 이 공진전류의 크기는 2차측 부하요구 조건에 따라 크기가 결정되고 LC공진탱크의 주파수의 사인파로 2차측에 전달 된다. 1차측 전류(Ihb)는 변압기기의 자화전류와 공진전류의 합 이다.
- 4)  $t_4-t_5$  구간: 스위치 Q1과 Q2가 모두 턴오프되고, 변압기에 흐르던 전류는 스위치 Q1의  $C_{oss}$ 를 방전시키고, 스위치 Q1의 바디 다이오드를 통해서 흐르게 된다. 동시에 Q2는 입력전압으로 클램프된다.
- 5)  $t_5-t_6$  구간: 스위치 Q2는 턴오프되어 있고, 스위치 Q1은 ZVS(Zero Voltage Switching) 턴온을 하게된다. 이러한 동작을 통해서 1차측의 스위치 Q1과 Q2 모두 ZVS(Zero Voltage Switching)턴온을 달성하게 된다.

### 3. 실험결과

본 실험을 위해서 140 W Proto 보드를 제작하였고, 보드의 크기는 69mm(가로) x 65mm(세로) x 21mm(높이), 전력밀도는 24.36 W/in<sup>3</sup> 이며, 115 Vac/ 230 Vac 입력조건과 모든 출력 부하조건(5 V, 9 V, 15 V, 20 V, 28 V)에서 하이브리드 플라이백 1차측 스위치의 ZVS(Zero Voltage Switching)동작을 확인하였고, 2측에 적용된 SR(Synchronous Rectifier) 스위치는 ZCS(Zero Current Switching) 동작을 확인 하였다. 이러한 소프트 스위칭 동작으로 CoC(Code of Conduct) Tier2 및 DoE(Department of Energy) Level VI 기준 효율을 모두 만족하며, 정격출력 부하조건 (140 W)에서 각 입력전압에 따른 효율은 115 Vac에서 93.82 %, 230 Vac에서 95.17 % 효율로 측정되었다. 본 실험에 적용된 주요 파라미터는 아래 표2, 3과 같다.

입/ 출력 사양	입력 전압(Vin)	90 - 264 Vac
	출력전압(V), 전류(A)	28 V/ 5 A
	출력 용량(Pout)	140 W
PFC 부스트 컨버터	인덕턴스	200 uH
	적용코어	ATQ2516
	출력 커패시터(Cbulk)	96 uF
하이브리드 플라이백 컨버터	자화인덕턴스(Lm)	250 uH
	누설인덕턴스(Lr)	2 uH
	공진 커패시터(Cr)	500 nF
	N(Np/Ns)	7(21:3)
	적용코어	ATQ2716
출력 커패시터(Cout)	900 uF	

표 2 입/ 출력 정격사항 및 주요 파라미터

Table 2 Input/ Output Requirement and Main Parameter

회로 구분	구분	품명	수량
Active Bridge	스위치	IPT60R065S7	2
CrCM PFC+HFB	컨트롤러	XDPS2221	1
PFC	스위치	IGLR60R190D1	2
HFB	스위치	IGLR60R190D1	2
SR	스위치	ISC027N10NM6	2
USBPD	컨트롤러	CYPD3175-24LQXQ	1
USBPD	스위치	BSZ086P03NS3	1

표 3 적용된 반도체 부품

Table 3 Semiconductor Parts

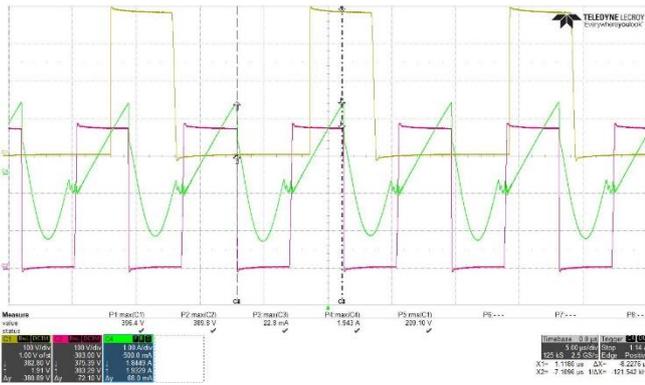


그림5 Vin 90 Vac, Pout 140 W(28 V/ 5 A) 조건에서 단자 전압/ 전류  
Fig.5 Experimental waveforms of the terminal voltage and current at Vin 90 Vac, Pout 140 W(28 V/ 5 A)

그림 5는 입력전압 90 Vac 및 정격출력 140 W(28 V/ 5A) 조건에서 오실로스코프로 측정된 파형이다. 채널 1은 PFC 부스트 컨버터에 적용된 주 스위칭 소자 GaN의 드레인-소스 양단 전압, 채널 2는 하이브리드 플라이백 컨버터의 스위치 Q2(GaN)의 드레인-소스 양단 전압, 채널 4는 하이브리드 플라이백 컨버터 1차측에 흐르는 전류이다. 하이브리드 플라이백 컨버터는 정격 출력전력인 140 W 에서 121kHz로 스위칭하고 있고, ZVS(Zero Voltage Switching)하는 것을 확인 할 수 있다.

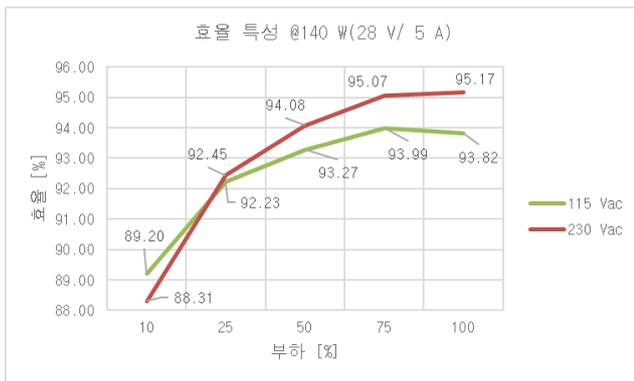


그림6 정격출력 140 W(28 V/ 5 A) 조건에서 입력전압에 따른 효율 특성  
Fig.5 Efficiency characteristics at 140 W load conditions

according to the input voltage (115 Vac/ 230 Vac).

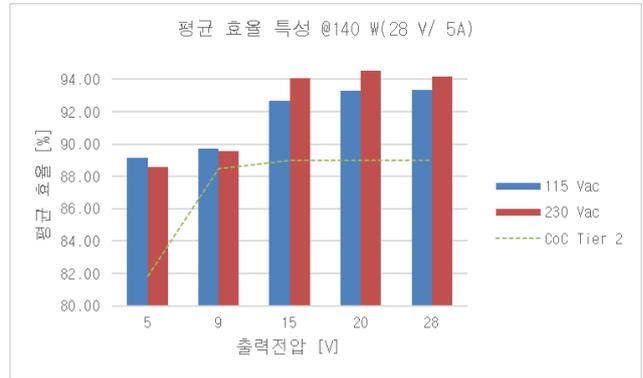


그림7 출력전압 변화에 따른 평균 효율 특성  
Fig.7 Efficiency characteristics at variable output voltages.

효율 측정은 Proto 보드의 입출력단자에서 측정하였고, 케이블에서 발생하는 손실은 무시하였다.

#### 4. 결론

140 W의 USB-PD 충전기/어댑터의 경우 출력 전압이 5 V- 28 V, 최대 5A 출력전류가 요구된다. 3-stage, Boost + Buck + LLC Resonant 컨버터 또는 Boost + LLC Resonant + Buck 컨버터 구성은 전력밀도가 낮아질 뿐만아니라, 전 부하 조건에서 CoC(Code of Conduct) Tier 2의 평균 효율을 만족하기 어렵지만, 본 논문에서 제안한 2-stage, Boost + 하이브리드 플라이백 컨버터 구성과 GaN<sup>[3]</sup> 스위치 적용으로 CoC(Code of Conduct) Tier 2의 요구사항을 만족하고, 정격 출력조건 140 W에서 최대 95 % 이상의 높은 효율을 갖는 것을 Proto 보드 실험을 통해서 검증하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Universal Serial Bus Power Delivery Specification, Revision: 3.1, Version: 1.8, Release date: April, 2023. pp. 76.
- [2] Datasheet of XDPS2221 PFC + Hybrid-Flyback - Combo Controller, Infineon.
- [3] <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/gan-hemt-gallium-nitride-transistor/#!products>