

인피니언 EZ-PD™ PAG2S-PS 제품을 적용한 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터

장상호, 최용복
인피니언 테크놀로지스 코리아

Introduction to Noncomplementary Active Clamp Flyback Converter with EZ-PD™ PAG2S-PS

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

ABSTRACT

USB-C가 범용 커넥터 표준으로 자리잡는 것은 당연한 것이다. USB-C 채택으로 빠른 충전과 더 높은 배터리 용량 사용을 가능하게 한다. USB-C 단자는 작고, 사용함에 있어 플러그 방향에 구애받지 않아 편리하며, 다양한 유형의 충전기를 통합할 수 있다. 하나의 통합된 솔루션으로 가능한 모든 모바일 기기를 충전하여 삶을 단순화하고, 전자 폐기물을 줄여 환경개선에 도움을 주는 동시에 고전력밀도와 고효율로 사용자의 비용을 낮추는데 도움을 준다. 본 논문에서는 인피니언 신규 제품인 PAG2P^[1] (1차측 PWM 컨트롤러)와 PAG2S^[2] (2차측 PD 컨트롤러) 제품을 적용하여 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터(Noncomplementary Active Clamp Flyback Converter)를 구현하였다. 65 W Type-C 충전기 데모 보드를 제작하였으며(30.42 W/inch³), 정격부하조건(20 V_{out}, 3.25 A)에서 입력전압 조건에 따라 93.5 % (115 Vac), 94.5 % (230 Vac)로 각각 측정되었다.

1. 서론

AC-DC 컨버터의 출력정격용량 65 W 이하를 요구되는 제품 중 가장 많이 사용되는 토폴로지는 단연 플라이백 컨버터 (Flyback converter)이다. 회로 구성이 비교적 단순하며, 가장 비용 효율적인 토폴로지로서 널리 알려져있다. 하지만, 모바일에 적용된 배터리 용량이 점점 더 커지고, 충전시간을 단축하기위해서 충전기 출력용량이 점점 커지고 있다. USB-PD Rev 3.1규격에 따르면, USB-C 단자를 통해서 최대 240 W(48 V, 5 A) 충전이 요구된다.

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

표 1 USB-PD Rev3.1 규격
Table 1 USB PD Specification, Rev. 3.1

유니버설 입력전압(90 Vac ~ 264 Vac)에서도 넓은 출력전압 가변(5 V - 48 V)이 요구되며, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % 부하조건인 효율의 평균이 CoC(Code of Conduct) Tier2 및 DoE(Department of Energy) Level VI 기준을 만족해야 하기

때문에 정격출력용량이 커질수록, 기존 하드스위칭 플라이백 컨버터로는 요구하는 높은 효율을 달성하기 어렵다. 그래서 고효율의 와이드 밴드 갭 스위칭소자 개발 뿐만아니라, 영전압 스위칭이 가능한 플라이백 토폴로지에 대한 연구도 계속되고 있다.

	QR flyback	ZVS QR flyback	Active clamp flyback (ACF)		Hybrid flyback (HFB)
			Complementary (CP)	Non-complementary (NCP)	
Full-load efficiency (low line)	✓	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓
Full-load efficiency (high line)	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Light-load efficiency (due to circulating energy)	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓
Cost	✓✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓	✓
Leakage energy	Lost	Lost	Recuperated	Recuperated	Recuperated
ZVS switching	Partially	Almost	Full	Almost	Full

표 2 USB-C 충전기/어댑터에 적용된 토폴로지 성능 비교^[3]

Table 2 Comparison of topologies for USB-C charger/adaptor designs^[3]

2. 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터

2.1 절 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터

기존 상보 능동 클램프 플라이백 컨버터(Complementary Active Clamp Flyback Converter)의 일반적인 제어 방식은 고정 주파수에서 구동되고, 영전압 스위칭 동작으로 중부하 조건에서 효율이 높지만, 경부하에서는 순환전류에 따른 순환에너지 손실이 크다.

본 논문에서 적용된 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터 (Noncomplementary Active Clamp Flyback Converter)의 하드웨어 구조는 기존 상보 클램프 플라이백 컨버터와 같지만, 제어방식이 다르다. 제안된 제어방식의 경우, 주파수 가변VF(Variable Frequency)방식을 채택하여, 모든 부하 조건에서 QR(Quasi Resonant)스위칭을 지원하며, 경부하 시, 최대 동작 주파수를 제한 및 버스트모드 동작으로 경부하 스위칭 손실을 최소화 하였다.

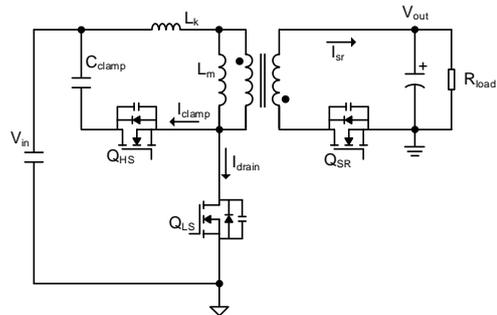


그림1 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터
Fig1. Noncomplementary active clamp flyback converter

2.2 절 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터 동작모드

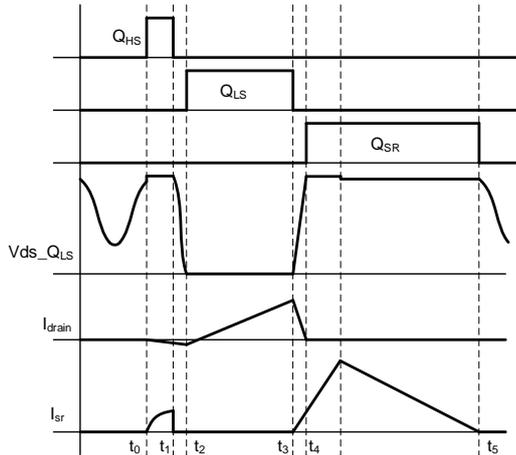


그림2 PAG2P/S 제품을 적용한 정상상태 동작 파형(DCM)
Fig2. Steady-state operation (DCM) with PAG2P/S

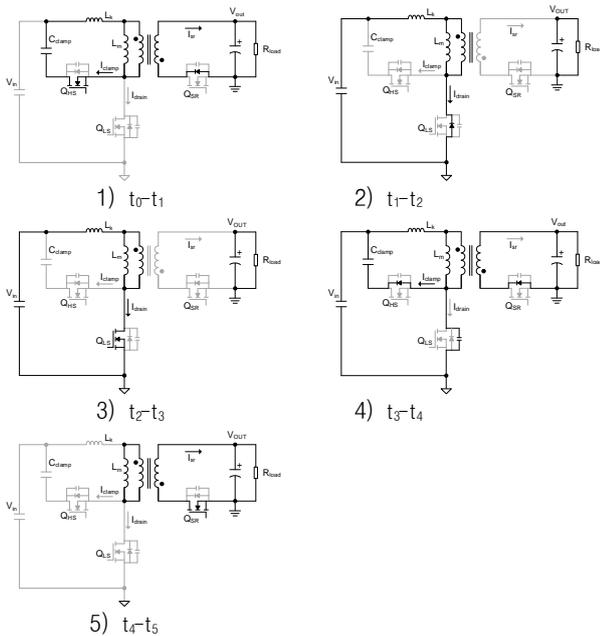


그림3 비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터 동작 모드
Fig3. Operation mode of noncomplementary active clamp flyback converter

비-상보 능동 클램프 플라이백 컨버터의 동작 모드는 다음과 같다.

1) t_0-t_1 구간: t_0 시점 이전, 기존 플라이백 컨버터의 불연속 동작구간(DCM)과 동일하고, t_0 시점에, Q_{HS} 가 턴-온되고 클램프 캐패시터(C_{clamp}) 전압이 L_m 과 L_k 에 인가되어 2차측 Q_{SR} 바디다이오드가 순방향 바이어스되어 클램프 캐패시터 에너지가 2차측으로 전달되는 구간으로, Q_{LS} 의 드레인-소스 전압은 $V_{in} + V_c$ 이다.

$$V_c = NV_o + I_{pk} \sqrt{\frac{L_k}{C_{clamp}}} \quad (1)$$

이때, 자화전류는 음의 방향으로 증가하고, 이러한 음의 전류는 Q_{LS} 스위치의 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)을 달성하는데 사용된다.

2) t_1-t_2 구간: Q_{HS} 스위치가 턴-오프되고, Q_{LS} 스위치가 턴-온되기 전 데드타임 구간이다. 음의 방향을 갖는 자화전류에 의해 Q_{LS} 의 기생 커패시터(C_{oss})가 방전하게 된다. 누설인덕턴스(L_k) 에너지가 기생 커패시터(C_{oss})의 에너지보다 충분히 크면, Q_{LS} 스위치는 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)이 가능한 조건이 된다.

$$E_{Lk} = \frac{1}{2} L_k I_{pk_neg}^2 \geq E_{Coss} = \frac{1}{2} C_{oss} (V_{in} + NV_o) \quad (2)$$

3) t_2-t_3 구간: 기존 플라이백 컨버터의 동작과 유사하게 Q_{LS} 가 턴-온되어 자화인덕턴스(L_m)와 누설인덕턴스(L_k)에 에너지를 저장하는 구간으로, 변압기 도트에 전압이 각각 1 차측(V_{in}), 2 차측(V_{in}/N)에 인가되고, 2 차측 출력 다이오드에 역전압이 인가되어 출력 다이오드는 도통하지 못한다.

4) t_3-t_4 구간: Q_{LS} 스위치가 턴-오프되고, 누설인덕턴스(L_k)에 의해 Q_{LS} 스위치의 기생 캐패시터(C_{oss})는 충전하고와 Q_{HS} 스위치의 바디다이오드를 통해서 전류가 흐르게되어 클램프 캐패시터(C_{clamp}) 전압이 상승하게 된다. 이때, Q_{LS} 스위치는 $V_{in} + V_c$ 전압으로 클램프 되고, 변압기의 자화전류는 2차측 Q_{SR} 스위치의 바디다이오드를 통해서 흐르기 시작한다.

5) t_4-t_5 구간: 기존의 플라이백 컨버터처럼 자화인덕턴스(L_m)에 저장된 에너지가 부하에 전달되는 구간으로, Q_{SR} 은 턴-온되어 도통손실이 최소화되며 자화전류는 선형으로 감소한다.

3. 실험결과

본 실험을 위해서 65 W 데모 보드를 제작하였고, 보드의 크기는 31.5mm(가로) x 35.3mm(세로) x 31.5mm(높이), 전력밀도는 30.42 W/in³ 이며, 115 Vac/ 230 Vac 입력조건과 모든 출력 부하조건(5 V, 9 V, 15 V, 20 V)에서 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)동작을 확인하였다.

입/ 출력 사양	입력 전압(V_{in})	90 - 264 Vac
	출력전압(V), 전류(A)	20 V/ 3.25 A
	출력 용량(Pout)	65 W
주회로	스위칭 주파수(f_{sw})	130 kHz
	자화인덕턴스(L_m)	118 uH
	누설인덕턴스(L_k)	2 uH
	클램프 캐패시턴스(C_{clamp})	100 nF
	N(N_p/N_s)	6(18:3)
	적용코어	ATQ23.7/12.8
출력 커패시터(C_{out})	560uF x 2	

표 3 입/ 출력 정격사양 및 주요 파라미터

Table 3 Input/ Output Requirement and Main Parameter

구분	품명	수량
PWM 컨트롤러	PAG2P	1
주 스위칭 소자(Q_{LS})	GS-065-009-6S-L	1
클램프 스위칭 소자(Q_{HS})	GS-065-009-6S-L	1
상단 게이트 드라이버	IRS25752	1
SR& PD 컨트롤러	PAG2S	1
SR 스위칭 소자(Q_{SR})	BSC080N12LS	1
로드 스위치	BSZ0909LS	1

표 4 입/ 출력 정격사양 및 주요 파라미터

Table 4 Input/ Output Requirement and Main Parameter

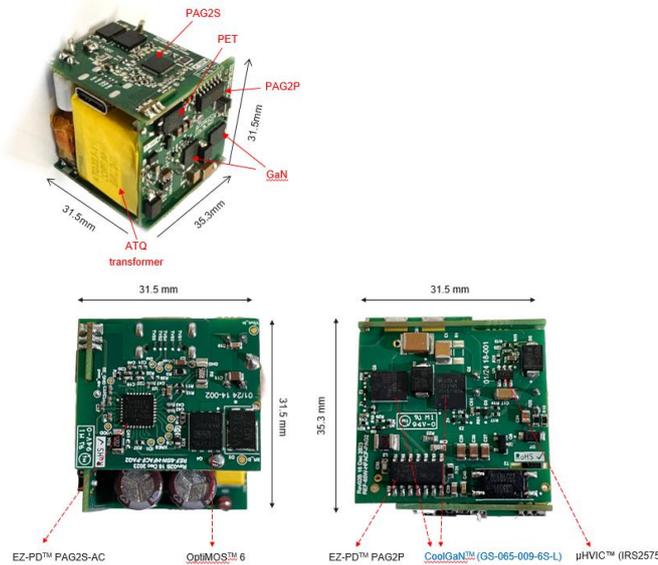


그림5 65 W NCP-ACF 데모 보드(전력밀도: 30.42 W/inch³) [4]
 Fig5. 65 W NCP-ACF demo board (Power density: 30.42 W/inch³) [4]

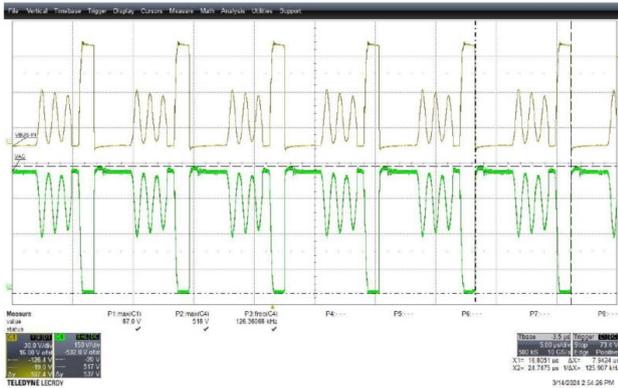


그림6 Vin 265 Vac, Pout 65 W(20 V/ 3.25 A), Q_L& Q_R 단자 전압
 Fig.6 Experimental waveforms of the terminal voltage of Q_L& Q_R at Vin 265 Vac, Pout 65 W(20 V/ 3.25A)

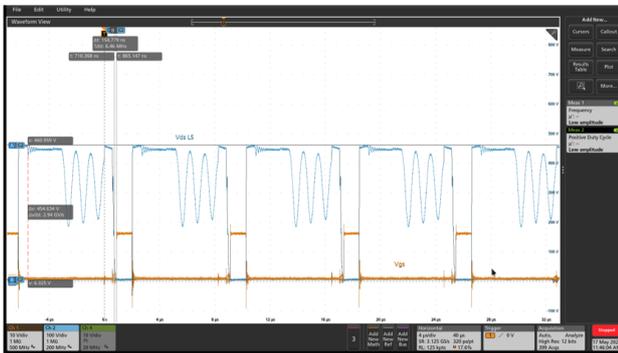


그림7 Vin 230 Vac, Pout 65 W(20 V/ 3.25 A), 영전압 스위칭 파형
 Fig.7 Experimental waveforms of ZVS operation at Vin 115 Vac, Pout 65 W(20 V/ 3.25A)

그림 5는 비-상보 능동 클램프 플라이백 65 W 데모 보드이며, 그림 6과 그림 7에서 Q_L& Q_R 드레인-소스 양단 전압으로 능동 클램프 전압과 및 ZVS 동작을 확인 할 수 있다.

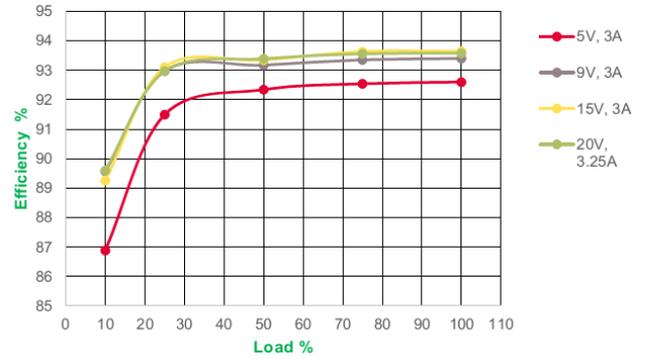


표 5 115 Vac 입력에서 효율 특성
 Table 5 Efficiency characteristics at 115 Vac

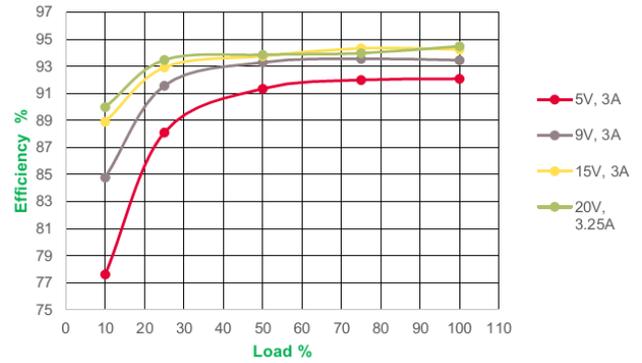


표 6 230 Vac 입력에서 효율 특성
 Table 6 Efficiency characteristics at 230 Vac

표 5, 6은 입력전압 및 출력전압에 따른 효율 특성이다. 출력용량 65 W 기준으로 CoC Tier2에서 요구하는 평균효율은 89%이며, 실험결과 정격출력 65W (20 V/ 3.25 A)조건에서 입력전압에 따라 93.375%(115 Vac), 93.947%(230 Vac)의 높은 효율을 갖는다. 뿐만아니라, 모든 출력전압 가변범위에서 높은 효율 결과를 얻었다. 효율 측정은 데모 보드의 입출력 단자에서 측정하였고, 케이블에서 발생하는 손실은 무시하였다.

4. 결론

인피니언의 최신 기술이 내제된 PAG2P^[1]/S^[2] 제품으로 비-상보 능동 플라이백 컨버터 65 W 데모 보드를 제작하였으며, 정격부하조건(20 V, 3.25 A)에서 입력전압 조건에 따라 93.58% (115 Vac), 94.49%(230 Vac)로 우수한 성능을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Infineon-CYPAP211CYPAP212 EZ-PD™ TM PAG2P primary-side startup controller-DataSheet-v07_00-EN
- [2] Infineon-Cypas212 ez pd pag2s ac integrated usb pd and secondary side acf controller-DataSheet-v04_00-EN
- [3] Infineon-Gallium nitride A full GaN solution for high power density chargers and adapters Whitepaper-v02_00-EN
- [4] Infineon-65 W PAG2P-2S HF-ACF REF 65W ACF PAG2 charger board test report-UserManual-v02_00-EN