

Best Selections

<< TouchCore(최적의 정전용량 터치IC)

- 스마트폰/TV/모니터 등에 대량 양산중인 고성능 Touch Key 및 Touch Screen IC
- Super-Noise(CS, RS & AM Tower Noise)에 강하며 ESD 레벨이 8,000V로 업계 최고 성능 보유

<< Micro Touch(정전용량 핑거 마우스)

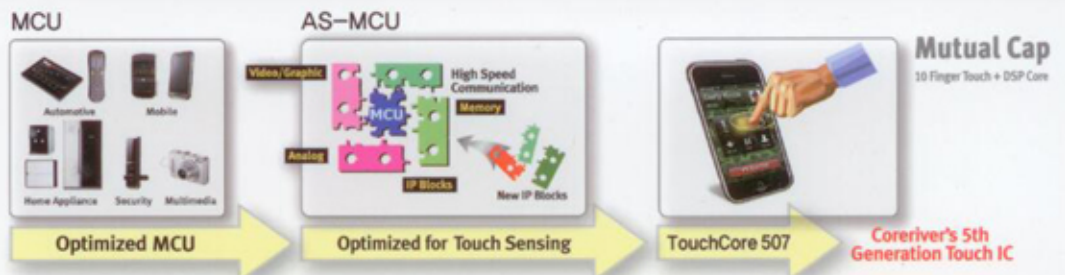
- 소형/중형/대형 패턴 지원되는 One-button Finger Mouse
- 초소형 패턴 지원(현행 6mm 수준 구현)
- 8방향 Navigation 및 다양한 제스처 지원

<< RingCore(수퍼 햅틱 드라이버 IC)

- Auto Calibration Patent 보유
- 수퍼 햅틱 Effect(햅틱 진동력 평균 40% 향상)
- 햅틱 모터 양산수율 향상(Cost down 효과)

<< MCU(누적 판매 1억개 이상)

- 스마트폰/TV/모니터/가전/자동차/셋톱박스 등에 대량 양산
- Cost Effective & High Performance MCU



높은 피크 전력의 준공진 플라이백 파워 컨버터를 위한 CCM 모드

글: 잔-파울 루벨(Jean-Paul Louvel) / CCPG 본과 애플리케이션
온세미컨덕터 / www.onsemi.com

PWM(CCM을 이용한 더 높은 피크 전력 용량)과 QR(EMI 및 스위칭 손실 감소, 그라운드로 가는 출력 단락 회로를 위한 안전 동작) 모두의 장점을 결합한 QR 플라이백 파워 컨버터용 CCM은 빠른 속도로 뛰어난 안전 동작(출력이 그라운드로 단락된 더 낮은 스위칭 주파수)을 갖는 미래형 제품에 선호되는 플라이백 솔루션이 되어가고 있다.

스위칭 파워 컨버터를 디자인할 때 설계 엔지니어는 보통 제품이 명시하고 있는 최대 출력 전력을 기반으로 온도 솔루션을 설계한다. 예를 들어, 50W 컨버터는 가장 낮은 입력 라인과 가장 높은 주변 온도에서 동작 시작과 동시에 바로 50W를 계속해서 전달할 수 있도록 충분한 열 방출 능력을 가지고 있어야 한다.

하지만 몇몇 애플리케이션들은 전력원으로부터 일정한 전력을 사용하지 않는다. 예를 들어 프린터는 프린터 헤드가 활성화되어 있을 때나 페이퍼를 처리할 때 전력을 펄스 형태로 사용한다. 이런 특수한 경우에는 컨버터가 열적으로 피크 전력 범위를 커버하는 대신 훨씬 더 낮은 평균값을 처리하도록 설계된다. 요즘의 여러 애플리케이션에서는 보통 최대 2:1의 피크 전력 대 정상 상태의 전력 비율을 볼 수 있다.

플라이백 파워 컨버터

일반적으로 저전력 컨버터($P_{out} < 70W$)는 플라이백(flyback) 토폴로지를 이용하는데 그 이유는 이 토폴로지가 a)다중 출력 애플

리케이션에서의 좋은 멀티 레귤레이션 성능, b)PFC(Power Factor Correction) 컨버터 없이 넓은 입력 전압 범위(90-264_{V_{ac}})에서 작업하는 능력, 그리고 c)매우 낮은 전력 대기 모드를 제공하기 때문이다. 이 트랜스포머는 에너지를 주 전원으로부터 분리시켜 스위치 개방에 의해 에너지가 2차측으로 넘어가기 전에 1차측에 에너지를 저장한다. 이 간단한 기법은 각 출력 전압에 대해서 단 한 개의 전력 MOSFET 스위치와 단 한 개의 다이오드로 주변 부품들을 제한한다.

위의 원리가 모든 플라이백 컨버터에 일반적이며, 이제는 다른 부분에 대해 각각의 장단점을 분석해보고자 한다.

고정 주파수 PWM(Pulse Width Modulated) 플라이백 컨버터는 아마도 최근에는 가장 흔한 아키텍처일 것이다. 내부 클럭에 의해 만들어진 스위칭 주파수 값은 컨버터에서 발생하는 EMI의 중요 주파수 범위로부터 떨어지게끔 선택될 수 있다. 레귤레이션 루프는 전력 스위치의 전도 시간을 정의하며, 컨버터에 의해 저장되고 전달된 에너지를 컨트롤한다. 이 타입의 컨버터는 오프타임(off-time)이 끝날 때 트랜스포머에 저장된 에너지가 2차측 커패시터에 완전히 전달되

지 않는 연속 전도 모드(CCM: Continuous Conduction Mode)에서 동작할 수 있다. 그 트랜스포머는 다음 사이클이 나타날 때까지 자기를 띠 채 남아 있다. 이 모드는(삼각형이라기 보다는) 사다리꼴의 1차 전류 파형을 제공하는 동시에 제한된 실효 전류(rms current)로 더 높은 출력 전력을 제공한다. CCM 동작 덕분에 이 트랜스포머는 저전력 효율 및 대기 효율을 높이기 위하여 더 높은 1차 인덕턴스를 갖도록 설계될 수 있다.

인기있는 또 다른 버전은 소위 밸리 스위칭 턴온(valley switching turn-on)을 제공하는 QR(Quasi Resonance) 타입 컨버터이다. 이 전력 MOSFET는 드레인-소스 전압의 밸리(최소치)에서 on 상태가 된다. 이 기법은 하드 스위칭 버전에 비해 더 나은 EMI 성능을 제공한다. 스위칭 손실이 줄어들기는 하지만, 트랜스포머의 자기가 완전하게 소거되도록 하면서 피크 전력을 통과시키려면 스위칭 주파수를 줄여야 한다. 더 낮아진 동작 주파수로 인해 주어지는 스위칭 사이클에 저장되는 더 높은 에너지는 1차측 MOSFET 및 2차측 다이오드 모두에서 높은 피크 전류와 함께 훨씬 더 큰 트랜스포머의 크기(및 비용)를 필요로 한다.

세 번째 타입은 히스테리틱 컨버터(hysteretic converter)인데 여기에 요구되는 에너지 공급을 위하여 스위칭 주파수를 변조(더 많은 전력을 전달하려면 더 높은 주파수로)함으로써 고정된 1차 피크 전류에서 전력 전달이 이루어지도록 한다. 이 솔루션은 PWM 기법에서와 같이 전력 MOSFET의 스위칭을 콘트롤하지 않으며(스위칭 손실을 줄이기 위해 가장 낮은 밸리에서 스위치를 전환시키는) 밸리 스위칭 동작이 불가능하다.

이 글의 주된 주제는 QR 플라이백 컨버터의 피크 전력 용량에 관한 것인데 이 타입의 컨버터 동작의 자세한 분석을 통해 특히 이 컨버터가 피크 전력 요건에 어떻게 대응하는 지 살펴해보도록 하겠다.

높은 피크 전력을 갖는 QR 플라이백 컨버터의 세부 동작

전통적인 PWM 컨버터와 달리 이 컨버터는 드레인-소스 전압이 정확히 최소가 되는 지점에서 MOSFET를 on

상태로 만들기 위하여 가변 스위칭 주파수를 가지고 작업한다(그림 1). 이는 당연히 전자기 간섭과 스위칭 손실을 줄여준다.

출력 전력이 낮은 경우, 밸리 스위칭 동작을 유지한다는 것은 온타임(on-time)이 줄어들 때 스위칭 주파수가 더 높아짐을 의미한

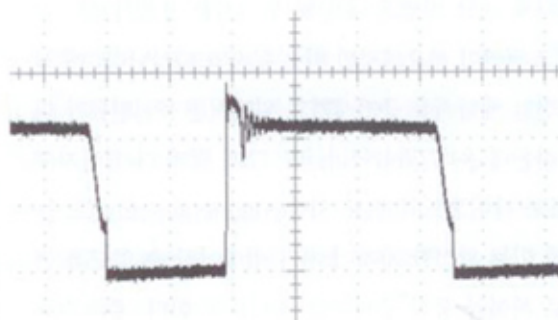


그림 1. 최소 전압 스위칭 동작을 갖는 준공진 플라이백의 전형적인 드레인 소스 전압

다. 이는 다시 매 사이클 별로 1차 측에서 2차 측으로 전달되는 에너지를 요구되는 한계 이하로 제한하기 위하여 더 짧은 온타임(및 기타)을 요구한다.

스위칭 주파수 범위를 제한하기 위하여 새로운 솔루션들이 개발되었는데 이들은 클램프가 최소 온타임과 최대 스위칭 주파수 모두를 컨트롤한다. 최소 드레인-소스 전압 스위칭을 확실하게 하면서

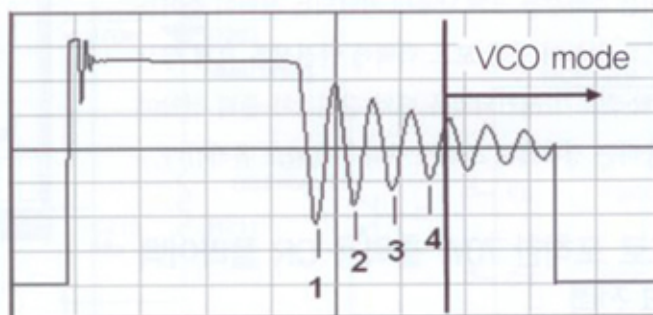


그림 2. 밸리 스위칭 및 밸리 록아웃 동작을 갖는 준공진 플라이백 컨버터의 드레인-소스 전압(전달되는 에너지가 감소하는 동안의 첫 번째 밸리에서 네 번째 밸리 사이 구간 그리고 VCO 모드)

QR 동작을 유지시키기 위해 혁신적인 밸리 록아웃(valley-lockout) 솔루션이 개발되었다. 밸리 록아웃 솔루션은 네 번째 밸리까지 이용할 수 있으며, VCO 모드 위에서는 가변 주파수 모드로 토글링한다(그림 2). 이것은 온세미컨덕터의 NCP1379/1380에 의해 입증된 바와 같이 뛰어난 경부하 성능 및 대기 전력 성능을 보장해준다.

이 에너지 전달 방법은 유망해 보이지만 불행하게도 더 높은 피크 전력이 필요해지면 바로 문제가 나타난다. 매 사이클의 전달 에너지를 증가시키기 위해서는 1차 전류가 더 커져야 하는데 온타임(on-time)도 그에 맞게 더 길어져야 한다. 보조 다이오드의 전도 시간(conduction time)도 늘어나는데 이는 완전한 자기 소거가 이루어질 수 있도록 컨트roller로 하여금 동작 주파수를 줄이도록 한다. 주파수는 더 낮아지지만 매 사이클의 에너지가 증가해야 하기 때문에 이로써 스위칭 주파수는 더 낮아진다. 트랜스포머의 자기를 완전하게 소거시키는데 필요한 이 “더블” 효과는 컨버터가 주파수를 크게 낮추도록 하여 피크 전력 범위를 받아들리게 한다. 그래서 트랜스포머는 매 사이클마다 저장될 더 높은 에너지를 받아들일 수 있도록 설계되어야 한다. 높은 피크 전력으로 동작하는 QR 플라이백 컨버터를 지원하려면 과도하게 큰 트랜스포머가 필요할 것이다.

위의 동작은 고전력에서 문제를 만들지만, 2차 출력이 그라운드에 단락되었을 때는 그러한 동작이 오히려 이점이 된다. 단락 회로가 존재하면 자기 소거에 더 오랜 시간이 걸리는데 이는 주파수를 크게 낮추어 전달되는 전력이 줄어들게 한다. 그러나 이 동작 모드 덕분에 안전성은 크게 향상된다. 단락 회로가 제거되었을 때와 같이 2차 출력 전압이 다시 상승하는 경우에는 스위칭 주파수가 바로 올라간다.

스코프로 포착한 70W 출력용 QR 플라이백의 피크 전력

녹색: MOSFET 전류 $I_D(t)$ 0.5 A / div,

황색: MOSFET 전압 $V_{DS}(t)$ 100 V/div,

시간 = 5 μ s/div

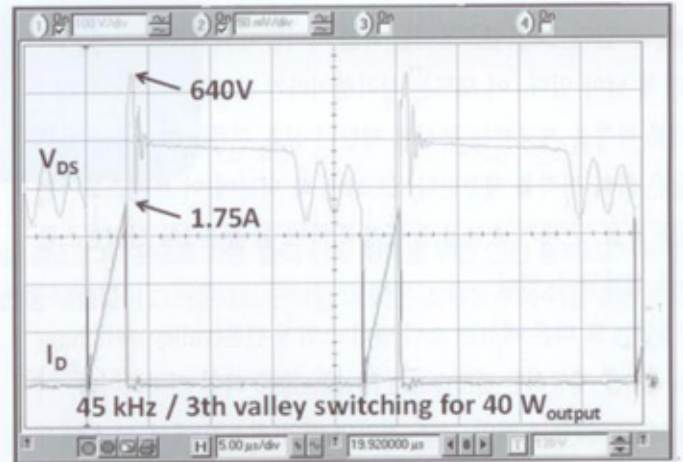


그림 3. 중간 전력의 QR 플라이백

테스트 조건: 395V_{dc}의 공급 전압 그리고 $P_{out} = 40W$

$I_{D,max} = 45kHz$ 에서 1.75 A 스위칭은 NCP1379의 밸리 록아웃 기능 덕분에 3rd 밸리에서 일어남.

$V_{DS,max} = 640V$

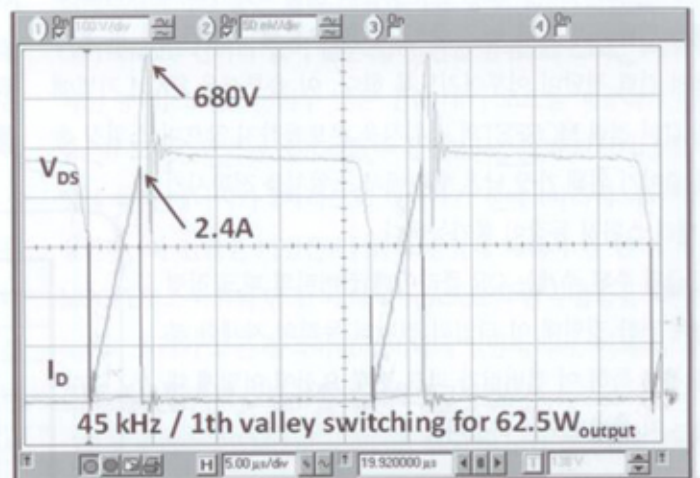


그림 4. 고전력 QR 플라이백

테스트 조건: 395V_{dc}의 공급 전압 그리고 $P_{out} = 62.5W$

$I_{D,max} = 45kHz$ 에서 2.4 A 전통적 QR 모드에서 스위칭은 1st 밸리에

서 일어남.

$$V_{DS,max} = 680V$$

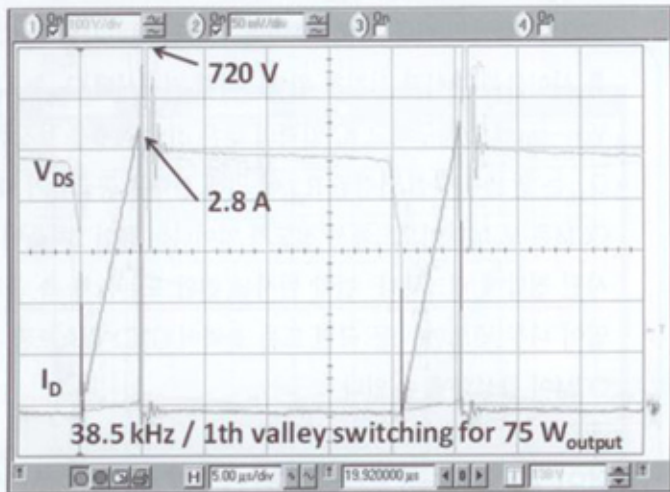


그림 5. QR 플라이백의 피크 전력

테스트 조건: 395Vdc의 공급 전압 그리고 $P_{Out} = 75W$

I_{Dmax} = 더 높은 1차 전류와 더 높은 전력을 전달할 수 있도록 38.5kHz로 줄어든 주파수에서 2.8A 트랜스포머의 포화로 전류는 3A 미만이다.

$$V_{DS,max} = 720V \text{ (MOSFET의 } 800V \text{ 한계 아래)}$$

위의 오실로스코프 스크린샷은 39kHz의 낮은 스위칭 주파수에서 최대 70W인 QR 플라이백 설계의 전력 용량을 확인시켜 준다.

피크 전력 범위를 특징으로 하는 새로운 솔루션

이제부터는 QR 동작 플라이백 컨버터의 모든 장점을 가지고 있으면서도 과도하게 큰 부품 없이 더 높은 피크 전력 용량을 제공하는 새로운 전력 변환 솔루션을 정의하고자 한다.

a) 공칭 전력 및 평균 전력에서 낮은 EMI와 더 낮은 스위칭

손실의 혜택을 모두 얻기 위해 QR 동작을 유지한다.

b) 주파수 감쇠 및 트랜스포머의 크기가 과도하게 커지는 것을 피하기 위해 높은 전력에서 CCM을 이용한다.

c) QR 출력 단락 회로 동작과 뛰어난 안전 성능을 유지한다.

더 높은 피크 전력의 CCM 모드 QR 플라이백

NCP1380 컨트롤러의 무전류 탐지(Zero Current Detection) 섹션의 동작 원리가 그림 6에 나와있다. 컨트롤러는 ZCD 입력에 걸리는 보조 권선 전압을 가지고 에너지 전달의 종료를 조절할 수 있다. 여기서, MOSFET의 온타임 동안 NCP1379의 과전력 보상을 위해 다이오드 D_{203} 와 R_{206} 가 부가적으로 사용되었다.

이 회로는 높은 피크 전력 수요 발생 시 CCM 동작이 가능하도록 수정되어야 한다. 주어진 값보다 큰 전달 시간으로 설명할 수 있는 정의된 전력에 걸쳐 트랜스포머의 자기가 완전히 소거되지 않도록 부가적인 트랜지스터가 추가되었다. 이 트랜지스터는 그림 6에 Q206으로 나와 있는데 이로 인해 자기 소

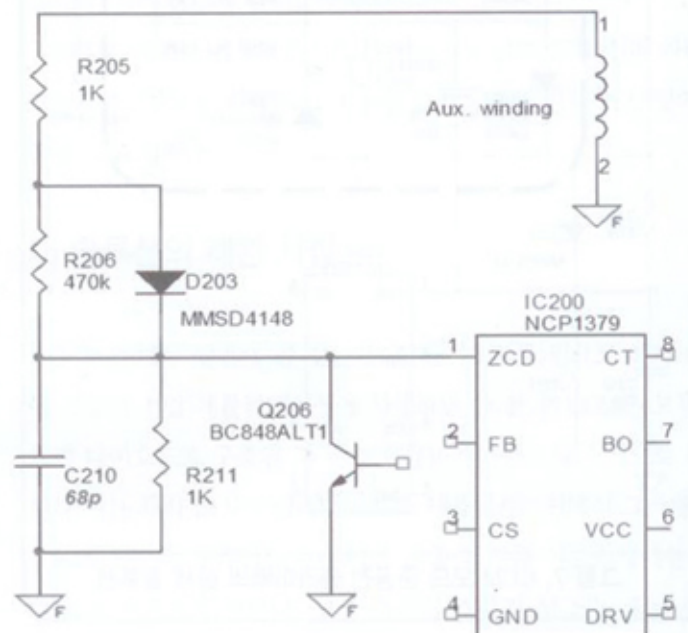
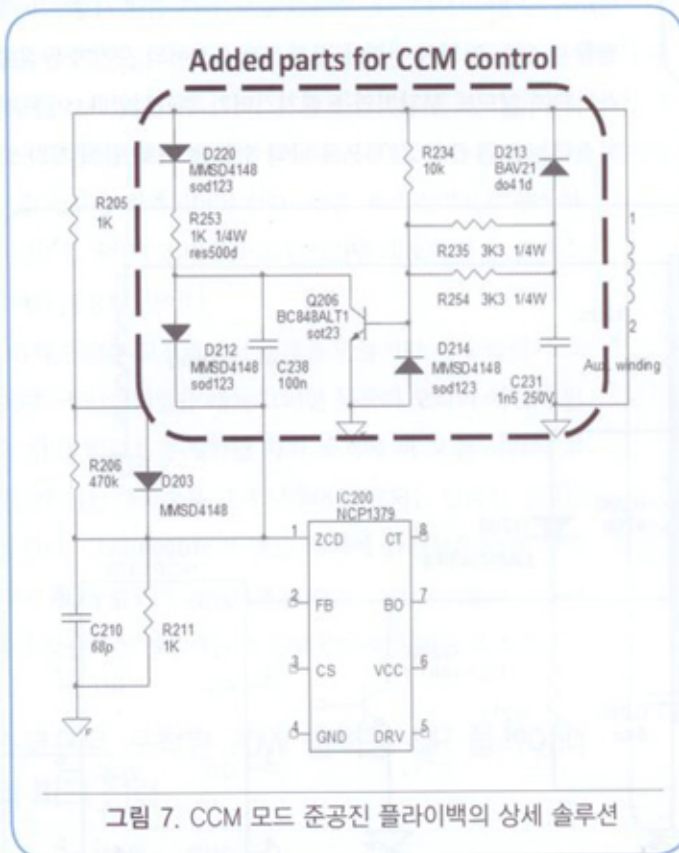


그림 6. CCM 모드 준공진 플라이백의 원리

거가 완전히 이루어지지 않은 동안 영전류 탐지 기능이 컨트롤러를 재시동시킨다. 또한 원래 뛰어난 QR의 안전 동작 덕분에 여러 부품들이 과도한 스트레스를 받거나 크기가 과도하게 커지지 않도록 평균 전력, 시동 국면, 그라운드로 가는 출력 단락 회로에 대하여 ZCD로 자기 소거를 완전히 제어할 수 있도록 해야 한다. 이것은 2차 출력 전압의 완벽한 이미지를 제공하는 보조 권선 상의 반사 전압을 조절함으로써 이루어진다.

고전력에서 CCM을 사용할 수 있게 해주는 추가 회로

원리: 전력이 주어진 한계를 넘어가면 CCM을 허용하면서 QR ZCD를 실행 금지시킨다



- C_{231} 은 1차 스위치에서 전도가 일어나는 동안 공급 전압에 비례하는 음의 전압으로 충전된다.

- R_{235} 와 R_{254} 는 C_{231} 과 결합하여 지연 시간 T 를 설정하고, 트랜지스터 Q_{206} 는 회로를 ON으로 전환시키기 위한 스위치이다(간단한 타이머).
- 정의된 시간 T 에 걸쳐 Q_{206} 는 ON으로 스위칭되어 ZCD 핀 1을 GND로 끌어 내린다(트랜스포머에 저장된 에너지를 가지고 다음 사이클을 재시작시키기 위해). 직렬 커패시터 C_{238} 는 Q_{206} 의 V_{ce-sat} 에도 불구하고 IC 입력의 낮은 전압 레벨을 보장한다.
- Q_{206} 는 권선에 직접 연결된 R_{234} 에 의해 전력을 공급받기 때문에 CCM은 보조 다이오드에서 전도가 일어나는 동안 2차측에서 반사된 전압에 링크된다. 만약 반사된 전압 또는 2차 측 출력 전압이 너무 낮으면(시동 국면 또는 출력이 GND에 쇼트된 경우) CCM이 활성화될 수 없다.

이전의 70 W 출력 설계를 전치 PFC로 수정한 설계를 위한 CCM QR 플라이백 컨버터 피크 전력의 오실로스코프 스크린샷

녹색: MOSFET 전류 $I_D(t)$ 0.5 A / div,
 황색: MOSFET 전압 $V_{DS}(t)$ 100 V/div,
 시간 = 5 μ s/div

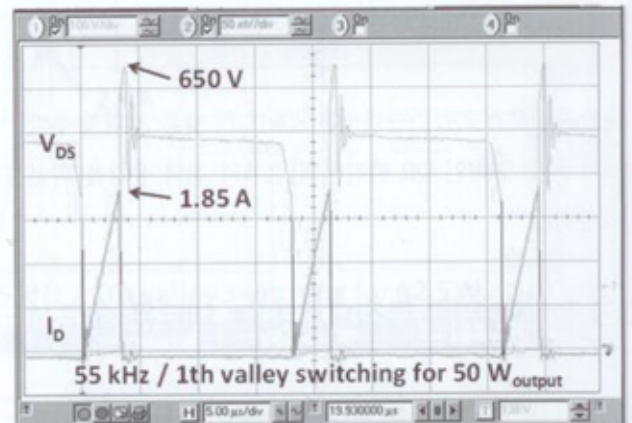


그림 8. CCM에 한정된 중간 전력 QR 플라이백

테스트 조건 395V_{dc} 공급 전압 그리고 $P_{out} = 50W$.

55kHz에서 1.85A Max. 전통적 QR 모드에서 첫 번째 밸리에 의해 스위칭 행동은 더 적은 전력에 대해 밸리 록아웃했던 이전의 테스트에서와 동일하다.

$V_{Max} = 650V$

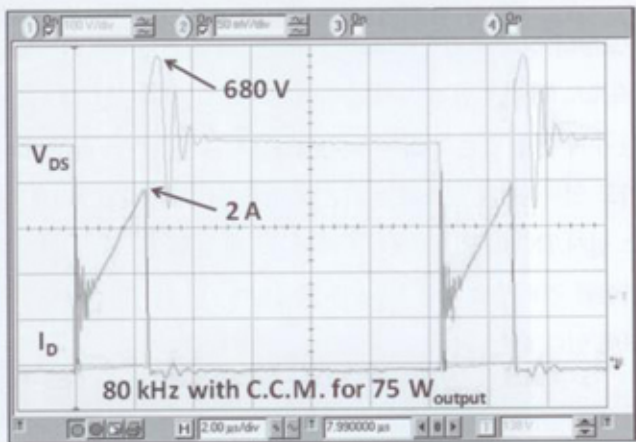


그림 9. CCM에서의 고전력 QR 플라이백

테스트 조건 395Vdc 공급 전압 그리고 $P_{Out} = 75W$

더 높은 주 전류/MOSFET 전류 없이 더 높은 전력을 전달할 수 있도록 80kHz로 늘어난 주파수와 CCM 이용 시 2A Max.

$V_{Max} = 680V$

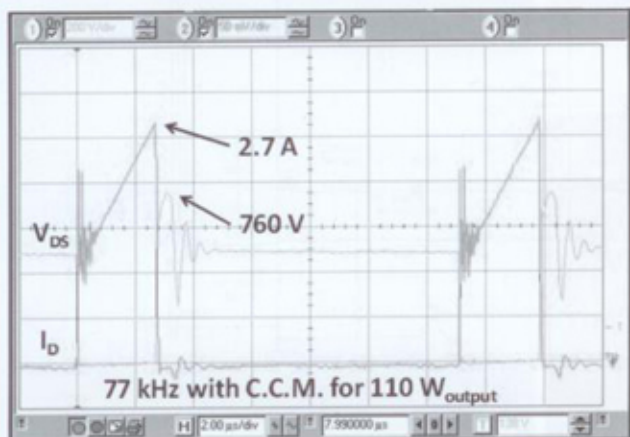


그림 10. CCM에서의 피크 전력 QR 플라이백

테스트 조건 395V_{dc} 공급 전압 그리고 $P_{Out} = 110W$

더 높은 전력이 전달될 수 있도록(longer ton) 77kHz로 낮춘 주파수와 CCM에서 2.7A Max. 전류는 트랜스포머 포화 시의 3A 미만이다.

이것은 오리지널 QR 모드에서 불과 70W를 위한 39kHz에 의한 2.8A와 비교되어야 한다.

$V_{Max} = 760V$ (MOSFET의 최대 드레인-소스 전압 800V 아래)

이 새로운 솔루션은 QR의 모든 공칭 부하와 안전 동작의 장점들을 그대로 가지고 있으면서도 전체 부품들(주로 트랜스포머)의 크기나 비용을 증가시키지 않고 전력 용량을 약 50% 정도 증가시킬 수 있게 해준다.

전치 PFC 없는 CCM QR 플라이백

전력 용량은 낮은 주전원 서플라이에서 줄어든다. CCM 타이머에 의해 더 짧은 오프타임 콘트롤에도 불구하고(반사된 음 전압은 공급 전압에 비례하며, 주전원의 입력값이 낮을 때 더 작아진다), 더 낮은 주전원 서플라이에서 더 커진 온타임(MOSFET에서 동일한 드레인 전류를 얻기 위한) 기능은 스위칭 주파수에 큰 영향을 미치지 않으며, 전력 용량을 줄어든다.

또한 이 새로운 솔루션은 PFC가 사용되지 않는 75W 한계 아래의 애플리케이션들을 위해 피크 전력을 올리기 위해 전치 PFC 없이 사용될 수도 있다.

이 솔루션의 제한 사항

CCM은 매우 낮은 t_{rr} 을 갖는 보조 다이오드를 필요로 하기 때문에 고출력 전압 애플리케이션에 사용하면 안 된다. CCM은 보통 쇼트키 다이오드로 구축된 저 전압 애플리케이션($< 30 V_{dc}$)으로 제한된다(이는 특히 19 V 어댑터나 프린터 애플리케이션에서 그러하다).

보조 동기식 정류기로 이루어진 고출력 전류 애플리케이션에는 CCM을 사용하기 어렵다. 보조 동기식 정류기 MOS는 회로 단락의 방지를 위해서 새로운 사이클 전에 이 양방향 스위치를 이용하여 OFF로 스위칭되어야 한다. 트랜스포머 1차측에 매우 높은 전류가 걸리면 1차측 과전류 제한 기능이 활성화되어 파워 서플라이가 멈춘다.

결론

높은 피크 전력을 갖는 QR 플라이백 컨버터를 이용하는 이 새로운 솔루션은 표준형 QR 플라이백 컨버터에 비해 약 50% 늘어난 전력 용량을 제공한다. 피크 전력을 위한 CCM 설계는 과도한 크기의 트랜스포머, MOS 그리고 2차 다이오드를 피한다. 이제 평균 전력에 대해 최적화된 이 설계는 공칭 전력에 대한 QR 솔루션의 모든 장점이 유지되면서도 트랜스포머의 인덕턴스가 증가한 덕분에 향상된 저전력 성능과 대기 성능을 가지면서도 더욱 소형화될 수 있다.

(PFC를 사용하지 않는) 75W 이하의 애플리케이션들을 위한 증가된 피크 전력 용량은 최신의 컴퓨터, 게임 스테이션, 프린터 등에 사

용되는 QR 플라이백 어댑터의 크기와 비용을 줄이게 한다. 최소한의 저렴한 부품들을 가지고 쉽게 설계할 수 있는 이 솔루션은 향상된 저전력 성능을 위해 밸리 록아웃(valley lock-out) 기능까지 제공하는 온세미컨덕터의 NCP1379 / 1380를 통해 입증되어 왔다.

PWM(CCM을 이용한 더 높은 피크 전력 용량)과 QR(EMI 및 스위칭 손실 감소, 그라운드로 가는 출력 단락 회로를 위한 안전 동작) 모두의 장점을 결합한 QR 플라이백 파워 컨버터용 CCM은 빠른 속도로 뛰어난 안전 동작(출력이 그라운드로 단락된 더 낮은 스위칭 주파수)을 갖는 미래형 제품에 선호되는 플라이백 솔루션이 되어가고 있다. 전체 테스트는 기존의 온세미컨덕터 그린포인트 레퍼런스 설계 TND401/D 상에서 이루어졌으며 70W 용으로 설계된 QR 플라이백 컨버터로 최대 110W를 제공했다. 더 자세한 정보는 아래 링크에 있다. €

