

# PFC 부스트 전원단의 인터리빙

Steve Mappus, Systems Engineer, Fairchild Semiconductor, High Power Solutions, Bedford, NH

절연 및 비절연 전원단의 인터리빙 방식은 전원 공급 장치 디자인에서 잘 알려져 있는 기술이다. 지금까지 가장 널리 적용된 인터리빙 토폴로지는 다중 위상 벡으로, 현재의 고성능 마이크로프로세서와 디지털 신호 프로세서의 빠른 부하 변화를 충족시키기 위해 사용되는 전원 아키텍처로 흔히 선택된다.

인터리빙 방식을 다수의 동기식 벡 전원단에 적용하면 부하에 공급될 수 있는 전력의 양이 증가하며 동시에 필요한 입력 및 출력 커패시턴스도 감소시킬 수 있다. 또한 인터리빙 방식이 적용된 동기식 벡의 각 위상에 사용된 출력 인덕터가 더욱 소형화될 수 있는데, 이는 출력 커패시터에서 나타나는 리플 전류 제거 효과 때문이다. 인터리빙 방식을 사용하면 컨버터 디자인에 더 작은 인덕터를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 출력 커패시턴스도 낮아져서 300A/us의 높은 고속 과도 조건을 충족시킬 수 있다.

인터리빙 방식을 사용하는 이유는 동기식 벡과 전혀 다르지만, 인터리빙 방식의 역률 개선(PFC) 승압 전원단은 동일한 원칙의 많은 장점을 이용할 수 있다. 일차적으로 인덕터 전류에 의한 PFC 승압은 연속모드(CCM), 경계 모드(CRM), 불연속 모드(DCM) 등 3종류의 동작 모드로 분류할 수 있다.

일반적인 지침에서 단일 위상만으로 동작할 경우, 400W 이상의 고전력 애플리케이션에 대해서는 CCM PFC를 선택한다. CCM PFC는 고정 주파수, 평균 전류모드, 펄스폭 변조(PWM) 컨트롤을 사용하여 동작하는데, 여기서 평균 입력 전류는 정류된 AC의 전압에 비례하게 된다.

전체 AC의 사이클에 대해 입력 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 CCM으로 동작하는 PFC 승압 단계에서 피크 전류가 낮

은 고 출력 애플리케이션에 적합한 대형 인덕터가 필요하다. 비록 피크 리플 전류가 낮다고는 하지만 CCM PFC가 하드 스위칭 컨버터로 동작하기 때문에 출력 정류기에서의 스위칭 손실이 크고, 역 회복 손실도 상당하다는 점에 주목해야 한다. 그러나 연속 입력 전류를 채택할 경우 고조파 왜곡 감소에 필요한 입력 측의 EMI 필터 디자인이 용이해진다.

CRM은 DCM과 CCM 모드 동작 사이의 제로 크로싱 경계부에서 동작하는 FOT, 가변 주파수 컨트롤 기술을 사용한다. 유사한 전력 수준에서 CCM 동작과 비교해보면 CRM은 약 400W까지의 애플리케이션에 대해 몇 가지 바람직한 장점을 제공한다.

승압 인덕터 전류가 각 스위칭 사이클 시작 전에 항상 0으로 복귀하므로, 메인 MOSFET은 영전류 스위칭 조건 하에서 켜지는데, 이 때 출력 다이오드는 영전류 스위칭 하에서 꺼진다. 출력 정류기가 영전류에서 꺼질 경우 특히 좋은 점이 있는데, 이 경우에는 역 회복과 관련된 손실을 최소화함으로써 가격이 낮은 출력 정류다이오드를 사용할 수 있다.

높은 인덕터 리플 전류는 증가된 MOSFET OFF 손실을 비용으로 하여 인덕터가 보다 작아지고 큰 EMI 필터가 요구된다. CRM 컨트롤이 인터리빙 PFC 전원공급장치에 적용되면 기본적으로 단상 디자인의 높은 피크 인덕터 전류와 관련된 한계를 다소 극복할 수 있다. 이러한 한계 극복은 전력 수준이 1kW에 근접하거나 그 이상으로 증가될 수 있으며 EMI 필터의 크기를 줄일 수 있고, 한편으로 CRM의 장점을 그대로 살릴 수도 있다.

둘 혹은 그 이상의 PFC 승압 전원단 인터리빙은 앞에서 언급한 PFC 동작 모드를 이용하여 실행할 수 있다.

그림 1의 예는 DC 입력, 2상 인터리빙 승압 컨버터로서  $\phi 1$ 과  $\phi 2$  등 2개의 개별 승압 전원단을 사용하고 있다. PWM1과 PWM2에 표시되어 있는 바와 같이, 각각의 전원단은 고정 PWM 주파수에서  $180^\circ$  위상차로 동작한다.

그러나 피크 대 피크 리플 전류  $I_{IN}$ 과  $I_{OUT}$ 은 PWM 주파수의 2배 주파수에서 효율적으로 스위칭하고 있는데, 그 이유는  $I_{IN} = I_{L1} + I_{L2}$ 와  $I_{OUT} = I_{\phi 1} + I_{\phi 2}$ 이기 때문이다.

최대 리플 전류 제거는 듀티 사이클 D가 그림 1과 같이  $D=0$ ,  $D=1$  또는  $D=0.5$ 로 고정될 때 이루어진다.  $D=0.5$ 일 때  $I_{IN}$  AC 리플 전류는 이상적으로는  $0A_{PP}$ 이며  $I_{OUT}$  AC 리플 전류는 최소한 D1과 D2를 통해 흐르는 AC 전류의 합까지 감소된다. 그림 1의  $D=0.75$ 와  $D=0.25$ 인 경우에서도 여전히 더 낮은 리플 전류 감소가 이루어지는데, 이는 단상 디자인과 비교할 때 50% 더 양호한 것이다. 그리고 출력 AC 리플 전류가 출력 커패시터를 통해 흐르므로 모든 전류 감소는 이상적으로 전력 소모 절감의 형태로 실현되는데, 그 이유는  $I_{OUT}^2 \times R_{ESR}$ 이기 때문이다.

인터리빙이 적용된 동기식 벡 컨버터에서 입력과 출력 전압은 상대적으로 고정되는데, 이는 듀티 사이클의 변화가 없다는 것을 의미한다. 주파수가 효율적으로 증가 및 감소된 RMS 리플 전류는 다중 위상의 벡 컨버터에서  $C_{IN}$ 과  $C_{OUT}$ 에 사용할 수 있는 커패시터의 값이 더 낮아지지만, 인터리빙이 적용된 PFC 승압에 있어서는 고려해야 할 사항이 전혀 다르다.

PFC 승압 애플리케이션에서는 AC 라인 전압이 변하며 출력 전압은 설정된 DC 전압이므로 듀티 사이클이 지속적으로 변하는데, 이는 리플 전류 제거의 양 역시 각 회선 사이클 내에서 변한다는 것을 의미한다. 평균 RMS 전류가 감소하더라도 대부분의 PFC 애플리케이션에서 출력 커패시터는 하나 혹은 그 이상의 AC가 인가되지 않고 출력 전압이 조절될 수 있는 최소 DC 전압 값의 Hold up Time 조건에 따라 선택된다.

그러므로 발생하는 리플 전류 제거의 양에 관계없이, 출력 커패시터에 있어서는 에너지 저장을 일차적으로 고려해야 한다. 특정 단상 PFC 애플리케이션에서 필요로 하는  $C_{OUT}$  값은 RMS 리플 전류 정격에 맞추기 위해 다수의 병렬 커패시터를 필요로 한다는 의미이다. 이러한 예외적인 경우로, 인터리빙 기술의 장점을 통해 커패시터를 한 개 덜 사용할 수 있는 경우도 있다.

PFC 전력 공급장치 및 EMI 필터로 크기가 작고 높이가 낮은 인덕터를 사용할 수 있다는 것도 인터리빙 기술의 장점에 포함되는데, 이는 평판 TV와 모니터 등과 같이 공간을 고려해야 하는 애플리케이션에 있어서는 매우 중요하다. 또한 전류를 병렬의 두 위상이 공유하므로 전도 손실이 낮고 전력 소모가 보다 넓은 면적에 퍼져 냉각에 필요한 냉각체(Thermal Mass)를 감소시킬 수 있다.

전도 손실이 낮아지면 최대 부하 효율 증가에 도움이 되지만, 추가 MOSFET과 출력 다이오드가 주파수 관련 스위칭 손실을

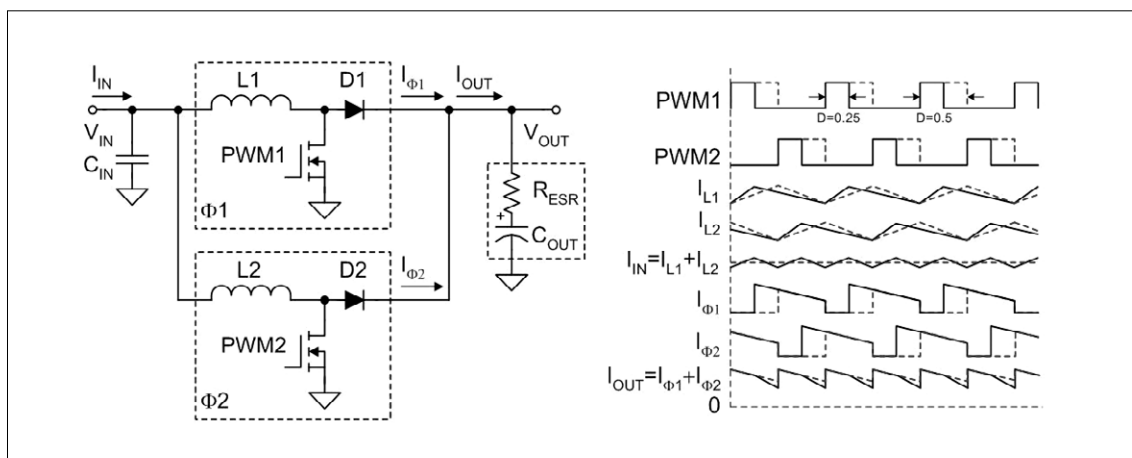



그림 1. 2상 CCM 인터리빙 PFC 파형

증가시켜 경부하 효율을 감소시킨다. 경부하 효율이 문제가 되는 애플리케이션에 있어서는 위상 분배(Phase Shedding)가 구현될 수도 있다. 위상 분배란 본래 다중 위상의 동기식 벽 컨버터에 적용되는 기술이다. 전도 손실을 극복하기 위해 스위칭 손실이 시작되는 점까지 부하 전류가 감소하면 추가 위상이 소용없어져 모든 위상이 동작 중일 때 나타나는 누적 스위칭 손실을 최소화한다.

PFC 인터리빙의 인기는 보다 높은 효율에 대한 필요에 의해 높아져 왔고, 이러한 애플리케이션을 목표로 하여 최근 소개된 몇 가지 아날로그 IC의 도움으로 고밀도 전력과 보다 우수한 EMI 특성이 소개된 데 힘입어 널리 보급되었다.

복잡한 시스템 요구조건의 다양화 역시 아날로그 PFC 컨트롤러를 사용하여 효율과 성능을 최적화하는 흥미 있는 과제를 제시하고 있다. 높은 전력 수준의 인터리빙 전원단은 결코 사소한 디자인 업무가 아니다. 특히 시동, 셧다운, 넓은 입력 범위, 오류 보호 및 복구 등의 복합적인 동작 모드를 고려할 때에는 더욱 그러하다. 그러므로 특정 애플리케이션에 있어서 디지털 제어 방식의 프로그램 가능한 기능성과 융통성 역시 고려되어야 한다.

인터리빙 기술의 수준이 높아지는 동안 시장에서 폭넓게 수용되도록 하기 위해서는, 정확한 사양과 함께 최상의 전반적인 제어 솔루션을 제공해야 하며 그것은 IC 제조사들의 몫이라 할 수 있다. 

악인의 지혜

## 끈기 있게 반복하면 상대방도 결국은 넘어온다

주택 개조, 선물거래, 화장품, 에어컨 클리닝, 인터넷 서비스 등 전화를 통한 영업은 업종을 가리지 않는다. 똑같은 회사의 똑같은 사람이 전화를 걸어올 때도 있기는 하지만, 개중에는 시도 때도 없이 연일 전화를 걸어 끈질기게 매달리는 사람도 있다. 특히 금융 계통이나 선물거래 같은 업종에서 그런 경향이 크다. 아침 8시와 저녁 8시, 사람이 틀림없이 집에 있을 만한 시간을 노려서 전화를 해댄다. 이처럼 단기간에 집중적으로 전화를 해야하는 영업은 분명 '최면효과'를 노리고 있음이 틀림없다. 방문판매의 경우도 마찬가지이다. 아예 구매할 마음이 전혀 없었는데 판매사원의 열정적인 설득에 넘어가 무심코 사버릴 때가 있다.

어째서 이런 일이 일어나는 것일까. 예를 들어, 설득 당하고 있는 중에는 동조하지 않아도 시간이 조금 흐른 뒤에 상대방의 말에 찬동하게 되는 경우가 있다. 이것을 심리학에서는 '최면효과'라 부른다. 이 효과는 자신을 설득하는 상대방을 신뢰하고 있지 않은 경우에 잘 생긴다. 예를 들어, 예고 없이 불쑥 찾아오는 방문판매의 경우가 그렇다.

일반적으로 처음 설득 당할 때 그 사람은 상대방에 대한 신뢰감이 전혀 없는 상태이다. 이런 사람을 열심히 설득하려고 하면 오히려 반

발심이 일어 경직된 태도를 보인다. 그러나 시간이 지나면 자신을 설득하던 사람의 인상과 그의 의견을 구분해서 생각할 수 있다. 그리고 곧 "그 제품이 의외로 좋을지도 몰라"하는 생각이 머릿속을 파고든다. 역전현상이 일어나는 것이다. 그 결과, 그 사람은 다시 판매원이 찾아왔을 때 순순히 상품을 구입하기에 이른다.

다른 예를 들자면, 누구나 똑같은 얘기를 몇 번씩 반복해서 들으면 어느새 '그게 옳은 것'이라는 생각이 자리를 잡기 시작한다. 따라서 누군가를 세뇌시켜 당신에게 맞는 사람으로 만들고 싶다면 그 사람에게 항상 자신의 의견이나 생각을 반복해서 이야기하고 들려주는 것이 좋다. 한편 당신과 가까운 사람일수록 이를 깨닫지 못하고 쉽게 세뇌당하는 경향이 있다.

오래된 부부가 서로 마음이 잘 맞는 이유는 오랜 세월 동안 자신의 생각을 자연스럽게 서로의 머릿속에 입력해 넣은 결과인 것이다.

「악인의 지혜」 中 발췌  
 카도 아키오 저/김선민 역/  
 (주)황금부엉이/312쪽/9,500원/  
[www.cyber.co.kr](http://www.cyber.co.kr)