



인덕션 쿠키 내부의 IGBT 성능 최대화

글: 앨런 볼(Alan Ball), 온세미컨덕터
www.onsemi.com

인덕션 쿠키가 현재 우리 가정에서 찾아볼 수 있는 가스쿠키와 전기 쿠키들을 쉽게 대체할 수 없는 몇 가지 문제들이 있다. 인덕션 쿠키 설계에 채용되는 IGBT(insulated gate bipolar transistor) 소자는 특히 높은 전력 레벨에서 동작할 때 상당한 전력을 소비한다. 이 소자들의 접합 온도가 제조사의 데이터시트에 나와 있는 최대 수치보다 높아지는 것을 방지하기 위해서는 설계에 큰 방열 구조물을 포함시킬 필요가 있다.

인덕션 쿠키가 가정의 주방과 영업장 주방 모두에서 점점 더 많은 인기를 끌고 있다. 전자기파를 통한 에너지 전달로 조리 기구를 가열하는 이 기구는 여러 가지 이유로 매력적인 전망을 제시한다. 우선, 이 제품은 전통적인 전기 쿠키나 가스 쿠키보다 총 파워를 더 적게 소비하고도 더 빠르게 요리를 할 수가 있다. 무엇보다도 이 제품은 반응성이 뛰어나 열 소비 레벨이 정확하고 빠르게 조절되며 열 에너지를 조리 기구 자체에 직접 공급하기 때문에 전통적인 요리 방법보다 훨씬 에너지 효율적이다. 이 기술은 미국에서는 아직 걸음마 단계이지만 다른 많은 나라에서 이미 널리 이용되고 있다. 유럽에서는 여러 구의 버너가 달린 쿡탑이 인기를 끌고 있는 반면 중국에서는 1구짜리 쿡패드가 수백대 팔렸으며, 한국에서는 인덕션 가열 방식의 밥솥이 인기리에 팔리는 추세이다.

그런데 인덕션 쿠키가 현재 우리 가정에서 찾아볼 수 있는 가스쿠키와 전기 쿠키들을 쉽게 대체할 수 없는 몇 가지 문제들이 있다. 인덕션 쿠키 설계에 채용되는 IGBT(insulated gate bipolar transistor) 소자는 특히 높은 전력 레벨에서 동작

할 때 상당한 전력을 소비한다.

이 소자들의 접합 온도가 제조사의 데이터시트에 나와 있는 최대 수치보다 높아지는 것을 방지하기 위해서는 설계에 큰 방열 구조물을 포함시킬 필요가 있다. 그런 방열 구조물들은 쿠키의 전체 생산비용을 더 끌어올린다. 인덕션 쿠키의 가격을 충분히 낮게 유지하고 효율과 신뢰성을 최대화할 수 있다면 인덕션 쿠키 시장이 상당히 빨리 확산될 것이다.

인덕션 조리 도구에 채용되는 IGBT의 효율을 최대화하려면 다음과 같은 몇 가지 파라미터들을 고려해야 한다.

1. **소자의 물리적 속성** - IGBT의 두께 및 다이 크기 등
2. **전기적 속성** - IGBT의 포화 전압, 차단 전압, 스위칭 손실 등

이 서로 다른 파라미터들의 요구 중 어느 하나를 최적화시키려면 또 다른 파라미터의 성능이 어느 정도 희생된다. 그러므로 엔지니어들은 이러한 파라미터들에 수반되는 절충 요소들을 모두 잘 알고 있어야만 한다.

인덕션 쿠키 토폴로지

인덕션 쿠키 설계에 흔히 사용되는 두 가지 토폴로지는 공진 하프 브리지 토폴로지와 준공진 플라이백 토폴로지이다. 그림 1과 그림 2는 이 두 토폴로지의 전력단을 자세히 보여준다. 공진 하프 브리지 토폴로지는 보통 멀티버너 쿡탑에 사용되고, 준공진 플라이백 토폴로지는 보통 1구 쿡패드와 밥솥에 사용되고 있다.

그림 1a에 나와 있는 공진 하프 브리지 토폴지에서 커패시터 C_2 는 완충기의 역할을 한다. 이 커패시터는 턴오프 동안의 콜렉터-에미터 포화 전압(V_{CE}) 상승 비율을 조절해주며 이 시간 동안의 에너지 손실에 영향을 준다. 이 노드에서의 전압 파형이 구형파에 가깝기 때문에 이 커패시터의 값은 이 커패시터의 스파이크 제한 능력과 트랜지스터 스위칭 손실 사이에서 평형을 맞추도록 해야 한다. 그림 1b에 스위칭 파형이 나와 있다. 이 유형의 컨버터는 스위칭 주파수를 변화시켜서 출력 전력을 조절한다. 이는 직렬 공진 회로이며 스위칭 주파수는 가장 낮은 전력 레벨에서 최대값에 있게 된다. 그림 2a를 보면 전류가 정

그림 1a.
인덕션 쿠키 전력단의 공진 하프브리지 토폴로지

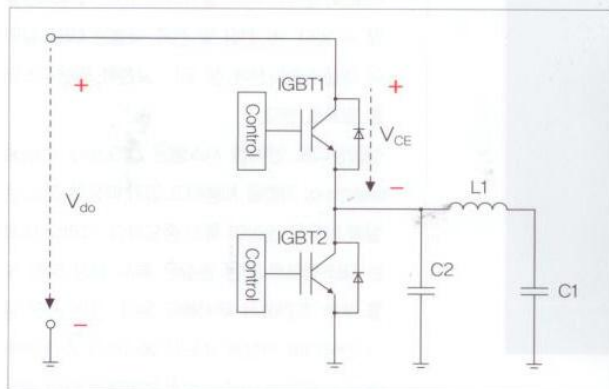
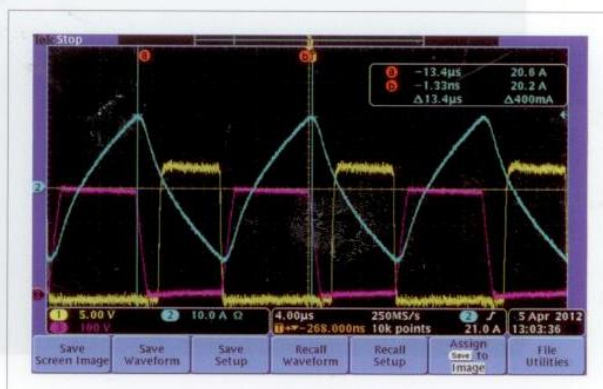


그림 1b.
공진 하프브리지 파형



현파 성분을 가지고 있지만 극성은 파형이 정현파 변환을 끝내기 전에 바뀌는 것을 볼 수 있다. 전류 레벨이 올라갈수록 주파수는 감소하고 전

류 파형의 피크가 증가하여 더 많은 전력이 부하에 전달되며 더 진짜 사인파에 가깝게 움직인다. 전류 공진 사이클에서 양의 기울기 동안에는

IGBT가 동작한다. 전류 공진 사이클에서 음의 기울기 동안에는 IGBT가 동작한다. IGBT의 정격 차단 전압은 보통 600V 정도인데, 이는 이들이 직접 정류된 DC 전압(V_{dc})에 연결되어 있기 때문이다. 이 DC 전압은 240V 시스템에서 피크가 약 340V이다. 모든 유도 전압 스파이크는 IGBT와 함께 패키징된 다이오드에 의해 클램핑된다. 그림 2a는 쿡패드와 밥솔에 사용되는 준공진 플라이백 전력단을 보여준다. IGBT가 on 상태가 되면 그것을 통해서 흐르는 전류와 인덕터를 통해서 흐르는 전류가 선형적으로 증가한다. off 상태가 되면 IGBT의 전류가 소자의 턴오프 속도에 의해 지배되는 하강 시간 동안 떨어져 전류 I_C 를 전체적으로 삼각파형이 되게 한다.

인덕터 내 전류는 L_C 시상수에 기반을 둔 주기를 따라 공진한다. L_C 공진 탱크가 공진할 때 그 양단의 전압은 정현파 형태를 가지므로 V_{ce} 는 턴오프에서 정현파 형태이다. 이 특별한 토폴로지의 공진 전압 진폭은 1000V까지도 될 수 있다. IGBT의 콜렉터가 공진 탱크에 연결되어 있기 때문에 이 토폴로지에 사용된 IGBT의 차단 전압은 보통 1200V 근방이다.

그림 2b는 이 컨버터 유형의 일반적인 스위칭 파형을 보여주는데 이 파형들은 1200W의 전력 레벨에서 수집됐다. 이를 보면 피크 전압이 1000V 바로 아래이고 피크 콜렉터 전류가 약 45A임을 알 수 있다. 이 전압 및 전류 레벨은 IGBT 같이 이 애플리케이션에 잘 맞는 고전력 트랜지스터를 필요로 한다.

싱글엔드 인덕션 시스템은 ZVS(zero voltage switching) 기법을 채용하고 있기 때문에 전도 손실과 턴오프 손실이 특히 중요하다. 그러나 이와는 대조적으로 턴온 손실은 특히 정상 부하 및 풀 부하 조건에서 무시해도 된다. 이는 공진 탱크 인덕터에 저장된 유도성 에너지가 중간 부하에서 고 부하에 이르는 부하 범위에서 IGBT 콜렉

그림 2a.
인덕션 쿡러 전력단의 싱글엔드 토폴로지

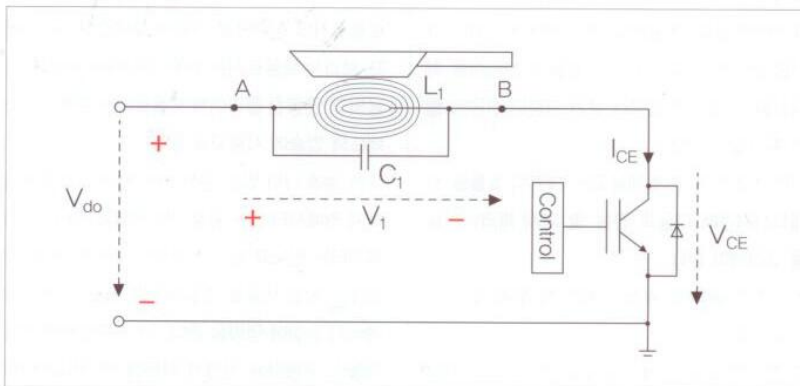
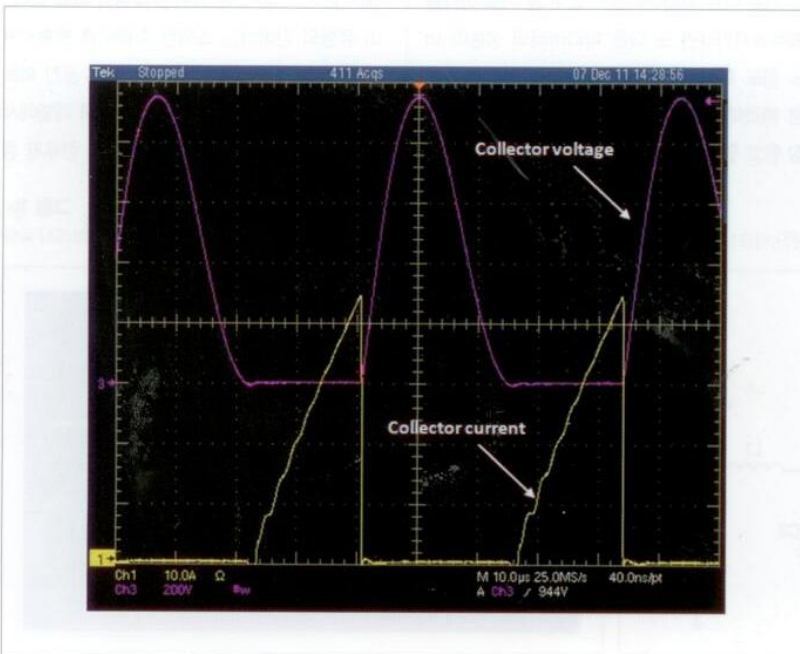


그림 2a.
스위칭 파형의 예



터 전압을 소킹하여 0 또는 음으로 가져가는데 충분하기 때문이다. 이 경우, IGBT와 함께 패키징된 다이오드가 동작해 IGBT 양단의 전압이 음으로 된다. 전력 손실은 전압 및 전류의 곱이기 때문에 IGBT가 on 상태가 되었을 때 손실된 전력은 이 때 매우 작다.

총 전력 손실에 턴온 손실이 기여하는 정도는 부하가 더 가벼울 때 심각해진다. 이런 부하에서 LC 탱크 인덕터는 IGBT가 다시 on 상태가 되기 전에 IGBT의 콜렉터에서 전압을 소킹할 충분한 유도성 에너지를 저장하고 있지 않다. 그러므로 공동 패키징된 다이오드는 전혀 동작하지 않고 턴온 시 IGBT 양단 전압이 더 높아진다. 중간 부하에서 고부하에 이르는 부하 범위에서 총 전력 손실에 주로 기여하는 것은 전도 손실과 턴

오프 손실이다.

NPT(non-punch-through) 기술을 채용한 IGBT에 수반되는 더 높은 포화 전압은 현재 시장에 나와 있는 인덕션 쿠키 시스템에서 높은 전도 손실의 주된 원인이다. 이 손실은 턴오프 손실 및 턴온 손실과 합쳐져 이 종류의 애플리케이션에서 IGBT의 전체 효율에 심각한 영향을 미친다. 이와는 반대로 필드 스톱 기술(field stop technology)의 더 낮은 포화 전압은 전도 손실이 줄여주며 시스템 전력 소모 레벨도 낮추어준다. 더 나아가 이 기술은 드리프트 영역에 남아있는 전하 운반자의 농도를 낮춰서 IGBT 턴오프 동안에 일어나는 손실을 최소화해준다. 온세미컨덕터의 NGTB25N120HLL은 이 기술을 이용해 개발된 IGBT 소자로서 특히 인덕션 히팅 장치에서의

사용에 최적화되어 더 튼튼하고 저비용의 인덕션 쿠키 설계 솔루션을 가능케 한다.

ZVS 기법을 채용한 싱글엔디드 인덕션 쿠키에서 전도 손실과 턴오프 손실은 모두 총 IGBT 전력 손실에 기여한다. $V_{ce(sat)}$ 와 스위칭 속도 사이에서 최적의 절충값을 갖도록 IGBT를 설계함으로써 이 제품에 사용된 IGBT의 효율을 향상시킬 수 있다. 필드 스톱 기술을 기반으로 한 IGBT를 사용하면 더 낮은 포화 전압을 달성하고 도결과적으로 전도 손실을 줄이게 된다. 이에 따라 이러한 소자들이 인덕션 조리 도구를 더욱 정확하고 안정적으로 만들어 주며 그 결과 이 조리 기구들은 글로벌 시장에서 더 널리 사용될 것이다. **E**

EMBEDDED WORLD

테크월드
TECHWORLD

임베디드 산업 정보를 가장 빠르게 접할 수 있는 곳! 임베디드월드

Embedded World는 하드웨어와 소프트웨어를 총 망라한
임베디드 산업 현장의 최신 정보를 독자 여러분께 생생하게 전해 드립니다

임베디드 시스템 엔지니어를 위한 커뮤니티 매거진
www.embeddedworld.co.kr