

해외기사 소개

Basic Switching Cell을 이용한 전력전자 Topology

By Fang Z. Peng, Leon Tolbert, and Faisal Khan

본 글은 2005년 IEEE Power Electronics Educational Workshop에 게재된 Fang, Z. Peng 외 2인 저자의 "Power Electronics' Circuit Topology-the Basic Switching Cells" 를 번역하여 재편집한 내용입니다.

차 현 념

(경북대 에너지공학부 전임강사)

1. 서 론

대부분의 전력전자회로 (DC-DC, DC-AC, AC-DC, AC-AC)는 스위칭 디바이스, 다이오드, 인덕터, 그리고 커패시터로 구성된다. 지금까지 무수히 많은 전력전자 회로들이 개발되었고 다양한 응용분야에 이용 되었다. 본 기사는 P-cell 과 N-cell이라는 basic switching cell의 개념을 도입하여

전력전자에서 주로 사용되는 buck, boost, buck-boost, Cuk DC-DC 컨버터에 대해 토폴로지적인 해석을 하고자 한다.

그림 1은 본 기사에서 소개할 두 개의 basic switching cell 을 나타낸다. 각각의 switching cell은 하나의 스위칭 디바이스와 하나의 다이오드로 구성되어있다. P-cell의 경우 (+)단자에 스위칭 디바이스, (-)단자에 다이오드의 Anode가 연결 되어있고 스위칭 디바이스와 다이오드의 공통단자에 (→)로 표시된 전류원 혹은 인덕터가 연결된다. 반면에 N-cell의 경우 (+)단자에 다이오드의 Cathode, (-)단자에 스위칭 디바이스가 연결되어있고 스위칭 디바이스와 다이오드의 공통단자에 (→)로 표시된 전류원 혹은 인덕터가 연결된다. P-cell의 경우 전류원 혹은 인덕터 전류가 P-cell에서 흘러 나가는 방향이고 N-cell의 경우 전류원 혹은 인덕터 전류가 N-cell 쪽으로 흘러 들어오는 방향이다.

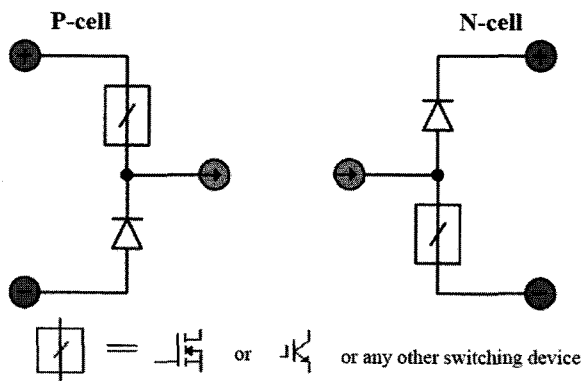


그림 1 기본적인 switching cell: P-cell and N-cell

2. Switching cell을 이용한 DC-DC 컨버터 구성

표 1은 기본적인 4개의 DC-DC 컨버터와 P-cell과 N-cell의 basic switching cell을 이용한 경우의 회로구성을 각각 나타낸다. 표 1의 첫 번째 열은 buck, boost, buck-boost,

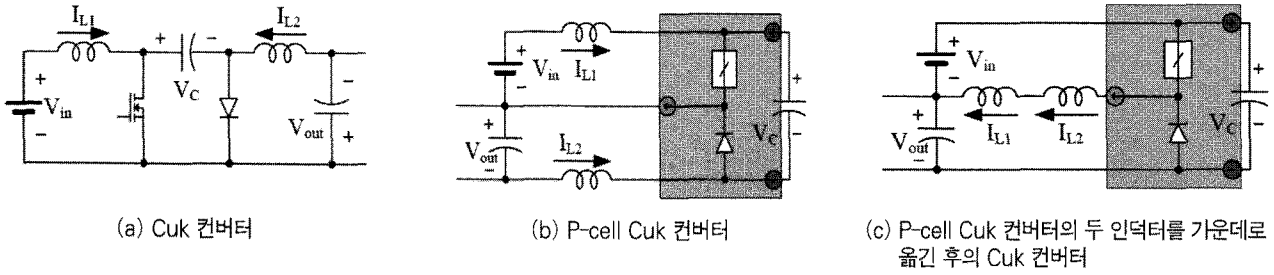


그림 2 Switching cell을 이용한 Cuk 컨버터 변환

표 1 기존의 DC-DC 컨버터와 switching cell을 이용하여 재배치한 DC-DC 컨버터

기본적인 DC-DC 컨버터	Basic switching cell을 이용한 DC-DC 컨버터	
(a) Buck converter	(b) P-cell buck converter	(c) N-cell buck converter
(d) Boost converter	(e) N-cell boost converter	(f) P-cell boost converter
(g) Buck-boost converter	(h) P-cell buck-boost converter	(i) N-cell buck-boost converter
(j) Cuk converter	(k) P-cell Cuk converter	(l) N-cell Cuk converter

Cuk DC-DC 컨버터들의 전통적인 회로구성 방식을 나타낸다. 표 1의 두 번째 열과 세 번째 열은 그림 1에 보인 switching cell을 이용한 각각의 컨버터들을 새롭게 재구성

한 회로도이다.

여기서 눈여겨 볼 점은 기존의 Cuk 컨버터의 경우 buck-boost 컨버터와 회로적으로 많은 차이점을 가진 것처럼 보여

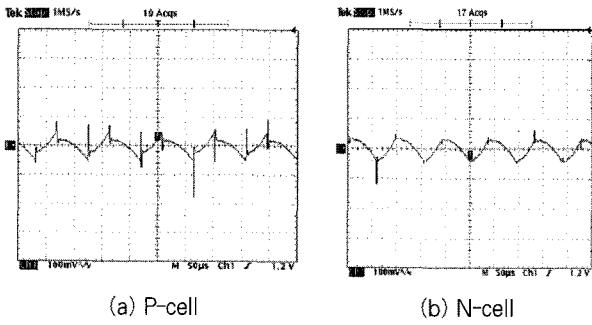


그림 3 Buck 컨버터 출력전압 리플 실험파형 (100 mV/div)

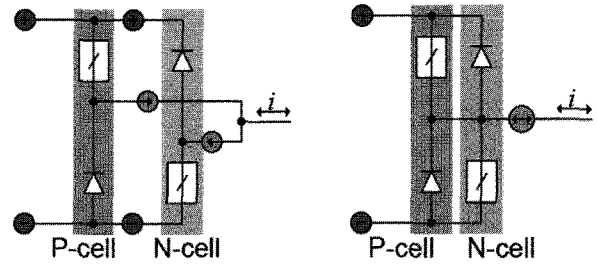


그림 4 P-cell과 N-cell을 병렬 연결한 phase arm

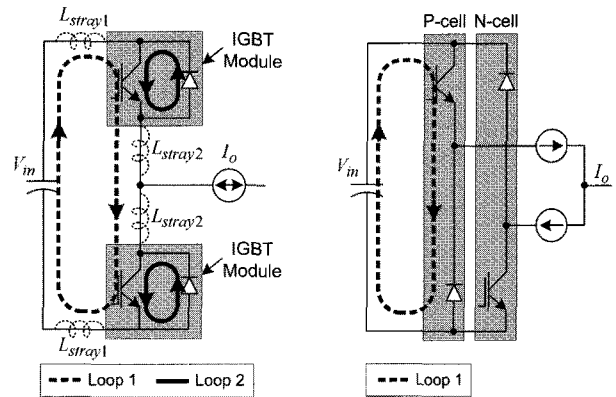
지나 switching cell을 이용한 경우 이 두 회로가 거의 비슷한 구조를 가지고 있다는 것이다. 그림 2는 표 1(k)의 P-cell Cuk 컨버터의 두 인덕터를 가운데로 옮긴 후의 회로도이다. (여기서 두 개의 인덕터는 하나의 인덕터로 통합이 가능하다.) 그림 2 (c)의 Cuk 컨버터와 표 1(h)의 P-cell buck-boost 컨버터는 P-cell에 연결된 커패시터를 제외하고는 거의 동일한 구조를 가지고 있다. Buck-boost 컨버터의 경우 실제 하드웨어 제작시 스위치의 전압 overshoot을 줄이기 위해 커패시터를 추가하므로 이 두 회로는 실제적으로는 거의 동일한 구조를 가지고 있다고 할 수 있다.

또한 표 1에서 보듯이 P-cell 컨버터들보다 N-cell 컨버터들이 입력전압과 스위칭 소자가 ground를 공유하므로 게이트 드라이브 회로 구성이 상대적으로 용이하다. 이로 인해 노이즈에 훨씬 강한 구조를 가질 수 있고 그림 3에서 보듯이 출력 전압에 노이즈 성분이 덜 나타남을 볼 수 있다.

3. Basic switching cell을 이용한 전압형 인버터 구성

DC-DC 컨버터와 마찬가지로 모든 전압형, 전류형 인버터도 basic switching cell을 이용하여 새롭게 구성할 수 있다. 그림 4는 P-cell과 N-cell을 병렬 연결하여 양방향 전류 흐름이 가능한 인버터의 phase arm을 구성한 예이다. 이를 이용하면 단상 혹은 삼상의 전압형 인버터를 구성할 수 있다.

그림 5는 기존의 IGBT module과 그림 4의 switching cell을 이용한 IGBT module을 비교한 그림이다. 먼저 기존의 IGBT module의 경우 한 스위치 암을 구성하는 위, 아래의 IGBT가 busbar나 굵은 와이어로 서로 연결되어야 하므로 이로 인해 원치 않는 stray 혹은 누설 인덕턴스 ($L_{stray 2}$)가 발생한다. 또한 DC 링크 커패시터와 IGBT사이의 연결에 있어서도 누설 인덕턴스 ($L_{stray 1}$)가 상당히 많이 존재할 수 밖에 없는 구조적인 단점을 가지고 있다. 따라서 그림 5 (a)에 보인 Loop 1이 상당히 커지게 되고 전체 누설 인덕턴스 ($L_{stray 1} + L_{stray 2}$)의 영향으로 스위치 턴 오프시 IGBT



(a) 기존의 IGBT module (b) Switching cell을 이용한 IGBT

그림 5 기존의 IGBT module과 switching cell을 이용한 IGBT module 비교

에 과도한 전압 오버슈트를 인가하게 된다. 또한 기존의 IGBT는 그림 5 (a)에 보인 것처럼 스위치와 anti-parallel 다이오드로 구성된 Loop 2를 최소화하는 구조로 설계되어 있는데 실제 전력변환기 동작 시 스위치와 anti-parallel 다이오드가 commutation하는 경우는 전류가 (+)에서 (-)로 혹은 (-)에서 (+)로 전류의 방향이 바뀌는 시점이므로 이 시점에서 전류의 기울기도 작고 전류의 크기도 작으므로 전압 오버슈트가 거의 발생하지 않는다. 따라서 이 루프는 최소화할 필요가 없다.

인버터 동작 시 전류가 (+)인 경우 위쪽 IGBT와 아래쪽 IGBT의 anti-parallel 다이오드만 동작하고 전류가 (-)인 경우 아래쪽의 IGBT와 위쪽 IGBT의 anti-parallel 다이오드만 동작하므로 그림 5 (b)에 보인 P-cell과 N-cell의 조합으로 구성된 IGBT module이 훨씬 인버터 동작에 적합하고 누설 인덕턴스를 줄이는데 효과적인 구조이다. 또한 P-cell과 N-cell로 구성된 IGBT module은 dead-time의 영향을 최소화할 수 있으므로 인버터 시스템의 신뢰성도 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

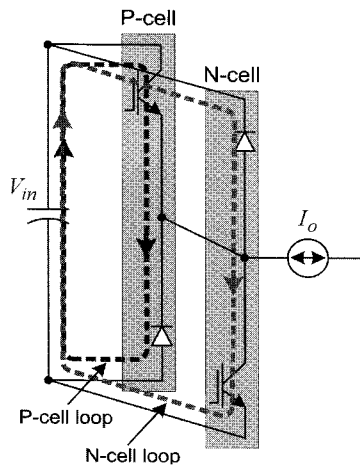


그림 6 P-cell과 N-cell을 이용한 경우의 루프 인덕턴스 감소

그림 6은 그림 5 (b)에서 보인 switching cell을 이용한 IGBT module을 좀 더 자세하게 표현한 것이다. 그림에서 보듯이 P-cell과 N-cell을 이용한 경우 원하는 누설 인덕턴스를 훨씬 더 효과적으로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 기사에서는 전력전자 회로의 기본 building block인 P-cell과 N-cell로 구성되는 switching cell에 대해서 알아보았다. 기존의 buck, boost, buck-boost, Cuk 컨버터들이 basic switching cell을 이용하여 새롭게 구성될 수 있음을 보였다. 또한 Cuk 컨버터의 경우 switching cell 개념을 이용하면 buck-boost 컨버터와 회로적으로 거의 유사한 동작과 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 basic switching cell은 기존의 전압형, 전류형 인버터 구성에서도 동일하게 적용될 수 있다. 본 기사의 결과에서 알 수 있듯이 기존의 IGBT module은 불필요한 방향으로 누설 인덕턴스를 최소화하는

구조로 되어있으며 P-cell과 N-cell을 이용한 IGBT module 구조가 전력변환기 설계 및 동작에 훨씬 효과적임을 알 수 있다. 최근 이러한 switching cell의 중요성을 인식하고 많은 전력 반도체 회사들이 이런 구조의 디바이스를 제작하여 판매하고 있다.

참고 문헌

- [1] F. Z. Peng, L. M. Tolbert, and F. Khan, "Power Electronics' Circuit Topology - the Basic Switching Cells" IEEE Power Electronics Educational Workshop, June 16-17, 2005, Recife, Brazil, pp. 52-57.
- [2] L. M. Tolbert, F. Z. Peng, F. Khan, and S. Li, "Switching Cells and Their Implications for Power Electronics Circuit" IEEE IPEDC, May 2009, pp. 773-779.
- [3] F. Z. Peng, "Revisit power conversion circuit topologies-recent advances and applications" IEEE IPEDC, May 2009, pp. 188-192.

< 필 자 소 개 >



차헌녕(車憲寧)

1972년 10월 17일생. 1999년 경북대 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년~2003년 (주)피에스텍 근무. 2004년~2005년 한국전기연구원 근무. 2009년 미국 Michigan State University 전기공학과 졸업(공학박). 2010년~2011년 한국전기연구원 스마트그리드연구본부 선임연구원. 현 경북대 에너지공학부 전임강사. 당 학회 편집위원.