

하이브리드 모드 전류제어를 이용한 출력 전류 저조 파 발진 방지

오승민, 이종욱, 김학원⁺, 조관열
한국교통대학교 제어계측공학과 전력전자연구소

Prevention of output current sub-harmonic oscillation using the Hybrid mode current control

Seung Min Oh, Jong Uk Lee, Hag Wone Kim⁺, Kwan Yuhl Cho
Korea National University of Transportaion

ABSTRACT

컨버터 제어를 위한 피크 전류 모드는 기존의 전류 모드 제어 기법에 비해 빠른 응답과 간단한 구조로 인해 많은 컨버터 애플리케이션에서 사용된다. 그러나 듀티가 0.5를 초과하면, 서브 하모닉 발진이 전류에서 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위해 제어기를 안정적으로 동작 할 수 있도록 보상 기울기를 추가 한다. 그러나 기울기 보상의 방법은 구조를 복잡하게 만들고 출력 전압이 가변적 일 때 때때로 기울기를 변화시켜야 하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 기울기 보상 없이 새로운 하이브리드 모드 전류 제어 방법을 제안한다. 밸리 전류 모드에서 트레일 링 에지 변조를 사용하는 제안 된 방법에서, 서브 하모닉 발진 문제는 쉽게 해결 될 수 있다. 제안 된 제어기는 Psim 시뮬레이션에 의해 검증된다.

1. 서론

전류 모드 제어는 1970 년대 후반부터 전력 공급에 사용되기 시작했으며, 평균 제어 모드, 고정 된 온 / 오프 타임 제어 및 피크 전류 모드와 같은 많은 제어 방법이 있다. 많은 전력 엔지니어들은 다음과 같은 이유로 피크 전류 모드를 선호합니다. 기본 전압 전류 제어기와는 달리, 피크 전류 모드는 전류 제어기를 필요로 하지 않으므로 전압 제어기의 대역폭을 보다 넓은 범위에서 사용할 수 있어서 보다 빠른 응답이 가능합니다. 또한, 피크 전류 모드 제어는 전류명령과 입력 전류가 만날 때 리셋 신호를 제공함으로써 본질적으로 과전류 현상을 방지한다. 멀티 컨버터의 병렬 동작의 경우, 병렬 화 된 모듈의 파라미터의 작은 차이로 인해 불균형이 야기 될 수 있습니다. 피크 전류 모드는 공통 제어 신호를 사용하기 때문에 여러 컨버터가 병렬로 쉽게 동작 할 수 있다. 피크 전류 제어 방식이 많은 장점을 가지고 있다고 해도 듀티가 0.5 이상일 때 서브 하모닉 발진이 발생하고 적절한 출력 전압을 얻기가 어렵다 [1]. 이 서브 하모닉 발진을 방지하기 위해 기울기를 추가하면 모든 듀티에서 제어기가 안정적으로 작동을 할 수 있게 도움을 준다. [2]. 그러나 기울기 보상 방법을 사용하면 제어 회로는 복잡해진다. 또한, 출력 전압 지령이 변경 될 때, 기울기 값은 때때로 변경되어야한다. 이러한 이유로 기울기 보상 기능이 있는 전류 모드 제어에서 최적화 된 기울기 값을 얻는 것은 어렵습니다. 본 논문에서는 피크와 밸리 모드가 사용되는 하이브리드 모드 전류 제어 방법을 제안한다. 일반적인 피크 전류

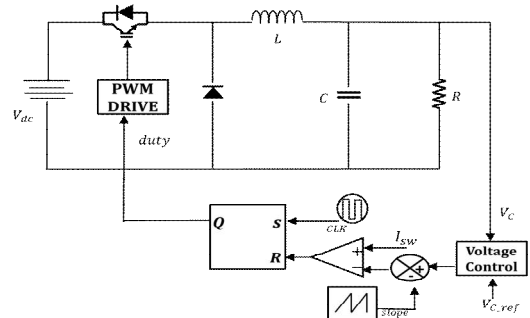


그림 1 기울기 보상을 적용한 피크 전류 모드 제어 방법에서는 설정 신호가 고정주기마다 주어지지만 제안하는 방법은 피크전류에 의해 발생 된 밸리 전류에 설정 신호를 주어서 기울기를 사용하지 않고 서브 하모닉 발진 현상을 방지하는 기술을 제안한다.

2. 본론

2.1 기울기 보상의 문제점

일반적으로 듀티가 0.5 이상이 되면 인덕터 전류에 서브 하모닉 발진이 발생하여 이를 방지하기 위해 기울기 보상을 사용한다. 그림 1은 피크 전류 모드 제어에 기울기 보상 기능이 있는 벅 컨버터를 보여준다. 기울기 보상은 전압 제어기의 출력에 추가됩니다. 그러나 제어기에서 회로 또는 프로그램을 설계하는 것은 어렵습니다. 기울기 보상 기능을 가진 제어기에 인덕터 전류 섭동이 주입되면, 특성 값은 식 (1)과 같이 유도된다. 식(1)의 특성 값은 스위칭 주기 당 섭동전류의 변동률을 나타낸다. 섭동전류의 변동의 크기를 줄이기 위해 특성 값은 1보다 작아야 한다. 식 (2)는 특성 값을 1미만으로 설정하여 벅 컨버터에서 기울기 사용 범위를 보여 준다. 식 (2)에서 출력 전압이 변화함에 따라 기울기 값이 변해야 한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 출력 전압의 변동이 심할 때 보상하는 기울기는 빈번히 변경되어야하며, 최적의 보상을 실현하기가 어렵다.

$$\alpha = -\frac{m_2 - m_a}{m_1 + m_a} \quad (1)$$

$$|\alpha| < 1 \rightarrow m_a > \frac{m_2 - m_1}{2} \rightarrow \frac{2V_0 - V_g}{2L} \quad (2)$$

$$(m_1 = \frac{V_g - V_o}{L}, m_2 = \frac{V_0}{L})$$

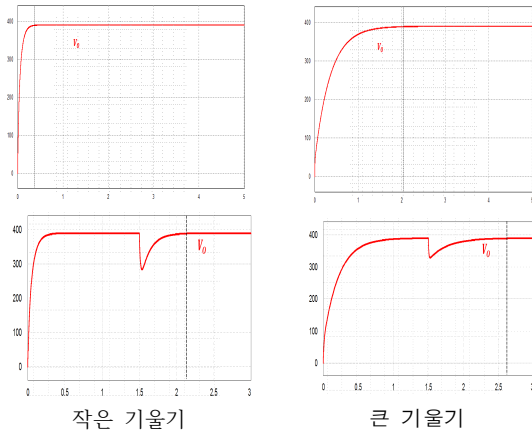


그림2 크기가 다른 기울기에 따른 전류명령과 출력전압

그림 2는 다른 크기의 기울기를 사용될 때의 출력 전압을 보여준다. 그러나 상대적으로 큰 기울기 값을 사용하면 작은 기울기와 같은 듀티를 만들어야 하기 때문에 전압 제어기에서 나오게 되는 전류 명령이 커지게 된다. 그로 인해 출력 전압이 정상상태에 도달하는 시간이 느려집니다. 또한 부하변동을 하였을 때도 큰 기울기를 사용하면 다시 원래 전압으로 되돌아오는 시간이 길어진다.

2.2 제안하는 하이브리드 전류 모드 제어

그림 3는 제안된 컨트롤러의 블록 다이어그램을 보여준다. 기존의 피크 전류 모드는 고정된 주기마다 설정 신호를 제공하지만, 제안된 전류 모드는 전압 제어기에서 나오게 되는 전류 명령에서 전류 리플을 빼주어서 최소 전류 명령을 만들어낸다. 획득된 최소 전류 명령은 제안된 모드의 설정 신호이다. 최소 전류 명령을 얻기 위해 그림 4에서 최대 전류와 최소 전류 간의 관계를 알아야한다. 그림4에서 m_1 은 증가하는 기울기를 나타내고 DT_s 는 인덕터 전류의 증가 시간을 나타낸다. 전류 리플은 방정식 (3)에서와 같이 기울기와 증가 시간의 곱입니다. 방정식 (4)에서와 같이 최대 전류 명령에서 전류 리플을 뺀 값은 최소 명령 전류가 됩니다.

$$I_{ripple} = m_1 \times DT_s \quad (3)$$

$$I_{min-ref} = I_{peak-ref} - I_{ripple} \quad (4)$$

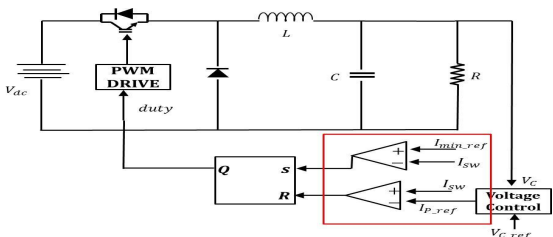


그림 3 제안하는 하이브리드전류모드제어의 블록다이어그램

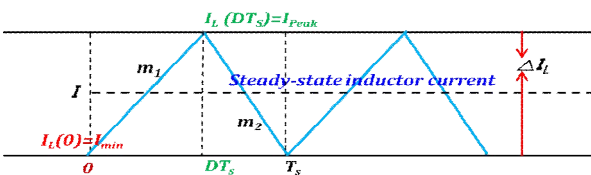
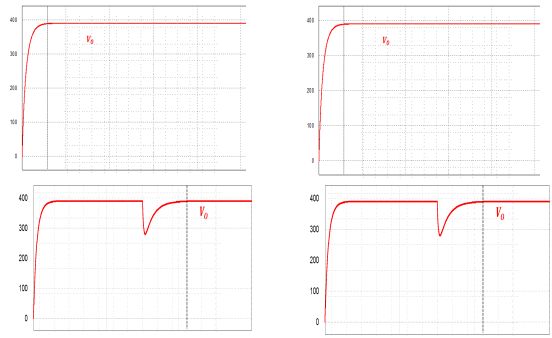


그림 4 정상상태의 인덕터 전류



좁은 밴드 폭

넓은 밴드 폭

그림5 피크와 밸리의 폭에 따른 출력전압

표 1 buck 컨버터 모의 해석 할 때의 소자 값

	V_{in}	L	C	f_s
값	650[V]	2.4m[H]	2000u[F]	30k 60k[Hz]

제안된 방법을 검증하기 위해 시뮬레이션이 수행되었다. 표 1은 시뮬레이션 동안 buck 컨버터의 소자 값을 보여준다. 그림 2처럼 큰 기울기를 사용하면 응답성이 느려지는 문제가 발생한다. 제안된 하이브리드 전류 모드에서는 기울기를 사용하지 않으므로 기울기를 변화할 수 없고 기울기 대신에 피크전류와 밸리 전류를 사용하기 때문에 피크전류와 밸리 전류의 폭을 변화시켰다. 그림 5은 출력 전압의 응답시간이 피크와 밸리 간의 폭이 증가하더라도 동일하다는 것을 보여준다. 그림 3에서 보듯이 제안된 제어기의 설계는 외부 기울기를 사용하지 않기 때문에 간단하다. 출력 전압이 가변적인 경우라도 아무것도 변경할 필요가 없습니다. 따라서 제안된 제어를 사용할 때 기울기 문제가 해결할 수 있다.

3. 결론

일반적으로 기울기 보상은 서브 하모닉 발진을 방지하여 효과적인 방법입니다. 그러나 보상 범위에 큰 기울기를 사용하면, 전류 지령의 증가로 인해 정상 상태에 도달하는 데 필요한 시간이 길어지며, 전류 지령의 상승은 한계 범위의 문제를 야기한다. 본 논문에서는 밸리 전류 제어를 이용한 피크 전류 모드의 하이브리드 제어 기법을 제안한다. 제안된 방법은 저조파 발진을 제거할 수 있으며 출력 전압은 잘 제어된다.

이 논문(저서)은 2016년도 에너지인력양성사업의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20164030201100)

참고 문헌

[1] Guohua Zhou, Jianping Xu, Jinping Wang and Qingbo Mu, "Elimination of sub harmonic oscillation of digital average current control buck converter," Fujian, 2008, pp. 1314 1318.

[2] Yonggui Hu, Yafeng Wei, Jianan Wang and Maomao Sun, "Design of slope compensation for a high efficiency high current DC DC converter," 2016 13th IEEE International Conference on Solid State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Hangzhou, 2016, pp. 1306 1308.