

스위칭 레귤레이터 기초 배우기

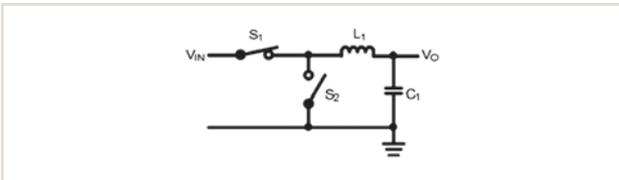
본 편에서는 가장 이용 빈도가 높은 강압형 스위칭 레귤레이터를 예로 들어 동작 원리에 대해 설명한다. 강압 DC/DC 변환은 V_{IN} 이라는 DC 전압을 스위칭하여 시간 분할하고, 다음으로 인덕터와 콘덴서를 통해 평활화함으로써 원하는 DC 전압으로 변환한다.

글/ROHM 테크 엔지니어

강압 동작 원리

본 편에서는 가장 이용 빈도가 높은 강압형 스위칭 레귤레이터를 예로 들어 동작 원리에 대해 설명한다. 강압 DC/DC 변환은 V_{IN} 이라는 DC 전압을 스위칭하여 시간 분할하고, 다음으로 인덕터와 콘덴서를 통해 평활화함으로써 원하는 DC 전압으로 변환한다. **그림 1**은 강압 DC/DC 변환의 개념적인 회로와 동작을 나타낸 것이다.

그림 1.



강압 DC/DC 변환의 개념적 회로도 와 동작

- ① $S1 = ON, S2 = OFF$ 시, $L1$ 에 V_{IN} 인가
- ② $S1 = OFF, S2 = ON$ 시, $L1$ 은 GND로 접속
- ③ $V_{IN}(DC)$ 을 $V_{IN}-GND$ 의 펄스로 변환
- ④ $C1$ 에서 평균화되어 DC로 변환

PWM 동작으로 설명하자면, $S1 = ON/S2 = OFF$ 일 때 V_{IN} 을 공급하는 시간을 25%, $S1 = OFF/S2 = ON$ 일 때 0V(GND)

상태를 75% 펄스 주기로 하여, 그 펄스를 평균화하면 25%의 DC가 된다. V_{IN} 이 10V일 경우, V_O 는 25%인 2.5V가 된다.

그림 2와 같이 실제로는 PWM 동작에 따라 평균화된 출력의 부하 전류가 변동하므로, ON 시간이 계속 일정하면 부하 전류에 의존하여 전압이 변동되게 된다. 이러한 경우 레귤레이터의 역할을 할 수 없으므로, 출력이 저하되면 ON 시간을 늘려 입력으로부터 더 많은 에너지를 공급받아 출력전압을 상승시킨다. 출력전압이 충분히 회복되면, ON 시간을 줄여 출력의 상승을 억제한다.

하기 회로는 개념도를 실제 회로로 치환하여 나타낸 것이다. 스위치 $S1$ 은 MOSFET로, $S2$ 는 쇼트키 다이오드로 치환되었으며, 개념도에서는 생략되었던 비교 회로와 제어 회로도 표시되어 있다. 이 회로는 비동기 또는 다이오드 정류 방식으로 불리는 대표적인 스위칭 강압 회로이다.

그림 2.

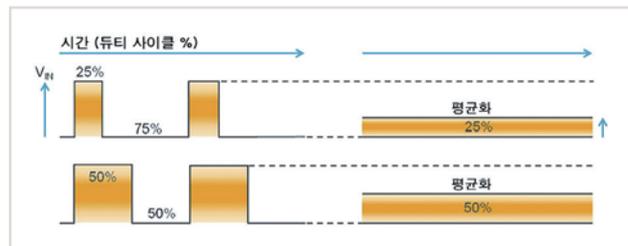
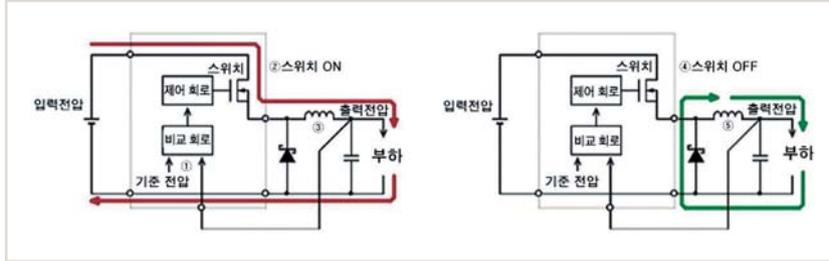


그림 3.



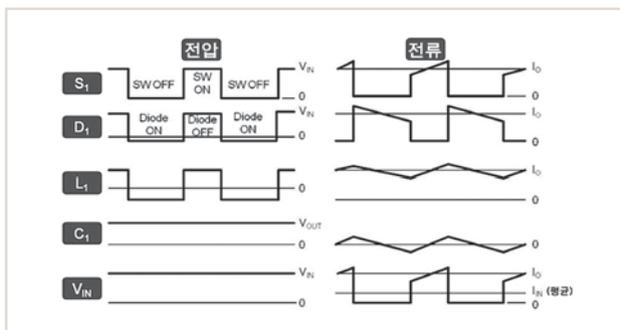
강압 스위칭 레귤레이터의 동작

- ① 출력전압이 설정 전압과 동일한지 기준전압과 비교한다.
- ② 설정 전압보다 낮은 경우에는, 스위치가 ON되어 입력에서 출력으로 전력을 공급한다.
- ③ 이때, 인덕터에 자기 에너지가 축적된다.
- ④ 출력전압이 설정 전압보다 높아지면 스위치가 OFF 된다.
- ⑤ 인덕터에 축적된 자기 에너지가 전류로 변환되어 출력 부하로 공급되고, 다시 인덕터로 돌아온다.
- ⑥ 인덕터의 자기 에너지가 소모되어, 출력전류가 낮아지면 다시 스위치가 ON된다.

그림 4는 실제 전류 및 전압의 스위칭 파형이다. S1은 MOSFET의 스위칭 트랜지스터, D1은 쇼트키 다이오드, L1은 인덕터, C1은 출력전압, VIN은 입력 전압이다.

본 편에서는 복습을 겸하여 기본적인 스위칭 레귤레이터의 동작에 대해 설명하였다. 이러한 기본적인 동작에 대해 잘 이해할 필요가 있으며, 실제 평가 시에는 각 노드의 전류 및 전압 파형 등을 확인해야 한다.

그림 4.



동기 방식과 비동기 방식의 차이점

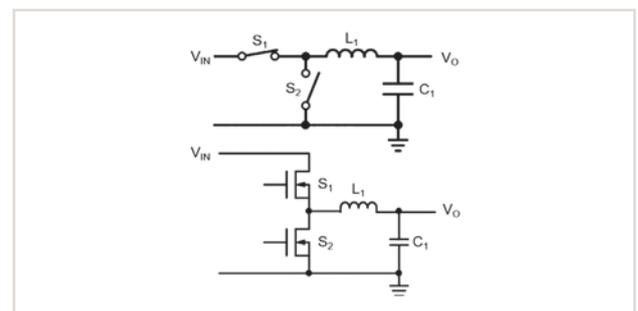
스위칭 레귤레이터의 종류와 동작 원리에 이어, DC/DC 컨버터의 변환 방식인 동기정류 방식과 비동기정류 방식의 차이점에 대해 설명한다. 각각 장단점이 있으므로, 전원 요구 사양에 따라 잘 구분하여 사용해야 한다. 회로 구성의 차

이점으로는, 그림 5와 같이 스위치 2가 다이오드인지 트랜지스터인지가 다르다.

비동기정류는 다이오드 정류라고도 하며, 상측 트랜지스터의 ON/OFF에 따라 다이오드가 도통/차단, 즉 전류가 흐르거나 흐르지 않거나 한다. 이는 동작 원리 부분에서 설명한 바와 같다. 비동기 방식은 심플하고 견고하므로 산업기기 등에서 높은 실적을 보유한 방식이다.

반면에 동기정류는 기본적인 동작은 동일하지만, 하측 스위치의 ON/OFF도 제어 회로가 담당한다. 양쪽이 동시에 ON 되면 VIN에서 GND로 직접 전류가 흘러 트랜지스터가 파괴될 가능성이 있으므로, 반드시 양쪽이 OFF가 되는 데드 타임을 설정하는 등의 복잡한 제어가 필요하다. 그러나, 동기정류 방식은 비동기정류 방식에 비해 높은 효율을 얻을 수 있으므로, 배터리 구동 기기의 동작 시간 연장에 크게 기여할 수 있다.

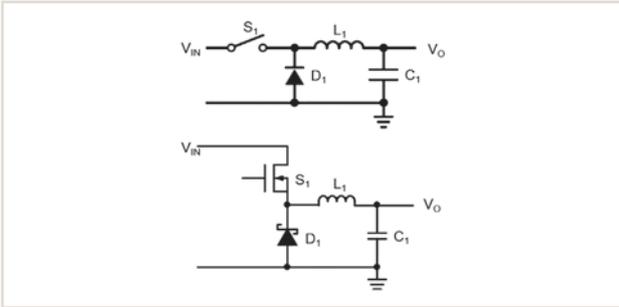
그림 5a. 동기정류



- ① S1 = ON 시, S2를 OFF한다.
- ② S1 = OFF 시, S2를 ON한다.
- ③ 전류 경로는 비동기 방식과 동일하지만, S2의 ON/OFF는 제어 회로가 담당한다.
- ④ 하단 회로에는 실제로 S1, S2 모두 트랜지스터가 사용된다.

⑤ 고효율이며, 비동기 방식보다 회로가 복잡하다.

그림 5b. 비동기(다이오드) 정류



- ① S1 = ON 시, D1에 전류가 흐르지 않는다.(차단)
- ② S1 = OFF 시, D1에 순방향 전류가 흐른다.(도통)
- ③ 하단의 회로는 실제로 S1에는 트랜지스터, D1에는 쇼트키 다이오드가 사용된다.
- ④ 동기 방식보다 효율이 떨어지지만, 회로는 간단하다.

동기정류 방식 쪽이 고효율인 이유는 비동기정류 방식의 다이오드를 트랜지스터로 대체함으로써, 출력단의 스위칭 손실을 낮게 억제할 수 있기 때문이다. 다이오드의 VF는 전류에 따라 달라지기는 하지만, VF가 낮은 쇼트키 다이오드일 경우에도 0.3~0.5V 정도이다. 반면에 트랜지스터의 경우, 예를 들어 Nch-MOSFET의 ON 저항은 50mΩ으로 매우 낮으며 이때의 전압 강하를 계산하면, 다이오드의 VF보다 훨씬 낮아진다.

Bootstrap

Bootstrap(부트스트랩) 회로는 출력 스위치의 상측(하이 사이드) 트랜지스터에 Nch MOSFET를 사용하는 경우에 필요한 회로이다. 최근에는 대부분의 전원 IC가 이 회로를 탑재하고 있으므로, 전원 회로 평가와 관련하여 동작을 이해해 두는 것이 좋다.

Nch MOSFET는 ON 저항이 낮아, 스위치로 사용하게 되면 효율을 향상시킬 수 있다. 또한, ON 저항이 동일할 때 Pch MOSFET보다 저렴하게 입수할 수 있다. 그러나, 상측 스위치로서 Nch MOSFET를 사용하여 완전히 ON시키기 위해서는, 충분한 VGS 즉 드레인보다 높은 전압이 필요하다. 통상적으로 드레인 전압은 VIN(입력전압)이므로 회로 내부에서 가장 높은 전

압이 된다. 따라서 그 이상의 전압이 필요할 경우 외부에서 공급해야 한다. 이러한 전압을 생성하는 것이 Bootstrap 회로이다.

구성은 간단하다. 스위치와 콘덴서, 다이오드로 구성되는 승압 차지 펌프로, 스위치 전압(VIN)과 내부 전압을 더한 전압을 상측 Nch MOSFET의 게이트 드라이브로서 이용한다.

그림 6. Bootstrap이 필요없는 Pch+Nch 구성

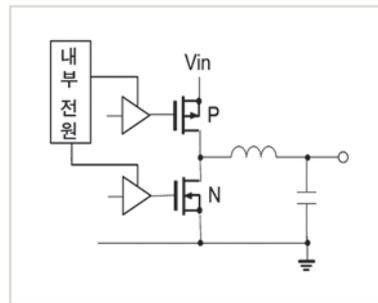
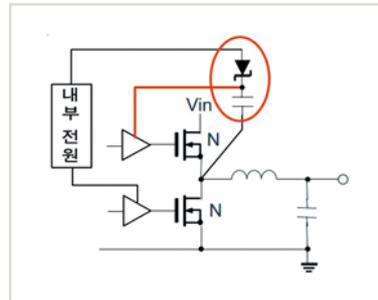


그림 7. Bootstrap을 이용한 Nch+Nch 구성



상측의 Nch MOSFET용 드라이버의 고전압을 생성한다.

$$\text{상측 게이트 드라이버 전원전압} = \text{VIN} + \text{내부 전원전압} - \text{다이오드의 VF}$$

오늘날 중전력 이상의 회로에서는 출력의 스위칭 트랜지스터에 Nch MOSFET를 사용하는 것이 주류이다. 부품수가 조금 늘어나도, 효율을 중시하는 경향이 있기 때문이다. 최근에는 부품수를 줄이기 위해 외장 다이오드를 IC에 내장한 타입을 사용하기도 한다.

참고로, Bootstrap 회로는 동일한 이유에서 비동기정류 타입에도 사용되고 있다. Nch MOSFET뿐만 아니라, 바이폴라 NPN 트랜지스터를 사용하는 타입의 포화 전압을 낮추기 위해서도 사용되고 있다. **SN**

- ① Nch MOSFET는 ON 저항이 낮아 효율 향상에 기여하고, 비용이 저렴하다.
- ② 상측 트랜지스터에 Nch MOSFET를 사용하기 위해서는 드레인보다 높은 VGS가 필요하다.
- ③ 내부 회로용 내부 전원의 전압으로는 부족하다.
- ④ 스위치와 콘덴서, 다이오드로 구성된 승압 차지 펌프를 통해,