

특집 : 컨버터제어용 아날로그 IC 기술동향

Power Switch의 보호 기능

구 관 본

(페어차일드코리아반도체 선임연구원)

1. 서론

최근 들어 전원 공급 장치를 제작하는 데 있어서 낮은 단가로 높은 신뢰성을 확보하기 위해 많이 사용되는 것이 바로 파워 스위치(Power Switch)이다. 아래의 그림 1과 같이 파워 스위치는 PWM 컨트롤러, 1차측 전류 감지 회로, 스위치 구동부(Gate Driver) 그리고 주스위치를 포함한다. 기존에 각각의 부품으로 구성되던 구조를 하나의 IC(Integrated Circuit) 안에 집적해서 구현함으로써 주변 부품의 수를 줄여서 가격을 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 전원 공급 장치를 제작하는 데 있어서 복잡성을 줄일 수 있고, 동시에 신뢰성을 높일 수 있는 장점을 갖는다. 이와 같은 장점 때문에, 파워 스위치는 다소 큰 용량의 모니터나 LCD TV 등에서 뿐만 아니라, 용량이 작은 MP3 player, 핸드폰, PDA 등에 쓰일 수 있는 charger 나 adaptor 에서도 매우 유용하게 사용된다.

모든 전원 공급 장치는 출력단에 또다른 장비나 기기 혹은

logic 보드 등이 부하로서 연결되게 된다. 그러므로 과도한 입력 전압, 과도한 온도 상승, 과도한 부하의 증가 등 원하지 않는 여러 가지 상황에 대해서도 전원 공급 장치는 뒤 단에 연결된 부하가 손상되지 않도록 각종 보호 회로를 갖고 있어야 한다. 그림 1에서처럼 PWM 컨트롤러와 구동부, 주스위치 등이 모두 각각의 소자들로 구현된 회로라면, 각종 보호 회로 역시 저항과 캐패시터, 연산 증폭기, 트랜지스터 등을 사용해서 개별적으로 구현되어야 하겠지만, 파워 스위치의 경우는 그런 보호 회로들을 IC 내부에 실장할 수 있다는 장점을 갖는다. 이 역시 낮은 단가와 신뢰성 증가에 도움을 준다.

본 고에서는 폐사의 제품을 중심으로 어떠한 기능의 보호 회로들이 IC 안에 실장되어 있고, 어떠한 방식으로 동작하는지를 설명하도록 한다.

2. 보호 회로의 종류와 동작 원리

폐사의 파워 스위치인 Fairchild Power Switch(이하 FPS)에는 과부하 보호 회로(Over Load Protection: OLP), 과전압 보호 회로(Over Voltage Protection: OVP), 과전류 보호 회로(Abnormal Over Current Protection: AOCP), 그리고 온도 보호 회로(Thermal Shutdown: TSD) 등과 같은 여러 가지 보호 기능이 실장되어 있다. 이러한 보호 기능들이 외부의 추가적인 부품의 첨가 없이 동작 가능하므로 단가를 낮춤과 동시에 신뢰성을 높일 수 있게 된다.

일단 이와 같은 보호 기능들이 동작을 하게 되면, 스위칭 동작은 그 순간에 멈추게 된다. 동시에 V_{CC} 전압이 감소하게 되고, 결국 V_{CC} 전압이 UVLO(Under Voltage Lock Out)의 lower band 보다도 낮아지게 되면, 동작하던 모든 보호 기능들은 초기화되고, 내부의 전류원이 V_{CC} 를 충전하기 시작한다. V_{CC} 전압이 계속 충전되어 UVLO의 upper band 보다도

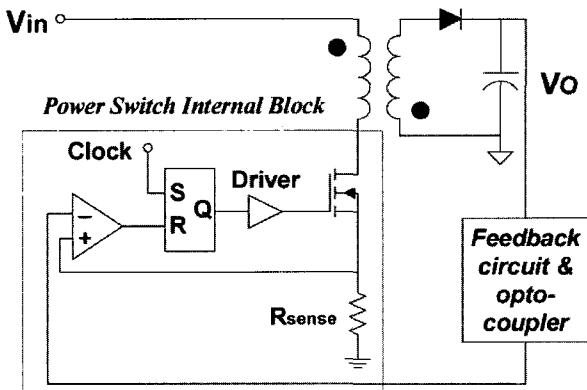


그림 1 파워 스위치의 단순화한 내부 구조

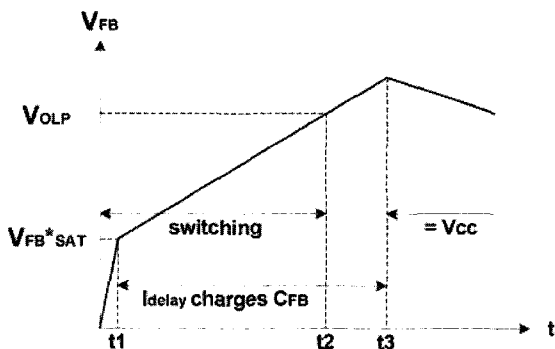
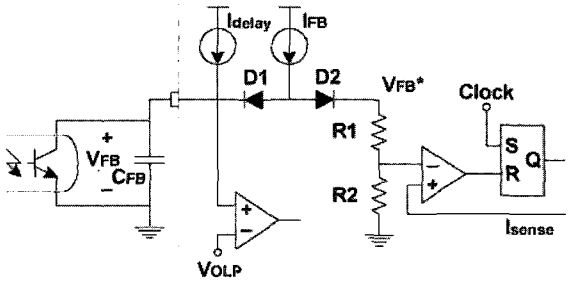


그림 2 과부하 보호회로

높아지면, FPS는 다시 정상동작을 시작하게 되는 것이다. 이와 같은 과정을 자동 재시작(Auto-Restart)이라 하며, 보호 기능을 동작시키던 이상 현상이 사라질 때까지 이와 같은 동작을 계속 반복하게 된다.

2.1 과부하 보호 회로(Over Load Protection: OLP)

출력단에서 IC가 정해 놓은 부하 조건보다 과도한 부하를 요구하게 되면, IC는 과부하 보호회로를 동작시킨다. FPS 내부에는 미리 정해진 1차측 전류의 최대값(Ilimit)이 존재한다. 이는 물론 각 제품의 정격 전력 용량에 따라서 각각 다른 값을 갖는다. 만약 부하에서 과부하 상태가 되어 1차측의 전류가 이 값을 넘도록 요구를 한다면, FPS는 바로 OLP를 동작시켜서 IC 자체와 부하측의 다른 장비들을 보호하게 된다.

하지만, 정상 상태(Steady State)가 아닌 과도 상태(Transient State)에서는 실제로 과부하 조건이 아니라 하더라도 OLP가 동작하는 경우가 발생한다. 부하나 입력 전압이 급격하게 변화하게 되면 짧은 시간 동안 이러한 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 이를 방지하기 위하여 FPS 내부에는 다음의 그림 2와 같이 일정 시간 동안 지연을 두고서 이것이 과도 상태인지 아니면 실제 과부하 상태인지를 판단하도록 해주고 있다.

만약 부하에서 IC가 출력할 수 있는 최대 전력보다 많은 전력을 요구하면, 출력 전압은 감소한다. 이에 따라 V_FB는 음의

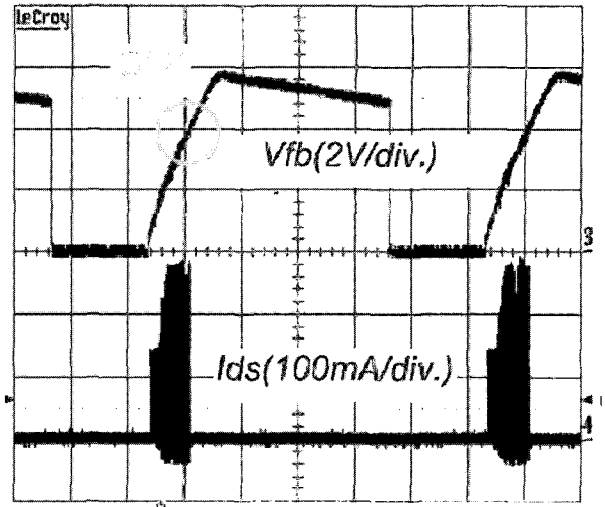


그림 3 OLP 동작 파형

궤환 루프(negative feedback loop)에 의해서 점차 상승하게 된다. 계속적인 과부하 상황에서 V_FB이 I_FB로 충전할 수 있는 최대 전압($V_{FB}^*_{sat} = I_{FB} \times (R_1 + R_2)$)까지 상승하고 나면, D1은 역바이어스되고, 이후부터는 I_FB 보다 훨씬 작은 전류원인 I_delay로 C_FB를 충전한다. V_FB 전압이 I_delay에 의해서 천천히 충전되어서 결국 V_OLP까지 상승하면, IC는 비로소 과부하 상태라고 인식해서 OLP 동작을 활성화시키고 스위칭 동작을 멈추게 한다. 지연 시간($t_2 - t_1$)은 다음과 같은 식으로 임의로 조절이 가능하다.

$$t_2 - t_1 = C_{FB} \times \frac{V_{FB}(t_2) - V_{FB}(t_1)}{I_{delay}}$$

과부하 상황에서 보호 회로가 동작하는 파형을 다음의 그림 3에서 보여준다. V_FB이 V_OLP(4 V)를 지나면서 더 이상의 스위칭 동작없이 I_delay로만 C_FB이 충전되고 있음을 볼 수 있다. 그리고 V_FB가 감소하던 V_CC와 같이지면서 함께 감소하는 모습도 볼 수 있다. 그 후에 V_CC가 UVLO의 lower band 까지 감소하면 자동 재시작을 하게 되면서 과부하 상황이 종료될 때까지 앞서의 과정을 반복하게 된다.

2.2 과전압 보호 회로(Over Voltage Protection: OVP)

2차측의 궤환 회로에 이상이 발생하거나 혹은 냉납 등으로 인해서 궤환 회로가 개회로 상태로 있을 때, V_FB 전압은 마치 과부하 상황과 마찬가지로 상승을 하게 되고, 출력측에서 요구하는 값보다 높은 전력을 넘겨주게 된다. V_FB 값이 계속 상승하다가 V_OLP보다 높아져서 과부하 보호회로가 동작하기 이

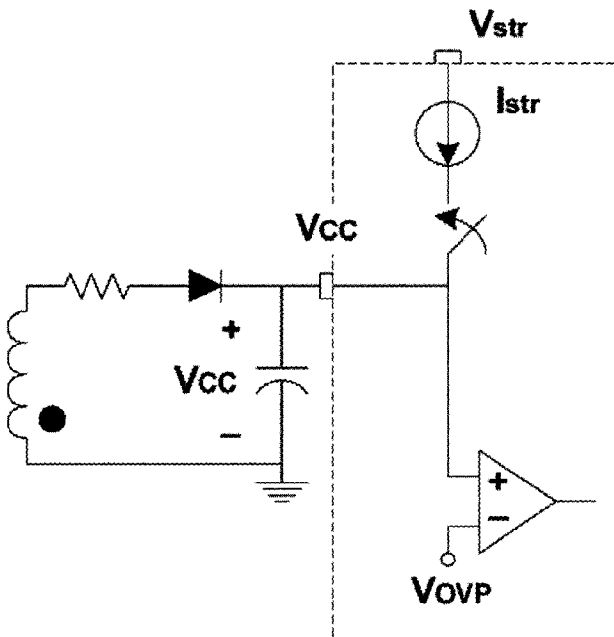
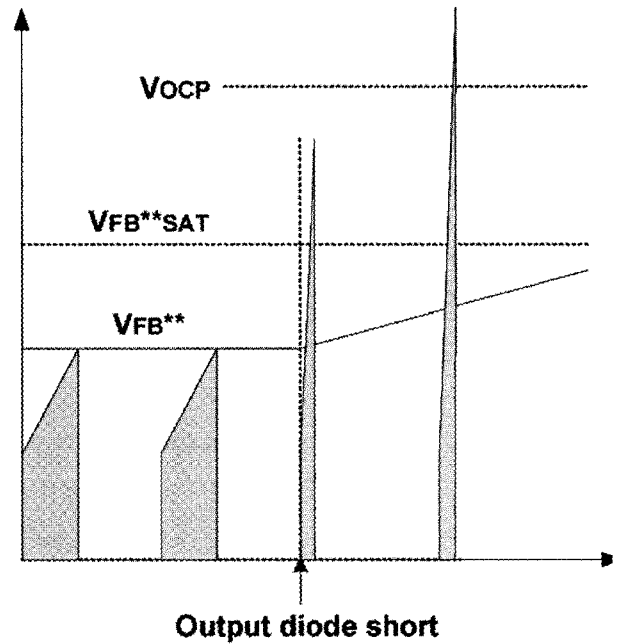


그림 4 과전압 보호회로

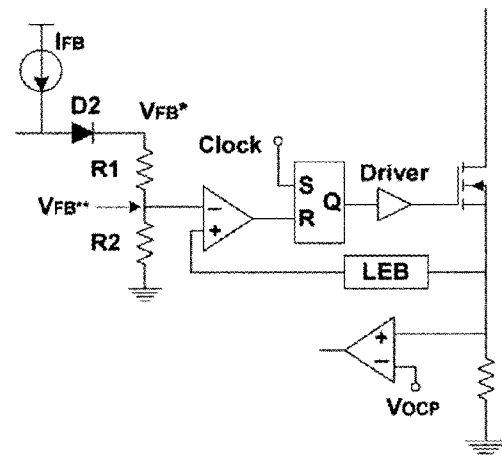
전에, 출력 전압이 과도하게 증가하게 되면, 부하로 연결된 다른 기기에 치명적인 손상을 입히게 될 수 있다. 이때 출력 전압이 과도하게 상승하는가를 V_{CC} 전압을 이용해서 간접적으로 확인할 수가 있다. 파워 스위치를 이용해서 전원 공급 장치를 제작할 때에는 트랜스포머에 제 3권선을 감아서 파워 스위치 제어부의 전원(V_{CC})을 따로 공급해주게 된다. V_{CC} 는 대개 전원 공급 장치의 출력 전압에 비례해서 얻어지기 때문에 V_{CC} 를 감지해서 간접적으로 출력 전압의 상황을 파악할 수가 있는 것이다. 그러므로 V_{CC} 값이 일정한 전압(V_{OVp})보다 높아지면 과전압 보호 회로를 동작시켜서 스위칭을 멈추게 함으로써, 부하에 연결된 기기들을 보호할 수 있게 된다. 그림 4는 과전압 보호 회로를 위한 내부 회로를 보여준다.

2.3 과전류 보호 회로(Abnormal Over Current Protection: AOCP)

FPS의 MOSFET이 켜지는 순간, 2차측 정류 다이오드의 역회복 시간과 스위치의 기생 캐패시터 등에 의해서 과도한 서지 전류가 1차측에 흐르게 된다. 이 서지 전류에 의해서 원하는 만큼의 시비율(duty ratio)을 내기 전에 스위치가 꺼지는 등의 오동작이 발생할 수 있다. 이를 막기 위해서 서지 전류가 흐르는 시간 동안은 PWM 비교기에서 무시할 수 있도록 LEB(Leading Edge Blanking)을 사용한다. 하지만, LEB 시간 동안은 FPS의 시비를 제어할 수 없으므로, 출력 다이오드나 트랜스포머의 단자가 단락되는 상황에서는 아래



(a)



(b)

그림 5 출력 다이오드 단락 상황에서 1차측 전류 파형과 과전류 보호 회로

의 그림 5(a)와 같이 비정상적으로 매우 큰 1차측 전류가 흐르게 된다.

2차측 정류 다이오드 혹은 트랜스포머의 단자가 단락이 되면, 1차측에서 볼 때 트랜스포머의 자화 인덕턴스는 더 이상 보이지 않고, 단지 누설 인덕턴스만이 남게 된다. 그러므로 1차측 전류는 그림 5(a)와 같이 매우 급한 기울기를 갖고서 급격하게 상승한다. 이때, LEB에 의해서 제어가 되지 않는 시간 동안 FPS 내부 MOSFET이 항상 켜지면서, 1차측 전류

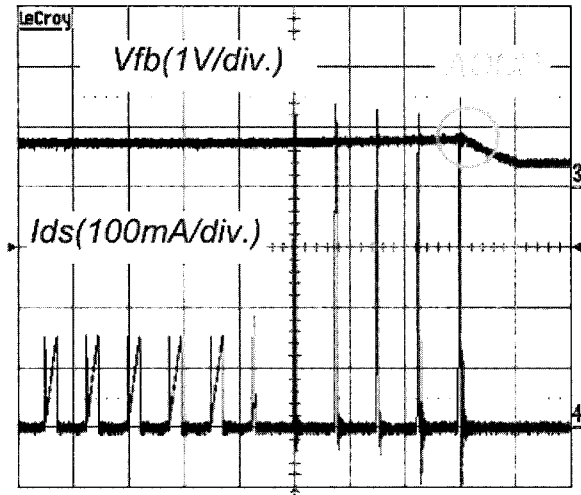


그림 6 AOCPP 동작 파형

는 V_{FB}^{**} 를 넘어서 계속 상승하게 되는 것이다. 1차측 전류가 이와 같이 과도하게 상승하면 결국 소자가 파괴되게 된다.

이와 같은 현상을 막기 위하여 LEB를 거치지 않은 1차측 전류와 V_{OCP} 를 비교해서 전류의 크기가 정해진 값을 넘어서면 스위칭 동작을 멈추게 하는 것이 과전류 보호 회로이다.

아래의 그림 6은 AOCPP가 동작할 때의 파형을 보여준다. 2차측 정류 다이오드가 단락되면서 1차측 전류의 기울기가 급격히 상승하게 되고, LEB 시간 만큼은 항상 켜져있게 되므로, 그림 6에서와 같이 1차측 전류는 매우 크게 흐르게 된다. 이 전류의 최대값이 V_{AOCPP} 를 넘게 되면 스위칭 동작을 멈추게 된다.

2.4 온도 보호 회로(Thermal Shutdown: TSD)

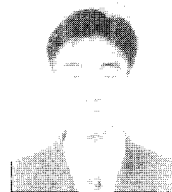
각각의 부품으로 구현하는 것에 비해서 FPS는 제어기와 함께 MOSFET이 하나의 패키지 안에 실장되기 때문에, MOSFET의 온도가 제어기에 의해서 쉽게 관측될 수 있다. 그러므로 MOSFET의 junction 온도가 과도하게 상승하면, 스위칭 동작을 멈추도록 하는 온도 보호 회로의 구현이 매우 용이하다.

3. 결론

지금까지 FPS의 내부에 실장되어 있는 각종 보호 회로에 대해서 기능 및 간단한 동작 원리를 설명했다. 본 고에서 설명한 기본적인 보호 기능 이외에도 다양한 제품에는 다양한 종류의 보호 기능들이 추가되어 있다. 라인 입력 전압을 감지해서 일정 전위보다 높거나 혹은 낮으면 IC를 동작시키지 않는다고 하는 것이 그것이다.

파워 스위치가 갖는 장점인 단순하면서도 높은 신뢰성을 갖는 회로의 구현이라는 측면에서 볼 때, 다양한 비정상적인 상황에서도 안전하게 전원 공급 회로를 이용할 수 있게 하기 위해서 많은 보호 기능들이 IC에 추가될 것이다.

<저 자 소개>



구관본(具官本)

1997년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전자전산학과 졸업(공학). 현재 페어차일드코리아 반도체 선임연구원.