

# USB 전류 제한 스위치

작성자: Hardik Patel(선임 애플리케이션 엔지니어)

랩톱 및 PC 에서 가장 널리 사용되는 USB 는 가정용품, 자동차용품과 산업용 및 제어 시스템 등과 같은 모든 유형의 시스템으로 그 용도가 확대되고 있습니다. USB 는 호스트 시스템과 USB 장치 간의 통신에 가장 선호되는 방식입니다. USB 장치를 호스트 시스템에 연결하면 호스트 시스템이 USB 장치에 전력을 공급하게 됩니다. 호스트 시스템 전원 공급장치는 USB 장치의 전력 요구사항을 기억하도록 설계됩니다. USB 조직에서는 USB 호스트 시스템이 각 USB 커넥터에 500mA 이상의 전류를 공급하도록 요구합니다. 따라서 호스트 시스템에 연결된 각각의 USB 장치는 50mA 이상을 인출할 수 있습니다. USB 장치의 전류 요구사항이 증대됨에 따라 시스템 설계 엔지니어들은 커넥터당 500mA 가 넘는 전류를 공급하도록 하고 있습니다. USB 장치가 호스트 전원 공급장치가 제공하는 것보다 큰 전류를 인출할 수 없도록 USB 장치가 공급 받는 최대 전류 크기를 제한해야 합니다. USB 장치의 전류를 제한하기 위해 전류 제한 스위치가 사용됩니다. 반도체 IC 제조업체는 0.5A 이상의 전류용 USB 전류 제한 스위치를 만듭니다. 이 글에서는 USB 애플리케이션용 전류 제한 스위치의 사용과 가장 일반적으로 사용되는 전류 제한 스위치의 기능에 대해 논의할 것입니다. 두 번째 글인 II 부, USB 전류 제한 스위치의 최근 향상(Recent Improvements in USB current limit switch)에서는 KickStart 및 동적 부하 관리(DLM) 등과 같이 시장에 소개된 몇 가지 새로운 기능에 대해 살펴봅니다.

## 일반적인 USB 애플리케이션

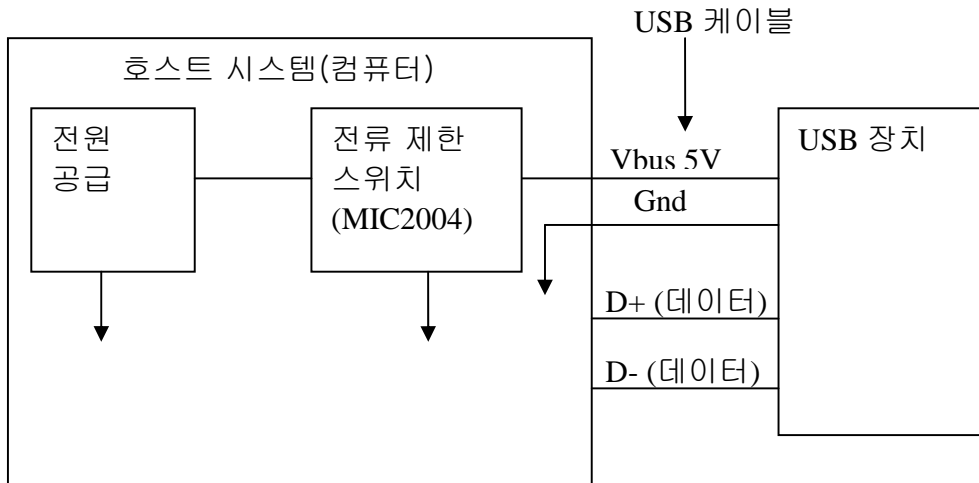


그림 1: USB 시스템 및 USB 장치

그림 1 은 USB 케이블을 통해 USB 장치에 연결된 USB 호스트 시스템을 나타냅니다. USB 케이블은 전선(Vbus 및 gnd)과 데이터 선(D+ 및 D-)으로 구성됩니다. 전선은 호스트 시스템에서 USB 장치로 전력을 공급하는 데

사용됩니다. 전류 제한 스위치(예: Micrel MIC2004)는 호스트 시스템 전원 공급장치와 USB 장치 사이에 놓입니다. MIC2004는 조작이 간편하고 USB 장치에 배분되는 전력에 대한 제어를 높입니다. MIC2004 스위치는 스위치 활성화 또는 비활성화 여부에 따라 특정 부하에 대해 전류를 허용하거나 차단하는 간단한 기능을 수행합니다. 또한 이 스위치의 전류 제한 기능은 스위치가 활성화되었을 때 부하가 끌어올 수 있는 최대 전류가 현재 전류와 같게 되도록 합니다. 스위치의 전류 제한 기능은 전류를 USB 장치로 제한하는 데 필수적인 기능입니다.

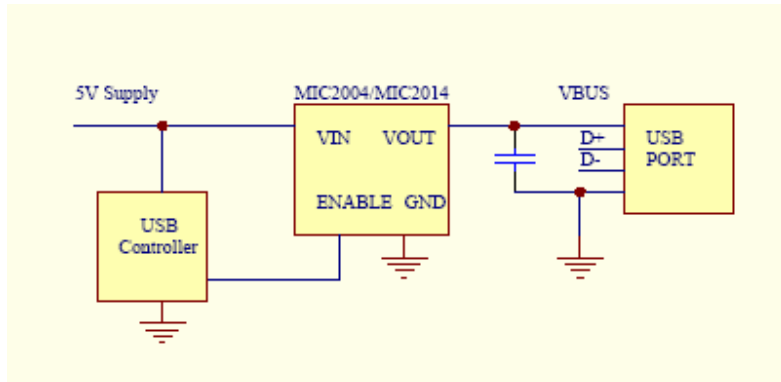


그림 2: 일반적인 전류 제한 스위치 적용

그림 2는 전류 제한 스위치의 일반적인 적용을 나타냅니다. 여기서 USB 장치는 MIC2004-0.5의 출력에 연결되어 있으며 MIC2004에는 Vin 핀, Vout 핀, Enable 및 Gnd 핀이 있습니다. 활성화 신호가 높으면  $V_{out} = V_{in} - (R_{on} \cdot I_{out})$ 이며 여기서  $R_{on}$ 은 활성화 시 스위치의 ON 저항입니다. 일반적으로 MIC2004에는 70mOhm 저항이 있으며 최소 500mA의 고정 전류 제한이 있습니다. 따라서 USB 장치는 최대 500mA의 전류를 끌어올 수 있게 됩니다. 활성화 신호가 낮으면 스위치가 비활성화되고  $I_{out} = 0mA$ 입니다.

일반적으로 USB 커넥터당 하나의 500mA 정격 USB 스위치가 있습니다. 여러 장치 연결을 위해 1A 정격 이상인 전류를 사용합니다. 그림 3은 두 USB 장치에 전원을 공급하는 전류 제한 스위치 적용을 나타냅니다. 각 USB 장치가 최소 500mA의 전력을 끌어오므로 MIC2004-1.2를 사용합니다. MIC2004-1.2는 부하에 최소 1.2A의 전류를 허용합니다. 따라서 1.2A 정격 MIC2004-1.2를 사용하여 두 장치에 전력을 공급할 수 있습니다. 한 장치만 연결한 경우(예: 전력 소모량이 높은 외장 USB 하드 드라이브) 전체 1.2A의 전류를 모두 끌어올 수 있습니다.

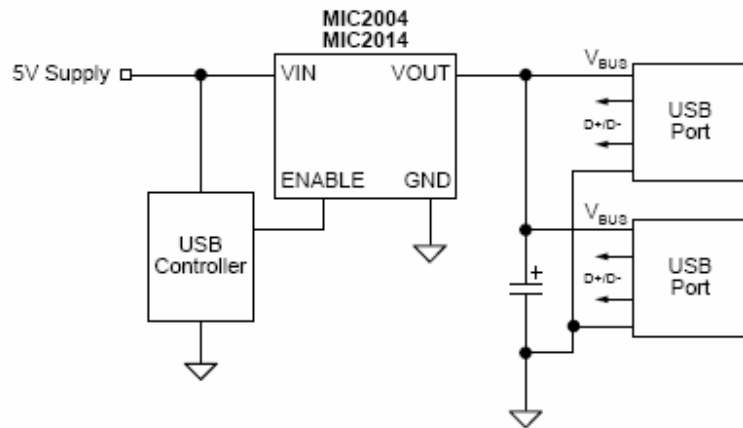


그림 3: 두 USB 포트에 전원을 공급하는 전류 제한 스위치 1 개

출력  $V_{out}$  가 켜졌을 때의 비율을 슬루율이라고 합니다. 슬루율은 스위치 게이트의 커패시터 크기에 따라 다릅니다. 따라서 스위치 게이트에 적합한 커패시터 값을 설정함으로써 슬루율을 제어할 수 있습니다. MIC2000 제품군의 경우 게이트에 내부 커패시터가 연결되어 있으므로 내장 슬루율을 적용 가능합니다. 슬루율을 조정해야 할 경우 MIC2000 제품군의 일부 스위치(예: MIC2005)에서는 슬루율을 제어할 수 있습니다. 그림 4의 MIC2005에는 외부 커패시터를 연결하여 슬루를 높이거나 슬루율을 줄일 수 있는 CSLEW 핀이 있습니다.

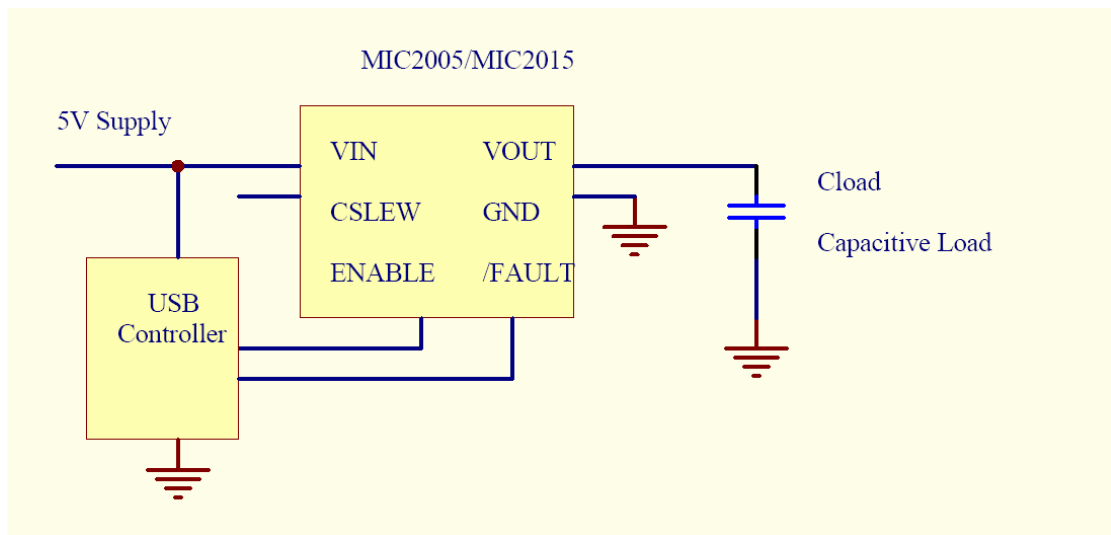


그림 4: 용량성 부하에 전력을 공급하는 전류 제한 스위치

그림 5는 켜진 상태인 MIC2005의 출력 전압과 전류를 나타내는 그래프입니다.  $C_{load} = 10\mu F$ 이며 외부 커패시터가 연결되어 있지 않습니다. Enable 핀이 켜지면

커패시터가 충전을 시작합니다. 내부 슬루율 제어를 통해 출력이 시작되는 속도가 제어되며 이에 따라  $dV/dt$  가 제어됩니다. 그래프에서 Channel 1 은 Enable, Channel 2 는 Vout, Channel 4 는 Iout 입니다. 초기 전류 스파이크는  $I=C*dV/dt$  이므로  $dV/dt$  값에 따라 좌우됩니다. 이론적으로  $I_{out} = 10\mu F*dV/dt = 10\mu F*5V/730\mu s = 68.5mA$  가 됩니다. 그래프에서 측정된 출력 전류 스파이크는 50mA 가 됩니다. 전류 스파이크를 줄여야 할 경우 CSLEW 핀에 외장 커패시터를 추가해야 합니다. 그림 6 은 2.7nf 의 Csllew 커패시터가 있는 MIC2005 에 대한 그래프입니다.

상승 시점은 1.6ms 이고 전류 스파이크가 25mA 로 줄어듭니다. 따라서 Csllew 커패시터 때문에 슬루율  $dV/dt$  가 줄어듭니다.

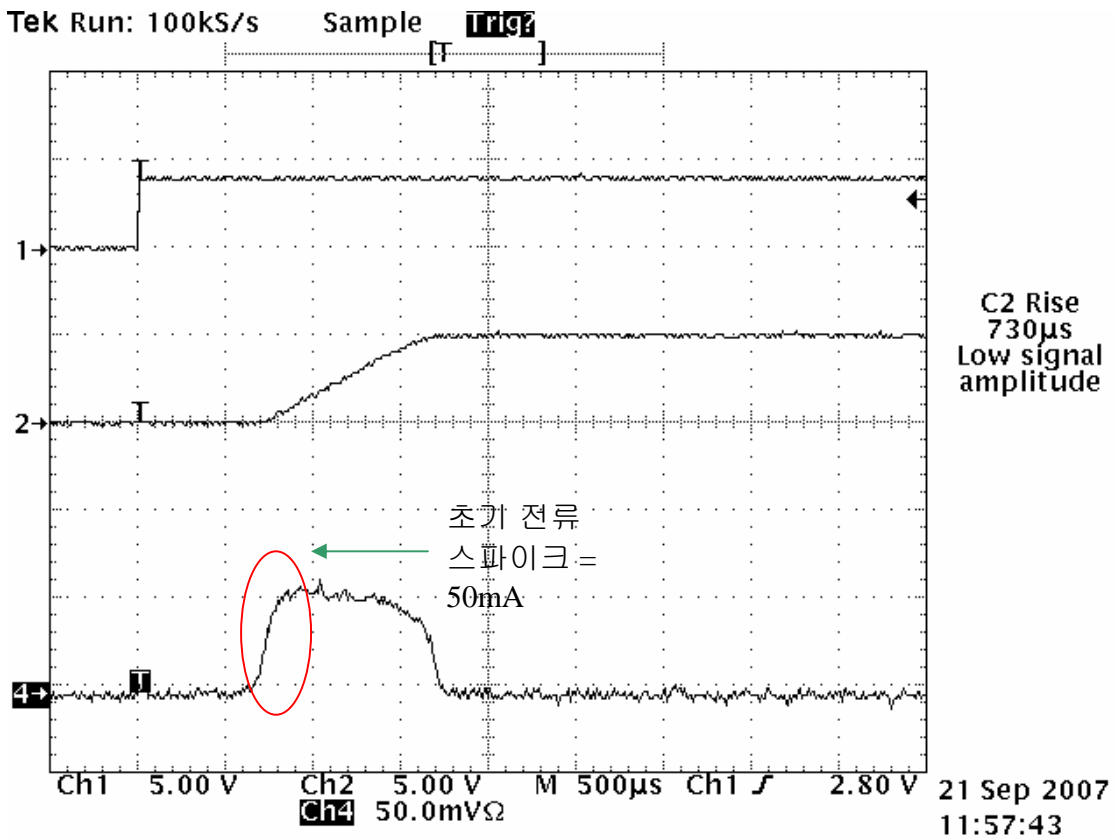


그림 5: 외부 Csllew 커패시터 없음, Cload = 10µF

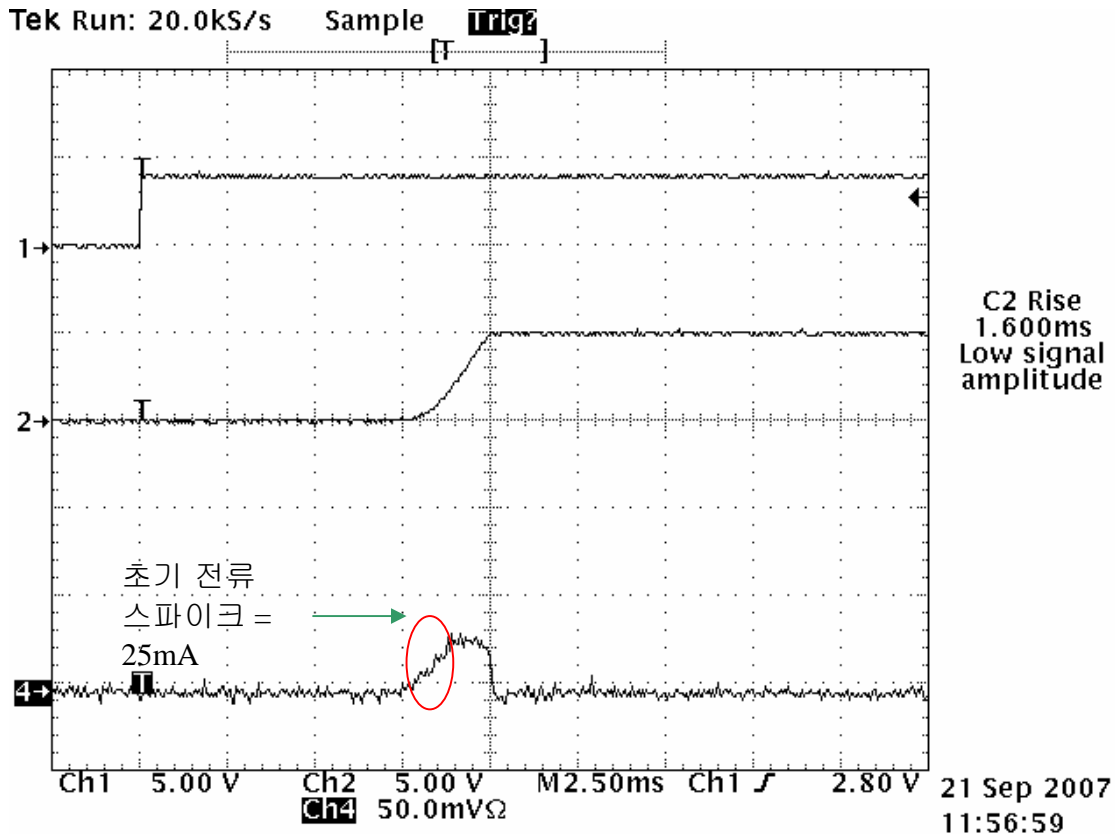
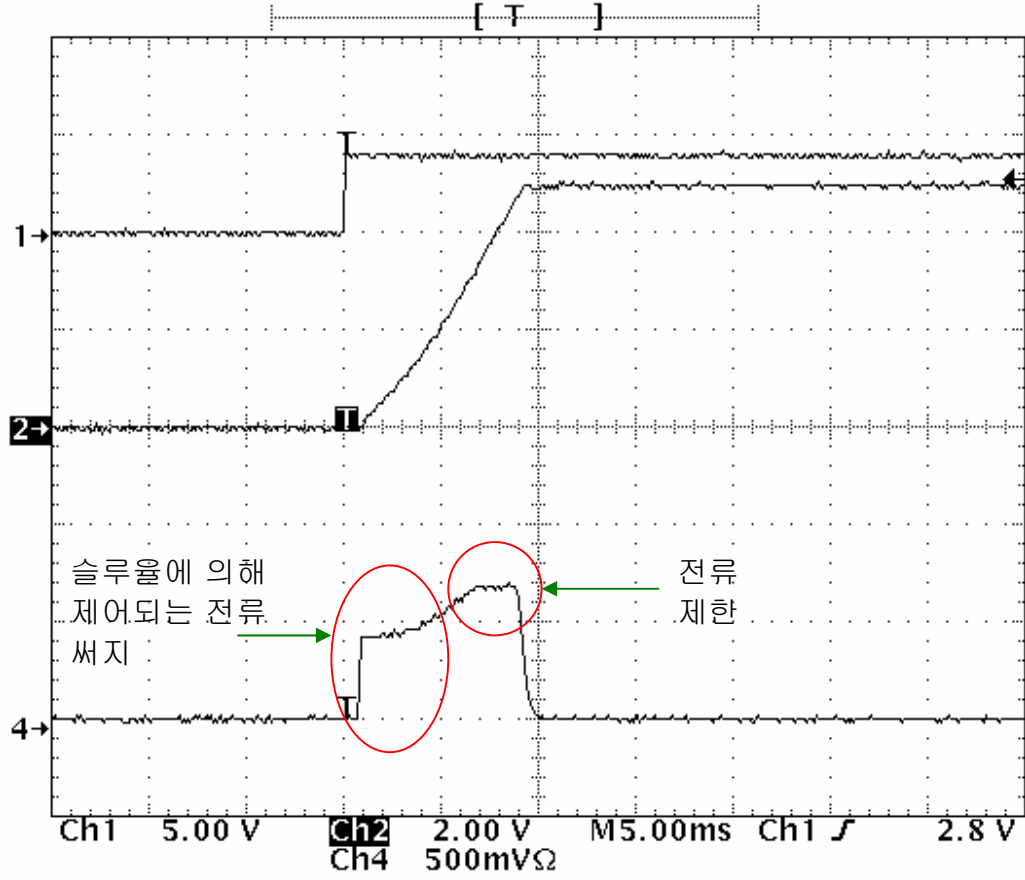


그림 6: 외부 Cslew 커패시턴스 적용(2.7nF, Cload = 10uF)

부하 커패시턴스가 높으면 초기 시작이 슬루율에 따라 제어됩니다. 초기 시작 시간 이후 전류 제한 스위치의 전류 제어 루프가 활성화되어 용량성 부하를 충전하는 최대 전류를 제어합니다. 전류 제어 루프는 용량성 부하가 끝어오는 최대 전류가 스위치의 전류 제한 설정을 초과하지 않도록 합니다. **그림 7**은 Cload=940uF 이며 외부 Cslew 커패시터가 없는 MIC2005 의 그래프입니다. 여기서는 내부 Cslew 커패시터 설정으로 인해 초기 전류 스파이크가 제어됩니다. 초기 전류 스파이크 이후 스위치가 전류 제한을 시작하므로 출력 전류를 전류 제한 설정으로 제한합니다. **그림 8**은 Cload=940uF 이며 2.7nF 외부 Cslew 커패시터가 있는 MIC2005 의 그래프입니다. 여기서는 Cslew 커패시터로 인해 8ms 의 초기 시작 지연이 있으므로 초기 시작 중 Cslew 커패시터가 슬루율 dV/dt 를 제어합니다. 전류 제한 시간도 2ms 에서 1.5ms 로 줄어듭니다.

Tek Run: 10.0kS/s

Sample **11192**



17 Sep 2007  
16:04:27

그림 7: 외부 Cslw 커패시터 없음, Cload = 940uF

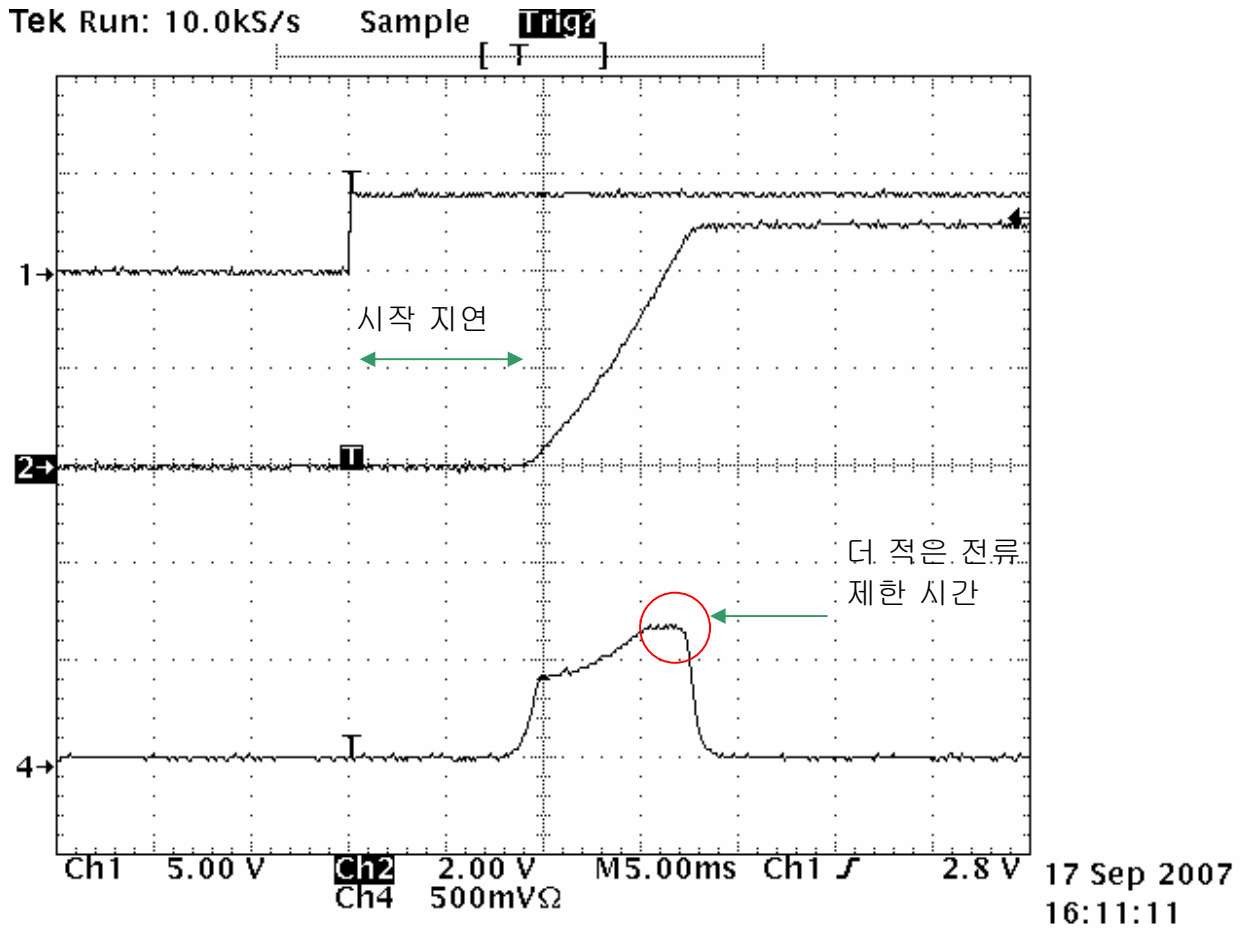


그림 8: 외부 C<sub>slew</sub> 커패시터로 인한 시작 지연

그림 9에서는 저항 부하만 있는 C<sub>slew</sub> 핀의 효과를 보여 줍니다. 추가적인 C<sub>slew</sub> 커패시터는 시작 지연과 시작 상승 시간을 모두 늘어나게 합니다.

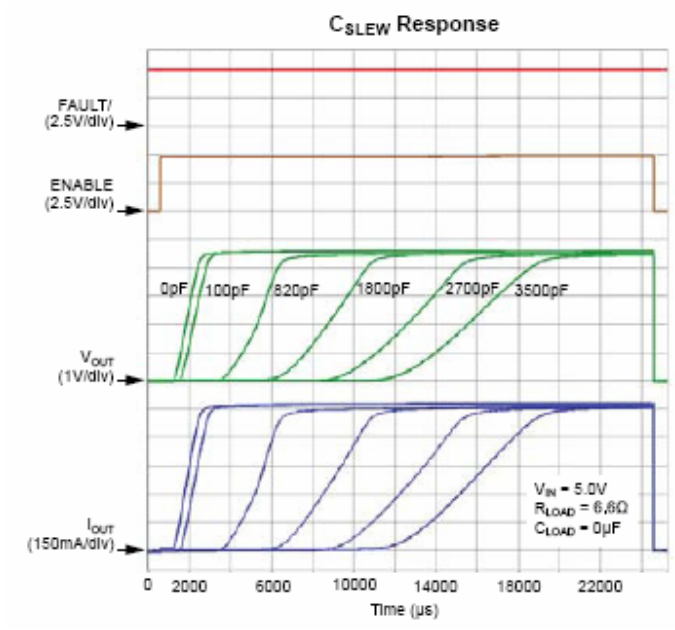


그림 9: Clsew 응답(Rload=6.6ohm)

MIC2004 및 MIC2005 에는 고정 전류 제한이 있습니다. 이는 0.5A, 0.8A 또는 1.2A 고정 전류 제한부로 제공됩니다. 다른 전류 제한 설정이 요구되는 상황에서는 MIC2007 처럼 조정이 가능한 전류 제한 스위치를 사용할 수 있습니다. 그림 10 은 MIC2007 을 나타냅니다. 0.2A 에서 2A 사이로 전류 제한 스위치를 설정할 수 있습니다. MIC2007 전류 핀을 사용하여 외부 레지스터를 연결함으로써 전류 제한을 설정합니다.  $I_{limit} = CLF(\text{전류 제한 인자})/R_{set}$ (외부 Ilimit 레지스터)가 적용됩니다. CLF 가 부하 전류 0.5A 에 대해 235 로 지정된 경우를 예로 들 수 있습니다. 여기서 전류 제한이 0.5A 이므로 외부  $R_{set}=CLF/I_{limit}=235/0.5A=470ohms$  가 Ilimit 에 연결되어야 합니다.



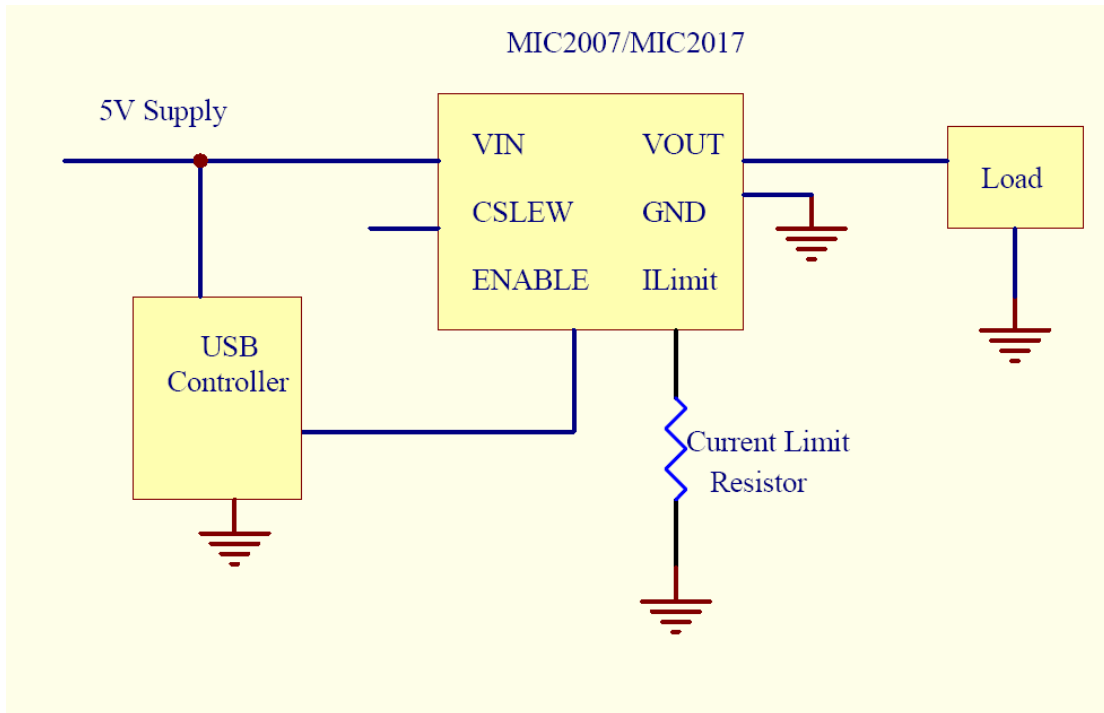


그림 10: 조정 가능한 전류 제한 스위치 MIC2007

MIC2005 및 MIC2009에는 /Fault 출력 기능이 있습니다. 그림 4는 MIC2005, 그림 11은 MIC2009의 블록 도표입니다. MIC2009에는 조정 가능한 전류 제한 핀과 /Fault 출력 핀이 있습니다.

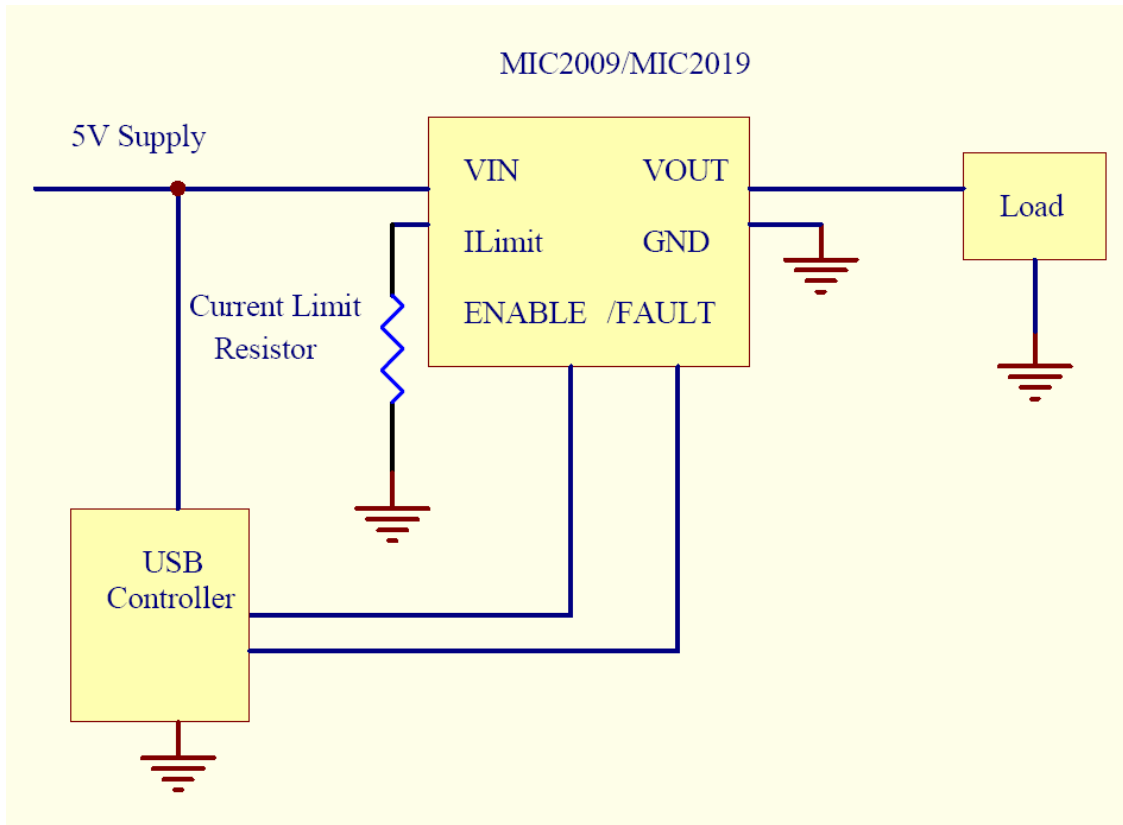


그림 11: 조정 가능한 전류 제한 스위치와 오류 출력이 적용된 MIC2009

/Fault 출력 핀은 스위치가 출력 전류를 전류 제한 설정으로 제한할 때 오류를 나타냅니다. 그림 12에서는 0.68ohm 레지스터에 전력을 공급하는 MIC2009 용 그래프입니다. Channel 1은 Enable, Channel 2는 /Fault, Channel 3은 Vout, Channel 4는 Iout입니다. Vin은 3V이며 전류 제한 설정은 2Amps이므로 스위치가 활성화되고 전류 제한이 없으면 Iout는  $3V/(R_{dson} + 0.68ohm)$ 가 됩니다. 일반적으로 스위치의 On 저항은 데이터시트에서 지정한 대로 70mohm입니다. 따라서 Iout는  $3/(0.07+0.68) = 4A$ 가 됩니다. MIC2009 전류 제한 설정이 2A이므로 스위치가 전류 제한을 수행하며 출력 전류가 2A로 제한됩니다. 전류 제한 발생 시 오류 출력이 낮게 활성화됩니다(그림 12).

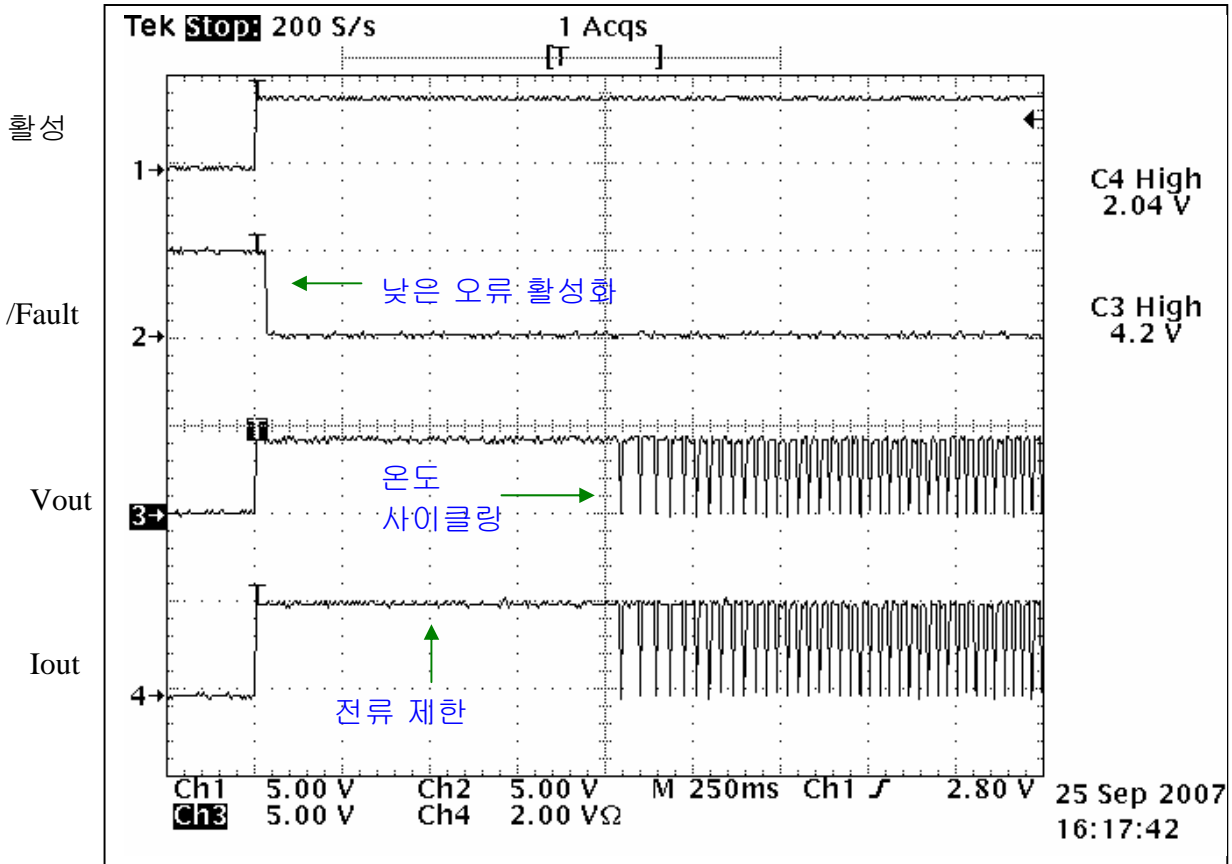


그림 12: 전류 제한 및 온도 사이클링 적용 MIC2009

MIC2000 스위치 제품군에는 과열 보호 기능도 있습니다. IC에서의 전력 소모가 지나치게 클 경우 접합부 온도가 145°C 이상이 되면 스위치가 꺼지고 145°C 밑으로 떨어지면 다시 켜집니다. 이것을 온도 사이클링이라 합니다. 그림 12의 그래프는 온도 사이클링을 수행하는 MIC2009를 나타냅니다.

그림 12의 경우 IC에서 사용하는 총 전력을 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\text{전력} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{out} = (3 - V_{out}) \cdot 2A$$

$$V_{out} = 2A \cdot 0.68\Omega = 1.36V \text{ (그림 12의 1.6V에 가까움)}$$

따라서 IC에서 사용하는 전력은  $(3 - 1.6) \cdot 2 = 2.8W$ 입니다.

SOT 23 패키지 부분의 온도 저항이 230degC/W이므로

$$T_j \text{ (접합부 온도)} = 25 \text{ (실온)} + 230 \cdot 2.8 = 669 \text{ 도입니다.}$$

이 값은 최대 접합부 온도인 150도보다 훨씬 크므로 스위치가 온도 사이클링을 통해 스스로를 보호합니다.

MIC2000 스위치 제품군에는 매우 낮은 70mOhm RDS(on)가 있습니다(일반적인 경우). 이 제품은 매우 작은 SOT 23-6 패키지 및 MLF 패키지로 제공되며 최대 2A 까지 통과할 수 있습니다. 현재 출시된 스위치 중에서는 전력밀도가 가장 높으며 USB 애플리케이션의 전류 제한에 매우 유용합니다. 이 글에서는 전류 제한 스위치의 가장 일반적인 기능을 살펴보았습니다. 다음 글에서는 MIC2000 전류 제한 스위치의 부하 방전, KickStart, 동적 부하 관리(DLM) 등과 같은 최신 기능과 향상점에 대해 논의할 것입니다.