

신뢰성 있는 스위치모드 파워 서플라이 선택

(Switch Mode Power Supply (SMPS))

2015

권형안/엑슬리트엣지

역사

- 다음은 스위치모드 파워서플라이의 역사임:
 - SMPS 는 70년 후반 과 80년 초반에 개발됨
 - 이 기술은 선로 주파수(line frequency)에 비교해, 고 주파수로 스위칭함에 인해서 파워서플라이 크기를 크게 줄이는 데 도움이 됨
 - 이전 설계는 선형 레귤레이터(linear regulators), 철 공진 트랜스포머(ferro-resonant transformers), 위상제어를 가진 모터-발생기(motor-generators with phase control, IBM 메인프레임) 등임.

역사

- 80년대 후반에 산업계에 변화
- SMPS 는 보통 누구나 구매하는 저항이나 콘덴서와 다르지 않은 상용품이 됨.
- 그래서, 비용과 수익이 시간의 흐름에 따라 하락
- 파워 서플라이에 대한 수익은 IC 칩들의 30%~70%에 비해 몇 % 이하 수준임.
- 거의 모든 파워서플라이 설계와 제조는 이제 외국에서 이루어짐.
- 그러나, SMPS는 아직 요구됨.
- 이들이 이제는 필요악(“Necessary Evil”)이 됨

복잡성

- SMPS가 하나의 상용품으로 간주된다고 할지라도, 이들은 몇몇의 경우에 이들이 사용되는 최종제품보다도 더 복잡.
- SMPS속에 포함된 기술의 몇 개를 보면:
 - 산업계는 SMT 부품을 만드는 것으로 전환되었지만, 많은 전원부품들은 PTH를 가지고 있고, SMT/PTH을 믹스를 다루어야 할 필요가 있음.
 - 4KV 서지(surges)를 다루기 위해
 - 모터 전동 밸브(Motor Operator Valve) 같은 높은 전압부품이 필요.
 - 높은 전류를 다루기 위해 (2oz 또는 그 이상) 무거운 구리 보드들.

복잡성

- 큰 양의 정전용량(capacitance)이 필요하지만 높은 리플전류(ripple current)등으로 알루미늄 전해질(aluminum electrolytics)을 고갈시킬수 있음.
- 고장 하에 쉽게 열릴 수 있지만 쇼크나 진동에 견딜수 있는 퓨즈가 필요.
- 인덕터(Inductors)와 트랜스포머(transformer)는 복잡한 행동을 가진 페라이트 재료로 수작업으로 만들어진 서브 어셈블리임
- 높은 전압과 높은 전류를 모두 다루지만 가능한 한 이상적으로 행동해야 하는 반도체들.
- 히트 싱크 같은 열 냉각을 필요로 하는 장비
- 고온에서 작동할 필요

복잡성

- 그리고, 준수해야 할 규제조항들이 있음
 - AC/DC' s 에 대하여는 안전성사항(safety specs)들로 UL 60950이 있음
 - 안정성을 맞추기 위해서는 안전승인 부품들과 주-부간 간격이 필요함(spacing's between primary-secondary)
 - 만일 현장에서 안전성 이슈들이 있으면 리콜을 초래함.
 - 만일 누군가가 쇼크 피해를 입으면 더 악화된 상황이 됨.

복잡성

- 전도되고 방사된 전자기기 적합성 (EMC) (Conducted and Radiated EMC)
 - 단지 전도된 노이즈가 하나의 이슈이었음.
 - 이제 더 빠른 스위칭 컨버터에서는 방사된 노이즈가 하나의 이슈가 됨
 - DfR 시는 스위칭 파워 서플라이가 고성능 프로세서나 FPGA보다 더 많은 노이즈를 발생하는 경우들을 보아옴.
 - 레이아웃과 스위칭 속도(switching speeds) 가 중요함.
 - 페라이트 비드(Beads), 도시바 스파이크 킬러, 공통 모드 초크(common mode chokes)를 요구

복잡성

- 그리고, 표준들이 존재 (AC/DC' s 에 대하여)
 - IEC61000-4-2 ESD
 - IEC61000-4-3 RF 면역(Immunity)
 - IEC61000-4-4 EFT(Electrical Fast Transient)
 - IEC61000-4-5 서지(Surge)
 - IEC61000-4-6 전도된 면역(Conducted Immunity)
 - IEC61000-4-8 전원주파수 자기장 면역(Power Frequency Magnetic Field Immunity)
 - IEC61000-4-11 딥스와 섹스(Dips and Sags)

복잡성

○ 단지 길을 굽음.



선택

- 만일 전반적인 상세분석을 하지 않으면 그 파워서플라이가 얼마나 좋은지를 정확히 알지 못함
- 그러나, 선택 프로세스를 도와 줄 수 있는 몇몇 가이드라인들이 있음.

○ 전류 부하 (Load current)

- 무슨 전압이 필요한지는 정확하게 알지만, 전류부하는 잘 확인되지 않는다.
- 공통의 프랙티스는 그 회로 속으로 모든 장비들로부터의 최악의 전류들을 모두 합치는 것임.
- 이는 최악의 전류부하를 주게 됨
- 당신의 경우 최악의 전류부하 또는 1.5x 또는 2X까지도 등급이 매겨진 파워서플라이를 사용하나?

선택

- 나의 제안은 최악부하의 2X로 설계된 파워서플라이를 사용하는 것임.
- 다른 부품들처럼, 파워서플라이도 출력을 내려서 사용해야만 한다.
- 왜 2X인가?
- OEM 파워서플라이 시장에는 아주 내밀한 잘못된 비밀이 있다. I
- 이들은 고객들이 파워서플라이를 $\frac{1}{2}$ 부하를 가지고 보통 실행하며, 몇몇 OEM들은 그들 신뢰성을 50% 부하기준으로 한다.

선택

- 표준들(Standards)

- 이전에 언급했듯이, 표준들이 AC/DC에 대하여 존재하고 각 표준은 하나의 레벨을 가지고 있음.
- 레벨이 올라갈 수록, 그 제품은 더 견고해 짐:
 - IEC61000-4-2 ESD
 - IEC61000-4-3 RF 면역(Immunity)
 - IEC61000-4-4 버스트 (EFT, Electrical Fast Transient)
 - IEC61000-4-5 서지(Surge)
 - IEC61000-4-6 전도된 면역(Conducted Immunity)
 - IEC61000-4-8 전원 주파수 자기장 면역(Power Frequency Magnetic Field Immunity)
 - IEC61000-4-11 딥스와 섹스(Dips and Sags)

선택

- 예를 들면, , IEC61000-4-5 서지

Class	Differential Mode Surge	Common Mode Surge	Comments
	$Z_{OUT} = 2\Omega$	$Z_{OUT} = 12\Omega$	
1	No requirement	0.5 kV	Protected environment
2	0.5 kV	1 kV	Electrical environment where cables are well separated
3	1 kV	2 kV	Electrical environment where cables (power and electronic) run in parallel (residential environment)
4	2 kV	4 kV	Electrical environment where cables (power and electronic) run in parallel (industrial environment)
5	> 2 kV	> 4 kV	Severe surge environment (rural/sparsely populated areas)

- 레벨/클래스 4를 충족하는 제품은 레벨/클래스 3을 충족하는 제품보다는 더 견고함

선택

- 냉각을 위한 팬들(Fans)
 - 고 전력 컨버터에 대하여, 냉각을 위해 팬이 필요
 - 팬들은 베어링때문에 마모되는 기계적인 시스템임.
 - 이들은 회전 수(the number of revolutions) 에 의해 제한됨.
 - 수많은 베어링타입이 있는 데 각자는 장점과 단점을 가짐.

선택

- **팬 수명을 증가시키는 트릭들이 있음**
 - 큰 팬을 사용하고 더 낮은 속도로 회전(낮은 회전수)
 - 팬을 냉각이 필요할 때만 사용
 - 냉각요구사항등에 기초하여 다양한 속도 팬을 사용
 - N+1 팬 냉각시스템.
- **때때로, 어떻게 냉각시스템이 작동하는 지를 데이터시트 또는 다른 곳에 사양화했는지를 물어보아야 함.**

○ 알루미늄 전해질 (Aluminum Electrolytics)

- 이런 타입의 콘덴서는 시간이 흐르면 고갈되는 액체를 가짐
- 알루미늄 전해질의 수명은 다음과 같이 결정됨:
 - L_r = 등급화(rated ripple current)
 - 된 리플전류에서 콘덴서의 등급 수명(rated lifetime of the capacitor)
 - T_r = 콘덴서의 등급 온도
 - T_E = 전해질의 실제 온도.

$$L = L_r \times 2^{\left(\frac{T_r - T_E}{10}\right)}$$

- 이 공식은 액체의 증발(evaporation of a liquid)에 기초함.

선택

- 다음과 같이 흥미로운 일들이 있음
 - 그 수명은 온도에 따라 기하급수적으로 감소(decreases exponentially)
 - 등급 수명은 등급리플전류에서 수행됨
 - SMT 또는 몇몇 PTH 콘덴서에 대하여 등급 리플전류는 0A 임.
 - 이것이 의미하는 것은 리플 전류를 적용하자마자 그 수명이 감소한다는 것임.
 - 만일 그 콘덴서가 등급리플전류가 >0A 이고 만일 사용자가 더 낮은 리플전류에서 이들을 실행하면, 그 수명은 증가함.
 - 85C 등급 온도를 가진 콘덴서는 보통 3차 벤더들에 의해 만들어짐.
 - 1차 벤더들은 이런 콘덴서를 외부에서 구입해서는 자신들의 이름을 붙임.

선택

- 콘덴서가 더 커질수록, 등급수명은 더 높아짐.
- 국부적인 고온지점들을 주의
 - 아래의 트랜스포머가 콘덴서를 가열함.
 - DfR 사는 한 제품에서 하나의 저항이 콘덴서 옆에서 200C로 실행되는 사례를 봄.



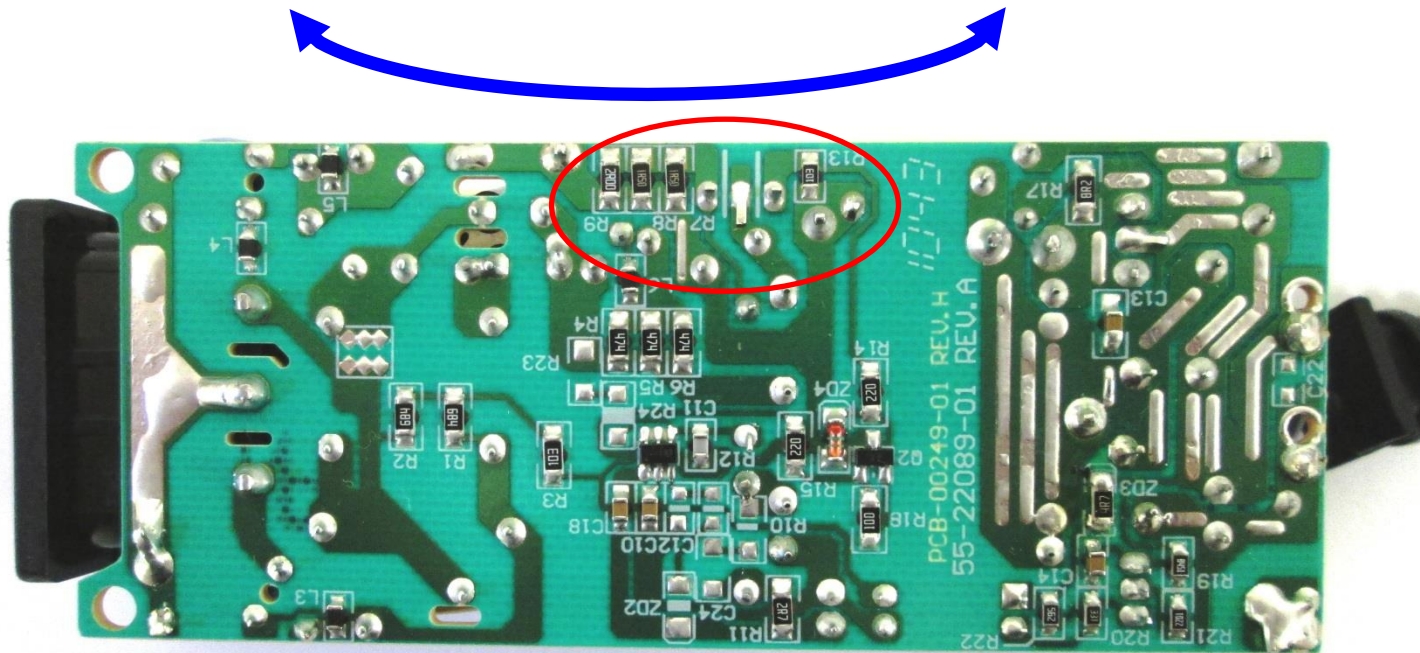
선택

- 파워서플라이를 볼때, 105C/1000Hr가 최소 콘덴서 등급임.
- 만일 가능하다면, 벤더에게 파워서플라이 온도 프로파일과 리플전류에 대해 물어 볼 필요가 있음.
- 이런 방법으로 스스로 콘덴서의 수명을 계산할 수 있음.
- 콘덴서가 언제 고장 날 지를 보기 위해 수명 테스트를 하는 대신에 DfR 사는 수명을 결정하기 위한 방법의 하나로 중발 때문에 무게손실을 사용하는 방법을 개발함.

- PCB상의 파트 위치 (Parts Position)
 - 만일 부품이 보드 둘레에 너무 가까이 있으면, 패널분리 프로세스(depanelization process) 때문에 금이 생김

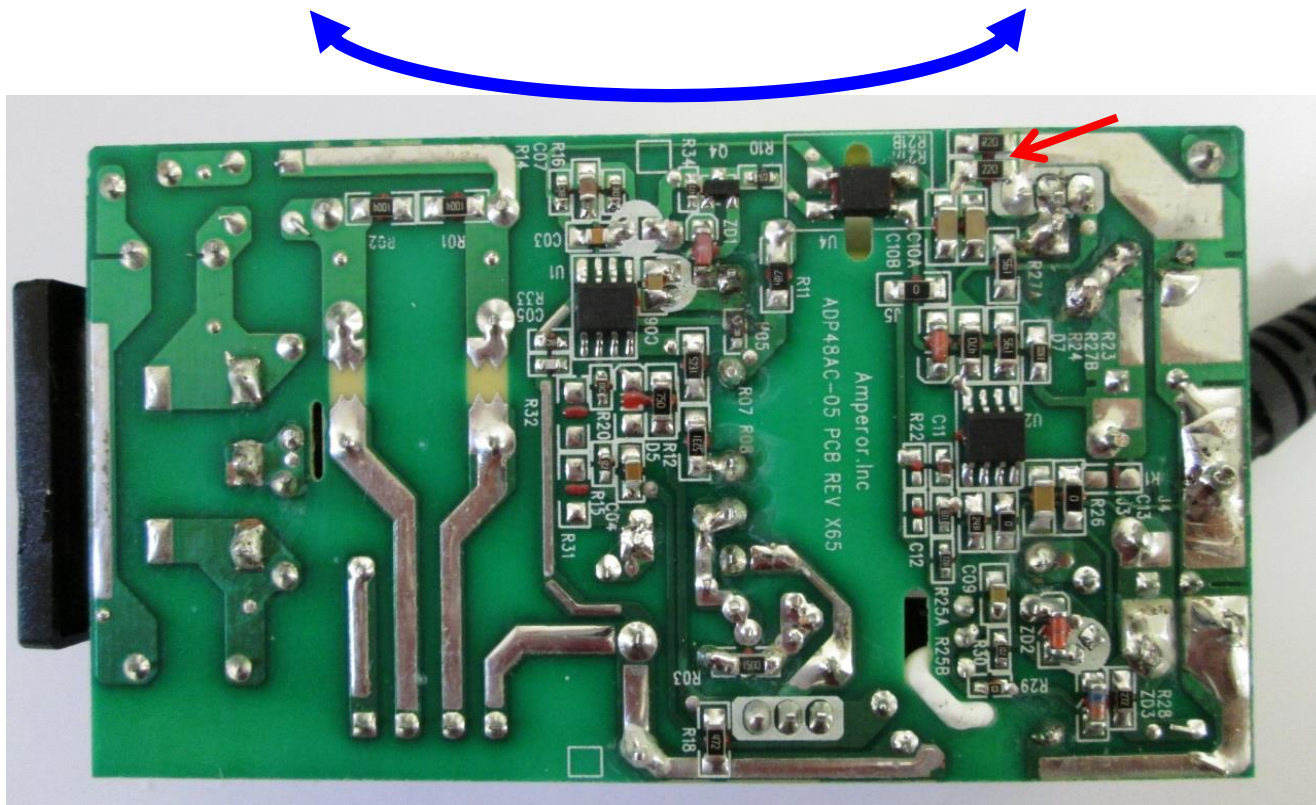
선택

- 아래는 선호된 구부림 축(preferred axis of bending)
- 가장자리 가까이에 몇몇 부품들이 있지만 그 방향은 금이 날 가능성을 최소화하도록 배치됨.



선택

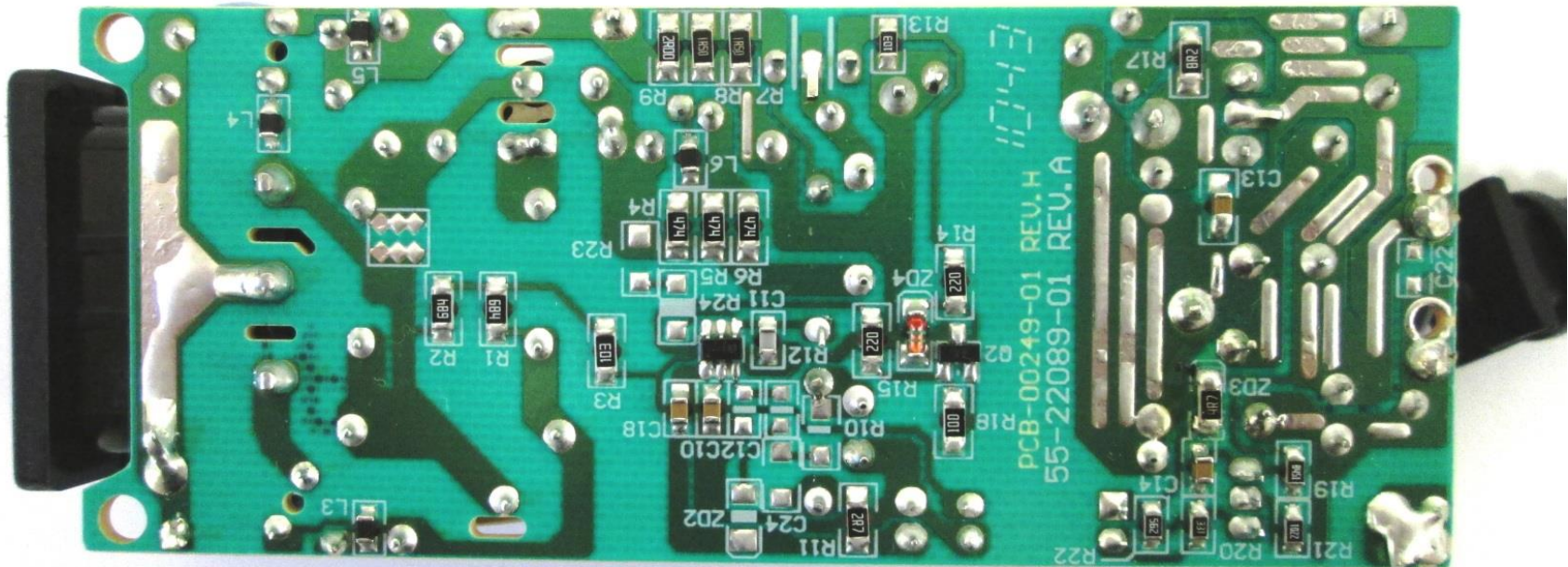
- 이 경우에, 빨간색으로 표시된 부품은 잘못된 방향을 가짐
- 그 보드를 구부리면 이들에게 금이 생김



- **보드 세척 (Board Cleanliness)**
 - 파워서플라이를 구성으로부터 그 회사에 대하여 많은 것을 이야기 할 수 있음.
 - 깨끗한 보드는 그 회사가 세심하고 좋은 프로세스가 체계화 되어 있다는 것을 보여줌.
 - 지저분한 보드는 비 정상적인 회로 행동 이나 전광(Arcing)과 같은 위험에 처할 수 있게 함.

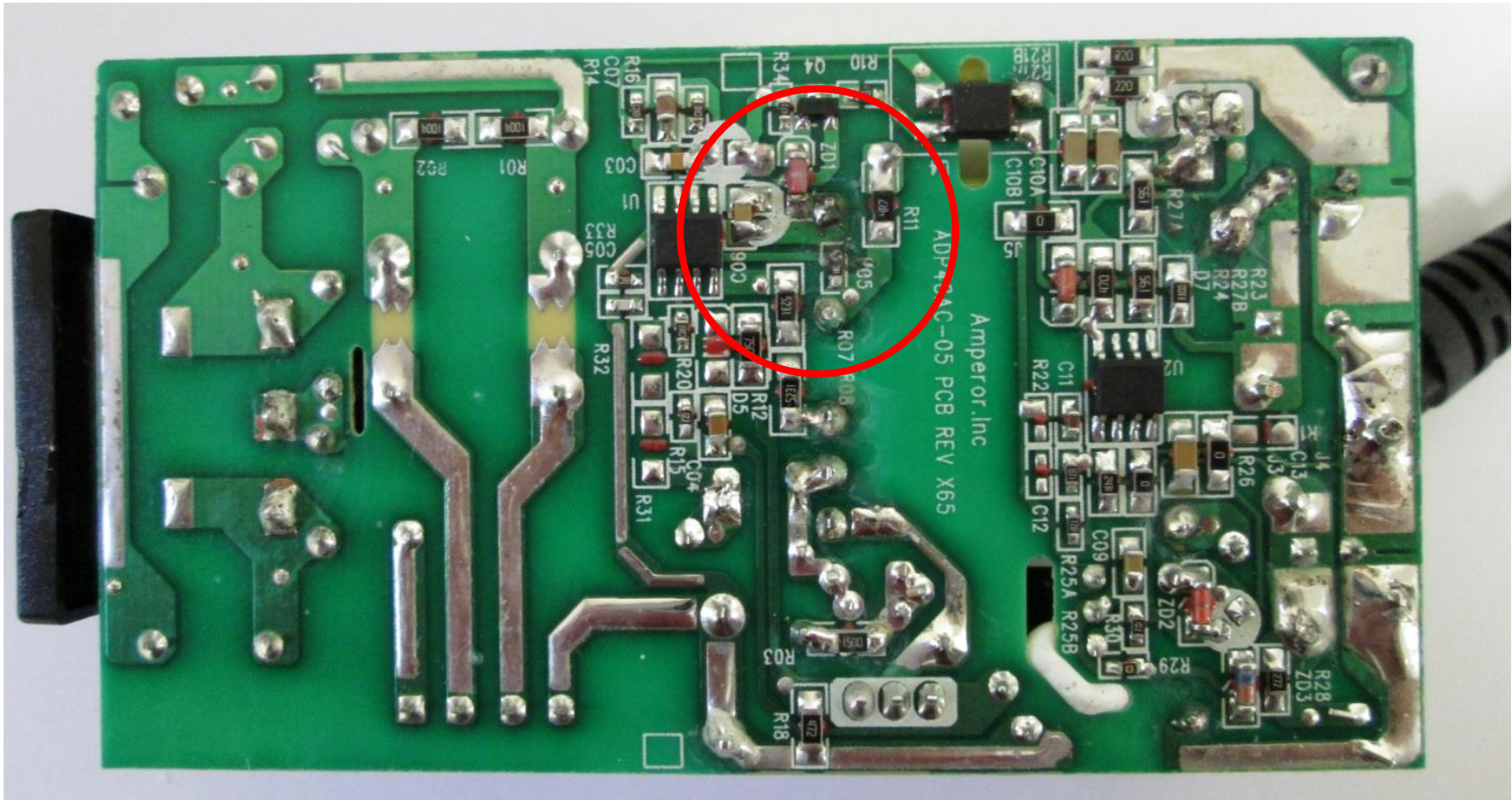
선택

- 이 것은 잘 세척된 보드
- 플럭스가 없음(No flux)



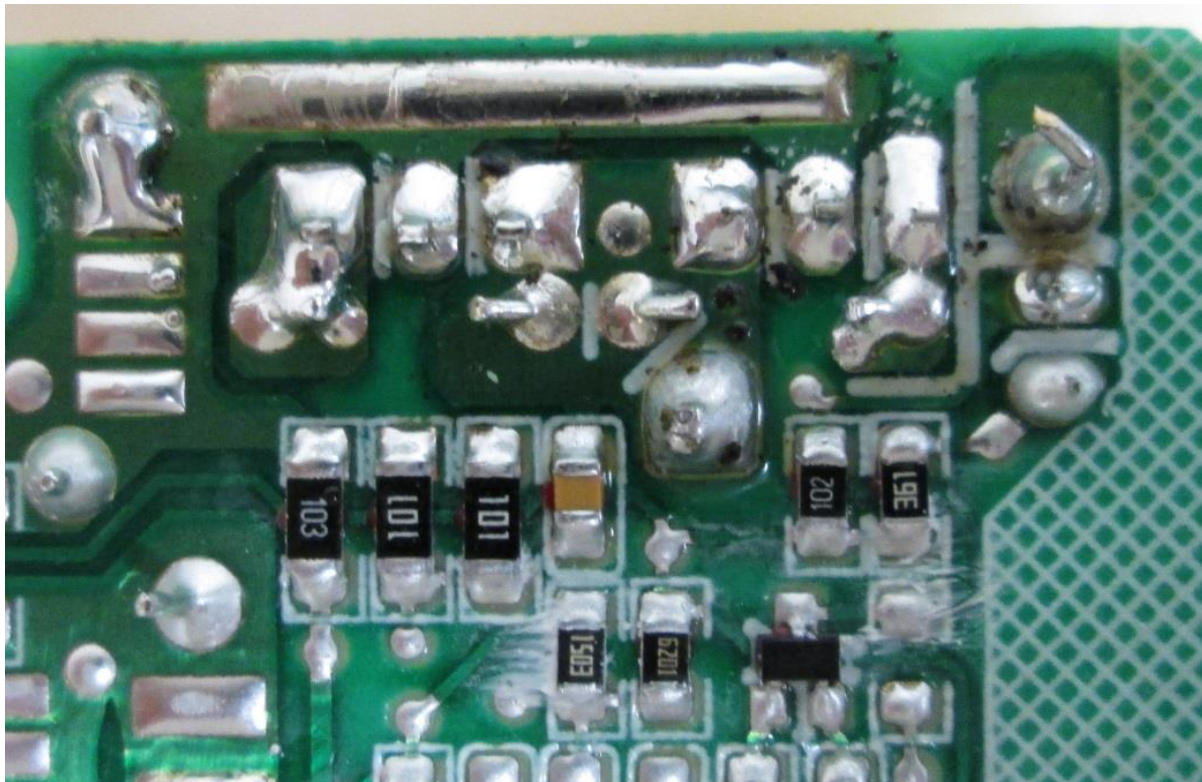
선택

- 손으로 솔더한 플럭스가 보드상에 남아있음



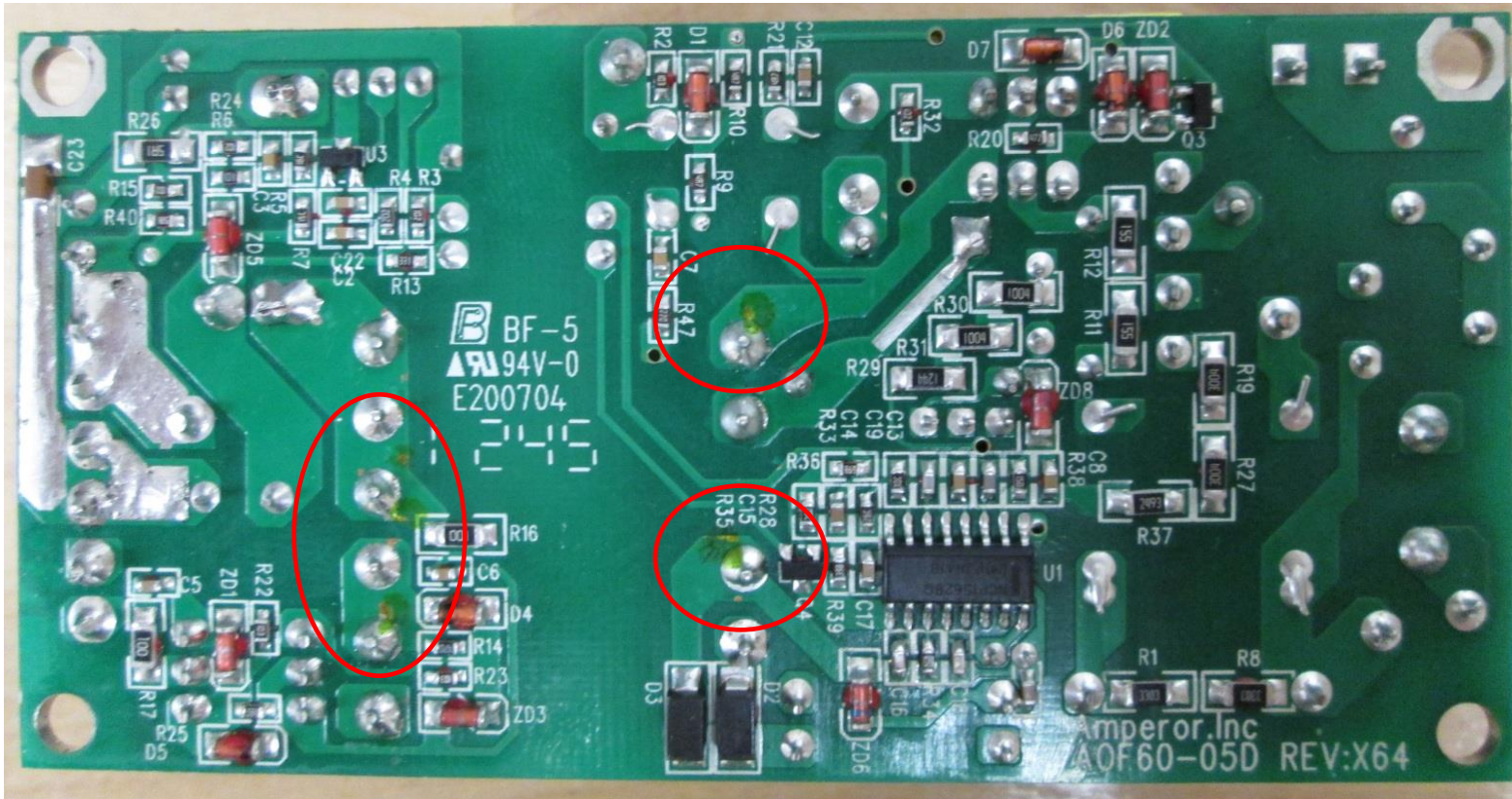
선택

- 보드상에 깨끗하지 않은 솔더 플러스가 남음.
- 이 것은 높은 임피던스를 가진 아날로그 회로에서는 문제임.



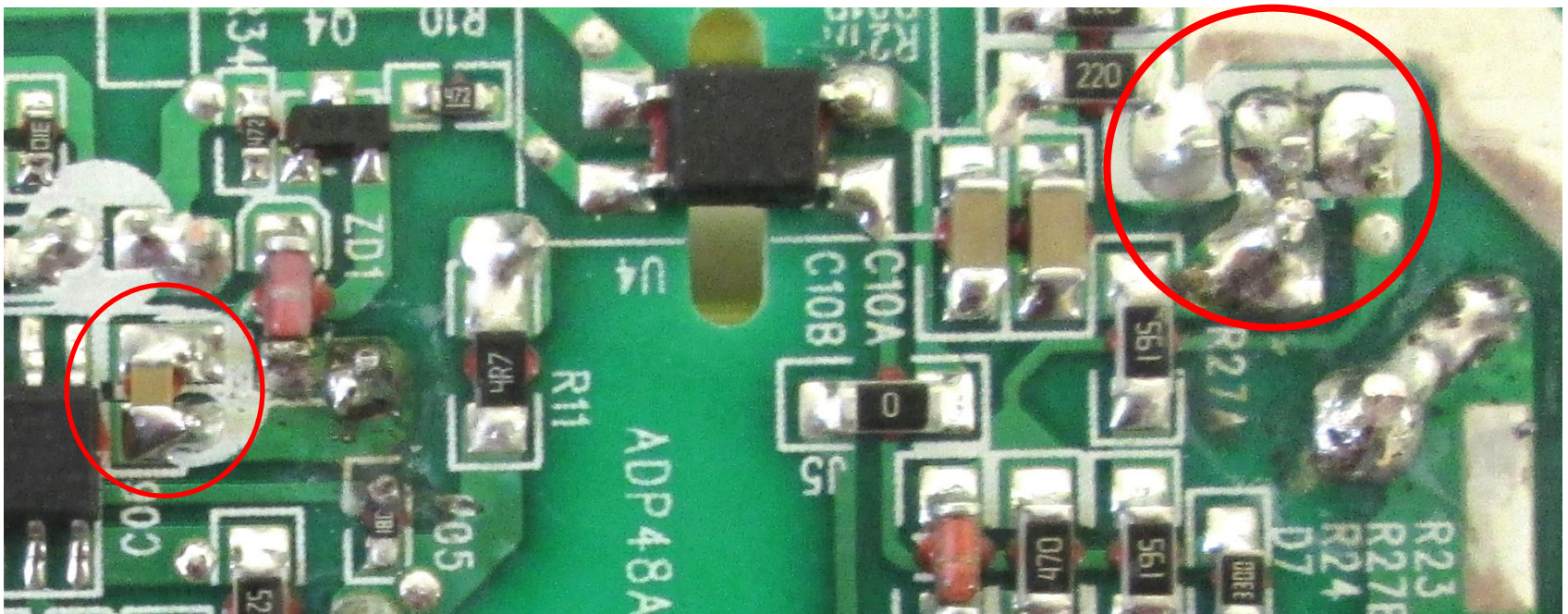
선택

- 더 많은 솔더 플럭스가 보드상에 남음.



- **솔더 작업성 (Solder Workmanship)**
 - 혼합된 기술(SMT & PTH) 때문에 어떤 부품은 손으로 솔더가 됨.
 - 만일 손으로 솔더를 하게 되면 적절하게 이루어졌는 지를 확인해야 함.

- 엉성한 솔더 작업성



- 접착제 (Glue)
 - 높은 밀도 컨버터들은 접착제가 요구됨.
 - 쇼크나 진동에 대하여 부품을 하나로 지지하는 데 사용
 - 이것은 주-중 고립(primary-secondary isolation)
 - 을 충족하기 위한 절연재료(insulating material) 로 사용되기도 함.
 - 그러나 이는 실수로 이어지는 수작업으로 이루어질 필요가 있음.
 - 안전 공간(Safety spacing)은 매우 중요.

선택

- 여기 접착제를 최소한으로만 사용하고 치명적인 안전지역들에서는 사용하지 않음
- 이런 것이 좋은 디자인임



선택

- 나쁜 접착제 동작
- 이것은 엉성할 뿐 아니라, 안전 요구사항을 충족하기 위해 높은 전압선로들 코팅해야 함.
- 이런 것은 일관성있게 이루어질 수 없음.



- 테이프(Tape)
 - 고밀도 파워서플라이를 위한 안전 간격을 줄이기 위한 또 다른 방법은 테이프를 사용하는 것.
 - 다시, 접착제처럼, 테이프는 수작업으로 작업되어야 하고 실수들이 발생할 수 있음.

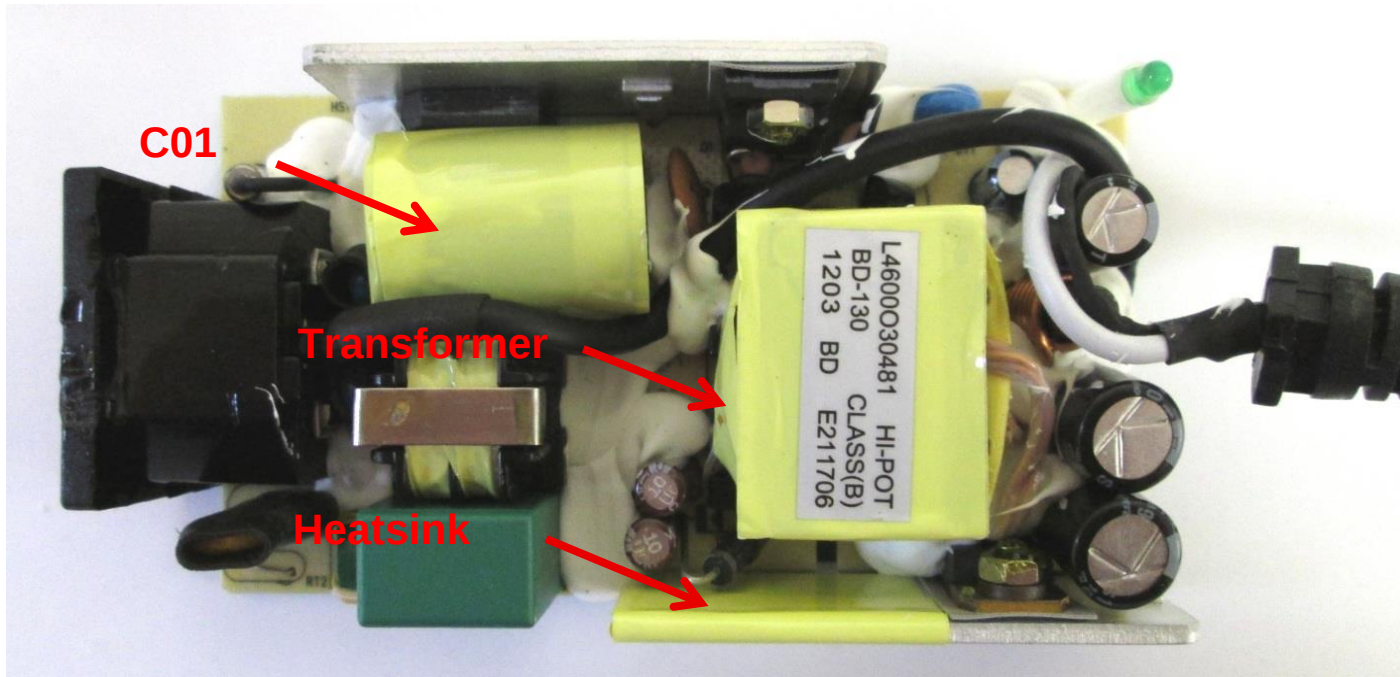
선택

- 여기는 안전 요구사항을 위해 단지 트랜스포머만이 테이프를 가지고 있는 사례임.
- 이러한 것은 좋은 디자인임.



선택

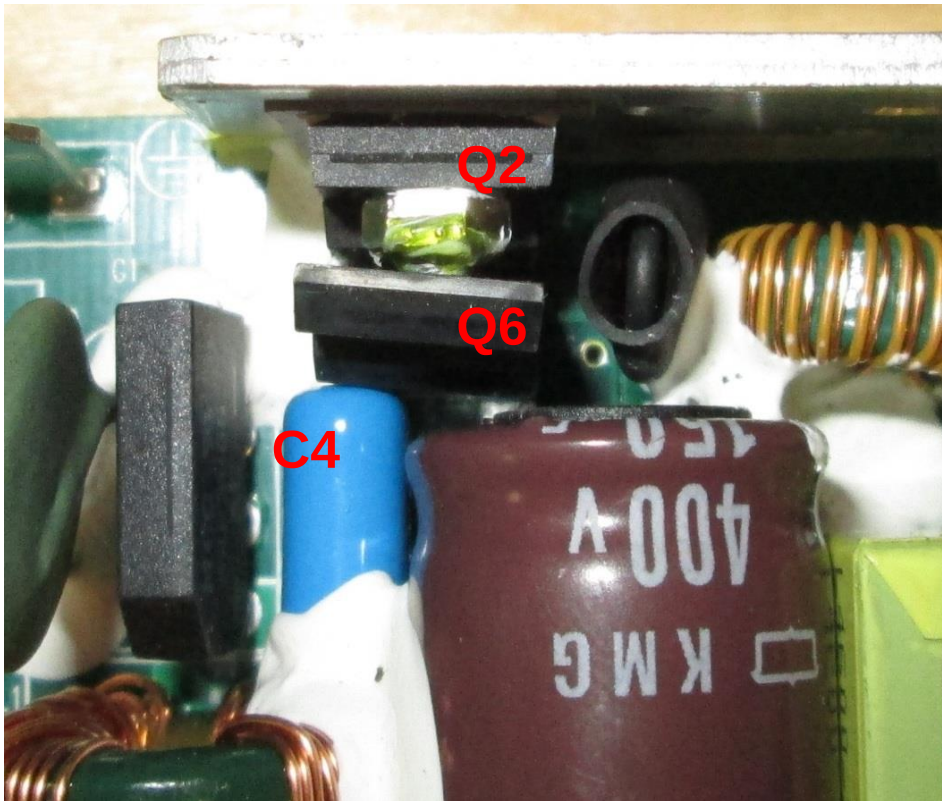
- 이 예는 상당한 양의 테이프가 사용된 것임.
- 실수를 발생시키지 않기만을 바램



- 어셈블리 (Assembly)
 - 파워서플라이가 어떻게 구성되는 지를 전반적으로 봄.
 - 자신에게 질문할 것들
 - 부품이 딱 맞도록 힘이 가해져 있나?
 - 하나의 장치를 미끄러지거나 다른 손상을 야기하지 않고, 히트싱크에 마운트할 수 있는 스크류 드라이버를 가지고 있나?
 - 만일, 어셈블리속에 문제들이 있다면, 나중에 이슈들을 보게 된다.

선택

- C4, Q6 와 Q2 서로에게 눌러져 있음.
- 이런 부품들은 열 사이클링 때문에 시간이 흐르면 금이 감.



마지막 슬라이드

- 이 프리젠테이션은 하나의 파워서플라이를 선택하는 데 충분한 정보를 줌.
- 그리고 파워서플라이의 품질을 체크하는 개요를 제공.
- DfR에서는 회로를 문서적으로나 하드웨어를 리뷰하는 것으로 구성된 상세한 분석을 다음단계로 한걸음 더 나아가 실행
- 그리고, 만일 파워서플라이가 이슈들을 가지고 있다면, 그 문제를 진단하고 올바른 수정조치들을 제안함.

리뷰 프로세스

- 그 전기적인 리뷰프로세스는 다음을 수반함.
 - **사양서 리뷰**
 - 이는 제품에 대한 이해를 주며 만일 충분한 정보가 있고, 레벨과 범위가 올바른지를 확인해 줌.
 - 예를 들면:
 - 그 동작 온도 범위가 충분한가?
 - 적합한 표준과 매우 충분한 레벨들이 있나?

리뷰 프로세스

- 전기적인 리뷰프로세스는 다음을 수반함.(계속)
 - 회로에 대한 리뷰
 - 회로의 기능에 대한 이해와 리뷰
 - 회로의 기능이 정상인지 확인
 - 때로는 기능과 비용을 개선할 수 있는지 제안
 - 회로의 견고성을 체크
 - 회로에 대한 EMC 와 ESD 측면을 봄
 - 부품의 정격감소(de-rating)를 체크
 - 전력발산, 전압 등급화(저항기들 조차)
 - FET의 LLC에 대한 dV/dt 등급
 - FET의 V_{GS} 부서짐(breakdown)
 - 온도 등급화(Temperature rating)

리뷰 프로세스

- **전기적인 리뷰프로세스는 다음을 수반함.(계속)**
 - **안정성(Stability)**
 - 파워서플라이처럼 피드백루프(feedback loops) 를 가진 회로
 - LDOs (Low Dropout Regulators)들 조차 (고 ESR(Equivalent Series Resistance) 알루미늄 전해액이 안정적인 필요가 있는 곳에서 저 ESR 세라믹을 사용하는 것 같이)
 - **알루미늄 전해액의 수명**
 - 모든 디자인 리뷰의 절반은 이슈들
 - 계절에 따른 온도 차이를 가능한 한 정확하게 사용.
 - **자기학(Magnetics)**
 - 트랜스포머 문서 및 구조
 - 자기의 포화전류(Saturation current of magnetics)
 - 코어 손실(Core loss)

리뷰 프로세스

- 전기적인 리뷰프로세스는 다음을 수반함.(계속)
 - 부품 리스크(Component Risk)
 - 알려진 이슈들을 가지고 있거나 단종될 가능성이 있는 부품에 플래그를 담.
 - 레이아웃
 - 부품의 위치
 - 전원 흐름(Power flow)
 - 충분한 간격을 체크
 - 소프트웨어
 - 잡음 신호들에 대한 루틴(routines)을 균등하게 함

질의 응답

감사합니다



내용에 대한 질문이나 추가정보가 필요하시면 아래로 연락주세요
hakwon@ex1337.com