

電子科學

ELECTRONIC SCIENCE SINCE 1959



Vol.614 No.52

ISSN-1227-0113

201007

기획기사 | • 3-레벨 NPC 토폴로지 시스템 레벨 설계
• FPGA 다이내믹 부분 리컨피규레이션 기능으로 상황별 적응 가능하다

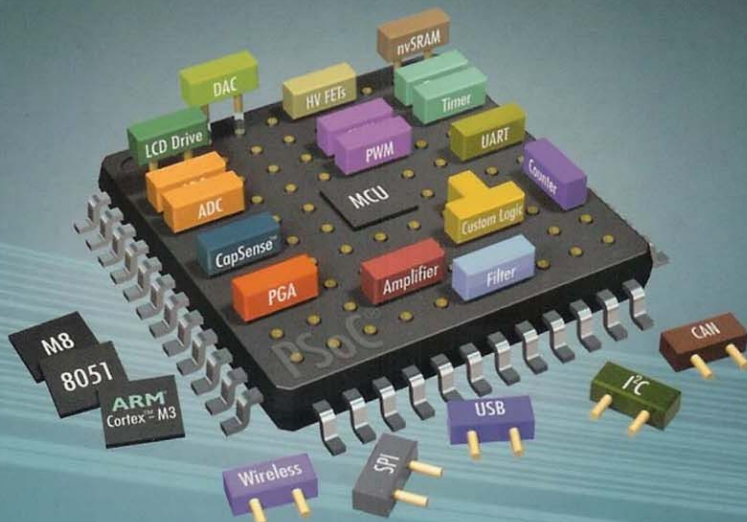
The world's only programmable system-on-chip just got even better. Cypress's PSoC[®] 3 and PSoC[®] 5 architectures give you the flexibility to adapt to changing requirements with the precision analog and performance boost you need to tackle 8-, 16- or 32-bit applications. Learn more now at www.cypress.com/psoc



WE'VE CHANGED THE WAY YOU CHANGE THE WORLD

INTRODUCING PSoC 3 & PSoC 5

- Up to 100 DMIPS and 80 MHz performance
- High-precision, 20-bit resolution, integrated analog ($\pm 0.1\% V_{REF}$)
- Programmable logic with up to 48 cascading datapaths
- Simplify designs, reduce BOM costs, protect your IP and get to market faster



www.cypress.com/psoc

루프 제어: 수계산 또는 자동 계산?

루프 제어(loop control)는 파워 서플라이 전환 설계에서 매우 중요한 부분이다. 시제품 제작 시, 다양한 이유로 인해 주요 부품은 이미 결정이 되지만, 이 부분은 때때로 간과되어 넘어가 맨 마지막에 진행이 된다. 만약 시행 착오를 통해 결정된 값이 허용 가능한 Transient response 수준으로 인정돼 양산 단계로까지 이어진다면 이는 절대적으로 바람직하지 못한 것이다. Stray/parasitic 부분에 의한 결과는 시제품 검토 시 반드시 드러나지 않는 경우가 종종 있다.

크리스토프 바쑈(Christophe Basso), 온세미컨덕터

각 부품의 편차 및 실리콘 룯드에 의한 편차로 인해 최종 검토 시 불량이 발생하면 생산라인에서 설계자에게 당연히 우선적인 책임이 지워진다. 그러므로 이와 같은 잠재적 문제가 존재하는 상태에서는 루프를 자세히 분석하는 것이 최선이다. 본 원고는 자동 설계 툴을 이용해 이러한 문제를 어떻게 분석할

수 있는지를 논의할 것이다.

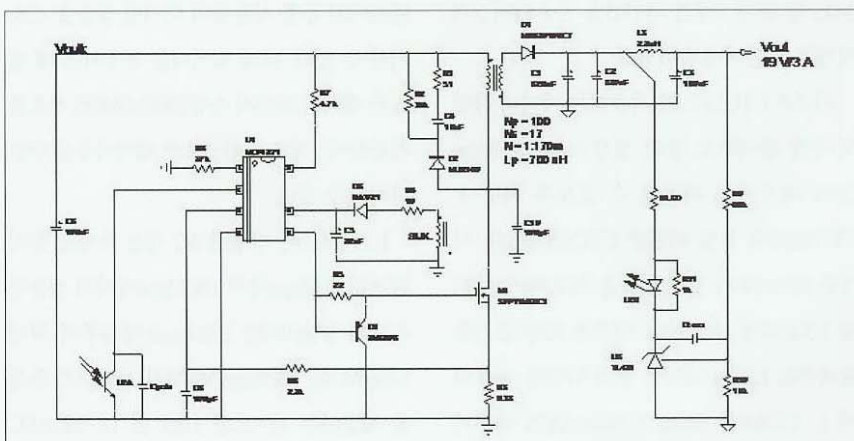
CCM 65-W 플라이백 컨버터 안정시키기

전류-모드 제어에서 작동되는 플라이백 컨버터는 노트북 어댑터 시장에서 인기가 높으며 저가의 기복이 심한 구조를 가지고 있다. 이러한 컨버터의 일반적인 애플리케이션

은 (그림 1)과 같다.

온세미컨덕터의 NCP1271 컨트롤러는 고정 주파수 전류-모드 제어로 작동되며 타이머 기반의 short circuit 보호, EMI-방지를 위해 최적화된 주파수 가변 음향 소음이 없는 상태에서 새로운 대기 전력 조건을 만족시키기 위해 소프트 모드에서 작동되는 스킵-사이클(skip-cycle) 기능과 같은 여러 가지 유용한 특성들을 포함하고 있다.

보통 이러한 컨버터는 전도 손실을 줄이기 위해 로우 라인(low line)의 CCM(Continuous Conduction Mode)에서 작동되도록 설계되지만 자연스럽게 하이 라인(high line)의 DCM(Discontinuous Conduction Mode) 운용으로 바뀐다. 예를 통해, 하드웨어 설계가 완료된다는 것은 곧 변압기 초기 인덕턴스 L_p , 변압기의 권수비(turn ratio) N , 그리고 나머지 요소들을 선택한다는 것을 의미한다. TL431은 단



〈그림 1〉 주파수 지터(frequency-jittered) 오실레이터를 내장한 NCP1271이 채택된 전형적인 플라이백 컨버터

독으로 compensation 설계가 된다.

처음으로 할 일은 전류-모드 플라이백 컨버터의 컨트롤-투-아웃풋 전달 함수를 확보하는 것으로 소위 오픈-루프 '플랜트(plant)' 전달 함수라고 불린다. 이러한 목표를 달성하는 데는 몇 가지 옵션이 있다.

1. 심사숙고 끝에 결정된 컨버터의 소형 신호 모델을 분석적으로 추론하여 파워 단계 반응의 이득(magnitude)과 위상(Phase)을 찾는 데 자동화된 수학적 틀을 사용하자. CCM 전류-모드 플라이백 이득 공식은 참조 [1]에 나와 있으며, (1)에서 지정한 대로 다소 복잡하다. 다양한 폴(pole)/제로(zero)가 나타나지만 Sub harmonic pole은 스위칭 주파수 f_n 절반에 위치하며 quality coefficient Q_p 의 영향을 받는다.

$$|H(f)| = 20 \log_{10} \left[G_v \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lp}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lp}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)^2}} \right]$$

보드선도(Bode Plot)를 완성하기 위해 위상 또한 별도로 계산되어야 한다. 두 번째 항의 음의 값인 f_{z2} 은 RHPZ(right half-plane zero)를 나타낸다.

이러한 공식들은 모든 요소들의 개별적인

$$\arg H(f) = \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lp}}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lz}}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lz}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lp}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lz}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_{Lz}}\right)$$

계산을 의미하므로 최종 결과를 컴퓨팅/플로팅 하는데 있어서 세심한 주의가 필요하다. 또한 이 공식들은 CCM용으로만 유효하다. 만약 컨버터가 DCM으로 전송된다면 이 수식들은 달라지며 더 많은 연구가 이루어져야 한다. 만약 스위칭 파워 공급의 루프 제어 전문가가 이 결과들 뒤에 숨겨진 기술들을 해석해준다고 해도 이 내용은 사실상 이 공식을 실질적으로 구현할 수학적 분석에 능숙한 사람들만이 이해할 수 있다.

2 두 번째 옵션은 SPICE 대소 신호 평균 모델을 사용하는 것이다. 이 방법은 어떠한 모델로 되어 있는지 정확히 알 수 없으나, 설계자들은 더 이상 지루한 등식을 처리할 필요가 없다. SPICE 모델은 처음에 자동으로 동작점을 계산하여 컨버터가 CCM 혹은 DCM에서 동작하는지를 말해준다. 또한 이 모델은 적절한 등식 처리 방식을 선택하게 되는데 시작버튼을 누르자마자 설계자는 ac plot을 얻을 수 있다.

3 자동화된 소프트웨어도 또 다른 옵션 중 하나이다. 온세미컨덕터는 이러한 모든 상세 정보를 처리하는 자동 스프레드시트를 출시했다: L_p, N , 입력 전압 등에 적합한 부품 값을 대입하여 업데이트 버튼을 누르면 모두 완료된다. 이 제이것이 어떻게 작동하는지 보도록 하자.

4. 마지막 옵션은 프로토타입을 만들고 새로운 분석기를 사용해 파워 단계의 ac 반응을 추출하는 것이다. 이 작동은 루프가 이미 안정된 파워 서플라이를 테스트할 때 매우 용이하며 디자이너는 벤치 측정을 통해 이미 이루어진 계산을 확인하고 싶어한다. 파워 서플라이가 안정적이지 않거나 가까스로 안정된 경우 작업은 매우 복잡해지며 드러나지 않은 위험 요소가 존재한다. 반대로 만약 여러분이 옵션 4를 다른 3 가지 제안들 중 하나와 결합한다면 귀하는 최단 기간 내에 단단하고 안정된 프로토타입을 아주 쉽게 만들어 낼 수 있다.

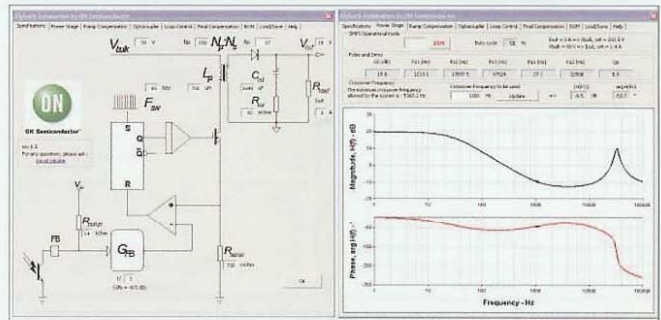


그림 2 왼쪽 오픈닝 스크린에 계산한 부품 값을 입력한다. 일단 OK버튼을 누르면 파워 단계 탭이 나타나고 파워 단계 ac 반응이 보인다(오른쪽).

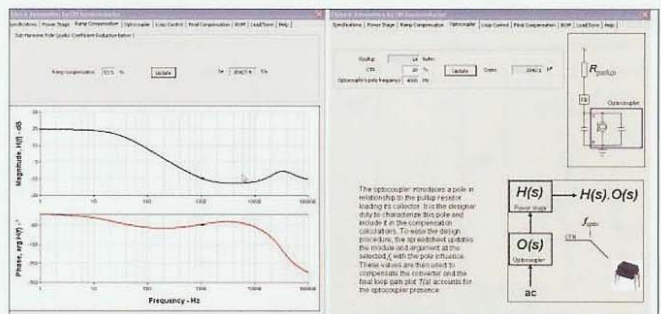


그림 3 다음 단계는 필요한 램프 보정량과 파워 단계 반응에서의 그 효과를 평가한 것이다. 그리고 나면 옵토커플러(optocoupler) 탭이 나타나며 측정된 폴을 입력한다.

새로운 자동 틀

앞에서 언급했듯이 플라이백 컨버터 제어 보상은 제어 루프 이론에 대한 최소한의 정보를 필요로 한다. 물론 연구실에 가서 Step response가 좋아 보일 때까지 레지스터 및 커패시터 값을 작동시킬 수도 있다. 이 방법은 이러한 접근 방식으로 고객 사이트에 방문한 기억을 떠올리게 한다. 경고를 했음에도 불구하고 제조라인의 결정권자들은 이미 생산에 들어갔다.

그러나 예상대로 몇 달 후 생산 라인이 다 운되어 최종 테스트에서 예상 밖의 불안정한 결과를 얻었다. 공식을 유도할 시간이 없었던 왜 모든 수학을 처리하는 자동 틀을 찾지 않았는가? 이것이 바로 우리가 몇 개의 분리된 탭을 특징으로 하는 Excel®-기반의 스프레드시트를 개발했을 때의 생각이며, 이는 부품 값에서 시작하여 최종 부품 표에 이른다. 컨버터 부분에 대한 부품 값을 입력한 후 OK

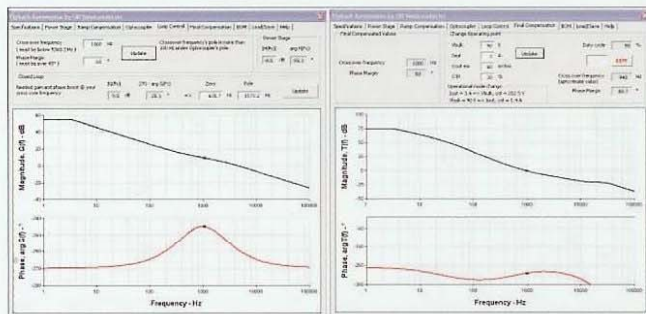


그림 4) 왼쪽의 60° 위상 마진(phase margin)용으로 설계된 보정기는 우리의 측정치에 매우 가까운 25° 증가를 보인다. 일단 보정되면 결과에 따른 위상 마진은 우리가 기대했던 것과 일치한다 (오른쪽).

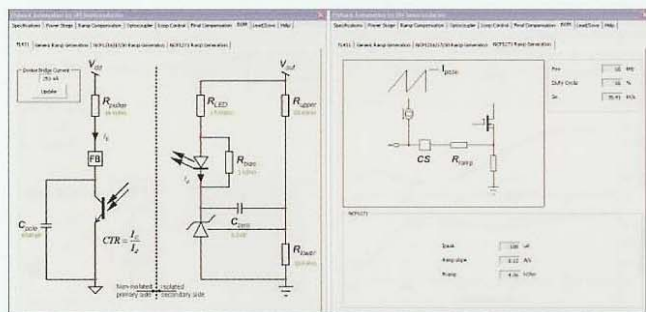


그림 5) 소프트웨어는 결국 관련 부품을 갖춘 TL431 구성을 보여준다. 이것은 또한 포괄적으로 혹은 내부 MCP1271 회로(오른쪽)를 사용해 램프 보상이 어떻게 구현되는지에 대한 정보를 제공한다.

버튼을 눌러라. 그러면 (그림 2)와 같은 파워 단계 반응을 볼 수 있으며 이를 통해 피킹(peaking) 및 CCM 작동을 확인할 수 있다. 듀티 사이클은 55%이고 게인(gain)은 dc에서 19.6dB까지 떨어진다.

그리고 나면 소프트웨어는 정확한 보상 기율기를 선택해 Sub harmonic pole을 감쇄시킨다(그림 3 참조). 스프레드시트는 동등한 quality coefficient Qp를 계산하여 이것을 줄이기 위해 얼마나 많은 램프 보상이 필요한지 알아본다. 이론적으로 이것은 오직 인덕터 하강 기율기에만 의지하며 듀티 사이클을 100%까지 고려한 다른 계산 방식에서 나타나는 보상의 위험을 줄인다. 그다음에 유저는 CTR(Current Transfer Ratio)과 pull-up/pull-down 저항으로 결정되는 폴로 구성되는 오프토크플러의 특성을 입력한다. 예를 들어 폴이 4kHz에서 확인되는 데도 CTR은 30%이다. 소프트웨어로 제공되는 사용 지침서는 오프토크플러를 어떻게 사용하는지 그리고 그 역할이 파워 서플라이를 설계

한 위상마진을 가지고 1kHz에 가까운 크로스 오버 포인트를 드러낸다. 오른쪽 상단 코너의 버튼을 이용해 작동 포인트 특히 입력 전압과 출력 전류를 바꿀 수 있다.

업데이트 버튼을 누르면 소프트웨어는 파워 단계 특징들을 다시 계산해 보정기 파라미터를 일정하게 유지시킨다. 우리가 원하는 변화대로 Loop gain은 이와 같이 나타내준다. 그리고 나면, 예를 들어 파워 서플라이가 CCM에서 DCM으로 이행할 때 안정을 유지하는지 신속하게 체크할 수 있다. 출력 커패시터 ESR(Equivalent Series Resistor)과 오프토크플러 CTR은 급속히 퍼질 수도 있는 파라미터 사이에 있다.

결국 (그림 5)는 TL431의 관점과 계산된 모든 값들을 제공한다. 오른쪽 패널은 램프 보정을 실질적으로 구현하는 방법을 제시한다. MCP1271이 선택됐기 때문에 센스 부분에서 전류-센스 핀까지 간단한 레지스터의 삽입이 즉각적으로 이루어진다. 앞서 강조한

할때 제대로 파악되어 야하는지를 상세히 설명하고 있다.

(그림 4)와 같이 타임 2 보정기는 635Hz에 제로를, 1.5kHz에 폴을 배치함으로써 필요한 25° 부스트를 제공한다(왼쪽). 소프트웨어는 선택된 폴과 제로의 기하학적 방법에 크로스오버 주파수를 배치하는데 존재하는 k 팩터 기술을 구현한다. 마지막으로 (그림 4)의 오른쪽을 보면, 루프 게인은 충분

대로 전류 센스 핀에서 소음 제거 개선을 위해서 이 레지스터가 100pF 커패시터와 같이 작동되는 것이 최선이다. 이 두 부품 모두 컨트롤러 핀 근처에 배치될 것이다.

우리는 스프레드시트에 사용된 보상 전략의 타당성을 검증하기 위해 몇 가지 실험을 해보았다. 이 결과 네트워크 분석기를 이용해 벤치에서 모은 최종적인 결과는 애초에 기대했던 궁극적인 목표에 매우 가깝다는 것을 보여준다.

대부분의 차이점은 커패시터 ESR 또는 오프토크플러 특징들로 인한 것이다. 소프트웨어를 작동하기 전에 이러한 점들에 관심을 기울여야 하며 이로 인한 루프 제어는 더 이상 끌지 거리가 되지 않을 것이다. 스프레드시트는 참조[2]의 링크를 이용해 다운로드 받을 수 있다.

결론

본 글은 귀사의 다음 파워 서플라이 프로젝트에서 루프를 안정시키는데 활용될 수 있는 몇 가지 가능 솔루션에 대해 논의하였다. 귀사가 어떤 옵션을 선택하든지 간에 TL431-기반의 보상 설계와 관련된 파라미터를 이해하는 것이 중요하다.

민약 설계 소프트웨어 또는 시뮬레이션 툴이 작동 회로를 신속하게 제시할 수 있다면 보상 계산 뒤에 숨겨진 분석적 단계를 흥미롭게 이해할 것으로 생각된다. 이러한 방법을 통해 공식적으로 작성된 결과를 바꿔 귀사의 방법으로 결함을 발견할 뿐 아니라 귀사의 설계자 눈에 매우 중요히 여겨지는 파라미터를 강조함으로써 최종 결과를 향상시킬 수 있다. 이것이 바로 성공의 비결이다.

참조

1. C. Basso, "Switch Mode Power Supplies: SPICE Simulations and Practical Designs", McGraw-Hill, 2008
2. <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/FLYBACK%20AUTO.ZIP>