

2단계 필터를 사용하여 전압 리플 감소

Rich Nowakowski
Product Marketing Engineer

Sarmad Abedin
Power Design Services Engineer

머리말

점대점 직렬 통신 또는 AFE(아날로그 프론트 엔드)가 결합되어 있는 고급 프로세서 및 SoC(시스템 온 칩)에는 신호 무결성을 유지하고 성능을 개선하기 위해 낮은 출력 전압 리플을 갖춘 전원 공급 장치가 필요합니다. 프로세서 POL(Point-of-Load) 전원 공급 장치의 출력 전압 리플 요구 사항은 일반적인 설계 리플의 약 10분의 1에 해당되는 2mV 미만일 수 있기 때문에 동기식 벡 컨버터에 상당한 설계 제약이 가해집니다. 프로세서의 출력 전류 요구 사항이 선형 포스트 레귤레이터의 능력 범위를 초과하기 때문에 2차 단계 필터를 사용하면 더 높은 스위칭 주파수와 추가 출력 정전 용량으로 POL의 리플이 크게 줄어듭니다. 동기식 벡 컨버터는 여러 다양한 제어 아키텍처와 함께 사용할 수 있으며, 각 아키텍처별로 저리플 전압용으로 설계할 때 안정성을 보장하는 고유한 방법을 가지고 있습니다. 이 글에서는 외부 보상 전압 모드, 정전류 및 선택 가능한 보상 전류 모드의 세 가지 제어 아키텍처를 비교하여 동일한 전기 사양을 사용하고 출력 전압 리플, 솔루션 크기, 부하 과도현상 및 효율성 비교를 사용하여 테스트 데이터를 통해 완벽한 1mV 출력 전압 리플을 달성합니다.

애플리케이션의 선택 및 제한

유사한 작동 조건에서 각 제어 모드의 성능을 입증하기 위해 세 가지 다른 전원 공급 장치를 설계 및 제작했습니다. 각 설계에서, 입력 전압은 12V, 출력 전압은 1V이며, 각 장치의 출력 전류는 15A입니다. 이러한 요구 사항은 낮은 출력 전압 리플을 요구하는 민감한 아날로그 회로를 통합하는 고성능 SoC에 전원을 공급하는 데 있어 일반적인 것입니다.

필터 설계 및 성능 기대치를 제한하기 위해, 허용 가능한 리플 전압은 ±0.15퍼센트, 또는 출력 전압의 ±1.5mV(3mVpp)입니다. 이 비교에서는 15A D-CAP3™ 벡 컨버터(TPS548A28), 내부 보상 20A ACM(고급 전류 모드)

벡 컨버터(TPS543B22), 그리고 15A 전압 모드 벡 컨버터(TPS56121) 등 TI DC/DC 컨버터 3대를 사용합니다. 유사한 두 번째 단계 필터 구성 요소를 지원하는 컨버터 기능 내에서 출력 전압과 출력 전류, 작동 주파수를 최대한 서로 가깝게 선택했습니다.

2차 단계 필터 설계하기

낮은 ESR(등가 직렬 저항) 세라믹 출력 커패시터를 사용하더라도 벡 컨버터의 인덕터 및 커패시터(LC) 출력 필터를 사용하여 낮은 출력 전압 리플을 달성하는 것은 실용적이지 않습니다. 설계자는 5mV 미만의 출력 리플을 달성하기 위해 2차 단계 LC 필터를 사용해야 할 가능성이 높습니다. 2차 단계 필터 설계 또는 리플 측정 기법에 관한 자세한 내용은 참고 자료 섹션을 참조하십시오. 2차 단계 필터의 인덕터 값은 방정식 1을(를) 사용해 계산하고 L2에 대해 풀 수 있습니다. 인덕터 L2는 2차 단계 인덕터, C1은 벡 컨버터의 1차 단계 출력 커패시터이며, C2는 2차 단계 커패시터 네트워크입니다. 세 가지 설계에서 모두 동일한 2차 단계 필터가 사용되어(표 1 참조) 92mm²의 회로 기판 면적을 차지합니다(그림 1참조).

$$switching\ Frequency = 1 / \left(2\pi * \sqrt{L2 * Cs} \right), \text{ where } Cs = 1 / \left(\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} \right) \quad (1)$$

부품 번호	제어 아키텍처	스위칭 주파수	2차 단계 인덕턴스	2차 단계 커패시턴스
TPS548A28	D-CAP3	800 kHz	2 x 0.68 μH	4x 100 μF + 0.1 μF
TPS543B22	ACM	1000 kHz	2 x 0.68 μH	4x 100 μF + 0.1 μF
TPS56121	전압 모드	500 kHz	2 x 0.68 μH	4 x 100 μF + 0.1 μF

표 1. 컨버터 제어 아키텍처와 2차 단계 필터.

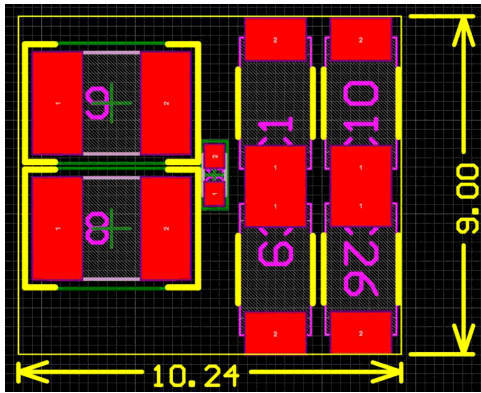


그림1. 2차 단계 필터가 회로 기판에서 차지하는 면적 92mm².

2차 단계 인덕터 값(L2)을 선택하고 부품 조립이 완료되면, 다음 단계는 안정성을 보장하기 위해 2차 단계 인덕턴스 및 커패시턴스를 추가하여 DC/DC 컨버터의 제어 루프를 재보상하는 것입니다. 중요한 것은 각 제어 아키텍처별로, 필요에 따라 2차 단계 필터를 추가한 후에 제어 루프를 재보상하는 고유한 기법이 있다는 점입니다. 각 제어 아키텍처별로 출력 전압 리플, 효율성 페널티 및 안정성을 평가하고 결과를 요약했습니다.

전압 모드 제어 아키텍처

전압 모드 제어 아키텍처를 적용한 PWM(펄스 폭 변조)은 출력 전압과 레퍼런스 전압의 전압 오류 신호를 일정한 톱니파 램프 파형과 비교하는 방법으로 수행합니다. 램프는 오실레이터의 클럭 신호에 의해 개시됩니다. TPS56121은 두 번째 단계 필터를 추가한 후 컨버터가 재보상되는 것을 허용하는 쌍극 전력계외부 보상을 처리하는 타입 3 보상을 사용합니다. 두 번째 단계 필터를 추가한 후 외부 저장기와 커패시터 값을 조정하기 때문에 안정성이 보장됩니다. 추가 필터 없는 출력 전압 피크 투 피크 리플은 4.8mV입니다. 추가 필터를 적용 시 출력 전압 리플은 (그림 2에서 보다시피) 1.9mV입니다. 이 경우 TPS56121 설계에는 안정성 보장을 위한 루프 보상 조정이 필요 없습니다. 그림 3은(는) 10A 부하 단계의 부하 과도 파형을 나타내며, 두 번째 단계 필터 구현 이후 출력 전압 파형에는 불안정성 징후가 전혀 보이지 않습니다.

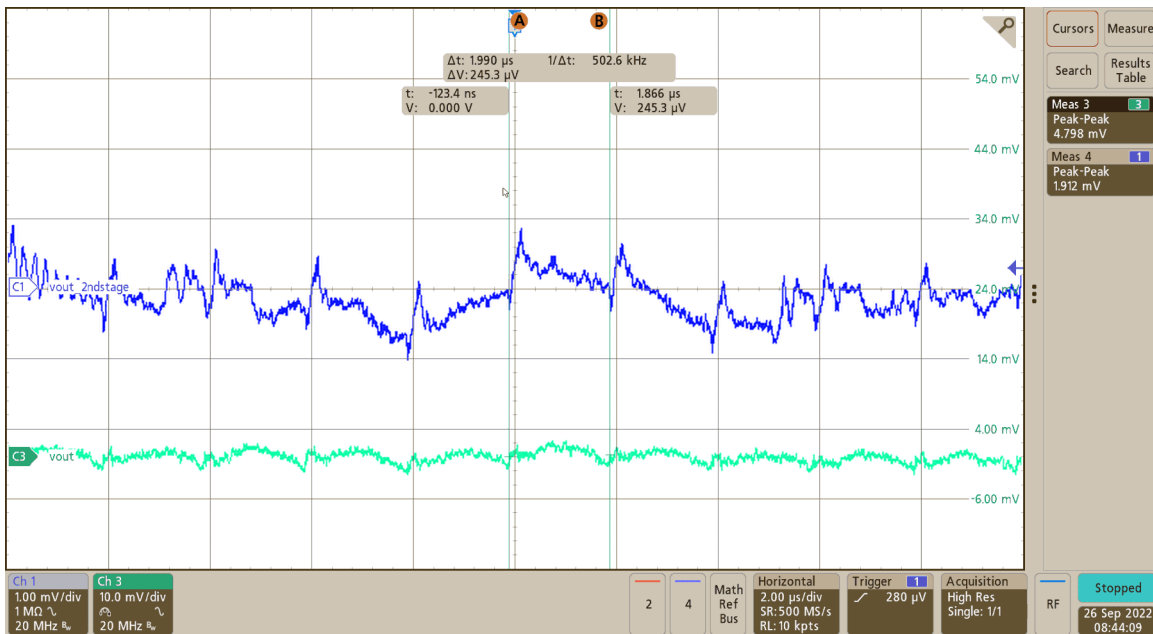


그림2. 두 번째 단계 필터를 추가했을 때와 추가하지 않았을 때의 TPS56121 출력 전압 리플.

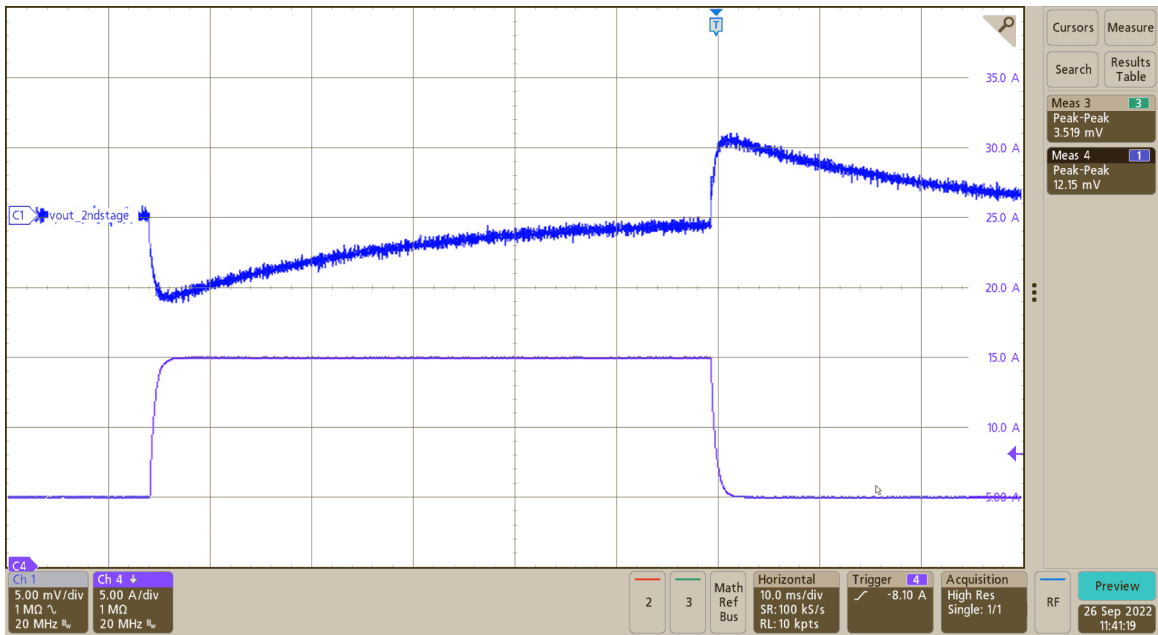


그림3. 전압 모드 제어를 사용하는 TPS56121의 과도 응답.

D-CAP3 제어 아키텍처

D-CAP3는 원샷 타이머를 사용해 입력 전압과 출력 전압에 비례하는 온타임 펄스를 생성합니다. 하강 피드백 전압이 레퍼런스 전압과 같으면 새로운 PWM 온펄스가 생성됩니다. 램프는 출력 인덕터에 의해 에물레이트됩니다. 내부 리플 주입 회로의 신호는 오프셋 전압이 제거된 콤퍼레이터로 직접 공급되어 커패시터의 ESR에서 출력 전압 리플의 필요성을 줄여줍니다. D-CAP3 및 기타 COT(고정 온타임) 컨버터의 한 가지 장점은 추가 루프 보상 회로가 필요하지 않는다는 것입니다. 하지만 장치가 이 기능을 지원하고 출

력 전압 피드백 저항 분할기 네트워크에서 피드 포워드 커패시턴스를 추가하는 경우, 제어 루프에 조정 가능 램프로 조정하는 기능이 있을 수 있습니다. 추가 필터 없는 **TPS548A28**의 출력 전압 피크 투 피크 리플은 7.6mV입니다. 추가 필터를 적용한 상태에서 출력 전압 리플은 2.3mV(그림 4 그림 참조)입니다. 이 경우, **TPS548A28** 설계는 안정성을 보장하기 위해 조정할 필요가 없습니다. **그림 5**은(는) 동일한 10A 부하 단계를 이전 컨버터로 했을 때 부하 과도 파형을 나타내며, 두 번째 단계 필터 구현 이후 출력 전압 파형에는 불안정성 징후가 전혀 보이지 않습니다.

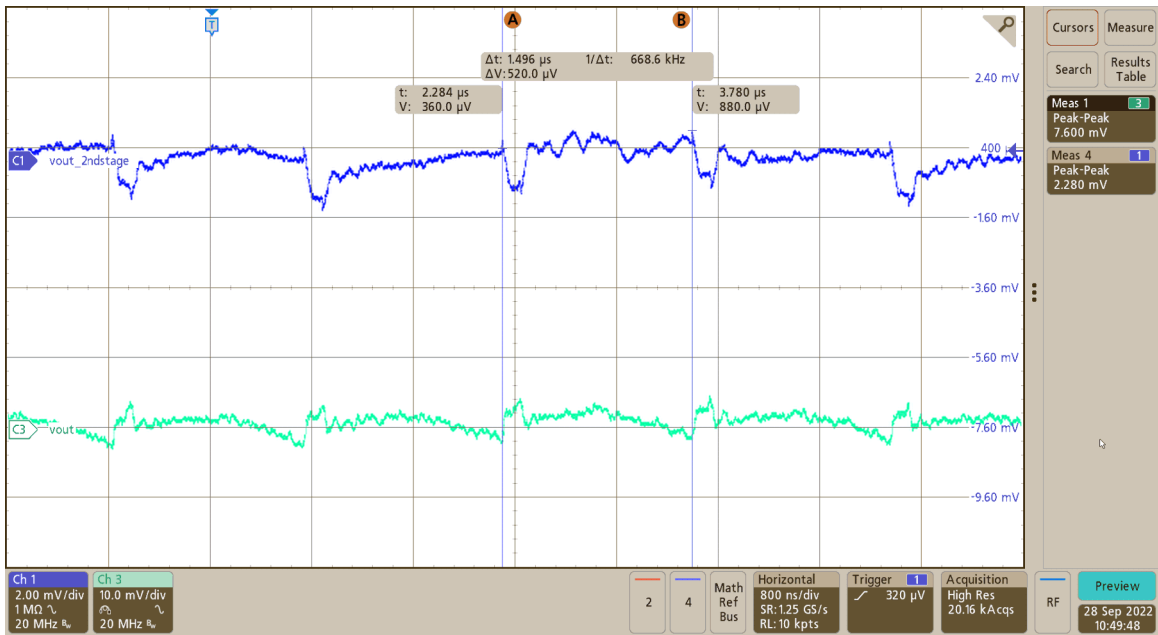


그림 4. 두 번째 단계 필터를 추가했을 때와 추가하지 않았을 때의 TPS548A28 출력 전압 리플.

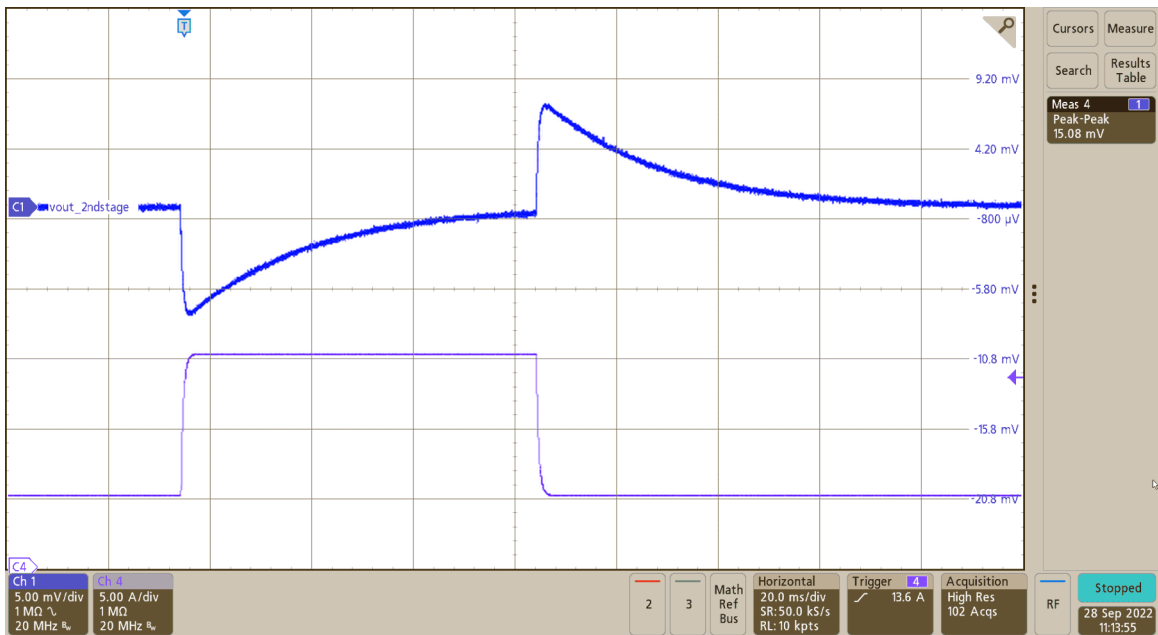


그림 5. D-CAP3 제어를 사용했을 때 TPS548A28의 과도 응답.

ACM(고급 전류 모드) 제어 아키텍처

내부 보상 ACM은 인덕터 전류를 나타내기 위해 내부적으로 생성된 램프를 사용하는 리플 기반, 피크 전류 모드 제어 구조입니다. 이 제어 모드는 D-CAP3 같은 비선형 제어 모드의 더 신속한 과도 응답, 그리고 전압 모드 제어 같은 다른 외부 보상, 고정 주파수 제어 아키텍처의 폭넓은 커패시터 안정성 간에 균형을 잡아줍니다. ACM은 저항기와 커패시터

네트워크 대신 단일 저항기로 루프를 보상할 수 있는 최신 제어 아키텍처입니다. TPS543B22에는 두 번째 단계 필터가 구현될 때 제어 루프 성능을 최적화하기 위한 3개의 선택 가능한 PWM 램프 옵션이 있습니다. 흥미롭게도, 평가 모듈의 회로 보드에는 커패시터와 인덕터 솔더 패드가 있어서 두 번째 단계 필터 구성 요소들을 편리하게 사용할 수 있다는 것을 알 수 있었습니다. 추가 필터 없는 TPS543B22의 출력 전압 피크 투 피크 리플은 7.4mV입니다

다. 추가 필터를 적용한 상태에서 출력 전압 리플은 1.3mV(그림 6 그림 참조)입니다. TPS543B22 설계는 안정성을 보장하기 위해 램프를 조정할 필요가 없습니다. 그림

7은(는) 동일한 10A 부하 단계를 이전 컨버터로 했을 때 부하 과도 파형을 나타내며, 두 번째 단계 필터 구현 이후 출력 전압 파형에는 불안정성 징후가 전혀 보이지 않습니다.

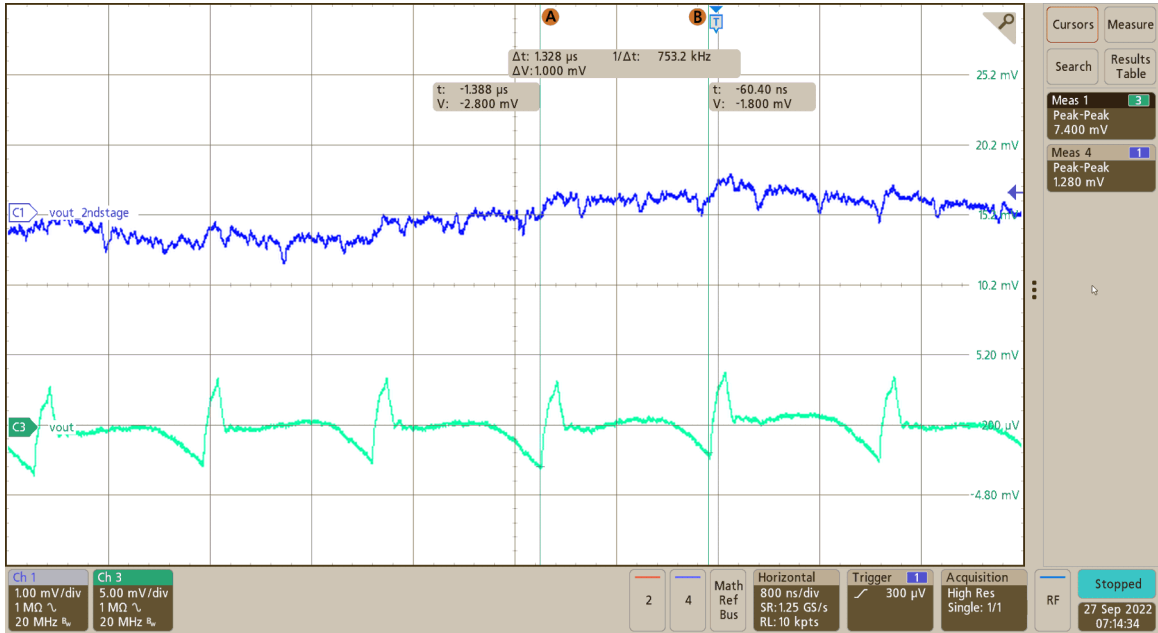


그림 6. 두 번째 단계 필터를 추가했을 때와 추가하지 않았을 때의 TPS543B22 출력 전압 리플.

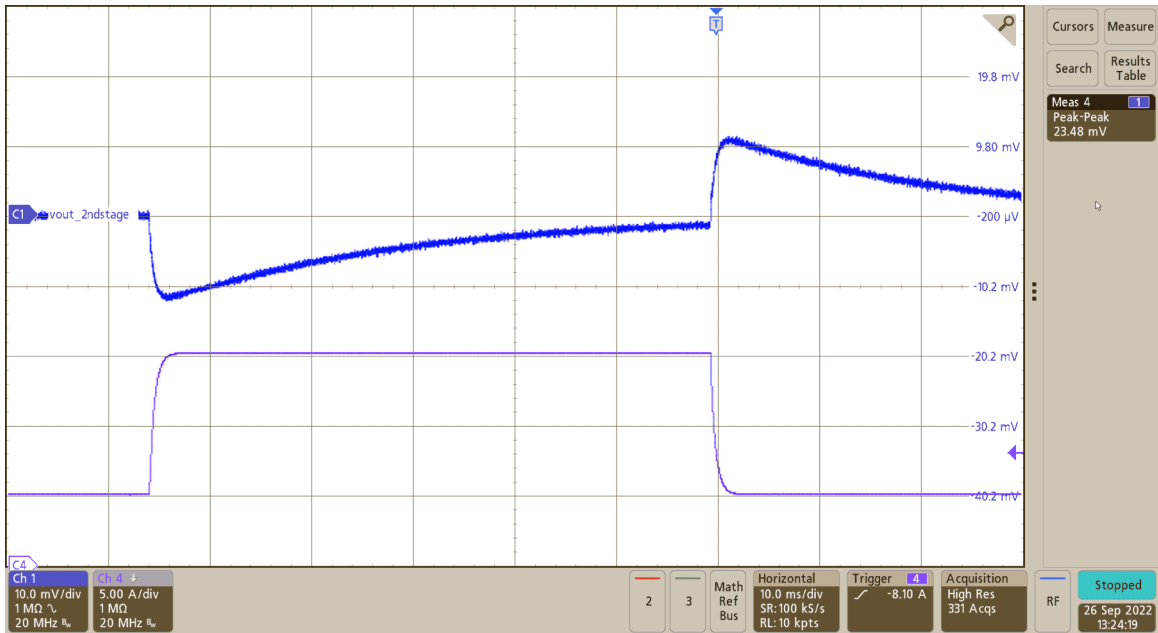


그림 7. ACM 제어를 사용했을 때 TPS543B22의 과도 응답.

효율성 페널티

각 DC/DC 컨버터의 전부하 효율성은 전력 손실을 비교하기 위해 추가 2차 단계 필터를 적용한 상태와 적용하지 않은 상태에서 모두 측정했습니다. 표 2에 그 결과가 나와 있

습니다. 2차 단계 필터는 전력 손실과 효율성 페널티에 거의 영향을 미치지 않습니다. 각 DC/DC 컨버터에는 고유한 전력 MOSFET이 있고, 이것이 부정확한 효율성 결론으로 이어지기 때문에 결핍과 전력 손실 차이를 측정했습니다. 효율성 페널티와 추가적으로 필요한 보드 공간 92mm²가

출력 전압 리플 개선 측면에서 그만한 가치가 있는지 여부는 설계자가 결정할 문제입니다.

기존에 설계자들은 추가적인 LDO(저손실) 레귤레이터를 사용하여 DC/DC 컨버터의 출력 전압을 사후 조정하고 낮은 출력 전압 리플을 달성해왔습니다. 설계자가 2차 단계 필터 대신 LDO 사용을 선호하는 경우, 4A **TPS7A54**를 병렬로 연결하여 최대 8A를 제공할 수 있습니다. 예를 들어, LDO의 전압 강하가 175mV인 경우 LDO 2개는 8A에서 1.4W를 소산하는 반면 2차 단계 필터는 0.02W를 소비합니다. LDO의 낮은 출력 전압 리플 잡음은 4 μV이지만

2차 단계 필터가 SoC 및 AFE에 대해 허용 가능한 낮은 출력 전압 리플을 제공하는 경우 더 작은 설계, 더 적은 전력 손실, 더 낮은 부품 비용의 이점을 얻을 수 있습니다.

P/N	출력 전류(A)	필터	효율성	전원 손실(W)
TPS543B22	15	기본	86.43%	2.358
		기본 + 보조	86.33%	2.378
		차동	-0.1%	-0.02
TPS548A28	15	기본	83.98%	2.829
		기본 + 보조	83.87%	2.850
		차동	-0.11%	-0.021
TPS56121	15	기본	89.19%	1.834
		기본 + 보조	89.34%	1.806
		차동	-0.15%	-0.028

표 2. 효율성과 전력 손실 비교.

결론

두 번째 단계 필터는 높은 전류 부하에 대해 낮은 출력 전압 리플을 설계 및 제공하는 쉽고, 작고, 효율적인 저비용 솔루션입니다. 모든 설계 상황에 맞는 완벽한 제어 모드란 없지만, 두 번째 단계 필터는 다양한 벽 컨버터 제어 아키텍처에서 구현할 수 있습니다. 네트워크 인터페이스 카드 SoC, 또는 AFE를 사용하는 원격 무선 장치를 사용해 설계하는 경우, 두 번째 단계 필터는 표준 벽 컨버터에 비해 훨씬 더 낮은 리플을 제공할 것입니다. 표 3은(는) 각 장치와 관련된 리플, 효율성과 크기 간 절충을 요약한 것입니다.

디바이스	전류 용량 (A)	제어 아키텍처	리플 전압 (mV)	필터 크기	전원 손실 페널티(W)
TPS543B22	20	ACM	1.3	92mm ²	0.020
TPS548A28	15	D-CAP3	2.3	92mm ²	0.021
TPS56121	15	전압 모드	1.9	92mm ²	0.028

표 3. 리플, 크기 및 효율성 간 절충.

참고 문헌

1. 텍사스 인스트루먼트: [전원 팀: 2상 LC 필터 설계하기](#)
2. 텍사스 인스트루먼트: [스위칭 레귤레이터 출력부의 잡음 줄이기](#)
3. 텍사스 인스트루먼트: [제어 모드 빠른 참조 가이드 - 강하 비절연 DC/DC](#)

관련 웹사이트

- **TPS548A28** - 원격 감지 및 3-V LDO를 지원하는 2.7V~16V 입력, 15A 동기식 벽 컨버터
- **TPS543B22** - 4V~18V 입력, 고급 전류 모드, 20A 동기식 SWIFT™ 강압 컨버터
- **TPS56121** - 4.5V~14V, 15A 동기식 SWIFT™ 벽 컨버터
- **TPS7A54** - 4A, 낮은 VIN(1.1V), 저잡음, 고정밀, 초저손실(LDO) 전압 레귤레이터

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated