Application Brief

전원 공급 장치 설계 접근법 - 4부

Markus Zehendner

이 애플리케이션 요약에서는 단일 종단 1차 인덕턴스 컨버터(SEPIC)와 제타 컨버터를 소개합니다. 두 토폴로지 모두 최대 25W의 전력 범위에서 벅-부스트 컨버터에 대한 비용 효율적인 대안이 될 수 있습니다

SEPIC

SEPIC 토폴로지는 입력 전압을 스텝 업 및 스텝 다운할 수 있습니다. 스위치 Q1이 작동하지 않을 때 에너지는 입력에서 출력으로 전달됩니다. 그림 1에서는 비동기 SEPIC의 회로도를 보여줍니다.

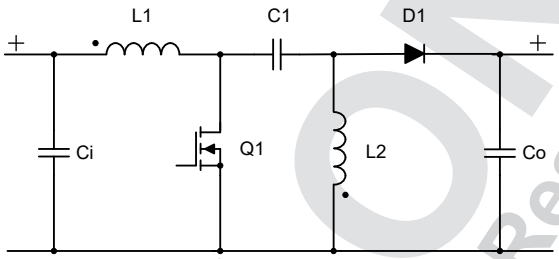

그림 1. 비동기식 SEPIC 회로도

방정식 1에서는 CCM(연속 전도 모드)의 듀티 사이클을 다음과 같이 계산합니다.

$$D = \frac{V_{OUT} + V_F}{V_{OUT} + V_F + V_{IN}} \quad (1)$$

방정식 2에서는 최대 금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터(MOSFET) 응력을 다음과 같이 계산합니다.

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_F + \frac{V_{C1,\,ripple}}{2} \quad (2)$$

방정식 3에서는 다음과 같이 최대 다이오드 응력을 제공합니다.

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1,\,ripple}}{2} \quad (3)$$

여기서

- V_{IN}은 입력 전압입니다.
- V_{OUT}은 출력 전압입니다.
- V_f는 다이오드 순방향 전압입니다.
- $V_{C1,\,리플}$은 커플링 커패시터의 전압 리플입니다.

인덕터-커패시터(LC) 필터 L1과 Ci는 SEPIC의 입력을 가리킵니다. 이것은 연속 전류 흐름으로 인해 입력에서 더 작은 리플을 초래합니다. 출력에서 리플은 펄스 출력 전류가 있기 때문에 더 큽니다.

비동기 SEPIC은 벅 부스트 토폴로지보다 비용이 적게 듭니다. 게이트 드라이버가 한 개(2스위치 벅 부스트 컨버터에서는 2개)와 반도체 부품 두 개(4개 대신)만 필요하기 때문입니다. 벅-부스트 토폴로지에 비해 SEPIC의 또 다른 장점은 SEPIC의 지속적인 입력 전류로 인해 두 컨버터가 벅 모드에서 작동할 때 더 나은 전자기 간섭(EMI) 동작이 발생된다는 것입니다.

MOSFET Q1은 저압측에서 구동되어야 하기 때문에 부스트 컨트롤러를 사용하여 SEPIC을 쉽게 만들 수 있습니다.

DRAFT ONLY
TI Confidential – NDA Restrictions

English Document: SLVAFJ6
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

오른쪽 하프평면 제로(RHPZ)는 SEPIC의 달성 가능한 조정 대역폭에 대한 제한 요소입니다. 최대 대역폭은 RHPZ 주파수의 약 5분의 1입니다. 방정식 4에서는 SEPIC의 전송 함수에 대한 단일 RHPZ 주파수의 추정치를 계산합니다.

$$F_{RHPZ} = \frac{V_{OUT} \times (1 - D)^2}{2 \times \pi \times D^2 \times L_2 \times I_{OUT}} \quad (4)$$

*s*에 대한 방정식 5 해결 과정은 하나 또는 두 개 이상의 RHPZ를 갖는 것입니다.

$$1 - s \times \frac{C_1 \times (L_1 + L_2) \times \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}}}{L_1} \times \frac{(1 - D)^2}{D^2} + s^2 \times \frac{L_2 \times C_1}{D} = 0 \quad (5)$$

여기서

- V_{OUT}은 출력 전압입니다.
- D는 듀티 사이클입니다.
- I_{OUT}은 출력 전류입니다.
- L_1은 인덕터 L1의 인덕턴스입니다.
- L_2는 인덕터 L2의 인덕턴스입니다.
- C_1은 커플링 커패시터 C1의 정전 용량이고 s는 복합 주파수 변수입니다

그림 2 ~ 그림 11에서는 SEPIC에서 FET Q1, 인덕터 L1, 커플링 커패시터 C1, 다이오드 D1, 인덕터 L2를 위한 CCM에서 전압 및 전류 파형을 보여줍니다.

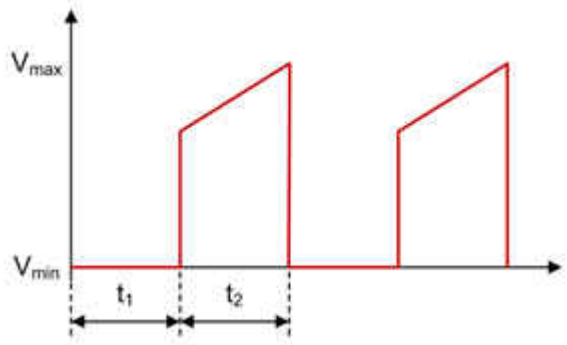

그림 2. CCM의 SEPIC FET Q1 전압 파형

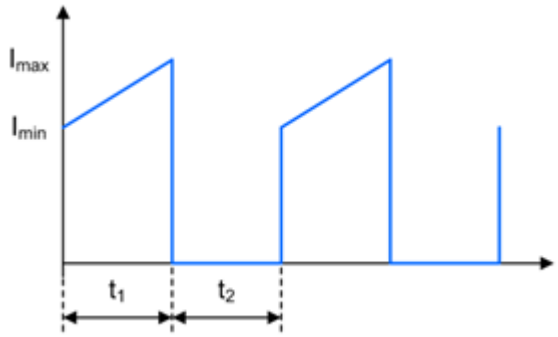

그림 3. CCM의 SEPIC FET Q1 전류 파형

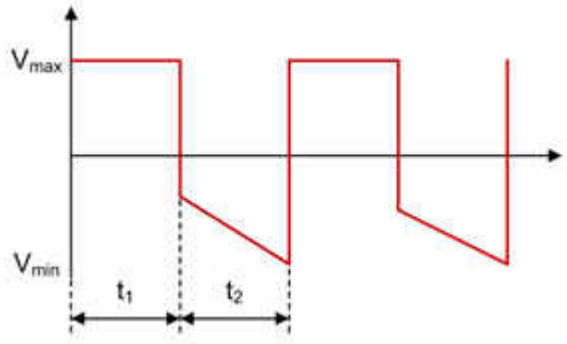

그림 4. CCM의 SEPIC 인덕터 L1 전압 파형

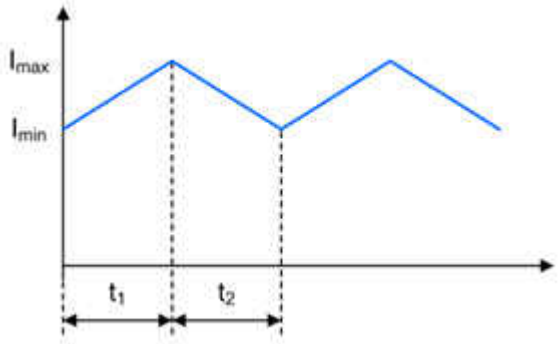

그림 5. CCM의 SEPIC 인덕터 L1 전류 파형

English Document: SLVAFJ6
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

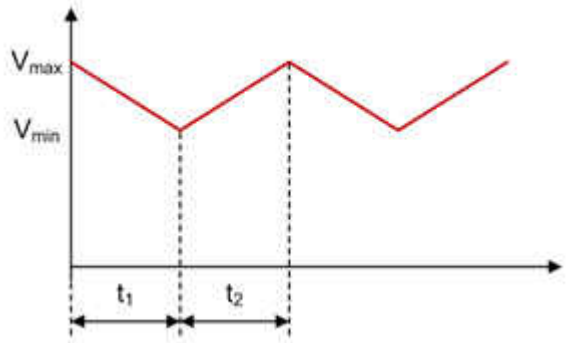

그림 6. CCM의 SEPIC 커플링 커패시터 C1 전압 파형

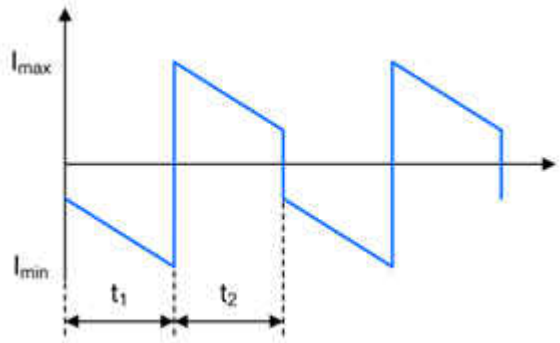

그림 7. CCM의 SEPIC 커플링 커패시터 C1 전류 파형

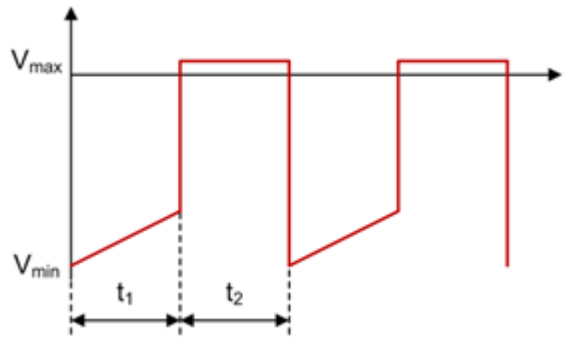

그림 8. CCM의 SEPIC 다이오드 D1 전압 파형

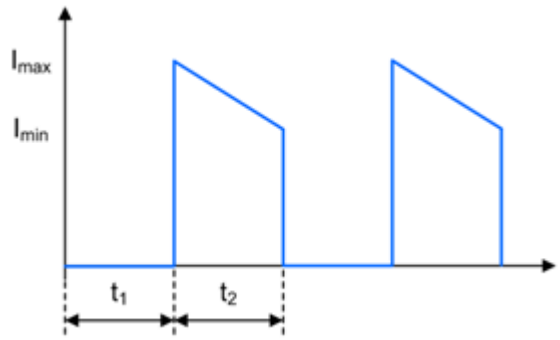

그림 9. CCM의 SEPIC 다이오드 D1 전류 파형

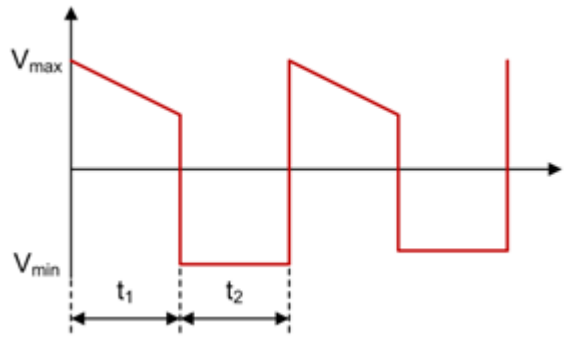

그림 10. CCM의 SEPIC 인덕터 L2 전압 파형

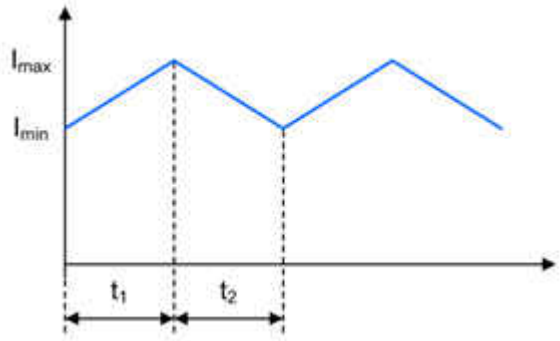

그림 11. CCM의 SEPIC 인덕터 L2 전류 파형

제타 컨버터

제타 토폴로지는 입력 전압을 스텝 업 및 스텝 다운할 수 있습니다. 스위치 Q1이 작동할 때 에너지는 입력에서 출력으로 전달됩니다. 그림 12에서는 비동기 제타 컨버터의 회로도를 보여줍니다.

TI Confidential

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

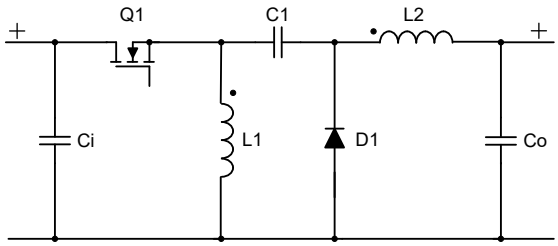

그림 12. 비동기식 제타 컨버터 회로도

방정식 6에서는 다음과 같이 CCM의 듀티 사이클을 계산합니다.

$$D = \frac{V_{OUT} + V_F}{V_{OUT} + V_F + V_{IN}} \quad (6)$$

방정식 7에서는 최대 MOSFET 응력을 다음과 같이 계산합니다.

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_F + \frac{V_{C1,ripple}}{2} \quad (7)$$

방정식 8에서는 다음과 같이 최대 다이오드 응력을 제공합니다.

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1,ripple}}{2} \quad (8)$$

여기서

- V_{IN}은 입력 전압입니다.
- V_{OUT}은 출력 전압입니다.
- V_f는 다이오드 순방향 전압입니다.
- $V_{C1,리플}$은 커플링 커패시터의 전압 리플입니다.

제타 컨버터의 LC 필터 L2 및 Co는 출력을 가리킵니다. 결과적으로 출력 전류가 연속적이고 입력 전류가 펄스되기 때문에 입력 리플에 비해 출력 리플이 더 작습니다. 매우 민감한 부하에는 제타 토폴로지를 사용하는 것이 좋습니다. SEPIC 또는 벅 부스트 컨버터가 더 높은 출력 리플 때문에 적합하지 않습니다. 제타 토폴로지는 벅-부스트 컨버터에 비해 가격 및 부품 수 측면에서 SEPIC와 동일한 이점을 가지고 있습니다.

제타 컨버터는 벅 컨트롤러 또는 컨버터를 사용하여 구축할 수 있으며, P-채널 MOSFET 또는 고압측 MOSFET 드라이버가 필요합니다.

컨트롤러가 출력 시 변화에 즉시 반응할 수 있기 때문에 제타 컨버터에는 RHPZ가 없습니다. 따라서 제타 컨버터의 더 높은 대역폭을 SEPIC 또는 벅-부스트 컨버터보다 더 적은 출력 커패시턴스를 사용할 수 있습니다.

그림 13 ~ 그림 22에서는 제타 컨버터에서 FET Q1, 인덕터 L1, 커플링 커패시터 C1, 다이오드 D1, 인덕터 L2를 위한 CCM에서 전압 및 전류 파형을 보여줍니다.

DRAFT ONLY
TI Confidential - NDA Restrictions

English Document: SLVAFJ6
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

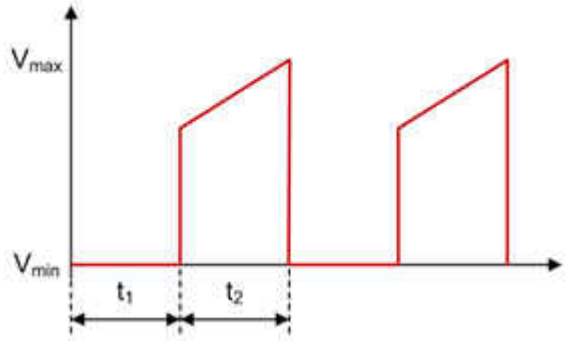

그림 13. CCM의 제타 FET Q1 전압 파형

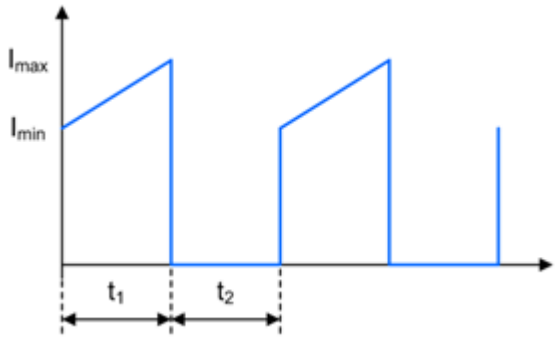

그림 14. CCM의 제타 FET Q1 전류 파형

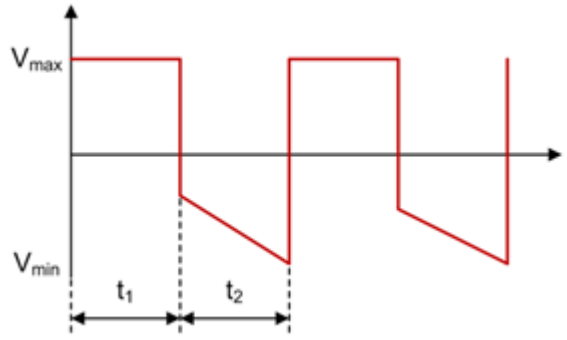

그림 15. CCM의 제타 인덕터 L1 전압 파형

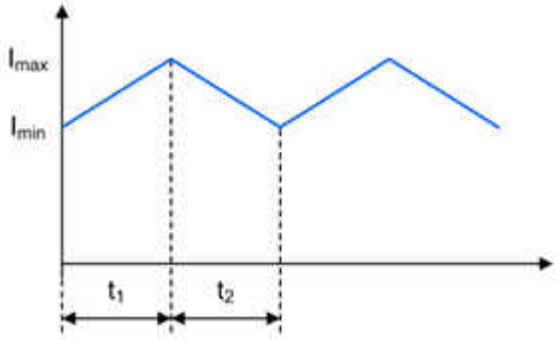

그림 16. CCM의 제타 인덕터 L1 전류 파형

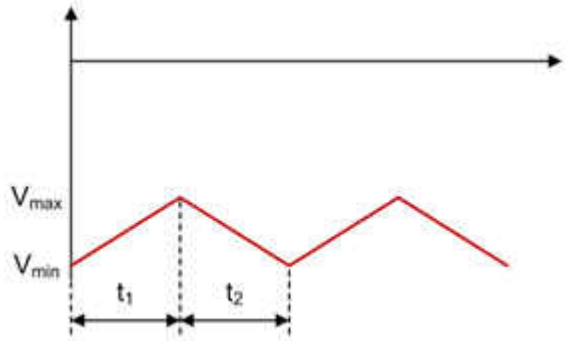

그림 17. CCM의 제타 커플링 커패시터 C1 전압 파형

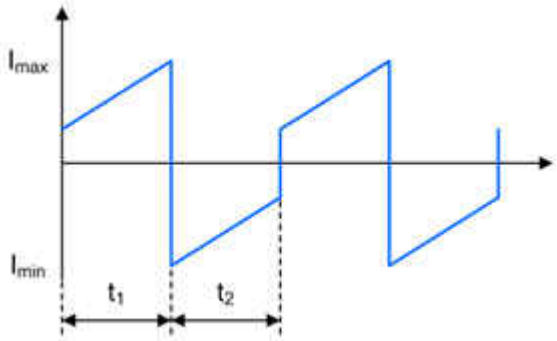

그림 18. CCM의 제타 커플링 커패시터 C1 전류 파형

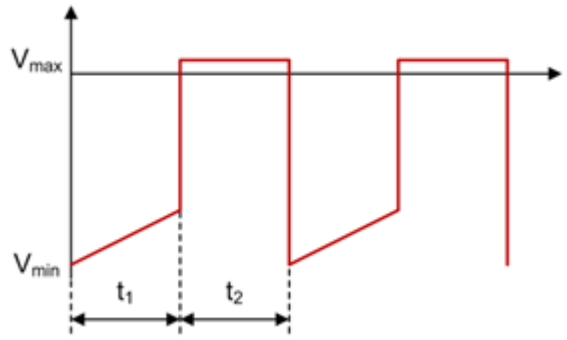

그림 19. CCM의 제타 다이오드 D1 전압 파형

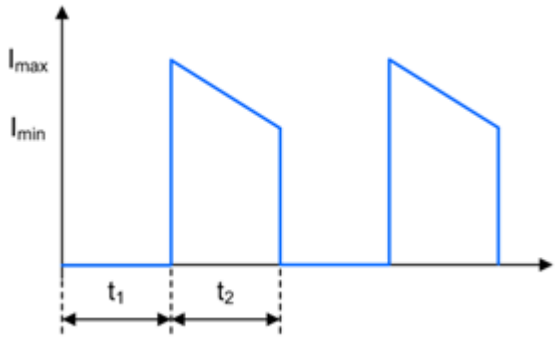

그림 20. CCM의 제타 다이오드 D1 전류 파형

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

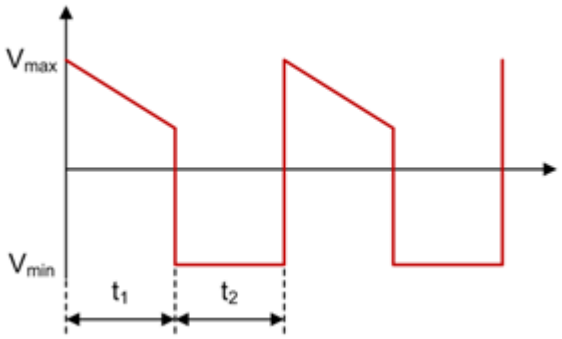

그림 21. CCM의 제타 인덕터 L2 전압 파형

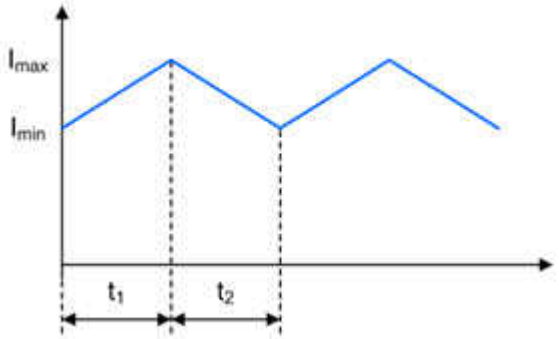

그림 22. CCM의 제타 인덕터 L2 전류 파형

두 토폴로지의 경우 별도의 인덕터 두 개 대신 커플 인덕터를 사용하면 두 가지 장점이 있습니다. 첫 번째 장점은 권선을 커플링하여 리플 취소로 인해 유사한 전류 리플에 필요한 인덕턴스의 절반만 필요하다는 것입니다(2-인덕터 설계와 비교). 두 번째 장점은 두 개의 인덕터와 커플링 커패시터에 의해 발생되는 전송 기능의 공진을 제거할 수 있다는 것입니다. 필요한 경우 이 공진을 커플링 커패시터 C1과 병렬로 저항 커패시터(RC) 네트워크로 감쇠합니다.

커플 인덕터를 사용할 때의 한 가지 단점은 두 인덕터 모두에 동일한 인덕턴스 값을 사용해야 한다는 것입니다. 또 다른 제한은 일반적으로 현재 등급입니다. 높은 출력 전류를 가진 애플리케이션에 종종 단일 인덕터가 필요할 수 있습니다.

두 토폴로지를 동기 정류를 지원하는 컨버터로 구성할 수 있습니다. 그러나 이 방법을 사용할 경우 많은 컨트롤러에서 스위치 노드에 연결해야 하므로 고압측 게이트 드라이브 신호를 AC 연결해야 합니다. 두 토폴로지는 각각 2개의 스위치 노드이므로 스위치 핀에서 음극 전압 정격 위반을 방지하도록 주의하십시오. 동기 SEPIC 및 동기 제타 컨버터의 두 가지 예는 각각 *12V@5A 동기 SEPIC 컨버터 레퍼런스 설계*와 *2개의 인덕터를 지원하는 40W 동기 제타 컨버터 레퍼런스 설계*입니다.

추가 리소스

- 다음 TI 교육 비디오 시청:
  - 토폴로지 지침: SEPIC이란?
  - 토폴로지 지침:제타 컨버터란 무엇인가요?
- 아날로그 애플리케이션 저널 기사 읽기:
  - 커플 인덕터 SEPIC 컨버터의 이점
  - 제타 토폴로지 기반의 DC/DC 컨버터 설계
- Power Stage Designer를 사용하여 전력계를 설계하십시오.
- 전원 토폴로지 핸드북 및 전원 토폴로지 빠른 참조 가이드를 다운로드하십시오.

DRAFT ONLY
TI Confidential – NDA Restrictions

English Document: SLVAFJ6
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

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 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

DRAFT ONLY
TI Confidential – NDA Restrictions

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 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