

# 전원 공급 장치 설계 세미나

기존 부스트 컨트롤러를 사용한  
1차측 플라이백 컨버터 만들기

저자

Jiri Panacek



# 주제

- 플라이백 컨버터
  - 기초 이론:
  - 2차측 조정(SSR)과 1차측 조정(PSR) 비교
- PSR
  - 보조 권선 파형 자세히 보기
  - 세 가지 종류의 PSR
  - 예상되는 문제
- LM5156-Q1 부스트 컨트롤러를 사용한 설계 예제
  - 입력 데이터 개요 및 타당성 확인
  - 피드백 회로 해결
  - 추가 최적화(인위적인 부하, 전류 감지, 스너버)
- 결론 및 추가 자료

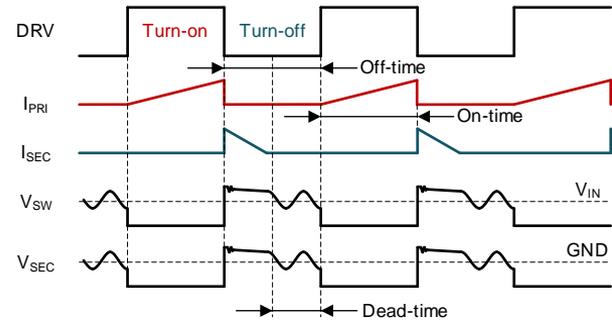
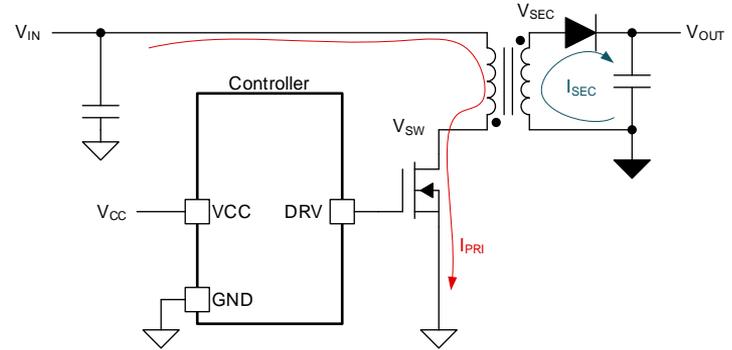
# 플라이백 컨버터

## Mosfet 턴온

- 스위치 전도; 1차측 전류( $I_{PRI}$ )가 커플 인덕터에 에너지를 저장합니다.
- 2차측 정류기는 역극성이 됨 (2차측 전압 [ $V_{SEC}$ ] < 0)
- 커플 인덕터에 에너지 저장

## Mosfet 턴오프

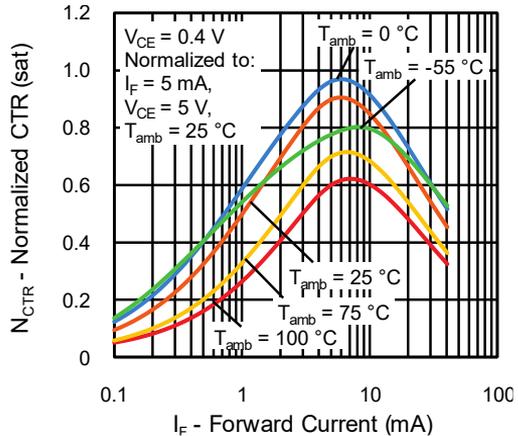
- 스위치 열림; 자화된 커플 인덕터의 극성이 변경됨( $V_{SEC} > 0$ ).
- 2차측 전류( $I_{SEC}$ )는 2차측 권선을 통해 흐르며 부하에 전력을 공급함.



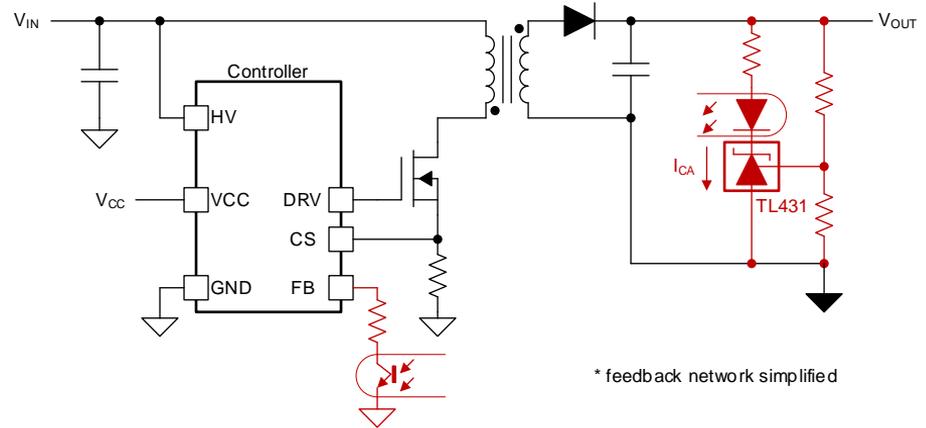


# 폐쇄 루프 회로: SSR

- 431형 션트 레귤레이터는 출력을 감지하고 옵토커플러를 통해 전류를 조정합니다.



출처: Vishay, 애플리케이션 노트 45

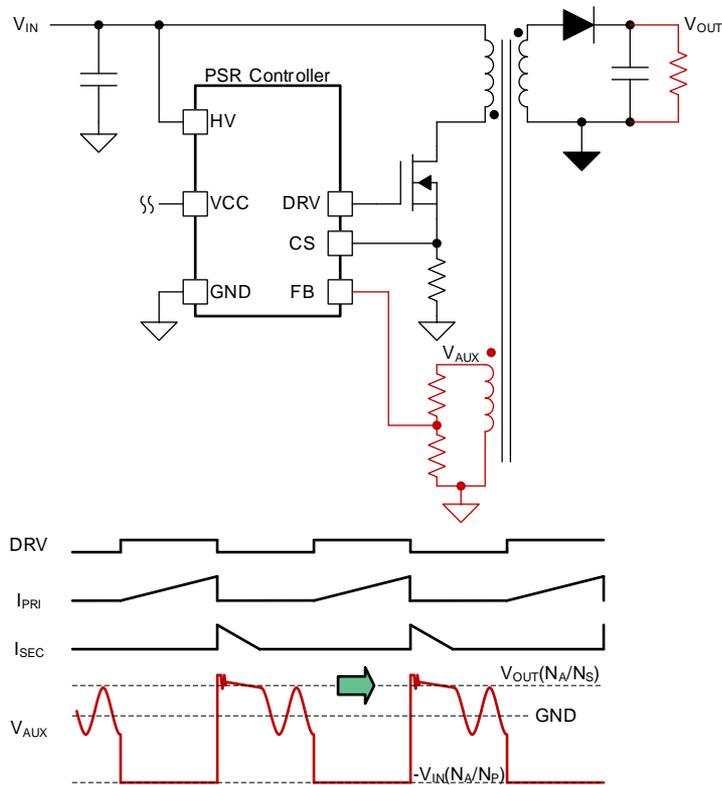


\* feedback network simplified

- 옵토커플러의 전류 전달 비율(CTR)은 다음에 따라 변경됩니다.
  - 시간
  - 온도
  - 전류

# 폐쇄 루프 회로 : PSR

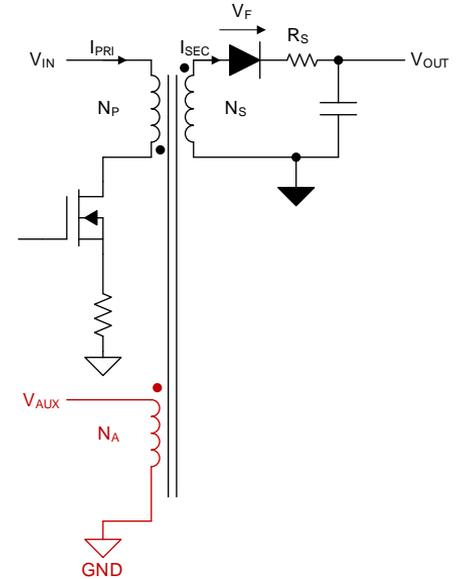
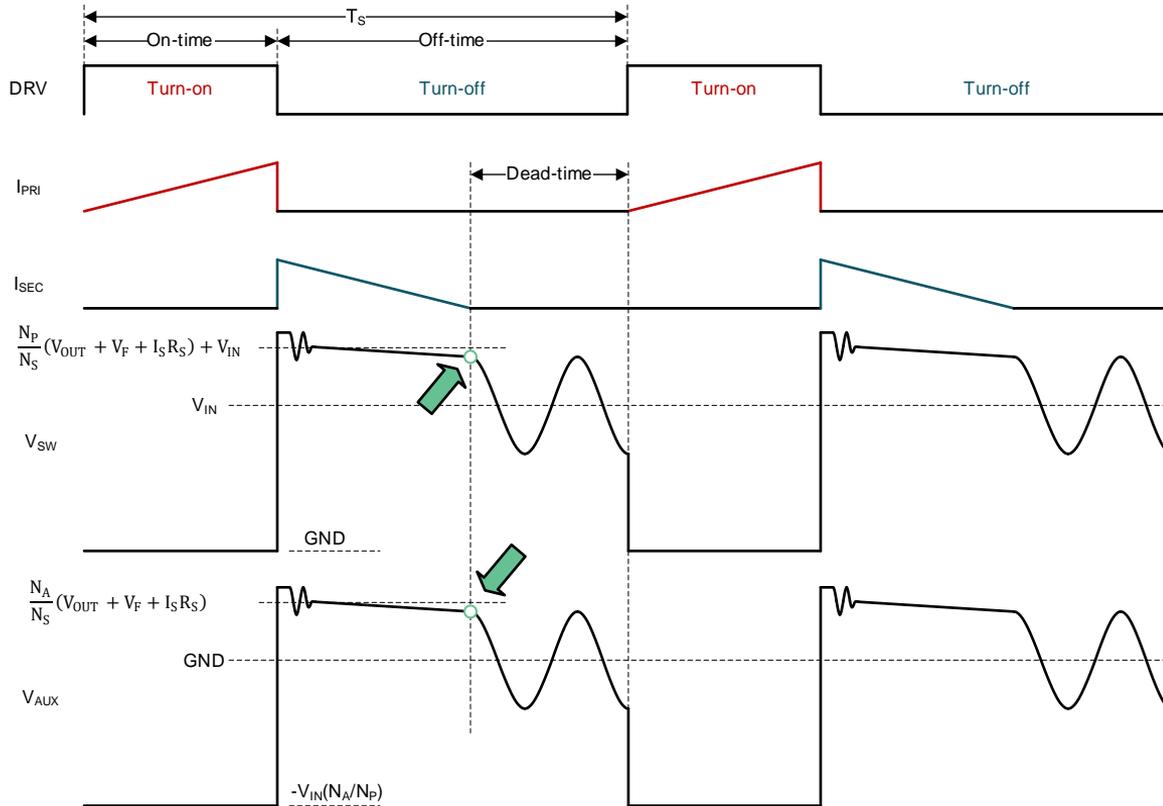
- 보조 권선은 1차측의 기준전압입니다.
- 절연된 출력전압을 추적합니다.
- 컨트롤러는 보조 권선의 전압을 감지합니다.
- 출력을 정확하게 나타내도록 하기 위해서 보조 권선 전압이 기준이 되므로 PSR 플라이백의 스위칭에 매우 중요한 역할을 합니다.



# SSR vs PSR

매개변수	옵토커플러를 사용하는 SSR	PSR
경부하 동작	우수한 경부하 조절	최소 부하 필요
피드백 회로	431형 레귤레이터와 옵토커플러를 사용한 복잡한 피드백 네트워크	샘플링된 출력 전압
초기 출력-전압 정확도	매우 좋음	평균
부하 조정	매우 우수한 부하 조절(<1%)	평균 부하 조절(>1%)
안정성	옵토커플러 노화가 신뢰성에 영향을 미침	매우 좋음
과도 부하 응답특성	옵토커플러 대역폭에 의해 제한됨	대부분 스위칭 주파수에 의해 제한됨
비용	평균	옵토커플러 제거로 개선
자체 바이어싱	보조 권선 필요	바이어스 전압 및 피드백회로를 보조 권선 활용

# 보조 권선 파형 자세히 보기

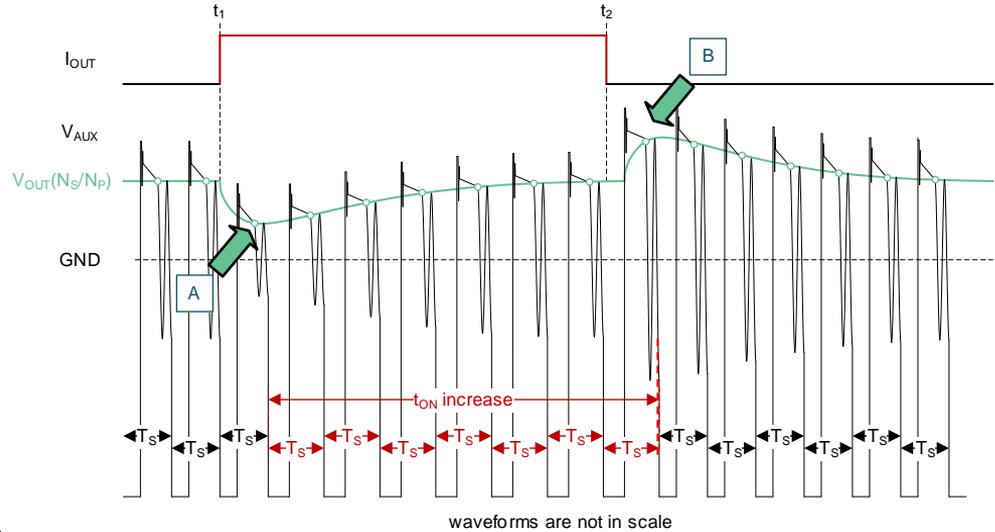


- 이상적인 샘플링 시점은  $I_{SEC}$ 가 0으로 떨어지는 시기입니다.

# 부하 과도 중 보조 권선 파형

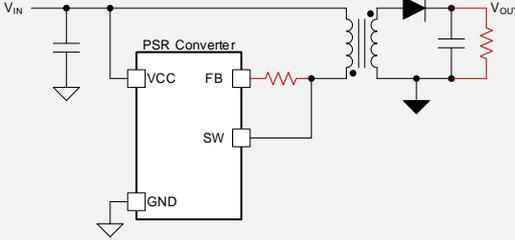
- $t_1$ 에서 전류가 증가하면 출력 전압( $V_{OUT}$ )이 떨어집니다.
- 컨트롤러는 한 스위칭 사이클( $T_S$ ) 내에서 전류 수요 증가(A)를 발견합니다.
- 컨트롤러 온타임( $t_{ON}$ ) 증가
- 스위칭 주파수( $f_{SW}$ ) 감소
- $V_{OUT}$ 은 몇 번의 사이클 후 원하는 레벨로 돌아갑니다.
- $t_2$ 에서 이 프로세스는 역논리(B)로 반복됩니다.

## 반공진 PSR 컨트롤러 예

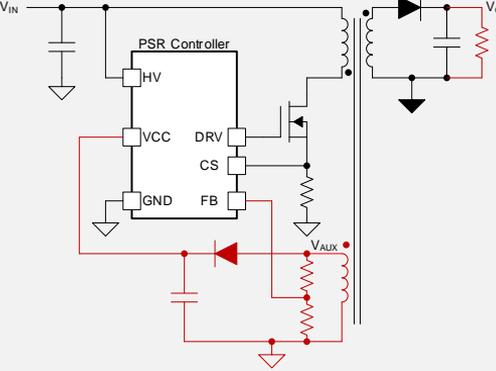


○ Discriminator and sampler circuit sampling points (UCC28700-Q1)

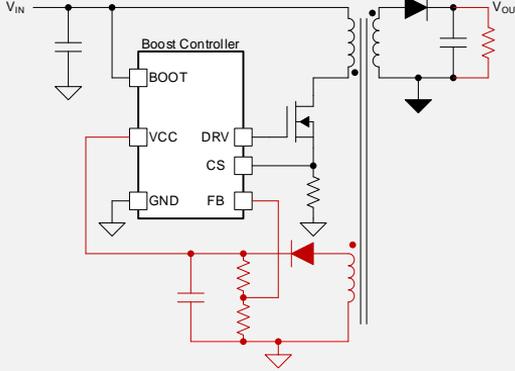
# 세 가지 종류의 PSR



저전압(<100V) 플라이백 컨버터(LM5180)는 메인 1차측 권선에서 **반영된  $V_{OUT}$** 을 직접 감지할 수 있습니다.



고전압 PSR 플라이백 컨트롤러(UCC28700)에는 보조 권선을 "적시에" 샘플링하는 특수 **샘플러 회로**가 통합되어 있습니다.

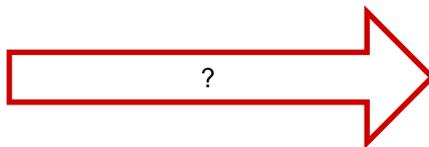
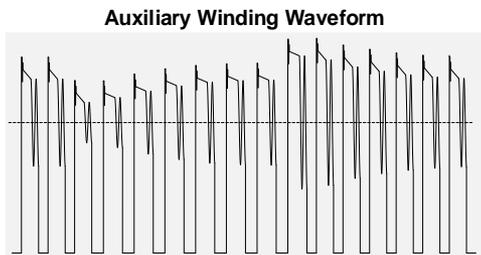


범용 펄스 폭 변조 또는 부스트 컨트롤러(LM5156)는 추가 정류를 통해 **필터링된 보조 권선 전압**을 조절합니다.

# 예상되는 문제

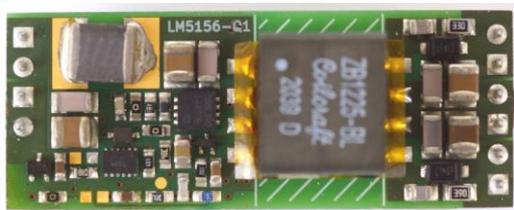
- $V_{AUX}$  파형은 복잡적이며 많은 정보를 전달합니다.
- $V_{AUX}$ 는  $I_{SE}$ 가 0으로 떨어질 때 주기당 한 번만 정확한  $V_{OUT}$  정보를 제공합니다.
- PSR 레귤레이터 피드백은 **샘플 앤 홀드**를 사용합니다.
- 표준 부스트 컨트롤러는 **연속** 피드백 전압을 기대합니다.

보조 권선 파형을 어떻게 변환합니까?



# 단계별 설계 예시

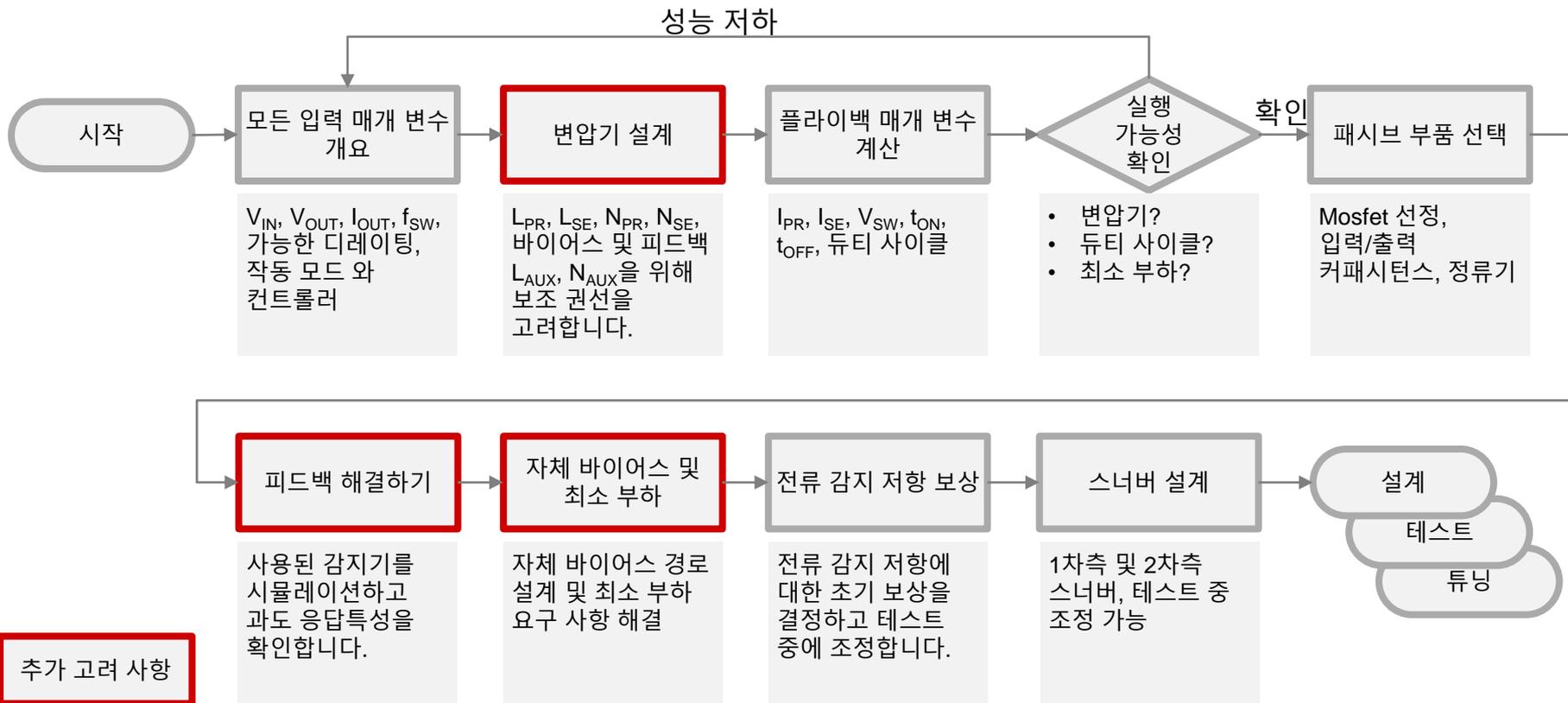
절연 게이트 드라이버 바이어스를 이용한 LM5156-Q1 부스트 플라이백 컨트롤러



17 x 44 x 14mm (W x L x H)



# PSR 플라이백 설계 제안 흐름도



# 컨버터 매개 변수 정의

- 12V 차량 배터리로 구동되는 절연 게이트 드라이버 바이어스 공급 장치

매개변수	사양
입력 전압( $V_{IN}$ )	$6V_{DC}$ - $42V_{DC}$ (52V 과도)
출력 전압( $V_{OUT}$ )	+15V, -9V( $V_{OUT} = 24V$ )
출력 전류( $I_{OUT}$ )	180mA
스위칭 주파수( $f_{SW}$ )	400 kHz
작동 모드	불연속 전도 모드(DCM)
1차-2차 절연	기본, 2.5kV
컨트롤러	LM5156-Q1

# 특수한 경우 확인 방법

- 주파수 폴백 또는 경계 전도 모드(BCM)는 사용할 수 없습니다. 기존 컨트롤러도 마찬가지입니다:
  - 안정된  $f_{SW}$ 로 작동합니다.
  - 성정한  $V_{OUT}$  레벨을 초과하면 펄스 건너뛰기 모드로 들어갑니다.
- 변압기 턴비와 인덕턴스는 설정한  $f_{SW}$ 에서 DCM을 허용해야 합니다.
- 최악의 시나리오 - 극심한 듀티 사이클:
  - $V_{IN(MIN)}$  및  $I_{OUT(MAX)}$ 는 최대 듀티 사이클을 초래합니다.
  - $V_{IN(MAX)}$  및  $I_{OUT(MIN)}$ 는 최소 듀티 사이클을 초래합니다.
- Power Stage Designer™ 소프트웨어 반복 프로세스는 변압기  $L_{PRI} = 4 \mu H$ ,  $L_{SEC} = 16 \mu H$ , 권수비  $N_P:N_S = 1:2$ 를 제안합니다.

# 최악의 시나리오에 대한 가능성 확인

Power Stage Designer 소프트웨어가  $V_{IN} = 42\text{ V}$ 의 최소 부하를 찾습니다.

매개변수	최소 듀티 조건	최대 듀티 조건	LM5156-Q1 장치 데이터 시트 사양
온타임	0.13 $\mu\text{s}$	1.57 $\mu\text{s}$	최소 130ns(그림 8-12)
오프타임	0.43 $\mu\text{s}$	0.76 $\mu\text{s}$	
듀티 사이클	5.10%	62.86%	최소 92.8%(그림 8-16)
제로 타임	1.94 $\mu\text{s}$	0.16 $\mu\text{s}$	
최대 1차 전류( $I_{PR}$ )	1.33A	2.36A	
최대 2차 전류( $I_{SE}$ )	0.66A	1.18A	
필요 최소 부하( $I_{L(MIN)}$ )	<b>60mA</b>		

또는 컨트롤러가 펄스 스킵  
모드로 전환됩니다.

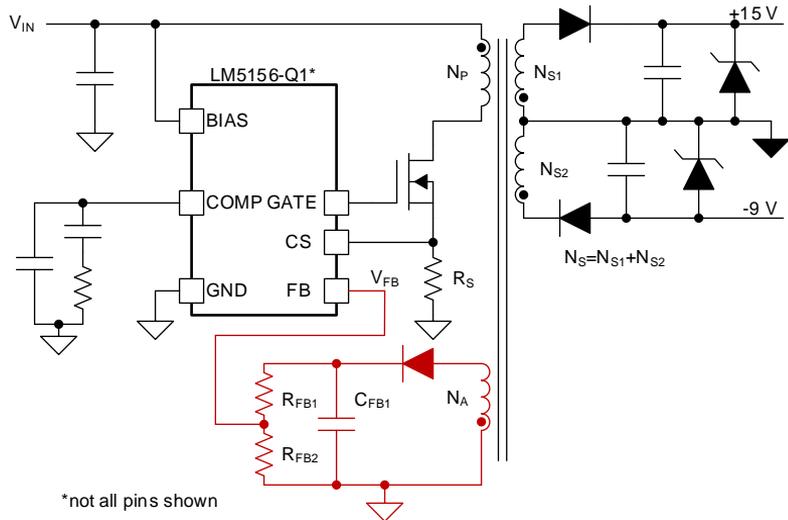
# 첫 설계 검토

- 마그네틱 공급업체는 변압기 설계가 합리적임을 확인합니다.
- LM5156-Q1은  $f_{SW} = 400\text{kHz}$ 에서도 필요한 듀티 사이클을 지원할 수 있습니다.
- 컨버터는 일정한  $f_{SW}$ 를 위해  $V_{IN} = 42\text{V}$ 에서  $\approx 60\text{mA}$ 의 인위적인 부하가 필요하며, 이는 경부하( $V_{IN} = 12\text{V}$ 에서  $\approx 5\text{mA}$ )에서의 효율에 부정적인 영향을 미칩니다.
- 컨트롤러가 펄스 스킵 모드로 전환할 수 있도록 하는 것은 다음과 같은 장점이 있습니다.
  - 인위적으로 부하를 줄여 효율 증가
  - 펄스 스킵 모드에서 과도 응답 감소

디자이너 결정: 이 솔루션이 여전히 기대치를 충족합니까?

# 피드백 회로 해결

- 다이오드를 반파 정류기(피크 검출기)로 사용
- 검출기(필터)는 출력 과도 상태를 추적할 수 있어야 합니다.



- 정류된 전압이 자체 바이어싱을 허용하도록 보조 권선 권수비를 설정합니다(예: 15V).

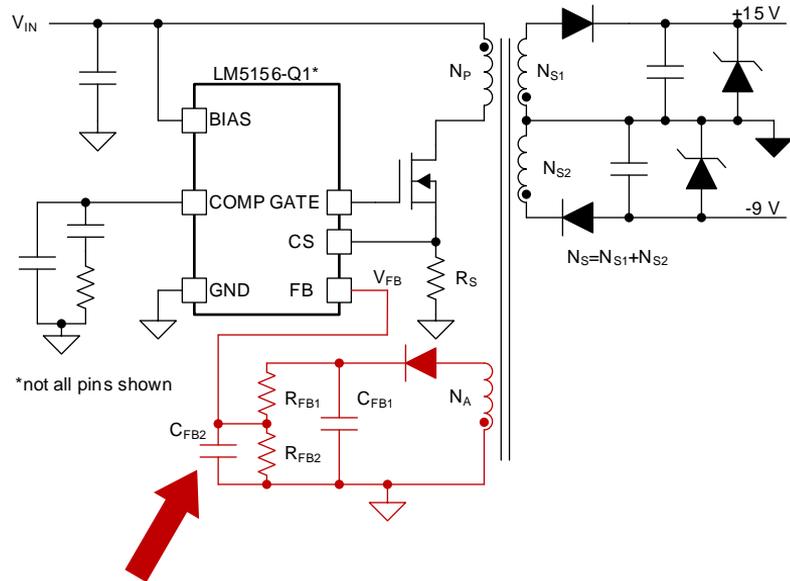
$$V_{VCC} \approx V_{OUT} \times \frac{N_A}{N_S}$$

- 피드백 전압( $V_{FB}$ )과 일치하도록 저항 분할기를 계산합니다.

$$V_{FB} = V_{OUT} \times \frac{N_A}{N_S} \left( \frac{R_{FB2}}{R_{FB1} + R_{FB2}} \right)$$

# 피드백 회로 해결

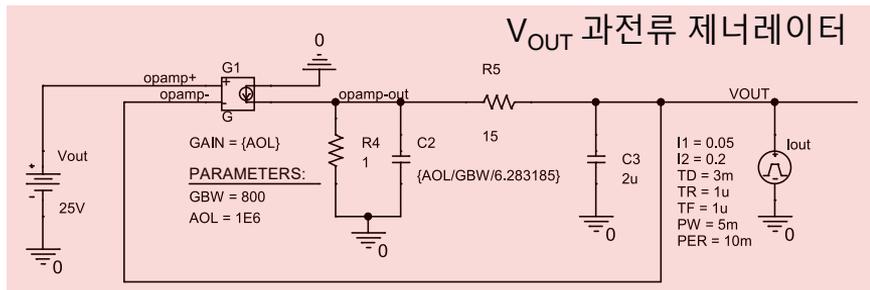
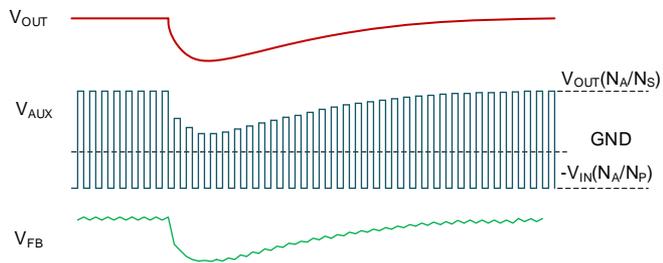
- $V_{AUX}$  를 필터링하려면 패시브 2차 필터를 사용하는 것이 좋습니다.
- 커패시터  $C_{FB1}$  및  $C_{FB2}$  는 필터 시간 상수( $\tau$ )를 정의합니다.
- 시뮬레이션 도구를 사용하여 최적의  $C_{FB1}$  및  $C_{FB2}$  값을 찾습니다.



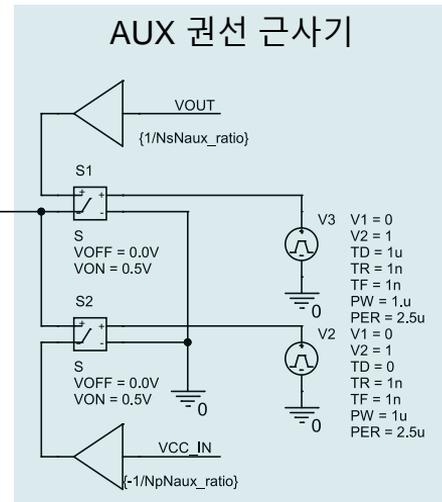
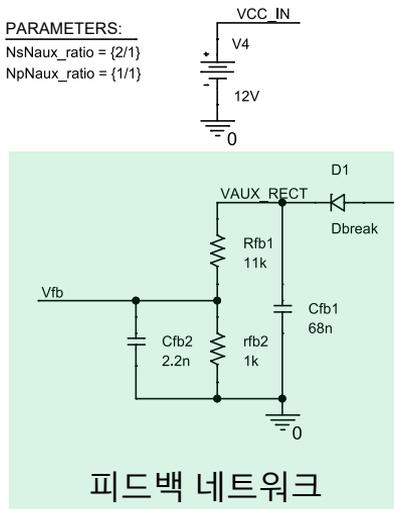
# 피드백 회로 해결: PSpice의 시뮬레이션

## 세번의 단계

1. 원하는  $V_{OUT}$  과도 응답 **생성**
2. 대략적  $V_{AUX}$
3.  $C_{FB1}$  및  $C_{FB2}$  를 사용하여 정류기-필터 과도 응답을 **조정**합니다.



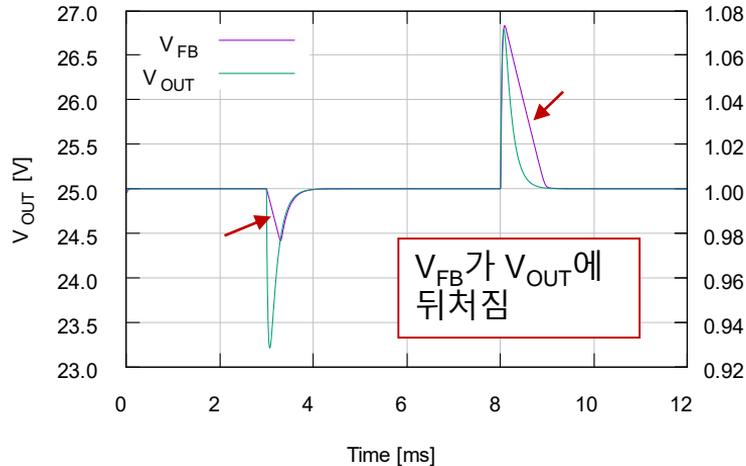
PARAMETERs:  
NsNaux\_ratio = {2/1}  
NpNaux\_ratio = {1/1}



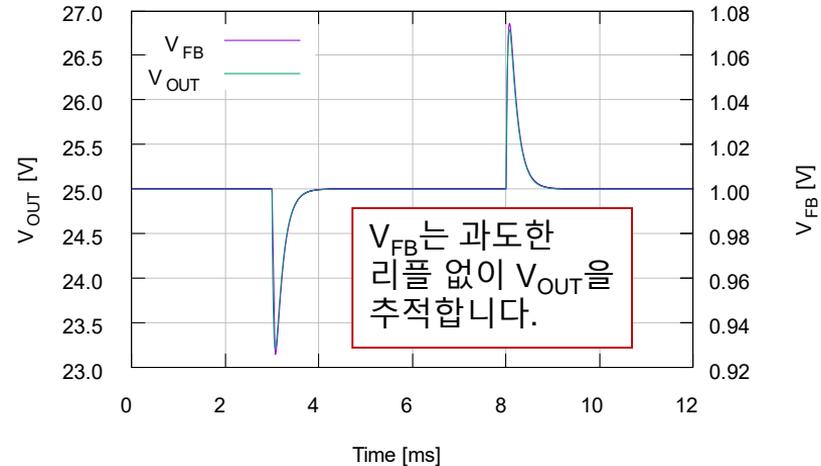
# 시뮬레이션 필터(피크 검출기) 응답 특성

$V_{FB}$ 가  $V_{OUT}$ 을 추적할 수 있는지 확인합니다.

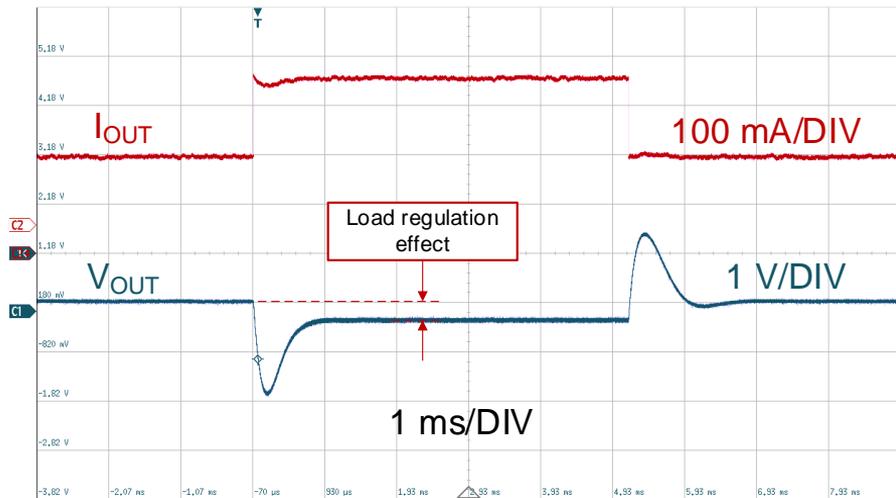
$\tau$ 가 너무 길니다.



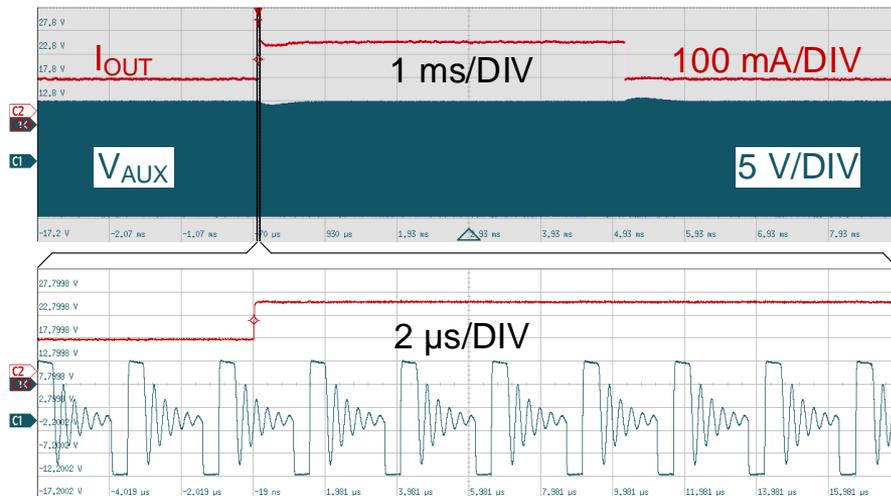
$\tau$ 가 최적입니다.



# $V_{OUT}$ 과도 응답 및 $V_{AUX}$ 피드백



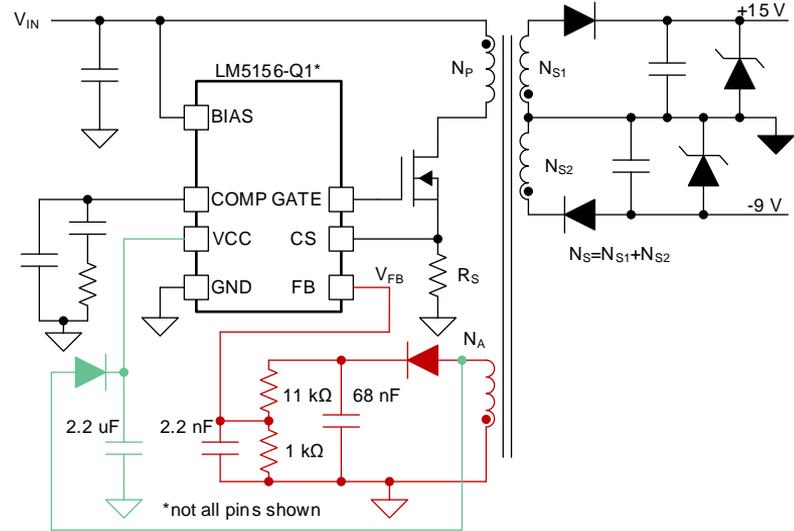
45mA~135mA의  $I_{OUT}$  에 대한  $V_{OUT}$  과도 응답 특성



45mA~135mA의  $I_{AUX}$  에 대한  $V_{OUT}$  과도 응답 특성

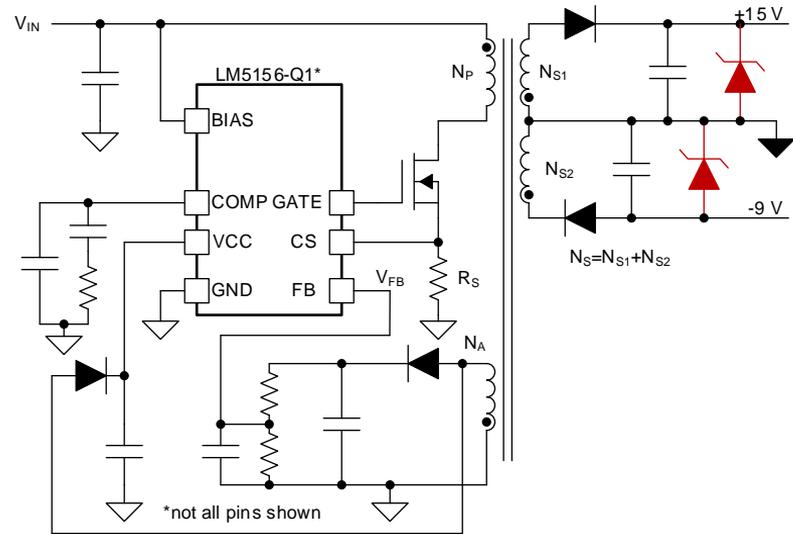
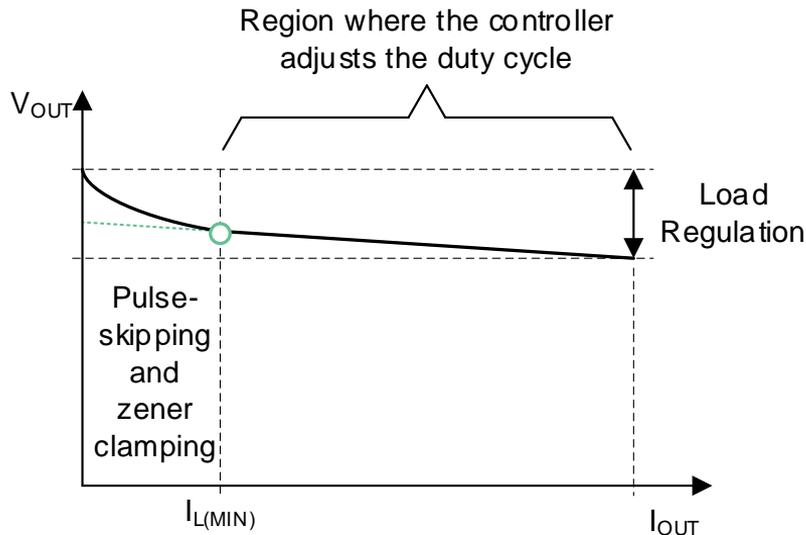
# 저부하 효율성 향상을 위한 바이어스 방식

- 피드백과 자체 전력은 서로 다른 요구 사항을 가지고 있습니다.
- 보조 권선의 자체 전력(바이어스)은 전압 레일을 안정적으로 유지하기 위해 큰 벌크 커패시턴스가 필요합니다.
- 피드백 경로에는  $V_{OUT}$  을 빠르게 추적하기 위해 빠른 과도 응답이 필요합니다.
- 두 가지 경로를 통해 성능 저하 없이 최고의 성능을 제공합니다.



# 최소 부하상태 해결

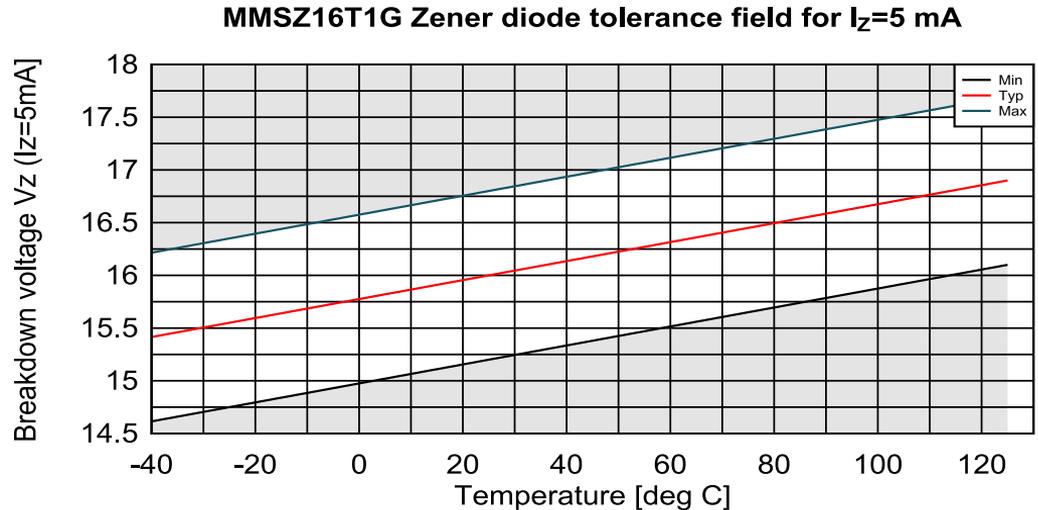
- 두 가지 옵션이 있습니다.
  - 더미 부하로서의 저항들
  - 제너 다이오드들



- 컨트롤러는  $t_{ON}$ 을 더 이상 줄일 수 없습니다.
- $V_{OUT}$ 이 증가하면 제너 다이오드를 통하여 전류를 싱크합니다.
- 펄스 스킵 발생

# 제너 다이오드의 정확도

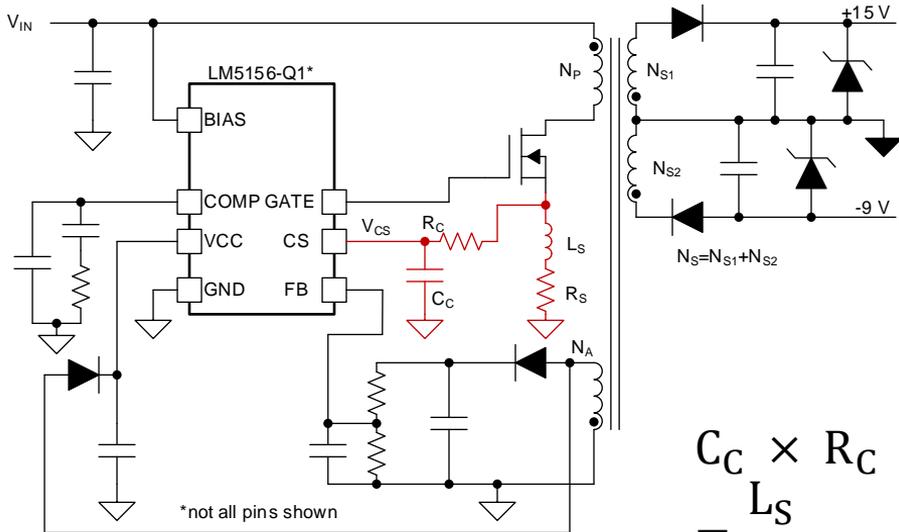
- 제너 다이오드는 저렴하지만 정확도가 떨어집니다.
- 다이오드의 온도 계수 특성:
  - $V_Z < 4.7V$ 에서 마이너스 온도 계수를 갖습니다.
  - $V_Z > 4.7V$ 에서 플러스 온도 계수를 갖습니다.
- 다양한 제너다이오드 정확도.



매개변수	MMSZ10T1G ( $V_Z = 10V$ )	MMSZ16T1G ( $V_Z = 16V$ )
최저 Zener 전압	8.9 V	14.6 V
최고 Zener 전압	11.4 V	17.7

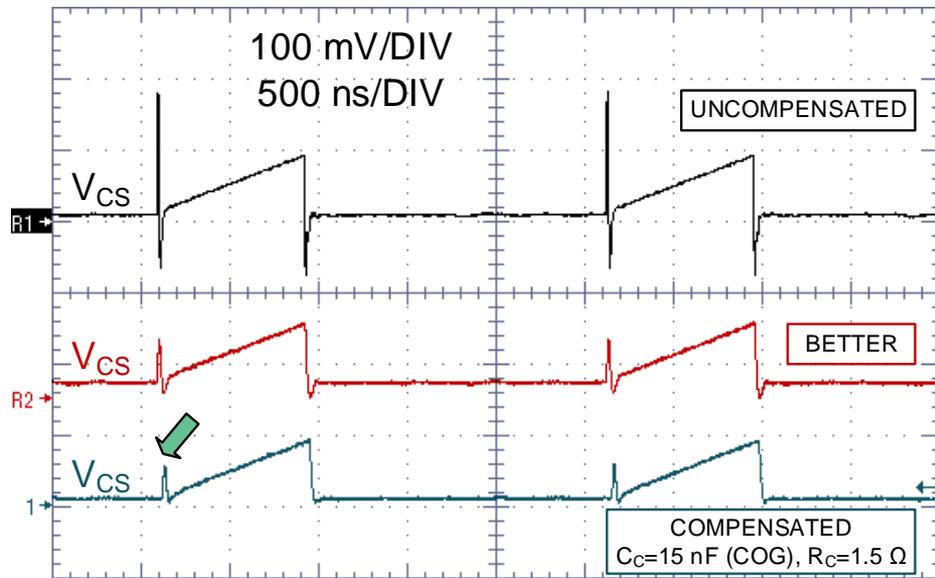
# 전류 감지 저항 보정

- 전류 감지 저항의 링잉으로 인해 잘못된 과전류 이벤트가 발생할 수 있습니다.
- 보상 네트워크가 필요합니다.



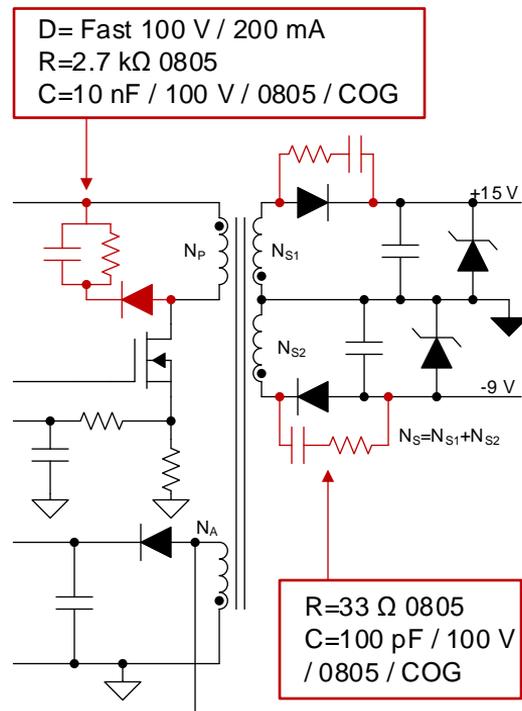
(이 예에서는 0.33Ω 0603 션트 저항을 사용합니다.)

$$C_C \times R_C = \frac{L_S}{R_S}$$

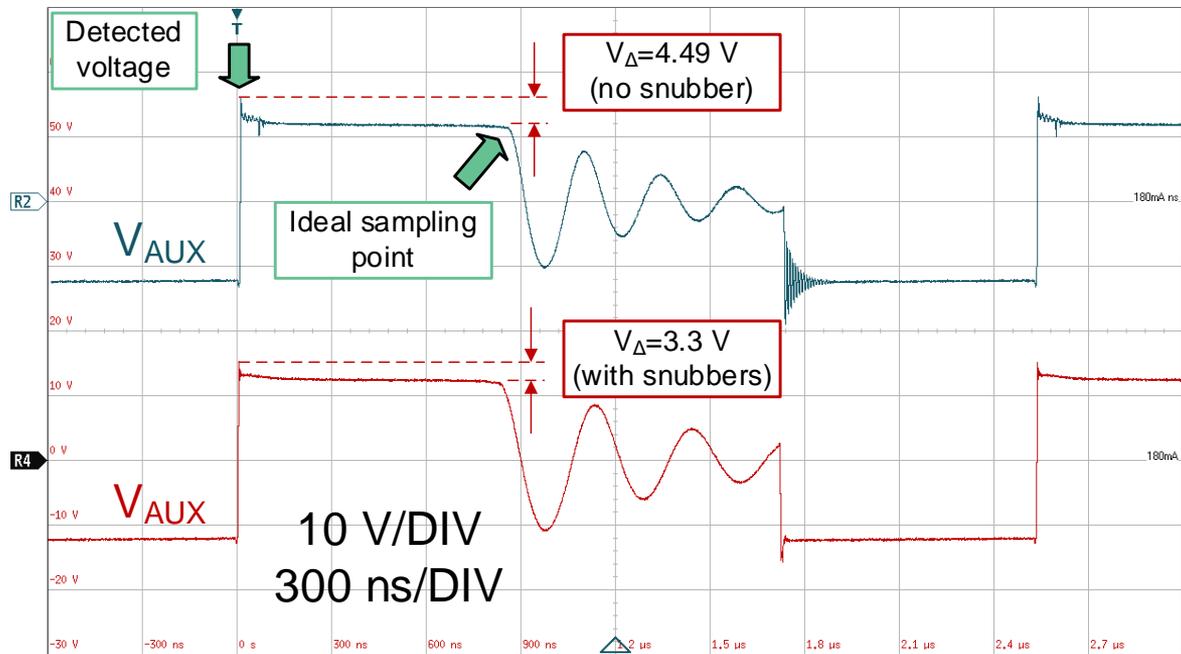


# 스너버 회로

- 스너버 회로는 다음과 같은 링잉을 줄여줍니다.
  - 전자기 간섭(EMI) 유발
  - 턴오프 기간 동안 전력 Mosfet에 스트레스 발생
- 링잉은 또한 Aux 파형에 부정적인 영향을 미치고 피드백에 영향을 미칩니다.
- 링잉은  $I_{OUT}$ 에 비례합니다.

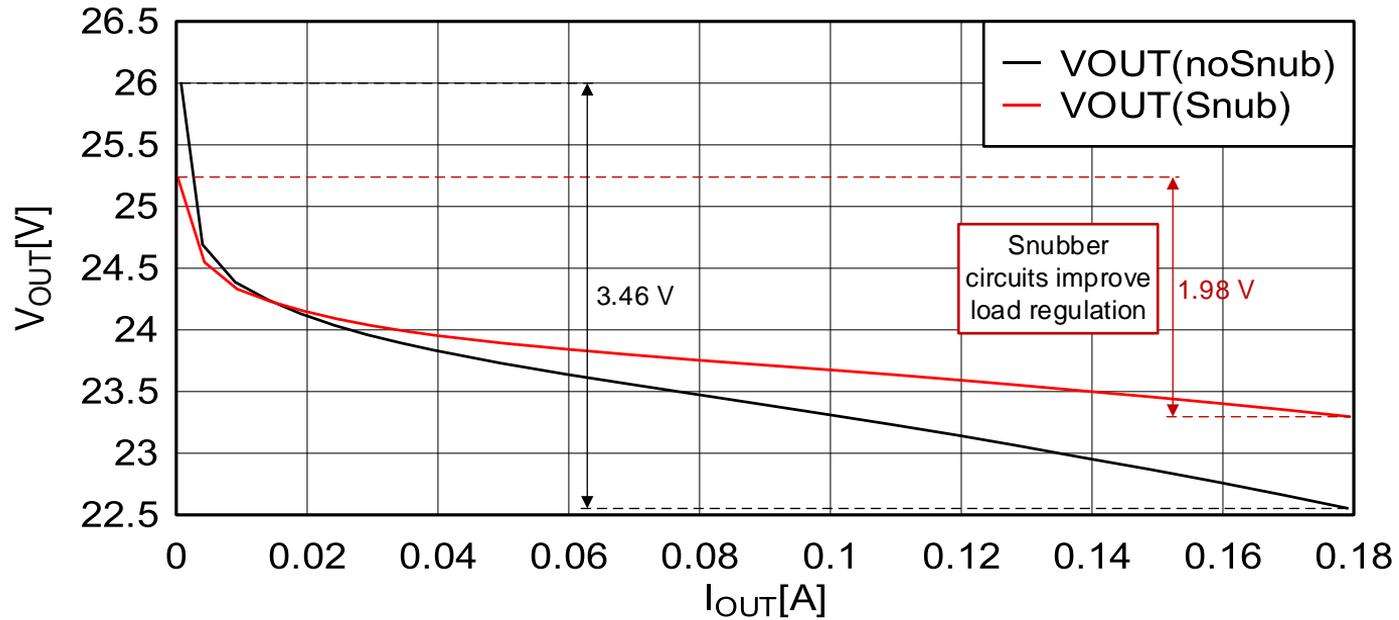


# 스너버 회로 유무에 따른 $V_{AUX}$ 파형



$I_{OUT} = 180\text{mA}$ 에 대한  $V_{AUX}$  파형

# 부하 조절에 미치는 스너버 회로 효과



# 결론

- PSR 플라이백은 저비용 절연 DC/DC 컨버터에 널리 사용됩니다.
- 기존 부스트 컨트롤러를 사용하는 PSR 플라이백은 피드백을 위해 이러한 사항을 고려해야 합니다.
  - 주어진 작동 조건에 대한 최소 및 최대 듀티 사이클을 식별합니다.
  - $V_{AUX}$  검출기(필터)가  $V_{OUT}$ 을 추적하도록 설계합니다.
  - 스너버를 사용하여 링잉을 최소화합니다.
  - 빠른 과도 응답을 위해 자체 바이어스 및 피드백 경로를 분할합니다.
  - 전류 감지 저항에 보상 네트워크를 추가합니다.
  - 더 높은 위상 마진을 고려하여 검출기를 옴두에 두고 보정을 설계합니다.
  - 최소, 최대 및 공칭 입력 전압에 대한 과도 응답을 확인합니다.

# 리소스 및 추가 정보

## UCC28700-Q1 데이터시트, 7.4.1장

- 판별기 및 샘플러 회로 작동 방식

## LM5180-Q1 데이터시트, 7.3.2장

- 주파수 폴백, BCM 및 PSR 작동 방식

## Power Stage Designer 소프트웨어

- 초기 구성 요소 선택을 위한 필수 도구

## 플라이백 SMPS 설계 자세히 보기 (SLUP261)

- 플라이백 컨버터에 대한 자세한 설명

## TI 드라이브 (액세스 코드 rn4N8w;r )

- 이 프레젠테이션을 위한 설계 리소스

## PSPICE-FOR-TI

- TI 설계 및 시뮬레이션 툴용 PSpice®

액세스 코드 rn4N8w;r





© Copyright 2024 Texas Instruments Incorporated. All rights reserved.

This material is provided strictly “as-is,” for informational purposes only, and without any warranty.  
Use of this material is subject to TI’s **Terms of Use**, viewable at [TI.com](https://www.ti.com)

## 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated