

Brigitte Hauke

Low Power DC/DC Application

## 추상

이 애플리케이션 노트는 통합 스위치가 있고 연속 전도 모드에서 작동하는 IC로 제작된 부스트 컨버터의 전력계 계산을 위한 방정식을 제시합니다. 부스트 컨버터의 기능([참고 문헌 1 참조](#))이나 컨버터 보상 방법에 대한 자세한 내용은 제공하지 않습니다. 자세한 정보가 필요한 경우 이 문서의 끝 부분에 있는 참고 문헌을 참조하십시오.

설명이 없는 방정식에 대해서는 [섹션 8](#)을 참조하십시오.

## 목차

1 부스트 컨버터의 기본 구성.....	2
1.1 전력계에서 필요한 매개변수.....	2
2 최대 스위치 전류 계산.....	2
3 인덕터 선택.....	4
4 정류기 다이오드 선택.....	4
5 출력 전압 설정.....	5
6 입력 커패시터 선택.....	6
7 출력 커패시터 선택.....	6
8 부스트 컨버터의 전력계를 계산하는 방정식.....	7
9 참고 문헌.....	9
10 개정 내역.....	9

## 1 부스트 컨버터의 기본 구성

그림 1-1에는 스위치가 사용된 IC에 통합된 부스트 컨버터의 기본 구성이 나와 있습니다. 종종 저전력 컨버터는 컨버터에 통합된 두 번째 스위치로 다이오드 대체를 제공합니다. 이 경우 다이오드의 전력 손실 방정식 외에도 이 문서의 모든 방정식이 적용됩니다.

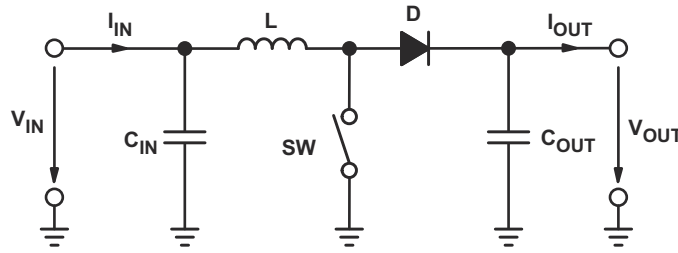


그림 1-1. 부스트 컨버터 전력계

### 1.1 전력계에서 필요한 매개변수

전력계를 계산하려면 다음 4가지 매개 변수가 필요합니다.

1. 입력 전압 범위:  $V_{IN(min)}$  및  $V_{IN(max)}$
2. 공칭 출력 전압:  $V_{OUT}$
3. 최대 출력 전류:  $I_{OUT(max)}$
4. 부스트 컨버터를 구축하는 데 사용되는 집적 회로. 계산에 필요한 일부 매개 변수를 데이터 시트에서 추출해야 하기 때문에 이 작업이 필요합니다.

이러한 매개 변수를 알면 전력계 계산이 수행됩니다.

## 2 최대 스위치 전류 계산

스위치 전류를 계산하는 첫 번째 단계는 최소 입력 전압에 대한 듀티 사이클  $D$ 를 결정하는 것입니다. 최대 스위치 전류로 이어지기 때문에 최소 입력 전압이 사용됩니다.

$$D = 1 - \frac{V_{IN(min)} \times \eta}{V_{OUT}} \quad (1)$$

$V_{IN(min)}$  = 최소 입력 전압

$V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압

$\eta$  = 컨버터의 효율(예: 약 80%)

컨버터가 손실 에너지도 공급해야 하므로 듀티 사이클 계산에 효율성이 추가됩니다. 이 계산은 효율성 계수가 없는 방정식보다 더 현실적인 듀티 사이클을 제공합니다.

예상 계수(예: 80%(부스트 컨버터의 최악의 경우 효율에는 비현실적이지 않음)를 사용하거나 선택한 컨버터의 데이터 시트에서 **일반 특성** 섹션(참조 3 및 4)을 참조하십시오.

최대 스위치 전류를 계산하기 위한 다음 단계는 인덕터 리플 전류를 결정하는 것입니다. 컨버터 데이터 시트에서는 일반적으로 IC와 함께 사용할 특정 인덕터 또는 다양한 인덕터 이름을 지정합니다. 권장 인덕터 값을 사용하여 리플 전류, 권장 범위 내의 인덕터 값 또는 데이터 시트에 제시되지 않은 경우 이 애플리케이션 노트의 **인덕터 선택** 섹션에서 계산된 값을 계산합니다.

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN(min)} \times D}{f_s \times L} \quad (2)$$

$V_{IN(min)}$  = 최소 입력 전압

$D$  = 방정식 1

$f_s$ 로 계산된 듀티 사이클 = 컨버터의 최소 스위칭 주파수

$L$  = 선택한 인덕터 값

이제 선택한 IC가 최대 출력 전류를 제공할 수 있는지 결정해야 합니다.

$$I_{MAXOUT} = \left( I_{LIM(min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \times (1-D) \quad (3)$$

$I_{LIM(min)}$  = 통합 스위치의 전류 제한 최소값(데이터 시트에 제공)

$\Delta I_L$  = 방정식 2

D로 계산된 인덕터 리플 전류 = 방정식 1에서 계산된 듀티 사이클

선택한 IC의 최대 출력 전류인  $I_{MAXOUT}$ 에 대해 계산된 값이 시스템 요구 최대 출력 전류보다 낮은 경우, 스위치 전류 제한이 더 높은 다른 IC를 사용해야 합니다.

$I_{MAXOUT}$ 에 대한 계산 값이 필요한 것보다 약간 작은 경우에만 권장 범위에 있는 경우 인덕턴스가 더 높은 인덕터와 함께 선택한 IC를 사용할 수 있습니다. 인덕턴스가 높을수록 리플 전류를 감소시켜 선택한 IC를 사용하여 최대 출력 전류를 높입니다.

계산된 값이 애플리케이션의 최대 출력 전류보다 높을 경우 시스템의 최대 스위치 전류가 계산됩니다.

$$I_{SW(max)} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{I_{OUT(max)}}{1-D} \quad (4)$$

$\Delta I_L$  = 방정식 2

$I_{OUT(max)}$ 에서 계산된 인덕터 리플 전류 = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류

D = 방정식 1에서 계산된 듀티 사이클

이것이 바로 피크 전류, 인덕터, 통합 스위치 및 외부 다이오드가 견뎌야 하는 것입니다.

### 3 인덕터 선택

종종 데이터 시트는 권장 인덕터 값의 범위를 제공합니다. 이 경우 이 범위에서 인덕터를 선택하는 것이 좋습니다. 인덕터 값이 높을수록 리플 전류 감소로 인해 최대 출력 전류도 높아집니다.

인덕터 값이 낮을수록 솔루션 크기도 작아집니다. 인덕턴스가 감소할수록 전류가 증가하기 때문에 인덕터는 항상 [방정식 4](#)에 주어진 최대 전류보다 높은 전류 정격을 가져야 합니다.

인덕터 범위가 없는 부품의 경우 다음 방정식은 적절한 인덕터의 적절한 예측입니다.

$$L = \frac{V_{IN} \times (V_{OUT} - V_{IN})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{OUT}} \quad (5)$$

$V_{IN}$  = 일반 입력 전압

$V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압

$f_S$  = 컨버터의 최소 스위칭 주파수

$\Delta I_L$  = 예상 인덕터 리플 전류, 아래 참조

인덕터를 알 수 없기 때문에 [방정식 1](#)로 인덕터 리플 전류를 계산할 수 없습니다. 인덕터 리플 전류 예측은 출력 전류의 20%~40%입니다.

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{OUT(max)} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (6)$$

$\Delta I_L$  = 예상 인덕터 리플 전류

$I_{OUT(max)}$  = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류

### 4 정류기 다이오드 선택

손실을 줄이려면 쇼트키 다이오드를 사용해야 합니다. 필요한 순방향 전류 정격은 최대 출력 전류와 같습니다.

$$I_F = I_{OUT(max)} \quad (7)$$

$I_F$  = 정류기 다이오드

$I_{OUT(max)}$ 의 평균 순방향 전류 = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류

쇼트키 다이오드는 평균 정격보다 피크 전류 정격이 훨씬 높습니다. 따라서 시스템에서 높은 피크 전류는 문제가 되지 않습니다.

점검해야 할 또 다른 매개 변수는 다이오드의 전력 손실입니다. 다음을 처리해야 합니다.

$$P_D = I_F \times V_F \quad (8)$$

$I_F$  = 정류기 다이오드의 평균 순방향 전류

$V_F$  = 정류기 다이오드의 순방향 전압

## 5 출력 전압 설정

거의 모든 컨버터가 저항식 디바이더 네트워크(고정 출력 전압 컨버터인 경우 통합되어 있음)로 출력 전압을 설정합니다. 피드백 전압,  $V_{FB}$ , 피드백 바이어스 전류,  $I_{FB}$ 가 주어지면 전압 디바이더를 계산할 수 있습니다.

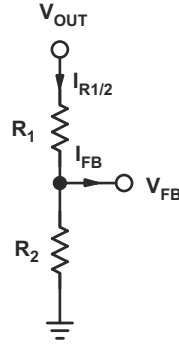


그림 5-1. 출력 전압 설정을 위한 저항식 분할기

저항식 분할기를 통과하는 전류는 피드백 바이어스 전류의 최소 100배가 되어야 합니다.

$$I_{R1/2} \geq 100 \times I_{FB} \quad (9)$$

$I_{R1/2}$  = 저항 분할기를 통해 GND

$I_{FB}$ 로 이어지는 전류 = 데이터 시트의 피드백 바이어스 전류

이렇게 하면 전압 측정의 정확도가 1% 미만입니다. 전류도 훨씬 더 높을 수 있습니다. 저항 값이 작아진다는 유일한 단점은 저항식 분할기의 전력 손실이 더 높지만 정확도는 약간 더 높아집니다.

위의 가정을 통해 저항은 다음과 같이 계산됩니다.

$$R_2 = \frac{V_{FB}}{I_{R1/2}} \quad (10)$$

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \quad (11)$$

$R_1, R_2$  = 저항 분할기, [그림 5-1](#) 참조.

$V_{FB}$  = 데이터 시트의 피드백 전압

$I_{R1/2}$  = 저항 분할기를 통해 GND로 공급되는 전류, [방정식 9](#)

$V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압

## 6 입력 커패시터 선택

입력 커패시터의 최소값은 데이터 시트에 일반적으로 나와 있습니다. 이 최소값은 스위칭 전원 공급 장치의 피크 전류 요구 사항으로 인해 입력 전압을 안정화하는 데 필요합니다. 가장 좋은 방법은 낮은 ESR(등가 직렬 저항) 세라믹 커패시터를 사용하는 것입니다. 유전체 재료는 X5R 이상이 되어야 합니다. 그렇지 않으면, 커패시터는 DC 바이어스나 온도(참고 문헌 7 및 8 참조)로 인해 정전 용량을 많이 잃을 수 있습니다.

입력 전압에 잡음이 많은 경우 이 값을 증가시킬 수 있습니다.

## 7 출력 커패시터 선택

모범 사례는 낮은 ESR 커패시터를 사용하여 출력 전압의 리플을 최소화하는 것입니다. 유전체 재료가 X5R 또는 그 이상이 되면 세라믹 커패시터가 적합합니다(참고 문헌 7 및 8 참조).

컨버터에 외부 보상이 있는 경우 데이터 시트에서 권장되는 최소값을 초과하는 커패시터 값을 사용할 수 있지만, 사용한 출력 커패시터스에 대한 보상을 조정해야 합니다.

내부 보상 컨버터의 경우 권장 인덕터 및 커패시터 값을 사용하거나 애플리케이션에 맞게 출력 커패시터를 조정하기 위한 데이터 시트의 권장 사항을 L × C 비율로 따라야 합니다

외부 보상의 경우, 다음 방정식을 사용하여 원하는 출력 전압 리플에 대한 출력 커패시터 값을 조정할 수 있습니다.

$$C_{OUT(min)} = \frac{I_{OUT(max)} \times D}{f_S \times \Delta V_{OUT}} \quad (12)$$

$C_{OUT(min)}$  = 최소 출력 커패시턴스

$I_{OUT(max)}$  = 애플리케이션의 최대 출력 전류

D = 방정식 1

$f_S$ 로 계산된 듀티 사이클 = 컨버터의 최소 스위칭 주파수

$\Delta V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압 리플

출력 커패시터의 ESR은 다음과 같은 방정식에 따라 리플을 더 추가합니다.

$$\Delta V_{OUT(ESR)} = ESR \times \left( \frac{I_{OUT(max)}}{1-D} + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \quad (13)$$

$\Delta V_{OUT(ESR)}$  = 커패시터 ESR로 인한 추가 출력 전압 리플

ESR = 사용된 출력 커패시터

$I_{OUT(max)}$ 의 등가 직렬 저항 = 애플리케이션의 최대 출력 전류

D = 방정식 1

$\Delta I_L$ 로 계산된 듀티 사이클<sub>L</sub> = 방정식 2 또는 방정식 6의 인덕터 리플 전류

## 8 부스트 컨버터의 전력계를 계산하는 방정식

$$\text{Maximum Duty Cycle: } D = 1 - \frac{V_{IN(\min)} \times \eta}{V_{OUT}} \quad (14)$$

$V_{IN(\min)}$  = 최소 입력 전압  
 $V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압  
 $\eta$  = 컨버터의 효율(예: 약 85%)

$$\text{Inductor Ripple Current: } \Delta I_L = \frac{V_{IN(\min)} \times D}{f_s \times L} \quad (15)$$

$V_{IN(\min)}$  = 최소 입력 전압  
 $D$  = 방정식 14  
 $f_s$ 로 계산된 듀티 사이클 = 컨버터의 최소 스위칭 주파수  
 $L$  = 선택한 인덕터 값

$$\text{Maximum output current of the selected IC: } I_{MAXOUT} = \left( I_{LIM(\min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \times (1-D) \quad (16)$$

$I_{LIM(\min)}$  = 통합 스위치의 전류 제한 최소값(데이터 시트에 제공)  
 $\Delta I_L$  = 방정식 15  
 $D$ 로 계산된 인덕터 리플 전류 = 방정식 14에서 계산된 듀티 사이클

$$\text{Application specific maximum switch current: } I_{SW(\max)} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{I_{OUT(\max)}}{1-D} \quad (17)$$

$\Delta I_L$  = 방정식 15  
 $I_{OUT(\max)}$ 에서 계산된 인덕터 리플 전류 = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류  
 $D$  = 방정식 14에서 계산된 듀티 사이클

$$\text{Inductor Calculation: } L = \frac{V_{IN} \times (V_{OUT} - V_{IN})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{OUT}} \quad (18)$$

$V_{IN}$  = 일반 입력 전압  
 $V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압  
 $f_s$  = 컨버터의 최소 스위칭 주파수  
 $\Delta I_L$  = 예상 인덕터 리플 전류, 방정식 19 참조

$$\text{Inductor Ripple Current Estimation: } \Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{OUT(\max)} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (19)$$

$\Delta I_L$  = 예상 인덕터 리플 전류  
 $I_{OUT(\max)}$  = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류

$$\text{Average Forward Current of Rectifier Diode: } I_F = I_{OUT(\max)} \quad (20)$$

$I_{OUT(\max)}$  = 애플리케이션에 필요한 최대 출력 전류

$$\text{Power Dissipation in Rectifier Diode: } P_D = I_F \times V_F \quad (21)$$

$I_F$  = 정류기 다이오드의 평균 순방향 전류  
 $V_F$  = 정류기 다이오드의 순방향 전압

$$\text{Current Through Resistive Divider Network for Output Voltage Setting: } I_{R1/2} \geq 100 \times I_{FB} \quad (22)$$

$I_{FB}$  = 데이터 시트의 피드백 바이어스 전류

$$\text{Value of Resistor Between FB Pin and GND: } R_2 = \frac{V_{FB}}{I_{R1/2}} \quad (23)$$

$$\text{Value of Resistor Between FB Pin and } V_{OUT}: R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \quad (24)$$

$V_{FB}$  = 데이터 시트의 피드백 전압

$I_{R1/2}$  = 저항 분할기를 통해 GND로 공급되는 전류, [방정식 22](#)

$V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압

$$\text{Minimum Output Capacitance, if not given in the data sheet: } C_{OUT(min)} = \frac{I_{OUT(max)} \times D}{f_S \times \Delta V_{OUT}} \quad (25)$$

$I_{OUT(max)}$  = 애플리케이션의 최대 출력 전류

$D$  = [방정식 14](#)에서 계산된 듀티 사이클

$f_S$  = 컨버터의 최소 스위칭 주파수

$\Delta V_{OUT}$  = 원하는 출력 전압 리플

$$\text{Additional Output Voltage Ripple due to ESR: } \Delta V_{OUT(ESR)} = ESR \times \left( \frac{I_{OUT(max)}}{1-D} + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \quad (26)$$

ESR = 사용된 출력 커패시터의 등가 직렬 저항

$I_{OUT(max)}$  = 애플리케이션의 최대 출력 전류

$D$  = [방정식 14](#)에서 계산된 듀티 사이클

$\Delta I_L$  = [방정식 15](#) 또는 [방정식 19](#)의 인덕터 리플 전류



## 9 참고 문헌

1. 스위치 모드 전원 공급 장치의 부스트 전력계 이해(SLVA061)
2. TPS61030(SLVA274)을 사용한 전압 모드 부스트 컨버터 소신호 제어 루프 분석
3. TPS65148(SLVS904)의 데이터 시트
4. TPS65130 및 TPS65131(SLVS493)의 데이터시트
5. Robert W. Erickson: *Fundamentals of Power Electronics*, Kluwer Academic Publishers, 1997
6. Mohan/Underland/Robbins: *Power Electronics*, John Wiley & Sons Inc., Second Edition, 1995
7. *Improve Your Designs with Large Capacitance Value Multi-Layer Ceramic Chip (MLCC) Capacitors* by George M. Harayda, Akira Omi, and Axel Yamamoto, Panasonic
8. *Comparison of Multilayer Ceramic and Tantalum Capacitors* by Jeffrey Cain, Ph.D., AVX Corporation

## 10 개정 내역

Changes from Revision C (January 2014) to Revision D (November 2022)	Page
• 문서 전체에서 표, 그림 및 상호 참조에 대한 번호 매기기 형식이 업데이트되었습니다.....	1
Changes from Revision B (July 2010) to Revision C (January 2014)	Page
• 그림 5-1에서 $V_{IN}$ 을 $V_{OUT}$ 으로 변경.....	5
Changes from Revision A (April 2010) to Revision B (July 2010)	Page
• $I_{OUT(max)} \times (1 - D)$ 를 다음으로 변경: $I_{OUT(max)} \times D$ (방정식 12에서).....	6
• $I_{OUT(max)} \times (1 - D)$ 를 다음으로 변경: $I_{OUT(max)} \times D$ (방정식 25에서).....	7
Changes from Revision * (November 2009) to Revision A (April 2010)	Page
• 방정식 6에 $V_{OUT}/V_{IN}$ (일반) 추가됨.....	4
• 방정식 19에 $V_{OUT}/V_{IN}$ (일반) 추가됨.....	7

## 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](http://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 © 2022, Texas Instruments Incorporated