

Step-Down Converter with Cable Voltage Drop Compensation

ABSTRACT

Output voltages of DCDC converters typically are precisely regulated at the location the feedback divider is connected.

일반적으로 DCDC 컨버터의 출력전압은 피드백 분배기가 연결된 위치에서 정밀하게 조절됩니다. In case of longer connections to the load which, for example, is not on the same PCB the precision of the regulation suffers from the way the connection is established.

예를들어 부하가 있는 긴 연결 같은 경우 같은 PCB 기판이 아니라면, 구분된 연결방식에 따라 출력전압 의 조절 정도에서 어려움을 겪습니다.

If weight and connection count is critical, using sense wires or traces from the converter to the load is not an option.

만약 무게와 연결수가 중요한 경우, 컨버터의 부하에 대해 sense wires 또는 traces 사용이 옵션이 아니게 됩니다.

The weight also restricts the cross section of the wires which can be used.

무게는 또한 사용할 수 있는 선의 단면도;횡단면 을 제한합니다.

This means voltage drop which depends on the load current must be expected.

이것은 부하 전류에 대한 전압 드랍을 반드시 예상 해야 함을 의미합니다.

Since this voltage drop cannot be fed back to the converter, compensation can only be done by adjusting the output voltage of the converter to match the voltage drop along the cables.

전압 드랍은 컨버터로 피드백 될 수 없기 때문에, 보정은 케이블의 전압 강하와 일치하도록 컨버터의 출력 전압을 조정해야만 수행 할 수 있습니다.

This application report describes a circuit which addresses this problem at the output of a low voltage, highly efficient and small step-down converter which is typically used in such environments.

이 보고서는 이러한 환경에서 일반적으로 사용되는 저전압, 고효율 및 small step-down 컨버터의 출력에서의 문제를 해결하는 회로에 대해 설명합니다.

The document also details the design and selection of the key components and provides measurement results showing the performance of the circuit.

Ehgs dl 문서에는 주요 구성 요소의 설계 및 선택에 대한 세부사항이 수록되어 있으며 측정결과는 회로의 성능을 보여줍니다.

Overview

In this example, the power circuit is implemented based on the TPS62130, a highly efficient synchronous step-down converter.

이 예에서 전력 회로는 고효율 동기식 스텝 다운 컨버터 인 TPS62130을 기반으로 구현됩니다.

To sense the load current, a current sense amplifier is designed based on the instrumentation amplifier, INA213. The complete circuit is shown in [Figure 1](#).

부하 전류를 감지하기 위해 계측 증폭기 인 INA213 을 기반으로 전류 감지 증폭기가 설계되었다. 완전한 회로는 그림 1 에 나와있습니다.

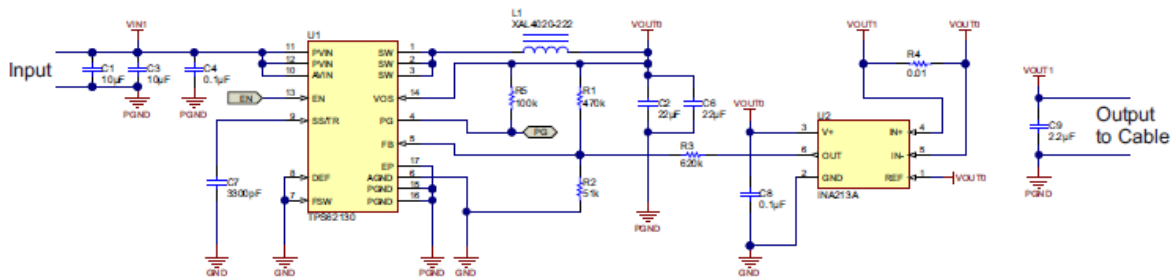


Figure 1. Circuit Schematic

The objective of the circuit is to provide an accurate 5-V supply at the end of the cable for a load which can vary between 0 A and 2 A.

이 회로의 목적은 0A 와 2A 사이에서 변동될 수있는 부하에 대해 케이블 끝에 정확한 5V 전원을 공급하는 것입니다.

The cable connection in this example is 5 meters long (2 x 2.5 m) with a cross section of 0.5 mm². 이 예에서 케이블 연결은 단면적이 0.5 mm² 이고 길이가 5 m (2 x 2.5 m)입니다.

This circuit typically can be used to power a remote USB plug in a car which can be used for USB communication to the media hub and in addition to charge a USB device with 2 A of charge current.

이 회로는 일반적으로 자동차의 원격 USB 플러그에 전원을 공급하여 미디어 허브에 USB 통신을하고 충전 전류가 2A 인 USB 장치를 충전하는 데 사용할 수 있습니다.

An example of an implementation is found in the [TI reference designs library](#).

이 예시에 대한 실행은 the [TI reference designs library](#) 에서 찾을 수 있습니다.

2 Detailed Description

2.1 Current Feedback System

To measure the output current accurately, a current sense resistor is used.

출력 전류를 정확하게 측정하기 위해 전류 감지 저항이 사용됩니다.

The voltage drop across the current sense resistor is measured by an instrumentation amplifier (INA213).

전류 감지 저항 양단의 전압 강하는 계측 증폭기 (INA213)로 측정됩니다.

The instrumentation amplifier generates an output voltage proportional to the output current of the DCDC converter (TPS62130).

계측 증폭기는 DCDC 컨버터(TPS62130)의 출력 전류에 비례하여 출력 전압을 발생시킨다.

The output voltage of the instrumentation amplifier is connected as an offset voltage into the voltage feedback divider of the TPS62130 and changes the divider in a way that at increasing output current, the output voltage of the TPS62130 is increased.

계측 증폭기의 출력 전압은 오프셋 전압으로 TPS62130 의 전압 피드백 분배기에 연결되며 출력 전류가 증가하면 TPS62130 의 출력 전압이 증가하는 방식으로 분배기를 변경합니다.

Knowing the voltage drop across the cable for a certain current or knowing the resistance of the cable connecting the load is required to derive the values for the resistors in the feedback network and the current sense resistor.

특정 전류에 대해 케이블을 통한 전압 강하를 알거나 부하를 연결하는 케이블의 저항을 아는 것은 피드백 네트워크 및 전류 감지 저항의 저항 값을 유도하는 데 필요합니다.

The minimum value for the resistance of the current sense resistor R_{SHmin} can be calculated using

[Equation 1.](#)

전류 감지 저항 (R_{SHmin})의 저항에 대한 최소값은 [식 1](#) 을 사용하여 계산할 수 있다.

$$R_{SHmin} = \frac{R_C}{G_{CS} - 1}$$

R_C is the resistance of the cable connected to the output of the TPS62130 and G_{CS} is the gain of the instrumentation amplifier.

R_C 는 TPS62130 의 출력에 연결된 케이블의 저항이며 G_{CS} 는 계측 증폭기의 gain 값입니다.

After selecting an appropriate value for the current sense resistor, the maximum compensation voltage $\Delta V_{COMPmax}$ the instrumentation amplifier can generate in the feedback divider can be calculated using [Equation 2.](#)

전류 감지 저항에 적합한 값을 선택한 후, 계측 증폭기가 피드백 분배기에서 생성 할 수있는 최대 보상 전압 $\Delta V_{COMPmax}$ 는 방정식 2 를 사용하여 계산할 수있다.

$$\Delta V_{COMPmax} = R_{SH} \cdot G_{CS} \cdot I_{OUTmax}$$

[Equation 3](#) shows how to calculate the maximum voltage change ΔV_{OUTmax} at the output of the TPS62130.

식 3은 TPS62130의 출력에서 최대 전압 변화 ΔV_{OUTmax} 를 계산하는 방법을 보여줍니다.

This voltage is adding to the nominal output voltage.

이 전압은 공칭 출력 전압에 추가됩니다.

The sum of this voltage and the nominal output voltage must not exceed the maximum output voltage rating of the TPS62130.

이 전압과 공칭 출력 전압의 합은 TPS62130 의 최대 출력 전압 정격을 초과하지 않아야합니다.

$$\Delta V_{OUT\max} = (R_C + R_{SH}) \cdot I_{OUT\max}$$

2.2 Voltage Feedback Network

For no output current the resistors in the feedback network can be calculated using the information in the [TPS62130 datasheet](#).

출력 전류가없는 경우 피드백 네트워크의 저항은 TPS62130 데이터 시트의 정보를 사용하여 계산할 수 있습니다.

To define the order of magnitude of the resistance values, the resistor **R2** needs to be defined. 저항 값의 크기 순서를 정의하려면 저항 R2 를 정의해야합니다.

The [TPS62130 datasheet](#) gives guidance for that.
TPS62130 데이터 시트는 이에 대한 지침을 제공합니다.

With the value of **R2**, knowing the output voltage **VOUT0** which needs to be regulated at the load and the feedback voltage of the TPS62130 **VFB**, the value of **R13**, the resistance of the resistor network with **R1** and **R3** in parallel can be calculated using [Equation 4](#).

R2 의 값, 부하에서 조정해야하는 출력 전압 VOUT0 과 TPS62130 의 피드백 전압 인 VFB 을 가지고 [Equation 4](#) 을 사용하여 레지스터 네트워크의 저항에 R1 과 R3 이 병렬로 연결된 R13 을 계산할 수 있다.

$$R_{13} = R_2 \cdot \left(\frac{V_{OUT0}}{V_{FB}} - 1 \right)$$

Using **R13**, the resistance of **R1** and **R3** in parallel, together with the gain of the instrumentation amplifier **GCS**, the resistance values of the cable connection **RC** and the current sense resistor **RSH**, **R3** can be calculated using [Equation 5](#).

R1 및 R3 의 저항을 병렬로 연결한 R13, 계측 증폭기 GCS 의 gain 값과 함께 ,케이블 연결 RC 의 저항값 및 전류 감지 저항 RSH, 을 사용하면 R3 의 저항 값을 수식 5 를 사용하여 계산할 수 있습니다.

$$R_3 = R_{13} \cdot \left(\frac{G_{CS} \cdot R_{SH}}{R_C + R_{SH}} \right)$$

Since the value for R_3 and the parallel resistance of R_3 and R_1 is known, R_1 can now be calculated using Equation 6.

R3의 값과 R3과 R1의 병렬 저항이 알려져 있으므로 R1은 이제 식 6을 사용하여 계산할 수 있습니다.

$$R_1 = \frac{R_{13} \cdot R_3}{R_3 - R_{13}}$$

3 Example

In the current example, an output voltage V_{OUT0} of 5.0 V should be regulated at a maximum output current I_{OUTmax} of 2.0 A. The resistance of the cable and the connecting headers R_C is calculated to be 0.20 Ω . The current amplifier is based on INA213. It has a fixed gain G_{CS} of 50. 현재의 예에서 5.0V의 출력 전압 V_{OUT0} 은 2.0A의 최대 출력 전류 I_{OUTmax} 에서 조정되어야한다. 케이블 및 연결 헤더 R_C 의 저항은 0.20 Ω 으로 계산된다. 현재 앰프는 INA213을 기반으로합니다. G_{CS} 고정 gain값 은 50입니다.

Using Equation 1, the minimum resistance of the current sense resistor R_{SHmin} is calculated to be 4 m Ω .

방정식 1을 사용하면 전류 감지 저항 R_{SHmin} 의 최소 저항은 4m Ω 로 계산된다.

So, using a 10-m Ω current sense resistor for R_{SH} works properly.

따라서 R_{SH} 에 10m Ω 전류 감지 저항을 사용하면 올바르게 동작한다

With the cable resistance R_C and the maximum output current I_{OUTmax} the maximum voltage change

ΔV_{OUTmax} at the output of the TPS62130 is calculated using Equation 3 to be 0.42 V.

케이블 저항 R_C 와 최대 출력 전류 I_{OUTmax} 를 사용하여 TPS62130 의 출력에서 최대 전압 변화 ΔV_{OUTmax} 는 식 3 을 사용하여 0.42V 로 계산됩니다.

The maximum output voltage of TPS62130 is 6 V. So the calculated maximum voltage of 5.42 V at the output is well within TPS62130's recommended operating range.

TPS62130의 최대 출력 전압은 6V입니다. 따라서 출력에서 계산 된 최대 전압 인 5.42V는 TPS62130의 권장 작동 범위 내에 있습니다.

Using the given values for R_{SH} , G_{CS} , and I_{OUTmax} in Equation 2 the maximum output voltage

change

$\Delta V_{COMPmax}$, the current feedback system can control is calculated to be 1 V.

방정식 2 에서 RSH, GCS 및 IOUmax 에 주어진 값을 사용하면 최대 피드백 전압 변화 $\Delta V_{COMPmax}$ 는 전류 피드백 시스템이 제어 할 수 있는 1V 가된다.

Selecting 51 k Ω for **R2**, taking the feedback voltage **VFB** of 800 mV from the [TPS62130 datasheet](#) and using all calculated parameters from above allows calculating **R13** (268 k Ω , [Equation 4](#)), **R3** (620 k Ω , [Equation 5](#)), and **R1** (470 k Ω , [Equation 6](#)).

R2 에 51k Ω 을 선택하고 TPS62130 데이터 시트에 따라 VFB 피드백 전압 800mV 그리고 위에 계산된 모든 매개 변수 R13 (268k Ω , 방정식 4), R3 (620k Ω , 방정식 5) 및 R1 (470k Ω , 식 6).를 사용하면

The resistors finally selected may not perfectly match the calculation results. To determine the error in the output voltage at different output currents **IOU** caused by the nonmatching resistors in the feedback network, [Equation 7](#) and [Equation 8](#) can be used with the selected resistor values.

최종적으로 선택된 저항은 계산 결과와 완벽하게 일치하지 않을 수 있습니다. 피드백 네트워크에서 일치하지 않는 저항으로 인해 발생하는 다양한 출력 전류 IOU 에서 출력 전압의 오차를 결정하기 위해 식 7 과 식 8 을 선택한 저항 값과 함께 사용할 수있다.

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad (7)$$

$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \left(\frac{R_{13}}{R_2} + 1 \right) + I_{OUT} \cdot \left[R_{SH} \left(\frac{R_{13} \cdot G_{CS}}{R_3} - 1 \right) - R_C \right] \quad (8)$$

Using the 470 k Ω for **R1**, 51 k Ω for **R2**, and 620 k Ω for **R3** in the example results in an output voltage of 4.994 V at 0-A output current and 4.993 V at 2-A output current.

이 예에서 R1 에 470k Ω , R2 에 51k Ω 및 R3 에 620k Ω 을 사용하면 0A 출력 전류에서 4.994V 의 출력 전압이 발생하고 2A 출력 전류에서는 4.993V 의 출력 전압이 발생합니다.

4 Test Results

Unless the test did require a different setup, all the following tests are performed with an 8-V input voltage supply for the circuit.

테스트가 다른 셋업을 필요로하지 않는 한, 다음의 모든 테스트는 회로 용 8V 입력 전압 공급으로 수행됩니다.

The load is represented by an electronic load, connected with a 5-m cable connection (2 x 2.5 m). In parallel to the load at the end of the cable, a 10- μ F capacitor is used to represent the input capacitor of the load circuit.

부하는 5m 케이블 연결 (2 x 2.5m)과 연결된 전자 부하로 표시됩니다. 케이블 끝에있는 부하와 병렬로 10 μ F 커패시터가 부하 회로의 입력 커패시터를 나타 내기 위해 사용된다.

4.1 Load Regulation

Figure 2 shows the output voltage at the output of the TPS62130 which is increasing linearly with the load current and the regulated voltage at the load which is staying constant at 5 V. The relative error is shown in Figure 3.

그림 2 는 TPS62130 의 출력에서 부하 전류 및 5V 에서 일정하게 유지되는 부하에서 조정 된 전압에 따라 선형 적으로 증가하는 출력 전압을 보여줍니다. 상대 오차는 그림 3 에 나와 있습니다.

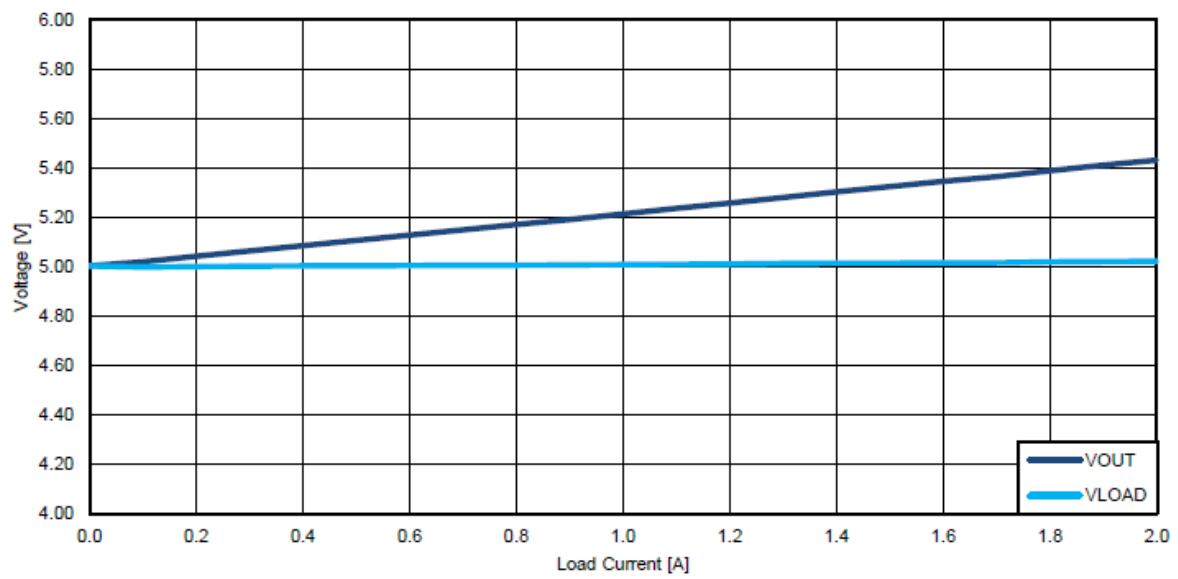


Figure 2. Converter Output Voltage and Regulated Voltage at the Load

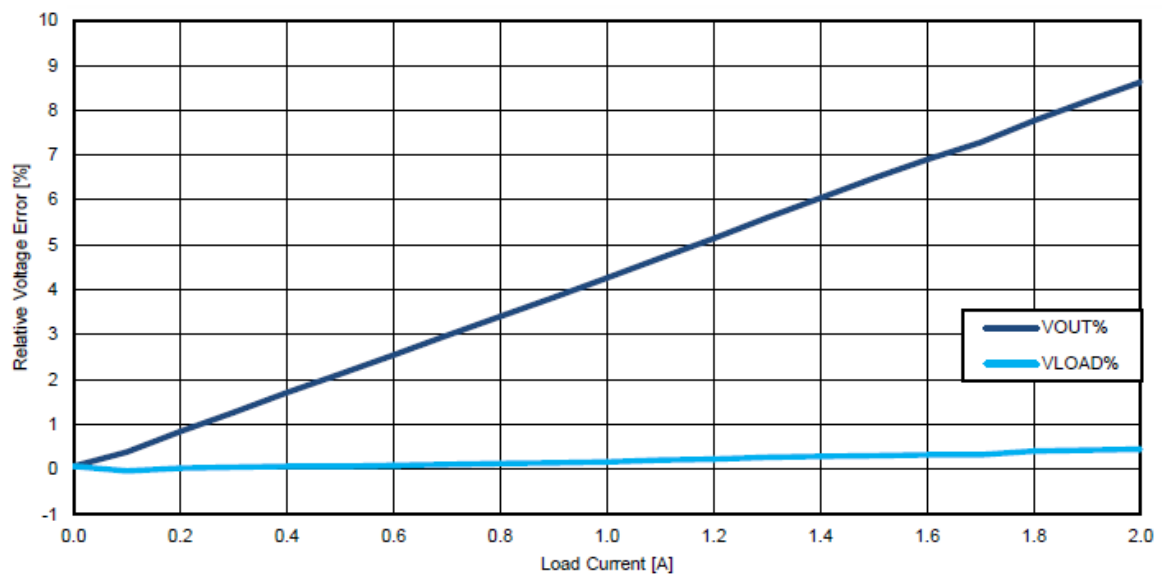


Figure 3. Error of the Converter Output Voltage and Regulated Voltage at the Load

4.2 Load Transient

Figure 4 shows the load transient behavior of the converter. The output voltage of the TPS62130 and the voltage regulated at the load are shown.

그림 4는 컨버터의 부하 과도 특성을 보여준다. TPS62130의 출력 전압과 부하에서 조정된 전압이 표시됩니다.

Since in this circuit there is no direct feedback of the voltage error at the load, the voltage drop

during load transients can be significant. In this example, the voltage variation during load transients is up to $\pm 10\%$.

이 회로에서는 부하에서 전압 오류의 직접 피드백이 없기 때문에 부하 과도 상태에서의 전압 강하가 중요 할 수 있습니다. 이 예에서 부하 과도 상태 동안의 전압 변화는 최대 $\pm 10\%$ 입니다.

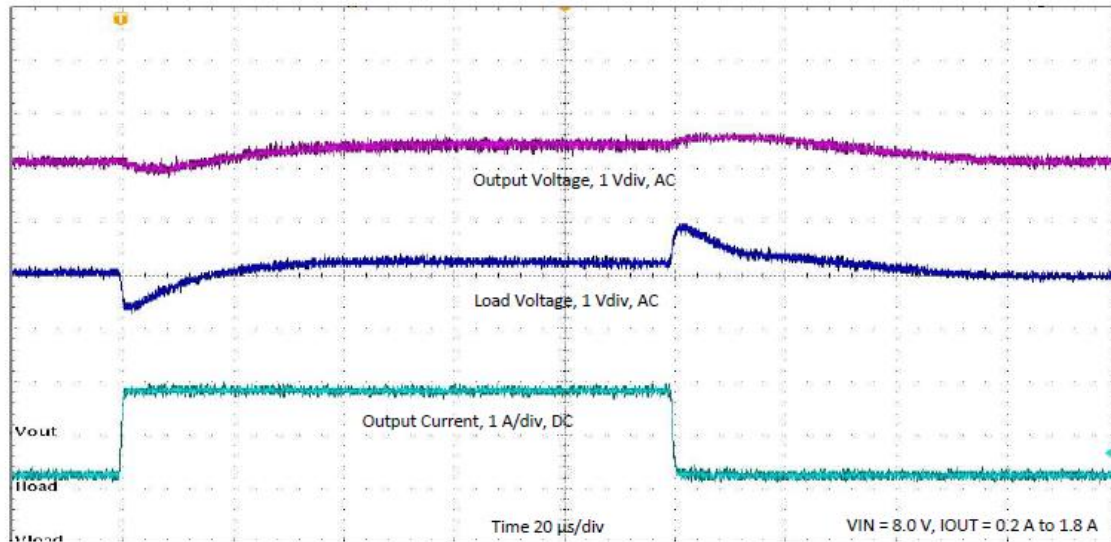


Figure 4. Load Transient

4.3 Line Transient

Figure 5 shows the line transient behavior of the converter. The control topology implemented in the

TPS62130 (DCS-Control™), allows maintaining a well-regulated load voltage at the output of the TPS62130 and at the load.

그림 5는 컨버터의 라인 과도 현상을 보여준다. TPS62130 (DCS-Control™)에 구현된 제어 토폴로지는 TPS62130의 출력과 부하에서 잘 조절된 부하 전압을 유지할 수 있게 합니다

The supply voltage change is almost not visible in the curves of the output and load voltage. 공급 전압 변화는 출력 및 부하 전압 곡선에서 거의 볼 수 없습니다.

If the line transient goes down to voltages lower than the programmed output voltage at the output of the TPS62130, as shown in Figure 6, the output voltage and the load voltage follow the curve of the input voltage with TPS62130 in a 100% duty cycle mode.

그림 6에서처럼 TPS62130의 출력에서 프로그래밍된 출력 전압보다 낮은 전압으로 라인 트랜지언트가 내려 가면 출력 전압과 부하 전압은 100% 듀티 사이클 모드에서 TPS62130의 입력 전압 곡선을 따른다.

As soon as the input voltage is again high enough to regulate the output voltage, the control of TPS62130 recovers smoothly.

입력 전압이 출력 전압을 조정하기에 충분히 높아지자마자 TPS62130의 제어가 원활하게 복구됩니다.

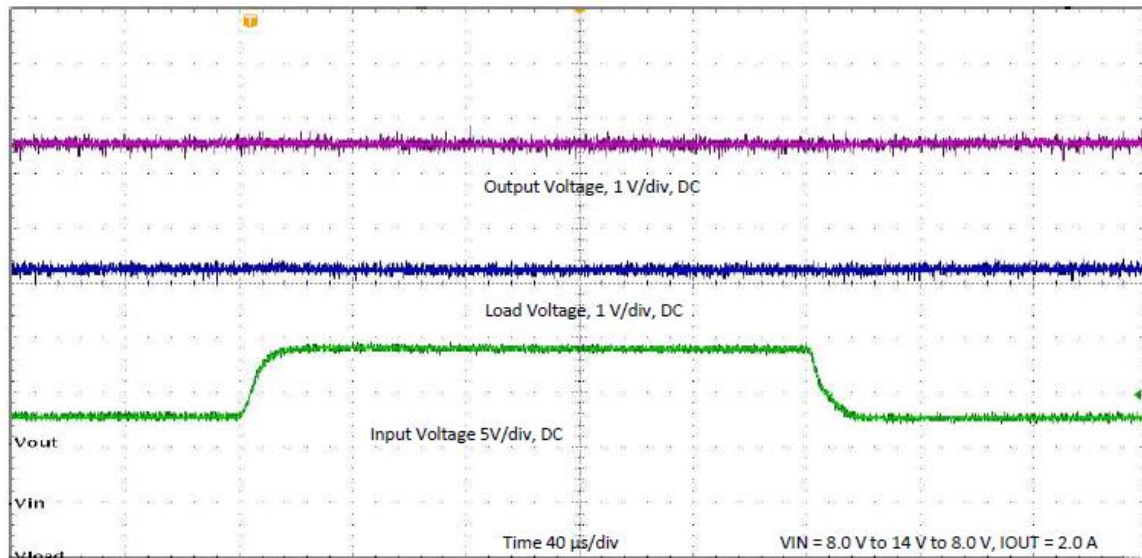


Figure 5. Line Transient

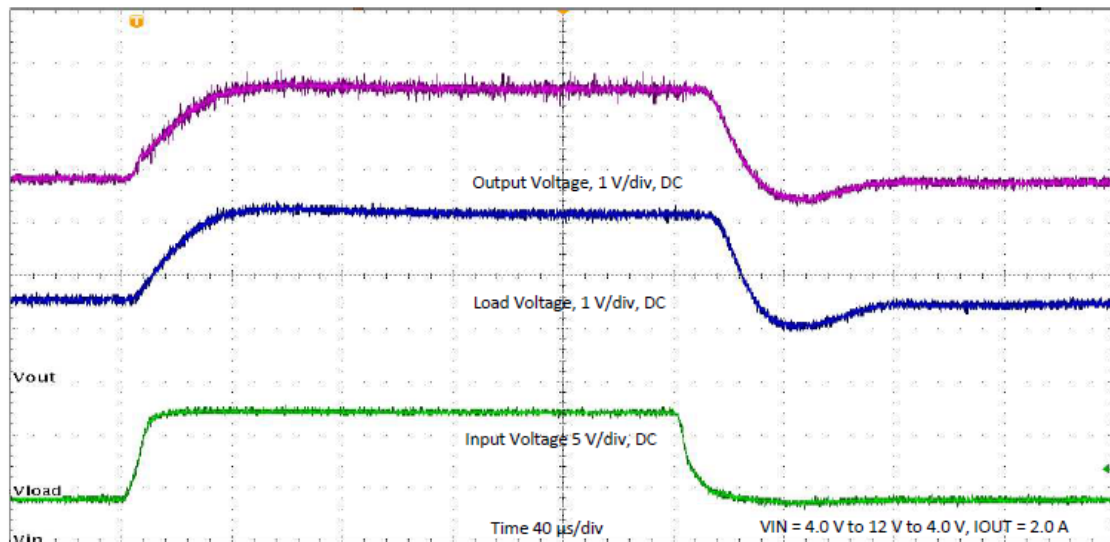


Figure 6. Line Transient into Undervoltage

4.4 Startup

Figure 7 shows the startup behavior of the proposed circuit. The voltage at EN is directly following the input voltage which is just turned on in this measurement.

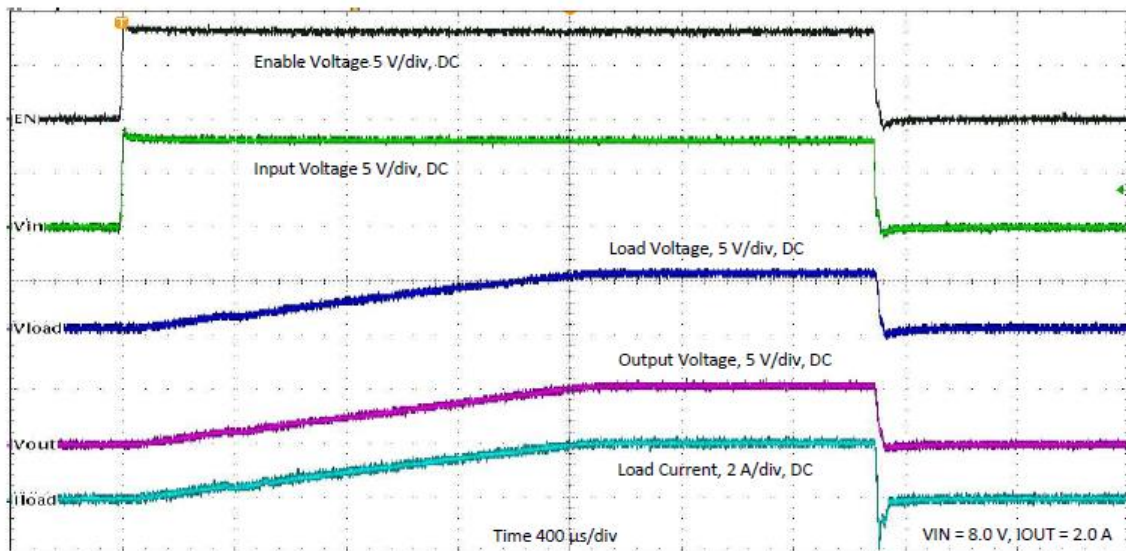
그림 7은 제안된 회로의 시작 동작을 보여준다. EN에 전압은 측정에서 방금 켜진 입력 전압을 따르고 있습니다.

This means the converter starts operating as soon as the input voltage is higher than its undervoltage threshold.

이는 입력 전압이 저전압 임계 값보다 높아지 자마자 컨버터가 작동하기 시작한다는 것을 의미합니다.

The output voltage and the load voltage are ramped up smoothly to the programmed voltage levels. When removing the input voltage, the converter stops operating and actively discharges the output.

출력 전압과 부하 전압은 프로그래밍된 전압 레벨로 부드럽게 상승합니다. 입력 전압을 제거하면 컨버터가 작동을 멈추고 출력을 능동적으로 방전합니다.



IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have not been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video
TI E2E Community	e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2014, Texas Instruments Incorporated