

# TI Designs: TIDA-01491

## Power Over Coaxフィルタ付きの車載用カメラPMIC電源のリファレンス・デザイン



### 概要

このリファレンス・デザインでは、POC (Power Over Coax) フィルタ・ネットワーク、中電圧 $V_{IN}$ の同期整流降圧DC/DCコンバータ、低電圧 $V_{IN}$ の電力管理IC (PMIC)を組み込み、18mm×18mmの占有面積内に一般的な車載用カメラの電源ソリューションを構築します。このソリューションでは、FAKRAコネクタを使用して同軸ケーブルからデータと電力の両方を受け取り、ローパス・フィルタ・ネットワークを使用して負荷からデータを分離し、シーケンス制御された出力電圧を供給します。出力電圧は、外部のフィードバック抵抗により調整可能です。データ、アナログ電力、デジタル電力、IO電力用に4つの出力端子が搭載され、外部負荷とともに評価できます。

### リソース

- TIDA-01491      デザイン・フォルダ
- TPS62160-Q1    プロダクト・フォルダ
- TPS65000-Q1    プロダクト・フォルダ

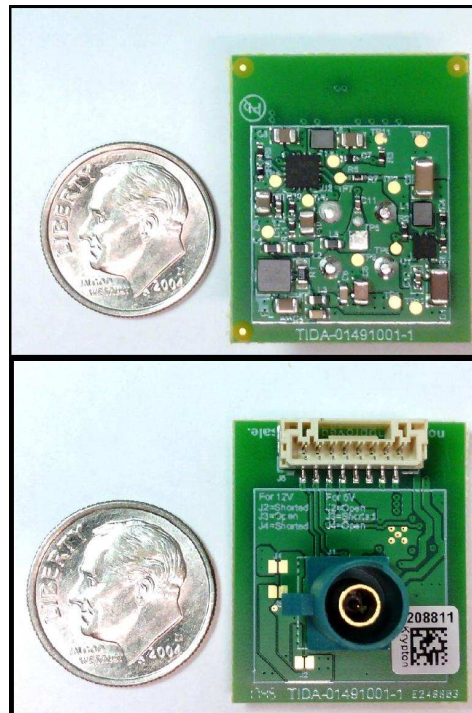
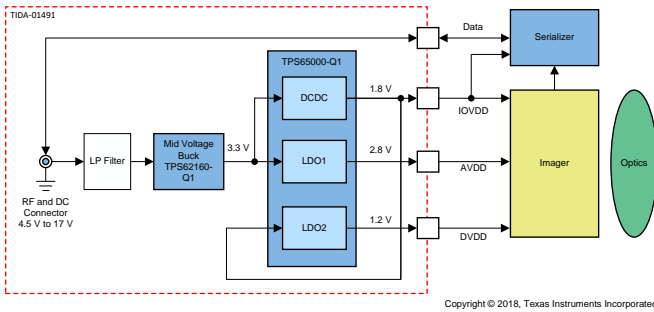


### 特長

- 4.5V～17Vの入力に対応
- 電圧をユーザーが設定可能
- 18mm×18mmに収まる片面の省スペース・デザイン
- TPS62160-Q1、中電圧 $V_{IN}$ 降圧プリレギュレータ
- カメラのセンサ・レール用のTPS65000-Q1 PMIC
- POCフィルタ・ネットワーク

### アプリケーション

- フロント・カメラ
- リア・カメラ
- サラウンド・ビュー
- マシン・ビジョン





使用許可、知的財産、その他免責事項は、最終ページにあるIMPORTANT NOTICE(重要な注意事項)をご参照くださいますようお願いいたします。英語版のTI製品についての情報を翻訳したこの資料は、製品の概要を確認する目的で便宜的に提供しているものです。該当する正式な英語版の最新情報は、[www.ti.com](http://www.ti.com)で閲覧でき、その内容が常に優先されます。TIでは翻訳の正確性および妥当性につきましては一切保証いたしません。実際の設計などの前には、必ず最新版の英語版をご参照くださいますようお願いいたします。

## 1 System Description

This reference design demonstrates a versatile 18-mm×18-mm solution capable of isolating data from analog (AVDD), digital (DVDD), and IO (IOVDD) power domains typically used in a power-over-coax (POC) camera application. The design uses only automotive qualified capacitors, inductors, and semiconductors and includes useful test points, external feedback resistors, and configuration jumpers for versatility and experimentation. The system uses a FAKRA coaxial connector, a high-frequency filter network, a mid- $V_{IN}$  buck pre-regulator, and a low- $V_{IN}$  camera power management IC (PMIC) to efficiently supply voltages typically used for imagers and their accompanying serializers. This module is made flexible enough to support various low-power digital and analog applications that could benefit from POC installations.

### 1.1 Key System Specifications

表 1. Key System Specifications

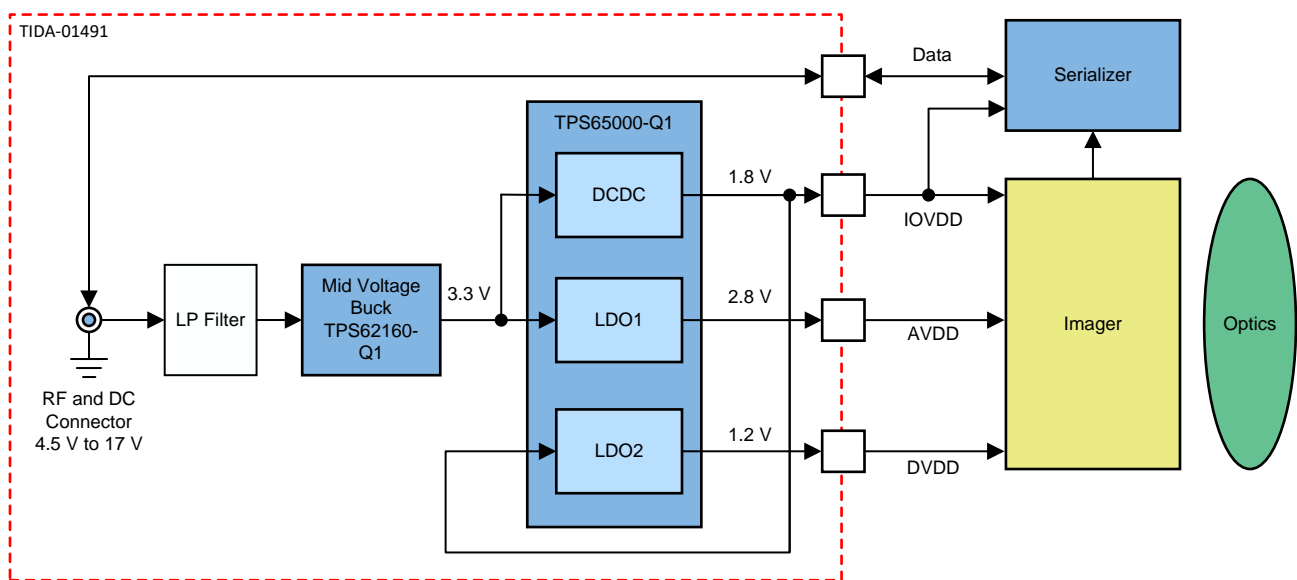
PARAMETER	SPECIFICATIONS	DETAILS
Input voltage range	4.5 V to 17 V	<a href="#">2.2.1</a>
Input connector type	FAKRA Coaxial HF (DIN 72594-1)	<a href="#">4.2</a>
Pre-regulator output voltage	3.3 V	<a href="#">2.4.2</a>
PMIC buck input voltage range	2.5 V to 5.5 V	<a href="#">2.4.3</a>
PMIC buck output voltage	1.8 V	<a href="#">2.4.3</a>
PMIC buck output current	600 mA	<a href="#">2.2.2</a>
PMIC LDO1 output voltage	2.8 V	<a href="#">2.4.3</a>
PMIC LDO1 output current	300 mA	<a href="#">2.2.2</a>
PMIC LDO2 output voltage	1.2 V	<a href="#">2.4.3</a>
PMIC LDO2 output current	300 mA	<a href="#">2.2.2</a>
Regulator power sequence	Pre-regulator (3.3 V) → PMIC LDO1 (2.8 V), PMIC Buck (1.8 V) → PMIC LDO2 (1.2 V)	<a href="#">2.4.3</a>
Form factor	18 mm × 18 mm	<a href="#">4.3.1</a>

## 2 System Overview

POC allows a single cable to transmit both data and power to remote communication modules, providing installation benefits for applications such as camera imagers. Imagers are often installed in remote locations and require separate power rails for analog, digital, and IO domains and typically bidirectional communication. Camera imagers only consume moderate amounts of power while operating. This reference design demonstrates a two-chip solution capable of supporting various camera imagers as well as accompanying serializers or other sensor modules that can benefit from robust remote installations.

To increase the versatility of this platform, a small footprint is targeted for space constrained installations. A pre-regulator allows DC cable voltages up to 17 V, capable of supporting typical 12-V or 9-V systems. For 5-V systems, the pre-regulator can be bypassed to demonstrate a single-chip power solution. All output voltages are adjustable for versatility using external feedback resistors, and both regulators offer fixed voltage alternatives for further component reduction.

### 2.1 Block Diagram



Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated

図 1. TIDA-01491 Block Diagram

This reference design incorporates an automotive grade coaxial connector, low-pass filter, mid- $V_{IN}$  step-down converter, and low- $V_{IN}$  PMIC for distributing power and data to the imager and serializer of a camera.

### 2.2 Highlighted Products

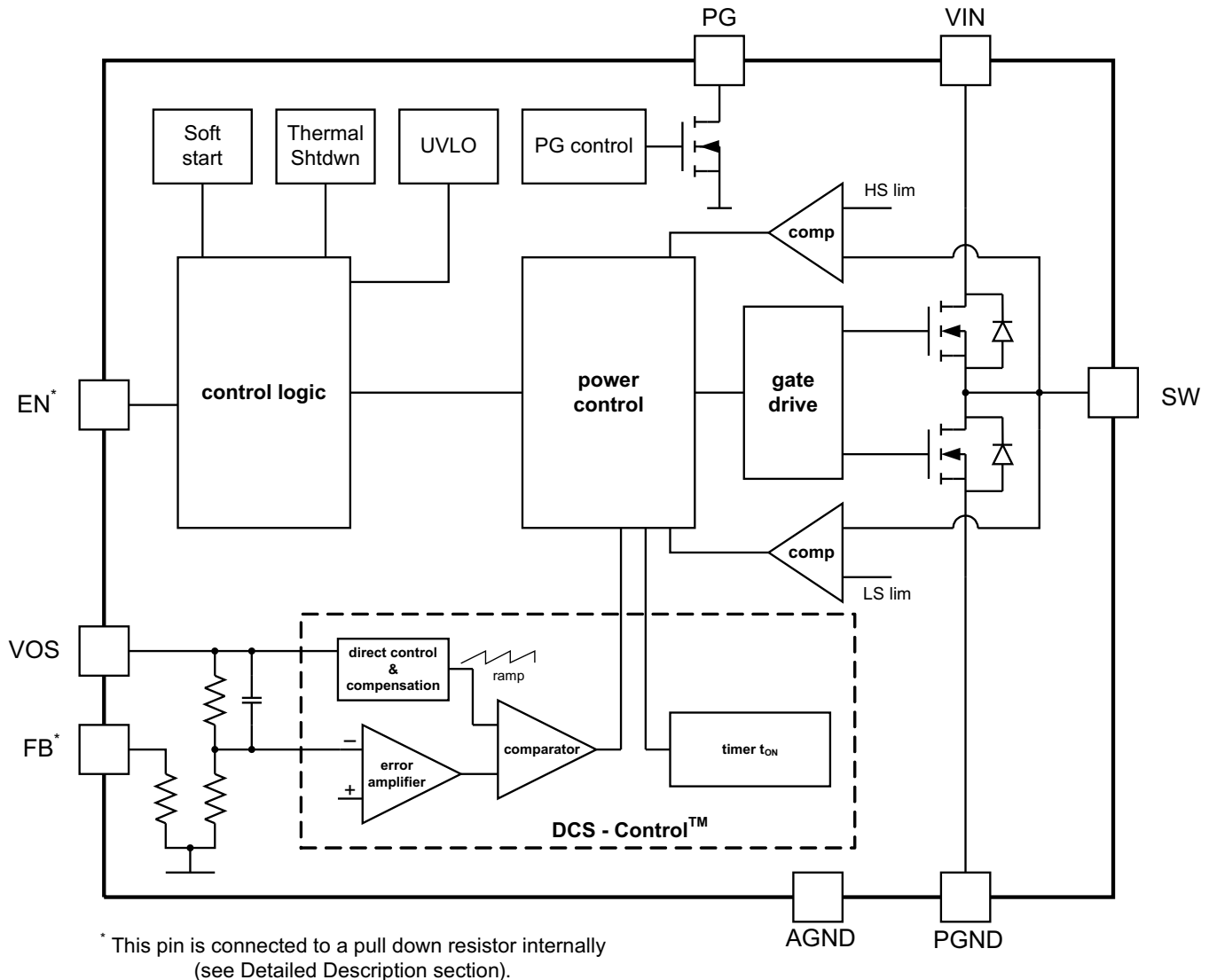
This reference design uses the following TI products:

- TPS62160-Q1: Automotive Qualified Wide- $V_{IN}$  Synchronous Step-Down Converter
- TPS65000-Q1: Automotive Qualified PMIC

For more information on each of these devices, see their respective product folders at [TI.com](http://ti.com).

### 2.2.1 TPS62160-Q1

The TPS62160-Q1 is a Texas Instruments automotive-qualified, step-down DC/DC converter with a wide operating input voltage range of 3 V to 17 V. The converter supports up to 1 A of continuous output current. The device has a high switching frequency of typically 2.25 MHz that uses a DCS-Control™ topology for high output voltage accuracy. The device is offered in small 8-pin, WSON, 2x2-mm package (DSG).



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

図 2. TPS62160-Q1 Functional Block Diagram

Key features of this device include:

- Switching frequency: 2.25 MHz
- Wide V<sub>IN</sub>: 3 V to 17 V
- Adjustable output voltage range: 0.9 V to 6 V
- 1-A continuous output current
- Power sequencing, enable, and open-drain Power Good pins

- Short circuit protection
- Undervoltage lockout (UVLO)
- Overtemperature Protection
- WSON package, 2x2-mm (DSG)

### 2.2.2 TPS65000-Q1

The TPS65000-Q1 is a Texas Instruments automotive qualified PMIC. The device combines a single step-down converter and two low-dropout regulators. This PMIC has a maximum input voltage of 6 V for all regulators, a minimum input of 2.3 V for the DC/DC, and a minimum input of 1.6 V for the LDOs. The TPS65000-Q1 supports either a 2.25-MHz forced PWM operation with spread-spectrum or an automatic transition to PFM mode for maximum light load efficiency. The device is available in a small 16-pin, leadless, 3x3-mm QFN package.

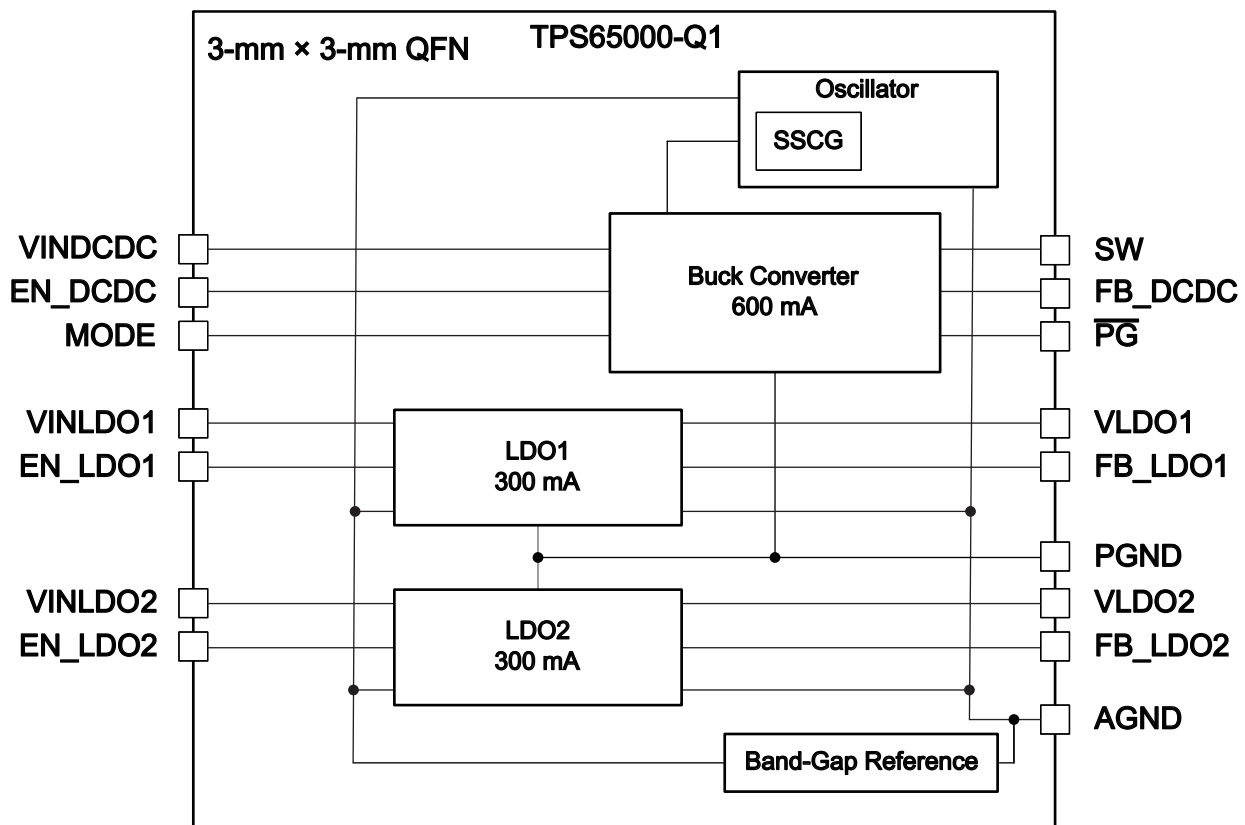


図 3. TPS65000-Q1 Functional Block Diagram

Key features of this device include:

- $V_{IN} = 2.3 \text{ V to } 6 \text{ V}$
- Spread-spectrum clock (SSC) generation for reduced EMI
- 2.25-MHz fixed-frequency operation
- Step-down converter:  $V_{IN} = 2.3 \text{ V to } 6 \text{ V}$ , 600-mA output current
- LDOs:  $V_{IN} = 1.6 \text{ V to } 6 \text{ V}$ , 300-mA output current
- Separate power inputs and enables

- Power Good
- 3-mm×3-mm, 16-pin QFN
- Step-down converter and LDOs: Adjustable output voltage

### 2.3 Design Considerations

This reference design implements automotive qualified components in a flexible platform for experimenting with various loads and conditions. For configurability, all output voltages are adjustable through the use of external feedback resistors at the expense of overall component count and solution size. Both regulator devices are capable of fixed voltage variants, and the total solution size can further be reduced through the use of non-automotive qualified passives, which are often available in smaller package footprints.

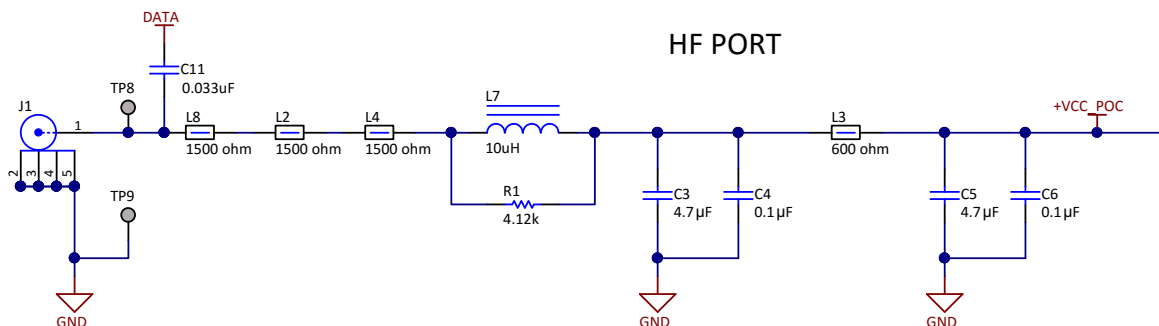
### 2.4 System Design Theory

This reference design targets a solution size less than 20 mm × 20 mm, capable of delivering power from a POC transmission line to a generic remote camera application. Typical cameras sensors operate with separate analog and digital domains, which can require sequencing for reliable behavior, and often have strict input requirements for analog domains to reduce imaging noise. For this reason, many cameras implement LDOs to separate supply rails for simplicity and reduce the power supply ripple at the expense of system efficiency. The power lost in an LDO is dependent on the current through the device multiplied by the difference between input and output voltage; therefore, larger differences decrease efficiency and increase heat generated in the regulator.

In contrast, POC installations benefit from larger bus voltages because less current is required to deliver equivalent power to the loads, reducing DC voltage drop across the intrinsic resistance of the transmission line.

A solution for remote camera power must therefore efficiently distribute a moderately large input voltage into separate and sequenced low voltage domains while maintaining the integrity of the transmitted data. For this purpose, a wide-band filter is leveraged from the TIDA-01130 reference design, a mid- $V_{IN}$  buck generates an intermediate rail, and a flexible PMIC regulates the individual power domains for a typical imaging application.

#### 2.4.1 POC Filter



Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated

図 4. Schematic of Power-Over-Coax (POC) Filter

The input filter leverages the TIDA-01130 reference design, which mostly relies on series inductive elements to isolate frequencies above 10 MHz from the low-frequency DC current. For more details on input filter designs, see [Automotive 2-MP Camera Module Reference Design With MIPI CSI-2 Video Interface, FPD-Link III and POC](#) and [Sending Power Over Coax in DS90UB913A Designs](#).

### 2.4.2 Pre-Regulator

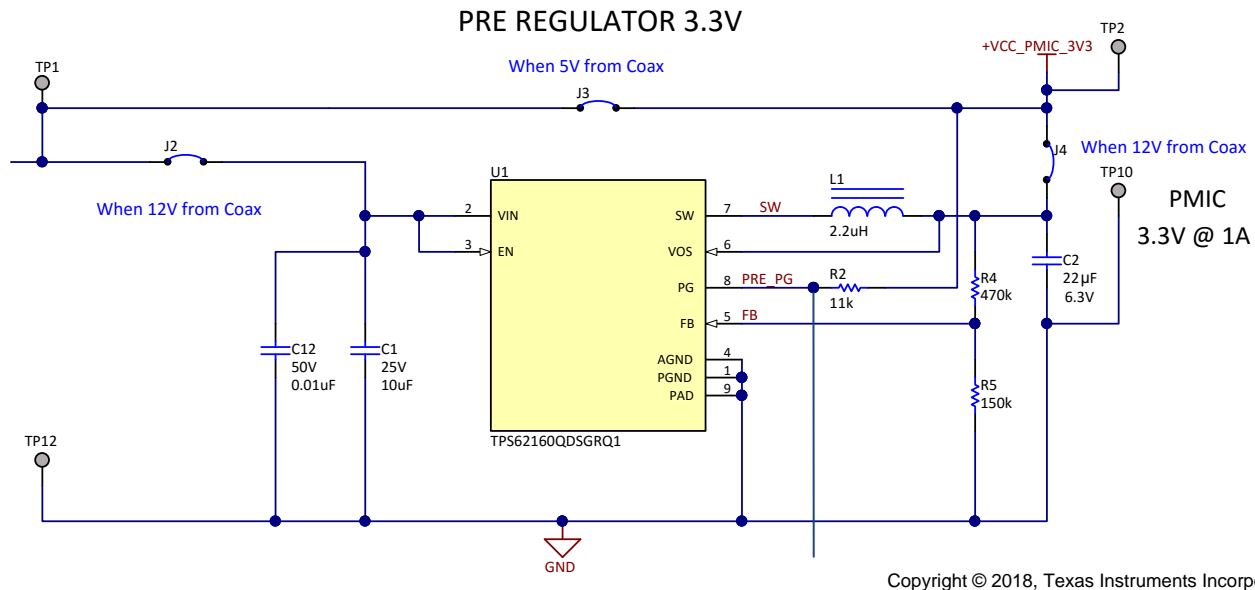


図 5. Schematic of Pre-Regulator

The TPS62160 regulates a target voltage of 3.3 V through the use of an external resistor divider using 式 1.

$$R_1 = R_2 (V_{OUT} / V_{REF} - 1) \tag{1}$$

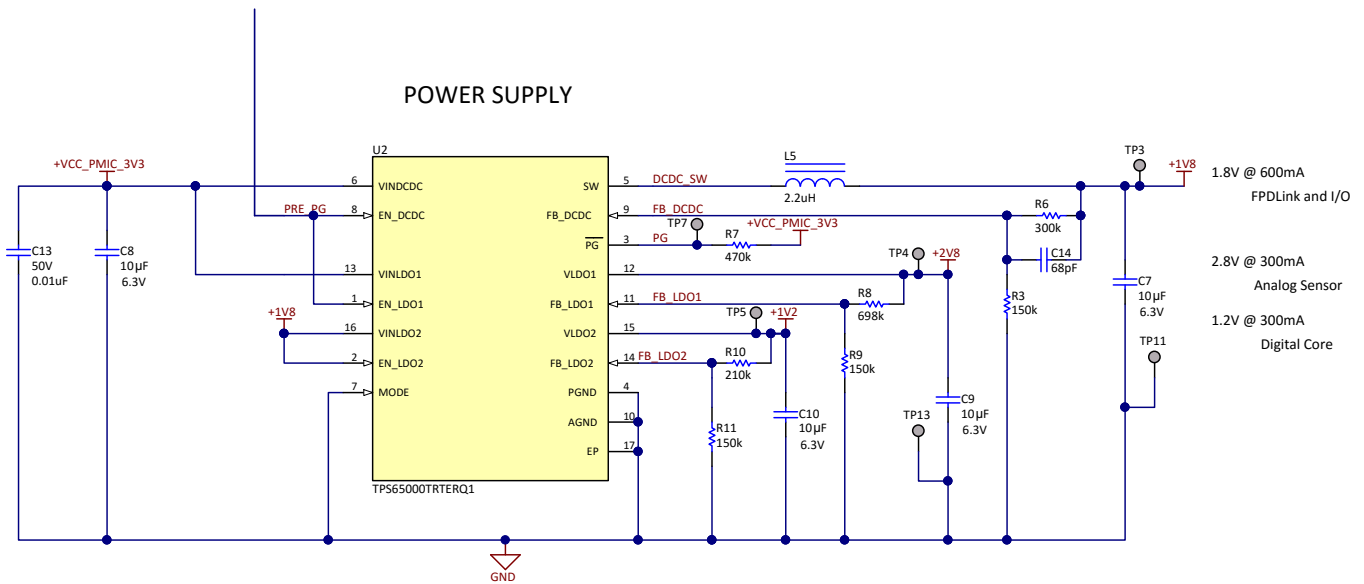
For this device,  $V_{REF}$  is defined as 800 mV and  $R_2$  designates the resistor connecting feedback to ground. This output voltage is a common configuration for the TPS62160, where a 2.2- $\mu$ H inductor and 22- $\mu$ F output filter capacitor are typically recommended. The total load of the PMIC is not expected to exceed 1.5 W, resulting in a maximum load current of 450 mA. Using the following equations from the TPS62160 data sheet, the maximum expected inductor current must be less than 730 mA; however, a larger inductor has been selected allowing additional loads up to 500 mA on the 3.3-V rail.

$$I_{L(max)} = I_{OUT(max)} + \Delta I_L(max) \quad \Delta I_L(max) = V_{OUT} \times (1 - V_{OUT} / V_{IN(max)}) / L(min) \times f_{sw}$$

- $I_{L(max)}$  is the maximum inductor current
  - $\Delta I_L$  is the peak-to-peak inductor ripple current
  - $L_{(min)}$  is the minimum effective inductor value, and
  - $f_{sw}$  is the actual PWM switching frequency
- (2)

A 25-V, 10- $\mu$ F input capacitor adequately supplements transient currents without excessive derating, and a 10-nF capacitor is included to reduce potential high-frequency noise. Once the regulator is within 95% of the targeted output voltage, the active high power-good signal asserts the subsequent supplies in the PMIC. For flexibility, a jumper network allows bypassing the pre-regulator for testing 5-V POC systems directly into the PMIC.

### 2.4.3 PMIC



Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated

図 6. Schematic of Power Management IC (PMIC)

The PMIC accepts 3.3 V from the pre-regulator or 5 V directly from the POC filter network to supply the 2.8-V LDO and the 1.8-V DC/DC. The 1.8-V IO domain can then supply the input voltage to the 1.2-V LDO, assuming that both domains do not require more than 300 mA concurrently.

The resistor divider equation used for the TPS62160 also applies to the regulators within the TPS65000, where both LDOs have a reference voltage of 500 mV, while the DC/DC has a reference voltage of 600 mV. The DC/DC also recommends a feedforward capacitor in the feedback loop for optimum load transient response, recommending a 22-pF to 33-pF capacitor when the parallel equivalent of the feedback resistors approximates to 300 kΩ. In this reference design, the parallel equivalent resistance of R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> approximates to 100 kΩ, resulting in a feedforward capacitor of 68 pF to maintain a similar RC constant.

Each LDO requires a 10-μF output capacitor for stability, and dedicated input capacitors are omitted due to the close proximity of the supplying regulator output capacitors. The DC/DC uses the typically recommended 10-μF input capacitor, 2.2-μH inductor, and 10-μF output capacitor.

The 2.8-V analog domain and the 1.8-V IO domain are gated by either the power-good signal from the pre-regulator or directly by the 5-V POC bus. The PMIC features soft-start and an enable delay for the DC/DC, allowing the analog rail to regulate first with the same enable source. The DC/DC subsequently enables the 1.2-V LDO, allowing the analog rail to regulate first in the sequence, followed by the IO domain, which is then followed by the 1.2-V digital core.



### 3 Hardware, Testing Requirements, and Test Results

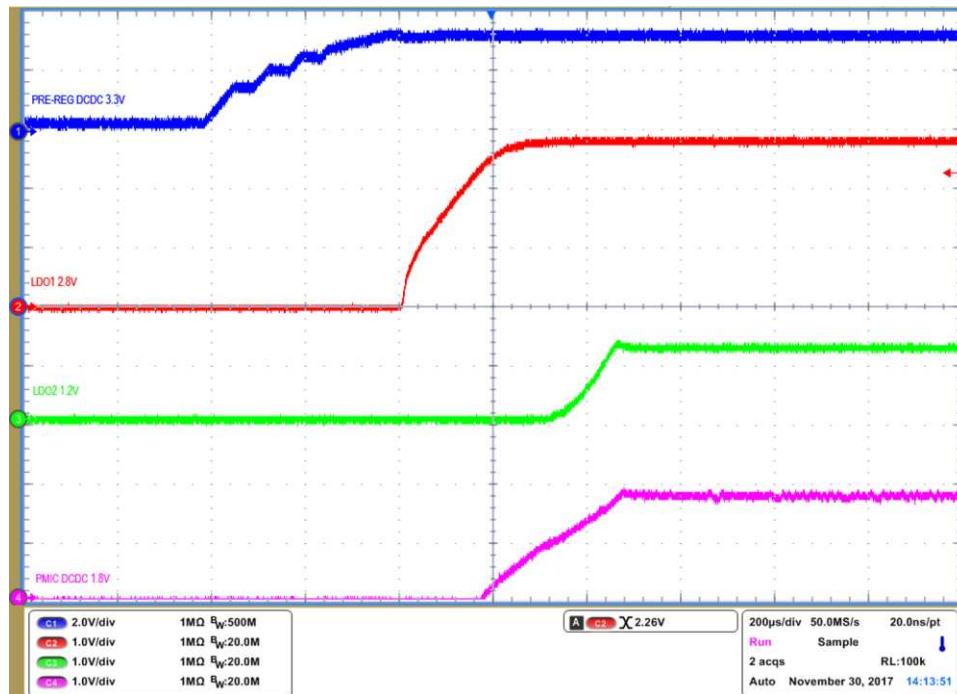
#### 3.1 Required Hardware

This reference design accepts 12 V or 5 V into an onboard FAKRA connector. For the purposes of this design guide, a modified [TIDA-01005](#) camera hub board supplied with a 12-V and 5-V bench supply is connected to the reference design by using a 6-meter 50-Ω coaxial cable to evaluate performance.

#### 3.2 Testing and Results

The following test results demonstrate the start-up behavior, DC/DC voltage ripple, load transient response, typical current consumption, thermal performance, and shutdown behavior of the camera supply reference design. For the purposes of these tests, the analog rail is supplying 70 mA, the IO rail is supplying 225 mA, and the digital rail is supplying 150 mA to dedicated load resistors. Start-up and shutdown events are initiated through enabling or disabling of the camera hub bench supply.

##### 3.2.1 Start-up Behavior



☒ 7. Power-Up Sequence With Pre-Regulator

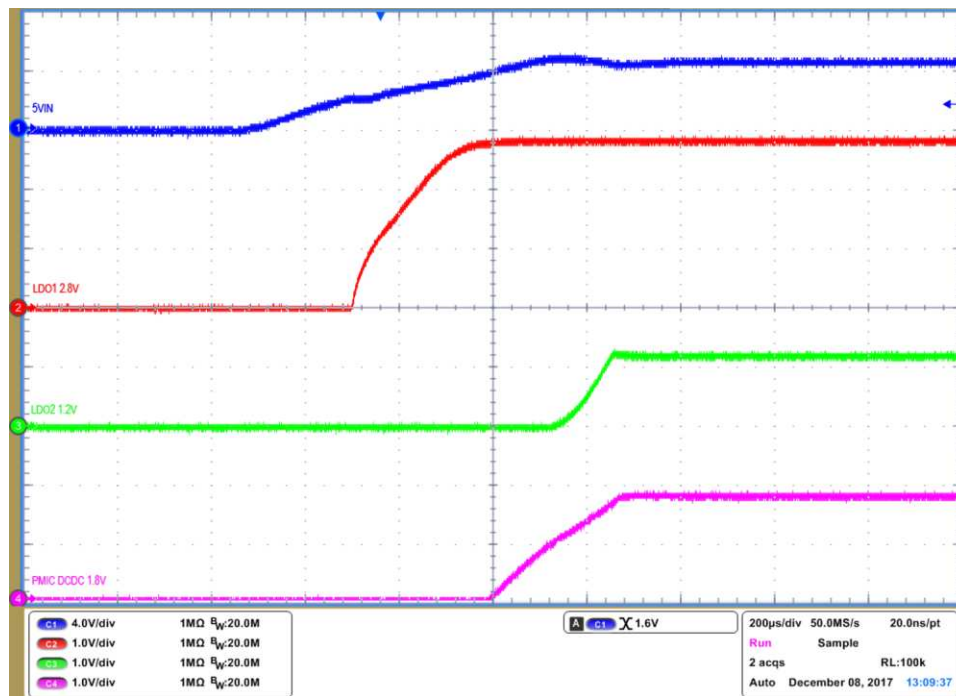


図 8. Power-Up Sequence Without Pre-Regulator

### 3.2.2 DC/DC Voltage Ripple

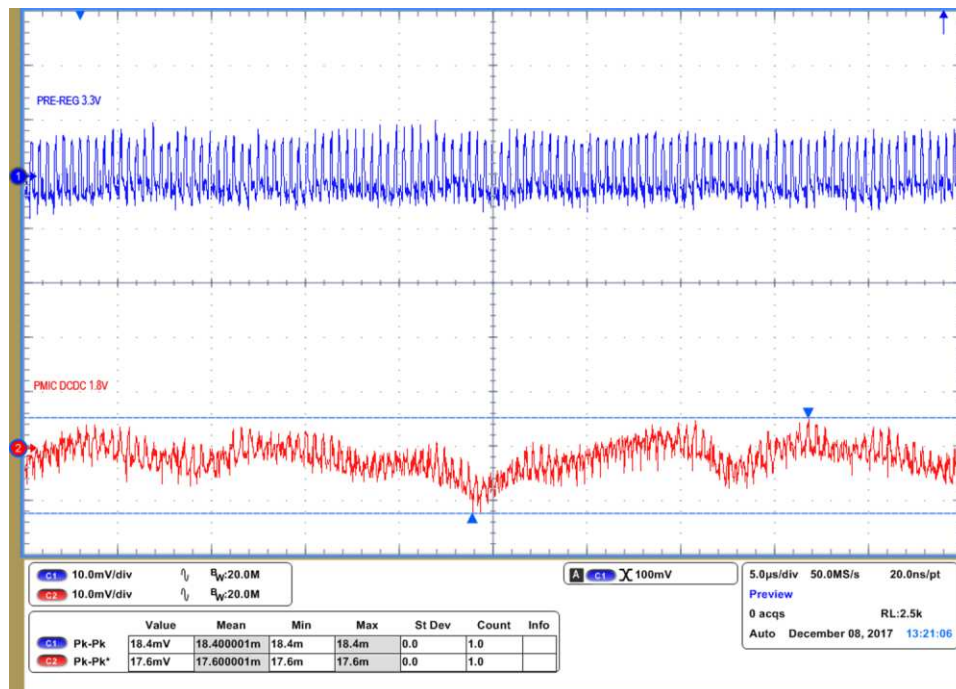
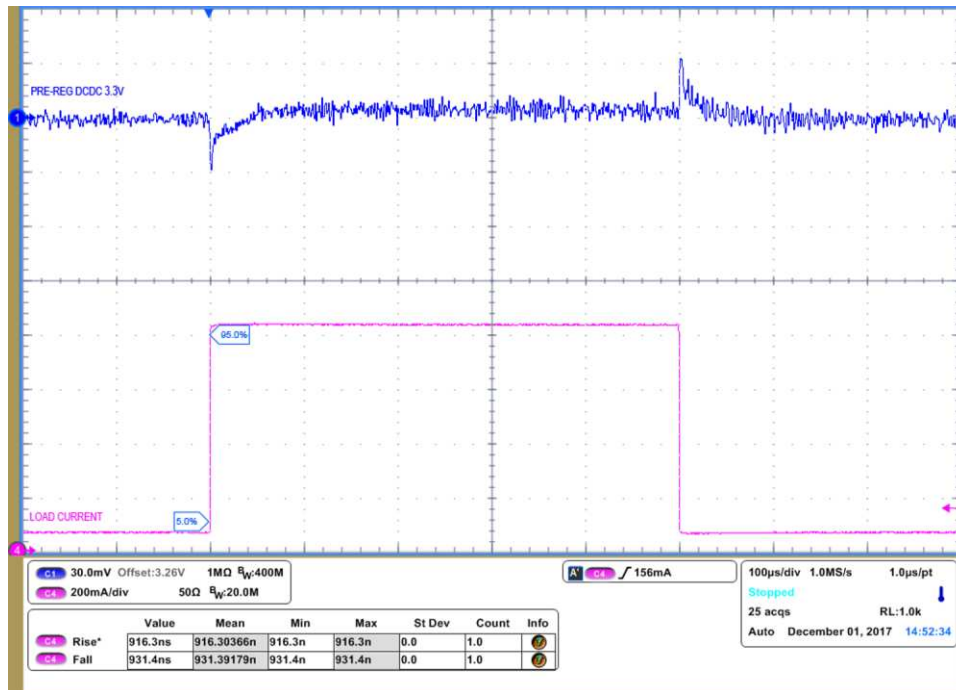
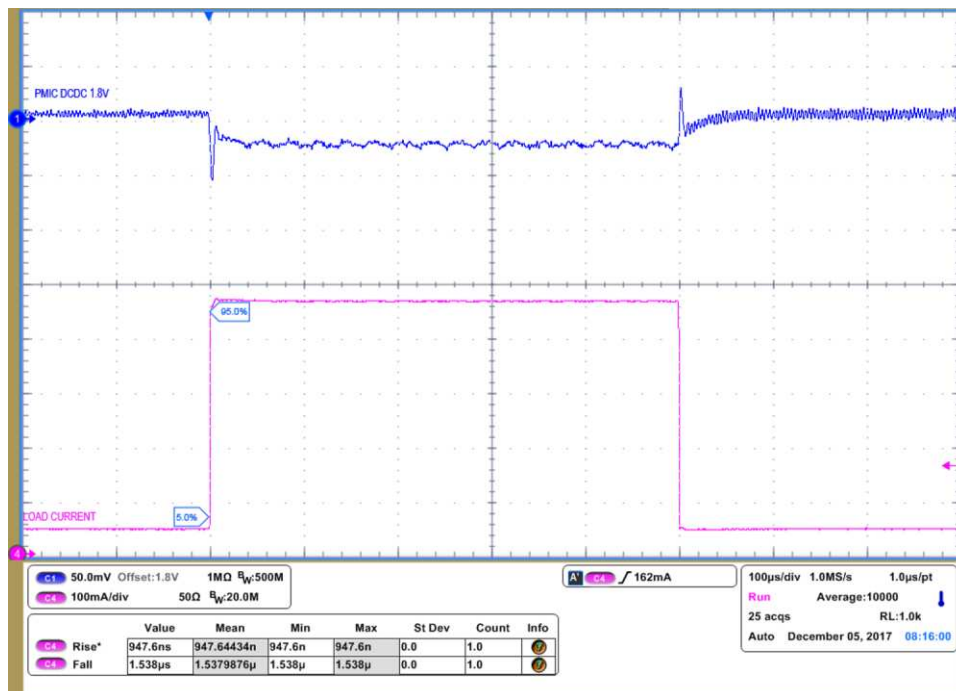


図 9. Pre-Regulator and PMIC DC/DC Voltage Ripple

### 3.2.3 Transient Stability



☒ 10. Pre-Regulator 3.3-V Load Transient



☒ 11. PMIC DC/DC 1.8-V Load Transient

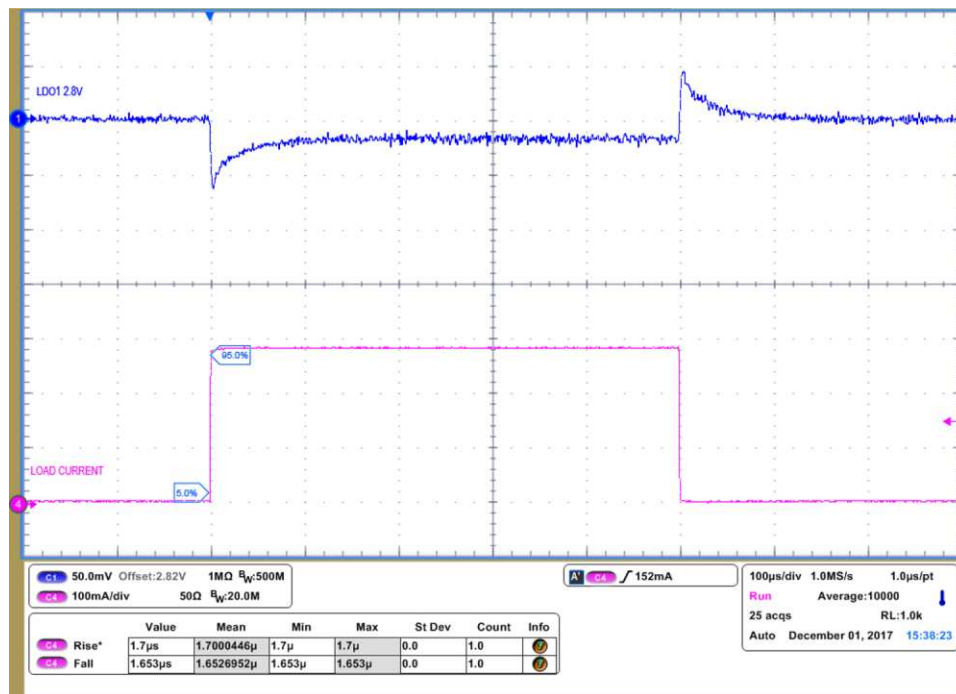


図 12. LDO1 2.8-V Load Transient

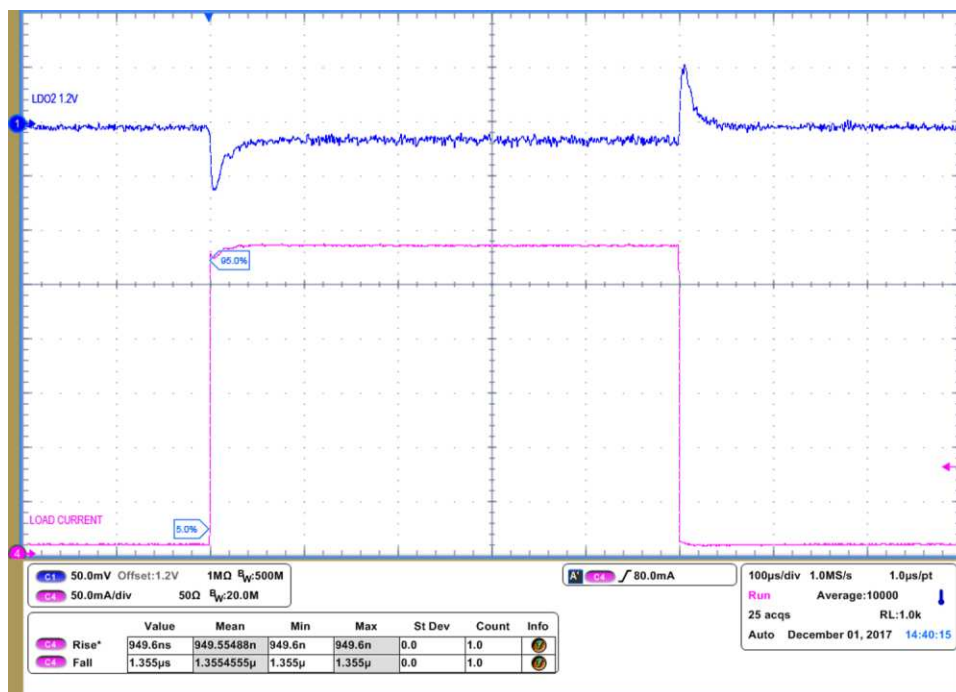


図 13. LDO2 1.2-V Load Transient

### 3.2.4 Typical Current Consumption

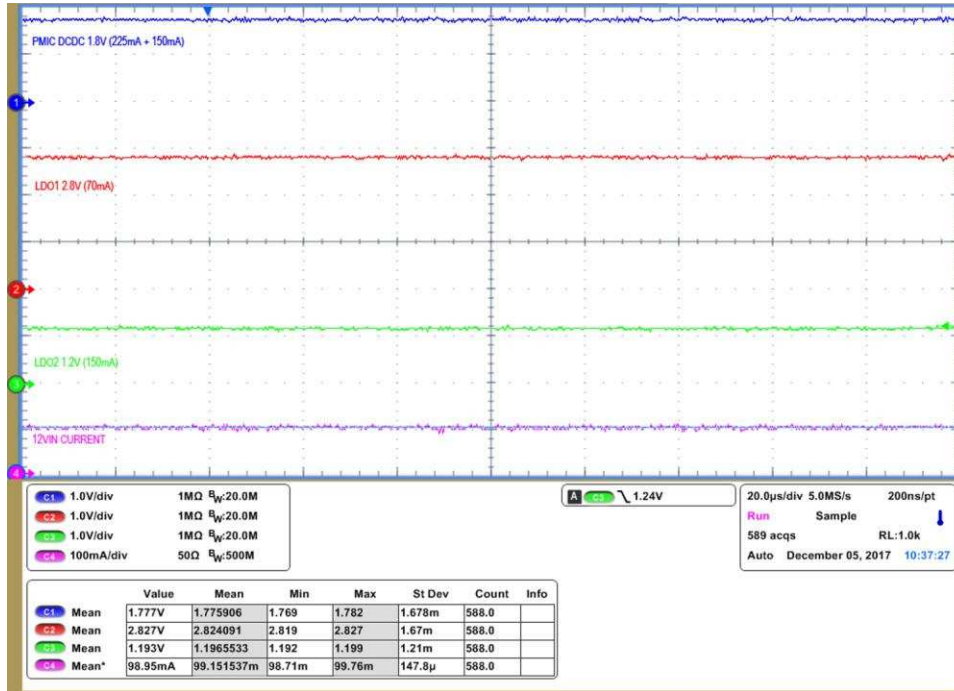


図 14. Typical Current Consumption With Pre-Regulator (12 V)

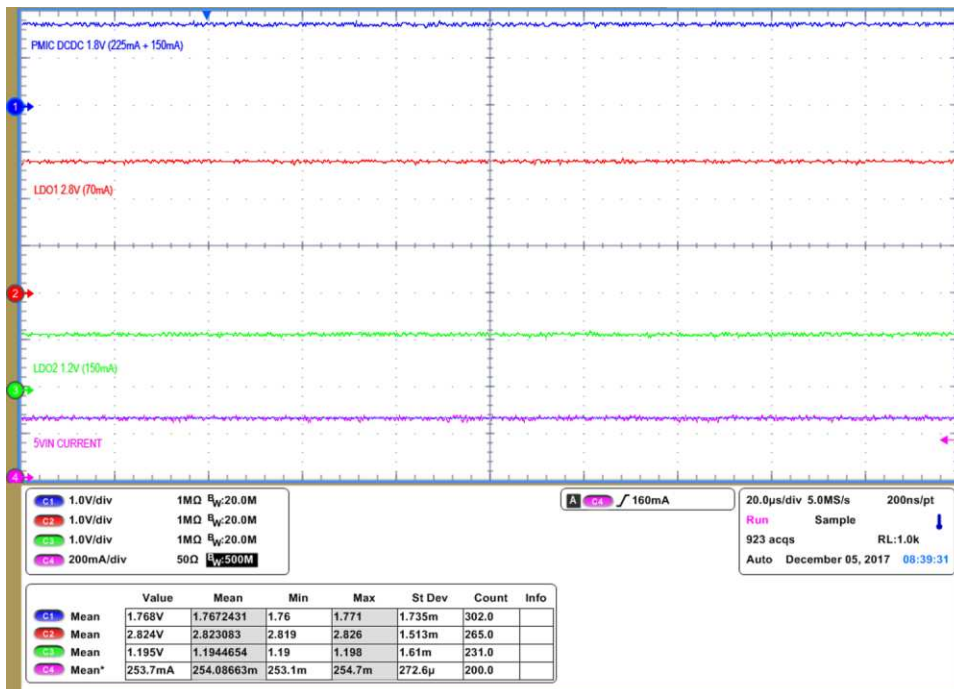


図 15. Typical Current Consumption Without Pre-Regulator (5 V)



### 3.2.5 Thermal Performance

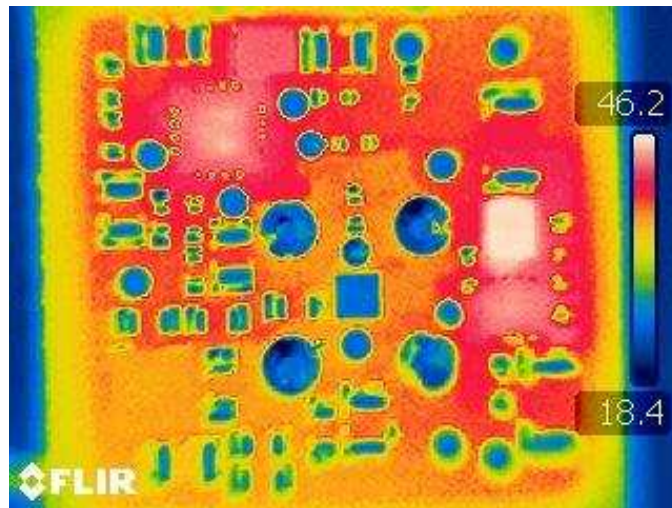


図 16. Thermal Capture With Pre-Regulator (12 V)

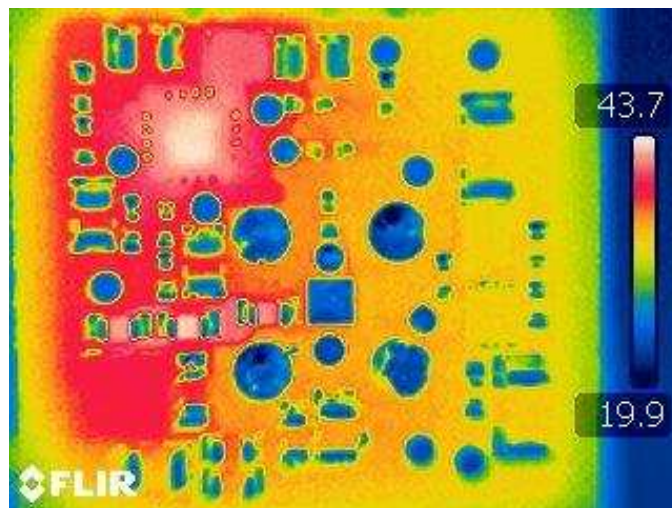


図 17. Thermal Capture Without Pre-Regulator (5 V)

### 3.2.6 Shutdown Behavior

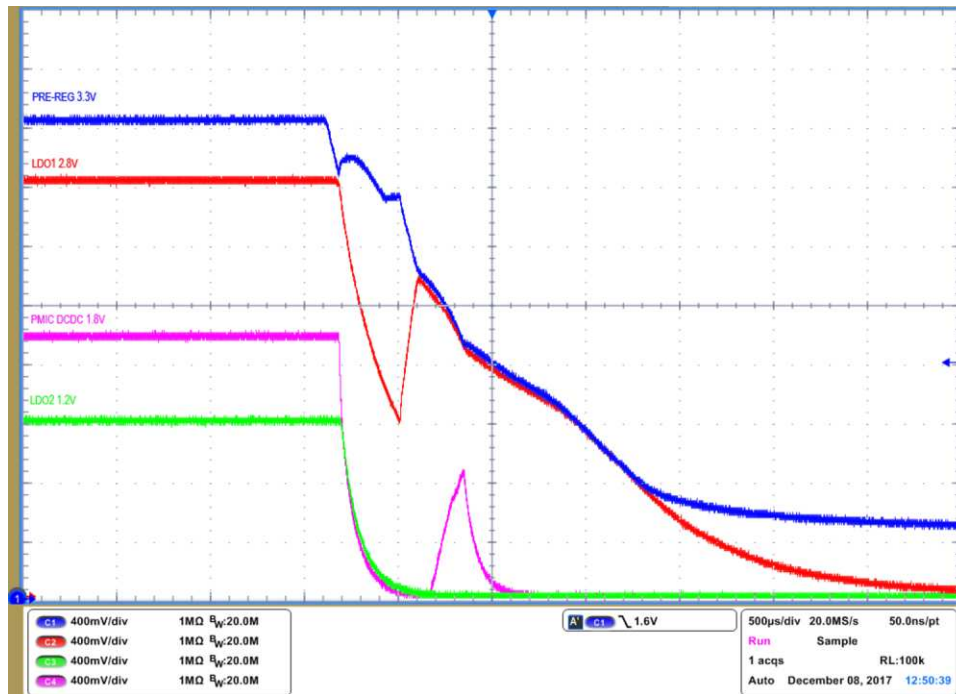


図 18. Shutdown With Pre-Regulator (12 V)

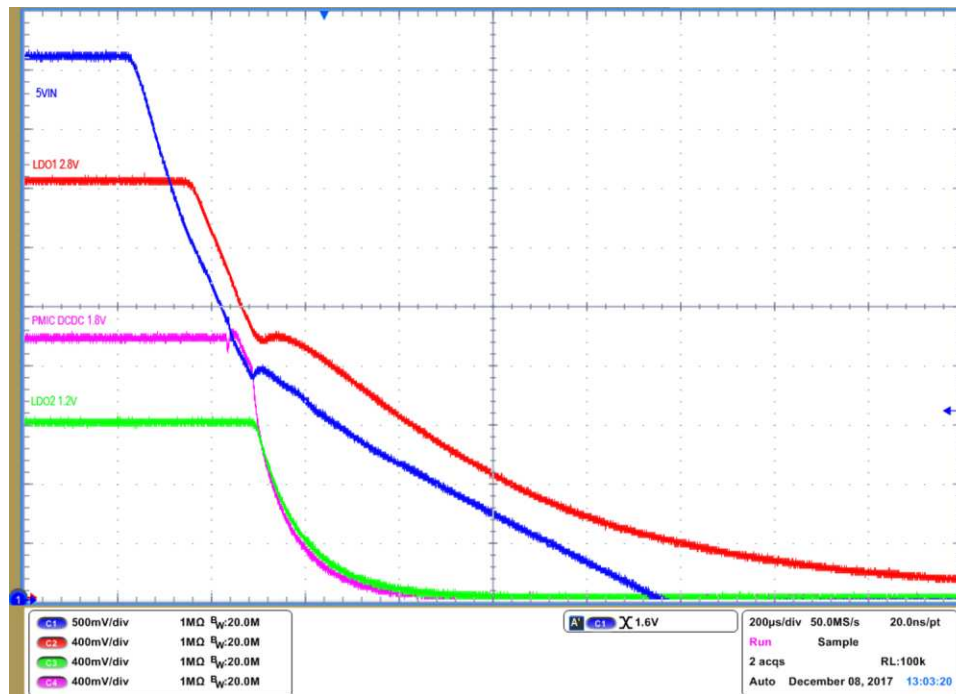


図 19. Shutdown Without Pre-Regulator (5 V)

## 4 Design Files

### 4.1 Schematics

To download the schematics, see the design files at [TIDA-01491](#).

### 4.2 Bill of Materials

To download the bill of materials (BOM), see the design files at [TIDA-01491](#).

### 4.3 PCB Layout Recommendations

Place input capacitors as close as possible to the device. Minimize the area of the switching currents by reducing all trace lengths, and minimizing distance from ground pins of output filter capacitors to the ground pads of their associated input capacitors. Use star connections to bridge ground domains to a common ground plane, and connect thermal pads to this ground plane with multiple vias.

#### 4.3.1 Layout Prints

To download the layer plots, see the design files at [TIDA-01491](#).

### 4.4 Altium Project

To download the Altium project files, see the design files at [TIDA-01491](#).

### 4.5 Gerber Files

To download the Gerber files, see the design files at [TIDA-01491](#).

### 4.6 Assembly Drawings

To download the assembly drawings, see the design files at [TIDA-01491](#).

## 5 Related Documentation

1. Texas Instruments, [TPS6216x-Q1 3-V to 17-V 1-A Step-Down Converter with DCS-Control™ Data Sheet](#)
2. Texas Instruments, [TPS65000-Q1 2.25-MHz Step-Down Converter With Dual LDOs Data Sheet](#)
3. Texas Instruments, [TIDA-01130 Automotive 2-MP Camera Module Reference Design With MIPI CSI-2 Video Interface, FPD-Link III and POC](#)
4. Texas Instruments, [Sending Power Over Coax in DS90UB913A Designs Application Report](#)

### 5.1 商標

E2E, DCS-Control are trademarks of Texas Instruments.  
すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。



## TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、もしくは、TIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterms.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。