

# TI Designs: TIDA-01234

## 車載LEDライティング用24W昇圧またはバッテリー電圧までの昇圧を行う電源回路のリファレンス・デザイン



### 概要

このリファレンス・デザインは、LM3481-Q1ベースの車載LEDアプリケーションに最適な、高効率(94%)、低コスト、24W非同期昇圧設計のためのリファレンス・デザインです。

### リソース

<a href="#">TIDA-01234</a>	デザイン・フォルダ
<a href="#">LM3481-Q1</a>	プロダクト・フォルダ
<a href="#">INA213-Q1</a>	プロダクト・フォルダ

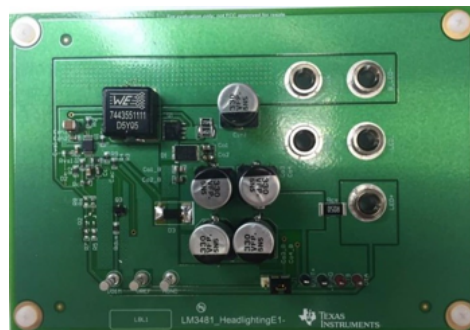
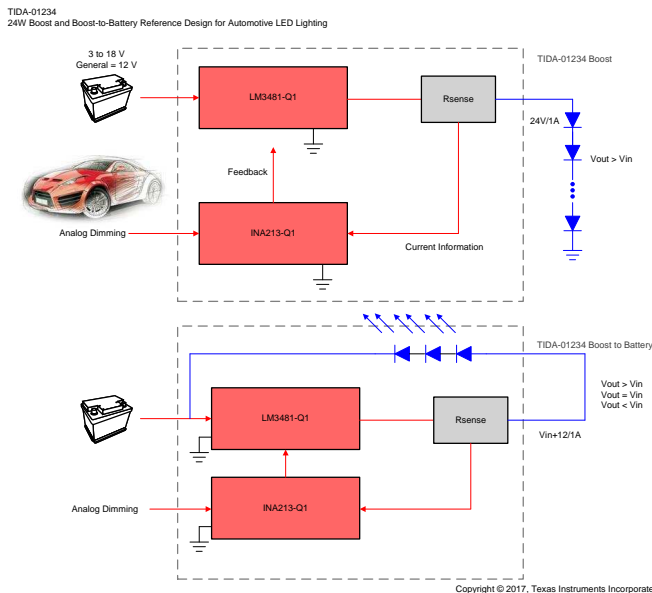
E2Eエキスパートに質問

### 特長

- 24W車載LEDドライバ・ソリューション
- 入力: 6~18 V、出力: 昇圧構成で24V (1A)、バッテリー電圧までの昇圧構成で $V_{IN} + 12V$  (1A)
- 12  $V_{IN}$ の昇圧構成で、全負荷時のシステム効率94%
- 12  $V_{IN}$ のバッテリー電圧までの昇圧構成で、全負荷時のシステム効率88.9%
- スイッチング周波数: 350kHz
- 0~1Aの全範囲アナログ調光
- 開路保護

### アプリケーション

- 車載LEDライティング向けSMPS



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 is a 24-W, high-efficiency, low-cost, asynchronous boost design for automotive LED applications based on the LM3481-Q1. This design applies to automotive high brightness lighting such as headlights, tail lights, and interior LED lighting systems. The design also support analog LED brightness control and output open protection.

The design is divided into two major configurations:

### 1. Boost configuration:

- Wide input range from 6 to 18  $V_{IN}$
- Can drive multiple strings of six to seven LEDs at 1-A constant current
- High efficiency (94%), low cost

### 2. Boost-to-battery configuration:

- Wide input range from 6 to 18  $V_{IN}$
- Input voltage can either be higher, lower, or equal to required LED strings voltage
- High efficiency (89%), low cost

### 1.1 Key System Specifications

表 1. Key System Specifications

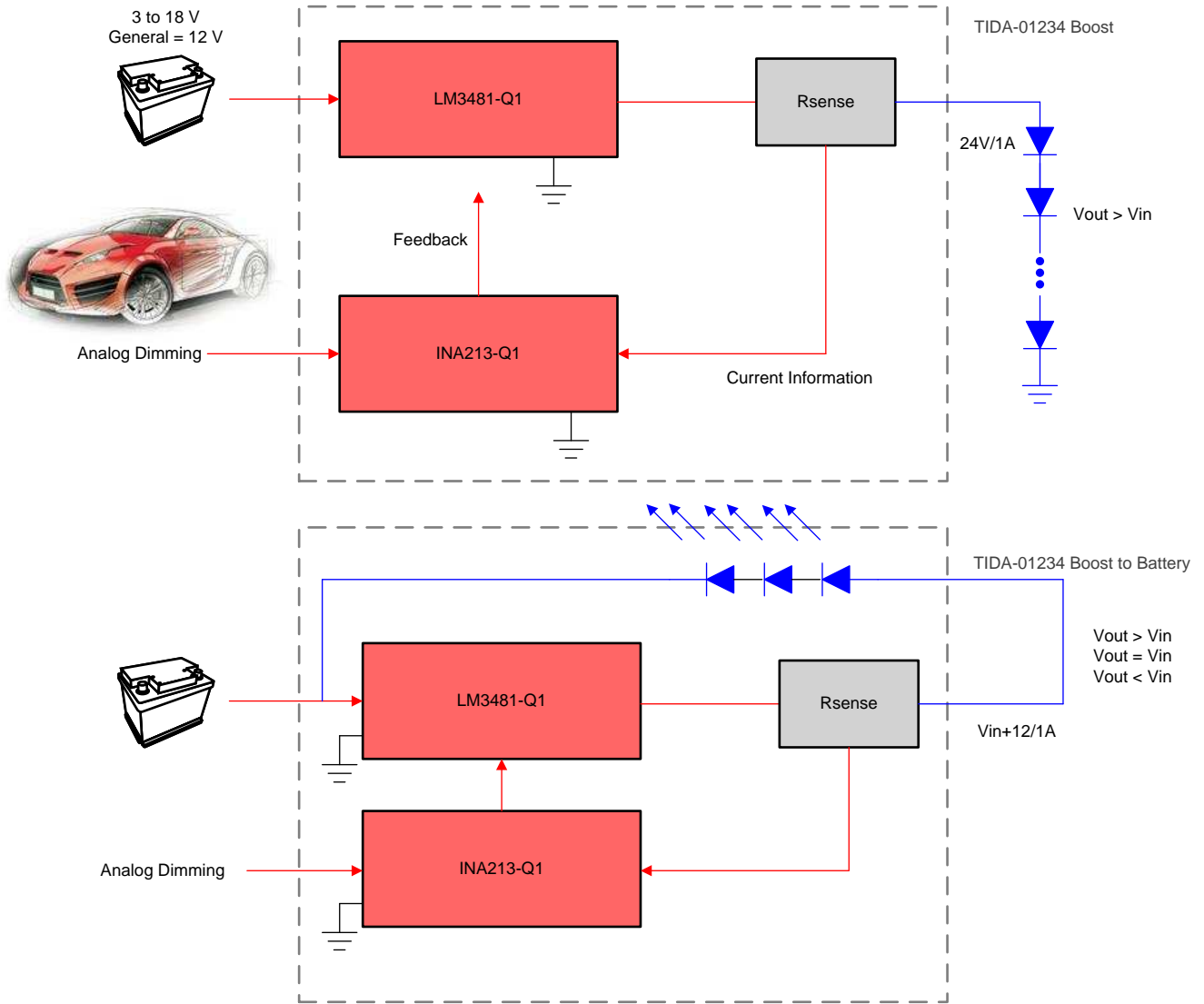
PARAMETER	SPECIFICATIONS
$V_{IN}$ minimum	6-V DC
$V_{IN}$ maximum	18-V DC
$V_{OUT}$	16 to 24 V (boost only), 8 to 12 V (boost-to-battery)
LED drive current (maximum)	1 A
Approximate switching frequency	350 kHz
LED dimming	0 to 1 A with no flickering

## 2 System Overview

### 2.1 Block Diagram

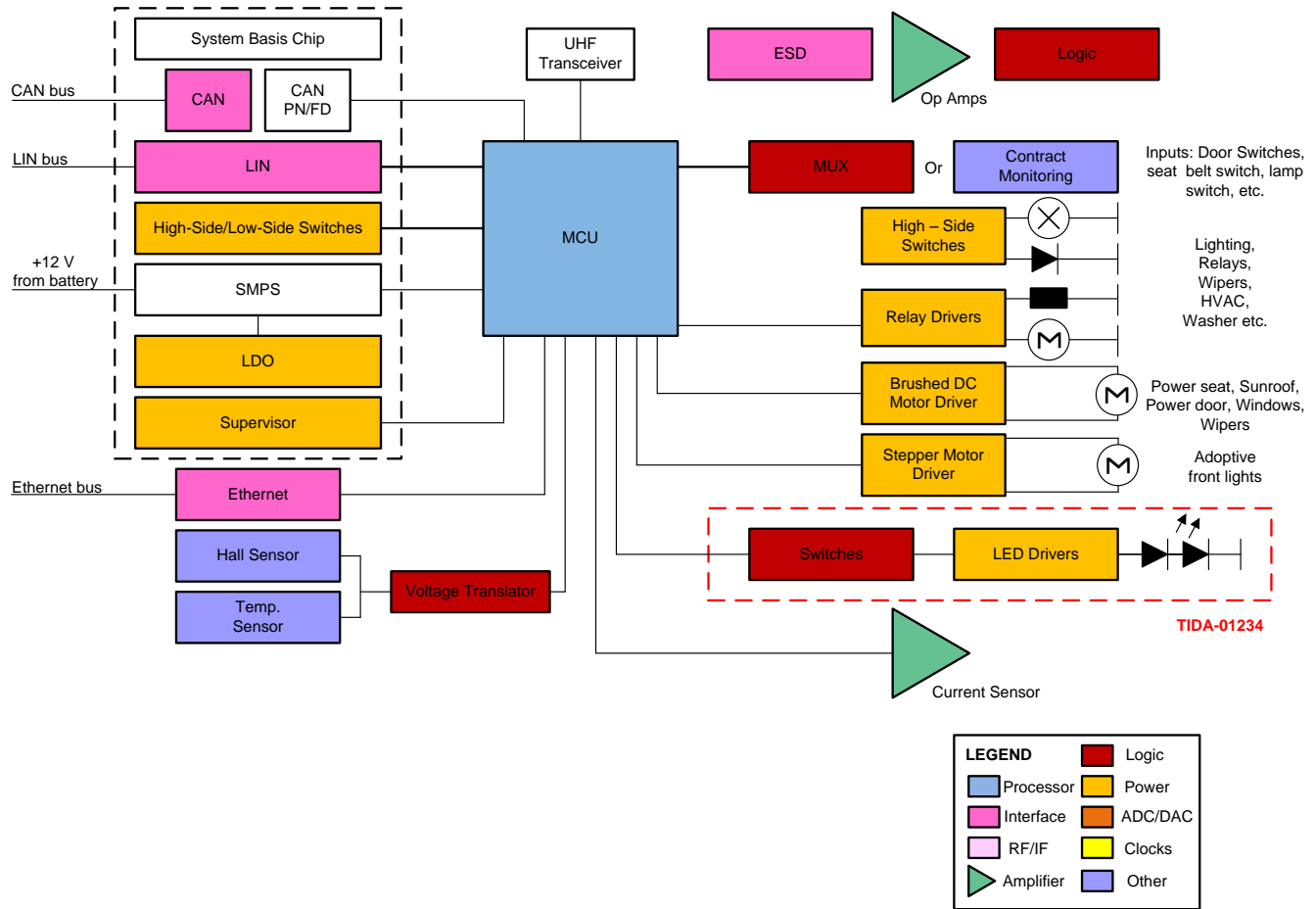
TIDA-01234

24W Boost and Boost-to-Battery Reference Design for Automotive LED Lighting



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

図 1. TIDA-01234 Block Diagram



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

図 2. Automotive LED Lighting Example Highlighting TIDA-01234

## 2.2 Highlighted Products

The following TI products are used in this reference design.

### 2.2.1 LM3481-Q1

- AEC-Q100 grade 1 qualified temperature:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$  operating junction temperature
- Wide supply voltage range: 2.97 to 48 V
- 100-kHz to 1-MHz adjustable and synchronizable clock frequency
- Pulse skipping at light loads
- Adjustable undervoltage lockout (UVLO) with hysteresis
- Internal soft-start

### 2.2.2 INA213-Q1

- AEC-Q100 grade 1 qualified temperature:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$  operating junction temperature
- Wide common-mode range:  $-0.3$  to 26 V
- Offset voltage:  $\pm 100\ \mu\text{V}$  (maximum; enables shunt drops of 10-mV full-scale)
- Accuracy:
  - $\pm 1\%$  gain error (maximum over temperature)
  - $0.5\text{-}\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  offset drift (maximum)
  - $10\text{-ppm}/^{\circ}\text{C}$  gain drift (maximum)
- Quiescent current: 100  $\mu\text{A}$  (maximum)
- SC70 package

## 2.3 System Design Theory

### 2.3.1 Boost Description

Generally, the output voltage can be programmed using a resistor divider and feedback pins. The output current depends on the load requirement. But for an LED application, constant current is necessary to keep a specific lightness. This design used current sensing to achieve constant current by the boost controller LM3481-Q1.

To keep constant current flowing through LED, there is a current sense resistor,  $R_{SHUNT}$ , at the output of the controller to sense how much current flows through it. This reference design uses a 50-m $\Omega$  current sense resistor to generate 50 mV of crossing voltage. This crossing voltage will be amplified by the INA213-Q1, which provides a gain = 50 V/V. Using an external voltage injected into the current sense amplifier reference at J1 allows for analog dimming of the LEDs at the output by changing the output current, as shown in 式 1:

$$V_{FB} = \left[ (I_{OUT} \times R_{SHUNT}) + V_{REF} \right] \times \frac{R3}{R3 + R4} \tag{1}$$

where:

- $V_{FB}$  is 1.275 V
- $R_{SHUNT}$  is 50 m $\Omega$
- R3 equal to R4 are 10 k $\Omega$

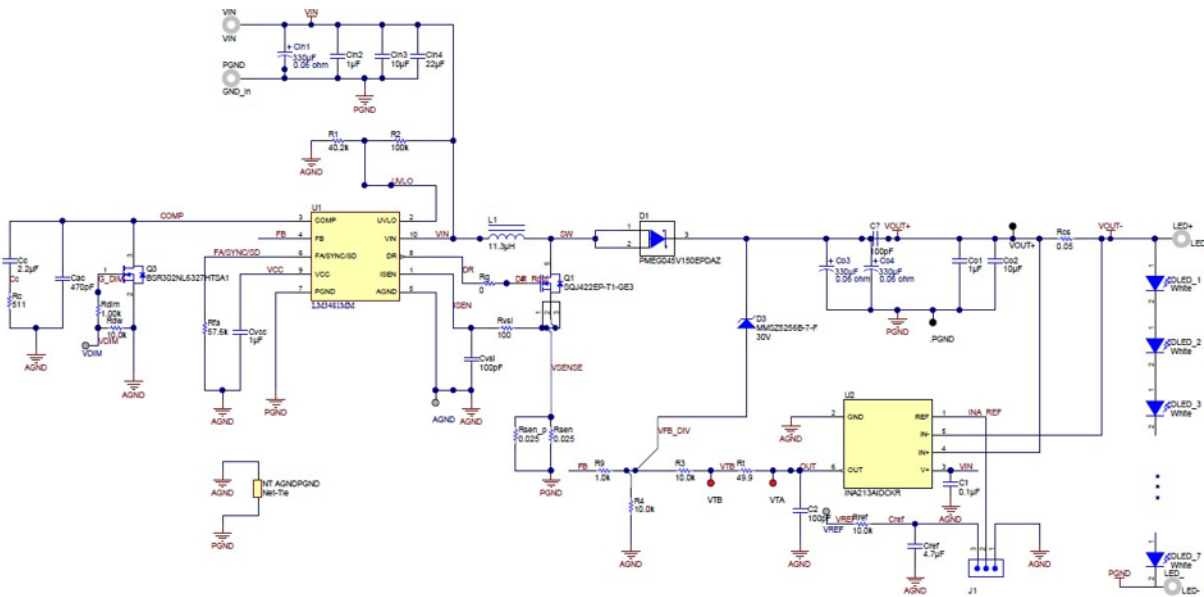


図 3. Boost Configuration and LM3481 Schematic

If the output LED burns out or is open at the output circuit, the output voltage will continuously rise. The TIDA-01234 design provides output open circuit protection. For the boost configuration, a Zener diode connected between  $V_{OUT}$  and  $V_{FB\_DIV}$ , clamping the output voltage at the Zener voltage  $V_z$  plus the output voltage of the current sense amplifier.

### 2.3.2 Boost-to-Battery Description

In order to generate constant current with an output voltage closed to the input voltage, the designer must use a buck-boost or a SEPIC structure, which is complex and costly. By connecting the cathode of LED strings to the input instead of the GND, the TIDA-01234 can also be modified to boost-to-battery configuration. In this configuration, input voltage can either be higher, lower, or equal to the required LED strings voltage.

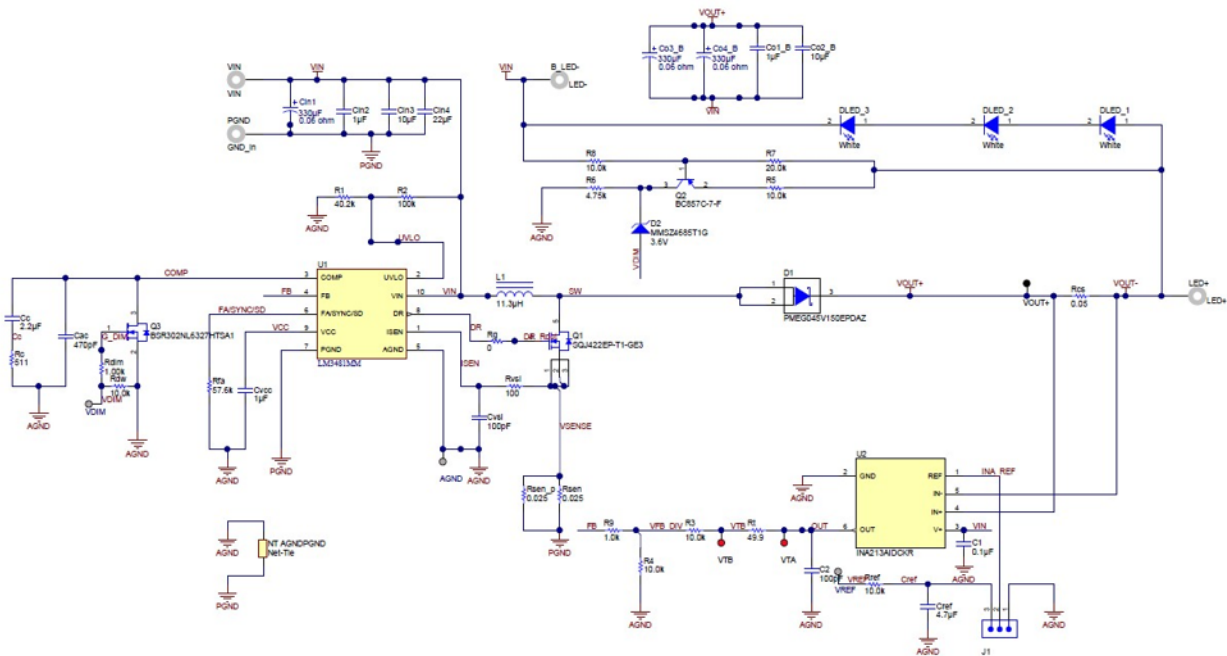


図 4. Boost-to-Battery Configuration and LM3481 Schematic

For boost-to-battery, the TIDA-01234 provides another solution for open circuit protection by using transistor Q2 combined with R5, R6, R7, R8, and D2 to detect differential voltage between output voltage and input voltage. When the differential voltage rises up to  $V_{OV}$ , where  $V_{OV}$  is overvoltage at the output, Zener diode D2 will turn on and pull the comp pin voltage down by Q3. As a result, the output voltage will stay low until the load is connected.

For design calculations and layout examples, see the devices' respective datasheets:

- LM3481-Q1 High-Efficiency Controller for Boost, SEPIC and Flyback DC-DC Converters (SNVS346)
- INA21x-Q1 Automotive-Grade, Voltage Output, Low- or High-Side Measurement, Bidirectional, Zero-Drift Series, Current-Shunt Monitors (SBOS475)

### 3 Testing and Results

#### 3.1 Boost Configuration Test Results

##### 3.1.1 Thermal Data

The infrared thermal image shown in 図 5 was taken at a steady state with 12 V<sub>IN</sub> and full load of a 1-A load current (current sense comparator reference set to 0 V) for boost configuration.

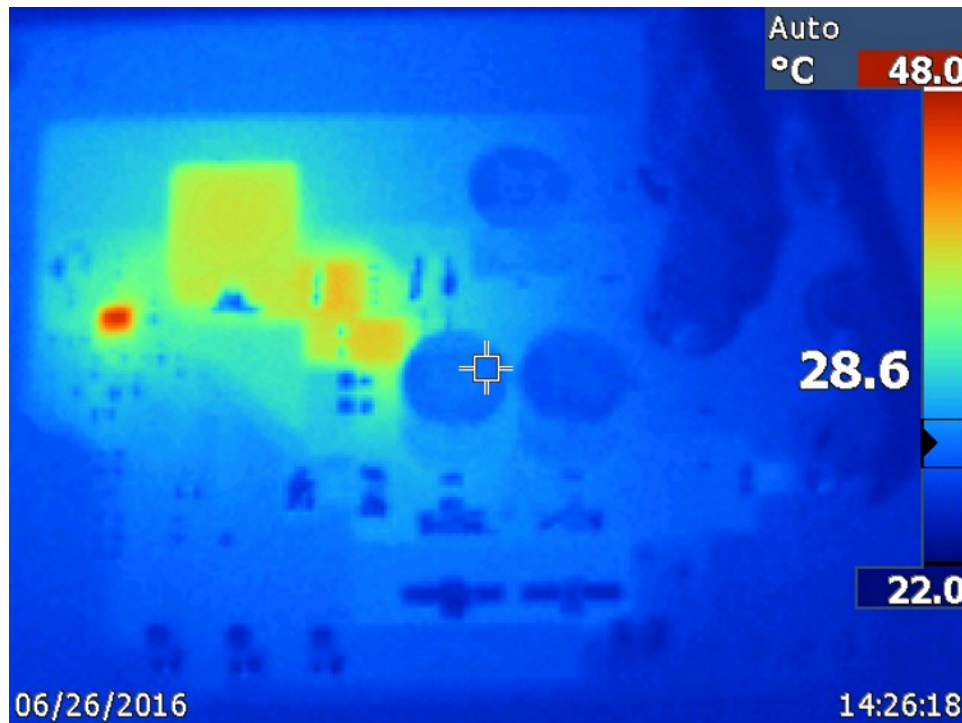


図 5. Thermal Image of Boost Configuration

##### 3.1.2 Efficiency Data

###### 3.1.2.1 Efficiency Chart

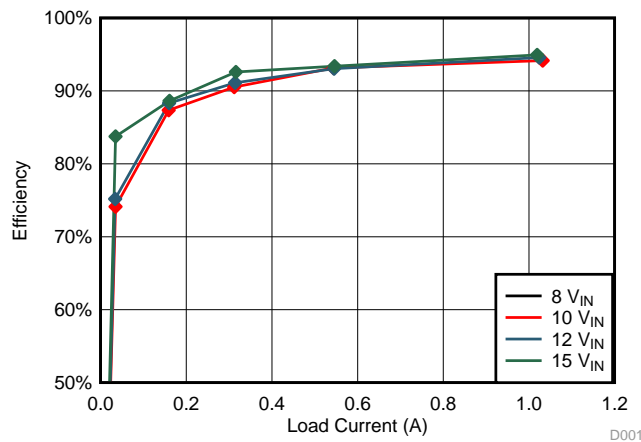


図 6. Boost Efficiency versus Load Current at Various Input Voltages



**3.1.2.2 Efficiency Data**
**表 2. Boost Efficiency Table at 6 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	6.004	4.278	23.67	1.009	92.98394
1.0	6.006	2.082	22.20	0.524	93.02897
1.8	6.002	0.835	20.67	0.218	89.91135
2.2	6.000	0.291	19.56	0.075	84.02062
2.5	6.000	0.002	11.63	0	0

**表 3. Boost Efficiency Table at 10 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	10.005	2.564	24.11	1.010	94.92563
1.0	10.006	1.251	22.17	0.525	92.98378
1.8	10.005	0.500	20.71	0.219	90.66447
2.2	10.008	0.181	19.59	0.076	82.19060
2.5	10.000	0.002	12.53	0	0

**表 4. Boost Efficiency Table at 12 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	12.006	2.140	24.02	1.010	94.42397
1.0	12.009	1.043	22.18	0.526	93.14427
1.8	12.002	0.423	20.74	0.219	89.46618
2.2	12.000	0.153	19.62	0.076	81.21569
2.5	12.000	0.002	11.96	0	0

**表 5. Boost Efficiency Table at 15 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	15.01	1.687	23.77	1.010	94.81014
1.0	15.005	0.833	22.19	0.526	93.38176
1.8	15.000	0.339	20.76	0.220	89.81711
2.2	15.004	0.114	19.64	0.076	87.26562
2.5	15.000	0.002	14.96	0	0

### 3.1.3 Boost Configuration Waveforms

#### 3.1.3.1 Switching and Output Current

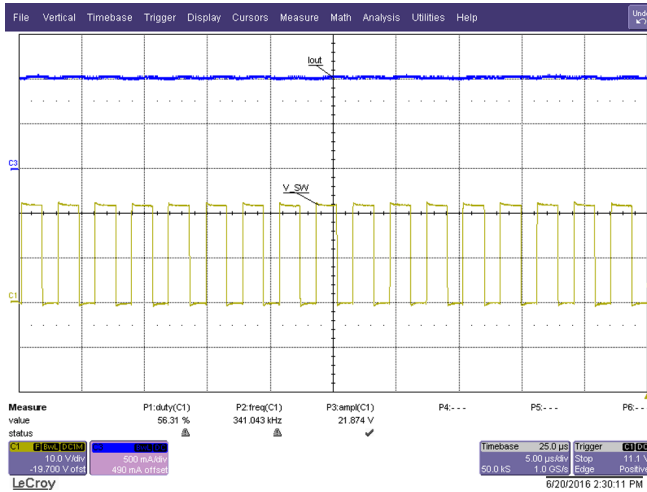


図 7. 12-V<sub>IN</sub> and 0-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current

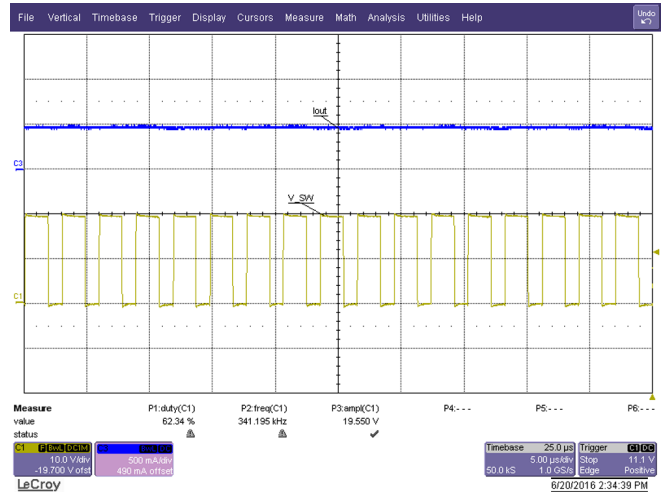


図 8. 12 V<sub>IN</sub> and 1.2-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current

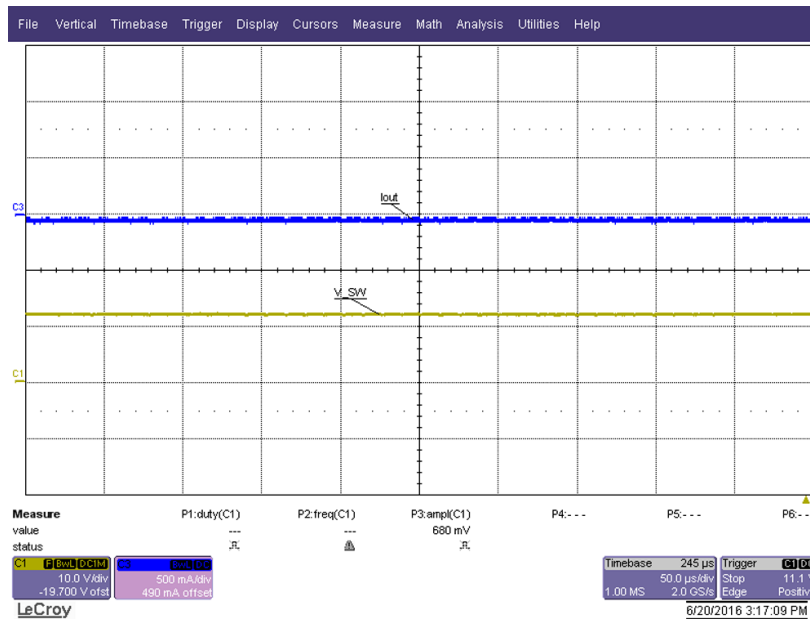
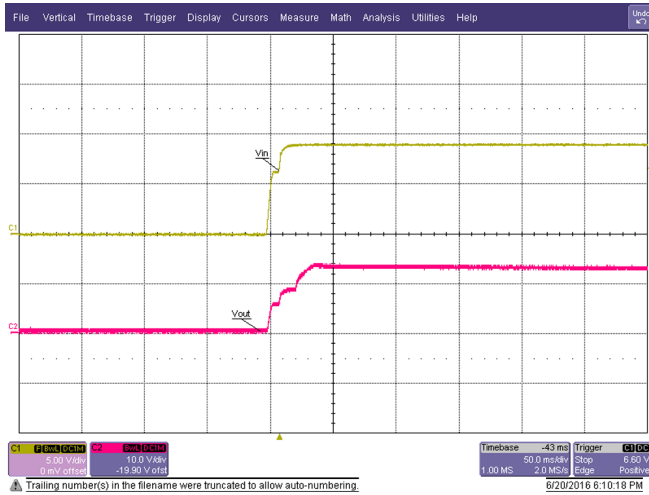


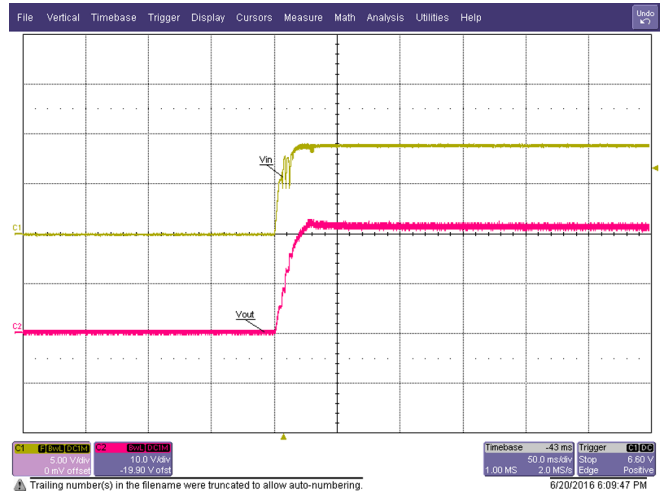
図 9. 12 V<sub>IN</sub> and 2.5-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current

注: Ch1 (yellow trace): Switch node voltage, Ch2 (pink trace): Output current

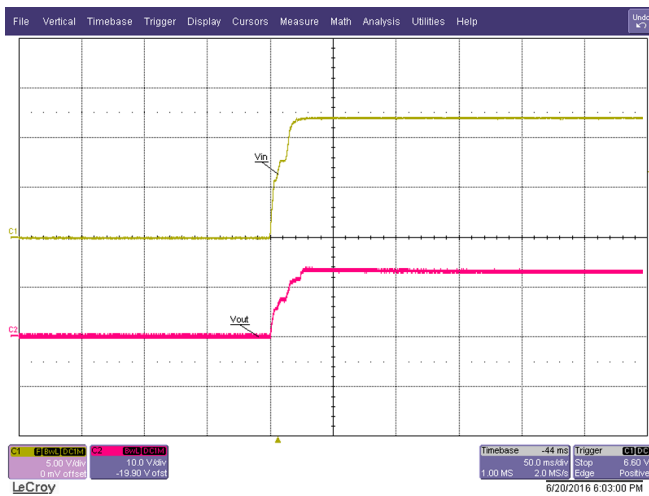
### 3.1.3.2 System Startup Waveforms



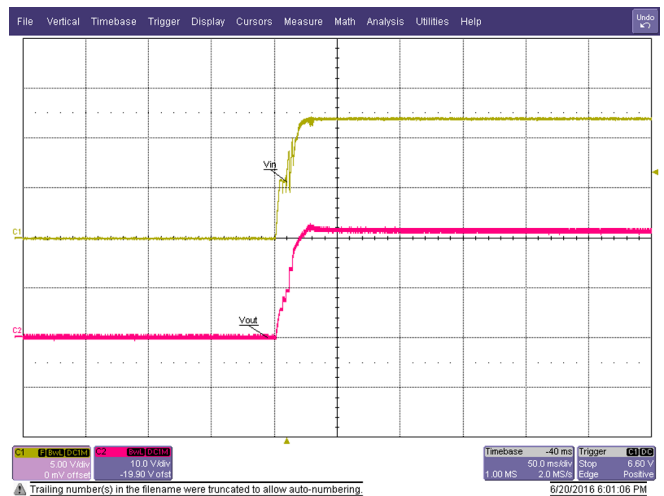
10. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 9 V<sub>IN</sub>



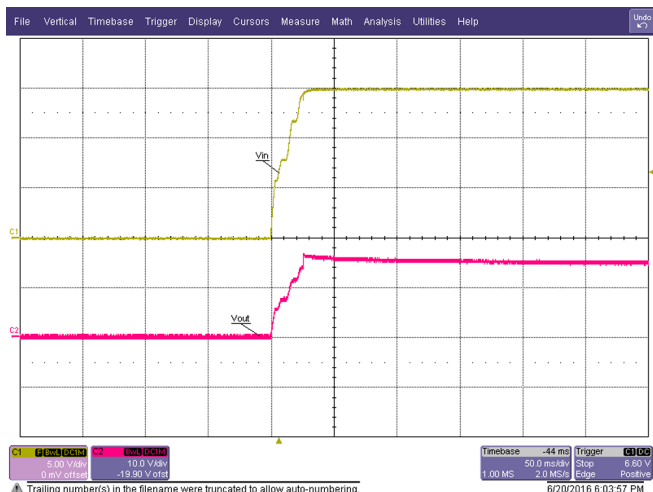
11. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 9 V<sub>IN</sub>



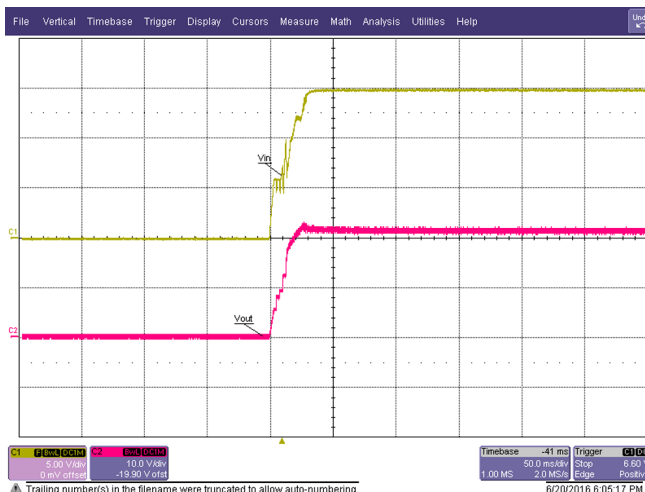
12. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 12 V<sub>IN</sub>



13. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 12 V<sub>IN</sub>



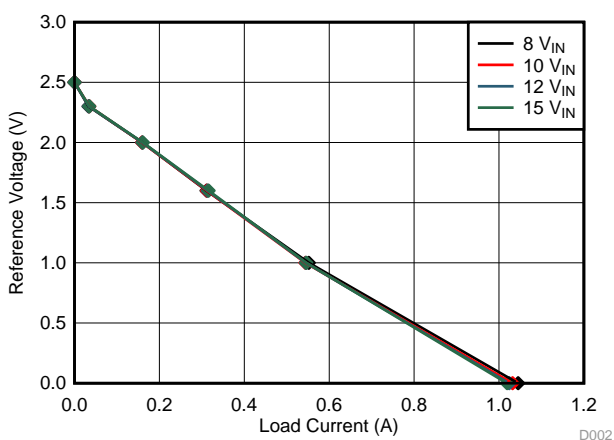
14. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 15 V<sub>IN</sub>



15. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 15 V<sub>IN</sub>

注: Ch1 (yellow trace): V<sub>IN</sub>, Ch2 (pink trace): V<sub>OUT</sub>

### 3.1.4 Analog Dimming



16. Reference Voltage for Current Sense Comparator versus Load Current

注: 16 shows the current regulation for the boost configuration.

### 3.1.5 Loop Response

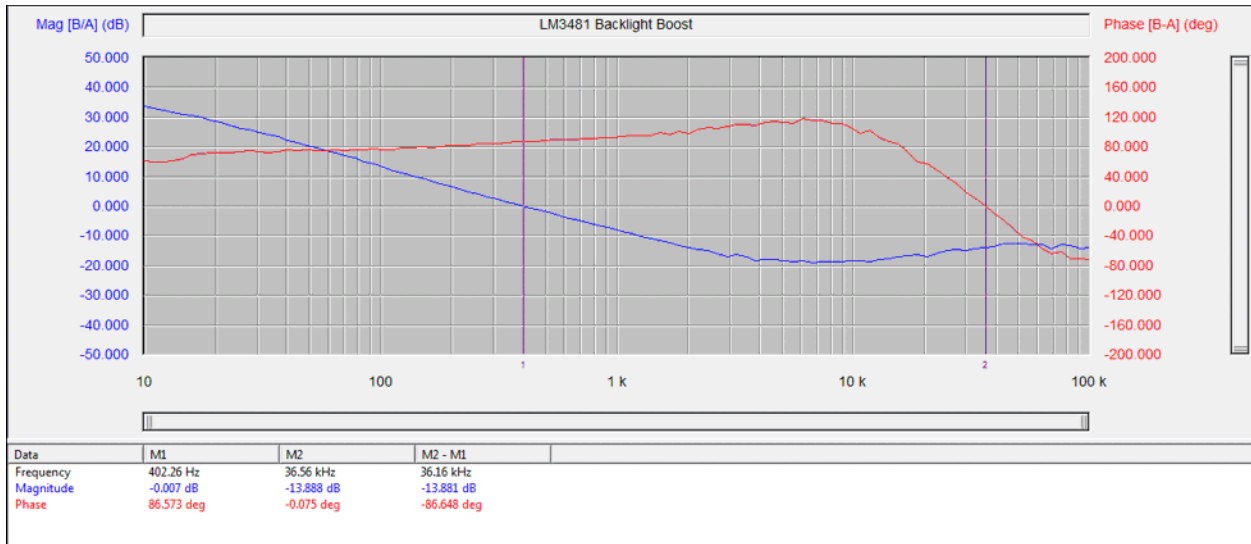


図 17. 6- $V_{IN}$  Loop Response Showing a Stable System With Gain Margin: 13.8 dB and Phase Margin: 86.5°

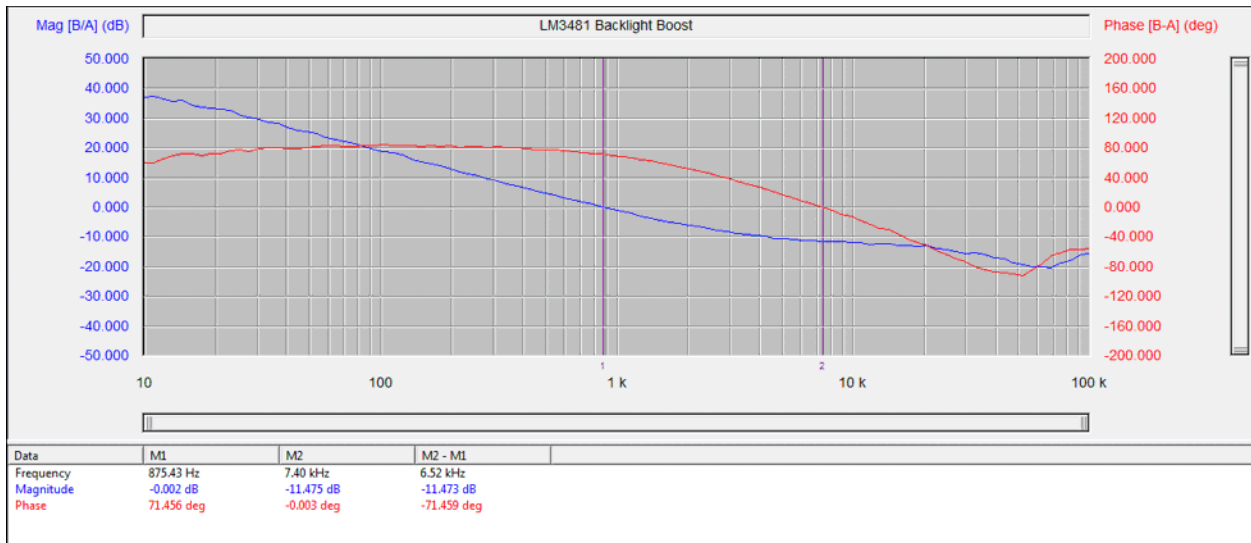


図 18. 12- $V_{IN}$  Loop Response Showing a Stable System With Gain Margin: 11.4 dB and Phase Margin: 71.4°

### 3.2 Boost-to-Battery Configuration Test Results

#### 3.2.1 Thermal Data

The infrared thermal image shown in [Fig 19](#) was taken at steady state with 12 V<sub>IN</sub> and full load of a 1-A load current (current sense comparator reference set to 0 V) for boost-to-battery configuration.

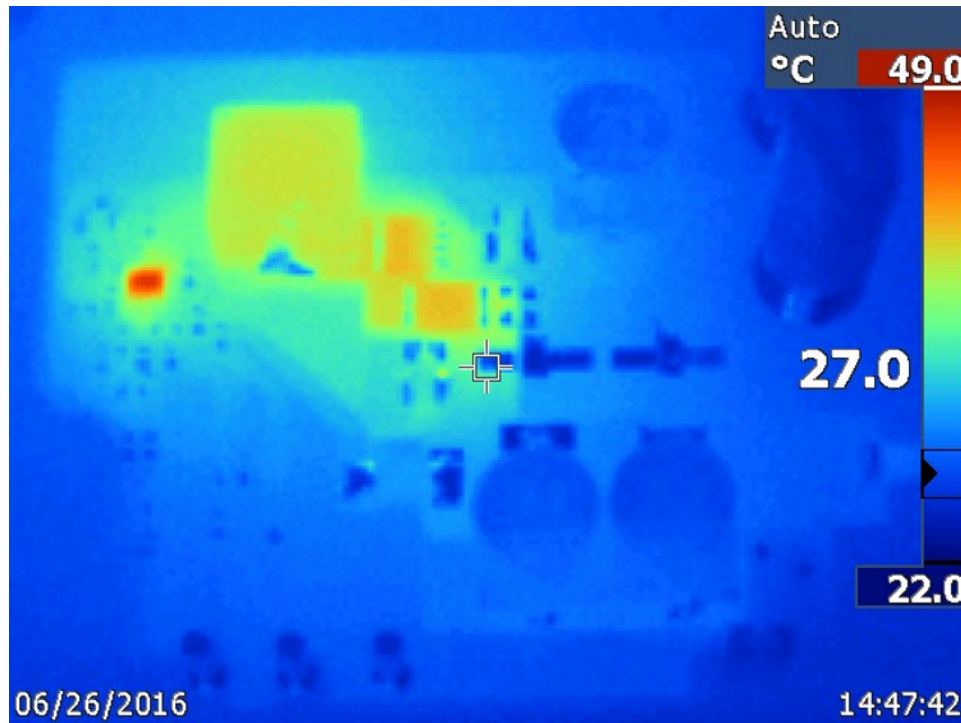


Fig 19. Thermal Image of Boost-to-Battery

#### 3.2.2 Efficiency Data

##### 3.2.2.1 Efficiency Chart

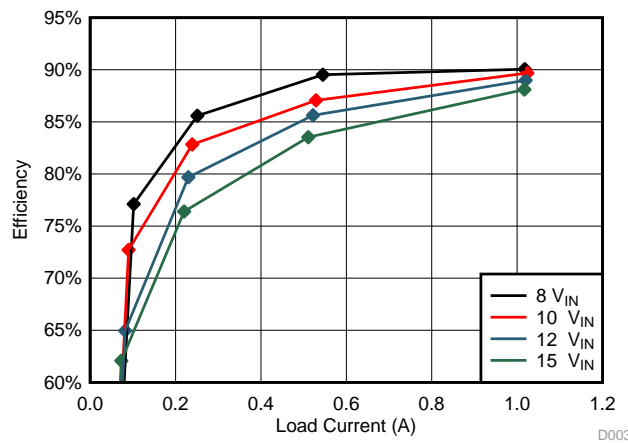


Fig 20. Boost-to-Battery Efficiency versus Load Current at Various Input Voltages

**3.2.2.2 Efficiency Data**
**表 6. Boost-to Battery Efficiency Table at 6 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	6.000	1.918	10.18	1.018	90.05249
1.0	6.000	0.970	9.56	0.545	89.52234
1.8	6.006	0.438	8.97	0.251	85.58679
2.2	6.002	0.188	8.53	0.102	77.10728
2.5	6.000	0.002	0	0	0

**表 7. Boost-to Battery Efficiency Table at 10 V<sub>IN</sub>**

REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	10.002	1.161	10.17	1.024	89.68129
1.0	10.004	0.577	9.50	0.529	87.06223
1.8	10.009	0.258	8.95	0.239	82.83436
2.2	10.008	0.105	8.49	0.090	72.71326
2.5	10.000	0.002	0	0	0

**表 8. Boost-to Battery Efficiency Table at 12 V<sub>IN</sub>**

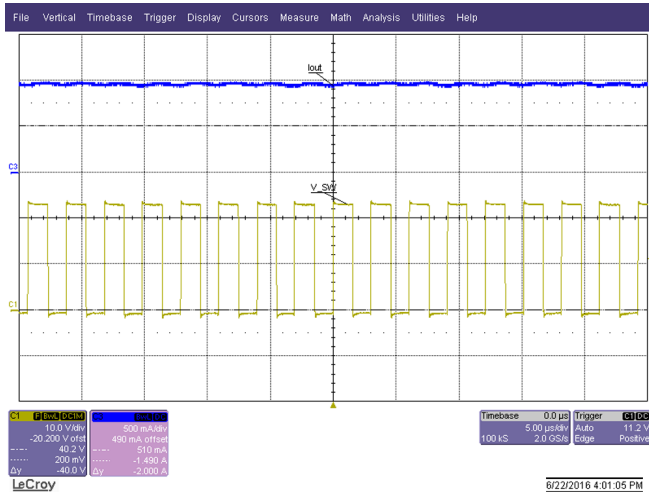
REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	12.006	0.970	10.16	1.020	88.98643
1.0	12.002	0.482	9.49	0.522	85.63199
1.8	12.002	0.215	8.94	0.230	79.68439
2.2	12.000	0.089	8.46	0.082	64.95506
2.5	12.000	0.002	0	0	0

**表 9. Boost-to Battery Efficiency Table at 15 V<sub>IN</sub>**

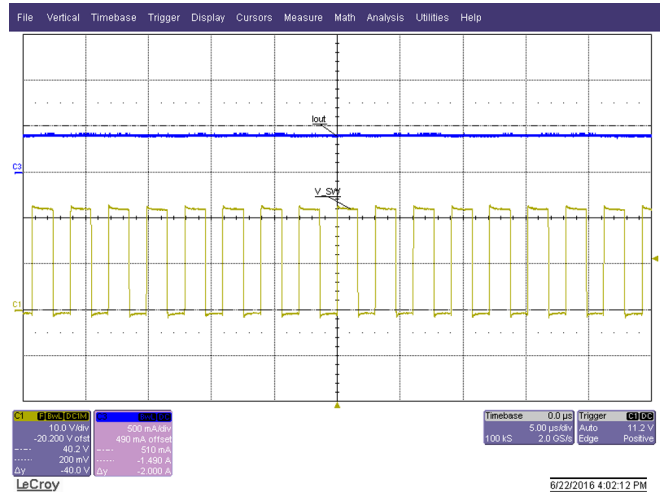
REF (V)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	EFF (%)
0	15.002	0.781	10.15	1.017	88.10221
1.0	15.001	0.387	9.49	0.511	83.53259
1.8	15.006	0.171	8.91	0.220	76.39050
2.2	15.003	0.066	8.42	0.073	62.07445
2.5	15.000	0.002	0	0	0

### 3.2.3 Boost-to-Battery Configuration Waveforms

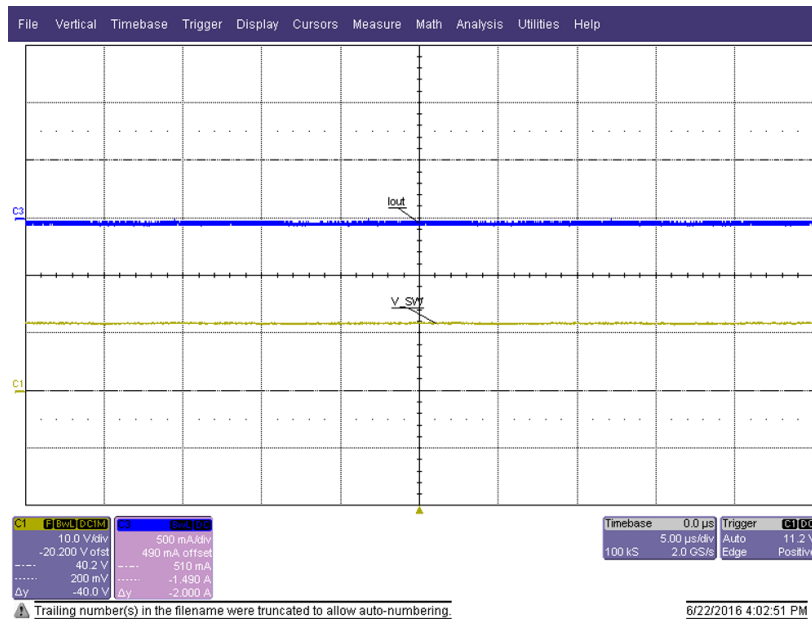
#### 3.2.3.1 Switching and Output Current



☒ 21. 12-V<sub>IN</sub> and 0-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current



☒ 22. 12-V<sub>IN</sub> and 0-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current

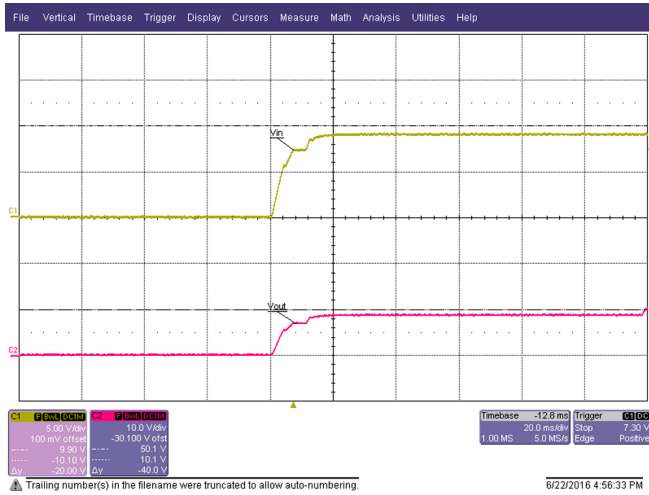


☒ 23. 12-V<sub>IN</sub> and 2.5-V Reference on Current Sense Comparator Provides Maximum Output Current

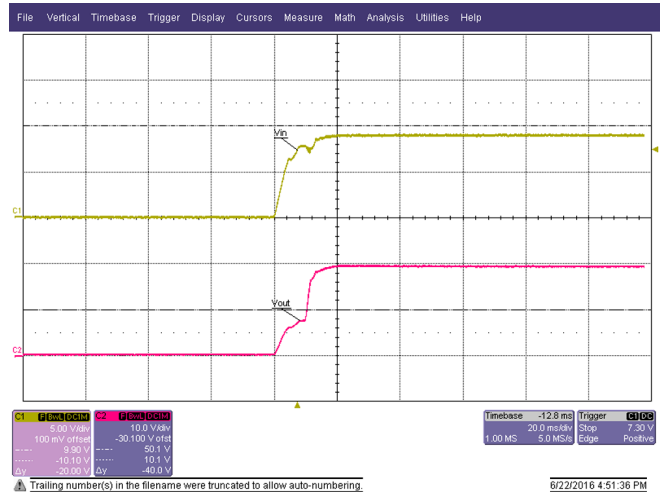
注: Ch1 (yellow trace): Switch node voltage, Ch2 (pink trace): Output current



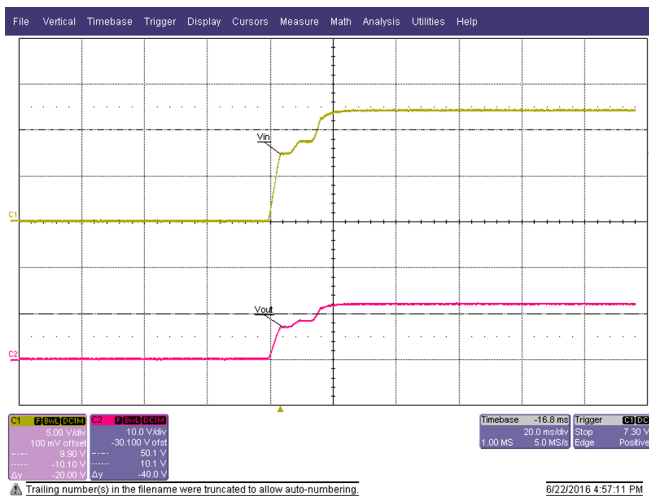
### 3.2.3.2 System Startup Waveforms



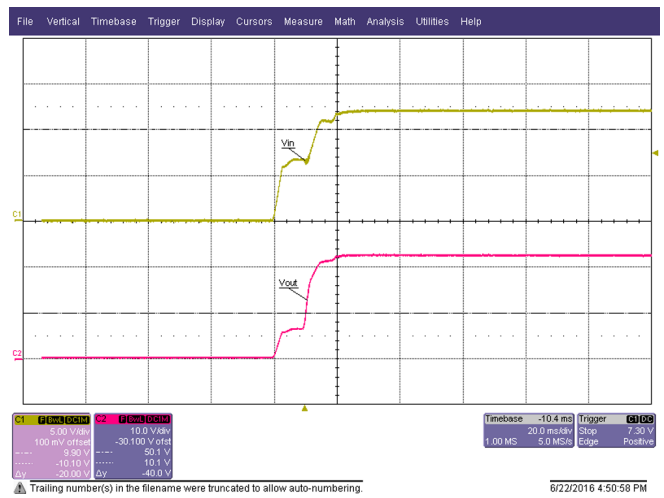
24. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 9 V<sub>IN</sub>



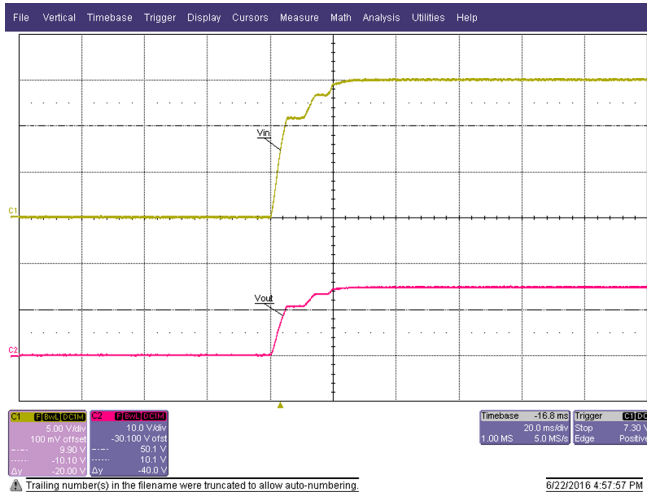
25. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 9 V<sub>IN</sub>



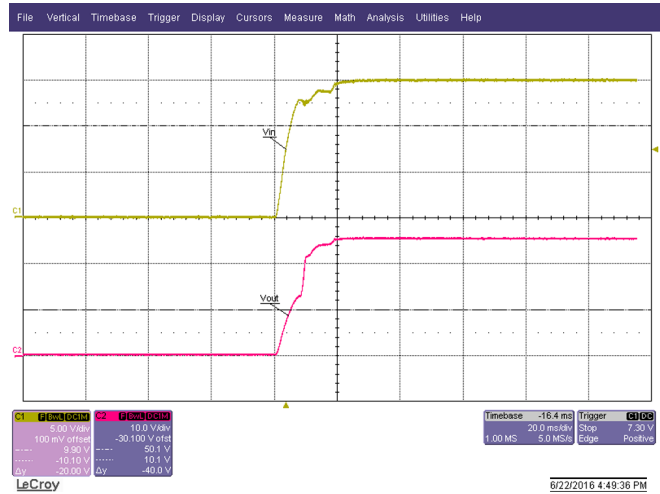
26. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 12 V<sub>IN</sub>



27. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 12 V<sub>IN</sub>



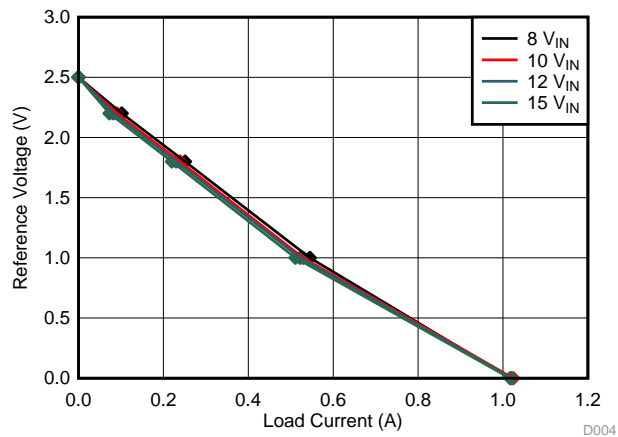
28. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 2.5 V) at 15 V<sub>IN</sub>



29. Startup Into No Load (Current Sense Comparator Reference Voltage Set to 0 V) at 15 V<sub>IN</sub>

注: Ch1 (yellow trace): V<sub>IN</sub>, Ch2 (pink trace): V<sub>OUT</sub>

### 3.2.4 Analog Dimming



30. Reference Voltage for Current Sense Comparator versus Load Current

注: 30 shows the current regulation for the boost configuration.

### 3.2.5 Open Circuit Protection

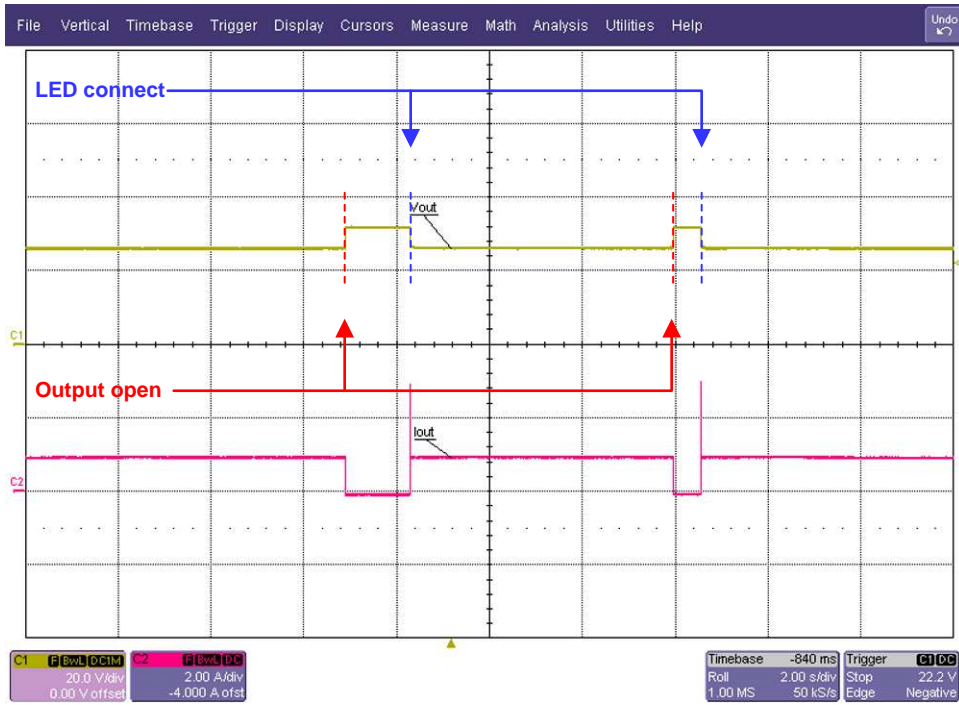


図 31. Boost-to-Battery Open Circuit Protection

### 3.2.6 Loop Response

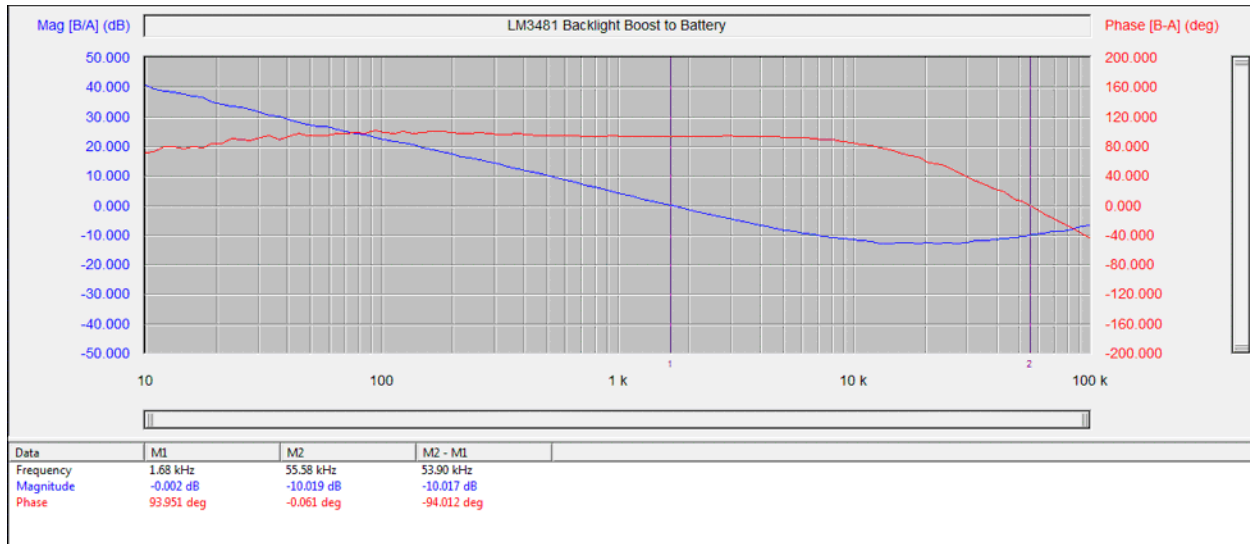


図 32. 6-V<sub>IN</sub> Loop Response Showing a Stable System With Gain Margin: 10.0 dB and Phase Margin: 93.95°

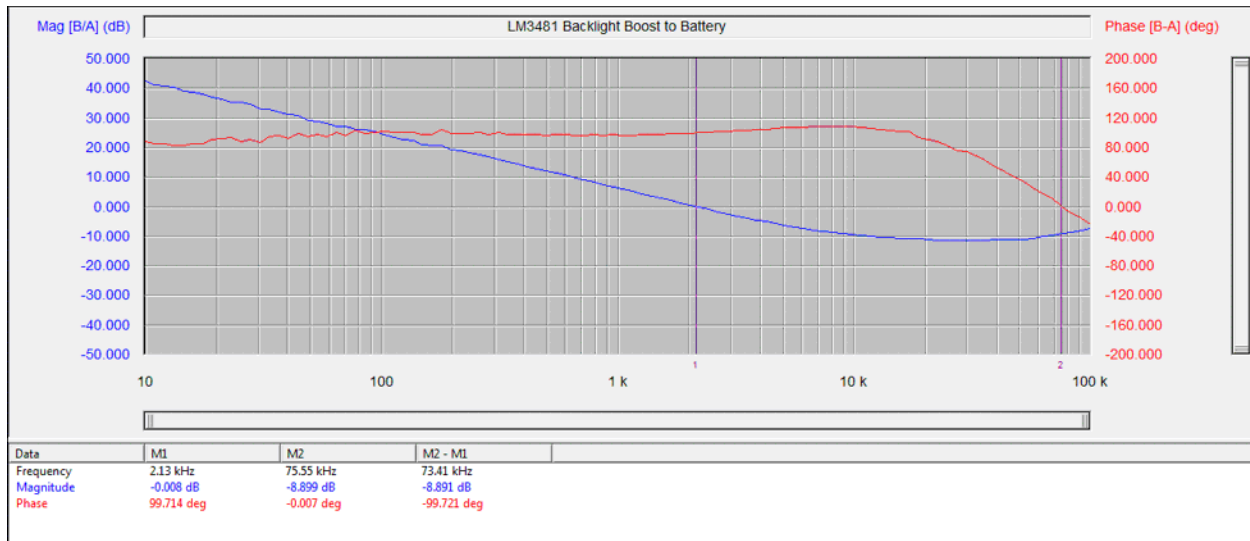


図 33. 12-V<sub>IN</sub> Loop Response Showing a Stable System With Gain Margin: 8.9 dB and Phase Margin: 99.7°

## 4 Design Files

### 4.1 Schematics

To download the schematics, see the design files at [TIDA-01234](#).

### 4.2 Bill of Materials

To download the bill of materials (BOM), see the design files at [TIDA-01234](#).

### 4.3 PCB Layout Recommendations

#### 4.3.1 Layout Prints

To download the layer plots, see the design files at [TIDA-01234](#).

### 4.4 Altium Project

To download the Altium project files, see the design files at [TIDA-01234](#).

### 4.5 Gerber Files

To download the Gerber files, see the design files at [TIDA-01234](#).

### 4.6 Assembly Drawings

To download the assembly drawings, see the design files at [TIDA-01234](#).

## 5 Software Files

To download the software files, see the design files at [TIDA-01234](#).

## 6 Related Documentation

This reference design did not use any related documentation.

### 6.1 商標

All trademarks are the property of their respective owners.

## 7 About the Author

**SHAQUILLE CHEN** is a field application engineer at Texas Instruments where he is responsible for major account in Taiwan. Shaquille earned his master of technology (M.Tech) from the National Taiwan University of Science and Technology in Taipei.

## 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

2016年8月発行のものから更新

Page

- 
- プレビュー・ドラフトから現在のデザイン・ガイド・テンプレートに合わせて変更 ..... 1
-

## 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、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、あるいは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的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/sampterm.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。