

TI Designs: TIDA-01399

TPS92410/411 50W、120V ACオフラインLEDドライバ、LED汎用ライティング用、磁石不使用

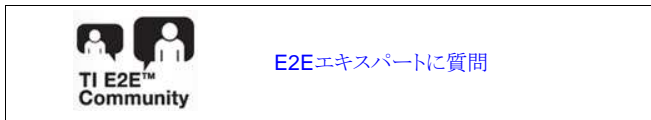


概要

TIDA-01399 TI Designでは、50Wの出力電力で、すべての部品を単一のプリント基板(PCB)に搭載した、TPS92410およびTPS92411による局所照明用ソリューションを紹介します。このデザインでは、4つのTPS92411段を使用し、整流されたAC波形の立ち上がりおよび立ち下がり時に16種類のスイッチ状態を可能とすることで、電流をレギュレートするMOSFETのヘッドルームを最適化しています。TPS92410では、電流レギュレータがシャットオフしない範囲で、最小3%までの単調アナログ調光が行えます。磁石を使用しない電磁気干渉(EMI)フィルタリングが組み込まれ、FCC Title 47 Part 15 class-Bの伝導要件を満たすよう設計されています。

リソース

TIDA-01399	デザイン・フォルダ
TPS92410	プロダクト・フォルダ
TPS92411	プロダクト・フォルダ

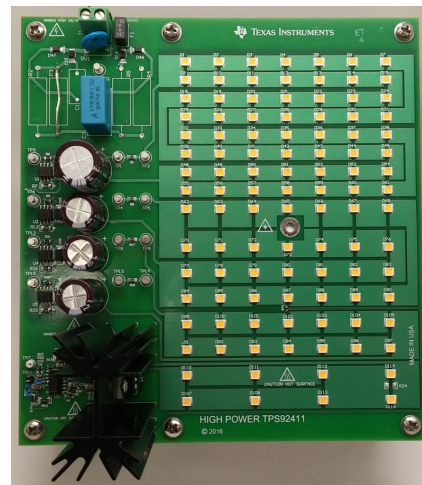
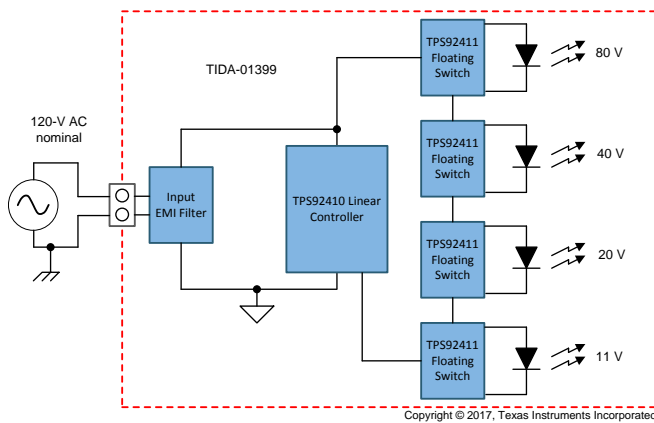


特長

- 非絶縁の120V ACオフラインLEDドライバ、磁石不使用
- 4つのTPS92411チャンネルにより16のスイッチ状態を利用可能
- 効率86.5%、力率0.97、THD 10.5%
- サーマル・パッド付きのTPS92411は大電流アプリケーションに対応
- TPS92410電流レギュレータは力率補正用で、ライン・レギュレーション用のマルチプライヤ付属
- TPS92410では単純なNTCサーマル・フォールドバックが可能
- TPS92410の単調性アナログ調光は、シャットダウン付きで3%まで調光可能、TSNS入力を使用すると、さらに深い調光も可能
- FCC Title 47 Part 15 Class-BでEMIテスト済み

アプリケーション

- 汎用ライティング
- 局所ライティング
- セキュリティ・ライティング
- ダウンライト
- 屋内照明





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

TIDA-01399 provides a method to drive 50 W of LEDs on a single board without the use of magnetics. By using energy storage capacitors, low light-emitting diode (LED) ripple can be realized. The TPS92410 device provides power factor correction (PFC) and line regulation while allowing monotonic analog dimming. Thermal foldback is easily accomplished with a negative temperature coefficient (NTC) thermistor. The design is ideal for single board solutions requiring low LED current ripple. By using four TPS92411DDA floating switches in the SOP-8 package with thermal heatsink pad, up to 50 W of power can be delivered for general lighting, area lighting, high-power downlights, and security lighting.

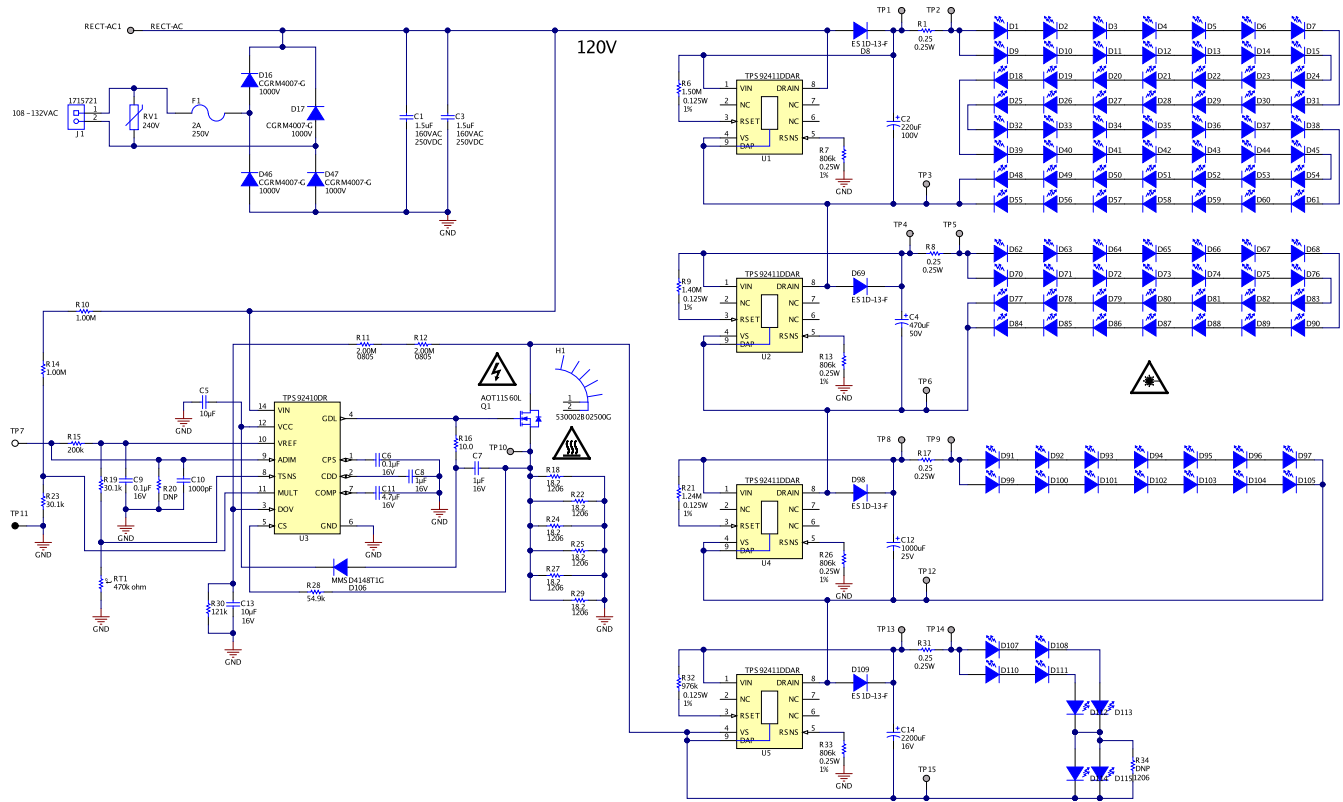
1.1 Key System Specifications

表 1. Key System Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
INPUT CHARACTERISTICS					
V_{IN} input voltage	—	85	120	135	V AC
OUTPUT CHARACTERISTICS					
1st LED stack	—	—	80	—	V
2nd LED stack	—	—	40	—	V
3rd LED stack	—	—	20	—	V
4th LED stack	—	—	11	—	V
Output power	—	—	50	60	W
Analog dimming range	$V_{ADIM} = 0 \text{ V to } 1.5 \text{ V}$	3	—	100	%
ADIM shutdown threshold	—	18	40	70	mV
SYSTEM CHARACTERISTICS					
Efficiency	$V_{IN} = 120\text{-V AC}$	—	86.5	—	%
EMI (conducted)	—	FCC Part 15 Class B			
BASE BOARD CHARACTERISTICS					
Form factor	—	6 in x 6.4 in (150 mm x 160 mm)			
Number of layers	—	2			
Height	Including heatsinks	4 in (100 mm)			

2 System Overview

2.1 Block Diagram



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

図 1. TIDA-01399 Schematic

2.2 Highlighted Products

2.2.1 TPS92410 and TPS92411

The TPS92410 is a high-voltage current regulator which is intended to work with multiple TPS92411 devices (see 図 1). The device is connected directly to rectified AC to generate its bias voltages and reference voltages. The device contains a multiplier for line regulation and creates a sinusoidal current reference for power factor correction (PFC). The device is capable of detecting a leading edge dimmer, latching into DC reference mode to satisfy TRIAC dimmer holding current. The TPS92410 also provides an interface for analog-dimming thermal foldback and MOSFET drain overvoltage protection.

The TPS92411 is a smart switch that is programmed for two set-points: when to open and allow current to an LED string and when to close to bypass an LED string (see 図 1). The switch slew rate is controlled to reduce conducted electromagnetic interference (EMI) and prevent the current regulator, TPS92410 circuit, to have enough headroom to operate. Multiple TPS92411s are used in a design where the number used depends on the desired efficiency and voltage step size during operation. Two TPS92411s give four switch states, three TPS92411s give eight switch states, and four TPS92411s give 16 switch states.

The TPS92410 device has an operational input range up to 450 V. The TPS92410 is available in a 13-pin high-voltage SOIC package.

TPS92410 features:

- Integrated high-voltage MOSFET
- Input voltage range 9.5 V to 450 V
- Multiplier for good PFC, line regulation, and low total harmonic distortion (THD)
- Compatible with phase dimmers
- Analog dimming input with LED turnoff
- Programmable overvoltage protection
- Precision 3-V reference
- Thermal foldback
- Thermal shutdown
- No inductor required
- 13-pin high-voltage SOIC package
- Integrated thermal protection

The TPS92411P has an operational range up to 94 V with overvoltage protection and the TPS92411 has an operational range to 100 V. The TPS92411 is available in a SOT23-5 package for lower-power applications or a thermally-enhanced PowerPAD™ SO-8 integrated circuit package.

TPS92411 features:

- Integrated 2- Ω MOSFET
- Input voltage range:
 - TPS92411Px: 7.5 V to 94 V
 - TPS92411x: 7.5 V to 100 V
- Controlled open and close slew rates for reduced conducted EMI
- Designed for use with TPS92410 or discrete current regulator
- Input undervoltage protection
- Output overvoltage and open string protection (TPS92411P)
- Low I_Q , 200 μ A
- Close threshold adjusts for variation in LED stack voltage

2.3 System Design Theory

This design utilizes the TPS92410 current regulating controller with four TPS92411DDA, high-power bypass switches (see the preceding [Figure 1](#)). The input voltage range is 85-V AC to 135-V AC, which is optimized for 120-V AC operation. The output power rating is just over 50 W at a 120-V AC input. The design is set up for non-isolated analog dimming using the ADIM pin on the TPS92410 with a 0-V to 1.5-V range for monotonic dimming down to 3% before shutting off. The four stacks consist of two parallel 28-series LED strings, two parallel 14-series LED strings, two parallel 7-series LED strings, and two parallel 4-series LED strings. The forward voltage of the LEDs in this design is approximately 2.85 V, which makes the stack voltages approximately 80 V, 40 V, 20 V, and 11 V for an overall voltage of approximately 151 V excluding four diode drops: D8, D69, D98, and D109.

2.3.1 Analog Adjust Input (ADIM) and Analog Dimming

The analog adjust pin (ADIM) adjusts the current reference for the TPS92410 device. Linear monotonic dimming is set by adjusting the ADIM pin from 0 V to 1.5 V. Shutdown occurs when the ADIM pin is pulled below 40 mV. The output power can be adjusted down to about 3% before shutdown occurs. Deeper dimming is possible using the TPS92410 TSNS pin.

2.3.2 Switching States

The TPS92410 regulates current from rectified AC (in phase with the voltage) to achieve PFC. The TPS92411 internal MOSFET bypasses an LED section when closed or allows current to flow to an LED section when open. This design uses four TPS92411s for a possible 16 switch states. The following [Table 2](#) shows the TPS92411 switch states as a function of input voltage if the LED stack voltages are 80 V, 40 V, 20 V, 11 V, and the TPS92411 headroom for switch closing is 3 V and the switch open headroom is approximately 5 V. Rising voltage headroom is set higher than falling voltage headroom for hysteresis between TPS92411 open and closed states (see [Table 2](#)).

表 2. TPS92411 Switch States Based on Rectified AC Voltage

RECTIFIED AC VOLTAGE (V) INPUT RISING	TPS92411 SWITCH STATE	DETAILS
0-16	0000	All TPS92411s bypassing, No LED sections receiving current
16-25	0001	11 V + 5-V headroom allows stack four to open
25-36	0010	20 V + 5-V headroom allows stack three to open; four must close
36-45	0011	—
45-56	0100	40 V + 5-V headroom allows stack two to open; three and four must close
56-65	0101	—
65-76	0110	
76-85	0111	
85-96	1000	80 V + 5-V headroom allows stack one to open; all others must close
96-105	1001	—
105-116	1010	
116-125	1011	
125-136	1100	
136-145	1101	
145-156	1110	
above 156	1111	
RECTIFIED AC VOLTAGE (V) INPUT FALLING	TPS92411 SWITCH STATE	DETAILS
above 154	1111	—
154-143	1110	
143-134	1101	
134-123	1100	
123-114	1011	
114-103	1010	
103-94	1001	
94-83	1000	
83-74	0111	
74-63	0110	
63-54	0101	
54-43	0100	
43-34	0011	
34-23	0010	
23-14	0001	
14-0	0000	All TPS92411s bypassed when 11 V + 3-V headroom threshold is crossed

2.3.3 Calculating Sense Resistor

The current sense resistors consisting of R18, R22, R24, R25, R27, and R29 in parallel are calculated by (式 1).

$$R_{CS} = \frac{V_{IN} \times 1.428}{P_{IN}} \quad (1)$$

Assuming 85% efficiency and 50-W output power, the resulting input power is around 59 W. This result gives R_{CS} a value of 2.9 Ω . Six resistors in parallel would require 17.4 Ω each. 18.2 Ω are the final adjusted values for the current sense resistors based on initial measurements.

2.3.4 Thermal Protection

TIDA-01399 utilizes the thermal foldback function of the TPS92410. A resistor and NTC thermistor divider are placed between the V_{REF} pin and GND of the TPS92410 device. The resistor is tied to V_{REF} . The NTC thermistor is tied to GND with the center of the divider connected to T_{SNS} . As the board heats, the resistance of the NTC thermistor drops eventually causing the divider to cross the 1.5-V T_{SNS} threshold and starting current foldback.

3 Testing and Results

3.1 Designing for Low EMI

3.1.1 EMI Performance

Figure 4 shows the conducted EMI scan for this design at a nominal 120-V AC input voltage, 60 Hz, room temperature, and 50-W output power. The blue trace is the peak scan and the line labeled "QP.LIN" denotes the peak limits for FCC Part 15 class B. The black trace is the average scan with the line labeled "A.LIN" denoting the average limits for FCC Part 15 class B. The scan covers the entire conducted frequency range of 150 kHz to 30 MHz. This image is a pre-compliance test scan used for engineering development and evaluation and is not a certified EMI test result. The end user is responsible for submitting any design based on this TI Design to a certified EMI lab if an official EMI test result is required. Quasi-peak measurements are shown for elevated peak measurements to show actual quasi-peak margin.

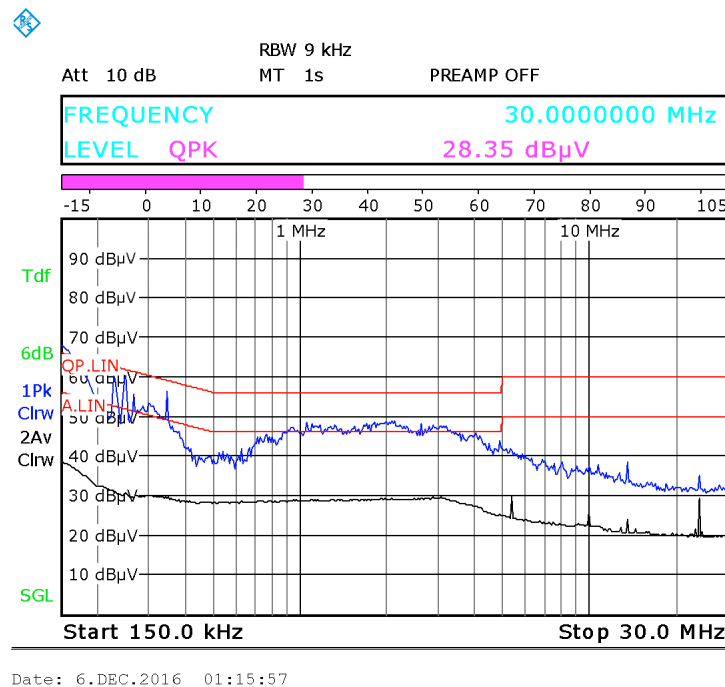


Figure 4. FCC Part 15 Class B Conducted EMI Scan (QP.LIN: Peak Limits, A.LIN: Average Limits)
 $V_{IN} = 120\text{-V AC}$, $P_{OUT} = 50\text{ W}$ (Pre-Compliance Data)

Table 3. Quasi-Peak Measurements of Peak Levels

FREQUENCY (kHz)	QP LEVEL (dB)
150	-4.22
226	-11.39
250	-9.65
266	-10.21
346	-19.54

3.1.2 EMI Filter Design

The input EMI filter consists of a capacitor across the rectified AC. This design uses two such capacitors, C1 and C3; however, a single capacitor of twice the value can be used to replace C1 and C3. Conducted EMI reduction is proportional to the increased value of C1 and C3. A slew control capacitor, C7, across the gate to source of the current regulating MOSFET, Q1, slows the response of the MOSFET drain.

3.2 Test Setup

Figure 5 shows the test setup used. The input voltage was supplied by an AC power source to J1. Four out of the ten digital multimeters (DMMs) shown in the following diagram switch between stacks one through four. Two DMMs were used to measure the input voltage and current and two were used to measure the channel stack voltage and current (through the voltage across the current sense resistors on the board R1, R8, R17, and R31). A power analyzer was used for PFC and THD measurements.

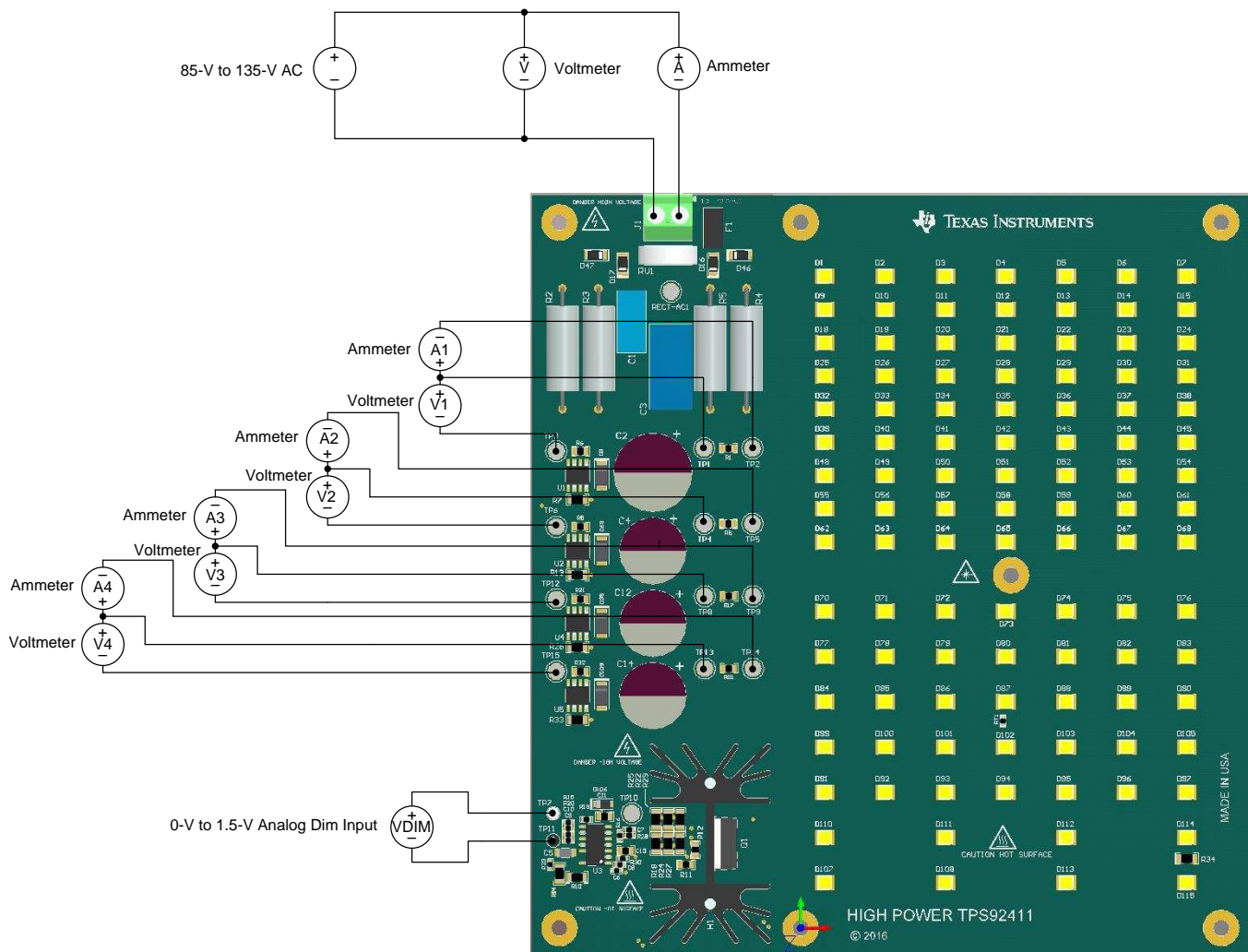


Figure 5. Test Setup Connections

3.3 Test Results

The test setup described in 図 5 was used to generate the following data for analog measurements. All graphs and oscilloscope shots were taken with an input of 120-V AC and 50-W output power unless analog dimming occurred.

3.3.1 Nominal Operation Waveforms

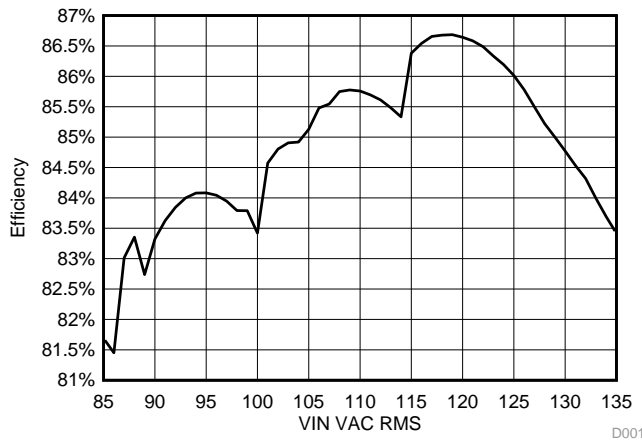


図 6. Efficiency versus Input Voltage

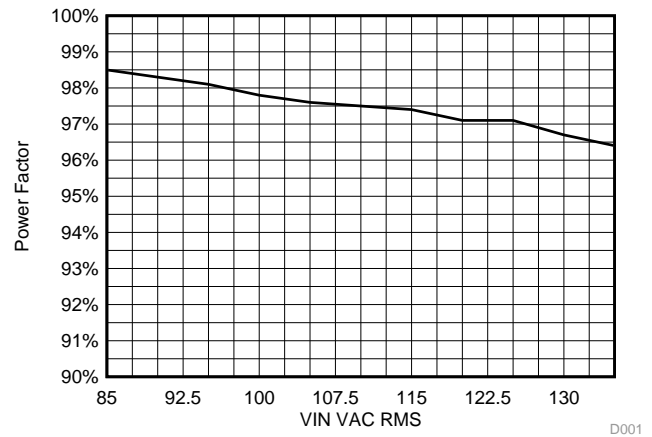


図 7. Power Factor versus Input Voltage

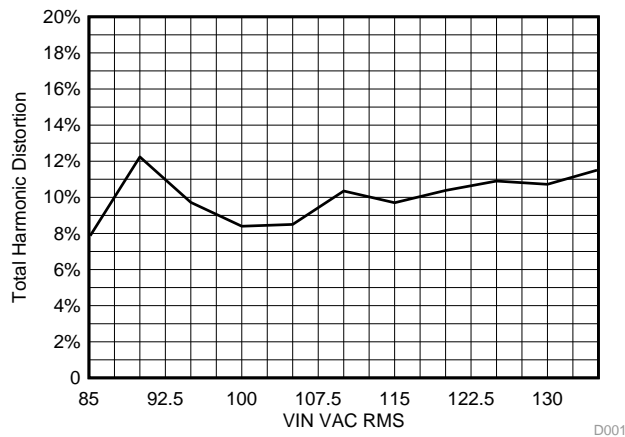


図 8. Total Harmonic Distortion versus Input Voltage

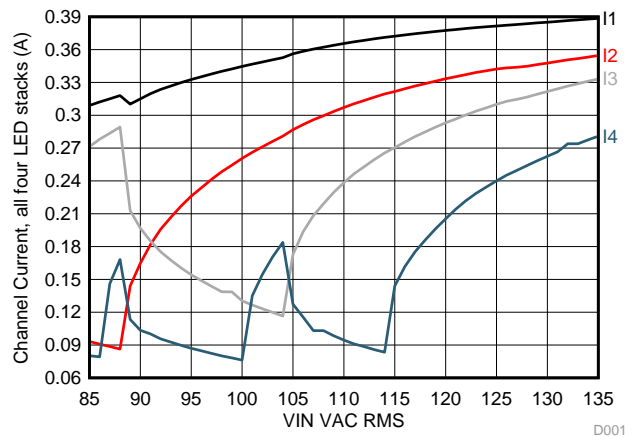


図 9. Stack Currents versus Input Voltage

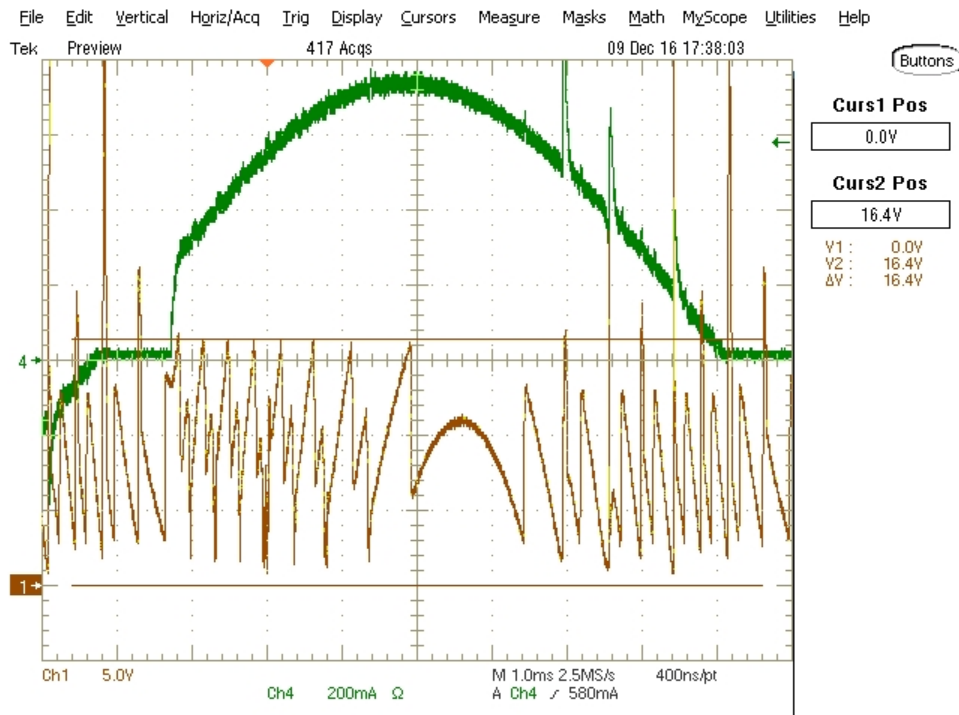


図 10. Current-Regulating MOSFET Drain Voltage, Q1, CH1, Input Current, CH4

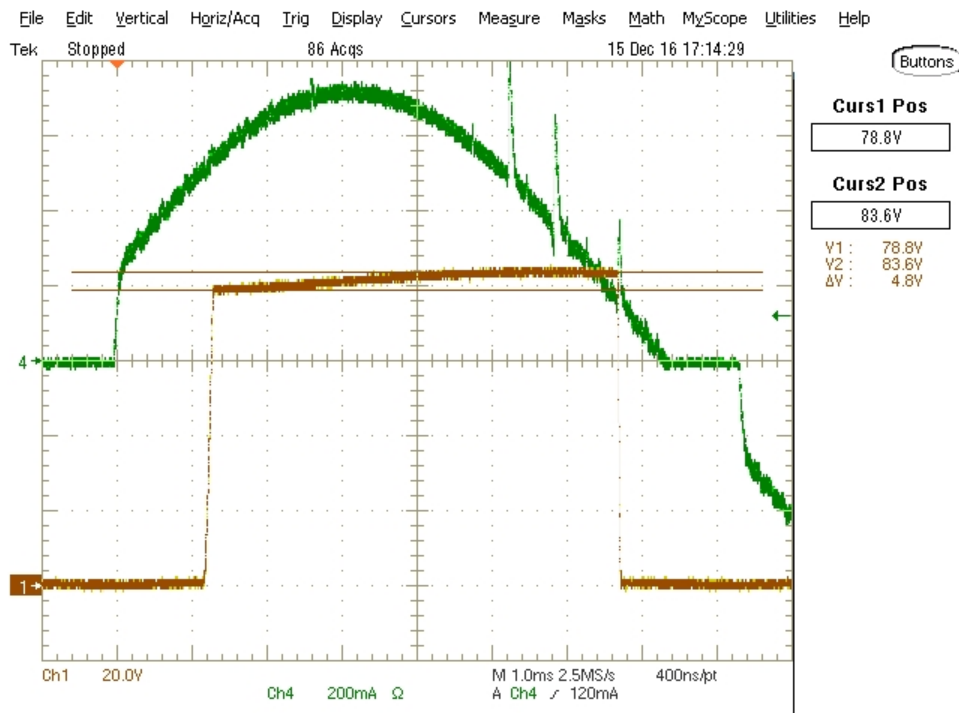


図 11. LED Stack One TPS92411 Drain Voltage, CH1, Input Current, CH4

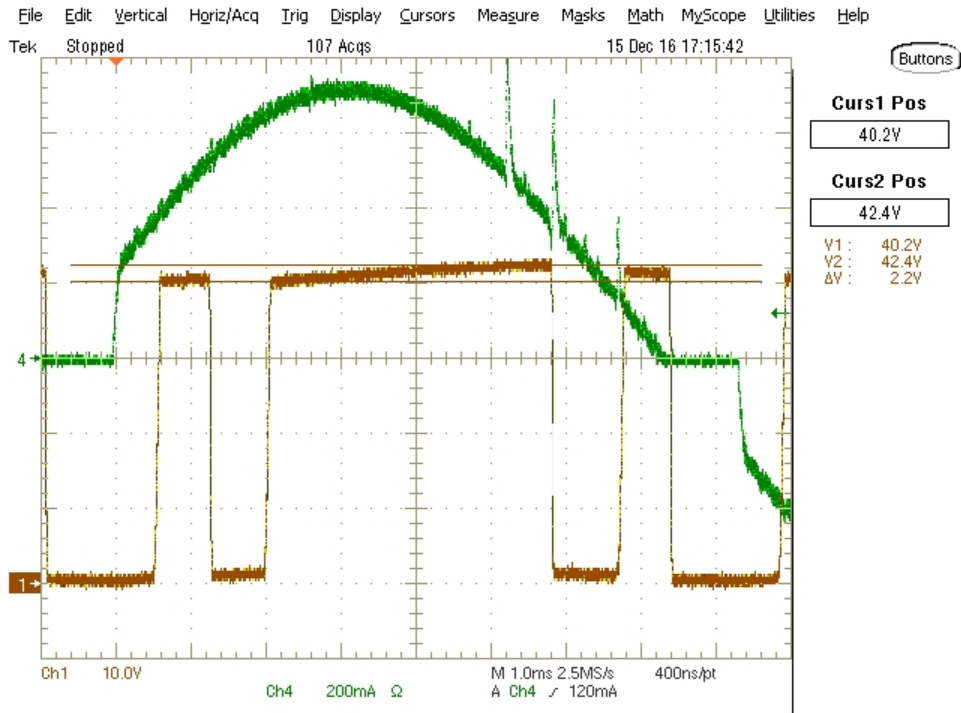


Figure 12. LED Stack Two TPS92411 Drain Voltage, CH1, Input Current, CH4

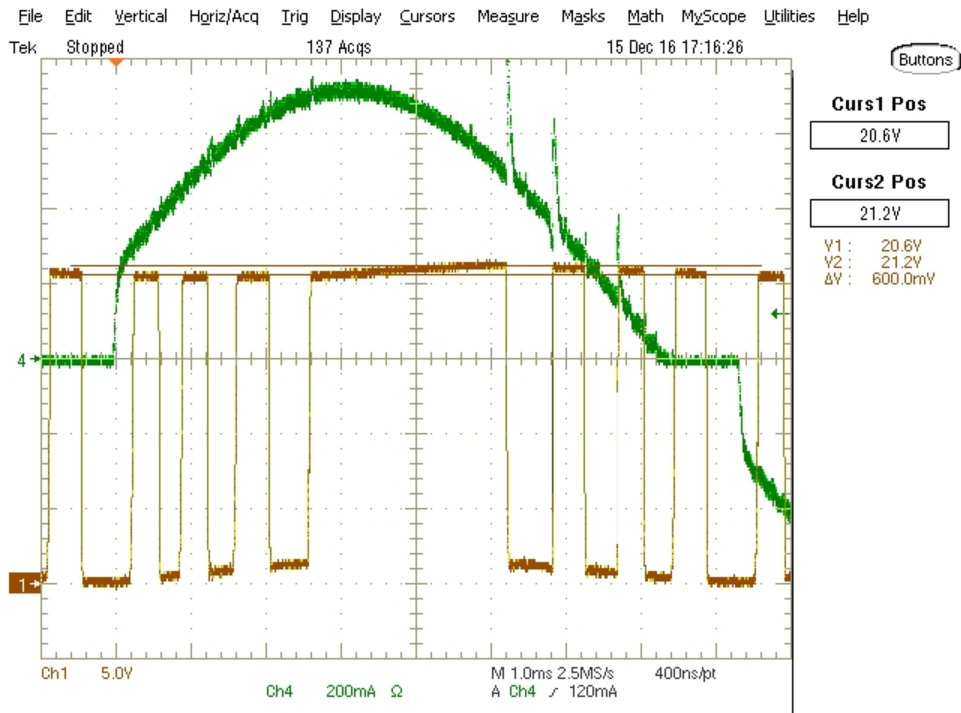


Figure 13. LED Stack Three TPS92411 Drain voltage, CH1, Input Current, CH4

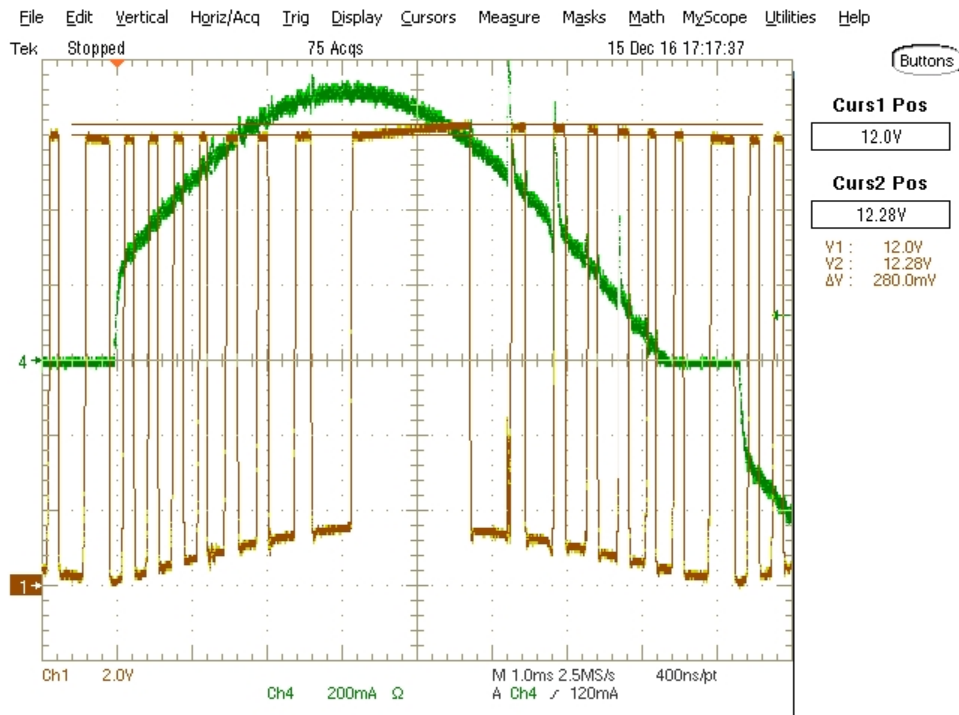


図 14. LED Stack Four TPS92411 Drain Voltage, CH1, Input current, CH4

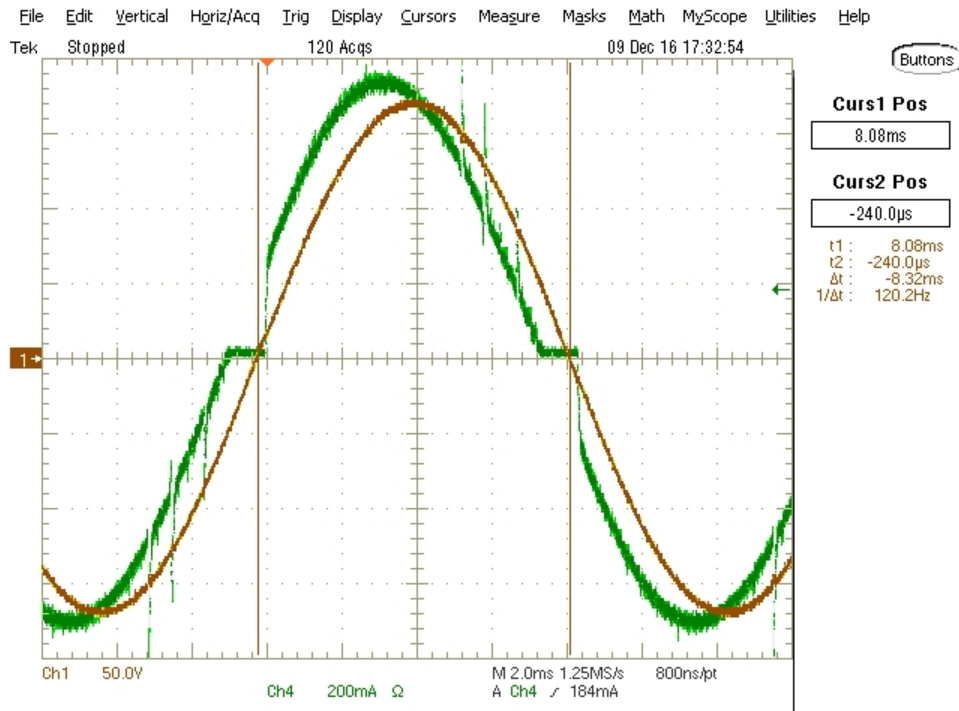
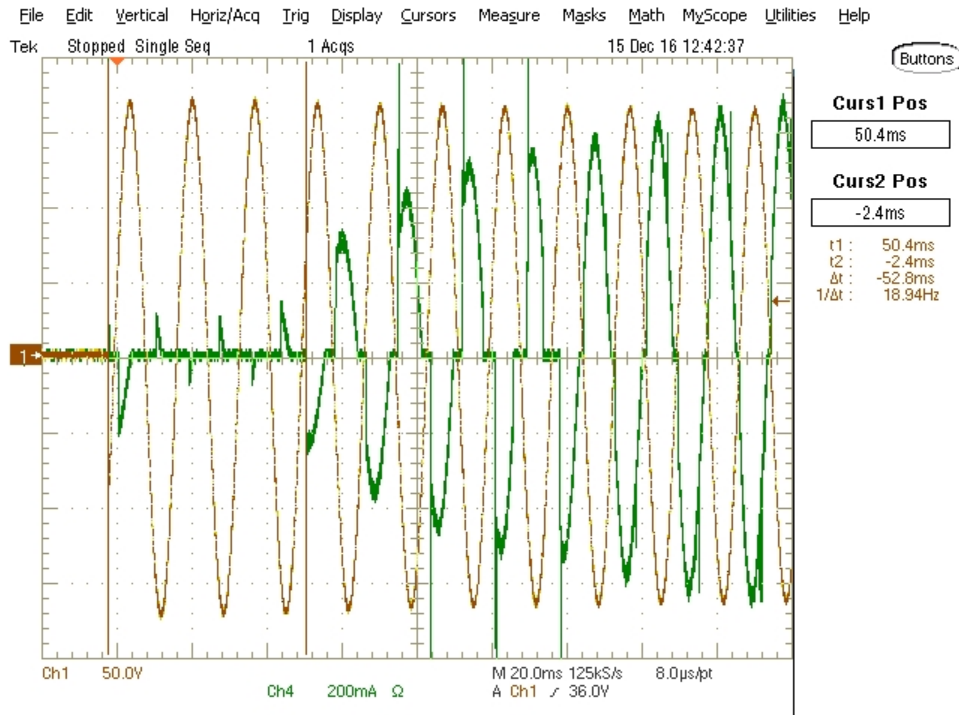
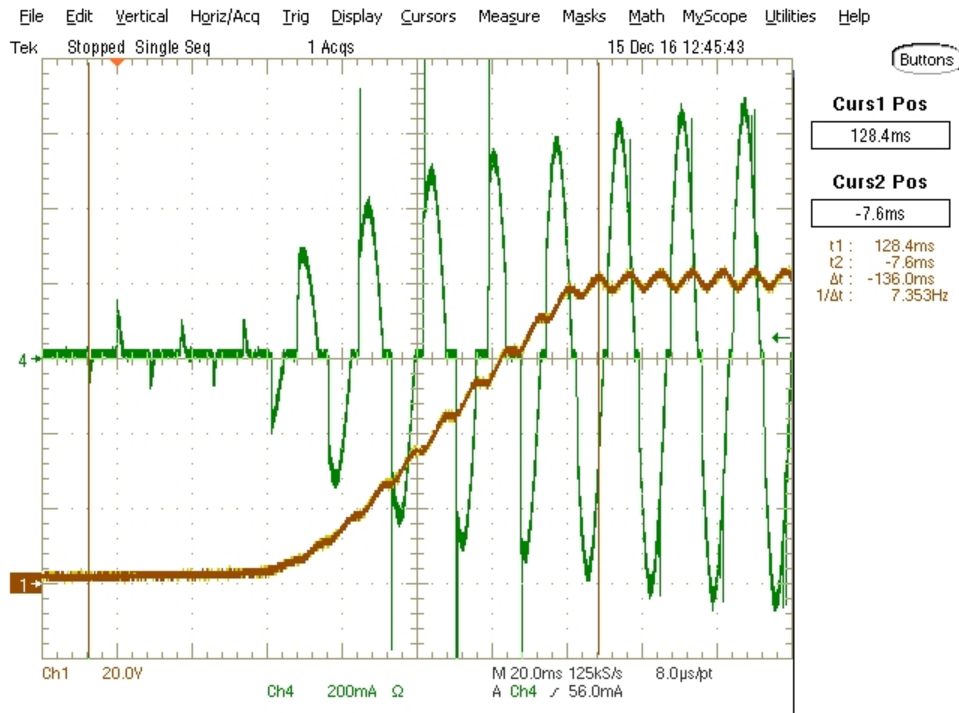


図 15. Input Voltage, CH1 and Input Current, CH4



☒ 16. Turnon Delay, Input Voltage, CH1, Input Current, CH4



☒ 17. Turnon Delay, Input Current, CH4, LED Stack One Voltage, CH1

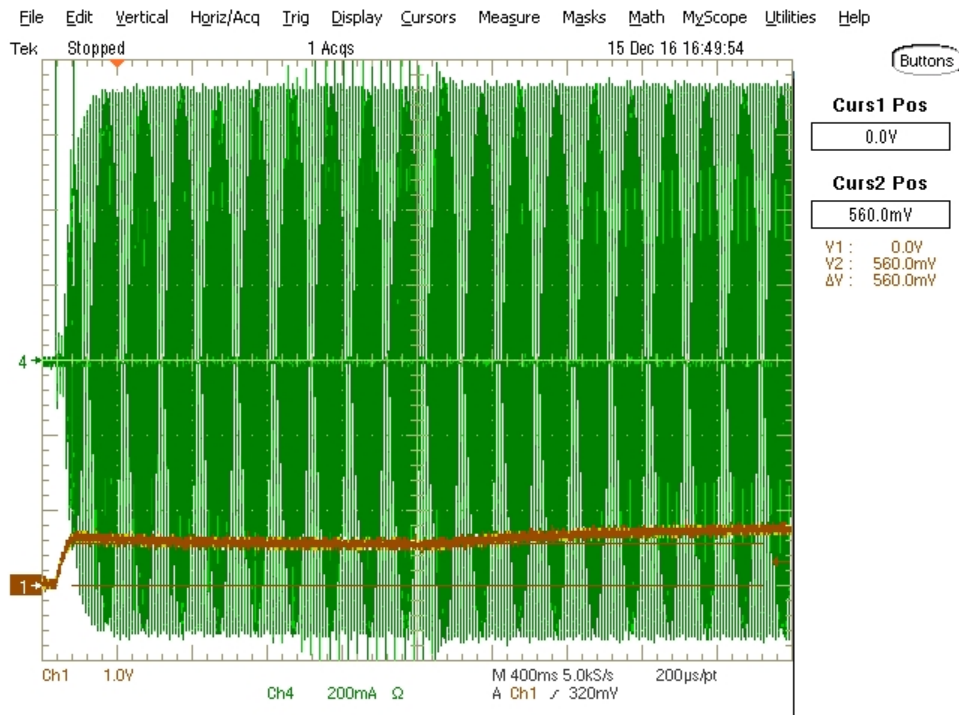


図 18. Overvoltage, CH1, Input Current, CH4, Normal Operation, 120-V AC to 135-V AC Step

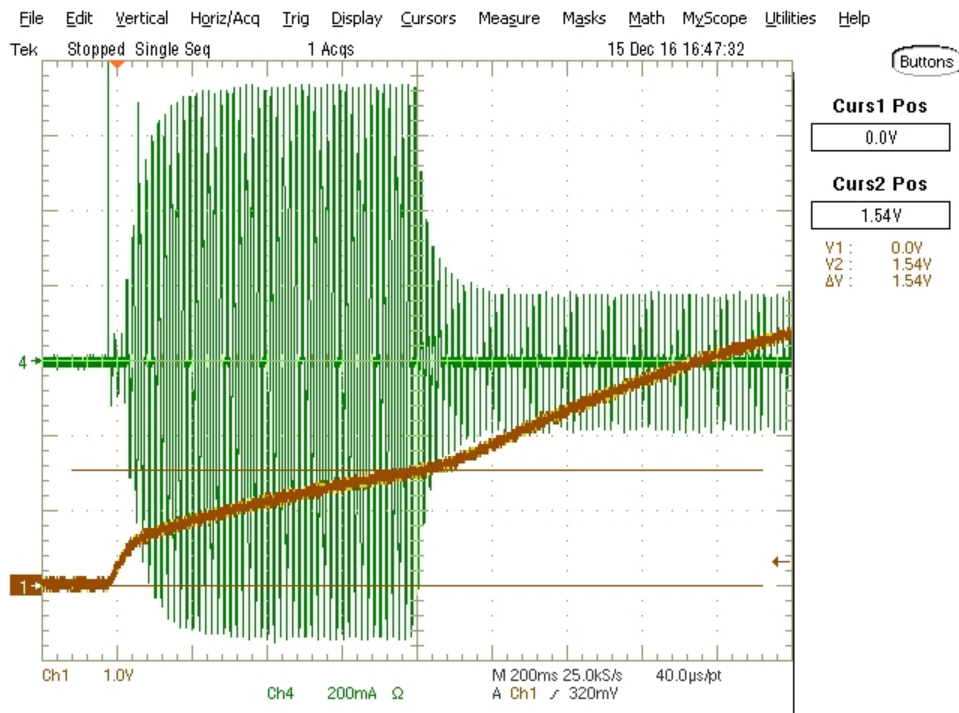


図 19. Overvoltage Protection, CH1, Input Current, CH4, LED Stack One Shorted, Power on to Foldback

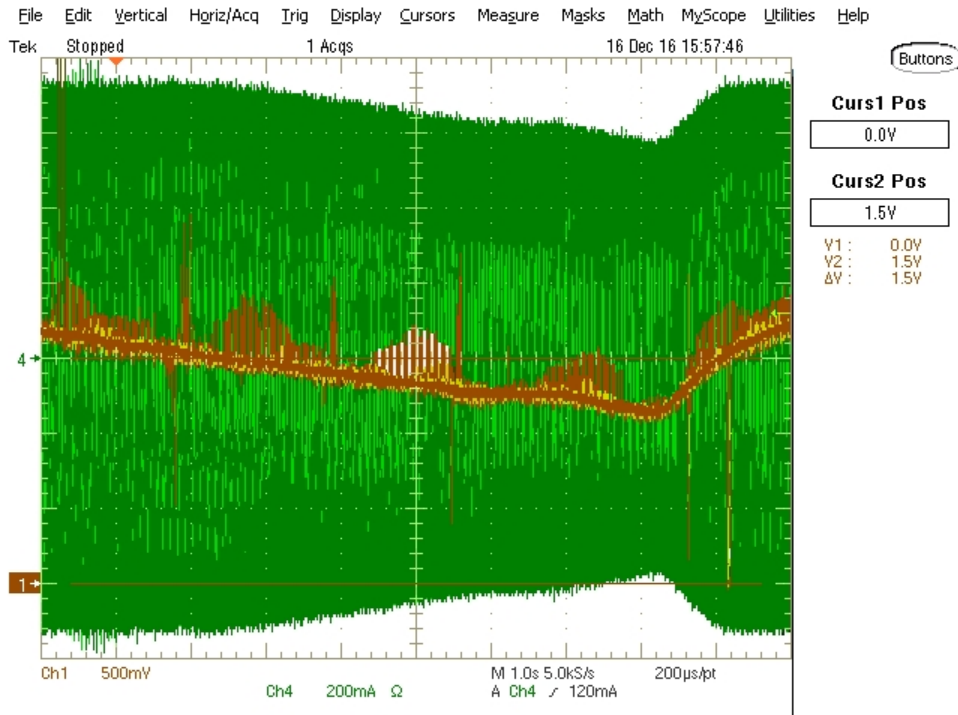


図 20. Thermal Foldback, CH1, Input Current, CH4, External Heat Source on NTC Thermistor

3.3.2 Analog Dimming

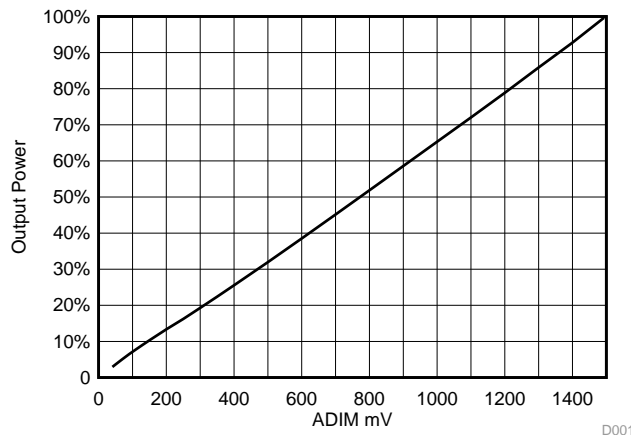


図 21. Output Power versus ADIM Voltage (3% to 100%)

3.3.3 LED Current Ripple

The following scope shots show the LED string current ripple for each of the four different strings.

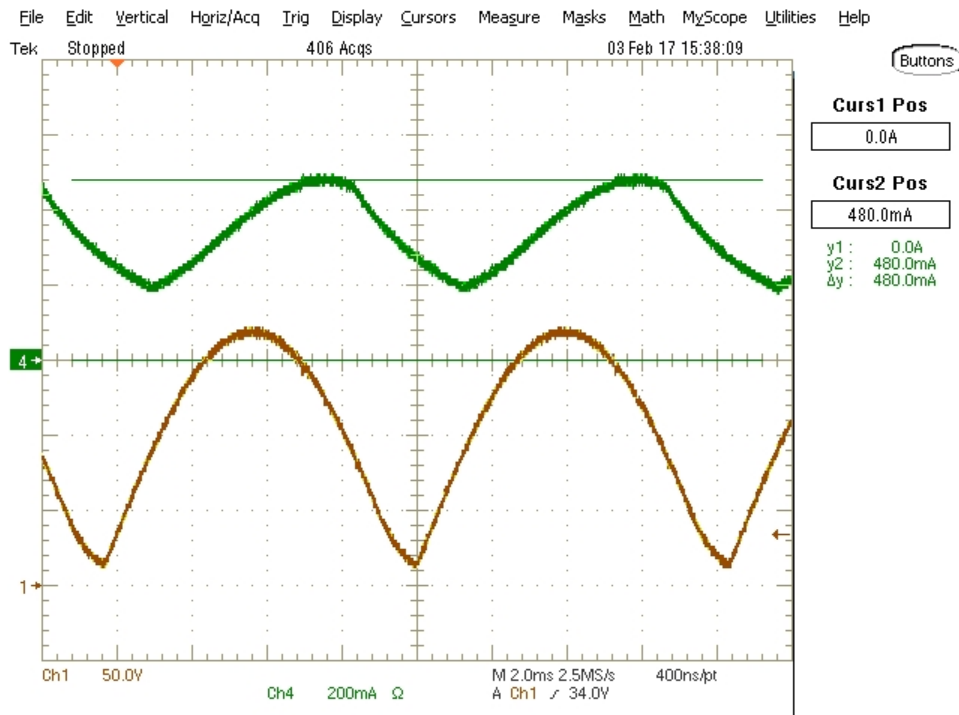


図 22. LED Stack One Current, CH4, Rectified AC, CH1

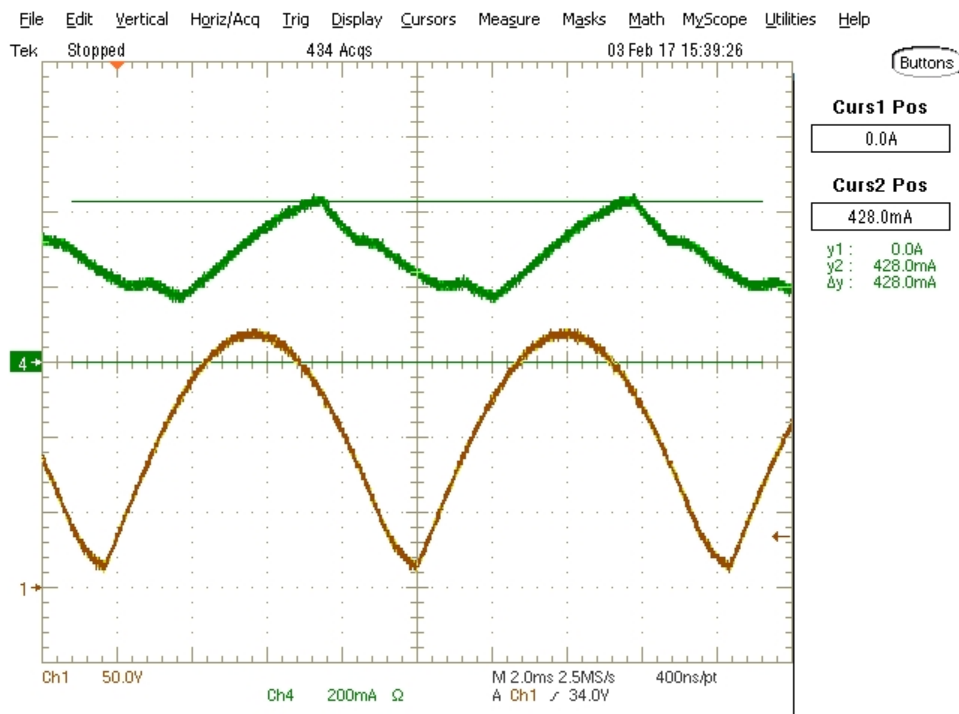


図 23. LED Stack Two Current, CH4, Rectified AC, CH1

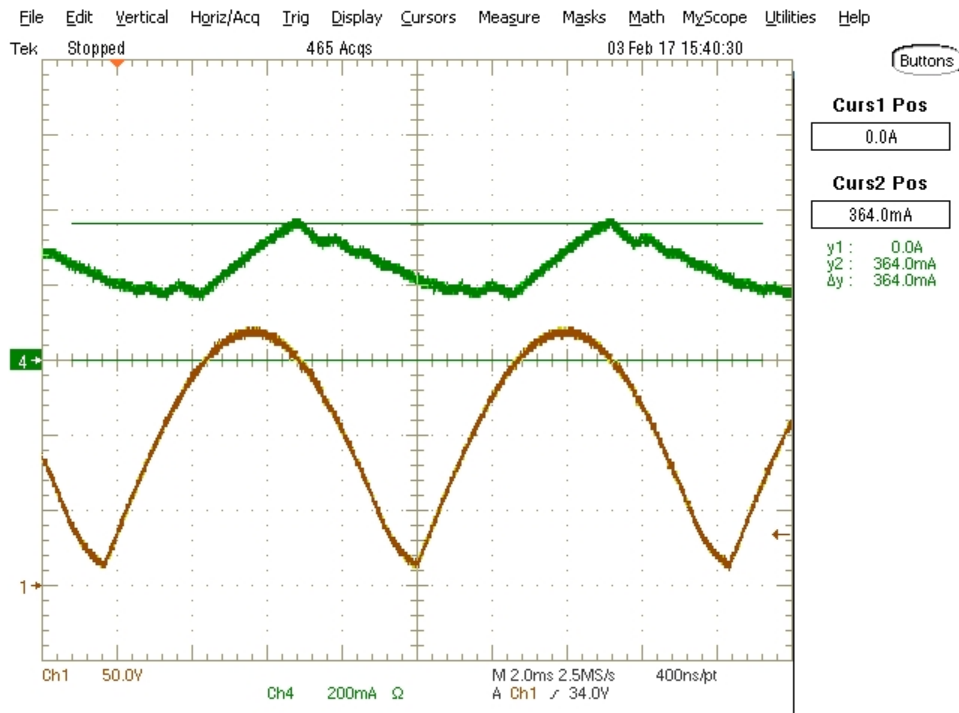


図 24. LED Stack Three Current, CH4, Rectified AC, CH1

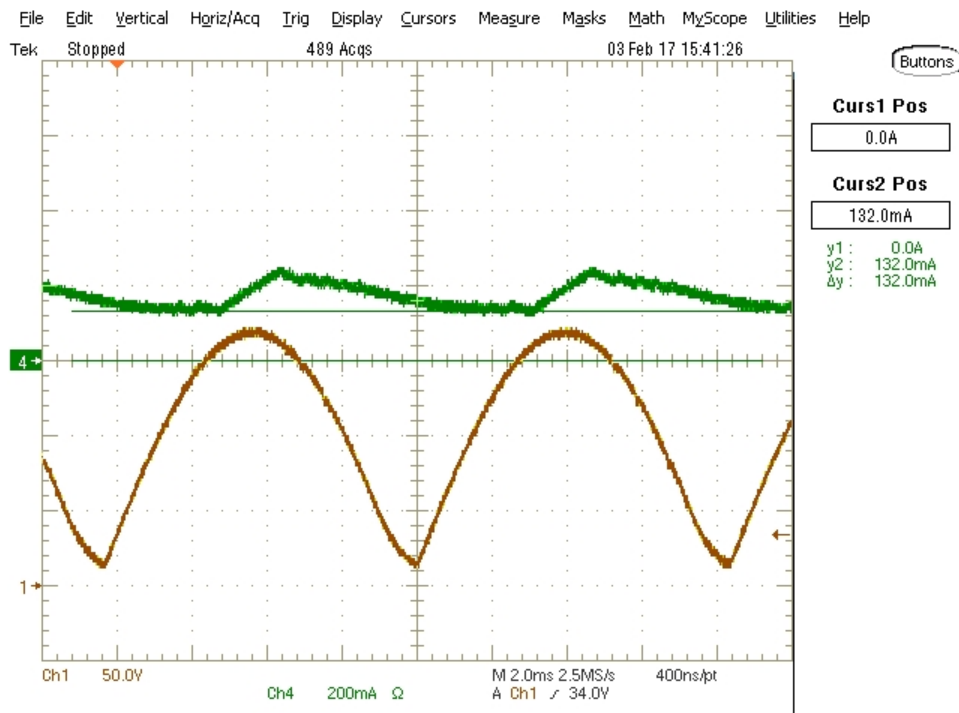
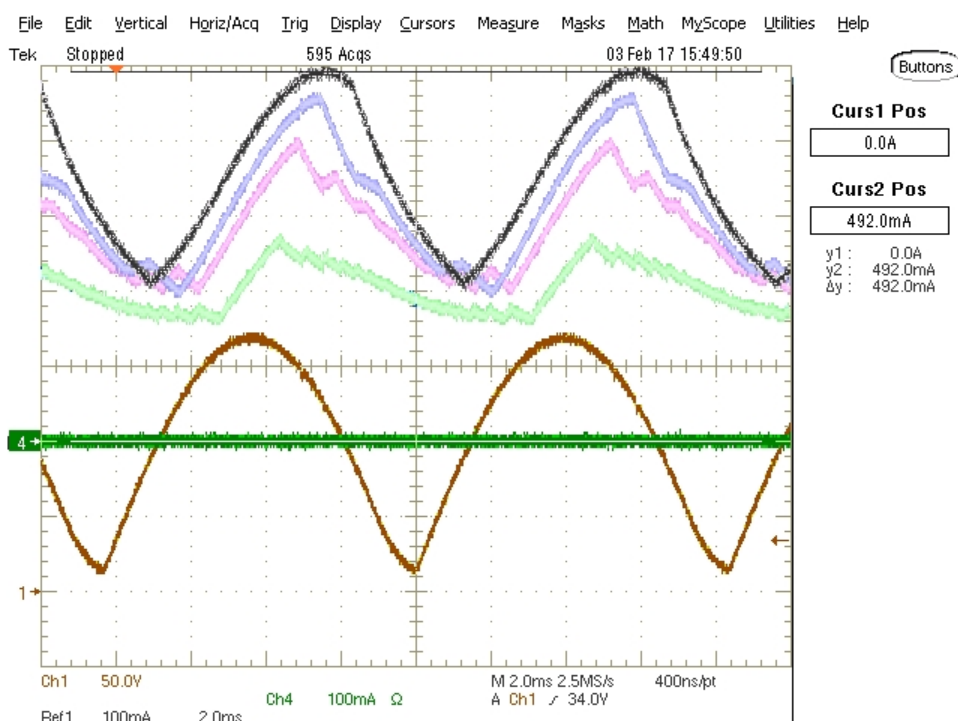


図 25. LED Stack Four Current, CH4, Rectified AC, CH1



☒ 26. Current All LED Stacks, Rectified AC, CH1

4 Design Files

4.1 Schematics

To download the schematics, see the design files at [TIDA-01399](#).

4.2 Bill of Materials

To download the bill of materials (BOM), see the design files at [TIDA-01399](#).

4.3 PCB Layout Recommendations

The performance of the switch-controlled, direct-drive linear controller can be influenced by layout as well as LED stack voltages. The copper area on the TPS92411 RSNS and RSET pins must be minimized to reduce capacitive coupling (metal core boards are more sensitive to this). The RSNS and RSET resistors should be placed close to the RSNS and RSET pins. Multiple switching events may occur if excess copper area exists on these connections. The sum of any of the LED stacks should not equal another stack. For instance, a fourth stack of 15 V, a third stack of 30 V, and a second stack of 45 V results in two TPS92411s tripping near the same point on the rectified AC ($15\text{ V} + 30\text{ V} = 45\text{ V}$). Tolerances and V_f changes with temperature can cause the switching order to change during operation. [Figure 27](#) shows a generic layout.

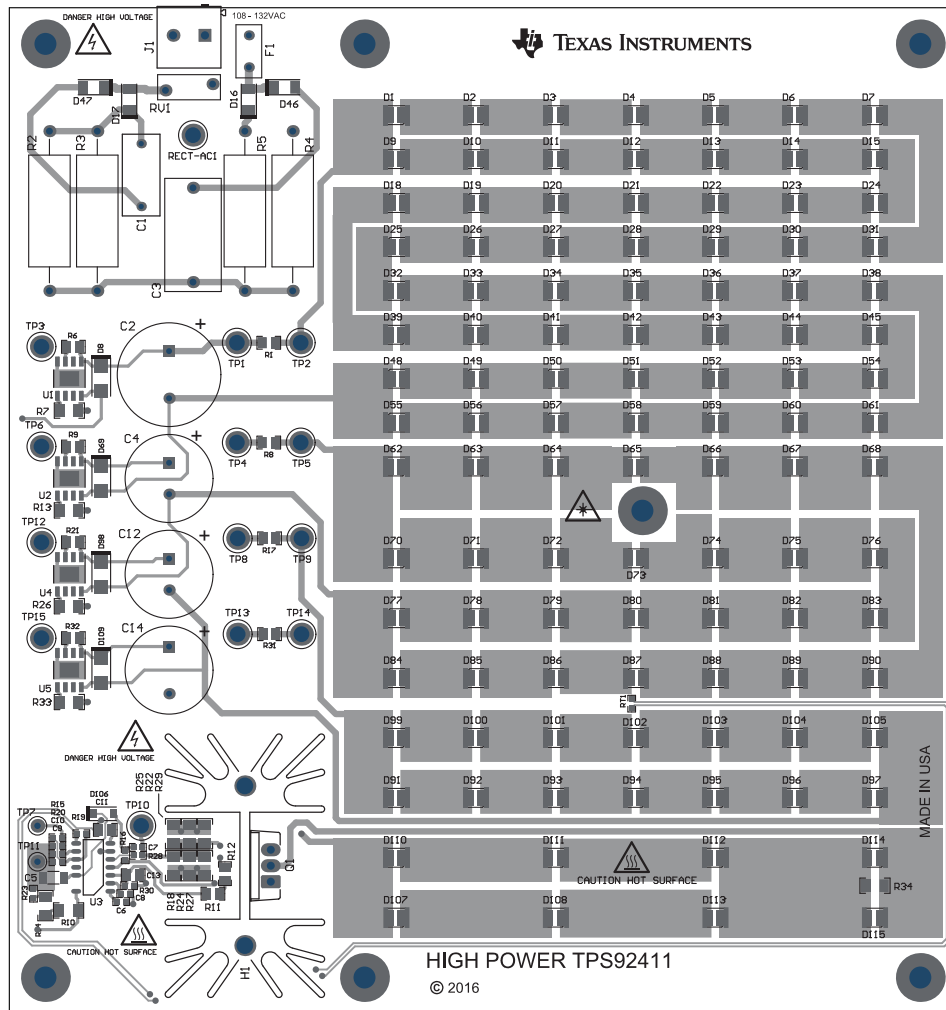


図 27. PCB Layout

Three components on this design determine conducted EMI levels (C1, C3, and C7):

- C1 and C3 can be combined into one capacitor and should be film type. C7 is a low-voltage ceramic.
 - A change in power level is proportional to the value of C1 and C3 combined. Halving the power of the design allows the reduction of C1 and C3 to be one half of their values or by removing one of the two capacitors.
 - The C7 value does not change in proportion to the power level, it limits the slew rate of the current-regulating MOSFET, Q1.

4.4 Thermal Scans

図 28 shows a thermal scan of the board running at a room temperature ($\approx 25^{\circ}\text{C}$) with no airflow. 表 4 and 表 5 show and list the measured temperatures of key components.

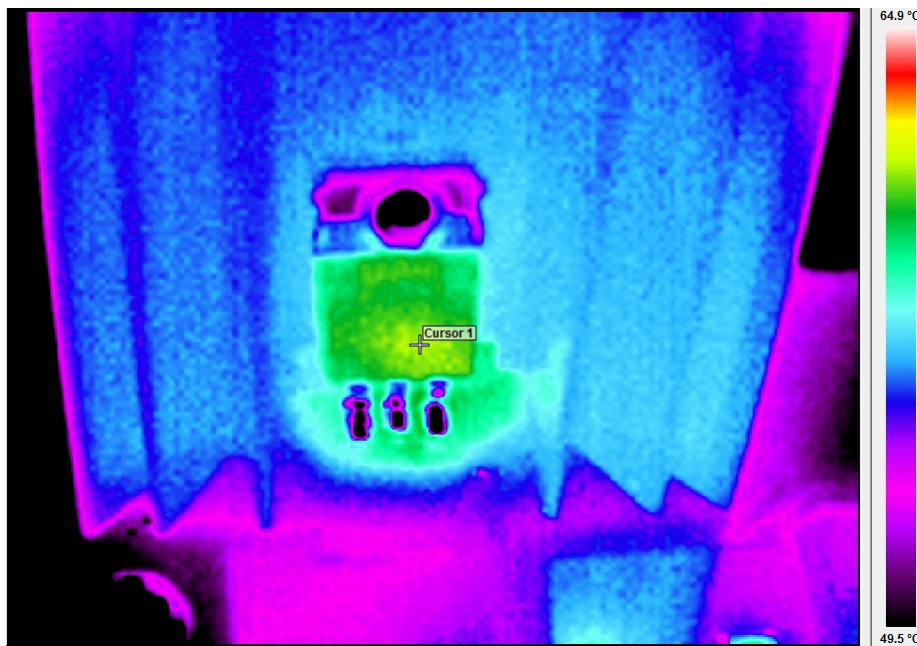


図 28. Thermal Scan—Linear Regulator FET, Q1: $V_{IN} = 120\text{-V AC}$, Full Power

表 4. Component Temperatures

CURSOR	COMPONENT	TEMPERATURE ($^{\circ}\text{C}$)
1	Q1	61.3

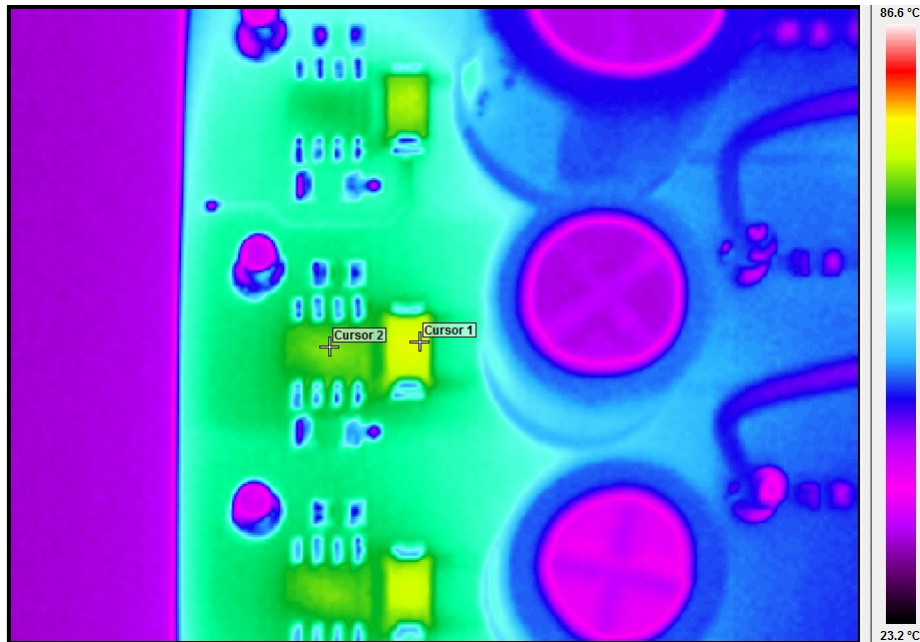


図 29. Thermal Scan—TPS92411 and Blocking Diode: $V_{IN} = 120\text{-V AC}$, Full Power

表 5. Component Temperatures

CURSOR	COMPONENT	TEMPERATURE (°C)
1	D69	73.3
2	U2	70.3

4.5 Layout Prints

To download the layer plots, see the design files at [TIDA-01399](#).

4.6 Altium Project

To download the Altium project files, see the design files at [TIDA-01399](#).

4.7 Gerber Files

To download the Gerber files, see the design files at [TIDA-01399](#).

4.8 Assembly Drawings

To download the assembly drawings, see the design files at [TIDA-01399](#).

5 Related Documentation

1. Texas Instruments, [Switch-Controlled, Direct Drive, Linear Controller for Offline LED Drivers](#), TPS92410 Data Sheet (SLUSBW9)
2. Texas Instruments, [Floating Switch for Offline AC Linear Direct Drive of LEDs with Low Ripple Current](#), TPS92411 Data Sheet (SLUSBQ6)

5.1 商標

PowerPAD is a trademark 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。

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。

2017年7月発行のものから更新

Page

-
- Updated [図 21](#) with correct x-axis label 17
-

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。