

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

Circuits from the Lab® 参考设计是经过测试的参考设计，有助于加速设计，同时简化系统集成，帮助并解决当今模拟、混合信号和RF设计挑战。如需更多信息和/or技术支持，请访问 www.analog.com/CN/CN0509。

连接/参考器件

LTC7103	105 V、2.3 A低EMI同步降压稳压器
LT8302	集成65 V/3.6 A开关的42 V _{IN} 微功耗非光学隔离反激式转换器

宽输入电压范围、双通道USB端口充电器

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0509电路评估板\(EVAL-CN0509-EBZ\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

在自然灾害或长时间停电等紧急情况下，找到电源来给手机或其他USB通信设备充电可能很困难。使用交流电源工作的充电器无处不在，但当电网不可用，并且最后的USB电池备用充电器系统电源耗尽时，还有什么其他方法可以为关键的USB供电设备充电？

图1所示的电路是一种宽输入电压范围USB设备充电器，可提供2 A、5 V输出，支持广泛的直流电源，包括太阳能电池板、充满电或用完一半的汽车电池、-48 V电信备用电池、

随机堆叠的碱性电池、被改造成发电机的电动机以及风力涡轮机。CN-0509包括两个USB充电端口，可提供2 A、5 V输出。一个端口含有专用充电端口(DCP)控制器，可以让大多数制造商的设备实现快速充电模式。

此电路接受5 V至100 V的任何直流电压，并通过标准USB A型连接器产生隔离式5 V电源。由于许多手机和其他便携式电子设备的外壳常常电气连接到USB地，因此电源与接地的关系未知，在这种情况下，隔离可以防止发生故障。

图1所示电路对反向电压状况也有保护措施。临时电源的极性可能未知，当反向连接到直流电源时，该电路不会受损。此设计包含发光二极管(LED)，用以指示电压源是否正确连接或是否必须交换极性。

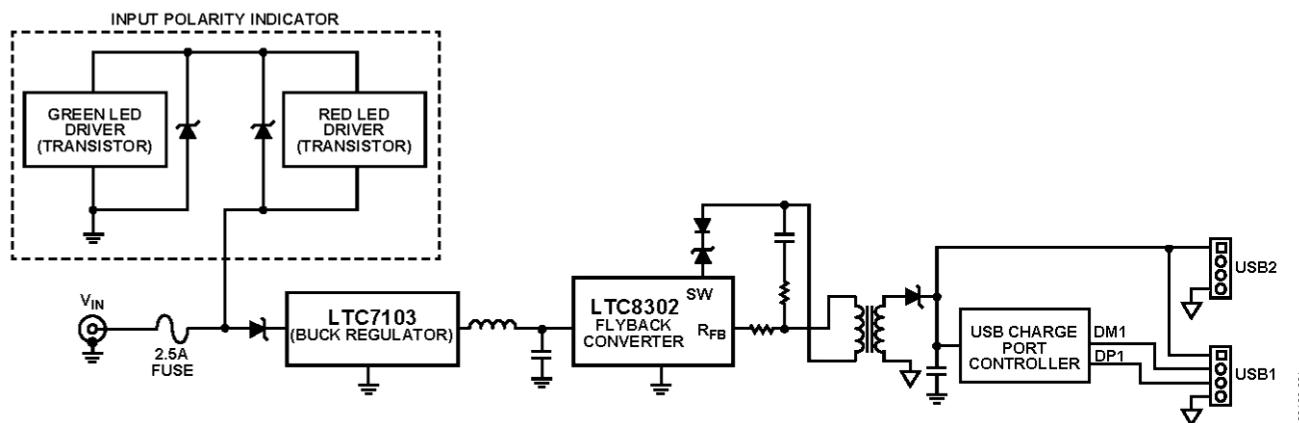


图1. CN0509宽范围隔离式设备充电器简化示意图

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

电路描述

CN-0509可将5 V至100V的各种直流电源转换为5 V、2 A稳压电源，进而通过双通道USB A型插座为USB充电设备充电。

有两个输出端口可供使用，一个让USB D+和D-信号保持开路，用于一般充电；另一个含有USB DCP控制器，使大多数制造商的设备能够实现高电流充电模式。两个端口可以同时使用。但是，最大总负载电流为2 A。

该设计使用高效率、降压DC-DC转换器（[LTC7103](#)，支持直通操作）与隔离型反激式转换器([LT8302](#))的组合。这种配置既有降压转换器的高功效比和宽工作范围特性，又有反激式转换器的隔离和出色的稳压性能。

输入电压保护和LED驱动器

CN-0509电源输入级如图2所示。高压肖特基二极管和保险丝保护电路免受反向电源连接和过流状况的影响。

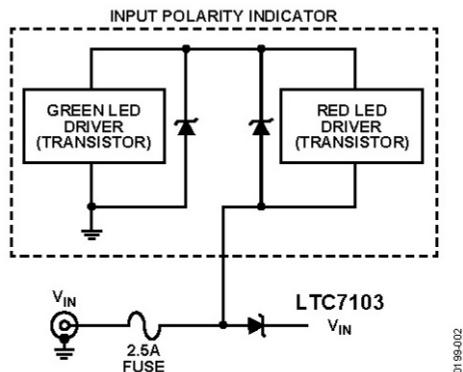


图2. 输入电压保护电路

两个LED指示输入电源，绿光表示极性正确，红光表示反向连接。如果出现红光LED，则必须将输入连接反向才能使电路工作。虽然可以使用桥式整流器来支持以任一极性工作，但额外的400 mV压降会提高最小工作电压，当从较低电压源（例如太阳能电池板或碱性电池单元）充电时，这可能是一个问题。

在电路的整个工作范围内，一个有源恒流驱动器电路维持LED电流，使其亮度变化极小。两个电路串联连接，但极性相反（参见图3）。

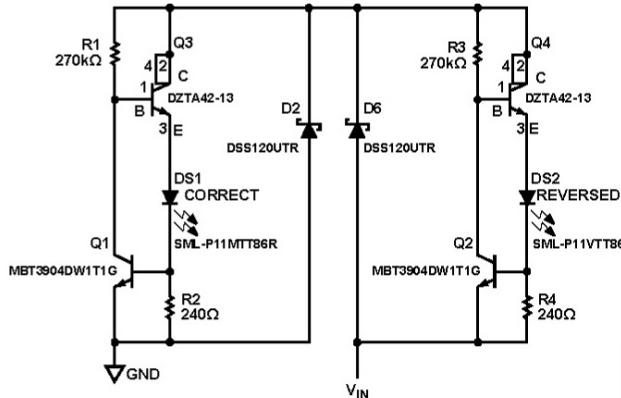


图3. 极性指示

施加电源时，电流流过R1，进而接通晶体管Q3。电流然后流过Q3的发射极、LED和R2。随着通过R2的电流增大，R2两端的电压也增大。一旦R2上的压降达到晶体管Q1的基极到发射极电压（ V_{BE} ，约为0.7 V），Q1便导通。由此导致的流过R1的电流降低Q1的基极驱动，从而有效限制LED的电流。在11 V至100 V的电压范围，此反馈环路将绿光LED和红光LED的电流分别维持在大约2.41 mA和2.432 mA。

LTC7103降压转换器

电源输入电路之后是LTC7103同步降压转换器。相比于电流能力类似的线性稳压器，降压转换器或降压型开关模式电源可在在一个小型封装中有效地降低直流电压，功耗很低，功率密度则很高。

直流输入先经由总计4.8 μ F的电容滤波和旁路，再进入降压转换器的输入端。LTC7103随后将12 V至105 V的宽输入电压有效地降低到12 V的稳压输出电压(V_{OUT})，同时以300 kHz开关频率(f_{SW})提供高达2.3 A的输出电流。

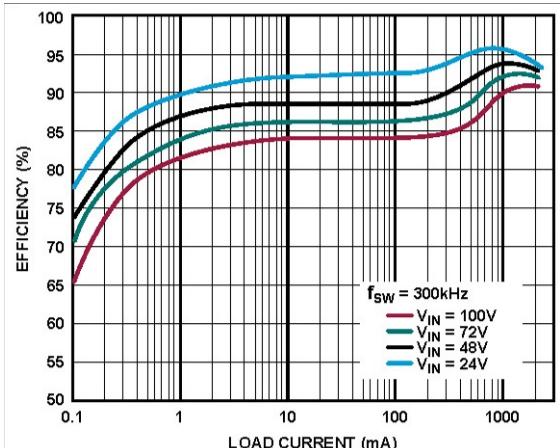


图4. 12 V V_{OUT} 和不同输入电压条件下的效率

LTC7103有一个可选的精密内部反馈分压器，因而无需外部精密电阻。 V_{PRG1} 和 V_{PRG2} 引脚的数字状态将输出电压设置为1.0 V到15 V之间的九个固定选项中的一个。注意，CN-0509将 V_{PRG1} 引脚绑定到 $INTV_{CC}$ 引脚，并让 V_{PRG2} 引脚保持开路，从而将输出设置为12 V。

当输入电压在4.4 V和12 V之间时，CN-0509利用LTC7103的特性以直通模式工作（参见图5）。LTC7103之后的隔离式反激级针对12 V进行了优化，但在低至5 V的电压也能以降低的输出电流能力工作。直通操作允许电路尽可能长时间地继续工作，哪怕应急电源的电压开始下降也无妨。

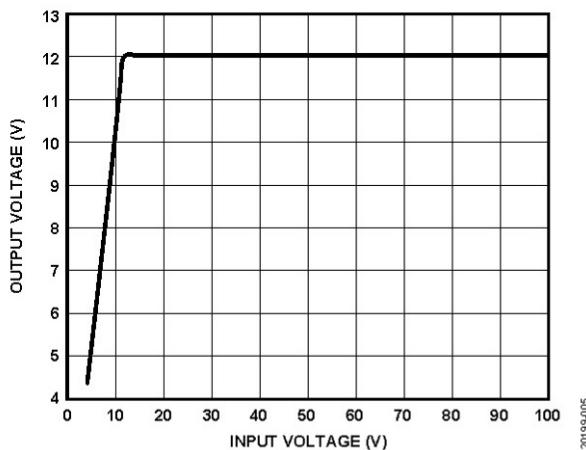


图5. $4.4 \text{ V} < V_{IN} < 12 \text{ V}$ 的直通操作

LTC7103的架构提供了对短路状况的固有防护，无需折回输出电流或振荡器频率。这种保护之所以可能，是因为脉冲宽度调制(PWM)比较器持续接收来自平均电流放大器的电感电流信息。这导致在短路状况下自动以周期跳跃方式工作，否则如果顶部开关的最短导通时间过长，将无法在最高开关频率下保持对电感电流的控制。典型限流操作如图6所示。

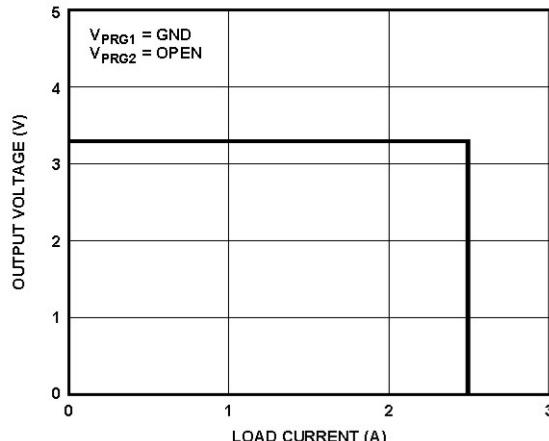


图6. LTC7103典型限流操作

LT8302反激式转换器

降压级之后是微功耗非光学隔离型反激式转换器LT8302。LT8302通过对初级侧反射波形进行采样来间接检测输出电压，从而保持调节，而无需光耦合器或在耦合电感上使用第三检测绕组。

在这种应用中，隔离是必不可少的，因为临时电源的极性和接地连接可能不清楚，或者对于充电应用设计本来就是不正确的。 -48 V 电信电源是一个常见例子（参见图7）。

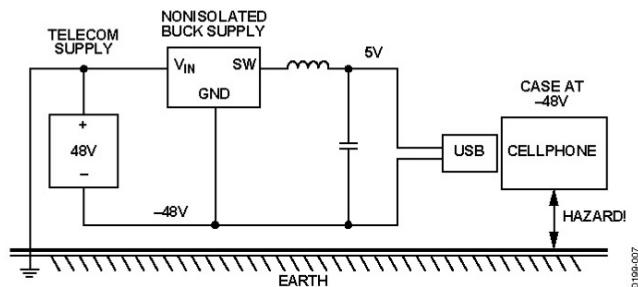


图7. 接地故障状况

电信电源相对于接地是负值，目的是防止电线发生电化腐蚀。因此，基于非隔离型降压转换器的充电器将手机外壳连接到 -48 V 时，如果外壳与接地物体接触，就会造成危险。太阳能电池板或发电机接线不正确时，也会发生类似情况。

除了提供隔离之外，LT8302进一步将降压转换器的12 V输出降低到5 V。V_{OUT}使用两个外部电阻和第三个可选的温度补偿电阻编程，如下所示：

$$R_{FB} = \frac{R_{REF} \times N_{PS} \times (V_{OUT} + V_F(T_0))}{V_{REF}}$$

其中：

R_{FB}为LT8302反馈电阻。

R_{REF}为LT8302基准电阻。

N_{PS}为变压器有效初级/次级匝数比。

V_{OUT}为输出电压。

V_{F(T0)}为25°C时的输出二极管正向电压 = ~0.3 V。

V_{REF}为LT8302内部基准电压。

图8显示了在5 V V_{OUT}时，各种输入电压下常见绕组比值的典型最大输出功率。CN-0509变压器具有3:1的匝数比，最大V_{OUT}约为10 W。

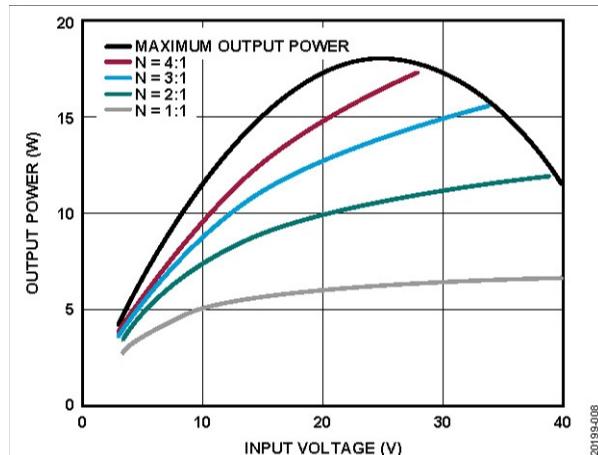


图8. 5 V V_{OUT}时的典型最大输出功率

高达2 A的快速充电

USB已成为设备充电的实际标准，典型充电器可提供的电流已超过500 mA USB 2.0规范。充电器必须在USB数据线上提供特殊的电压签名，以便让设备识别自身，并确定它可以从电源获得的最大充电电流，这可以高于500 mA的最低标准。

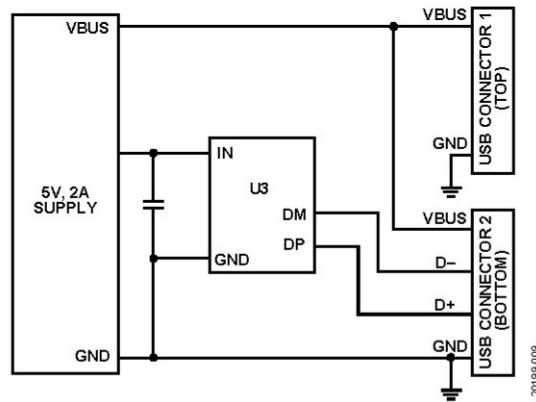


图9. USB专用充电端口控制器

U3是一个DCP控制器，监视USB数据线电压(D+和D-)，并提供签名以支持几家常见设备制造商的快速充电模式(参见图9)。虽然两个端口可以同时使用(最大总负载电流为2 A)，但当使用DCP端口时，建议断开另一个端口。

请注意，USB线缆的质量参差不齐。较长的小规格电缆可能导致负载处的电压大幅下降。

系统性能

对于12 V到100 V之间的任何输入电压，CN-0509几乎保持恒定操作，这是因为隔离转换器的输入处于恒定的12 V。较低输入电压会降低可用充电电流，如图10所示。

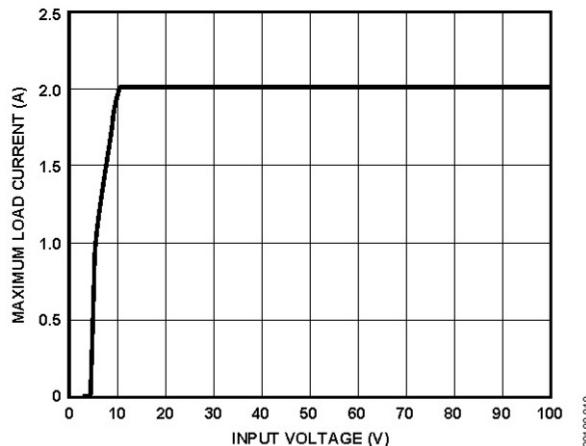


图10. 最大负载电流与输入电压的关系

反向输入耐压范围

CN-0509能够耐受高达100 V的反向输入连接。图11显示CN-0509的反向输入与LTC7103 V_{IN} 的关系。

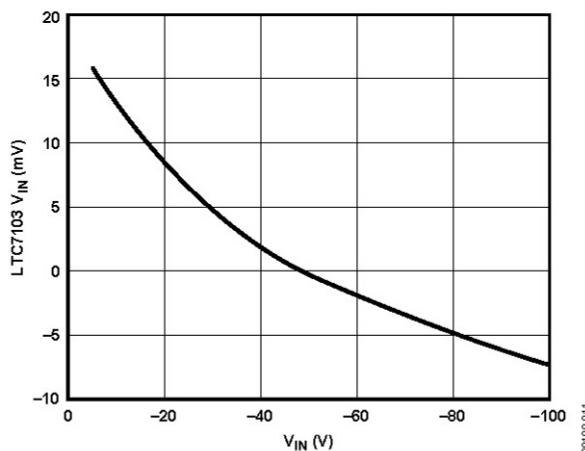


图11. LTC7103 V_{IN} 与 V_{IN} 的关系

负载调整率

图12显示，在12 V以上的输入电压，由于负载电流从0.1 A增加到2 A，CN-0509的负载调整幅度在65 mV内，相应的输出电阻约为32.3 mΩ。

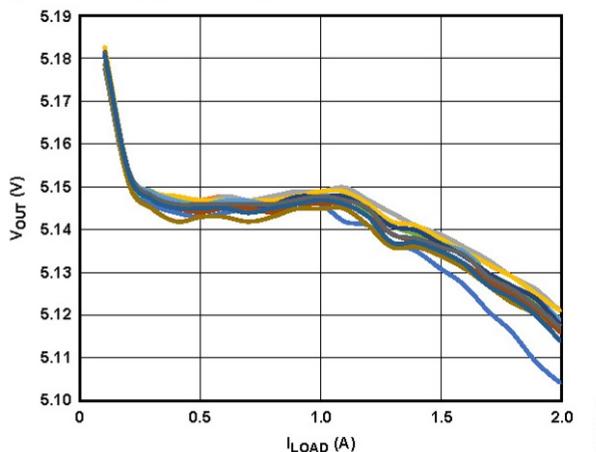


图12. V_{OUT} 与负载电流(I_{LOAD})的关系

负载连接瞬变

图13和图14分别显示了手机（电话A）和USB移动电源（移动电源B）的电流和USB数据线的CN-0509导通瞬态曲线。

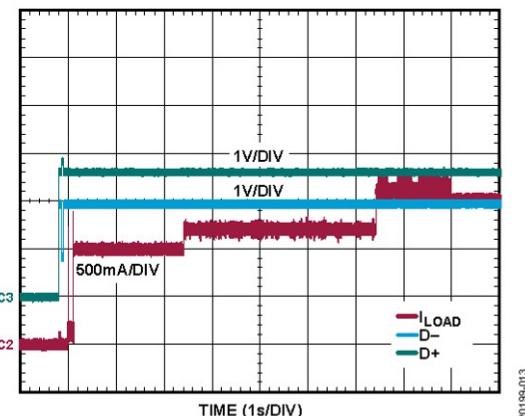


图13. 电话A充电的 I_{LOAD} 、 $D-$ 和 $D+$ 电压

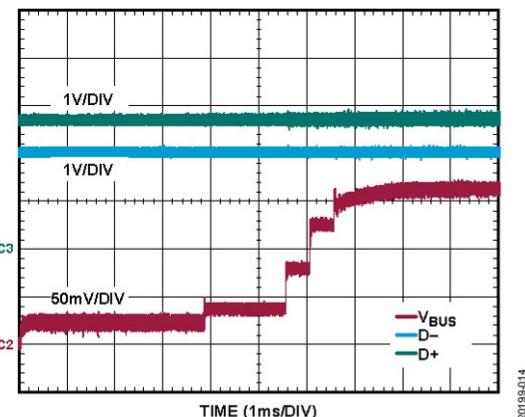


图14. 移动电源B的总线电压(V_{BUS})、 $D-$ 和 $D+$ 电压

热性能

图15显示了CN-0509以5.62 V、2 A给一个负载充电一小时的热响应，电路板水平放置在工作台上并处于静止空气中，环境温度为25°C。EVAL-CN0509-EBZ板上的最高温度出现在D3二极管上(83.8 °C)，远低于150°C的最大工作温度。



图15. EVAL-CN0509-EBZ的热图像，
以5.62 V、2 A输出给一个负载充电一小时

常见变化

如果有交流电源可用，EVAL-CN0509-EBZ可以将各种随机的离线电源变成USB充电器。此类电源包括笔记本电脑充电器、游戏机充电器和计算机外设电源。

在电源输入处使用肖特基桥式整流器，便可支持任何输入极性。然而，相比使用单个保护二极管，这种输入配置的代价是最小工作电压要增加0.4 V。例如，为获得最高2 A输出电流，需要12.4 V的V_{IN}。

电路评估与测试

有关CN-0509的完整设置详情和其他信息，参见[CN0509用户指南](#)。

设备要求

需要以下设备：

- 直流电源（任意电压，5 V至100 V）
- EVAL-CN0509-EBZ评估板
- Klein Tools® ET910 USB万用表测试仪（或等效设备）
- MicroUSB转USB A型线
- 具有USB充电能力的设备（手机、平板电脑或便携式电源包）以及用于设备的USB充电线缆

测试设置和功能框图

图16显示测试设置的功能框图。

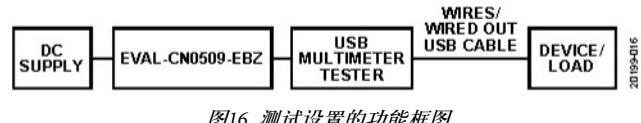


图16. 测试设置的功能框图

设置和测试

采用以下步骤完成测试设置：

1. 将输入直流电源连接到CN-0509上的P1。连接高输入电压时须小心。
2. 打开直流输入时，CN-0509开启。电路通过发光DS1或DS2确定输入连接极性是否正确。
 - a. 如果DS1（绿光LED）亮起，则输入的极性正确，电路可在P2（USB输出端口）上提供高达10 W的功率。
 - b. 如果DS2（红光LED）亮起，请关闭输入电源，断开电源输入，交换电源引线，再将电源输出重新连接到P1，然后重复步骤2。
3. 将USB线缆从ET910 USB万用表测试仪连接到EVAL-CN0509-EBZ上的下方USB端口。
4. 使用一台支持快充的设备的充电电缆，从ET910 USB万用表测试仪连接该设备。
5. 查看ET910 USB万用表测试仪，验证设备是否获得超过500 mA但小于2 A的电流（参见图17）。
6. 将EVAL-CN0509-EBZ上的USB端口从下方(DCP)端口换到上方USB端口。
7. 查看ET910 USB万用表测试仪，验证设备是否获得大约500 mA的电流（参见图17）。



图17. ET910 USB万用表测试仪屏幕截图，左边是电话A从上方USB端口充电，右边是从含有DCP控制器的下方端口充电

了解更多

CN0509设计支持包:

<https://www.analog.com/CN0509-DesignSupport>

CN0509用户指南

Triggs, Robert。 (2019年6月30日)。 *How fast charging really works.* Android Authority。

Sengupta, Anirban。 (2016年1月14日)。 *Introduction to USB Power Delivery.* ElectronicDesign。

数据手册和评估板

LTC7103数据手册

LT8302数据手册

DC2317A演示电路

DC2014A演示电路

修订历史

2020年11月—修订版0：初始版

I²C指最初由Philips Semiconductors（现为NXP Semiconductors）开发的一种通信协议。



(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.