

Analog Engineer's Circuit

从 +5V 电源生成 ±15V 的适用于高压数据转换器的精密电源电路



Precision DAC: Factory Automation and Control

Joseph Wu

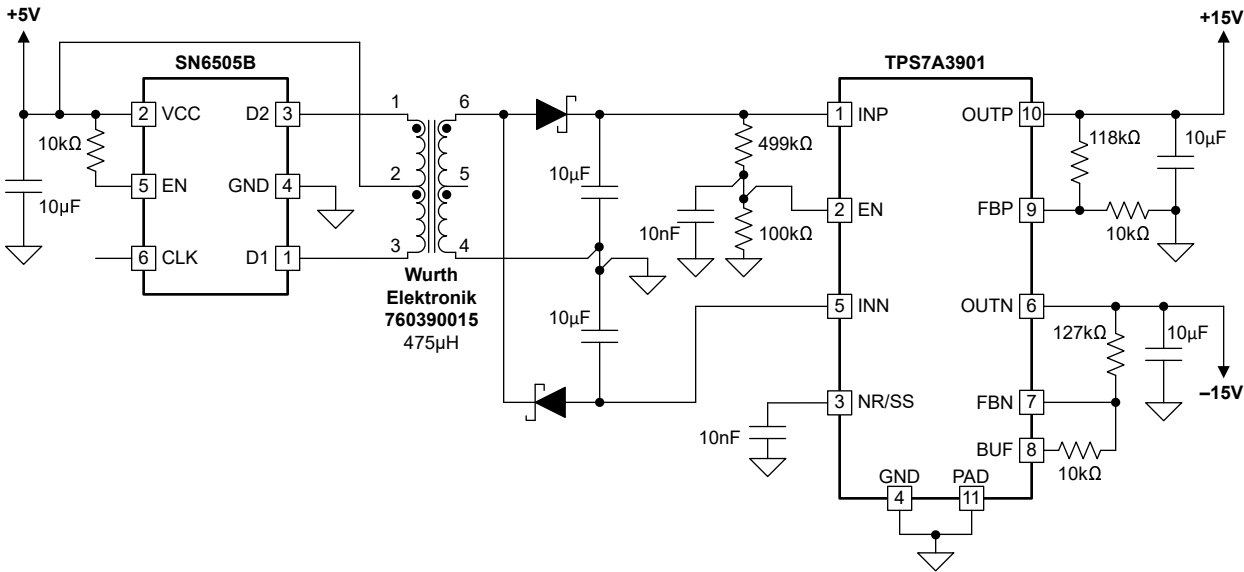
设计目标

输入电压	输出电压	推荐器件
+5V	±15V	SN6505B、TPS7A3901

目标：从 +5V 电源生成 ±15V 精密电源。

设计说明

部分精密模数转换器 (ADC) 和数模转换器 (DAC) 需要高压电源才能工作。本模拟工程师电路描述了一种可用于高压精密数据转换器的精密高压电源电路。在本设计中，推挽驱动器首先使用现成的中心抽头变压器将 +5V 电源输入升压至约 ±20V。随后，双路输出低压降 (LDO) 电压稳压器设定 ±15V 的电源输出。许多应用，如可编程逻辑控制器 (PLC)、模拟输入和模拟输出，在进行输入测量或输出驱动时都需要高压电源。

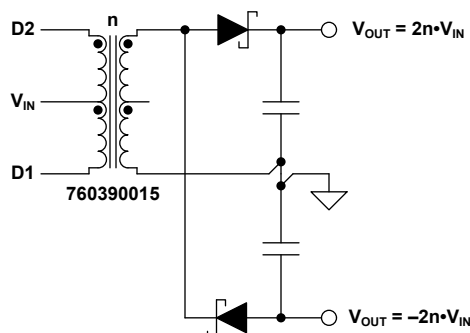


规格

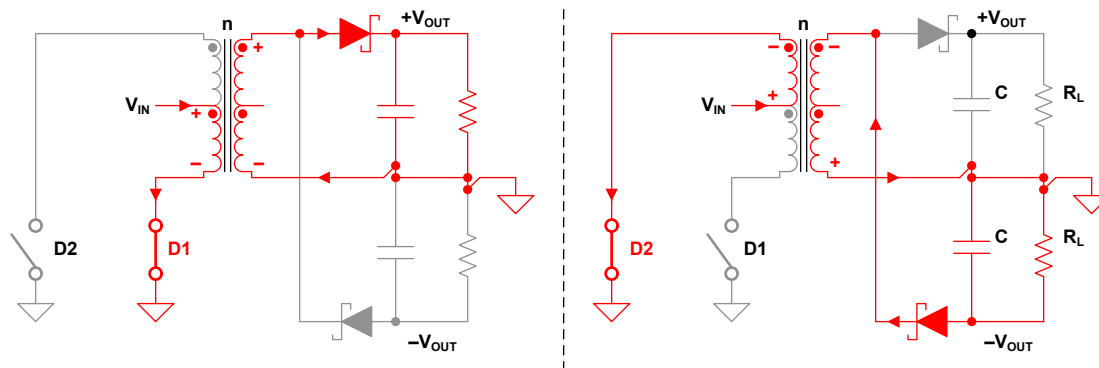
电源			
输入	输出 VCC	输出 VSS	输出电流负载
+5V	+15V	-15V	50mA

设计说明

- 本电路由 USB 主机端口提供的标称 5V 电源驱动。必须注意确保 USB 电压足够高，并防止超过 USB 端口电流限制。
 - USB 1.0、1.1 和 2.0 的最低输出电压为 4.75V。对于高电流下的 USB-C，此电压可能低至 4.5V。
 - USB 1.0、1.1 和 2.0 具有 500mA 的电流输出能力。某些 USB 充电端口可提供更高的电流输出。USB-C 端口可输出最高 3A 电流。
 - 如果源输出电压低于预期，可在输入端添加一个降压/升压电路以确保正常工作。
- 高压输出源自由 SN6505B 驱动的变压器所产生的 5V 电源。SN6505B 低噪声变压器驱动器面向小尺寸、隔离式电源设计，可由 2.25V 至 5.5V 直流电源驱动薄型中心抽头变压器。该变压器驱动器以推挽转换器模式工作，以使输入电压倍增。
- 推挽转换器的基本结构如下面的电路图所示，其中变压器匝数约为 $n = 2$ 。这会将 5V 输入升压至约 $\pm 20V$ 。



SN6505B 通过开关 D1 和 D2 产生周期信号。这些周期通过中心抽头变压器推入或拉出电流。开关周期交替进行，以在整流器二极管后提供正负电压输出。下图显示了开关周期期间的输出电流路径。



- SN6505B 精密内部振荡器的标称运行频率为 420kHz，但如果该频率干扰电路板上的其他电路，可以使用外部振荡器。另一种方案是使用类似的 SN6505A，其内部振荡器频率为 160kHz。

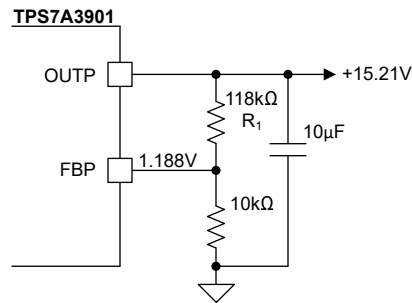
5. 设置 SN6505B 变压器驱动器时需考虑以下事项：

- 在变压器驱动器的输入端使用具有低等效串联电阻 (ESR) 的 4.7μF 或更大的旁路电容器。
- 在整流器输出端使用 1μF 至 10μF 的大容量电容器。
- 要防止变压器在饱和状态下运行，需根据 SN6505B 的运行参数检查变压器的 V-t 乘积。变压器的最小 V-t 乘积根据器件提供的最大电压和每个开关周期的最长时间计算得出。最大电压按转换器标称输入 5V 加上 10% 计算。该电压施加于初级的最长时间为最低频率周期的一半。对于 SN6505B，内部振荡器的最低频率为 363kHz。计算得出 SN6505B 的 V-t 乘积为 7.6V-μs。

$$V_{t_{\min}} \geq V_{IN_{\max}} \times \frac{t_{\max}}{2} = \frac{V_{IN_{\max}}}{2 \times f_{\min}}$$

$$V_{t_{\min}} \geq \frac{5.5V}{2 \times 363kHz} = 7.6V-\mu s$$

- 推荐使用电感为 475μH 的 Würth Elektronik® 760390015 变压器。该变压器的 V-t 乘积为 11V-μs，高于先前计算的 7.6V-μs V-t 乘积。由 N1 + N2:N3 + N4 得出的匝数比为 1:2。该变压器列于 [SN6505x 低噪声 1A 隔离式电源变压器驱动器](#) 数据表中的 [针对器件优化的推荐隔离式变压器表](#) 中。
 - 使用具有低正向压降、高反向击穿电压的肖特基二极管。本电路选用 MBR0580-TP (反向击穿电压为 80V)。
 - SN6505B 的最小电流钳位限值为 1.42A。该钳位会限制流入变压器的电流。但是，变压器数据表的输出电流曲线图显示最大电流为 0.7A。本电路的测试限制在 500mA。
6. 搭建好 ±20V 升压电路后，使用 TPS7A3901 正负双路 LDO 生成 ±15V 电源输出。有关该 LDO 的更多信息，请参阅 [TPS7A39 双路、150mA、宽 VIN 正负 LDO 电压稳压器](#) 数据表。
- LDO 的最大输出限制为 150mA (从正输出拉出电流，向负输出灌入电流)。但本电路测试的最大输出电流为 50mA。
 - EN 引脚用作电源正常引脚以使用 LDO。其最小使能电压为 2.2V。EN 引脚电压由 499kΩ 至 100kΩ 电阻分压器从变压器的正 20V 输出获得。
 - LDO 的输出可通过将电阻分压器连接到反馈输入引脚来进行调整。正 LDO 的反馈输入设在 FBP 引脚上。根据输出电压确定电阻分压器来设置输出，从而使 V_{FBP} 达到 1.188V。下图显示了正 LDO 输出。



设输出为 15V，FBP 与接地之间的电阻为 10kΩ，则可计算出顶部电阻器：

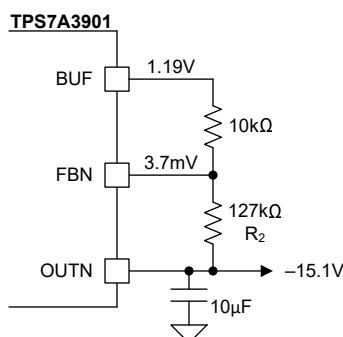
$$\left(\frac{R_1 + 10k\Omega}{10k\Omega} \right) \times 1.188V = 15V$$

$$R_1 = (12.62 \times 10k\Omega) - 10k\Omega$$

$$R_1 = 116.2k\Omega$$

R1 选用 118kΩ，采用 1% 标准阻值。这将得到正 LDO 输出值约为 15.21V。

- d. 类似地，负 LDO 输出通过分压器从 BUF 引脚的内部电压基准输出缓冲器获得。负 LDO 的反馈输入设在 FBN 引脚。该 V_{FBN} 电压的典型值为 3.7mV。



设输出为 -15V，BUF 与 FBN 之间的电阻为 10kΩ，则可计算出底部电阻器：

$$\frac{R_2}{10k\Omega} (1.19V - 3.7mV) + 3.7mV = -15V$$

$$R_2 = \frac{(15V - 3.7mV) \times 10k\Omega}{1.1863V}$$

$$R_2 = 126.4k\Omega$$

R2 选用 127kΩ，同样使用 1% 标准阻值。这将得到负 LDO 输出值约为 -15V。根据此设置计算出的标称值为 -15.07V。

- e. TPS7A3901 正向压降电压的典型值为 175mV，最大值为 300mV。负向压降电压的典型值为 -145mV，最大值为 -250mV。两个压降电压的规格均为：拉电流 50mA 和灌电流 50mA。
- f. CNR/SS 引脚用于降低低频噪声。为该引脚选用了 10nF 电容器。CFFP 和 CFFN 电容可用于降低中频噪声。
- g. 虽然本应用描绘成非隔离式电源，但通过分离变压器任一侧的接地，本电路也可用作工业应用中的隔离式电源。

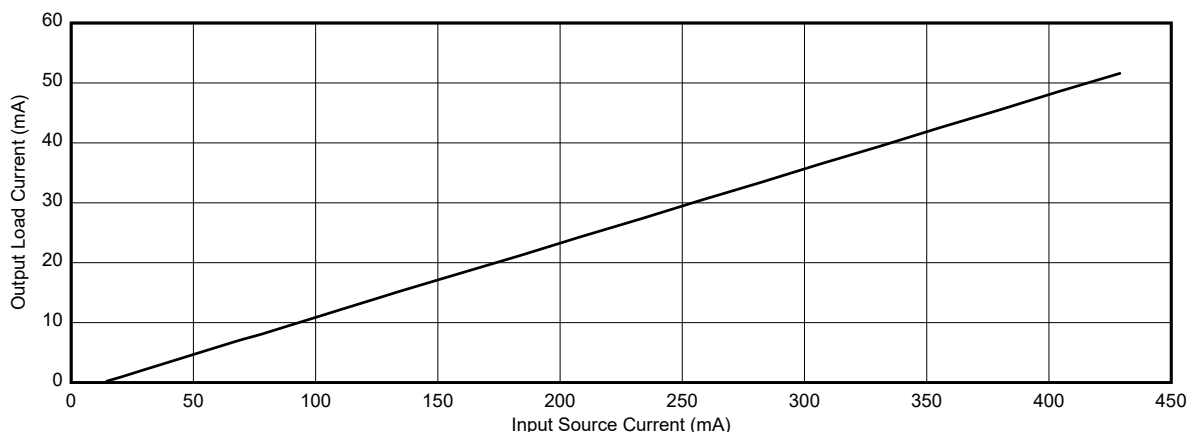
测量结果

本电路在 [ADS125H02EVM](#) 的双电源上进行了测试。虽然该评估模块面向精密 ADC 设计，但该电源也可用于精密 DAC，例如 [DAC81404](#) 或 [DAC8760](#)。

使用 5V 电源提供输入。在 LDO 输入端测量推挽转换器的输出电压。同时还测量了 LDO 的输出。测量结果如下表所列。

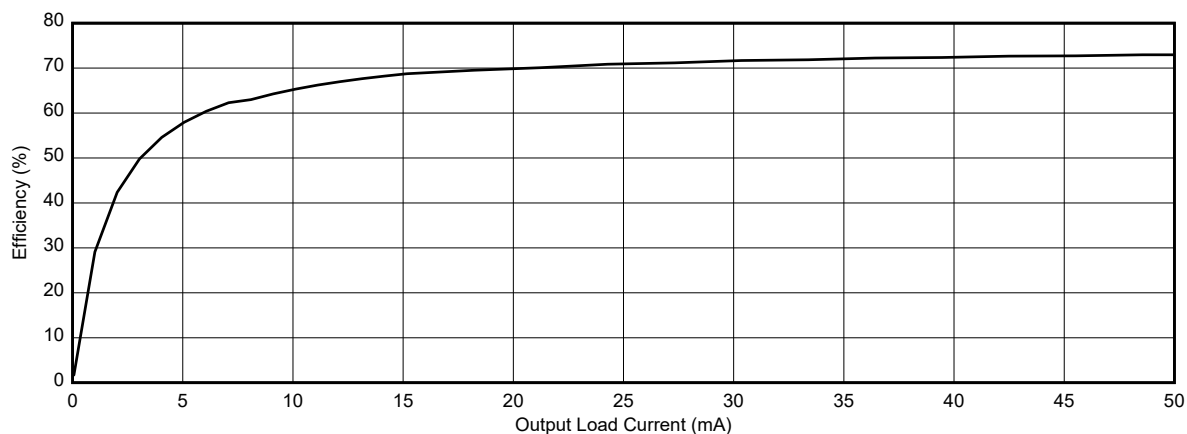
测量	正输出 (V)	负输出 (V)
推挽转换器整流器二极管后的输出电压	19.874	-19.929
LDO 的输出电压	15.202	-15.124

由于输出电压显著超过输入电压，因此输出负载电流保持远小于输入电流。使用电阻负载测试 [TPS7A3901](#) 双路 LDO，从正 LDO 输出拉出电流，向负 LDO 输出灌入电流。下图显示了 5V 电源的输入电流与 $\pm 15V$ 电源输出电流负载之间的关系。



根据对所搭建电路的测量，输入电流超过输出负载电流的八倍。对于提供 500mA 的标准 USB 2.0 端口， $\pm 15V$ 电源的最大输出电流可达到约 60mA。

此外，还测量了电路输出效率。根据 5V 电源计算出输入功率，并记录了电源电流。然后，根据 $\pm 15V$ 电源计算出输出功率，并记录了输出负载电流。这些值是根据不同输出负载绘制的，用以显示电源效率。测得本电路在负载电流为 50mA 时的效率为 73%。效率结果如下图所示。



设计中采用的器件

可使用 [参数搜索工具](#) 查找其他可用的 DAC 器件或在这些 [精密 ADC](#) 中查找其他 ADC 器件。

器件	主要特性	链接
SN6505B	用于隔离式电源的低噪声 1A 变压器驱动器	SN6505B
TPS7A3901	双路、150mA、宽 VIN 正负 LDO 电压稳压器	TPS7A39
ADS125H02EVM	ADS125H02 评估模块用户指南	ADS125H02EVM
ADS125H02	具有 $\pm 20V$ 输入、PGA、IDAC、GPIO 和 VREF 的 24 位、40kSPS、2 通道 Δ - Σ ADC	ADS125H02
DAC81404	具有内部基准的四通道 16 位和 12 位高压输出 DAC	DAC81404
DAC8760	适用于 4mA 至 20mA 电流环路应用的 16 位单通道可编程电流/电压输出 DAC	DAC8760

设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅[模拟工程师电路说明书](#)。

其他资源

- 德州仪器 (TI)，[ADS125H02 评估模块用户指南](#)
- 德州仪器 (TI)，[适用于 PLC I/O 模块和其他低功耗应用的隔离式电源拓扑产品概述](#)
- 德州仪器 (TI)，[使用一个 LDO 为双电源运算放大器电路供电](#)
- 德州仪器 (TI)，[高精度实验室系列：数模转换器 \(DAC\)](#)
- 德州仪器 (TI)，[高精度实验室系列：模数转换器 \(ADC\)](#)

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 **E2E** 社区：

e2e.ti.com

商标

Würth Elektronik® is a registered trademark of Würth Elektronik GmbH & Co. KG.

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月