



组合的电压和电流控制环路可简化 **LED** 驱动器、 大容量电池 / 超级电容器充电器和最大功率点跟踪太阳能应用

Xin (Shin) Qi

凌力尔特公司

恒定电流 / 恒定电压 (CC-CV) 应用的迅速发展 (尤其是在 **LED** 照明以及大容量电池和超级电容器充电器领域之中) 给电源设计人员带来了挑战, 他们必需及时适应电流和电压控制环路之间日益复杂的相互作用与影响。专为 **CC-CV** 而特别设计的开关模式转换器可提供一项明显的优势, 尤其当电源的功率有限或者其功率在多个争用负载之间进行分配时更是如此。

例如, 我们不妨考虑一下从功率受限电源以极短的时间完成一个超级电容器充电的难题。为了保持恒定的输入功率, 受控的充电电流必须在输出 (超级电容器) 电压增加时减小。通过无缝地组合一个电流调节环路和两个电压调节环路以控制一个外部 **N** 沟道电源开关, **LT[®]3796** 解决了功率受限或恒定电流 / 恒定电压调节的问题。该器件三个跨导误差放大器 (它们汇总至补偿引脚 **V_C**) 的固有线 “或” 工作特性可确保恰当的环路 (即: 最接近稳定状态的那个环路) 居支配地位。

附加的独立型电流检测放大器可针对任意数目的功能进行配置, 包括输入电流限制和输入电压调节。

LT3796 的宽 **V_{IN}** 范围 (6V 至 100V) 及轨至轨 (0V 至 100V) 输出电流监视和调节使其适用于众多的应用, 从太阳能电池充电器到高功率 **LED** 照明系统等均在其列。固定开关频率、电流模式架构在一个很宽的电源和输出电压范围内实现了稳定的操作。**LT3796** 采用高压侧电流检测, 因而能用于升压型、降压型、降压-升压型或 **SEPIC** 和反激式拓扑。

具稳健输出短路保护功能的高功率 **LED** 驱动器

图 1 示出了被配置为一个升压型转换器的 **LT3796**, 其采用宽输入范围驱动一个 **34W LED** 灯串。**LED** 电流在低输入电压条件下被降额, 以避免外部功率组件出现过热。前端电流检测放大器利用下式将输入电流转换为 **CSOUT** 引脚上的一个电压信号, 由此来监视输入电流:

$$V_{CSOUT} = I_{IN} \cdot R_{SNS1} \cdot R_6 / R_5$$

FB1 引脚上的电阻器网络负责提供 OPENLED 保护，该功能可限制输出电压并防止 ISP 引脚、ISN 引脚和若干外部组件超过其最大额定值。如果某个 LED 发生开路故障或 LED 灯串从大功率驱动器移除，则 FB 恒定电压环路将在接管以后起作用，并将输出调节至 92.5V。另外，/VMODE 标记也被置为有效，以指示发生了 OPENLED 事件。

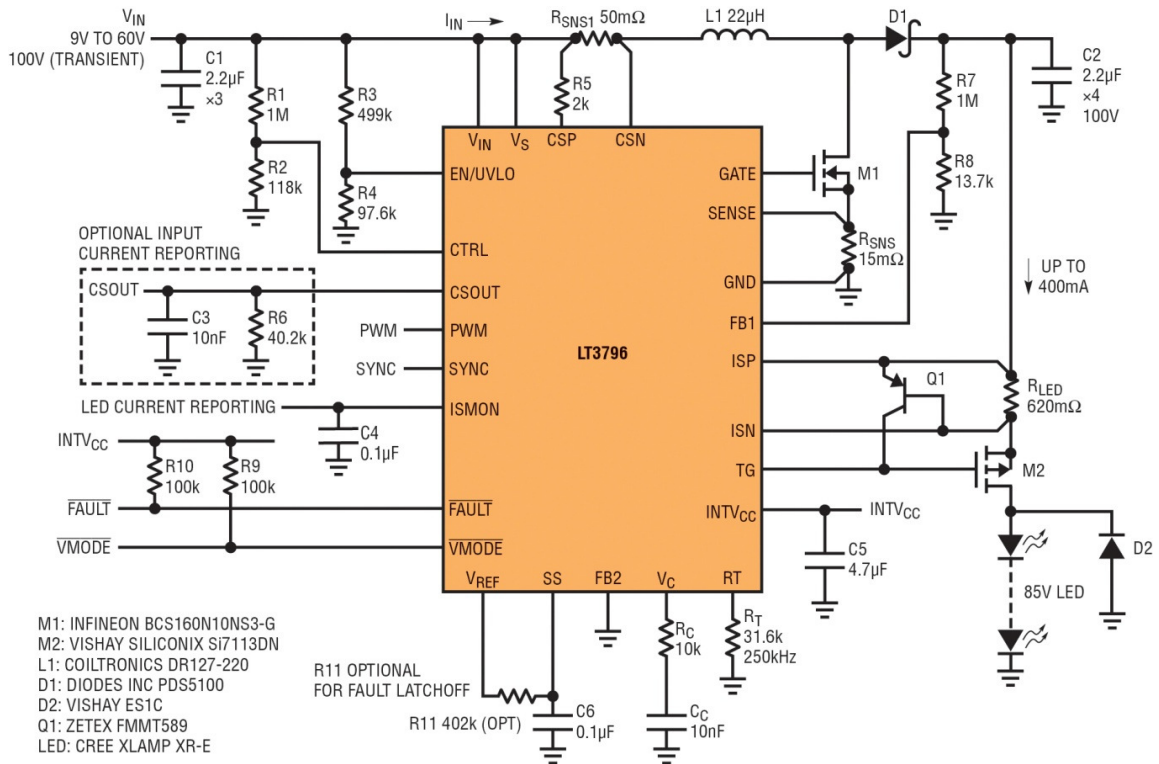


图 1：一款具有稳健输出短路保护功能的 34W LED 驱动器

LT3796 包含了独立于 LED 电流检测的短路保护功能电路。该短路保护功能可避免产生过大的开关电流，并对功率组件实施保护。将保护门限（典型值为 375mV）设计为比默认的 LED 电流检测门限高 50%。

当检测到 LED 过流时，GATE 引脚驱动至 GND 以停止开关操作，TG 引脚被拉至高电平以使 LED 阵列与电源通路断接，而且 /FAULT 引脚被置为有效。增设了肖特基二极管 D2，以避免 PMOS M2 的漏极在通过一根长电缆短路至地时摆动至远低于地电位的电平。内置了辅助 PNP Q1，以进一步限制瞬态短路电流。

如果在 SS 引脚和 VREF 引脚之间没有电阻器，则转换器进入打嗝模式并周期性地重试，如图 2 所示。假如在 VREF 和 SS 引脚之间布设了一个电阻器（用以在 LED 短路期间将 SS 引脚保持在高于 0.2V），则 LT3796 进入锁断模式（此时 GATE 引脚为低电平，而 TG 引脚为高电平），如图 3 所示。如需退出锁断模式，则 EN/UVLO 引脚必须从低电平切换至高电平。

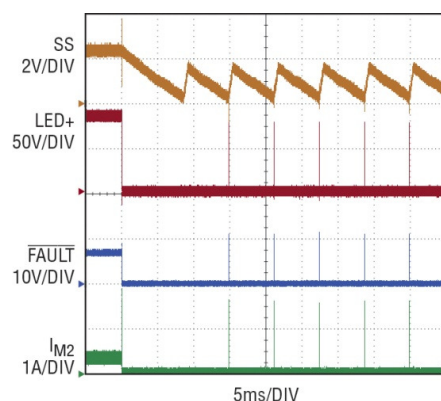


图 2: LED 短路保护: 打嗝模式 (未采用图 1 中的 R11)

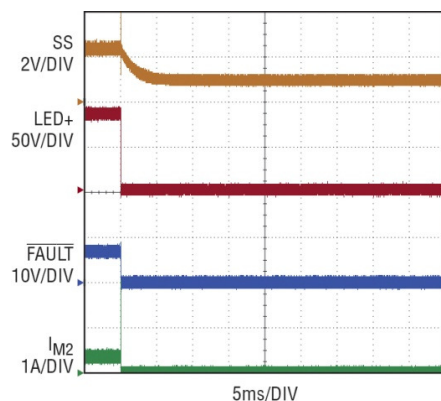


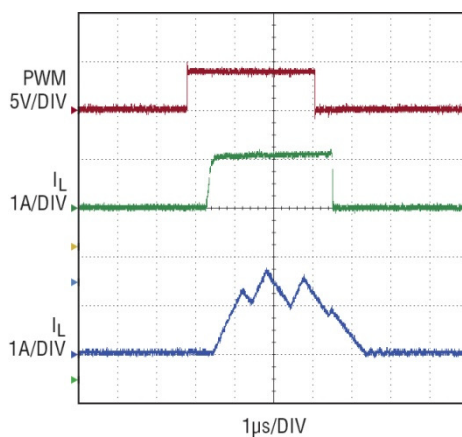
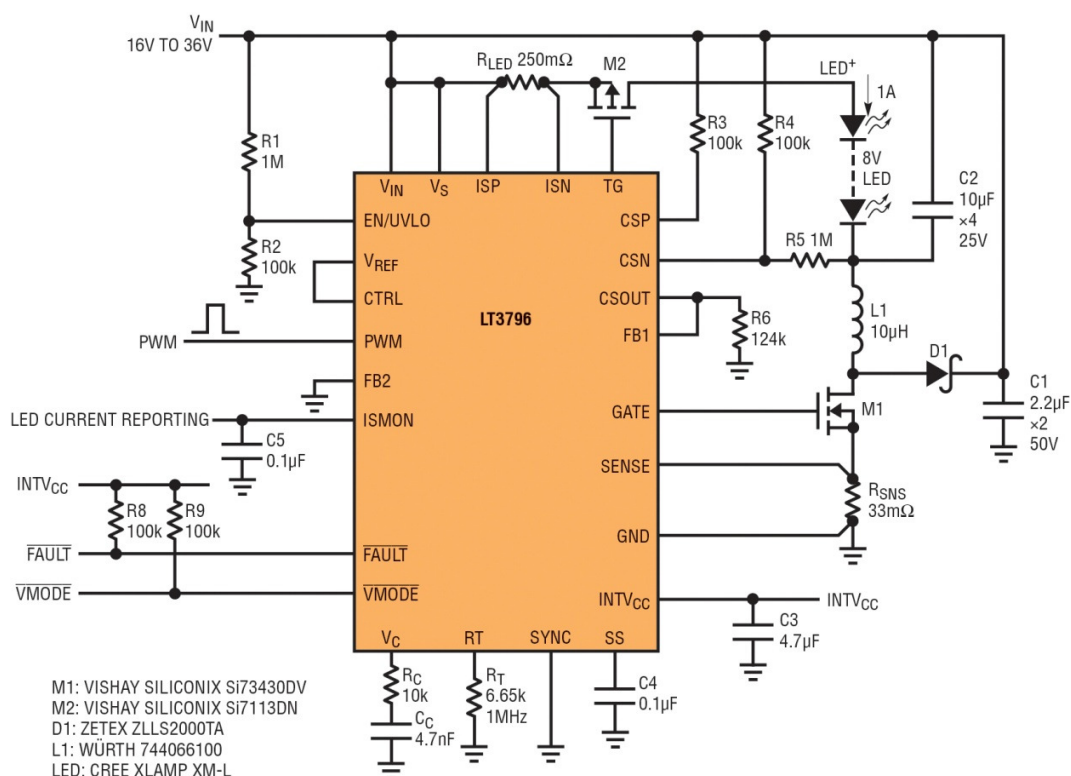
图 3: LED 短路保护: 锁断模式 (采用图 1 中的 R11)

具有高 PWM 调光比的 LED 驱动器

当采用一个输入参考 LED 灯串时, 允许 LT3796 充当一个降压模式控制器, 如图 4 所示。1MHz 工作频率可实现一个高的 PWM 调光比。OPENLED 调节电压通过 CSP、CSN 和 CSOUT 引脚上的独立电流检测放大器设定为:

$$1.25V \cdot (R3 / R6) \cdot (R5 / R4 + 1)$$

在 PWM 关断期间, LT3796 将停用至 V_C 引脚的所有内部负载, 并保持充电状态。而且, 它还将关断 PMOS 开关 M2, 以使 LED 灯串与电源通路断接并阻止输出电容器放电。这些功能的组合极大地改善了 PWM 信号走高时的 LED 电流恢复时间。即使对于一个 100Hz PWM 输入信号, 这款降压模式 LED 驱动器也能实现 3000:1 的调光比, 如图 5 所示。



具 R_{WIBE} 补偿功能的 SEPIC 转换器

配线和电缆中的电压降会引起负载调节误差。此类误差可通过增设远端采样导线来校正，但在某些应用中增设导线并不是可选的方案。作为一种替代方案，LT3796 能够针对配线压降进行相应的调整，而不受负载电流的影响（前提是寄生配线或电缆阻抗是已知的）。

L1: WÜRTH 744871220
 D1: ZETEX ZLLS2000TA
 M1: VISHAY SILICONIX Si4840DY

图 7: R_{WIER} 电压降通过 LT3796 的 CSAMP 电路得以补偿

图 7 示出了 LT3796 的内部 CSAMP 电路在操作中是怎样起作用的。LT3796 的电压环路将 FB1 引脚调节在 1.25V，这样 I_3 在 $R_5 = 12.4k$ 时将固定在 $100\mu A$ 。在图 7 中， V_{OUT} 随 I_2 而改变 ($V_{OUT} = 1.25V + I_2 \cdot R_4$)。倘若 $I_2 \cdot R_4$ 的变化能够抵消 $I_{LOAD} \cdot (R_{SNS1} + R_{WIRE})$ 的变化，那么 V_{LOAD} 将保持恒定。

请参阅图 7，从 V_{OUT} 引出的分压器 R_1 / R_3 利用在 R_2 中流动的电流 I_1 来设定 CSP 引脚上进行调节的电压。 I_1 被传递至 FB1 节点，并在此节点上与 I_2 相加。

当输出电流增大时， I_1 由于 R_{SNS} 两端电压降的增加而减小；必须利用电流 I_2 匹配的增来补偿 I_1 的减小，以保持向 FB2 输送恒定的 $100\mu A$ 电流。正是 I_2 这种随输出电流的增加使 V_{OUT} 具有了正负载调节特性。而正负载调节恰好是补偿电缆压降所需要的。

图 8 示出了相对于 I_{LOAD} 的实测 V_{LOAD} 和 V_{OUT} 。显然，当 I_{LOAD} 小于 1A 电流限值时， V_{LOAD} 与 I_{LOAD} 无关。当 I_{LOAD} 接近 1A 时，ISP 和 ISN 引脚上的电流环路开始干扰电压环路，并相应地地下拉输出电压。负载瞬态响应示于图 9。

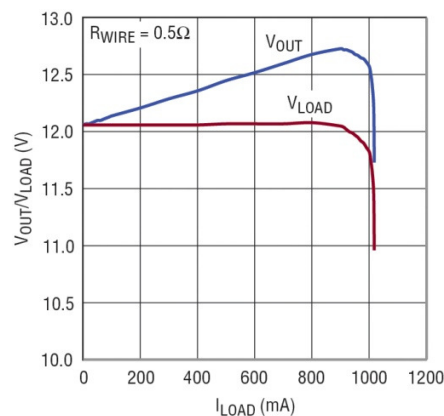


图 8：相对于 I_{LOAD} 的实测 V_{LOAD} 和 V_{OUT}

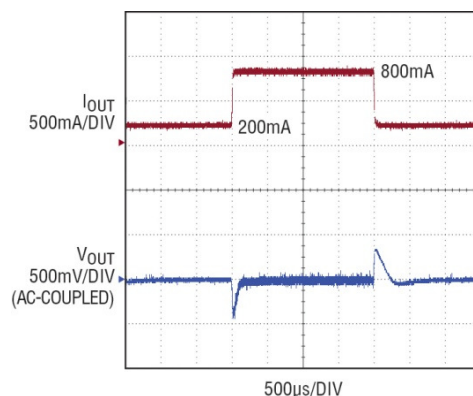


图 9：图 6 所示电路的负载阶跃响应

太阳能板电池充电器

太阳能供电型设备所依赖的是一个变化无常的能量源，因此，这样的设备如需始终保持可用状态，就必须把取自太阳能电池的能量贮存在一个可再充电电池中。太阳能板具有一个最大功率点，这是一个相对固定的电压，在该电压下太阳能板可产生最大的功率。最大功率点跟踪 (MPPT) 通常是通过限制转换器的输出电流 (以避免太阳能板电压偏离该电压值) 来实现的。LT3796 独特的电流与电压环路组合使其成为一款理想的 MPPT 电池充电器解决方案。

图 10 示出了一个由 LT3796 驱动的太阳能板至密封式铅酸 (SLA) 电池充电器。该充电器采用一种三级充电方案。第一级为恒定电流充电。当电池充电至高达 14.35V 时，充电电流开始减小。最后，当所需的电池充电电流降至 100mA 以下时，内置的 C/10 充电终止功能将通过下拉 VMODE 以停用充电电路，而充电器将进入浮置充电级 ($V_{\text{FLOAT}} = 13.5\text{V}$) 以补偿由于自放电所引起的损耗。

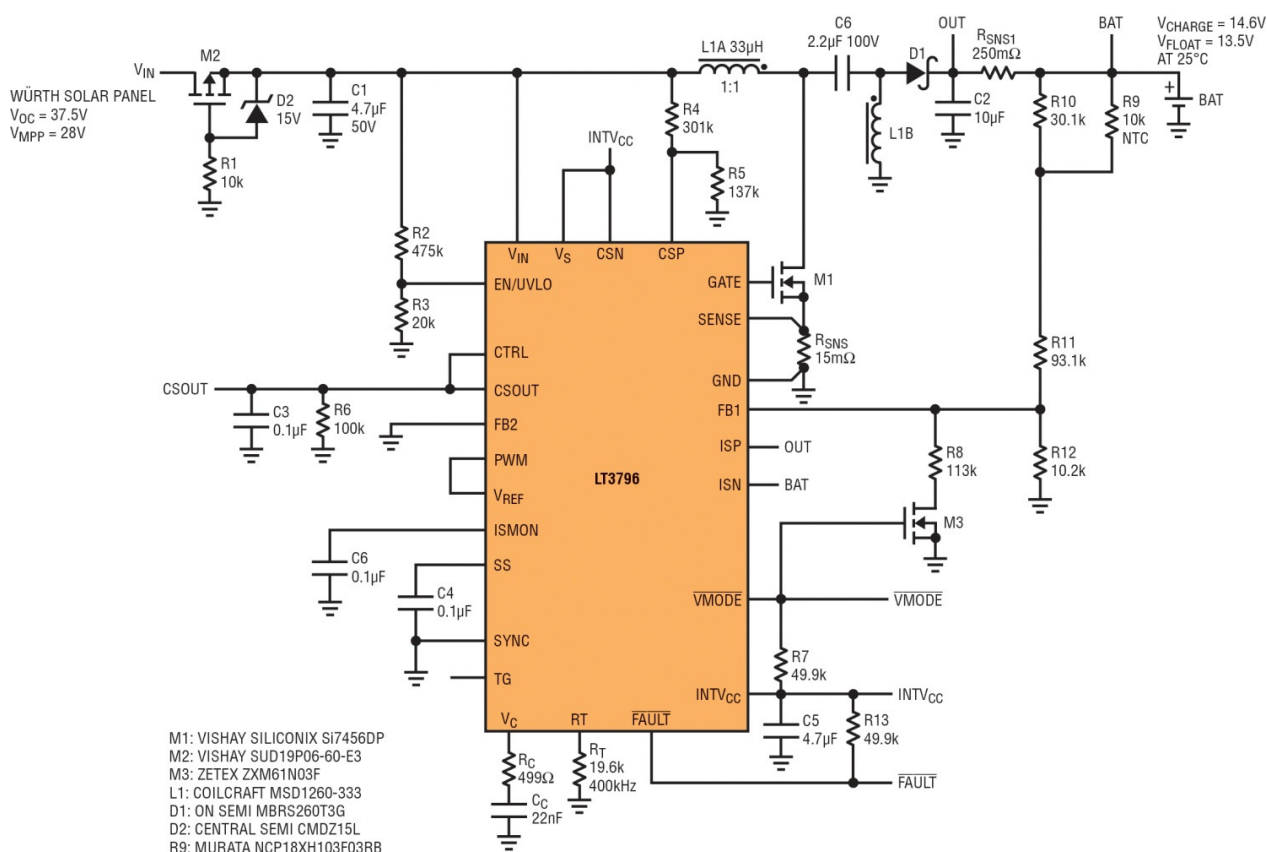


图 10: 太阳能板电池充电器最大功率点跟踪 (MPPT)

充电电流利用 CSP 和 CSOUT (CTRL) 引脚上的电阻器网络来设置，具体如下：

$$V_{\text{CTRL}} = R6 \cdot [(V_{\text{IN}} - V_{\text{INTVCC}}) / R4 - V_{\text{INTVCC}} / R5]$$

对于 $V_{IN} \geq V_{INTVCC} (1 + R4 / R5)$

$V_{CTRL} = 0V$

对于 $V_{IN} < V_{INTVCC} (1 + R4 / R5)$

最大功率点跟踪通过控制最大输出充电电流来实现。当太阳能板输出端上的电压向 28V (其对应于 CTRL 引脚上的 1.1V 和满充电电流) 靠近时, 充电电流减小, 如图 11 所示。于是, 该伺服环路的作用是动态地把充电器系统的功率要求降低至太阳能板所能提供的最大功率, 从而将太阳能板的电源利用率保持在接近 100% 的水平。

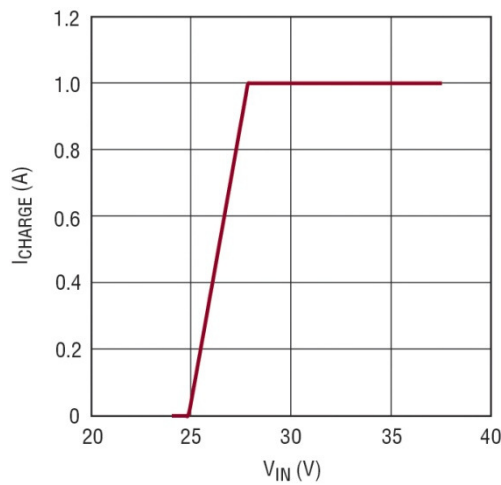


图 11: I_{CHARGE} 与 V_{IN} 的关系曲线 (针对图 10 中的太阳能充电器)

具输入电流限值的超级电容器充电器

超级电容器正在诸多应用中迅速地取代电池, 包括用于无线工具的快速充电力电池和用于微处理器的短期掉电后备系统等等。从长远来看, 超级电容器的寿命更长、更环保、性能更高且价格更低, 但是, 给超级电容器充电需要精确控制充电电流和电压限制, 以避免发生系统范围的损坏或超级电容器受损。

某些应用要求限制输入电流以防止输入电源发生崩溃。图 12 示出了一款具 28V 稳定输出电压和 1.33V 输入电流限值的 1.67A 超级电容器充电器。输入电流由 R_{SNS1} 负责检测, 其被转换为一个电压信号并馈送至 FB2 引脚以提供输入电流限制。

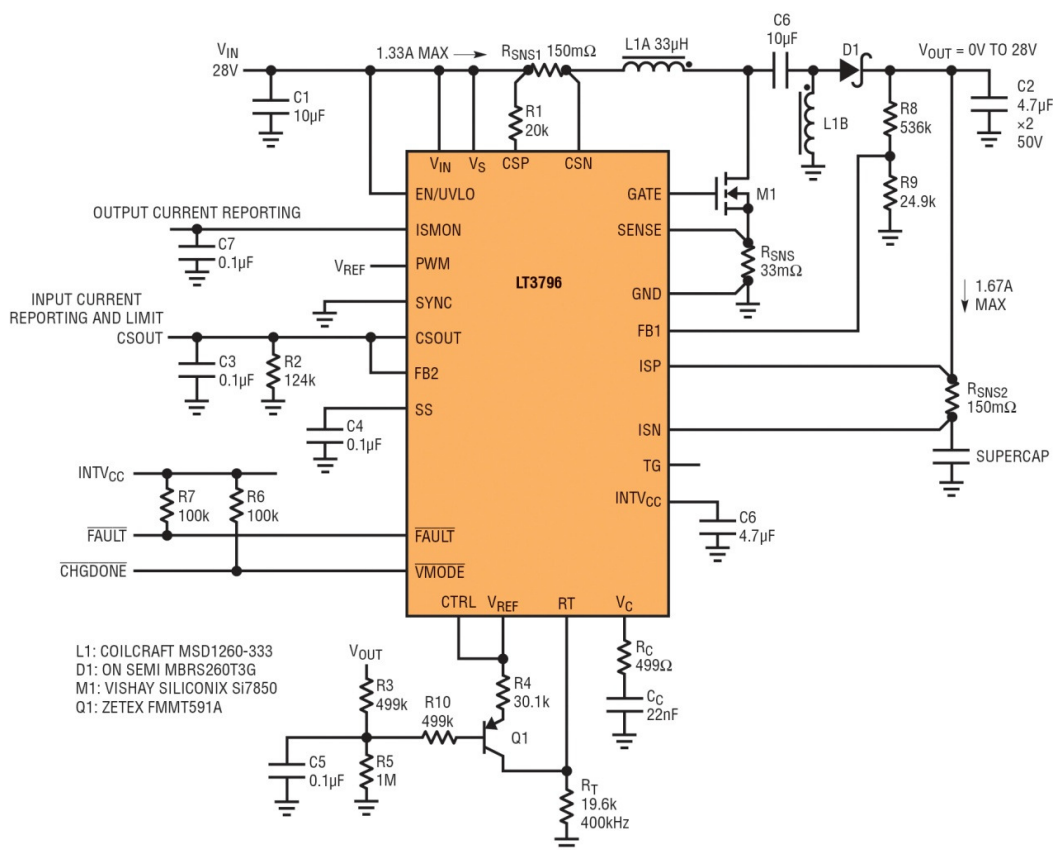


图 12：一款具输入电流限值的 28V/1.67A 超级电容器充电器

在每个充电周期中，超级电容器从 0V 充电。从 V_{OUT} 经由 R_3 、 C_5 、 R_5 、 R_{10} 、 R_4 以及 Q_1 和 R_T 至 RT 引脚的反馈环路起频率折返的作用，以使调节处于受控状态。在图 13 中，描绘了该充电器的输入电流和输出充电电流与输出电压的关系曲线。如图所示，LT3796 可保持输出电流调节作用，直到输入电流接近 1.33A 的输入电流限值为止。

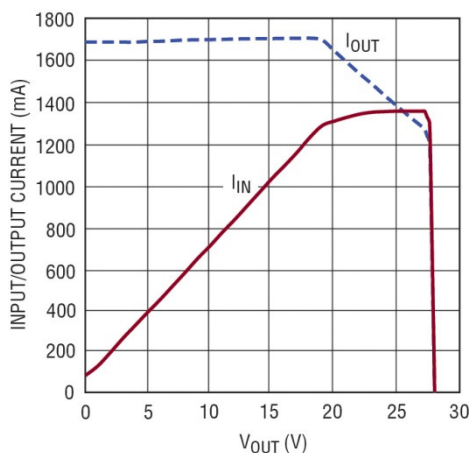


图 13：输入 / 输出电流与输出电压的关系曲线 (对于图 12 中的 28V/1.67A 超级电容器充电器)

结论

LT3796 是一款通用的升压型 **DC/DC** 控制器，其组合了准确的电流和电压调节环路。该器件实现了单个电流环路 with 两个电压环路的独特组合，从而使其能够轻松解决那些需要多个控制环路之应用所带来的问题，例如：**LED** 驱动器、电池或超级电容器充电器、**MPPT** 太阳能电池充电器、以及具有输入和输出电流限值的升压或 **SEPIC** 型转换器。另外，这款器件还包括多种故障保护及报告功能、一个顶端栅极驱动器和电流环路报告。

采用 28 引脚 **TSSOP** 封装的 **LT3796** 所执行的任务若换用其他替代方案将需要使用多个控制 **IC** 和系统才能应付。该器件可造就一款简单、低成本和小巧解决方案尺寸的可靠电源系统。