

Application Brief

LM5171 无缝双向运行



Feng Ji

简介

LM5171 是一种双通道双向平均电流模式控制器。平均电流模式控制可实现对电感器电流的精确调节。通过控制 ISET1 和 ISET2 (ISETx) 电压可实现恒流运行。

LM5171 有两种工作模式：强制 PWM (FPWM) 模式与二极管仿真 (DEM) 模式。在 FPWM 模式下，同步 FET 的栅极驱动信号始终与控制 FET 的栅极驱动信号互补。FPWM 模式下允许反向电流。在 DEM 模式下，会监测流经同步 FET 的电流，并且当电流降至零时，FET 会关断。因此，DEM 模式下没有反向电流。

FPWM 模式表现出更好的负载瞬态行为，而 DEM 模式表现出更高的轻负载效率。

通过切换 DIRx 实现双向操作

图 1 展示了如何通过切换 DIR1 和 DIR2 (DIRx) 引脚，在降压模式和升压模式之间切换。当 DIRx 引脚被拉至 2V 以上 (DIRx=1) 时，通道在降压区域中运行，电流从 HV 端口流向 LV 端口；当 DIRx 引脚被拉至 1V 以下 (DIRx=0) 时，通道在升压区域中运行，电流从 LV 端口流向 HV 端口。

V_{CS} 是电流感应电阻器 R_{CS} 的电压。当 $V_{CS} > 0$ 时，转换器在降压区域中运行，并且当 $V_{CS} < 0$ 时，转换器在升压区域中运行。施加到 ISETx 的电压为 V_{ISET} 。

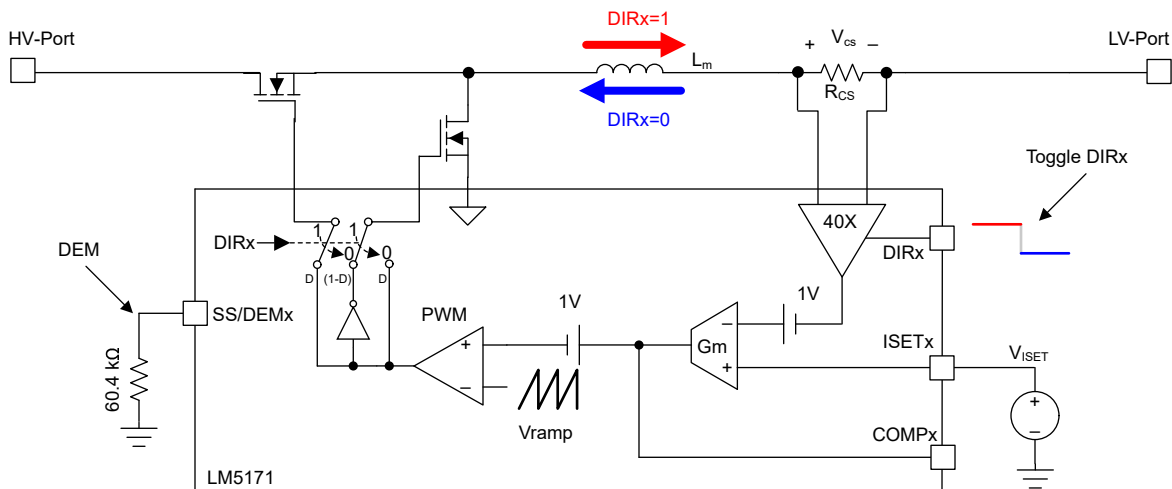


图 1. 通过切换 DIRx 实现双向操作

在 DEM 模式下，当 $V_{ISET} > 1V$ 时， V_{CS} 由下式给出：

$$V_{CS} = \begin{cases} \frac{V_{ISET} - 1V}{40}, & DIRx = 1 \\ -\frac{V_{ISET} - 1V}{40}, & DIRx = 0 \end{cases} \quad (1)$$

在 DEM 模式下，当 $V_{ISET} \leq 1V$ 时， $V_{CS} = 0$ 。

图 2 显示了 DEM 模式下 V_{CS} 与 V_{ISET} 之间的关系。

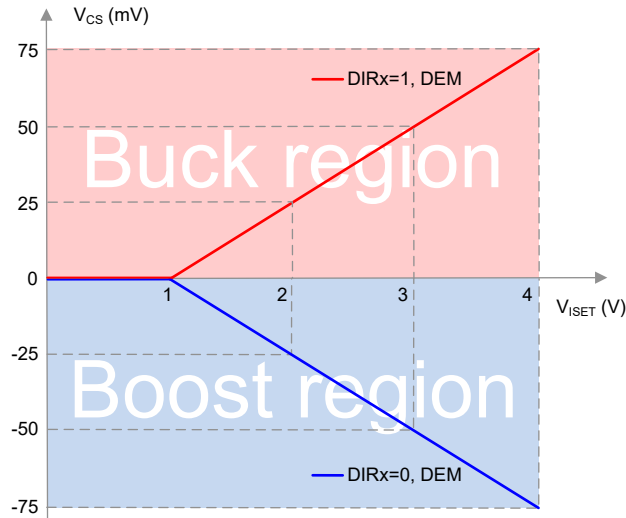


图 2. DEM 模式下的 V_{CS} 和 V_{ISET}

当 $DIRx$ 切换时， $SS/DEMx$ 引脚首先放电，然后进行新的软启动过程。软启动时间由 $SS/DEMx$ 引脚上的电容器决定。

通过调节 $ISETx$ 电压实现双向运行

在 FPWM 模式下，方程式 1 在 $0V \leq V_{ISET} \leq 4V$ 时保持成立。图 3 说明了 FPWM 模式下 V_{CS} 和 V_{ISET} 之间的关系。

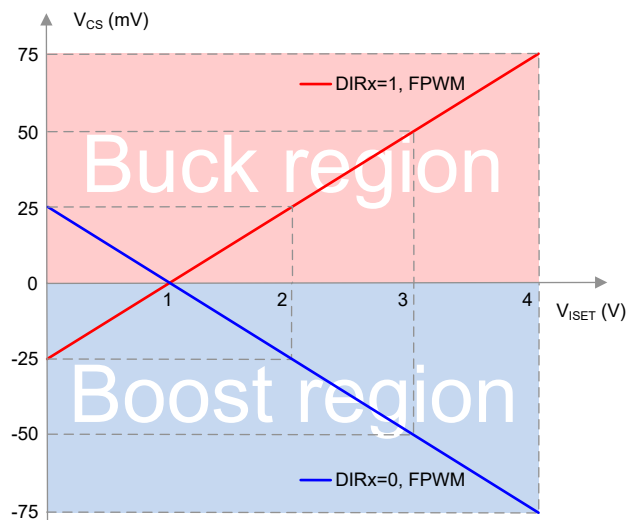


图 3. FPWM 模式下的 V_{CS} 和 V_{ISET}

如 图 3 所示，当 $DIRx=1$ 且 $V_{ISET}> 1V$ 时，LM5171 在降压区域运行。当 $DIRx = 1$ 且 $V_{ISET}< 1V$ 时，LM5171 在升压区域运行。

同样，当 $DIRx = 0$ 且 $V_{ISET}> 1V$ 时，LM5171 在升压区域运行。当 $DIRx = 0$ 且 $V_{ISET}< 1V$ 时，LM5171 在降压区域运行。

图 4 展示了如何通过调节 $ISETx$ 电压，在降压和升压模式之间切换。该图以 $DIRx = 1$ 为例。

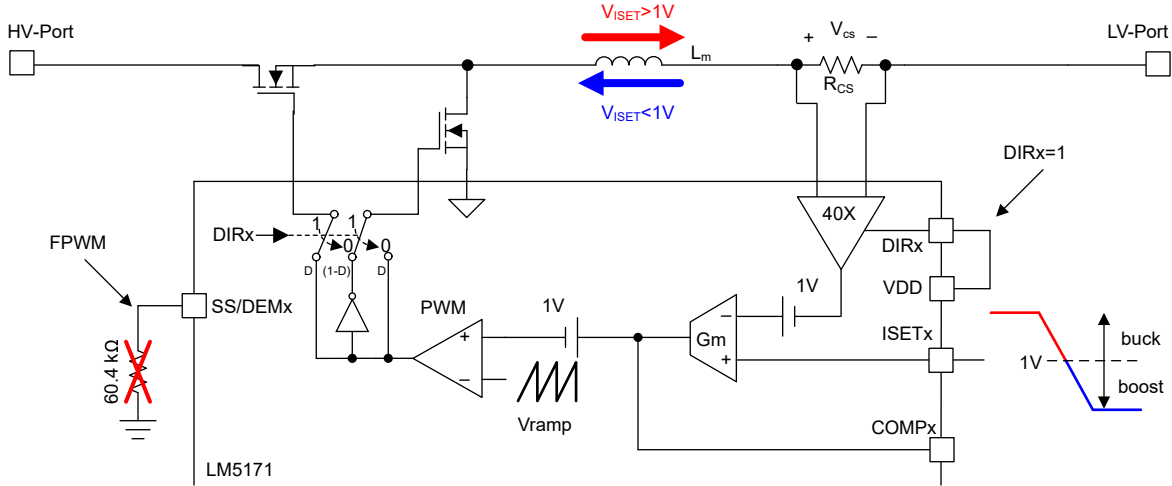


图 4. 通过调节 $ISETx$ 电压实现双向运行

图 5 显示了基于的 图 4 设置的波形。测试中使用的 $R_{CS} = 1m\Omega$ 。电流方向中的变化是无缝的。 $ISET$ 从 $1.8V$ 阶跃至 $0.2V$ ，而电流在几个周期内跟踪 $ISET$ 从 $20A$ 至 $-20A$ 。

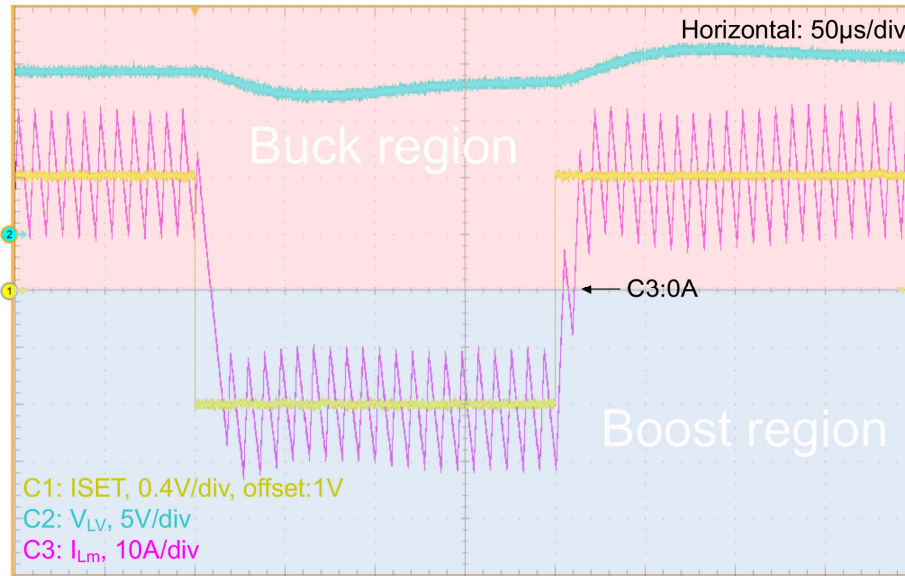


图 5. 无缝双向运行

在 DEM 或 FPWM 模式下，在 $COMPx$ 升至 $1V$ 以上之前，LM5171 不会在启动时切换。将 V_{ISET} 设置为大于 $1V$ ，以将 $COMP$ 升高到 $1V$ 以上。LM5171 开始切换后，在 FPWM 模式下将 V_{ISET} 降至小于 $1V$ ，以便更改电流方向。在 DEM 模式下，将 V_{ISET} 降低到 $1V$ 以下会停止切换。

带电压环路的双向运行

图 6 展示了在 DEM 模式下，如何在升压模式时调节 HV 端口电压，在降压模式时调节 LV 端口电压。LM5171 集成了两个内部误差放大器，DIR1 决定了有源误差放大器。

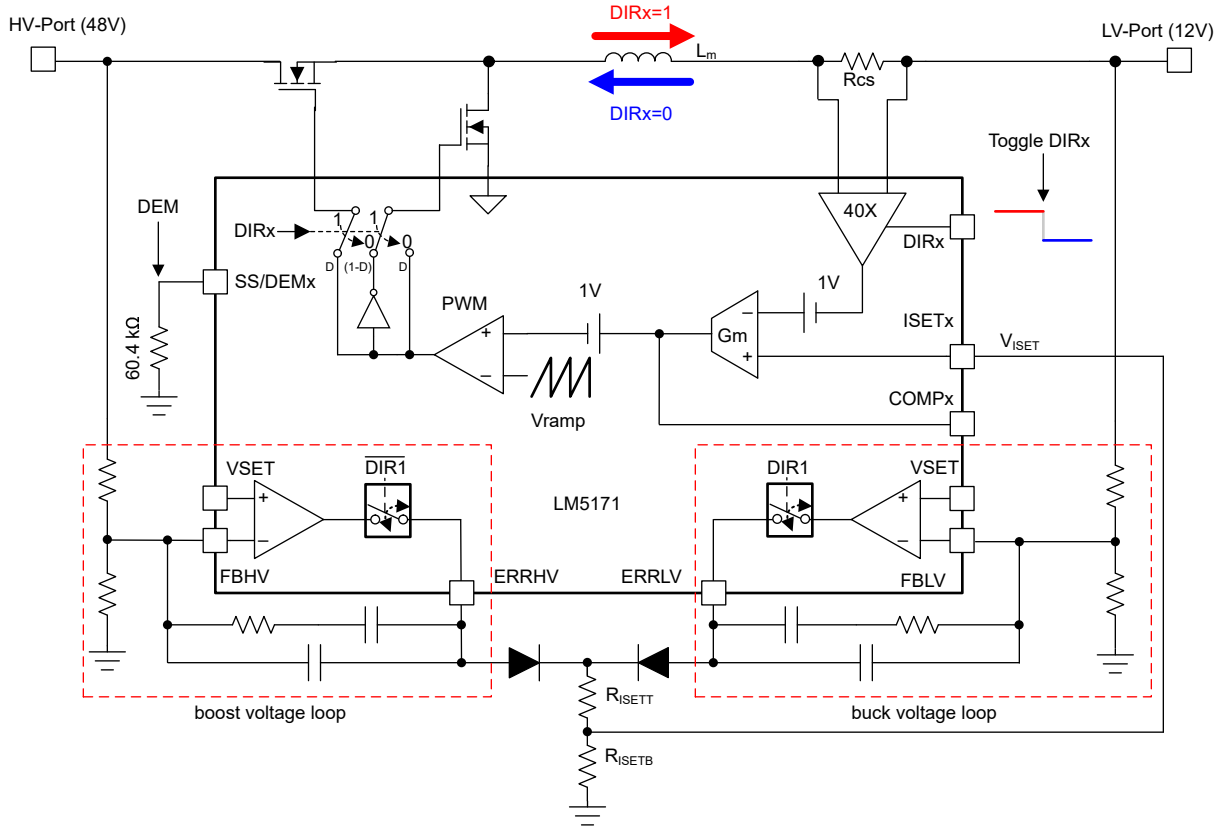


图 6. 具有两个电压环路的双向运行

图 7 展示了 FPWM 模式下包含单个电压环路的图表。在本例中，选择了升压模式 (DIR=0)。如上所述，在 COMPx 升至 1V 以上之前，LM5171 在启动时不会切换。因此，如果 HV 端口电压高于目标调节电压，则 ERRHV 电压为零，然后 COMPx 电压为零，LM5171 不会切换。相反，如果输出电压低于目标调节电压，则 ERRHV 电压将上升，然后 COMPx 电压将上升。一旦 COMPx 升至 1V 以上，LM5171 就会开始切换。一旦 LM5171 开始切换，就可实现无缝双向运行。内部误差放大器会调节 ERRHV/ISETx 电压，以保持稳定的 HV 电压。当 V_{ISET} 跨过 1V 阈值时，电流穿过 0A，如 图 3 所示。HV 端口可以灌入和拉出电流，以保持稳定的 HV 电压。

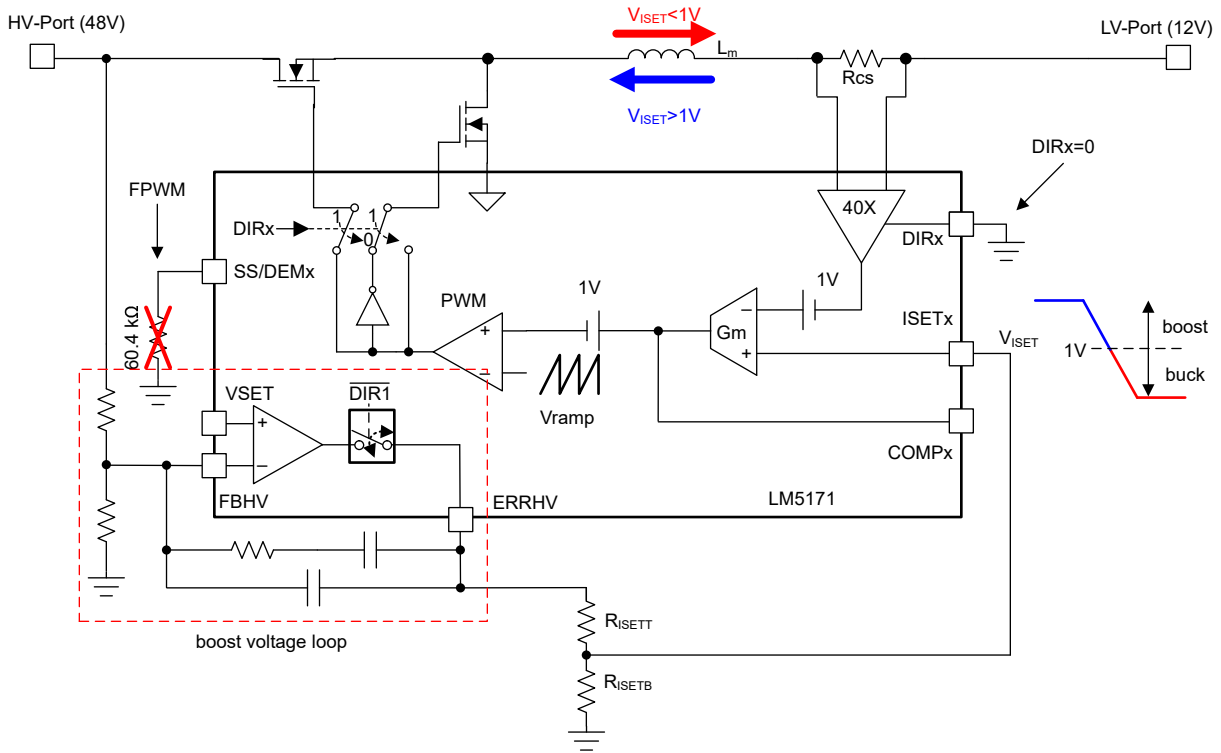


图 7. 采用单电压环路的双向运行

结语

本文讨论并比较了使用两种方法实现 LM5171 双向运行的方式：切换 DIRx 引脚以及调节 ISETx 引脚上的电压。

切换 DIRx 引脚时，LM5171 将执行新的软启动过程。因此，电流瞬态并非无缝。在 FPWM 模式下，调节 ISETx 电压可实现快速无缝的电流瞬态。但是请注意，FPWM 模式下的轻负载效率较差。

文中提供了两个基于上述方法具有电压环路的系统示例。文中讨论了这些系统的行为和性能。

商标

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月