

Application Note

使用预升压功能实现具有全局调光 LED 驱动器的汽车显示模块更稳健的设计



Justin Kim

摘要

本应用手册介绍了适用于汽车显示应用的预升压设计，它可使系统更加稳健。根据车辆原始设备制造商 (OEM) 的要求，应在低电池电量条件（例如 6V）下验证是否能够正常运行，例如使用典型的 12V 汽车电池进行启动和自动启动的条件。考虑到系统级难题，在实际设计中应注意在低电压条件下实现正常运行。设计人员可以通过使用预升压功能使系统更稳健。LM5152-Q1 是一款同步升压控制器，可在电池电压较低时用作预升压控制器。本应用手册的设计示例采用了 LP8866(S)-Q1，它是 TI 的汽车用全局调光 LED 驱动器，顺应显示市场趋势。

内容

1 简介.....2

2 没有预升压功能时可能出现的系统难题.....4

 2.1 高侧开关的欠压保护.....4

 2.2 系统偏置电源中断.....4

 2.3 LED 驱动器上的输入电压意外降低.....5

 2.4 系统中意外的输入电流增大情况.....5

3 使用预升压功能解决系统难题战的设计建议.....6

 3.1 方框图和测试结果设置.....6

 3.2 重要设计注意事项.....8

4 总结.....10

5 参考资料.....10

插图清单

图 1-1. GM 30 英寸汽车显示屏.....2

图 1-2. 显示模块的传统方框图.....2

图 2-1. 12V 至 6V VIN 瞬变期间的 LED_VIN、LED_VDD 和 I_L4

图 2-2. 12V 至 6V VIN 瞬变期间的 LED_VIN、LED_VDD 和 I_L (放大图)4

图 3-1. 使用预升压的显示模块的建议方框图.....6

图 3-2. 汽车预升压应用中的 LM5152-Q1.....6

图 3-3. 使用预升压功能时在 12V 至 6V VIN 瞬变期间 LM5152-Q1 的 VBAT 和 VOUT 以及系统输入电流.....7

图 3-4. 使用预升压功能时在 12V 至 6V VIN 瞬变期间 LED_VIN 和 LED_VDD 以及 I_L 波形.....7

图 3-5. LM5152-Q1EVM 原理图.....8

图 3-6. 启用时钟抖动和旁路运行.....9

表格清单

表 1-1. 每个 LED 驱动器的 LED 规格.....3

表 3-1. LM5152-Q1EVM 特性.....8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

大尺寸汽车显示屏在市场上越来越受欢迎。图 1-1 显示了来自 GM 的 30 英寸显示屏作为示例，其中集成了仪表组和 CID。一些 OEM 使用柱对柱显示屏，这是一种占据汽车仪表板整个宽度的超宽汽车显示屏。随着汽车面板尺寸的增加，背光中使用的 LED 越来越多。这意味着对电源的要求增加，因此需要更多的 LED 驱动器。由于 PCB 尺寸增加，长 PCB 走线上的损耗也会增加。



图 1-1. GM 30 英寸汽车显示屏

这一趋势可能向一级供应商和面板制造商提出挑战，要求他们根据电池曲线来应对低电池电量情况。即使在电压 6V 以下，LED 驱动器也必须正常亮起，具体情况由 OEM 的要求决定。显示模块的传统方框图在图 1-2 作为一个示例显示，它重点围绕 LED 驱动器电源设计（不包括外设）。表 1-1 列出了一个 LED 驱动器的设计要求，其中考虑了 LED 规格。

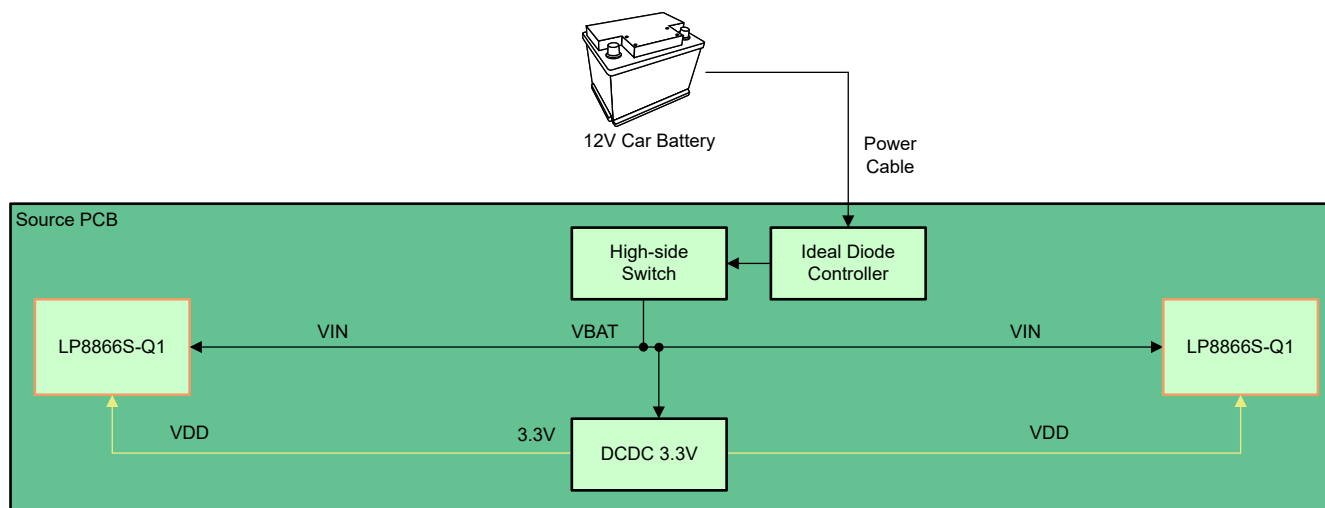


图 1-2. 显示模块的传统方框图

表 1-1. 每个 LED 驱动器的 LED 规格

| 参数 | 值 | 单位 | 注释 |
|----------------------------------|-------|----|----------------|
| $V_{IN(MIN)}$ | 6 | V | |
| $V_{IN(MAX)}$ | 26.5 | V | |
| 最大正向电压 $V_F(MAX)$ | 3.6 | V | LED 特性 |
| 一个 LED 灯串组中的正向电流 $I_F(MAX)$ | 80 | mA | |
| 一个灯串中的 LED 数量 | 10 | S | |
| 使用的 LED 接收通道总数 | 6 | Ch | |
| 所需的最大 V_{out} , $V_{OUT(MAX)}$ | 37 | V | 鉴于余量电压考虑 1V 裕度 |
| 最大输出功率 P_{OUT_MAX} | 17.76 | W | |
| 最大输入电流 I_{IN_MAX} | 3.48 | A | |
| 最大输入功率 P_{IN_Max} | 20.9 | W | 需要考虑系统的最差效率 |
| 系统效率最差 | 85 | % | |

在本系统示例中，由于 LED 驱动器用作升压转换器，因此在低电压条件下，输入电流会显著增加。由于损耗，大输入电流会导致电源线、高侧开关、理想二极管上出现大幅压降。PCB 上的输入电压最终会变小，而这甚至需要更大的电流。尽管 LED 驱动器甚至能够支持低输入电压条件，但这种恶性循环依然会使系统容易受到 UVLO 等意外保护功能的影响。预升压可帮助设计人员在系统层面应对这一挑战。

2 没有预升压功能时可能出现的系统难题

2.1 高侧开关的欠压保护

如图 1-2 所示，有一个高侧开关为系统提供电源，包括 LED 驱动器。大多数高侧开关 IC 都有 UVLO 保护。考虑到启动电压（例如 6V 或 4.5V），这种保护适用于该电压范。但是，高侧开关上的实际电压电平可能低于可接受的电压电平，因为长 PCB 走线、电源线、理想二极管等会导致压降。

由于 LED 驱动器用作升压转换器，因此较低的输入电压会产生较大的输入电流。在本系统示例中，情况更加糟糕，因为该示例采用了两个 LED 驱动器且驱动器消耗的电流要大得多，如第 1 节所述。在这种情况下，高侧开关可能会触发意外的 UVLO 保护，从而导致电源问题，因为高侧开关通常会在受保护的情况下关断。考虑到启动事件，图 2-1 和图 2-2 显示了 12V 至 6V VIN 瞬变条件下的波形。图中，LED 驱动器上的 VIN 表示为红线，电感器电流表示为粉色线，LED 驱动器上的 VDD 表示为绿线。当 VIN 降至 6V 时，IL 会急剧增加并导致 LED 驱动器上的 VIN 降至远低于 6V。

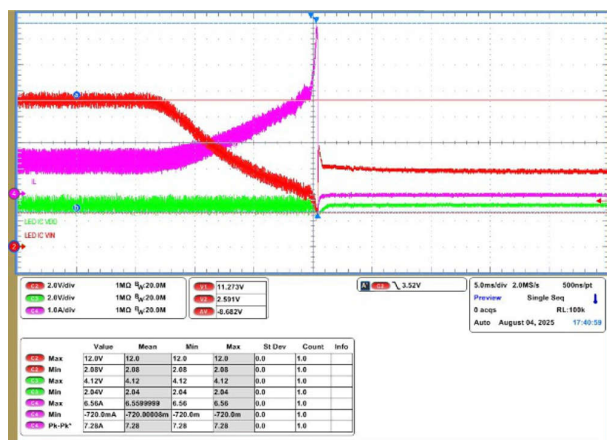


图 2-1. 12V 至 6V VIN 瞬变期间的 LED_VIN、LED_VDD 和 IL

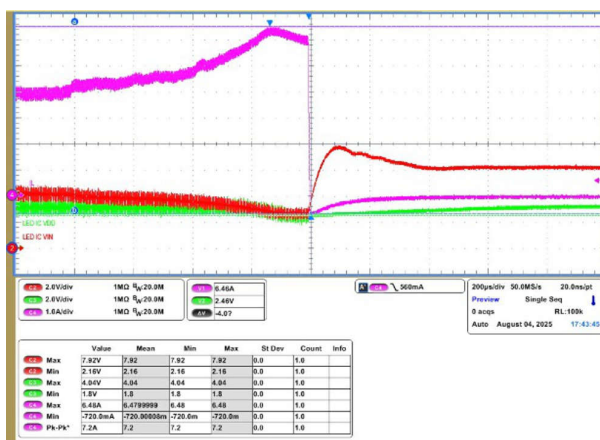


图 2-2. 12V 至 6V VIN 瞬变期间的 LED_VIN、LED_VDD 和 IL (放大图)

正如预期的那样，由于损耗，高侧开关上的电压已经远低于 6V。高侧开关触发 UVLO 从而导致关断。因此，即使 LED 驱动器仍在以降低的输入电压进行开关，电感器电流仍会降低，如图 2-2 所示。如果在实际系统中发生这种情况，用户会在启动期间遇到显示器关闭。为避免这种意外风险，设计人员必须使用在 UVLO 等保护措施上具有更大裕度的高侧开关。然而，这会增加成本、并使得实现精确保护变得困难。

2.2 系统偏置电源中断

如果高侧开关意外关断，则为 LED 驱动器、MCU、FPD-link 等供电的所有直流/直流转换器也会关闭。即使 LED 驱动器支持低电压条件，这种情况仍可以在 LED 驱动器 IC LP8866(S)-Q1 中触发 VDD 欠压保护，因为提供 VDD 的直流/直流也关断。如果 VDD 在器件运行期间降至 VDDUVLO 下降电平以下，则 IC 停止开关，LED 输出关闭并且器件进入待机模式。会在 SUPPLY_FAULT_STATUS 寄存器中设置 VDDUVLO_STATUS 故障位并触发 INT 引脚。当 VDD 上升至高于 VDDUVLO 上升阈值时，LP8866S-Q1 会自动重新启动到工作模式。

在图 2-1 和图 2-2 中，LED 驱动器由于 VDD UVLO 故障而关闭。这会复位导致 POR (上电复位) 的 IC。因此，如果系统在启动条件下不稳定，导致 VDD 降低，则 LED 驱动器不会按预期点亮。如果未向系统写入，请再次运行 I2C 命令。这种风险还可能使软件设计更加复杂。

2.3 LED 驱动器上的输入电压意外降低

如**节 2**所述，如果由于长 PCB 走线、电源线、理想二极管、高侧开关等上的损耗导致输入电压下降，则 LED 驱动器上的实际输入电压将大幅降低。如果像本系统示例中那样使用了两个 LED 驱动器，则、情况更糟。由于系统难题，LED 驱动器上的这种意外低输入电压可能会低于 3V 并触发 VIN UVLO 保护，即使 LED 驱动器可以支持高达 3V 的输入电压。

欠压阈值可通过 UVLO 引脚上的外部电阻分压器进行编程。如果在 LP8866(S)-Q1 器件正常运行期间 UVLO 引脚电压降至 UVLO 下降电平（典型值为 0.787V）以下，则 IC 停止开关，LED 输出关闭并且器件进入待机模式。SUPPLY_FAULT_STATUS 寄存器中也会设置 VINUVLO_STATUS 位并触发 INT 引脚。当 UVLO 电压上升至高于上升阈值电平时，LP8866(S)-Q1 退出待机模式并开始启动序列。

因此，如果系统在启动条件下不稳定，导致 VIN 降至 3V 以下，则 LED 驱动器无法按预期点亮。UVLO 保护设置必须具有大出很多的裕度来降低风险，但 UVLO 保护无法实现预期的精确保护，而这种保护不高效。

2.4 系统中意外的输入电流增大情况

如**图 2-1**和**图 2-2**所示，输入电压下降时，输入电流急剧增加。因此，输入电压大幅低于预期值时，消耗的输入电流将显著增大。即使 LED 驱动器可以设置足够大的 OCP 限制阈值，这种情况仍会在 LED 驱动器中触发意外的过流保护。

VIN OCP 电流限制旨在保护系统免受重大系统危险（例如，电感器短路，开关 MOSFET 短路）的影响。这会触发器件关断所有 LED 通道并进入故障恢复状态。如果在 LP8866(S)-Q1 器件正常运行期间 RISENSE 电阻器上的电压上升到 220mV 以上，则 IC 停止开关，LED 输出关闭，并且器件进入故障恢复模式然后在故障发生 100ms 后尝试重新启动。会在 SUPPLY_FAULT_STATUS 寄存器中设置 VINOCP_STATUS 故障位并触发 INT 引脚

因此，如果系统不稳定且实际输入电压大幅降低，设计人员必须应对意外的过流情况。这意味着电感器饱和电流必须更大，OCP 触发点必须更大，由于系统难题，这会导致保护功能不太精确。

3 使用预升压功能解决系统难题战的设计建议

3.1 方框图和测试结果设置

如果即使在电池电量低的情况下，系统的实际输入电压仍保持稳定，则第 2 节中的所有难题都可以解决。预升压是首选设计，确保系统上的最小电压为 8.5V，如图 3-1 所示。

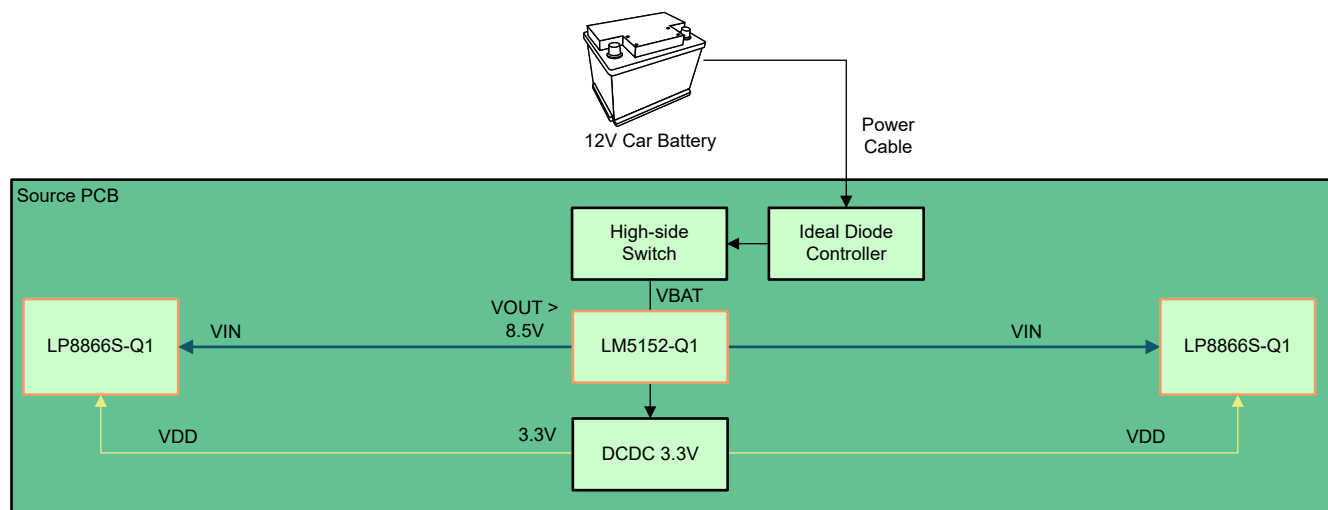


图 3-1. 使用预升压的显示模块的建议方框图

LM5152-Q1 器件是一款采用峰值电流模式控制的宽输入电压范围同步升压控制器。该器件可用作预升压控制器，如果启动时电池电压低，该控制器可升压至特定电压，如图 3-2 所示。该器件还通过旁路运行支持超低 IQ 深度睡眠模式，当电源电压大于升压输出稳压目标时，无需外部旁路开关。

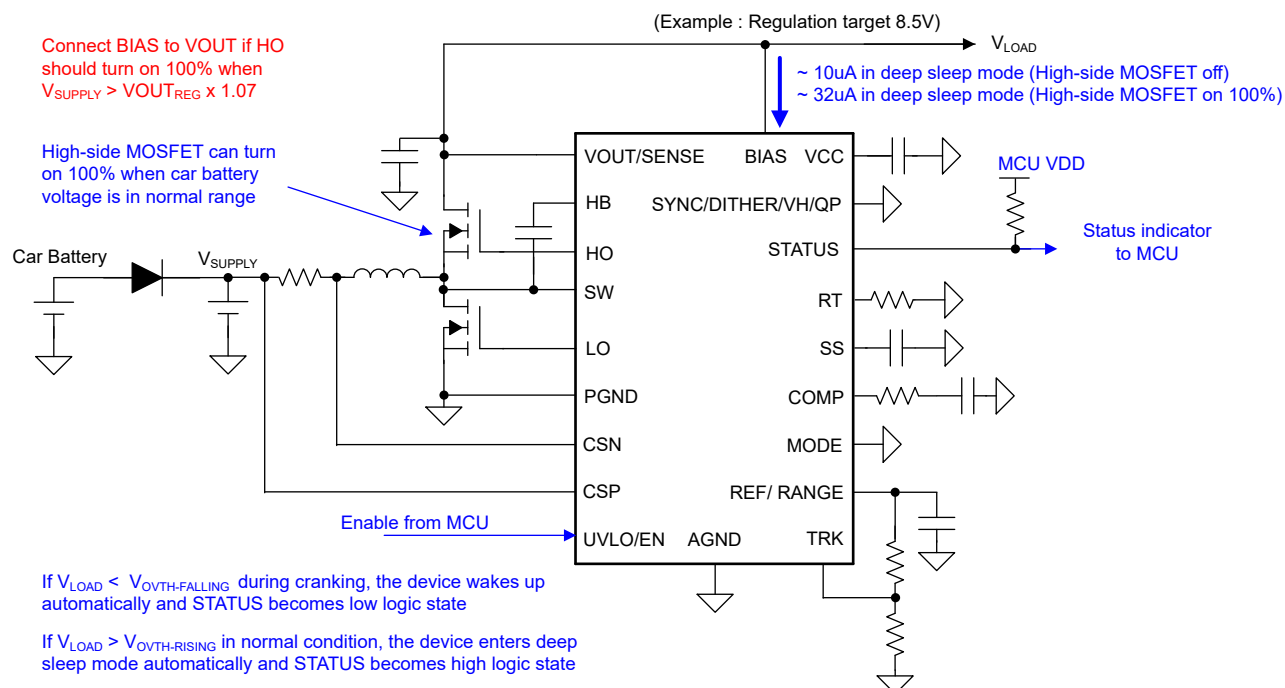


图 3-2. 汽车预升压应用中的 LM5152-Q1

如图 3-2 所示，此系统示例中使用了 LM5152-Q1 EVM 进行测试，因为这是首选设计。图 3-3 显示了 12V 至 6V VIN 瞬变期间的波形。红线表示 VIN，绿线表示 LM5152-Q1 的 VOUT，后者为系统（包括 LED 驱动器）供电，粉色线表示电池提供的输入电流。随着 VIN 从 12V 降至 6V，LM5152-Q1 正如预期的那样保持了 VOUT 最小值 8.5V，使系统保持稳定。同图 2-1 相比，图 3-4 从 LP8866S-Q1 的角度显示了波形。LED 驱动器上的 VIN 显示为红线，电感器电流是粉色线，LED 驱动器上的 VDD 显示为绿线。即使 VIN 降至 6V，由于预升压，LP8866S-Q1 上的输入电压仍如同预期的那样保持在 8.5V。因此，即使在使用电池启动的条件下，LED 驱动器也可以实现稳定运行。

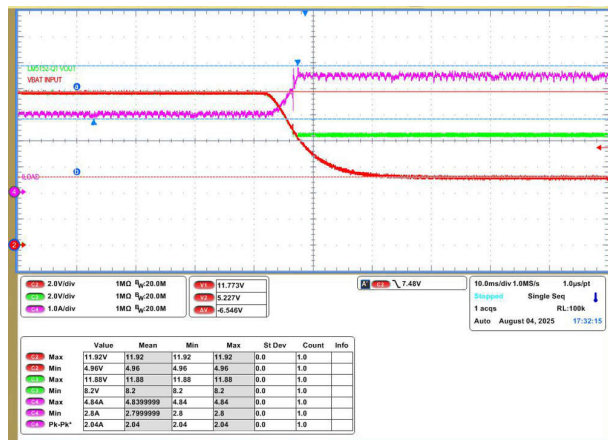


图 3-3. 使用预升压功能时在 12V 至 6V VIN 瞬变期间 LM5152-Q1 的 VBAT 和 VOUT 以及系统输入电流

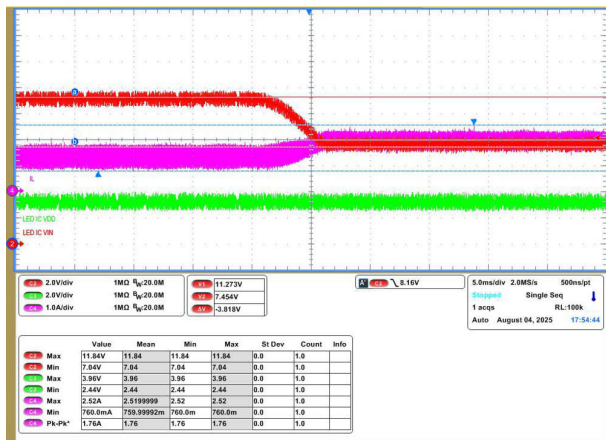


图 3-4. 使用预升压功能时在 12V 至 6V VIN 瞬变期间 LED_VIN 和 LED_VDD 以及 IL 波形

3.2 重要设计注意事项

系统示例中使用了 LM5152-Q1 EVM，可在汽车启动期间升压输入低至 2.5V 时，在 440kHz 频率下，保持 8.5V 最小输出电压。LM5152-Q1EVM 旨在达到表 3-1 中列出的电源要求，它可满足大多数要求。详细信息在 [LM5152EVM-BST 评估模块](#) 中进行了介绍。德州仪器 (TI) 还在 [ti.com](#) 上提供了许多工具来帮助设计人员，适用于该器件的 Webench 或 Excel 设计计算器。

表 3-1. LM5152-Q1EVM 特性

| 参数 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--------|----------------------------------|-----|------|-----|-----|
| 输入电压范围 | 运行 | 2.5 | 13.5 | 36 | V |
| | 启动电压 | | 7 | | |
| 输入电压 | | | | 17 | V |
| 输出电压 | | | 8.5 | | V |
| 输出电流 1 | $2.5V \leq V_{SUPPLY} \leq 4.5V$ | | | 4 | A |
| 输出电流 2 | $4.5V \leq V_{SUPPLY} \leq 36V$ | | | 6 | A |
| 开关频率 | | | 440 | | kHz |

其中一个关键注意事项是如何设置最小输出电压。VOUT 稳压目标 (VOUT-REG) 可通过对 TRK 引脚电压进行编程来调节，TRK 引脚电压是内部误差放大器的基准电压。VOUT-REG 的精度在 TRK 电压介于 0.25V 和 1V 之间时得到保证。利用高阻抗 TRK 引脚，用户可以通过数模转换器或通过连接到 VREF 和 AGND 之间的电阻分压器 (RVREFE、RVREFB) 直接对引脚电压进行编程。

该器件提供 1V 电压基准 (VREF)，可用于通过电阻分压器对 TRK 引脚电压进行编程。当使用 RVREFE 和 RVREFB 对 TRK 引脚电压进行编程时，VOUT-REG 可按方程式 1 计算。

$$VOUT_{REG} = 20 \times \frac{RV_{VREFB}}{RV_{VREFB} + RV_{VREFE}} \quad (1)$$

因此，如图 3-5 所示，在原理图中 $RV_{VREFE} = 56.2K$ 且 $RV_{VREFB} = 41.2K$ 。

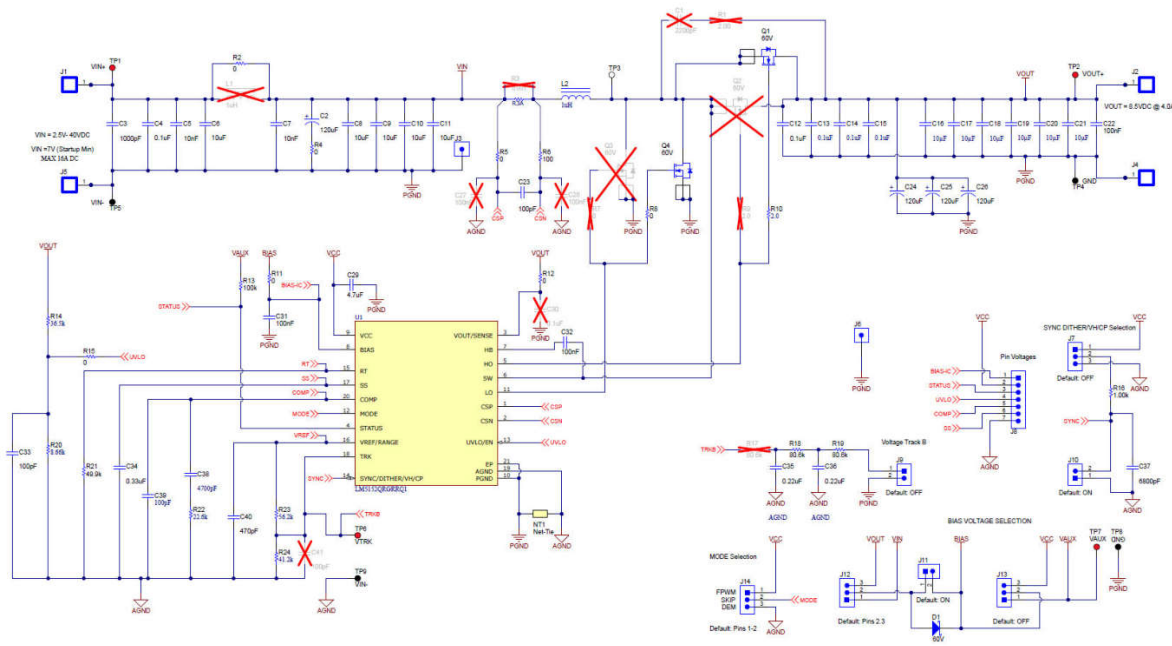


图 3-5. LM5152-Q1EVM 原理图

另一个关键问题是抖动功能。大多数汽车应用都需要展频等抖动功能。LM5152-Q1 可以通过二极管将 STATUS 引脚连接到 DITHER 引脚来实现抖动功能，如图 3-6 所示。当 LM5152-Q1 切换为升压输出电压时，需要抖动功能。在升压运行期间，STATUS 引脚下拉至接地。二极管反向偏置，并且抖动斜坡机制可通过对 DITHER 引脚上的电容器进行充电和放电工作。但是，该电容器必须连接到同一个 SYNC/DITHER/VH/CP 引脚。

如果 VOUT 引脚电压大于过压 (VOVTH)，则 LM5152-Q1 进入旁路模式。旁路模式期间，高侧 FET 必须 100% 导通，并且不需要抖动。由于 LM5152-Q1 没有内部电荷泵，因此 DITHER/CP 引脚上的电压必须大于 2V 才能启用内部电荷泵以进行旁路运行。器件进入旁路模式后，STATUS 引脚被上拉并且该引脚会启用电荷泵。因此，必须使用二极管和上拉电阻器来实现抖动功能和旁路模式。

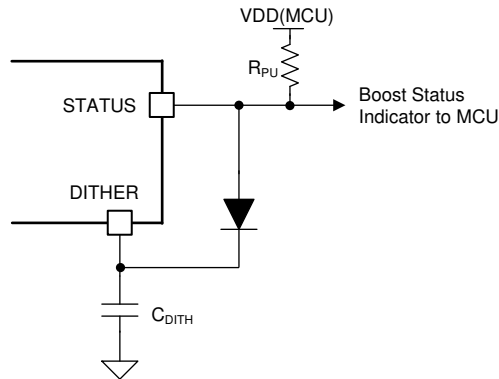


图 3-6. 启用时钟抖动和旁路运行

4 总结

本应用手册演示了如何使用 **LM5152-Q1** 通过预升压在电池电量不足条件下（尤其是在启动事件期间）稳定汽车显示应用。随着市场上汽车显示面板尺寸越来越大，电源要求也随之提高。这种情况下，对于设计人员而言，实现可靠稳定的电源管理系统更为困难。然而，**LM5152-Q1** 提供了可靠的预升压设计，它也可以实现抖动功能来提高 EMI 性能。即使采用了简化的软件设计，该设计仍能帮助设计人员实现更高效、更可靠的汽车显示系统。

5 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[具有 6 个 150mA 通道的 LP8866S-Q1 汽车级显示 LED 背光驱动器](#) 数据表。
2. 德州仪器 (TI)，[适用于启停/备用电池电源的 LM5152x-Q1 汽车级低 IQ 同步升压控制器](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI)，[LM5152EVM-BST 评估模块](#)，EVM 用户指南。

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