

Application Note

基于 DC/DC 降压转换器的 PDLC 显示屏直流至交流转换方案



Andrew Kutzler, Nassif Abi Jaoude

摘要

聚合物分散液晶 (PDLC) 是将液晶与聚合物基体相结合的材料。PDLC 以其独特的光学特性著称，常应用于智能窗户、显示屏和光学设备等应用。液晶是既可以像液体一样流动，又具有类似固体的有序结构的物质。但 PDLC 的实用之处在于其在电场作用下可发生取向变化。无电场作用时，液晶在聚合物基体内随机排列，导致光线散射，进而使 PDLC 呈现不透明或磨砂状态。对 PDLC 施加电场时，液晶将沿电场方向重新排列。这种现象减少了光散射，使更多光线能够透过材料，进而让 PDLC 呈现清晰或透明的状态。

内容

1 简介	2
2 PDLC 电路实现方案	4
3 总结	7
4 参考资料	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

典型的 PDLC 应用需要的交流电压范围为 15-100V，频率为 50-60Hz，但确切的电压和开关频率在很大程度上取决于材料厚度和所需的开关速度。PDLC 应用的供电方案有多种。最常见的方案采用分立式方法，其中微控制器、高压 MOSFET 驱动器和外部功率级以所需频率实现交流输出电压。目前的 PDLC 功率级电路体积庞大，BOM 成本较高。本文提出的 PDLC 双路降压配置采用更少、更经济的元件，可以替代传统应用电路。此外，在双路降压配置中，LM6565X5 通过包含电容器并将环路补偿集成至功率级降压稳压器，最大限度减少了外部元件数量。

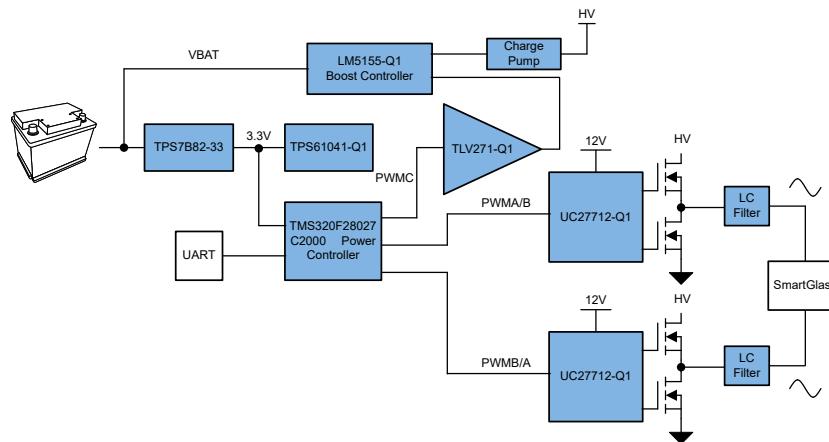


图 1-1. 典型 PDLC 完整应用

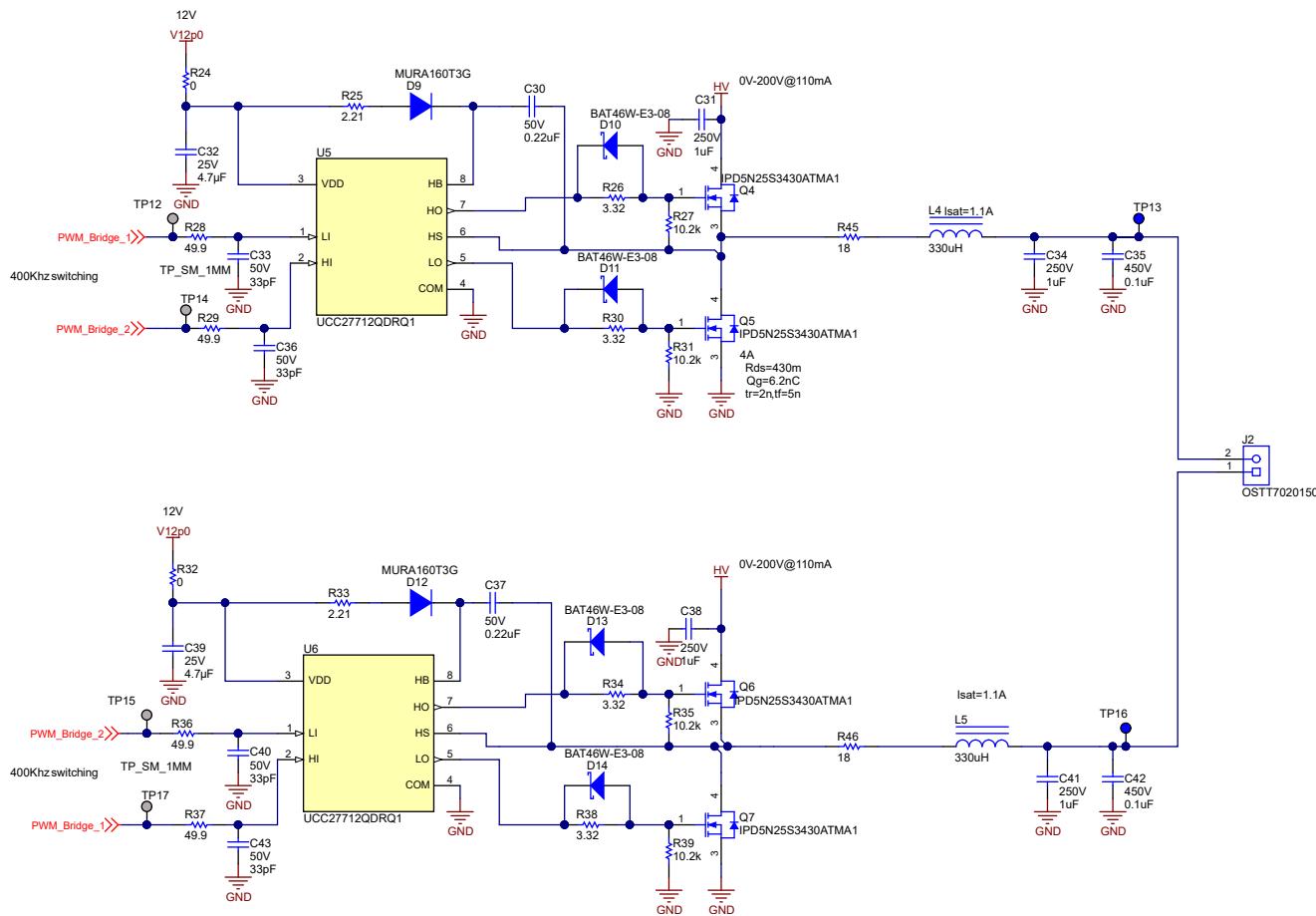


图 1-2. 带 MOSFET 驱动器的现有 PDLC 功率级

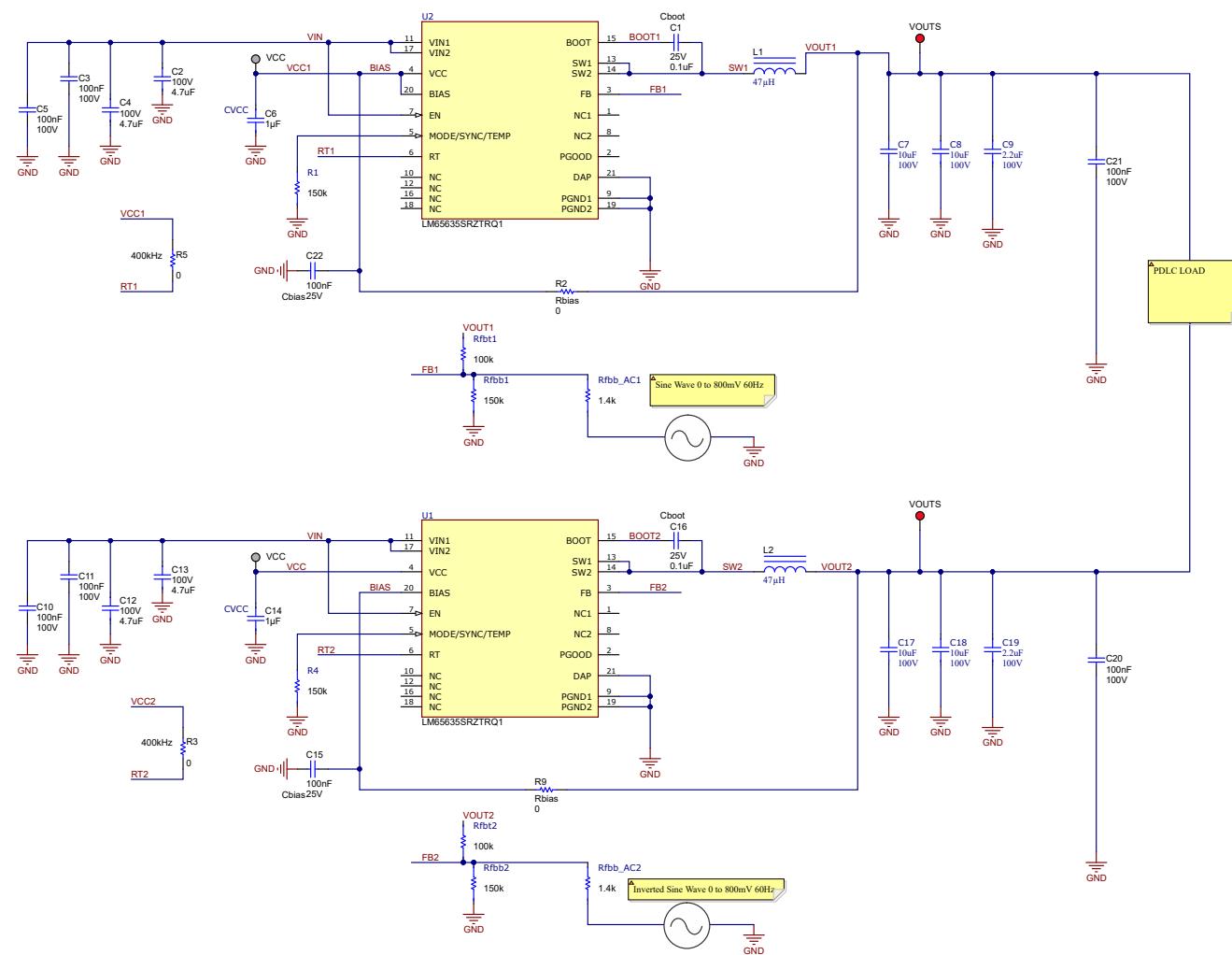


图 1-3. PDLC 双路降压功率级电路

2 PDLC 电路实现方案

本应用中输出电压在 60Hz 频率下于 1.6V 至 57V 之间变化。LM65625 的主要特性之一是具有 35ns (典型值) 的最短导通时间，这使得在输出电压较低时仍能通过高开关频率实现低占空比转换。本设计选择 400KHz 作为工作开关频率，因为 400KHz 既能保持较小的电路尺寸，又可维持稳定的 PWM 控制而无需折返降低开关频率。

LM65625 以 400KHz 工作时，能在 V_{OUT_PK} 和 V_{OUT_TROUGH} 阶段有效实现本应用所需的高和低占空比降压。

LM65625 采用峰值电流控制方案。由于输出电压是在 1.6V 与 57V 之间交替的正弦波形，其有效 (RMS) 输出电压为 $V_{OUT_PK} / \sqrt{2} = 40V$ 。确定输出元件尺寸时考虑了 RMS 输出电压。这避免了因过度设计交流输出电压高和低增益摆幅而增加设计复杂度。但需注意，电容器额定电压必须满足交流 V_{OUT_PK} 要求。本例选择了额定电压为 100V 的电容器。两个降压转换器的电路必须完全相同。与直觉相反，电路设计不需要遵循 V_{OUT_PK} 的方程式 1，否则可能导致本应用的电感器过大。相反，由于电压以正弦方式振荡，可以使用 RMS 电压。针对本应用的测试表明，在 400KHz 开关频率下，当任意降压转换器在 60Hz 正弦周期内出现 $> 50\%$ 占空比时，均未出现次谐波振荡问题。在更高的频率下， V_{OUT_TROUGH} 所需的低占空比可能受到最小导通时间限制。要解决此问题，可在保持 V_{PDLC_pk} 幅度不变的前提下，将 V_{OUT_TROUGH} 和 V_{OUT_pk} 提升相同的幅度。

$$L_{MIN} \geq 0.47 \cdot \frac{V_{OUT_rms}}{F_{SW}} \quad (1)$$

我们实施了一种新方案，使用 LM65625 DC/DC 转换器为 PDLC 生成交流输出电压。两个降压转换器采用桥接配置来为 PDLC 供电。每个转换器的反馈网络分别输入相位差 180° 的 60Hz 正弦波。这样，显示屏两端就会产生 $\pm 57V$ 峰值交流正弦波，提供约 40Vrms 及 2A 电流。使用了两个 LM65625 降压 IC 来分别满足 80W PDLC 的源电流与灌电流需求。本例中的正弦波由函数发生器生成，但可以使用任何 DAC 正弦波发生器（例如 TMS320F28027 微控制器中的发生器）生成 60Hz 正弦波。

图 2-1 所示为使用 LM65625-Q1 的简化 PLDC 应用。

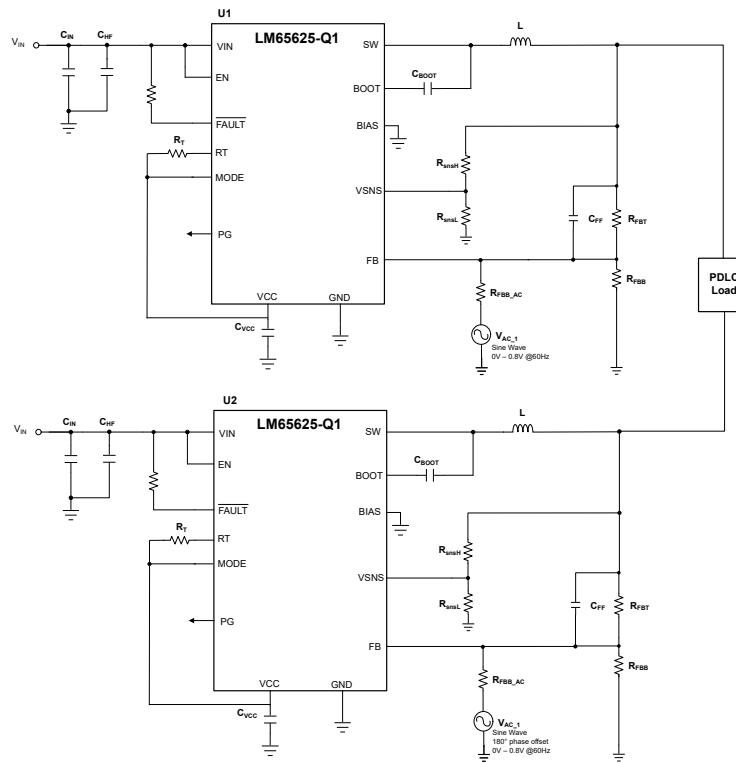


图 2-1. 应用原理图

我们选择了 $47 \mu H$ (XGL6060) 电感器，可在不影响电路尺寸的情况下实现稳定可靠的设计。对于 C_{OUT} ，需要 $22 \mu F$ 的有效输出电容。我们使用以下公式选择了 2 个 $10 \mu F + 2.2 \mu F$ MLCC 输出电容器。I 设为 $0.8A$ (满负载的 30%)，并在适用时再次使用 V_{OUT} 的 rms 值。

$$V_R \cong \frac{\Delta I}{8 \cdot F_{SW} \cdot C_{OUT}} \quad (2)$$

$$\Delta I \cong \frac{(V_{IN} - V_{OUT_rms}) \cdot V_{OUT_rms}}{V_{IN} \cdot F_{SW} \cdot L} \quad (3)$$

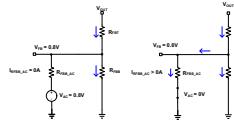


图 2-2. 反馈电路

交流输出波形来自施加在 FB 电压上的交流电压。图 5 展示了电流如何流经反馈分压器系统，为系统生成 V_{OUT_TROUGH} 和 V_{OUT_pk} 。随着交流信号减小，流经交流电阻器的电流增大，有效 V_{OUT} 减小。降压稳压器实质上起着放大器的作用，将小信号转换为交流电压源。以下是用于设置反馈电阻器电路参数值的一系列公式。 V_{PDLC_pk} 是根据规格为特定应用设置的系统参数。通常选择 $100k\Omega$ 作为 R_{FBT} 的可靠阻值。LM65625 的 V_{REF} 为 $0.8V$ ，但该值可能因降压转换器不同而异。

$$V_{PDLC_pk} = V_{OUT_pk} - V_{OUT_trough} \quad (4)$$

$$R_{FBB} = R_{FBT} \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT_trough} - V_{REF}} \quad (5)$$

$$R_{EQ} = R_{FBB} \parallel R_{FBB_AC} \quad (6)$$

$$R_{EQ} = R_{FBT} \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT_pk} - V_{REF}} \quad (7)$$

$$R_{FBB_AC} = \frac{V_{FBB} \cdot R_{EQ}}{V_{FBB} - R_{EQ}} \quad (8)$$

下图展示了降压转换器的输出电压波形与电感器电流波形。该设计可提供稳定的 $60Hz$ 输出电压。SIMPLIS 等仿真软件对于提供快速结果和快速检查设计是否稳定非常有用。

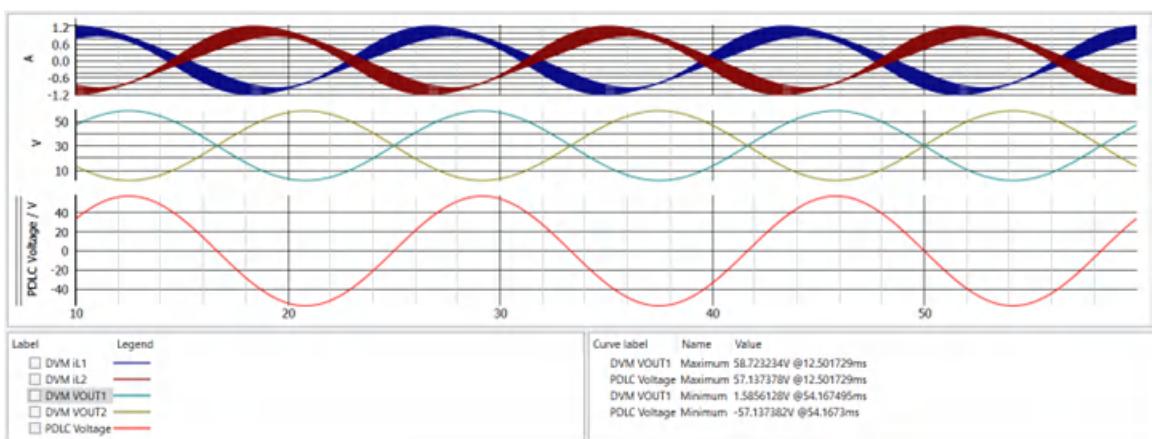


图 2-3. 仿真结果

该应用电路也已通过实验室实测验证。我们配置了两个 LM65645EVM 和一个函数发生器来对该设计进行了测试。图 2-4 表明此类拓扑能够产生 PLDC 所需的 $60Hz$ 电压。

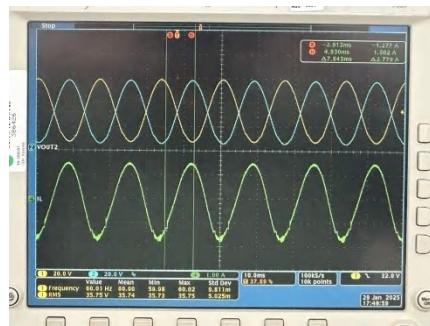


图 2-4. 实验室结果

3 总结

根据对 PDLC 双路降压应用电路的分析与评估，可得出以下结论。与典型的 PDLC 应用电路相比，双路降压应用电路因集成驱动器和 MOSFET 而具有更低的 BOM 成本。LM656x5 的 35ns 最短导通时间支持高频率工作模式，并能实现满足最大交流电压摆幅所需的高转换比。由于元件数量减少，该降压应用电路还具备更高的功率密度和更优的 FIT 率。如果需要较低的输出电流，可以为此类应用使用 LMR604X0 等小电流器件。

4 参考资料

德州仪器 (TI) , [汽车 SPD-SmartGlass™ 驱动器参考设计](#) , 设计指南。

德州仪器 (TI) , [了解和应用电流模式控制理论](#) , 应用手册。

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出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