

THVD8010：利用 OOK 调制在电力线上实现简化且稳定的 RS-485 通信



Len, Zhang

Qing Dao

摘要

传统商用空调系统的线控器和内机通信主流采用 UART、RS-485 总线等有线通信方式，该类方案需单独布线，施工与维护成本高，长距离传输时易受强电电磁干扰，且故障排查难度大。针对上述痛点，本文引入具有开关键控 (OOK) 调制功能的 RS-485 收发器 THVD8010，其支持电力线通信，通过将数据调制到现有的直流电源线上，实现了电源与通信共享同一对线缆，从而显著降低了系统复杂性和布线的成本。THVD8010 凭借差分总线结合 OOK 调制的优势，具备良好的抗噪能力，并且保证信号在长距离传输后，即便严重衰减也能被正常解调。本文将深入探讨其如何解决系统级设计挑战，并提供实现指南、布局建议和实测数据。

系统设计挑战：简化布线、抗噪、长距离通信、降低成本

在许多工业自动化、楼宇自动化和商用空调的控制系统中，传感器、执行器和控制器分布广泛。为每个节点同时铺设电源线和数据通信线缆是一项成本高昂且复杂的任务，尤其是在改造现有设施时，目前主要面临着以下的挑战。

挑战 1：独立的线缆成本。额外的电源线增加了材料 (线缆本身) 和人工 (铺设) 成本。

挑战 2：空间限制，抗噪能力。在狭窄的管道或设备内部，增加线缆变得困难，同时和其它线缆 (如风机) 的缠绕也会影响通信质量。

挑战 3：长距离通信。在楼宇商场等长距离通信的场景，会面临信号丢失的风险。

挑战 4：系统复杂性。独立的电源和通信网络增加了连接器、接口和布线的复杂度。

THVD8010 通过其创新的 OOK 调制技术，可以直接很好的解决上述挑战。

THVD8010：集成 OOK 调制的 RS-485 解决方案

THVD8010 并非一个标准的 RS-485 收发器。它的核心价值在于其内置的调制解调器，能够将数字数据转换为适合在直流电源线上传输的 OOK 信号，并能在接收端将其恢复为数字数据。

OOK 调制核心特性与优势

OOK 调制与解调：这是 THVD8010 的基础。在发送模式 (TX) 下，逻辑低电平被调制为特定频率的载波信号，而逻辑高电平则使驱动器输出零差分电压，如 [图 1](#) 所示。在接收模式 (RX) 下，内置的峰值检测器能将电源线上提取出的 OOK 信号解调为原始数据，如 [图 2](#) 所示。

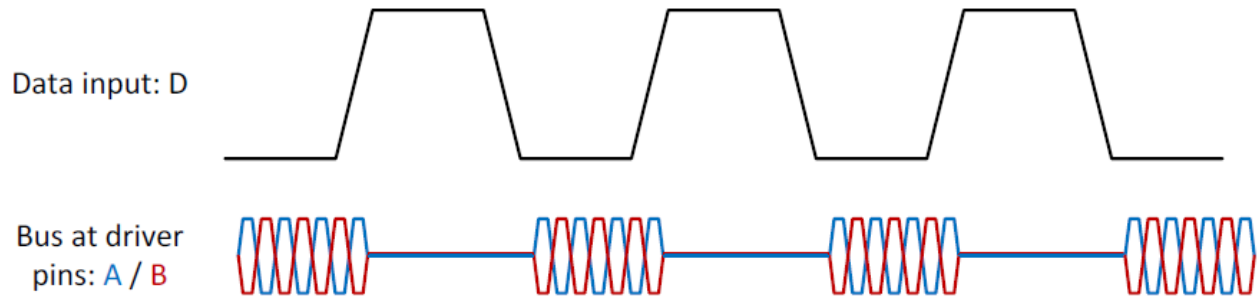


图 1. OOK 调制

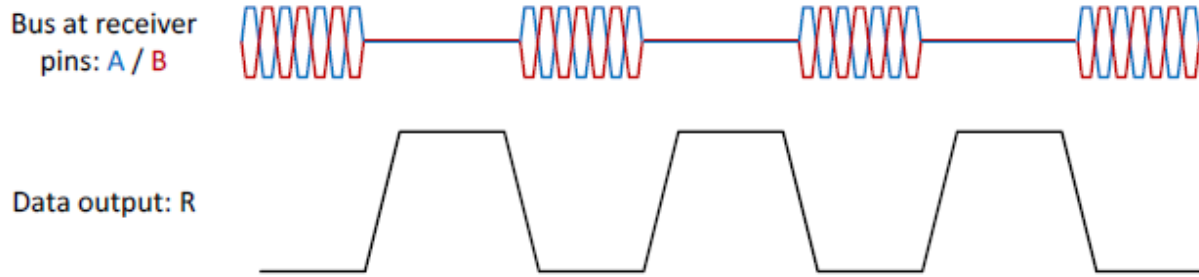


图 2. OOK 解调

无需考虑极性：这是简化安装的关键优势。在 OOK 模式下，接收器仅检测输入信号幅度而忽略其极性。这意味着在现场接线时，无需担心将总线 A 和 B 线接反，极大地简化了安装流程，避免了因极性错误导致的调试问题，提升了系统的可靠性。

引脚可编程载波频率：通过单个外部电阻 ("RF_SET") 即可设置载波频率 (125 kHz~300 kHz)，如 图 3 所示。这为系统设计提供了灵活性，可以优化外部无源元件 (电感、电容) 的选择，并避开特定频段的噪声干扰。

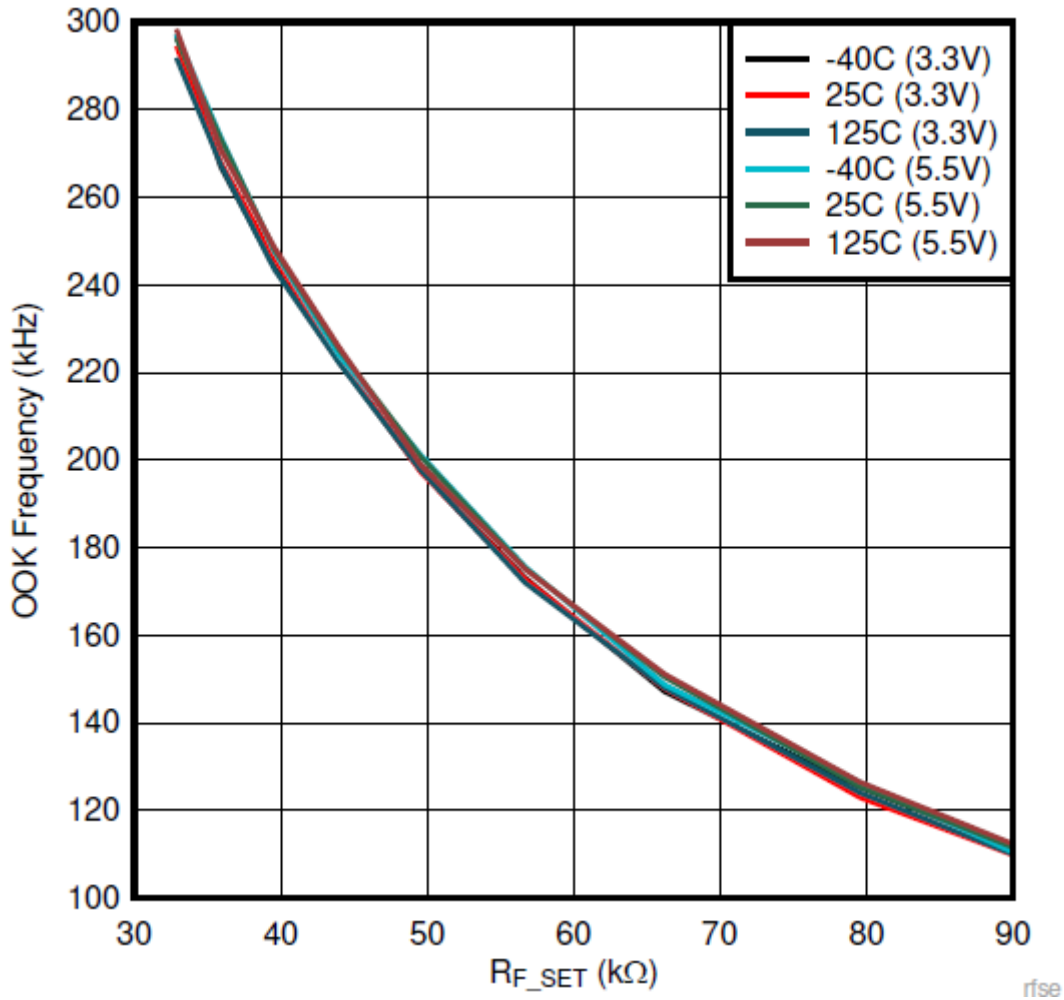


图 3. RF_SET 与 OOK 频率的对应曲线

扩展频谱时钟 (SSC)：内部振荡器采用扩频技术，将载波能量分散在一个窄带范围内，而非集中在单一频率上。这显著降低了电磁干扰 (EMI) 的峰值，有助于系统轻松满足 EMC 法规要求。

集成强大的保护功能：

- IEC ESD 保护：集成±8 kV (接触放电) 和±15 kV (空气放电) 的 IEC 61000-4-2 ESD 保护，以及 ±4 kV 的 IEC 61000-4-4 电气快速瞬变 (EFT) 抗扰度。这为工业环境中的浪涌和瞬态事件提供了强大的鲁棒性，减少了对外部 TVS 二极管的需求。
- ±18V 总线故障保护：总线引脚可耐受持续的高压故障，防止器件在电源线意外与高压线短路时损坏。

发送器超时功能：防止在 D 输入信号因故障保持稳定时，总线被单一节点无限期占用，确保多节点网络的可靠性。

典型应用与实现

系统框图：电力线通信网络

对于高空内机和线控器之间的通信，传统的 UART 存在通信距离短、易受干扰等问题，通常超过 40 米的距离，UART 的接收端数据就会丢失，并且在空调运行的时候，存在风机线缆和通信线缠绕的问题，这也会干扰 UART 的通信，导致数据异常传输，针对此类问题，THVD8010 凭借差分总线结合 OOK 调制的优势，具备良好的抗噪能力，即使信号经过了长距离传输后严重衰减，也能被正常解调，可以完美的弥补 UART 在内机和线控器之间通信的缺点。

图 4 展示了一个典型的商用空调内机与线控器的应用。空调内机和线控器分别对应两个节点，每个节点都通过一个 RC 电路将 THVD8010 连接到共享的电源和数据总线。

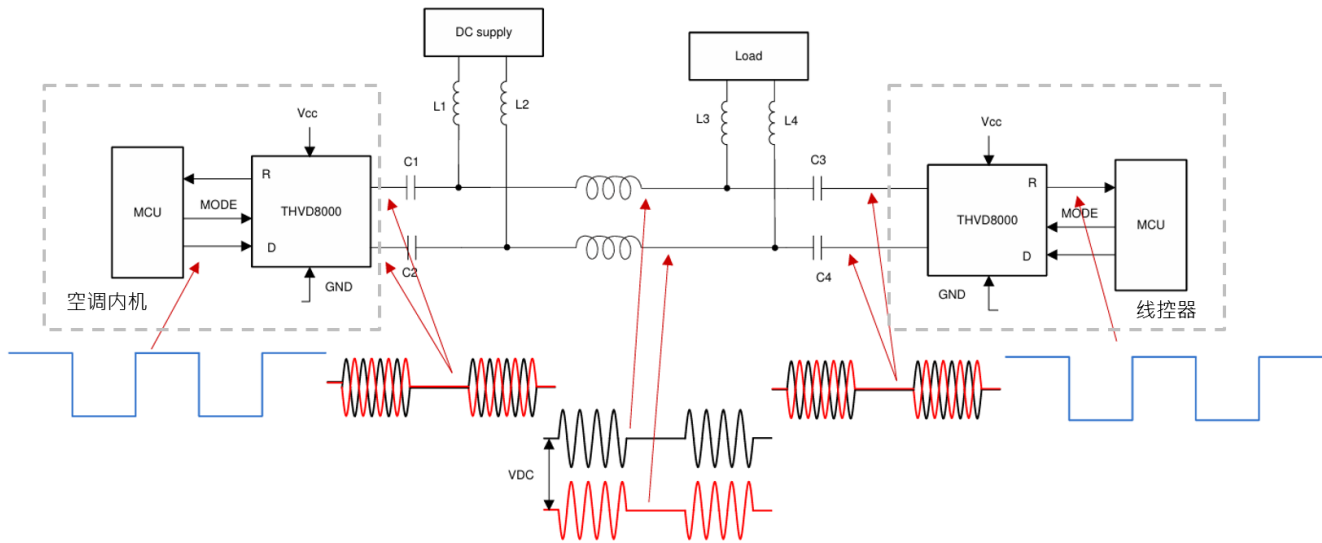


图 4. THVD8010 电力线通信网络

电源 (DC supply) : 为整个网络提供直流电源。

电感 (L1, L2, L3, L4) : 对低频直流电源呈现低阻抗，但对高频数据信号呈现高阻抗，防止数据信号被电源短路。

电容 (C1, C2, C3, C4) : 对高频数据信号呈现低阻抗，允许其通过，但阻隔直流电源，保护 THVD8010 的总线引脚。

设计步骤：选择电感和电容

首先要选择合适的 L 和 C 的值，要在对应的载波频率下为数据和电源提供正确的阻抗路径，具体步骤如下：

1. 选择载波频率 (f_0) : 根据数据速率和抗噪需求选择。建议数据速率不超过 $f_0/10$ 。例如，对于 20kbps 的数据速率，要选择大于 200KHz 的载波频率；
2. 计算电感值 (L) : 电感的阻抗

$Z_L = 2\pi f_0 L$ 。为确保数据信号不会过多地衰减在电感上，所有节点电感的并联阻抗应远大于 RS-485 终端的差分阻抗 (通常为 60Ω)。对于一个有 N 个节点的网络，每个电感的阻抗应至少为 $60\Omega * N$ 。然后根据 $L = Z_L / (2f_0)$ 计算电感值。

示例：对于 2 节点，300kHz 的网络，每个电感的 $Z_L \geq 120\Omega$ ，则 $L \geq 120 / (2\pi * 300e3) \approx 63.5\mu H$ 。选择一个标准值，如 $68\mu H$ ，并确保其能承受节点的最大直流电流。

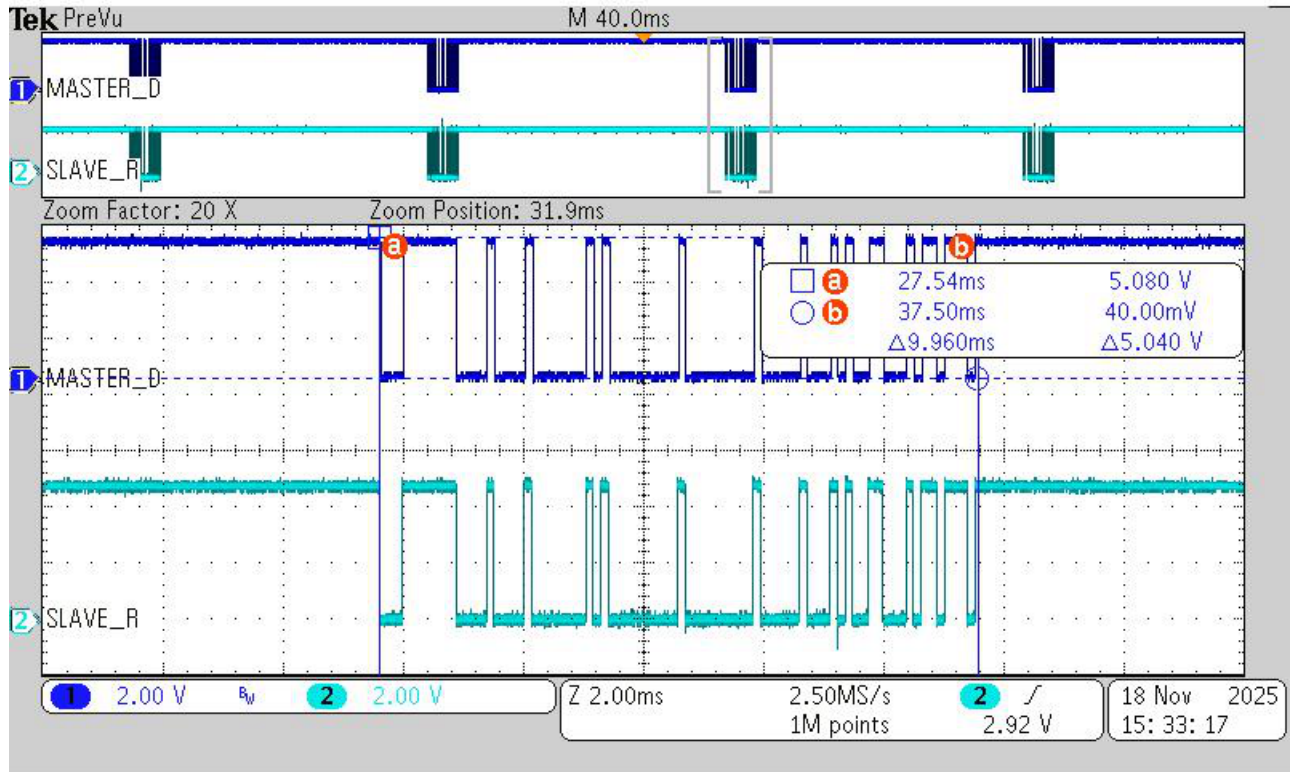
3. 计算电容值 (C) : 电容的阻抗 $Z_C = 1 / (2\pi f_0 * C)$ 。为确保数据信号能有效耦合到总线，电容的阻抗应足够小 (通常建议 $Z_C \leq 5\Omega$)。

示例：对于 300kHz， $C \geq 1 / (2\pi * 300e3 * 5) \approx 106\text{ nF}$ 。选择一个标准值，如 100nF 或 220nF，并确保其额定电压远高于总线上的直流电压。

商空内机-线控器通信实测波形

THVD8010 实现长距离通信

基于 THVD810 的载波通信方案，将内机和线控器用 100m 长的电力线连接，让内机给线控器发指令，并让线控器给内机发指令，通过测取收发信号的波形，判断 THVD8010 是否可以在 100m 电力线的情况下实现双向通信。



DPO3054 - 15:14:42 2025/11/27

图 5. 100m 通信-内机发送、线控器接收信号波形

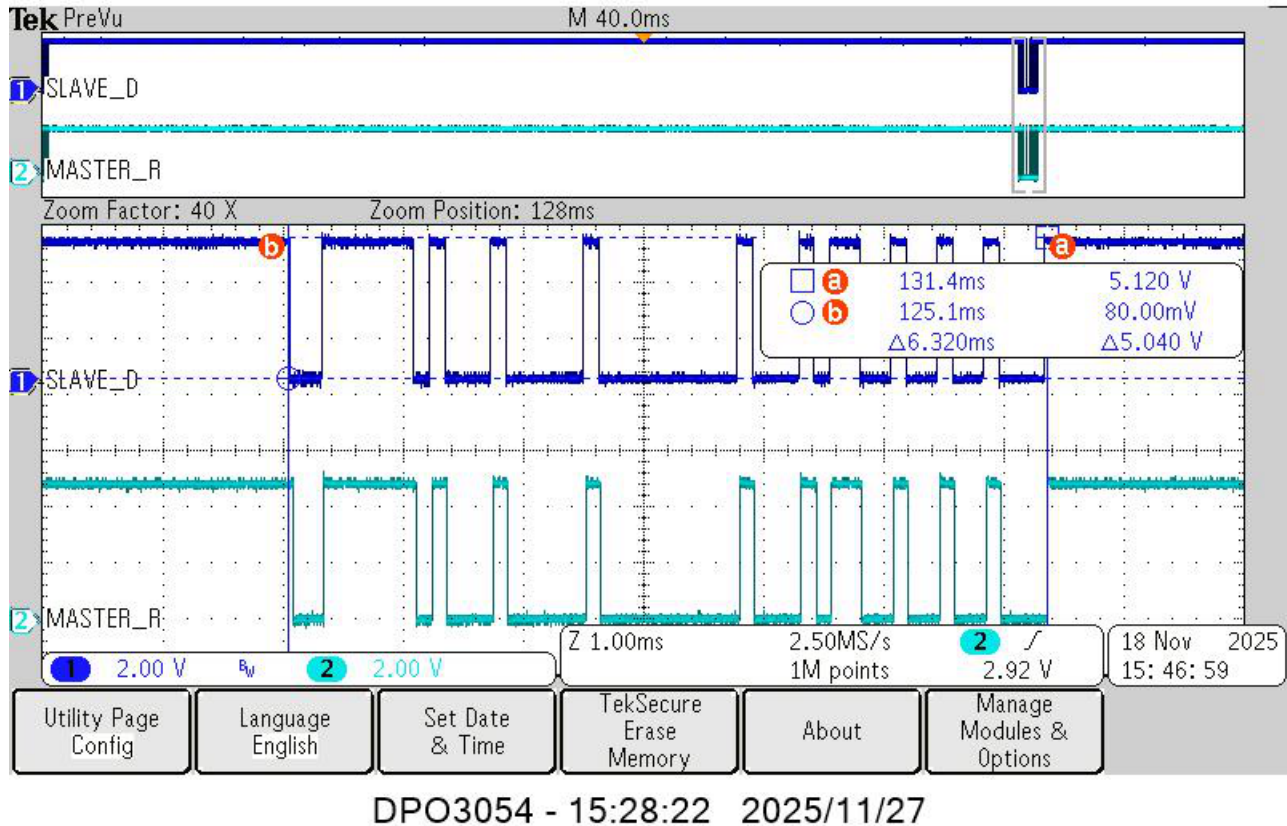
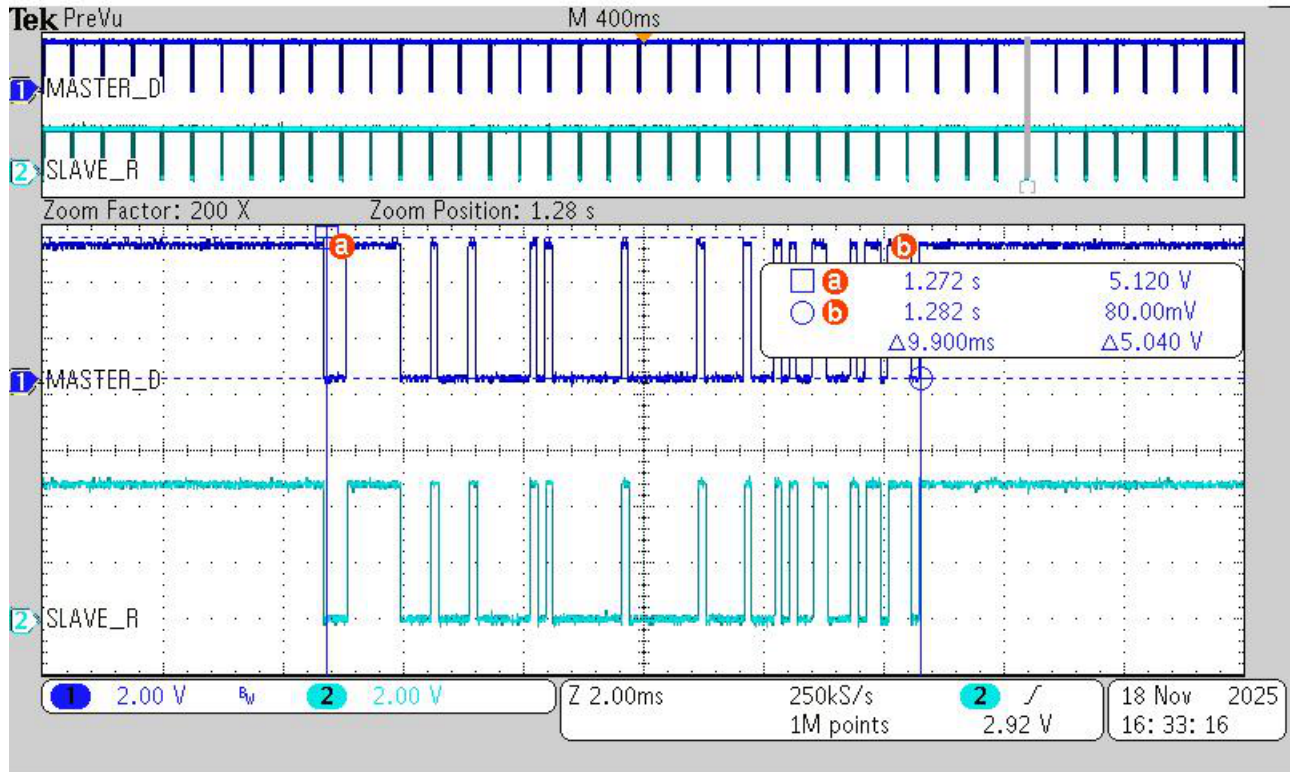


图 6. 100 米通信-线控器发送、内机接收信号波形

如 图 5 所示，MASTER_D 是内机发送的信号，SLAVE_R 是线控器接收的信号，可见 THVD8010 在电力线长达 100m 的条件下，线控器仍能实现正常的信号接收，同理，如 图 6 所示，内机同样可以在 100m 电力线的条件下实现正常的信号接收，这不仅帮忙客户实现了更长距离的通信，同时减少了 100m 的额外电源线，极大的降低了系统设计的成本。

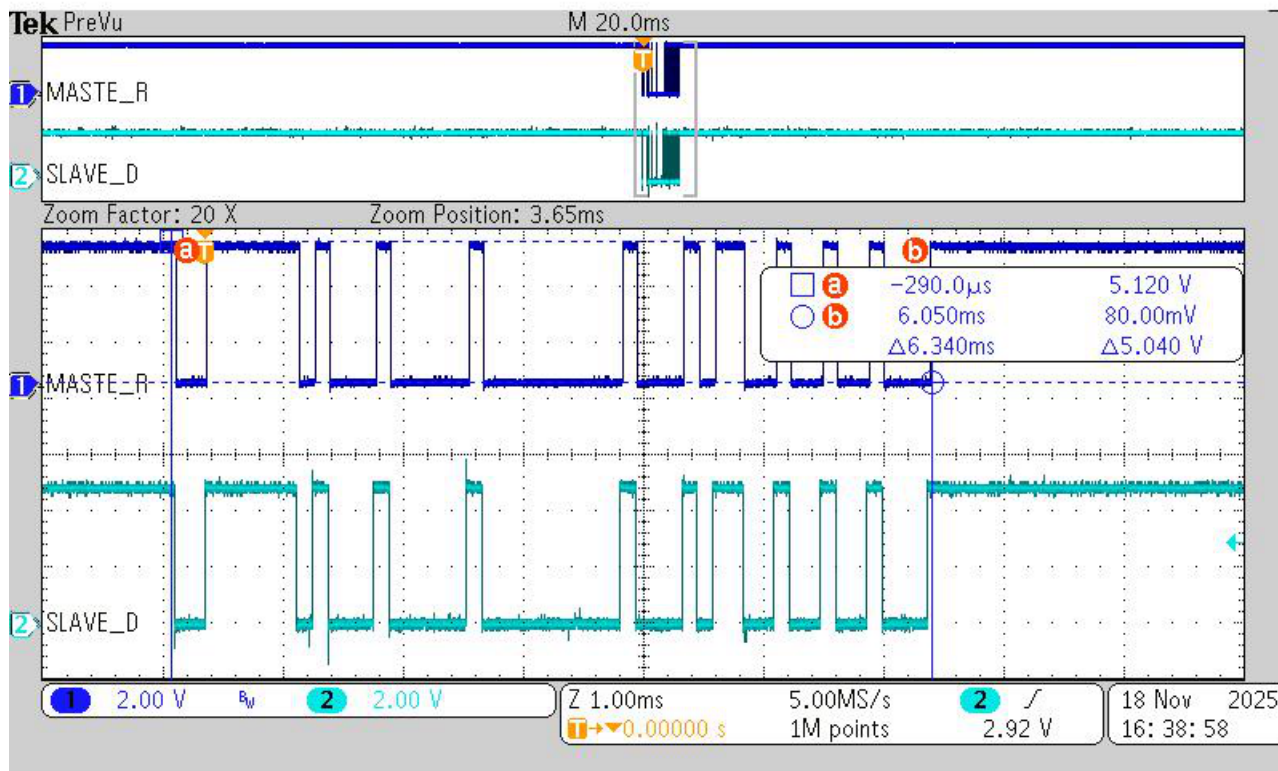
THVD8010 在风机干扰下的通信

在空调运行的时候，风机的三相输出线缆往往和电力线缠绕，这很可能导致风机线缆中的大电流、高电压耦合电力线中，从而干扰内机和线控器的正常通信。为对 THVD8010 抗噪能力进行验证，启动空调，让风机运转，并将 THVD8010 的电力线与风机三相输出线缆缠绕，测取收发信号的波形，判断 THVD8010 的通信是否受到风机线缆的影响。



DPO3054 - 16:14:43 2025/11/27

图 7. 风机干扰-内机发送、线控器接收信号波形



DPO3054 - 16:20:24 2025/11/27

图 8. 风机干扰-线控器发送、内机接收信号波形

如 图 7 所示，MASTER_D 是内机发送的信号，SLAVE_R 是线控器接收的信号，可见 THVD8010 的电力线在风机线缆干扰的情况下，线控器仍能实现正常的信号接收，同理，如 图 8 所示，内机同样可以在风机线缆干扰的情况下实现正常的信号接收，提高了空调内机和线控器通信的质量和可靠性。

Layout 布局指南

耦电容：将 100 nF 和 1 μF 的去耦电容尽可能靠近器件的 VCC 和 GND 引脚放置；

F_SET 电阻：将设置频率的电阻 "RF_SET" 靠近 F_SET 引脚放置，并尽量减少引线电容，以确保频率精度；

总线引脚：通往 A 和 B 引脚的走线应尽可能短且对称，连接耦合电容 C1 和 C2 的走线也应保持短而直接。

接地：优先是铺完整的地平面为高频返回电流提供路径。

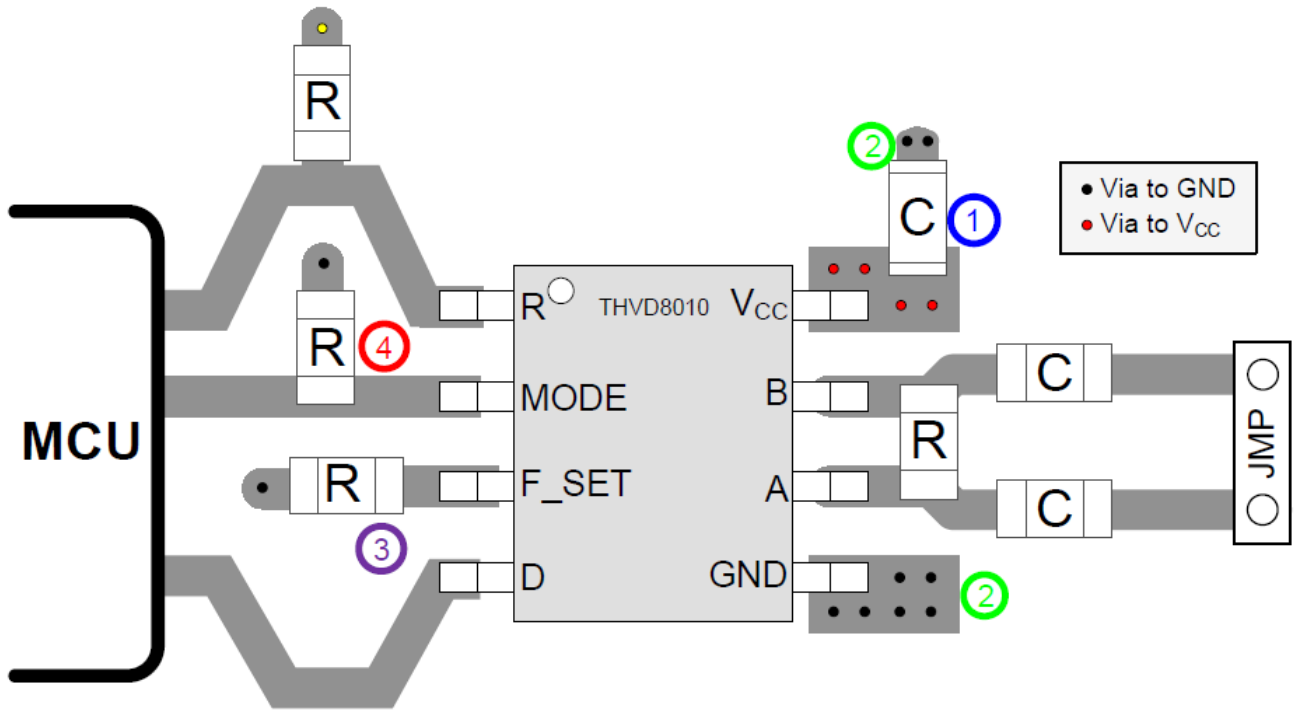


图 9. Layout 布局建议

结论

THVD8010 通过将 RS-485 通信与直流电源传输融合在同一对线缆上，为系统设计师提供了一种革命性的解决方案。其集成的 OOK 调制解调器、极性自适应、可编程载波频率和强大的内置保护功能，使得其具有极好的抗噪性能以及远距离通信能力，共同解决了工业、楼宇和商用空调应用中的关键布线挑战，实现了显著的 BOM 成本和安装复杂性的降低。通过遵循本应用笔记中概述的设计和布局指南，工程师可以快速、可靠地构建出稳健高效的电力线通信网络。

参考文献

1. THVD8010 data sheet : <https://www.ti.com/lit/gpn/thvd8010>
2. How to Properly Set Up THVD1505 and SN65HVD888 in Applications

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