



多相电源设计中使用 TLP058 逻辑 探头测试三态 PWM 方法介绍

Aveas He, 泰克华东区应用工程师

Bruce Lu, 泰克半导体行业开发经理

应用指南

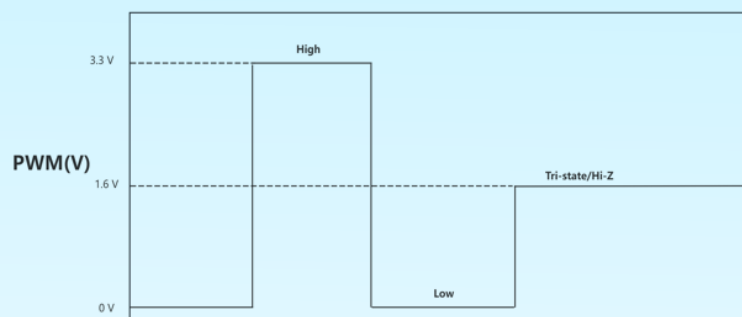
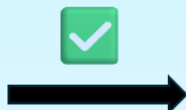
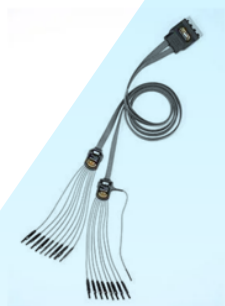


Figure 1. Three-state PWM Waveform

引言

随着 AI 算力需求快速增长，服务器电源板的输出功率和供电电流持续提升。为了满足 GPU、CPU 等大电流负载的供电需求，在 DC/DC 到负载侧的电源转换阶段，电源工程师通常采用“多相控制器 + 智能功率级 (DrMOS)”的架构，以实现更高的输出电流能力、更好的热分布以及更优的瞬态响应。随着多相电源的相数增加至 8 相、16 相甚至更多，多相控制器输出的三态 PWM 信号数量也随之增加。如果仍采用传统测试方式，例如使用普通无源电压探头逐路测量三态 PWM 电压波形，示波器模拟通道数量将很快不足。工程师不得不分批观察不同相位的 PWM 波形，这不仅降低测试效率，也不利于同时分析多相之间的时序关系。本文介绍一种使用 TLP058 逻辑探头测试三态 PWM 信号的方法。该方法通过在一条 PWM 信号上设置不同逻辑判定阈值，并结合示波

器的总线与数学运算功能重构三态 PWM 波形，可显著提高单次可同时观察的 PWM 信号数量，从而提升多相电源调试与验证的效率。

为什么多相电源设计需要观察三态 PWM 信号？

在多相电源设计中，尤其是在 12 V 或 6 V 中间母线降压至 CPU/GPU 核心电压等低压大电流负载的场景中，常见架构是由多相控制器驱动多个智能功率级 (DrMOS)。多相控制器通过向各相 DrMOS 发送 PWM 控制信号，控制其内部高边 MOSFET 与低边 MOSFET 的开通和关断，如图 1 所示。在许多 DrMOS 应用中，PWM 信号并不只是简单的高、低两种状态，而是包含 High、Low 和 Tri-state/Hi-Z 三种状态。不同 PWM 电平对应 DrMOS 内部 MOSFET 的不同工作状态：高电平 PWM 通常对应高边

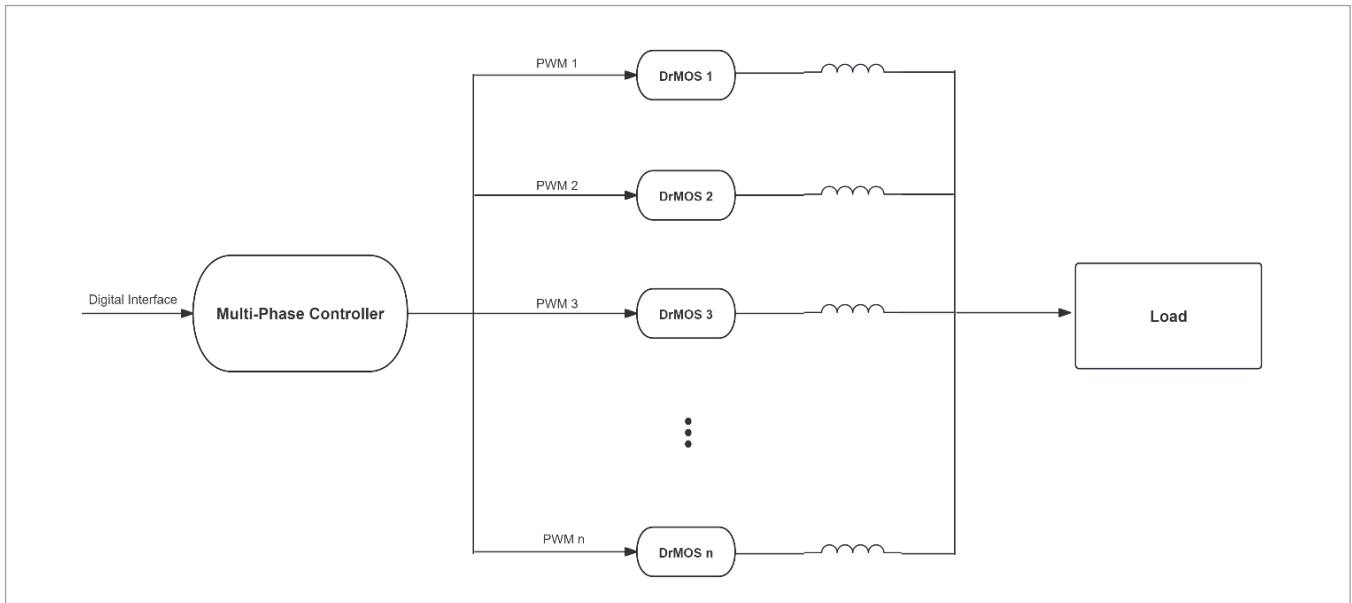


图 1. 简化的多相控制器 + DrMOS 供电结构

MOSFET 开通、低边 MOSFET 关断；低电平 PWM 通常对应低边 MOSFET 开通、高边 MOSFET 关断；Tri-state/Hi-Z 电平通常对应高边与低边 MOSFET 同时关断，如图 2 所示。

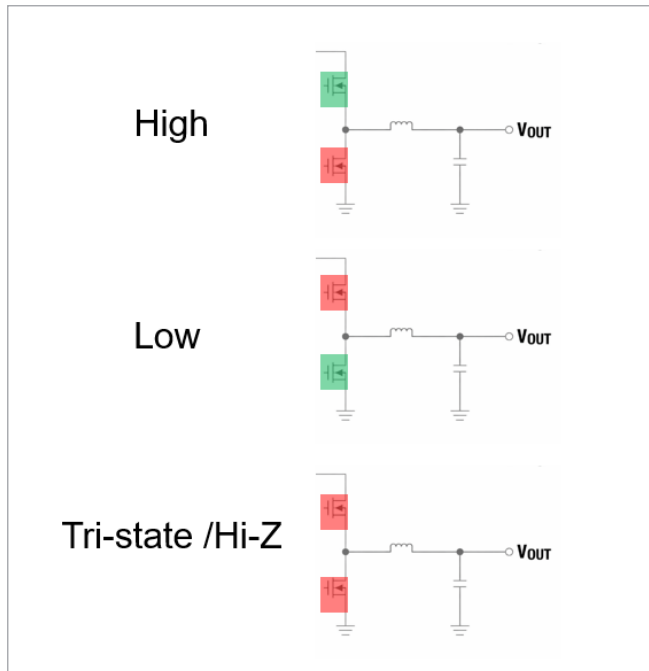


图 2. 不同 PWM 电平对应的 DrMOS 内部高低边 MOSFET 开通与关断状态

Tri-state/Hi-Z 状态在多相电源控制中非常重要，尤其是在负载电流动态变化或轻载运行时。例如，在重载条件下，所有相位的 DrMOS 可以同时工作，以最大程度分担电流并降低单相热压力；当负载电流降低时，控制器可以减少参与工作的相数，例如从 8 相降至 2 相，其余 6 相 DrMOS 进入高边和低边 MOSFET 均关断的状态，从而降低开关损耗并提升系统效率。此外，在低负载电流或电池供电等对轻载效率敏感的应用中，当电感电流下降至 0 A 附近时，控制器通常需要使高边和低边 MOSFET 同时关断，以避免电感电流反向流动，进一步提升轻载效率，这时，多相控制器同样需要输出 Tri-state/Hi-Z 电平的 PWM 信号。因此，在多相电源设计中，仅通过普通数字逻辑探头观察两电平 PWM 信号往往无法完整反映 DrMOS 的实际控制状态。

如何使用 TLP058 测试三态 PWM 信号？

TLP058 FlexChannel™ 逻辑探头提供 8 个数字输入通道，兼容泰克 4 系列、5 系列和 6 系列 MSO 示波器。该探头可连接至任意 FlexChannel 输入通道，每个数字输入通道均可用于采集目标系统中的逻辑信号。探头前端配有

独立信号输入线和地线，可根据被测电路的布局分别连接至相应测试点，也可以使用探头端部支撑臂将引线进行分组和固定。在测试某一路三态 PWM 信号时，可将同一路 PWM 信号同时连接至 TLP058 的两个数字输入通道，例如图 3 中的 C5 D0 和 C5 D1，并将探头地线连接至被测系统地。

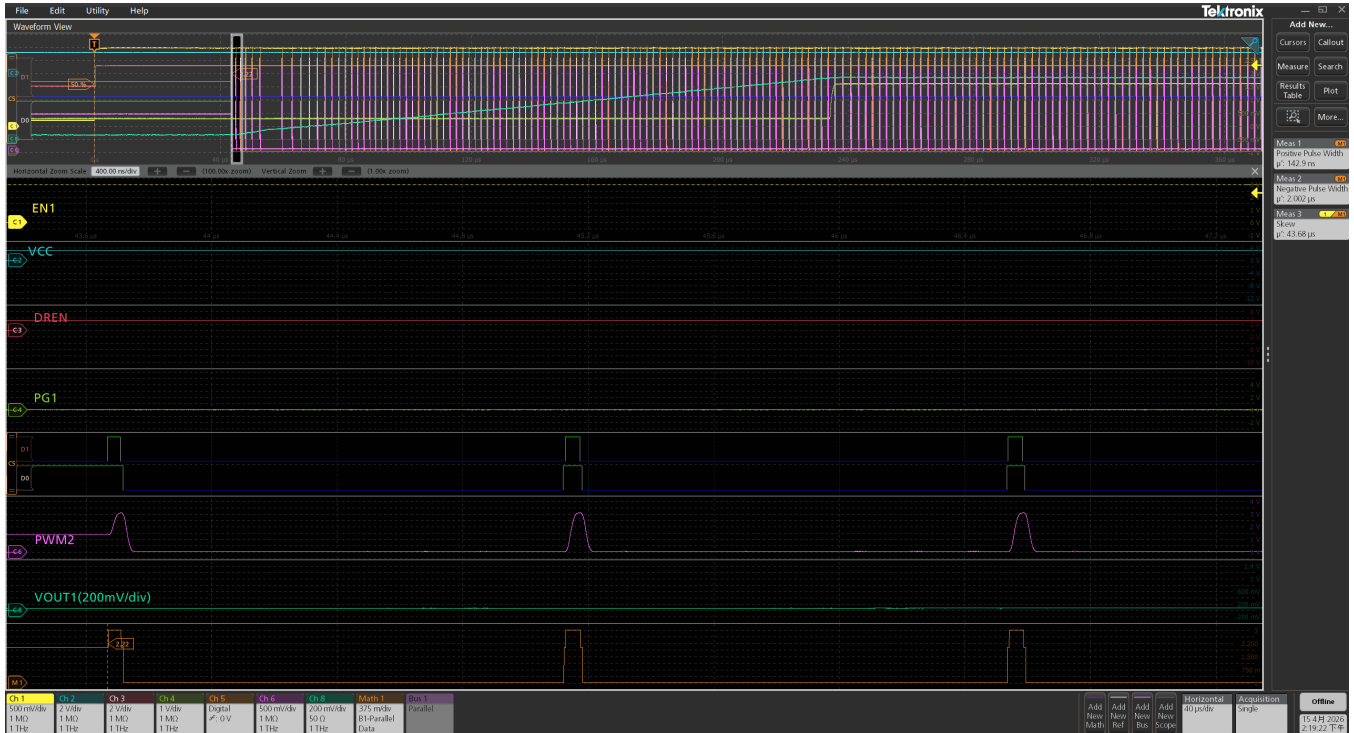


图 3. 实际测试示波器界面示例

随后，在示波器中为这两个数字通道分别设置不同的逻辑判定阈值，如图 4：



图 4. 实际测试示波器界面示例

其中一个阈值设置在 Low 电平与 Tri-state/Hi-Z 电平之间，另一个阈值设置在 Tri-state/Hi-Z 电平与 High 电平之间。这样，同一条三态 PWM 信号即可被转换为两路逻辑判定结果，如图 5。

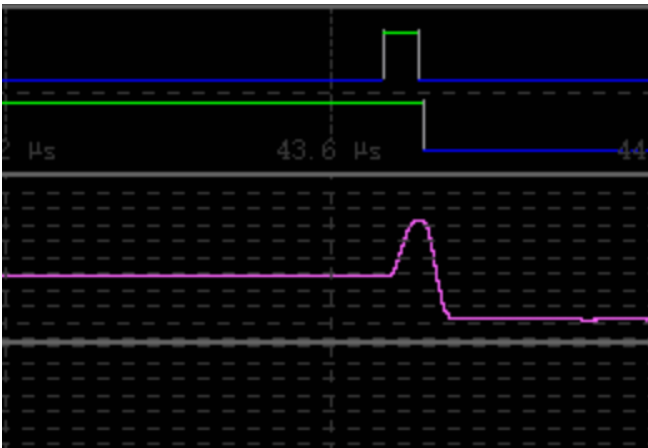


图 5. 实际测试示波器界面示例

在示波器界面中，首先添加 BUS1，将显示设置为 Off，总线类型选择 Parallel，并将定时数据选项设置为 No。随后在 Define Input 设置中添加 CH5_D0 和 CH5_D1 为 source，使这两路逻辑信号组成一个并行总线，如图 6。



图 6. 实际测试示波器界面示例

完成总线定义后，再添加 Math1 数学波形，将 Source 设置为 BUS1，Fields 自动选择为 Data，将显示设置为 On，如图 7。



图 7. 实际测试示波器界面示例

此时，Math1 即可显示由两路逻辑判定结果重构得到的三态 PWM 波形，如图 8。

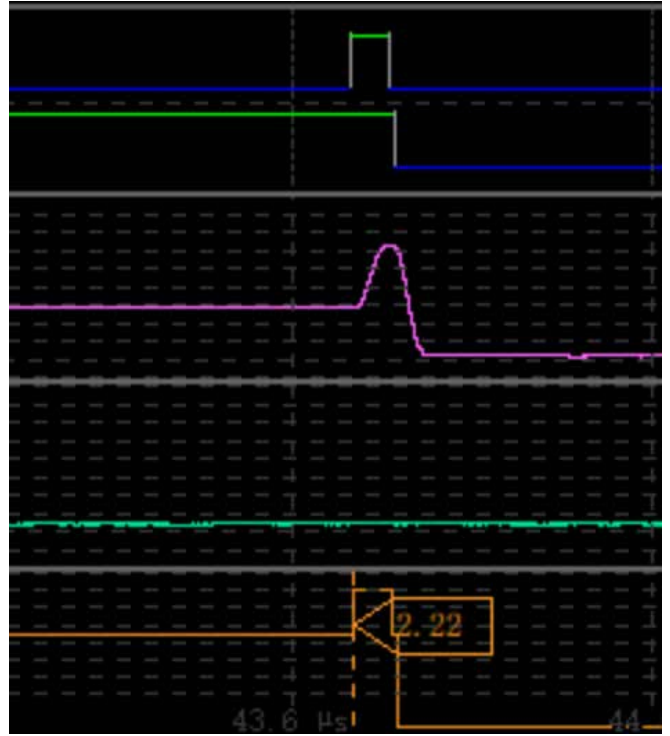


图 8. 实际测试示波器界面示例

需要注意的是，该方法的核心思想是使用两个不同阈值对同一 PWM 信号进行逻辑判定，再通过总线和数学波形显示其三种电平状态。因此，在实际测试前，应先确认被测 PWM 的 Low、Tri-state/Hi-Z 和 High 三个电平幅值，并合理设置两个阈值，避免因阈值设置不当导致电平状态误判。

结论

本文介绍了一种使用 TLP058 逻辑探头测试三态 PWM 信号的方法。通过将同一路三态 PWM 信号接入 TLP058 的两个数字输入通道，并设置不同的逻辑判定阈值，工程师可结合 Parallel Bus 和 Math 功能重构 High、Low 与 Tri-state/Hi-Z 三种状态，从而实现三态 PWM 波形的同步观察与分析。

与使用无源电压探头逐路测量相比，该方法可显著节省示波器模拟通道资源。单支 TLP058 提供 8 个数字输入通道，最多可同时测试 4 路三态 PWM 信号，搭配 8 通

道示波器如 MS0058B，单台示波器最多可同时测试 32 路三态 PWM 信号。对于更高通道数的测试需求，还可结合 TekScope PC 软件连接多台示波器，对多台仪器的通道资源进行集中显示、测量与分析。

该方法尤其适用于多相控制器 + DrMOS 电源架构的调试和验证场景，可帮助工程师更高效地分析多相 PWM 时序关系、相位工作状态、减相逻辑及轻载模式下的控制行为。同时，节省出的模拟通道也可用于同步观察输出电压、电感电流、使能信号等关键波形，为多相电源系统级调试提供更完整的测试视角，如图 9 所示。

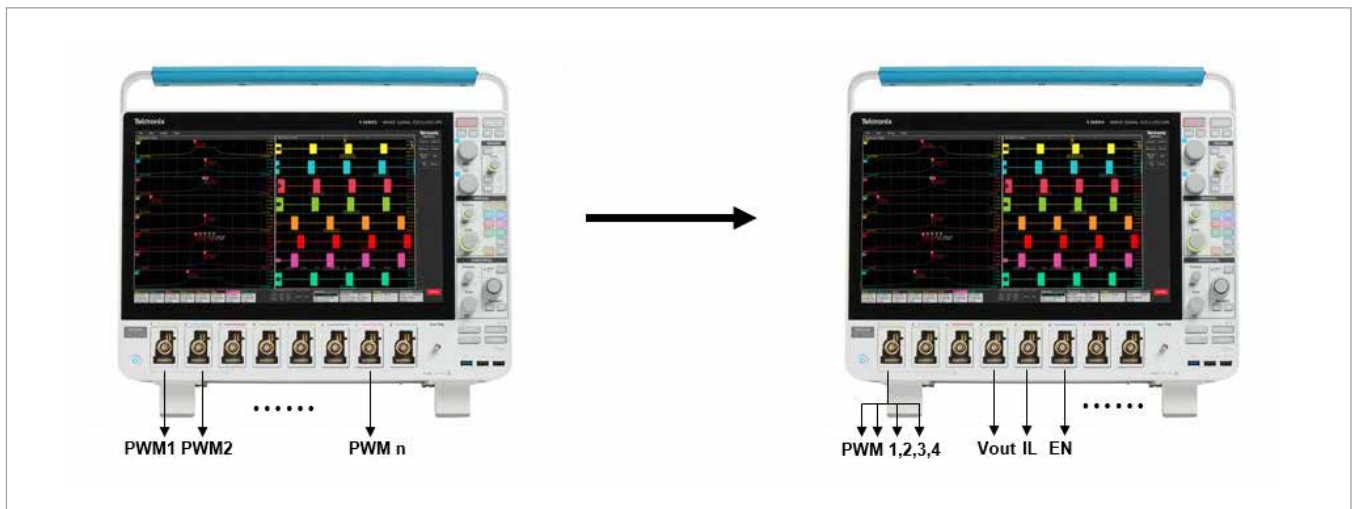


图 9. 使用 TPP1000 探头与 TLP058 测试三态 PWM 信号时的示波器通道占用情况对比



扫码关注泰克公众微信号

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

服务时间：9:00am-5:00pm，周一至周五

Tektronix (China) Co., Ltd.
泰克科技 (中国) 有限公司
泰克中国客户服务中心
免费热线：400-820-5835

Beijing Branch
泰克科技 (中国) 有限公司
北京分公司
北京市朝阳区酒仙桥路 6 号院
电子城国际电子总部二期
七号楼 2 层 203 单元
邮编：100015
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Shanghai Branch
泰克科技 (中国) 有限公司
上海分公司
上海市长宁区福泉北路 518 号
9 座 5 楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Shenzhen Branch
泰克科技 (中国) 有限公司
深圳分公司
广东省深圳市深南东路 5002 号
信兴广场地王商业大厦 3001-3002 室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Chengdu Branch
泰克科技 (中国) 有限公司
成都分公司
四川省成都市锦江区三色路 38 号
博瑞创意成都 B 座 1601
邮编：610063
电话：(86 28) 8620 3028
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Wuhan Branch
泰克科技 (中国) 有限公司
武汉分公司
湖北武汉市洪山区文化大道 555 号
融创智谷二期 B1 栋 7 层 05 室
邮编：430072
E-mail: china.mktg@tektronix.com

更多宝贵资源，请访问 TEK.COM.CN

版权所有 © 泰克科技。保留所有权利。泰克产品受美国及外国专利保护，包括已授权和待授权专利。本出版物中的信息取代之前所有发布材料中的信息。保留规格和价格变更的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。所有其他贸易名称均为其各自公司的服务标志、商标或注册商标。

