

Frank Qin

——基于 TI DP83TC812R-Q1 的硬件实现与软件协同要点

1. 为什么需要同时兼容 TC10 与非 TC10 ?

随着 100BASE-T1 在汽车领域的大规模应用，越来越多的系统希望同时支持 TC10 Remote Sleep / Remote Wake (IEEE 802.3bw-2015) 的唤醒/休眠方式和传统非 TC10 的休眠方式 (Power-Down / Standby / host-controlled shutdown)。

实际项目中经常遇到这样的场景：ECU 需要与一些支持 TC10 的对端 互联 (摄像头、显示屏、ADAS 模块 …)，但同一平台可能还要兼容 非 TC10 的对端设备。系统休眠策略可能来自整车电源管理，而不是链路对端。因此有些 OEM 要求：无论 TC10 是否开启，都必须能够休眠，且必须支持完全切断 PHY 主电源 (supply cut-off)。

因此，一个 PHY 芯片在不同车型/对端/配置下既要能走 TC10 Sleep，也要能走传统休眠，这给硬件设计和软件策略带来挑战。

本文将基于 TI DP83TC812R-Q1 为例，给出一个可直接落地的、统一兼容的系统方案。

2. TC10 与非 TC10 休眠模式的核心区别

2.1 TC10 Sleep (Remote Sleep / Remote Wake)

DP83TC812 的 TC10 工作流程概括如下：

1. 对端发起 LPS (Low Power Sleep) 请求；
2. 本端进入 Sleep Ack 状态；
3. 若 MAC/系统允许进入 TC10 → PHY 进入 TC10 Sleep 状态；
4. 在 TC10 Sleep 状态下：
 - INH 引脚变为 Hi-Z (由外部下拉控制 LDO 关闭)
 - VDDA/VDDIO/VDDMAC 被切断
 - VSLEEP 3.3 V 仍然上电，负责 MDI 唤醒检测
5. 本地 WAKE 或远端 WUP → INH 重新拉高 → LDO 打开 → PHY 被重新上电

以上这是一个 标准化的、自动控制的睡眠机制。

2.2 非 TC10 Sleep (传统休眠)

当不启用 TC10 功能时，PHY 不执行 TC10 状态机；INH 始终为高电平，不会用于关断主电源；休眠控制全靠软件与 PMIC 配合。

可选方式如下：

模式	控制方式	特性
IEEE Power Down	配置 BMCR.PD	PHY 进入低功耗但仍保持供电
Standby	Soft control or system logic	低功耗，供电保持
Host-controlled power cut-off	MCU 拉低 LDO EN	PHY 完全掉电，不依赖 TC10

这是一个纯系统自定义的睡眠机制。

3. 如果系统需要同时支持 TC10 和非 TC10，硬件上必须考虑的因素

3.1 VSLEEP 电源必须保留

VSLEEP 的用途：

- 为 TC10 Sleep 状态下的 MDI 侧保持超低功耗监听；
- 为 WAKE / WUP 逻辑保电；
- 为 INH 的内部逻辑提供必要的电源支持。

一旦不用 TC10，仍然可以：

- 继续让 VSLEEP 始终上电（电流 uA 级别）；
- 系统完全有权选择是否走 TC10 Sleep。

因此 VSLEEP 是一个低成本、提供最大兼容性的配置项。

3.2 INH 必须按 TC10 reference circuit 设计

INH 在两种工作方式中表现不同：

状态	INH 行为	含义
TC10 Sleep	Hi-Z	外部下拉使 LDO EN 拉低 → 电源断开
非 TC10 模式	高电平	LDO 不会因 INH 自动关闭

因此：

- 必须外接 2 - 10 kΩ 下拉电阻；
- INH 直接驱动 LDO 的 EN（或通过逻辑门与 MCU 共同驱动）；
- 即便 TC10 被禁用，INH 也不会误触发关电。

3.3 WAKE 引脚必须接入系统电源管理

WAKE 在这个休眠唤醒的过程中需要满足以下设计要求：

- 本地按键/MCU 可以拉高 WAKE 触发唤醒；
- 需要一个 10 kΩ 下拉避免误唤醒；
- TC10 Sleep 下，WAKE 可迫使 PHY 触发上电。

即使在非 TC10 模式下，通常也需要通过 WAKE 信号来恢复供电，而且最大程度保持系统电源策略一致。因此 WAKE 的硬件推荐始终保留。

4. 推荐的统一硬件架构同时适用于 TC10 与非 TC10 双兼容

4.1 电源结构

1. INH → LDO EN 直接控制主电源开关
2. MCU GPIO 可以和 INH 采用 OR/AND 逻辑：
 - 硬件 OR：MCU 也可强制系统关电（非 TC10 模式）
 - INH 仍能在 TC10 Sleep 中正确关电
3. VSLEEP 始终上电

5. 软件控制策略推荐

5.1 启用 TC10 的系统行为

- TC10 寄存器开启
- 收到 LPS 时，系统可选择：
 - 同意 → 进入 TC10 Sleep → INH Hi-Z → LDO off → PHY 断电
 - 拒绝 → 关闭 TC10 → PHY 返回 Normal
- 远程唤醒（WUP）可自动上电
- WAKE 可由本地唤醒

或者依据标准化 TC10 流程进行编写。

5.2 禁用 TC10 的系统行为

- 不再响应 TC10 协议
- INH 始终保持高电平，不会自动切电
- 系统睡眠方式可自定义，例如：
 - MCU 直接拉低 LDO EN → PHY 掉电
 - 或先通过寄存器 BMCR.PD 进入低功耗

此时系统是纯主控逻辑决定何时关电。

6. TC10 与非 TC10 模式下的差异总结

6.1 硬件差异

设计点	TC10 模式必须	非 TC10 模式是否需要	设计建议
VSLEEP 独立上电	必须	建议	永远保留
INH 控制 LDO EN	必须	不影响	永远保留
WAKE 功能	必须	建议	永远保留
MCU 驱动 LDO EN	可选	建议	与 INH 做 OR 或 AND
PHY 的 LDO/PMIC 配置	标准化走 TC10 架构	自定义	统一使用 TC10 架构即可

6.2 软件差异

功能	TC10 模式	非 TC10 模式
进入睡眠机制	TC10 状态机	系统自定义
是否自动切电	是（通过 INH）	否（需 MCU 控制）
唤醒机制	WUP / WAKE 引脚	仅 WAKE / 系统逻辑
适配对端能力	自动协商	不支持 TC10

7. 最终兼容设计建议

为了在同一 ECU、同一 PHY 上支持各类汽车网络拓扑和 OEM 电源管理策略：

- 硬件完全按 TC10 推荐架构设计 (VSLEEP + INH + WAKE)。
- TC10 是否启用由软件决定。
- 非 TC10 模式下，系统仍可以自主关电，无任何冲突。

这能确保

- 与支持 TC10 的设备保持完全兼容
- 与不支持 TC10 的设备也能稳定工作
- 系统仍可依据整车电源策略自主关电
- 无需两版硬件设计
- 最大限度降低未来适配风险

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