

TPS23880 连接 HFC 供电的设计考量

Kelly Bai

Key Account Team

ABSTRACT

IEEE 802.3bt 标准定义了基于标准 CAT 5 网线最大功率 90W 的 4-pair Power Over Ethernet (POE)系统。但在一些特殊的应用条件下,比如 small cell,会需要用到 Hybrid Fiber Coaxial (HFC)代替 CAT 5 网线支持 90W 的系统供电需求。本文介绍了一种基于 HFC 供电的 90W POE 系统。该系统的 PSE 选择 TPS23880, PD 选择 TS2373-4。整体解决方案实现了基于 HFC 的 POE 供电,并提供了同时兼容 HFC 和 CAT 5 的解决方案。

Contents

1	引言.....	2
2	系统概述.....	2
	2.1 基于CAT 5的POE系统运行步骤.....	3
	2.2 基于HFC的POE系统问题.....	3
	2.3 基于HFC的POE系统检测电阻最差情况分析.....	4
	2.3.1 PD端检测误差分析.....	4
	2.3.2 PSE端检测电阻测量值分析.....	4
3	系统设计改进措施.....	5
	3.1 增大检测电阻值.....	5
	3.2 修改寄存器配置.....	5
4	参考文献.....	6

Figures

Figure 1.	基于HFC功率传输的POE系统.....	2
Figure 2.	TPS23880 R _{DRAIN} 示意图.....	3
Figure 3.	R _{DRAIN} 电阻参数.....	3
Figure 4.	R _{ACCEPT} 电阻参数.....	4

Tables

Table 1.	PD检测电阻误差分析.....	4
Table 2.	PSE端检测电阻测量值误差分析.....	4
Table 3.	增大R _{DET} 后PSE端检测电阻测量值误差分析.....	5
Table 4.	90W Manual 模式寄存器配置.....	5

1 引言

Power Over Ethernet (POE)是一种利用标准 CAT 5 以太网网线进行功率传输的技术。分为供电（Power Source Equipment, PSE）和受电(Power Device, PD)两部分，二者通过网线进行连接。TPS23880 就是基于 IEEE 802.3bt 标准的 8 通道 PSE 控制器，4-pair 标准协议下可以支持最高 90W 的功率输出。8 个通道互相独立，可以自由组合配制成 2-pair（1 通道）或者 4-pair（2 通道）的应用。可以通过 detection 功能检测到 PD 的存在，再通过 classification 对 PD 进行分级，进而输出 PD 端所需的功率。内部也预留了寄存器以便根据实际需求适配不同的 PD 并且进行功率扩展。

混合光纤同轴电缆（Hybrid Fiber Coaxial, HFC）相比于传统双绞线阻抗更低，这使得在功率传输上损耗更小，同时传输距离可以突破 100m 的限制，实现更长距离的 POE 功率传输。但与传统双绞线的 8 根线（4-pair）相比，HFC 只有两根线，因此在实现 POE 的功能时，不能同时支持数据的传输。

本文提供了两种 POE 结合 HFC 的设计方法，一种只需修改 PD 检测电阻，操作简单，但不能同时支持 HFC 和 CAT 5 的应用，另一种需要利用 TPS23880 的寄存器进行配置，软件操作较复杂，但能同时兼容 HFC 和 CAT 5 的应用。读者可以根据实际需求合理进行选择。

2 系统概述

Figure 1 是基于 HFC 功率传输的 POE 系统的框图。该系统使用通道 1 和通道 2 进行标准的 4-pair BT PSE 配置，经过 RJ45-TO-HFC 接头的转换，将 8 根线转化成两根线，然后利用 HFC 进行功率传输，输出给 PD 端，同样的，PD 端也配备了 HFC-TO-RJ45 的转换头，以接受 HFC 端的功率。RJ45-TO-HFC 和 HFC-TO-RJ45 的存在预留了兼容 CAT 5 的设计余量。

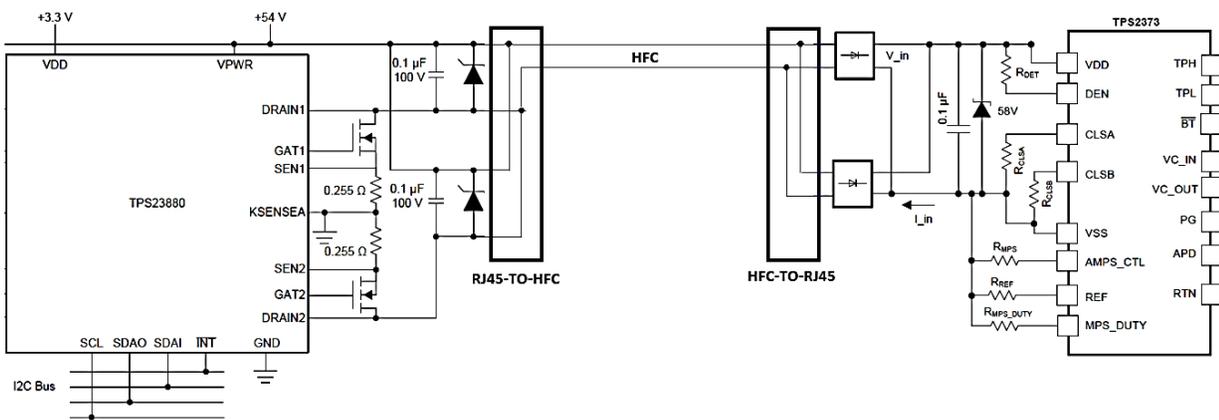


Figure 1. 基于 HFC 功率传输的 POE 系统

2.1 基于 CAT 5 的 POE 系统运行步骤

1. PSE 执行检测 (detection) 功能, 输出 160uA 和 270uA 的 sink 电流
2. PD 将 24.9kΩ 的检测电阻 R_{DET} 连接到电路中, 告知 PSE 有一个有效的 PD 已经连接
3. PSE 测量端口电压, 如果电压/电流显示的阻值是 19kΩ -26.5kΩ 之间, PSE 认为检测通过, 开始执行分级 (classification) 功能
4. PSE 端输出 15.5V-20.5V 的电压, 同时测量线路电流。该电流流过 PD 端的分级电阻 R_{CLSA} 和 R_{CLSB} 来解码 PD 所需的功率等级。在本应用中, 我们选择 Class 8 (90W)
5. 在上述握手协议完成后, PSE 开通, 通过通道 1 和通道 2 给线路供电
6. PD 给输出电容充电, 随后导通, 给下游 DCDC 供电

2.2 基于 HFC 的 POE 系统问题

HFC 与 CAT 5 最大的区别是只有两根线, 分别作为 VPWR 和 VSS。如 Figure 1 所示, 与标准 4-pair 的应用相比, 相当于通道 1 和通道 2 的 DRAIN 端连接在了一起, 根据数据手册 6.5 节的介绍, 在 DRAIN 和 VPWR 中有一个 100kΩ 的 R_{DRAIN} 电阻, R_{DRAIN} 的位置如 Figure 2 所示。但该电阻仅存在于除检测过程和上电过程以外的状态下。如 Figure 3 所示。由于两个通道的检测是分别进行的, 相当于在通道 1 检测的时候, 通道 2 的 R_{DRAIN2} 存在, 而在通道 2 检测的时候, 通道 1 的 R_{DRAIN1} 存在, 也就相当于在 PD 端的 R_{DET} 上并联了一个 R_{DRAIN}。R_{DRAIN} 的并联会减小 R_{DET} 的等效值, 可能会导致实际 R_{DET} 的值偏小的情况, 如果该误差恰好落在了 R_{ACCEPT} 的有效范围之外, 则会导致检测失败。Figure 4 是 TPS23880 数据手册中 R_{DET} 的有效范围。

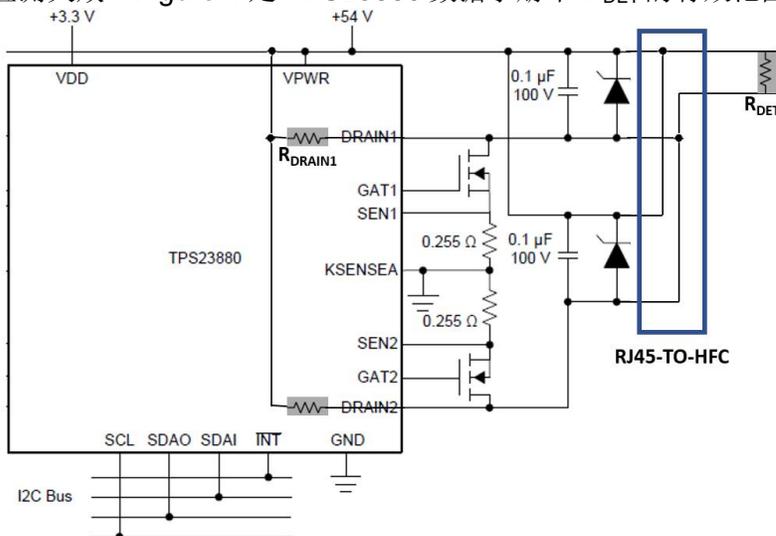


Figure 2. TPS23880 R_{DRAIN} 示意图

R _{DRAIN}	Resistance from DRAINn to VPWR	Any operating mode except during detection or while the Channel is ON, including in device RESET state	80	100	190	kΩ

Figure 3. R_{DRAIN} 电阻参数

R_{ACCEPT}	Accepted resistance range	19	25	26.5	k Ω
--------------	---------------------------	----	----	------	------------

Figure 4. R_{ACCEPT} 电阻参数

那么 R_{DRAIN} 的加入是否会影响检测的过程呢？下面将会就最差情况进行分析来进行说明。

2.3 基于 HFC 的 POE 系统检测电阻最差情况分析

2.3.1 PD 端检测误差分析

在检测的过程中，TPS2373-4 会将 DEN 通过内部电路直接连接到 VSS，相当于环路中只有 R_{DET} 的存在，但在实际芯片工作中，内部会有其他模块工作，相当于在 R_{DET} 上并联了其他负载，对 R_{DET} 的精度产生误差。这种误差可以利用 Table 1 进行估算。从 Table 1 的估算结果可以看出，最差情况下会带来-3%~5%的误差，在后续的分析过程中，我们也会利用该-3%~5%作为 PD 检测电阻的误差值。

Table 1. PD 检测电阻误差分析

Item	MIN	TYP	MAX	UNIT	Notes
Detection Current, $V_{DD}=1.4V$	53.8	56.5	58.3	μA	From TPS2373-4 datasheet
R_{DET} equivalent	24.0	24.8	26.0	k Ω	$V_{DD}/\text{Detection Current}$
Tolerance	-3%		5%		Error based on TYP Rdet equivalent
Detection Current, $V_{DD}=10.1V$	395	410	417	μA	From TPS2373-4 datasheet
R_{DET} equivalent	24.2	24.6	25.6	k Ω	$V_{DD}/\text{Detection Current}$
Tolerance	-2%		4%		Error based on TYP Rdet equivalent

2.3.2 PSE 端检测电阻测量值分析

考虑到 PD 端带来的检测电阻误差后，我们再考虑 PSE 端的影响，对最终的 PSE 端采样得到的检测电阻值进行计算，从而判断是否满足 TPS23880 可接受范围。

TPS2373-4 数据手册中建议 R_{DET} 的取值为 24.9k Ω ，因此，我们也选择 24.9k Ω 电阻作为 PD 的 R_{DET} 。根据 2.3.1 节的分析，此时的 R_{DET} 最大最小值需要利用-3%~5%的范围来计算。结合 2.2 节的分析，我们需要将 R_{DET} 于 R_{DRAIN} 并联，从而得到最终的等效检测电阻值。

具体计算结果如 Table 2 所示，可以看到，在考虑了 R_{DRAIN} 的影响下，等效的检测电阻值比可接受范围最小值 R_{ACCEPT_MIN} 还低 0.5k Ω ，这在实际的量产应用中会给系统带来隐患，因此，我们需要寻找方法来消除这种隐患。

Table 2. PSE 端检测电阻测量值误差分析

Item	MIN	TYP	MAX	UNIT	Notes
R_{ACCEPT}	19	25	26.5	k Ω	From TPS23880 datasheet
R_{DRAIN}	80	100	190	k Ω	From TPS23880 datasheet
R_{DET}	24.1	24.9	26.1	k Ω	Based on PD R_{DET} tolerance (-3%~5%)
R_{DET_EFF}	18.5	19.9	23	k Ω	R_{DET}/R_{DRAIN}
Detection Margin	-0.5		3.5	k Ω	R_{DET_EFF} compared with R_{ACCEPT}

3 系统设计改进措施

3.1 增大检测电阻值

根据上文分析，既然在 HFC 的应用下相当于在检测电阻上并联了一个 R_{DRAIN} 电阻，那么显然直接提高 PD 端检测电阻的值即可解决问题，因此我们将 PD 端检测电阻增加到 26.1k Ω ，并且按照上文的步骤重新进行计算，计算结果如 Table 3 所示。

Table 3. 增大 R_{DET} 后 PSE 端检测电阻测量值误差分析

Item	MIN	TYP	MAX	UNIT	Notes
R_{ACCEPT}	19	25	26.5	k Ω	From TPS23880 datasheet
R_{DRAIN}	80	100	190	k Ω	From TPS23880 datasheet
R_{DET}	25.3	26.1	27.4	k Ω	Based on PD R_{DET} tolerance (-3%~5%)
R_{DET_EFF}	19.2	20.7	24.0	k Ω	R_{DET}/R_{DRAIN}
Detection Margin	0.2		2.5	k Ω	R_{DET_EFF} compared with R_{ACCEPT}
Detection Margin W/O HFC	6.3		-0.9	k Ω	R_{DET} compared with R_{ACCEPT}

从 Table 3 中可以看出，提高了 PD 端检测电阻后，在 HFC 的应用下可以满足系统的要求，顺利解决了这个问题。

3.2 修改寄存器配置

在某些应用中，我们需要同时支持 HFC 和 CAT 5 网线，那么从 Table 3 中可以看出，此时在没有 R_{DRAIN} 电阻的影响下，也就是标准 CAT 5 网线的应用中，计算得到的检测电阻最大值 R_{DET_MAX} 超过了可接受电阻最大值 0.9k Ω ，同样给系统的量产使用带来了风险。在这种情况下，我们需要修改软件的配置，将 Auto 模式切换到 Manual 模式，人为的对检测电阻的值进行判断，从而进一步拓宽检测电阻可接受范围。具体的寄存器配置顺序如下 Table 4 所示，以通道 1 和通道 2 执行 4-pair 90W 为例。

Table 4. 90W Manual 模式寄存器配置

Step	Note	Register	Value
Initialize TPS23880, Setup Port		-	-
	Reset PSE (RESAL=1)	0x1A	0x10
	Unmask interrupts (if used)	0x01	0xFF
CH1 and CH2 set to manual	Set Operating_Mode to Manual	0x12	0x05
CH1 and CH2 set to 4-pair, 90W	Set port as 4-pair (90W)	0x29	0x0F
	Set port Pcut to 91W (4P Policing)	0x2A	0xB6

	Config 4-pair fault response (Ch1 and Ch2)	0x2D	-
	Set Ch1 and Ch2 2x Foldback (2x FB)	0x40	-
Detection	Perform Ch1 and Ch2 detection cycle	0x14	0x03
	Judge whether detection is done for Ch1	0x0C	-
	Judge whether detection is done for Ch2	0x0D	-
CH1 resistance read	Read Ch1 Detect_Resistance (Rdet)	0x44	-
CH2 resistance read	Read Ch2 Detect_Resistance (Rdet)	0x45	-
	If Ch1 or Ch2: $17k > Rdet > 30k$, then invalid	-	-
	- Then invalid PD, wait for 1-2s, then retry	-	-
	- Else valid PD ($17k < Rdet < 30k$), continue	-	-
Classification	Perform Ch1 and Ch2 classification cycle	0x14	0x30
	Judge whether classification is done for Ch1	0x0C	-
	Judge whether classification is done for Ch2	0x0D	-
	Read Ch1 Assigned Class	0x4C	-
	Read Ch2 Assigned Class	0x4D	-
PWON1 and PWON2 set	Power on port (Ch1 and Ch2)	0x19	0x03
Operation	Monitor INTERRUPT register	0x00	n/a
	If no events, then continue monitoring	0x00	0x00
	- Pause for 1 sec	n/a	n/a
	If Disconnect or any fault, then restart port	0x00	not 0x00

4 结论

本文详细分析了两种 POE 结合 HFC 的设计方法，一种在 PD 端进行修改，只需增大其检测电阻值，不能支持同时兼容 HFC 和 CAT 5 网线，操作简单；另一种在 PSE 端进行修改，对 PSE 的寄存器进行 Manual 配置，软件操作稍复杂，可以同时兼容 HFC 和 CAT 5 的应用。

5 参考文献

1. *TPS23880 High-Power, 8-Channel, Power-over-Ethernet PSE With Programmable SRAM, Datasheet*
2. *TPS2373 High-Power PoE PD Interface with Advanced Startup, Datasheet*

重要声明和免责声明

TI 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、某特定用途方面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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司