

嵌入式设备电源管理系统设计

刘志英 郭晓澎 周晓旭 杨莹

(山西省交通科学研究院 信息机电技术研究所 太原 030006)

摘要: 随着嵌入式设备在测量领域的大量应用,如何在无固定电源的情况下为其提供稳定可靠的电源已成为嵌入式设备发展亟待解决的问题。鉴于此,设计出一种续航时间长、体积小、性能稳定、通用性强的电源管理系统。首先介绍了基于单片机 STC12C2052AD 的电源管理系统硬件设计框架。然后以设计框架为基础,分析了系统硬件各个子模块的工作原理及其实现方法。最后,阐述了系统的软件实现流程,并对系统进行了测试。经测试证明,所设计的嵌入式设备电源管理系统满足设计的需求,为系统设计提供了良好的解决方案。

关键词: 单片机;电源管理;锂电池;电源切换;

中图分类号: TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Power management system design of embedded devices

Liu Zhiying Guo Xiaopeng Zhou Xiaoxu Yang Ying

(Shanxi Transportation Research Institute, Institute of Information and Electrical Technology, Taiyuan 030006, China)

Abstract: With the wide application of embedded devices in the field of measurement, how to ensure the stable and reliable power supply of the measuring instruments in the absence of a fixed power has become a pressing problem in development of embedded devices. Given this issue, this paper proposes a long battery life, small size, stable performance, strong commonality of power management system. Firstly the power management system based on MCU STC12C2052AD hardware design framework is introduced. Then based on this design framework, the working principle of each module and its implementation method is analyzed. Finally, the software implementation process of the system is presented and the system test is conducted. The test results indicate that the design of this embedded devices of power management system could satisfy the design requirements and provide a good solution for the system design.

Keywords: MCU; power management; lithium battery; power switch

1 引言

目前体积小,功耗低的嵌入式设备在工业测试现场使用越来越多^[1-2]。由于对设备布设位置有要求,再加之测试现场条件所限,使得很多情况下给设备接入固定电源变得不切实际。因此很多设备内置了锂电池使得设备可以再无外接电源的情况下长时间运行^[3-5]。为了使设备的续航时间更长,设备的充放电过程更加安全,锂电池电源管理系统的重要性随之体现出来。

目前市场上的嵌入式设备存在各种各样的问题:有的设备供电模式单一,必须要求接入外部电源,自身无法独立运行,限制了其使用场合;有的设备虽然内嵌了锂电池,但是缺少锂电池充放电保护电路,设备一旦出现过充情况,无法自动切断充电电源,容易造成不必要的危险;而当电池过放情况出现时,设备无法切断锂电池的放电输出过程,这还

会影响锂电池的使用寿命;还有的设备虽然增加了锂电池充放电保护电路,却没有电源电量测量显示电路,使用者并不知道电量的剩余情况,也不了解充电的时长等相关信息,给设备使用过程造成了极大的不便^[6-8]。

正是基于目前设备存在的这些缺点,本文致力于研究开发一种小型化、通用型的锂电池电源管理系统,该系统不仅能够实现锂电池外部电源的双电源切换功能,同时可以对锂电池的充放电过程进行监控与保护,并将电池电量直观地显示给使用者。更为重要的是,研究的系统可以输出 5 V 或 9 V 电源,使用者可以将该电源管理系统方便的添加到任意的由 5 V 或 9 V 直流供电的嵌入式设备中,只需留出电源接口即可。

2 系统概况

本文设计的电源管理系统如图 1 所示,该系统以单片

机 STC12C2052AD 为主控制器,外部集成了锂电池充放电管理模块、双电源供电切换模块、锂电池电量检测及显示模块、单键开关控制模块和 DCDC 升压模块。

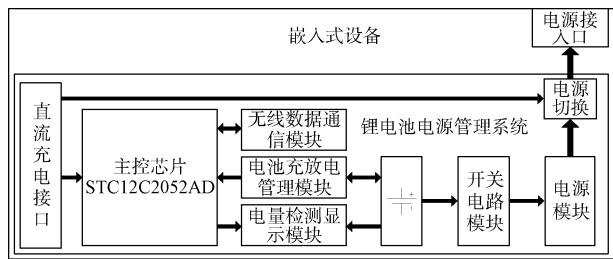


图 1 系统总体结构

其中芯片 TP4056 和 DW01+ 构成了锂电池充放电保护电路和充电管理电路。而单片机则通过 A/D 采集,外接一组 LED 灯实现电池电量的测量与指示。另外芯片 LTC4411 可以实现直流电源和锂电池电源的供电自动切换。最后通过芯片 TP8305 实现直流电压的升压过程,完成对后级设备的供电。

3 硬件设计

本文设计的电源管理系统集成了充放电保护、充电管理、电量监测显示、双电源切换、DCDC 升压稳压等一系列功能模块,硬件设计将着重介绍这些模块的设计思路。

3.1 电池充放电管理模块

正确使用锂电池包含:过充保护、过放保护、充电电流限制和充电电池温度限制。传统的设计方案是直接使用适配器电源对锂电池组进行充电,这样的方式将过充保护的责任完全交由电池组自带的保护板。虽然自带保护板的故障率并不很高,但是各种锂电池爆炸事故仍然存在^[9-10]。为了加强安全性,本设计中的锂电池充放电模块采用两级保护模式。

前级保护使用 DW01+ 和 NMOSFET 相结合,电路如图 2 所示。

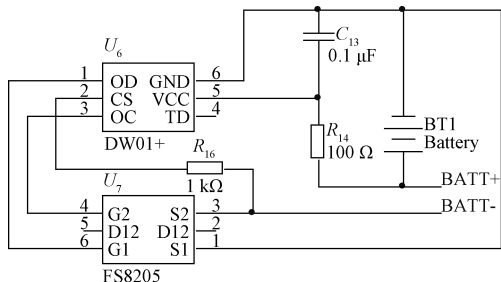


图 2 锂电池充放电保护电路

其中 FS8205 的两路 NMOSFET 分别用作充电回路控制和放电回路控制。DW01+ 会在锂电池过充或过放的时候控制 OD 和 OC 引脚的电压。该电压施加到 MOSFET

的门级,控制回路的导通和关断。这里使用 100 Ω 电阻与 0.1 μF 电容组成电路抑制充电器的纹波和干扰。

电池充放电管理模块的后级保护电路采用 TP4056 芯片,如图 3 所示。该芯片除具备一般的锂电池充放电保护功能以外,还可以显示电池的充电情况。本设计采用红绿双色发光二极管,充电时 CHRG 管脚输出低电平,绿灯亮,电池充满后,管脚 STDBY 输出低电平,红灯亮。这里使用电阻 R₅ 设置电池的充电电流,最高可以达到 1 A。

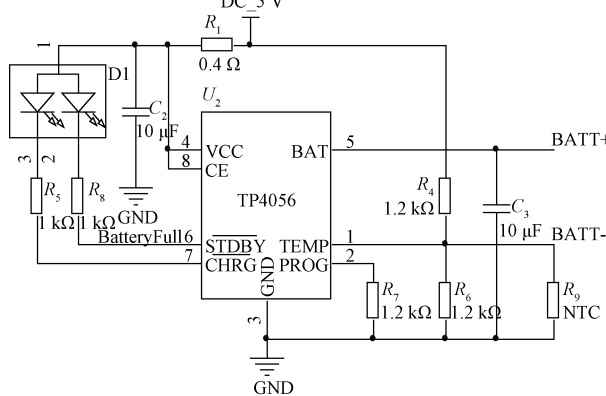


图 3 充电管理模块电路

电路中加入了负温度系数热敏电阻用来进行温度监控。当电池温度不在正常工作范围内时,其充电过程将会被切断。R₄ 和 R₆ 的值则要根据热敏电阻以及电池工作的温度范围来决定。根据购买锂电池的产品参数确定工作温度范围为 T_L~T_H,在高低温交变试验箱内测试 NTC 热敏电阻在温度 T_L 和 T_H 时的电阻 R_{TL} 和 R_{TH}。由以下公式可以推导出电路中电阻 R₄ 和 R₆ 的值。

温度为 T_L 时,TEMP 引脚电压为:

$$V_{TEMPL} = \frac{R_6 \parallel R_{TL}}{R_4 + R_6 \parallel R_{TL}} \times V_{IN} \quad (1)$$

温度为 T_H 时,TEMP 引脚电压为:

$$V_{TEMPH} = \frac{R_6 \parallel R_{TH}}{R_4 + R_6 \parallel R_{TH}} \times V_{IN} \quad (2)$$

由 $V_{TEMPL} = K_2 \times V_{CC}$, $V_{TEMPH} = K_1 \times V_{CC}$ ($K_1 = 0.45, K_2 = 0.8$) 可知:

$$R_4 = \frac{R_{TL}R_{TH}(K_2 - K_1)}{(R_{TL} - R_{TH})K_1K_2} \quad (3)$$

$$R_6 = \frac{R_{TL}R_{TH}(K_2 - K_1)}{R_{TL}(K_1 - K_1K_2) - R_{TH}(K_2 - K_1K_2)} \quad (4)$$

3.2 电量检测及显示电路

电量检测及显示模块采用单片机 STC12C2052AD 为核心,利用 A/D 采集电池电压的方法来检测电量。单片机外接 5 个 LED 用于开关机和电量的指示。

锂电池的充电过程大致分为 3 个阶段:首先是预充阶段,此阶段电池以设定充电电流的 10% 充电至 2.9 V;然后是恒流充电阶段,锂电池以设定电流充电直至锂电池电压

达到 4.2 V;最后是恒压充电阶段,锂电池以 4.2 V 电压恒压充电直至充电电流小于设定值的 1/5 即结束充电^[11-12]。

锂电池的电压与其电量并不是线性关系,所以程序中 A/D 采集电压和点亮的 LED 灯数量的对应关系需要实际测试才能确定^[13]。从该充电过程可以看出锂电池的电量与其电压值并不成正比关系。所以采用 A/D 采集的方式显示电量需要经过多次充放电测试来进行电池电量标定,建立电池使用时间与电压间的对应关系,并编程至 STC 单片机中,这样单片机测得电压后就可以估算出大致剩余的电量。

在可移动终端设备上,直接使用 LED 灯来代表电量,点亮的灯越多,表明剩余电量越高。对于需要远程监控的设备,这里增加了一个串口转 WiFi 模块,通常把模块设置为客户端,而将上位机设置成服务器端,这样上位机就可以接收到单片机采集到的电池电量信息,实现了远程电量监控的功能。

3.3 单键开关电路

开关控制电路实现对嵌入式设备的供电控制,一个按键即可以实现短按显示电量,长按开关机^[14]。电路图如图 4 所示。

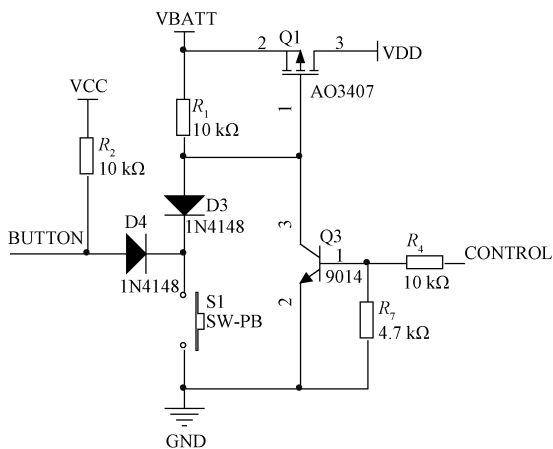


图 4 单键开关电路

其工作原理为:单键开关 S_1 未按下时,BUTTON 端为高电平,三极管 Q_3 集电极为高电平,MOS 管 Q_1 截止,电路处于关断状态。按下开关 S_1 时,BUTTON 端变为低电平,单片机检测到该低电平后启动计时器开始计时,判断单键按下时长,若小于 1.5 s,则显示电量。

若超过 2.5 s,通过检测后级电路电平判断设备处在开机还是关机状态。若处在关机状态,则将 CONTROL 端置 1,三极管 Q_3 基极变为高电平,三极管导通,MOS 管 Q_1 导通,给出输出电压 VDD。此时松开按键,即使 BUTTON 端回归到高电平状态,但由于 CONTROL 端保持为高电平,使三极管 Q_3 处于导通状态,集电极为低电平,接替了单键开关按下时的作用,使 MOS 管 Q_1 继续导通,电路处于

接通状态,完成长按开机的动作。

长按关机过程与此类似,工作过程中,按下单键开关 S_1 ,通过单片机定时/计数器计时判断为长按动作时,CONTROL 端给出低电平,同时电源指示灯灭,此时三极管 Q_3 截止,集电极回归到高电平状态,MOS 管 Q_1 截止,输出电压 VDD 被断开,电路关断,此后松开单键即完成长按关机的动作。

3.4 电源切换电路

本设计采用芯片 LTC4411 来完成设备在充电过程中直流电源供电和正常工作时电池电源供电之间的切换,电路如图 5 所示。

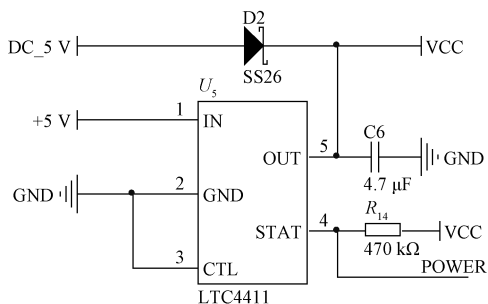


图 5 双电源切换电路

设备在充电过程中,由 DC_5 V 提供后级输出电压 VCC 为电源管理系统供电,同时向后一级电路提供一个供电电源。当设备未接入直流充电电源时,设备的供电则由锂电池来完成,锂电池电压经过升压稳压过程后将该电压输出值接入 LTC4411 电源输入端,为电源管理部分供电。

此外,芯片引脚 STAT 接入单片机 IO 口,该口电平高低可以指示目前是否有外部电源接入,单片机检测到外部电源后,可以控制单键开关引脚始终关断,这样就实现了在有外部电源情况下,由外部电源对整体设备供电,而内部锂电池则只在无外部电源情况下才为整个设备供电^[15]。

3.5 DCDC 升压稳压模块

单键电路的后级接入芯片 TP8305 及其外围电路,该电路主要功能为 DCDC 转换,电路如图 6 所示。

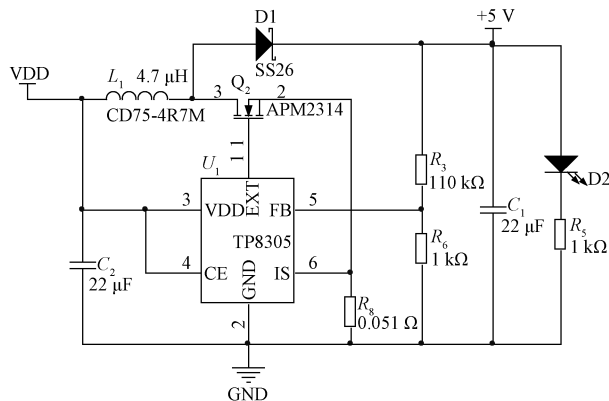


图 6 TP8305 升压电路原理

锂电池电压随着电量消耗会在一定区间内变化,这种电压无法直接为后级电路进行供电,所以这里设计该稳压电路将 3.4~4.2 V 的锂电池电压升至 9 V 或 5 V(这里根据设备需求可以调节后级电阻,设置输出电压具体值),以进行可移动终端设备的电源供应。TP8305 的 FB 反馈引脚会输出一个固定电压值,通过外围电阻 R_{16} 和 R_{18} 的比例以及这个节点电压值,就可以设置输出 1 个想要的恒压值,电流限则可通过电阻 R_{19} 来设置。

4 软件设计

电源管理系统软件的设计主要完成 STC 单片机对单键电路的控制、进行电压检测及电量显示等动作。软件采用 C 语言编写,遵循模块化设计原则,由主程序和按键判断子程序、定时器中断子程序、电池电压检测及电量显示子程序等组成,系统软件流程图如图 7 所示。

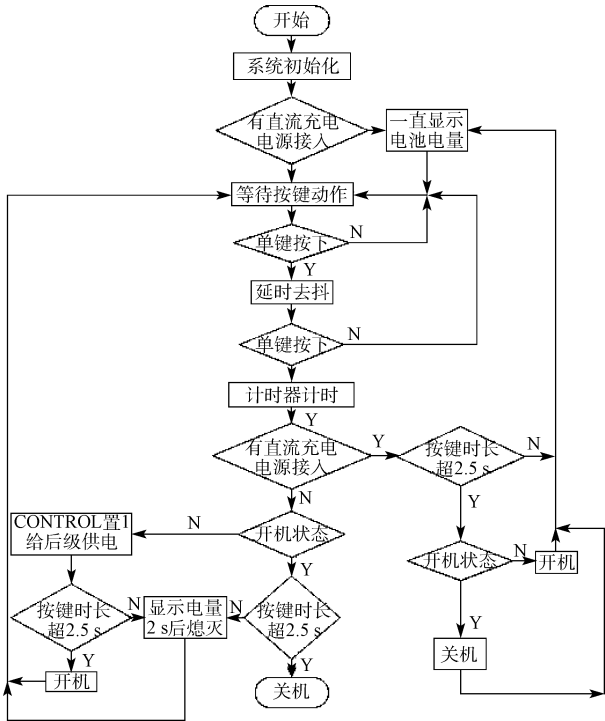


图 7 系统软件设计流程图

程序开始运行后,先通过检查 DC_5 V 引脚电压来判断系统为直流电源供电还是电池电源供电。若为直流电源供电,则运行显示电量子程序,且一直显示电池电量;若为电池电源供电,程序进而检查 BUTTON 端电平状态以判断是否有按键动作,检测到单键开关按下并延时去抖后,定时器 1 开始定时以计算单键按下的时长,此时再次进行判断。如果有直流充电电源接入,判断按键时长。若按键超过 2.5 s,即为长按,则进行相应的开关机动作;即若原来为开机状态,则进行关机动作;若原来为关机状态,则进行开机动作,并一直显示电池电量。如果没有直流电源接入,在

开机状态下,判断按键时长。超过 2.5 s 则进行关机动作;若为短按则进行电量显示,并在 2 s 后熄灭电量指示灯。在关机状态下,首先将 CONTROL 位置 1,保证后级电路供电,进而判断按键时长。若超过 2.5 s,则进行开机动作;若为短按,则进行电池电量显示,并在 2 s 后熄灭,继续等待按键动作。

5 实验分析

本文设计的电源管理系统在实际使用中嵌入到了一套无线桥梁应变数据采集系统中,该数据采集系统应用在桥梁结构健康监测中,测试桥梁各重要节点的应变值。经过直流电源测试,得到该模块功耗如表 1 所示。

表 1 应变仪功耗测试数据

测试工况	启动	待机	设备全速运行
输入电压/V	5.2	5.2	5.2
测试电流/A	0.481	0.428	0.486

测试现场布局较为分散,从各节点布局到最终整个桥梁测试完成持续时长有时达到 6~7 h。虽然采用了 5 000 mAH 的锂电池,但实际使用中,当电池电压低于 3.43 V 就会产生供电电压不足,单片机连续重启的状况,所以锂电池的电量并不能完全用于供电。本电源管理系统经过测试实际使用时长如表 2 所示。

表 2 续航时长测试数据

测试模式	续航测试		
	4 路采集		
	1	2	3
测试起始时间	14:30(2015.9.17)	12:00	12:45
测试终止时间	00:44(2015.9.18)	22:03	23:07
续航时间/h	10.25	10.05	10.37

本系统在实际使用中,系统由供电不足状态到充满电指示灯亮起,整个充电时长测试值为 3.5 h 左右。在设备全速运行状态下,电池系统可以保证设备稳定运行至少 10 h;完全符合设计和使用要求。

5 结 论

所述嵌入式设备电源管理系统经过实际 PCB 制板调试,各模块在实际运行过程中工作良好。整个电源管理系统的 PCB 布板面积小,成本低,可靠性高,功能完善,能够实现高效便捷的单键控制、电源自动切换、电量显示等功能,基本上达到了对电源管理系统高效性、低功耗和智能性方面的要求。降低了电路的电流损耗,保证了整个采集设备的长时间稳定运行,具有很大的实用价值。可以十分方便地移植到各类可移动终端设备中,为提高设备的户外运行能力与电池续航能力提供了有力的保障。

参考文献

- [1] 刘大同,周建宝,郭力萌,等. 锂离子电池健康评估和寿命预测综述[J]. 仪器仪表学报,2015,36(1):1-16.
- [2] 刘艳莉,严志浩,程泽,等. 基于二阶斯特林插值滤波器的电池 SOC 估计[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(1):55-60.
- [3] 谢卓,赵朋斌. 一种锂电池电量监测电路设计方法[J]. 现代电子技术,2012,35(1):192-194.
- [4] 倪健华,谈恩民,姚普粮. 基于 ATT7022E 与 STM32 多功能电力监测仪设计[J]. 国外电子测量技术,2015,34(5):48-51.
- [5] 毕建忠,柯贤文. 嵌入式系统中电源管理电路的设计与实现[J]. 电源世界,2014(2):32-35.
- [6] 余新华,李太全,陈威,等. 基于 ARM 的四路锂电池充电器设计[J]. 电子测量技术,2015,38(6):83-86.
- [7] 唐慧强,李超. 基于 CC2530 的锂电池电量检测系统的设计[J]. 化工自动化及仪表,2011,38(3):350-353.
- [8] 岳鹏程,周晓旭,郭晓澎. 基于 WiFi 的无线桥梁应变采集系统[J]. 山西交通科技,2015(5):89-93.
- [9] 贾景谱,马媛媛. 基于 RFID 技术的锂电池管理系统设计与实现[J]. 电源技术,2014(11):2049-2050.
- [10] 马碧芳,何华. 基于单片机控制的锂电池组电路的设计[J]. 兰州大学学报,2014,50(4):577-580.
- [11] 李冶,陈赫,汪东洋,等. 智能锂电池充电器设计[J]. 吉林大学学报,2012,30(3):256-260.
- [12] 蒋新花,丁德宝,沈庆宏. 应用于桥梁结构健康监测的低噪声振动测量系统的实现[J]. 电子测量技术,2014,37(2):116-119.
- [13] 乔旭彤,耿海洲,董峰. 集中式电动汽车电池管理系统设计[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(7):1019-1027.
- [14] 高玉章,陈世夏,丁国臣. 基于单片机控制的充电电源设计[J]. 国外电子测量技术,2013,32(7):66-68.
- [15] 李健. 智能电源管理[J]. 电子产品世界,2013(2):10-13.

作者简介

刘志英(通讯作者),1988 年出生,大连理工大学硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为嵌入式系统开发,C#上位机软件开发以及基于 ASP.NET 的网页开发。
E-mail:liuzhiying122@163.com

郭晓澎,1988 年出生,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为嵌入式系统开发及硬件电路设计。

周晓旭,1985 年出生,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为机械设计及嵌入式系统开发。

杨莹,1988 年出生,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为系统软件设计、上位机界面开发。

是德科技 M8000 系列误码仪再添新军,助力 400 GbE 研发

新型 64 GBaud 比特误码率测试仪让精确表征 PAM-4 和 NRZ 器件变得更方便

2016 年 5 月 18 日,是德科技公司(NYSE:KEYS)日前推出 M8040A 高性能比特误码率测试仪(BERT),它能够测试高达 64 GBaud 的 PAM-4 和 NRZ 器件。验证工程师和研发工程师需要对下一代数据中心互联的物理层接收机进行表征,简化的测试连接,可重复、准确的结果将使其获益良多。

当今的数据中心基础设施仍在不断优化,旨在应对对带宽容量永无止境的追求、对降低功耗的要求,以及覆盖范围和差异化服务带来的挑战。以 PAM-4 为代表的器件具有更高的传输速度、更多的传输通道和新型多电平数据格式,可满足下一代数据中心互连不断增加的传输带宽需求。

最新版的 IEEE 802.3 bs 和 OIF CEI-56G 实现协议对 PAM-4 及 NRZ 接口做出了定义,使其可用于最大带宽达 400 Gb/s 的高速接口,这些接口包括芯片到芯片、芯片到模块、背板连接和光互联接口。研发和验证实验室在表征 PAM-4 或 NRZ 数据速率达到 64 GBaud 的数据中心互

连接接收机时,会面临新的测试挑战,例如更加紧张的定时裕量、信道损耗、非线性、幅度干扰和串扰效应等,这些使得测试效率和精度至关重要。

新推出的 M8040A 是以模块化 AXIe 为基础的 M8000 系列比特误码率测试解决方案的最新成员。它是一款高度集成的比特误码率测试仪,支持最高 64 GBaud 的 PAM-4 信号和最高 64 Gb/s 的 NRZ 信号。其码型发生器模块内置了去加重、抖动注入功能,并可选在一个模块上增加第二通道。工程师和设计师可在软件用户界面中自由选择 PAM-4 或 NRZ,而无需使用复杂并容易引入信号损伤的外部合路器、跳线和偏移校正器件来提供 PAM-4 信号。远程前端前置,可以尽可能靠近被测件,消除了电缆距离对信号输出质量的影响。分析仪模块为长 PRBS 和 QPRBS 码型提供了实时真正的 PAM-4 误码分析。因此,即使在低比特误码率和低符号错误率条件下,工程师也能进行足够可靠的验证。用户还可通过图形和远程控制界面操作 M8040A。