

菊花链 BQ79616 模拟器产品说明书

鉴领科技 —— 让复杂测试更简单

1. 产品概述

菊花链 BQ79616 模拟器是专为电池管理系统（BMS）开发、调试及功能验证设计的高精度硬件仿真平台。本产品作为真实 BQ79616 模拟前端（AFE）芯片组的完整等效替代方案，能够直接介入 BQ79600 基带芯片的差分通信链路。其核心价值在于协助工程师在无需实际电池组的环境下，完成物理层通信拓扑验证、半双工协议深度分析、以及符合 ISO26262 功能安全标准的异常场景模拟，极大地提升了研发效率与测试覆盖度。

核心优势

- **半双工差分菊花链拓扑支持：** 深度兼容 TI 专有物理层协议，实现与 BQ79600/BQ79616 的无缝对接。
- **物理层信号直接编解码：** 硬件级实现差分脉冲信号与数据帧的实时转换，确保信号时序与真实 AFE 保持高度一致。
- **高柔性故障注入能力：** 支持链路断开、电芯异常及传感器失效等复杂工况模拟，助力验证 BMS 冗余方案的鲁棒性。

2. 硬件接口与物理特性

本设备采用全金属工业级防护外壳，布局紧凑，适合集成于 HIL（硬件在环）测试台架。

2.1 正面面板接口

- **ETH1 & ETH2 接口：** 双标准以太网接口，作为主要控制通路支持维护终端软件访问。
- **USB 接口：** 用于产品离线维护。



2.2 背面面板与指示系统

- **DC 5V 电源接口：** 稳压直流电源输入端。
- **状态指示灯（1、2号）：**
 - **绿色 LED：** 指示电源供电正常及通信链路激活（Activity）。
 - **红色 LED：** 实时指示故障状态（如单体过压、欠压或温升过载等报警触发）。
- **7-pin 绿色 IO CONNECTOR：** 多功能扩展接口，集成 **CAN FD 控制总线**、**双路 BQ79600 菊花链**物理通讯通道。



2.3 结构与机械参数

- **外形尺寸：** 100 mm × 71 mm × 26 mm。
- **整机重量：** 约 300 g。
- **便携性设计：** 结构紧凑，有效节省测试空间。

3. 核心功能详情

3.1 物理层高度仿真

模拟器在硬件底层实现了对 BQ796xx 系列差分脉冲信号的直接捕获与解析：

- **直接编解码技术：** 摆脱 UART/SPI 中转，实现真正的位、字节级差分脉冲编解码。
- **唤醒脉冲识别：** 精确识别 COMH/COML 端的 WAKE 信号，确保从低功耗模式到工作模式的平滑转换。

3.2 冗余链路仿真逻辑

- **双向通信机制：** 支持从 COMH 方向（正向：COMH → COML）及从 COML 方向（反向：COML → COMH）的完整访问流程。
- **断链故障模拟：** 能够模拟任意节点间的物理链路切断。这是验证 BMS 主控是否符合 **ISO26262 标准**的冗余切换与故障定位能力的必备测试功能。

3.3 节点配置与协议逻辑

- **多节点矩阵：**单链模式支持 **32 个 BQ79616 节点**；双链模式支持每链 **16 个节点**。
- **协议栈深度模拟：**全面支持 auto-addressing、设备地址分配，以及 **Stack 角色与 Top-of-stack 角色**的动态动态设定。
- **多样化访问：**支持单节点单寻址（Single Device）、堆栈访问（Stack）及广播模式（Broadcast）。

3.4 高保真模拟特性

- **电芯电压：**每节点提供 **16 路独立电芯仿真**，支持动态注入电压值，并联动 OV/UV 故障摘要寄存器。
- **温度与 GPIO：**
 - **NTC 电阻模拟：**基于 BQ79616 GPIO 寄存器实现温敏电阻特性仿真。
 - **SPI EEPROM 模拟：**支持通过复用 GPIO 进行 SPI 通信，模拟外部存储器读写，且 **EEPROM 片选（CS）GPIO 引脚支持灵活配置**。
- **故障注入系统：**覆盖过压、欠压、过温、欠温、通信失效、系统电源及 OTP 故障。模拟器内部逻辑严格确保“故障摘要”与“故障明细”寄存器的一致性，防止测试逻辑产生歧义。

3.5 功能清单

功能分类	功能说明
TI 专有差分菊花链通信	支持 TI BQ79600/BQ79616 专有差分菊花链物理层通信协议，可直接与 BQ79600 的菊花链接口进行物理信号交互。
差分信号直接编解码	直接接收菊花链差分脉冲信号，完成位、字节和命令帧解码；将 BQ79616 响应帧直接编码为差分脉冲信号发送，无需通过 UART 或 SPI 转接。
COMH/COML 双端口通信	提供与 BQ79600 COMH、COML 对应的两路差分通信接口，两端口均可独立接收命令和返回响应，用于正常菊花链及环形连接。每个接口均对应一对差分信号线。
正向与反向通信	支持从 COMH 方向进行正向访问，也支持切换至 COML 方向进行反向访问；反向访问时，节点按实际反向进入菊花链的顺序响应。
唤醒信号处理	支持识别 BQ79600 在 COMH/COML 端发送的 WAKE 唤醒信号，将唤醒脉冲与普通数据帧区分，唤醒结束后恢复正常数据通信。
断链模拟	支持在指定节点位置设置链路断开。断链后，COMH 和 COML 分别访问断点两侧仍可到达的节点，用于验证环形链路的正向、反向通信和故障恢复策略。
BQ79616 菊花链	支持配置多个 BQ79616 节点，并可设置节点地址、Stack 角色和

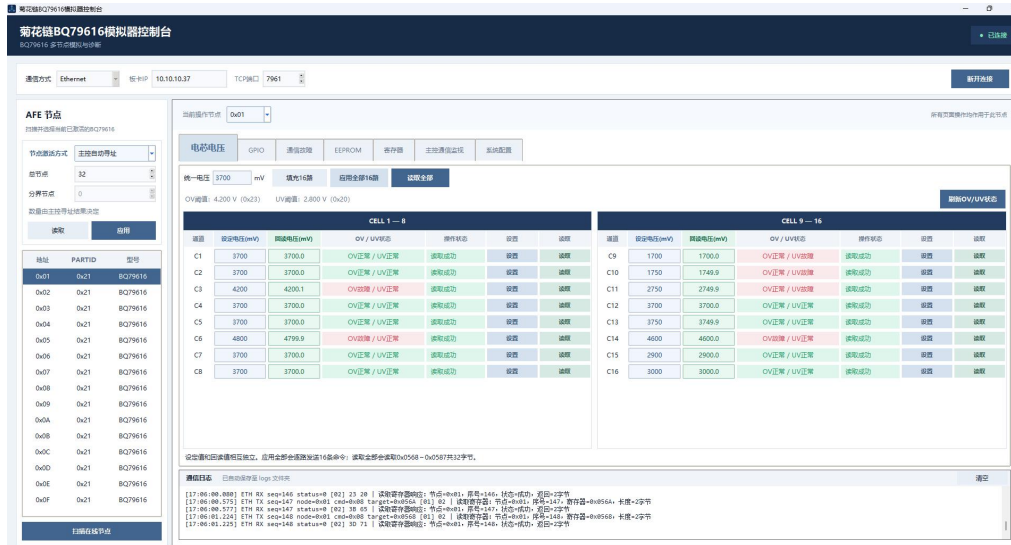
配置	Top-of-stack 角色。单链最多可配置 32 个节点；双链配置时，每条链最多可配置 16 个节点。
BQ79616 单节点功能	每个节点支持 16 路电芯、8 路 GPIO，以及 BQ79616 寄存器的读写和状态变化。
动态寻址	支持 auto-addressing、设备地址分配、Stack 角色设置和 Top-of-stack 设置。
寄存器访问	支持单设备、堆栈及广播方式的寄存器读写，并模拟只读、读写及带清除等访问属性。
电芯测量功能	支持设置各节点的电芯电压数据，并通过对应测量寄存器读取；支持过压、欠压阈值寄存器配置，以及过压、欠压故障模拟。
GPIO 功能	支持通过 GPIO 进行 NTC 温度电阻模拟，以及通过 GPIO 复用接口进行 SPI EEPROM 功能模拟。
故障功能	支持过压、欠压、过温、欠温、通信、系统、电源及 OTP 等故障的设置和清除，并保持故障摘要与故障明细一致。
EEPROM 功能	每个节点支持两片 EEPROM，通过 BQ79616 GPIO/SPI 寄存器进行读写；双 EEPROM 的片选 GPIO 可配置。
外部数据输入	支持通过 CAN FD 总线或以太网总线发送控制命令，注入电芯电压值、NTC 温度值及故障状态。

4. 维护终端软件

配套软件提供工业级配置界面，支持对仿真参数的精细化控制。

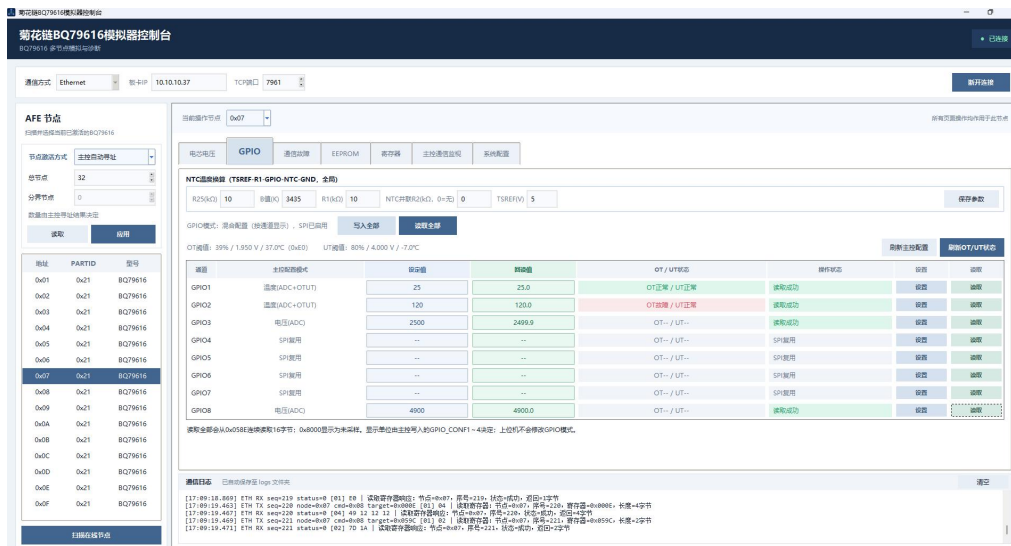
4.1 电芯电压监控界面

- **快速配置：** 提供“统一电压”填充功能（如一键填充 3700mV），支持批量或单通道精细化电压注入。
- **实时状态：** 监控各通道设定电压与实际回读值，OV/UV 状态通过红/绿配色直观展示。



4.2 GPIO 与环境模拟配置

- **热敏回路参数：**支持 R25、B 值、R1、TSREF(V) 等参数配置，并特别引入了 "NTC 并联 R2" 修正参数，以实现复杂温度曲线的高精度模拟。
- **工作模式切换：**可将 GPIO 灵活配置为温度模式（ADC + OT/UT 监测）、纯电压模式（ADC）或 SPI 扩展模式。



4.3 系统维护与日志记录

- **固件升级：**支持通过以太网接口进行固件远程更新，确保持续兼容 TI 最新的协议变更。
- **全方位日志：**系统自动记录并支持导出“主控通信记录”与“操作日志”，为长周期稳定性测试提供完整的数据溯源链。

4.4 功能清单

功能分类	功能说明
通信连接	支持 CAN FD、CAN 和 Ethernet 三种通信方式，可根据现场连接条件选择相应接口。
节点配置与管理	支持配置和管理最多 32 个 BQ79616 模拟节点，可查看和维护各节点的运行状态。
电芯电压设置与读取	支持设置和读取各节点的电芯电压，便于构造不同电压状态和测试场景。
GPIO/NTC 温度设置与读取	支持设置和读取各节点的 GPIO 状态及 NTC 温度数据。
故障状态显示	支持显示过压、欠压、过温、欠温及通信故障状态，便于快速查看各节点的异常情况。
寄存器与 EEPROM 数据读取	支持读取各节点的 BQ79616 寄存器和 EEPROM 数据。
通信参数配置	支持配置 CAN ID、板卡 IP 地址、通信端口及节点激活方式。
系统维护	支持模拟器系统复位，以及产品配置的导入和导出。
固件升级	支持通过维护终端软件升级 BQ79616 模拟器固件，便于进行功能更新和版本维护。
主控通信记录	支持保存并导出主控与模拟器之间的通信记录，便于问题分析和测试追溯。
日志管理	自动保存通信日志和操作日志，为运行维护、故障定位和操作追溯提供依据。

5. 详细技术参数表

参数项	技术规格 / 实现值
供电规格	DC 5V, 1A (稳压输入)
外部通信/控制接口	CAN FD, Ethernet (RJ45), USB
AFE 通信接口	COMH / COML 双端口 (标准双绞线差分信号)
单链/双链节点数	单链 32 节点 / 双链每链 16 节点
虚拟仿真寄存器总容量	16 MB (用于 AFE 寄存器映射与实时模拟)
扩展功能寄存器总容量	16 MB (用于高频采样记录与复杂逻辑仿真)
单节点仿真容量	16 路电芯电压, 8 路 GPIO
EEPROM 模拟	每节点支持 2 片, 每片 16 KB (CS 引脚可配)
外形尺寸	100 mm × 71 mm × 26 mm
重量	约 300 g

6. 注意事项与安全准则

使用环境

- 请在干燥、防静电的办公或实验室环境内使用。避免在强磁场、高湿度或有腐蚀性气体的环境中使用。

安全警示

- **静电防护 (ESD)：** 接触 8-pin IO 接口或菊花链通信口前，请确保已采取必要的防静电措施，避免损坏高敏感 AFE 通信电路。
- **电源合规性：** 严禁使用超过 DC 5V 的电源供电。过压输入将导致模拟器内部逻辑电路及差分驱动芯片永久性损坏。
- **连接顺序：** 推荐先连接菊花链通信电缆，最后接通模拟器电源，以确保 auto-addressing 流程的正确性。