

TI 电量计外围电路设计指导

朱明武 (Mingmo Zhu)

TI Shenzhen

ABSTRACT

TI 电量计在消费和工业市场电池产品广泛应用。本文围绕电量计的功能逐一介绍电量计供电和采样、对外交互、电池保护、电池均衡等外围电路设计，以帮助大家优化电量计电路设计、提高开发效率。

Contents

1.	电量计外围电路框架	3
2.	电量计供电和采样电路	3
2.1	电量计供电电路	4
2.2	电压采样电路	6
2.3	电流采样电路	6
2.4	温度采样电路	7
3.	电量计对外交互电路	8
3.1	通信电路	8
3.2	系统检测电路	9
3.3	LED 显示电路	9
3.4	使能引脚	10
4.	电池保护电路	10
4.1	一级保护电路	10
4.2	二级保护电路	12
4.3	PTC 电路	13
5.	电池均衡电路	13
	参考文献	15

Figures

Figure 1.	典型电量计外围电路框架	3
Figure 2.	BQ40Z50/BQ4050 内部供电原理	4
Figure 3.	BQ40Z50/BQ4050 外围供电电路	5
Figure 4.	BQ40Z50/BQ4050 电压采样电路	6
Figure 5.	电流采样电路	7
Figure 6.	温度采样电路	8
Figure 7.	通信和系统检测电路	9
Figure 8.	LED 显示电路	10
Figure 9.	一级保护电路	11

Figure 10.	二级保护电路	12
Figure 11.	PTC 电路	13
Figure 12.	内部均衡电路	14
Figure 13.	用 PMOS 做外部均衡电路	14
Figure 14.	用 NMOS 做外部均衡电路	15

1. 电量计外围电路框架

电量计采集电池电压、电池温度、电池电流等信息，通过库仑积分和电池建模等计算电池电量、健康度等信息，通过 I2C/SMBUS/HDQ 等通信端口与外部主机交互通信。有的电量计还集成一级保护、甚至二级保护功能。因此本文将围绕电量计这些功能来介绍电量计外围电路设计。以大而全的 BQ40Z50-R1 为例，其外围电路框架如图 1 所示，包括供电和电压采样电路、电流采样电路、温度采样电路、对外交互电路、一级保护电路、二级保护电路、均衡电路等。

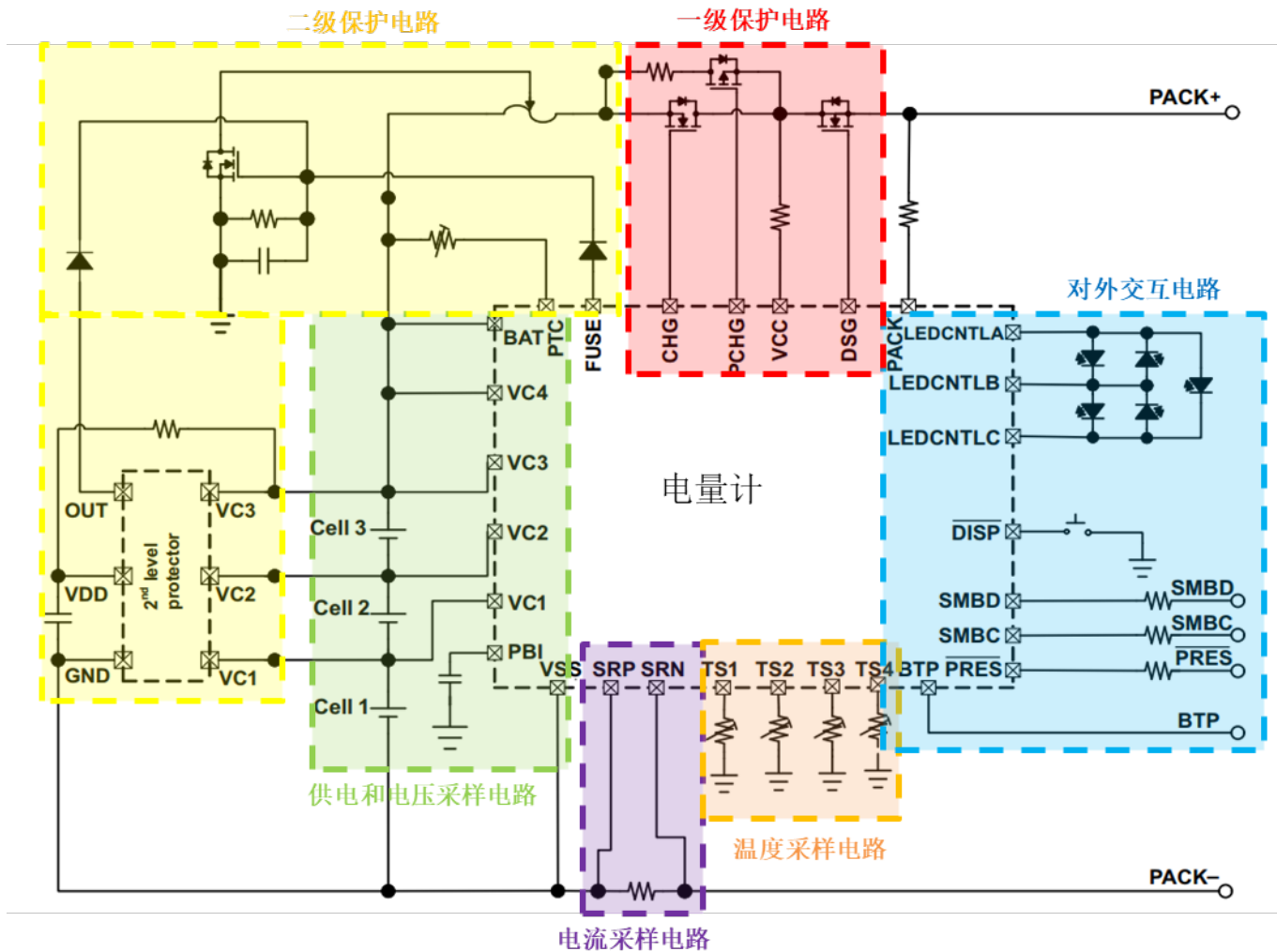


Figure 1. 典型电量计外围电路框架

BQ40Z50/BQ4050/BQ40Z80 等 BQ40xxx 系列电量计包含图 1 的全部功能电路。BQ28Z610 电量计包含图 1 中除了二级保护电路的其余所有功能电路。对于不集成保护的电量计比如 BQ27Z561/BQ27542 等，包含供电、采样、通信交互等功能电路。

2. 电量计供电和采样电路

2.1 电量计供电电路

BQ40Z50/BQ4050/BQ40Z80 等 BQ40xxx 系列电量计的供电引脚是 BAT 和 VCC 两个引脚。图 2 是 BQ40Z50/BQ4050/BQ40Z80 等电量计内部供电原理。当电池 BAT 电压高于 3.1V(typical)时以 BAT 供电为主，当电池 BAT 电压过低时 (2.1V typical) 以 VCC 供电为主，VCC 能够从 PACK+取电，所以即使电池电压很低不足以供电量计工作时只要插入充电器电量计仍可通过 VCC 来供电工作。PACK 引脚用来检测是否插入充电器 (PACK+有电压)。如果已插入充电器则激活电量计，退出 Shutdown mode，从 BAT 或 VCC 选通供电输入，此时辅助供电引脚 PBI 就会有电压，PBI 的电压等于 BAT 或 VCC 电压。PBI 的电压输送到内部稳压电路产生 1.8V 给电量计供电。

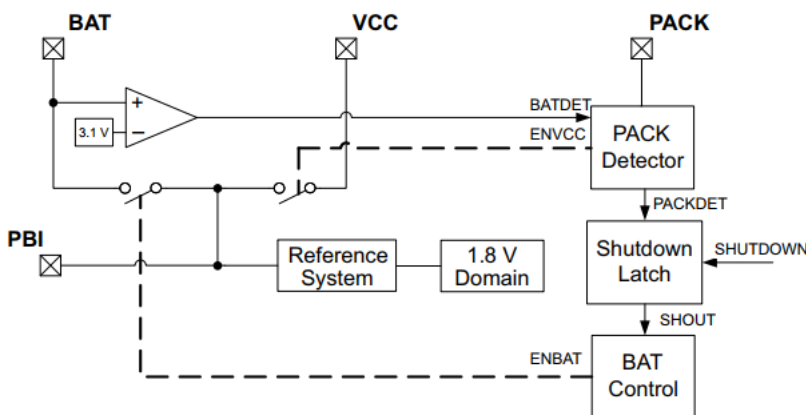


Figure 2. BQ40Z50/BQ4050 内部供电原理

图 3 是 BQ40Z50/BQ4050/BQ40Z80 外围供电电路 BAT/VCC/PBI 的接法。BAT 引脚通过一个二极管接到电池顶端 B+。二极管的作用是当电池发生短路、过流等事件时，即使电池电压 B+ 被瞬间脉冲拉低，也不至于把电量计 BAT 引脚电压拉低。VCC 引脚通过 100 欧电阻接到充电 MOS 和放电 MOS 中间。PBI 引脚一定要接至少 2.2uF 以上电容，能起到滤波和去耦的作用。PACK 引脚通过 10K 电阻接到电池端口 PACK+，用于检测充电器插入。

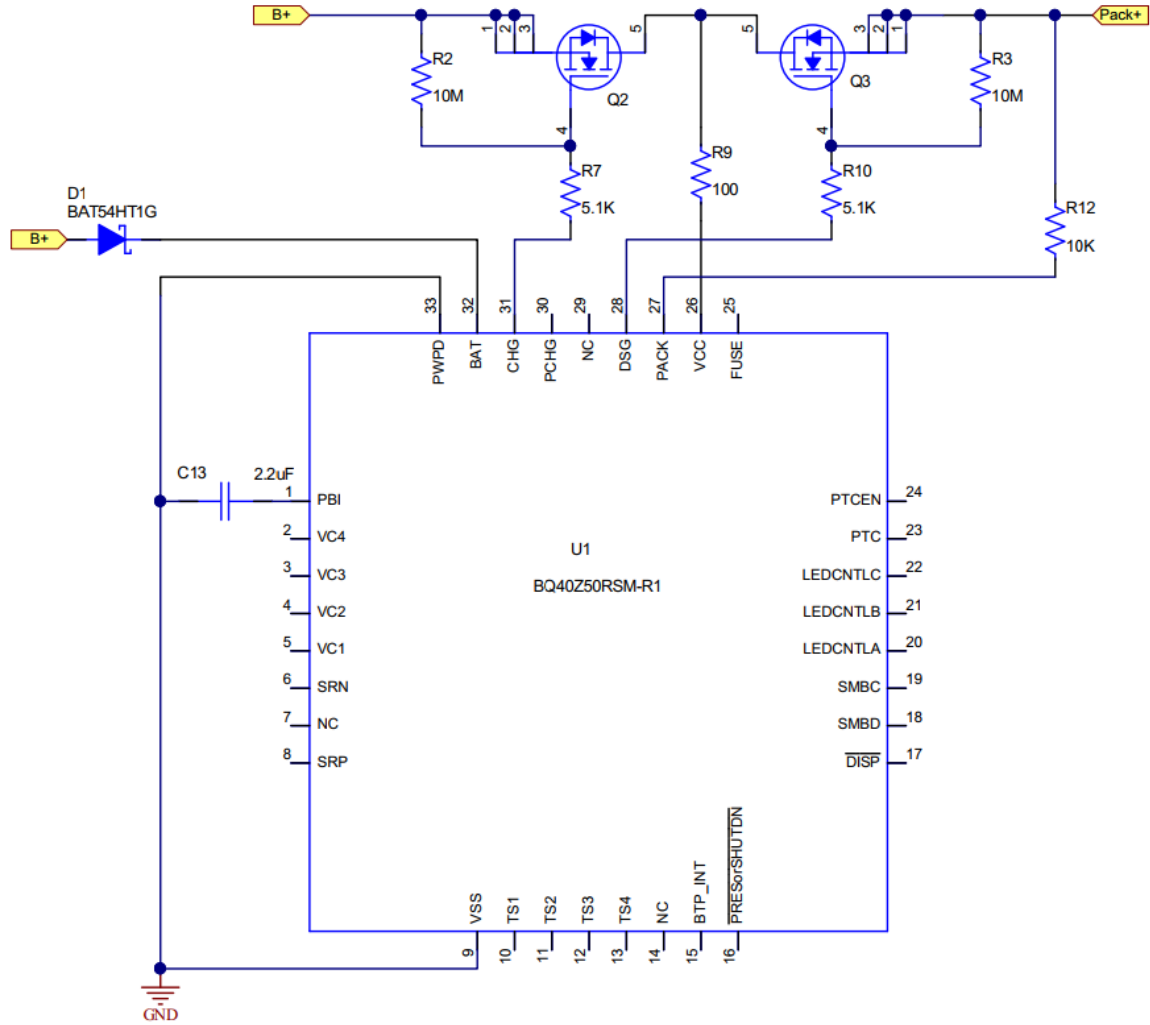


Figure 3. BQ40Z50/BQ4050 外围供电电路

如果 BQ40Z50/BQ4050 用于单节电池，则 BAT 引脚与电池顶端 B+ 之间则不需要二极管，毕竟单节电池不高、经过二极管正向导通压降后到 BAT 引脚的电压就更低了。用于单节电池的话，BAT 引脚的二极管 D1 换成 10 欧电阻，VCC 引脚的 100 欧电阻 R9 换成 10 欧电阻。

单节电量计 BQ27Z561 的供电引脚只有 BAT 一个，它也一样要求在 BAT 引脚与电池正极 B+ 之间接一个 10 欧电阻，起到限流和增强 ESD 能力。由于 BQ27Z561 没有 PBI 引脚，所以要在 BAT 引脚加一个至少 1uF 电容。

有些电量计由于封装引脚数限制，其供电引脚和电压采样引脚会共用同一脚，比如 BQ28Z610。BQ28Z610 的主供电脚是 VC2 脚，VC2 脚同时是第二节电芯电压采样脚；副供电脚是 PACK 脚，PACK 脚同时是 PACK+ 电压检测和充电器插入检测。为了避免产生较大压降，所以 BQ28Z610 的 VC2 脚前的电阻一般选 5 欧，PACK 脚前的电阻一般选 10 欧。

2.2 电压采样电路

电压采样电路主要包括电芯电压采样和 PACK 充电器电压采样。为了保证采样的准确性，电压采样电路要与电池充放电回路区分，尽量用 Kelvin 差分连接。电量计的地 VSS 引脚要单点接到第一节电芯负极，以免引入额外压降。图 4 是 BQ40Z50/BQ4050 电压采样电路，每节电芯电压采样输入引脚 VCx 前都需要一对 RC，起到滤波和增强 ESD 作用。考虑到 BQ40Z50/BQ4050/BQ28Z610 等电量计的 VCx 引脚复用均衡功能，因此 VCx 电阻 R 的选值会影响均衡电流大小。一般来说如果用电量计内部均衡，则 VCx 电阻 R 选 100 欧；如果用外部均衡，则 VCx 电阻 R 可选 1K。VCx 差分电容挂在 VCx 与 VCx-1 之间，一般选 0.1uF 即可。

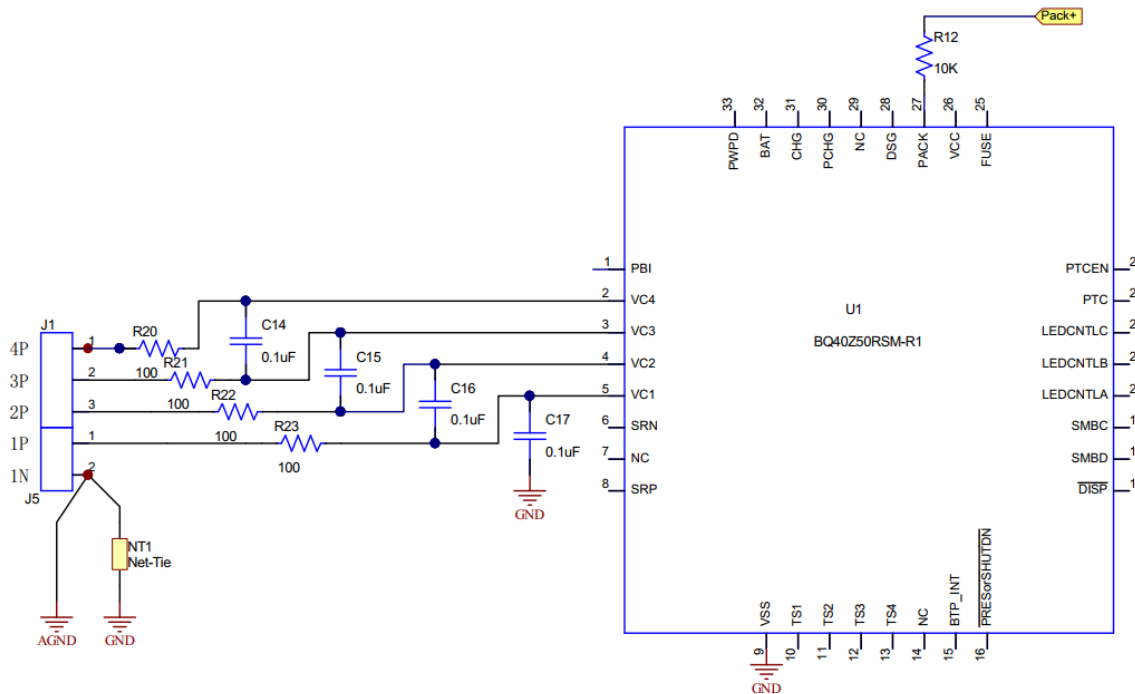


Figure 4. BQ40Z50/BQ4050 电压采样电路

对于 BQ27Z561 的电压采样引脚是 BAT_SNS，同样地 BAT_SNS 脚与电池正极 B+ 之间要接 100 欧电阻和 0.1uF 电容构成 RC 滤波及提高 ESD 防护能力。

2.3 电流采样电路

电量计电流采样是通过采样电阻 Rsense（又称 current sense resistor, Shunt resistor）实现电流信号转为电压信号，电量计的 SRP 和 SRN 引脚测量采样电阻两端的电压降，即可计算电流。考虑到 mΩ 级别的采样电阻乘以 mA 级别的电流，其压差只有 μV 级别，信号很小，所以需要 RC 滤波电路调理后才进入电量计的 SRP 和 SRN 引脚。常见的调理电路如图 5 所示，由两个 100 欧电阻、差分电容 C18、共模电容（图中 C19, C20）组成。这些 RC 调理电路的 layout 要求比较高，两个共模电容的接地点如果接得不好比如相距较远则容易会对电流信号引入额外偏移，影响电流测量精度，所以现在一般不贴共模电容（图中 C19, C20）。

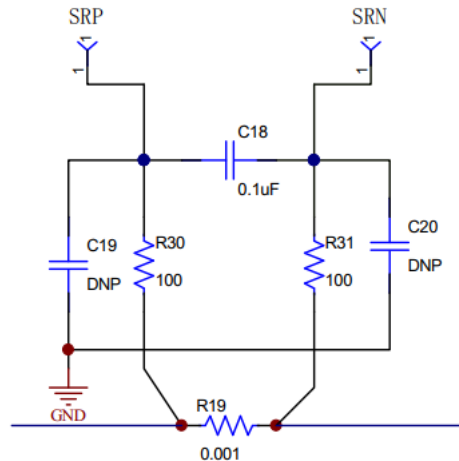


Figure 5. 电流采样电路

采样电阻的选型要从小阻值、高精度(1%)、低温度系数(TCR <75ppm/°C)、低热电动势(Thermal EMF $\leq 1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)、功率和尺寸等方面考虑。电流采样电阻的选值要确保电流流过采样电阻产生的压降在 SRP 和 SRN 安全电压范围内、在最佳采样精度范围内，即 SRP 和 SRN 引脚电压不超过电量计规格书 Recommended Operating Conditions 范围，并且电流流过采样电阻的压降不能超过电量计规格书 ADC 最大输入范围。尤其是要考虑短路时电流最大，SRP 和 SRN 的电压负得最多。同时也要考虑使 ADC 输入信号尽量大以提高信噪比，即在安全电压范围的条件下按照电量计规格书推荐的采样电阻范围选择较大值，即电阻越大、电压越高、精度越好。当然，采样电阻也不能太大，还要考虑系统对采样电阻压降和发热大小的接受范围。

2.4 温度采样电路

电量计温度采样一般有两种方式，一种是 IC 内置温度传感器，另一种 IC 外部 NTC（负温度系统热敏电阻）。IC 内置温度传感器采集 IC 温度(Internal Temperature)。IC 外部 NTC 可用来采集电池温度(Cell Temperature)、或者电池保护板上充电 MOSFET 和放电 MOSFET 温度(FET Temperature)。

NTC 可用引线式或贴片式，支持 25 度下 10k Ω (103)的 NTC，比如 Mitsubishi BN35-3H103 或 Semitec AT103，在电量计规格书一般会提到其匹配的典型 NTC 型号。

像 BQ40Z50 这类电量计的 NTC 引脚 TSx 内置 18K 上拉电阻，外部 NTC 另一端接地即可。

像 BQ2754x 系列电量计的 NTC 引脚 TS 内置 5K 下拉电阻，外部 NTC 另一端则需要接到电量计 IC 的参考电压 REG25 引脚。

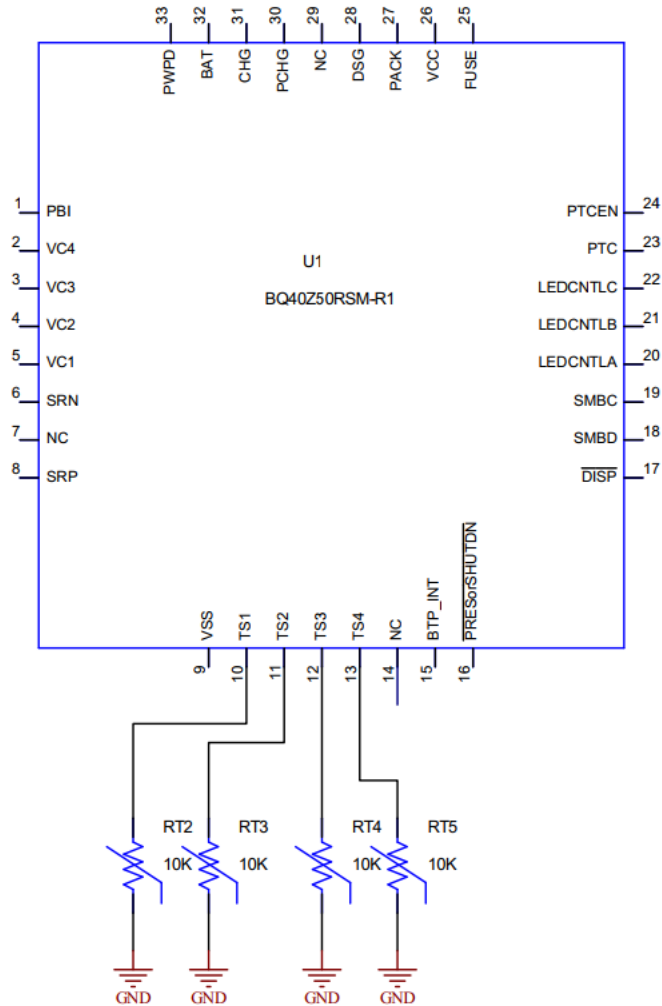


Figure 6. 温度采样电路

对于 BQ40xxx 系列有多路 TSx 引脚的电量计，不用的 TSx 引脚建议接地或用 10K 电阻接地，不要悬空。

3. 电量计对外交互电路

电量计对外交互电路包括通信电路、系统检测电路、LED 显示电路、使能信号、中断输出信号等，是电量计与外部主机交互的接口。

3.1 通信电路

电量计一般采用 I2C/SMBUS/HDQ 等通信协议。I2C 是两线通信（时钟线 SCL、数据线 SDA），SMBUS 也是两线通信（时钟线 SMBC、数据线 SMBD），HDQ 是单线通信，这些引脚在电量计 IC 内部都是 Open-drain 开漏结构，外部需要上拉才能通信。

由于电池接口对外交互，因此容易受 ESD 抗击；而且如果接口插拔不规范，比如斜插等，则存在接口线与电源线短路的风险。所以通信线一般采用 T 型电路来限流和增强 ESD 防护，如图 7 所示。以数据线 DATA 为例，左边一个 200 欧电阻 R24 靠近电量计的 SMBD 引脚，起到限流保护 SMBD 引脚的作用；中间接一个 TVS 管或稳压二极管 D2 到地；右边一个 100 欧电阻 R25 接到电池端口，起到限流保护 D2 的作用。如果 D2/D3/D4 选了 TVS，右边的电阻 R25/R27/R29 也可以省掉。D2 的选型要注意其结电容要小，以免影响通信线的上升沿斜率，影响通信质量。

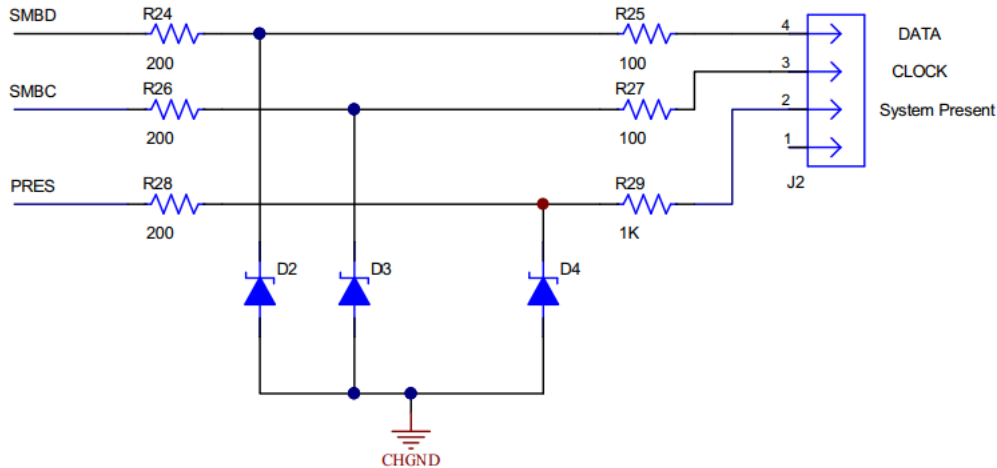


Figure 7. 通信和系统检测电路

3.2 系统检测电路

BQ40xxx 系列电量计用系统检测引脚 PRES，用于检测电池是否接入系统主机。在系统端 PRES 接地，则电池接入系统时电量计检测到 PRES 拉低电平，则认为电池已经接入系统，则允许充放电 MOS 管打开。电量计启动 PRES 检测时内部有 10~20uA 弱上拉电流源，为了使 PRES 被识别为低电平（规格书 PRES low level input $V_{IL} < 0.55V$ ），因此 PRES 引脚对地的阻抗要小于 20K 欧。

跟通信电路一样，系统检测电路也是对外连接，也需要按图 7 的电路来限流和增强 ESD 防护。

3.3 LED 显示电路

BQ40xxx 系列电量计内置恒流源能够驱动 LED 显示，可用来指示电量 SOC、电池故障等信息。最多能支持 5 颗 LED，3 个 LEDCNTL PIN 脚控制 5 颗 LED 的电路如图 8 所示。当 DISP 引脚用来触发 LED 显示。如果只用 4 颗 LED 则把图中 LED5 去掉，在电量计参数里按 4 段来配置 SOC LED display threshold。如果都不用 LED 显示，则把 LEDCNTLA / LEDCNTLB / LEDCNTLC 引脚悬空或接地，同时 DISP 引脚接地。

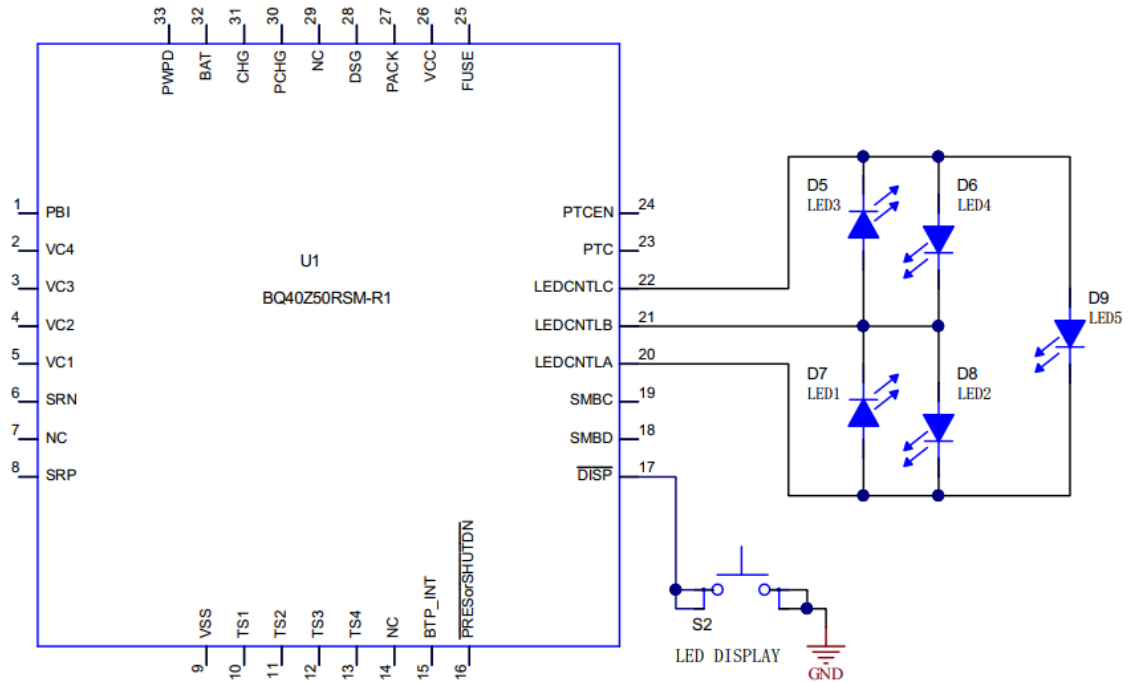


Figure 8. LED 显示电路

3.4 使能引脚

为了支持更低功耗，有些电量计提供使能引脚，比如 BQ27Z561、BQ34Z100-G1 的 CE 脚。通常我们希望电量计能够持续工作、监测电池，则把电量计 CE 脚与电量计的供电脚短接即可。如果需要 MCU 或系统单独控制 CE 脚，板内连接可直接连，板外连接则需要 ESD 防护电路。

4. 电池保护电路

一般单纯电量计比如 BQ27Z561/BQ27542/BQ27426 等不集成保护。有的电量计比如 BQ28Z610/BQ27742 等集成一级保护，即控制充电 MOSFET、放电 MOSFET，保护可恢复。有的电量计比如 BQ40Z50/BQ4050/BQ40Z80 等不但集成一级保护，还集成二级保护，即控制保险丝，一旦熔断保险丝则为永久失效。

4.1 一级保护电路

以 BQ40Z50 全功能电量计为例，它的一级保护包括电池过充、过放、过流、短路、高温、低温、充电超时等等。一级保护的实施依托于充电 MOSFET、预充 MOSFET、放电 MOSFET、防反充 MOSFET 等电路，如图 9 所示。

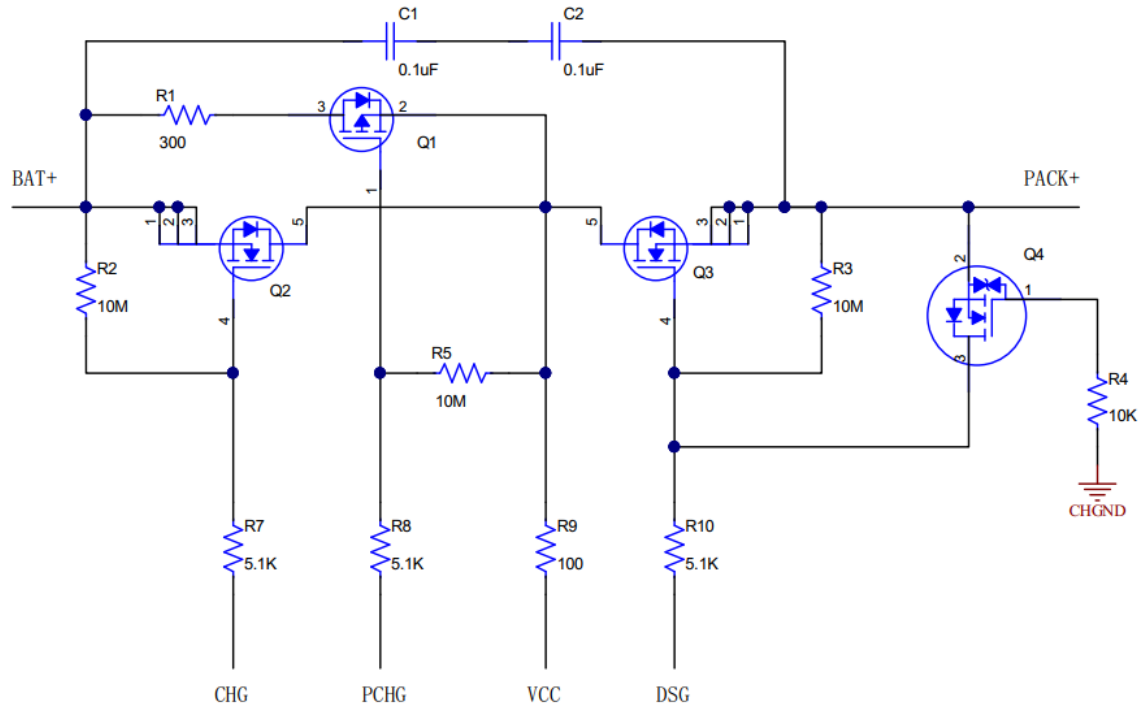


Figure 9. 一级保护电路

预充电路由图中 Q1 和 R1 组成。Q1 是 PMOS。R1 起到限制预充电电流的作用。预电流的大小相当于 $(V_{pack} - V_{bat}) / R1$ 。R1 选型要考虑电阻的功率 $(V_{pack} - V_{bat})^2 / R1$ 。如果充电器 charger 能够控制预充电流，那么 Q1 和 R1 的预充电路也可以省略，则 PCHG 引脚悬空即可。

充电 MOSFET Q2 和放电 MOSFET Q3 是放在高边 NMOS。电量计内部有 charge pump 升压驱动 Q2 和 Q3。Q1, Q2, Q3 与电量计驱动引脚之间都接一个 5.1K 电阻，可适当调节这个驱动电阻来调节 MOSFET 的开通关断速度。Q1, Q2, Q3 的栅源 G-S 之间都接一个 10M 大电阻来确保在没有驱动时 MOSFET 能完全关闭。

C1 和 C2 与 Q2 和 Q3 并联，在受到 ESD 冲击时保护 Q2 和 Q3。用两个电容串联的目的是以防一个电容短路时 PACK 与 BAT 不至于短路，Q2 和 Q3 依然能起作用。

Q4 的作用是当充电器反插时 Q4 能够快速导通来把放电管 Q3 的 G-S 短路，从而保护 Q3，以免 PACK+ 负压时损坏 Q3。Q4 要选择导通电压很低的 MOSFET，比如 2N7002 等。

4.2 二级保护电路

以 BQ40Z50 全功能电量计为例，它的二级保护包括电芯失效（比如严重不平衡、严重老化等）、保护元器件失效（比如充电 MOSFET 失效、放电 MOSFET 失效、二次保护 IC 动作、NTC 断线等）、使用环境安全风险（比如严重过充、严重过放、严重过流、严重过温等）等等。二级保护的实施依托于三端保险丝，一旦触发二级保护条件则电量计 FUSE 输出高电压去熔断三端保险丝。图 10 是二级保护电路的典型接法。三端保险丝 F1 两端接在电池充放电主回路，第三端用来控制 F1 熔断。F1 的熔断指令可以由电量计的二级保护功能 FUSE 引脚发出，也可以由外部独立二次保护 IC 发出；两个信号分别通过 5.1K 电阻汇总在一起，接到 MOSFET Q5；FUSE 引脚给一个高电平（典型值 8V）把 Q5 导通，F1 第三端接地 F1 发热即可实施熔断。

电量计的 FUSE 引脚既是输出脚去熔断保险丝，也是输入脚来检测二次保护 IC 是否动作，当电量计检测到 FUSE 引脚被拉高的话就认为二次保护 IC 动作了。如果不用电量计的 FUSE 引脚功能的话，则需要把 FUSE 引脚接地，以免受干扰。

由于 F1 要第三端对地短路来发热才能熔断，所以 Q5 的选型以及电量计二级保护熔 FUSE 的门限要充分考虑电池电压、Q5 导通阻抗等能否产生足够热量支撑 F1 熔断。

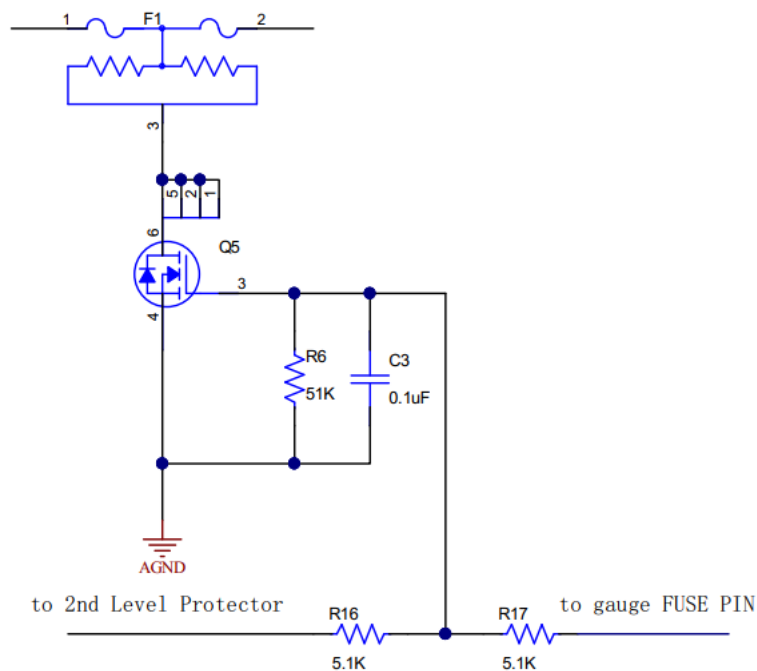


Figure 10. 二级保护电路

4.3 PTC 电路

BQ40xxx 系列电量计除了提供 4 路 NTC 的温度测量和保护，还提供额外的 PTC 过温保护。如图 11 所示，电量计的 PTC 引脚接一个正温度系数的热敏电阻 PTC，这个 PTC 可以贴近保护板上温度最高的地方或充放电 MOS；一旦电量计检测到 PTC 引脚为高电平（ $V_{PTC}(TRIP) = V_{PTCEN} - V_{PTC}$ ，typical 500mV），则触发 PTC 保护，主动断开充放电 MOSFET 并发信号熔断 FUSE。这个 PTC 保护是 IC 硬件控制的，软件关不了，而且即使在 IC shutdown 时也能工作。所以如果不用这个 PTC 功能的话需要把 PTC 引脚和 PTCEN 引脚同时接地。

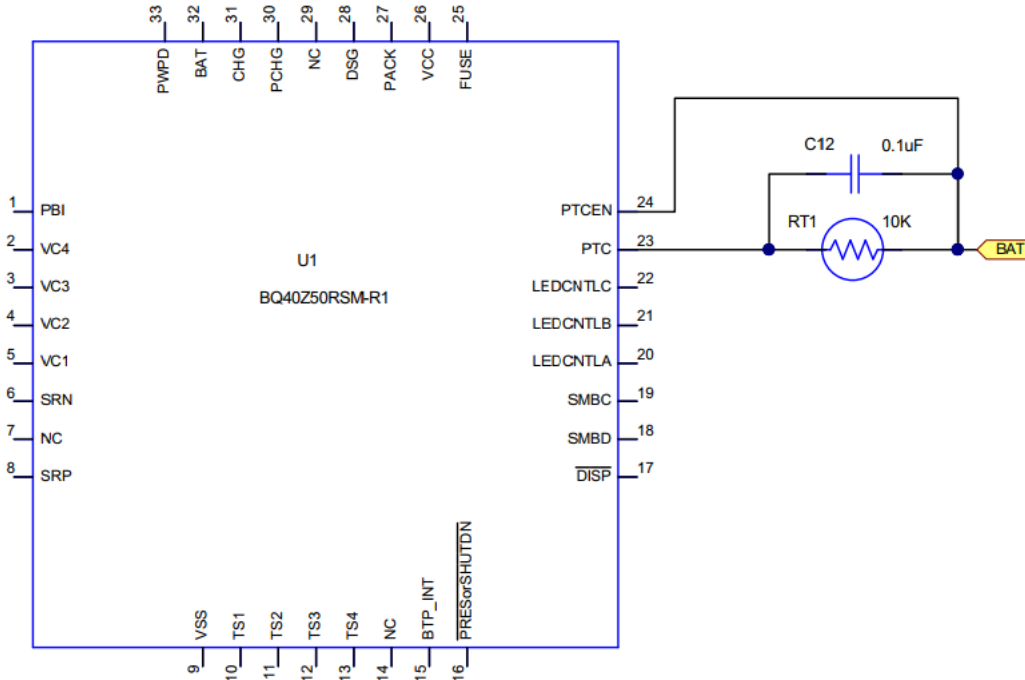


Figure 11. PTC 电路

5. 电池均衡电路

除了前面介绍的常见电路，对于多串电池电量计其均衡电路也是很常用的。

5.1 内部均衡电路

BQ40xxx 系列电量计集成内部均衡驱动电路，所以外围不增加电路也可实现均衡功能，如图 12 所示。图 12 中，内部均衡开关 CBEN2 开通时，电池电压 V_{cell2} 通过 $R_{vc} \rightarrow R_{cb} \rightarrow R_{vc}$ 回路放电，均衡电流等于电池电压除以该回路的阻抗。

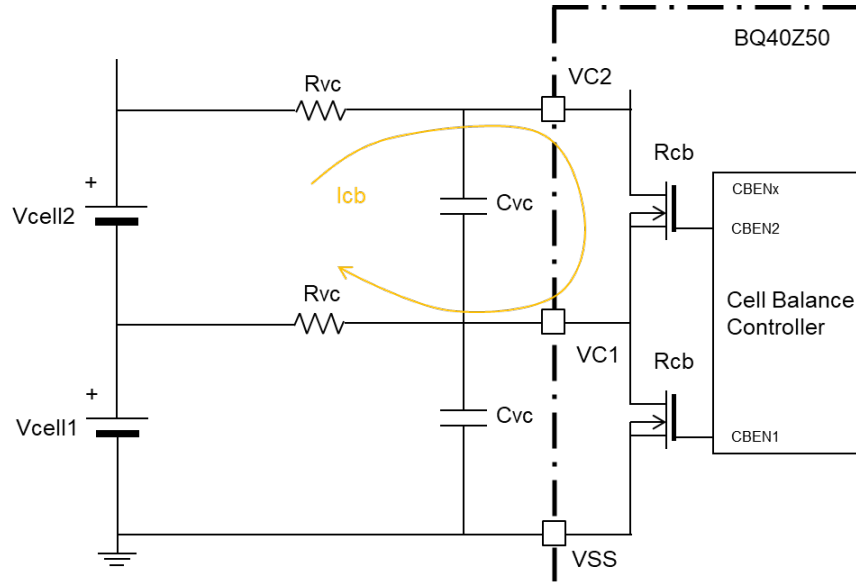


Figure 12. 内部均衡电路

5.2 外部均衡电路

由于 IC 散热考虑一般内部均衡的均衡电流不会很大（比如几 mA、几十 mA 等）。如果需要更大的均衡电流，则只需要外部添加 MOSFET 即可实现外部均衡。可以用 PMOS 做外部均衡开关，如图 13 所示。也可以用 NMOS 做外部均衡开关，如图 14 所示。

图 13 中，外部 PMOS 的栅极电压由 Rvc 和 Rcb+Rvc 分压构成。当均衡使能信号 CBEN 开通内部均衡开关时，PMOS 栅-源形成负压从而导通。均衡电流由外部均衡回路 Icb_{ext} 和内部均衡回路 Icb_{int} 两路并联组成。

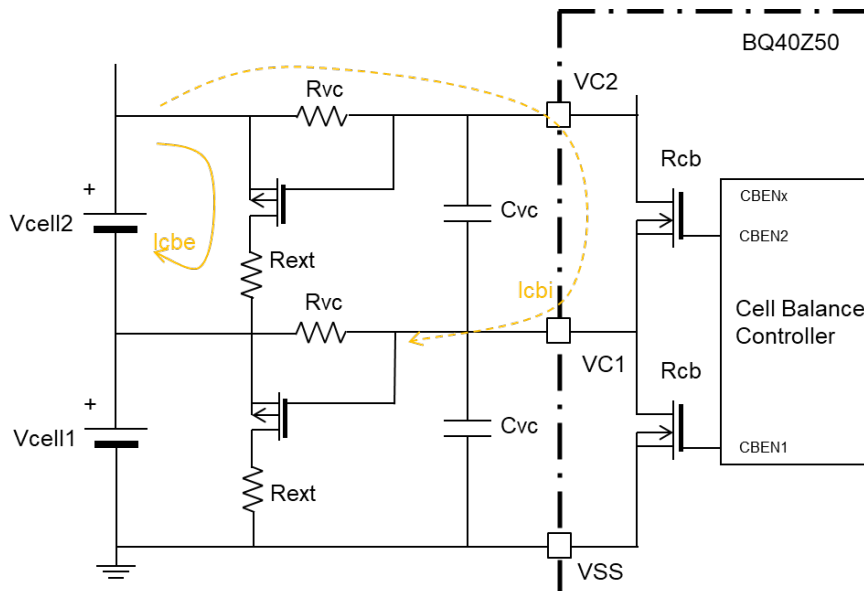


Figure 13. 用 PMOS 做外部均衡电路

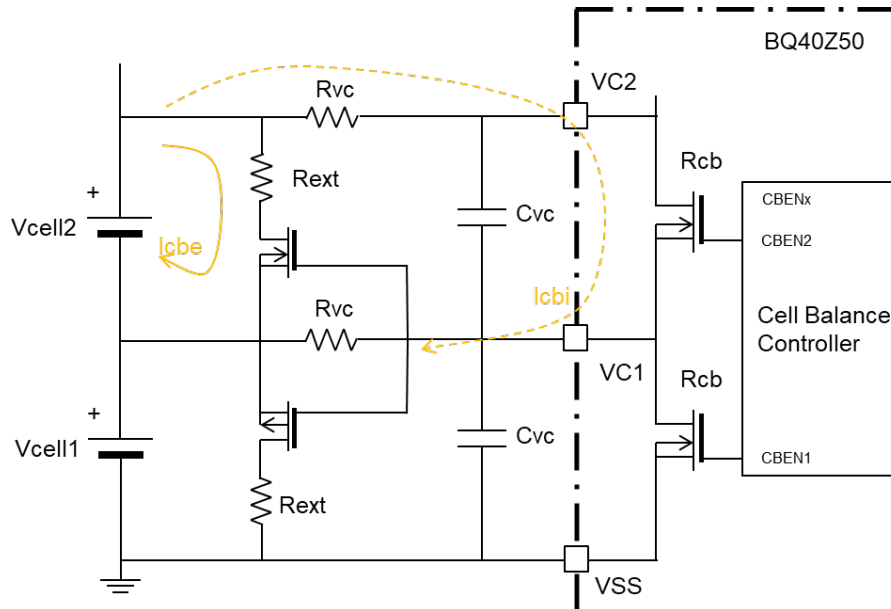


Figure 14. 用 NMOS 做外部均衡电路

图 14 中用 NMOS 做外部均衡开关。外部 NMOS 的栅极电压由 R_{vc} 和 R_{cb}+R_{vc} 分压构成。当均衡使能信号 CBEN 开通内部均衡开关时，NMOS 栅-源形成正压从而导通。均衡电流由外部均衡回路 I_{cbi} 和内部均衡回路 I_{cbi} 两路并联组成。

6. 总结

本文按电量计的功能电路模块为主线，以 BQ40Z50/BQ4050/BQ28Z610/BQ27Z561/BQ27542 等电量计为例，逐一介绍了电量计供电和采样电路（供电、电压采样、电流采样、温度采样）、对外交互（通信、系统检测、LED 显示、使能）、电池保护（一级保护、二级保护、PTC 电路）、电池均衡等外围电路的设计要点。

参考文献

1. BQ40Z50-R1 datasheet: <https://www.ti.com/lit/gpn/BQ40Z50-R1>
2. Single Cell Gas Gauge Circuit Design (SLUA456): <https://www.ti.com/lit/pdf/slua456>

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