

电动汽车单体电池采集电路故障分析与对策

李辉, 温晶君

(东软睿驰汽车技术(沈阳)有限公司, 沈阳 110179)

摘要:分析电动汽车单体电池采集电路出现单体电压异常和菊花链通信异常的原因,并给出有效的解决对策,保障单体电池信息采集电路的可靠性。

关键词:电动汽车; 动力电池; 采集电路; 故障分析; 解决对策

中图分类号:U469.72; U463.63⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-3331(2023)01-0049-03

Fault Analysis and Counter-measures of Single Battery Acquisition Circuit in Electric Vehicles

LI Hui, WEN Jingjun

(Neusoft Reach Automotive Technology (Shenyang) Co., Ltd., Shenyang 110179, China)

Abstract: This paper analyzes the causes of abnormal cell voltage and daisy chain communication faults in the collection circuit of the single battery of an electric vehicle and provides effective counter-measures to ensure the reliability of the single battery information collection circuit.

Key words: electric vehicle; power battery; acquisition circuit; fault analysis; counter-measure

动力电池是电动汽车的主要动力源^[1-2],其健康状况直接关系到整车运行以及人身安全。电动汽车电池管理系统中单体电池信息采集系统的可靠性,是重要的研究课题^[3]。电动汽车中高可靠性的单体电池采集电路,可极大程度地避免拆开电池包进行电池故障的检测,这对降低用车成本和提高安全性来说是非常重要的。本文针对电动汽车单体电池采集电路的主要故障进行分析,并给出有效的解决对策。

1 单体电池采集电路的主要故障

在电动汽车中,单体电池信息不仅是电池管理系统上电自检完成的重要因素,还是动力电池充放电控制策略的关键因素。电动汽车的动力电池在使用过程中,如果不能合理使用单体电池信息,极有可能出现过度充电或者过度放电^[4]。而单体电池的电压和温度等参数是其充放电的关键参数,可通过单体电池信息采集电路进行接收和处理。因此单体电池信息采集电路的可靠性直接影响动力电池组的性能和使用寿命^[5]。

电动汽车单体电池信息采集电路主要由单体电池模组、滤波及防护单元、单体电池信息采集模拟前端(下面简称 AFE)、菊花链通信单元和单体电池信息采集单元组成,其架构如图 1 所示。其中滤波及防护单元和菊花链通信单元最易出现电路故障。

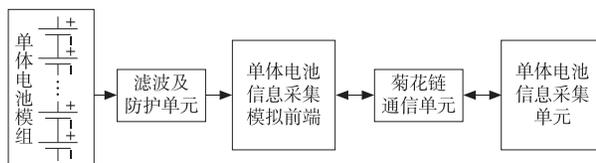


图 1 单体电池信息采集架构

2 单体电池采集电路故障分析与对策

本文故障电池模组由 180 节三元锂电池组成,模组内部含有 FUSE 熔断器(下面简称 FUSE)和单体电池信息采集板(下面简称 BIC)等组件。其中 BIC 由 AFE 采集芯片及其外围电路构成。单个 AFE 最多支持采集 14 节单体电池信息,将 5 个 AFE 集成在同一块 BIC 上,本系统共需要 3 个 BIC。基于成本和性能

收稿日期:2022-12-14。

第一作者:李辉(1990—),男,工程师;主要从事新能源汽车动力电池管理系统的开发与研究工作。E-mail:hithdlh@163.com。

的考量,每个 AFE 之间采用电容隔离通信,每个 BIC 之间采用变压器隔离通信,为均匀分配单体采集通道,每个 AFE 采集 12 节单体电池信息,从 AFE1 至 AFE15 依次对应采集第 1 节电池 CELL1 至第 180 节电池 CELL180,模组系统框图如图 2 所示。

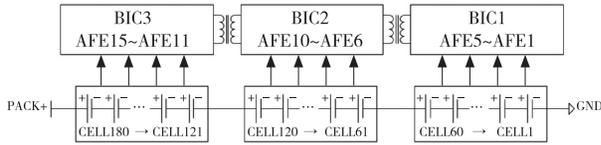


图 2 模组系统框图

在动力电池包试验和电动汽车应用中总结出主要的单体电池采集电路故障,主要表现为单体电池的电压异常和菊花链通信异常。

2.1 单体电池电压异常分析与对策

动力电池包在批量应用前,需要依据相关标准,如 GB 38031—2020^[6]对电池包的安全性进行试验,试验过程中多次插拔 BIC 是不可避免的操作,而 BIC 始终是带电插拔,必然会产生浪涌冲击,根据实际故障得知其中的 BIC1 采集的 CELL59 和 CELL60 分别是 2.6 V 和约 5 V 的异常电压。首先确认出现异常电压位置不存在复合母排或 FUSE 等特殊的电芯排布组件,排除外部电气附件因素,而且 CELL59 加上 CELL60 的电压总和约为 7.6 V,约等于两节单体的正常电压,异常现象符合单体断线检测故障的特征。

下面结合 BIC 出现故障位置的电路图(图 3),分析导致电路故障的根源。假设 CELL59 出现断线,以 CELL58 为参考点,即 CELL58=0 V,CELL60≈7.6 V,结合 AFE 芯片内部采集端口串联电容 C1 和 C2 及其外围电容一起分析 CELL 电压。串联电容两端电压公式如下:

$$U1 = C2 \times U / (C1 + C2) \quad (1)$$

$$U2 = C1 \times U / (C1 + C2) \quad (2)$$

当 CELL59 出现断线时,C2 将给 C7 和 C8 充电,C2 等效并联电容等于 C7+C8+C2 三者总和,为 104 nF,即 C2 等效并联的电容约为 C1 的 10 倍,结合式(1)和式(2)可知,C1 产生的电压会超出内部钳位二极管电压的上限值(5 V),因此 C1 两端电压略高于 5 V,即 CELL60 约为 5 V,则 CELL59 约为 2.6 V,至此验证了 CELL59 断线的推断。从图 3 可知 CELL59 通路上有一个 0402 封装的 2.2 Ω 电阻 R5,测量 R5 阻

值已经超过 400 kΩ,证实 2.2 Ω 电阻已经损坏。

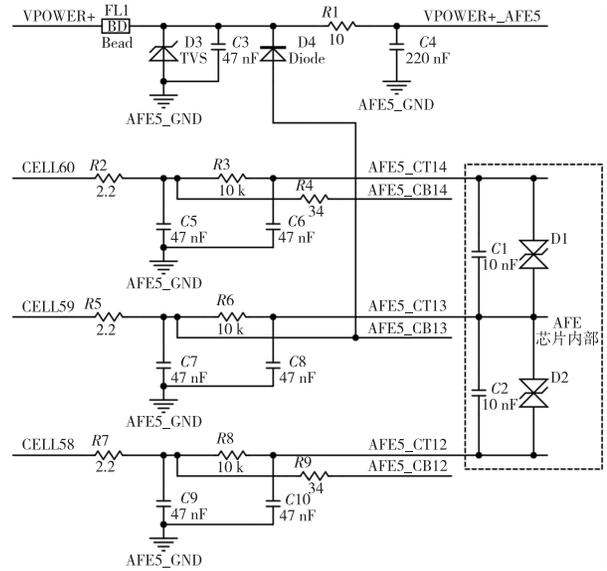


图 3 BIC 部分电路图

根据前面提到的操作多次插拔 BIC,推断是热插拔^[7]浪涌冲击导致 R5 损坏,通过专业设备测试电路上的浪涌冲击,测试结果为在模组上最大电压 65 V 时,出现最大浪涌电流为 4 A,持续时间约 4 μs,换算等效功率约为 12 W,结合图 4 可知 0402 封装电阻 4 μs 时仅能承受 10 W 以内的功率(封装代号 2512 到 0402 与曲线由上至下一一对应),因此基于 BIC 电路功能和热插拔损坏电路的机理,将 R5 选用为 1206 封装的 10 Ω 电阻,既保证电路抗浪涌的冲击,又无需额外增加防护器件,提高产品的性价比。

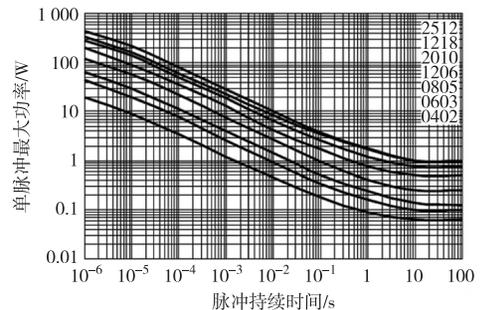


图 4 电阻单脉冲功率图

2.2 菊花链通信异常分析与对策

无论是电动汽车的可靠性耐久试验^[8],还是动力电池包故障检修,因操作不规范导致 FUSE 损坏时有发生。FUSE 是动力电池包短路保护的重要器件,它的损坏会连带冲击 BIC 电路,引起菊花链通信异常。

本文分析故障系统中 BIC2 的 AFE7 与 AFE6 之

间的菊花链通信异常原因发现是两者之间的 FUSE 损坏,瞬态冲击导致菊花链通信异常。模组系统 BIC2 电气连接情况如图 5 所示。

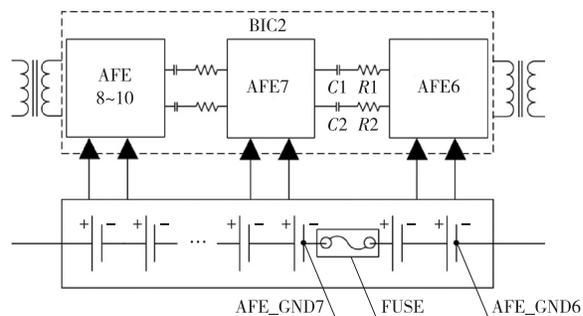


图5 模组系统 BIC2 电气展开图

单体电池信息采集单元依次从 AFE15 至 AFE1 获取单体电池信息,BIC2 上的 AFE7 与 AFE6 通过电容和电阻串联连通菊花链路径。分析其中一条通信路径,另一条同理。 $C1$ 是 $10\text{ nF}/1\ 000\text{ V}$ 的高压电容, $R1$ 是 0603 封装的 $62\ \Omega$ 电阻,AFE 端口有 5 V 钳位二极管。当 FUSE 正常工作时, $C1$ 两端电压 U_1 是 AFE_GND7 到 AFE_GND6 的电压,即 U_1 等于 12 节单体电压的总和,约为 50 V ,此时 FUSE 两端电压 V_f 极小,约为 0 V , $R1$ 两端压差约为 0 V 。当 FUSE 因瞬态过流损坏时,依据 FUSE 的特性可知,此时 FUSE 的等效电阻 R_f 增大,由 $V_f = I \times R_f$ 可知, V_f 增大,电容 $C1$ 两端压差不会瞬间突变,依旧保持 50 V ,因此 $R1$ 两端压差变为 $V_f - 5\text{ V}$ 。假设过流状态下,参照图 6 的 FUSE 触发动作 $I-t$ 曲线,过流电流为 5 kA ,熔断时间为 10 ms , R_f 为 $10\text{ m}\Omega$,得知 V_f 为 50 V ,那么 $R1$ 两端压差为 45 V , $R1$ 耐受功率约为 32.7 W 。依据图 4 可知,0603 封装的电阻 $R1$ 在 $3\ \mu$ 以内就会烧毁,因此 FUSE 瞬态过流的发生引起 V_f 增大是导致菊花链通信异常的根源。

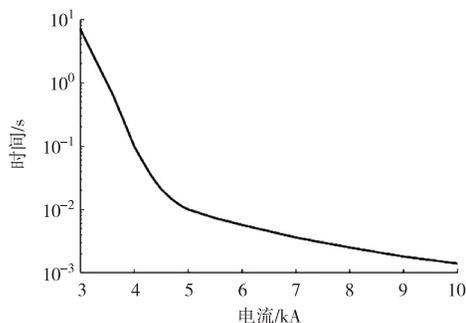


图6 FUSE 触发动作 $I-t$ 曲线

为避免上述故障的发生,有两种对策,一种是调整 FUSE 的布置位置,将其放置在 BIC 与 BIC 之间,利用变压器的强抗干扰特性保护电路的安全性;另一种方案是在 BIC 板上的每个 AFE 之间冗余设计隔离变压器的板位,有利于灵活应对模组的电气架构,如果一个 BIC 避不开 FUSE 的布置位置,那就将 FUSE 放置在 AFE 与 AFE 之间,同时 AFE 之间选用变压器隔离通信,这样就可通过匹配电路器件保障 BIC 电路的可靠性。第一种对策适用于用户接受重新调整电芯排布,同时又可以不改 BIC 电路的情况;第二种对策适用于用户灵活匹配电气架构,同时接受升级 BIC 电路的情况。两种对策可以覆盖大部分应用场景,保障 BIC 菊花链通信的可靠性。

3 结束语

本文结合动力电池包及电动汽车应用中的典型案例,阐述了电动汽车中动力电池单体采集电路主要故障产生的根源,通过详细的理论分析及计算,针对故障产生机理,给出有效的解决对策,并且经过本文两种不同策略调整后的 BIC 均已在实车中应用,目前运行稳定,满足客户的需求。

参考文献:

- [1] 潘苏楠,李北伟,聂洪光.我国新能源汽车产业可持续发展综合评价及制约因素分析—基于创新生态系统视角[J].科技管理研究,2019(22):41-47.
- [2] 刘永亮.基于我国新能源汽车产业发展战略研究[J].时代汽车,2022(19):85-87.
- [3] 王晓敏,刘亚萍.电动汽车单体电池信息采集及故障诊断系统[J].科技创新与应用,2021,11(36):58-60.
- [4] 朱先栋.新能源汽车的故障分析与对策[J].科技风,2019(35):144.
- [5] 于仲安,邹浩,何俊杰,等.高精度锂离子电池电压采集系统设计[J].电源技术,2018,42(7):977-980.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部.电动汽车用动力蓄电池安全要求:GB 38031—2020[S].北京:中国标准出版社,2020:1-36.
- [7] 穆远祥.单板热插拔接口设计分析[J].电子世界,2019(1):155.
- [8] 董立甲,张元勤,王世英,等.电动汽车可靠耐久试验技术研究[J].汽车文摘,2020(8):6-10.