

A Research on High Voltage Division and Isolation Method in Electric Crush Safety Test Data Acquisition System

Zhu Cuiping, Ding Haijian, Guo Fengjun, Su Xing

SAIC Motor Passenger Vehicle Co., Shanghai, China, 201804

Email: zhucuiiping@saicmotor.com

Abstract: According to high end load circuit characteristic of electric vehicle, a high voltages real-time recording system was designed to meet the electric vehicle safety demand which is required by GB Standard. This system test the insulation status of pile and vehicle body to make sure the operator and the data acquisition system are safe during the whole testing procedure.

Keywords: Electric vehicle, DC high voltage sample, Battery test, High voltage isolation, Data acquisition, GB/T31498

基于电动车碰撞测试高电压数据采集的分压和隔离技术研究

朱翠平, 丁海建, 郭凤骏, 苏醒

上海汽车集团股份有限公司乘用车公司, 上海, 中国, 201804

Email: zhucuiiping@saicmotor.com

摘要: 本文针对电动车碰撞试验的碰撞前后及碰撞过程中, 对直流高压电压采样的隔离方案和分压的方法, 分别讨论了变压器隔离方式及线性光电耦合的隔离方式, 对两种隔离方式的优缺点进行了比较。并给出了实现安全传输电压信号至数据采集设备, 防止碰撞试验过程中产生的高压强电部分的系统故障, 对数据采集系统造成损害, 保护测试人员的安全, 保护数采设备的安全目的分压和隔离方案。

关键词: 电动车; 直流高压采样; 电池测量; 高压隔离; 数据采集; GB/T31498

1 研究背景

随着电动汽车在全球市场的不断普及, 电动汽车的碰撞安全标准也在逐渐提高。在最新公布的《电动汽车碰撞后安全要求》中, 相关检测项目和要求已经看齐欧盟, 对国内电动汽车碰撞安全提出巨大的挑战, 同时也对电动汽车安全标准做了进一步规范。我们在研究之前首先对全球的电动汽车标准进行了初步的梳理, 如表 1 所示。

在电动汽车碰撞后的测量项目中, 对动力电池的电压、绝缘电阻等的测量, 面临操作安全和测量及时性方面的挑战。如何在电动汽车碰撞后的 5-60s 内完成动力系统的电压等的测量? 如何做到操作高压系统时的安全? 是否可以使用设备对电动汽车碰撞过程中的动力电池电压等进行全程的实时的监测? 在确保安全、及时测量的同时, 检测的精度如何保证? 我们将在本文中一一回答。

Table 1.List of key safety standards for electric vehicles in the world
表 1. 全球电动汽车主要安全标准一览

法规	测试项目	测试要求
FMVSS 305	防触电要求	绝缘电阻 1 动力电池系统和车体导电结构之间需要维持绝缘电阻不得低于 500 Ω/V (无防护) ; 100 Ω/V (有防护) 2 电压 (VB, V1, V2) 低于 30V AC/ 60V DC
	电解液泄漏	继续结束 30min 内检测 1. 不应有电解液从 REESS 中溢出到乘员舱; 2. 不应有超过 SL 以上的电解液从 REESS 中溢出。(可通过计算每节电芯最大的电解液泄漏量估算也不应该有多少节电芯被破坏)。
	REESS 要求	REESS 移动要求 REESS 保持在安装位置, 其附件保持在壳内; 不允许 REESS 部分进入乘员舱; 需要满足绝缘电阻要求和电解液泄露不得超过 SL 要求。
GB/T 31498 GB 11551 GB 20071	防触电要求	a. 电压要求 b. 电阻要求 c. 防电弧 d. 绝缘电阻 1. REESS 与乘员舱接触时: 每一高压母线应该符合 a~d 中至少一条。 2. REESS 与乘员舱断开时: 电力系统应该符合 c 或 d 中一条; REESS 和充电用高压母线应该符合 a~d 中至少一条。
	电解液泄漏要求	继续结束 30min 内检测 1. 不应有电解液从 REESS 中溢出到乘员舱; 2. 不应有超过 SL 以上的电解液从 REESS 中溢出。
	REESS 要求	a. REESS 移动要求 b. REESS 特殊安全要求 同时满足 a、b 的要求: a: REESS 保持在安装位置, 其附件保持在壳内; 不允许 REESS 部分进入乘员舱; b: 继续结束 30min 内, REESS 不应爆炸、起火 (持续燃烧, 火花和电弧不算起火)。
BCE R54/95/100	与 GB/T 31498 一致	与 GB/T 31498 一致

2 车载高压监测方案的设计思路

根据法规的测试要求，需要对电动车的直流高压电压采样，比如电池母线的正负极电压 VB 的测量，以及母线正极对底盘 V2，母线负极对底盘 V1 的电压进行采样。两表法（电桥法）对直流高压分压电路的电压测量。如何将法规中需要监控和记录的数据安全，准确，实时地与数采系统相连接？电动车的电池电压是一个 90~500V 范围内的高压直流电^[1]，在碰撞过程中和碰撞后，检测者能够安全地获取数据？其次，如何能保证昂贵的数采系统的设备安全？

我们设计的安全、有效的实时碰撞过程中的高压测量系统，包括两个关键部分——分压和隔离。灵活性。

2.1 动态高压测量中的分压

如图，VB 是电动车母线的电压，V1 是电动车电池负极对底盘的电压，V2 是电动车电池正极对底盘的电压。RS 为标准电阻，RN 为分压电阻器，通过 RN 上的电压值，可以读出 VB,V1,V2 的值。

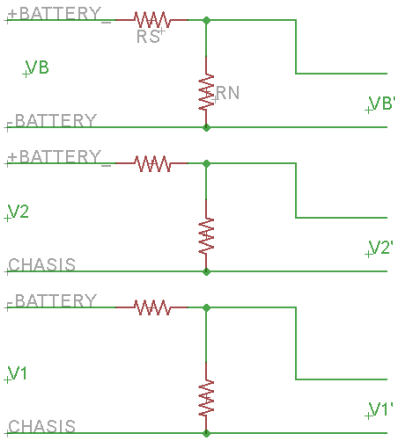


Figure 1.Pressure measurement principle diagram
图 1. 分压组合测量原理图

选择分压电阻的时候，应注意电阻的工作电压，即电阻的电压系数：在规定的电压范围内，电压每改变一伏，电阻值的相对变化。由于阻值随电压增高而下降，应避免使分压电阻工作在满负荷的工作电压上，一般选取其满负荷的 50%左右作为它的工作电压比较合适。单个高阻值的电阻的电压系数通常难以满足要求，我们采用多个电阻串联的方式，降低每个电阻的工作电压。

为了测量 VB,V1,V2，我们加入了电阻分压网络。这个网络对于整车的线路来说，具有一定的阻值，为了将测量电路对实车的影响降到最低，我们的分压电路的电阻值应有所选择，为由于电动车本身要求电池的正负极对底盘之间的阻抗大于 $5M^{[2]}$ ，我们选取的分压电阻为 19.8M 和 200K，即输出给数采设备的电压范围值，是被测高压的 1/100。假设电动车高压为 500V，那么输出给数采设备的电压为 2.5V。此时的输入阻抗，根据计算公式，分压电路所接入的电阻，为 13.3M。效率。

2.2 动态高压测量中的隔离

普通的直流高压采样方案，通过电阻分压为毫伏级别的电压信号，再经过隔离运放输出伏级别的电压信号，之后经过滤波、放大以及保护电路，最终输出给数据采集设备，从而实现直流高压的隔离测量。由于需经过放大，滤波以及保护等处理，对原始的直流电压信号进行了多次处理，中间环节较多，影响采样电路的精度且不能反映高压直流的较小电压波动。

隔离电路，即隔离放大器，能将被测电路和测量电路隔离开，而不影响信号传输。两部分的电路之间没有直接的电气连接。在电动车高电压测试当中，我们需要一种既能实现安全隔离，又能实时反应原始直流电压信号的隔离方式。选择恰当的隔离器件，实现安全传输电压信号给数据采集设备，防止碰撞试验过程中产生的高压电部分的系统故障，对据采集系统造成损害，保护测试人员的安全，保护数采设备的安全目的。

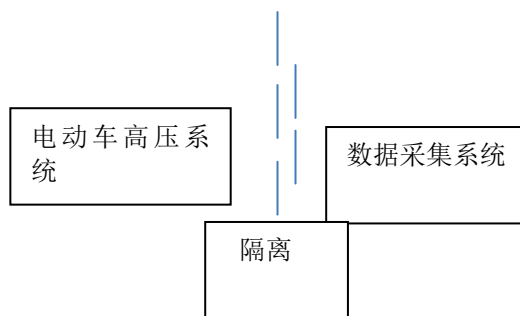


Figure 2. Isolated measurement system structure

图 2. 隔离测量系统结构

电动车本身要求的绝缘系数为直流 $100\Omega / V$ (电阻值除以电动汽车直流系统标称电压 U ，结果应大于 $100\Omega/V$)，交流 $500\Omega/V$ ，以工作在 400V 电池的系统为例，绝缘电阻应大于 40000Ω 即 40K，如果采用电压传感器进行测量，如 LEM 系列的电压传感器，其本身的输入阻抗通常在 100k 左右，与所要求的绝缘电阻值属于同一个数量级，并入系统后，必然会影响测试结果，不能满足工况的需求。对被测电压进行分压和隔离，是我们的主要方向。分压要考虑高压系数下的分压电路的误差变化问题。隔离要考虑隔离器件的动态响应范围，响应频率，和线性度。经过认真比较和筛选，目前可供选择的隔离（技术）器件有两种，一种是变压器方式的隔离方式，另一种是线性光电耦合方式^[3]。

2.2.1 变压器隔离

以变压器方式进行信号耦合和隔离。如 AD 公司的 AD2xx 系列产品，信号隔离变送器采用电磁隔离技术，相比光耦信号隔离变送器具有更好的信号带宽，输出精度，温度漂移小，线性度好，适合在电动车碰撞测试的场合。在测量系统中高压或电路发生故障时提供保护功能。

2.2.2 变压器隔离的缺点

1、输出有波纹。在信号传输过程中，隔离器采用了调制解调技术，解调后的信号虽然经过滤波，但调制波不能完全滤除干净，所以输出信号中有 10 mV 的纹波^[4]。

2、体积大。变压器耦合的方式，体积较大。

2.2.3 线性光电隔离放大器

如 HP 公司的产品 HCPL 系列，通过 AD 转换，再经由 DA 转换输出。

光隔离放大器，信号通过光传输的方式进行信号传输，实现电气隔离。优点是体积小，输出信号没有波纹干扰。

2.2.4 线性光电隔离的缺点

1、由于采用了 $\Delta\Sigma$ 调制 ADC 转换技术，信号输入带宽比较窄，输入信号的范围只在正负 200mv 范围内。

2、传输一致性不好，不同的器件误差不同。

3、内部采用频率耦合，容易受到射频干扰的影响。

4、信号输入范围仅正负几百毫伏，输出增益固定且存在一定误差^[5]。

基于以上的比较以及在实际应用中的对比，我们发现，由于现有的线性光电隔离器件，中间采用了 AD-DA 转换， $\Delta\Sigma$ 调制等技术，对原始的信号进行了多次处理，不能达到我们对原始信号尽可能还原的要求。我们选择了变压器隔离的方式进行隔离。能够对输入和输出进行隔离，在连续公模条件下仍然能保持高性能，能够切断回路和漏电通路，抑制共模电压，降低噪声，实现了高精度和优良的电气隔离，同时在测量系统中，其他电路法式故障时，保护测试人员和数据采集系统的安全。

图 3 是我们设计的高压输入和安全隔离电路，高压电压 BAT+, BAT-对底盘 Chassis 的电压，分别经过精密分压之后，接入隔离器件的输入端。经过隔离器件的安全隔离之后，输出给其后的显示和测量电路^[6]。其中，隔离器件的隔离参数为：CMV Isolation: 2500 V rms Continuous, $\pm 3500V$ Peak Continuous。

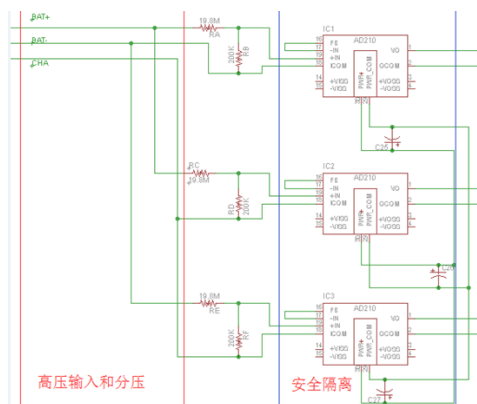


Figure 3.High voltage input and security isolation circuit

图 3. 高压输入和安全隔离电路

安全隔离之后的电压量，一路输出给数据采集系统。另外一路用于实时显示。显示部分，我们采用了 AD8275 作为信号调理，在电路中执行衰减和电平转换的功能，可保持良好的 CMR。AD7685 作为 16 位 AD 数模转换的芯片。

3 项目应用

在进行了一段时间的静态调试后，我们将这套方案搭载在某 B 级电动汽车上进行试验。主要利用这个方案进行试验后的电压和绝缘电阻测量。

电压测试方面

如各国法规中提到的，在碰撞测试之后的 5-60s 内，须测得高压母线的电压，取最小值。之前的测试方法是测试人员在车辆碰撞完成后，立刻使用兆欧表等工具，进行电压采集。但是由于测量的时间难以把握，同时在车辆和动力系统的安全性没有得到充分确认前，测试人员的安全无法得到保证，而且车载的数据采集系统，包括假人，也没有高压保护。

使用车载高压监测方案后，监测设备会在电动汽车碰撞过程中实时记录动力系统的电压变化。试验完成后，可以从数采设备中读取这些数据。图示为某 B 级电动汽车碰撞后的动力电池变化曲线图。

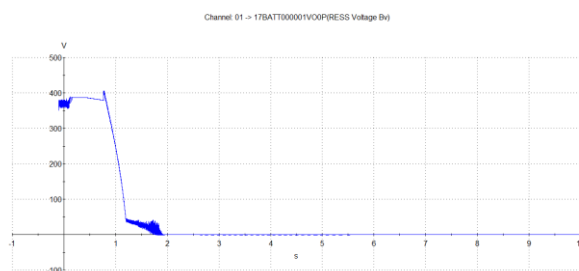


Figure 4.Vb voltage change

图 4. Vb 电压变化

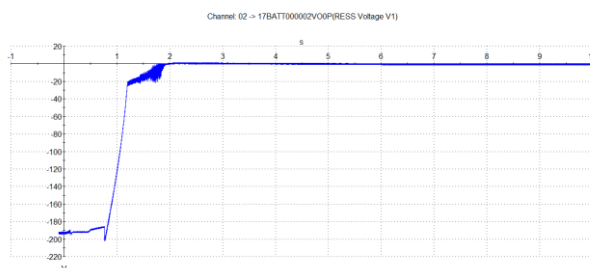


Figure 5.V1 voltage change

图 5. V1 电压变化

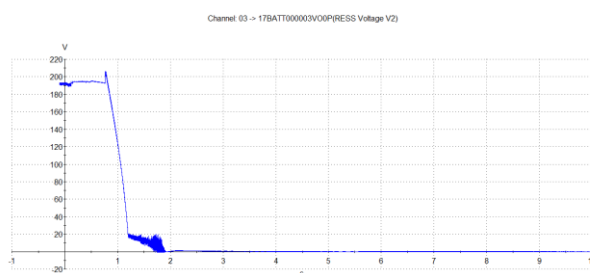


Figure 6.V2 voltage change curve

图 6. V2 电压变化曲线

绝缘电阻的测试

按照 GB/T 31498-2015 中所述的绝缘电阻的测量方法：

- 测量并记录高压母线的负极侧与正极侧之间的电压 Vb；
- 测量并记录高压母线的正极侧与电平台之间的电压 V1；

c) 测量并记录高压母线的负极侧与电平台之间的电压 V2;

如果 V1 大于 V2, 在高压母线的负极侧与电平台之间插入一个已知的标准电阻 RO。按照 RO 之后, 测量高压母线的负极侧与车辆电平台之间的电压 V1', 则绝缘电阻 Ri 的计算公式,

$$R_i = R_O * (V_B / V_1' - V_B / V_1) \quad (1)$$

Table 2. Insulation coefficient test record
表 2. 绝缘系数测试记录表

	HVIM	BCM	Δ		HVIM	BCM	Δ		HVIM	BCM	Δ
1	4520	4550	30	11	4541	4565	24	21	4731	4775	44
2	4551	4540	-11	12	4622	4651	29	22	4623	4637	14
3	4559	4580	21	13	4548	4571	23	23	4515	4552	37
4	4610	4633	23	14	4621	4658	37	24	4686	4691	5
5	4538	4551	13	15	4539	4561	22	25	4763	4801	38
6	4530	4545	15	16	4741	4785	44	26	4655	4689	34
7	4720	4736	16	17	4615	4653	38	27	4830	4869	39
8	4618	4646	28	18	4562	4593	31	28	4675	4696	21
9	4710	4735	25	19	4556	4580	24	29	4629	4677	48
10	4550	4562	12	20	4585	4596	11	30	4655	4683	28

由图 7 可以看出 HVIM 设备测得的高压系统绝缘值与高压系统内部测试的值很接近, 在大量试验样本中, 没有出现较大偏差。

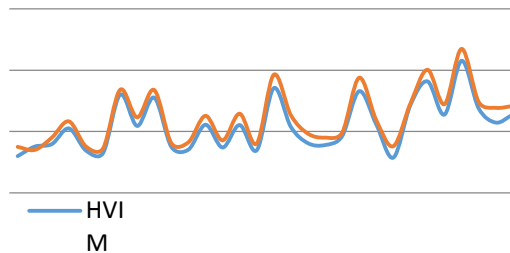


Figure 7. Data contrast line chart
图 7. 数据对比折线图

分析绝缘系数测试记录表, 对 HVIM 和 BCM 测得数据的差值计算标准偏差, 即:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (2)$$

其中, $\mu = 25.43$, 得到 $\delta = 12.65$. 可以看出 HVIM 设备测得量与真实值很接近, 测量偏差小, 数据稳定。

综上所述, 本方案基于高压电隔离和分压的方法, 利用车载设备, 将电动汽车高压系统的电压、绝缘电阻等准确、实时地记录到数采系统中, 能够满足法规要求的相关物理量在 5-60s 内测量的规定; 同时由于分压后, 操作人员接触到的设备电压远低于 36V 的安全电压, 保证了操作人员的人身安全; 通过一系列的试验验证, 利用本方案测得的物理量跟真实值很接近, 测量误差小, 可信度高。

参考文献 (References)

- [1] 杨国亮, 齐同启, 柳熹, 许保同, 纯电动汽车高压电气系统安全设计[J]. 汽车工程师, 2015(11): 41~43;
- [2] Optocouplers for Variable Speed Motor Control Electronics in Consumer Home Appliances, By Jamshed N. Khan Optocoupler Applications Engineer Agilent Technologies;
- [3] D. Plant, M. Walters, "Isolation Amplifiers: Isolation for Sense Resistor Applications," Principles of Current Sensors, Powersystems World, pp. 19-38, 1997;
- [4] 胡骅, 宋慧. 电动汽车. 北京: 人民交通出版社, 2003, 65-68;
- [5] 王凯, 李向荣, 白鹏. 电动汽车在碰撞试验中的电器安全[J]. 汽车安全与技能学报, 2012, 3: 35-36;
- [6] 谢庆喜, 张维刚, 钟志华. 电动汽车安全性隐患及其对策[J]. 客车技术与研究, 2005, 2: 8-11。