

大电流注入技术在电动汽车电磁兼容测试中的应用分析

姜旭华

浙江零跑科技股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：大电流注入技术着重通过注入探头使共模骚扰噪声和传输线缆相互耦合，和传统测试方法相比，大电流注入技术主要要求在屏蔽室环境下进行测试，工作频率保持在400MHz以内，同时对功率放大器没有较高要求，可有效节约测试成本。所以，目前在电动汽车电磁兼容测试环节常会应用大电流注入技术。本文主要通过介绍大电流输入技术以及电磁兼容测试基础，分析大电流注入技术在电动汽车电磁兼容测试中的具体应用。

关键词：大电流注入技术；电动汽车；电磁兼容测试

前言：在电动汽车各项电子零部件当中，功率器件属于关键部件，而由于电动汽车线缆布局情况比较复杂，功率器件对应开关动作速度较高，运行中会有明显的电磁干扰，从而对电动汽车运行稳定性以及安全性产生一定影响。为使电动汽车具有更高的电磁兼容性能，需要在设计过程中通过科学手段进行电磁兼容测试。在实际测试中，大电流注入技术属于一种常用技术，为获得更加准确、可靠的电磁兼容测试结果，需要充分把握大电流注入技术应用要点。

1 大电流注入技术的介绍

大电流注入（BCI）技术是一种对抗扰度进行测试的重要方法，测试过程中需要利用注入探头，通过电流方式使骚扰噪声在待测线束当中耦合^[1]。BCI测试中所用设备主要有信号源、功率放大器、电流注入探头以及待测设备等，其中以电流注入探头最为关键，围绕其所建立的模型是否正确会对整体仿真实验产生直接影响。BCI测试归纳在辐射抗扰度测试范畴，以往在电动汽车电磁兼容测试过程中主要应用辐射照射法，和该方法相比，选用BCI测试法可进一步简化实验搭建流程，并且经济性更佳，目前在电动汽车制造领域受到广泛关注。通常大电流注入设备使用过程中，需要配合其他软件和计算机共同发挥作用。

2 大电流注入技术在电动汽车电磁兼容测试中的应用

为进一步优化EMC设计，以电动汽车的BMS系统为目标进行BCI测试，经过测试，对重要的电流信号进行监测与收集，进而掌握相应模块所具备的抗干扰性能。

2.1 BCI测试对象

2.1.1 BMS系统

在电动汽车当中，BMS（电池管理系统）在电动汽

车中起着关键的作用，它负责监控、保护和管理电动汽车的电池组。BMS系统的主要功能包括电池状态监测、电池保护、充电管理和通信，可规避电池发生过放电或者过充电气情况，合理增加电池使用寿命。

BMS系统结构主要包括主板、从板、BDU以及高压控制板等。其中，主板会收集从板所采集数据和信息，在低压电气接口设置基础上实现和整车通讯，还可对BDU继电器运行情况予以控制，对电池状态实现实时化监控，确保电池能更安全地充放电；从板主要向主板当中传输单体温度及电压等信息，可发挥电池均衡作用，在和主板通讯中，可选择CAN通讯方式，也可选择菊花链通讯；DBU主要经高压电气接口连入整车高压负载以及快充线束当中，需要设置快充继电器、总负继电器、总正继电器以及预充电路等，受控于主板；高压控制板既可独立设置，也可在主板中集成设置，能对电池包其电流以及电压情况实现实时化监控，并可检测预充以及绝缘情况^[3]。

2.1.2 CAN总线接口电路

汽车电子生产领域目前广泛应用CAN总线数据通信，其不仅灵活、可靠，还具有好的实时性。因为电动汽车生产期间涉及到较多的电气模块，所以大多情况下都会选择CAN总线通讯。本文在进行EMC试验过程中，母线电流属于关键监测要点，母线电流通过分流器和电池管理数据采集前端芯片如AS8510，通过AD转化获取母线电流信息，再通过AS8510的通信接口SPI信号经过数字隔离芯片ISO7741传输给单片机FS32K144，通过对母线电流的实时、动态的采集，所采集信号再上传至单片机之后，采取滤波以及防护电路等一系列处理措施，结束后经CAN总线上传到上位机，具体传输过程可见图1。

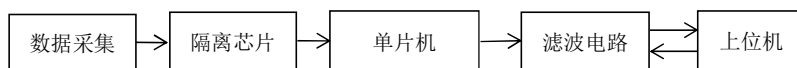


图1 母线电流信号监测路径

CAN总线接口当中对应电路主要为微控制器，其内部设置有CAN控制器，该装置和CAN总线收发驱动器相互连接就可发挥信号收发功能。在物理总线以及CAN控制器两者间进行接口设置，所用器件主要是CAN总线驱动器，在总线实现信号传输过程中会产生一定传导干扰，为达到隔离干扰的目的，需要配合应用高速隔离光耦^[4]。

2.2 基于BMS系统展开BCI测试

2.2.1 探头校准

BCI测试工作开始前，需要先校准电流注入探头，校准期间主要选择正弦信号，相关信号没有经过调制，并于校准夹具的中间部位放置探头夹，两侧一边接入负载（50），另一边接入衰减器（20dB），校准操作主要借助上位机实现。

2.2.2 BCI测试

标准ISO 11452-4明确指出BCI测试的环境应为屏蔽室，所以本文测试期间也选择以屏蔽式为测试场所。首先设置绝缘支架，使其和接地平面之间保持45~55mm的间距，之后在支架上安装DUT以及测试线束（长度在1700~2000mm区间）。DUT的左边主要是线性阻抗网络以及直流电源（12V）相互连接，在此基础上使LISN、DUT两者相互连接。通过连入LISN，最大程度的保证测试电路运行过程中，提供稳定的阻抗稳定网络以支持进行多次试验。同时在CAN通信线合理布局基础上，使DUT、CAN光隔、CAN卡三者顺畅连接，在向上位机传输信号期间，主要通过CAN光隔、CAN卡完成，CAN卡、上位机两者之间可实时化的传递报文参数，而且CAN卡发挥着控制指令传递功能，传递目标对象是DUT，在其运行过程中实现有效控制，此外，CAN卡所返回的各项DUT参数能帮助相关工作人员动态掌握具体运行情况。对于DUT的右边，信号发生器会发出信号电平，其和测试等级相互匹配，通过放大处理之后，主要经电流注入探头向线束当中耦合测试电平，并在DUT当中发挥作用。

在此过程中，要把握好以下要点：（1）合理放置电缆。具体是在差模干扰注入测试工作开展期间，将地线排除在外的其他线束都要穿过电流注入探针当中。另外，在共模干扰注入测试环节，包括地线在内的全部线束均应穿过电流注入探针^[5]。在这两项测试环节，要合理控制测试频率，保证符合有关标准；（2）优化设计大电流注入参数。不同频段有着不同的步长，具体可见表1。各频率点都驻留3s，而且在干扰电平注入过程中，均保持106 dB μ A。设置两个测试组，实际测试期间，仅CAN光隔存在一定差异，其他所有设备都完全一致。

表1 不同频段对应步长

频段（MHz）	步长（MHz）
0.1~1	0.05
1~200	1
200~400	2

2.2.3 试验结果

（1）试验1结果

本组试验当中，所用CAN光隔由A企业设计及开发，整体来说，0.1~400MHz频段当中的电流没有大幅波动情况，不过发现局部频段出现了CAN通信丢帧和错误帧的情况，如图1所示：

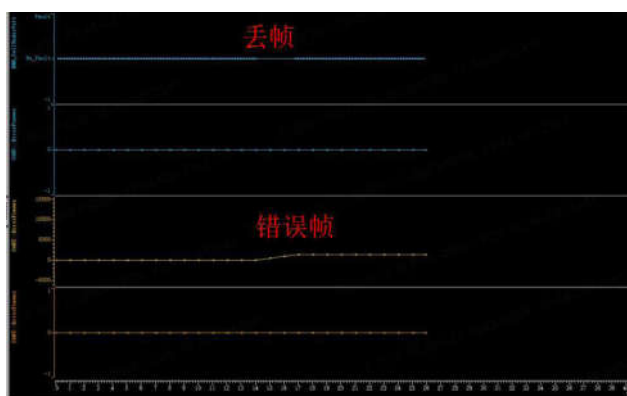


图1 CAN通信出现错误帧和丢帧

随后展开多次试验，发现通信出现异常通信情况的频段是10~47MHz区间，相应频段之外的频率范畴不管是CAN光隔还是BMS系统均可正常运行。

在进行差模干扰注入测试过程中，当频率超过0.1但小于10MHz情况下，CAN处于正常通信状态，相关通信界面当中也能实时化、动态化的更新报文参数，代表在相应频段当中电磁干扰信号没有明显影响到CAN光隔的正常通信，而且相关设备都处于正常运行状态，没有受到BCI测试影响。当频率 ≥ 10 MHz但 < 30 MHz情况下，出现通信异常情况，具体表现是一路CAN出现丢帧，一路CAN出现错误帧，同时上位机显示的关键参数出现红灯项，表示BMS系统中代表电池健康的某个参数电平受到了BCI的干扰。这反映出在对应频段当中，不管是CAN通信还是BMS系统均受到干扰，只是干扰程度有限。

在进行共模干扰注入测试过程中，使频率保持在30~47MHz区间，此时CAN光隔存在通信异常情况，主要表现是通信中断。通过调整上位机操作，也就是注入目前水平值，通信仍处于中断状态，随后暂停BCI测试，同时停止注入操作，并借助上位机软件再次和DUT相互连接，此时CAN可正常发挥通信功能，而在重新注入干扰之后，CAN通信迅速断开。这反映出相应频段当中的

电磁干扰会较大程度上影响到CAN通信,而当频率超出47MHz,即便继续展开注入测试,依旧可使CAN保持正常通信状态。

总体来说,选择应用由A企业所设计及开发的CAN光隔,频段处于10~30MHz时进行BCI测试,会一定程度上影响CAN通信,不过影响程度有限,经过调整注入水平,能使其恢复正常通行状态。而若频段处于30~47MHz区间时,BCI测试会明显影响到CAN通信,即便调整注入水平也不能使CAN恢复正常通行状态。所以在CAN通信过程中,10~30MHz以及30~47MHz区间的频段属于异常频段,后者会更为明显的受到BCI测试影响。

(2) 试验2结果

在该组试验过程中,所用CAN光隔是由B企业所设计与开发,所有试验条件均和试验1一致,同样的,0.1~400MHz频段区间电流没有出现大幅波动,但局部频段有丢帧问题出现,在进行多次试验之后,确定5~20MHz频段区间出现间断性的丢帧问题,相应频段以外的其他频率,CAN光隔卡以及BMS系统均可保持正常的运行状态。

在进行差模干扰注入测试过程中,频率低于5MHz情况下,CAN光隔始终保持正常工作状态,当频率超过5MHz并低于20MHz时,CAN通信出现丢帧。

在进行共模干扰注入测试过程中,使频率始终保持在30~400MHz区间,整个频段都没有出现通信异常问题。

总体来说,选择由B企业所设计和开发的CAN光隔,当频率处于5~20MHz区间,CAN光隔通信会受到一定影响,适当调整注入水平即可恢复正常通行状态,证明在相应频段当中进行BCI测试可一定程度影响CAN通信,并会干扰BMS系统运行,不过影响程度有限,该频段以外的其他频率区间都可保持正常的通信状态。

在试验2中,做进一步的分析,基于B企业光隔,在106dB μ A注入的强度时,通过调整CAN电路的对地电容和匹配电阻,优化共模转差模的抑制能力,通过电路优化之后,重新按照先前的条件进行测试,此时CAN通信和BMS系统在整个测试过程中均处于正常的水平。

(3) 对比分析

综合对比两个试验结果,发现试验1所产生的异常频段区间范围更大,所出现的异常问题更加明显,这反映出在BCI测试过程中,选择哪种CAN光隔会对试验结果产生一定影响;同时CAN电路的终端匹配电阻和对地电容设置是否合理也会对CAN总线的抗干扰能力产生重点影响。另外,容易忽视的一点是在调整CAN电路对地的电容时,要结合CAN电路的防护器件的寄生电容的影响,即CAN电路对地的总电容需要把防护器件的寄生电容一并考虑进来。

结束语

将大电流注入技术应用于电动汽车电磁兼容测试环节,相关注入信号主要会在低频段(5~47MHz区间)影响到BMS系统,而且在测试期间通信系统会有异常表现,所以在设计过程中要着重对低频段EMC进行优化设计,特别在选择CAN电路对地的电容时,需要把CAN电路的防护器件寄生电容一并考虑进去,才能使滤波效果达到最佳。同时,根据实验结果,发现在数据传输过程中选择差异化的CAN光隔,BMS系统会有差异化的敏感频段,因此在实际测试工作开展中,要尽量使设计以及测试环节所用CAN光隔为相同的品牌,从而得到更精准的测试结果,进一步支持电磁兼容设计。

参考文献

- [1]张和茂.基于大电流注入技术的传导抗扰度仿真与评估方法研究[D].中国民航大学,2021.
- [2]贾晋,龙云,赵鹤鸣等.电驱系统带载电磁兼容测试与仿真闭环研究[J].安全与电磁兼容,2022,(01):49-54.
- [3]高驰.海拉邓冬梅:电池管理系统如何发挥重要作用[J].汽车与配件,2022,(17):30-31.
- [4]刘敏,黄敏思,何苏利.基于CAN总线的电动汽车抗电磁干扰系统设计[J].自动化与仪器仪表,2021,(06):51-54+58.
- [5]王振龙,刘世勋.汽车零部件BCI试验中测试线束的TLM法模型分析[J].电气开关,2018,56(06):43-44+47.