

汽车电动门锁干扰脉冲的形成与抑制

辛长宇，李志刚，陈日红

(联创汽车电子有限公司，上海 201206)

摘要：结合工程实践中发现的门锁电动机产生干扰脉冲导致电子模块内部芯片烧毁的故障，对门锁电动机传导瞬态发射的形成机理进行分析，解释搭铁线上脉冲产生的原因，并提出解决方案，对电动门锁驱动电路的设计具有一定的指导意义。

关键词：门锁电动机；电磁兼容性（EMC）；传导瞬态发射（CTE）；亚稳态

中图分类号：U463.834 **文献标识码：**A **文章编号：**1003-8639(2011)01-0005-03

Forming and Suppression of Interference Pulse of Automotive Electric Door Lock

XIN Chang-yu, LI Zhi-gang, CHEN Ri-hong

(DIAS Automotive Electronics Systems Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Based on the trouble found in engineering practice, the author analyzed the forming mechanism of conduction transient emission of door lock motor, explained why pulse came into being on grounding line, proposed a solution that has directive significance to the design of driving circuit for door lock.

Key words: door lock motor; EMC (Electromagnetic Compatibility); CTE (conduction transient emission); metastable state

随着汽车电子技术的发展，电子组件所占整车成本的比例也逐步上升。据统计资料表明，目前在欧美国家生产的汽车上，电子组件已占到汽车总成本的20%~30%，且车用电子组件还以每年8.8%的速度快速增长。由此可见，电子化、集成化、数字化、信息化、网络化、智能化、小型化和个性化已经成为并且还将继续是汽车工业发展的重要趋势。

当今的汽车核心系统越来越复杂，这些系统包括发动机控制模块、动力传动系统、变速系统、诊断和监视系统、车体控制（如电动座椅、电动车窗、电控门锁），以及安全系统（如防抱死制动系统、防碰撞系统、自适应巡航控制、应急响应控制、安全气囊、后方和侧面检测雷达、胎压监视和车道偏离预警系统）。这些功能会给驾驶者带来额外的安全保障和舒适性，但对于那些应用在安全系统和关键子系统的半导体而言，品质与可靠性是非常重要的。例如，在设计核心系统（如发动机控制模块和防抱死制动系统）时，失效是绝对不允许的。

对于汽车电子模块来说，电磁兼容性EMC方面的要求是保证其可靠性的一个重要环节。很多汽车电子模块的执行器都是诸如电动机、电磁阀、继电器等负载，这类感性负载会产生电磁干扰，如果干

扰超标，将导致电子模块发生莫名其妙的故障。门锁电动机由于其工作时间短（约200~300 ms），其产生的干扰经常被忽略。如在《中华人民共和国汽车行业标准QC/T 627—1999汽车电动门锁标准》中，仅仅对门锁电动机的抗干扰性作了规定，而对其产生的传导瞬态发射（CTE）未作规定。在汽车研发的工作中，发生过门锁干扰脉冲导致控制模块功能异常甚至损坏的案例，具体表现为：首先发现模块的指示紊乱，重新上电可以恢复正常指示；之后模块指示彻底失控，供应商分析故障件后发现模块中显示驱动芯片烧毁。另外，各整车生产厂家对门锁电动机的CTE测试均有要求。本文对门锁干扰脉冲的产生机制进行探讨，提出抑制措施，对提高我国自主品牌轿车的设计水平具有一定的参考作用。

1 门锁电动机的工作模式

汽车电动门锁电动机工作时间很短，通电时间为220 ms（荣威550）。电动机经过启动、运行、堵转和停止4个过程，电流波形如图1所示。可以看出，在启动瞬间，由于机械惯性，电动机转子尚处于静止状态，无反电动势来平衡输入电压，电流急剧上升；之后，电动机进入运行过程，反电动势产

修改稿收稿日期：2010-09-21

作者简介：辛长宇（1970-），男，吉林长春人，工程师，博士，2008年4月至今工作于联创汽车电子有限公司整车事业部，从事车身控制系统设计工作。

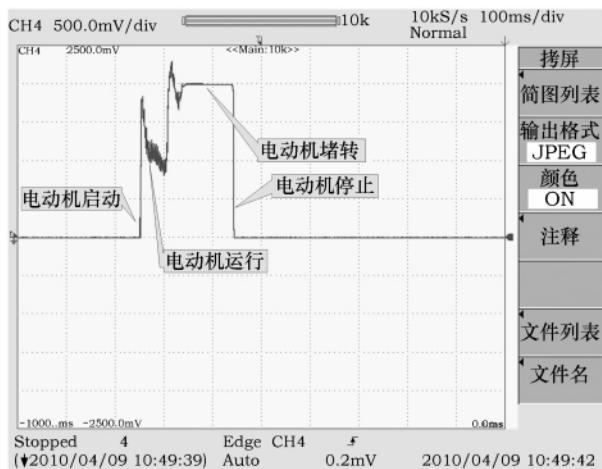


图1 门锁电动机工作电流波形

生，电流开始下降；由于门锁保险机构行程比较短，运行约80 ms左右进入堵转状态，反向电动势再次消失，电流又开始急剧增大；期间由于机械结构的碰撞反弹等因素，电流表现出一定的波动性，直到机械结构完全静止，电动机电流达到一个稳定的值（堵转电流）。220 ms后，通电结束，电流幅值降为零。

从图1电流曲线上可以看到，在不同的工作时刻，如启动瞬间、堵转瞬间和停止瞬间，电流的变化非常剧烈。考虑到电动机转子绕组本身的电感，必将产生干扰脉冲。尤其是停止瞬间，储存在电动机转子线圈内的能量要释放出去，产生了一个具有一定能量的干扰脉冲，完全具有干扰电子模块的可能。

2 搭铁线上干扰脉冲的产生

干扰脉冲通过搭铁线或电源线耦合进ECU中，导致工作状态紊乱。搭铁线上的干扰脉冲波形如图2所示。

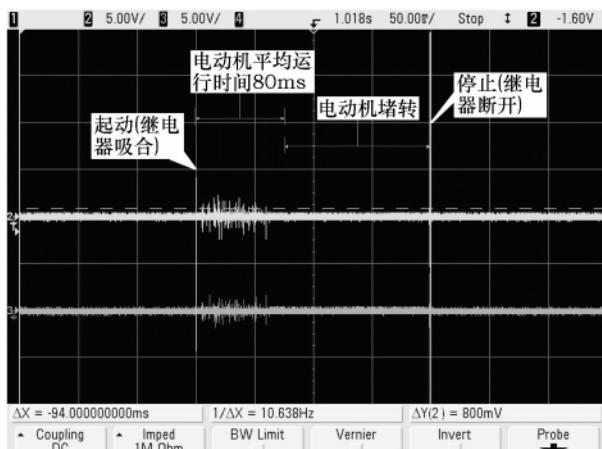


图2 搭铁线上干扰脉冲波形

图3中的电路用于模拟计算启动与停止瞬间电动机两端反向电动势，考虑到在这2种情况下，门锁电动机转子均在静止状态，故数学模型用电感替代。控制门锁电动机的继电器触点可以用理想开关来替代。

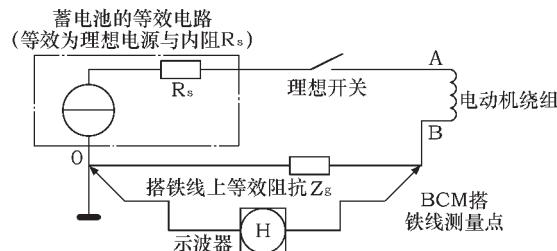


图3 控制模块搭铁线上干扰脉冲测量

继电器吸合瞬间（理想状态）

$$\frac{U}{s} = IR + sLI; I = \frac{U}{s(sL+R)} = \frac{\frac{U}{R}}{\frac{s}{sL+R}} = \frac{\frac{U}{R}}{\frac{s}{L} + \frac{R}{L}}$$

$$\tau = \frac{L}{R}; i = \frac{U}{R} - \frac{U}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

继电器吸合的t=0时刻，回路中电流为0，回路中电流的稳态值为U/R。

计算电感电压U_{AB}

$$U_{AB} = L \frac{di}{dt} = -L \frac{U}{R} \frac{R}{L} e^{-\frac{R}{L}t} = U e^{-\frac{R}{L}t}$$

继电器吸合的t=0时刻，回路中电感电压为U，电感电压的稳态值(t=∞)为0。

通电结束继电器触点断开瞬间（理想状态）

$$U_{AB} = L \frac{di}{dt}; i = \frac{U}{R}$$

由于理想状态的开关断开与接通都被认为瞬间完成(t=0, Δt=0)，导致电感上感生电压U_{AB}无穷大。

上述的讨论只是针对于开关理想状态，在理论计算中，开关接通或者断开只会产生一个干扰脉冲。在实际设计中，开关是继电器触点，继电器触点的断开或者接通是非理想的，由数次接通断开动作构成。因为初始状态的不同，每一次断开或接通，电感上都会产生不同的感生电动势，这种情况很复杂，无法进行计算，实际测量中会观察到很多脉冲。

通常，对于直流电流，搭铁线的直流阻抗基本可以忽略不计，如图3所示的示波器测量搭铁线干扰脉冲的接法，搭铁线上不应测出电势降落。按照“搭铁”的传统概念，“搭铁点”是一个零阻抗的等位面，并且常常是仅从直流性能的观点出发来考虑，认为搭铁电阻是它的直流或者低频电阻。而从电磁兼容性EMC的观点看，这是一个重大误解。

在辐射发射的频率范围内(30 MHz~1 GHz),导体电阻,甚至集肤效应,与导体的电感相比都可以忽略不计!例如,单位长度(1 m)28#规格的实心线(半径为0.16 mm),它的直流电阻为0.212Ω,在100 MHz时的电阻为2.594 Ω。将导线的直径增加至20#规格(半径为0.406 mm)时,电阻值仅仅稍微减小,直流电阻为0.033 2 Ω,100 MHz时的电阻为1.02 Ω,因此导线的电阻尺寸并不能明显地减小高频阻抗。然而,电感为0.591 μH的这个数量级,使100 MHz时的阻抗为371 Ω,明显大于电阻引起的部分。因此,搭铁线应该考虑到有高频阻抗 Z_g ,这就是搭铁线上能测出干扰脉冲的由来。

3 干扰脉冲的危害

门锁电动机产生的干扰脉冲,由电源线与搭铁线串入ECU,造成ECU内部数字芯片进入亚稳态,这种状态可以通过上电复位清除。关于亚稳态的描述如下。

异步时钟转换的核心就是要保证下级时钟对上级数据采样的建立时间和保持时间。如果触发器的建立时间和保持时间不满足,就可能产生亚稳态。此时触发器的输出端Q在时钟有效沿之后比较长的一段时间内处于不确定的状态,在这段时间内Q端产生毛刺并不断振荡,最终固定在某一电压值,此电压值并不一定等于原来数据输入端D的数值,这段时间称为决断时间(Resolution)。经过决断时间之后Q端将稳定到0或1上。但究竟是0还是1,这是随机的,与输入没有必然的关系。

亚稳态的危害主要体现在破坏系统的稳定性。由于输出在稳定下来之前可能是毛刺、振荡、固定的某一电压值,因此亚稳态将导致逻辑误判,严重情况下输出0~1之间的电压值还会使下一级产生亚

稳态,即亚稳态的传播。逻辑误判导致功能性错误,而亚稳态传播则扩大了故障面。另外,在亚稳态状态下,任何诸如环境噪声、电源干扰等细微扰动都将导致更恶劣的状态不稳定,这时系统的传输延迟加大,状态输出错误,在某些情况下甚至会使寄存器在2个有效判定门限(V_{OL} 、 V_{OH})之间长时间振荡。

4 门锁电动机干扰脉冲的抑制

图4所示是电动门锁控制电路。ECU通过控制内部2个继电器来使门锁电动机正反转,实现门锁上保险与解保险的动作。为了确保ECU工作可靠,首先要求门锁电动机的传导瞬态发射测试要满足ISO 7637—2.2、3.3节中的详细说明,并且在测量时,要从设置中去除并联电阻 R_s 。严重度等级为 。其次,在ECU的设计中,要充分考虑负载的特点,在电路为干扰脉冲增加释放回路,如图4中的二极管 D_1 、 D_2 。增加二极管会引起控制器单件成本的上升,但会带来很好的抗干扰性能。

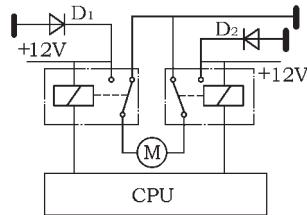


图4 电动门锁控制电路

参考文献:

- [1] QC/T 627—1999, 汽车电动门锁装置[S].
- [2] 阎石. 模拟电子技术基础(第5版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 14—15.
- [3] Road vehicles—Electrical disturbances from conduction and coupling—Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only[OL]. www.iso.org, 2008: 2—4.

(编辑 唐兴年)

“整车电路”栏目征稿

本刊从2004年第1期开始增设“整车电路”栏目,每期用较多版面刊载或连载不同车型的整车电路资料,详细介绍流行车型整车电器配置、结构特点、电路分析、工作原理、使用维修、维护保养等。

已经刊载的车型有:奥迪A6,广本飞度,北方奔驰,丰田花冠(COROLLA),丰田柯斯达(COASTER),斯太尔王,别克君威,别克凯越,捷达,伊兰特(ELANTRA),广本新雅阁,桑塔纳3000……

针对不同的读者群体,我们理出了2条清晰的思路:“精讲”(上市2年以上车型)与“简介”(最新上市车型)。“精讲”的代表车型如本田奥德赛,力求叙述透彻、

分析全面;“简介”的代表车型如现代索纳塔,尽可能地求新、求快、求数量,供读者资料存档,以备用时之需。

另外,还独家刊载了作者李自广独创的20多篇各种不同车型整车线束图解。

“整车电路”栏目在读者、作者、编者的共同呵护下,已成为本刊的特色栏目,深受广大读者的喜爱,纷纷打电话来要求我们多刊一些新车的整车电路。因此,热切期待各整车及零部件厂家的设计及售后培训人员给我刊提供近年来的新车型的整车电路资料。

投稿信箱: qcdq@qcdq.cn 注明:“整车电路”栏目投稿
《汽车电器》杂志社

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术，内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计，最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计，以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计，通过该套课程的学习，可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计，以及天线及其匹配电路的设计和调试…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

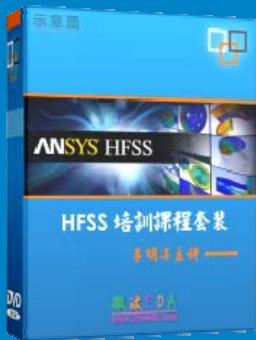
该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像，课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结，主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用，匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识，以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您，绝对值得拥有和学习！…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>