



普通高等教育铁道部规划教材

铁路信号电磁兼容技术

杨世武 主编 沙 斐 主审



普通高等教育铁道部规划教材

铁路信号电磁兼容技术

杨世武 主编
沙斐 主审

主编：杨世武
主审：沙斐

中国铁道出版社

2010年·北京

ISBN 978-7-113-11204-1
I. ①铁... II. ①杨... III. ①铁路信号—电磁兼容—教材 IV. ①U584
中国版本图书馆(CIP)数据核字(2010)第183278号
主编：杨世武
主审：沙斐
责任编辑：李...
封面设计：...
发行：...
地址：...
电话：...
网址：www.tlpress.com

内 容 简 介

本书是普通高等教育铁道部规划教材。全书共八章,内容包括:电磁兼容基本概念、铁路信号系统组成及主要电磁干扰源、国内外铁路信号电磁兼容标准和试验、室内信号系统电磁兼容设计技术、轨旁信号设备对电磁干扰的防护技术、车载信号设备电磁兼容设计技术、信号设备雷电防护和综合接地技术、铁路信号发展趋势概述与电磁兼容管理方法。

本书可供铁道信号相关专业的本科生和研究生学习使用,同时也可作为从事铁道信号工程及轨道交通控制专业设计、研发、管理、维护人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路信号电磁兼容技术/杨世武主编. —北京:
中国铁道出版社, 2010. 8

普通高等教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-11804-4

I. ①铁… II. ①杨… III. ①铁路信号—电磁兼容性
—高等学校—教材 IV. ①U284

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 162378 号

书 名: 铁路信号电磁兼容技术

作 者: 杨世武 主编

责任编辑: 朱敏洁 电话: 010-51873134 电子信箱: zhuminjie_0@163.com 教材网址: www.tdjiaocai.com

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 孙 玫

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京华正印刷有限公司

版 次: 2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 24.75 字数: 533千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-11804-4

定 价: 45.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187



前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员使用。本书为铁道信号系列教材之一。

高速、重载和电气化是当代铁路的趋势,中国铁路前所未有的发展速度令世人惊叹。2008年8月,时速350 km京津城际铁路成为世界上运营速度最快的高速铁路;2004年大秦线成功开行2万t重载组合列车,2008年运量达到3.4亿t。全国时速120 km及以上的线路延展里程已达到4.2万 km,其中电气化铁路达2.76万 km,9 600 kW大功率电力机车已批量投入使用。预计到2012年,将有1.3万 km客运专线及城际铁路投入运营,营业里程将达到11万 km,电气化率达到50%以上。根据修订后的铁路网中长期发展规划,到2020年,全国铁路营业里程将达到12万 km以上,电气化率达到60%以上,客运专线长度可达1.6万 km。另外,我国城市轨道交通正进入高速发展时期,截至2009年底大陆运营里程已达933 km,到2020年的规划线路长度约3 000 km。

在这些数字背后,作为保障运输安全和效率的基础设施,传统的铁路信号(轨道交通运行控制)技术已难以适应需求,必须构建以微电子、计算机和通信技术为核心的中国列车运行控制系统(CTCS),向集调度指挥、运行控制及自动驾驶为一体的综合自动化系统方向演化。而在新的背景下,有两方面需要重点关注:一方面,高速和重载必然引起牵引功率和牵引电流增大,使得信号系统的外部电磁环境更加复杂;另一方面,无线通信设施会直接导致射频辐射骚扰,高速微电子器件和宽带数据传输使电磁能量更容易发射,高集成度电路和小型化设备带来器件、电路、连接线及电缆之间串扰和电磁耦合更加严重,而低功耗和高灵敏度意味着



信号电平降低和工作电流减小,对干扰更加敏感。另外,还需考虑雷电电磁脉冲、静电等自然干扰源,因此,信号新技术和新设备的发展会面临更复杂和严重的电磁干扰(EMI),在设备使用过程中,EMI可能降低设备性能和安全程度,影响运输效率,甚至带来安全风险。显然,高速和重载条件下信号系统的电磁兼容性(EMC)更加凸显出重要性。

电磁兼容性是电子和电气设备在使用中表现出来的与外部环境及其他设备之间和谐共存的一种特性,包含电磁骚扰源、传输途径和敏感设备三个要素。为实现电磁兼容,首先应明确设备使用的电磁环境,然后确定和遵循正确的设计、研制、试验、生产、安装和使用的要求,在整个生命周期内采取充分的维护和保障措施,才能达到所希望的最佳电磁兼容性水平。在系统设计完成之后或在使用中解决电磁干扰问题,不但要花费大量费用与时间,往往还得不到满意的结果。铁路信号系统主要由弱电设备构成,首先必须考虑对电气化铁道和雷电等外界电磁干扰的防护,明确设备所处环境中干扰源的特点和耦合机理,从而采用适当的骚扰抑制技术;其次,对于由微电子和计算机设备并通过网络构成的信号系统,设备间的电磁兼容设计同样需要重视;第三,实现 EMC 不仅仅是设计者的任务,还需要通过设计、制造等一系列工程活动落实到设备中,因此需要从系统的观点出发,通过有效的手段进行组织和管理。

对信号设备 EMC 的研究目的除了保证功能正常和安全之外,还有更深层次的意义,比如:协调统筹信号系统和牵引供电之间的关系,建立完备的铁路电磁兼容标准体系,改善信号系统乃至整个铁路的电磁环境;信号设备在 EMC 性能上符合国家 CCC 认证和铁路 CRCC 认证,既是国外设备进入中国铁路的必要条件,也积极推动具有自主知识产权的国产通信信号产品与国际接轨。在此基础上,还有助于有关人员建立电磁兼容理念并将其渗透到信号设备生命周期的各个环节中。

在特定的电磁环境条件下,研究和讨论特定的控制系统即信号设备的电磁兼容设计具有明确指向和现实意义。本书结合上述思路,从以下几方面进行讨论:

(1)介绍了电磁兼容学科的概貌和基本概念,重点阐述了常用的电磁骚扰抑



制技术。

(2) 铁路信号系统及其干扰源, 简述了信号系统的组成和环境特点, 重点分析电气化铁道干扰源的特征及干扰形式, 这也是信号设备采取防护手段的依据。

(3) 铁路信号电磁兼容标准和试验, 主要介绍国外尤其是欧洲和我国铁路信号设备有关标准、电磁兼容试验与对策, 发射和抗扰度限值, 有助于对电磁环境的认识。

(4) 室内信号系统电磁兼容技术, 主要根据室内信号系统构成和特点, 重点论述系统内电磁兼容设计原则, 并介绍典型室内电子设备电磁兼容设计技术。

(5) 轨旁信号设备对电磁干扰的防护技术, 简要分析轨旁信号设备的主要干扰源, 重点分析音频轨道电路对电气化牵引电流传导性干扰的防护、站内 25 Hz 相敏轨道电路对冲击干扰的防护。

(6) 车载信号设备电磁兼容技术, 主要介绍机车和车辆电磁环境以及车载信号设备电磁兼容设计技术。

(7) 考虑到雷电电磁脉冲对信号电子设备的影响, 结合有关标准和规范, 介绍信号设备雷电防护的原则和技术以及信号设备综合接地技术。

(8) 铁路信号发展趋势与电磁兼容, 简介铁路信号发展趋势与电磁兼容的相关性, 重点说明信号设备电磁兼容管理的具体方法。

本书期望在系统总结中国铁路信号电磁兼容技术领域研究成果的基础上, 根据当前新技术背景的变化, 借鉴国际同行业的先进理念, 紧密结合现场实际, 力图达到以下四点目标: 原理简明、方法实用、数据可靠、案例典型。作为面向研究型教学的本科专业教材, 本书特色主要表现在:

(1) 作为电磁兼容和铁路信号(轨道交通控制系统)的交叉学科, 涉及内容较多, 因此, 从学生认知规律出发, 在阐述电磁兼容理论和应用的基础上, 深入挖掘相关学科之间的关联性, 强调基本原理的融会贯通和具体应用, 引导学生掌握科学研究方法。

(2) 紧密结合本行业高速发展的现状, 如重载、高速等背景下的电磁环境, 有



机融入实用方法、典型实例,将新技术和新成果转化为教材中的教学资源。

(3)内容具备开放性和前瞻性,注重内容和习题的连贯和配套,强化了工程性习题和设计性习题,考虑了仿真工具的运用。

本书于2007年9月开始着手准备,2008年9月由铁道部人事司以普通高等教育铁道部规划教材正式立项。

本书由北京交通大学杨世武主编,北京交通大学沙斐主审。参与编写人员有北京交通大学王国栋、陈嵩、王海峰和广州铁路(集团)公司电务处陈建译。其中第一章由陈嵩编写;第二章、第四章第二节、第五章、第八章、附录由杨世武编写;第三章由王国栋编写;第四章第一节和第三节由王海峰编写;第六章由王国栋编写;第七章由陈嵩、陈建译编写。

在编写过程中,得到铁道部人事司、铁道部运输局基础部、北京交通大学电子信息工程学院和教务处以及多位同行的大力支持,抗电磁干扰研究中心部分研究生参与完成了大量仿真验证工作,在此一并谨致谢意。

本书主要面向高等院校铁道信号及轨道交通相关专业的本科生,建议教学参考学时为32~36学时。由于各章内容相对独立,可根据需要适当取舍。本书也可供有关科研、维护等技术人员参考,希望对相关人员建立电磁兼容理念、掌握基本原理、了解电磁干扰问题分析和电磁兼容设计方法发挥积极的作用。在阅读过程中,读者可从相关参考文献中获取更详细的信息。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请读者不吝指正。

编者

2010年5月



第五章 轨旁信号设备对电磁干扰的防护技术	218
第一节 轨旁信号设备及干扰源	218
第二节 音频轨道电路对传导性干扰的防护	225
第三节 25 Hz 相敏轨道电路对冲击干扰的防护	256
复习思考题	276
第六章 车载信号设备电磁兼容技术	278
第一节 典型车载信号设备	278
第二节 机车和车辆电磁环境	282
第三节 车载信号设备电磁兼容技术	297
复习思考题	299
第七章 信号设备雷电防护和综合接地技术	300
第一节 雷电对信号设备的影响	300
第二节 信号设备雷电防护技术	305
第三节 综合接地技术	324
第四节 信号系统整体雷电防护及电磁兼容综合设计	328
复习思考题	348
第八章 铁路信号发展趋势与电磁兼容	350
第一节 铁路信号发展趋势	350
第二节 信号设备的电磁兼容管理	359
复习思考题	377
附 录	378
参考文献	387



第一章

电磁兼容概述

本章介绍了电磁兼容概念及相关背景知识,结合铁路应用,重点分析并详细阐述了电磁骚扰源、耦合途径及电磁骚扰的抑制技术。

第一节 电磁兼容基础知识

电磁兼容是一门多种学科相互交叉的、新兴的综合性边缘学科。随着科学技术的发展、多学科相互渗透,交叉融合,电子或电气设备的应用越来越广泛,使电磁兼容技术在很多领域越来越受到重视。任何电子、电气设备在运行时都会向周围发射电磁能量,这可能对周围其他设备的正常工作产生干扰,同时设备本身也可能受到周围电磁环境的干扰。电磁兼容研究的主要问题就是如何使处于同一电磁环境中的各种设备和系统都能正常工作而又互不干扰。

一、电磁兼容(性)与电磁兼容

电磁兼容(性)的缩写为 EMC,来源于 Electromagnetic Compatibility 一词。在我国台湾及港澳地区,亦常常译作“电磁相容(性)”。从构词法的字面理解来看,这个合成词应当描述的是一种“能力”或“性能”(ability)。当描述设备(分系统、系统)的相应的 EMC 性能指标时,使用“电磁兼容性”一词;而当描述与 EMC 相关的理论、技术,以及用来称呼这个学科的时候,则往往采用“电磁兼容”这个词汇。事实上,在多数场合,将不加以区分地使用“电磁兼容”这一中文称谓。

国家标准 GB/T 4365—2003《电工术语电磁兼容》将电磁兼容性定义为:“设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。”国家军用标准 GJB 72—1985《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》第 5.10 条将其定义为:“设备(分系统、系统)在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态,即该设备不会由于受到处于同一电磁环境中其他设备的电磁发射导致或遭受不允许的降级;它也不会使同一电磁环境中其他设备(分系统、系统)因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级。”国际电工委员会(IEC)等都对 EMC 作了类似的定义。由此可见,电磁兼容学科主要研究的是如何使在同一电磁环境下工作的各种电气电子系统、分系统、设备和元器件都能正常工作,互不干扰,达到兼容



状态。在某种程度上也可以说是研究干扰和抗干扰的问题。但作为一门学科,它的研究对象已不仅仅限于电气电子设备,而是拓宽到自然干扰源、核电磁脉冲、静电放电;频谱管理工程;电磁辐射对人体的生态效应;信息处理设备电磁泄漏产生的失密;检测地震前的电磁辐射,进行震前预报等等方面。因此电磁兼容学科包含的内容十分广泛,实用性很强,几乎所有的现代工业包括航天、军工、电力、通信、交通、计算机、医疗卫生部门都必须解决电磁兼容问题。近年来随着电力电子器件的不断发展以及计算机技术在工业自动化控制中的广泛应用,已逐渐形成了电力和电子设备互相结合、强电和弱电配合工作的电气系统。强电和弱电本身是不相容的;但又必须在同一个系统内工作,这就使电磁兼容成为系统能否可靠运行的一个关键性问题。

作为一门学科,虽然电磁兼容是在 20 世纪 60 年代开始发展的,但早在 1934 年就由国际电工委员会(IEC)发起并联合一些国际组织成立了国际无线电干扰特别委员会(CISPR),当时主要是保护音频广播免遭干扰。在 IEC 组织内,还有一个与 CISPR 并列的涉及电磁兼容的组织,即 IEC 第 77 技术委员会(IEC/TC77)。国际上涉及电磁兼容的标准化组织主要就是上述这两个组织以及 IEC 的大约 50 多个关心特定产品的电磁兼容方面问题的产品技术委员会和分委员会。1945 年美国军方制订了世界上最早的军用电磁干扰标准 JAN-I-225,用于控制机载电气设备的电磁干扰。进入 20 世纪 60 年代以后,世界上一些技术先进的国家全面深入地开展了电磁兼容的研究工作,包括对电磁兼容测量技术的研究和相应测量仪器的开发。CISPR 制订了一系列的民用推荐标准,美国军方制订了全面的军用标准 MIL-STD-461/462。这些标准随着新产品、新系统和新技术的不断出现也随之进行不断地补充、修改和扩展。目前世界上的发达国家例如美国、欧盟国家、日本等已形成了一整套完整的电磁兼容体系,表现在:具有完善的电磁兼容标准和规范;具有有效地对军用和民用产品进行电磁兼容检测和管理的机构;具有高精度的电磁兼容自动测试系统,研制了很多关于电磁兼容预测、分析和设计的程序,有的已经商品化。电磁兼容控制技术使用的新材料、新工艺、新产品不断出现。这个体系保证了产品从设计、制造到进入市场和使用的全过程都得到充分地控制,以达到最终实现电磁兼容的目的。这个体系的逐步建立是以电磁兼容方面的学术研究为先导和基础的。国外电磁兼容的学术活动非常活跃。国际电气电子工程师学会(IEEE)的电磁兼容学会每年在美国举办一次国际 EMC 学术会议,其出版物 IEEE EMC Transactions 是世界电磁兼容界的一级刊物。在欧洲的瑞士苏黎世和波兰的 Wroclaw 每年轮流举行 EMC 学术会议,参加的人数和规模都比较大。此外,英国、日本、意大利、印度等国也定期举办会议。这些学术活动对促进交流和推动世界范围内的电磁兼容学科的发展起了很大的作用。

我国由于过去经济基础比较薄弱,电磁兼容的矛盾不突出,所以起步较晚,目前与国外仍存在一定的差距。在 20 世纪 70 年代国内一些单位特别是军品单位在实际工作中遇到了电磁兼容问题,开始引起了重视。20 世纪 80 年代成立了与 CISPR 对口的全国无线电干扰标准化技术委员会,研究和制订了一些电磁兼容标准。国内的一些科研单位、大学也逐步建立了实验室,开展电磁兼容研究。20 世纪 90 年代的海湾战争为国人敲响了警钟,使人们认识到电磁兼



容的重要性,而前欧共体的电磁兼容指令 89/336/EEC 则更增加了这种迫切性。指令规定自 1996 年 1 月 1 日起,凡不符合电磁兼容标准的产品一律不准进入欧洲市场,这无疑对我国产品的出口带来了很大压力。因此电磁兼容热在此后的几年中迅速升温。

我国从 1957 年成为 IEC 的成员,从 1976 年开始组织对应于 CISPR 各分委员会的工作组,正式参加 CISPR 的活动。为了对应 CISPR 的工作,于 1986 年成立了“全国无线电干扰标准化技术委员会(CTCSRI)”。为了进一步规划和推进全国电磁兼容标准制订及修订工作,加强与 IEC/TC77 的联系,国家质量技术监督局标准化司于 1997 年成立“全国电磁兼容标准化联合工作组”。此后于 2000 年撤销原“全国电磁兼容标准化联合工作组”,批准成立“全国电磁兼容标准化技术委员会”,以对应 TC77 的工作。2000 年成立“电磁兼容标准协调小组”,以协调上述两个标准化技术委员会的工作,并对应国际电工委员会电磁兼容顾问委员会(IEC-ACEC)开展有关标准化工作。

我国的第一个民用电磁兼容标准是 1966 年发布的机械工业部部标,有关船用电工产品的无线电干扰。我国的第一个电磁兼容国家标准是 1983 年发布的 GB 3907—1983《工业无线电干扰测量方法》。时至今日,我国已陆续制定了一百多部关于电磁兼容的国家标准和数十部国家军用标准,各有关行业如邮电、铁路等部门也纷纷制定相应的行业标准和规范。目前国家正在加快建立和完善电磁兼容认证体系,以保证中国的电磁兼容事业能正常地健康地发展。2003 年 8 月 1 日,我国正式开始实施“中国强制认证”制度(即通常所说的“3C”认证制度,英文全称为“China Compulsory Certification”,缩写“CCC”)。该认证制度中即包含了产品的电磁兼容认证内容。认证标志如图 1-1 所示。

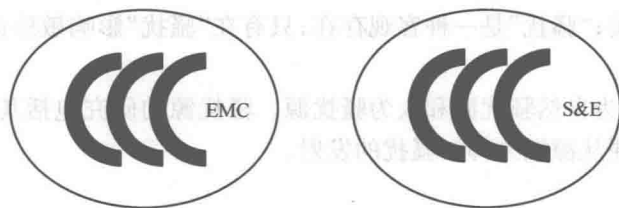


图 1-1 我国的强制产品认证标志

在学术活动方面,虽然我国尚未成立电磁兼容一级学会,但不少一级学会设置了电磁兼容二级学会,并曾联合召开了数次规模较大的全国性会议。令人欣喜的是,1997 年我国成功地举办了第一届国际 EMC 学术会议——IEEE Symposium on EMC,此后每 5 年举办一次,迄今已举办了四次。自 2005 年起开始举办每两年一度的 MAPE 国际会议——IEEE Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC in Wireless Communications,迄今已成功举办三届。相信在不久的将来,我国的电磁兼容学术研究和学术活动将得到更蓬勃的发展,并不断发展完善电磁兼容标准和认证体系。



二、电磁兼容研究的主要内容

电磁兼容学科研究的主要内容是围绕构成干扰的三要素进行的,即电磁骚扰源、传输途径和敏感设备。具体内容如下。

1. 电磁骚扰源

在了解电磁干扰的构成要素之前,需要对几个平常容易混淆的概念加以澄清。往往人们对于“骚扰”、“噪声”、“干扰”等这几种电磁现象不加以区分,而在电磁兼容学科中它们分别有着不同的明确定义。

电磁骚扰(Electromagnetic Disturbance)的定义为:“任何可能引起装置、设备或系统性能降低或对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象。”电磁骚扰可能是电磁噪声、无用信号或传播媒介自身的变化。

电磁噪声(Electromagnetic Noise)是指“一种明显不传送信息的时变电磁现象,它可能与有用信号叠加或组合”。例如电气设备运行中经常产生的放电噪声、浪涌噪声、振荡噪声等不带任何有用信息。

无用信号是指一些功能性的信号例如广播、电视、雷达等,本身是有用信号,但如果干扰其他设备的正常工作则对被干扰的设备而言它们是“无用信号”,所以电磁骚扰的含义比电磁噪声更广泛一些。

电磁干扰(Electromagnetic Interference)的定义是“由电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降”。

由此可见,有时人们常把骚扰、噪声和“干扰”混同起来是一种不确切的表述。实际上,“噪声”是“骚扰”中的一类;“骚扰”是一种客观存在;只有在“骚扰”影响敏感设备正常工作时才构成了“干扰”。

电磁骚扰源可分为自然骚扰源和人为骚扰源。骚扰源的研究包括其发生的机理、时域和频域的定量描述,以便从源端来抑制骚扰的发射。

2. 传输途径

骚扰的传输途径有两条,通过空间辐射和通过导线传导,即辐射发射和传导发射。辐射发射主要研究在远场条件下骚扰以电磁波的形式发射的规律以及在近场条件下的电磁耦合。共模电流辐射也是重要研究内容之一。传导发射讨论传输线的分布参数和电流的传输方式对骚扰传输的影响,例如共阻抗耦合、共模—差模电流转换等。

3. 敏感设备

主要研究电磁骚扰如何使设备产生性能降低或产生不希望有的响应,如何提高设备的抗干扰能力,即降低对骚扰的敏感度,提高抗扰度。

4. 电磁兼容控制技术

最常用的是屏蔽、滤波、接地。屏蔽用于切断空间的辐射发射途径;滤波用于切断通过导



线的传导发射途径;接地的好坏则直接影响到设备内部和外部的电磁兼容性。此外,平衡技术、隔离技术等也是电磁兼容的重要控制技术。随着新工艺、新材料、新产品的出现,电磁兼容控制技术也得到不断的发展。

5. 电磁兼容测量

电磁兼容测量贯穿于电磁兼容分析、建模、产品开发、检验诊断等各个阶段。由于测量对象是电磁骚扰,不同于一般有用信号,因此骚扰的拾取、度量和不确定度分析等都有自己的特点,对于测量方法、仪器设备、测量场地的研究是电磁兼容学科的重要组成部分。

6. 电磁兼容标准

目前国际上权威性的电磁兼容标准有 CISPR 标准、IEC 标准、欧盟的 EN 标准、德国的 VDE 标准,美国的 FCC 标准和军用标准 MIL-STD。我国目前现行的有 100 多种电磁兼容标准。这些标准规定了各个频段各种类型电气电子设备的骚扰发射限值和抗扰度限值,并规定了相应的试验方法、仪器设备和试验场地。标准是大量理论研究和科学实践的结晶,同时也渗透着巨大的商业利益,所以对标准的研究和制订是历次国际会议的重要议题。由于我国的电磁兼容标准大多是等同采用国际先进标准,因此对标准的来龙去脉、理论依据、实施方法的研究也是我国电磁兼容界必须进行的课题。

7. 电磁兼容分析预测和设计

分析、预测和设计是电磁兼容学科发展的高级阶段,在产品使用后出现电磁兼容问题再去着手解决将浪费大量的时间和经费,因此应该在产品开发的最初阶段就进行电磁兼容的分析和预测,取得必要的参数,然后进行电磁兼容设计。分析和预测的关键在于数学模型的建立和计算机分析程序的编制。数学模型包括根据实际电路、布线和参数建立起来的全部骚扰源、传输途径和敏感设备的模型。分析程序应能计算所有骚扰源通过各种可能途径对每个敏感设备的影响,并判断这些综合影响的危害是否超出相应标准的限值和设计要求,然后进行修整补充和再计算。系统越复杂,分析和预测的难度就越大。电磁兼容学科的研究内容十分广泛,本书主要讨论铁路信号系统中的电磁兼容性问题。

第二节 电磁骚扰源

一、电磁骚扰的种类

电磁骚扰的分类方法很多,可以从骚扰的来源划分,可以从发生机理划分,还可以从传输方式、频率范围、时域特性等方面来分类。这里主要从来源和发生机理来分类。

(一) 电磁骚扰的来源

电磁骚扰源有自然骚扰源和人为骚扰源。

自然骚扰源指由自然界的电磁现象产生的电磁噪声,比较典型的有:

① 大气噪声,如雷电。



②太阳噪声,如太阳黑子活动时产生的磁暴。

③宇宙噪声,来自银河系及其他星系。

④静电放电(ESD)。

人为骚扰源指由电气电子设备和其他人工作装置产生的电磁骚扰。这些骚扰包括功能性的无用信号和非功能性的电磁噪声。需指出的是这里的人为骚扰源指的是无意识的骚扰,至于为了达到某种目的而施放的有意识的人为骚扰,例如电子对抗等不属于电磁兼容的研究范围。此外,电子电路内部的热噪声即设备的本机噪声也不在研究之列,它属于通信理论研究范畴。

任何电气电子设备都可能产生人为骚扰,这里列出一些容易产生骚扰的设备。

(1)家用电器和民用设备

- 有触点电器,例如电冰箱、电熨斗、电热被褥、电磁开关、继电器等。
- 使用整流子电动机的机器,例如电钻、电动刮胡刀、电按摩器、吸尘器、电动搅拌机、牙科医疗器械等。
- 家用电力半导体器件装置,例如硅整流调光器、开关电源等。

(2)高频设备

- 工业用高频设备,例如塑料热合机、高频加热器、高频电焊机等。
- 高频医疗设备,例如甚高频或超高频理疗装置、高频手术刀、X光机等。

(3)电力设备

- 电力传动设备,例如各种直流、交流伺服电动机、步进电机、电磁阀、接触器等。
- 电力电子器件组成的变流装置,例如可控整流器、逆变器、变频器、斩波器、无触点开关、交流调压器、UPS电源、高频开关电源等。
- 电力传输设备,例如高压电力传输线、高压断路器、变压器等。
- 电气化铁道,例如电力机车、接触网等。

(4)内燃机

- 包括点火系统、发电机、电压调节器、电刷等。

(5)无线电发射和接收设备

- 包括移动通信系统,广播、电视、雷达、导航设备等。

(6)高速数字电路设备

- 包括计算机及其相关设备。

(二)电磁骚扰的发生机理

1. 放电噪声

放电是一种很常见的电磁现象。例如,雷电是由于雷云之间或雷云和大地之间产生静电放电而产生的;静电放电是由于人身所带的静电在接触到金属物体后火花放电造成的;整流子电机转动时,电刷与整流片之间产生火花放电;电气化铁道受电弓在高压接触网下滑动时伴随



一系列火花;带电感负载的开关断开时触点间有火花跳过;高压输电线常出现淡蓝色的电晕放电并滋滋作响;荧光灯、霓虹灯利用辉光放电发光等。

由于放电而产生噪声是最常见的现象,这时往往伴随着急剧的电流电压的瞬时变化,即 di/dt 或 du/dt 很大。

放电的类型有好几种。随着带电体之间的电压等级和放电条件(带电体的距离、气体类型、气压等)的不同,分为暗流、辉光、电晕、火花、弧光放电几类。当带电体间电压超过放电起始电压后气隙开始击穿,但保持何种放电状态则由放电电路条件决定,这是由放电回路电阻 R 和场强 E 所决定。放电时回路里伴随着脉冲电流,这是产生电磁噪声的根源,同时火花和电晕本身也会向外辐射噪声。

2. 接触噪声

接触噪声是由于触点间接触电阻发生变化而产生的,例如触点静压力变化、振动、冲击、滑动、虚接、氧化、污渍、表面损坏等都会引起接触电阻变化。此外,触点上的金属氧化物整流检波效应;不同金属材料接触时的温差热电动势;医疗电子设备电极处的涂料极化引起的电压波动等都可能产生电磁噪声。

3. 过渡现象

过渡现象即电气电子电路中电流电压的瞬态变化 di/dt 、 du/dt 。这是产生噪声的根本原因,也是普遍发生的现象。例如高速数字脉冲的上升沿、下降沿;电力电子器件工作时的瞬态电压电流变化;电源接通时白炽灯和电动机的冲击电流;电力设备开闭或故障时的异常电压变化;导线上感应到雷电后产生的尖峰衰减振荡等等。

4. 反射现象

反射现象指空间电磁波传播时遇到障碍物被反射并与原信号叠加,例如电视重影,传输线与负载和源内阻抗不匹配引起反射等。

5. 非功能性噪声

电子电路工作时存在着一些与完成特定功能无关的信号,例如由于分布电感、分布电容产生的振荡;波形失真引起的高次谐波、电源哼声等等。

6. 无用信号

这里的无用信号是指功能性信号,是完成特定功能时使用的信号,例如广播、电视、移动通信、雷达、导航等信号,但如果对其他设备产生了干扰则对敏感设备而言是无用的。

二、铁路信号系统中常见的电磁骚扰

(一) 电力电子器件的噪声

电力机车或电动车组是典型的机电一体化系统。随着交流电气化铁道的发展,电力机车及电动车组成为目前我国铁路的主力运营车种。在电拖动机车(包括电力机车、电动车组以及电力传动内燃机车)上,都有整流及变流装置。早期的水银式和引燃管式变流器,到 20 世纪



60年代后就被大功率半导体器件构成的变流器所替代。起初仅用大功率二极管进行交一直流间的整流。晶闸管和电子控制器件出现后,牵引整流器便具有交一直流间的可控整流和有源逆变、直一直流间的变换的功能,并且试制出直一交流间的变换器。变流器技术进入到电力电子器件时代。当前,机车变流器上普遍采用的是GTO(可关断晶闸管)、GTR(大功率晶体管)及IGBT(GTR和MOSFET的合成器件)等电力电子器件。

电力电子器件是一种可控开关元件,可以用小信号输入控制大功率的输出,功率放大倍数在 10^4 以上,因此可以作为强电与弱电之间的接口基础。用电力电子器件构成的变流装置主要有可控整流器(AC-DC变换)、逆变器(DC-AC变换)、斩波器(DC-DC变换)、交流调压器(AC-AC变换)、变频器(AC-AC变换)等,这些变流器广泛应用于各种交、直流电动机的拖动和变速系统、中频电源、不间断电源(UPS)、无触点电子开关等场合。

但是实践证明电力电子器件构成的变流装置是十分强烈的电磁噪声源,现以晶闸管为例说明。晶闸管变流装置产生的噪声主要表现在以下几个方面。

1. 使电网中的谐波含量大大增加

由于晶闸管变流器是非线性负载,工作时将从电网中吸收含有高次谐波的电流,谐波电流流过电源内阻抗时产生高次谐波压降,使电源的端电压波形发生畸变。有时供电回路会与某次谐波产生谐振,例如供电变压器的漏电感加上供电线的分布电感与分布电容可能在某次谐波上发生谐振,结果将使电网电压的波形严重畸变,从而影响同一电网上的其他负载的正常运行。如图1-2(a)所示是电力机车主变压器的结构示意图,主变压器的牵引绕组接有晶闸管桥式整流器,供电力机车的直流牵引电机使用,晶闸管整流器产生的高次谐波可通过主变压器耦合到辅助绕组上,使其端口电压产生严重的畸变,如图1-2(b)所示是产生畸变的辅助绕组的端口电压。

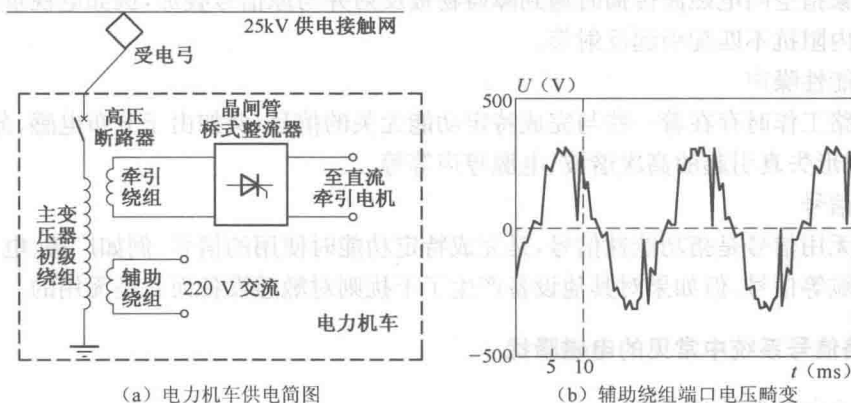


图 1-2 电力机车中晶闸管引起的电压畸变

电源电压的畸变程度用电压畸变率表示