

互转化的，并不是绝对分开的。比如图 1-1 所示为共模电流传输通道的不平衡造成非本质差模噪声的电路图^[98]。

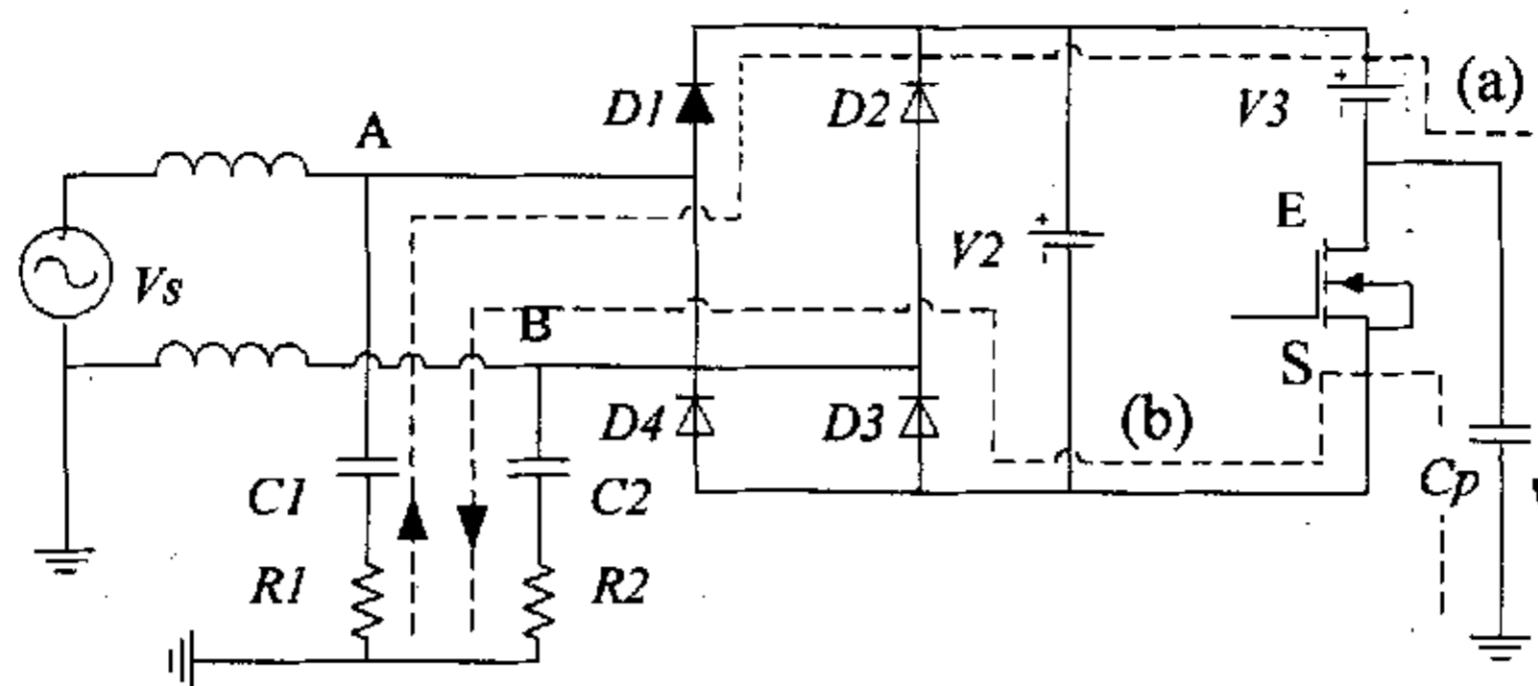


图 1-1 非本质差模噪声产生机理

Fig. 1-1 Generation mechanism of non-intrinsic differential mode noise

这些分析多数都是笼统地介绍传导骚扰的耦合方式或者围绕开关电源来进行，对于结果更为复杂的一体化电机系统传导骚扰产生机理并没有详细地进行分析和研究。

1.3.2 一体化电机系统的建模

提到一体化电机的建模问题，离不开交流电路中电力电子功率器件的模型。为了满足电力电子器件分析的需要，许多研究人员对电力电子器件建立了模型，从双极性晶体管到绝缘栅双极性晶体管（Insulated Gate Bipolar Transistor—IGBT）和 MOS 控制晶闸管（MOS Control Transistor—MCT）、集成门极换流晶闸管（Integration Gate Control Transistor—IGCT）。

在一体化电机系统中往往涉及到多种电感，比如输入电感，DC 捩流圈，以及 EMI 滤波器中的共模电感等。绕线型电感的在高频范围内（比如传导骚扰研究的范围—150KHz~30MHz）电特性表现得相当复杂。由此许多学者对电感建立了模型，如图 1-2 所示。

这些模型通常都只是用自身的电感值再加上电感线圈间的寄生电容和一个代表损耗与频率无关的电阻构成。这些模型的参数都是在对电感元件的阻抗特性直接用阻抗分析仪进行分析与测量后得到的。然而这些简单的电感模型其阻抗特性往往跟实验的阻抗特性不太一样，尤其是在高频范围内。一般电感要加磁芯（有气隙或无气隙）以增加其电感值而减小体积。通常，空心和有气隙磁芯的电感漏感相对较大，在电路中产生较大的骚扰，反之，骚扰

则小。而在一体化电机系统中所用的电感一般为无气隙或气隙很小，在建立这些电路模型时有许多实际的复杂问题都不得不被简化，此时以上电感的这些高频模型并不准确。

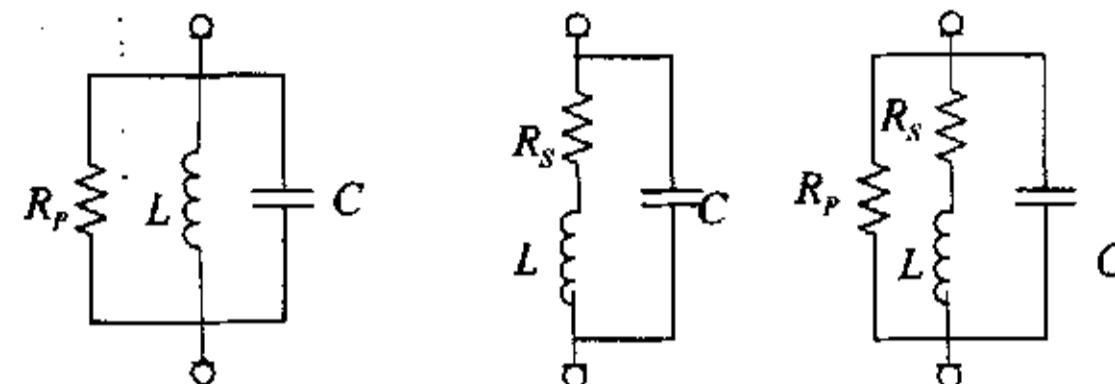


图 1-2 电感的高频等效电路模型

Fig. 1-2 The high frequency equivalent circuit model of inductance

在一体化电机系统传导骚扰研究中，为了分析高频轴电压和轴电流而建立了感应电机的高频模型^[99-104]，如图 1-3 为常用的电机高频模型。其三相绕组用只有容性耦合的互感传输线模拟，在定子侧，绕组通过杂散电容耦合到定子叠片中，定子叠片之间耦合用集中参数的电容表示，机壳部分用 RL 电路表示，它与定子叠片之间仍用电容表示其耦合。定、转子间气隙用 RC 模拟，与定子类似，转子叠片也用电容表示，转子与轴之间用电容表示，轴自身的模型用 RL 表示^[99]。也有的文献^[100]为了系统仿真用 Pspice 建立了简单的电机模型，忽略绕组和轴电感以及放电的间隙时间。为了分析电机系统中差模和共模噪声信号，在文献[101]中利用 dq0 坐标变换法对电机上的共模和差模噪声信号进行解耦，分别给出了电机共模和差模模型。相对于前面介绍的几种，在一体化电机系统中传导骚扰的研究中比较流行的一种感应电机模型是把它分成传统的集中参数模型和高频参数模型两部分并联运行，并且在高频模型前加了一个 L、C 并联谐振电路来阻止基波成分。

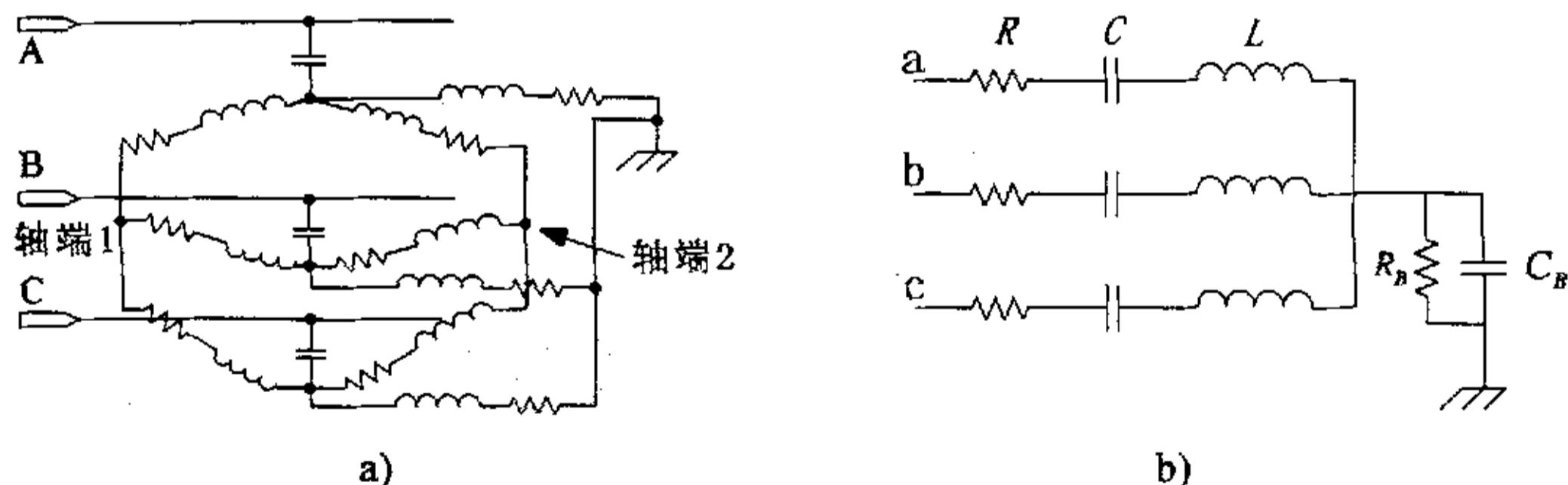


图 1-3 电机的高频模型

Fig. 1-3 High frequency model of motor

目前在建立系统的高频模型方面，基本上都是对简单的小系统如开关电源建立能表现高频特性的电路模型。南京航空航天大学对全桥开关型变换器

电磁骚扰模型进行了分析与研究，运用 Cadence 软件提取了变换器印刷电路板主要印制导线的寄生参数，结合阻抗测试仪和 MATLAB 软件提取了变换器主要元器件的寄生参数，并且用 Saber 进行了仿真^[81]；浙江大学的袁义生对 Boost 电路电磁骚扰进行了建模（时域模型电路和频域分析模型）以及半导体功率器件的高频模型^[105]；清华大学的何军平建立了 PWM 开关电源电磁骚扰传播通道的电路模型^[106]；西安电子科技大学的路宏敏建立了高频集总传导骚扰的传输线模型^[107,108]；海军工程大学建立了交流发电机整流系统传导骚扰的时域模型，并达到了能预测传导骚扰的目的^[86]。

浙江大学的钱照明教授等人建立了开关电源的传导共模电流分析模型，由于是分析共模电流，所以只考虑了各节点的分布电容，采用软件计算抑制线路板的分布电容，模型也只适用于低频范围^[109]，MN Gitau 建立了 Boost 电路的 EMI 数学模型，可以分析预测 Boost 电路的 EMI，结果表明 dv/dt 和寄生电容是共模骚扰的主要原因^[110]。

1.3.3 一体化电机系统传导骚扰测试技术

电磁兼容测试技术是电磁兼容研究的一个重要课题，是验收和评价电子设备(产品)质量及EMC研究中不可缺少的手段和方法，其主要内容包括EMC测量设备、测量方法、数据处理及对测量结果的评价等，测试技术的发展是电磁兼容标准制定及电磁兼容设计的基础。由于电磁兼容问题的复杂性和多变性，为使电磁兼容的测量结果具有可比性和可重复性，必须详细规定测量仪器的各方面指标和实验环境，由此进一步突出了电磁兼容测试的重要性。

根据电磁兼容标准中传导骚扰测试实验的要求，其测量必须用标准的阻抗稳定网络（Line Impedance Stabilization Network—LISN）来检测骚扰信号，再通过接收机来对传导骚扰信号进行处理与分析。围绕这个测试实验的要求科研工作者展开了一系列的研究工作。目前，由于多数LISN检测的都是系统总的传导骚扰信号，为了分析和设计的需要，往往需要知道系统传导骚扰中哪种成分占主导地位，因此一些科研工作者提出了差模抑制网络^[111,114]，共模/差模骚扰分离测试的思想及其实现方法^[112,113,115]，该思想具有较好的理论基础，但实际做起装置来在工艺上存在诸多不足，比如高频参数的影响，磁芯非线性等问题。不过倒是提供了一种把差模和共模分开的思想，也给系统的分析提供了一个参考。文献[116]对LISN传导测试由于设备本身参数偏离引起的误差进行了分析和实验。文献[117]根据 CISPR16-1 的标准对由阻抗相移

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。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



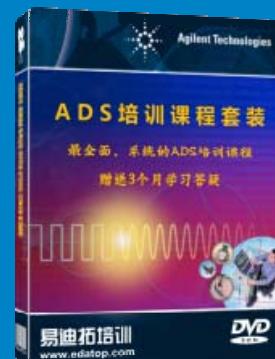
射频工程师养成培训课程套装

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>

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>



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>

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 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…



详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.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>