

内容之一。

1.3.4 一体化电机系统传导骚扰抑制措施

以往的电磁兼容理论在骚扰的抑制措施方面已做了大量的工作，一些传统的抑制方法如滤波、接地、隔离以及合理布线等方法对一体化电机系统仍然适用。国内外在这方面都有大量的文献，但多为定性的规则，具体量化描述的较少。但是由于一体化电机系统中强、弱电并存，信号的幅值、频率分布都很宽，针对一体化电机系统传导骚扰的这些特点，最近一些科研工作者在传统方法的基础上作了一些改进，取得了一些新的成果。

1.3.4.1 减小骚扰源强度的措施

为了抑制一体化电机系统传导骚扰的强度，有些学者从骚扰源的角度入手，试图消除或减小一体化电机系统的骚扰源。根据一体化电机系统控制策略的灵活性，台北学者 Yen-Shi Lai 根据空间矢量调制技术中矢量状态的不同组合对逆变器输出共模电压的影响，改进感应电机驱动系统中的 SVPWM 的开关方式，利用相反方向的两个矢量“回扫”来取代零矢量的作用。从而降低了系统的共模电压，该方法虽然不影响线性调制范围^[28,125]，但是增加了逆变器输出电压的谐波。韩国学者 Hyeoun-Dong Lee 对全控性三相整流/逆变器的空间矢量调制方式稍加改动，通过移动非零矢量的位置来减小系统输出的共模电压脉冲数量及其作用时间^[124]，还有通过检测整流器滤波电容中点电位的过零点，根据中点电位的正负极性来选择利用两个不同的零矢量，进而把逆变器输出的共模电压降低到传统 SVPWM 方式下的 $2/3$ ^[126]。也有学者通过改变调制方式，以随机开关频率调制取代传统的固定开关频率的 PWM 方式，使电磁骚扰能量在频域的分布平均化^[84,127]。

(1) di/dt 和 dv/dt 的抑制技术

一体化电机系统中的传导骚扰主要来源于变流器的功率半导体器件开关动作而引起的电压、电流跳变，其跳变速率即 di/dt 和 dv/dt 直接影响到一体化电机系统的差模噪声和共模噪声的强度。常用的 IGBT 和 MOSFET 开关瞬间的输出电压和电流受门极驱动脉冲波形和门极杂散电容的影响，改变开关器件的门极驱动脉冲波形可以改变器件开关时 di/dt 和 dv/dt 的值，从而改变传导骚扰的强度，但由此往往会增大开关损耗，功率器件的开关频率受到限制，这有悖于电力电子器件的发展趋势和一体化电机系统对功率器件开关速度的要求。

驱动电路不仅是驱动装置产生电磁骚扰的一个源，而且其驱动结构以及控制的不同会对其主电路的电磁骚扰有很大影响^[128-130]。以 Satoki Takizawa、S.Igarashi 为代表的日本学者和意大利的 Alfio Consoli 等人对控制器件提出了一种优化驱动方案，通过附加电流源来控制门极驱动电流波形，使得功率器件的 di/dt 和 dv/dt 可分别被控制，从而达到功率器件开关损耗和 EMC 性能的优化^[131-135]。他们所采取的优化措施都有一个共同点就是在 IGBT 的发射极串入一个电感来检测器件的 di/dt 值，不适用于模块化的 IGBT，也不适用于三相逆变桥，同时这些方法都处于实验室阶段，他们多为专门开发的新型驱动集成芯片，还不能被广泛应用。文献[136]提出了一种新的驱动思想，根据 IGBT 的结构特点、开关特性及其米勒效应设计了三段驱动的办法，即适用于分立器件也适用于 IGBT 模块，而且还同时适用于软开关和硬开关技术。达到了优化的目的。不过该驱动电路设计复杂，还需要进一步的集成。总的来说，近些年来在门极驱动技术方面有了迅速发展^[137,138]，而且利用门极驱动电路的优化也使得 di/dt 和 dv/dt 可以被灵活控制，但每一种电路都有一定的缺陷，要么会增大开关损耗，或是不适于三相逆变桥等，因此还需要做进一步研究。

另外一种抑制 di/dt 和 dv/dt 的方法就是加缓冲吸收电路，缓冲吸收虽然是为避免器件由于寄生参数的影响而引起振荡导致电压过高或电流过大，但事实上消除了器件开关时的振荡（毛刺现象），客观上也在一定程度上减小了 di/dt 和 dv/dt 的值。有的学者试图采用软开关技术来减小传导骚扰^[139]，但实验证明软开关技术对差模技术能有所抑制，但对共模骚扰的作用不大^[140]。而且，如果设计不当，反而会加剧系统的骚扰^[141]。

（2）改变系统的结构降低共模骚扰

利用对称结构消除逆变器输出的共模电压，而由此使得开关器件上电压变化率减半而降低装置输入侧传导骚扰的发射水平。美国 Wiscosin 大学的 A.L.Julian, T.N.Lipo 和 G.Oriti 提出了用三相四桥臂逆变器来消除电机上的共模电压，如图 1-4a) 所示，并且给出了该逆变器的控制策略^[27,39,142]，进行了实验验证。与此相对应的，文献[32, 33]通过添加辅助零状态开关来消除因逆变器零开关状态所产生的共模电压，如图 1-4b) 所示，降低了系统加在电机上的共模电压。在这两种方法中尽管消除或降低了系统的共模电压，但其调制策略降低了系统的电压利用率^[100]。为此，Oregon 州大学通过改变电机结构，采用双逆变器给双绕组电机供电，如图 1-5 所示是两逆变器作用在电机绕组上的共模电压完全抵消^[100,143]，此法最大的不足就是只适用于特殊结构

的电机。

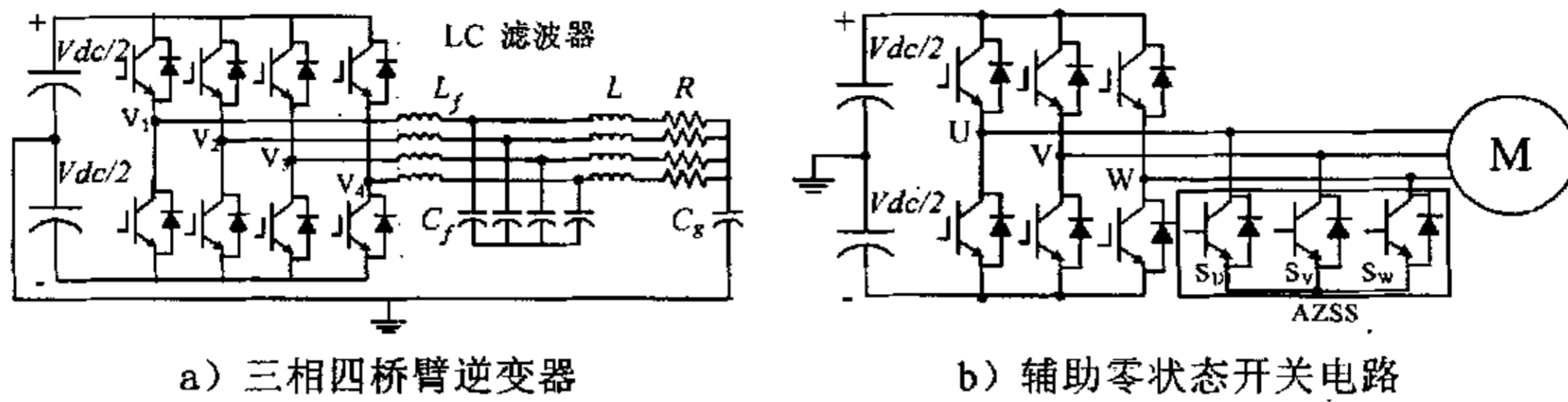


图 1-4 新型结构的逆变器

Fig. 1-4 Novel inverter a) three phase inverter with four arms b) auxiliary zero state switching circuit

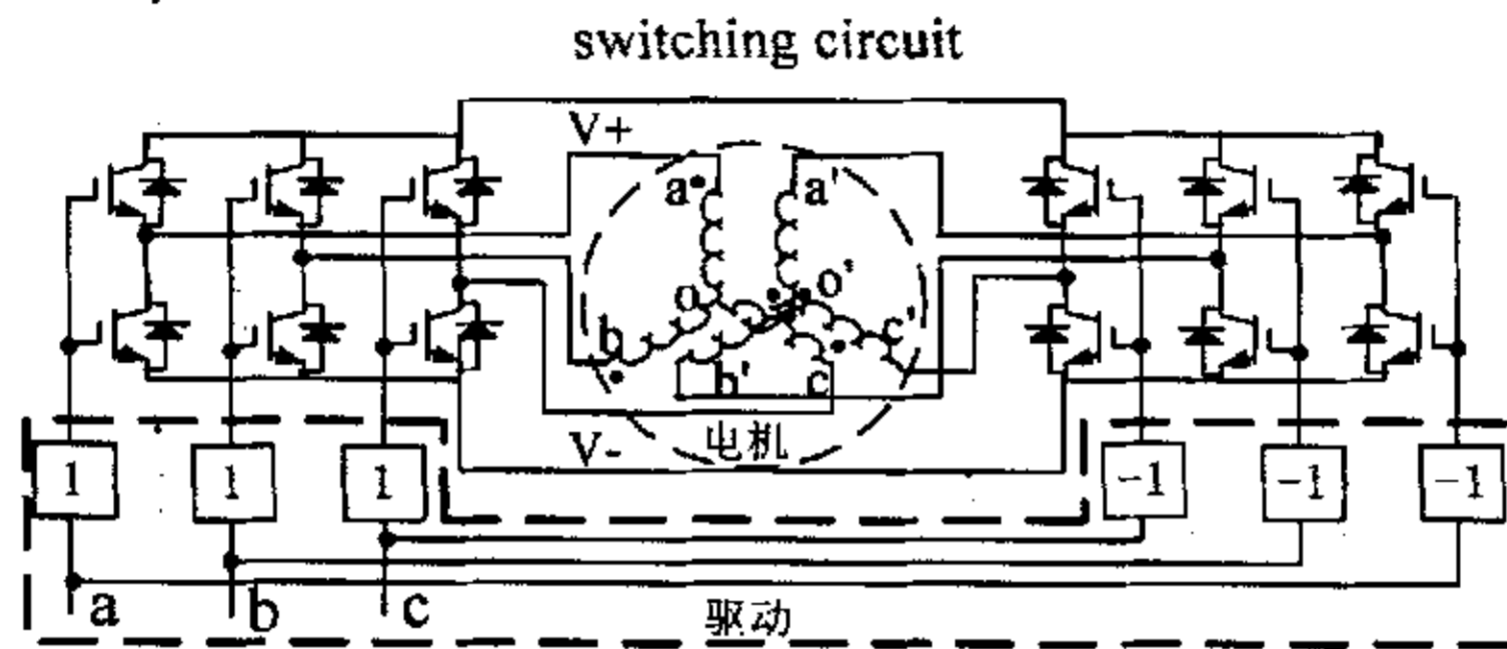


图 1-5 双逆变器驱动电路

Fig. 1-5 Driver circuit with dual-bridge inverter

1.3.4.2 切断传导骚扰的传播途径

在一体化电机系统电磁骚扰的抑制措施方面除了降低或消除电磁骚扰源之外，另外一种有效的方式就是切断或阻碍骚扰源的传播途径，在传导干的抑制方面就是滤波。所采用的滤波措施总起来又分为两大类—有源滤波和无源滤波两种。

(1) 有源滤波

在一体化电机系统传导骚扰的抑制中，有源滤波器主要用来消除传导骚扰中的共模分量，日本学者 SATOSHI OGASAWARA 等设计并分析了消除逆变器输出共模电压的有源滤波器^[59]。在此基础上，结合 π 型无源滤波器给出了改进型的有源滤波器，还能有效的抑制 PWM 整流/逆变系统的谐波^[144]。如图 1-6 所示。

为了抑制逆变器输出共模电压而引起的电机轴电流，哈尔滨工业大学的姜艳姝在此基础上提出了前馈与反馈相结合的有源滤波器，在抑制感应电机的轴电流中取得了明显效果^[87,88]。

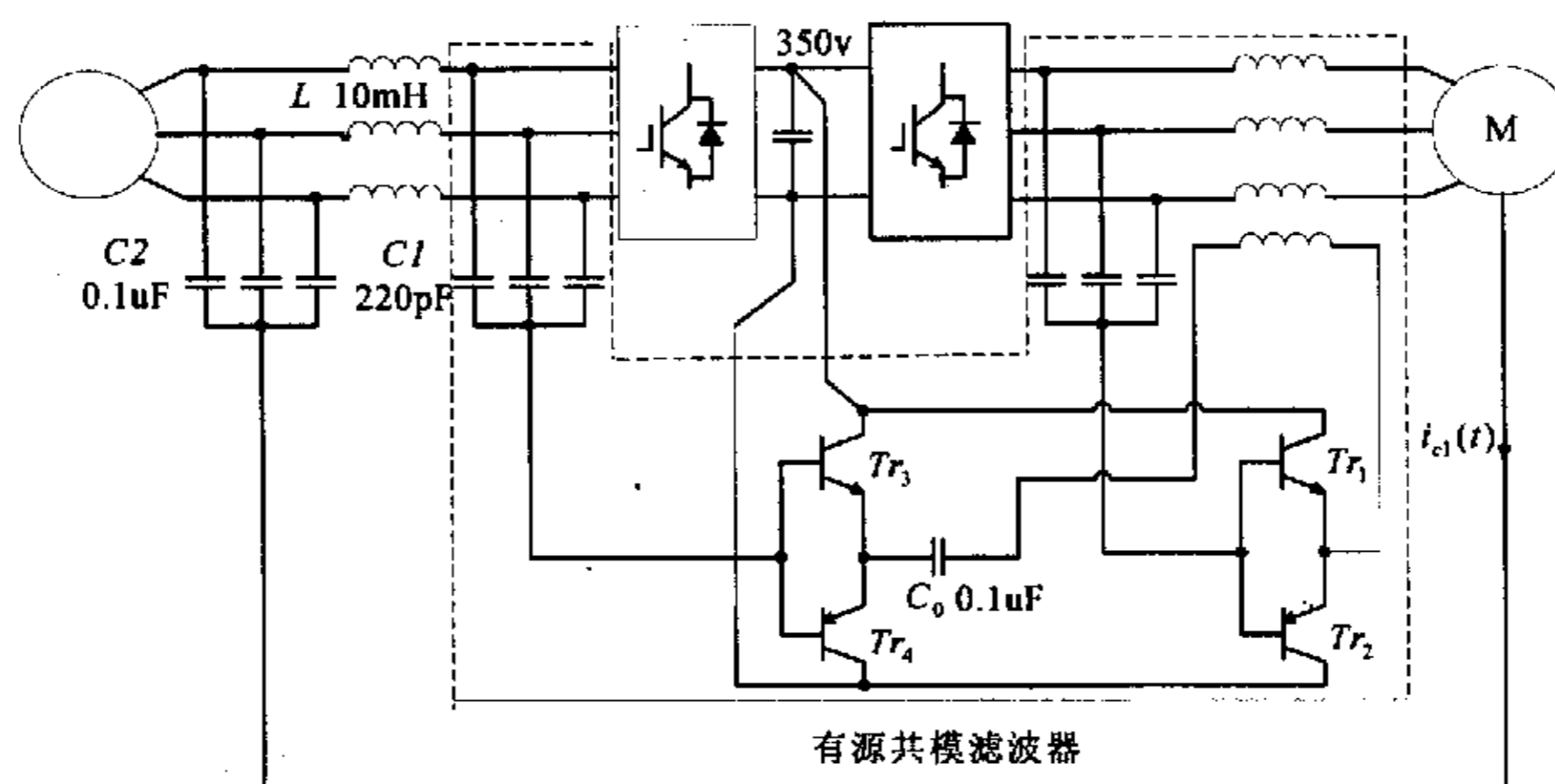


图 1-6 改进型的有源滤波器

Fig. 1-6 Improved common mode voltage active filter

文献[145]对电机系统传导 EMI 问题的有源滤波进行了研究，在严格的 EMI 性能指标及成本要求下设计了有源滤波器，从系统的角度在直流侧进行了滤波，取得了较好的效果。文献[58]给出了 Isao Takahashi 提出的由小型共模电流变压器和互补的高频晶体管组成的有源 EMI 滤波器，如图 1-7 所示。逆变器开关动作时，高频漏电流通过电动机绕组和机座间的寄生电容经地线流回电源侧，共模电流变压器将共模电流 i_{SL} 检测出来，传递到副端，经互补晶体管放大产生补偿电流 i_L' ，如果变压器变比 N 与晶体管放大倍数 h_{FE} 乘积足够大，就可消除漏电流 i_L ，完全抑制了流入到电源侧的共模电流 i_{SL} 。

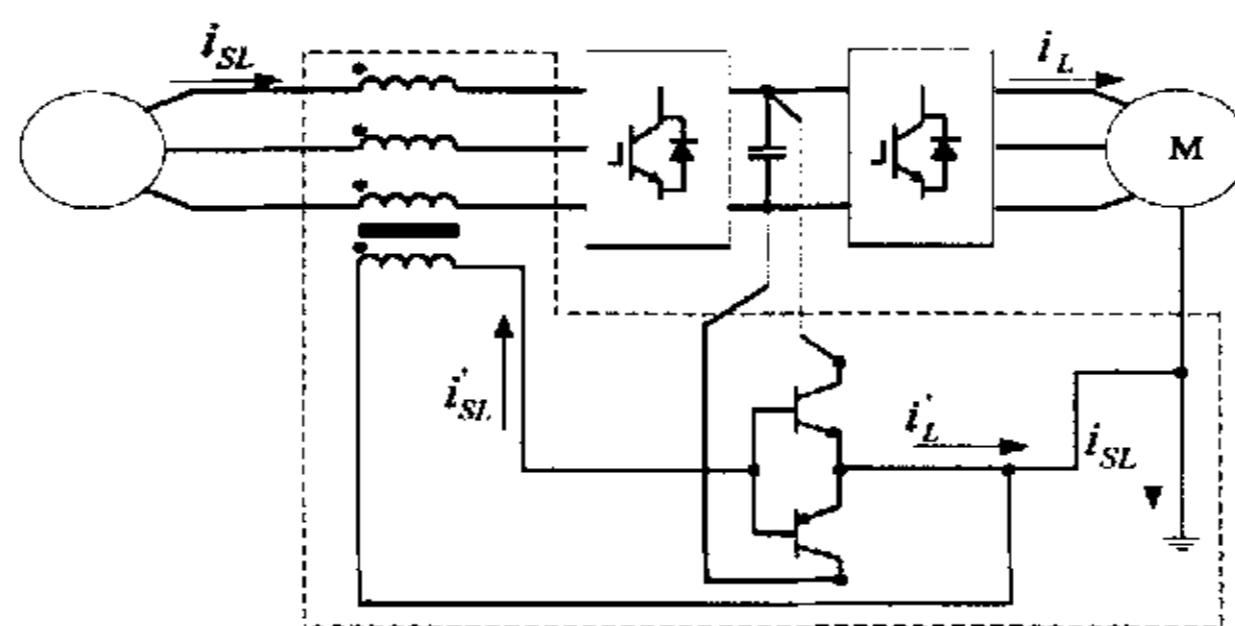


图 1-7 有源 EMI 滤波器

Fig. 1-7 Active EMI filter

这种结构的滤波器由于将晶体管直接接到直流母线上，对晶体管的耐压要求很高，影响其在高电压电路中应用；又由于这种方案只能抑制 EMI，对逆变器产生的共模电压没有任何影响，因此逆变器对电动机所产生的不良影响仍然存在，不能延长电动机的绝缘和轴承的使用寿命。总之，在一体化电

机系统传导 EMI 的抑制过程中，有源滤波器主要集中于消除共模电压，很少有从系统的角度出发的。

(2) 无源滤波方式

相对有源滤波器的拓扑结构与方式，无源滤波由 R、L、C 组成的滤波器结构可为变化多端，种类繁多^[146-154]，如图 1-8 所示，不仅可以抑制差模骚扰，同时也可以抑制共模骚扰。为了减小由于逆变器输出的高压脉冲（ dv/dt 很高）而引起的共模电流，一些科研工作者提出了在逆变器输出端加上由 R、L、C 组成的输出滤波器来延长逆变器输出 PWM 脉冲的上升时间^[146,147]或者把该滤波器作进一步改进，组成了的多种无源滤波结构。这些滤波器在一定程度上抑制了系统的传导骚扰，但是都没有考虑其高频杂散参数的影响，实际的情况往往和理想设计的效果相比要差一些。

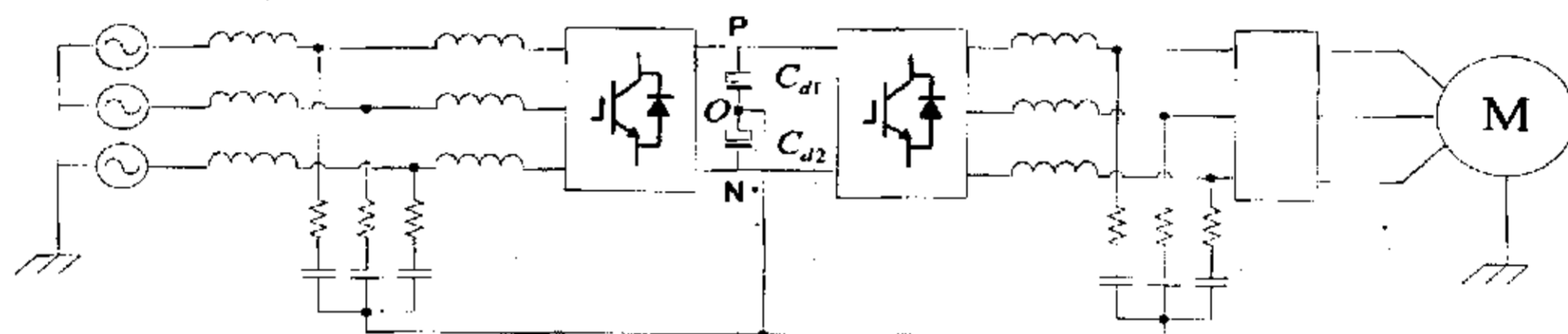


图 1-8 无源滤波器结构

Fig. 1-8 Passive filter configuration

无源滤波还有一种方法^[8]是从消除电动机端漏电流的角度进行设计的，其结构如图1-9a)所示。在共模扼流圈的基础上再在同一铁芯上缠绕一个绕组，其终端连接一个阻尼电阻，以抑制漏电流的振荡，将其振荡能量消耗在电阻上，但消除的不够彻底。在文献[69]给出了用三个星接电感检测逆变器输出的共模电压，然后再通过四绕组共模变压器反向叠加到电动机端的设计思想，如图1-9b)所示。该方法仅仅消除共模电压在电动机端的负面效应，可以抑制漏电流，但对共模电压的抑制效果不明显，只能降低共模 dv/dt 。

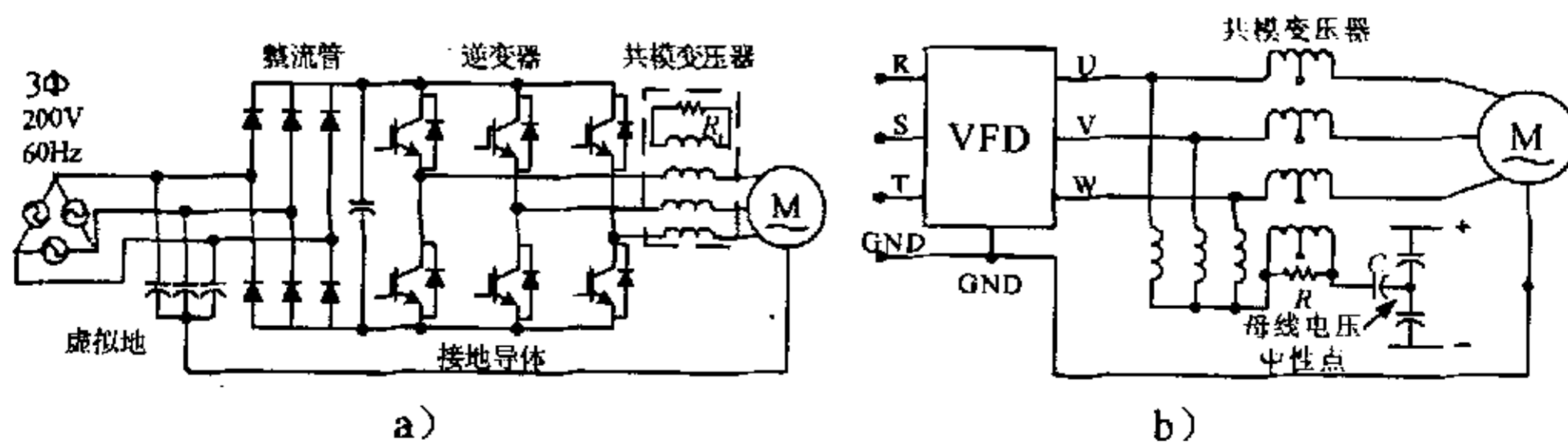


图 1-9 无源共模抑制器

Fig. 1-9 Passive common-mode reduction

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>