

通信机电设备电磁干扰抑制技术工程应用

金福林 胡 威

武汉烽火信息集成技术有限公司 湖北 武汉 430073

摘要：随着通信技术的飞速发展，通信机电设备在各类环境中的应用日益广泛。然而，电磁干扰问题严重影响了通信机电设备的性能与可靠性。本文深入研究通信机电设备电磁干扰抑制技术的工程应用，详细阐述电磁干扰的基本原理、常见类型，全面分析各类抑制技术的特点与应用场景，旨在为相关工程实践提供理论支持与技术参考，提升通信机电设备的抗干扰能力和整体性能。

关键词：通信机电设备；电磁干扰；抑制技术；工程应用案例

引言

通信机电设备在信息传输中至关重要，但易受电磁干扰影响，导致信号失真、误码率上升乃至设备故障。因此，研究电磁干扰抑制技术成为通信领域的核心课题。通过深入探究电磁干扰的成因与传播路径，并采用适宜的抑制手段，能显著提升通信设备的抗干扰性能，保障通信系统的稳定可靠运行。这对于确保信息准确及时传递，具有不可忽视的重要意义。

1 电磁干扰的基本原理

1.1 电磁干扰的定义

电磁干扰是指任何可能引起设备、装置或系统性能降级或者对有生命物质或无生命物质产生损害作用的电磁现象。在通信机电设备中，电磁干扰表现为外部或内部的电磁噪声对有用信号的污染，破坏了信号的完整性和准确性。

1.2 电磁干扰的三要素

电磁干扰的形成必须具备三个要素：干扰源、耦合途径和敏感设备。干扰源是产生电磁干扰的源头，如各种电气设备、通信发射机等，它们会产生不同频率和强度的电磁噪声。耦合途径是干扰源与敏感设备之间传递电磁能量的通道，常见的耦合方式有传导耦合、辐射耦合等。敏感设备则是受到电磁干扰影响而性能下降的设备，通信机电设备中的接收机、信号处理电路等往往是敏感部分。只有当这三个要素同时存在且相互作用时，电磁干扰才会发生。

1.3 电磁干扰的产生机制

从物理层面来看，电磁干扰的产生主要源于电流的变化和电荷的移动。当电气设备中的电流发生快速变化，如开关电源的通断、数字信号的高速切换等，会产生变化的磁场，进而辐射出电磁波。同时，设备内部的电子元件在工作时也会产生热噪声、散粒噪声等固有噪

声，这些噪声在一定条件下也可能成为干扰源。此外，外部的自然电磁现象，如雷电、太阳黑子活动等，以及人为的电磁辐射，如广播电台、雷达等，都可能对通信机电设备造成电磁干扰。

2 通信机电设备电磁干扰的常见类型

2.1 传导干扰

传导干扰是指通过导体传播的电磁干扰。在通信机电设备中，电源线、信号线等导线都可能成为传导干扰的传播路径。当干扰源产生的电磁噪声通过这些导线传输到敏感设备时，就会影响设备的正常工作^[1]。例如，开关电源在工作过程中会产生高频谐波，这些谐波会沿着电源线传导到其他与之相连的设备，干扰其电源的稳定性，进而影响设备的性能。传导干扰的频率范围通常较低，一般在几十千赫兹到几兆赫兹之间。

2.2 辐射干扰

辐射干扰是指以电磁波的形式在空间中传播的电磁干扰。通信机电设备中的一些部件，如天线、印制电路板（PCB）上的走线等，都可能成为辐射干扰的发射源。当这些部件中的电流发生变化时，会向周围空间辐射电磁波。如果周围存在敏感设备，这些辐射出的电磁波就可能被敏感设备接收，从而产生干扰。例如，通信发射机的天线在发射信号的同时，也会产生一些杂散辐射，这些杂散辐射可能会干扰附近其他通信设备的正常接收。辐射干扰的频率范围较宽，从几兆赫兹到几十吉赫兹都有可能。

2.3 内部干扰

内部干扰是指通信机电设备内部各部件之间相互产生的干扰。在设备内部，不同的电路模块、电子元件之间存在着电磁耦合，当一个部件产生的电磁噪声通过耦合途径影响到其他部件时，就会产生内部干扰。例如，数字电路中的高速信号传输线可能会对模拟电路部分产

生干扰,导致模拟信号失真。内部干扰的产生与设备的设计和布局密切相关,合理的电路设计和布局可以有效减少内部干扰的影响。

2.4 外部干扰

外部干扰是指来自通信机电设备外部环境的电磁干扰。除了前面提到的自然电磁现象和人为电磁辐射外,外部干扰还包括其他电气设备、电力系统等产生的干扰。例如,在工业环境中,各种电机、电焊机等设备会产生强烈的电磁噪声,这些噪声可能会对附近的通信机电设备造成严重干扰。外部干扰的特点是具有较强的随机性和复杂性,其强度和频率分布也各不相同,给电磁干扰的抑制带来了较大的困难。

3 通信机电设备电磁干扰抑制技术

3.1 屏蔽技术

屏蔽技术是通过使用屏蔽材料将敏感设备或干扰源包围起来,以阻止电磁能量的传播,从而达到抑制电磁干扰的目的。屏蔽材料通常具有良好的导电性和导磁性,能够将电磁波反射或吸收。常见的屏蔽材料有金属材料 and 导电高分子材料。金属材料如铜、铝、铁等,具有较高的电导率和磁导率,是应用最广泛的屏蔽材料。其中,铜的导电性好,适用于对高频电磁波的屏蔽;铝的密度小、成本低,在一些对重量和成本有要求的场合应用较多;铁则具有较高的磁导率,常用于对低频磁场的屏蔽。导电高分子材料是近年来发展起来的新型屏蔽材料,具有重量轻、可加工性好等优点,但目前其屏蔽性能相对金属材料还有一定差距,主要应用于一些对屏蔽性能要求不是特别高的场合^[2]。屏蔽结构的设计对于屏蔽效果至关重要。在设计屏蔽结构时,需要考虑屏蔽体的完整性、密封性以及与被屏蔽设备的电气连接等因素。屏蔽体应尽量做到无缝隙、无孔洞,以减少电磁波的泄漏。对于一些需要开孔的地方,如通风孔、散热孔等,应采用合适的屏蔽措施,如安装金属网、波导通风窗等。此外,屏蔽体与被屏蔽设备之间应保持良好的电气连接,以确保屏蔽体能够有效地将电磁能量引导到大地。

3.2 接地技术

接地技术是将通信机电设备的金属外壳、电路的参考平面等与大地进行电气连接,为电磁干扰提供一个低阻抗的泄放路径。良好的接地可以有效地降低设备的接地电位差,减少电磁干扰的产生和传播。常见的接地方式有单点接地、多点接地和混合接地。单点接地是指整个系统中只有一个接地点,所有需要接地的部分都连接到这个接地点上。单点接地适用于低频电路,能够有效地避免地环路电流的产生,但当频率较高时,由于接地

线的电感效应,会导致接地阻抗增加,影响接地效果。多点接地是指系统中各个需要接地的部分分别就近连接到接地平面上。多点接地适用于高频电路,可以降低接地阻抗,但在低频时可能会产生地环路电流。混合接地则是结合了单点接地和多点接地的优点,根据不同的电路特性和频率要求,选择合适的接地方式。

3.3 滤波技术

滤波技术是通过使用滤波器对信号进行处理,将不需要的电磁干扰信号滤除,只允许有用信号通过。滤波器是一种具有选频特性的电路,它可以根据频率的不同对信号进行分离。常见的滤波器有低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。低通滤波器允许低频信号通过,而抑制高频信号;高通滤波器则相反,允许高频信号通过,抑制低频信号;带通滤波器只允许特定频率范围内的信号通过,而抑制其他频率的信号;带阻滤波器则是抑制特定频率范围内的信号,允许其他频率的信号通过。在通信机电设备中,根据不同的干扰情况和信号要求,选择合适类型的滤波器。滤波器的设计需要考虑滤波器的截止频率、通带衰减、阻带衰减等参数。这些参数的选择应根据实际的干扰频率和信号特性来确定。在应用滤波器时,需要注意滤波器的安装位置和连接方式。滤波器应尽量靠近干扰源或敏感设备,以减少干扰信号在传输过程中的耦合。同时,滤波器的输入和输出端应进行良好的屏蔽,避免滤波器自身受到外界干扰或产生新的干扰。

3.4 布线技术

布线技术是通过合理规划通信机电设备内部的电源线、信号线等导线的走向和布局,减少导线之间的电磁耦合,从而降低电磁干扰的影响。电源线是传导干扰的主要传播路径之一,因此电源线的布线非常重要。在电源线布线时,应尽量缩短电源线的长度,减少电源线的阻抗。同时,应采用滤波电容、电感等元件对电源线进行滤波,抑制电源线上的高频谐波。此外,不同电压等级的电源线应分开布线,避免相互干扰。信号线的布线应遵循避免平行走线、减少交叉等原则。平行走线会增加导线之间的电磁耦合,容易产生串扰。对于高速信号线,应采用屏蔽线或双绞线,并确保屏蔽层的良好接地。同时,信号线应尽量远离电源线和其他可能产生干扰的部件,以减少干扰的影响。

3.5 软件抗干扰技术

软件抗干扰技术是通过在通信机电设备的软件中采用一些算法和措施,来提高设备对电磁干扰的抵抗能力。软件抗干扰技术主要包括数字滤波、数据校验、软

件陷阱等。数字滤波是通过软件算法对采集到的数据进行处理,去除其中的噪声成分。常见的数字滤波算法有算术平均值滤波、中值滤波、加权平均滤波等。数字滤波可以有效地抑制随机噪声和周期性干扰,提高数据的准确性和可靠性。数据校验是在数据传输和存储过程中,采用一些校验算法对数据进行校验,以确保数据的完整性和正确性。常见的数据校验方法有奇偶校验、循环冗余校验等。当发现数据校验错误时,可以通过重传数据等方式进行纠正,从而提高系统的抗干扰能力^[3]。软件陷阱是在程序的一些关键位置设置一些特殊的指令,当程序受到电磁干扰而出现跑飞现象时,能够使程序自动跳转到指定的位置,恢复正常运行。软件陷阱可以有效地防止程序因电磁干扰而陷入死循环或执行错误的指令,提高系统的稳定性。

4 电磁干扰抑制技术的工程应用案例

4.1 移动通信基站的电磁干扰抑制

移动通信基站是通信网络的重要组成部分,其电磁兼容性问题直接影响到通信质量和网络覆盖。在移动通信基站中,采用了多种电磁干扰抑制技术。首先,基站的机房采用了金属屏蔽结构,对机房内的设备进行屏蔽,减少外界电磁干扰的进入。同时,机房的接地系统采用了联合接地方式,将机房的金属外壳、设备的接地、防雷接地等连接在一起,确保接地电阻小于1欧姆,为电磁干扰提供良好的泄放路径。其次,基站的电源系统采用了多级滤波措施,包括交流输入滤波器、直流输出滤波器等,有效地抑制了电源线上的传导干扰。在信号传输方面,基站的射频电缆采用了屏蔽电缆,并且在电缆的两端安装了滤波器,减少了射频信号的泄漏和外界干扰的耦合。此外,基站的软件系统中也采用了数字滤波、数据校验等软件抗干扰技术,提高了基站设备对电磁干扰的抵抗能力。通过这些电磁干扰抑制技术的综合应用,移动通信基站的电磁兼容性得到了有效保障,通信质量和可靠性得到了显著提高。

4.2 航空航天通信设备的电磁干扰抑制

航空航天通信设备在复杂的电磁环境中工作,对电磁干扰抑制技术的要求更高。在航空航天通信设备中,电磁干扰抑制技术的应用主要体现在以下几个方面。在设备的结构设计上,采用了一体化的金属屏蔽结构,将

整个通信设备封装在一个屏蔽体内,最大限度地减少了外界电磁干扰的影响。同时,屏蔽体的材料选择了具有高强度和良好电磁屏蔽性能的合金材料,确保在恶劣的环境条件下仍能保持良好的屏蔽效果。在接地方面,航空航天通信设备采用了多点接地和浮地相结合的方式。对于一些低频电路和敏感部件,采用单点接地,避免地环路电流的产生;对于高频电路和功率较大的部件,则采用多点接地,降低接地阻抗。此外,为了防止设备在飞行过程中因静电积累而产生电磁干扰,还采用了静电接地措施。在滤波技术方面,航空航天通信设备使用了高性能的滤波器,如微带滤波器、腔体滤波器等。这些滤波器具有体积小、重量轻、滤波性能好等优点,能够有效地抑制各种频率的电磁干扰。同时,在滤波器的设计和应用中,充分考虑了航空航天环境的特殊性,如温度、振动等因素对滤波器性能的影响。在布线方面,航空航天通信设备的电源线和信号线采用了分层布线、隔离布线等方式,减少了导线之间的电磁耦合。并且,所有的导线都采用了屏蔽线,屏蔽层在两端进行了良好的接地。在软件抗干扰方面,航空航天通信设备采用了复杂的容错算法和冗余设计,确保在受到电磁干扰时系统仍能正常工作。

结束语

通信机电设备电磁干扰抑制技术至关重要,涉及原理分析、干扰类型识别及多种抑制技术综合应用。屏蔽、接地、滤波、布线及软件抗干扰等手段能有效提升设备性能和可靠性。实际应用需依设备特性、环境及干扰情况合理选择技术组合。随通信技术发展和电磁环境复杂化,该技术将持续创新,为设备稳定运行提供可靠保障。未来需深入探索新抑制技术,应对通信需求增长和电磁环境挑战。

参考文献

- [1]于春海.飞机机电系统电磁干扰机理与抑制措施[J].电力系统装备,2021(4):17-18.
- [2]杨阳,朱峰.基于容性耦合的钢轨压力传感器电磁干扰分析[J].仪器仪表学报,2024,45(4):317-324.
- [3]张浩.通信工程中设备抗干扰接地的有效方法探讨[J].数字化用户,2019,025(035):30.