

仪器仪表抑制干扰的有效策略

叶圣吻 涂世明 林 从

天信仪表集团有限公司 浙江 温州 325800

摘要: 仪器仪表运行易受干扰,影响性能与测量精度。本文从干扰来源与分类入手,阐述硬件层面电源设计、电路布局、接地、屏蔽、滤波等策略,软件层面数字滤波、软件陷阱、数据校验等策略,以及系统层面系统隔离、遵循标准、调试优化等策略,为提升仪器仪表抗干扰能力提供全面参考。

关键词: 仪器仪表; 干扰抑制; 硬件策略; 软件策略; 系统策略

引言: 在工业自动化、科学测量等众多领域,仪器仪表发挥着关键作用。然而,其运行常受各类干扰影响,导致测量不准确、性能下降甚至损坏。干扰来源广泛,既有仪器自身内部元件产生的,也有来自外部自然环境和人为设备的。为确保仪器仪表可靠运行,深入研究抑制干扰的有效策略十分必要,这对提升测量精度和系统稳定性意义重大。

1 干扰的来源与分类

1.1 内部干扰

仪器仪表运行时,内部干扰是影响其性能的重要因素。自身电路元件工作时会产生电磁干扰。电阻、电容、电感等元件在电流通过时因热运动产生热噪声,幅度通常在几微伏到几十微伏之间,这种噪声会随机叠加在有用信号上,降低信号质量。半导体器件如二极管、三极管等工作过程中会产生散粒噪声和闪烁噪声,散粒噪声强度与电流的平方根成正比,闪烁噪声频率一般在1Hz-100Hz范围内,这些噪声同样会对测量精度产生不利影响。电源波动的影响也不容忽视,电压不稳定会导致内部电路工作点漂移,影响测量准确性^[1]。若电源电压突然升高或降低,可能使电子元件工作在非正常状态,甚至损坏元件,缩短使用寿命。内部信号传输过程中的串扰也是常见形式。复杂电路系统中,不同信号线之间会存在电磁耦合,当一条信号线上的信号变化幅度达1V-5V时,会通过电磁感应相邻信号线上产生干扰信号,与有用信号混合,影响仪器对信号的准确识别和处理。

1.2 外部干扰

外部干扰同样会严重影响仪器仪表的正常工作。自然环境干扰是重要组成部分。雷电产生的强电磁脉冲能量极高、频谱极宽,峰值电流可达几十千安到几百千安,频率范围从几赫兹到几百兆赫兹,能在瞬间造成严重损坏。静电放电会产生瞬间强电场和强磁场,电压可高达数千甚至上万伏,干扰设备正常工作。地磁场的变化虽

相对缓慢,每天变化幅度约为20-50纳特斯拉,但对高精度磁敏仪器仍会产生不可忽视的影响。人为电磁干扰源也是主要来源之一。大型电气设备如电动机、变压器运行中会产生强大电磁场,电动机运行时磁场强度可达几十毫特斯拉到几百毫特斯拉,这些电磁场会通过空间辐射或传导对附近仪器产生干扰。无线电发射设备发出的电磁波也会对仪器造成干扰,尤其在无线电通信密集区域,通信频段内电磁波强度可达几微伏每米到几十微伏每米,这种干扰会更加明显。空间辐射干扰通过电磁波形式传播,具有距离远、覆盖广的特点。传导干扰通过电源线、信号线引入,干扰信号幅度达0.1V-1V即直接影响仪器内部工作。

2 硬件层面的抑制干扰策略

2.1 电源设计优化

在仪器仪表硬件体系里,电源设计优化是抑制干扰基础且关键一环。选用稳定电源模块是首要举措,这类模块经精心设计与严格测试,可输出纯净稳定直流电。电源纹波和噪声是电源输出不希望有的成分,会随电源进入仪器仪表内部电路,对信号精准采集、处理及传输产生不良影响。稳定电源模块凭良好性能,能从源头有效降低电源纹波和噪声幅度,保障后续电路稳定运行。电源滤波电路设计同样不可或缺,在电源电路合理加入电容、电感等元件构建滤波网络。电容通交流隔直流,对高频干扰信号提供低阻抗通路,使干扰被旁路,减少对电路影响;电感通直流阻交流,能抑制高频干扰信号通过。电容容值选择在0.1微法到100微法之间,电感感值选择在10微亨到1000微亨之间,通过二者巧妙组合,可滤除不同频率干扰信号,满足仪器仪表不同工作环境抗干扰需求。隔离电源应用能切断干扰传导路径,在对干扰敏感的仪器仪表中,采用隔离电源可将输入输出电源电气隔离,使输入电源干扰无法直接传到输出端,为内部电路营造干净工作环境。

2.2 电路布局与布线

合理的电路布局与布线对抑制干扰起着至关重要的作用。规划电路板布局时,要将模拟电路与数字电路分开布局。模拟电路对干扰十分敏感,微小干扰都可能导致信号失真;而数字电路工作时会产生高频噪声。将两者分开布局,距离保持在2厘米以上,可有效减少数字电路噪声对模拟电路的干扰,提高电路整体性能。信号线与电源线分开走线,尽量避免平行长距离走线。平行走线会增加信号线与电源线之间的耦合电容,导致传导耦合干扰增强。若无法避免平行走线,可适当增加两者距离,一般增加到3厘米以上,以降低耦合程度。对于敏感信号,采用屏蔽线传输是行之有效的抑制干扰方法。屏蔽线外层包裹着金属屏蔽层,像一道坚固的屏障,能将外界电磁干扰屏蔽在屏蔽层之外,保护内部信号线不受干扰,确保信号准确传输。屏蔽线的屏蔽层接地电阻要求小于4欧姆。

2.3 接地技术

正确选择接地方式是接地技术的核心要点。单点接地适用于低频电路,它能避免多个接地点之间因电位差而产生的干扰;多点接地则适用于高频电路,可降低接地阻抗,提高接地效果。需根据仪器仪表的工作频率和特性来精准确定合适的接地方式,当工作频率低于1MHz时,一般采用单点接地;当工作频率高于10MHz时,通常采用多点接地。良好的接地系统设计要确保接地电阻小。接地电阻小可保证接地电流能够顺利流入大地,提高接地效果,使干扰信号能够快速、有效地被导入大地^[2]。一般要求接地电阻小于1欧姆。同时要避免接地环路的形成。接地环路会在环路中产生感应电流,进而产生干扰,影响仪器仪表的正常工作。

2.4 屏蔽技术

对仪器仪表整体或关键部件进行屏蔽是抵御外界电磁干扰的重要手段。采用金属外壳对仪器仪表进行整体屏蔽,可将外界电磁场隔离在外,保护内部电路不受干扰。屏蔽材料的选择需依据干扰频率和强度。对于高频干扰,应选择导电性能好的材料,如铜、铝等;对于低频干扰,可选择磁导率高的材料,如铁、镍等。屏蔽体的接地处理也不容忽视。只有将屏蔽体良好接地,才能保证屏蔽效果,使屏蔽层上的干扰电流能够顺利流入大地。

2.5 滤波技术

在信号输入输出端口加入滤波器是滤除干扰信号的常用且有效的方法。根据仪器仪表的工作频率和干扰特性,可选择低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器等。低通滤波器允许低频信号通过,抑制高频干扰信号;高

通滤波器则相反;带通滤波器只允许特定频率范围内的信号通过。滤波器的设计与选型需精准无误。要根据仪器仪表的实际工作情况,选择合适的滤波器参数,如截止频率、带宽等,以确保滤波器能够有效滤除干扰信号,同时不影响有用信号的正常传输。

3 软件层面的抑制干扰策略

3.1 数字滤波算法

在软件抗干扰体系中,数字滤波算法占据重要地位。平均值滤波算法是基础且实用的方法,原理是对多次采样数据算术平均。实际应用中,随机干扰会使采样数据波动,多次采样取平均值,能有效平滑波动,降低对数据准确性的影响。例如温度测量系统,环境因素产生随机干扰,用平均值滤波算法对多次温度采样值平均,可得更接近真实温度的值。中值滤波算法对脉冲干扰抑制效果出色,从一组采样数据中选中值作有效值。脉冲干扰会使采样数据出现个别偏离正常范围大的值,中值滤波算法排除异常值影响,选中间数据作结果,保证数据可靠。比如信号传输受脉冲噪声干扰,用中值滤波算法可有效去除尖峰干扰。滑动平均滤波算法实时性优异,通过实时更新数据窗口内平均值滤波。和传统平均值滤波算法不同,它不用每次都重新采集大量数据计算,而是随新数据到来,移旧数据出新数据入窗口并算平均值,大大提高了实时性,适用于实时性要求高的控制系统。

3.2 软件陷阱技术

软件陷阱的设置是防止程序跑飞的有效手段。在程序存储器的未使用区域设置跳转指令,当程序由于干扰等原因偏离正常执行路径而进入未使用区域时,这些跳转指令会捕获跑飞的程序,并将其引导回正常的程序流程中,使程序能够继续正常运行。这就好比在迷宫中设置了一些引导标识,当程序迷失方向时,能通过这些标识找到正确的出路。通过合理规划程序存储结构,在关键逻辑节点间补充冗余引导指令,可进一步提升程序抗干扰冗余能力,确保在复杂电磁环境下仍能维持流程稳定性。

3.3 数据校验与纠错

数据校验与纠错是确保数据传输可靠性的关键环节。校验码的添加是数据校验的基础方法,常见的校验码有奇偶校验码、循环冗余校验码等。在数据传输前,根据一定的规则为数据添加校验码,接收方在接收到数据后,按照相同的规则对数据进行校验,检测数据在传输过程中是否发生错误。例如循环冗余校验码,它能够检测出数据中的多位错误,具有较高的可靠性。当检测到数据错误时,纠错算法的应用就显得尤为重要^[3]。通过采用一

定的纠错算法,能够对错误数据进行纠正,恢复数据的原始内容。不同的纠错算法适用于不同的错误类型和场景,合理选择和应用纠错算法可以大大提高数据传输的可靠性,确保数据的准确性和完整性。

4 系统层面的抑制干扰策略

4.1 系统隔离

系统隔离是提升仪器仪表抗干扰能力的重要举措,主要涵盖电气隔离与功能隔离两方面。电气隔离借助光耦、隔离变压器等关键器件来实现。光耦以光为媒介传输电信号,输入与输出在电气上完全隔离,能有效切断干扰从外部设备向仪器仪表的传导路径。隔离变压器则利用电磁感应原理,将一次侧与二次侧的电气连接隔开,阻止干扰信号通过电源线进入仪器仪表内部。例如在工业控制场景中,仪器仪表与电机等设备连接时,采用电气隔离可避免电机运行时产生的强电磁干扰影响仪器仪表的正常工作。功能隔离是将仪器仪表的不同功能模块进行独立设计。不同功能模块在工作时可能会产生不同类型的干扰,将这些模块进行隔离,可减少它们之间的相互影响。比如在一个复杂的测量仪器中,将信号采集模块、数据处理模块和显示模块进行功能隔离,信号采集模块采集到的微弱信号不会受到数据处理模块高频噪声的干扰,从而保证采集数据的准确性。

4.2 抗干扰设计规范与标准遵循

遵循相关的抗干扰设计规范和标准是确保仪器仪表具备良好抗干扰性能的基础。电磁兼容性标准是其中关键的一类,它规定了仪器仪表在电磁环境中应具备的抗干扰能力以及对外界产生的电磁干扰的限制。严格遵循这些标准,从设计阶段就考虑抗干扰因素,在制造过程中选用符合标准的元器件和材料,在产品使用前进行严格的检测,可确保仪器仪表在各种复杂的电磁环境下稳定运行。参考行业内的最佳实践和经验也是提升抗干扰性能的有效途径。行业内经过长期实践积累了许多成功的抗干扰设计方法和技巧,借鉴这些经验可以避免走弯

路,快速提高仪器仪表的抗干扰水平。例如,某些知名企业在仪器仪表抗干扰设计方面有着丰富的经验,学习他们的设计思路和方法,结合自身产品特点进行改进,能够显著提升产品的抗干扰性能。

4.3 系统调试与优化

在仪器仪表的研发和生产过程中,全面的抗干扰测试必不可少。电磁兼容性测试可评估仪器仪表在电磁环境中的抗干扰能力和自身发射的电磁干扰程度;环境适应性测试则考察仪器仪表在不同温度、湿度、振动等环境条件下的抗干扰能力。通过这些测试,能够发现仪器仪表在抗干扰方面存在的问题^[4]。根据测试结果对仪器仪表进行调试和优化是提升抗干扰能力的关键环节。针对硬件方面,可调整电路参数、优化电路布局、更换抗干扰性能更好的元器件等;对于软件方面,可优化数字滤波算法、改进软件陷阱技术的设置等。通过这些调整和优化措施,不断提高仪器仪表的抗干扰能力,确保其在各种复杂环境下都能可靠工作。

结束语

仪器仪表的抗干扰问题是一个复杂且关键的问题,需要从硬件、软件和系统等多个层面进行综合考量与处理。通过合理运用各类抑制干扰策略,能够有效降低干扰对仪器仪表的影响,提高其测量精度和稳定性,确保仪器仪表在各种复杂环境下都能可靠运行,为工业生产、科学研究等领域的稳定发展提供有力保障。

参考文献

- [1]宋晗.电子仪器仪表中电磁干扰的抑制方法研究[J].中国设备工程,2021(14):147-148.
- [2]宋长勇.仪器仪表抑制干扰的有效策略[J].电子技术与软件工程,2021(01):64-65.
- [3]武海波,李彪.电子仪器仪表中电磁干扰的抑制的方法[J].电子测试,2022,36(18):99-100+92.
- [4]林敏鑫.电子仪器仪表中电磁干扰的抑制方法探析[J].中国设备工程,2022(16):104-106.