

模拟传感器的抗干扰措施

龚瑞昆 曾秀丽

摘要：本文分析了影响模拟传感器小信号处理精度的干扰根源、干扰种类以及干扰现象，给出了实际应用中的各种抗干扰措施。

关键词：模拟传感器；小信号处理；抗干扰措施

中图分类号：TP212.1 文献标识码：A

一、前言

模拟传感器的应用非常广泛，不论是在工业、农业、国防建设，还是在日常生活、教育事业以及科学研究等领域，处处可见模拟传感器的身影。但在模拟传感器的设计和使用中，都有一个如何使其测量精度达到最高的问题。而众多的干扰一直影响着传感器的测量精度，如：现场大耗能设备多，特别是大功率感性负载的启停往往会使电网产生几百伏甚至几千伏的尖脉冲干扰；工业电网欠压或过压（涉县钢铁厂供电电压在160V~310V波动），常常达到额定电压的35%左右，这种恶劣的供电有时长达几分钟、几小时，甚至几天；各种信号线绑扎在一起或走同一根多芯电缆，信号会受到干扰，特别是信号线与交流动力线同走一个长的管道中干扰尤甚；多路开关或保持器性能不好，也会引起通道信号的窜扰；空间各种电磁、气象条件、雷电甚至地磁场的变化也会干扰传感器的正常工作；此外，现场温度、湿度的变化可能引起电路参数发生变化，腐蚀性气体、酸碱盐的作用，野外的风沙、雨淋，甚至鼠咬虫蛀等都会影响传感器的可靠性。模拟传感器输出的一般都是小信号，都存在小信号放大、处理、整形以及抗干扰问题，也就是将传感器的微弱信号精确地放大到所需要的统一标准信号（如1VDC~5VDC或4mADC~20mADC），并达到所需要的技术指标。这就要求设计制作者必须注意到模拟传感器电路图上未表示出来的某些问题，即抗干扰问题。只有搞清楚模拟传感器的干扰源以及干扰作用方式，设计出消除干扰的电路或预防干扰的措施，才能达到应用模拟传感器的最佳状态。

二、干扰源、干扰种类及干扰现象

传感器及仪器仪表在现场运行所受到的干扰多种多样，具体情况具体分析，对不同的干扰采取不同的措施是抗干扰的原则。这种灵活机动的策略与普适性无疑是矛盾的，解决的办法是采用模块化的方法，除了基本构件外，针对不同的运行场合，仪器可装配不同的选件以有效地抗干扰、提高可靠性。在进一步讨论电路元件的选择、电路和系统应用之前，有必要分析影响模拟传感器精度的干扰源及干扰种类。

1、主要干扰源

（1）静电感应

静电感应是由于两条支电路或元件之间存在着寄生电容，使一条支路上的电荷通过寄生电容传送到另一条支路上去，因此又称电容性耦合。

（2）电磁感应

当两个电路之间有互感存在时，一个电路中电流的变化就会通过磁场耦合到另一个电路，这一现象称为电磁感应。例如变压器及线圈的漏磁、通电平行导线等。

（3）漏电流感应

由于电子线路内部的元件支架、接线柱、印刷电路板、电容内部介质或外壳等绝缘不良，特别是传感器的应用环境湿度较大，绝缘体的绝缘电阻下降，导致漏电流增加就会引起干扰。尤其当漏电

流流入测量电路的输入级时，其影响就特别严重。

(4) 射频干扰

主要是大型动力设备的启动、操作停止的干扰和高次谐波干扰。如可控硅整流系统的干扰等。

(5) 其他干扰

现场安全生产监控系统除了易受以上干扰外，由于系统工作环境较差，还容易受到机械干扰、热干扰及化学干扰等。

2、干扰的种类

(1) 常模干扰

常模干扰是指干扰信号的侵入在往返 2 条线上是一致的。常模干扰来源一般是周围较强的交变磁场，使仪器受周围交变磁场影响而产生交流电动势形成干扰，这种干扰较难除掉。

(2) 共模干扰

共模干扰是指干扰信号在 2 条线上各流过一部分，以地为公共回路，而信号电流只在往返 2 个线路中流过。共模干扰的来源一般是设备对地漏电、地电位差、线路本身具有对地干扰等。由于线路的不平衡状态，共模干扰会转换成常模干扰，就较难除掉了。

(3) 长时干扰

长时干扰是指长期存在的干扰，此类干扰的特点是干扰电压长期存在且变化不大，用检测仪表很容易测出，如电源线或邻近动力线的电磁干扰都是连续的交流 50 Hz 工频干扰。

(4) 意外的瞬时干扰

意外瞬时干扰主要在电气设备操作时发生，如合闸或分闸等，有时也在伴随雷电发生或无线电设备工作瞬间产生。

干扰可粗略地分为 3 个方面：

- (a) 局部产生（即不需要的热电偶）；
- (b) 子系统内部的耦合（即地线的路径问题）；
- (c) 外部产生（Bp 电源频率的干扰）。

3、干扰现象

在应用中，常会遇到以下几种主要干扰现象：

- (1) 发指令时，电机无规则地转动；
- (2) 信号等于零时，数字显示表数值乱跳；
- (3) 传感器工作时，其输出值与实际参数所对应的信号值不吻合，且误差值是随机的、无规律的；
- (4) 当被测参数稳定的情况下，传感器输出的数值与被测参数所对应的信号数值的差值为一稳定或呈周期性变化的值；
- (5) 与交流伺服系统共用同一电源的设备（如显示器等）工作不正常。

干扰进入定位控制系统的渠道主要有两类：信号传输通道干扰，干扰通过与系统相联的信号输入通道、输出通道进入；供电系统干扰。

信号传输通道是控制系统或驱动器接收反馈信号和发出控制信号的途径，因为脉冲波在传输线上会出现延时、畸变、衰减与通道干扰，所以在传输过程中，长线的干扰是主要因素。任何电源及输电线路都存在内阻，正是这些内阻才引起了电源的噪声干扰，如果没有内阻，无论何种噪声都会被电源短路吸收，线

路中也不会建立起任何干扰电压；此外，交流伺服系统驱动器本身也是较强的干扰源，它可以通过电源对其它设备进行干扰。

三、抗干扰的措施

1、供电系统的抗干扰设计

对传感器、仪器仪表正常工作危害最严重的是电网尖峰脉冲干扰，产生尖峰干扰的用电设备有：电焊机、大电机、可控机、继电器、带镇流器的充气照明灯，甚至电烙铁等。尖峰干扰可用硬件、软件结合的办法来抑制。

(1) 用硬件线路抑制尖峰干扰的影响

常用办法主要有三种：

①在仪器交流电源输入端串入按频谱均衡的原理设计的干扰控制器，将尖峰电压集中的能量分配到不同的频段上，从而减弱其破坏性；

②在仪器交流电源输入端加超级隔离变压器，利用铁磁共振原理抑制尖峰脉冲；

③在仪器交流电源的输入端并联压敏电阻，利用尖峰脉冲到来时电阻值减小以降低仪器从电源分得的电压，从而削弱干扰的影响。

(2) 利用软件方法抑制尖峰干扰

对于周期性干扰，可以采用编程进行时间滤波，也就是用程序控制可控硅导通瞬间不采样，从而有效地消除干扰。

(3) 采用硬、软件结合的看门狗（watchdog）技术抑制尖峰脉冲的影响

软件：在定时器定时到之前，CPU访问一次定时器，让定时器重新开始计时，正常程序运行，该定时器不会产生溢出脉冲，watchdog也就不会起作用。一旦尖峰干扰出现了“飞程序”，则CPU就不会在定时到之前访问定时器，因而定时信号就会出现，从而引起系统复位中断，保证智能仪器回到正常程序上来。

(4) 实行电源分组供电，例如：将执行电机的驱动电源与控制电源分开，以防止设备间的干扰。

(5) 采用噪声滤波器也可以有效地抑制交流伺服驱动器对其它设备的干扰。该措施对以上几种干扰现象都可以有效地抑制。

(6) 采用隔离变压器

考虑到高频噪声通过变压器主要不是靠初、次级线圈的互感耦合，而是靠初、次级寄生电容耦合的，因此隔离变压器的初、次级之间均用屏蔽层隔离，减少其分布电容，以提高抵抗共模干扰能力。

(7) 采用高抗干扰性能的电源，如利用频谱均衡法设计的高抗干扰电源。这种电源抵抗随机干扰非常有效，它能把高尖峰的扰动电压脉冲转换成低电压峰值（电压峰值小于TTL电平）的电压，但干扰脉冲的能量不变，从而可以提高传感器、仪器仪表的抗干扰能力。

2、信号传输通道的抗干扰设计

(1) 光电耦合隔离措施

在长距离传输过程中，采用光电耦合器，可以将控制系统与输入通道、输出通道以及伺服驱动器的输入、输出通道切断电路之间的联系。如果在电路中不采用光电隔离，外部的尖峰干扰信号会进入系统或直接进入伺服驱动装置，产生第一种干扰现象。

光电耦合的主要优点是能有效地抑制尖峰脉冲及各种噪声干扰，使信号传输过程的信噪比大大提高。干扰噪声虽然有较大的电压幅度，但是能量很小，只能形成微弱电流，而光电耦合器输入部分的发光二极管

管是在电流状态下工作的，一般导通电流为 10mA~15mA，所以即使有很大幅度的干扰，这种干扰也会由于不能提供足够的电流而被抑制掉。

(2) 双绞屏蔽线长线传输

信号在传输过程中会受到电场、磁场和地阻抗等干扰因素的影响，采用接地屏蔽线可以减小电场的干扰。双绞线与同轴电缆相比，虽然频带较差，但波阻抗高，抗共模噪声能力强，能使各个小环节的电磁感应干扰相互抵消。另外，在长距离传输过程中，一般采用差分信号传输，可提高抗干扰性能。采用双绞屏蔽线长线传输可以有效地抑制前文提到的干扰现象中的 (2)、(3)、(4) 种干扰的产生。

3、局部产生误差的消除

在低电平测量中，对于在信号路径中所用的(或构成的)材料必须给予严格的注意，在简单的电路中遇到的焊锡、导线以及接线柱等都可能产生实际的热电势。由于它们经常是成对出现，因此尽量使这些成对的热电偶保持在相同的温度下是很有效的措施，为此一般用热屏蔽、散热器沿等温线排列或者将大功率电路和小功率电路分开等办法，其目的是使热梯度减到最小两个不同厂家生产的标准导线(如镍铬-康铜线)的接点可能产生 $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 的温漂，这相当于高精度低漂移的运放管(OP·27CP)的温漂，是斩波放大器(7650CPA)温漂的两倍。虽然采用插座开关、接插件、继电器等形式能使更换电器元件或组件方便一些，但缺点是可能产生接触电阻、热电势或两者兼而有之，其代价是增加低电平分辨力的不稳定性，也就是说它比直接连接系统的分辨力要差、精度要低、噪声增加、可靠性降低。因此，在低电平放大中尽可能地不使用开关、接插件是减少故障、提高精度的重要措施。

在微伏信号放大电路中，焊锡也可能成为低电平的故障，因为在焊锡的焊点上产生热电势。因而，在微伏电平的输入电路中应采用特殊的低温焊锡，比如kester1544型焊锡，甚至还有这样的例子：必须在一条线路中仔细地切断一处，再用焊锡接起来用于补偿另一条线路中搭接处或焊锡点所产生的热电势。

4、接地问题处理办法

在低电平放大电路中合理“接地”是减少“地”噪声干扰的重要措施，必须予以特别注意。当使用单电源供给多只传感器、仪器仪表时，应该尽量减少接地电阻引进的干扰。若供电电源的压降必须减到最小，则电源“高”端导线也可按相似的方法接线。包括有多个电源和多个传感器、仪器仪表的系统则需要考虑得更多一些，通常不管电源是谁供给，将地线汇集到公共点，然后和系统的公共端接在一起，所有电源 1 的负载都回到电源 1 公共端，所有的电源 2 负载都回到电源 2 的公共端，最后用一条粗导线将公共端连在一起。在多电源系统中，可能需要进行判断性试验，确定地线接法，以达到最佳的解决方案。

为了便于信号的传输和变换，DINIEC381 标准规定了允许的电流和电压值。常用的电压信号是 0V~10V，电流信号是 0mA~20mA 或 4mA~20mA。这些信号常用于远距离传输。电压信号在传输过程中要受到诸如传输距离等条件的限制，而电流信号在传输过程中干扰对它的影响较小，因此应尽量采用电流信号。测量回路中如果有接地，在两个接地点之间会出现电位差。这个电位差对测量结果会产生很大的影响，应尽量避免其接地。但如果必须接地，这时就必须将接地回路隔离开，以避免造成测量误差。有源数字元件在开、关时会在电源线上产生一个快速的电流变化，这个电流在导线电感上不仅会引起正的电压降，而且还会引起负的电压降。这种电压的改变被当作干扰在主线路上传输。另外，电源中的换向操作单元(如频率器)同样会产生干扰，这个干扰作为窄带频率能量耦合进入导线并传播。接在后边的电路必须将这些高频的干扰电压通过低通滤波器滤去。

5、软件滤波

软件滤波是智能传感器、仪器仪表所独有的，可对包括频率很低(如 0.01Hz)的干扰信号在内的各种干扰信号进行滤波，而且一个数字滤波程序能为多个输入通道共用。常用的软件滤波方法有：

(1) 平均值滤波, 即把 M 次采样的自述平均值作为滤波器的输出, 也可以根据需要增加新鲜采样的值的比重, 形成加权平均值滤波;

(2) 中值滤波, 即把 M 次连续采样值进行排序, 取其中位值作为滤波器的输出, 这种方法对缓变过程的脉冲干扰滤波效果良好;

(3) 限幅滤波, 这种方法是根据采样周期和真实信号的正常变化率确定相邻两次采样的最大可能差值 Δ , 将本次采样和上次采样的差值小于等于 Δ 的信号认为是有效信号, 大于 Δ 的信号作为噪声处理。

(4) 惯性滤波, 此乃模拟PC滤波器的数字实现, 适用于波罢频繁的有效信号。

6、其他抗干扰技术

(1) 稳压技术

目前智能传感器及仪器仪表开发中常用的稳压电源有两种: 一种是由集成稳压芯片提供的串联调整电源, 另一种是DC-DC稳压电源, 这对防止电网电压波动干扰仪器正常工作十分有效。

(2) 抑制共模干扰技术

采用差分放大器, 提高差分放大器的输入阻抗或降低信号源内阻可大大降低共模干扰的影响。

(3) 软件补偿技术

外界因素如温湿度变化等也会引起某些参数的变化, 造成偏差。我们可以利用软件根据外界因素的变化和误差曲线进行修正, 去掉干扰。

四、小结

抗干扰是一个非常复杂、实践性很强的问题, 一种干扰现象可能是由若干因素引起的。因此, 在智能传感器、仪器以及测控系统的设计中, 我们不仅应预先采取抗干扰的措施, 在调试过程中还应及时分析出遇到的现象, 对传感器、仪器仪表的电路原理、具体布线、屏蔽、电源的抗扰动能力、数字地或模拟地的处理以及防护形式不断改进, 提高传感器的可靠性和稳定性。

参考文献:

- [1] 翟墨, 刘文彦, 邓新中. 地环流抑制技术的探讨[J]. 自动化仪表, 2003, 3: 21~24
- [2] 龚瑞昆, 李奇平. 改善传感器特性的软件处理方法[J]. 自动化仪表, 2001, 3: 42—47
- [3] 杨天怡, 共勤. 微型计算机控制技术[M]. 重庆大学出版社, 1996年6月
- [4] 王化祥, 张淑英. 传感器原理及应用[M]. 天津大学出版社, 1988
- [5] 刘东辉, 陈德智, 孙晓芸等. 一种基于小波分析的除噪方法[J]. 仪器仪表学报, 2000, 12(636~656)
- [6] 何立民. MCS-51单片机应用系统设计[M]. 北京航空航天大学出版社, 1990年3月

Anti-Jamming Measurement About Analog Sensors

Abstract: In this paper, disturbing sources and sorts which affecting the precision of small signal process of analog sensors have been analyzed, and phenomena of disturbance are also introduced. Some anti-jamming measurement methods are presented.

Keywords: analog sensor; small signal process; anti-jamming measurement

