

# 电子测量仪器信道噪声的对消

朱延海

(江苏警官学院 公安科技系, 江苏 南京 210012)

**[摘要]** 在现代电子测量技术中,通过传感器可以将各种物理量转换为电信号进行分析处理.电信号进入电子测量仪器信道进行放大、处理,这一过程不可避免地会受到各种噪声的干扰,这些噪声叠加在有用信号上,必然会降低测量结果的准确度和可信度.在这些噪声中,加性噪声具有普遍性和不可避免性,加性噪声的 3 种主要存在形式:热噪声、散弹噪声和宇宙噪声,这 3 种噪声都是高斯噪声,在相当宽的频率范围内具有平坦的功率谱密度,据此可以利用噪声自身在信道中进行消除.在信号放大通路中,利用回程期间存储噪声信号,正程时进行噪声消除,在工程实际电路的实现中,电路的形式和元器件的选择对性能的影响,要进行调整,对其中应注意的问题提出了解决方法,最后给出了实际应用中的结论性结果.

**[关键词]** 测量仪器,随机过程,噪声,信道

**[中图分类号]** TM 938.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 16 2-1292(2005)03-0012-04

## On the Noise Silencing in the Channel of Electronic Measuring Apparatus

ZHU Yanhai

(Department of Forensic Science, Jiangsu Police Officer College, Jiangsu Nanjing 210012, China)

**Abstract** In the modern technology of electronic measurement, all kinds of physical quantities can be analyzed through transducer by converting them into signals. The process of amplifying and treating signals in the channel of electronic measurement will be unavoidably disturbed by various noises which, once added up on useful signals, are certain to lower the accuracy and validity of the results measured. Among these noises, a popular and inevitable noise, additive noise, is analyzed in the paper through its three forms: thermal noise, shot noise and cosmic noise. Based on this, the paper then puts forward the theory of noise silencing in the channel and proves its feasibility and realization in the real electric circuits. By giving some solutions to problems, the paper ends with a conclusive result in the real practice.

**Key words** measuring apparatus, stochastic process, noise, channel

在现代电子测量仪器中,人们大量应用计算机技术,实现各种自动化控制.在数据的采集、测量、分析以及处理等方面提供日益灵活高效的方法,虚拟仪器的技术也日渐成熟.对于数字信号,计算机处理起来比较方便,在数字信号处理这一广大的领域,几乎可以达到随心所欲的地步.然而,不可避免的一个问题是,大量的应用场合都涉及到模拟信号的处理问题.在测量过程中,原始信号往往是一个模拟量.比如从某个传感器输出的信号,在将模拟量转换成数字量以供计算机进行处理时,如果这个模拟量是一个已经受到各种噪声(noise)干扰的信号,那么再将它转换成数字信号必然会带来误差,有时这个误差会很大,甚至会使测量结果变得无意

义.虽然人们已采取了多种方法,比如加屏蔽、提高电源纯净度、加隔离,等等.但是,绝大多数场合,噪声是不可避免的,需要采用其他的途径,尽可能降低对测量结果的影响.

### 1 信道中的加性噪声

本文考虑利用噪声自身特点,采用对消的方法,尽量消除噪声.这里主要考虑加性噪声,这是因为加性噪声是几乎所有信道中都会引入的,研究尽可能降低其对信号处理的影响更具有普遍意义.对于人为引起的噪声,例如电器开关引起的干扰等,以及由于电源哼声、自激振荡、内部谐波等,应从系统的设计和应用方面加以考虑,不在本文研究范围

收稿日期: 2005-05-20

作者简介: 朱延海(19 0-),讲师,主要从事电子与计算机应用等方面的教学与研究. E-mail: zhuyanhai@jpi.gov.cn

之内. 本文以不能准确预测其波形的随机 (stochastic) 噪声为对象, 其中又以起伏噪声为主. 因为这类噪声是电子测量系统中普遍存在且不可避免的, 它在很大程度上影响了信道的传输质量, 电子测量仪器信道中的噪声对测量动态的影响是相当大的. 首先分析这类噪声, 它们一般包括以下几种:

### (1) 热噪声

由电子元器件中自由电子的布朗运动引起, 电子运动的随机性, 以及与其它粒子碰撞, 使其运动的途径是随机的和曲折的. 这种随机运动会产生一个交流电流成分, 形成热噪声, 它与环境温度关系密切, 热噪声符合高斯分布.

### (2) 散弹噪声

由电子元器件中电子发射的不均匀性引起. 一般而言, 在一定温度下, 电子元器件发射电子的平均数目是一常数, 但实际发射的电子数目随时间是变化的和不能预测的, 这使得发射电子所形成的电流是在一个平均值上有起伏变化. 这个起伏电流称为散弹噪声, 它也符合高斯分布.

### (3) 宇宙噪声

由天体辐射波带来, 它在整个空间的分布是不均匀的, 工程上在工作频率低于 300MHz 时就要考虑其影响, 它也符合高斯分布.<sup>[1]</sup>

这些噪声都是高斯噪声, 在相当宽的频率范围内具有平坦的功率谱密度. 在电子测量仪器信道中, 噪声源是分散在系统各处的噪声的集中体现. 为分析问题的方便, 我们把上述热噪声、散弹噪声和宇宙噪声的集中表现理解成起伏噪声, 在工程上, 可以统一由高斯白噪声这一模型为研究对象.

这一随机过程的概率分布函数<sup>[2]</sup>为:

$$F_X(x_1, x_2, \dots, x_k; t_1, t_2, \dots, t_k) = P\{X_1 \leq x_1, X_2 \leq x_2, \dots, X_k \leq x_k\}$$

概率密度函数为:

$$f_X(x_1, \dots, x_k; t_1, \dots, t_k) = \frac{\partial^k F_X(x_1, \dots, x_k; t_1, \dots, t_k)}{\partial x_1 \dots \partial x_k}$$

一般而言, 这类噪声作用于信道, 其效果是持久的而且相对稳定的. 利用这个特点, 我们可以用其自身进行对消, 尽量削弱其对信道的影响. 经实践, 效果明显, 测量动态有了很大的提高.

## 2 信道噪声对消原理

电子测量仪器的信号通道用来放大输入的信号, 供下级电路进一步的处理, 在信号通道的前级往往是初级放大器, 当然也要考虑输入电压变化范围大时的嵌位电路, 以防串入高电压损坏器件.

对于前置放大器, 放大倍数不宜过大. 若要使整个信道有较高的增益, 应采用多级放大的形式. 在进行实际测量时, 信道不可避免会串入噪声信号, 各级电路也会产生失调电压和温度漂移等情况. 如果能在前置放大电路和下级放大电路之间增加一个噪声消除电路, 并在设计电路时充分考虑屏蔽以及优质器件的使用, 则可大大降低各种噪声的干扰, 尽可能较真实地将有用信号放大, 馈送到下级处理电路中去, 有效提高测试的准确性<sup>[3]</sup>.

本文研究在前置放大电路后的噪声对消方案, 之所以考虑在前置放大器之后采用此电路, 是因为前置本身即为一与外界隔离电路, 且有一定的增益, 在前置电路输出之后进行处理较为方便. 对于前置放大级, 要求其增益不要太大, 工程应用中往往控制在 5~10 倍左右. 且应选用漂移小的器件, 对失调电压, 调试时应耐心调零, 一般保证在常温下零输入时其输出为接近零即可.

电信号的测试往往是对待测电路的特性测试, 其过程通常是将一已知的信号输入该被测件 (devices under test DUT), 通过测试其输出信号来研究其电特性. 信号源在工作时一般分为正程和回程两个阶段, 正程有信号, 回程消隐. 测试过程中信号源应与测试仪器同步, 测量仪器正程处理和显示信号, 回程消隐. 由于在回程期间无有用信号, 只有噪声信号, 若将此噪声信号保存, 并反相叠加在正程信号上 (正程阶段前置输出包含有用信号和噪声信号), 则可对消噪声信号, 从而获得去噪的有用信号. 实现这一过程的原理如图 1 所示.

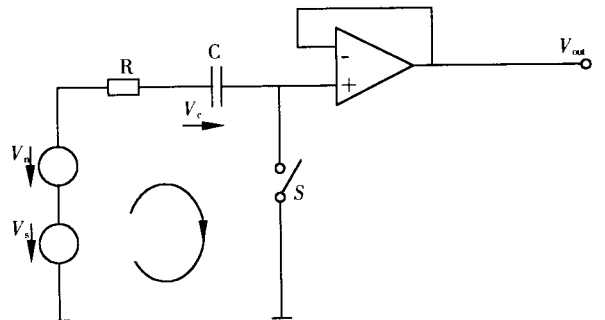


图1 信道噪声对消原理框图

图中  $V_s$  是经检波和放大后的信号电压, 是测量曲线的代表, 因为在信号源的回扫期间没有输出 RF 信号, 所以  $V_s$  仅在显示周期的正程有值.  $V_n$  是噪音电压, 一般来自被放大的解调后的噪声信号电压. 包括原有内部振荡器的被测件, 如接收机混频器等所产生的噪声, 各种加性噪声, 以及前置放大器的失调电压等. 与  $V_s$  不同,  $V_n$  不仅在正程扫描期间出现, 还出现在回扫期间<sup>[4]</sup>.

在回扫的部分时间里, 开关 S 闭合, 因为  $V_s = Q/C$  电容 C 被充电, 使  $V_c = V_n$ , 在扫频时, 开关 S 打开, 则如图所示闭环有:  $-V_n - V_s + V_c + V_{out} = 0$

即:  $V_{out} = V_s - V_c + V_n$ , 因为,  $V_c = V_n$

所以:

$$V_{out} = V_s - V_n + V_n = V_s$$

由于电容 C 上的电压使  $V_n$  被抵消, 为了不影

响环路, 下一级电路必须有很高的输入电阻以防止当开关 S 打开时电容 C 的放电, 因此在扫描正程 (S 打开) 时,  $V_n$  尽可能在较长时间内保持不变时才有意义.

### 3 工程应用电路实现

实现上述原理的实际电路如图 2 所示.

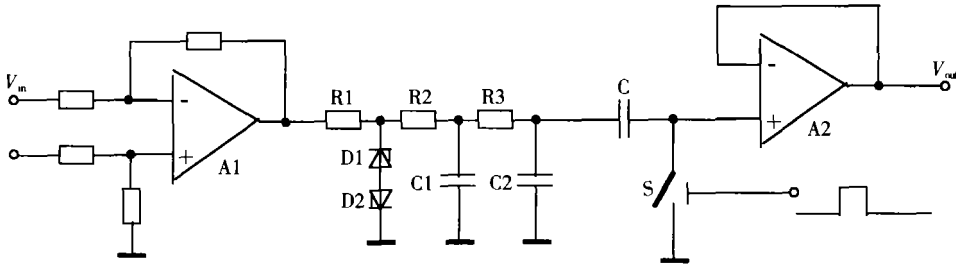


图 2 信道噪声对消电路图

图中, 集成运放 A1 组成前置放大电路, 一方面提供一定的增益, 另一方面也是在信道和被测件之间起隔离作用. 对 A1 要求选用温漂小, 失调电压小的器件, 调试时应耐心调零. 稳压二极管 D1 和 D2 组成电压嵌位保护电路, 阻容网络 R2 R3 C1 C2 组成低通滤波电路, 用来滤除掉一些高频干扰. 电容 C1 C2 的取值一般较小, 可选在 22nF 左右, 太大就会影响到有用的测量信号曲线. 电容 C 为信道噪声对消用电容, 要求采用漏电小的电容. 开关 S 采用电子开关电路, 其控制电压为一脉冲.

在实际应用中, 电子开关 S 在使用时, 要求开关导通时等效阻值尽可能小, 断开时阻值尽可能大, 尽量符合理想开关状态. 不然会影响电容上电压的充放电过程, 电子开关的控制信号产生在回扫期间的部分时间里, 它实际上是一个持续若干 ms 的正脉冲. 这个信号可由单片机产生, 也可由集成电路触发器产生. 在正程期间通过电阻 R (由 R1 R2 R3 等组成) 对电容 C 充电. 由于 RC 网络具有比较大的时间常数, 从前置放大过来的噪声不会影响杂波信号的抑制精度. 实际电路中, 电容 C 的取值一般在 10μF 左右, 电阻 R 的前后往往可根据需要增加电压嵌位保护电路, 一般 R 的取值在几 hΩ 至几 kΩ 欧之间为宜, 过大过小均不合适. 电路中的集成运放 A2 要求精度高, 输入阻抗要高, 对增益没有要求. 失调电压要尽可能的小, 实际电路将集成运放 A2 接成同相跟随形式, 就是出于这些考虑<sup>[5]</sup>.

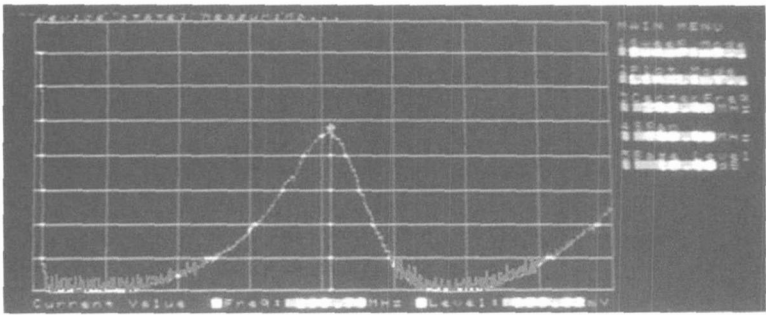
若假定由被测件引起的 RF 噪声有稳定的幅度或者仅仅是幅度的微小波动, 那么主要是运放的失调电压的漂移会尽可能影响这个噪声对消过程. 对

实际的电子测量仪器来说, 比如扫频仪, 对通常被测件, 最慢扫频时间一般为 2 s 时基本上就不会对测量曲线造成影响. 运放不可能在这时间内改变它的失调电压. 在一些特殊测量场合, 要求采用慢扫选件, 对关心的某些频率点周围作细致观察. 这时慢扫时间可达 30 s 若使得开关嵌位维持的脉冲持续时间为 35 / ms 此时至少在每 35 ms 内完成一次校零, 这样就可以保证噪声对消过程的顺利实现.

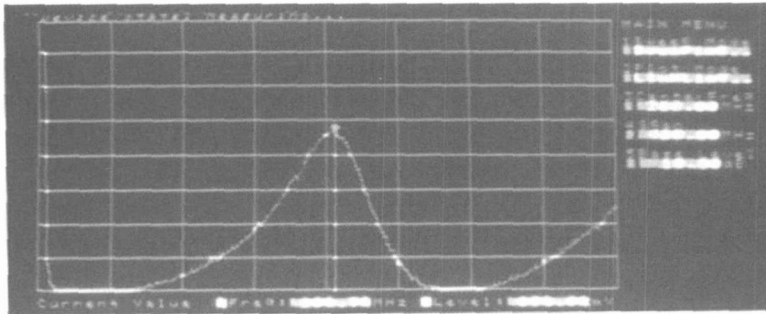
经实验, 在进行小信号对数动态测量时, 信道中加入噪声对消电路, 可以显著提高测量的动态范围. 对于 0~ 1000MHz 的扫频信号源, 其输出电压为 1 V, 阻抗为 50 Ω, 直接将其通过宽带检波后加入对数测量信道. 屏幕上显示的有效可分辨的动态只有 40 多 dB, 测量曲线底部已叠加了噪声, 噪声幅度甚至超过了信号本身; 当信道中加入噪声对消电路, 对数动态达到 63 dB 以上, 测量曲线底部仍比较光滑. 如图 3 所示. 若再配合平滑电路的使用, 测量效果明显提高, 说明确实降低了随机噪声对信道的影响.

### 4 结束语

噪声对消电路不仅在电子测量信道中可以提高测量的动态范围, 降低噪声影响. 还可以运用在通信信道等其他场合, 对于提高模数转换时的动态范围也比较有效. 这比单纯从数字转换及变换角度去研究如何提高精度更有效, 它是从源头上去除噪声, 而不是在信号包含大量噪声的情况下去研究算法, 并且实现简单, 在速度上一般不会对信道带来不利的影响.



(a) 未加噪声消除电路,底部叠加有噪声



(b) 增加噪声消除电路,底部较为平滑

图 3 增加噪声消除电路前后比较

[参考文献]

[1] 樊昌信, 詹道庸, 徐炳祥, 等. 通信原理[M]第4版. 北京: 国防工业出版社, 1999. 53-56

[2] 金连文, 韦岗. 现代数字信号处理简明教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 23-25

[3] 常向阳, 魏凯丰, 陈晓东. 常用智能仪器的原理与使用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1993. 90-93

[4] A M 鲁特金. 常用电子测量仪器的使用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1991. 50-51

[5] 李树雄. 电路基础与模拟电子技术(修订本)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005. 129-181

[责任编辑: 刘健]