

约翰逊噪声温度高温绝对测量

M. G. Pepper 等

一、概 述

为了研究电噪声现象和噪声测量用于测温的可能,曾经进行了许多研究工作。这些研究工作的主要结果已证实在噪声测量中所涉及到的基本实验困难,并叙述了为了克服这些困难的各种技术的研究和应用情况。

二、涉及到的困难

1. 放大器的增益和噪声

直接测量时,必须要在温度测量所要求的准确度范围内知道放大器的增益和噪声,而且放大器的增益与噪声必须与输入负载无关。在测量期间,放大器的增益也必须在要求的准确度范围内是稳定的。

2. 信号频谱分布

必须在要求的测量准确度范围内知道信号的频谱分布和放大器的通频带 Δf ,因为噪声信号的大小 \bar{V}^2 与信号带宽 Δf 成正比。噪声信号和带宽之间的关系由Nyquist公式给出:

$$\bar{V}^2 = 4kTR\Delta f \quad (1)$$

式中: k ——玻尔兹曼常数;

R ——电阻值;

T ——电阻器的绝对温度。

3. 敏感元件电阻值

噪声信号(均方电压 \bar{V}^2)的大小与敏感元件电阻 R 的数值成正比。因此需要在要求的温度(T)测量准确度范围内检测电阻的数值。

4. 分布电容和输入电容

与敏感元件及放大器输入端并联的任何电

容将减小方程(1)适合的频带宽度 Δf ,因此减小被测信号的数值,并加大检测的统计误差。

5. 检测的统计误差

高斯噪声信号以平方规律检测的统计误差与测量时间 τ 及前检波通频带 Δf 有关:

$$\frac{\Delta \bar{V}^2}{\bar{V}^2} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{(2\tau\Delta f)^{1/2}} \quad (2)$$

因此对于给定的一个可能受实验或环境限制的测量时间(或后检波时间常数)来说,测量误差是由前检波噪声信号通过频带 Δf 决定的。因此,设计噪声温度计的一个课题是使得 Δf 为最大值。

三、开关技术

开关技术(零值法或比较法)(图1)的应用可以表明第一个困难已去除。使用高增益的场效应晶体管作为源跟随器,可以使得放大器增益和输出端负载上的噪声之间的依赖关系忽略不计。应该指出,由某些作者(Hogue 1954, Pursey 和 pyatt 1959, Actis 等1972)推荐的共射共基放大器线路的增益与输入负载有关,因为仍然存在Miller电容反馈。正如Fink (1959)使用的那样,Garrison的相关线路可以免除由开关本身接触电势造成的困难。

然而在使用开关的情况下,仍然存在二、2~5节的困难,而且进一步的问题是造成一个具有和敏感元件同样噪声频谱的参考系统。至今这些困难还妨碍着噪声测量成功地用

于测温技术。因此发展了下列系统，以克服或减小这些困难。

四、串联调谐滤波器

1. 被测信号 \bar{V}^2 的大小

着手目前研究计划的主要动力是由于认识到如果把温度为 T 的测量电阻 R 接到调谐线路（图2），那么由于把全部信号在所有频率范围上进行积分，在电容 C 两端发出的均方电压可以做成与电阻值无关。如果放大线路和检测线路的频带宽度比调谐线路的频带宽度 $(R/2\pi L)$ 大得多，那末

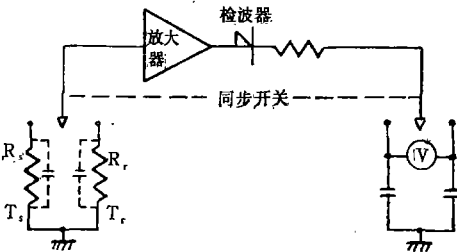


图1 基本的开关式噪声温度计

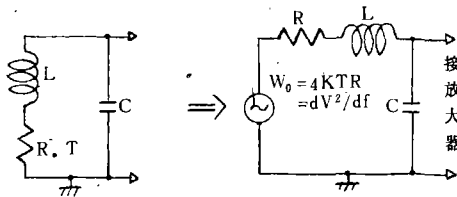


图2 串联调谐线路

$$\bar{V}^2 = \frac{kT}{C} \quad (3)$$

结果仅仅取决于电阻的绝对温度和电容 C 的大小。这种结果是所要叙述的方法的基础。

2. 信号检测的统计误差

可以看出，在图2电容两端的均方电压检测的统计误差由下式表示：

$$\frac{\Delta \bar{V}^2}{\bar{V}^2} = \frac{1}{(2\pi\tau\Delta f)^{1/2}} \quad (4)$$

式中： τ ——测量时间； $\Delta f (= R/2\pi L)$ ——经过滤波之后噪声信号的频带宽度。

当应用开关技术时，引入系数2，那末现在均方电压检测误差或温度测量误差是：

$$\frac{\Delta \bar{V}^2}{\bar{V}^2} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{2}{(2\pi\tau\Delta f)^{1/2}} = 2\left(\frac{L}{rR}\right)^{1/2} \quad (5)$$

如果使用低噪声放大器，并测量高于300开的温度，那末由放大器噪声的统计涨落引入的误差可以忽略不计。

因此可以看到，如果以1秒的测量时间、在6兆赫谐振频率下带宽为0.3兆赫 ($Q \approx 20$)，那末统计误差大约只有0.1%。因此相对于以前的任何工作来说，串联滤波器的应用改善了统计误差，避免了由于分布电容造成的带宽减小或带宽有限的问题。现在叙述这些结果的实验应用和参考信号的产生方法。

五、实验线路和参考信号的产生

产生带有同样频谱的参考信号和敏感元件信号总是十分困难的，只能在每次测温期间以费时间的测量和参考线路的调整为代价来克服这种困难。如果温度变化，那末困难就加大，因为除了可能出现数值的任何不可逆变化之外，敏感元件线路的电阻和电容也将变化。

为了克服和减小这些困难，研制了图3的

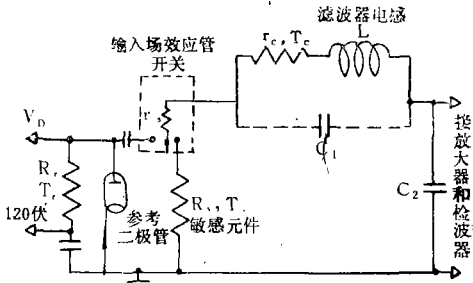


图3 串联滤波器实验线路

验线路。可以指出，该线路的噪声信号与两个

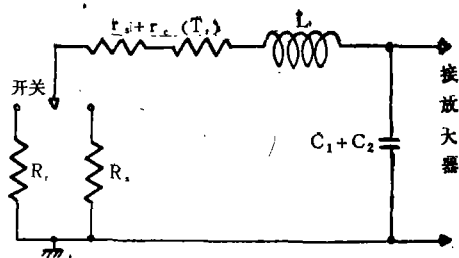


图1 滤波器等效线路

谐振频率有关，一个是在 C_1 与 C_2 并联的情况下，另一个是在滤波器电感单独的较高的自谐振情况下。何果这种自谐振频率位于放大器响应曲线上截止频率之外，那末滤波器可以用图4表示。因此应用这种滤波线路作为以图5方块图表示的噪声温度计的基础。

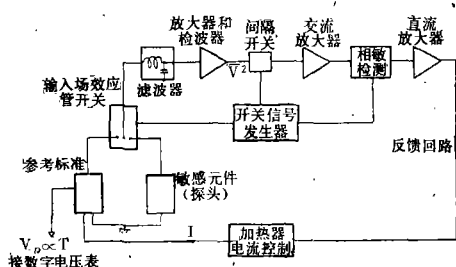


图5 噪声温度计方块图

还可以指出，如果从这些线路来的两个噪声信号是相等的，那末得到敏感元件温度和参考线路等效温度之间的下列关系：

$$T_s = T_r + \Delta T_d \left(1 + \frac{(r_s + r_c)(R_r - R_s)}{R_s(R_r + r_s + r_c)} \right) \quad (6)$$

式中： r_s —开关电阻；

r_c —滤波器线圈电阻。

$$\Delta T_d = \frac{e I_D R_r}{2k} = \frac{e V_D}{2k} \quad (7)$$

式中： V_D —参考电阻 R_r 两端的直流电压(1毫伏相当于5.7971开)；

e —电子电荷；

T_r —参考电阻、开关电阻和电感电阻的绝对温度；

T_s —敏感元件电阻的绝对温度。

六、优点综述

研究方程(6)与(7)得到下列结果。

(1)简单地测量二极管负载电阻 R_r 两端产生的直流电压，就可直接测量参考电阻和敏感元件电阻的绝对温度之间的差值。

(2)温度测量与系统的电容量($C_1 + C_2$)数据无关。

(3)参考电阻和敏感元件电阻准确平衡或测量的要求大约降低了一个多量级。例如，在实验使用的系统中，场效应管开关电阻加上线圈电阻大约为2欧，敏感元件阻值为50欧(得到线路的Q值大约为20)。当参考电阻比敏感元件电阻小10%时，所引入的误差只有0.35%。同样地，如果要求最大误差为0.04%，那末只要在1%准确度范围内测量两个电阻的数值。虽然，这种特点比其它开关系统有利，因为后者需要在所要求的测温准确度范围内检测阻值。

(4)甚至在电容不一致的情况下，所用的小阻值($R < 100$ 欧)也使得电阻和开关之间引线电容(小于100微微法)的影响可以忽略不计。

(5)由放大器通带有限的频率响应造成的参考线路和敏感元件线路信号损失的差别可以忽略不计。例如，如果使用频率响应为2~10兆赫的放大器，谐振频率为7兆赫，Q值为15($R \approx 57$ 欧)的滤波器，而且参考电阻比敏感元件电阻小10%，那末对于通过的信号差别所必需的修正值只有0.14%。随着线路的Q值增加(R减少)，修正值将减少。第(5)与第(3)项的修正值也是这样的，以致于可相互抵销掉。

然而这些优点取决于下列限制条件。

(1)在谐振频率为7兆赫，放大器通带为2~10兆赫情况下，带敏感元件电阻的滤波器的Q值必须大于10($R_s \leq 100$ 欧)。

(2)滤波器电感的分布电容 C_1 必须小于滤
(下转第22页)

用对称地居于输出信号边沿的响应点。在测量运动时由一对边缘信号给出的距离（与那时的线纹宽对应）同样可利用干涉术测出。根据测量值求出间隔长度。这种方法较好，因为这里可用同样的复现性测出光电接收器的漂移特性，与线纹宽无关。

2米比长仪的测量电子器件可进一步用来测量许多分度段，进而起下列作用：

利用选择系统将测量过程编成程序；

可对产生的线纹信号任意变换，其变换范围为1:1到1:10⁴，也就是说，它可以在这范围中随意对许多相邻的分度进行综合测量；

可利用临界值逻辑运算对测量值分级；

在对不同的干扰位置对分度面进行客观检定，以简化测量的准备工作。

二、测量结果

上述各类光栅分度测量所取得的大量结果如图2、图3和图4所示。对光栅常数为32微米和8微米的光栅尺的每20个相邻分段测量10次。在用这种光栅刻度尺时，测量的平均标准偏差

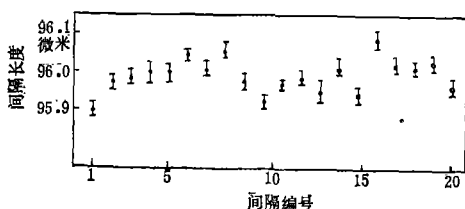


图2 平均值和测量值间隔(玻璃光栅刻度尺: 条纹边缘测量法, 光栅常数3微米, 测量间隔3×32微米, $v=0.1$ 毫米/秒)

在8~13毫微米。

根据研究可得出下列结论：

测量的标准偏差与刻度尺的照明种类（反射或透射）无关；

2米比长仪的光电测量显微镜对金属载体上的腐蚀条纹来说测量特性与玻璃载体上的喷镀条纹一样。

在用喷镀线纹对玻璃载体分度时，用测量线纹中间的方法和测量线纹边缘的方法之间不存在系统的测量值差异。

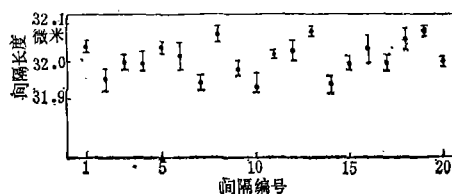


图3 平均值和测量值间隔(金属光栅刻度尺: 条纹边缘测量法, 光栅常数3微米, 测量间隔1×32微米, $v=0.01$ 毫米/秒)

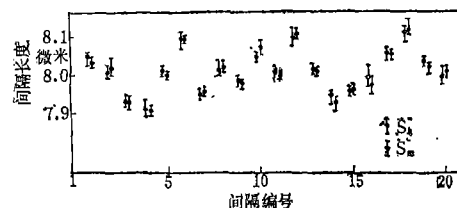


图4 平均值和测量值间隔(金属光栅刻度尺: 条纹中间测量法和条纹边缘测量法(S_m , S_k), 光栅常数8微米, 测量间隔1×8微米, $v=0.01$ 毫米/秒)

忻华泰译自“Feingerätetechnik”

1978, 27, №3, 102~103

(上接36页)

波器电容 C_2 ，以致于电感的自谐振频率($f = 1/2\pi(LG)^{1/2}$)完全位于放大器响应曲线上限频率(10兆赫)之外。

七、结论

应该指出，引入带有散粒效应噪声二极管参考信号发生器的串联调谐滤波器，克服或减少了准确的噪声测量用于测温所遇到的基本问

题，在Kent大学目前已经用1秒的平均时间，在0.3%(±6开)的统计误差范围内有规则地测出高达1770开的温度。这和理论上预期的0.2%误差相比是合适的。

陈道龙译自“Journal of physics E: Scientific Instruments”
1979, Vol.12, No.1, 31~34,
袁先富校