

# 用表面波器件测量高电压

S.G. Joshi

## 一、前言

表面波 (SAW) 传感器, 是一种用压电晶体制成的谐振器。将它的输出通过放大器反馈到输入端, 能获得极稳定的振荡频率。这种传感器的主要特点是:

1. 直接将输出量转变成频率变化量, 而且不用模拟数字转换系统, 就很容易实现数字化输出;
2. 由于频率量测量精度很高, 因而该器件具有高准确度;
3. 由于 SAW 传播对外界变化很敏感, 所以该传感器具有高灵敏度;
4. 在大动态范围内灵敏度呈线性。

由于 SAW 器件具有许多优点, 近年来, 它已广泛用于压力、加速度、空气密度等量的测量。本文主要介绍用它测量高电压。

## 二、实验结果

图 1 所示为 SAW 高电压测量装置方框图。

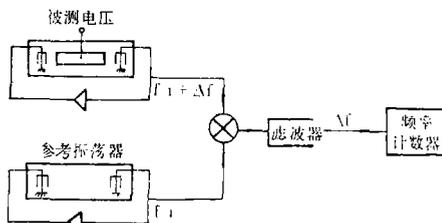


图 1 SAW 高压测量装置方框图

其中, 有两个由压电基片制成的谐振器。这两个谐振器的输出加到混频器, 经过滤波, 获得两者的差频成分。若将被测电压加到一个谐振器上, 就会改变它的延迟时间, 从而使其振荡频率发生变化, 这个变化可由频率计精确地测定。

我们采用的传感器, 以铌酸锂 (LiNbO<sub>3</sub>) 为基片, 采用的是 128°Y 切型, X 传播。被测电压以图 2 所示的方法接到振荡器的电极上。

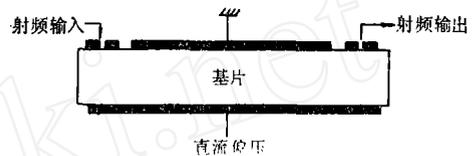


图 2 SAW 延迟线剖面图

为了防止上表面的电极与传感器之间击穿, 将上电极接地, 下电极接被测信号, 并且, 引线都接到电极中部。加上外电压后, 除了传感器附近的很小区域外, 在极间可形成均匀电场, 且由方程  $E = \frac{V}{t}$  表示 (V—外加电压; t—基片厚度)。

SAW 谐振器的振荡频率可由 (1) 式给出:

$$f_n = n / (t_d + t_e), \quad (1)$$

式中,  $t_d$ —声延迟时间;  $t_e$ —电延迟时间;  $n$ —一波模数。

因为  $t_d \gg t_e$ , 所以, 方程 (1) 可写为

$$f_n = \frac{n}{t_d}. \text{ 由此得到相对变化的关系式:}$$

$$\Delta f_n / f_n = |\Delta t_d / t_d| \quad (2)$$

外加电压不同, 表面波延迟时间也不同, 从而引起振荡器差频的变化。对 128°Y-X 切型铌酸锂晶体而言, 延迟时间的相对变化量为:

$$\begin{aligned} \Delta t_d / t_d &= \gamma E \\ &= (\gamma / t) V, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\gamma = 82 \times 10^{-12} \text{ m/V},$$

当  $t = 0.508\text{mm}$  时, 由式 (2)、(3) 计算得:

$$\Delta f_n / f_n = (0.16 \times 10^{-6}) V \quad (4)$$

式中  $V$  是以伏特表示的外加电压值。

我们采用的延迟线, 是15指对的叉指式传感器, 指距  $52.5\mu\text{m}$ , 两传感器相隔约  $8\text{mm}$ , 基片是直径为  $50\text{mm}$  (或  $75\text{mm}$ ), 厚度为  $0.508\text{mm}$  的  $\text{LiNbO}_3$ 。无外加电压时, 两振荡器频率分别为  $76.41\text{MHz}$  和  $76.25\text{MHz}$ , 零电压差频为  $160\text{kHz}$ 。

图 3 显示了差频  $\Delta f$  随外加电压的变化关系,

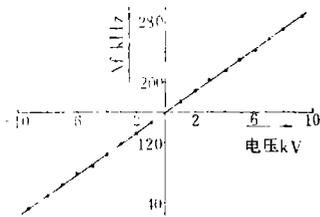


图 3 传感器输出频率与外加电压的关系曲线

系, 用公式可写为  $\frac{\Delta f}{f} = (0.18 \times 10^{-6}) V$ ,

这与 (4) 式的计算结果很接近。我们用  $0.5\text{mm}$  厚的基片, 经受住了  $9\text{kV}$  的电压, 并且使频率差的总变化量近达  $125\text{kHz}$ , 即: 相对频率变化  $1630 \times 10^{-6}$ , 灵敏度达到  $13.8\text{Hz/V}$ 。

为了确定装置的线性度, 图 3 的实验数据采用了线性回归分析方法, 在整个测量范围内, 最大线性误差小于  $0.4\%$ 。

**分辨率:** 分辨率可定义为该装置所能测量出的电压最小变化量, 这可以由 SAW 谐振器的短时稳定度来确定。实验中, 振荡器的频率波动引起  $\Delta f$  波动约为  $\pm 8\text{Hz}/10\text{min}$ , 这相当于中心频率  $\pm 0.1 \times 10^{-6}$  的波动。此结果说明, 该仪器能检测出使频率相对偏移量大于  $0.1 \times 10^{-6}$  的电压变化。由于整个测量范围频率相对变化量为  $1630 \times 10^{-6}$ , 因而分辨率优于  $0.01\%$ 。

**滞后:** 输入电压以  $0\text{V}$  加到  $\pm 5.5\text{kV}$ , 需要数秒钟反应时间, 在测量范围内, 滞后小于  $0.3\%$ 。

**输入阻抗:** 由于铌酸锂具有很好的绝缘性

能, 传感器输入电阻很高, 因而一般欧姆表无法测出。图 4 (略) 说明了利用确定 RC 时间常数的方法测量输入电阻。当基片厚  $0.5\text{mm}$ , 底面电极面积为  $12 \times 7\text{mm}^2$  时, 实验中输入电阻  $R = \tau/C$  达  $6.3 \times 10^{13}\Omega$ 。

### 三、温度补偿

在一般测量中, 常以差频  $\Delta f$  作为传感器输出信号。设  $\alpha$  为基片的温度系数,  $\Delta T$  为温度变化量, 则振荡器在新温度下的振荡频率与温度变化前的频率关系为:

$$f_1' = f_1(1 - \alpha\Delta T) \quad (11a)$$

$$\begin{aligned} f_2' &= f_2(1 - \alpha\Delta T) \\ &= (f_1 + \Delta f)(1 - \alpha\Delta T) \end{aligned} \quad (11b)$$

差频为:

$$\begin{aligned} \Delta f' &= f_2' - f_1' \\ &= \Delta f(1 - \alpha\Delta T) \end{aligned} \quad (12)$$

将 (12) 变换后, 除以  $f_1$  得由温度变化引起的频率相对误差:

$$\frac{(\Delta f' - \Delta f)}{f_1} = -(\alpha\Delta T) \quad (13)$$

当  $\frac{\Delta f}{f} = 0.16 \times 10^{-2}$ ,  $\alpha = 70 \times 10^{-6}$ ,  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$  时, 得:

$$\frac{(\Delta f' - \Delta f)}{f_1} = -5.6 \times 10^{-6} \quad (14)$$

因为铌酸锂的温度系数较大, 直接测量  $\Delta f$  时, 温度影响尚会引起较大误差。在上述条件下, 仅此项引起的频率测量误差约占测量范围的  $0.34\%$ , 而且对仪器分辨率有影响。所以, 我们不直接测量  $\Delta f$ , 而是测量  $\frac{\Delta f}{f_1}$ 。由

(11a), (12) 二式得:

$$\begin{aligned} \Delta f' / f_1' &= [\Delta f(1 - \alpha\Delta T)] / [f_1(1 - \alpha\Delta T)] \\ &= \Delta f / f_1 \end{aligned} \quad (15)$$

此式说明  $\frac{\Delta f'}{f_1'}$  与温度变化无关, 而与

(下转第 29 页)

### 三、数据处理系统概述

数据处理系统化的目的,是为在测量焊缝硬度或顶端淬火硬度一类的试验中,要求将测量结果进行作图处理。为此,引入微型电子计算机,以达到快速处理。

数据处理系统的结构如图3所示。从自动

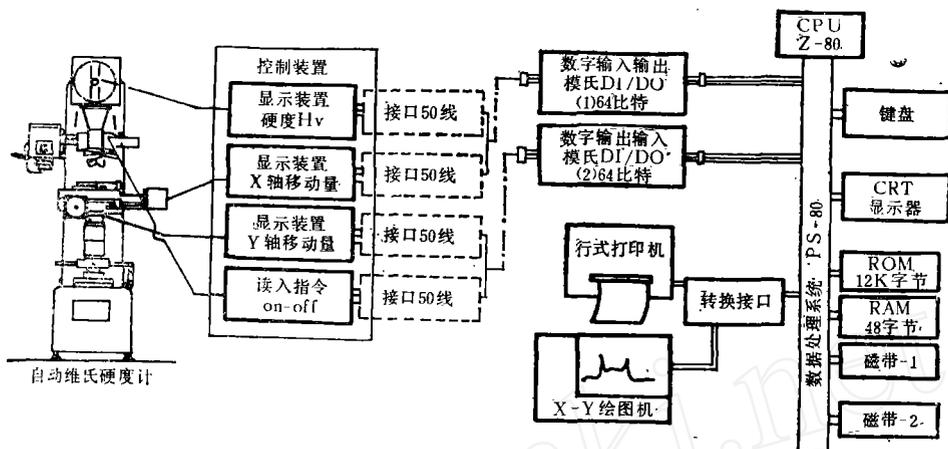


图3 数据处理系统

本测量系统使用的程序语言是BASIC语言。程序系统包括存储硬度值、测量位置等数据的存储程序和按作图、打印数据表分别编制的解析程序。解析程序包括焊接接头、焊接最高硬度和顶端淬火硬度曲线等作图处理程序。存储、解析程序的流程图见4、5(略)。

### 四、结论

投影式自动维氏硬度计中采用了自动数据处理系统,有以下优点:

1. 采用自动维氏硬度计,减轻了长时间使用时人的疲劳,能够防止测量精度降低。
2. 采用自动微动工作台,能够连续压印压

(上接第48页)

$\frac{\Delta f}{f_1}$ 相等。且 $\frac{\Delta f'}{f_1}$ 与外加电压成线性关系。

事实上,测量 $\frac{\Delta f}{f_1}$ 并不比测量 $\Delta f$ 困难,

尤其是计算机的运用,使得 $\frac{\Delta f}{f_1}$ 的测量更加方便。在温度补偿方面,有人曾做过实验,温度在 $-50 \sim 50^\circ\text{C}$ 范围内变化时,引起的频率

维氏硬度计的控制装置输出的信号,如硬度值、试样进给量等数据,通过接口存入微型电子计算机(PS-80)中。电子计算机对这些存储数据进行解析,其结果由X-Y绘图机和行式打印机输出。表3(略)是数据处理系统的部件明细表。

痕和读数,比从前的试验提高效率2~3倍。

3. 采用数据处理系统,使得硬度的测量工作一元化,数据处理工作简单易作。

4. 大幅度缩短数据处理时间。

本投影式自动维氏硬度计,和以前的硬度计相比,大幅度地改善了精度、效率和操作性。今后,希望进一步研制能保持和提高精度以及尽量少用人工操作的自动维氏硬度计。并期待研制对测量数据进行快速、简便处理的数据处理装置和软件。

房景富译自“材料试验技术”

1984, 29, No.1, 22~27

波动可小于 $2\text{Hz}/^\circ\text{C}$ 。

以上介绍的SAW传感器,不需要电阻式分压器或电容式分压器就可直接进行高电压测量,而且,器件具有高阻抗、高分辨率,线性好,测量精度高。经过适当的改装,它还可以测量交流电压,也可以测量较低的电压。

杜东平译自“Rev. Sci. Instrum.”

1983, 54, No.8,

1012-1015