

一种新型时域参数介电谱仪

邓颖宇 李小玲 周镇宏

(广东工业大学电介质物理研究所, 广州, 510090)

摘要 在 10^4 至 10^{-5} Hz 频段, 电介质的介电谱需要用时域参数描述。介质的极化响应可表述为 $A\varepsilon_s \exp[-(t/\tau)^\alpha]$ 类型的若干项之和。各项中的 (A, τ, α) 称为时域参数。本文介绍了一种由 IBM PC 微机主控的时域参数介电谱仪。它具有数字化、自动化、高精度、高灵敏度的特点, 在介电谱的时域参数测量和其它电学物理量的测量上会有较广泛的应用。

关键词 能谱; 介电弛豫; 计算机控制; 介电谱; 时域; 微机; 自动控制

中图资料法分类号 O482.4; TM933.22

引言

在阶跃电场作用下, 电介质随时间变化的极化由式(1)表示:

$$P_0 - P(t) = P_0 \sum_{n=1}^N A_n \exp[-(t/\tau_n)^{\alpha_n}] \quad (1)$$

在采样时间间隔为 $30\mu\text{s}$, 测量时间 10^5s 时, $N \leq 5$ 。称 (A_n, τ_n, α_n) 为时域参数。时域参数的测量电路如图 1 所示。

在测量中, 样品做成电容器形式 S。测量分为充电测量和放电测量。充电测量时, $t=0$ 时开关 K 置于 1 位置, 以恒定电压 U_0 对样品 S 充电; 放电测量时, 开关 K 置 1 等待 15~30min, 样品达到平衡后, 在 $t=0$ 时 K 改置 2, 样品开始放电。通过测量电压 $U(t>0)$ 计算流过采样电阻 r 的充电或放电电荷 $Q(t) = \int_0^t \frac{U(t)}{r} dt$ 。样品的极化强度 $P(t)$ 与 $Q(t)$ 只差一个几何因子, 故^[1]

$$Q_0 - Q(t) = Q_0 \sum_{n=1}^N A_n \exp[-(t/\tau_n)^{\alpha_n}] \quad (2)$$

$$\text{式中, } \sum_{n=1}^N A_n = 1, Q_0 = c_s U_0. \quad (3)$$

c_s 为 S 的静态电容量。通过分析可求得时域参数 (A_n, τ_n, α_n) 。电压型时域参数介电谱仪就是通过测量采样电阻 r 上的电压 $U(t)$, 分析得出时域参数的实验仪器。

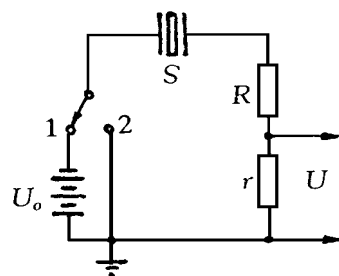


图 1 测量电路原理图

1 工作原理

收稿日期: 1995-11-28

电压型时域参数介电谱仪的工作原理框图如图 2 所示。

谱仪由阶跃电压发生电路, 前置放大电路, A/D 采样保持与转换电路, 并行处理电路, 屏蔽装置和 IBM PC 计算机等 6 部分组成。

工作时, 由阶跃电压发生电路产生的阶跃电压作用于样品。 $t \geq 0$ 时, 将样品 S 的充电或放电电流在采样电阻 r 上的电压 $U(t)$ 送入前置放大电路放大, 经放大后的 $U(t)$ 送入 A/D 采样保持与转换电路转换为数字量, $U(t)$ 的数字量通过并行处理电路送入 IBM PC 主机, PC 主机将 $U(t)$ 数值存盘并分析出电介质样品的时域参数。谱仪的工作过程由 PC 主机的控制软件控制。现将各部分电路作一简要说明。

1.1 阶跃电压发生电路

阶跃电压发生电路用于产生 $(0 \rightarrow u_0)$ 或 $(u_0 \rightarrow 0)$ 的阶跃电压作用于电介质样品 S。其原理图如图 3 所示。

由 PC 计算机送出的控制信号送入继电器控制电路, 控制继电器 J_1, J_2 的通断状态。在充电测量时, 初始状态的 J_1 断, J_2 通, $t = 0$ 时, J_1 通, J_2 断, 谱仪开始测量 $U(t)$ 。在放电测量时, J_1 通, J_2 断, 等待 15 ~ 30min 后, 样品达到平衡, $t = 0$ 时, J_1 断, J_2 通, 谱仪开始测量 $U(t)$ 。如果实验需要, 也可接其它类型的电压替代 U_0 作用于样品 S。

1.2 前置放大电路

前置放大电路的作用是将 $U(t)$ 放大, 放大后的电压送入 A/D 采样保持与转换电路, 放大倍数送入并行处理电路。前置放大电路是谱仪的重要组成部分, 它具有宽频带、低噪声、增益随信号大小自动变换的特点。其原理图见图 4。

由于 $U(t)$ 的电压变化幅度为 $\pm 10 \sim \pm 10^{-6}$ V, 为精确测量弱信号电压, 前置放大电路的放大倍数可自动调整, 并随时被读入 PC 主机。其工作过

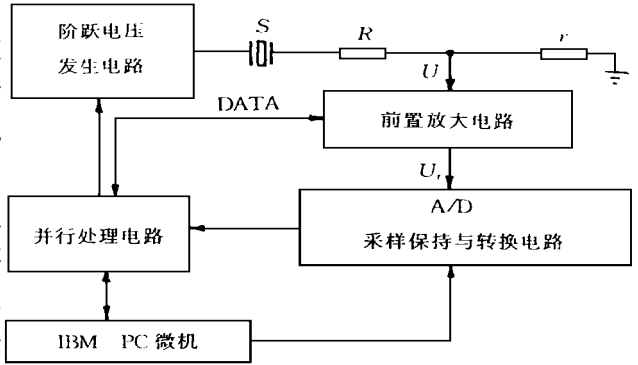


图 2 时域介电谱仪原理框图

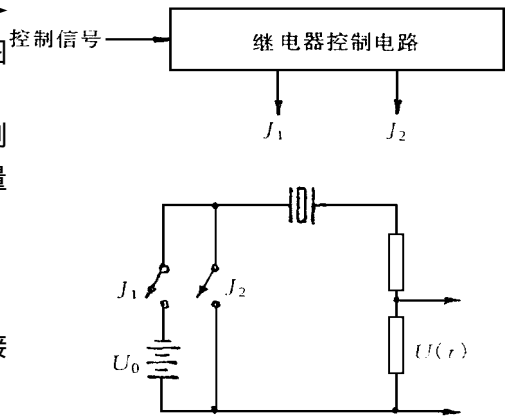


图 3 阶跃电压发生电路原理图

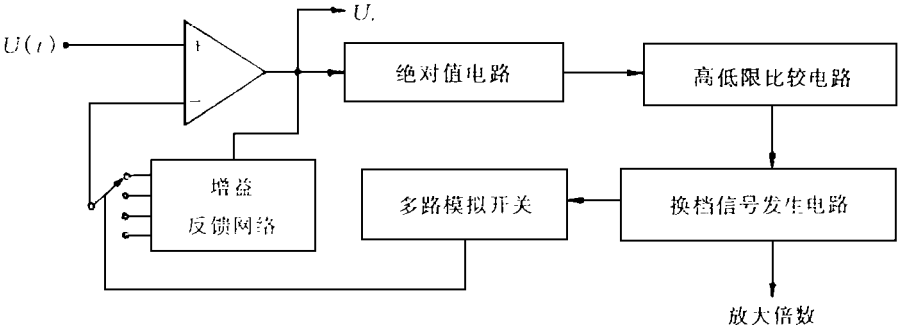


图 4 前置放大电路原理图

程为:

信号电压 $U(t)$ 经信号放大电路放大后为 U_i , 送入 A/D 采样保持与转换电路, 同时, U_i 也送入绝对值电路。绝对值电路输出 U_i 的绝对值电压 $|U_i|$ 并输入到高低限比较电路。高低限比较电路的上、下限电压分别为 V_{CH} 和 V_{CL} 。当 $|U_i| > V_{CH}$, 电路通过换挡信号发生电路向多路模拟开关发出减档信号, 多路模拟开关控制增益反馈网络减小信号放大电路的放大倍数; 当 $|U_i| < V_{CL}$ 时, 则增大信号放大电路的放大倍数; 当 $V_{CH} > |U_i| > V_{CL}$ 时, 则维持原放大倍数。换挡信号发生电路同时将放大倍数送入并行处理电路。

由于放大倍数的自动换挡, 使 $10V > |U_i| > 0.9V$ 。这样, 当 U_i 送入 A/D 采样保持与转换电路时, 可读出最多的有效数字, 达到较高的精度; 同样也避免过大的 U_i 使 A/D 转换芯片饱和以致损坏。

1.3 A/D 采样保持与转换电路

它的作用是将经前置放大电路放大的信号电压转换为数字量送入并行处理电路。其原理图如图 5 所示。

由前置放大电路输出的电压 U_i 送入采样保持电路。此电路由 A/D 转换状态信号 U_i 控制, 当 A/D 转换芯片处于转换状态时, 它处于保持状态, 当 A/D 转换芯片处于读出数字量状态时, 它处于采样状态。

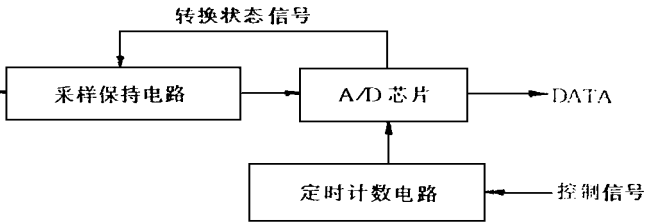


图 5 A/D 采样保持与转换电路原理图

采样保持电路的输出电压送入 A/D 转换芯片。芯片的工作状态由定时计数电路的输出信号控制。芯片输出的电压数字量 DATA 送入并行处理电路。定时计数电路用于产生控制 A/D 芯片工作状态的控制信号, 它由 PC 主机程序控制。

1.4 并行处理电路

并行处理电路由并行接口芯片和译码电路组成。它将 A/D 采样保持与转换电路输出的电压数字量和前置放大电路输出的电压放大倍数值送入 PC 主机, 并产生有关控制信号送至前置放大电路和阶跃电压发生电路。并行处理电路由 PC 主机程序控制。

1.5 IBC PC 计算机

IBC PC 计算机为谱仪的控制主机。谱仪的工作过程由主机程序控制, 并向谱仪提供工作电源。谱仪测量的数字电压量由主控程序控制存盘并进行数值分析。

2 性能

在实验测量中, 电介质样品 S 的电容量通常小于 $1\mu F$, 甚至仅 $10^2 pF$, 极化电压 $u_0 < 50V$ 。而样品的充电或放电电流在采样电阻上的分压 $U(t)$ 的变化范围为 $10 \sim 10^{-6}V$, 特别是 $U(t)$ 在 $10^{-4} \sim 10^{-6}V$ 区域内含有多项慢极化响应, 响应时间 τ 有时大于 $3000s$; 而样品的快极化项, 在样品电容量较小时, 响应时间 $\tau \sim 10^2 \mu s$ 。电介质样品的以上性质给介电谱仪的性能提出了较高的要求。

为使介电谱仪达到以上的要求, 除了电路上的精心设计以外, 仪器的电路和样品架都安装了很好的屏蔽装置, 尽可能减少弱信号干扰。为了消除高频的微小噪声, 控制软件中采用了实

时数字滤波。本仪器的特性指标为：输入信号量程： $\pm 10\text{V}$ ，最小采样时间： $30\mu\text{s}$ ，失调电压： $\sim 10^{-6}\text{V}$ ，持续工作时间 $> 10^4\text{s}$ 。

经实验测量 PP、PS、PET 等聚合物系列样品，仪器测量结果令人满意^[2]。

图 6 为聚丙烯(PP)材料的放电测量结果。图中的曲线是由很密集的测量点连接而成的。由曲线可看出，当 $U < 4\mu\text{V}$ ，才有明显的噪声影响(见图 6 的③)。

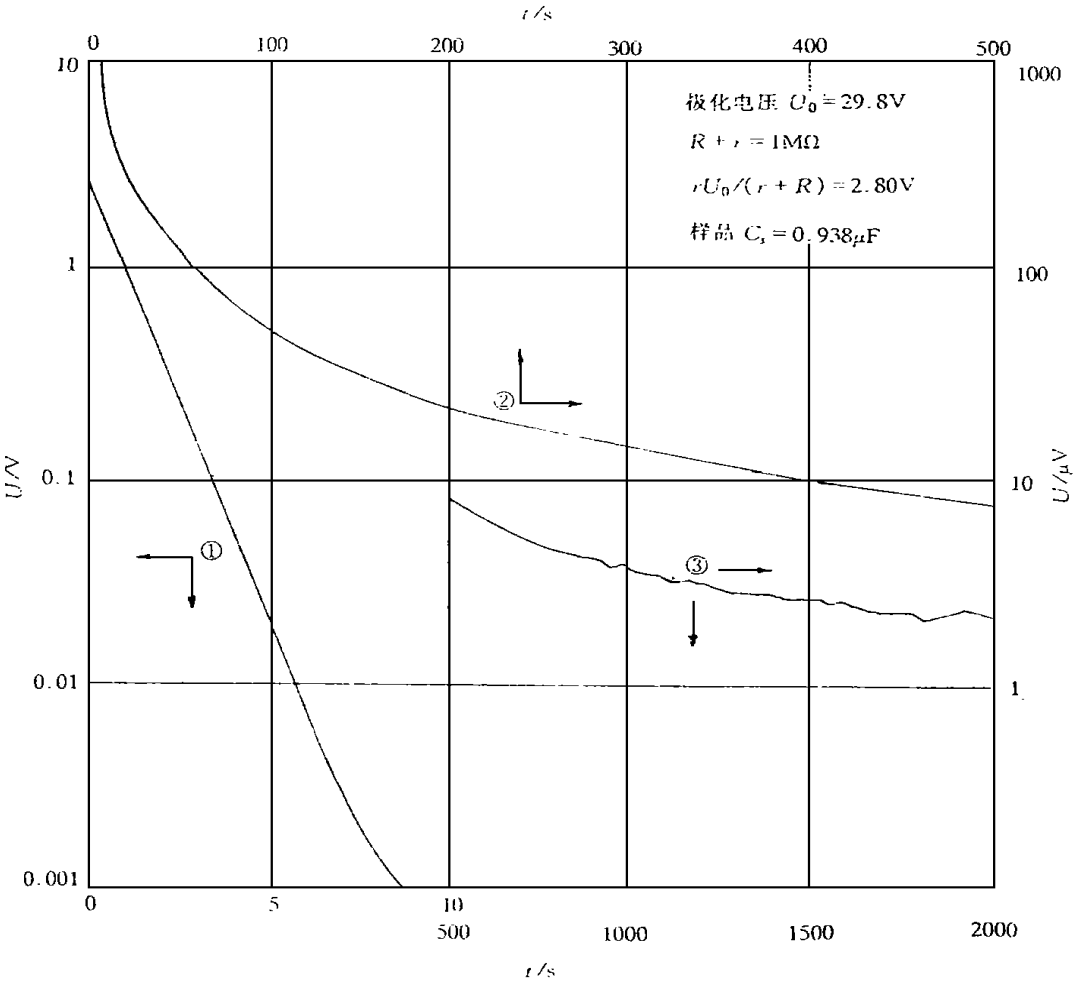


图 6 聚丙烯材料的放电电压特性曲线

3 结束语

电压型时域参数介电谱仪是用于分析电介质时域介电谱的精密测量仪器。它同时作为一种高精度弱信号测量仪器，有很高的应用价值。由于测量结果是存入软盘的数字量，因而可直接利用有关的数学软件进行数值分析和数据处理，检测出更多的弱信号信息。它为弱信号检测提供了一种高性能的仪器。

参 考 文 献

- 1 李景德, 李家宝, 符史流等. 自由和随机介电弛豫. 物理学报, 1992, 41(1): 155
- 2 周镇宏, 唐新桂, 李小玲. 聚合物中的吸收电流. 工科物理, 1995, 53(3): 31

A New Type of Time Domain Dielectric Spectrometer

Deng Yingyu Li Xiaoling Zhou Zhenhong

(Dielectric Physics Research Centre, GDUT, Guangzhou, 510090)

Abstract In the frequency range of 10^{-5} to 10^4 Hz, the dielectric spectroscopy of dielectrics can only be described using time domain parameters. The polarization response of dielectrics may be expressed as the sum of several terms which have the form $A\epsilon_s \exp[-(t/\tau)^\alpha]$. (A , τ , α) are designated as the time domain parameters. This paper presents a new type of time domain parameter dielectric spectrometer. The characteristics of the spectrometer is digitalization, automatization, high precision and high sensitivity. The application of the spectrometer is not only in the measurement of time domain dielectric spectroscopy, but also in measurement of other physics parameters.

Key words energy spectrum; dielectric relaxation; computer control; dielectric spectrometer; time domain; microcomputer; automatic-control