

基础物理实验

计算机实测物理实验系列



物理国家级实验教学示范中心（复旦大学）



欢迎大家修读本课程，请注意以下事项：

1. 课程有班级群，请注意加群，以便跟老师联系；
2. 本课程为必修课，若没通过，没有补考，只有重修；
3. 课程评分由平时成绩和期末成绩组成，请出席每一次实验课并提交报告，如特殊原因无法出席，请务必请假并联系老师申请补做；
4. 实验前认真预习并完成预习报告，没有预习报告，不允许做实验；
5. 诚实守信，不允许篡改、伪造或抄袭别人的数据，不允许带着别人的实验报告来实验室做实验，一经发现，该实验为 0 分。

计算机实测物理实验

随着 IT 技术的发展,科学实验的面貌正在发生巨大的改变。在物理实验中,利用计算机来对各种物理量进行监视、测量、记录和分析,可准确地获取实验的动态信息,因而有利于提高实验精度,有利于研究瞬变过程,更可以大大节省实验工作人员的劳动强度和工作量,这是现代物理实验的发展方向。

实验目的

本实验采用数据采集设备将不同信号输入计算机进行记录、分析和处理,从而了解如何利用现代的计算机技术来进行传统的物理实验,为今后在各种物理实验和科学研究工作中采用计算机技术打下基础。

实验原理

1. 计算机实测物理实验概述

计算机实测物理实验通过传感器等实验设备测得物理量并转换成电量,经数据采集设备把电量转换成数字量输入计算机,用专用的软件在计算机显示器上直观地显示物理量随时间的变化规律,从而可以分析各物理量之间的函数关系,这对深入分析物理问题和验证物理规律是十分有利的。

2. 传感器

在计算机实测物理实验中,首先必须由传感器把待测物理量转换成数据采集设备可接受的物理量(一般为电量)。根据传感器类型的不同,其输出的可以是电压、电流、电阻,或是随着时间变化的其他电量。一些传感器可能需要额外的组件和电路来正确生成可以由数据采集设备准确和安全读取的信号,传感器的精度、灵敏度和可靠性将决定实验结果的优劣。

传感器一般由敏感元件和转换元件组成。敏感元件指传感器中能直接感受或响应被测物理量的部分,转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测物理量转换成适于传输和(或)测量的电信号的部分。

传感器分类方法有两种,按被测物理量来分:有温度传感器、压力传感器、位移传感器、速度传感器、加速度传感器、湿度传感器等;按传感器工作原理分:有应变式,电容式,电阻式、电感式、压电式、热电式,光敏、光电等传感器。

传感器检测的物理量可分为动态量和静态量两类,静态量指稳定状态的信号或变化极其缓慢的信号;动态量通常指周期信号、瞬变信号或随机信号。无论对动态量或静态量,都要求传感器能不失真地完成信号转换,所以一个优良的传感器必须有良好的静态特性和动态特性。由于传感器的输出信号一般都比较微弱,因此常在传感器后连接一个放大器,将弱信号放大。

3. 数据采集设备

数据采集(DAQ, Data Acquisition 的缩写)是使用数据采集设备对电压、电流、温度或声音等物理量进行采样的过程。数据采集设备是计算机和外部信号之间的桥梁,它的主要功能是将输入的模拟信号数字化,使计算机可以进行解析。数据采集设备用于测量信号的三个主要组成部分为信号调理电路、模数转换器(ADC)与计算机总线。

(1) 信号调理电路

直接测量传感器信号或外部信号可能过于嘈杂或危险,信号调理电路将信号处理成可以输入模数转换器的一种形式。电路包括放大、衰减、滤波和隔离。一些数据采集设备含有内置信号调理,用于特定的传感器类型。

(2) 模数转换器 (ADC)

模数转换器(ADC)是提供瞬时模拟信号的数字显示的一种芯片。在经计算机等数字设备处理之前,传感器的模拟信号必须转换为数字信号,这个过程叫做**采样**。实际操作中,模拟信号随着时间不断发生改变,ADC以预定的速率对信号进行采样,通过计算机总线传输到计算机上,在软件中重构原始信号。在采样中需要设置合理的采样时间(又称采样长度)和采样速度(又称采样频率或者采样率)这两项实验参数,根据被测信号类型及变化快慢来选择合适的采样时间及采样速度是十分重要的。例如,在“冷却规律研究”实验中,其信号为缓变信号,故采样时间可选择较长,采样速度则可慢些;而在“声波和拍的观测”实验中,声波信号为周期信号,且频率较快(500Hz左右),故采样速度应增加到一定大小,才能真实地反映客观信号,而采样时间则可相应缩短。实验参数的设定,往往需进行多次预试验,不断改变设置,才能最终摸索出合适的选项,这是保证实验成功的客观性、科学性、准确性的关键步骤之一。

(3) 计算机总线

数据采集设备通过插槽或端口连接至计算机,作为数据采集设备和计算机之间的通信接口,计算机总线用于传输指令和已测量数据。最常用的计算机总线包括USB、PCI、PCI Express、以太网和无线网络。对于不同类型的应用,各类总线能提供各自不同的优势。

4. 计算机

安装了专用软件的计算机控制着数据采集设备的运作,并处理、可视化和存储测量数据。不同类型的应用使用不同类型的计算机,在实验室中可以利用台式机的处理能力,在实地现场可以利用笔记本电脑的便携性,在制造厂中,可以利用工业计算机的耐用性。

计算机中的软件:

(1) 驱动程序

应用软件凭借驱动程序,与数据采集设备进行交互。它通过提炼底层硬件指令和寄存器级编程,简化了与数据采集设备的通信。通常情况下,数据采集驱动程序引出应用程序接口(API),用于在编程环境下创建应用软件。

(2) 应用软件

应用软件促进了计算机和用户之间的交互,进行测量数据的获取、分析和显示。它既可以是带有预定义功能的预设应用,也可以是创建带有自定义功能应用的编程环境。自定义应用程序通常用于实现数据采集设备的多项功能的自动化,执行信号处理算法,并显示自定义用户界面。

实验仪器

计算机实测实验仪、计算机、电阻(1.00k Ω 、2.00k Ω)、电容(3.30 μ F)、九孔板。

实验内容

1. 观察并记录已知信号在不同采样时间、采样频率组合下波形与FFT(Fast Fourier Transformation)结果的变化,分析采样时间和采样频率对波形与FFT结果的影响。

2. 测 RC 串联电路的相位差

当正弦交流电压输入电阻 R 和电容 C 串联电路时，电容两端的输出电压的振幅及相位将随输入电压的频率 f 而变化。如图 1 所示，电容两端电压 U_C 和输入电压 U_i 之间的相位差 φ 满足公式 $\tan\varphi=2\pi fCR$ 。

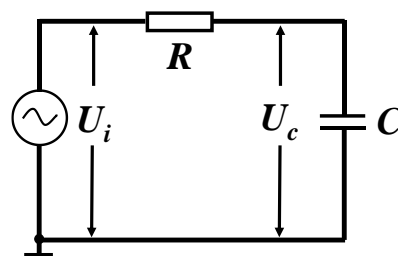


图 1 RC 串联电路

1) 双正弦波图形测 RC 串联电路的相位差

图 2 为 RC 串联电路中 U_C 和 U_i 的波形， U_C 和 U_i 之间的相位差 $\varphi = (t_2 - t_1) / (t_3 - t_1) \times 360^\circ$ 。

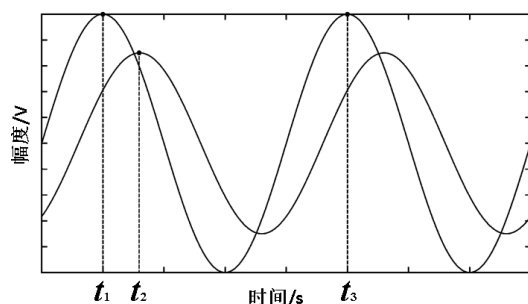


图 2 双正弦波图形测相位差

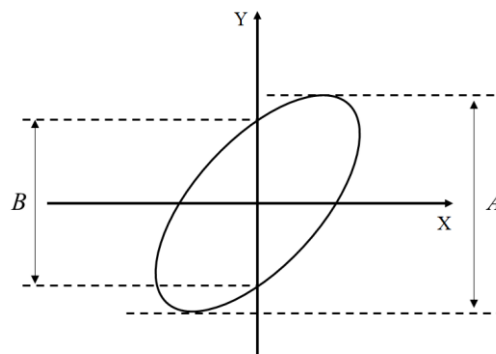


图 3 李萨如图形测相位差

2) 李萨如图形测 RC 串联电路的相位差

将 U_C 和 U_i 相互垂直合成李萨如图形如图 3 所示，则 U_C 和 U_i 之间的相位差 φ 满足公式： $\sin\varphi=B/A$ 。

使用数据采集设备分别采集 RC 串联电路中电容两端电压 U_C 和输入电压 U_i ，在软件编译的虚拟示波器程序中，可以采用以上两种方法测 RC 串联电路中 U_C 和 U_i 的相位差 φ 。

3. 固定电话拨号音的测量。(选做内容)

若使用音频采集设备录制拨打固定电话的音频信息，则可以在软件上使用 FFT 分析得到音频文件的频谱图，则可以根据固定电话的电话按键对应频率表，获得拨打的固定电话号码。

参考资料

1. 沈元华，陆申龙，基础物理实验，复旦大学出版社，2003，186—188、306—312

用计算机实测技术研究冷却规律

在热学实验中经常用到的对流冷却规律是量热学的基本规律。用最小二乘法作直线拟合来求得对流冷却的经验公式，是实验数据处理的基本方法之一。传统的冷却规律实验由实验者人工完成冷却过程中的数据记录，而本实验利用现代的温度传感器及计算机技术实时地对整个冷却过程进行监测和记录，可以更准确地获取实验的动态信息，实验数据的处理和分析也更为方便，提高了实验精度。

实验目的

1. 初步掌握如何利用温度传感器及计算机技术进行冷却规律物理实验研究。
2. 掌握对非线性实验数据进行线性变换的基本方法之一（对数转换）。

实验原理

发热体传递热量通常有三种方式：辐射、传导和对流。当发热体处于流体中时，才能以对流的方式传递热量，此时在发热体表面邻近的流体层首先受热，而通过流体的流动将热量带走。

通常，对流可分为两种类型：自然对流和强迫对流。前者是由于发热体周围的流体因温度升高而密度变化，从而形成的流动；后者是由外界的强迫作用来维持发热体周围流体的流动。

在稳态时，发热体因对流而散失的热量可由下式表示：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = E(\theta - \theta_0)^m \quad (1)$$

式中 $\Delta Q/\Delta t$ 表示在单位时间内发热体因对流而散失的热量； θ 为该热体表面的温度； θ_0 为周围流体的温度（一般即为室温）；式中 E 与流体的比热容、密度、粘度、导热系数以及流体速度的大小和方向等有关。当流体是气体时， m 与对流条件有关：在自然对流条件下， $m=5/4$ ；在强迫对流时，若流体的流动速度足够快而使发热体周围流体的温度始终保持为 θ_0 不变，则 $m=1$ 。

由量热学可知，对一定的物体，单位时间损失的热量与单位时间温度的下降值成正比，即

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Mc \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (2)$$

式中 M 为物体的质量，而 c 为物体材料的比热容。以（2）式代入（1）式，可得：

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{E}{Mc} (\theta - \theta_0)^m$$

令 $k=E/Mc$ ，则上式可写成：

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = k(\theta - \theta_0)^m$$

如以微分形式表示，则有

$$\frac{d\theta}{dt} = k(\theta - \theta_0)^m \quad (3)$$

公式(3)两边取对数，即可变换为直线方程的形式：

$$\log\left(-\frac{d\theta}{dt}\right) = m \log(\theta - \theta_0) + \log(-k) \quad (4)$$

实验仪器

实验装置包括电阻加热器、调压变压器、风扇、AD590 温度传感器、I/V 转

换电路（九孔板， $10\text{k}\Omega$ 电阻）、数据采集设备（计算机实测实验仪）、计算机。

AD590 是电流型集成温度传感器，在 $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ ，其输出电流与温度成线性关系，其灵敏度为 $1\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$ 。

实验内容

1. 组建一个简单的数字温度计：

在九孔板上连接电路（图 1），计算机实测实验仪“+5V”电源输出连接到温度传感器正极（红），地线“GND”连接到电阻。采集 $10\text{ k}\Omega$ 电阻两端电压 U_R 并以此换算为温度。

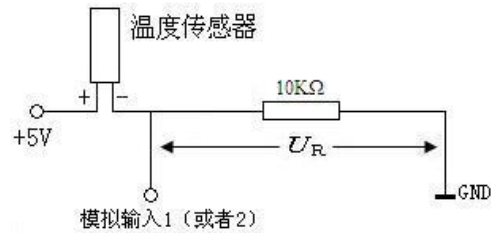


图 1 数字温度计电路图

2. 数字温度计的定标和测量室温：

打开冷却规律程序，根据实际连接情况选择对应的采样通道（模拟输入 1 或者 2），设置采样率（一般保持缺省值 2 点/s）。将温度传感器平稳放置于空气中，点击“打开采集卡”即可实时测量当前温度数据。

点击“重新记录与绘图”，记录 50 秒后点击“停止记录与绘图”，点击“利用当前曲线计算室温平均值”，将平均值与实验室提供的温度计读数进行比较，点击“关闭采集卡”后改变 a 值使室温平均值接近数字温度计示数，完成定标，后续实验以完成定标的数字温度计进行温度监测。

重新测量室温的平均值并记录，室温的测量建议设置采样长度约 50 秒。

3. 自然冷却：

将温度传感器置于加热器内（传感器探头位于加热器中部位置），调节变压器到约 40V。**加热到 $\geq 100^{\circ}\text{C}$ 时将变压器调节到 0V（这一步特别重要！）**，然后利用余温加热到约 110°C （注意：在加热过程中，建议温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ，以免损坏器材！）后把温度传感器取出置于空气中冷却，同时点击“重新记录与绘图”进行采集，当温度不再明显下降时“停止记录与绘图”，程序左侧窗口显示自然冷却曲线。程序右侧窗口显示图形即为取对数后数据分布（近似为直线）。点击“曲线拟合计算散热系数”得到冷却规律的指数 m 以及 b 。

注意事项：

- 1) 观察右侧窗口中数据分布，改变拟合区间，获得不同的拟合结果。
- 2) 改变拟合区间：使用“去除最初 n 个点”以及拖动温度-时间曲线图上的黄色光标线完成。
- 3) 每一次加热传感器之前可用风扇将温度传感器吹至室温或以下，再次测量室温并记录。

4. 强迫冷却：

对于强迫冷却，基本过程和自然冷却相同。区别在于加热后将温度传感器取出置于风扇前方，通过风扇（风力选择二档）对其进行冷却。

参考资料

1. 贾玉润，王公治，凌佩玲，大学物理实验，复旦大学出版社，1987
2. 沈元华，陆申龙，基础物理实验，复旦大学出版社，2003，313—315

用计算机实测技术研究声波和拍

根据波的叠加原理,两列频率相近的声波在空气中传播发生重叠时产生合成波,当被人耳感受到时听到“嗡嗡”的声音,这表明声强出现了周期性的变化,这一现象被称为拍。本实验利用现代传感器技术及计算机技术实时地对声波和拍进行观测和记录,可以准确地得到声波的频率和拍频,有助于了解波的叠加,理解拍的基本原理。

实验目的

1. 初步掌握如何利用计算机实测技术观测声波和拍,研究拍的物理规律。
2. 了解波的叠加,理解拍的基本原理。

实验原理

声波是机械纵波。当弹性介质(如空气)的某一部分离开它的平衡位置时就可以引起这部分介质在平衡位置附近振动。该振动在空气中激发出声波,波动方程为:

$$y = y_m \cos \frac{2\pi}{\lambda}(x - Vt) \quad (1)$$

y_m 为振动幅度, λ 为声波波长, V 为声波波速。

如果有两列波向同一方向传播,频率分别为 f_1 和 f_2 ,根据波的叠加原理可以知道,当两列波通过空间某一点时,这两列波在该点产生的合振动是各自振动之和。

如在某一给定点,在时刻 t 时,一列波所产生的振动位移 y_1 为:

$$y_1 = y_m \cos 2\pi f_1 t \quad (2)$$

在同一点处,另一列波所产生的振动位移 y_2 为:

$$y_2 = y_m \cos 2\pi f_2 t \quad (3)$$

按照迭加原理,这两列波在该点合成的合振动位移 y 为:

$$y = y_1 + y_2 = \left[2y_m \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right] \cos 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t \quad (4)$$

由上式可知,这两列波在该点产生的合振动是各自振动之和,合振动的振幅是时间的函数,这一现象称为拍。由于振幅所涉及的是绝对值,故其变化周期即 $\left| \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right|$ 的周期,它由 $2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t = \pi$ 决定,故振幅变化频率 $f = f_1 - f_2$ 即两列波的频率之差, f 称为拍频。

拍现象,可以用图1、图2来说明:图中音叉频率为440Hz,喇叭振动声音频率为450Hz,它们的合振动近似地看成是简谐波,其振幅随时间周期性变化。

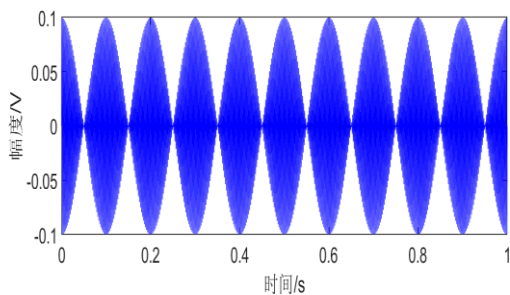


图1 拍的波形图

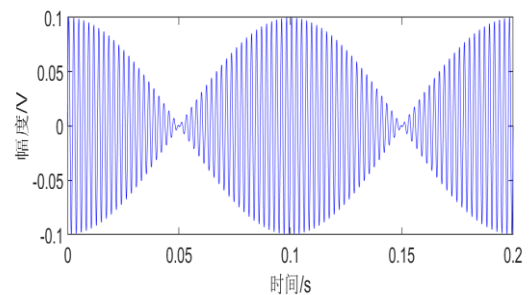


图2 拍波形伸展图

实验仪器

音叉、共鸣箱（一端开口）、小橡皮锤、音箱、话筒、计算机。

实验内容

1. 音叉固有频率 f_1 的测量：

打开“声波和拍”程序，设置合适的采样时间和采样频率。将话筒置于共鸣箱的开口处，打开话筒开关（ON），用小橡皮锤敲击音叉，音叉发生振动，振动在空气中激发声波。程序中点击“开始”，“波形图”界面显示出声波波形（调节“X 零点”、“X 范围”以及“Y 放大”可以对波形进行 X、Y 方向缩放，“FFT 分析”界面调节“频域上限”改变频率域显示范围以便观察频谱图），点击“进行 FFT 分析”得到音叉的固有频率。请多次测量并计算平均值，得到音叉的固有频率 f_1 。

2. 拍频的观测：

打开信号源程序，选择信号类型为正弦波（Sine Wave）。将信号源频率 f_2 设置为音叉固有频率 f_1 的 ± 5 、 ± 10 、 $\pm 15\text{Hz}$ 、 $\pm 20\text{Hz}$ 、……，播放固定频率的音频信号。

注意事项：计算机系统音量需保持最大，音频信号的音量调节音箱后方旋钮，完成测量后立即操作信号源程序停止输出音频信号，避免互相干扰，相邻实验组建议错开测量时间。实验完毕后记得关闭麦克风开关（OFF）。

合理摆放音箱、音叉、话筒三者的位置，敲击音叉，在音箱、音叉同时发声状态下，用话筒检测两个振动的合振动，即拍的波形曲线（如图 1 所示），点击“复位”，使黄色游标线显现在波形图中，根据实际情况合理选择拍周期数 n ，移动光标线获得 n 个拍的时间，通过程序计算得到拍频 f 。

参考文献

1. 沈元华、陆申龙，基础物理实验，复旦大学出版社，2003，315—319
2. 钟锡华、陈熙谋主编：钟锡华，周岳明编著，大学物理通用教程.力学，北京大学出版社，2000.12

计算机实测物理实验操作指南

实验内容 1:

- 1) **请勿将计算机实测仪面板上的导线拔出!**
- 2) 正弦波和三角波由“音频输出”通道输出,在“信号源”程序中设置信号类型和频率,物理通道不用设置,观测正弦波和三角波应将计算机实测实验仪面板上“音频输出”与“模拟输入 1(或者 2)”使用导线或者九孔板连接。
- 3) 方波由“模拟输出”通道输出,在“信号源”程序中设置信号类型和频率,物理通道选择 Dev*/ao0 (Dev 后的*为数据采集卡编号),观测方波应将计算机实测实验仪面板上“模拟输出”与“模拟输入 1(或者 2)”使用导线或者九孔板连接。
- 4) “计算机实测”程序应选择合适的采样设备通道(Dev*/ai4 对应模拟输入 1、Dev*/ai5 对应模拟输入 2),建议以程序默认的采样时间 1s 和采样频率 2000S/s 点击“开始采样”,若能观测到正确的信号,说明器材和软件设置都没有问题,再按照表 1 进行正式测量,观察并记录程序图形窗口中的波形(请多次采样,以免错过可能出现的各种波形),点击进行分析可得到当前信号的 FFT 主频。
- 5) 表 1 中的采样时间和采样频率采用控制变量的方法设计,分别以信号周期和频率的 1、2、5 等倍率进行设置,若时间充裕,可以增加采样参数进行测量。

表 1 采样时间和采样频率对波形和 FFT 的影响

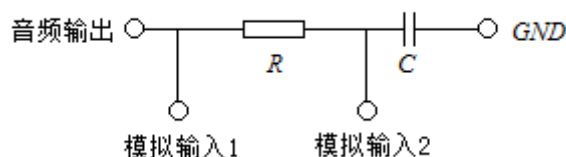
待测信号	采样时间 (s)	采样频率 (S/s 或 Hz)	绘制波形简图	FFT (Hz)	
(50Hz) 正弦波 三角波 方波	0.1	50			
		100			
		200			
		500			
		1000			
		10000			
		
	0.01	1000			
	

表 2 测 RC 串联电路的相位差(采样时间_____采样频率_____)

电阻	双正弦波图形测相位差 φ_1					$\overline{\varphi_1}$	李萨如图形测相位差 φ_2					$\overline{\varphi_2}$
1k Ω												
2k Ω												

实验内容 2:

- 1) 在九孔板上连接测量电路如下图所示:



- 2) “信号源”程序中设置信号类型为**正弦波**、频率为**50Hz**。点击“计算机实测”程序界面的**李萨如**选项，将 U_i 采样通道和 U_0 采样通道分别设置为“Dev*/ai4”和“Dev*/ai5”。点击“**采样**”即可得到双正弦波曲线图和李萨如图形。
- 3) 点击**复位**使黄色光标线可见，将光标线移动到 t_1 、 t_2 、 t_3 处时分别点击**记录** (t_1 、 t_2 、 t_3 分别为 3 个波峰对应的时间值，适当调节位置和范围的滑块有助于放大波形图，减小读数误差)，点击**计算**得到相位差。
- 4) 点击右侧“李萨如分析”中的**复位**，分别移动横向光标线（勿拖动蓝色竖线）到中垂线（蓝色竖线）与李萨如图形的两个交点处点击**记录**，得到 Y_1 、 Y_2 ，（程序自动给出 A 值，B 值由 Y_1 、 Y_2 计算得到），点击**计算**得到相位差。
- 5) 请参考表 2 格式进行多次测量。

实验内容 3 (选做):

- 1、在“计算机实测”程序界面的**拨号音**选项中操作。使用“**打开、导入**”按钮将“办公室.wav”打开并显示（该文件为座机拨打 8 位电话号码的手机录音，波形图中的 8 个小块才是拨号音，适当调节下方和右侧的滑块以便观察和测量）
- 2、点击**复位**，使光标线可见，拖动光标到某个按键音的起点和终点时分别点击**定位**确定波形分析范围，适当调节“频域下限”(<500Hz)和“频域上限”(>1800Hz)后再点“**分析**”，根据下方“电话按键对应频率表”得出 8 位电话号码。
- 3、电话按键对应频率表:

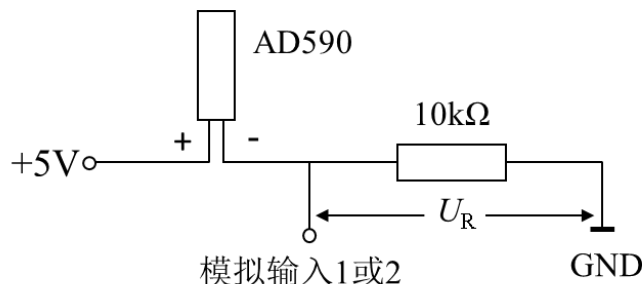
DTMF keypad frequencies (with sound clips)

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

冷却规律操作指南

一、电路连接&程序调试&传感器定标

1. 连接电路(电路图如下): 其中 AD590 温度传感器红色接头(+)与数据采集卡“+5V”输出端口连接,传感器的黑色接头(-)接 **10K Ω** 电阻。使用数据采集卡对电阻两端电压进行采样,并由程序计算得到温度值。



2. 打开冷却规律程序,根据实际连接情况选择合适的采样通道,采样率保持缺省值 2S/s。点击“打开采集卡”,观察温度示数并与实验室提供的数字温度计读数进行比较。如果存在偏差,点击“关闭采集卡”,调节 a 值使温度示数约等于室温。
3. 点击“重新记录与绘图”,等待 50 秒后点击“停止记录与绘图”,点击“利用当前曲线计算室温平均值”,即可得到室温平均值并记录。

二、自然冷却

1. 将 AD590 温度传感器置于加热管内(传感器置于加热管内中部位置),调节变压器旋钮处于 40V~60V。**加热到约 100 $^{\circ}\text{C}$ 时将变压器调回 0V!**待温度上升至约 110 $^{\circ}\text{C}$ 后取出传感器并静置(加热请确保温度不超过 120 $^{\circ}\text{C}$),点击“重新记录与绘图”进行数据采集。等待曲线趋于水平后点击“停止记录与绘图”,得到温度随时间变化曲线。
2. 点击“曲线拟合计算散热系数”,直线拟合得到 m 和 b (**纠错: b 在程序中显示为 k**)。
3. 适当去除散点图右上方最初的异常数据点,重新拟合并记录数据。
4. 移动温度-时间曲线图上的黄色竖线可以适当去除接近室温的离散数据点,观察 m 的变化,记录数据。

数据参考表格(仅供格式参考,列数需根据实际观测次数增加)

采样率: 2S/s	自然冷却	强迫冷却
室温/ $^{\circ}\text{C}$ (采样长度 50s)		
采样长度/s		
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$		
m		
b		

三、强迫冷却

加热过程和自然冷却相同,冷却过程使用风扇(开关在风扇后部,选择 II 档,建议在关闭变压器后开启),加热后将温度传感器快速取出并置于风扇前方进行冷却,得到温度随时间变化曲线。其他操作参考自然冷却。

声波合成和拍操作指南

提示：本实验不需要使用计算机实测实验仪和九孔板。

一、音叉固有频率 f_1 观测

1. 打开“声波和拍”程序，打开麦克风开关（显示 ON）。
2. 敲击音叉，程序中点击“开始（ENTER）”进行采样。
3. 观察波形图（可适当调整波形图下方和右侧的滑块），绘制波形示意图。
4. 点击“进行 FFT 分析”，得到音叉的固有频率，多次测量并计算平均值。

二、拍频观测

1. 打开音箱电源开关（和音量调节旋钮皆位于音箱后部）；
2. 打开“信号源”程序，选择信号类型为正弦波（Sine Wave），设置信号源频率（计算机系统音量需保持最大）；
3. 在“声波和拍”程序中设置采样时间（建议不小于 2s）和采样频率，并记录；
4. 合理摆放音箱、音叉、话筒三者的位置，在“信号源”程序中点击“开始”使得音箱播放音频信号，敲击音叉后，程序中点击“开始（ENTER）”进行采样；

注意事项：

完成采样后立即在“信号源”程序中点“停止”，避免声音互相干扰；

相邻实验组建议错开测量时间。

5. 观察拍的波形图（确保波形图中有多个周期性变化明显的拍，否则应适当调整实验条件，重新测量），在实验报告记录页绘制拍的波形示意图；

注意事项：

挑选和绘制可用于现象分析的波形示意图。

6. 程序中点击“复位”，使黄色光标竖线显现在波形图中，移动光标线获得 n 个拍的时间（需合理选择拍周期数 n ），程序中点击“记录”可获得 t_1 、 t_2 的值（可适当调整波形图下方和右侧的滑块，确保数值较为精确），程序中填写 n ，点击“计算”得到拍频。
7. 按照讲义中表格重复以上步骤完成实验。
8. 实验完毕后记得关闭麦克风开关（显示 OFF）。

实验数据记录参考格式：

测得音叉的固有频率平均值为 $f_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

信号源 f_2 (Hz)	$f_2 - f_1$ (Hz)	采样时间(s)	采样频率 (S/s)	拍周期数 n	拍频 f (Hz)
...

