

12 实验 S-2 RC 串联电路的暂态与稳态过程

姓名: 林继申 学号: 2250758 成绩: 优 合作者: _____
 指导教师: _____ 实验编号: 周三第 7-8 节 C 组 6 号

一、实验目的

- 学习数字示波器的使用。
- 观察 RC 电路电容的充放电特性曲线, 测量半衰期 $T_{1/2}$, 并计算电容 C 。
- 观测 RC 串联电路的相频特性。
- 使用双轨迹法和李萨如图形法测定相位差。

二、实验原理知识准备与预习自测

1. 数字示波器

数字示波器是采用数据采集、A/D 转换、软件编程等一系列的技术综合制造而成的高性能示波器。数字示波器结构如图 12-1 所示, 与模拟示波器比较, 具有哪些差异?

~~最大的差异在于显示信号的成像方式不同。模拟示波器无法使显示画面固定, 也无法自动执行波形测量, 只能通过显示屏的网格线进行手动测量, 因此读数误差较大。数字显示器将输入信号经过前置处理, 并通过模数转换器进行采样和数字转换, 转换为~~

~~且可实现自动测试、对信号的实时捕获。而且~~

~~显示器可以根据被测~~

~~不确定和调整测试条件,~~

~~试, 在波形存储与运算~~

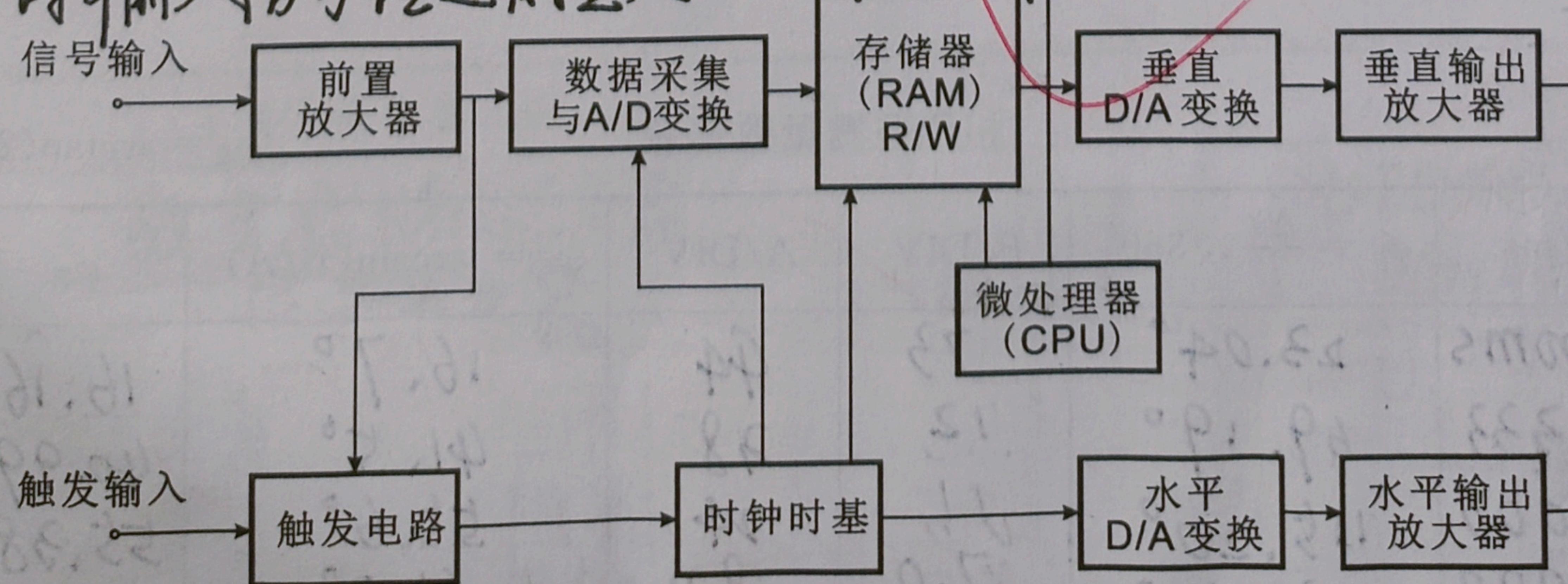


图 12-1 数字示波器的原理框图

2. RC 串联电路的暂态与稳态特性

在 RC 串联电路中, 电路中的电压和电流随电源作恒定的周期性变化, 电路的这种状态称为 电路的稳态过程, 然而这种具有储能元件(C 或 L)的电路在电路接通、断开, 或电路的参数、结构、电源等发生改变时, 电路从一个稳态经过一定时间过渡到另一新的稳态, 这一过程称为 电路的暂态过程.

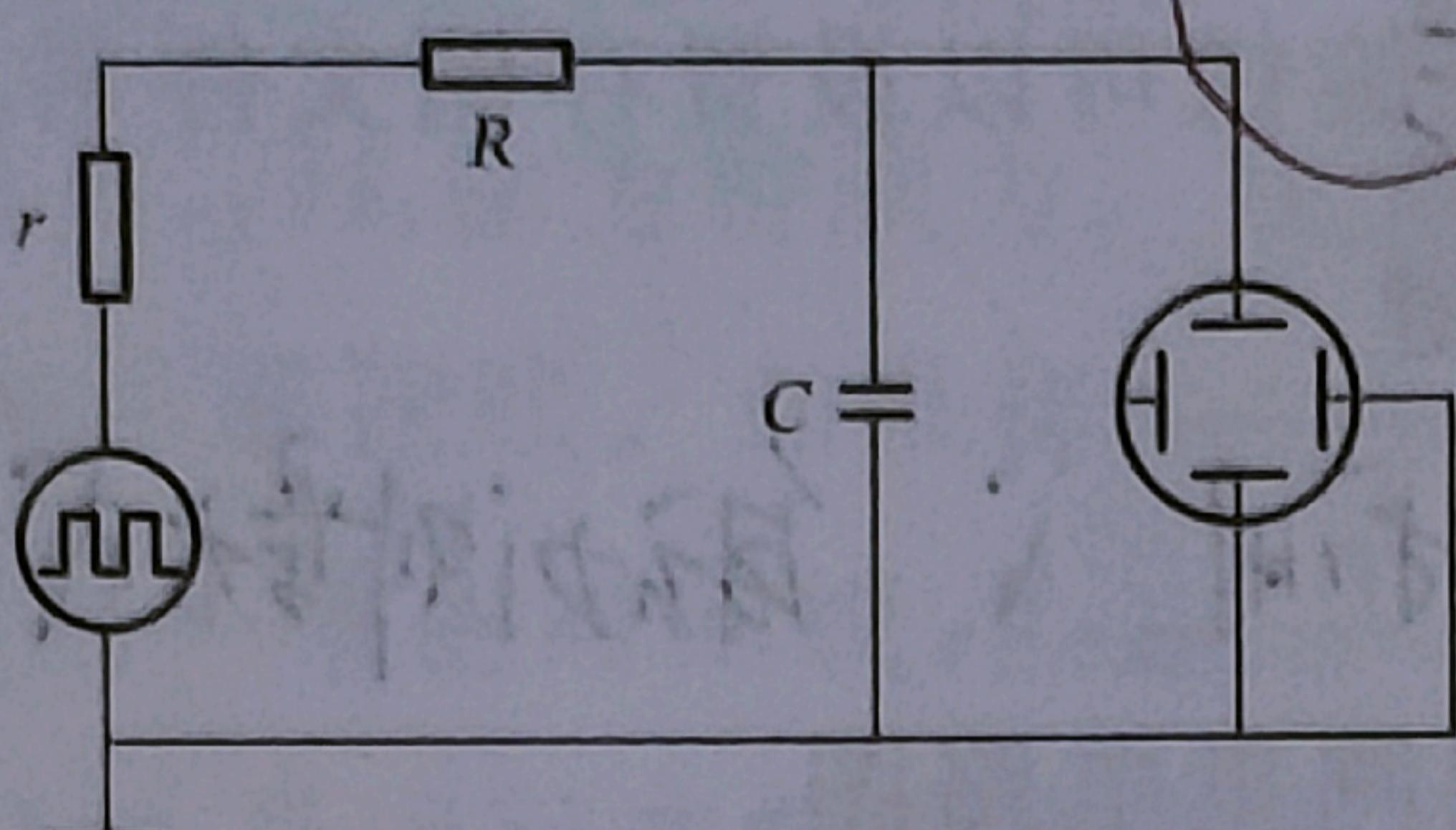


图 12-2 RC 充放电电路

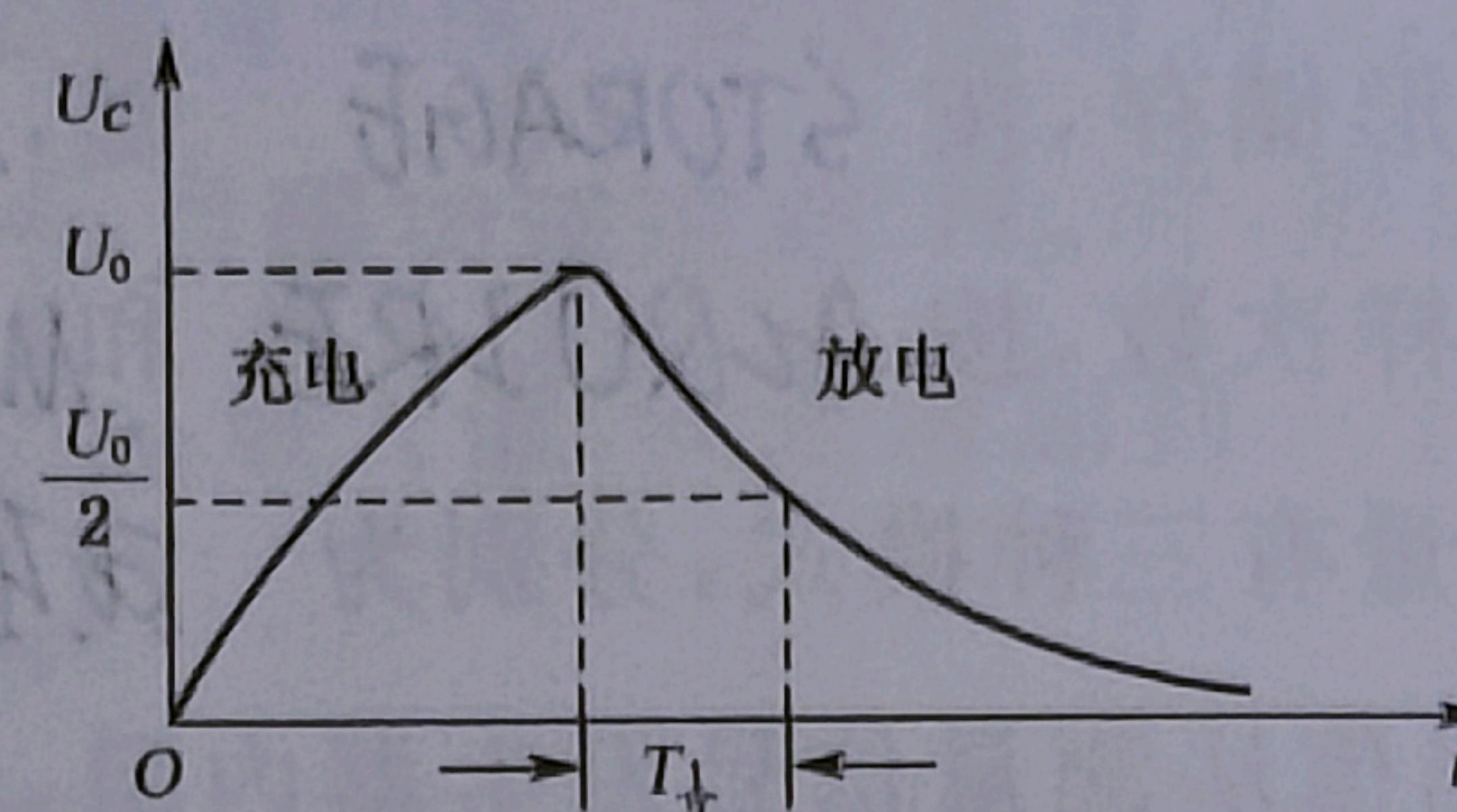


图 12-3 RC 放电曲线

$$RC \frac{du}{dt} + U_c = E$$

RC 串联电路的充电方程

$$RC \frac{du}{dt} + U_c = 0$$

RC 串联电路的放电方程

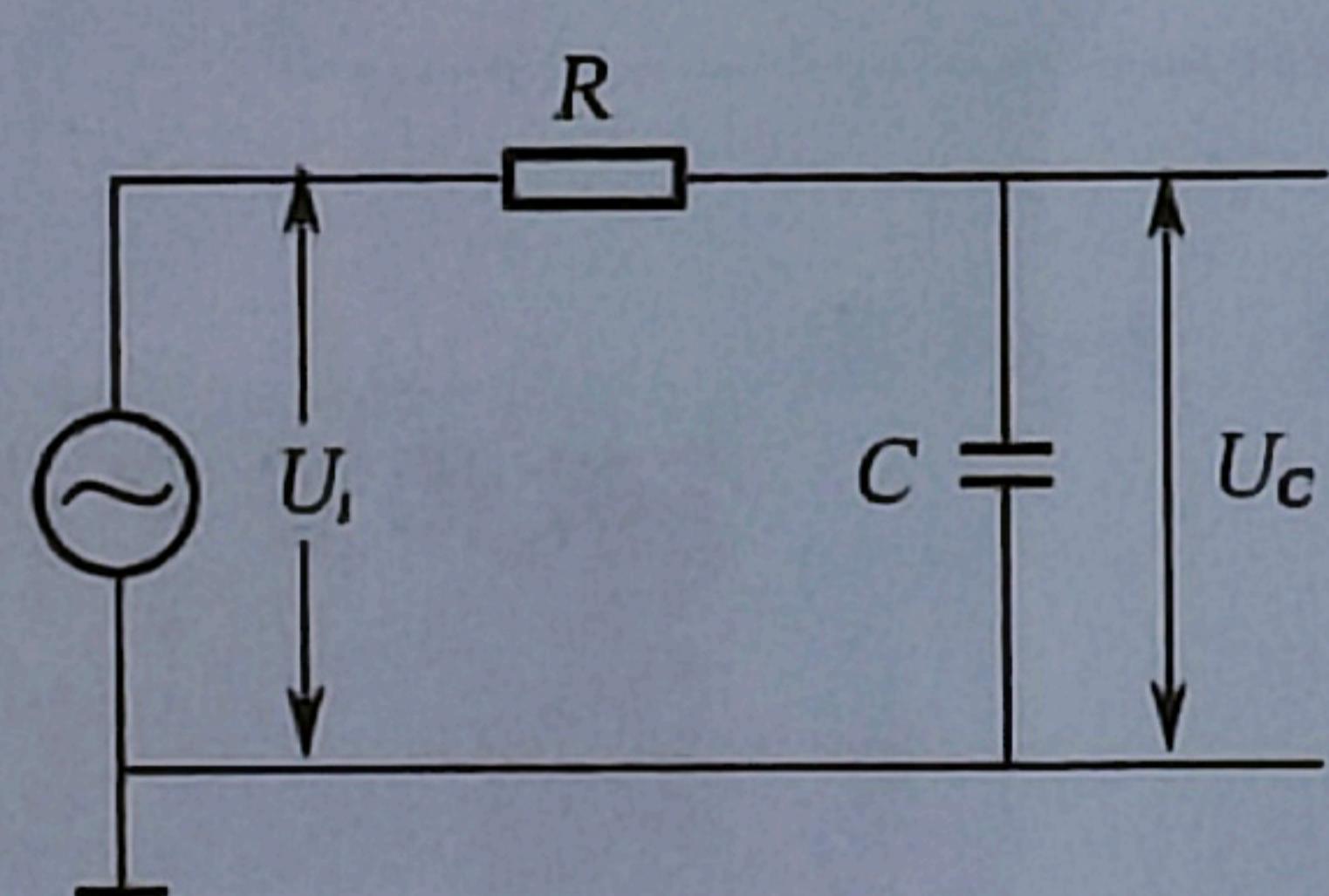
$$\text{时间常数 } \tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = 1.443 T_{1/2}$$

(其与半衰期 $T_{1/2}$ 的关系)。

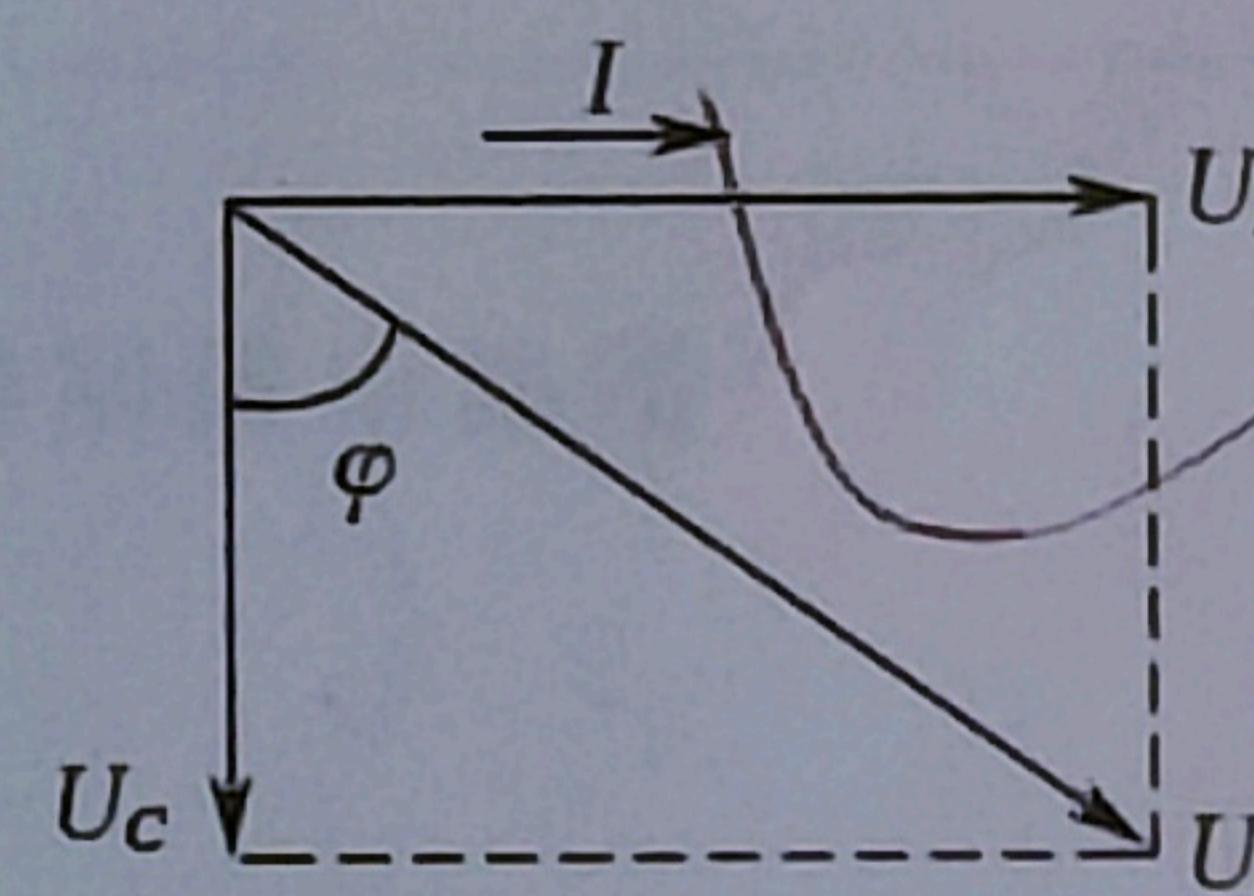
3. RC 串联电路的稳态过程

图 12-4(a) RC 电路, 幅频特性是指 电流、电压的幅值与频率的关系.

图 12-4(b) RC 电路, 相频特性是指 各元件上的电压和信号电压之间的相位差与频率的关系.



(a)



(b)

图 12-4 RC 相移电路

$$U_c \text{ 和 } U_i \text{ 之间的相位差 } \varphi = \arccos \frac{U_c}{U_i}$$

4. 示波器测定相位差

$$\text{双轨迹法测定方法, } \varphi = \frac{\Delta \theta}{f} \times 360^\circ$$

$$\text{李萨如图形法测定方法, } \varphi = \arcsin \frac{B}{A}$$

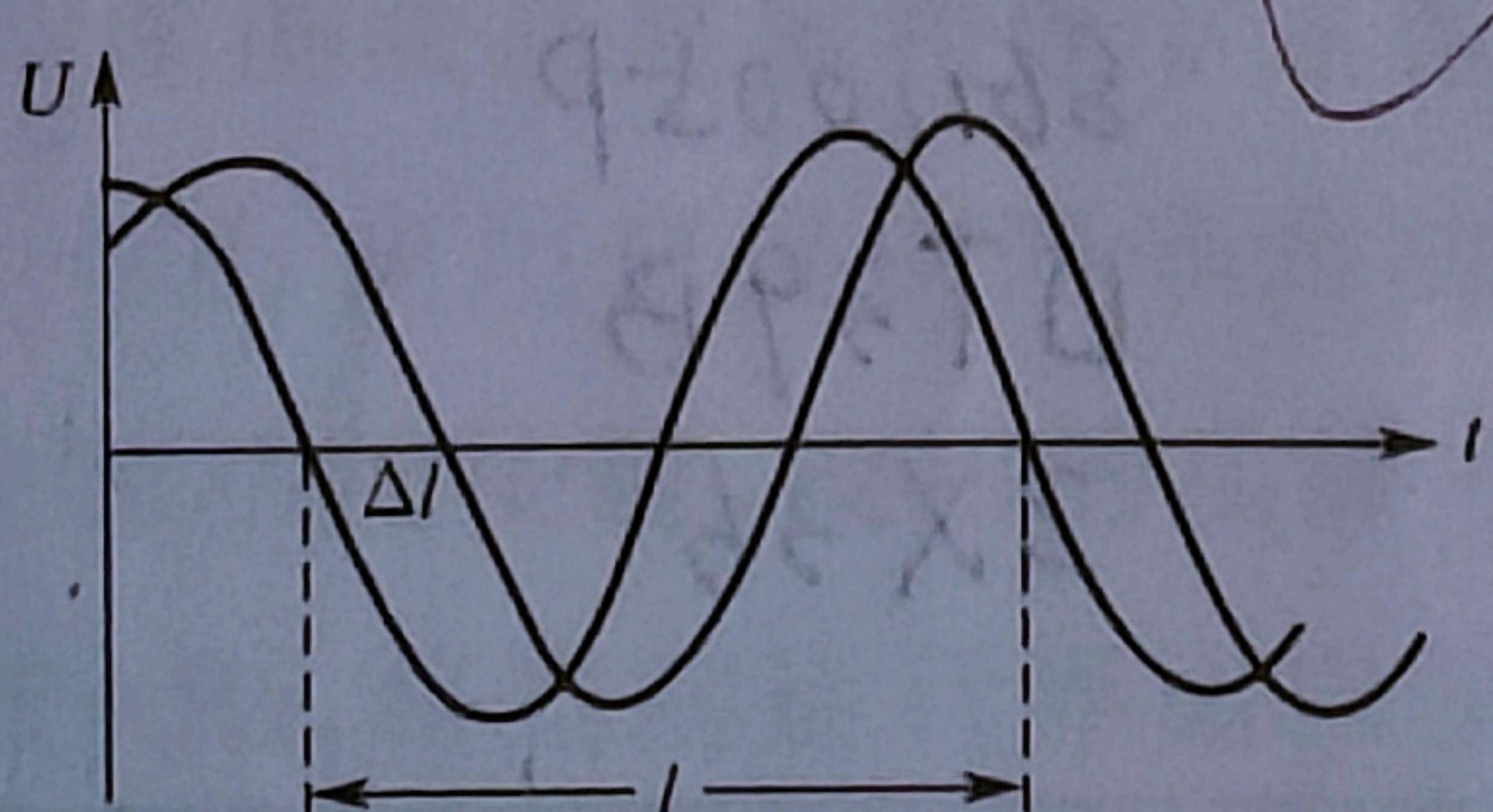


图 12-5 用双轨迹法测定相位差

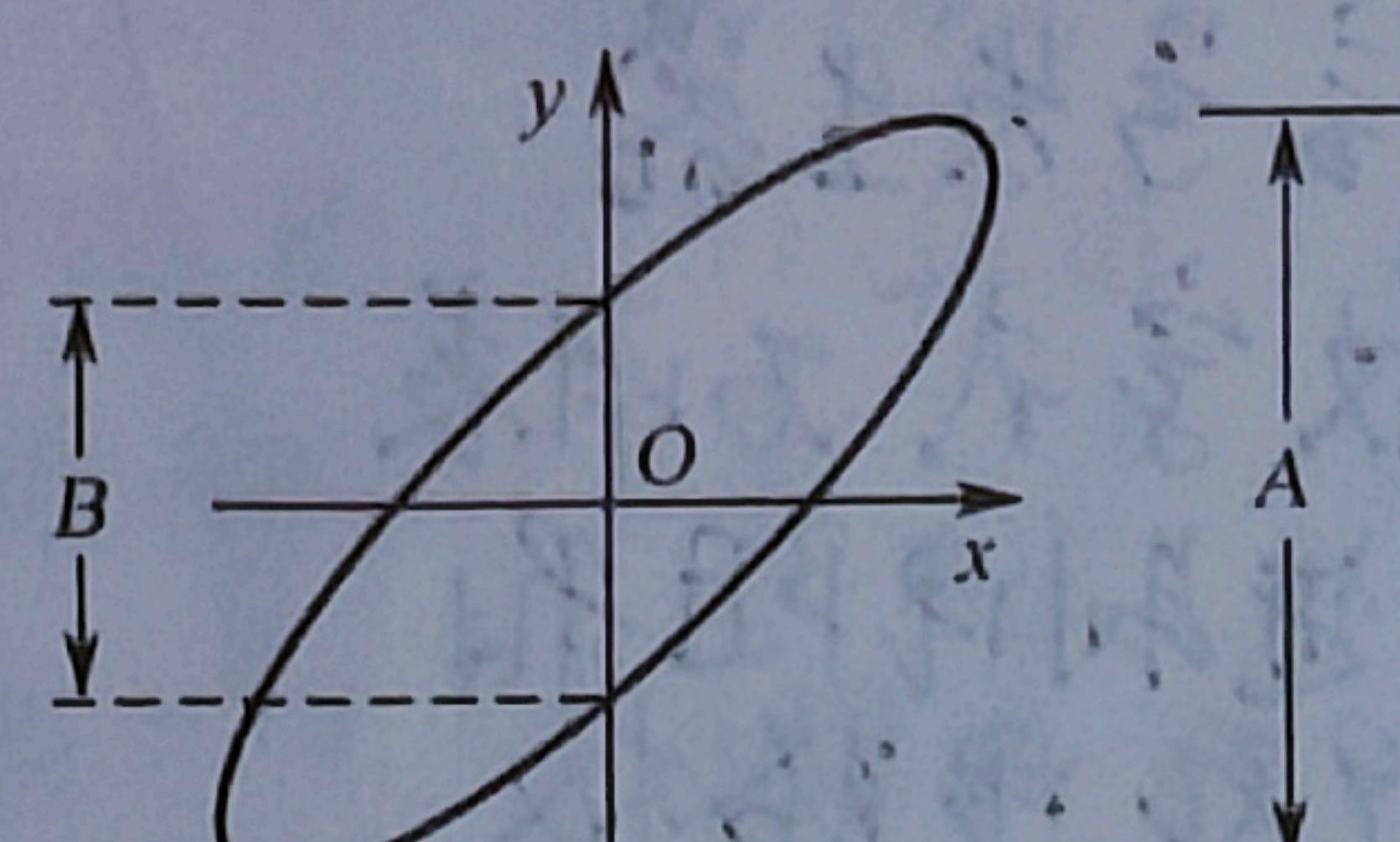


图 12-6 用李萨如图形测定相位差

三、实验步骤

1. 熟悉数字示波器的使用方法。

自动测量按 MEASURE 键, 显示信号参数按 CH1 和 CH2 键。

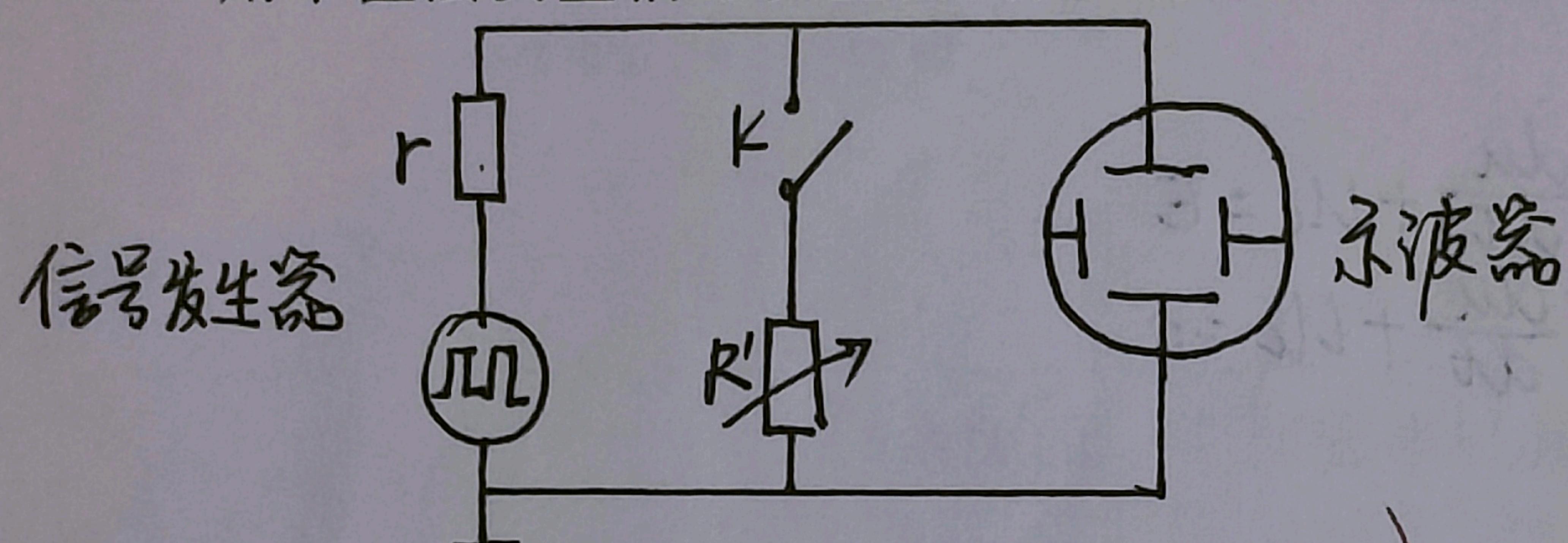
切换 Y-T 和 X-Y 显示方式, 按 HORIZONTAL 和 VERTICAL 键。

选择波形储存, 按 SAVE 键, MULTI PURPOSE 旋钮可以设置存储文件名。

设置采样次数, 按 ACQUIRE 和 F₂ 键。

光标测量有三种模式, 分别为 手动方式、追踪方式、自动测量方式

2. 用半值法测量信号发生器内阻, 请在下方绘制测量电路图。



3. 观察电容充放电曲线, 测量半衰期 $T_{1/2}$, 并计算电容 C。

4. 调节信号源频率 f(可从几百 Hz 到几千 Hz 取三个不同值), 分别用两种方法测量 RC 串联电路中 U_i 与 U_c 的相位差, 并与理论值相比较。

教师签名:

郭 3.16

四、实验仪器

主要实验仪器名称	规格型号
数字存储示波器	UTD2052EEL
信号发生器	SG1005P
数字式万用表	UT39B
十进制电阻箱	ZX36
98L串路板	

五、注意事项(在开始实验操作前请仔细阅读以下说明)

1. 信号发生器与数字示波器为精密电子仪器,调节要轻缓。
2. 按电路图正确接线与操作,严禁信号发生器输出短路。
3. 信号发生器和数字示波器的接地端(黑色接头)要共地。

六、实验现象观察与数据记录

数据记录: 1. 半值法测量信号发生器内阻 $r = 49\Omega$

$$2. 测量电容: T_{1/2} = 360.0 \mu s \quad C = \frac{T_{1/2}}{0.693(R+r)} = 0.49 \mu F \quad (R=1k\Omega)$$

$$3. 测量相位差 \quad R_{总} = R + r = 1049\Omega \quad C = 0.49 \mu F.$$

f/Hz	$\Delta t/\text{ms}$	T/ms	B/DIV	A/DIV
100	0.48	10.00	2.4	8.0
300	0.40	3.33	5.4	8.0
600	0.28	1.67	7.0	8.0
1000	0.18	1.00	7.3	8.0
1500	0.12	0.67	7.5	8.0

教师签名:

王迪

原始数据记录必须用圆珠笔或钢笔书写;经教师签名才有效。

七、实验数据处理

1. 半值法测量信号发生器内阻

$$r = 49\Omega$$

2. 测量电容

$$T_{1/2} = 360.0 \mu s$$

$$C = \frac{T_{1/2}}{0.693(R+r)} = 0.49 \mu F$$

3. 测量相位差

$$R_{总} = R + r = 1049\Omega$$

$$C = 0.49 \mu F$$

表 12-1

相位差测量数据表

$$\varphi_{理} = \arctan(2\pi f R_{总} C)$$

f/Hz	$\Delta t/\text{ms}$	T/ms	$\varphi_1 = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$	B/DIV	A/DIV	$\varphi_2 = \arcsin(B/A)$	$\varphi_{理}$	E_0	E_{02}
100	0.48	10.00	17.3°	2.4	8.0	17.5°	17.9	3.3%	2.2%
300	0.40	3.33	43.2°	5.4	8.0	42.4°	44.1°	2.0%	3.8%
600	0.28	1.67	60.4°	7.0	8.0	62.7°	62.7°	3.7%	2.7%
1000	0.18	1.00	64.8°	7.3	8.0	72.8°	72.8°	10.1%	9.6%
1500	0.12	0.67	64.5°	7.5	8.0	69.6°	78.3	17.6%	11.1%

对实验原理的深入讨论：交流电路中电容和电感元件的阻抗会随着输入信号频率的变化而变化，从而上的电压及相位产生相对应的变化，这称作电路的频率特性。也称稳态特性，还有幅频特性与相频特性。通过对交流电路稳态特性的研究，有助于掌握电子线路总对频率的分析方法。利用RC串联电路相移可进行移相电路和RC滤波电路的设计。

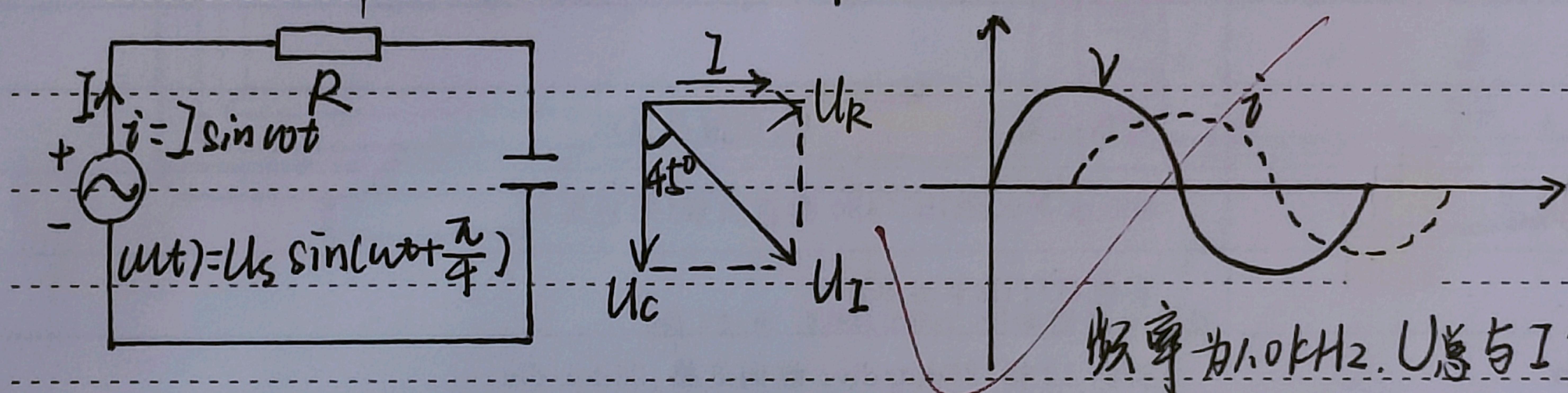
一、提高实验测量精度的方法：

在光标测量时，可放大示波器所显示图形，使测量时更加精确，减小误差，或对波形的不同区域进行多次测量。

九、思考题

1. 试设计频率为 1.0 kHz, $U_{\text{总}}$ 与 I 的相移为 45° 的相移器，并绘制测试电路图。

(i 为电路中电流, U_R, U_C 为元件上电压)



2. 与模拟示波器比较，数字示波器具有哪些测量优点？

- ①可以根据被测信号的特点自动确定和调整测试条件，真正实现自动测试
- ②能够较容易地实现对高速、瞬态信号的实时捕获
- ③在波形存储与运算方面有着明显的优势

教师签名：

郭 3.16

十、实验拓展

利用示波器观测动态磁滞回线

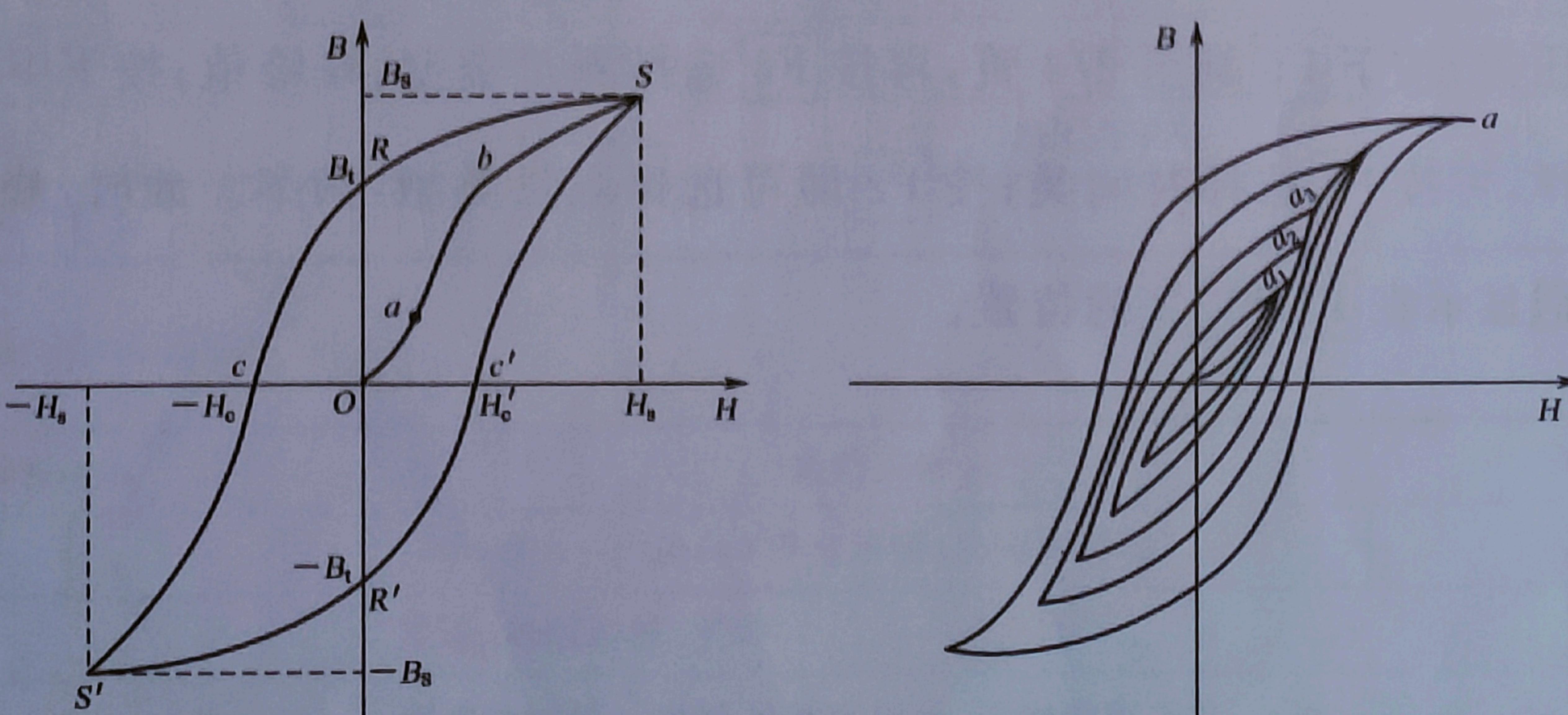


图 12-7 起始磁化曲线、基本磁化曲线和磁滞回线

磁介质分为顺磁质、抗磁质、铁磁质等。对于顺磁质、抗磁质, B 与 H 成正比关系。

对铁磁质物质, B 与 H , M 与 H 的关系可以用磁滞回线来表示。一块从未被磁化的材

料在磁化时,当 H 由 0 开始逐渐增加至最大值 H_m , B 也由 0 开始逐渐增加,最后趋于不变。

这段 B - H 曲线称为起始磁化曲线。最后 B 趋于不变的现象称为饱和,饱和时的磁感应强

度称为饱和磁感应强度 B_s 。当磁场由 H_m 减小至 0, B 并非沿原来的磁化曲线返回,而是滞

后于 H 的变化。当 $H = 0$ 时, $B = B_r$, 称为剩余磁感应强度。要想使 B 为 0, 就必须施加一

反向磁场 H_c , H_c 称为矫顽力。在交变磁场作用下,当磁场强度达 H_m 时,形成一条闭合曲

线,叫饱和磁滞回线。如果初始磁化时 B 没有增大到最大值,而是增加到一个小一点的值,

也可以得到一条磁滞回线,但这是不饱和磁滞回线。

图 12-8 是用示波器测量动态磁滞回线的电路图。磁环由铁磁质物质组成。调节 R_2 大小、 U_i 信号幅度及频率,可以得到饱和磁滞回线。

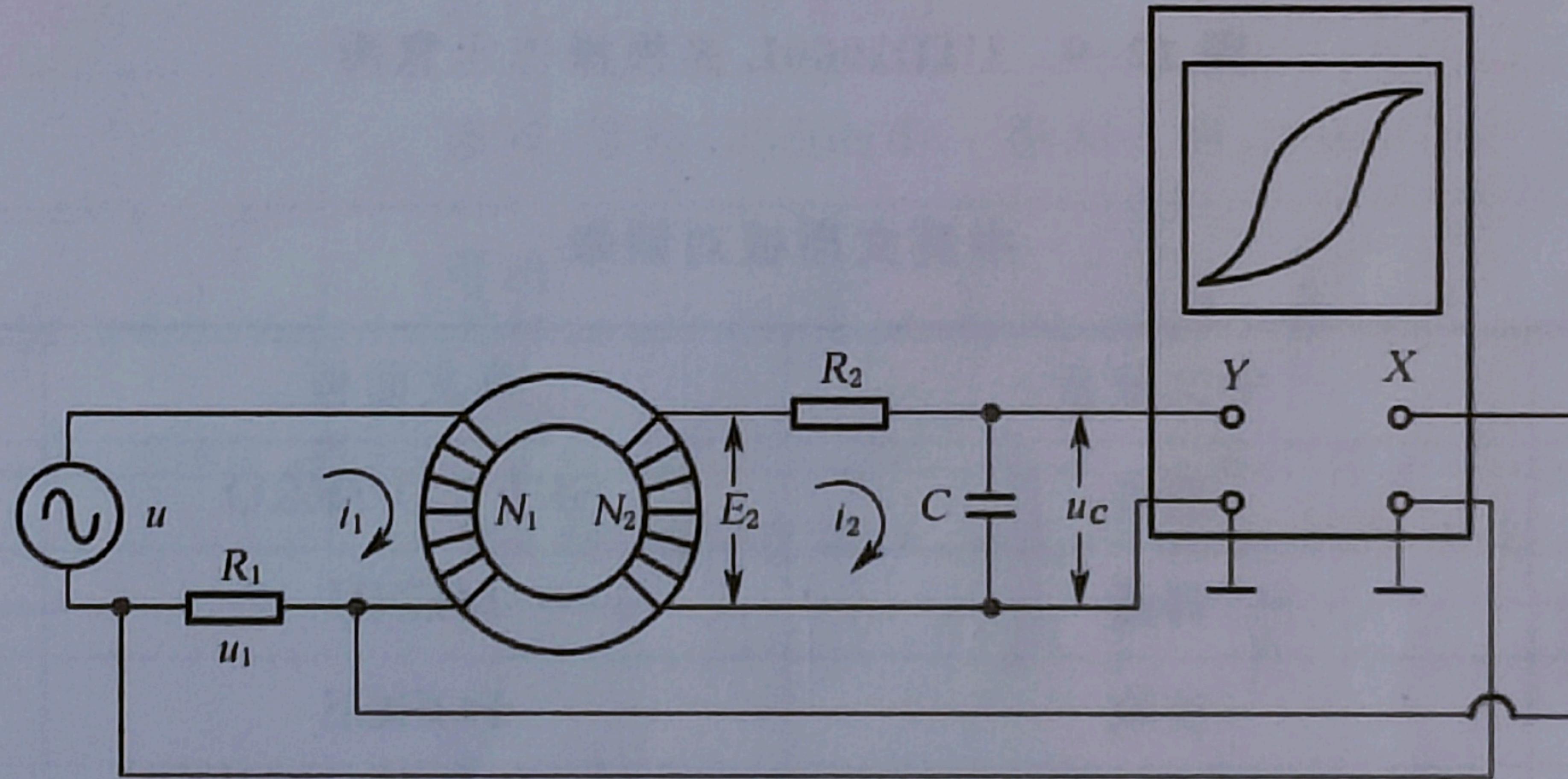


图 12-8 测量动态磁滞回线电路图

实验参数:

$$N_1 = 60 \text{ 匝}, N_2 = 65 \text{ 匝}, R_1 = 2.0 \Omega, C = 4.7 \mu\text{F}, d_{\text{外径}} = 14.00 \text{ mm}, d_{\text{内径}} = 7.90 \text{ mm}, h = 6.50 \text{ mm}, l = \pi(d_{\text{外径}} + d_{\text{内径}})/2 = 34.40 \text{ mm}, S = (d_{\text{外径}} - d_{\text{内径}})h/2 = 19.8 \text{ mm}^2$$

[附录]UTD2000L 系列数字示波器使用说明

1. 概述

UTD2000L 系列数字存储示波器是小型、轻便的台式数字存储示波器。其具有更快完成测量任务所需要的高性能指标和强大功能:通过 1 GS/s 的实时采样和 25 GS/s 的等效采样,可在 UTD2000L 数字存储示波器上观察更快的信号;强大的触发和分析能力使其易于捕获和分析波形;清晰的液晶显示和数学运算功能,便于用户更快更清晰地观察和分析信号问题。

UTD2000L 向用户提供简单而功能明晰的前面板(图 12-9),以进行基本的操作。面板上包括旋钮和功能按键,旋钮的功能与其他数字存储示波器类似。显示屏右侧的一列是屏幕拷贝键(PrtSc,将当前运行界面以图片格式存储到外部 USB 设备中)和五个按键菜单操作键(自上而下定义为 F1 键至 F5 键)。通过按键菜单操作键,可以设置当前菜单的不同选

项；其他按键为功能键，可以进入不同的功能菜单或直接获得特定的功能应用。

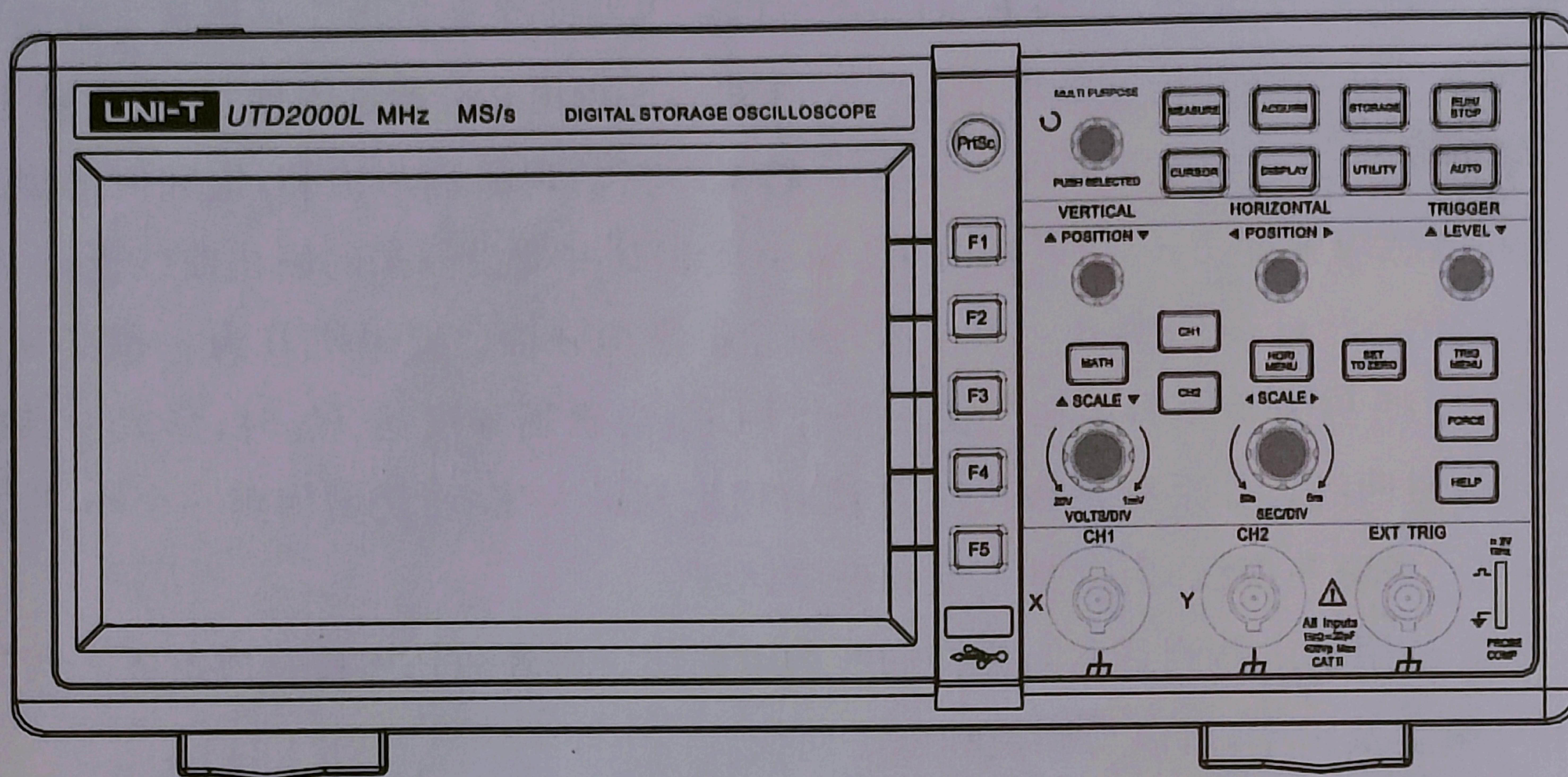


图 12-9 UTD2000L 面板操作示意图

表 12-2 中英文面板对照表

英文面板	中文面板	英文面板	中文面板
SELECT	选择	SET TO ZERO	置零
MEASURE	测量	MENU	菜单
ACQUIRE	获取	FORCE	强制触发
STORAGE	存储	HELP	帮助
RUN/STOP	运行/停止	HORIZONTAL	水平
VERTICAL	垂直	TRIGGER	触发
CURSOR	光标	▲ POSITION ▼	垂直位置
DISPLAY	显示	▲ POSITION ▼	水平位置
UTILITY	辅助功能	LEVEL	触发电平
AUTO	自动设置	SCALE	标度
CH1	CH1 通道	VOLTS/DIV	伏/格
CH2	CH2 通道	SEC/DIV	秒/格
MATH	数学		

2. 部分技术指标

采样方式	实时采样	等效采样
采样率	500 MS/s~1 GS/s (带宽不同,采样率不同)	25 GS/s
采样	采样、峰值检测、平均	
平均值	所有通道同时达到N次采样后,N次数可在2、4、8、16、32、64、128和256之间选择	

输入	
输入耦合	直流、交流、接地(AC、DC、GND)
输入阻抗	$1 M\Omega \pm 2\%$, 与 $20 \pm 3 pF$ 并联
探头衰减系数设定	$1\times, 10\times, 100\times, 1000\times$
最大输入电压	400 V(DC+AC 峰值、 $1 M\Omega$ 输入阻抗)
通道间时间延迟(典型)	150ps

显示	
显示类型	对角线为 178 mm(7 inch)的液晶显示
显示分辨率(显示)	800 水平×RGB×480 垂直象素(彩色屏)
显示色彩	彩色(UTD2 # # 2C)
波形显示区域	横向 12 格, 25dot/div; 纵向 8 格, 25dot/div
显示对比度	可调
背光强度	300nit
显示语言种类	中文简体, 中文繁体, 英文, 西班牙, 葡萄牙, 法文

3. 应用举例

观测电路中一未知信号, 迅速显示和测量信号的频率和峰峰值。

(1) 欲迅速显示该信号, 请按如下步骤操作:

将 **CH1** 的探头连接到电路被测点; 按下 **AUTO** 按键。

(2) 进行自动测量信号的电压和时间参数

按 **MEASURE** 按键, 以显示自动测量菜单; 按下 **F1**, 进入测量菜单种类选择; 按下 **F3**, 选择电压类; 按下 **F5** 翻至 2/4 页, 再按 **F3** 选择测量类型: 峰峰值; 按下 **F2**, 进入测量菜单种类选择, 再按 **F4** 选择时间类; 按 **F2** 即可选择测量类型: 频率。此时, 峰峰值和频率的测量值分别显示在 **F1** 和 **F2** 的位置。