



中山大学

电路基础实验报告

完成人： 雷俊峰、李冬

学号： 19308069、19308072



一、实验目的

通过本次实验，达到以下目的：

1. 一阶、二阶动态电路：

- 加深对 RC 微分电路和积分电路过渡过程的理解。
- 研究 R 、 L 、 C 电路的过渡过程。

2. R、L、C 元件性能的研究：

- 用伏安法测定电阻、电感和电容元件的交流阻抗及其参数 R 、 L 、 C 之值。
- 研究 R 、 L 、 C 元件阻抗随频率变化的关系。
- 学会使用交流仪器。

二、仪器设备

1. TPE-DG2L 电路分析实验箱，主要使用：

不同阻值电阻（1k Ω 、510k Ω 、滑动变阻器）、电线等

2. SIGLENT SDM3065X 数字万用表

3. SIGLENT SPD3303X 可编程线性直流电源

4. SIGLENT SDS5000X 双踪示波器

5. SIGLENT SDG-6000X-E 函数信号发生器



三、实验原理与内容

1. 含有受控源电路的研究

(1) 实验目的

1. 加深对 RC 微分电路和积分电路过渡过程的理解。
2. 研究 R 、 L 、 C 电路的过渡过程。

(2) 实验原理

I. 微分电路

电容上的电压电流关系为 $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$, 如图 1-1 所示电路中

$$u_{sc} = Ri = RC \frac{du_c}{dt}$$

当时间常数 $\tau = RC$ 很小, 也即 $u_c \gg u_{sc}$ 时, 输入电压与电容电压近似相等, 也即 $u_{sr} \approx u_c$ 。导出公式

$$u_{sc} = Ri = RC \frac{du_{sr}}{dt}$$

也即是, 当 $\tau = RC$ 很小时, 输出电压近似与输入电压的导数成正比, 此电路称为“微分电路”。

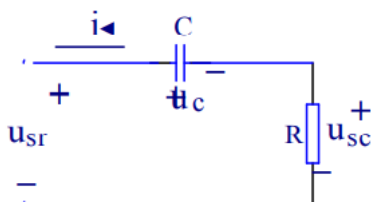


图 1-1



II. 积分电路

将上图中电阻电容对调得到电路图 1-2，采用类似方法分析可导出公式

$$u_{sc} \approx \frac{1}{RC} \int u_{sr} dt$$

当 $\tau = RC$ 很大时，输出电压近似于输入电压对时间的积分成正比，此电路称为“积分电路”。

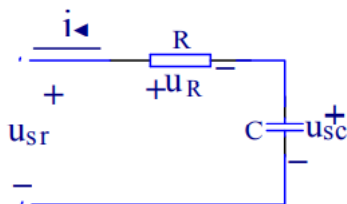


图 1-2

(3) 预习内容

1. 图 1-3 电路中，设 u_λ 为一阶跃电压，其幅度为 $U=3V$ ， $C=20\mu F$ 。试分别画出 $R=100K$ 、 $R=10K$ 、 $R=1K$ 时的 $u_{出}$ 曲线。

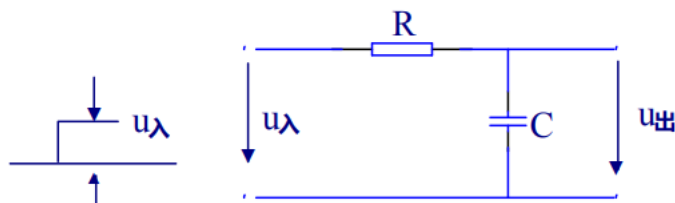
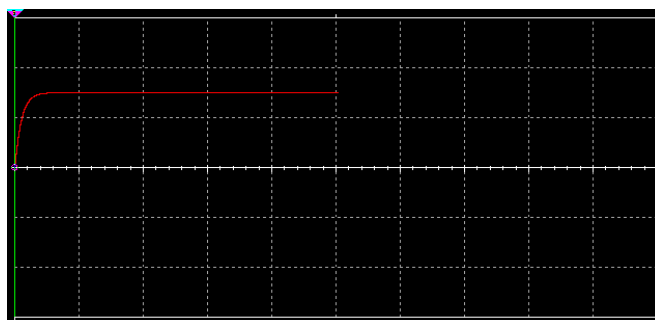
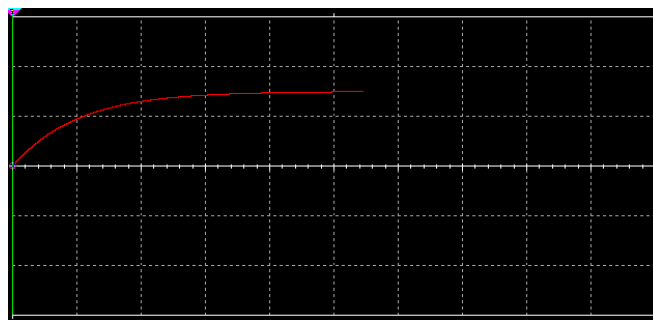


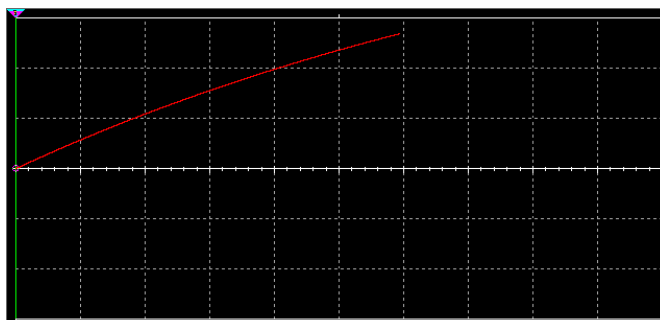
图 1-3



$R=1K$



R=10K



R=100K

图像分析:

当 RC 电路中的 R 的阻值越来越大时, 积分特性越来越好, R 越小, 输出波形越接近阶跃信号。

2. 图 1-5 电路中, 设 u_{λ} 为一矩形脉冲电压, 其幅度为 $U=6V$, 频率为 $1KHz$, $C=0.033 \mu F$ 。试分别画出 $R=100K$ 以及 $R=10K$ 时的 $u_{\text{出}}$ 波形。

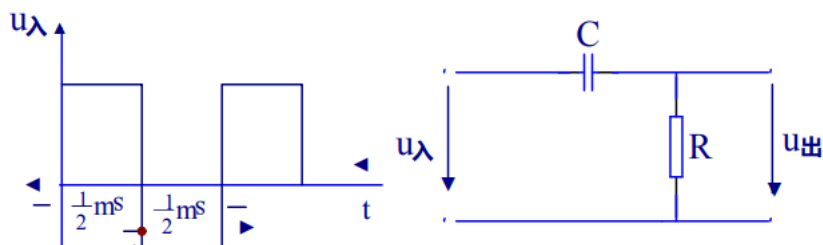
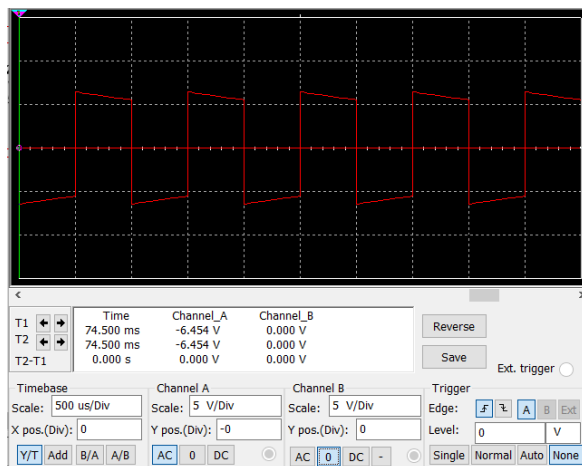
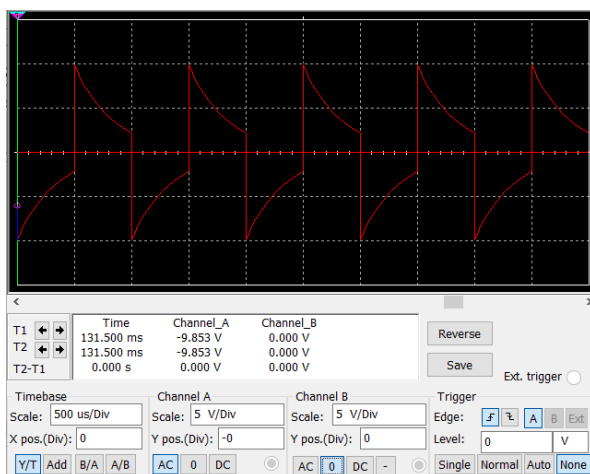


图 1-5



R=100K



R=10K

图像分析:

当 $R=100K$ 时, 微分特性较差, R 两端的输出电压接近输入电压。当 $R=10K$ 时, 电容两端电压接近输入电压, 微分特性良好, 输出波形呈尖脉冲状。



3. 图电路中, 设 u_{λ} 为一矩形脉冲电压, 其幅度为 $U=6V$, 频率为 1kHz , $C=0.033\mu\text{F}$, $R=10\text{K}$ 。试画出 $u_{\text{出}}$ 波形。

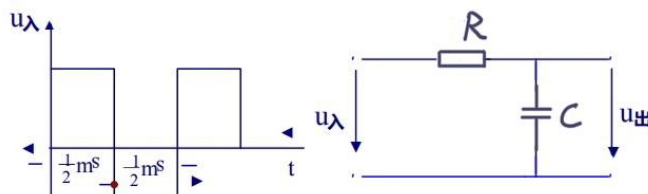
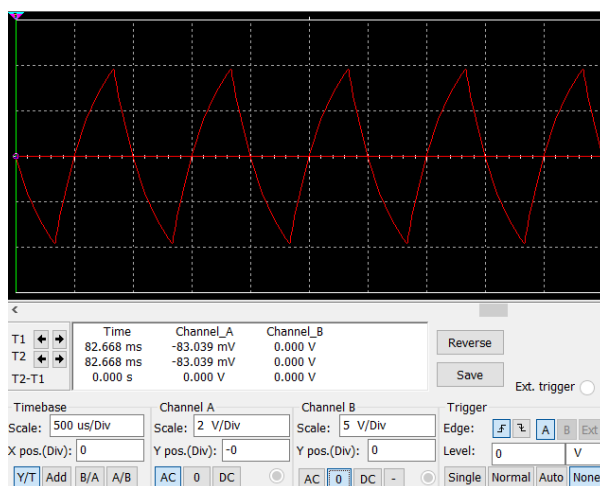


图 1-7



$R=10\text{K}$

图像分析:

输出波形呈现出积分特性, 近似为三角波, 直线略有弯曲是因为 R 对电路有影响。



(4) 实验内容及步骤

1. 按图 8-9 接线，用示波器观察作为电源的矩形脉冲电压。周期 $T=1\text{ms}$ 。

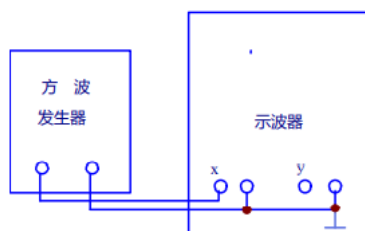


图 1-8

- 数据计算：

$$f = \frac{1}{T} = 1\text{kHz}$$

- 波形记录：

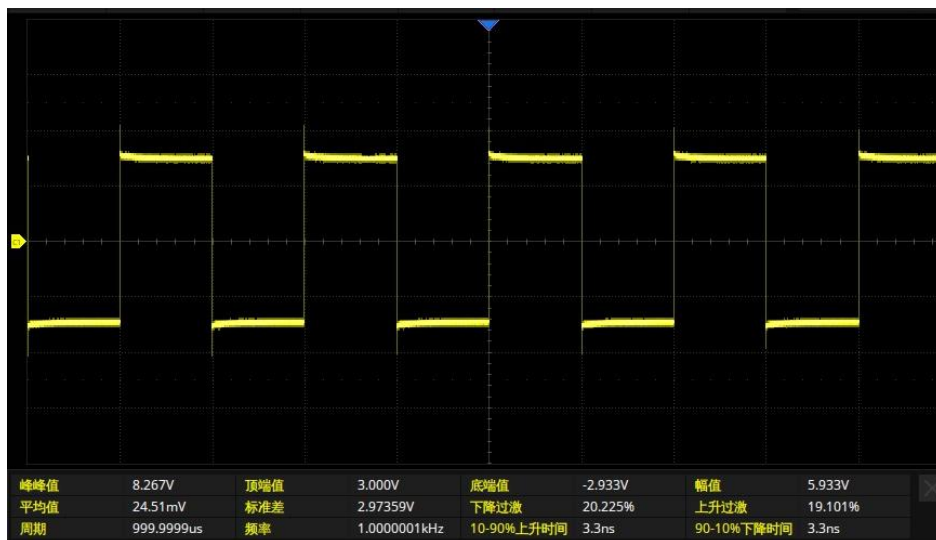


图 1-9 直连函数发生器

- 波形分析：

由于示波器直连函数发生器，所以波形应该是未失真的电源输出的矩形脉冲电压。



2. 按图 8-10 接线, 使 R 为 $10K$, 分别观察和记录 $C=1\mu$ 、 0.1μ 、 0.01μ 时荧光屏上显示的波形。

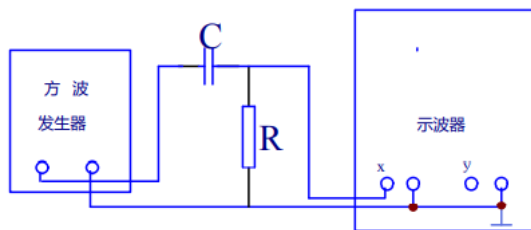


图 1-10

• 波形记录:

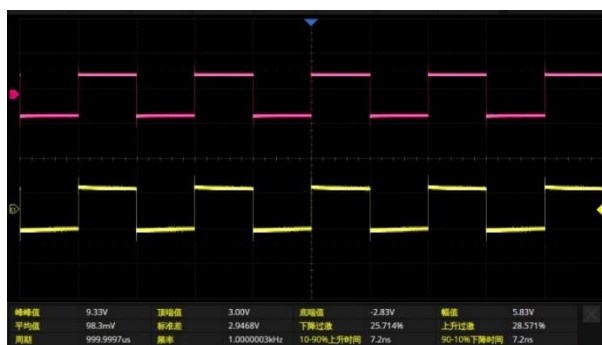


图 1-11 1μ

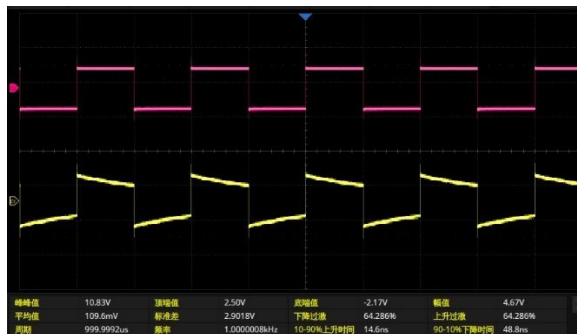


图 1-12 0.1μ

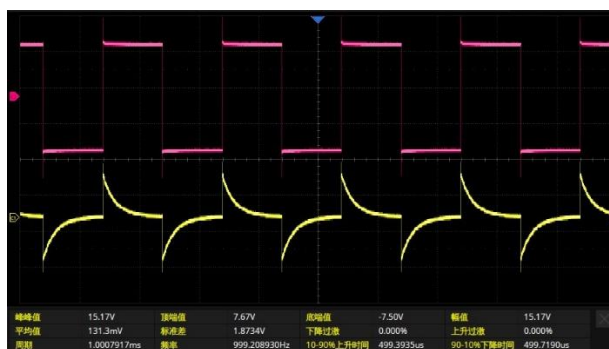


图 1-13 0.01μ



• 波形分析:

该电路实现的功能为微分电路 $u_{sc} = Ri = RC \frac{du_{sr}}{dt}$ 。当时间常数 τ 越小时，微分现象越明显。

由实验得到的波形很容易看出，随着电容逐渐减小，输出波形中微分现象越来越明显。当 $C=0.01 \mu F$ 时，满足时间常数很小的条件，波形符合周期矩形波的微分波形——尖脉冲波。

3. 按图 8-11 接线。使 R 为 $10K$ ，分别观察和记录 $C=0.5\mu$ 、 0.01μ 两种情况下荧光屏上显示的波形。

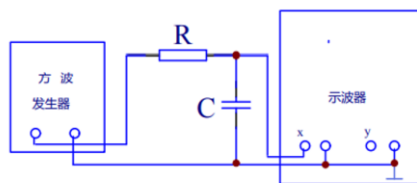


图 1-14

• 波形记录:

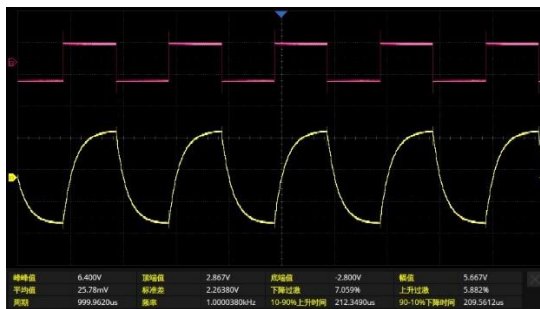


图 1-15 0.01μ

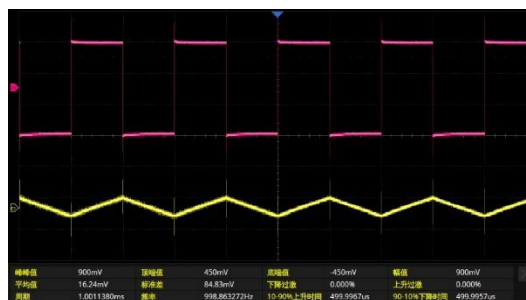


图 1-16 0.5μ



- 波形分析:

该电路实现的功能为积分电路 $u_{sc} \approx \frac{1}{RC} \int u_{sr} dt$ 。当时间常数 τ 越大时，积分现象越明显。

由实验得到的波形很容易看出，当 $C=0.01 \mu F$ 时，输出波形接近周期矩形波的积分波形，当 $C=0.5 \mu F$ 时，满足时间常数很大的条件，波形符合周期矩形波的积分波形——三角波。

(6) 实验分析及思考

微分电路与积分电路的异同及比较:

- 条件: 积分电路要求 $\tau = RC$ 很大; 微分电路要求 $\tau = RC$ 很小。

具体条件为积分电路的时间常数 τ 要大于或者等于 10 倍输入脉冲宽度
微分电路的时间常数 τ 要小于或者等于 1/10 倍的输入脉冲宽度。

- 原理: 都利用了电容上电压与电流关系式 $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$ 。

- 电路结构: 积分电路电阻串联在主电路中，电容在干路中，微分电路则相反。

- 波形转换: 积分电路可以使输入方波转换成三角波（斜波）; 微分电路可以使使输入方波变为尖脉冲波。



2. R、L、C 元件性能的研究

(1) 实验目的

1. 用伏安法测定电阻、电感和电容元件的交流阻抗及其参数 R 、 L 、 C 之值。
2. 研究 R 、 L 、 C 元件阻抗随频率变化的关系。
3. 学会使用交流仪器。

(2) 实验原理

1. 电阻元件：

在仍何时刻电阻两端的电压与通过它的电流都服从欧姆定律。即

$$u_R = Ri$$

式中 $R = \frac{u_R}{i}$ 是一个常数，称为线性非时变电阻，其大小与 u_R 、 i 的大小及方向无关，具有双向性。它的伏安特性是一条通过原点的直线。在正弦电路中，电阻元件的伏安关系可表示为：

$$U_R = IR$$

式中 $R = \frac{U_R}{I}$ 为常数，与频率无关，只要测量出电阻端电压和其中的电流便可计算出电阻的阻值。电阻元件的一个重要特征是电流 I 与电压 U_R 同相。

2. 电感元件：

电感元件是实际电感器的理想化模型。它只具有储存磁场能量的功能。它是磁链与电流相约束的二端元件。即：

$$\psi_L(t) = Li$$

式中 L 表示电感，对于线性非时变电感， L 是一个常数。电感电压在图示关联参考方向下为：

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

在正弦电路中： $U_L = jX_L I$

式中 $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 称为感抗，其值可由电感电压、电流有效值之比求得。

即 $X_L = \frac{U_L}{I}$ ，当 $L =$ 常数时， X_L 与频率 f 成正比， f 越大， X_L 越大， f 越小， X_L



越小，电感元件具有低通高阻的性质。若 f 为已知，则电感元件的电感为：

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

理想电感的特征是电流 I 滞后于电压 $\frac{\pi}{2}$

3. 电容元件：

电容元件是实际电容器的理想化模型，它只具有储存电场能量的功能，它是电荷与电压相约束的元件，即：

$$q(t) = Cu_c$$

式中 C 表示电容，对于线性非时变电容， C 是一个常数。电容电流在关联参考方向下为：

$$i = C \frac{du_c}{dt}$$

在正弦电路中 $I = \frac{U_c}{-jX_c}$

式中 $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ 称为容抗。其值为 $X_c = \frac{U_c}{I}$ ，可由实验测出。当 $C =$ 常数时， X_c 与 f 成反比， f 越大， X_c 越小， $f = \infty$ ， $X_c = 0$ 电容元件具有高通低阻和隔断直流的作用。当 f 为已知时，电容元件的电容为：

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

电容元件的特点是电流 I 的相位超前于电压 $\frac{\pi}{2}$

(3) 实验仪器

1. 电路分析实验箱 一台
2. 功率信号发生器 一台
3. 交流毫伏表 一只
4. 数字万用表 一只



(4) 实验内容及步骤

1. 测定电阻、电感和电容元件的交流阻抗及其参数：

(1) 按图 2-1 接线确认无误后，将信号发生器的频率调节到 50Hz，并保持不变，分别接通 R、L、C 元件的支路。改变信号发生器的电压（每一次都要用万用表进行测量），使之分别等于表 2-1 中的数值，再用万用表测出相应的电流值，并将数据记录于表 2-1 中。（注意：电感 L 本身还有一个电阻值）

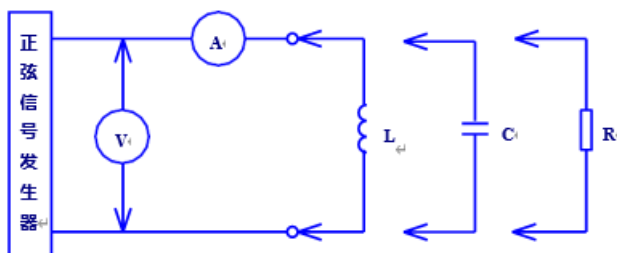


图 2-1

输出 电压	U (伏)	0	1	2	3	4	5	6	4.5
R =1KW	I_R (mA)	0	0.9162	2.01	3.0176	4.0852	5.0202	6.0412	\
L =0.2H	I_L (mA)	0	12.77871	24.0528	36.0206	48.0013	\	\	54.0017
C =2mF	I_C (mA)	0	0.622552	1.243577	1.869509	2.49738	3.11855	\	\

表 2-1

(2) 以测得的电压为横坐标，电流为纵坐标，分别作出电阻、电感和电容元件的有效值的伏安特性曲线，见图 2-2，2-3，2-4：

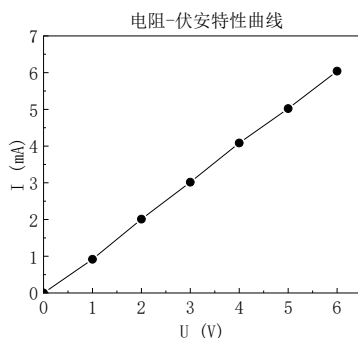


图 2-2 电阻的伏安特性曲线

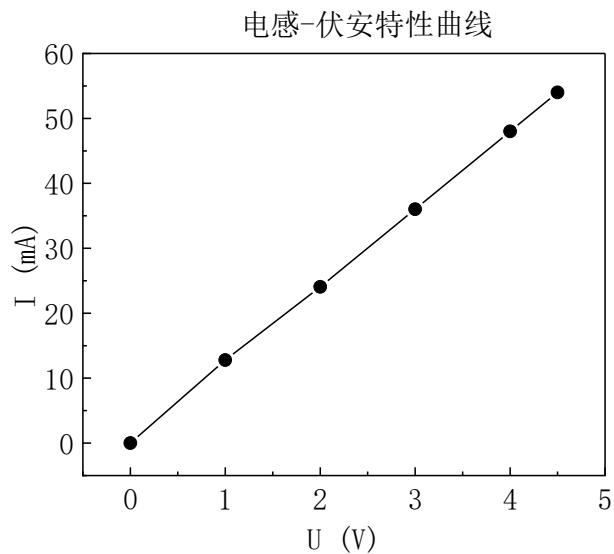


图 2-3 电感的伏安特性曲线

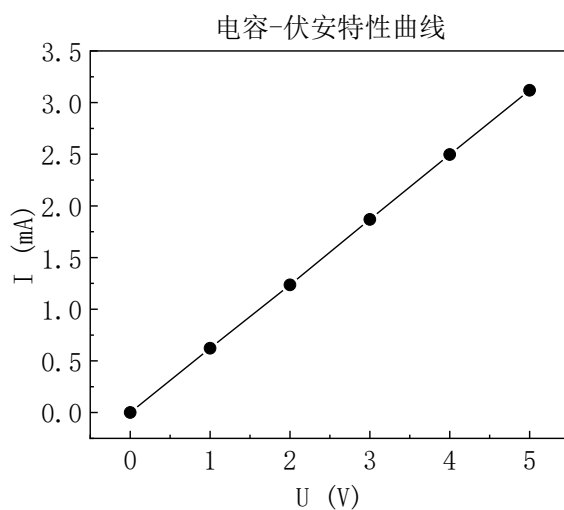


图 2-4 电容的伏安特性曲线

根据公式 $X_L = \frac{U_L}{I} = \frac{OB}{AB}$, $X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{OB}{AB}$ 可以出:

$$X_L = 83.33071\Omega$$

$$X_C = 1603.30923\Omega$$



2. 测定阻抗与频率的关系：

(1) 按图 2-1 接线，经检查无误后，把信号发生器的输出电压调至 5 伏，分别测量在不同频率时，各元件上的电流值，将数据记入表 2-2 中。测量 L、C 元件上的电流值时，应在 L、C 元件支路中串联一个电阻 $R = 100\Omega$ ，然后用交流毫伏表测量电阻上的电压，通过欧姆定律计算出电阻上的电流值，即 L、C 元件上的电流值。（注意：电感 L 本身还有一个电阻值）

被测元件	$R = 1K\Omega$			$L = 0.2H$			$C = 2\mu F$		
信号源频率 (Hz)	50	100	200	50	100	200	50	100	200
电流 (mA)	5.02308	5.0280	5.029	30.122	25.0681	16.82854	3.10098	6.15991	12.035
阻抗 (Ω)	1000	1000	1000	62.83185	125.6637	251.3274	1591.549	795.7747	397.88

表 2-2

(2) 把图 2-1 中，R、L、C 全部并联接入电路中，保持信号源频率 $f = 50\text{Hz}$ ，输出电压 $U = 5$ 伏，测量各支路电流及总电流，从而验证基尔霍夫电流定律的正确性。

外电路电压(V)	总电流(mA)	R 上电流(mA)	L 上电流(mA)	C 上电流(mA)
3.3096	40.3738	3.30835	41.88	2.05771

表 2-3

因为电路并联，所以 R、L、C 的电压同相。L 上的电流比电压落后 $\frac{\pi}{2}$ ，C 上的电流比电压超前 $\frac{\pi}{2}$ ，R 上电流与电压同相，所以支路电流之和应为向量相加，即：

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = 39.95947898\text{mA}$$

与实测总电流几乎一致，由此可以验证基尔霍夫电流定律的正确性。



(5) 实验分析及思考

1. (1) 电阻的阻抗与自身的材料有关，而电感和电容的阻抗还与电路中电压源信号的频率有关。

(2) 因为电阻 R 的电流和电压在交直流通路中都保持同相，所以电阻在交直流电路中都有限流，分流，分压和降压的作用；

电感具有阻碍电流变化的作用，在直流通路中相当于一根导线，但在交流通路中，电压的相位总是超前于电流相位，且可以储存电能。所以电感具有通直流，阻交流的作用；

电容在直流通路中相当于断路的作用，在交流通路中，电流的相位总是超前于电压相位，且可以储存电能，所以电容在电路中有阻直流，通交流的作用。

2. 因为电路并联，所以 R 、 L 、 C 的电压同相。 L 上的电流比电压落后 $\frac{\pi}{2}$ ， C 上的电流比电压超前 $\frac{\pi}{2}$ ， R 上电流与电压同相，所以支路电流之和应为向量相加，而不能直接进行代数相加。

3. 本次实验中支路电流向量之和还是与电路总电流有偏差，原因可能是：

- (1) 万用表自身有内阻。
- (2) 万用电流表挡的精度有限。
- (3) 读数时示数不稳定导致读数有误差。
- (4) 实验仪器本身存在问题。



四、实验中的问题和体会

实验总结：通过实验一阶、二阶动态电路的研究加深了对微分电路和积分电路的理解，观察并记录了电路中时间常数 τ 不同时对于微分公式

$u_{sc} = Ri = RC \frac{du_{sr}}{dt}$ 和积分公式 $u_{sc} \approx \frac{1}{RC} \int u_{sr} dt$ 所得到的波形的影响。

电阻的阻抗只与自身材料和性质有关，但是电感和电容的阻抗还与电路的频率有关。在交流电路中，支路电流和总电流的关系是向量的关系。

遇到的问题：理论上改变输入信号频率，不会影响输入电压的大小，但是实验中却发现，改变输入电压的频率，外电路总电压改变，说明实验仪器出现问题。

解决方法：每次改变输入电压的频率后调整输入电压幅度，使外电路总电压电压保持不变。

获得的经验：对 R、L、C 自身的性质，和在不同电路中的作用有了更加深刻的理解，解决交流电路中的问题时，应采用向量图的方法解决。