

第3章

电路实验

3.1 TKDL-1 型电路原理实验箱介绍

TKDL-1 型电路原理实验箱是专为电路原理课程而配套设计的。它集实验模块、直流毫安表、稳压源、恒流源于一体,结构紧凑,性能稳定可靠,实验灵活方便,有利于培养学生的动手能力。

TKDL-1 型电路原理实验箱如图 3-1 所示,主要配置及性能特点如下。

(1) 实验板母版由 2mm 厚印制线路板制成,正面印有元器件图形符号及相应的连线,反面为印制线路和焊好的相关的元器件等。

(2) 直流稳压电源提供 $\pm 12\text{V}/0.5\text{A}$ 、 $0\sim 30\text{V}/0.5\text{A}$ 共三路,其中 $0\sim 30\text{V}$ 电源分 $0\sim 10\text{V}$ 、 $10\sim 20\text{V}$ 、 $20\sim 30\text{V}$ 三挡,每挡均连续可调,每路电源均有短路保护自动恢复功能。

(3) 直流恒流源输出 $0\sim 200\text{mA}$,量程分 2mA 、 20mA 、 200mA 三挡,每挡均连续可调。

(4) 直流数字毫安表,测量范围 $0\sim 200\text{mA}$,量程分 2mA 、 20mA 、 200mA 三挡,直键开关切换,三位半数显,精度 0.5 级。

(5) 保护箱为高强度铝合金箱,有把手,造型美观大方。

(6) 备有实验连接线。

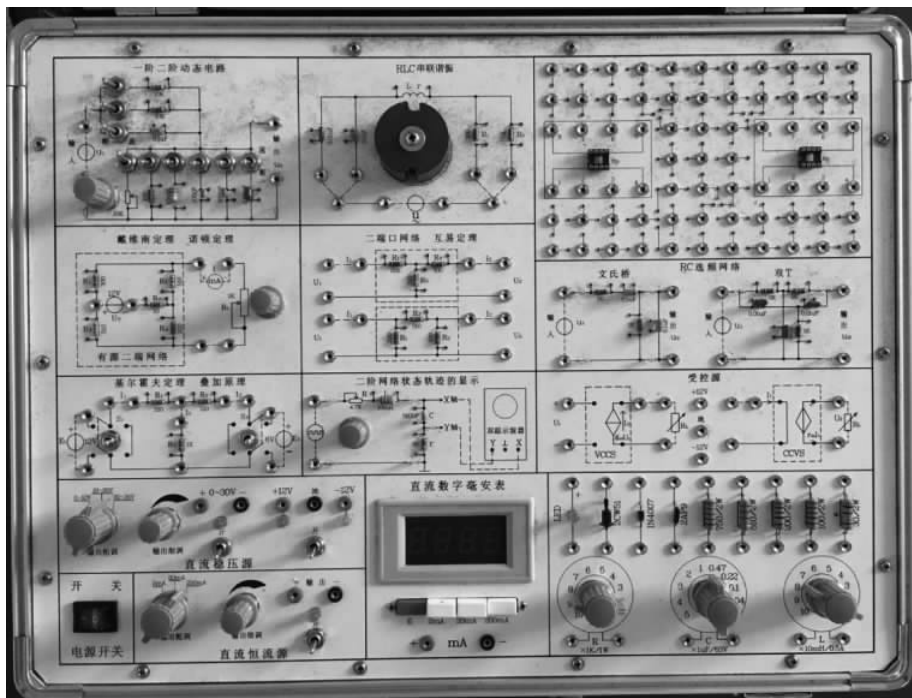


图 3-1 TKDL-1 型电路原理实验箱

3.2 实验 1 电路元件伏安特性的测绘

3.2.1 实验目的

- (1) 学会识别常用电路元件的方法。
- (2) 掌握线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
- (3) 掌握常用直流电工仪表和设备的使用方法。

3.2.2 实验仪器

- (1) 电路实验箱一台。
- (2) 万用表一块, 2AP9 二极管一个, 2CW51 稳压管一个, 不同阻值线性电阻器若干。

3.2.3 实验原理

任何一个电器二端元件的特性可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I=f(U)$ 来表示, 即用 $I-U$ 平面上的一条曲线来表征, 这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

(1) 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线, 如图 3-2 中曲线 a 所示, 该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

(2) 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态, 其灯丝电阻随着温度的升高而增大, 通过白炽灯的电流越大, 其温度越高, 阻值也越大, 一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍, 所以它的伏安特性如图 3-2 中曲线 b 所示。

(3) 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件, 其伏安特性如图 3-2 中曲线 c 所示。正向压降很小(一般的锗管为 $0.2\sim 0.3\text{V}$, 硅管为 $0.5\sim 0.7\text{V}$), 正向电流随正向压降的升高而急骤上升, 而反向电压从零一直增加到十多至几十伏时, 其反向电流增加很小, 可粗略地视为零。可见, 二极管具有单向导电性, 但反向电压加得过高, 超过管子的极限值, 则会导致管子击穿损坏。

(4) 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管, 其正向特性与普通二极管类似, 但其反向特性较特别, 如图 3-2 中曲线 d 所示。在反向电压开始增加时, 其反向电流几

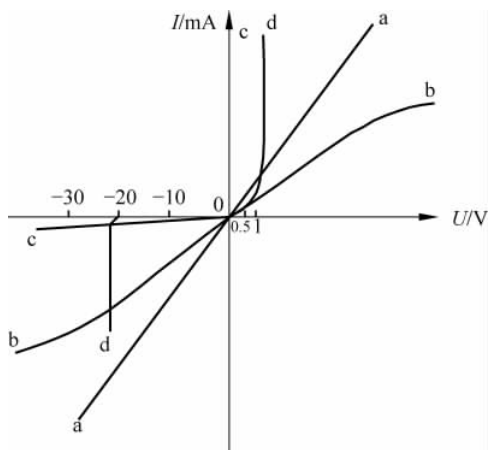


图 3-2 四种元件的伏安特性曲线

乎为零,但当电压增加到某一数值时(称为管子的稳压值,有各种不同稳压值的稳压管)电流将突然增加,以后它的端电压将基本维持恒定,当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加。

注意:流过二极管或稳压二极管的电流不能超过管子的极限值,否则管子就会烧坏。

3.2.4 实验内容和步骤

1. 测定线性电阻器的伏安特性

按图 3-3 接线,调节稳压电源的输出电压 U ,从 0V 开始缓慢地增加,一直到 10V,在表 3-1 记下相应的电压表和电流表的读数 U_R 和 I 。

表 3-1 测定线性电阻的伏安特性

U_R/V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I/mA											

2. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 3-4 接线, R 为限流电阻器。测二极管的正向特性时,其正向电流不得超过 35mA,二极管 D 的正向压降 U_{D+} 可在 0~0.75V 取值,在 0.5~0.75V 应多取几个测量点。测反向特性时,只需将图 3-4 中的二极管 D 反接,且其反向电压 U_{D-} 可加到 30V。在表 3-2 和表 3-3 中记下相应的数值。

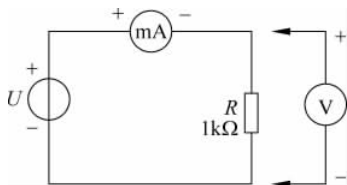


图 3-3 线性电阻伏安特性测试

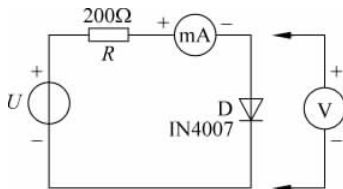


图 3-4 二极管伏安特性测试

表 3-2 测定二极管的正向特性

U_{D+}/V	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I/mA										

表 3-3 测定二极管的反向特性

U_{D-}/V	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
I/mA							

3. 测定稳压二极管的伏安特性

1) 正向特性实验

将图 3-4 中的二极管换成稳压二极管,重复实验内容 2 中的正向测量。 U_{D+} 为正向施压,数据记入表 3-4。

表 3-4 测定稳压管的正向特性

U_{Z+}/V	0	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75
I/mA											

2) 反向特性实验

将稳压二极管的方向倒转,重复实验内容 2 中的反向测量。 U_{D-} 为反向施压,数据记入表 3-5。

表 3-5 测定稳压管的反向特性

U/V	0	1	2	3	4	5	8	10	12	18	20
U_{Z-}/V											
I/mA											

3.2.5 实验报告要求

整理测试结果,绘制线性电阻、半导体二极管、稳压管的伏安特征性曲线。

3.2.6 思考题

- (1) 用怎样的方法,能更精确地绘制各个元器件的伏安特性曲线?
- (2) 怎样判断半导体二极管和稳压管的好坏?

3.2.7 实验注意事项

- (1) 测二极管正向特性时,稳压电源输出应由小至大逐渐增加,应时刻注意电流表读数不得超过 25mA,稳压源输出端切勿碰线短路。
- (2) 进行不同实验时,应先估算电压和电流值,合理选择仪表的量程,勿使仪表超量程,仪表的极性亦不可接错。

3.3 实验2 戴维南定理——有源二端网络等效参数的设定

3.3.1 实验目的

- (1) 验证戴维南定理的正确性。
- (2) 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

3.3.2 实验仪器

- (1) 电路实验箱一台。
- (2) 万用表一块。

3.3.3 实验原理

1. 戴维南定理

戴维南定理指出：任何一个有源二端网络，对外电路来说，总可以用一个电压源 U_s 和一个电阻 R_s 的串联组合等效置换，此电压源的电压等于一端口的开路电压 U_{oc} ，电阻等于一端口的全部电源置零后的输入电阻 R_o ，其等效转换示意图如图 3-5 所示。

2. 有源二端网络等效参数的测量方法

1) 开路电压法，短路电流法

在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压 U_{oc} ，然后再将其输出端短路，测其电路端口处电流 I_{sc} ，其内阻 R_s 为： $R_s = U_{oc} / I_{sc}$ 。

2) 伏安法

当有源二端网络的外负载变化时，端口处电流与电压之间的关系称为有源二端网络的外特性。用电压表、电流表可测出有源二端网络的外特性曲线，如图 3-6 所示。有源二端网络的开路电压为 U_{oc} ，短路电流为 I_{sc} ，由外特性曲线可求出斜率 $\tan\alpha$ ，则内阻 R_s 为：

$$R_s = \tan\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta I}。$$

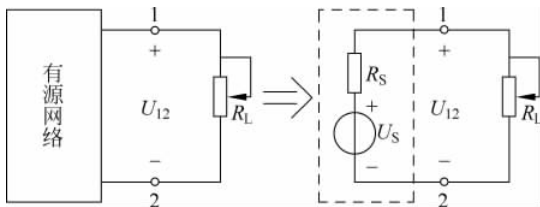


图 3-5 戴维南定理的等效转换示意图

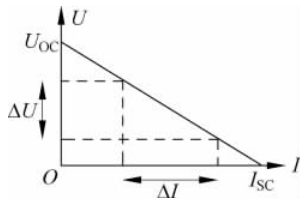


图 3-6 伏安法测等效有源二端网络的外特性曲线

3) 半电压法

当负载电压为被测网络开路电压一半时,负载电阻即为被测有源二端网络的等效内阻值,如图 3-7 所示。

4) 零示法

电路如图 3-8 所示,在等效具有高内阻有源二端网络时用零示法。其方法是用一低内阻的稳压电源与被测有源二端网络进行比较,当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时,电压表的读数将为 0,然后将电路断开,测量此时稳压电源的输出电压,即为被测有源二端网络的开路电压。

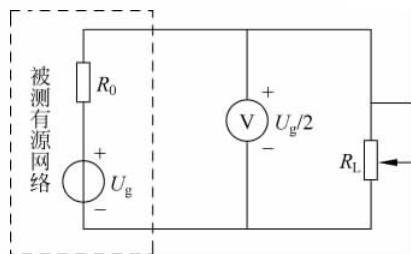


图 3-7 半电压法测等效有源二端网络的内阻值

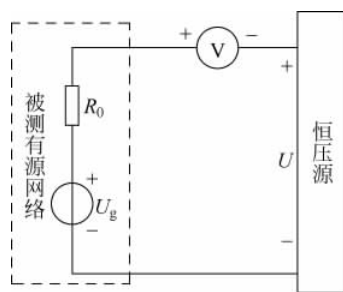


图 3-8 零示法测等效有源二端网络的开路电压

3.3.4 实验内容和步骤

1. 步骤 1

依照接线图 3-9 所示,将稳压电源调至 $U_s = 12V$,断开 R_L 测 A、B 两点间 U_{AB} 即为开路电压 U_{OC} ,再短接 R_L 测短路电流 I_{SC} ,则 $R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ 。把数据填入表 3-6 并计算内阻 R_0 。

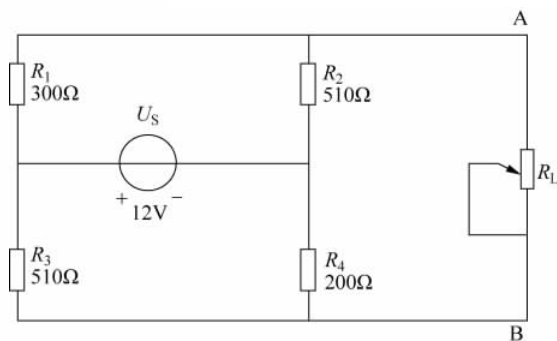


图 3-9 测量戴维南等效内阻

表 3-6 由开路电压和短路电流计算内阻值

U_{oc}/V	I_{sc}/mA	$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}/k\Omega$

2. 负载实验

按表 3-7 改变 R_L 阻值,测量有源二端网络的输出电压 U 和电流 I 。

表 3-7 负载实验

R_L/Ω	1000	800	600	400	200	0
U/V						
I/mA						

3. 验证戴维南定理

将 $1k\Omega$ 可变电阻器,阻值调整到等于按步骤 1 所得的等效电阻 R_0 值,然后令其与直流稳压电源(调到步骤“1”时所测得的开路电压 U_{oc} 的值)相串联,仿照步骤“2”测其特性,对戴维南定理进行验证,将数据记录到表 3-8 中。

表 3-8 验证戴维南定理

R_L/Ω	1000	800	600	400	200	0
U/V						
I/mA						

4. 测量有源二端网络等效电阻(又称入端电阻)的其他方法

将被测有源网络内的所有独立源置零(将电流源开路,电压源短路),用万用表的欧姆挡去测负载 R_L 开路后 A、B 两点间的电阻,即为被测网络的等效内阻 R_{eq} 或称网络的输入端电阻 R_0 。

3.3.5 实验报告要求

整理测试结果,绘出原电路等效的戴维南等效电路,说明为什么两者是等效的。

3.3.6 思考题

(1) 戴维南等效是指外电路的等效还是内电路的等效,为什么?

(2) 如果电路中含有受控源,是否也能用戴维南等效法去化简电路?

(3) 利用 Multisim 做仿真调试。

绘制含受控源电路如图 3-10 所示。用仿真求解其诺顿等效电路。

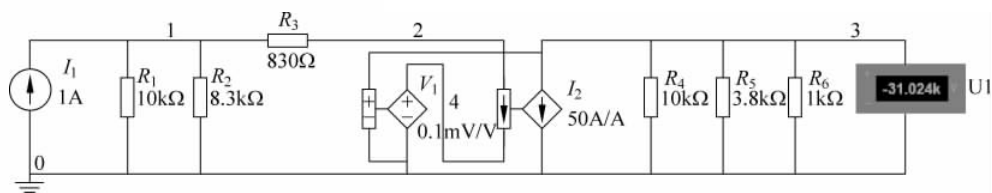


图 3-10 含受控源仿真实验电路

将独立源置零后,测量电路的等效电阻,如图 3-11 所示。

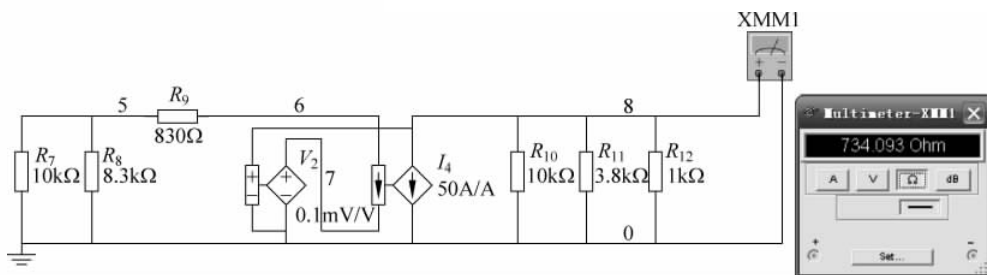


图 3-11 实验电路的等效电阻

恢复独立源,将输出端短路,测量短路电流,如图 3-12 所示。

由此可知,实验电路的诺顿等效电路为一个 42.3A 的电流源和一个 734Ω 的电阻相并联。

思考题: 如何仿真证明上述诺顿等效电路的有效性?

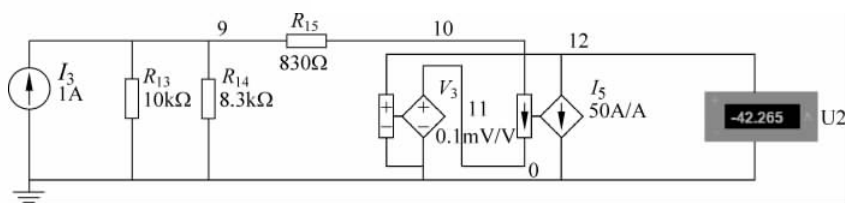


图 3-12 实验电路的短路电流

3.3.7 实验注意事项

- (1) 注意测量时,及时更换电流表的量程。
- (2) 电压源短路时不可将稳压源短接。
- (3) 用万用表直接测 R_0 时,网络内的独立源必须先置零,以免损坏万用表,其次,测

量前欧姆挡必须调零。

(4) 改接线路时,要关掉电源,更改完毕,确认无误后,再打开电源。

3.4 实验3 叠加原理的验证

3.4.1 实验目的

(1) 验证线性电路叠加原理的正确性,从而加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

(2) 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

3.4.2 实验仪器

(1) 电路实验箱一台。

(2) 万用表一块。

3.4.3 实验原理

叠加原理指出:在有几个独立源共同作用下的线性电路中,通过每一个元件的电流或其两端的电压,可以看成是由每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

由叠加定理推广得知:当电路中只有一个激励(独立电源)时,响应与激励成正比,即当激励信号(某独立源的值)增加或减少 K 倍时,电路的响应(即在电路其他各电阻元件上所建立的电流和电压值)也将增加或减少 K 倍。只有线性电路才具有叠加性和齐次性,非线性电路不具有这两个性质。

3.4.4 实验内容和步骤

(1) 按图 3-13 电路接线, E_1 为 +12V 切换电源, E_2 为可调直流稳压电源,调至 +6V。

(2) 令 E_1 电源单独作用时(将开关 S_1 投向 E_1 侧,开关 S_2 投向短路侧),用直流数字电压表和毫安表(接电流插头)测量各支路电流及电阻元件两端电压。

(3) 令 E_2 电源单独作用时(将开关 S_1 投向短路侧,开关 S_2 投向 E_2 侧),重复实验步骤 2 的测量和记录。

(4) 令 E_1 和 E_2 共同作用时(开关 S_1 和 S_2 分别投向 E_1 和 E_2 侧),重复上述的测量和记录。

(5) 将 E_2 的数值调至 +12V,重复上述第 3 项的测量并记录。

(6) 将以上所有数据记录在表 3-9 中。

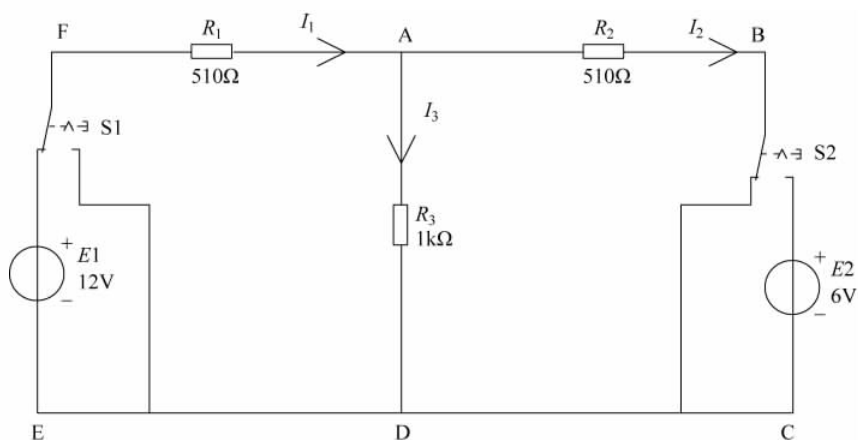


图 3-13 叠加原理实验电路图

表 3-9 叠加原理实验数据记录

测量项目 实验内容	$E1/V$	$E2/V$	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_{AB}/V	U_{FA}/V	U_{AD}/V	U_{DB}/V	U_{EA}/V
$E1$ 单独作用										
$E2$ 单独作用										
$E1$ 、 $E2$ 共同作用										
$2E2$ 单独作用										

3.4.5 实验报告要求

整理测试结果,根据叠加原理绘出实验电路的拆分电路,说明为什么叠加原理是成立的。

3.4.6 思考题

- (1) 对于非线性电路,是否也可应用叠加原理,为什么?
- (2) 元件的关联参考方向在叠加原理中起到什么作用?
- (3) 利用 Multisim 做仿真调试

绘制包含有两个独立源的叠加定理电路如图 3-14 所示。用仿真验证叠加定理。

保留 9V 电压源,开路 6A 电流源,原电路各支路电流值测试如图 3-15 所示。

短路 9V 电压源,保留 6A 电流源,原电路各支路电流值测试如图 3-16 所示。由

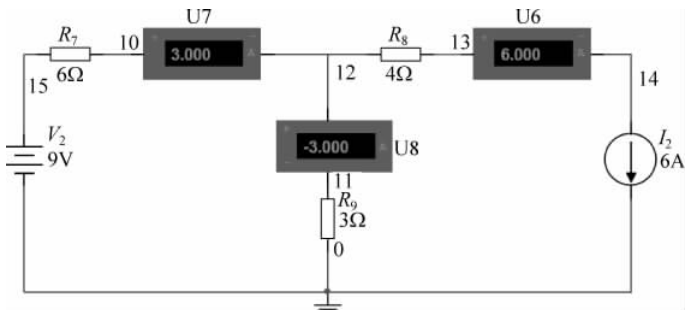


图 3-14 叠加定理实验电路

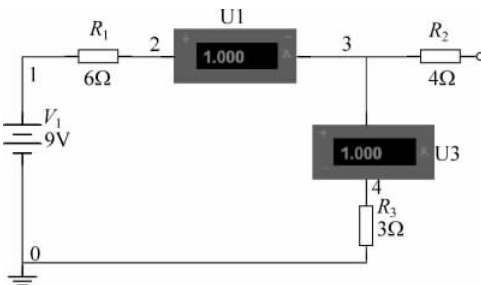


图 3-15 电流源开路后的测试值

图 3-15 和图 3-16 各支路电流叠加, 等于图 3-14 各支路电流对应值可知, 叠加定理验证成功。

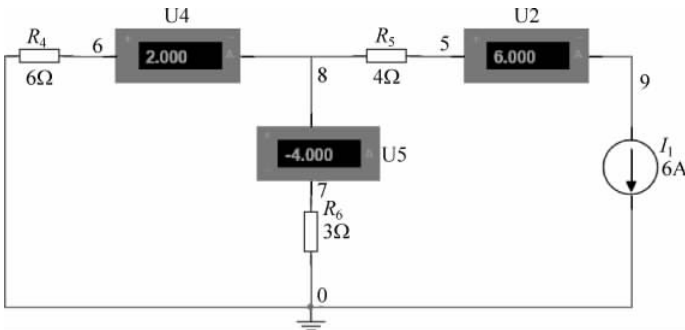


图 3-16 电压源短路后的测试值

3.4.7 实验注意事项

- (1) 测量各支路电流时, 应注意仪表的极性, 以及数据表格中+、一号的记录。
- (2) 注意仪表量程的及时更换。

3.5 实验4 RC一阶电路的响应测试

3.5.1 实验目的

- (1) 测定 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及完全响应。
- (2) 学习电路时间常数的测量方法。
- (3) 掌握有关微分电路和积分电路的概念。
- (4) 进一步学会用示波器观测波形。

3.5.2 实验仪器

- (1) 电路实验箱一台。
- (2) 万用表一块。
- (3) 示波器一台。
- (4) 函数信号发生器一台。

3.5.3 实验原理

(1) 电路中某时刻的电感电流和电容电压称为该时刻的电路状态。 $t=0$ 时电感的初始电流 $i_L(0)$ 和电容电压 $u_C(0)$ 称为电路的初始状态。

在没有外加激励时,仅由在 $t=0$ 时刻的非零初始状态引起的响应称为零输入响应,它取决于初始状态和电路特性(通过时间常数 $\tau=RC$ 来体现),这种响应是随时间按指数规律衰减的。

在零初始状态时仅由在 $t=0$ 时刻施加于电路的激励引起的响应称为零状态响应,它取决于外加激励和电路特性,这种响应是由零开始随时间按指数规律增长的。

线性动态电路的完全响应为零输入响应和零状态响应之和。

含有耗能元件的线性动态电路的完全响应也可以为暂态响应与稳态响应之和,实践中认为暂态响应在 $t=5\tau$ 时消失,电路进入稳态,在暂态还存在的这段时间就称为“过渡过程”。

(2) 动态网络的过渡过程是十分短暂的单次变化过程。要用普通示波器观察过渡过程和测量有关的参数,就必须使这种单次变化的过程重复出现。为此,利用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号,即利用方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号;利用方波的下降沿作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要选择方波的重复周期远大于电路的时间常数 τ ,那么电路在这样的方波序列脉冲信号的激励下,它的响应就和直流电接通与断开的过渡过程是基本相同的。

(3) 时间常数 τ 的测定方法,用示波器测量零输入响应的波形如图 3-17 所示。

根据一阶微分方程的求解得知 $u_C = U_m e^{-\frac{t}{RC}} = U_m e^{-\frac{t}{\tau}}$ 。当 $t=\tau$ 时, $U_C(\tau) = 0.368U_m$ 。

此时所对应的时间就等于 τ 。亦可用零状态响应波形增加到 $0.632U_m$ 所对应的时间测得。

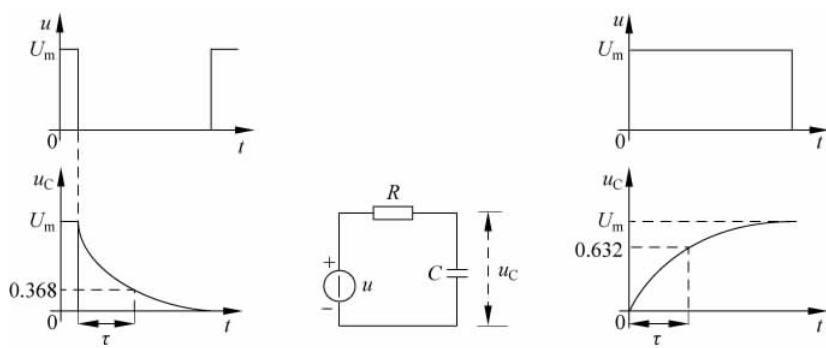


图 3-17 示波器测量零输入与零状态响应波形

(4) 微分电路和积分电路是 RC 一阶电路中较典型的电路,它对电路元件参数和输入信号的周期有着特定的要求。一个简单的 RC 串联电路,在方波序列脉冲的重复激励下,满足 $\tau = RC \ll \frac{T}{2}$ (T 为方波脉冲的重复周期),且由 R 两端的电压作为响应输出,则该电路就是一个微分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的微分成正比。如图 3-18(a)所示。

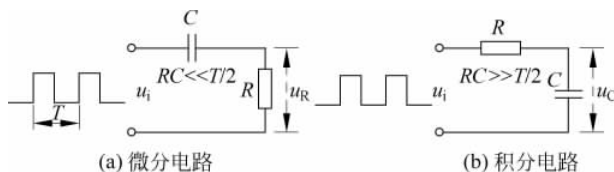


图 3-18 微分电路和积分电路

若将图 3-18(a)中的 R 与 C 位置调换一下,如图 3-18(b)所示,由 C 两端的电压作为响应输出,且电路的参数满足 $\tau = RC \gg \frac{T}{2}$,则该 RC 电路称为积分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的积分成正比。

从输入输出波形来看,上述两个电路均起着波形变换的作用,请在实验过程仔细观察与记录。

3.5.4 实验内容和步骤

1. 充放电电路的测量

(1) 从电路板上选 $R=10\text{k}\Omega$, $C=3300\text{pF}$ 组成如图 3-17 所示的 RC 充放电电路。 u_i 为脉冲信号发生器输出的 $U_m=3\text{V}$ 、 $f=1\text{kHz}$ 的方波电压信号,并通过两根同轴电缆线,将激励源 u_i 和响应 u_C 的信号分别连至示波器的两个输入口 Y_A 和 Y_B 。这时可在示波器的屏幕上观察到激励与响应的变化规律,请测算出时间常数 τ ,并用方格纸按 1:1 的比

例描绘波形。

少量地改变电容值或电阻值,定性地观察参数变化对响应的影响,记录观察到的现象。图 3-19 和图 3-20 分别为响应 u_C 的变化波形图和激励源 u_i 的变化波形图。

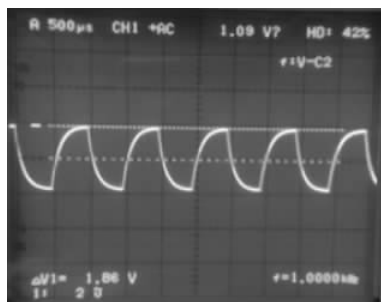


图 3-19 响应 u_C 的变化规律

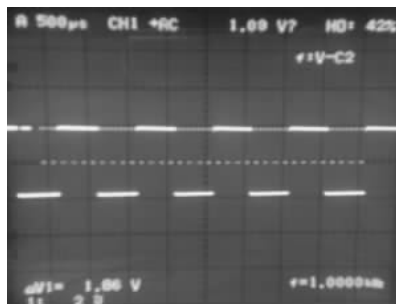


图 3-20 激励源 u_i 的变化规律

(2) 令 $R=10\text{k}\Omega$, $C=0.01\mu\text{F}$, 观察并描绘响应的波形,继续增大 C 值,定性地观察参数变化对响应的影响。图 3-21 和图 3-22 分别为 $C=0.01\mu\text{F}$ 时和 $C=1000\text{pF}$ 时响应 u_C 的变化规律波形图。

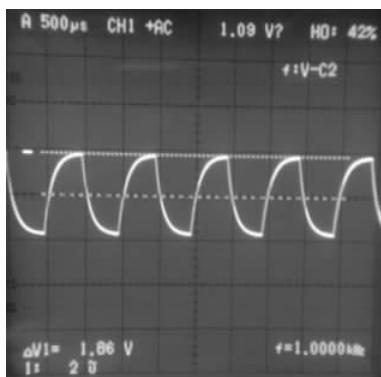


图 3-21 $C=0.01\mu\text{F}$ 时响应 u_C 的变化规律

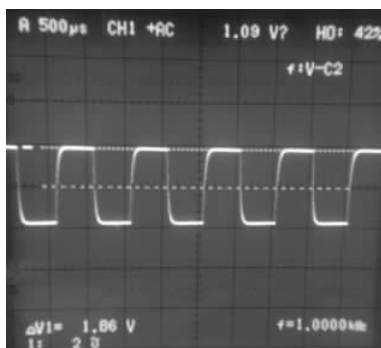


图 3-22 $C=1000\text{pF}$ 时响应 u_C 的变化规律

2. 微分电路的测量

选择实验箱上 R 、 C 元件,组成如图 3-18(a)所示微分电路,令 $R=1\text{k}\Omega$, $C=0.01\mu\text{F}$ 。在同样的方波激励信号 ($U_m=3\text{V}$, $f=1\text{kHz}$) 作用下,观测并描绘激励与响应的波形。图 3-23 为 $R=1\text{k}\Omega$ 时的响应波形图。

增减 R 的值,定性地观察响应的变化,并作记录。当 R 增至 $1\text{M}\Omega$ 时,输入输出波形有何本质上的区别? 图 3-24 和图 3-25 分别是 $R=100\Omega$ 和 $R=$

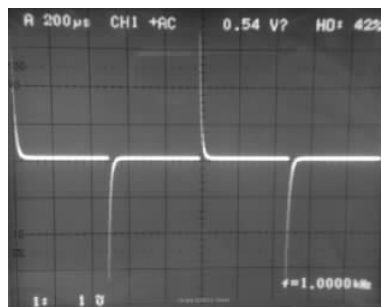


图 3-23 $R=1\text{k}\Omega$ 时的响应波形

1M Ω 时的响应波形图。

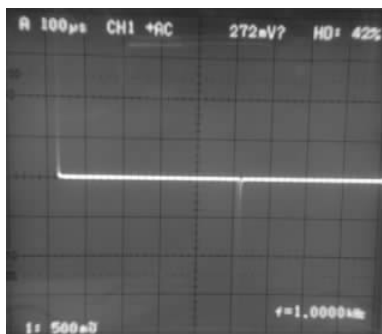


图 3-24 $R=100\Omega$ 时的响应波形

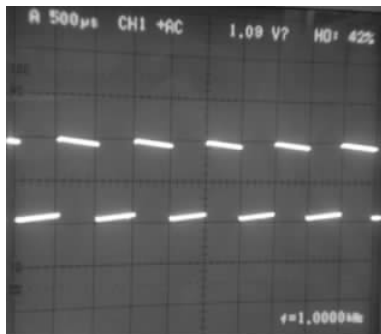


图 3-25 $R=1M\Omega$ 时的响应波形

3.5.5 实验报告要求

整理测试结果,得到各种情况下的波形图,并分析其原因。

3.5.6 思考题

(1) 一阶电路充放电的时间常数由什么来决定?

(2) 在微分电路测量中,增加 R 的值到足够大(大于 $1M\Omega$)时,输入与输出波形有何本质上的区别?

(3) 利用 Multisim 做仿真调试。

一阶电路的过渡过程仿真。创建电路:从元器件库中选择电压源、电阻、电容、单刀双掷开关 J1 和示波器 XSC1,创建如图 3-26 所示的一阶电路。电容的充放电由开关 J1 控制,仿真时,开关的切换由空格键 Space 控制,按下一次空格键,开关从一个触点切换到另一个触点。

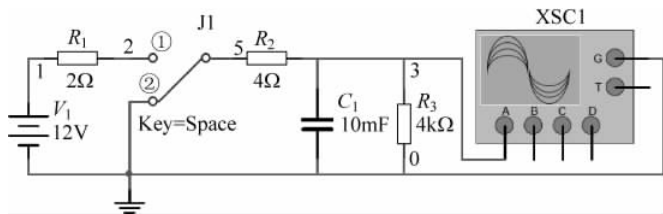


图 3-26 RC 一阶电路

电容的充放电过程:当开关 J1 切换到触点①时,电压源 V_1 经电阻 R_1 、 R_2 给电容 C_1 充电,当开关切换到触点②时,电容经电阻 R_2 、 R_3 放电。

仿真运行:单击运行(RUN)按钮,双击示波器 XSC1 图标,弹出示波器显示界面,反复切换开关,就能得到电容的充放电波形,如图 3-27 所示。

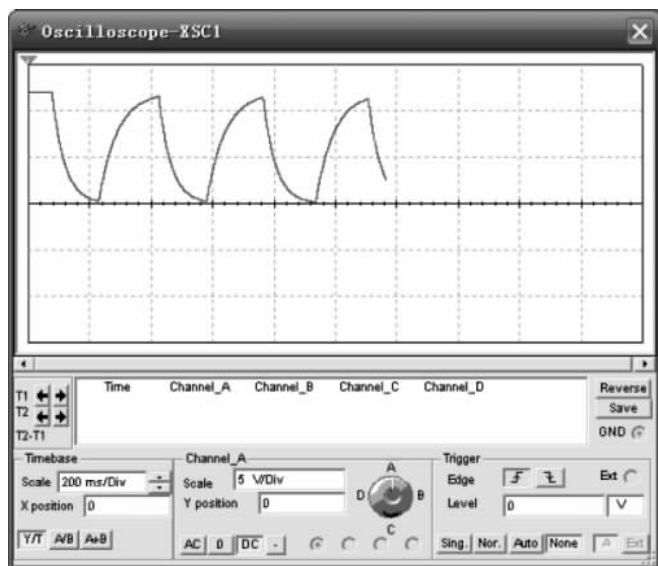
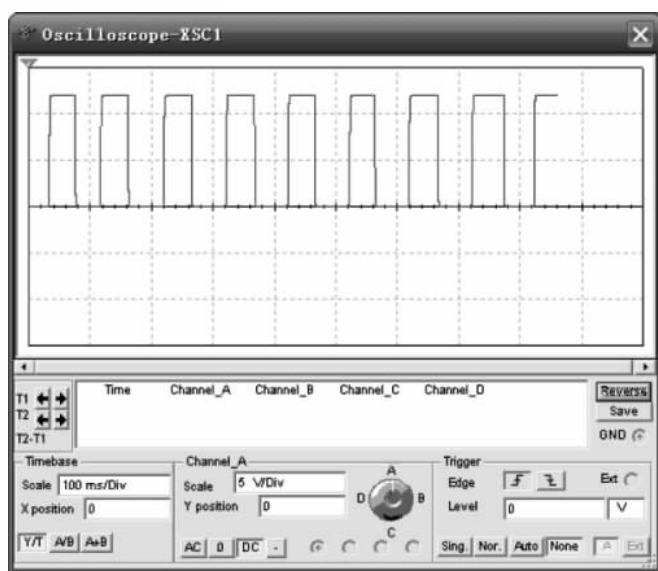


图 3-27 RC 一阶电路充放电波形

当开关停留在触点①时,电源一直给电容充电,电容充到最大值 12V,如图 3-27 中电容充放电波形的开始阶段。仿真时,电路的参数大小选择要合理,电路的过渡过程快慢与时间常数大小有关,时间常数越大,则过渡过程越慢;时间常数越小,则过渡过程越快。电路中其他参数不变时,电容容量大小就代表时间常数的大小。图 3-28 给出了电容容量较小($C=100\mu\text{F}$)时,电容的充放电波形,该波形近似为矩形波,充放电加快,上升沿和下降沿变陡。

图 3-28 $C=100\mu\text{F}$ 时,一阶电路充放电波形

3.5.7 实验注意事项

(1) 调节电子仪器各旋钮时,动作不要过快、过猛。实验前,需熟读双踪示波器的使用说明书。观察双踪时,要特别注意相应开关、旋钮的操作与调节。

(2) 信号源的接地端与示波器的接地端要连在一起(称共地),以防外界干扰影响测量的准确性。

3.6 实验5 RLC 串联谐振电路的研究

3.6.1 实验目的

- (1) 学习用实验方法测试 R 、 L 、 C 串联谐振电路的幅频特性曲线。
- (2) 加深理解电路发生谐振的条件,掌握电路品质因数的物理意义。

3.6.2 实验仪器

- (1) 电路实验箱一台。
- (2) 万用表一块。
- (3) 示波器一台。
- (4) 函数信号发生器一台。

3.6.3 实验原理

(1) 在图 3-29 所示的 R 、 L 、 C 串联电路中,当正弦交流信号源的频率 f 改变时,电路中的感抗、容抗随之而变,电路中的电流也随 f 而变。取电阻 R 上的电压 u_o 作为响应,当输入电压 u_i 的幅值维持不变时,在不同频率的正弦信号激励下,测出 u_o 的值,然后以 f 为横坐标,以 $\frac{u_o}{u_i}$ 为纵坐标(因 u_i 不变,故也可直接以 u_o 为纵坐标),绘出光滑的曲线,此即为幅频特性曲线,亦称谐振曲线,如图 3-30 所示。

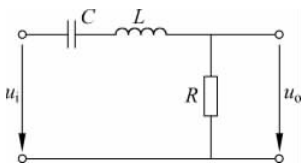


图 3-29 RLC 串联谐振电路

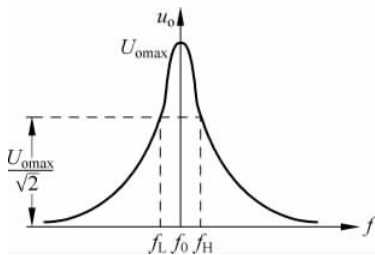


图 3-30 幅频特性曲线

(2) $f=f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 处,即幅频特性曲线尖峰所在的频率点称为谐振频率。此时 $X_L=X_C$,电路呈纯阻性,电路阻抗的模为最小。在输入电压 u_i 为定值时,电路中的电流达到最大值,且与输入电压 u_i 同相位。从理论上讲,此时 $u_i=u_R=u_o$, $u_{L0}=u_{C0}=Qu_i$,式中的 Q 称为电路的品质因数。

(3) 电路品质因数 Q 值的两种测量方法。一种方法是根据公式 $Q=\frac{u_{L0}}{u_i}=\frac{u_{C0}}{u_i}$ 测定, u_{C0} 与 u_{L0} 分别为谐振时电容器 C 和电感线圈 L 上的电压;另一种方法是通过测量谐振曲线的通频带宽度 $\Delta f=f_H-f_L$,再根据 $Q=\frac{f_0}{f_H-f_L}$ 求出 Q 值。式中 f_0 为谐振频率, f_H 和 f_L 是失谐时,亦即输出电压的幅度下降到最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时的上、下频率点。 Q 值越大,曲线越尖锐,通频带越窄,电路的选择性越好。在恒压源供电时,电路的品质因数、选择性与通频带只决定于电路本身的参数,而与信号源无关。

3.6.4 实验内容和步骤

(1) 按图 3-31 组成监视、测量电路。选用 $R=1000\Omega$ 、 $C=0.1\mu F$ 。用交流毫伏表测量电压,用示波器监视信号源输出。令信号源输出电压为 $u_i=1V$ 正弦波,并在整个实验过程中保持不变。

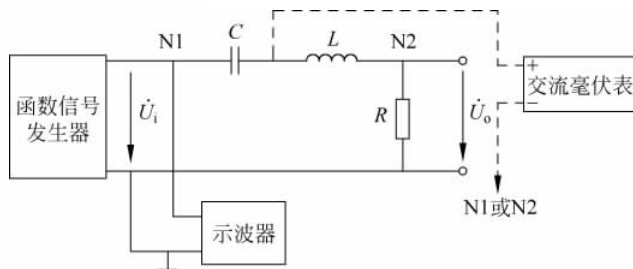


图 3-31 RLC 串联谐振测量电路

(2) 找出电路的谐振频率 f_0 ,其方法是,将毫伏表跨接在 R 两端,令信号源的频率由小逐渐变大(注意要维持信号源的输出幅度不变),当 u_o 的读数为最大时,读得频率计上的频率值即为电路的谐振频率 f_0 ,并测量 U_o 、 U_{L0} 、 U_{C0} 的值(注意及时更换毫伏表的量限),记入表 3-10 中。

表 3-10 对应不同电阻时的串联谐振电路数据记录

$R/k\Omega$	f_0/kHz	U_o/V	U_{L0}/V	U_{C0}/V	I_0/mA	Q
200						
1000						

(3) 在谐振点两侧,测出下限频率 f_L 和上限频率 f_H 及相对应的 u_o 值,然后再逐点测出不同频率下的 U_R 值,记录在表 3-11 中。

表 3-11 对应不同频率时的 U_R 值的数据记录

f/kHz					
U_R/V					
I/mA					
$U_i = 1\text{V}, C = 0.1\mu\text{F}, R = 200\text{k}\Omega$					
f/kHz					
U_R/V					
I/mA					
$U_i = 1\text{V}, C = 0.1\mu\text{F}, R = 1000\text{k}\Omega$					

3.6.5 实验报告要求

整理测试数据,用描点法绘出串联谐振电路的幅频特性曲线。

3.6.6 思考题

- (1) 满足谐振发生的条件是什么?
- (2) 品质因素的物理意义是什么?
- (3) 利用 Multisim 做仿真调试。

串联谐振电路的仿真。创建电路:从元器件库中选择电压源、电阻、电容、电感连接成串联电路形式,如图 3-32 所示,选择频率特性仪 XBP1,将其输入端和电源连接,输出端和负载连接。

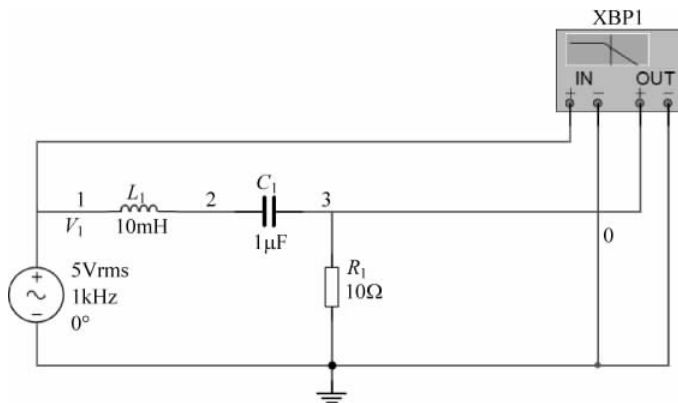


图 3-32 RLC 串联谐振电路的仿真

测量电路的幅频特性：单击运行(RUN)按钮，双击频率特性仪 XBP1 图标，在 Mode 选项组中单击 Magnitude(幅频特性)按钮，可得到该电路的幅频特性，如图 3-33 所示。从图中可知，电路在谐振频率 f_0 处有个增益极大值，而在其他频段增益大大下降。需要说明的是，电路的谐振频率只与电路的结构和元件参数有关，与外加电源的频率无关。本处电路所选的电源频率为 1kHz，若选择其他频率，幅频特性不变。

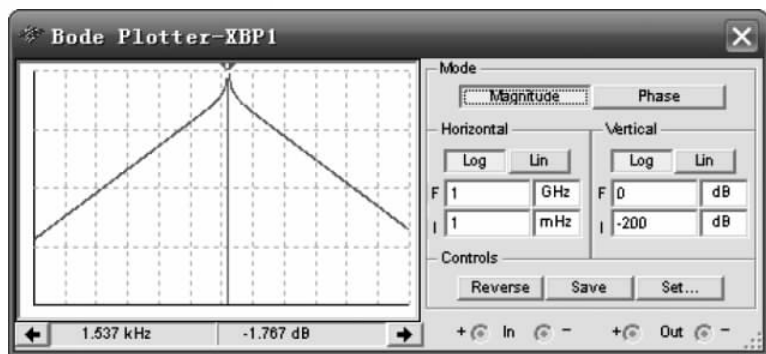


图 3-33 RLC 串联谐振电路的幅频特性($Q=10$)

测量电路的相频特性：在 Mode 选项组中单击 Phase(相频特性)按钮，可得到该电路的相频特性，如图 3-34 所示。从电路的相频特性可以看出，电路以谐振频率 f_0 为分界点，当信号频率低于 f_0 时，相位超前；当信号频率高于 f_0 时，相位滞后。因为当信号频率低于 f_0 时，整个电路呈容性，电流相位(负载电阻上的电压相位)超前于电压(外加电源)的相位；而当信号频率高于 f_0 时，整个电路呈感性，电流相位(负载电阻上的电压相位)滞后于电压(外加电源)的相位。该仿真结果和理论分析一致。

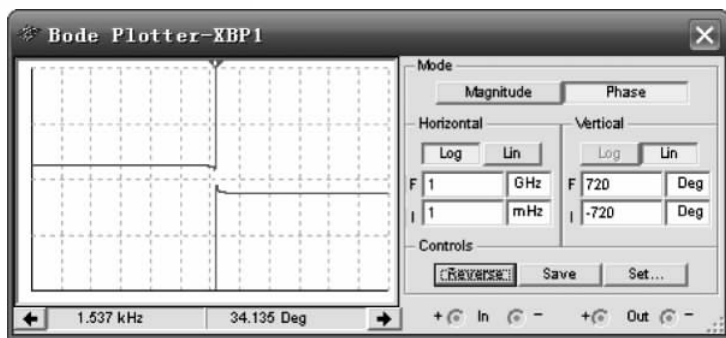


图 3-34 RLC 串联谐振电路的相频特性

测量电路的品质因数 Q 值和电路的选择性关系：在保证谐振频率不变的情况下，改变元件参数，可改变电路的品质因数 Q 值。如图 3-33 所示， $R=10\Omega$ ， $L=10\text{mH}$ ， $C=1\mu\text{F}$ ，对应的 $Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}=10$ ，对应的幅频特性如图 3-33 所示。若选择 $R=10\Omega$ ， $L=1\text{mH}$ ， $C=10\mu\text{F}$ ，对应的 $Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}=1$ ，对应的幅频特性如图 3-35 所示。由此可知对于

RLC 串联谐振电路来说,不同的 Q 值对应的幅频特性曲线不同, Q 值越大,对应的幅频特性曲线越尖,电路的选择性越好。若将串联谐振电路用于无线电检波电路,意味着其灵敏度越高,抗干扰能力则越低; Q 值越小,对应的幅频特性曲线越钝,电路的选择性差,若在无线电检波电路中,意味着其灵敏度降低,但抗干扰能力会提高。故串联谐振电路的 Q 值大小,要视不同的应用场合具体选择,不可一概而论。

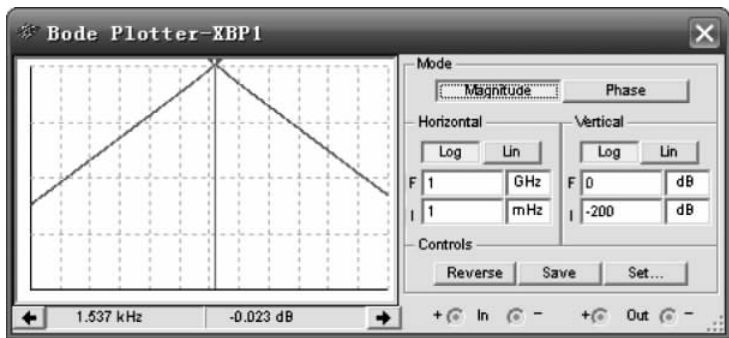


图 3-35 RLC 串联谐振电路的幅频特性($Q=1$)

3.6.7 实验注意事项

(1) 测试频率点应在靠近谐振频率附近多取几点。在变换频率测试前,应调整信号输出幅度(用示波器监视输出幅度),使其维持在 3V。

(2) 测量 U_{C0} 和 U_{L0} 数值前,应将毫伏表的量限改大,而且在测量 U_{L0} 与 U_{C0} 时毫伏表的“+”端应接 C 与 L 的公共点,其接地端应分别触及 L 和 C 的近地端 N2 和 N1。

(3) 实验中交流毫伏表电源线采用两线插头。