

# 电路、信号与系统实验第二次大作业

22009200439 计算机科学与技术学院 赵宇阳

西安电子科技大学

## 电路、信号与系统实验 (I) 课程实验报告

实验名称 减小电路非线性失真

计算机科学与技术 学院 2203013 班

姓 名 赵宇阳

学 号 22009200439

座位号 10 日期 2023.12.09

成 绩

指导教师评语:

- (1) 报告内容完整性, 书写, 格式规范  
很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 基本符合要求 ☐ 不符合要求 ☐
- (2) 实验内容完整, 电路连接, 记录数据正确  
很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 基本符合要求 ☐ 不符合要求 ☐
- (3) 数据计算, 曲线绘制  
很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 基本符合要求 ☐ 不符合要求 ☐
- (4) 误差分析, 实验结论  
很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 基本符合要求 ☐ 不符合要求 ☐
- (5) 回答问题  
很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 基本符合要求 ☐ 不符合要求 ☐

指导教师:

## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

### 一、实验目的

1. 熟悉数字万用表的使用方法
2. 熟悉线性电路中的叠加定理及其适用范围
3. 掌握电源外特性的测试方法, 了解电源内阻对电源输出特性的影响
4. 验证戴维南定理, 掌握测量线性单端口网络等效参数方法及其适用范围
5. 理解阻抗匹配, 掌握最大功率传输条件, 掌握根据电源特性设计实际电源模型的方法

### 二、实验仪器

1. 可编程直流稳压电源 (DP832 或 SPD3303)
2. 数字万用表 (VICTOR 88A) 或 VICTOR 880V
3. 接插板实验板 and 电阻若干

### 三、实验原理

#### 1. 电源外特性

电源的外特性也称伏安特性, 是指电源输出电压  $U$  和电流  $I$  之间的关系曲线。

电压源的等效电路如图 1 所示, 由恒定电压  $U_S$  和内阻  $R_S$  串联而成, 其输出端电压  $U$  和输出电流  $I$  满足

## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

$$U = U_s - R_s I \quad (1)$$

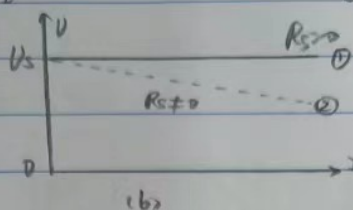
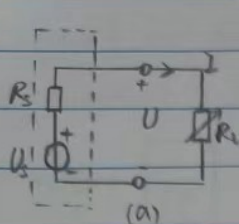


图1 电压源的基本特性

图1(b)所示为电压源的伏安特性。对于理想电压源,  $R_s = 0$ , 端电压  $U$  不随输出电流  $I$  改变, 如图中曲线①所示; 对于实际电压源, 如干电池、稳压电源等, 其  $R_s \neq 0$ , 输出电压随电流增加而稍有下降, 如图中曲线②所示。内阻不同, 电压源输出端电压随电流增加而下降的速率不同。外特性曲线斜率的绝对值就是内阻  $R_s$ , 内阻越小, 电压源外特性就越趋于理想, 故内阻大小成为衡量电压源特性的重要指标之一。目前, 稳压电源的内阻可也足够小, 误差可忽略。

### 2. 伏安特性的测量

#### 2.1 无源单口网络

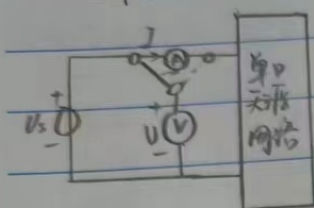
图2(a)所示电路可用于测量无源单口网络的伏安特性。改变电压源电压  $U_s$  可测出一系列  $U, I$  值, 用以画出伏安特性曲线。但必须考虑电表内阻对测量的影响, 按图中虚线箭头所示, 改变电压表的连接位置, 可在一定程度上减小测量误差。

#### 2.2 有源单口网络

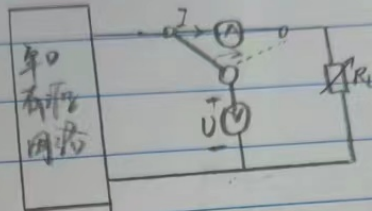


## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

图2由已知量有源网络外特性电路。改变负载  $R_L$  可测得一组  $U, I$  值，并画出外特性曲线。对于有源单口网络，因其内部结构未知（有源器件的作等等），常常不便于输出短路。故在测量时可根据需要，在负载支路中接一固定阻值电阻。



(a) 无源网络



(b) 有源网络

图2 单口网络外特性曲线的测量

### 3. 叠加定理

对于线性电路，多个独立激励源共同作用时，在任一支路中的响应（电压或电流），等于每个独立激励源单独作用时所引起响应的代数和。这一定理称为

线性电路的叠加定理

叠加定理适用于由独立源、受控源、无源器件（电阻器、电感、电容）和受压器组成的线性网络（时变或静态）。但是，这一定理只适用于电压和电流，而不适用于功率，因为其他每个电源单独作用的功率和并不是真正的消耗功率。

### 4. 戴维南定理与最大功率传输

#### 1. 戴维南定理

任何一个包含独立电源或非独立电源的线性单口网络，对外电路的

## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

作用可以等效为一个电压源和电阻的串联组合来等效, 如图3所示。其电压源的电压  $U_{oc}$  为网络  $a, b$  端的开路电压, 电阻  $R_o$  是使网络中所有独立电压源为零 (把独立电压源短路, 独立电流源断开), 得留非独立源可, 自  $a, b$  端向网络看进去的等效电阻。

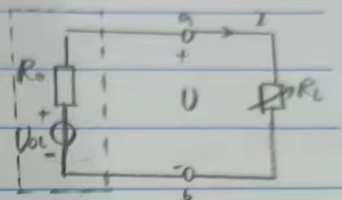
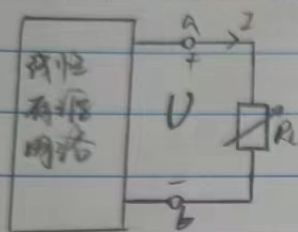


图3 线性有源网络的戴维南等效

戴维南等效电源参数  $U_{oc}$  和  $R_o$  可以计算得出, 也可以由实验测得。测量方法如下:

- (1) 用高内阻 (相对于电源内阻  $R_o$  而言) 电压表测量  $a, b$  端开路电压  $U_{ab}$ , 则  $U_{oc}$  等于  $U_{ab}$ , 然后用低内阻测量  $a, b$  端短路电流  $I_{sc}$ , 则内阻  $R_o = U_{oc}/I_{sc}$ 。
- (2) 用高内阻 (相对于等效内阻  $R_o$  而言) 电压表测量  $a, b$  端开路电压  $U_{ab}$ , 则  $U_{oc}$  等于  $U_{ab}$ , 然后用电阻箱作为负载  $R_L$ , 调节电阻箱使  $a, b$  端电压等于  $U_{oc}/2$ , 电阻箱读数即为  $R_o$ , 该测量方法称为半压法。

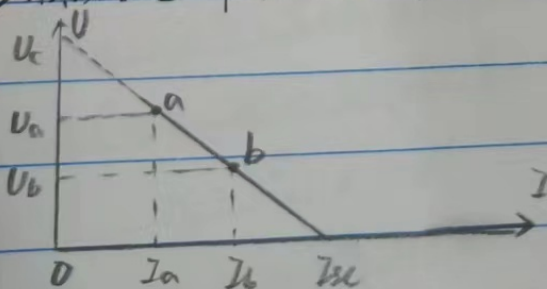


图4 线性有源网络外特性



## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

(3) 如果线性网络不允许 a、b 端开路或短路 (即 a、b 输出端不允许开路也不允许短路), 可以测量外特性曲线, 外特性曲线的延伸线在纵坐标 (电压坐标) 上的截距就是  $U_{oc}$ , 在横坐标 (电流坐标) 上的截距就是  $I_{sc}$ , 而  $R_0 = U_{oc}/I_{sc}$ . 如图中所示, 线性单口网络外特性是, 一直线, 所以只需知道曲线上任意两点的坐标值, 就可以推算计算出  $U_{oc}$  和  $R_0$ , 计算公式可自行推导.

### (2) 最大功率传输

直流供电情况下, 大多数电子设备所用电源或信号源内部结构比较复杂, 可按图进行戴维南等效. 图中  $R_0$  为等效电阻,  $U_{oc}$  为等效电源电压,  $R_L$  为负载电阻, 电路电流为  $I$ , 负载  $R_L$  得到的功率  $P_L$  为

$$P_L = R_L \cdot I^2 = R_L \cdot \left( \frac{U_{oc}}{R_0 + R_L} \right)^2 \quad (2)$$

当  $U_{oc}$  和  $R_0$  确定后, 负载得到的功率大小由  $R_L$  决定, 且当  $R_L = R_0$  时负载可获得的最大功率为

$$P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_0} \quad (3)$$

$R_L = R_0$  称为阻抗匹配条件, 即电源的内阻抗 (或内电阻) 与负载阻抗 (或负载电阻) 相等时, 负载可以获得最大功率

电源传输效率  $\eta$  等于输出功率与输入功率之比, 由式 (4) 可计算得到. 供电电路满足阻抗匹配时, 负载获得最大功率时的电源效率为 50%

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} \times 100\% \quad (4)$$

实验时, 输出功率等于电压与电流的乘积. 需要两个万用表, 一个测量流过负载的电流, 一个测量电源的输出电压.

# 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

四、实验内容

1. 叠加定理

使用元器件箱中的固定电阻, 按图5所示, 并接标准实验板上搭建实验电路

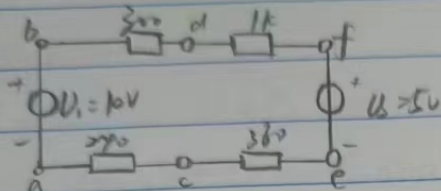


图5 叠加定理实验电路

表1 验证叠加定理数据记录

	$U_{ac}(V)$	$U_{bd}(V)$	$U_{cd}(V)$	$U_{ce}(V)$	$U_{ef}(V)$
$U_1$ 单独作用	-1.26	1.58	-7.15	-1.89	5.25
$U_2$ 单独作用	0.63	-0.79	-1.42	0.96	-2.62
$U_1$ 和 $U_2$ 共同作用	-0.63	0.78	-8.57	-0.96	2.62
理论计算值	0.63	0.78	8.56	-0.95	2.63
相对误差(%)	0	1.3%	0.1%	1.0%	0.4%

操作步骤如下:

(1) 以数字万用表指示为准, 调节稳压电源, 一个通道输出10V, 另一个

通道输出5V;

(2)  $U_1$ 接入电路, 将 $U_2$ 电源“关断”(断开电源 $U_2$ , 对应电路进行短路处理)后进行

测量;

(3)  $U_2$ 接入电路, 将 $U_1$ 电源“关断”(断开电源 $U_1$ , 对应电路进行短路处理)后



## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

进行测量。

(4) 将表1、2同时接入电路, 进行测量。

将测量数据记录在表1中, 并完成所有需要计算的数据。

### 2. 测量电压源外特性

测量方案如图6所示, 该由稳压电源提供。因稳压电源的内阻很小(远小于本实验中所用的负载电阻), 故其外特性接近理想型, 因普通万用表难以直接测出输出电压的变化。为突出电源内阻对输出特性的影响, 于a、b间接一个电阻 $R_s$ , 作为电压源的内阻, 组成图6所示的模拟电压源。如对于不同的 $R_s$ 值进行多次测试, 可得出内阻大小对电压源外特性影响不同的结果。

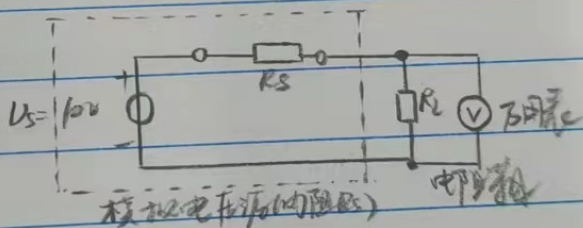


图6. 电压源外特性测量

操作步骤:

(1) 以万用表作指示, 调节稳压电源, 使其开路电压 $U_s > 20V$ , 然后按图6直接接线。

(2) 令 $R_s = 20$ , 按表中所列数据从 $5k\Omega$ 开始依次改变 $R_L$ 值, 测量并记录 $R_L$ 上的电压 $U_L$ 和电流 $I$ 值, 通过计算得到 $I = U_L / R_L$ 。

(3) 令 $R_s$ 分别等于 $100\Omega$ ,  $360\Omega$ 和 $1k\Omega$ , 测量得到 $U_L$ 值, 计算出 $I$ 值。



# 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

表2 电压源外特性测量数据

$R_L(k\Omega)$	$R_L(k\Omega)$	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
	测量					
0	$U(V)$	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
	$I(mA)$	2.00	2.50	3.33	5.00	10.00
120	$U(V)$	9.76	9.71	9.61	9.43	8.93
	$I(mA)$	1.95	2.43	3.20	4.72	8.93
360	$U(V)$	9.33	9.17	8.93	8.47	7.35
	$I(mA)$	1.87	2.29	2.98	4.24	7.35
1k	$U(V)$	8.34	8.01	7.51	6.67	5.01
	$I(mA)$	1.67	2.00	2.50	3.34	5.01

将表中数据对应的电压源外特性曲线绘制在同一坐标系中进行比较，并对结果进行分析

## 3. 验证戴维南定理

(1) 测量含独立电压源线性网络外特性  
按图7连接线路， $U_S=20V$ 直流稳压电压提供。按表3所列数据改变 $R_L$ 值，用万用表测量 $R_L$ 两端电压 $U$ ，测量数据记录表3中。

表3 戴维南定理验证数据记录

$R_L(k\Omega)$	2k	1k	540	360	180	100
$U(V)$	8.06	7.30	6.28	5.06	4.55	2.69
$I_L = U/R_L(mA)$	4.03	7.30	11.63	16.87	18.96	26.90

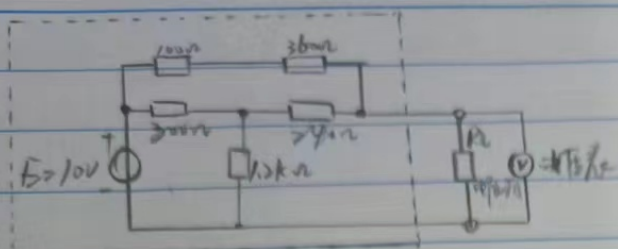


图7 网络A测量电路

### (2) 测量等效电路参数

根据图7所示线性网络A内部电路, 计算出戴维南等效参数  $U_{oc}$  和  $R_0$ 。  
按图8所示搭建电路,  $R_L$  用实验盘里的固定电阻实现, 用万用表测量  $R_L$  两端电压, 将测量结果记录在表3。

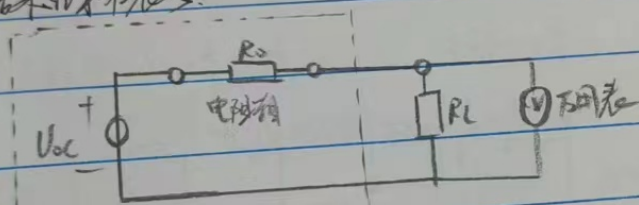


图8 网络A等效测量电路

### (3) 半电压法测量戴维南等效参数

用半电压法测量图7所示线性网络A的  $U_{oc} = 1.0V$  和  $R_0 = 2.2k\Omega$ 。  
根据半电压法测得的等效参数搭建如图8所示电路,  $R_L$  用实验盘里的固定电阻实现, 用万用表测量  $R_L$  两端电压, 将测量结果记录在表3。  
将(1)、(2)和(3)中测得的数据对应的半电压法等效电路绘制在同一坐标中进行比较, 并对结果进行分析。

### 4. 电源传输效率的测量



# 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

该电源的外特性曲线如图7所示, 根据图中给出的开路电压和短路电流数据, 计算出该电源模型中的电压值  $U_s$  和内阻  $R_s$

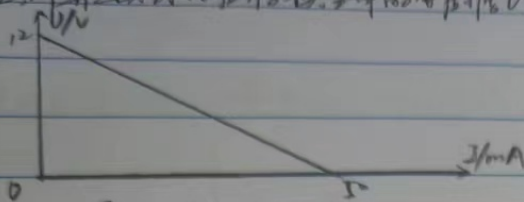


图7 电源外特性曲线

若按图7所示电路进行实验电路搭建, 电压源选用可调稳压电源, 内阻选用固定电阻, 负载电阻  $R_L$  选用电阻箱, 从  $100 \sim 500 \Omega$  改变负载电阻的数值, 测量对应负载电阻上的电压和电流, 将测量数据记入表4, 电源的输出功率为  $P_{out}$ , 负载所得功率为  $P_L$ , 电源效率  $\eta = (P_L / P_{out}) \times 100\%$

表4 电源传输效率数据记录

测量 $R_L / \Omega$	100	150	200	250	300	350	400	450	500
负载电压 $U_L (V)$	3.53	4.61	5.45	6.12	6.66	7.12	7.50	7.83	8.16
输出电流 $I_L (mA)$	35.30	30.73	27.25	24.48	22.20	20.30	18.75	17.40	16.20
电源功率 $P_s (mW)$	423.60	368.76	327.00	283.76	266.40	249.08	225.10	208.80	199.40
负载功率 $P_L (mW)$	149.61	141.66	148.51	149.82	147.85	144.82	140.62	136.20	131.22
传输效率 $\eta (\%)$	29.4%	38.4%	45.4%	51.8%	55.5%	57.3%	62.5%	65.2%	67.5%

## 五. 回答问题

由数字万用表作为电压表使用时, 由于内阻较大, 是否可能不准确其时



## 西安电子科技大学实验报告用纸 (续页)

测量结果的影响?

由上述的数字万用表在测量  $10V$  电压时, 能否达到预期的测量精度为

什么?

(3) 直接使用数字万用表测量单端口线性网络的开路电压  $V_o$  和短路电流  $I_{sc}$ , 有什么使用条件?

答: (1) 不可忽略, 只是本次实验电阻阻值远小于万用表内阻.

(2) 可以; 使用  $20V$  档位即可,  $10V$  档位可  $0.01V$ .

(3) 高阻电压表和低阻电流表.