

# 《电工技术基础》实训指导书

主

编 马乐萍（山西药科职业学院）

副

主编 张志清（山西省医疗器械检测中心）

参

编 刘精婵（山西药科职业学院）

刘

向阳（山西药科职业学院）

杨

玉茹（山西药科职业学院）

王

爱萍（山西药科职业学院）

方

育婧（山西药科职业学院）

山西药科职业学院

## 编写说明

《

电工技术基础实训指导书》是为了帮助学生掌握医疗器械制造与维护的实用技术，提高学生的专业实践技能而编写的。内容包括十三个实训项目，使学生掌握医疗器械制造与维护过程中的基本技术，培养学生分析解决电子电路问题的能力，为今后工作打下基础。在编写过程中，坚持理论联系实际的原则，力求体现以职业能力培养为根本的高等职业技术教育的特色，突出实用性、技术性和先进性。

本

教材在编撰过程中，得到了本专业王爱萍老师、刘向阳老师、刘精婵老师、杨玉茹老师、方育婧老师的大力协助，同时获得了山西省医疗器械检测中心医电室主任张志清的大力帮助，在此表示感谢。

本

书适用于医疗器械制造与维护专业和与电子有关的其他相关专业教学和实践使用，但由于编者水平有限，书中难免会存在不当之处，欢迎批评指正。

编者

2014年6月

# 目录

# 实验绪论

## 一、实验在电工学课程中的地位和作用

在

原国家教委颁发的“电工技术”课程教学基本要求中规定：实验是本专业重要的实践性教学环节。实验的目的不仅要帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识，更重要的是要训练他们的实验技能，树立工程实际观点和严谨的科学作风，使他们能独立地进行实验。

在

“电工技术”部分，对学生实验技能训练的具体要求是：

1

． 能使用常用的电工仪表、仪器和电工设备。

2

． 能按电路图接线，查线和排除简单的线路故障。

3

． 能进行实验操作，测取数据和观察实验现象。

4

． 能整理、分析实验数据，绘制曲线并写出整洁的、条理清楚的、内容完整的实验报告。

## 二、电子实验的过程与方法

每

个实验都要经历预习、实验和总结三个阶段。每个阶段都有明确的任务和要求。

1

． 预习

预

习的任务是阅读实验指导书，弄清实验目的、内容要求、方法及实验中应注意的问题。必要时拟出实验步骤，画出记录表格，阅读预习要求中指定的附录，查找必要的资料。要对实验结果作出估计，选择所用电表的量程，作出必要的估算，以便实验时及时检验结果的正确性。

有

些仪器、设备仅凭阅读资料难以掌握其使用方法，所以要到实验室进行预习。

2

## ． 实验

实

验的任务是按照预定的方案进行实验。实验过程既是完成实验任务的过程，又是锻炼实验能力和培养科学实践作风的过程，在实验中，要做好原始数据的记录，要逐步学会用理论去分析与解决实验中遇到的各种问题。

3

## ． 总结

总

结的任务是在实验完成后，整理实验数据，分析实验结果，得出结论，完成实验总结报告。

## 三、实验报告内容

本

课程实验报告分预习报告和总结报告两部分。

预

习报告中应写明：

1

、实验目的

2

、实验仪表设备

3

、实验内容（分步骤扼要摘抄，画出实验电路，记录表格，预选电表量程，必要的理论计算式，计算值，必须回答的预习问题，特殊注意事项。

总

结报告中应写明：

1

、经整理后的实验数据，计算数据

2

、实验波形，曲线

、对数据、曲线的分析、说明、结论等

#### 四、实验时的安全用电知识

实

验时，要杜绝电击现象。电击是人体中通过电流时产生的一种剧烈的生理反映。轻则人体触电部位麻木、痉挛，重则造成严重烧伤、甚至死亡。

在

实验中引起电击的主要原因是由于用电设备的破损或故障及操作不当而误触 220V、380V 电压。此外，对于已充电的电容器（尤其是高电压、大容量），即使已断开电源，触及时仍可能发生电击。

因

此，实验中应注意以下几点：

1

、弄清实验电源系统，以便在发生电击时及时切断电源。

2

、实验时，连好电路后，必须经指导教师检查后方可通电，并在通电前通知同组同学。

3

、实验中，不可带电改接电路，不可触及电路的带电部位。

4

、实验完毕，必须先断开电源开关，经教师检查数据签字后，才拆线整理。

#### 五、学生实验手则

1

、严格遵守实验室的规章制度及管理措施，执行实验纪律。

2

、服从教师及有关实验技术人员的指导，实验前要认真预习，明确实验目的、要求、方法和步骤，认真按要求进行操作，不得在实验室内做与本实验无关的事。

3

、实验中不得动用与本实验无关的仪器设备，不得动用他组的仪器、工具、文件与材料。实验时，按教师规定做好实验的准备工作，经指导教师检查同意后，方可开始做实验。违反操作规程造成仪器设备及实验材料损坏者，将酌情赔偿并视情节轻重进行批评直到纪律处分。

4

、严格遵守仪器设备的操作规程，设备发生故障应立即停止实验，报指导教师和实验员处理，不得擅自拆卸，严防事故，确保实验室的安全。

5

、进入实验室必须保持肃静、整洁。不准高声谈笑，不准吸烟，不准随地吐痰，不准乱抛纸屑杂务等。

6

、实验过程中，要严肃认真，详细记录实验数据和结果，经指导教师签字认可后，方可结束实验，实验后要按时写好实验报告，教指导教师批阅，数据和报告要求实事求是，不得抄袭伪造和涂改，否则按不合格处理。

7

、认真搞好实验室的清洁卫生，每次实验结束，要依照实验室的有关规定以及指导教师的要求做好实验的结束工作，并经教师许可后方可离开。

8

、以上各条必须严格遵守，违反者予以批评教育，情节严重的依照有关规定进行处理。



## 实验一 万用表的使用

### 一、实验目的

掌

握万用表测量电压、电流、电阻的操作方法。

### 二、实验原理

万

用表的基本原理是利用一只灵敏的磁电式直流电流表（微安表）做表头。当微小电流通过表头，就会有电流指示。但表头不能通过大电流，所以，必须在表头上并联与串联一些电阻进行分流或降压，从而测出电路中的电流、电压和电阻。下面分别介绍。

(

1)测直流电流原理。

如

图 1a 所示，在表头上并联一个适当的电阻（叫分流电阻）进行分流，就可以扩展电流量程。改变分流电阻的阻值，就能改变电流测量范围。

(

2)测直流电压原理。

如

图 1b 所示，在表头上串联一个适当的电阻（叫倍增电阻）进行降压，就可以扩展电压量程。改变倍增电阻的阻值，就能改变电压的测量范围。

(

3)测交流电压原理。

如

图 1c 所示，因为表头是直流表，所以测量交流时，需加装一个并、串式半波整流电路，将交流进行整流变成直流后再通过表头，这样就可以根据直流电的大小来测量交流电压。扩展交流电压量程的方法与直流电压量程相似。

(

4)测电阻原理。

如

图 1d 所示，在表头上并联和串联适当的电阻，同时串接一节电池，使电流通过被测电阻，根据电流的大小，就可测量出电阻值。改变分流电阻的阻值，就能改变电阻的量程。

三、实验设备

| 序号 | 名称     | 数量  | 备注 |
|----|--------|-----|----|
| 1  | 万用表    | 1 台 |    |
| 2  | 交直流电压源 | 1 台 |    |
| 3  | 各数值电阻  | 若干  |    |
| 4  | 导线     | 若干  |    |
| 5  | 干电池    | 1 节 |    |
| 6  | 电工实验箱  | 1 台 |    |

四、实验内容与步骤

用

万用表测电压、电流、电阻。步骤具体如下

1

、调零

机

械调零

电

气调零：将万用表调至欧姆档，并将两表笔短接。

2

、用万用表测电压

(

1)先将万用表右边调至电压档；

(

2)将万用表的直流电压档调至 2.5V, 用万用表测一节 5 号干电池两端的电压值；

(

3)将万用表的交流电压档调至 500V，测三相电源任意两相的电压值。

3

、用万用表测电流

将

干电池，开关和小灯泡用导线串联起来，测小灯泡两端的电流。

4

、用万用表测实际电路中的电流与电压

按

如下电路接好线后，分别按下面两个表格中交直流电源值接入电路中，测电路中 100 欧姆电阻两端电压和通过该电阻的电流。

| 接直流电源 |     | 3V | 6V | 9V | 12V | 18V |
|-------|-----|----|----|----|-----|-----|
| 量值    | 测 U |    |    |    |     |     |
|       | I   |    |    |    |     |     |

| 接交流电源 |     | 3V | 6V | 9V | 12V | 18V |
|-------|-----|----|----|----|-----|-----|
| 量值    | 测 U |    |    |    |     |     |
|       | I   |    |    |    |     |     |

4、用万用表测电阻

万用表欧姆档可以测量导体的电阻。欧姆档用 “ $\Omega$ ” 表示，分为  $R\times 1$ 、 $R\times 10$ 、 $R\times 100$  和  $R\times 1k$  四档。有些万用表还有  $R\times 10k$  档。使用万用表欧姆档测电阻，除前面讲的使用前应做到的要求外，还应遵循以下步骤。

(1) 将选择开关置于  $R\times 100$  档，将两表笔短接调整欧姆档零位调整旋钮，使表针指向电阻刻度线右端的零位。若指针无法调到零点，说明表内电池电压不足，应更换电池。

(2) 用两表笔分别接触被测电阻两引脚进行测量。正确读出指针所指电阻的数值，再乘以倍率（ $R\times 100$  档应乘 100， $R\times 1k$  档应乘 1000）。就是被测电阻的阻值。

(3) 为使测量较为准确，测量时应使指针指在刻度线中心位置附近。若指针偏角较小，应换用  $R\times 1k$  档，若指针偏角较大，应换用  $R\times 10$  档或  $R\times 1$  档。每次换档后，应再次调整欧姆档零位调整旋钮，然后再测量。用  $R\times 1$  档对万用表

的电耗较大，测量时尽可能时间短，用  $R \times 10k$  档要慎重，此档时万用表内部使用的是高压电池，易击穿元器件。

(4) 用万用表不同电阻档位测同一电阻，依如下表形式记录数据并分析数据是否一样。

| 电阻档位              | $\times 10$ |    | $\times 100$ |    | $\times 1K$ |     | $\times 10K$ |     |
|-------------------|-------------|----|--------------|----|-------------|-----|--------------|-----|
| 被测电阻 ( $\Omega$ ) | 100         | 1K | 1K           | 5K | 5K          | 10K | 5K           | 10K |
| 测量值 ( $\Omega$ )  |             |    |              |    |             |     |              |     |

## 五、实验报告

根据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论。

## 六、思考题

- 1、思考万用表的工作原理。
- 2、怎么使用万用表测电压、电流、电阻？
- 3、用万用表不同电阻档位测同一电阻，数据为什么会有不同？

## 实验二 基本元器件的识别与检测

### 一、实验目的

1

、掌握对电阻、电容、电感的识别

2

、掌握用万用表对常用电阻、电容与电感的检测方法。

### 二、实验原理

1

、电阻器介绍：

电

阻用  $R$  表示，它是导体一种基本性质，与导体的尺寸、材料、温度有关。电阻的单位是欧姆，简称为欧，常用单位还有千欧( $k\Omega$ )，兆欧( $M\Omega$ )。

电

阻器是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一。主要用于控制和调节电路中的电流和电压，或用作消耗电能的负载。

电

阻器有不同的分类方法。按材料分，有碳膜电阻、水泥电阻、金属膜电阻和线绕电阻等不同类型；按功率分，有  $1/16W$ 、 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$  等额定功率的电阻；按电阻值的精确度分，有精确度为  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$  等的普通电阻，还有精确度为  $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$  和  $\pm 2\%$  等的精密电阻。电阻的类别可以通过外观的标记识别。

电

阻器的种类有很多，通常分为三大类：固定电阻，可变电阻，特种电阻。在电子产品中，以固定电阻应用最多。而固定电阻以其制造材料又可分为好多类，但常用、常见的有  $RT$  型碳膜电阻、 $RJ$  型金属膜电阻、 $RX$  型线绕电阻，还有近年来开始广泛应用的片状电阻。型号命名很有规律，第一个字母  $R$  代表电阻；第二个字母的意义是： $T$ —碳膜， $J$ —金属， $X$ —线绕，这些符号是汉语拼音的第一个字母。在国产老式的电子产品中，常可以看到外表涂覆绿漆的电阻，那就

是 RT 型的。而红颜色的电阻，是 RJ 型的。一般老式电子产品中，以绿色的电阻居多。为什么呢？这涉及到产品成本的问题，因为金属膜电阻虽然精度高、温度特性好，但制造成本也高，而碳膜电阻特别价廉，而且能满足民用产品要求。

电

阻器当然也有功率之分。常见的是 1/8 瓦的“色环碳膜电阻”，它是电子产品和电子制作中用的最多的。当然在一些微型产品中，会用到 1/16 瓦的电阻，它的个头小多了。再者就是微型片状电阻，它是贴片元件家族的一员，以前多见于进口微型产品中，现在电子爱好者也可以买到了国产产品用来制作小型电子装置。

电

阻器的型号命名方法见下表

| 第一部分：主称 |            | 第二部分：材料 |      | 第三部分：特征 |       |      | 第四部分：序号                                                                        |
|---------|------------|---------|------|---------|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 符号      | 意义         | 符号      | 意义   | 符号      | 电阻器   | 电位器  |                                                                                |
| R<br>W  | 电阻器<br>电位器 | T       | 碳膜   | 1       | 普通    | 普通   | 对主称、材料相同，仅性能指标尺寸大小有区别，但基本不影响互换使用的产品，给同一序号；若性能指标、尺寸大小明显影响互换时，则在序号后面用大写字母作为区别代号。 |
|         |            | H       | 合成膜  | 2       | 普通    | 普通   |                                                                                |
|         |            | S       | 有机实芯 | 3       | 超高频   | —    |                                                                                |
|         |            | N       | 无机实芯 | 4       | 高阻    | —    |                                                                                |
|         |            | J       | 金属膜  | 5       | 高温    | —    |                                                                                |
|         |            | Y       | 氧化膜  | 6       | —     | —    |                                                                                |
|         |            | C       | 沉积膜  | 7       | 精密    | 精密   |                                                                                |
|         |            | I       | 玻璃釉膜 | 8       | 高压    | 特殊函数 |                                                                                |
|         |            | P       | 硼酸膜  | 9       | 特殊    | 特殊   |                                                                                |
|         |            | U       | 硅酸膜  | G       | 高功率   | —    |                                                                                |
|         |            | X       | 线绕   | T       | 可调    | —    |                                                                                |
|         |            | M       | 压敏   | W       | —     | 微调   |                                                                                |
|         |            | G       | 光敏   | D       | —     | 多圈   |                                                                                |
|         |            | R       | 热敏   | B       | 温度补偿用 | —    |                                                                                |

|  |  |  |  |   |       |   |  |
|--|--|--|--|---|-------|---|--|
|  |  |  |  | C | 温度测量用 | — |  |
|  |  |  |  | P | 旁热式   | — |  |
|  |  |  |  | W | 稳压式   | — |  |
|  |  |  |  | Z | 正温度系数 | — |  |

电

阻的阻值和允许偏差的标注方法有直标法、色标法和文字符号法。

①

直标法

将

电阻的阻值和误差直接用数字和字母印在电阻上(无误差标示为允许误差  $\pm 20\%$ )。也有厂家采用习惯标记法，如：

3

$\Omega 3 \text{ I}$  表示电阻值为  $3.3\Omega$ 、允许误差为 $\pm 5\%$

1

$\text{k}8\text{III}$  表示电阻值为  $1.8\text{k}\Omega$ 、允许误差为 $\pm 20\%$

5

$\text{M}1 \text{ II}$  表示电阻值为  $5.1\text{M}\Omega$ 、允许误差为 $\pm 10\%$

②

色标法

将

不同颜色的色环涂在电阻器上来表示电阻的标称值及允许误差，各种颜色所对应的数值见下表。

| 颜色 | 有效数字第一位数 | 有效数字第二位数 | 倍乘数    | 允许误差      |
|----|----------|----------|--------|-----------|
| 棕  | 1        | 1        | $10^1$ | $\pm 1$   |
| 红  | 2        | 2        | $10^2$ | $\pm 2$   |
| 橙  | 3        | 3        | $10^3$ | —         |
| 黄  | 4        | 4        | $10^4$ | —         |
| 绿  | 5        | 5        | $10^5$ | $\pm 0.5$ |

|    |   |   |           |           |
|----|---|---|-----------|-----------|
| 蓝  | 6 | 6 | $10^6$    | $\pm 0.2$ |
| 紫  | 7 | 7 | $10^7$    | $\pm 0.1$ |
| 灰  | 8 | 8 | $10^8$    | —         |
| 白  | 9 | 9 | $10^9$    | —         |
| 黑  | 0 | 0 | $10^0$    | —         |
| 金  | — | — | $10^{-1}$ | $\pm 5$   |
| 银  | — | — | $10^{-2}$ | $\pm 10$  |
| 无色 | — | — | —         | $\pm 20$  |

③

### 文字符号法

例

如：3M3K 3M3 表示  $3.3\text{M}\Omega$ ，K 表示允许偏差为  $\pm 10\%$ 。允许偏差与字母的对应关系见下表。

| 允许偏差        | 标志符号 | 允许偏差      | 标志符号 | 允许偏差     | 标志符号 |
|-------------|------|-----------|------|----------|------|
| $\pm 0.001$ | E    | $\pm 0.1$ | B    | $\pm 10$ | K    |
| $\pm 0.002$ | Z    | $\pm 0.2$ | C    | $\pm 20$ | M    |
| $\pm 0.005$ | Y    | $\pm 0.5$ | D    | $\pm 30$ | N    |
| $\pm 0.01$  | H    | $\pm 1$   | F    |          |      |
| $\pm 0.02$  | U    | $\pm 2$   | G    |          |      |
| $\pm 0.05$  | W    | $\pm 5$   | J    |          |      |

电

### 阻器额定功率的识别

电

阻器的额定功率指电阻器在直流或交流电路中，长期连续工作所允许消耗的最大功率。有两种标志方法：2W 以上的电阻，直接用数字印在电阻体上；2W 以下的电阻，以自身体积大小来表示功率。在电路图上表示电阻功率时，采用如下图符号：

万



用表可以直接测量出电阻的阻值。通常应先选择较大量程，但量程选大了会损失测量结果的有效数位，使测量精确度降低。因此测量过程中应根据读数调整至合适的量程，以求测得较为准确的阻值。指针式万用表的黑表棒与电表内部电源正极相连、红表棒与电表内部电源负极相连，这一点数字式万用表与此相反。测量电阻时，不能在线测量，也不能带电测量。

2

、电容器介绍：

电

容器通常简称其为电容，用字母C表示。是“储存电荷的容器”。尽管电容器品种繁多，但是它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被某绝缘物质(固体、气体或液体)所隔开，就构成了电容器。两片金属称的极板，中间的物质叫做介质。电容器也分为容量固定的与容量可变的。但常见的是固定容量的电容，最多见的是电解电容和瓷片电容。

电

容的基本单位为法拉(F)。但实际上，法拉是一个很常用的单位，因为电容器的容量往往比1法拉小得多，常用的电容单位有微法( $\mu\text{F}$ )、纳法(nF)和皮法(pF)(皮法又称微微法)等，它们的关系是：1法拉(F)=1000000微法( $\mu\text{F}$ ) 1微法( $\mu\text{F}$ )=1000纳法(nF)=1000000皮法(pF)

电

容器在电路中起着“通交流，隔直流”的作用，常被用作耦合、旁路、滤波等，其工作实质就是连续地充放电。电容器的选用涉及到很多问题。首先是耐压的问题。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压，电容器就会被击穿损坏。一般电解电容的耐压分档为6.3V，10V，16V，25V，50V等。

电

容量固定的电容器叫做固定电容器。根据介质的不同可分为陶瓷、云母、纸质、薄膜、电解几种。微调电容器也称半可变电容器，它的电容量可在某一小范围内调整，并可在调整后固定于某个电容值。可变电容器是指电容值可以在比较大的范围内发生变化，并可确定为某一个值。可变电容器分为波膜介质和空气介质两种形式。常用于耦合及调谐电路中，常见的有双联电容、陶瓷电容等。

电

## 容的型号命名法

对

电解电容器的性能测量，最主要的是容量和漏电流的测量。对正、负极标志脱落的电容器，还应进行极性判别。

用

万用表测量电解电容的漏电流时，可用万用表电阻档测电阻的方法，量程可以用估测的方法选择。例如估测一个  $100\ \mu\text{F}/250\text{V}$  的电容可用一个  $100\ \mu\text{F}/25\text{V}$  的电容来参照，只要它们指针摆动最大幅度一样，即可断定容量一样；估测皮法级电容容量大小要用  $R\times 10\text{k}\Omega$  档，但只能测到  $1000\text{pF}$  以上的电容。对  $1000\text{pF}$  或稍大一点的电容，只要表针稍有摆动，即可认为容量够了。万用表的黑表笔应接电容器的“+”极，红表笔接电容器的“

”

极，此时表针迅速向右摆动，然后慢慢退回，待指针不动时其指示的电阻值越大表示电容器的漏电流越小；若指针根本不向右摆，说明电容器内部已断路或电解质已干涸而失去容量。

中

、小型电容器的特点是无正、负极之分，绝缘电阻很大，因而其漏电流很小。若用万用表的电阻档直接测量其绝缘电阻，则表针摆动范围极小不易观察，用此法主要是检查电容器的断路情况。

对

于  $0.01\ \mu\text{F}$  以上的电容器，必须根据容量的大小，分别选择万用表的合适量程，才能正确加以判断。如测  $300\ \mu\text{F}$  以上的电容器可选择“ $R\times 10\text{k}$ ”或“ $R\times 1\text{k}$ ”档；测  $0.47\sim 10\ \mu\text{F}$  的电容器可用“ $R\times 1\text{k}$ ”档；测  $0.01\sim 0.47\ \mu\text{F}$  的电容器可用“ $R\times 10\text{k}$ ”档等。具体方法是：用两表笔分别接触电容的两根引线（注意双手不能同时接触电容器的两极），若表针不动，将表针对调再测，仍不动说明电容器断路。

对

于  $0.01\ \mu\text{F}$  以下的电容器不能用万用表的欧姆档判断其是否断路，只能用其它仪

表（如 Q 表）进行鉴别。

对

可变电容器主要是测量它是否发生碰片（短接）现象。选择万用表的电阻（R×1）档，将表笔分别接在可变电容器的动片和定片的连接片上。旋转电容器动片至某一位置时，若发现有直通（即表针指零）现象，说明可变电容器的动片和定片之间有碰片现象，应予以排除后再使用。

3

、电感器介绍：

电

感器和电容器一样，也是一种储能元件，它能把电能转变为磁场能，并在磁场中储存能量。电感器用符号  $L$  表示，它的基本单位是亨利(H)，常用毫亨(mH)为单位。它经常和电容器一起工作，构成  $LC$  滤波器、 $LC$  振荡器等。另外，人们还利用电感的特性，制造了扼流圈、变压器、继电器等。

电

感器的特性恰恰与电容的特性相反，它具有阻止交流电通过而让直流电通过的特性。电感器的技术指标主要包括：电感量  $L$ ；品质因数  $Q$  值；自谐频率  $f$ ；直流电阻  $R_{DC}$ ；额定电流  $I$  等。在电路中主要起谐振、耦合、延迟、滤波、陷波扼流抗干扰等作用。

电

感器在检测时，首先要进行外观检查，看线圈有无松散，引脚有无折断、生锈现象。然后用万用表的欧姆档测线圈的直流电阻，若为无穷大，说明线圈（或与引出线间）有断路；若比正常值小很多，说明出现局部短路；如果线圈电阻为零，则线圈被完全短路。对于有金属屏蔽罩的电感器线圈，还需检查它的线圈与屏蔽罩间是否短路；对于有磁芯的可调电感器，螺纹配合要好。

三、实验器材

| 序号 | 名称    | 数量  | 备注 |
|----|-------|-----|----|
| 1  | 万用表   | 1 台 |    |
| 2  | 给数值电容 | 若干  |    |
| 3  | 各数值电阻 | 若干  |    |
| 4  | 各数值电感 | 若干  |    |

四、实验内容及步骤

实验是分别对电阻器、电容器、电感进行识别并用万用表检测其值。具体步骤如下：

1

、电阻器的识别与万用表检测。

(

1) 识别两个直标电阻  $R_1$ 、 $R_2$ ，填入表一中。

(

2) 识别两个色环电阻  $R_3$ 、 $R_4$ ，填入表一中。

(

3) 用万用表测量以上四个电阻的阻值，并分析误差，填入表一中。

表一

| 类    | 直标电阻                       |                    | 色标电阻               |                    |
|------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|      | 识别项目<br>$R_1$ ( $\Omega$ ) | $R_2$ ( $\Omega$ ) | $R_3$ ( $\Omega$ ) | $R_4$ ( $\Omega$ ) |
|      |                            |                    | 色环:                | 色环:                |
| 识别值  |                            |                    |                    |                    |
| 检测值  |                            |                    |                    |                    |
| 绝对误差 |                            |                    |                    |                    |

2

、电容器的识别与万用表检测。

(

1)识别不同的四个电容器  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ ，写出容值，填入表二中。

(

2)用万用表的电阻  $R \times 1K$  档检测以上四个电容器（测量漏阻），并填入表二中。  
注意测电解电容器时要黑表笔接电容器正极，红表笔接电容器负极，测量时重新测量要先使两极短接放电再测。

表二

| 电容器   | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 识别的容值 |       |       |       |       |
| 检测的漏阻 |       |       |       |       |

|             |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|
| 万用表指针偏转程度描述 |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|

注

：万用表指针偏转程度描述填明显、不明显、无。

3

、电感器的识别与万用表检测。

(

1)识别不同的两个电感器  $L_1$ 、 $L_2$ ，写出电感值，填入表三中。

(

2)用万用表的电阻  $R \times 10$  档检测以上两个电感器的通断，并填入表三中。

表三

| 电感器               | $L_1$ | $L_2$ |
|-------------------|-------|-------|
| 识别到的电感量           |       |       |
| 检测的通断情况<br>(填通或断) |       |       |

## 五、实验报告

根

据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论。

## 六、思考题

1

、为何用万用表测量电阻时不允许通电测量？

2、万用表检测电感时，如何判断电感的局部短路现象？

## 实验三 电路中电位的测定

### 一、实验目的

1、验证电路中电位的相对性、电压的绝对性

2、掌握电路电位图的绘制方法

### 二、实验原理

1、电路中任意一点到参考点之间的电压就是该点的电位。参考点的电位为零。

2、在电路中参考点可以任意选定，对于不同的参考点，所测出的电位是不同的，即电位是相对的。

3、两点之间的电压等于两点间的电位差。它的大小和极性与选取的参考点无关，电路组成后，其大小和极性即为一定。

4、电路中的电位与参考点的位置有关（电位的相对性）；

5、电路中两点间的电压与参考点的位置无关（电压的绝对性）

6、电路中的电位可用万用表的电压挡直接测量。将电压表跨接在被测点与参考点之间，电压表的读数即为被测点的电位值。其正、负可由电压表的极性判别。当被测点接红表笔而参考点接黑表笔、指针正偏时，该点电位为正；若反偏，则被测点的电位为负值，应交换两表笔进行测量。

### 三、实验设备

| 序号 | 名称     | 数量  | 备注 |
|----|--------|-----|----|
| 1  | 万用表    | 1 台 |    |
| 2  | 直流稳压电源 | 1 台 |    |
| 3  | 定值电阻   | 5 只 |    |
| 4  | 导线     | 若干  |    |

### 四、实验内容及步骤

按

下图接线。

1

. 分别将两路直流稳压电源接入电路，令  $U_1=6V$ ， $U_2=12V$ 。（先调准输出电压值，再接入实验线路中。）

2

. 以图中的 A 点作为电位的参考点，分别测量 B、C、D、E、F 各点的电位值  $V$  及相邻两点之间的电压值  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CD}$ 、 $U_{DE}$ 、 $U_{EF}$  及  $U_{FA}$ ，数据列于表中。

3

. 以 D 点作为参考点，重复实验内容 2 的测量，测得数据列于表中。

| 电位<br>参考点 | V 与 U | $V_A$ | $V_B$ | $V_C$ | $V_D$ | $V_E$ | $V_F$ | $U_{AB}$ | $U_{BC}$ | $U_{CD}$ | $U_{DE}$ | $U_{EF}$ | $U_{FA}$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A         | 计算值   |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |
|           | 测量值   |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |
|           | 相对误差  |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |
| D         | 计算值   |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |
|           | 测量值   |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |
|           | 相对误差  |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |

实

验注意事项：测量电位时，用指针式万用表的直流电压档或用数字直流电压表测量时，用负表棒（黑色）接参考电位点，用正表棒（红色）接被测各点。若指针正向偏转或数显表显示正值，则表明该点电位为正（即高于参考点电位）；若指针反向偏转或数显表显示负值，此时应调换万用表的表棒，然后读出数值，此时在电位值之前应加一负号（表明该点电位低于参考点电位）。数显表也可不调换表棒，直接读出负值。

五、实验报告

根

据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论。

六、思考题

若

以 F 点为参考电位点，实验测得各点的电位值；现今 E 点作为参考电位点，试问此时各点的电位值应有何变化？

## 实验四 基尔霍夫定律验证

### 一、实验目的

- 1. 验证基尔霍夫定律，加深对基尔霍夫定律的认识
- 2. 熟悉直流电流表、电压表及稳压电源的使用
- 3. 了解仪表的误差对测量结果的影响

### 二、实验原理

- 1. 基尔霍夫电压定律：对于电路中的任一回路，在任一时刻，沿着该回路的所有支路电压的代数和为零（ $\sum U = 0$ ）。
- 2. 基尔霍夫电流定律：对于电路中的任一节点，在任一时刻流出（或流进）该节点的所有支路电流的代数和为零（ $\sum I = 0$ ）。

### 三、仪器设备

序号

名称

数量

备注

1

万用表

1 台

2

电工实验箱

1 台



4-1

四、实验内容及步骤

1

．实验前先任意设定三条支路的电流参考方向，如图 4-1 中的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  所示。

2

．选用实验箱上基础电路实验部分。

电

路参数为  $U_{S1}=U_{S2}=5V$ ，B 为公共端（地）。 $R_1=1k\Omega$ 、 $R_2=1.5k\Omega$ 、 $R_3=2k\Omega$ 。

3

．用数字万用表测量  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  的实际电阻值，并记录在表 4-1。

4

． $U_{S1}$ 、 $U_{S2}$  用实验箱上的直流稳压电源 A、B 提供，分别调整为 5V。

5

．连接电路，用数字万用表测量  $U_{R1}$ 、 $U_{R2}$ 、 $U_{R3}$ 。 ，记入表 4-2。根据  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  实际阻值计算出  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ ，作为测量值数据填入表 4-3

|          |                     |                     |                     |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 电阻<br>电源 | $R_1$ (K $\Omega$ ) | $R_2$ (K $\Omega$ ) | $R_3$ (K $\Omega$ ) |
| 计算量      |                     |                     |                     |
| 电压量      | $U_{R1}$ (V)        | $U_{R2}$ (V)        | $U_{R3}$ (V)        |
| 计算量      |                     |                     |                     |
| 测量值      |                     |                     |                     |
| 相对<br>误差 |                     |                     |                     |

表 4-1

表 4-2

表 4-3

|     |              |              |              |
|-----|--------------|--------------|--------------|
| 电流量 | $I_1$ ( mA ) | $I_2$ ( mA ) | $I_3$ ( mA ) |
| 计算量 |              |              |              |

## 五、实验报告要求

1

．选定实验电路中的任一个节点，将测量数据代入基尔霍夫电流定律加以验证。

2

．选定实验电路中的任一闭合电路，将测量数据代入基尔霍夫电压定律，加以验证。

## 六、思考题

利

用电路中所给数据，通过电路定律计算各支路电压和电流，并计算测量值与计算值之间的误差，分析误差产生的原因。

# 实验五叠加原理的验证

## 一、实验目的

验

证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

## 二、实验原理

叠

加原理指出：在有多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。

线

性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减小  $K$  倍时，电路的响应（即在电路中各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小  $K$  倍。

## 三、实验设备

序号

称

型号与规格

数量

注

1

直流稳压电源

0~30V 可调

二路

2

万用表

1

自备

|           |         |
|-----------|---------|
|           | 3       |
| 直流数字电压表   | 0~200V  |
|           | 1       |
|           | 4       |
| 直流数字毫安表   | 0~200mV |
|           | 1       |
|           | 5       |
| 叠加原理实验电路板 | 1       |
|           | 实验箱     |

#### 四、实验内容及步骤

实验线路如图 5-1 所示，用实验箱的“基尔夫定律/叠加原理”线路。

图 5-1

- 1.将两路稳压源的输出分别调节为 12V 和 6V，接入  $U_1$  和  $U_2$  处。
- 2.令  $U_1$  电源单独作用（将开关  $K_1$  投向  $U_1$  侧，开关  $K_2$  投向短路侧）。用直流数字电压表和毫安表（接电流插头）测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，数据记入表 5-1。

表 5-1

| 测<br>量项目<br>实验内容 | $U_1$<br>(V) | $U_2$<br>(V) | $I_1$<br>(mA) | $I_2$<br>(mA) | $I_3$<br>(mA) | $U_{AB}$<br>(V) | $U_{CD}$<br>(V) | $U_{AD}$<br>(V) | $U_{DE}$<br>(V) | $U_{FA}$<br>(V) |
|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $U_1$ 单独作        |              |              |               |               |               |                 |                 |                 |                 |                 |

|                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 用                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U <sub>2</sub> 单独作用                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U <sub>1</sub> 、U <sub>2</sub> 共同作用 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2U <sub>2</sub> 单独作用                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3

令 U<sub>2</sub> 电源单独作用（将开关 K<sub>1</sub> 投向短路侧，开关 K<sub>2</sub> 投向 U<sub>2</sub> 侧），重复实验步骤 2 的测量和记录，数据记入表 5-1。

4

令 U<sub>1</sub> 和 U<sub>2</sub> 共同作用（开关 K<sub>1</sub> 和 K<sub>2</sub> 分别投向 U<sub>1</sub> 和 U<sub>2</sub> 侧），重复上述的测量和记录，数据记入表 5-1。

5

将 U<sub>2</sub> 的数值调至 +12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 5-1。

6

将 R<sub>5</sub>（330Ω）换成二极管 1N4007（即将开关 K<sub>3</sub> 投向二极管 1N4007 侧），重复 1~5 的测量过程，数据记入表 5-2。

7

任意按下某个故障设置按键，重复实验内容 4 的测量和记录，再根据测量结果判断出故障的性质。

表 5-2

| 测 量 项 目                             | U <sub>1</sub><br>(V) | U <sub>2</sub><br>(V) | I <sub>1</sub><br>(mA) | I <sub>2</sub><br>(mA) | I <sub>3</sub><br>(mA) | U <sub>AB</sub><br>(V) | U <sub>CD</sub><br>(V) | U <sub>AD</sub><br>(V) | U <sub>DE</sub><br>(V) | U <sub>FA</sub><br>(V) |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 实验内容                                |                       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| U <sub>1</sub> 单独作用                 |                       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| U <sub>2</sub> 单独作用                 |                       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| U <sub>1</sub> 、U <sub>2</sub> 共同作用 |                       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |

|                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 同作用                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2U <sub>2</sub> 单独作用 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## 五、实验注意事项

1

. 用电流插头测量各支路电流时，或者用电压表测量电压降时，应注意仪表的极性，正确判断测得值的十、一号后，记入数据表格。

2

. 注意仪表量程的及时更换。

## 六、实验报告

1

. 根据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论，即验证线性电路的叠加性与齐次性。

2

. 各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出。试用上述实验数据，进行计算并作结论。

## 七、思考题

用

测量值验证基尔叠加定理是否有误差？试分析出现误差的原因，应如何减少这些误差？

## 实验六 戴维南定理和诺顿定理验证

### 一、实验目的

. 验证戴维南定理和诺顿定理的正确性，加深对两个定理的理解。

. 掌握含源二端网络等效参数的一般测量方法。

. 验证最大功率传递定理。

### 二、实验原理

戴维南定理与诺顿定理在电路分析中是一对“对偶”定理，用于复杂电路的化简，特别是当“外电路”是一个变化的负载的情况。

在电子技术中，常需在负载上获得电源传递的最大功率。选择合适的负载，可以获得最大的功率输出。

. 戴维南定理

任何一个线性有源网络，总可以用一个含有内阻的等效电压源来代替，此电压源的电动势  $E_s$  等于该网络的开路电压  $U_{oc}$ ，其等效内阻  $R_o$  等于该网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻。

. 诺顿定理

任何一个线性含源单口网络，总可以用一个含有内阻的等效电流源来代替，此电流源的电流  $I_s$  等于该网络的短路电流  $I_{sc}$ ，其等效内阻  $R_o$  等于该网络中所有独立源均置零时的等效电阻。

$U_{oc}$ 、 $I_{sc}$  和  $R_o$  称为有源二端网络的等效参数。

### 最大功率传递定理

在

线性含源单口网络中，当把负载  $R_L$  以外的电路用等效电路( $E_s+R_o$  或  $I_s//R_o$ )取代时，若使  $R_L=R_o$ ，则可变负载  $R_L$  上恰巧可以获得最大功率：

P

$$P_{MAX}=I_{SC}^2 \cdot R_L/4=U_{OC}^2/4R_L \dots\dots\dots (1)$$

4

### 有源二端网络等效参数的测量方法

(1)

开路电压  $U_{OC}$  的测量方法

①

直接测量法

直

接测量法是在含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  $U_{OC}$ ，如图 6-1(a)所示。它适用于等效内阻  $R_o$  较小，且电压表的内阻  $R_V \gg R_o$  的情况下。

②

零示法

在

测量具有高内阻( $R_o \gg R_V$ )含源二端网络的开路电压时，用电压表进行直接测量会造成较大的误差，为了消除电压表内阻的影响，往往采用零示测量法，如图 6-1(b)所示。

零

示法测量原理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  $E_s$  与有源二端网络的开路电压  $U_{OC}$  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 6-1 开路电压的测量

(2)

短路电流  $I_{sc}$  的测量方法

①

直接测量法：是将有源二端网络的输出端短路，用电流表直接测其短路电流  $I_{sc}$ 。此方法适用于内阻值  $R_o$  较大的情况。若二端网络的内阻值很低时，会使  $I_{sc}$  很大，则不宜直接测其短路电流。

②

间接计算法：是在等效内阻  $R_o$  已知的情况下，先测出开路电压  $U_{oc}$ ，再由  $I_{sc} = U_{oc}/R_o$  计算得出。

(3)

等效内阻  $R_o$  的测量方法

①

直接测量法：将有源二端网络电路中所有独立源去掉，用万用表的欧姆档测量去掉外电路后的等效电阻  $R_o$ 。

②

加压测流法：将含源网络中所有独立源去掉，在开路端加一个数值已知的独立电压源  $E$ ，如图 6-2 所示，并测出流过电压源的电流  $I$ ，则  $R_o = E/I$

图

6-2 加压测流法测定等效内阻

③

开路、短路法：分别将有源二端网络的输出端开路和短路，根据测出的开路电压和短路电流值进行计算： $R_o=U_{oc}/I_{sc}$

④

伏安法：伏安法测等效内阻的连接线路如图 6-3(a)所示，先测出有源二端网络伏安特性如图 6-3(b)所示，再测出开路电压  $U_{oc}$  及电流为额定值  $I_N$  时的输出端电压值  $U_N$ ，根据外特性曲线中的几何关系，则内阻为

R

$$R_o=\frac{U_{oc}}{I_N-\frac{U_N}{R}}=\frac{U_{oc}R}{I_N R-U_N} \quad (2)$$

◆◆◆◆◆◆◆◆

图

6-3 伏安法测等效内阻

⑤

半电压法

调

被测有源二端网络的负载电阻  $R_L$ ，当负载电压为被测有源二端网络开路电压  $U_{oc}$  的一半时，负载电阻值（由电阻箱的读数确定）即为被测有源二端网络的等效内阻值。

⑥

外加电阻法：

先

测出有源二端网络的开路电压  $U_{oc}$ ，然后在开路端接一个已知数值的电阻  $r$ ，并测出其端电压  $U_r$ ，则有

实

际电压源和电流源都具有一定的内阻，不能与电源本身分开。所以在去掉电源时，其内阻也去掉了，因此会给测量带来误差。

三、实验设备

| 序号 | 名称       | 型号与规格     | 数量  | 备注 |
|----|----------|-----------|-----|----|
| 1  | 可调直流稳压电源 | 0~30V     | 1 台 |    |
| 2  | 可调直流恒流源  | 0~500mA   | 1   |    |
| 3  | 直流数字电压表  |           | 1   |    |
| 4  | 直流数字毫安表  |           | 1   |    |
| 5  | 万用表      | MF-30 或其他 | 1   | 自备 |

|   |            |            |   |  |
|---|------------|------------|---|--|
| 6 | 可调电阻箱      | 0~99999.9Ω | 1 |  |
| 7 | 电位器        | 1KΩ        | 1 |  |
| 8 | 戴维南定理实验电路板 |            | 1 |  |

四、实验内容与步骤

被

测有源二端网络如图 6-4(a)和图 6-5(a)所示，用户可根据自己使用的实验挂箱选择其中之一。

图 6-4 验证戴维南定理和诺顿定理

图 6-5 验证戴维南定理和诺顿定理

1

.测有源二端网络的等效参数

(1)

按图 6-4(a)线路，将有源二端网络电路中所有独立源去掉( $E_s$ 用短路线代替， $I_s$ 开路)，用万用表的欧姆档测量去掉外电路后的等效电阻  $R_o$ ；然后用加压测流法测出  $E$  和  $I$ ，再由  $R_o=E/I$  求出  $R_o$ 。

(2)

用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路和诺顿等效电路的  $U_{oc}$ 、 $I_{sc}$ 。按图 6-4(a)线路接入稳压电源  $E_s$ 和恒流源  $I_s$ ，测定  $U_{oc}$ 和  $I_{sc}$ ，计算  $R_o$ 之值。

(3)

用伏安法测等效内阻  $R_o$ 。在有源二端网络输出端接入负载电阻箱  $R_L$ ，测出额定电流  $I_N=15mA$  下的额定电压  $U_N$ ，根据公式②计算等效内阻  $R_o$ ，数据记入表 6-1 中。

表 6-1 测等效内阻  $R_o$

| 直测法          | 加压测流法      |             |              | 开路、短路法          |                  |              | 伏安法           |               |              | *外加电阻法      |             |              |
|--------------|------------|-------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| $R_o$<br>(Ω) | $E$<br>(V) | $I$<br>(mA) | $R_o$<br>(Ω) | $U_{oc}$<br>(V) | $I_{sc}$<br>(mA) | $R_o$<br>(Ω) | $U_N$<br>(mA) | $I_N$<br>(mA) | $R_o$<br>(Ω) | $U'$<br>(V) | $R'$<br>(Ω) | $R_o$<br>(Ω) |
|              |            |             |              |                 |                  |              |               |               |              |             |             |              |

注：在图 6-5 中  $E$  为 9V。

\*

(4) 用外加电阻法测等效内阻  $R_o$ 。在有源二端网络输出  $AB$  端接入已知阻值  $R'=510Ω$  的电阻，测量负载端电压  $U'$ ，数据记入表 6-1 中。

\*

\*(5)使用图 6-5 时  $E=9V$ 。

2

. 负载实验

(1)

测量有源二端网络的外特性，在图 6-4(a)的 AB 端接入负载电阻箱  $R_L$ ，改变阻值，测出相应的电压和电流值，数据记入表 6-2 中。

表 6-2 有源二端网络的外特性

|                |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
|----------------|---|--|--|--|--|--|--|--|----------|
| $R_L (\Omega)$ | 0 |  |  |  |  |  |  |  | $\infty$ |
| U (V)          |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
| I (mA)         |   |  |  |  |  |  |  |  |          |

(2)

验证戴维南定理：用一只  $1k\Omega$  的电位器，将其阻值调整到等于按步骤“1”所得的等效电阻  $R_o$  之值，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  $U_{oc}$  之值）相串联，如图 6-4(b)所示(开关 S 投向 1)，测其外特性，对戴氏定理进行验证，数据记入表 6-3 中。

表 6-3 戴维南等效电路的外特性

|                |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
|----------------|---|--|--|--|--|--|--|--|----------|
| $R_L (\Omega)$ | 0 |  |  |  |  |  |  |  | $\infty$ |
| U (V)          |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
| I (mA)         |   |  |  |  |  |  |  |  |          |

\*

(3) 验证诺顿定理：将上一步骤用作等效电阻  $R_o$  的电位器(阻值不变)与直流恒流源  $I_s$  并联，恒流源的输出调到步骤“1”时所测得的短路电流  $I_{sc}$  之值，如图 6-4(b)所示(开关 S 投向 2)，测其外特性，对诺顿定理进行验证，数据记入表 6-4 中。

表 6-4 诺顿等效电路的外特性

|                |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
|----------------|---|--|--|--|--|--|--|--|----------|
| $R_L (\Omega)$ | 0 |  |  |  |  |  |  |  | $\infty$ |
| U (V)          |   |  |  |  |  |  |  |  |          |
| I (mA)         |   |  |  |  |  |  |  |  |          |

五、实验注意事项

1

. 测量电流时要注意电流表量程的选取，为使测量准确，电压表量程不应频繁更换。

2

. 实验中，电源置零时不可将稳压源短接。

- 3
- . 用万用表直接测  $R_o$  时，网络内的独立源必须先去掉，以免损坏万用表。
- 4
- . 改接线路时，要关掉电源。
- 5
- . 实验步骤中打\*号的内容可以根据情况选做。

## 六、实验报告

- 1
- . 根据步骤 2 和 3，分别绘出曲线，验证戴维南定理和诺顿定理的正确性，并分析产生误差的原因。
- 2
- . 根据实验步骤中各种方法测得的  $U_{oc}$  与  $R_o$  与预习时电路计算的结果作比较，你能得出什么结论。
- 3
- . 归纳、总结实验结果。

## 七、思考题

实

际测试结果与理论计算的误差是什么原因引起的？

# 实验七 交流电信号的观察与测量

## 一、实验目的

1、熟悉信号发生器的作用及其使用方法。

2、掌握用示波器观察电信号波形，定量测出正弦信号的波形参数。

3、初步掌握示波器、信号发生器的使用。

## 二、实验原理

1、正弦交流信号是常用的交流电信号，由低频信号发生器提供。正弦信号的波形参数是幅值  $U_m$ 、周期  $T$ （或频率  $f$ ）和初相。

2、电子示波器是一种信号图形观测仪器，可测出电信号的波形参数。从荧光屏的 Y 轴刻度尺并结合其量程分档选择开关（Y 轴输入电压灵敏度  $V/div$  分档选择开关）读得电信号的幅值；从荧光屏的 X 轴刻度尺并结合其量程分档（时间扫描速度  $t/div$  分档）选择开关，读得电信号的周期、相位差等参数。

台双踪示波器可以同时观察和测量两个信号的波形和参数。

## 三、实验设备

| 序号 | 名称    | 型号与规格 | 数量  | 备注 |
|----|-------|-------|-----|----|
| 1  | 双踪示波器 |       | 1 台 |    |
| 2  | 信号发生器 |       | 1   |    |

## 四、实验内容及步骤

## 、双踪示波器的自检

将

示波器面板部分的“标准信号”插口，通过示波器专用同轴电缆接至双踪示波器的Y轴输入插口YA或YB端，然后开启示波器电源，指示灯亮。稍后，协调地调节示波器面板上的“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”、“X轴位移”、“Y轴位移”等旋钮，使在荧光屏的中心部分显示出线条细而清晰、亮度适中的方波波形；通过选择幅度和扫描速度，并将它们的微调旋钮旋至“校准”位置，从荧光屏上读出该“标准信号”的幅值与频率，并与标称值（1V，1KHz）作比较，如相差较大，请指导老师给予校准。

2

## 、正弦波信号的观测

(

1) 将示波器的幅度和扫描速度微调旋钮旋至“校准”位置。

(

2) 通过电缆线，将信号发生器的正弦波输出口与示波器的YA插座相连。

(

3) 接通信号发生器的电源，选择正弦波输出。通过相应调节，使输出频率分别为50Hz，1.5KHz和20KHz；再使输出幅值分别为有效值0.1V，1V，3V。调节示波器Y轴和X轴的偏转灵敏度至合适的位置，从荧光屏上读得幅值及周期，记入表中。

|                | 正弦波信号频率的测定 |        |         |
|----------------|------------|--------|---------|
|                | 50Hz       | 1500Hz | 20000Hz |
| 示波器“t/div”旋钮位置 |            |        |         |
| 一个周期占有的格数      |            |        |         |
| 信号周期(s)        |            |        |         |
| 计算所得频率(Hz)     |            |        |         |

|              | 正弦波信号幅值的测定 |    |    |
|--------------|------------|----|----|
|              | 0.1V       | 1V | 3V |
| 示波器“V/div”位置 |            |    |    |
| 峰—峰值波形格数     |            |    |    |

|         |   |  |  |
|---------|---|--|--|
| 一峰值     | 峰 |  |  |
| 计算所得有效值 |   |  |  |

### 五、实验注意事项

- 1  
    ) 示波器的辉度不要过亮。
- 2  
    ) 调节仪器旋钮时，动作不要过快、过猛。
- 3  
    ) 调节示波器时，要注意触发开关和电平调节旋钮的配合使用，以使显示的波形稳定。
- 4  
    ) 作定量测定时，“t/div” 和 “V/div” 的微调旋钮应旋置 “标准” 位置。
- 5  
    ) 为防止外界干扰， 信号发生器的接地端与示波器的接地端要相连（称共地）。
- 6  
    ) 不同品牌的示波器，各旋钮、功能的标注不尽相同，实验前请详细阅读所用示波器的说明书。
- 7  
    ) 实验前应认真阅读信号发生器的使用说明书。

### 六、实验报告

归

纳、总结实验结果

### 七、思考题

- 1  
    、示波器面板上 “t/div” 和 “V/div” 的含义是什么？
- 2  
    、观察本机 “标准信号” 时，要在荧光屏上得到两个周期的稳定波形，而幅度要求为五格，试问 Y 轴电压灵敏度应置于哪一档位置？ “t/div” 又应置于哪一档位置？



3

、应用双踪示波器观察到如下图所示的两个波形，YA 和 YB 轴的“V/div”的指示均为 0.5V，“t/div”指示为 20 $\mu$ S，试写出这两个波形信号的波形参数。

4

、如用示波器观察正弦信号时，荧光屏上出现下图所示的几种情况时，试说明测试系统中哪些旋钮的位置不对？应如何调节？

## 实验八 单相交流电路

### 一、实验目的

1

、在正弦电压激励下研究 L、C 元件上电流、电压的大小和它们的相位关系，以及输入信号的频率对它们的影响。

2

、熟悉交流电压表、电流表的使用。

### 二、实验原理

1

、单相交流电路的基本概念

随

时间按正弦规律变化的电压、电流称为正弦电压和正弦电流。表达式为：

(

1) 正弦交流电的周期、频率和角频率

周

期 T：正弦量完整变化一周所需要的时间。

频

率 f：正弦量在单位时间内变化的周数。

周

期与频率的关系：

示

波器只能显示电压波形而不能显示电流波形，那么，要测量纯电感电路、纯电容电路中电流与电压的相位差，必须要解决电流波形的显示。如何把电流的波形原本的显示出来是解决这一问题的关键。在此，只能对电路作一下技术处理来弥补这一限制：在电感 L 中串入一个小电阻。我们知道： $I=U/R$ ，且通过电阻的电流与加在电阻二端的电压其相位是同相，这样，我们可以把取自小电阻二端的电压  $U_R$  波形可以看成是流过小电阻的电流波形，而小电阻与电感是串联

流过电感的电流与流过小电阻的电流是同一电流。由此，双踪示波器可以直接显示流过电感电流的波形了。

2)RL 串联电路

阻上电压  $u_R$  与电流  $i$  同相位

感上电压  $u_L$  超前电流  $i$   $90^\circ$

压  $u$  与电流  $i$  的相位差为  $\varphi$

3)RC 串联电路中电压与电流的关系

选定的参考方向，电阻上压降与电流同相位，电容上电压滞后于电流  $90^\circ$ ，总电压与电流之间的相位差为。

相量图中可知  $U$  、 、 构成直角三角形。

此有

三、实验设备

| 序号 | 名称    | 型号、规格 | 数量 |
|----|-------|-------|----|
| 1  | 双踪示波器 |       | 1  |
| 2  | 万用表   |       | 1  |
| 3  | 信号发生器 |       | 1  |
| 4  | 交流电压表 |       |    |

四、实验内容及步骤

、测试 RL 串联电路电压、电流关系。

按

下图连接电路，信号发生器，在

(

1)  $L=2\text{mH}$   $R=10\Omega$   $f=10\text{KHz}$   $U_{\text{sp-p}}=1.5\text{V}$ ;

(

2)  $L=2\text{mH}$   $R=10\Omega$   $f=10\text{KHz}$ ,  $U_{\text{sp-p}}=3\text{V}$

(

3)  $L=2\text{mH}$   $R=10\Omega$   $f=20\text{KHz}$ ,  $U_{\text{sp-p}}=3\text{V}$

时

用交流电压表分别测量电路中的、并将结果记录表一中。。

2

、双踪示波器输入端 YB、YA 分别接  $u$ 、和信号，观察  $u$  与  $i$  之间的相位差  $\varphi$ ，并画出波形图。

3

、电路中的  $L$  改为电容  $C$ ，测试  $RC$  串联电路电压、电流关系，

(

1)  $C=0.1\mu\text{F}$   $R=10\Omega$   $f=10\text{KHz}$ ,  $U_{\text{sp-p}}=1.5\text{V}$ ;

(

2)  $C=0.1\mu\text{F}$   $R=10\Omega$   $f=10\text{KHz}$ ,  $U_{\text{sp-p}}=3\text{V}$

(

3)  $C=0.1\mu\text{F}$   $R=10\Omega$   $f=20\text{KHz}$ ,  $U_{\text{sp-p}}=3\text{V}$

重

做上述内容，并记录。

|      | 频率               | $U_{\text{sp-p}}$ | $U_{\text{Rp-p}}$ | $U_{\text{LP-p}}$ | $U_{\text{CP-p}}$ |
|------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| L 实验 | $f=10\text{KHz}$ | 1.5V              |                   |                   | \                 |
|      |                  | 3V                |                   |                   | \                 |
|      | $f=10\text{KHz}$ | 3V                |                   |                   | \                 |
| C 实验 | $f=10\text{KHz}$ | 1.5V              |                   | \                 |                   |
|      |                  | 3V                |                   | \                 |                   |
|      | $f=10\text{KHz}$ | 3V                |                   | \                 |                   |

五、实验报告

观

察相位差，并画出波形图；

分

析实测数据与理论数据差异原因

## 六、思考题

1

、什么是单相交流电路？

2

、在单相交流电路中， $U$ 、 $I$ 的关系是怎么样？

## 实验九 RLC 串联谐振电路

### 一、实验目的

1. 研究谐振电路的特点，掌握电路品质因数  $Q$  的物理意义。

2. 学习用示波器测试 RLC 串联电路的幅频特性曲线，观测串联谐振现象。

### 二、实验原理

1. RLC 串联谐振电路

在图 9-1 所示的 R、L、C 串联电路中，当正弦交流信号源的频率  $f$  改变而幅值  $U_i$  维持不变时，电路中的感抗、容抗随之而变，电路中的电流也随  $f$  而变：

当  $\omega L = 1/\omega C$  时，电路产生谐振，谐振频率

$$f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$



图 9-1 RLC 串联电路

取电阻  $R$  上的电压  $U_o$  作为响应，当输入电压  $U_i$  维持不变时，在不同信号频率的激励下，测出  $U_o$  之值，然后以  $f$  为横坐标，以电流  $I$  ( $I = U_o/R$ ) 为纵坐标，绘出光滑的曲线，此即为电流谐振曲线，如图 9-2 所示。



图 9-2 谐振曲线

2

. 串联谐振时的特征

(

1)阻抗  $Z_0=R+r$  为最小, 且是纯电阻性的;

(

2)感抗与容抗相等, 即  $X_L=X_C$ ;

(

3)谐振电流与输入电压同相位, 数值上  $I_0=$  为最大;

(

4)当  $X_L=X_C>R$  时,  $U_{L0}=U_{C0}=QU_i$ , 当  $Q$  值很大时,  $U_L=U_C>>U_i$ ——称之为过电压现象。

3

. 谐振电路的品质因数

R

LC 串联谐振电路品质因数  $Q$  的定义为:

Q

$=U_{L0}/U_i=U_{C0}/U_i$  或  $Q=$

Q

值大小取决于电路参数  $X_L$  或  $X_C$  与  $(R+r)$  的比值。故可通过测量谐振时  $C$  和  $L$  上的电压  $U_{C0}$  和  $U_{L0}$  及输入电压  $U_i$ , 从而求得  $Q$  值的大小。

从

另一角度讲,  $Q$  值的大小反映了中心频率  $f_0$  与通频带宽度  $(f_h-f_L)$  的比值的大小, 即

Q

$=f_0/(f_h-f_L)$

式

中  $f_0$  为谐振频率,  $f_h$  和  $f_L$  是失谐时, 幅度下降到最大值的  $=0.707$  倍时的上、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。

### 三、实验设备

| 序号 | 名称        | 型号与规格                                   | 数量 | 备注        |
|----|-----------|-----------------------------------------|----|-----------|
| 1  | 函数信号发生器   | 15Hz-150kHz                             | 1  | Rtt05 或自备 |
| 2  | 交流毫伏表     | 1mV-300V                                | 1  | 自备        |
| 3  | 双踪示波器     |                                         | 1  |           |
| 4  | 谐振电路实验电路板 | R=330 Ω , 1k Ω<br>C=0. 01μF<br>L=约 25mH |    | RTDG04    |

### 四、实验内容与步骤

按图 9-3 组成测量电路，取  $R=330\Omega$ ，用交流毫伏表监测信号源输出电压，使  $U_i=1V$ ，(注意：交流毫伏表的电源用两线插头，不要地线，测  $U_C$  和  $U_L$  时毫伏表的正极接电融合电压的公共端)

图 9-3 实验电路

1.寻找谐振点观察谐振现象

谐振时应满足三个条件：

维持  $U_i=1V$  不变；

电路中的电流  $I$ (或  $U_R$ )为最大；

$U_L$  应略大于  $U_C$ (线圈中包含有导线电阻  $r$ )

估算出谐振频率  $f_0'$ ，并将毫伏表接在  $R(330\Omega)$ 两端，令信号源的频率在  $f_0'$ 左右由小逐渐变大（注意要维持信号源的输出幅度不变），当  $U_R$  的读数为最大时，



读得的频率值即为实际的谐振频率 $f_0$ ，同时测出谐振时的  $U_{R0}$ 、 $U_{C0}$  与  $U_{L0}$  之值（注意及时更换毫伏表的量限），计算谐振电流  $I_0$  和电路的品质因数  $Q$ ，数据记入表 9-1 中。

表 9-1 谐振点测试

| $R(\Omega)$ | $F_0(\text{Hz})$ | $f_0(\text{Hz})$ | $U_{R0}(\text{V})$ | $U_{L0}(\text{V})$ | $U_{C0}(\text{V})$ | $I_0(\text{mA})$ | $Q$ |
|-------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----|
| 330         |                  |                  |                    |                    |                    |                  |     |
| 1k          |                  |                  |                    |                    |                    |                  |     |

2

. 测绘谐振曲线

在

谐振点 $f_0$ 两侧，按频率递增或递减依次各取 8 个测量点( $f_0$ 附近多取几点)，逐点测出  $U_R$  值，计算出响应的电流值，数据记入表 9-2 中。

表

9-2 谐振曲线的测量

| 测量值                          | $f(\text{kHz})$ |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_R (\text{V})$             |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I=U_R/R (\text{mA})$        |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_i=1\text{V}, R=330\Omega$ |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |

3

. 改变电阻值，取  $R=1\text{k}\Omega$ ，重复上述步测量过程，数据记入表 9-3 中。

表 9-3 谐振曲线的测量

| 测量值                           | $f(\text{kHz})$ |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_R (\text{V})$              |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I=U_R/R (\text{mA})$         |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_i=1\text{V}, R=1000\Omega$ |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |

五、实验注意事项

1

. 测试频率点的选择应在靠近 $f_0$ 附近多取几点，在改变频率测试前，应调整信号输出幅度（用毫伏表监视输出幅度），使其维持 1V 输出不变。

2

. 在测量  $U_C$  和  $U_L$  数值前，应将毫伏表的量限改大，而且在测量  $U_L$  与  $U_C$  时毫伏表的“+”端接 C 与 L 的公共点，其接地端分别触及 L 和 C 的非公共点。

3

. 实验过程中交流毫伏表电源线采用两线插头。

## 六、实验报告

1

. 根据测量数据，再同一坐标中绘出不同  $Q$  值时的两条电流谐振曲线  $I_o = f(f)$ 。

2

. 计算出通频带与  $Q$  值，说明不同的  $R$  值对电路通频带与品质因数的影响。

3

. 对测  $Q$  值的两种不同的方法进行比较，分析误差原因。

4

. 谐振时，比较输出电压  $U_o$  与输入电压  $U_i$  是否相等？试分析原因。

5

. 通过本次实验，总结、归纳串联谐振电路的特性。

## 七、思考题

1

. 电路发生串联谐振时，为什么输入电压不能太大？如果信号源给出 1V 的电压，电路谐振时，用交流毫伏表测  $U_L$  和  $U_C$ ，应该选择用多大的量限？

2

. 电路谐振时，对应的  $U_L$  与  $U_C$  是否相等？如有差异，原因何在？

3

. 影响  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联电路的品质因数的参数有哪些？

## 实验十 日光灯电路及功率因数的提高

### 一、实验目的

1. 掌握提高功率因数的意义和方法。

2. 熟悉日光灯电路，了解日光灯的工作原理。

### 二、实验原理

1. 实验原理说明

由于工业和民用电器的感性负载其功率因数较低，而当负载的端电压一定时，输送一定功率情况下，功率因数越低，输电线路的电流就越大，引起线路上的压降也越大，因此导致电能损耗增加，输电效率降低，电源利用率降低。

提高感性负载电路的功率因数，可以充分发挥电源设备的利用率、提高输电效率。

日光灯电路是一典型的 R-L 串联电路。当并上电容后，电路所选参考方向和矢量图如图 10-1 (a)、(b) 所示。

(b)  
图 10-1 日光灯电路原理图

从矢量图可以看出，感性负载并联电容后能提高功率因数。设并电容前：

并电容的后：

将功率因数提高到所需并联的电容 C 值为：

率因数是整个电路的功率因数，而 R-L 串联支路中的电流，功率因数以及其有功功率均不变。取并联电容与否，不影响原电路的工作状态。

2

· 日光灯电路简介

(

1) 日光灯构造

日

光灯由灯管，镇流器和启辉器三部分组成。

灯

管 A 用玻璃制成，内壁涂有一层荧光粉，管内充有少量的水银蒸气和惰性气体，灯管两端装有由钨丝绕成的灯丝，灯丝上涂有受热后易发射电子的氧化物。

镇

流器 L 是一个铁心线圈，其作用是在日光灯起辉时，由它产生很大的感应电动势使灯管点燃，在灯管正常工作时，限制电流，使灯管稳定工作。

启

辉器 S 起一个自动开关的作用。在玻璃泡内充有氖气，并装有两个电极，其中一个由双金属片制成，高温时两极接通，低温时断开。

(

2) 日光灯的起辉过程

刚

接通电源时，电压不足以使灯管点燃，此时，启辉器两极间承受着电源电压，发生辉光放电，使其中双金属片受热，两极接触，接通灯丝电路，电流流过镇流器，日光灯的灯丝与启辉器辉光管内的电极构成的回路，其值约为灯管正常工作电流的两倍。灯丝因通过电流很快发热，从而使氧化物发射电子。启辉器的两个极接触后，辉光放电消失，双金属片将变冷而恢复原状，使电路突然断开。在电路断开瞬间，回路中的电流因突然切断，立即使镇流器产生比电源电压高得多的感应电势，它与电源电压一起加在灯管之间，使灯管内惰性气体分子放电，同时辐射出不可见的紫外线，而紫外线激发灯管壁的荧光物质发出可见光，日光灯便进入正常工作状态。

灯

管点燃后，电路中电流将在镇流器上产生较大电压降，灯管两端电压锐减，灯管压降只有电源电压的一部分，由于启辉器是与灯管并联，较低的电压不足以使启辉器再次产生辉光放电。因此，启辉器只在日光灯起辉时有作用，灯管工作后可视为电阻负载，它与镇流器串联后组成的日光灯通路，可以看成是一个电阻和电感的串联电路。由于镇流器具有较大的电感，因此，日光灯电路的功率因数一般只有 0.5~0.6 左右。一般可以用并联电容的方法来提高日光灯供电线路的功率因数。

### 三、实验仪器及器件

| 序号 | 名称    | 型号、规格 | 数量 |
|----|-------|-------|----|
| 1  | 单相调压器 |       | 1  |
| 2  | 交流电压表 |       | 1  |
| 3  | 交流电流表 |       | 1  |
| 4  | 功率表   |       | 1  |
| 5  | 荧光灯元件 |       | 1  |

### 四、实验内容及步骤

1. 按实验电路图 10-2 联接线路。
2. 将开关  $K_1$  闭合，电容支路开关  $K_2$  断开，通电并观察日光灯的起辉过程，待灯管点亮后，将开关  $K_1$  断开，测出实验数据表中  $C=0$  时的各项测量数据，记入表 10-1 内。
3. 合上开关  $K_2$ ，改变电容  $C$  的数值，将测量的数据均记入表 10-1 内。（注：每次改变电容之前，应先将开关  $K_1$  闭合，待改变电容之后，再将开关  $K_1$  断开）

| 顺序 | 电容量  | 测量值 |       |       |       |   |          |       |   | 计算          |
|----|------|-----|-------|-------|-------|---|----------|-------|---|-------------|
|    |      | U   | $U_R$ | $U_L$ | $U_C$ | I | $I_{RL}$ | $I_C$ | P | $\cos \phi$ |
| 1  | $C=$ |     |       |       |       |   |          |       |   |             |
| 2  | $C=$ |     |       |       |       |   |          |       |   |             |
| 3  | $C=$ |     |       |       |       |   |          |       |   |             |
| 4  | $C=$ |     |       |       |       |   |          |       |   |             |
| 5  | $C=$ |     |       |       |       |   |          |       |   |             |

### 五、实验注意事项

1

．日光灯起动电流较大，起动时用单刀开关将功率表的电流线圈和电流表短路，防止仪表损坏。

2

．电容器用后要进行放电处理。

3

．注意人身和设备安全。

## 六、实验报告要求

1

．完成上述数据测试，列表记录。

2

．说明功率因数提高的意义。

## 七、思考题？

提

高功率因数为何不考虑串联电容？

## 实验十一 三相交流电路

### 一. 实验目的

、学习三相负载星形、三角形连接的正确连接方法。

、观察分析三相四线制中，当负载不对称时中线的作用。

### 二、实验原理

． 对称三相电路中中线、相电压和线、相电流的关系，三相电路中，负载的连接分为星形连接和三角形连接两种。一般认为电源提供的是对称三相电压。

1) 星形连接的负载如图 11-1 所示：

11-1 星形连接的三相电路

、B、C 表示电源端，N 为电源的中性点（简称中点），N' 为负载的中性点。无论是三线制或四线制，流过每一相负载的相电流恒等于与之相连的端线中的线电流：

下标 I 表示线的变量，下标 p 表示相的变量）

四线制情况下，中线电流等于三个线电流的相量之和，即

线之间的电位差（即线电压）和每一相负载的相电压之间有下列关系：

三相电路对称时，线、相电压和线、相电流都对称，中线电流等于零，而线、相电压满足：

2) 三角形连接的负载如图 11-2 所示：

图 11-2 三角形连接的三相电路

特点是相电压等于线电压：

电流和相电流之间的关系如下：

三相电路对称时，线、相电压和线、相电流都对称，此时线、相电流满足：

. 不对称三相电路

三相三线制星形连接的电路中，若负载不对称，电源中点和负载中点的电位不再相等，称为中点位移，此时负载端各相电压将不对称，电流和线电压也不对称。

三相四线制星形连接的电路中，如果中线的阻抗足够小，那么负载端各相电压基本对称，线电压也基本对称，从而可看出中线在负载不对称时起到了很重要的作用。但由于负载不对称，因此电流是不对称的三相电流，这时的中线电流将不再为零。

三角形连接的电路中，如果负载不对称，负载的线、相电压仍然对称，但线、相电流不再对称。



果三相电路其中一相或两相开路也属于不对称情况。

3

. 三相负载接线原则

连

接后加在每相负载上的电压应等于其额定值。

三、实验仪表、设备

| 序号 | 名称            | 型号、规格 | 数量 |
|----|---------------|-------|----|
| 1  | 三相交流电路实验板     |       | 1  |
| 2  | 交流电压表(或数字万用表) |       | 1  |
| 3  | 交流电流表         |       | 1  |

四、实验内容及步骤

1

. 本实验采用线电压为 220V 的三相交流电源。测量该电源的线电压（UAB、UBC、UCA）和相电压（UA0、UB0、UC0），并记录之。

2

. 星形对称有中线：按图 11-3 接线，每相开 3 盏灯。测各线电压、各相电压、各相电流、两中点间电压 U00’，记录于表 11-1 中。

图

11-3 Y 接电路

3

．星形不对称有中线：各相灯数分别为 1、2、3 盏。重复步骤 2，观察灯泡亮度有无变化。

4

．星形对称无中线：除去中线，每相开 3 盏灯，测各线电压、各相电压（每相负载上的电压）、各相电流、 $U_{00'}$ ，记于表 11-1 中。

5

．星形不对称无中线：各相灯数分别为 1、2、3 盏，重复步骤 4，观察灯泡亮度有无变化，有何规律。

6

．练习完成三相电阻负载三角形连接电路。并对负载对称与不对称情况下相电流、线电流的关系进行分析。自制表格可参考表 11-1。

表 11-1 星形接法数据表

| 测量项目<br>工作状态 |     | 线电压/V |     |     | 相电压/V |      |      | 电流/A |    |    |    | $U_{00'}$ /v |
|--------------|-----|-------|-----|-----|-------|------|------|------|----|----|----|--------------|
|              |     | UAB   | UBC | UCA | UAO'  | UBO' | UCO' | IA   | IB | IC | IO |              |
| 对称<br>负载     | 有中线 |       |     |     |       |      |      |      |    |    |    |              |
|              | 无中线 |       |     |     |       |      |      |      |    |    |    |              |
| 不对称<br>负载    | 有中线 |       |     |     |       |      |      |      |    |    |    |              |
|              | 无中线 |       |     |     |       |      |      |      |    |    |    |              |

注：从表中可看出：对于负载对称星形连接有 无中线对电路无影响，此时中线可以去掉。无中线时，对于负载对称连接与有中线情况相同。所以负载对称连接可用三相三线制连接对于负载不对称星形连接，有中线时，三只灯泡亮度一样，此时线电压相电压均与负载对称星形连接相同；对于负载不对称星形连接，无中线时，负载为单盏灯的一相灯最亮，而负载为三盏灯的一相灯最暗。此时中线两端电压极大，在这种情况下工作是非正常工作。所以对负载不对称连接，必须是三相四线制连接。

### 五、实验注意事项

1

、本实验采用三相交流市电，线电压为 380V，实验时要注意人身安全，不可触及导电部件，防止意外事故发生。

2

、每次接线完毕，同组同学应自查一遍，然后由指导教师检查后，方可接通电源，必须严格遵守先接线，后通电；先断电，后拆线的实验操作原则。

## 六、实验总结报告

用

实验测得的数据验证对称三相电路中的关系，并根据表 11-1 中的数据说明中线的作用。

2

、实验数据按比例画出不对称负载星形连接三相三线制电压相量图和三相四制电流相量图。

## 七、思考题

1

、试分析三相星形连接不对称负载在无中线情况下，当某相负载开路或短路时会出现什么情况？如果接上中线，情况又如何？

2

、作三相交流电路实验时，由于电压较高，连线及操作时应注意哪些事宜？

## 实验十二 RC 一阶电路的响应测试

### 一、实验目的

．测定 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及完全响应。

．学习电路时间常数的测量方法。

．掌握有关微分电路和积分电路的概念。

．进一步学会用示波器观测波形。

### 二、实验原理

．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。

没有外加激励时，仅由  $t=0$  零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），这种响应时随时间按指数规律衰减的。

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。

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。

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成为“过渡过程”。

．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，我们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  $\tau$ ，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  $\tau$  的测定方法：

用

示波器测量零输入响应的波形如图 12-1(a) 所示。

根

据一阶微分方程的求解得知  $u_c = U_m e^{-t/RC} = U_m e^{-t/\tau}$ 。当  $t = \tau$  时， $U_c(\tau) = 0.368U_m$ 。此时所对应的时间就等于  $\tau$ 。亦可用零状态响应波形增加到  $0.632U_m$  所对应的时间测得，如图 12-1(c) 所示。

(a) 零输入响应                      (b) RC 一阶电路                      (c) 零状态响应  
图 12-1

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，当满足  $\tau = RC \ll T$  时（ $T$  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 12-2(a) 所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

(a)微分电路 (b) 积分电路  
图 12-2

若将图 12-2(a)中的 R 与 C 位置调换一下，如图 12-2(b)所示，由 C 两端的电压作为响应输出，且当电路的参数满足  $\tau=RC\gg$ ，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。利用积分电路可以将方波转变成三角波。

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。

三、实验设备

| 序号 | 名称      | 型号与规格 | 数量 | 备注     |
|----|---------|-------|----|--------|
| 1  | 函数信号发生器 |       | 1  |        |
| 2  | 双踪示波器   |       | 1  | 自备     |
| 3  | 动态电路实验板 |       | 1  | DGJ-03 |

四、实验内容及步骤

实验线路板的器件组件，如图 12-3 所示，请认清 R、C 元件的布局及其标称值，各开关的通断位置等。

1. 从电路板上选  $R=10K\Omega$ ， $C=3300pF$ （6800P）组成如图 12-1(b)所示的 RC 充放电电路。 $u_i$  为脉冲信号发生器输出的  $U_m=3V$ 、 $f=1KHz$  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 YA 和 YB。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  $\tau$ ，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，定性地观察对响应的影响，记录观察到的现象。

. 令  $R=10K\Omega$ ,  $C=0.1\mu F$ , 观察并描绘响应的波形, 继续增大  $C$  之值, 定性地观察对响应的影响。

3

. 令  $C=0.01\mu F$ ,  $R=100\Omega$ , 组成如图 12-2(a)所示的微分电路。在同样的方波激励信号 ( $U_m=3V$ ,  $f=1KHz$ ) 作用下, 观测并描绘激励与响应的波形。

增

减  $R$  之值, 定性地观察对响应的影响, 并作记录。当  $R$  增至  $1M\Omega$  时, 输入输出波形有何本质上的区别?

图 12-3 动态电路、选频

## 五、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、电路实验板的操作与调节。

2

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

3

. 示波器的辉度不应过亮, 尤其是光点长期停留在荧光屏上不动时, 应将辉度调暗, 以延长示波管的使用寿命。

## 六、实验报告

1

. 根据实验观测结果, 在方格纸上绘出  $RC$  一阶电路充放电时  $U_C$  的变化曲线, 由曲线测得  $t$  值, 并与参数值的计算结果作比较, 分析误差原因。

2

. 根据实验观测结果，归纳、总结积分电路和微分电路的形成条件，阐明波形变换的特征。

## 七、思考题

1

. 什么样的电信号可作为 RC 一阶电路零输入响应、零状态响应和完全响应的激励源？

2

. 何谓积分电路和微分电路，它们必须具备什么条件？它们在方波序列脉冲的激励下，其输出信号波形的变化规律如何？这两种电路有何功用？



## 实验十三 焊接实验

本

实验为综合性创新实验，共 4 学时，分 2 次课，每次 2 学时。

电

子工艺实验一（2 学时）：实验设备认识及焊接技巧。

电

子工艺实验二（2 学时）：常用元器件的 PCB 焊接。

### 焊接实验（一）实验设备认识及焊接技巧

#### 一、实验目的

本

实验要求学生熟练电烙铁的使用方法，通过自由造型训练提高学生的动手能力。

#### 二、实验仪器

1

． 实习工具 1 套

2

． 实习万用表

3

． 焊料，焊剂

4

． 单股导线一份

#### 三、实验内容

1

． 工具，仪表的认识。

2

． 电烙铁检测。

3

． 烙铁温度。

4

． 试焊，观察焊锡熔化——凝固特性。（注意：防止烫伤）

5

．自己设计，自己制作导线焊接（可根据设计需要添加其它材料）工艺品。

四、实验方法与步骤

一）焊接准备工作

．工具，仪表的认识。

用装配工具见图 1 和图 2

丝刀镊子平口钳剪线钳内热式电烙铁

1 装焊工具

2 恒温长寿命烙铁

．电烙铁检测

1) 外观检查：A、电源插头 B、电源线 C、烙铁

2) 用万用表检查，见图 3。（25W 电热丝的电阻值约为 2.4KΩ 左右）

3 万用表检查烙铁

．烙铁温度、焊剂焊料的认识

1) 电烙铁拿法：电烙铁有三种握法：1 反握法，2 正握法，3 握笔法

2) 观察电烙铁温度。

铁通电后蘸上松香。

烙

(

### 3) 焊锡与焊剂认识

A

· 用烙铁熔化一小块焊锡，观察液态焊锡形态。

B

· 在液态焊锡上熔化少量松香，观察变化。

4

· 试焊，观察焊锡熔化——凝固特性。（注意：防止烫伤）

(

## 二) 焊接过程

焊

接操作的基本步骤

(

### 1) 第一步：施焊

左

手拿焊丝，右手握烙铁，进入备焊状态。要求烙铁头保持干净，无焊渣等氧化物，并在表面镀有一层焊锡。

(

### 2) 第二步：加热焊件

烙

铁头老在两焊件的连接处，加热整个焊件全体，时间大约为 1~2s。

(

### 3) 第三步：送入焊锡

焊

件的焊接面加热到一定温度时，焊锡丝从贴对面的接触焊件。注意：不要把焊锡丝送到烙铁头上。

(

### 4) 第四步：移开焊丝

当  
焊丝融化一定量后，立即向左上 45°方向移开焊丝。

(  
5) 第五步：移开烙铁

焊  
锡浸润焊盘和焊件的施焊部位以后，向右上 45°方向移开烙铁。结束焊接。从第  
三步开始到第五步结束，时间大约也是 1~2s。

五、实验要求  
自  
己设计、制作导线焊接（可根据设计需要添加其它材料）工艺品

焊接实验（二）常用元器件在 PCB 焊接

一、实验目的

- 1  
.常用元器件的焊接要求
- 2  
.掌握印制板装配方法，为产品安装打基础。
- 3  
.进一步熟悉手工烙铁焊接技法。

二、实验仪器

- 1  
.元器件若干
- 2  
.练习用印制板

三、实验方法与步骤  
(

1)PCB 安装与焊接  
印

制电路板的装焊在整个电子产品制造中处于核心的地位，可以说一个整机产品的  
“精华”部分都装在印制板上，其质量对整机产品的影响是不言而喻的。尽

管在现代生产中印制板的装焊已经日臻完善，实现了自动化，但在产品研制，维修领域主要还是手工操作；况且手工操作经验也是自动化获得成功的基础。

a

. 印制板和元器件检查

装

配前应对印制板和元器件进行检查，内容主要包括

印

制板：图形，孔位及孔径是否符合图纸，有无断线，缺孔等，表面处理是否合格，有无污染或变质。

元

器件：品种，规格及外封装是否与图纸吻合，元器件引线有无氧化，锈蚀。

对

于要求较高的产品，还应注意操作时的条件，如手汗影响锡焊性能，腐蚀印制板，使用的工具如改锥，钳子碰上印制板会划伤铜箔，橡胶板中的硫化物会使金属变质等。

(

2)元器件引线成型

如

图一所示，是印制板上装配元器件的部分实例，其中大部分需在装插前弯曲成型。弯曲成型的要求取决于元器件本身的封装外形和印制板上的安装位置，有时也因整个印制板安装空间限定元件安装位置。

元

器件引线成型要注意以下几点：

a

.所有元器件引线均不得从根部弯曲。因为制造工艺上的原因，根部容易折断。一般应留 1. 5mm 以上（图二）。

b

.弯曲一般不要成死角，圆弧半径应大于引线直径的 1

2

倍。

c

要尽量将有字符的元器件面置于容易观察的位置，如图三所示。

(

### 3) 元器件插装

a

贴板与悬空插装如图四（a）所示，贴板插装稳定性好，插装简单；但不利于散热，且对某些安装位置不适应。悬空插装，适应范围广，有利散热，但插装较复杂，需控制一定高度以保持美观一致。如图四（b）所示，悬空高度一般取2~6mm。

插

装时具体要求应首先保证图纸中安装工艺要求，其次按实际安装位置确定。一般无特殊要求时，只要位置允许，采用贴板安装较为常用。

b

安装时应注意元器件字符标记方向一致，容易读出。

图

五所示安装方向是符合阅读习惯的方向。

c

安装时不要用手直接碰元器件引线和印制板上铜箔。

d

插装后为了固定可对引线进行折弯处理（图六）。

(

### 4) 印制电路板的焊接

焊

接印制板，除遵循锡焊要领外，以下几点须特别注意：

a

电烙铁，一般应选内热式20~35W或调温式，烙铁的温度不超过300℃的为宜。

烙铁头形状应分局印制板焊盘大小采用凿形或锥形，目前印制板发展趋势是小型密集化，因此一般常用小型圆锥烙铁头。

b

.加热方法，加热时应尽量使烙铁头同时接触印制板上铜箔和元器件引线（图七）。对较大的焊盘（直径大于 5mm）焊接时可移动烙铁，即烙铁绕焊盘转动，以免长时间停留一点导致局部过热，如图七所示。

c

.金属化孔的焊接，两层以上电路板的孔都要进行金属化处理。焊接时不仅要让焊料润湿焊盘，而且孔内也要润湿填充。因此金属化孔加热时间应长于单面板。

d

.焊接时不要用烙铁头摩擦焊盘的方法增强焊料润湿性能，而要靠表面清理和预焊。

e

.耐热性差的元器件应使用工具辅助散热（图八）。

(

## 5) 焊后处理

a

.剪去多余引线，注意不要对焊点施加剪切力以外的其他力。

b

.检查印制板上所有元器件引线焊点，修补缺陷。

c

.根据工艺要求选择清洗液清洗印制板。一般情况下使用松香焊剂后印制板不用清洗。

(

## 6) 常用连接导线

电

子装配常用导线有三类，如图十所示。

a

.单股导线，绝缘层内只有一根导线，俗称“硬线”容易成形固定，常用于固定

位置连接。漆包线也属此范围，只不过它的绝缘层不是塑胶，而是绝缘漆。

b

.多股导线，绝缘层内有 4~67 根或更多的导线，俗称“软线”，使用最为广泛。

c

.屏蔽线，在弱信号的传输中应用很广，同样结构的还有高频传输线，一般叫同轴电缆的导线。

(

## 7)导线焊前处理

a

.剥绝缘层

导

线焊接前要除去末端绝缘层。拨出绝缘层可用普通工具或专用工具。大规模生产中有专用机械。

一

般可用剥线钳或简易剥线器（图十一）。剥线器可用 0.5~1mm 厚度的黄铜片经弯曲固定在电烙铁上制成。使用它最大的好处是不会伤导线。

用

剥线钳或普通偏口钳剥线时要注意对单股线不应伤及导线，多股线及屏蔽线不断线，否则将影响接头质量。

对

多股线剥除绝缘层时注意将线芯拧成螺旋状，一般采用边拽边拧的方式，见图十二。

b

.预焊

导

线焊接，预焊是关键步骤。尤其多股导线如果没预焊的处理，焊接质量很难保证。

导



线的预焊又称为挂锡，方法同元器件引线预焊一样，但注意导线挂锡时要边上锡边旋转，旋转方向与拧合方向一致。

多

股导线挂锡要注意“烛心效应”，即焊锡浸入绝缘层内，造成软线变硬，容易导致接头故障（图十三）。

## 五、实验要求

将

教师分发的电子元件、导线等按标准要求焊接至 PCB 板。