

电工技术实验指导书

(上)

常州工业技术学院电气系

一九八九年六月

《工 电 技 术》实 验 指 导 书
(上 册)

常工院电工教研组编
1 9 8 9 年 6 月

目 录

实验一	迭加原理及克希荷夫定律	1
实验二	戴维南定理	6
实验三	交流电路参数的测定	12
实验四	交流电路功率	20
实验五	三相交流电路	26
实验六	单相变压器	35
实验七	异步电动机的正反转控制线路及安装	41
附 录		45

实验一 迭加原理及克希荷夫定律

一、实验目的

1. 加深对迭加原理和克希荷夫定律的理解；
2. 学习电路的连接及实验的基本操作；
3. 正确使用直流稳压电源、直流电流表和电压表，学习用一个电流表（或电压表）测量多个支路的电流（或电压）的方法。
4. 学习误差的基本分析方法；

二、原理简述

1. 迭加原理

在一个线性电路中，如果有多个电源作用，则任何一条支路的电流（或电压），都可以看作是由电路中各个电源分别作用时，在该支路中所产生的电流（或电压）的代数和。

在考虑某一电源单独作用时，应将其它理想电压源用短路线代替，其它理想电流源应开路。迭加原理只适用于计算线性电路中的电流和电压，不适用于计算功率。对非线性电路，迭加原理不成立。计算过程中所有电阻的连接电路都不能更动。求代数和时，要注意各个电压和电流的正负。

以图 1—1 电路为例，图（a）中 I_1 、 I_2 、 I_3 为 E_1 、 E_2 两电源共同作用时在各支路中产生的电流；图（b）中 I_1' 、 I_2' 、 I_3' 为 E_1 电源单独作用时产生的支路电流；图（c）中 I_1'' 、 I_2'' 、 I_3'' 为 E_2 电源单独作用时产生的支路电流。根据迭加原理，显然有：

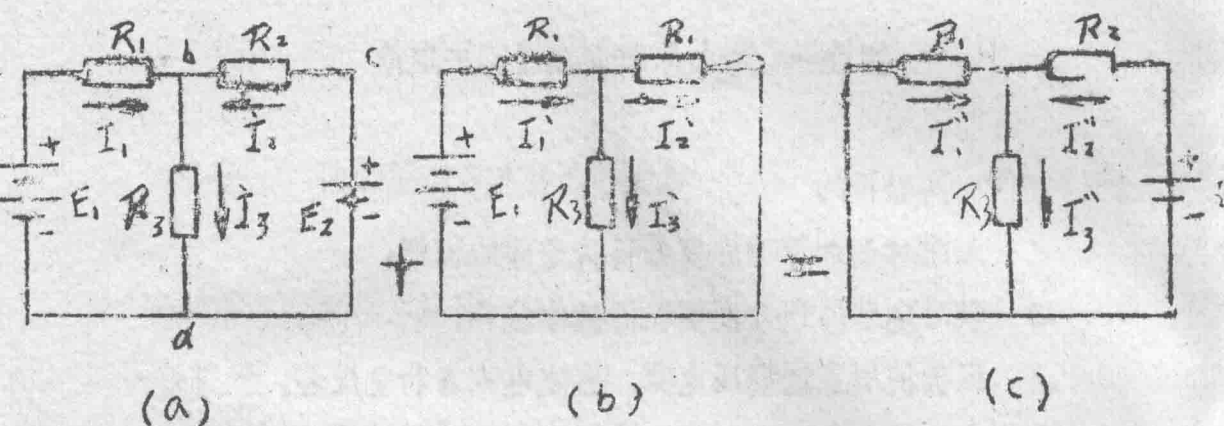


图 1—1

$$I_1 = I_1' + I_1''$$

$$I_2 = I_2' + I_2''$$

$$I_3 = I_3' + I_3''$$

由于图 1—1 (b) 和 (c) 电路中选定的电流正方向与图 (a) 原电路中的电流正方向保持一致。因而使图 (b) 中的 I_2' 和图 (c) 中的 I_1'' 的实际电流值为负值。测量时，应注意实际电流方向；记录时，应同时记下电流值的大小及符号。

2 克希荷夫定律

(1) 克希荷夫电流定律：对于电路中的任意节点来说，流入节点的电流的代数和恒等于零，即： $\sum I_i = 0$ 。

对于图 1—1 (a) 电路中的节点 b，则为：

$$I_1 + I_2 + (-I_3) = 0$$

(2) 克希荷夫电压定律：对于电路中的任意闭合回路，沿回路内各段的电压降的代数和恒等于零，可表为 $\sum V_i = 0$ 。

对于图 1—1 (a) 电路中，左边网孔有：

$$= 2 =$$

$$V_{ab} + V_{bd} + (-V_{ad}) = 0$$

对于右边网孔有：

$$V_{cb} + V_{bd} + (-V_{cd}) = 0$$

三、实验仪器和设备

1. 实验电路板(自制) [见图1-2(a)] 一块
2. 直流稳压电源(0~30V可调) 一台
3. 直流电流表(磁电式0—0.5—1A)0.5级 一块
4. 电流表插头(用话筒插头) 一只
- 电流表插孔板(用话筒插孔三只) 一块
5. 直流电压表(磁电式0—10V—20V)0.5级一块
(附量棒一对)
6. 导线 若干根

四、实验内容和步骤

1. 连接电路：按图1-2(a)所示电路连接线路。将 K_1 、 K_2 开关置于短路侧。 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 为三只电流表插孔，可以用一只带有插头的电流表(见图1-2(b))分别测得各支路电流。

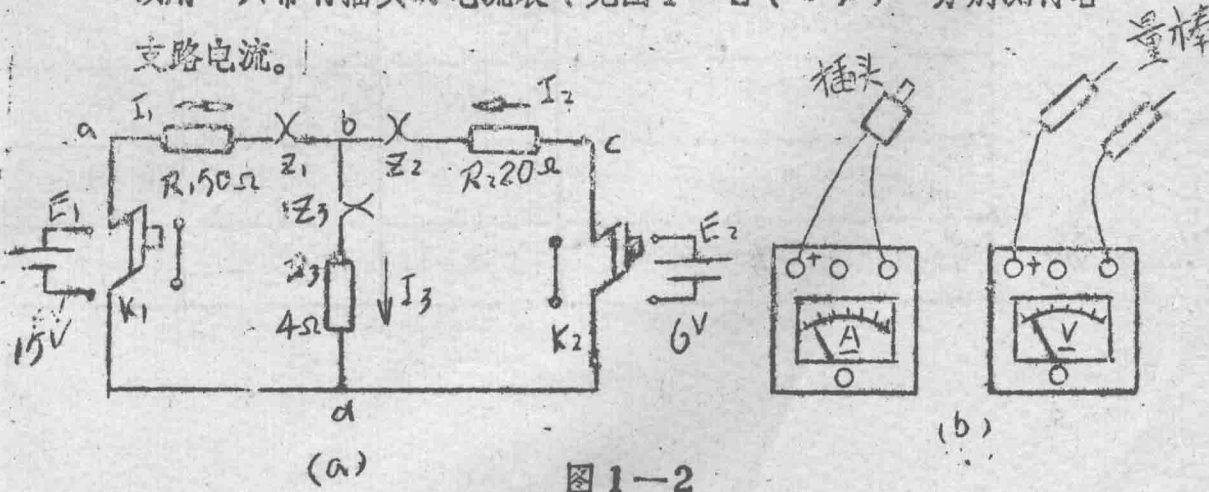


图1-2

2. 调整稳压电源，用外接电压表（见图1—2（b））测定电源电压，使输出电压 $E_1 = 15\text{V}$ ， $E_2 = 6\text{V}$ 。

3. 测量 E_1 和 E_2 共同作用时的各支路电流值。首先将开关 K_1 、 K_2 同时置于电源侧，使两电源同时接入电路，然后将电流表分别插入各支路的电流插孔中，测出各支路的电流值，并将 I_1 、 I_2 、 I_3 记入表1—1中。

4. 测量 E_1 单独作用时各支路的电流值。 K_1 保持在电源侧，将 K_2 置于短路侧，然后测量各支路的电流值，并将 I_1' 、 I_2' 和 I_3' 记入表中。

5. 测量 E_2 单独作用时各支路的电流值。将 K_1 置于短路侧， K_2 置于电源侧，测量各支路的电流值，并将 I_1'' 、 I_2'' 、 I_3'' 记入表中。

表1—1

电 源 状 态	测 量 结 果		
E_1 、 E_2 同时作用时	$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$
E_1 单独作用时	$I_1' =$	$I_2' =$	$I_3' =$
E_2 单独作用时	$I_1'' =$	$I_2'' =$	$I_3'' =$
按迭加原理求迭加值	$I_1' + I_1'' =$	$I_2' + I_2'' =$	$I_3' + I_3'' =$
用迭加原理求计算值	I_1^*	I_2^*	I_3^*

2.6. 测量 E_1 、 E_2 同时作用时各部分电压值。将开关 K_1 、 K_2 同时置于电源侧，使 E_1 和 E_2 同时接入电路，用直流电压表，按表 1—2 所标的电压进行测量，将电压值记入表 1—2 中。

表 1—2

$V_{ab}(V)$	$V_{cd}(V)$	$V_{bd}(V)$	$V_{ad}(V)$	$V_{cd}(V)$

五 实验注意事项

1. 为保证做到测量时电流表串联接入电路，电压表并联接入电路，应严格按图 1—2 要求使用插座、插头及测量棒，要注意仪表的极性，并注意读数不得超过电流表或电压表的量程，以免损坏电表。

2. 操作时切勿将电源短路。接线时，应最后接上电源；拆线时，应首先切除电源。

3. 迭加时要注意电流（电压）的方向，求代数和时，要注意电流（电压）的正负值。

六 实验报告要求：

1. 数据处理

(1) 从实验测得的数据验证迭加原理和克荷夫定律。

(2) 从表 1—1 中的实验数据，将迭加值与测定值 I_1 、 I_2 、

I_3 比较，计算误差 r

$$r = \frac{\text{迭加值} - \text{测定值}}{\text{测定值}} \times 100\%$$

2. 分析误差原因

(1) 利用电流表或电压表测量电流或电压时，各测定值本身含有一定误差，包括有伏特计、安培计内阻引起的方法误差；由仪表准确度（注意从仪表面板上识别并记录）的限制及测量人为因素引起的测定值误差。

(2) 由于电源电压波动引起的测定值误差。

(3) 电阻标称值与实际值间的差别，致使计算值也含有误差。

请分析哪些是影响误差 r 的主要因素？

实验二 戴维南定理

一、实验目的

1. 加深对戴维南定理的理解。

2. 学会用实验方法求二端网络的等效电源参数（电动势和内阻）。

3. 进一步熟练直流仪表使用方法。

二、原理简述

1. 当只需计算线性电路中某一支路的电流时，可以将这个支路划出，而把电路的其余部分（含电源），看作一个有源二端网络。对于任何一个线性有源二端网络，都可以用一个等效电压源来代替。等效电压源的电动势 E ，在数值上等于有源二端网络的开路电压 V_0 。等效电压源的内阻 R_0 ，等于无源二端网络的等效电阻，此即戴维南定理。

本次实验采用图 2—1 (a) 所示电路，若只需求电流 I_5 ，可将 R_5 支路断开，电路的其余部分为有源二端网络，如图所示。

虚线框部分。有源二

端网络可用电动势为 E 。

内阻为 R_0 的等效电压

源代替。如图 2—1 (

b) 所示虚线框部分。

等效电压源的电动势 E_0

可由图 2—1 (c) 求

得。

$$E = V_{ab} =$$

$$\frac{E}{R_1 + R_2} R_2 - \frac{E}{R_3 + R_4} R_4$$

等效电压源的内阻 R_0 可由图

2—1 (d) 求得：

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

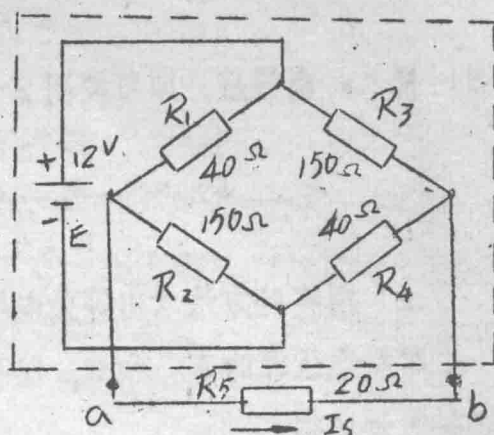


图 2—1 (a)

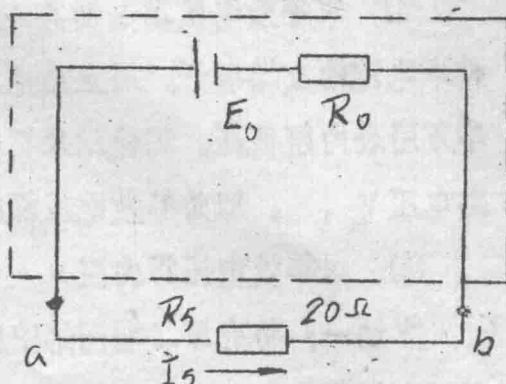


图 2—1 (b)

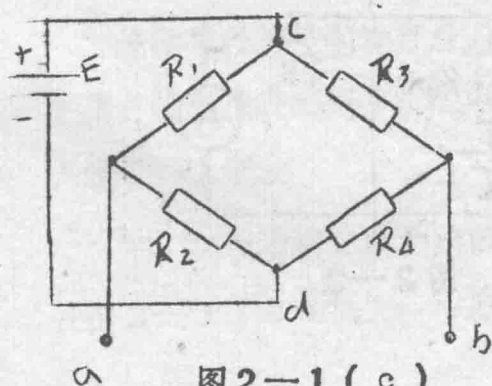


图 2—1 (c)

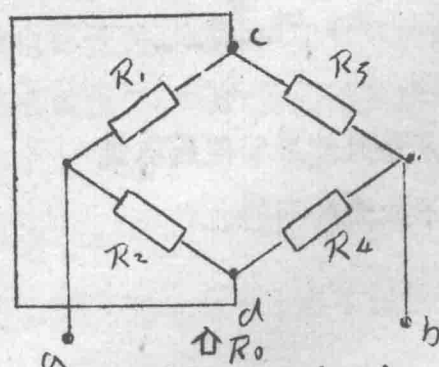


图 2—1 (d)

E_0 及 R_0 求得后, 即可按图 2—1 (b) 求得 I_s ,

$$I_s = \frac{E_0}{R_0 + R_s}$$

2 用实验方法求出等效电压源的电动势 E_0 和内阻 R_0 。

等效电压源的 E_0 和 R_0 除可用计算方法求得外, 也可通过实验方法求得。

(1) 求等效电压源电动势 E_0 : 如图 2—1 (c) 所示, 将待求电流的支路断开, 用直流电压表或万用表的直流电压挡 (数字万用表内阻很高, 测量结果更精确), 测量有源二端网络的开路电压 $V_{a b}$, 即为等效电压源的电动势 E_0 。

(2) 求等效电压源内阻 R_0 。

方法一: 将有源二端网络中所有电压源用短路线代替 (但应保留电压源的内阻), 电流源应开路, 然后用欧姆表 (万用表欧姆挡暂代) 直接测无源二端网络的两端 图 2—1 (d), 所得电阻值即为 R_0 。

方法二: 按图 2—1 (c) 所示电路, 先测得开路电压 $V_{a b}$, 然后再测量该有源二端网络的短路电流 I_s , 则可得等效电压源内阻, 如图 2—2

$$R_0 = \frac{V_{a b}}{I_s}$$

但此方法只适用于短路电流 I_s 不太大的网络。

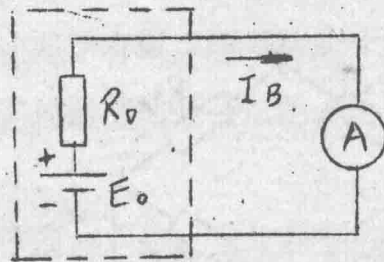


图 2—2

三 实验仪器和设备

1. 直流稳压电源(0~30V可调) 一台
2. 直流电流表(磁电式0—0.15—1A) 一块
3. 直流电压表(电磁式0—10—20V) 一块
4. 万用表(HIOKI 3200型数字式) 一块
5. 实验线路板(自制)

固定电阻40Ω 2W 二只

150Ω 2W 二只

20Ω 2W 一只

6. 电阻箱(Z×21型) 一只
7. 单刀双掷开关 一只
8. 导线 若干根

四 实验内容和步骤

(1) 在空载情况下,将直流稳压电源的输出电压调整至 $E = 12\text{V}$ 。关机待用。

(2) 按图2—1(a)连接好实验线路。为了测量电流 I_5 ,将电流表串联接入 R_5 支路。量程可选用0.15A挡,并注意极性。

(3) 测量电流 I_5 :

经指导教师检查许可后,接通电源开关,细调电压使 $E = 12\text{V}$ (用外接电压表测定),根据电流表读出 I_5 值,将所测数据记入表2—1中。

(4) 测量有源二端网络的等效电动势 E_0 。

按图2—1(c)将 R_5 支路断开,用直流电压表15V挡测量

a、b 两端的开路电压 V_{ab} ($=E_0$)，记入表 2—1 中。

(5) 用万用表测量无源二端网络的等效电阻 R_0 。

先断开 12V 电源并取出，然后将电路中 c、d 两点用导线短接（切忌直接将电源短接），如图 2—1 (d) 所示。在 R_s 支路断开的情况下，用万用表欧姆挡测量 a、b 两点间的电阻值 R_0 ，记入表 2—1 中。

(6) 按等效电路求 R_s 支路的电流 I_s ，

用万用表欧姆挡测量电阻箱 R_W 的阻值，调整电阻箱的旋钮，使其阻值等于无源二端网络的等效电阻 R_0 。

等效电源的电动势 E_0 由稳压电源提供，调整直流稳压电源的旋钮，使其输出电压等于有源二端网络的开路电压 V_{ab} 。然后按图 2—3 把稳压电源 E_0 、电阻箱 $R_W = R_0$ 、电阻 R_s 及电流表连成闭合回路，测出电流 I_s ，记入表 2—1 中。

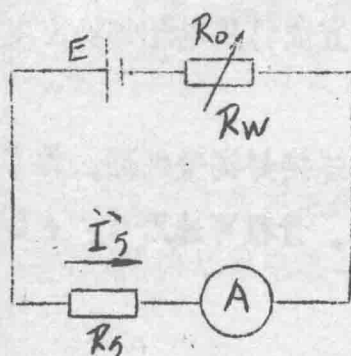


图 2—2

表 2—1

被测量	I_s	$V_{ab} (E_0)$	R_0	I_s
测量值				

五 实验注意事项

1. 切勿将电源短路
2. 使用万用表测量电阻之前，应先校正万用表的电阻零点，以防测量时产生误差。严禁在电路通电情况下用万用表测量电阻。
3. 严防在测试电压时，误用万用表的电流挡或欧姆挡。

六 实验报告要求

1. 根据实验数据验证戴维南定理。
2. 比较 I_1 与 I_1' ，并求出实验误差。

$$r = \frac{I_1 - I_1'}{I_1} \times 100\%$$

3. 分析产生误差的主要原因。
4. 戴维南定理的使用条件是什么？

实验三 交流电路的参数的测定

一 实验目的

1. 掌握交流电路参数 (R 、 L 、 C) 的测定方法;
2. 掌握三个单一参数 (纯 R 、纯 L 、纯 C) 电路和 R 、 L 、 C 三个参数串联电路中电流与电压的关系、功率关系;
3. 加深理解正弦电路中电流和电压的相量概念, 熟悉有效值和相量图;
4. 熟悉自耦式调压器和单相功率表、交流电压表、交流电流表的使用方法。

二 原理简述

1. 电阻和电感线圈、电容器的等值参数的测定。

交流电路中, 一般的电路元件总可以看作是纯 R 、纯 L 、纯 C 或它们的相互组合。

在电阻元件正弦交流电路中, 电阻两端的电压和流过电阻的电流是同相位的, 即电压与电流的相位差等于零。因此, 只要测量出电阻 R 两端电压 V , 流过电阻 R 的电流 I , 就可以根据公式

$R = \frac{V}{I}$ 求出电阻 R 的值。实验电路如图 3—1 所示, 图中 T 为调压器, 用来改变电阻元件两端的电压, A 为交流安培表, V 为交流伏特表。

实际电路元件的等值参数, 可以用测量方法来确定。一只实际电感线圈, 可以用 R_L 、 L 串联 (或并联, 今以串联为例, 下同) 电路来等值表示, 接上正弦交流电源时, 其两端电压在相位上超前

电感线圈中的电流。相位差 φ 的大小视电感线圈等值参数 R_L 、 L 的大小而定。但总是在 0° 至 90° 的范围内变化。由于电感线圈中的电阻 R_L 是消耗有功功率（平均功率）的，

而其中 L 是不消耗有功

功率的，则根据下列公

式：

$$\text{电感线圈电阻 } R_L = \frac{P}{I^2}$$

$$\text{电感线圈阻抗 } Z = \frac{V}{I}$$

$$\text{电感线圈感抗 } X_L = \sqrt{Z^2 - R_L^2}$$

$$\text{电感线圈电感 } L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

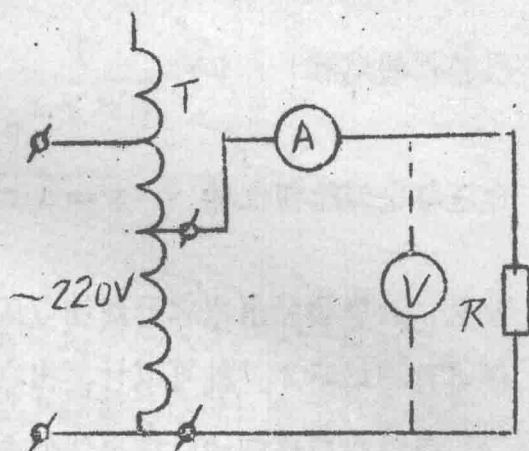


图 3-1

电压与电流的相位差（电压超前于电流的角度，下同）。

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R_L}$$

可见，只要测量出电感线圈两端的电压 V ，流过电感线圈的电流 I 和它所消耗的功率 P ，就可以计算出电感线圈的等值参数 R_L 与 L 。

同理，对一只实际电容器，可以用 R_C 、 C 串联电路来表示。当它接上正弦交流电源时，电容器两端的电压，在相位上滞后于电容器中的电流，相位差 φ 的大小，视电容器等值参数 R_C 、 C 的大小而定。若电容器的等值电阻 R_C 很小，可忽略不计，则电容器两端的电压在相位上滞后于电容器中电流近于 90° 。其计算公式如下：

电容器中电阻 $R = \frac{P}{I}$

电容器阻抗 $Z = \frac{V}{I}$

电容器容抗 $X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$

电容器的电容 $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$

电压与电流的相位差 $\varphi = \arctg \frac{-X_C}{R}$

可见，只要测量出电容器两端电压 V 、流过电容器的电流 I 和电容器消耗的功率 P ，就可以计算出电容器的等值参数 R_C 与 C 。

确定电感线圈或电容器等值参数的测量电路如图 3—2 所示，其中 W 为测量功率的单相瓦特表， A 为交流安培表， V 为交流伏特表， T 为调压器，用来改变待测元件两端的电压。

将电阻 R 、电感线圈和电容器串联在一起，经过调压器与正弦交流 220 伏电源连接，组成了 R 、 L 、 C 串联电路。在电路中总电压与分电压之间，应有下列相量关系：

$$\dot{V} = \dot{V}_R + \dot{V}_{rL} + \dot{V}_C$$

