

〔苏联〕B. H. 斯捷巴諾夫著

普通电工学实验指南

上海科学技术出版社

普通电工学实验指南

[苏联] B. H. 斯捷巴諾夫著

黄 慧 娜 譯

緒 言

普通电工学除了使学生熟悉一些基本定律以外，还应该使他们对电机、变压器和电子离子器件及仪器等有明确的認識。要学好这些，只有講課与实验同时并进才有可能。但是，还須通过一定的努力才能收到良好的效果，那就是学生在进行这些实验之前要有充分的准备，并按照預定的計劃做完实验，然后做实验报告；报告中包括实验的綫路图、观察所得的数据和經過整理的数据与表格，对于某些实验还要作矢量图。

本書的目的就是要帮助学生做好实验和做出报告。按照教学大綱的規定，每个实验做两小时。

上实验課之前，学生必須熟悉全部的实验內容并准备好記錄用的表格。实验完毕以后应作出报告。

本書接綫图中所列出的各个組成部件不一定全部都必要，有許多可以根据現有的設備和仪器情形来决定。例如測量三相电机的功率，書上一律都是用两个單相瓦特表，实验时也可以用一个三相板式千瓦計来代替，虽然这样准确性要差一些，但讀数却便利些。又如調节一个小电流电路（比如說瓦时計的电压綫圈）的电压，在綫路图上是用变阻电位計，同样也可以应用 2 安培的实验室用自耦变压器。再如实验中所有的机械負載都是用电磁制动器，但也可以用簡單的測功制动器或者其他的設備来代替。灯組变阻器也可以用額定电流值相同的滑綫式变阻器来

代替。

这本指南的内容是根据附录所列举的参考资料以及作者自己做过的一些实验编写的。这些实验是作者在莫斯科斯大林矿山学院“普通电工学”教研室工作时和教研室的同事们，特别是跟实验室主任 H. A. 烏科洛夫合作做的。

倘若讀者对本書有批評的意見，而且願意投寄到出版社，那么作者將表示衷心的感謝。

目 录

緒言	
实验 1 多电源直流电路的研究	1
实验 2 各种接法的电阻电路的研究	6
实验 3 以等效电路研究直流輸送綫	12
实验 4 串联阻抗交流电路的研究	17
实验 5 并联阻抗交流电路的研究	22
实验 6 电压諧振	27
实验 7 电流諧振	30
实验 8 綫路功率因数的提高和电压調整	33
实验 9 安培表与伏特表的校驗和它們的电阻測定	37
实验 10 导体电阻和絕緣电阻的測量	42
实验 11 單相瓦时計的校驗	46
实验 12 受电器作星形联接的三相电路試驗	52
实验 13 受电器作三角形联接的三相电路試驗	57
实验 14 三相电路有功功率与无功功率的測量	62
实验 15 三相变压器的空載和短路試驗	68
实验 16 三相变压器的并联运用	76
实验 17 鼠籠式异步电动机試驗	80
实验 18 綫繞式异步电动机試驗	86
实验 19 綫繞式异步电动机的空載及短路試驗	90
实验 20 三相同步发电机試驗	99
实验 21 三相同步电动机試驗	106

实验 22 直流并激发电机試驗	110
实验 23 直流复激发电机試驗	119
实验 24 直流并激电动机試驗	122
实验 25 直流串激电动机試驗	130
实验 26 电子管試驗	136
实验 27 离子整流器試驗	141
实验 28 汞弧整流器試驗	146
附录 在电机和变压器試驗中, 重复出現的字母符号和公式	150

参 考 文 献

Николаев С. А. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам. Госэнергоиздат, 1953.

Пиотровский Л. М. и Паль Е. А. Испытание электрических машин, часть первая. Госэнергоиздат, 1949.

Раскатов А. И. Пособие к лабораторным работам по общему курсу электротехники. Изд-во Министерства речного флота, 1947.

Чеканов В. Д. Руководство к лабораторным работам по электротехнике. ГНТИ, 1950.

实验 1 多电源直流电路的研究

实验目的

研究如何应用欧姆定律和基尔霍夫定律求解最简单的直流电路中电流和电压降的分布情况。

这些电流和电压值可以从实验测得，或由计算求出。

实验计划

测量具有两个电源的电路的电压降落，并且作出电路中的电位分布图：

- a) 两个电源顺极性串联；
- 6) 两个电源逆极性串联。

实验步骤

用两个电动势不等的蓄电池（例如 $E_1 \leq 12$ 伏， $E_2 \leq 6$ 伏），两个 2~3 安、10~20 欧的滑线式变阻器，一个双刀双投开关 Π ，一个 2~5 安的磁电式安培表，和两个 20~50 伏的磁电式伏特表接成电路如图 1。

在蓄电池还没有接入电路之前，要先用伏特表分别测出每个蓄电池两端的电动势。如果伏特表具有实用上的准确度，那么它的读数就可以认为是等于蓄电池的电动势 E_1 和 E_2 。

1. 順极性串联 这时开关应该扳向图中下方的位置。两个变阻器的滑动臂可以放在任何位置，例如放在靠近变阻器的中部。这电路画成原理图如图 2 所示。

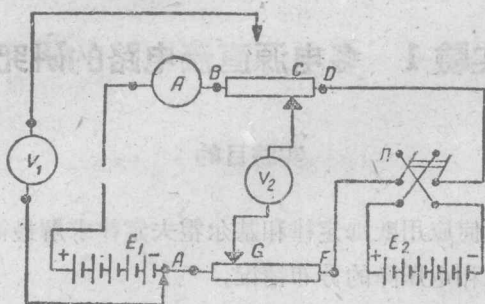


图 1 直流电路的仪表连接图。

进行实验时，记下安培表的读数，并且测量某一公共点对电路中其他各点间的电位差。这个公共点可以任意选定，例如取电动势较大的蓄电池的负端。在接线图 1 中，这个公共点用字母 A 表示，测量电位差时，伏特表 V_1 的负端接在第一个蓄电池的负端（即 A 点）上，它的正端即顺序与电路中的 B、C、D、F、G 各个点接触。这时测出的电势分别为 U_{BA} 、 U_{CA} 、 U_{DA} 、 U_{FA} 和 U_{GA} 。在这里，下标的第一个字母代表高电位的点，而后面的一

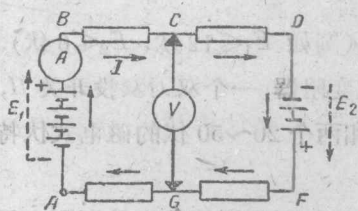


图 2 蓄电池顺极性联接的原理图。

个则代表低电位点。不过也应该指出，也许有一些点例如 D 点，它的电位可能低于 A 点，那么伏特表 V_1 的两个接线端就要对调，而它的读数就应该写成 U_{AD} 。

注 原文中的双投开关 II 是接在 E_1 两端，为了要与图 2、3 配合，译者作过修改——译者。

观察两个变阻器的滑动臂移动以后的结果。两个滑动臂的移动不会引起电路中电流的改变,只是跨接在两个滑动臂(C点与G点)之间的伏特表 V_2 的读数会发生变化。它可能等于零,甚至伏特表的指针会碰到仪表上的挡柱。这时,伏特表的接线就应该对调。实验时应该测量三种情形——即伏特表的读数为正的、负的和等于零——的结果,同时还应测量C点与G点(两个变阻器的滑动点)对A点的电位差。

2. 逆极性串联 这时闸刀开关的刀片应该合到上面的位置,所得的电路如图3所示。

两个变阻器的滑动臂仍然可以放在任意一个位置,例如靠近中间。记下电流的读数(这个数值比上面的实验的电流值要小一些),并测量上面实验所指定的各点之间的电位差。

再改变两个变阻器的滑动臂的位置,现在无论两个滑动臂移到那个位置,接在C、G两

点之间的伏特表的读数只可能是正值。因此只要随便把滑动臂放在任何一个位置,测量一次伏特表的读数,和两个滑动臂对公共点A的电位差就够了。

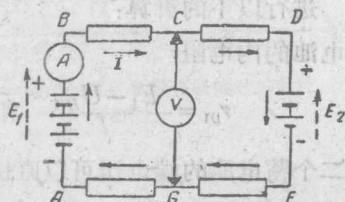


图3 蓄电池逆极性联接的原理图。

报告内容

1. 两个电源顺极性串联 画出第一个实验的线路图(参阅图1)。

将测得的数据填入表1。

表 1

序号	测 量 数 据								
	E_1	E_2	I	U_{BA}	U_{CA}	U_{DA}	U_{FA}	U_{GA}	U_{CG}
	伏	伏	安	伏	伏	伏	伏	伏	伏

序号	計 算 数 据									
	U_{BC}	U_{CD}	U_{FD}	U_{FG}	r_{01}	r_{02}	r_{BC}	r_{CD}	r_{FG}	r_{GA}
	伏	伏	伏	伏	欧	欧	欧	欧	欧	欧

进行以下的计算:

蓄电池的内电阻

$$r_{01} = \frac{E_1 - U_{BA}}{I} \quad \text{和} \quad r_{02} = \frac{E_2 - U_{FD}}{I}。$$

第二个蓄电池的端电压可以直接测出, 或者用量得的电压差值来决定, 即 $U_{FD} = U_{FA} - U_{DA}$ 。

计算电路中各分段的电阻, 计算时各段电阻两端的电压降可由两个端点对 A 点之间的电压差值来决定, 如

$$r_{CB} = \frac{U_{CB}}{I} = \frac{U_{CA} - U_{BA}}{I};$$

$$r_{DC} = \frac{U_{DC}}{I} = \frac{U_{DA} - U_{CA}}{I} \text{ 等等。}$$

计算电流的数值: 第一次实验中 $I = \frac{E_1 + E_2}{r_{BD} + r_{FA} + r_{01} + r_{02}},$

第二次实验中 $I = \frac{E_1 - E_2}{r_{BD} + r_{FA} + r_{01} + r_{02}}。$

将全部的计算结果填入表 1。

绘出电路中的电位分布图。

取电动势較大的電池組的負極端为电位的零点；横坐标上标以电路各分段的电阻（包括電池組的內电阻在內），縱坐标上标以电位差。

在图 4 中，沿横坐标各段的值是

$$\begin{aligned} AB &= r_{01}; & BC &= r_{BC}; \\ CD &= r_{CD}; & DF &= r_{02}; \\ FG &= r_{FG}; & GA' &= r_{GA}. \end{aligned}$$

沿縱坐标标繪由实验測得的电动势值，以及各分段的电压值：

$$\begin{aligned} Aa &= E_1; & Bb &= U_{BA}; \\ Dd &= U_{DA}; & Ff &= U_{FA}. \end{aligned}$$

第二个電池的电动势是用 D 点以上的縱軸綫段 dd' 来表示。

連接 A、b、c、d、f、g、A' 諸点，我們就得到整个电路的电位分布图。两个滑动臂接触点之間的电位差用縱坐标綫段之差 $Cc - Gg = U_{cg}$ 来表示。

从图上可以清楚地看出，两点之間的电位差可能是正的（当滑动臂位于 C、G 两点），或等于零（当滑动臂位于 C_1 、G 两点），或者是負的（当滑动臂位于 C_2 、G 两点）。最后一种情形表示滑动臂 G 的电位高于滑动臂 C 的电位。两个电阻器的电位分布綫的斜度是相等的，因为斜綫傾角的正切与回路中的电流成正比：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{bb'}{b'd} = \frac{U_{BA} - U_{DA}}{r_{BD}} = \frac{U_{BD}}{r_{BD}} = I。$$

应用欧姆定律解整个电路也可以計算出电位綫的斜度，只

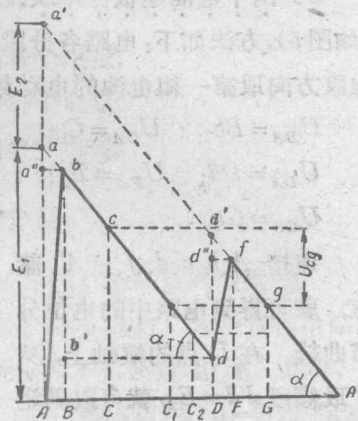


图 4 電池順极性联接时的电位分布图。

要沿垂直方向取 $E_1 + E_2 = Aa'$, 然后连接 a' 和 A' 两点就能得到斜度。綫段 aa'' 和 $d'd''$ 是两个电池組的内电阻压降。

2. 两个电池逆极性串联 繪出第二次实验的电位分布图 (如图 5), 方法如下: 电路各分段的电阻值也是画在横坐标上, 沿垂直方向取第一組电池的电动势 $E_1 = Aa$, 以及电压

$$U_{BA} = Bb; \quad U_{CA} = Cc;$$

$$U_{DA} = Dd; \quad U_{FA} = Ff;$$

$$U_{GA} = Gg.$$

连接 A, b, c, d, f, g, A' 諸点, 就可得到电路中的电位分布曲线。在 D 点的縱軸上, 从 d' 取綫段 $d'd = E_2$, 就可以确定第二个电池的电动势在图上的位置。从曲线图可以看出, 第二个电池的端电压

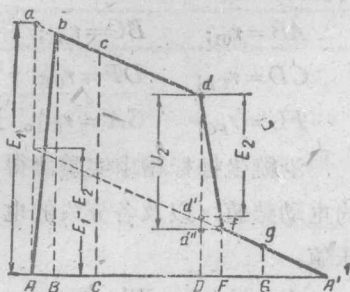


图 5 电池逆极性联接时的电位分布图。

$$U_2 = dd' + d'd'' = E_2 + Ir_{02}.$$

因为 E_2 的方向和第一个电池組的电势相反, 所以这个电池組起了电阻的作用(消耗能量)。从图上还可以看出, 变阻器滑动臂之間的电位差总是正值, 因为 bd 綫上任何一点的电位总是比 fA' 綫上任何一点的电位高。

实验 2 各种接法的电阻电路的研究

实验目的

用計算和实验的方法求出各种不同连接方法——并联、串

联和复联——的电阻电路的电量。

实验计划

1. 测量串联电阻电路中的各个电量;
2. 测量并联电阻电路中的各个电量;
3. 测量复联电阻电路中的各个电量。

实验步骤

本实验所应用的电阻都是由白炽灯泡组成的变阻器。

总共有三组变阻器，每一组有4~5盏灯。为欲获得电路的最大电流为5安培，每只灯泡的功率不得超过40瓦。这样，就可以选用量程为5安的安培表。电压则可以用110~127或220伏。

因为白炽灯泡的电阻与电流的类别无关，所以这个实验采用直流电源或者交流电源都可以。

1. 串联电阻电路 将三组灯组变阻器串联，在每一灯组上接一个伏特表。此外，在闸刀开关的两端也接上一个伏特表，并在电路里串联一个安培表，如图6所示。

实验内容如下：各组变阻器接入不同的灯泡数，测量电流和电压。各灯组变阻器的灯数建议按照下述的顺序调节。起初使每一组的灯数相同，比如说每组一盏。然后只在第一

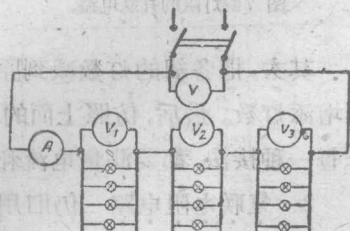


图6 灯阻的串联电路。

组灯阻内增添灯泡，直到电流达到最大值5安为止（电流的最大

值决定于安培表的量程)。此后，重新把灯阻的盏数减到最少，然后同时在两组灯阻内添接灯泡。最后，再将各组的灯数减到最少，再同时在三组灯阻内一个接一个地增添灯泡。上述每种接法都要读取 2~3 次电流和电压值。

2. 并联电阻电路 三组灯阻都与开关并联。每一组灯阻各接入一个安培表，此外，在分支点以前的总电路中也接入一个安培表(如图 7)。依照下面的程序进行几次观察：首先，在每一组灯阻内接入一盏或者两盏灯泡。然后增加某一组的灯数，一直到电流达最大值为止。

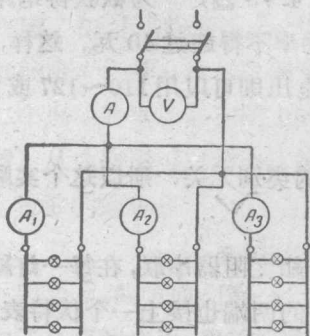


图 7 灯阻的并联电路。

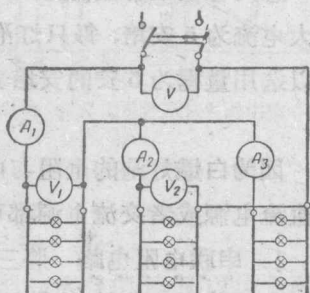


图 8 灯阻的复联电路。

其次，把各组的灯数减到原来的数目，然后同时在两组灯阻内增添灯数。最后，仿照上面的步骤同时在三组内增添灯数。对于每一种接法，都要测量电流和电压 2~3 次。

3. 复联电阻电路 仍旧用上面的三组灯阻，连接方法如下：其中两组并联后再与第三组串联。这项实验需要用三个安培表和三个伏特表，它们的连接法如图 8 所示。

先在第一组灯阻内接入少数灯泡，以后逐渐增添两个并联

灯阻的灯数, 每个支路所增加的灯数可以不同, 这样, 一直到电流等于最大值为止 (按照安培表 A_1 的量程)。然后将两组并联灯阻内的灯泡恢复到原来最少的盏数, 再逐步增添串联灯阻内的灯数。每次实验都要测量电流与电压值 2~3 次。

报告内容

1. 串联电阻电路 画出图 6 的电路图, 根据所得的仪表读数, 计算每一灯组变阻器的电阻

$$r_1 = \frac{U_1}{I}; \quad r_2 = \frac{U_2}{I}; \quad r_3 = \frac{U_3}{I}$$

以及整个电路的总电阻 $R = \frac{U}{I}$ 。

用下列公式验算所有实验的结果是否正确:

$$R = r_1 + r_2 + r_3;$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3;$$

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3。$$

和

把实验所得的和计算出的数据填入表 2。

表 2

序号	测量数据					计算数据						
	I	U	U_1	U_2	U_3	r_1	r_2	r_3	R	$r_1 + r_2 + r_3$	$U_1 + U_2 + U_3$	$U_1 : U_2 : U_3$
	安	伏	伏	伏	伏	欧	欧	欧	欧	欧	伏	—
												—

2. 并联电阻电路 画出图 7 的电路图, 根据每一次的观察结果, 作下列计算:

每一組灯阻的电阻

$$r_1 = \frac{U}{I_1}; \quad r_2 = \frac{U}{I_2}; \quad r_3 = \frac{U}{I_3}。$$

电路的总电阻

$$R = \frac{U}{I}。$$

再用另外一个公式

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}$$

或者它的恒等式

$$R = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1} \quad (a)$$

計算这个电阻。

比較所得到的結果。

用基尔霍夫第一定律

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

和电流的分配定則

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$$

驗算所得到的結果。

把全部測出的和計算出的数据填入表 3。

表 3

序号	測量数据					計 算 数 据							
	U	I	I_1	I_2	I_3	r_1	r_2	r_3	R	$\frac{U}{I}$	$I_1 + I_2 + I_3$	$I_1 : I_2 : I_3$	$\frac{1}{\frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}}$
	伏	安	安	安	安	欧	欧	欧	欧	欧	安	—	—

R 值用公式(a)計算

3. 复联电阻电路 繪出图 8 的线路图。

分別計算每組灯阻的电阻

$$r_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad r_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad r_3 = \frac{U_3}{I_3}$$

和整个电路的总电阻

$$R = \frac{U}{I_1}。$$

用計算电路总电阻的公式核对实验所得的结果

$$R = r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}。 \quad (6)$$

核对电流和电压的关系

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad \text{和} \quad I_2 : I_3 = \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$$

以及

$$U = U_1 + U_2 \quad \text{和} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{r_1(r_2 + r_3)}{r_2 r_3}。$$

將全部观察和計算得的结果填入表 4。

表 4

序号	測量数据						計 算 数 据						
	U	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	r_1	r_2	r_3	$\frac{U}{I_1}$	R	$U_1 : U_2$	$I_2 : I_3$
	伏	伏	伏	安	安	安	欧	欧	欧	欧	欧	—	—

R 值用公式(6)計算

必須注意,白熾灯泡的电阻跟灯絲(通过电流时)的溫度有关,因此即使三个变阻器都是用相同数目的灯泡組成,它們的电阻值也可能不一样。