



中等專業學校教學用書

普通電工學實驗

蘇聯 B. H. 斯捷潘諾夫著

煤炭工業出版社

序

普通电工学的任务，除了使学生熟悉基本原理之外，还要使学生对电机、变压器以及电子-离子仪器和设备等有一个清楚的認識。关于上述电机电器的研究，只有通过实验和講課相結合才能进行。如果学生在动手做实验之前有充分的准备，实验时能按一定的計劃进行，实验后又写出内容包括实验綫路圖、观察数据记录、数值整理和曲綫繪制等的报告，而某些实验还包括矢量圖等等，这样学生获得的知識才会丰富。

本書的目的在于帮助学生組織和进行实验。按照大綱，每个实验所分配的时间是兩小时。

实验前，学生应该了解整个实验的說明，并准备好记录数据的表格。实验后要作出报告。

書中所列的接綫圖在細节上并不是一成不变的。許多細节是根据实验室原有的设备和仪器而定的。例如測量三相电机的功率，本書处处都是用两个單相瓦特計，但是也可以單用一个板式的三相千瓦特計来代替。虽然后者的准确度差一些，但取讀数却較方便。至于調节弱电流电路的电压，例如調节瓦时計电压綫圈的电压，本書所示是变阻器——电位計綫路，但也可以采用額定电流为2安培的实验室用的自耦变压器。在实验中，处处都註明用帶有重錘和臂桿的电磁制动器，但改用有測力計的簡單制动器或別种機構的制动器也未尝不可。灯排变阻器可以用金屬綫变阻器来代替，只要和設計的电流相适应就可以。

本書的材料系取自附录中所列的參考文献和作者在莫斯科斯大林矿业学院“普通电工学”教研組工作时所作的实验以及教研組同志其中包括实验室主任 H.A. 烏科洛夫所作的实验。

讀者如不吝指教，請將意見寄交出版社，作者对此將表示衷心的感謝。

目 录

序

实验 1	研究一种具有几个电源的直流电路	5
实验 2	研究具有不同电阻接法的电路	11
实验 3	用等值电路来研究直流傳輸綫	16
实验 4	研究具有串联阻抗的交流电路	22
实验 5	研究具有并联阻抗的交流电路	27
实验 6	串联諧振	32
实验 7	并联諧振	34
实验 8	改善功率因数和調整綫路的电压	37
实验 9	校正安培計和伏特計并測量其电阻	41
实验 10	測量导綫的电阻和絕緣电阻	46
实验 11	單相瓦时計的校正試驗	51
实验 12	研究星形連接負載的三相电路	56
实验 13	研究三角形連接負載的三相电路	62
实验 14	測量三相电路的有功功率和無功功率	67
实验 15	三相变压器的空載試驗和短路試驗	73
实验 16	研究三相变压器的并联运行	80
实验 17	鼠籠式異步电动机的試驗	85
实验 18	綫繞式異步电动机的試驗	91
实验 19	綫繞式異步电动机的空載和短路試驗	94
实验 20	三相同步發電机的試驗	104
实验 21	三相同步电动机的試驗	111
实验 22	直流并激發電机的試驗	115
实验 23	直流复激發電机的試驗	123

实验24	直流并激电动机的試驗	127
实验25	直流串激电动机的試驗	135
实验26	电子管的研究	141
实验27	离子整流器的研究	146
实验28	汞弧整流器的研究	151
附录 I	在試驗电机和变压器时常用的符号和公式	155
附录 II	俄文下标的意义	157
参考文献		158

实验1 研究一种具有几个电源的直流电路

实 验 目 的

用欧姆定律和克希荷夫定律，在最簡單的直流电路中确定电流的分配和电压降落的分配。

这些数值是根据实验和计算来确定的。

实 验 计 划

在具有两个电源串联的电路中，测量电路的电压降落并作出它的电位分佈圖：

a)如果两个电动势的方向相同；

6)如果两个电动势的方向相反。

实 验 步 骤

用两个电动势不同（例如 $E_1 \leq 12$ 伏和 $E_2 \leq 6$ 伏）的蓄电池，两个額定电流为 2—3 安、电阻为 10—12 欧姆的金属綫变阻器，一个换向开关 Π ，一个量程为 2—5 安的磁电式安培計以及两个量程为 20—50 伏的磁电式伏特計来構成綫路（圖1）。

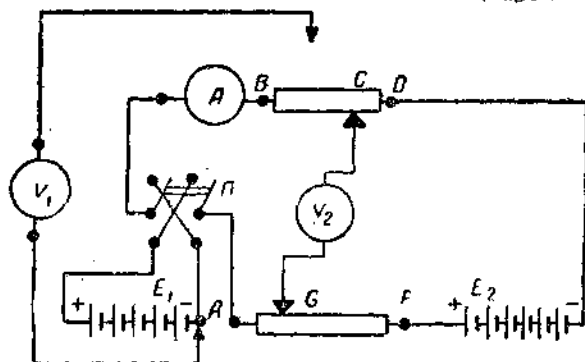


圖 1 直流电路中各仪表的接綫圖

在未將電池接入電路之前，先分別用伏特計驗流同每一個電池的端鈕連接。實用上，用剛才伏特計所得的讀數作為電池 E_1 和 E_2 的電動勢，就已經很準確。

1) 同向串聯。換向開關要合在下面。將變阻器的可動觸頭移到任意位置，例如大約移到變阻器的中間，電路情況如圖 2 所示。

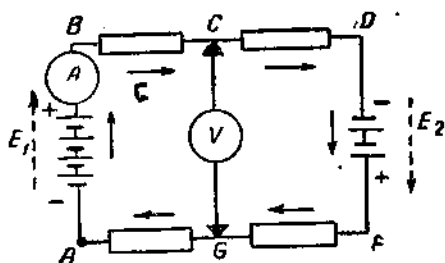


圖 2 電池同向串聯的原型圖

記下安培計的讀數，並且測量電路上某一任意選擇的公共點同其他幾個點之間的電位差。電動勢最大的那一個電池的負端鈕，可以選擇為公共點。在圖 1

的綫路圖中，這一點是用字母 A 表示的。要想量出公共點和其他各點之間的電位差，可以將伏特計 V_1 的負端鈕接到第一個電池的負極 (A 點)，再由伏特計的正端鈕引出導綫的空綫頭，同電路上用字母 B, C, D, F, G 表示的各點接觸。這樣，就可以量出電壓 $U_{BA}, U_{CA}, U_{DA}, U_{FA}, U_{GA}$ 。腳註的第一個字母是指電位較高的一點，第二個字母是指電位較低的一點。但是應該注意， D 點的電位也可能低於 A 點，遇有這種情況，就要將伏特計 V_1 的接頭對調一下，而伏特計的讀數就用 U_{AD} 來表示。

觀察一下移動兩個變阻器的可動觸頭所引起的結果。可動觸頭的移動是不會使電路的電流改變的，但是因為伏特計 V_2 和這兩個可動觸頭 (C 點和 G 點) 相連，所以 V_2 的讀數就要改變了。這個讀數可能為零，而且伏特計的指針還可能反向偏轉碰到針擋。這時，就應當將伏特計 V_2 的接頭對調一下。要作

出三組測定，即根據伏特計的讀數分為正、零、負三組，同時測量一下 C, G 兩點（變阻器的可動觸頭）同 A 點之間的電位差。

2) 反向串聯。換向開關的閘刀要放在上面的位置。電路情況如圖 3 所示。

將兩個變阻器的可動觸頭移到任意的位置，例如大約在變阻器的中部。記下電流的數值，這個數值會比前一個實驗的電流數值小，同時，測量前述各點之間的電位差。

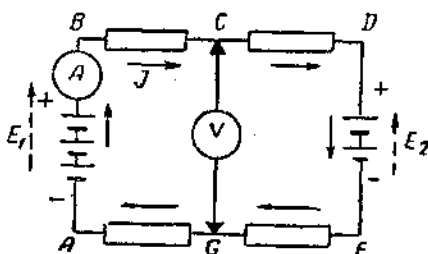


圖 3 電池反向串聯的原理圖

移動變阻器的可動觸頭，現在不管可動觸頭在什麼位置，因為伏特計是接到這兩個可動觸頭上面的，所以讀數只能是正。隨便就一組可動觸頭的位置，取一次伏特計的讀數，同時，還要量出可動觸頭和公共點 A 之間的電位差。

報 告 內 容

1. 電源的同向串聯。繪出第一個實驗的綫路圖（參考圖 1），將所量得的數值填入表 1。

進行下列計算：

電池的內部電阻

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

第二個電池的電壓可以直接量出，或者根據兩個測定值之差 $U_{FD} = U_{FA} - U_{DA}$ 來計算。

表 1

觀 察 次 序	測 量 數 值								
	E_1	E_2	I	U_{BA}	U_{GA}	U_{DA}	U_{FA}	U_{CA}	U_{CG}
	伏	伏	安	伏	伏	伏	伏	伏	伏

觀 察 次 序	計 算 數 值									
	U_{BC}	U_{CD}	U_{FD}	U_{FG}	r_{01}	r_{02}	r_{BC}	r_{CD}	r_{FG}	r_{GA}
	伏	伏	伏	伏	歐姆	歐姆	歐姆	歐姆	歐姆	歐姆

求各段电路的电阻时，則以每一段电路兩端对 A 点电压之差，作为該段电路所受的电压。

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

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

核对头一个实验的电流用公式

$$I = \frac{E_1 + E_2}{r_{BD} + r_{FA} + r_{01} + r_{02}},$$

核对第二个实验的电流用公式

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_{BD} + r_{FA} + r_{01} + r_{02}}.$$

將所有計算的数值填入表 1。

作出电路的电位分佈圖。

取电动势最大的那一个电池的負極电位作为零电位；以橫

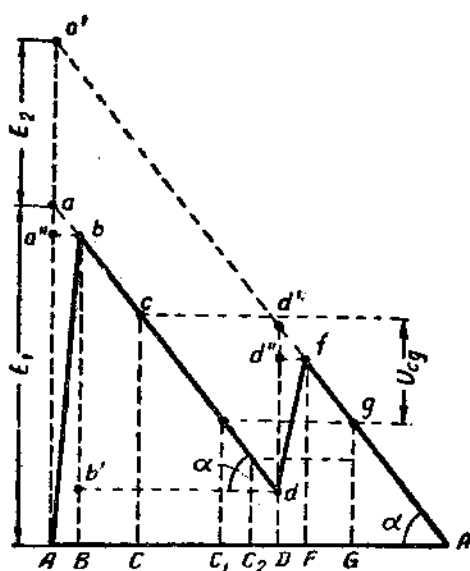


圖 4 電池同向串聯的电位圖

坐标表示所有电路各区段的电阻，包括電池的内部电阻。以縱坐标表示电位差。

在圖 4 的横坐标上截取綫段

$$AB=r_{01}; BC=r_{BC}; CD=r_{CD}; DF=r_{02};$$

$$FG=r_G; GA'=r_{GA'}.$$

在縱坐标上截取綫段，来代表由实验量出的电动势和电压的数值

$$Aa=E_1; Bb=U_{BA}; Dd=U_{DA}; Ff=U_{FA}.$$

第二个電池的电动势由从 D 点的縱坐标截出的綫段来代表。

連接 A、b、c、d、f、g、A' 各点，就得出整个电路的电位分佈圖。可动触头之間的电位差以两个縱坐标之差 $Cc-Gg=U_{cg}$

来表示。

从图中可以看出，这两个纵坐标之差可能是正(当两个可动触头的位置在 C 、 G 两点时)，可能是零(当两个可动触头的位置在 C_1 、 G 两点时)，也可能是负(当两个可动触头的位置在 G_2 、 G 两点时)。最后一种情况说明， G 点的电位比 C 点的电位要高，因为电位分佈綫傾角的正切和电路的电流成比例，

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

所以在两个变阻器上，电位分佈綫的斜度都是一样的。

根据整个电路的欧姆定律，可以求出电位綫的斜度。求斜度时，要在垂直綫上截出 $E_1 + E_2 = Aa'$ ，然后连接 a' 和 A' 两点。綫段 aa' 和 $d'd''$ 就代表两个电池的內部电压降。

2. 电源的反向串联。第二个实验的电位分佈圖(圖 5)是这样作的：以横坐标来表示上述各电路区段的电阻，以垂直綫来表示第一个电池的电动势 $E_1 = Aa$ 和电压

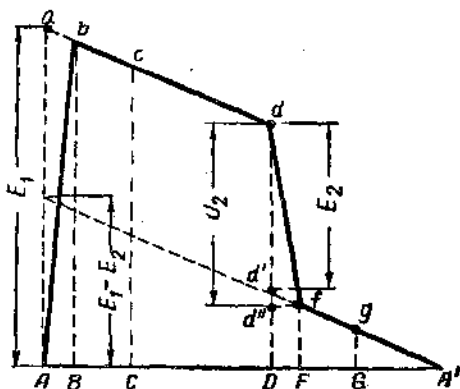


圖 5 电池反向串联的电位圖

$$U_{BA} = Bb; U_{CA} = Cc; U_{DA} = Dd; U_{FA} = Ff; \\ U_{GA} = Gg.$$

連接 A, b, c, d, f, g, A' 各点，即得出电路的电位分佈綫。想要表示第二个电池的电动势，就要在点 D 的縱坐标上面，由点 d 向下截取 $dd' = E_2$ 。由圖可知，第二个电池的端电压等于

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

因为这个电池的电动势和第一个电池的电动势的方向相反，所以它就相当于一个电阻。由圖可見， bd 綫段上任何一点都高于 fA' 綫段上的任何一点，所以两个变阻器的可动触头之間的电位差总是正的。

实验2 研究具有不同电阻接法的电路

实 驗 目 的

用計算和实验的方法求出电路中电阻接法不同时——并联，串联和复联——有关的电学量。

实 驗 計 划

测量电路中有关的电学量：

1. 当电阻接成串联。
2. 当电阻接成并联。
3. 当电阻接成复联。

实 驗 步 驟

本实验所用的全部电阻都是灯排变阻器。

一共要有三个变阻器，每个变阻器有4—5支灯。电灯的功率不要超过40瓦，以便使电路的最大电流在5安以下，这样就可以使用量程为5安的安培計。电压可以用110—127伏或220

伏。

因为白熾灯的电阻和电流的种类無關，所以做这个实验时，用交流电源或直流电源都可以。

1. 电阻串联的电路。將三个灯排变阻器串联，在每一个变阻器的兩端接一个伏特計，另外，在刀閘开关的端鈕也接一个伏特計。在电路上串联一个安培計(圖 6)。

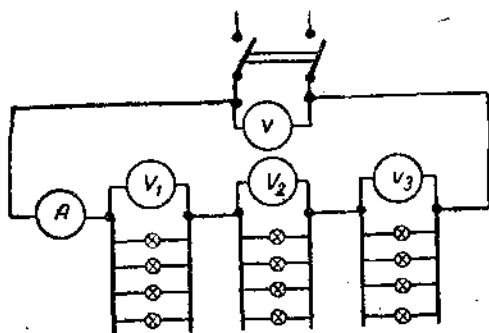


圖 6 变阻器串联时的线路圖

使每一个变阻器接通的电灯数目不同来測量电压和电流。接通电灯时，建議依照下列的順序进行：首先使每个变阻器接通的灯数相等，例如一支，然后将第一个变阻器的灯数繼續增加，一直达到 5 安的極限电流(电流的限額由安培計的量程規定)为止。这时又將变阻器的灯数減至最少，再一起增加两个变阻器的灯数。最后一次又將每个变阻器的灯数減至最少，然后就逐漸將三个变阻器的灯数一起增加，每次一支。上述每一次組合取 2—3 組电流和电压的讀数。

2. 电阻并联的电路。所有三个变阻器都并联到閘刀上面。每一个变阻器接一个安培計，另外，在电路的分支点之前也接一个安培計(圖 7)。照这样的順序观察几次，首先使每一个变阻器接入的灯数要最少(一支或兩支)，然后再使其中一个变阻

器的灯数增加直至达到限額电流为止。

重新使灯数減至最少，然后同时增加两个变阻器的灯数，最后使全部变阻器的灯数同时增加，同样地进行試驗。每一次取 2—3 組电流和电压的讀数。

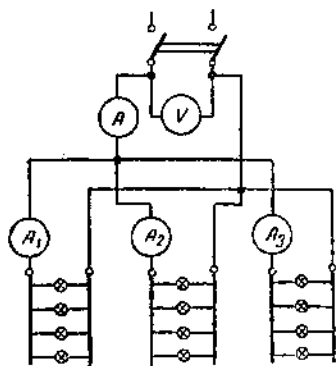


圖 7 变阻器并联时的綫路圖

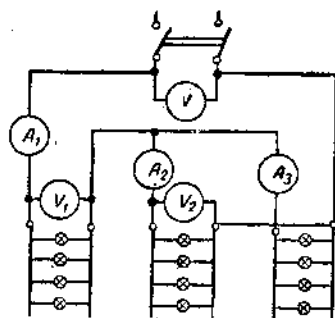


圖 8 变阻器复联时的綫路圖

3. 电阻复联的电路。將上述三个灯排变阻器这样連接，使其中两个并联，第三个同前两个串联。这个实验需要三个安培計和三个伏特計，其接法如圖 8 所示。

首先將第一个串联变阻器少数电灯接通，然后逐漸增加并联变阻器的灯数，但要使两个并联变阻器的灯数不等，直至达到限額电流为止(根据安培計 A_1 来定)。然后又將两个并联变阻器的灯数減至最少，再逐漸增加串联变阻器的灯数。每次試驗取 2—3 組电流和电压的讀数。

报 告 內 容

1. 电阻串联的电路。繪出圖 6 的綫路圖。根据所記下的仪表讀数来计算每个变阻器的电阻

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

和整个电路的总电阻 $R = \frac{U}{I}$ 。

按照下列公式来核驗各个实验所作的测量的准确度

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

和

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

將测量和計算所得的数值填入表 2。

表 2

观察 次序	测量数值					計算数值							
	I	U	U_1	U_2	U_3	r_1	r_2	r_3	R	$r_1 + r_2 + r_3$	$U_1 + U_2 + U_3$	$U_1 : U_2 : U_3$	$r_1 : r_2 : r_3$
	安	伏	伏	伏	伏	欧	欧	欧	欧	欧	伏	—	—

2. 电阻并联的电路。繪出圖 7 的綫路圖，对每一組所記下的观察数据作下列計算：

每个变阻器的电阻

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

整个电路的电阻

$$R = \frac{U}{I}.$$

用公式

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

或恆等式

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

計算上述电阻。

比較所得的結果。

根据克希荷夫第一定律

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

和根据电流分配律

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

核驗所得的結果。

將全部測量數值和計算數值填入表 3。

表 3

觀 察 次 序	測 量 數 值					計 算 數 值							
	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	歐	歐	歐	歐	歐	安	—	—

根据公式(a)計算 R 。

3. 电阻复联的电路。繪出圖 8 的綫路圖。

分別計算每个变阻器的电阻

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

和整个电路的总电阻

$$R = \frac{U}{I_1}.$$

根据整个电路的电阻公式来核驗所得的結果

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

核驗电流和电阻的关系

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

及电压和电阻的关系

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

將全部測量數值和計算數值填入表4。

表 4

觀察 次序	測 量 數 值						計 算 數 值						
	U	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	r_1	r_2	r_3	$\frac{U_1}{I_1}$	R	$U_1 : U_2$	$I_1 : I_2$
	伏	伏	伏	安	安	安	歐	歐	歐	歐	歐	—	—

根據公式(6)計算 R 。

必須注意，白熾燈的电阻同燈絲(通电流的)的溫度有关，所以即使燈數一樣，變阻器的电阻也可能不同。

實驗3 用等值电路来研究直流傳輸綫

实 驗 目 的

根據直流傳輸綫的等值电路，分兩種情况来研究傳輸綫的特性。一种情况是傳輸綫只具有一个終端負載；另一种情况是有兩個分开的負載。求出沿綫电压降落和功率損失的分佈，以及計算傳輸綫的效率对負載变化的关系。