
电工基础实验指导书

張立本主編

人民教育出版社

本实验指导书是配合国内出版的高等工业学校电工基础试用教科书编写的。书中包括了电路、磁路方面及电磁场方面的实验共二十九个,并列有电工基础实验课前指导、电工基础实验示范及有关常用仪表与设备使用的附录等。

本书内容是以1962年5月审定的高等工业学校“电工基础教学大纲”(试行草案)的实验内容为依据的,可作为高等工业学校电机、电力和电讯等专业的实验课教材。

参加本书编写工作的有张立本、孙文辉、牟敦煜三同志并由张立本同志负责主编。各部分的分工为:张立本同志负责编写实验课前指导、实验示范、实验一至九、实验十六、十八、十九、二十四、二十五;孙文辉同志负责编写实验十一、十五、十七、二十、二十一、二十二、二十三、二十六至二十九及附录;牟敦煜同志负责编写实验十、十二、十三及十四。

电工基础实验指导书

张立本主编

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号K150.0·1133 开本850×1168^{1/32} 印张5^{3/8}

字数140,000 印数0,001—3,400 定价(8)¥0.75

1964年2月第1版 1964年2月北京第1次印刷

序

电工基础实验是电工基础课程的实践性教学环节之一，它应该起着巩固理论、联系实际及培养实验技能的作用。现在国内已编写并出版了两种电工基础试用教科书，本指导书的编写是希望能够在实验方面配合试用教科书，以满足教学上的需要。

本指导书的内容是以1962年5月审定的“电工基础教学大纲”(试行草案)所规定的实验内容为依据，并且吸收了国内许多高等工业学校在电工基础实验方面比较成熟的经验与特色。因为各兄弟院校在实验安排上不尽相同，实验室的设备与条件也难得一致，为了顾及通用性的要求，本指导书在取材上尽可能广泛些，并在安排上尽可能有较大的灵活性。书中所列的实验，并不需要每个都做，因为书中所包含的实验数量超过了在按教学计划分配的实验时数内所应完成的实验数量。使用者可以根据专业的性质，结合所采用的教材和实验室的具体条件，选择其中一部分进行之。

本指导书中的实验项目，是按照线性直流电路、非线性直流电路、线性交流电路、非线性交流电路、电磁场这样的先后次序编排的。至于实验的进行，则不一定要按照编排次序，可根据教学情况作灵活的安排。

书中所用的名词及符号，基本上符合一般电工基础教材及教学大纲所引用的名词及符号。但因各种教材所采用的一些名词未能完全统一，因而在遇到这些名词时常用括号注出，例如：四端网络的常数(四端网络的一般参数)、对应端(同名端)、矢量图(相量图)等。符号中的附标是采用英文字母标注的。

每个实验的“实验设备”栏中所列出的电路元件、仪表及其他

設備等，均未給出規格或標稱值，因為各校實驗室情況不同，故設備的規格和標稱值難於一致。在某些實驗后面的附注中列出了該實驗的元件及設備的數據，可供參考。

本指導書在編寫時，承蒙許多兄弟院校的電工基礎教研組提供資料及教學經驗，初稿草成后，又蒙各兄弟院校提供寶貴意見，編者謹表謝忱。

由於編者經驗不足及受條件、資料等的限制，書中難免還存在不夠完善及欠妥之處（這種缺點以電磁場部分最為突出），只好待將來條件成熟后再行增補與加強。書中不妥之處，尚希各兄弟院校師生們指正。

編者 1963 年 7 月

目 录

序	v
、电工基础实验课前指导	1
电工基础实验示范	8
实验一、电路电位图的研究	28
实验二、叠加原理及等效发电机定理的研究	32
实验三、直流无源四端网络的研究	36
实验四、非线性电阻电路伏安特性的研究	40
实验五、稳压管电路的研究	43
实验六、含有非线性电阻元件的电桥的研究	47
实验七、交流电路的基本测量	52
实验八、交流无源四端网络的研究	57
实验九、 r, L, C 串联电路共振的研究	61
实验十、并联电路的共振与功率因数的提高	67
实验十一、两个感应耦合线圈及其组成电路的研究	72
实验十二、三相电路的电压与电流的研究	76
实验十三、三相电路功率的测量	81
实验十四、非正弦周期电流电路的研究	84
实验十五、含有电容器的电路充电放电过渡过程的研究	88
实验十六、铁芯线圈的研究	95
实验十七、具有恒定励磁的铁芯线圈的研究	100
实验十八、具有铁芯线圈的电路共振现象的研究	105
实验十九、张弛振荡的研究	110
实验二十、傳輸綫上电压分布的研究	114
实验二十一、多导体系统的静电感应系数、部分电容及电位系数的测定	118
实验二十二、两綫輸电綫靜電場的造型	124
实验二十三、接地电阻的研究	128
实验二十四、磁感应矢量的环量	132
实验二十五、螺管綫圈軸綫上磁場的分佈	137
实验二十六、恒定磁通磁路的研究	142

实验二十七、电机磁场的造型.....	146
实验二十八、两圆形线圈互感的研究.....	150
实验二十九、两线圈间电磁力的研究.....	155
附录一 电路图符号表.....	158
附录二 关于常用仪器设备的说明.....	161

电工基础实验课前指导

一、实验的重要意义

实验是研究自然科学的极为重要的环节。我们知道，科学理论的建立与发展，是以大量的经验材料为依据的。这些经验材料，一方面是人们从生产实践中积累起来的，另一方面则是通过实验而获得的。当然，也有许多科学理论是从既有的定律经过逻辑推理或数学推导得到的，然而那些既有的定律，仍旧是建立在经验材料的基础上的。并且，经过推理或推导所得的科学理论，还需要通过进一步的实践或实验来验证，才能予以肯定。实验作为科学研究中获得经验材料与验证原理的方法之一，其重要性是不言而喻的。

在电工基础的教学，中，实验课程是实践性教学环节之一，是基本训练的重要组成部分。它的设置是符合把实验作为科学研究的重要手段这一要求的。当然，它还需要结合教学要求的特点。因此，在电工基础教学中，实验课程的作用主要是：

1. 巩固课堂所讲授的理论。通过实验以及对现象的观察能增强感性认识，并且在理论的验证中能更牢固地掌握基本知识。
2. 进行实验技巧的训练。对一般常用仪表设备，要求能正确并较熟练地使用和操作，逐步地为使用精密与灵敏的仪器以及进行复杂的实验打下基础。
3. 培养理论联系实际的作用，树立重视实践的观点，为将来根据科学研究或实际工作的需要而进行实验研究打下初步基础。

二、对实验课的一般指示

实验课应起的作用已如上述，为了使这些作用奏效，必须树立

认真对待实验的态度。只有重视实验,重视理论联系实际,使实验在一定的要求下进行,方能收到良好的效果。实验技能对实验的成败有着直接的关系,并且对今后的实际工作影响深远,因而有必要对实验技能提出一定的要求,并逐步通过实验课来加强训练与培养。遵照教学大纲的指示,下列几方面的要求是应该达到的:

1. 对于常用的电工仪表,要求能够进行选择、调整与熟练使用。对于实验中所用到的精密及灵敏的仪器、仪表的使用方法和注意事项,能够一般地掌握。对电子仪器的性能和它们的使用方法,能够初步地了解。对于常用的控制和调节设备,要能进行选择并熟练地使用。对仪器设备及元件的各种额定值也要求加以了解。

2. 要求能够正确地联接电路,合理地安排仪器与布线,并掌握检查电路、找寻故障与处理故障的方法。对人身及设备的安全和防护设施也要求能掌握。

3. 要求掌握观察实验现象以及读取、选择与检查数据的方法。明了有效数字的概念。对实验报告的编写,工程曲线的绘制,坐标尺度的选择,实验结果的分析与计算等,要能正确进行。

每一个实验课题,从准备工作开始经过在实验室进行实验直到提出报告为止,才算最后完成。遵循一定的程序,符合一定的要求,是使实验有良好的收获与成效的重要条件。现对实验课中的预习、实验室工作的进行及报告的编写等提出一般要求。

1. 预习

实验能否进行得顺利,能否得到预期的结果,在很大程度上取决于预习是否充分。预习时首先要仔细阅读指导书,复习有关的理论,明确实验目的和要求,很好地了解实验原理与实验方法。在此基础上,简要地写一份预习报告。预习报告一般应包括:(1)实验的主要任务,(2)实验设备,(3)所需测量的物理量,并列出发记录

表格。在必要时应列入实验电路图及实验中应特别注意的事项。如果实验还要求事先计算与设计,则也应在预习报告中完成。

2. 实验室工作的进行

良好的工作方法与操作程序,是使实验工作进行得顺利、有效而安全的要素。进行实验工作时,实验者自始至终要精神贯注,仔细而冷静。任何草率与急躁,都可能导致损失与失败。在实验室的工作中,应注意下列几点:

(1) 仪表设备的配备与检查

每次实验开始时,应把实验中所需用的仪表设备配齐,并检查其类型及量程是否合用。有些仪表还要检查其指针是否在零点位置。所使用的仪表设备的编号,应一一登记在记录纸上。

(2) 连接电路

首先应该把仪表和设备布置得便于操作和读取数据,然后进行接线。接线时,宜按照电路图先接主要串联电路(由电源的一端开始,顺次而行,再回到电源的另一端),然后再连接分支电路。主次不分的情况是容易发生错误的。遇到较复杂电路时,可以把电路分成几个较简单的组成部分,先把各组成部分分别连接好,再按次序把这些组成部分连接成最后的电路。接头应足够紧密。仪表设备的放置,要注意避免可能发生的相互影响(如磁场影响等)。接线完成后必须检查一遍,如有错误,应立即纠正。

电路与电源的接通,实验的实际操作与测量,是在电路接妥、检查无误后进行的。

(3) 设备的操作与数据的记录

实验设备的操作,要在了解设备性能及使用方法后进行,这样才能使设备运行得正常,实验进行得顺利。数据应记录在事先准备好的表格中,零乱与无序的记录常常是造成错误与失败的原因。在许多情况下,为了减少误差,往往需要重复实验并重新读取数

据。有时在操作中或在讀数与記錄中,需要适当的分工与合作。

当需要把讀数繪成曲綫时,讀数的多少和分布情况,应以足够描繪一条光滑而完整的曲綫为准则。讀数的分布可随曲綫的曲率而异。在曲率較大处应多讀几点,在曲率較小处則可少讀几点。讀取数据后,可先把曲綫粗略地描繪一下,如发现有不足之处,就应进行补讀。

电路应在檢查記錄数据沒有遺漏或沒有不合理的情况后才予以拆除,以便在必要时补遺或修正。

(4) 人身与设备的安全

在实验过程中,应随时注意安全,避免造成危险与不必要的损失。当电路接通电源后,千万不可用手触及带电部分。改接或拆除电路时,必須先把电源断开。即使在电压較低时也需要这样做,借以养成良好的习惯。当有不正常现象或事故发生时,应首先切断电源,然后再进行檢查。使用仪表设备时,切忌違反使用方法,尤需注意不得超过仪表设备的标称值。电路拆除后,仪表设备应归放原处。

3. 实验报告

实验报告应在整理与計算实验記錄的基础上写出。报告的主要内容应包括:(1)实验目的;(2)实验任务;(3)所使用的实验设备及其规格、型号与编号等(其中尤其需要注意仪表的量程);(4)电路图;(5)经过整理的數據及計算結果(列成表格);(6)矢量(相量)图及曲綫图等;(7)結論与討論。在有些情况下,还应把实验原理的簡述、实验的设计及計算公式等列入。

繪制矢量(相量)图与曲綫图时,要求整洁匀称,并注明名称。曲綫图应繪在方格紙上,曲綫图的坐标軸,其交点并不一定是(0, 0)点,坐标軸上应注明所代表的物理量的符号。比例尺的选取,应以便于数据的表示及計算,并便于插入其他数值为原则。坐标軸

上必須注明单位,每隔数格应标出一数量,每格所代表的数量宜取1、2、5、10,或其倍数。实验数据需在坐标紙上用“○”、“×”、“△”等符号标出。连接曲线时应使曲线光滑,而不必强使它通过所有的点子;未被曲线所通过的点子,应大致均匀地分布在曲线的两侧。

还須指出,有关测量与計算的准确度問題,是值得我們注意的,現簡略闡述如下:

1. 誤差

由于测量仪表本身的限制与观察上的出入以及其他偶然的影响,量度上的誤差是难以避免的。这些誤差可依靠人为的办法使之尽可能减小。在同一条件下,对同一测量对象可进行多次测量并取其平均值:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + \cdots + N_k}{k},$$

則此平均值被认为是比較接近于真实值的。这就是我們在許多情況下往往要进行多次测量的理由。

每一次的测量值与平均值之差的絕對值,即为該次测量的絕對誤差。如进行 k 次测量,則絕對誤差分別为 $\Delta N_1 = |N_1 - N|$ 、 $\Delta N_2 = |N_2 - N|$ 、 $\cdots \Delta N_k = |N_k - N|$,而其平均絕對誤差为

$$\Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \cdots + \Delta N_k}{k}.$$

測量結果可記为 $N \pm \Delta N$ 。当被测的量有公认值时,則 $\Delta N = \text{公认值} - \text{平均值}$ 。

$\frac{\Delta N}{N}$ 叫做平均相对誤差,实验的准确程度是用相对誤差来表示的。

測量中誤差的发生,往往涉及仪表量程的选择。如量程小于被测量的量,則不但得不到讀数,且有损伤仪表的危險。但是,量

程也不宜太大,否則所得的讀数可能誤差很大。事实上,仪表准确度的級数,等于最大絕對誤差除以仪表量程的百分数的絕對值,而此最大絕對誤差可能发生在取得讀数的点上。例如对量程为1安、准确度为1級的安培計而言,其最大絕對誤差为 $\pm \frac{1 \times 1}{100} = \pm 0.01$ 安,如果用它測量0.1安的电流,則在0.1安刻度处的絕對誤差有可能为0.01安,因而相对誤差就可能是 $\pm \frac{0.01}{0.1} = \pm 10\%$ 了。这样大的誤差,显然是不相宜的。

一般說来,对刻度均匀的仪表,在选择量程时,应注意到指針所指的刻度不宜小于其最大刻度的30%;对刻度不均匀的仪表,則不宜小于40%。

2. 有效数字

在許多情况下,被測的量通过测量仪表的指示而表現其大小时,仪表上的指示点的位置并不恰好与仪表刻度符合,这就需要利用估計法来帮忙。估計法就是在仪表刻度的最小分度下,再凭目力和經驗来估計一位数字。这个估計出来的数字称为欠准数字。超过一位欠准数字的估計是没有什么意义的。

在实验数据的记录中,有效数字是包括而且仅包括一位由估計而得的欠准数字的。在记录有效数字时应注意下列几点:

(1)有效数字的位数与小数点无关,例如4567与45.67都是四位有效数字。

(2)“零”在数字之間或数字之末,算作有效数字,在数字之前不算是有效数字。例如:1.02, 3.04, 500都是三位有效数字,而0.012只有二位有效数字。4.50和4.5的意义不同,前者中的5是准确数字,0是欠准数字,而后者中的5为欠准数字,所以在4.50中的0字不可省略。

(3)遇有大数字或小数字时,有效数字的記法如下: 4.6×10^3 ,

4.60×10^3 ，分别为二位及三位有效数字，不可认为具有同一准确度。小的数字如 0.0046 可写作 4.6×10^{-3} 。

以有效数字进行运算时，其运算结果的记法，根据有效数字的定义有下列两个基本原则：

(1) 只保留一位欠准数字；

(2) 去掉第二位欠准数字时要用四舍五入法。

几个数相加或相减，其最后的得数在小数点以后的位数，应保留与该几个数中小数点后位数最少的一个相同的位数，例如 $11.22 + 33.4 = 44.6$ 。几个数字相乘除时，其最后得数只需要保留与该几个数中位数最少的一个相同的位数，但有时需要多保留一位，有时需要少保留一位，例如 $44.01 \times 2.11 = 92.9$ 及 $2.537 \times 6.33 = 16.07$ 。保留更多的位数不但毫无意义，而且会使人们对实验的准确程度作过高的估计，这也是不许可的。

电工基础实验示范

在电工基础实验课前指导中，已对实验工作的一些重要方面作了指导性的说明。这里以实验示范的方式使学生加深对实验课前指导内容的印象。

下面布置了两个实验示例。第一个示例着重说明电工实验中常用仪表与设备的使用及操作，实验的工作程序，报告的编写及曲线的绘制等；而第二个则作为在实验中进一步独立工作的示例，希望通过此例以示其梗概。必须说明，布置这两个实验示例的用意，是希望增进学生对实验工作的了解，当然，只有在结合学生的具体情况后，这种做法才是有意义的。所以，对于初次接触电工实验或缺乏实验工作经验的学生而言，熟悉基本技能应当是主要的要求，而第一个实验示例就是适合这个需要的。至于第二个示例，则宜在学生对实验工作有一定基础后再行选用或由学生自行阅读。还须说明，这两个实验虽然是供示范之用，但仍宜以灵活的方式进行，即既可以采取由教师解说与演示的方式进行，也可以采取教师讲解与学生动手相结合的方式。

例一 电阻元件的串联与并联。两线直流输电线的传输特性

一、实验目的

1. 通过实验研究电阻元件串联、并联时的等值电阻以及各元件上电压和各元件中电流分配的比率。
2. 用实验方法研究两线直流输电线的传输特性。

3. 学习常用电工仪表及设备的使用方法, 练习基本实验技能及工程曲线的绘制等。

二、原理与说明

1. 几个电阻元件串联时, 通过各元件的电流是相同的, 串联后的等值电阻等于各串联元件电阻之和, 各元件两端的电压正比于各元件的电阻值。

几个电阻元件并联时, 各元件两端的电压是相同的, 并联后的等值电导等于各并联元件电导之和, 通过各元件的电流正比于各元件的电导值。

2. 在本实验中我们研究三个电阻元件的串联与并联。首先, 必须把所研究的三个电阻元件的电阻值及电导值分别测出。图0-1表示进行测定的电路图。

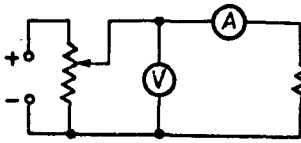


图 0-1.

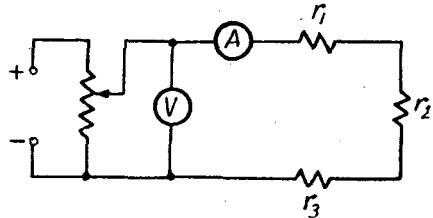


图 0-2.

在研究三个电阻元件的串联时, 可采用图 0-2 所示的电路图。供测量电流用的安培计串联于电路中, 测量电压时必须把伏特计与被测部分相并联。如果用一只伏特计对各元件两端的电压及电路外加电压进行测量, 可利用接于伏特计两端上的测量棒, 把测量棒接触于被测元件的两端后再行读数。图 0-2 中示出了测量外加电压时伏特计的位置。为了减小误差及保护仪表, 必须适当地选择仪表的量程, 尤其是用同一多量程的伏特计来测量电路外加电压及各元件的端电压时, 须随时注意改变量程。还须指出, 直流安培计与伏特计的极性必须连接正确。为了使外加电压便于调节到

所需要的大小,可用滑线电阻接成电位器的形式,这种接法在以后的实验中是经常用到的。

在研究三个电阻元件的并联时,可采用图 0-3 所示的电路。借变阻器的调节可把输入并联部分的总电流调到所需要的大小。为了便于用同一安培计进行测量,可在各支路中接入电流插口;与

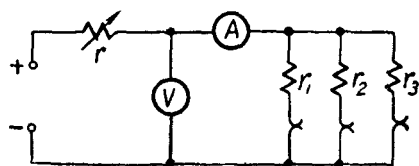


图 0-3.

此相应,安培计上则接以电流插头。图中示出了测量总电流时安培计的位置。显然,用同一个多量程的安培计进行测量时,应随时注意改变量程。

3. 输电线是传输电能的设备,本实验中所研究的是两线直流输电线。在输电线较短而电压又较低的情况下,可略去两线间的漏电导而把沿线分布的导线电阻用集中电阻 r_l (输电线电阻) 来代表。这样,输电线电路就可以用集中参数的电路来表示(图 0-4)。输电线始端的电压通常保持恒定,但负载则常随使用情况而改变,这就使我们有研究输电线的各种传输特性的必要,这些特性是指在输电线始端电压 U_1 不变时的 U_2-I 特性、 $\Delta U-I$ 特性、 $\varepsilon-I$

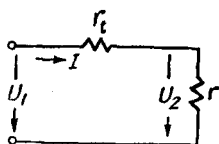


图 0-4.

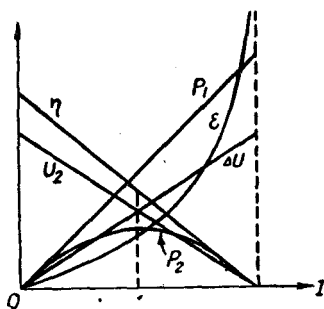


图 0-5.

特性、 P_1-I 特性、 P_2-I 特性及 $\eta-I$ 特性等。其中 I 是输电线路电流， U_2 是输电线路末端的电压， $\Delta U(=U_1-U_2)$ 是输电线路的电压损失， $s(=\frac{\Delta U}{U_2})$ 是输电线路的相对电压损失， $P_1(=U_1I)$ 是输电线路的输入功率， $P_2(=U_2I)$ 是输电线路的输出功率， $\eta(=\frac{P_2}{P_1})$ 是输电线路的传输效率。在理论分析中曾给出了这些特性的图形表示 (图 0-5)。

4. 在实验中，我们利用集中参数的电路代替输电线路电路来进行研究，其电路图如图 0-6 所示，其中以固定电阻 r_l 作为输电线路电阻，而以变阻器作为负载。 U_1 及 U_2 由两个伏特计分别量出，负载电流则由安培计量出。根据这些测量值并经过计算就可分别求得 ΔU 、 s 、 P_1 、 P_2 及 η 。利用开关 K 及变阻器的调节可使输电线路电流在 0 到短路电流 I_s 之间作一系列的改变。在电流值 $I=\frac{I_s}{2}$ 及其左右时应多测几点，以便研究负载吸收最大功率的情况。

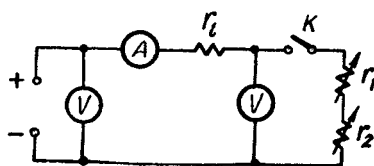


图 0-6.

三、任务与步骤

1. 测定三个电阻元件各自的电阻值及电导值。
2. 对三个电阻元件串联时的等值电阻以及各元件上电压的分配等进行实验研究。借电位器的调节改变外加电压三次，分别作出在每个外加电压值下的实验结果，并根据所给的电路作理论计算，然后与实验结果相比较。
3. 对三个电阻元件并联时的等值电导以及流过各元件的电流的分配等进行实验研究。借变阻器的调节改变输入电流三次，作