

武汉理工大学

电工实验指导书

2024-03

目录

电工实验须知	1
实验的基本知识	3
实验一 基本电参数测量与叠加定理实验.....	7
实验二 正弦稳态交流电路测试.....	13
实验三 三相电路电压、电流及相序测量.....	错误! 未定义书签。
仪器仪表简介	18

电工实验须知

一、电工实验课的目的

电工实验，是电工原理课程教学内容的延伸和加强。在电子电气设备广泛应用的前提下，对于每一个大学生，具备一定电工电子基本知识和应用能力是必不可少的。因此，电工实验教学是按照理论教学的要求，根据教学实际情况所开设的重点技术基础实验课程，包括电工理论知识的巩固与扩展、实验仪器的使用、实验方法的掌握、实验操作习惯的培养等，对后续实践课程的学习起到至关重要的作用，因此希望同学们对电工实验课程给予足够的重视。

学生通过该实验课程的学习，应掌握基本的实践技能，培养动手实验、观察分析和解决问题的能力；同时培养实事求是的科学态度和科学的思维方法，为今后的实践和相关研究打下基础。

学生通过电工实验课程，应掌握以下几方面知识和技能：

1. 电工实验的基本常识，培养实验操作的规范化，懂得安全用电的一般常识。
2. 能够熟练掌握基本的仪器、仪表的使用方法，如万用表、毫伏表、示波器、信号发生器等。
3. 熟练掌握电工中电参数的测量技术。
4. 能够根据实验需要，正确选择电路原件，按电路图正确接线和检查线路，分析并排除线路中的简单故障。
5. 验证、巩固并加深理解电工基础课程中的基本概念和基本定律。

二、电工实验课的要求

1. 课前预习和准备工作

实验能够顺利进行并取得预期的效果，在很大程度上取决于课前的预习准备是否充分，同学们应在实验前完成以下工作：

(1) 认真阅读实验教程，明确实验目的，同学们应根据实验目的，明确自己应如何开展自己的实验工作。

(2) 理解实验原理，熟悉实验电路、内容、步骤。必要时对预期的实验结果进行理论分析和计算，做到心中有数，以便在实验中及时发现与纠正错误，为顺利进行实验做好准备。

(3) 留意实验中的相关提示和注意事项。实验中的提示是对实验操作中难点的解释，或者对实验方法的补充说明。而注意事项是电工实验中特别强调的操作规程，一定要引起同学们的高度重视并必须严格遵守，否则可能会造成实验失败甚至严重的实验安全事故。

(4) 按照要求的格式完成预习报告，包括实验目的、实验原理、实验设备、原理图、实验电路图、实验操作步骤等，并完成实验指导书中布置的相关思考题。思考题一般是对实验相关操作或者数据处理提出的问题，同学们应认真完成。

(5) 做好数据记录表格等准备工作，准备好直尺、铅笔、坐标纸等文具。

(6) 参考相关实验教学课件和教学视频，对实验难点和重点做到心中有数。

2. 实验课上课流程

(1) 登录电工电子实验中心网站，根据要求进行实验预约，根据预约实验项目做好相关预习工作。

(2) 携带电工实验指导书、已完成的实验预习报告和校园卡，严格按照预约时间提前十分钟到教室，在获得实验老师允许后刷卡进入，按照所分配实验台位号入座，检查和熟悉本实验所用到的实验元器件和相关仪表、仪器。

(3) 在规定时间内，按照操作要求和步骤进行实验操作，完成数据记录，同时完成相关数据处理和分析，并做出实验总结。

(4) 完成并检查完实验报告后，将电源切断，拆除线路，将实验元件和设备按要求摆放整齐，做好实验台的清洁工作，之后经老师检查通过，将实验报告交由相应班级的报告箱内，之后刷卡离开教室。

3. 实验课课堂规范

(1) 线路连接应严格按照给定的实验电路图，遵照先串联然后并联的原则，同时还要考虑元器件以及仪表的极性，考虑参考方向及公共参考点等与电路图的对应位置。连线过程中注意保证各连接点接触良好，连接松紧适度，不要用力过度而损坏导线。连线结束后对照电路图认真检查，这一步是保证实验顺利进行及防止事故发生的重要措施，同事可以提高实际电路的认知能力。

(2) 电工实验中应时刻注意操作安全，做到以下几点：

①实验前应检查电源、导线及设备是否安全。

②“源”输出幅度的调整。接通电源前，保证“源”——特别是带有功率输出信号源的输出幅度为零。接通电源后，逐渐增大电压或者电流的幅度。

③实验过程中注意观察各仪表的显示是否正常，量程是否合适，负载工作是否正常，电路有无异常现象，如冒烟、响声、异味等。如有异常，应立即切断电源并仔细检查事故发生的原因，同时报告老师。

④严禁带电操作。在连接、改变或者拆除电路前，必须切断电源，坚决不允许带电操作。不得用手触及电路中的裸露部分，培养单手操作的习惯。

(3) 进行实验数据测量时，先进行粗测，观察数据的变化与分布规律及结果是否合理，进行必要的调整后，再进行正式的操作和数据的记录。记录数据可以根据其变化的快慢而定，变化较快或者剧烈处可以多取几组数据，以保证数据能够全面记录实验对象的变化规律。有效数字的取舍应根据实验数据的数量级与仪表的量程等实际情况综合考虑。

4. 实验报告要求

(1) 必须严格按照给定的报告书格式完成。

(2) 最终上交的实验报告中，专业班级、姓名等个人信息必须填写完整。

(3) 保持页面整洁，合理安排文字布局，原理图和实验电路图以及表格必须使用直尺绘制，数据处理中绘制的曲线图要和实验数据吻合，曲线应有坐标、单位、曲线名。曲线应光滑，能反映测量结果的特性。

(4) 实验过程中测有大量数据，有些是真实的，有些是不真实的，需认真分析原因。

(5) 计算题要有计算步骤、解题过程。要有具体数据带入公式进行计算，不能只写结果。

(6) 实验总结要建立在实际测量结果和误差分析上，要有自己的理解，不能过于简单，不能抄袭。

实验的基本知识

电工实验课主要是使用电路基本元器件，连接完成某种任务的实验电路，并利用电子仪器仪表等工具进行测量，取得预期结果、达到实验目的。

一、动力电源与用电安全措施

实验室为用电设备等提供的动力电源，都是来自市电——交流 380V/50Hz 或 220V/50Hz，因此在进入实验室进行操作实验之前，应对实验室的配电情况有所了解，做到正确操作、安全用电。

1. 实验室的动力电源

实验室的动力直接由配电室供给。配电系统如图 1 所示。交流三相动力电源的始端 A、B、C 称为端线或“相线”，分别用红、黄、绿颜色的导线由配电室引入实验室。三相电源的末端 X、Y、Z 连接在一起，形成一个公共点 N 称为中性点，在变电所被埋入大地，并在配电室再次与大地相连接，称为“零线”。

交流三相电源 A、B、C 间的电压是 380V，称为线电压，电源 A、B、C 与中性点 N 之间的电压是 220V，称为相电压。为了消除三相负载不平衡而造成中性点的位移，通常采用三相四线制的星型（有时也称为“Y”形）联结方式。

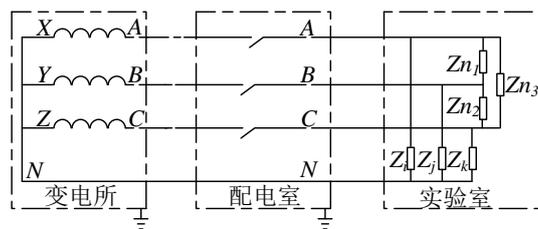


图 1 配电系统图

2. 保护地的作用

(1) 零线与地线的区别

由图 1 可知，零线是电路的一部分，与相线以及用电器构成闭合回路，零线电流是三相相线电流的相量和，一般情况不为 0；地线不与任何供电部分构成回路，只与用电设备的外壳相连接，提供一个与大地相同的电位，正常情况下电压电流均为 0。

值得注意的是零线电压虽然为 0，但不能作为电路的参考点；而地线则是交流电路系统的零电位参考点。在同一电路图中，两者不能用相同的电路符号。实际操作过程中，严禁将两者连接在一起，否则会造成安全事故。

(2) 地线的作用

地线在实验室供电系统中有着重要的作用：①为操作者提供零电位测量参考点；②为电路系统抗高频干扰提供屏蔽作用；③供电线路发生漏电时，通过漏电保护器自动切断电源，保证安全，避免意外发生。因此地线也称为保护地线。

3. 安全用电

安全用电是实验课中始终要注意的一个重要问题。实验中一定要确保人身安全和仪器设备的安全。

实验室的供电电压已经超出了 36V 的安全电压范围。当人体直接接触动力电的相线时，就会遭到电击

或被电灼伤，严重时危及生命。

电工实验课中，应留意所用仪器电源线有无破损；使用电烙铁进行焊接时，应将电烙铁远离所有电源线等物体，避免烧破绝缘皮层造成漏电伤人以及引起火灾等事故的发生；但也不能胆怯的对如合闸等为仪器供电的操作都不敢做，应当相信有绝缘措施的用电装置是安全的。

实验操作时，严格按照用电安全规则操作。接线与改线或拆线都必须切断电源。这不仅对使用动力电时的要求，对于 36V 以下的弱电实验也应如此。因为虽然此时对人身无危险，但带电操作会使实验中的元器件损坏。应养成“先接线后通电，先断电后拆线”的良好习惯。

每台仪器只有在额定电压下才能正常工作。当电压过高或过低时都会影响仪器的正常工作，甚至烧毁仪器。

另外还应注意仪器的用电性质，是交流电还是直流电，不能用错。若用直流供电，除电压幅度要满足要求外，还要注意电源的正、负极性。

二、电路的测量

1. 测量的意义

测量的目的是要对客观事物获得定量的信息，无论在日常生活中还是科学研究过程中都要进行各种测量。测量是从事社会活动及科学实验的必备技能。电路实验课也同样离不开对各种电量的测量，如电路是否正常、实验结果的取得、系统能否满足设计要求、故障的检查等都是通过测量手段来实现的。因此掌握正确的测量方法及手段，是从事科学技术研究工作最基本的实践能力。

2. 测量的范围

测量分为直接测量和间接测量两种。凡是使用测量仪器能直接得出结果的测量都是直接测量，如电路实验中用电流表或电压表来测量电路的电流或电压，用示波器测量电路波形的瞬时值等；而间接测量是要先直接测量另外一些相关的量，然后通过这些量之间的内在关系经过数学运算来得到结果，如交流阻抗参数的测量，可通过测量电路的电流、电压、电功率后，经过计算而得到。显然，直接测量是间接测量的基础。直接测量是电路实验中的基本测量。

电路实验的测量大致包括以下几个方面：

(1) 元器件参数的测量，如电阻器的电阻值、电容器的电容值、电感器的电感值等，这些参数可以通过直接测量获取，也可以通过间接测量来得到结果。

(2) 电路参数的测量，如电流、电压、功率、频率、相位等的测量。

(3) 系统参数的测量，如网络的输入阻抗、输出阻抗、网络函数等。这些只能用间接测量来获得。

3. 测量误差与数据处理

(1) 测量误差

用仪器测量一个物理量而得到的测量值与被测物理量的真值之间总是存在一定差别的，称之为测量误差。测量误差是不可避免的，只能通过仪器性能的改善、测量技术的提高等手段来减小。判断一个有效测量结果的优劣，可用测量误差来衡量。

设被测物理量的真实值为 A_0 ，仪器测得的测量值为 x ，则绝对误差 Δx 定义为 $\Delta x = x - A_0$ ，由于真值 A_0 通常是无法得知的，一般用更高一级的标准仪器的测量值或是用理论值来代替，设该代替值为 A ，则绝对

误差为:

$$\Delta x = x - A$$

绝对误差与真值之比, 并以百分数表示, 定义为相对误差, 即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

虽然绝对误差能够直接给出测量结果误差的大小, 但却不能反应对测量结果的影响程度, 而相对误差则可很好的解决了此问题。例如: 在测 1V 电压时的误差是 0.02V, 测 10V 电压时的误差是 0.2V, 两电压的绝对误差相差 10 倍, 而两者的相对误差却是一样的, 即两者的测量效果是相同的。因此, 不论是电子测量, 还是其他方面的测量, 对误差进行度量时, 通常采用相对误差。

(2) 减小误差的途径

进行有效而可靠的测量, 只有将误差控制在一定的范围内, 才能满足测量精度的要求。所谓精度(即精确度或准确度)是指测量的指示值与实际值之间的一致程度。在给定实验仪器的条件下, 应从以下方面减小误差来提高测量精度。

①合理选择量程与正确使用仪表

仪表的精度等级是由引用误差来标明的。例如某仪表在规定的使用条件下, 其最大绝对误差范围为最大量程(满刻度值)的 $\pm 0.5\%$, 用这个引用误差百分数的分子作为该仪表精度等级, 即该仪表的精度是 0.5 级。虽然有引用误差, 但它不是该仪表在实际测量中出现的误差, 仪表的最大绝对误差与其量程成正比。因此在不超出量程的情况下, 选择的量程越小, 测量精度越高。这样当指针在偏转过刻度盘的 2/3 以上位置时, 测量才更准确。

同等级的仪表在测量同一个量时, 会出现不同的误差, 严重时两表误差正负异号; 指针式仪表与数字式仪表混用时, 也会加大误差值。在实际测量过程中, 同一组数据应当用同一个仪表来测量, 以消除附加的误差。例如某些电压源、电流源等仪器, 自身带有电压表或电流表, 这些仪表的显示值与操作者在实验中所测的其他电压或电流值, 是使用两个仪表测量的值, 不应作为同一组数据来处理。另外, 一些仪表使用时的放置方式对测量误差也是有影响的, 如立式仪表在卧式使用时测量误差可能会增大, 因而在使用仪表时应注意该仪表是立式使用还是卧式使用, 不要用错。

②合理选择测试电路与适当选择元器件的参数

测量仪器的接入对被测电路会产生一定的影响, 根据电路结构及仪器特性的不同, 将测量仪器合理地接入电路, 可有效地降低测量误差。如在测量电阻的伏安特性时, 应根据电阻的大小来确定电流表与电压表的相对位置。

在研究电路特性时, 需要对元器件的参数进行调整, 如对电阻值或电容值的调整(由于制作的原因, 电感值的调整范围很有限), 应选择电阻值使电路的输入电阻(或阻抗)远大于信号源的输出内阻, 选择电容值使电路的输出阻抗远小于测试仪器的输入阻抗。

③正确读取数据

当使用模拟式仪表进行测量时, 测量结果通常是用刻度给出的, 因此在读取数据时, 首先要姿势正确: 正面观测仪表, 视线应垂直于刻度盘; 弄清每分格所代表的量值, 根据有效数位确定估读分格的数位, 然后直接读出所测的电量值。使用数字仪表时, 有效数字的位数要体现在每个测量数据中。如用数字万用表

测量电压时，无论 mV 级还是 V 级，仪表均显示 3 位半或 4 位半数字，记录数据时，应根据有效数位，将多余的效位舍去。这样既保证了测量精度，又节省了时间，数据也显得整齐。

实验中记录数据和处理数据应注意以下几点：①测量数据除末尾数字是估读数字外，其他位数应为确定值，即保留一位欠准数字。②采用仪表的同一量程测量时，小数点后的有效位数相同。有时测量数据为整数，例如测得电压值为 6.0V，0 不能省略，此时的有效位数为 2。③遇到较大数值和较小数值时，应采用 10 的幂次方记数，如 640000，如小数点后要求一位小数，则应记为 6.4×10^5 ；如 0.00357A，应记为 $3.57 \times 10^{-3}A$ 或者 3.57mA。④当有效位数确定后，需根据数据的舍入原则统一有效位数，现在比较科学的计数保留法为“四舍六入五成双”即“小于五舍去，大于五进一，等于五时取偶数”。等于 5 时，前一位为偶数时，则不变；前一位为奇数时，则加 1；如 9.45，取两位有效数字则记为 9.4；如 9.35，则应记为 9.4。⑤作加减运算时，结果所保留小数点后的位数应与各数中小数点后位数最少的相同。⑥作乘法运算时，结果保留的有效位数应与各数中有效位数最少的为准。⑦表示误差时，一般取两位有效数字，如 3.5%。

(3) 数据处理

电路实验中的数据处理有以下几方面：

①间接量的测量精度

除了在记录原始数据中应保持相同的有效位数外，还要求实验后整理实验数据时，重新统一有效数据位，将多余位舍去，不足位补齐。例如，记录数据中可能遇到整数，如测量结果为 5，在整理数据时应根据精度要求补齐数位记为 5.0，尽管两者的数值相同，但其测量精度却相差了一个数量级。有了统一精度的直接测量数据后，根据间接测量与直接测量之间的内在关系，通过特定的数学运算，即可得到间接测量数据。这时应通过有效数字的运算规则，确定间接测量数据的精度。

②测量结果的列表法与图示法

列表法是将测量结果以表格的形式记录下来。这一方法特别适用于原始数据的记录和处理。其优点是记录简便、快捷，可粗略地看出有关量之间的关系及变化规律。一般实验中使用的表格应在实验前准备好，表格应包括标题、各栏目中的自变量、因变量及各变量的物理单位。实验中自变量的取值应按由小到大或由大到小的顺序排列。

图示法是用坐标曲线的形式表示测量结果的一种方法，它比列表法更直观地显示出某种电路量的因果关系。它是在以表格形式记录原始数据的基础上，是撰写实验报告时经常使用的方法，用图示法表示的测量结果，一般是数据最终处理结果。

用曲线来表示电路的某种特性时，要特别注意坐标系的完备性，即标明坐标轴的方向、原点、刻度、变量和单位等反应曲线性质的相关信息。

电路实验中，当研究网络的频率特性时，由于频率的动态范围比较大，如研究一个适合入耳接收的音频滤波器的幅频特性时，频率变化范围约在 20-6500Hz 之间。若在横坐标轴上采取每一单位刻度代表 500Hz，则在 20-500 范围内曲线的变化无法清楚地描绘出来；而如果采取每一单位刻度代表 50Hz，则在频率较高的一段范围内，曲线又会不必要地被拉得很长，甚至无法显示曲线的全貌。频率轴采用对数取点就比较科学合理了，按对数规律刻度坐标轴，它能使低频段展宽而高频段压缩，这样在很宽的频率范围内也能将频率特性清晰地反映出来。

实验一 基本电参数测量与叠加定理实验

一、实验目的

1. 学习手持万用表和台式万用表的使用方法，掌握量程选择和正确读数的方法。
2. 掌握直流电源的使用方法。
3. 学习如何正确连接电路和排除故障。
4. 学习电流、电压和电阻的测量及误差分析。
5. 验证电位的相对性、电压的绝对性原理。
6. 验证基尔霍夫定律。
7. 验证叠加定理。

二、实验原理及说明

本实验主要是认知实验，既需了解基本知识，学会万用表和直流电源的使用，还需了解实验台的配置、九孔电路实验板的结构及插件式模块结构。



图 1.1 手持式万用表（禁止用于电流测量）



图 1.2 台式万用表

1. 电压、电位的测量

电路中电位的高低是以参考点的电位进行比较的，我们通常取参考点的电位为“零电位”。如果电路中某点的电位比参考点电位高，则该点电位为正；反之，该点电位为负。

在一个确定的闭合电路中，电位参考点可任意选取，各点的电位值随参考点的不同而改变，但电路中任意两点之间的电位差是不变的。即电位是一个相对量，而电压是一个绝对量。电位与电压之间的换算关系如下： $U_{AB} = \Phi_A - \Phi_B$ ，其中 Φ_A 和 Φ_B 是电路中 A 点和 B 点的电位。

采用万用表测量直流电压时（实验中采用手持万用表测量电压），首先让红黑两支表笔的插头端分别插入万用表的“V Ω ”插孔和“COM”插孔（如图 1.1 所示），再将功能选择开关的箭头置于直流电压档（根据估计电压大小选择合适的量程），表笔金属端与被测电压两端并联，读取数据即为所测电压值。

注意：①测量电源电压时，红色表笔接电源正极，黑色表笔接电源负极。

②测量电位时，黑色表笔接参考电位点，红色表笔接被测各点。

③测量电路元件两端电压时，按照电压的参考方向，红色表笔接高电位插孔，黑色表笔接低电

位插孔。若万用表显示负值，则表示实际电压方向与参考方向相反，记入数据时保留负号。

2. 电流的测量



图 1.3 电流插头

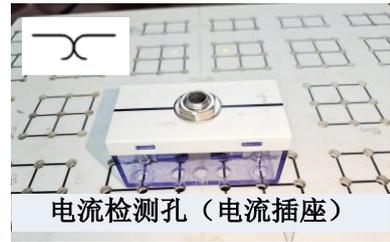


图 1.4 电流检测孔

测量电流时，需要将电流表串联入所需测量的支路中。实验中采用“电流插头”（如图 1.3 所示）结合“电流插座”（如图 1.4 所示，又叫“直流电流检测孔”）测量电流。图中的“ \times ”为电流插座的电路符号。测量电流时，首先将电流插头与电流表（实验中采用台式万用表测量电流，如图 1.2 所示）相接，要求将电流插头的红色导线与电流表正极端相接，黑色导线与电流表负极相接，再将电流插头插入串于测量支路中的电流插座（即间接将电流表串于电路中），读取数据即为所测电流值。

电路图 1.6 中的“ \times ”为电流插座的电路符号，表示此处需串联一个电流插座，连接电路时其正负方向与电路参考方向一致。

注意：①由于电流表内阻很小，因此不能将电流表或万用表的电流测量档直接与电压源并联。

②电流插座结构内部常出现接触不良，导致其为断开状态，故使用前需检查。

3. 电阻的测量

用数字万用表的欧姆挡(Ω 挡)可以测量电阻。测量时，将红黑两支表笔插头端分别插入万用表的“ $V\Omega$ ”插孔和“COM”插孔（如图 1.1 所示），再将功能选择开关的箭头置于欧姆挡的合适挡位，表笔金属端接在被测电阻两端，读取数据即为所测电阻值。

注意：①断电测量电阻值。测量电路中的电阻时，应先切断电源，如果电路中有电容元件，则应对电容进行放电，绝对不能在带电电路上用万用表测量电阻值，否则极易烧坏电表。

②被测电阻应从电路中分离出来。为保证测量的准确，测量电阻时，应将电阻单独分离出来进行测量，避免电路其他元件对测量结果造成影响。

4. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\sum I=0$ ；对任何一个闭合回路而言，应有 $\sum U=0$ 。

运用上述定律时必须注意各支路或闭合回路中电流的正方向，此方向可预先任意设定。

5. 故障处理

在实验过程中，经常会出现接触不良、导线内部焊点断开、元件损坏，严重时会有异味、冒烟等情况，一般处理步骤如下：

①关闭电源，检查线路是否正确，连接点是否可靠。

- ②检查电源值。
- ③根据故障现象和所学的理论知识，确定故障发生处。
- ④用万用表对疑似故障导线或元件单独检测，如可用蜂鸣测量档位检测导线的通断。
- ⑤接通电源，用万用表电压档依次测量电压，逐步缩小故障发生范围。
- ⑥问题解决后，方可进行实验。

当无法解决问题时，需咨询老师。

6. 九孔电路实验板

实验中常需将部分插件式模块插入九孔电路实验板上组成实验电路。九孔电路实验板的结构如图 1.5 所示。实验板中的黑线表示其内部已经接通，如每个田字格有九个孔，这九孔之间是导通的，相当于电路中的一个节点，但田字格之间、田字格与半田字格之间、田字格与两条单边线之间均为断开状态，注意每条单边线上的孔为导通状态。使用时选择合适的孔插入元件模块。

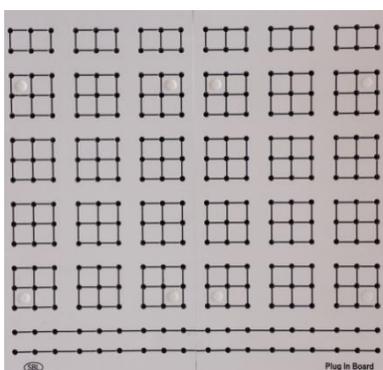


图 1.5 九孔电路实验板

7. 叠加定理

叠加定理指出：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。

研究线性电路的叠加性时，由于所求的叠加量是代数和，因此一定要用参考方向来判断实际电压与电流的正或负，实验中按电路图中的参考方向测量电压与电流，如测量值为负，则实际方向与参考方向相反，记录数据时保留负号。

在线性电路叠加定理的实验中，当测量某一电源单独作用产生的电压或电流时，其它电源应置零，即从电路中移去。因为实验中使用的电源一般是由电子元件组成的直流稳压源或直流稳流源，关掉电源后，它们将成为负载，且不满足理想电压源内阻为 0 及理想电流源内阻为无穷大的要求，所以置零电源时需要将移去电压源的支路短路，移去电流源的支路开路。

三、实验设备

直流电源	DP832/30V/3A	1 台
手持式万用表	UT39A/DC1000V	1 块
台式万用表	DM3058E/10A	1 台
实验元件	九孔电路实验板，插件式模块	1 套

四、实验内容

注意：本实验中一切指定参数以万用表测量值为准（如指定电压源输出的电压值，电流源输出的电流值），用手持式万用表测量电阻和电压值，用台式万用表测量电流值。

1. 电流插座的检测

用手持万用表蜂鸣测量挡位分别检测三个电流插座，如有响声，则电流插座接触完好，否则，需检修。

2. 电阻的测量

找到图 1.6a 电路中各个规格的电阻，将手持万用表的功能选择开关置于欧姆挡，测得各电阻的阻值，填入表 1.1 中。

注意：应分别测量各个电阻阻值，且测量时电阻必须保持独立状态，不得接入电源和电路。

表 1.1 电阻的测量

	R_1/Ω	R_2/Ω	R_3/Ω	R_4/Ω
标称值	510	1000	510	200
测量值				

3. 电压、电位的测量

如图 1.6a 所示，将通道 1 和通道 2 的电压输出值分别设定为 12V 和 15V，同时电流值设定为 0.2A 或大于 0.2A，按图 1.6a 连接线路，按下电源通道开关，观察该通道屏幕上显示的实际输出数值，在带载情况下用手持万用表测量电压源输出端口电压，继续微调输出设定值，使万用表示数稳定在 $12.00 \pm 0.02V$ 和 $15 \pm 0.02V$ ，此操作为电源带载后校准，弱电实验中必须完成，可使测量值更加准确。

连接线路时应注意以下几方面：

- (1) 注意元器件的摆放位置应便于连线和操作读数，做到心中有数。
- (2) 严格按照给定的实验电路图连线，不能凭空想象。
- (3) 电路中的电压源和电流源应先调整完成后，在断电的情况下接入电路。
- (4) 一般情况下，连线从电源正极出发，沿电路图顺时针方向回到电源负极。电路中存在并联支路时，按照先串联后并联的原则接线。对于单个元件，默认电流从红色端口流入，从黑色端口流出。对无方向标定的元件，则电流通常从左边端口流入，从右边端口流出。
- (5) 注意检查导线与插孔之间应接触良好。
- (6) 在确认连线正确后，才能接通稳压电源。

确定连线正确，尤其是电流插座的正负插孔必须和电路图中的参考方向保持一致。

接通电源，用黑表笔接图 1.6a 中的 A 点作为电位的参考点，用手持万用表测量 B、C、D 各点的电位值 Φ ，记入表 1.2 中。以 E 点作为参考点，重复上述测量，数据记入表 1.2 中。

用手持万用表测量电压 U_{BC} 、 U_{BD} 、 U_{CD} ，红表笔接下标第一个字母，黑表笔接下标第二个字母，数据记入表 1.2 中。

注意：①电源电压 12V 和 15V 需用万用表测量，不应直接读取电源本身的显示值。

②电源状态要始终保持为“CV”状态（即电压源状态）。

表 1.2 电位、电压的测量

电位参考点		Φ_B	Φ_C	Φ_D	U_{BC}	U_{BD}	U_{CD}
A	测量值/V						
E	测量值/V						

4. 电流的测量

实验中使用台式万用表测量电流。基本测量功能按键选择直流电流键，将电流插头分别插入三个电流检测孔，测量图 1.6a 电路中各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，手动调节量程，分别用 20mA 档和 2A 档各测一次，填入表 1.3，注意保留不同有效位数（20mA 四位，2A 三位）以显示出两者的区别。若万用表显示负号，应将负号保留。其中 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向已在图 1.6a 给定。

表 1.3 电流的测量

	I_1		I_2		I_3	
	20mA 档/mA	2A 档/A	20mA 档/mA	2A 档/A	20mA 档/mA	2A 档/A
测量值						

5. 线性电路的叠加性实验

线性电路叠加性实验按以下三步完成：

U_{S1} 与 U_{S2} 共同作用：如图 1.6a 所示，测量共同作用时产生的电压、电流值，数据记入表 1.4 中。

U_{S1} 单独作用：将图 1.6a 中的电压源 U_{S2} 关闭，并拔下导线，将电路中原来连接 U_{S2} 电源的两端短路（置零电压源），如图 1.6b 所示，测量 U_{S1} 单独作用时产生的电压、电流值，数据记入表 1.4 中。注意测量前需检查 U_{S1} 值为 12V。

U_{S2} 单独作用：关闭断开图 1.6a 中的电压源 U_{S1} ，拔下导线并短路该支路（置零电压源），如图 1.6c 所示，测量 U_{S2} 单独作用时产生的电压、电流值，数据记入表 1.4 中。注意测量前需检查 U_{S2} 值为 15V。

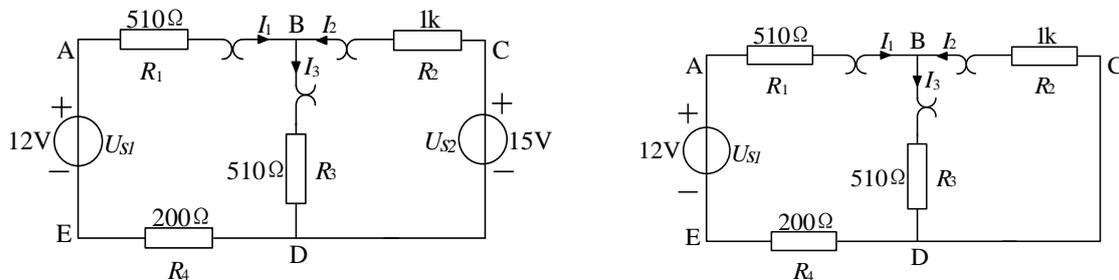


图 a U_{S1} 与 U_{S2} 共同作用

图 b U_{S1} 单独作用

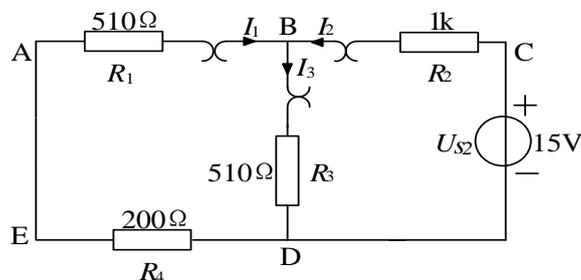


图 c U_{S2} 单独作用

图 1.6 线性电路的叠加性实验电路

注意：①按照参考方向测量，电压与电流参考方向一致。

②用数据叠加时注意负号。

③其中 U_1 为电阻 R_1 的端电压。

表 1.4 线性电路的叠加性实验

作用于电路的电源	U/V	I/mA	计算功率 $P_{R1}=W$
U_{S1} 与 U_{S2} 共同作用	$U_1=$	$I_1=$	$P_{R1}=$
U_{S1} 单独作用	$U_1'=$	$I_1'=$	$P_{R1}'=$
U_{S2} 单独作用	$U_1''=$	$I_1''=$	$P_{R1}''=$
计算叠加结果	$U_1'+U_1''=$	$I_1'+I_1''=$	$P_{R1}'+P_{R1}''=$

根据叠加定理有: $U_1=U_1'+U_1''$ $I_1=I_1'+I_1''$

五、数据处理及分析

1. 对表 1.2 数据进行分析，得出电位和电压的相关结论。
2. 结合表 1.3，说明不同量程选择对测量结果有何影响？如何正确选择量程？
3. 使用表 1.2 和表 1.3 中合适的电压电流数据，选定节点 B 验证 KCL，选定闭合回路 BCD 验证 KVL。
4. 完成表 1.4 的相关计算。判断电流、电压及功率是否满足叠加定理。

实验二 正弦稳态交流电路测试

一、实验目的

1. 掌握正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
2. 了解日光灯的电路结构和工作原理。
3. 理解提高功率因数的方法及意义。

二、实验原理

1. 相量形式的基尔霍夫电压定律 KVL

正弦交流电路，各元件两端的电压值，满足相量形式的基尔霍夫电压定律，即 $\sum \dot{U}=0$ 。

图 2.1(a)所示的 RC 串联电路，在正弦稳态信号 U 的激励下， U_R 始终超前于 U_C 90° 的相位差，即当 R 阻值改变时， U_R 的相量轨迹是一个半圆。 U 、 U_C 与 U_R 三者形成一个直角形的电压三角形，如图 2.1(b)所示。 R 值改变时，可改变 φ 角的大小，从而达到移相的目的。

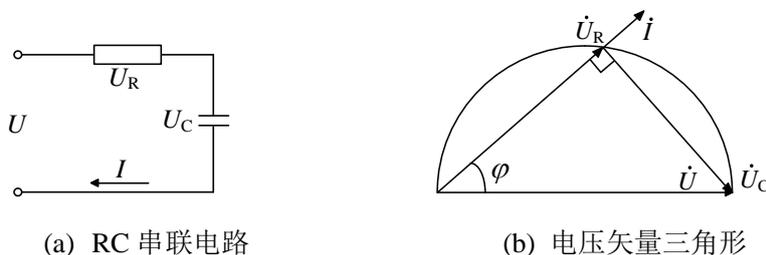


图 2.1 RC 串联电路及其相量图

2. 相量形式的基尔霍夫电流定律 KCL

正弦交流电路中各支路的电流值，满足相量形式的基尔霍夫电流定律，即 $\sum \dot{i}=0$ 。

图 2.2(a)所示的 RL 并联电路，在正弦稳态信号 U 的激励下， I_R 始终超前于 I_L 90° 的相位差， I 、 I_R 与 I_L 三者形成一个直角形的电流矢量三角形，如图 2.2(b)所示。当 L 为含内阻的非纯电感时， I_R 则超前于 I_L 一个锐角，相量图如图 2.2(c)所示。

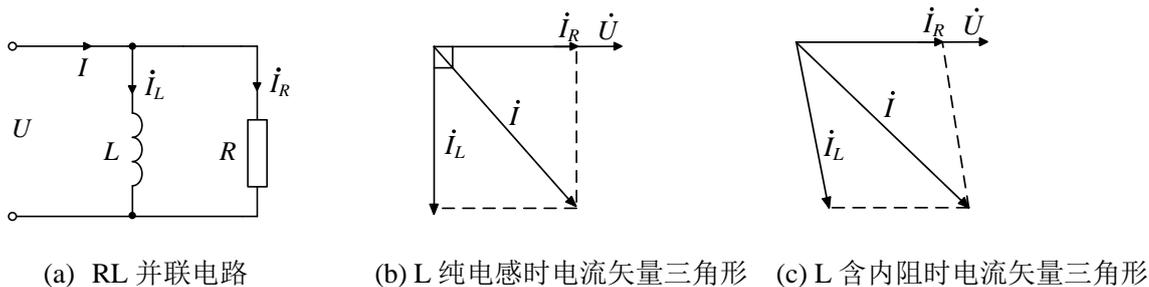


图 2.2 RL 并联电路及其相量图

3. 日光灯的电路结构及原理

日光灯电路由灯管、镇流器、启辉器三部分组成，电路结构如图 2.3 所示。当日光灯电路接通电源后，启辉器内发生辉光放电，双金属片受热弯曲，触点接通，灯丝通电后预热发射电子，同时启辉器接通后辉光放电停止，双金属片立刻冷却，又把触点断开，这时镇流器感应出高电压并加在灯管两端，使日光灯管放电，产生大量紫外线，灯管内壁的荧光粉吸收后辐射出可见光，日光灯就开始正常工作。启辉器相当于

一只自动开关，能自动接通电路（加热灯丝）和断开电路（使镇流器产生高压将灯管击穿放电）。镇流器的作用除了感应高压使灯管放电外，在日光灯正常工作时还起到限制电流的作用。

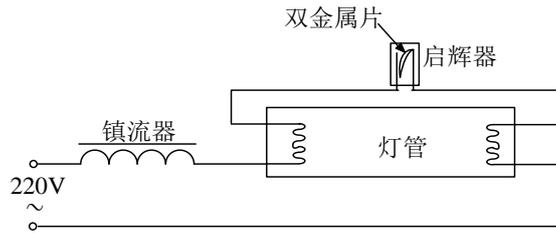


图 2.3 日光灯电路

4. 电感镇流器与电子镇流器

镇流器分为电感镇流器与电子镇流器。

电感镇流器是一个铁芯电感线圈，当电路中的电流发生变化时，线圈周围产生感应磁场，从而产生感应电动势，其方向与电流的变化方向相反，阻碍电流变化，故启辉器断开时电感镇流器可产生脉冲高电压。电感镇流器具有结构简单的优点，却存在功率因数低，低电压启动性能差，耗能多，频闪等缺点。

电子镇流器是指采用电子技术将工频交流电转换成高频交流电源使灯管放电后保持发光状态，并维持灯管工作所需电压和电流。电子镇流器具有不需启辉器、低耗能、宽电压适用范围、消除频闪等优点。

5. 提高日光灯电路功率因数的方法及原理

功率因数是衡量电气设备效率高低的一个系数。它是交流电路中有功功率与视在功率的比值。即功率因数=有功功率 / 视在功率，其大小与电路的负荷性质有关。如白炽灯、电阻炉等电热设备，功率因数 ≥ 0.9 ，对具有电感的电气设备如日光灯、电动机等，功率因数 ≤ 0.9 ，从功率三角形的图中，运用数学三角关系可得出：有功功率 $P=UI\cos\varphi$ ($\cos\varphi$ 即功率因数)。

由于日光灯电路中含有镇流器，它是一个电感量较大的线圈，因而整个电路成为感性负载，功率因数不高，提高感性负载功率因数的通常方法就是在其两端并联补偿电容器如图 2.4(a)所示，电容器将产生一个超前电压 90° 的容性电流来补偿负载中的感性电流，使得补偿后的总电流 I 小于补偿前的电流 I_L ，相位角 $\varphi < \varphi_L$ ，故 $\cos\varphi > \cos\varphi_L$ ，详见图 2.4(b)。

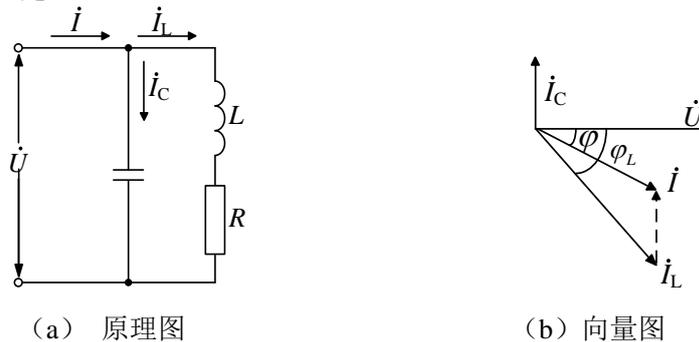


图 2.4 提高感性负载功率因素的方法

三、实验设备

自耦调压器	输出电压调至要求值	1 台
功率表	双路单相功率表	1 块

手持万用表	UT39A/~750V	1 块
台式万用表	DM3058E/10A	1 台
实验元件	交流元件实验箱	1 块

四、实验内容

1. 相量形式基尔霍夫定律 KVL 的验证

将自耦调压器手柄逆时针旋转至 0V，关闭电源。按图 2.1(a)接线，R 为 1kΩ 电阻，电容器为 1μF 电容。检查电路正确后，打开电源，调节自耦调压器输出相电压 U 为 30V（手持万用表测量），测量 U_R 、 U_C 值，填入表 2.1 中，验证电压三角形关系。测试完毕后，调压器手柄逆时针调至零，关闭电源。

注意：电源为相电压，电压不要调大。

表 2.1 相量形式 KVL 测量表

测量值		
U/V	U_R /V	U_C /V
30		

2. 相量形式基尔霍夫定律 KCL 的验证

将自耦调压器手柄逆时针旋转至 0V，关闭电源。按图 2.5 接线，R 为 1kΩ 电阻，L 为电感镇流器（含内阻）。检查电路正确后，打开电源，调节自耦调压器输出相电压 U 为 30V（手持万用表测量），测量 I、 I_R 、 I_L 值，电路总有功功率 P 值，填入表 2.2 中，验证电流三角形关系。测试完毕后，调压器手柄逆时针调至零，关闭电源。注意事项同上。

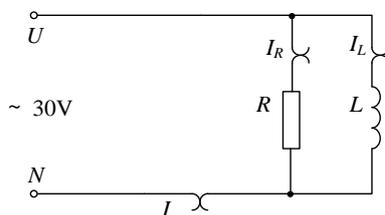


图 2.5 相量形式 KCL 验证电路

表 2.2 相量形式 KVL 测量表

测量值				计算值	
U/V	I/mA	I_R / mA	I_L / mA	$\cos \varphi$	φ
30					

3. 日光灯功率因数提高

①按照图 2.6 所示接线，图中 R 是日光灯管，L 是镇流器，S 是启辉器，C 是补偿电容器，W 是功率表。接线完毕后，必须再次检查线路后方可接通电源。

②将自耦调压器的输出相电压由 0 逐步调至 220V，注意观察灯亮时刻电源电压值。依次改变电容值，用功率表、电压表、电流表（用万用表测电压和电流）分别测量功率、电压和电流，将数据记入表 2.3 中，计算 P_L 和 $\cos \varphi$ 。其中： $\cos \varphi = P/UI$ ， $P_L = P - P_R$ ，P 为电路总有功功率， P_R 为灯管消耗的功率， P_L 为镇流器消耗的功率。测试完毕后，调压器手柄逆时针调至零，关闭电源。

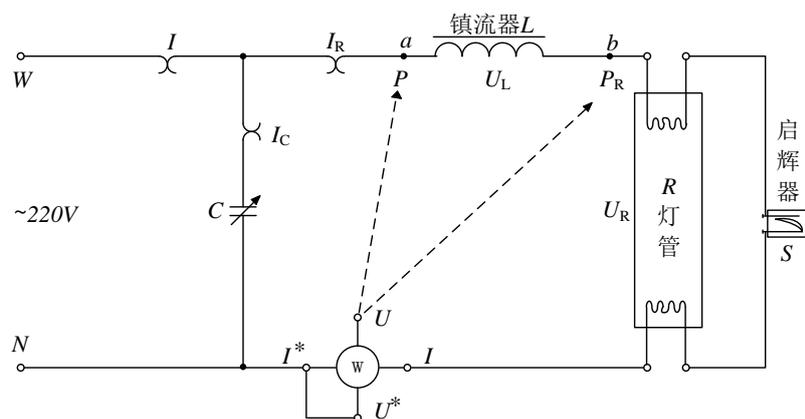


图 2.6 日光灯实验电路

注意：①交流电源相电压应由 0 逐步调至 220V，务必注意用电和人身安全，严格遵守先断电、再接线、后通电，先断电、后拆线的实验操作原则。

②在线路正确时，如电压调至 220V 时，灯管没有点亮，则转动启辉器，让其接触良好。

③功率表 U 端连接 a 点时测量总有功功率 P，连接 b 点时测量灯管有功功率 P_R ，注意 U 端不可同时连接 a、b 两点。

表 2.3 功率因数提高实验数据

电容值 / μF	测量值								计算值	
	U/V	U_R /V	U_L /V	I/A	I_R /A	I_C /A	P/W	P_R /W	P_L /W	$\cos\varphi$
0	220									
3.2										
4.7										
5.7										

4. 电子镇流器功率因数测试

按照图 2.7 所示电路接线，将电感镇流器和启辉器换为电子镇流器。

接线且检查无误后，将自耦调压器的输出相电压由 0 缓慢调至 220V，注意观察灯亮时刻电源电压值。

灯管在额定电压下正常发光以后，测量方法同实验内容 3，将数据记录于表 2.4 中。

表 2.4 电子镇流器日光灯电路电压、电流和功率记录

测量值				计算值
U/V	I/A	灯亮时的电源电压值/V	P/W	$\cos\varphi$
220				

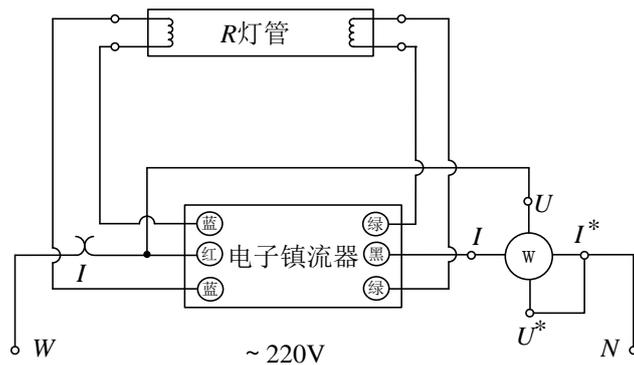


图 2.7 电子镇流器日光灯实验电路

五、数据处理及分析

1. 根据表 2.1 和表 2.2，分别画出电压相量三角形和电流相量三角形，注意箭头方向，要求每个相量三角形必须标注两个角度值。三角形三边长应与测量值成比例。

2. 仔细理解原理图 2.4(b)并参照该图，结合表 2.3 中数据，在坐标纸上分别画出 $C=0\mu\text{F}$ 、 $C=3.2\mu\text{F}$ 、 $C=4.7\mu\text{F}$ 和 $C=5.7\mu\text{F}$ 时相应的 U 、 I 、 I_C 和 I_R 关系相量图，注意每组图上都需标清角 φ 的位置和值。

3. 根据上题绘制的相量图，推断功率因数被补偿到 1 时的电容范围（范围取值必须介于表格内相邻两电容间，如 $0\sim 1\mu\text{F}$ 、 $1\sim 2.2\mu\text{F}$ 、 $2.2\sim 3.2\mu\text{F}$ 等），说明原因。

仪器仪表简介

FLUKE 15B+型数字式万用表

万用表又称为多用表，用来测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻、电容等电气参数。数字式万用表由于读取数据容易、准确、输入阻抗大、功能多等优点，使用越来越普遍。

一、FLUKE 15B+型数字万用表主要部件及功能



1. 液晶显示屏：显示所测量的电气参数。

2. 功能选择开关：打开万用表并选择测量模式，比如交流电压 \tilde{V} 、交流电流 \tilde{A} 、直流电压 \bar{V} 、直流电流 \bar{A} 、电阻 Ω 等；关闭万用表，将旋钮旋回 OFF 挡位。打开状态下，数分钟未进行操作，万用表将会熄屏省电，需将旋钮旋回 OFF 挡位后再打开即可。

3. 数据保持开关：按下蓝灰色"HOLD"键，液晶显示屏上保持显示当前测量数据，此时无法测量新数据，并在屏幕左上方显示"H"标记；弹起该按键则退出数据保持模式。

4. 量程切换按钮：选择测量模式后，屏幕下方大部分情况下默认显示 Auto 自动选择量程，此时按下"RANGE"键可手动切换量程，屏幕下方显示 Manual 进行手动选择量程，量程选择过大，则测量精度不足；量程选择过小，则屏幕上无示数。

5. 次要功能切换按钮：选择测量模式后，例如 Ω 挡位时，会发现 Ω 上方黄色标明可切换为蜂鸣器挡和二极管挡，此时按下屏幕下方黄色按钮，可在三种功能间互相切换，同理，也可切换直流毫伏电压 \overline{mV} 与交流毫伏电压 \tilde{mV} 等功能。

6. 输入插孔：根据功能选择开关，将表笔插入对应的输入孔。黑色表笔总是接入"COM"接口；测量电压、电阻、电容、二极管时，红色表笔接入"VΩ"接口；测量小电流（ $\leq 200\text{mA}$ ）时红色接线柱接入"mA uA"接口；测量大电流时红色表笔接入"A"接口。

7. 红黑表笔：测量电阻、电压时，使用一红一黑的表笔测量；测量电流时必须使用电流检查插座。由于实验中使用台式万用表测量电流更加精确，所以无需使用该表测量电流。

二、使用注意事项

1. 在表笔连接被测电路之前，一定要严格检查所选档位及量程与测量对象是否相符，因为错误的档位及量程有时不仅得不到测量结果，甚至会损坏万用表，初学者要格外注意。（特别是要测量电压，却使用电流档位和接线柱，极易损坏仪表）

2. 测量时，尽量用一只手握住两只表笔，手指不要触及表笔的金属部分和被测器件。

3. 测量中若需要转换量程，必须在表笔离开电路后才能进行，否则容易损坏仪表。

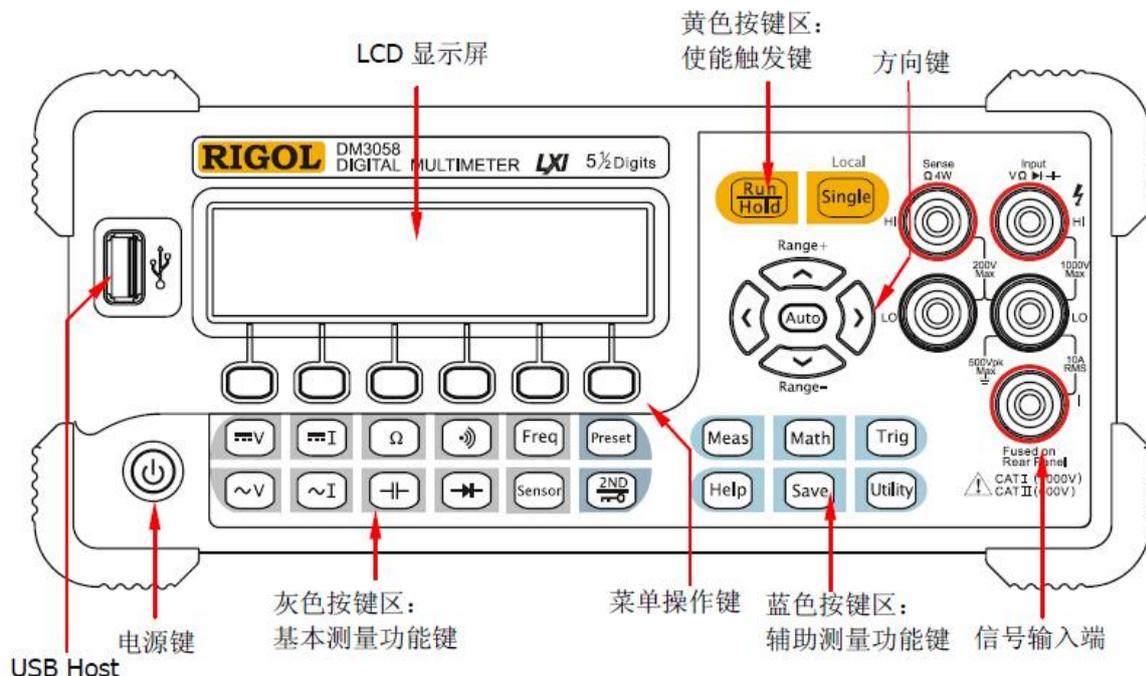
4. 测量时常会遇到多种电气参数，每次测量前要注意根据测量参数种类把功能选择开关转换到相应的档位和量程，这是初学者最容易忽略的环节。

5. 测量电阻时，必须把电阻脱离电路，不带电情况下测量，否则会出现测量数据不准甚至损坏万用表。

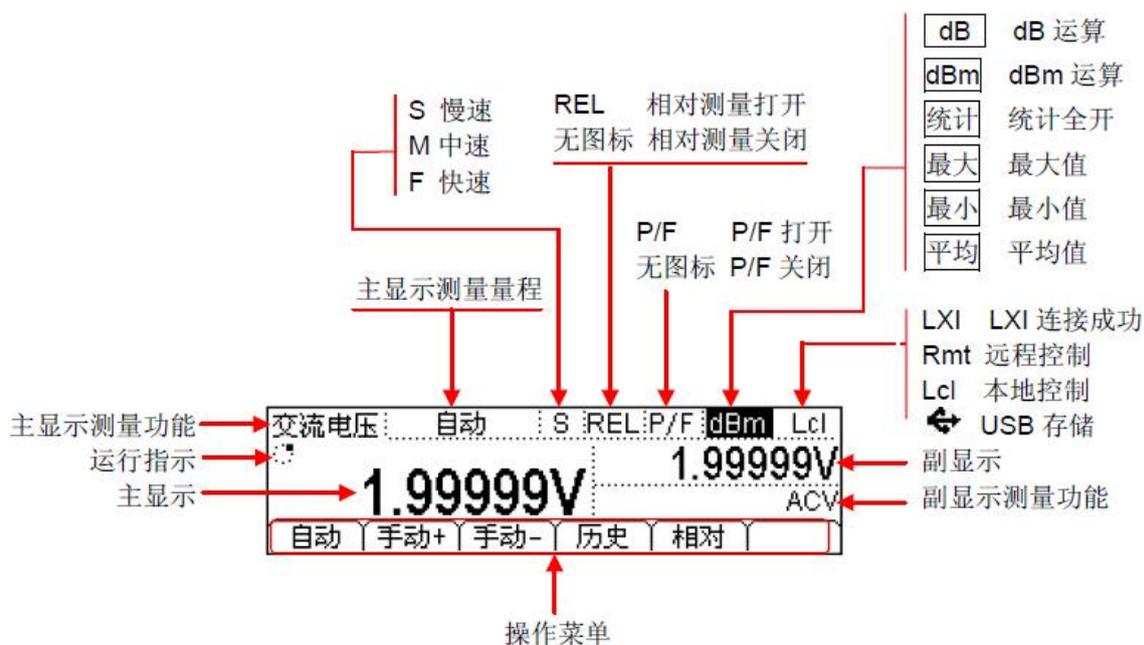
DM3058E 数字万用表

DM3058E 是一款 5½位双显数字万用表，它是针对高精度、多功能、自动测量的产品，集基本测量功能、多种数学运算功能，任意传感器测量等功能于一身。

一、DM3058E 数字万用表主要部件及功能



1. LCD 液晶显示屏：显示测量数据和仪器状态，有单/双显模式，双显示模式如下：

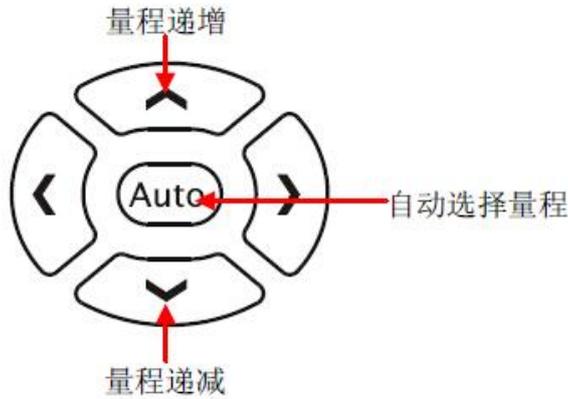


双显模式

2. 基本测量功能键：选择测量参数种类，直流电压/电流、交流电压/电流、电阻、电容、二极管、连通

性、频率、任意传感器等

3. 方向键：用于选择量程和改变采样速率。量程有手动和自动两种方式。万用表可以根据输入信号自动选择合适的量程，非常方便的，而手动选择量程可以获得更高的读数精确度。

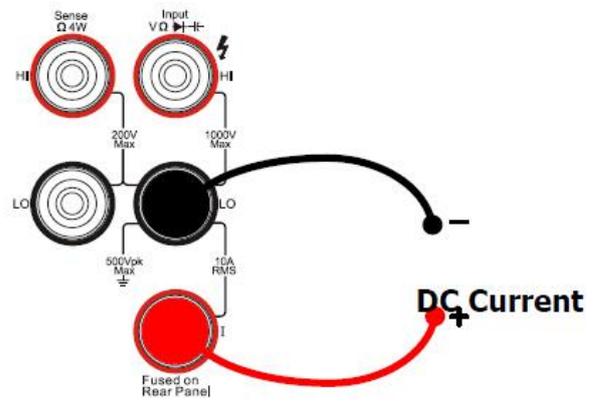
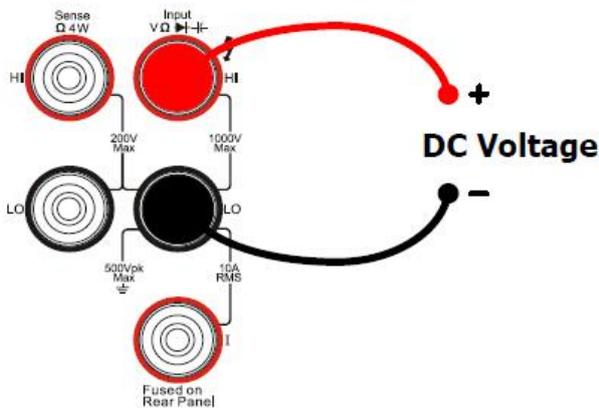


自动量程：按键 Auto，启用自动量程，禁用手动量程。

手动量程：按向上键，量程递增，按向下键，量程递减。此时禁用自动量程。

采样速率：方向左键，提高采样速率，方向右键，降低采样速率。在显示屏状态栏标识”S”为慢速，”M”中速，“F”快速。

4. 信号输入端：依据测量参数类型选择正确的信号输入端。



交流电压、直流电压、电阻、二极管测量时接线示意图

交流电流、直流电流测量时接线示意图

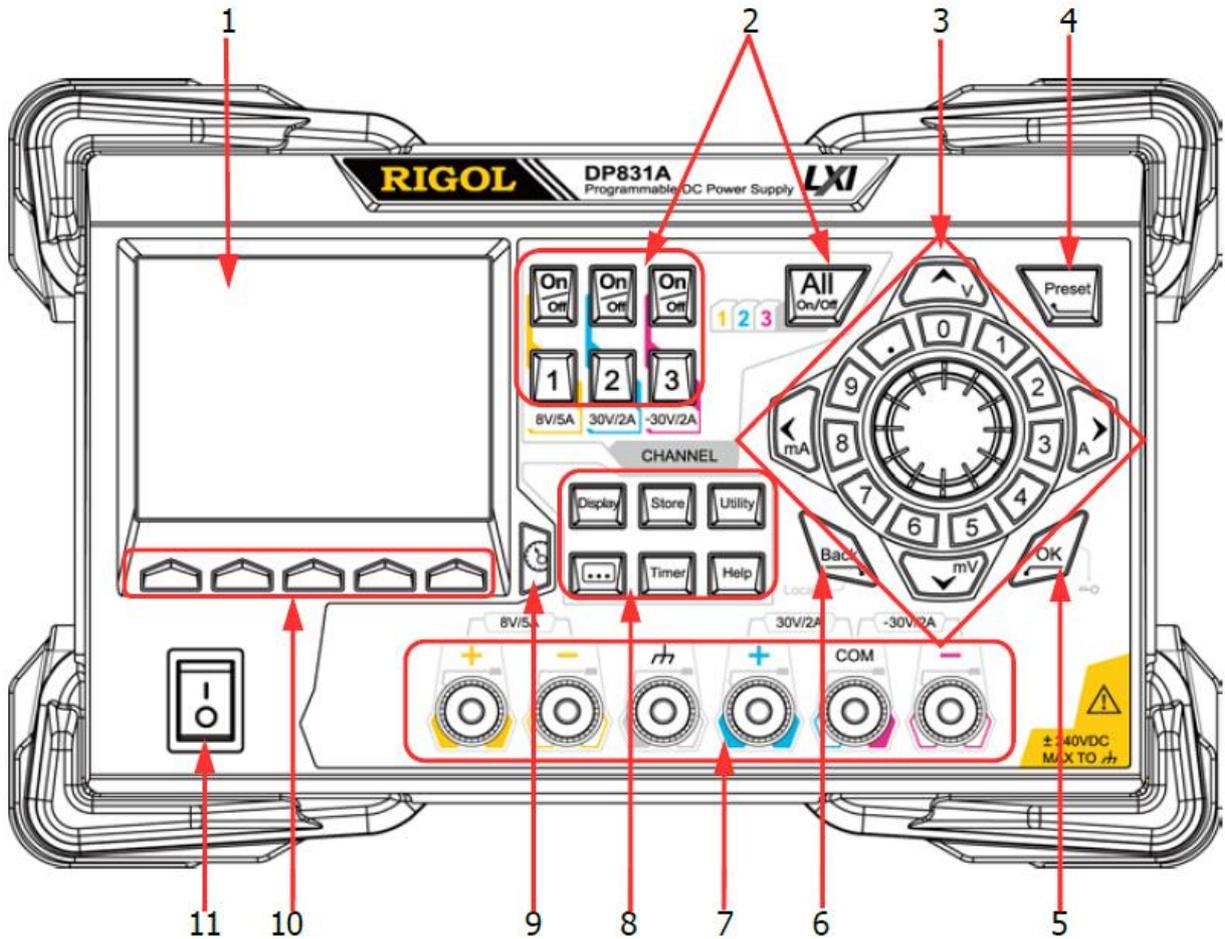
二、注意事项

1. 要测量到正确参数，必须正确选择测量参数种类（基本功能键区）、合理量程（方向键）、接线柱。
2. 量程的手动模式下，如果超出测量范围，将会显示“超出量程”字样，及时选择合理量程。
3. 测量电阻时，必须将电阻与电路分离，否则测量参数无效（不分离电路，电阻将会与电路中其他器件串并联）
4. 直流电参数是有方向性的，记录时要根据表笔颜色、显示读数、线路方向来判断正负。

DP830 系列可编程线性直流电源

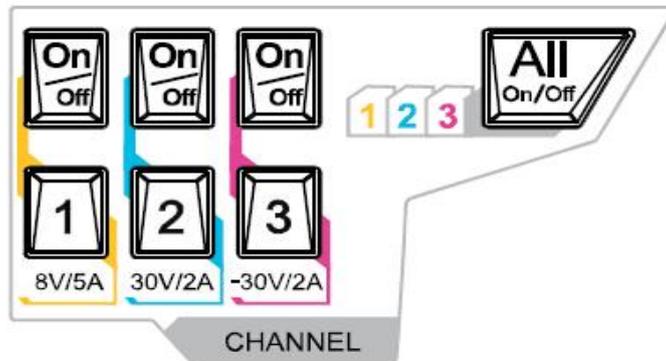
DP830 系列是一款高性能的可编程线性直流电源，拥有清晰的用户界面，优异的性能指标，多种分析功能，多种通信接口，可满足多样化的测试需求。

一、DP830 系列可编程线性直流电源主要部件及功能



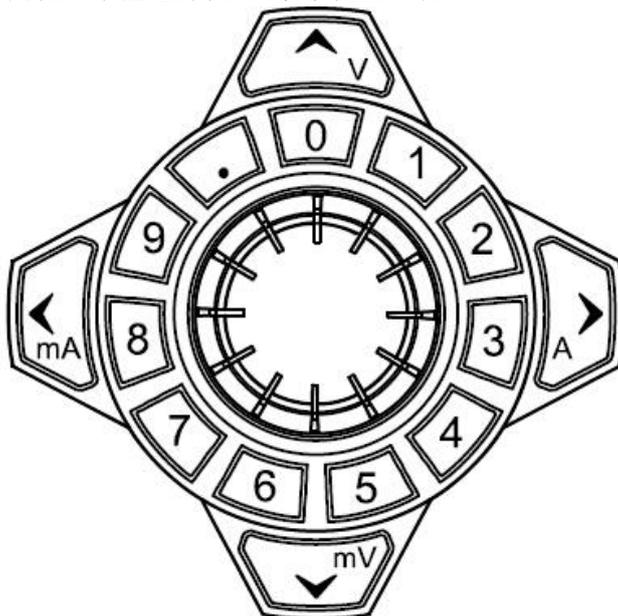
1. LCD 液晶：3.5 英寸 TFT 显示屏，用于显示系统参数设置、系统输出状态、菜单选项以及提示信息等。

2. 通道（档位）选择与输出开关：对于多通道型号，此处为通道选择与输出开关。对于单通道型号（DP811A），此处为档位选择与输出开关。



数字键，用于选择相应通道号并设置该通道的电压、电流、过压/过流保护等参数；on/off 键，用于打开/关闭相应通道的输出；All on/off 打开/关闭所有通道的输出。

3. 参数输入区：包括方向键（单位选择键）、数字键盘和旋钮。



方向键：可以移动光标位置，设置参数时，可以使用上下方向键增大或减小光标处的数值。

单位选择键：使用数字键盘输入参数时，单位选择键用于选择电压单位（V 和 mV）和电流单位（A 和 mA）。

圆环式数字键盘：包括数字 0-9 和小数点，按下对应的按键，可直接输入数字。

旋钮：设置参数时，旋转旋钮可以增大或减小光标所在位的数值。浏览设置对象（定时参数、延时参数、文件名输入等）时，旋转旋钮，可快速移动光标位置。

4. Preset 键：用于将仪器所有设置恢复为出厂默认值，或调用用户自定义的通道电压/电流配置。

5. OK 键：用于确认参数的设置。

6. Back 键：用于删除当前光标前的字符。

7. 输出端子：用于通道输出的电压和电流，其中接地端子与机壳、底线（电源线接地端）相连，处于接地状态。

8. 功能菜单区：高级功能设置（略）。

9. 显示模式切换/返回主界面：可以在当前显示模式和表盘模式之间进行切换。此外，当仪器处于各功能设定界面时，可通过此键返回主界面。

10. 菜单键：菜单键与其上方的菜单一一对应，按任一菜单键选择相应菜单。

11. 电源开关键：可打开或关闭仪器。

二、注意事项

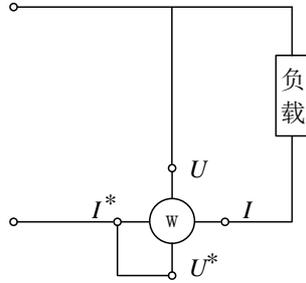
1. 由于通道 3 限制较多，且与导通 2 共地，使用过程中，请勿使用通道 3，只使用通道 2。

2. 电源处于电压源性质还是电流源性质，要根据输出参数确定，当通道输出电压保持不变时，该通道为电压源工作模式；当通道输出电流保持变是，该通道为电流源工作模式。

3. 液晶屏幕上提供每个通道的输出参数，仅供参考，实验中记录数据一律以测量仪表为准，保持记录数据的一致性。

双路单相功率表

功率表在交流电路中用来测量负载的功率（有功功率、无功功率、视在功率）。基本原理如下：如果要计算视在功率需要知道电压和电流，而在交流电路中要区分有功功率和无功功率则还需要知道电压和电流相量的角度，因此只要有电压相量和电流相量就可以求出各种功率。所以功率表分为 2 组端子，一组测量电压相量（ U 和 U^* ），另一组测量电流相量（ I 和 I^* ），"*"代表同名端，运算由内部单片机完成，接线时测量出负载的电压相量和电流相量即可，测量某个负载功率的接法参考下图



一、双路单相功率表主要部件及功能

- 1、LED 数据显示屏，显示功率数据。
- 2、功率类型指示灯，区分当前功率类型是有功、无功、视在功率。
- 3、功率类型切换开关 K3，切换功率类型显示。
- 4、电压相量测量通道： U^* 和 U ，其中 U^* 为左侧接口。
- 4、电流相量测量通道： I^* 和 I ，其中 I^* 为左侧接口。



二、使用注意事项

1. 要特别注意的是，相量是有方向的如果 U 和 U^* 的方向接反就会造成相量反向得到错误功率数据，因此接线时要依靠同名端 "*" 来辨识。
2. 电压测量通道和电流测量通道一定要分清，如果区分错误，使用电流通道去测量电压将会造成短路损坏电源或功率表表。
3. 功率表的同名端*，均在每块表的左侧。
4. 注意功率类型指示灯，当没有指示灯时显示的数据是无效的。