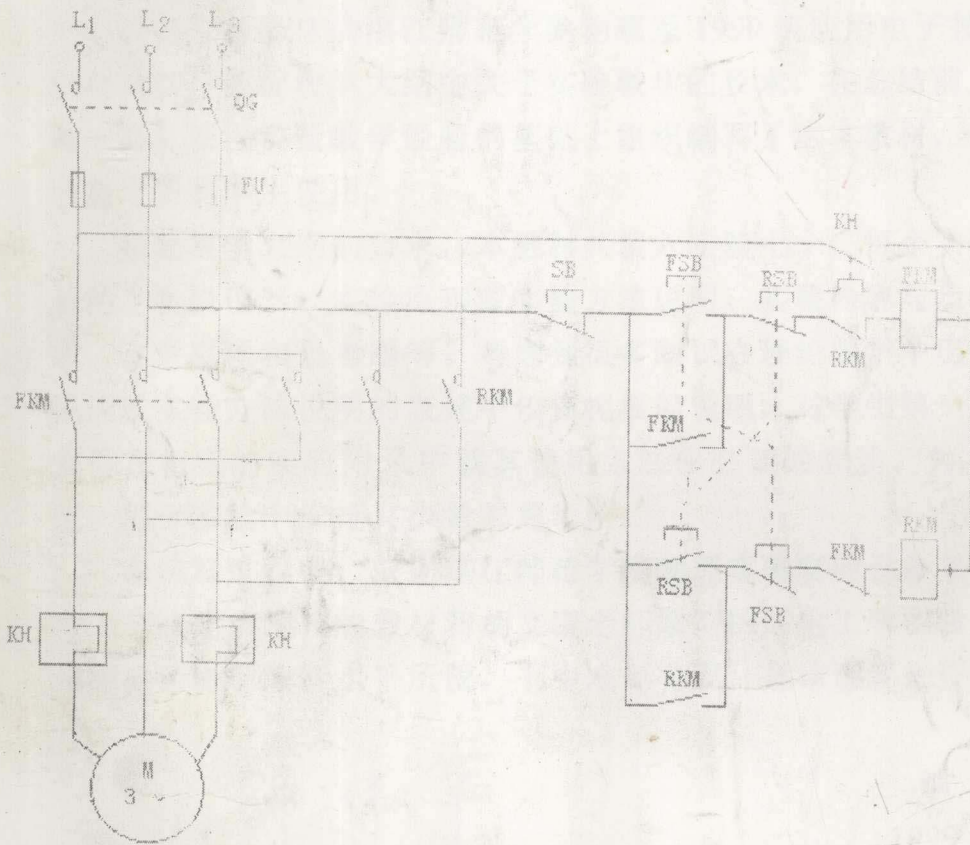


电机与电器实验

李增田 编



湛江师范学院物理系

1999年9月

前 言

《电机与电器》是高等职业技术师范教育应用电子技术教育专业设置的一门专业课，具有很强的实践性和应用性。实验教学则是《电机与电器》课程的一个重要教学环节，是培养学生独立工作能力，使用所学理论解决实际问题、巩固基本理论并获得实践技能的重要手段。因此，在学习时应给予高度重视。

根据重新修订的湛江师范学院物理系 1999 级应用电子技术教育专业《电机与电器》课程教学大纲中关于实验教学的要求，在总结前几届学生《电机与电器》课程实验教学经验的基础上组织编写了这本教材，供应用电子技术教育专业的学生使用。

按照教学大纲的要求，本教材共编入实验七个，每个实验都编写出实验目的、实验仪器、实验原理或实验方法说明、实验内容与步骤、实验报告要求、注意事项和思考题等。考虑到很多知识在理论教学中已有讲授，在实验原理或实验方法说明的表述中仅作扼要的说明。对学生第一次使用的仪器，安排在相应的实验附录中就其使用方法作必要的表述。为了启发学生的思维，每个实验中安排有少量的思考题。

在编写过程中，依据湛江师范学院物理实验室的设备条件组织编写。参考了部分兄弟院校的教材和胡文泰老师编写的《电工学实验》讲义，在此表示感谢。由于编者水平所限，书中难免有误，恳请读者批评指正。

翁伟华

编 者
1999 年 9 月

目 录

实验须知.....	1
实验一 直流电机的使用.....	5
实验二 变压器试验.....	1 3
实验三 变压器绕组首末端的判别.....	1 9
实验四 三相交流异步电动机的使用.....	2 4
实验五 低压控制电器的使用（一）.....	3 0
实验六 低压控制电器的使用（二）.....	3 4
实验七 同步发电机的使用.....	3 6
附录一 电器图形符号.....	3 9
附录二 电器文字符号.....	4 3

实验须知

一、电机与电器实验的教学目的和任务

1、实验教学目的

- (1) 进行实验基本技能的训练。
- (2) 巩固、加深并扩大所学的基本理论知识，培养解决实际问题的能力。
- (3) 培养实事求是、严肃认真、踏实细致的科学作风和良好的实验习惯。为将来从事生产和科学实验打下必要的基础。

2、实验教学任务

- (1) 学习交流电路的联接方法。
- (2) 掌握变压器绕组首末端、变比、铁耗、铜耗、励磁参数、短路参数的测定方法和联接组别的校核。
- (3) 掌握直流电动机的起动、调速和正、反转控制的方法。
- (4) 掌握交流电动机定子绕组首末端（极性）的测定、起动和正、反转控制的方法。
- (5) 初步掌握同步发电机的运行特性。
- (6) 掌握常用低压电器的结构，了解其规格和用途，学会正确选择常用低压电器的方法。
- (7) 掌握继电器——接触器控制线路的基本环节和典型电气线路安装、调试、分析与排除故障等基本技能。

二、实验方法

1、实验前的准备

(1) 实验前必须认真阅读本实验教材，做到明确实验目的、要求、内容、方法、步骤和有关注意事项，并复习与实验相关的理论知识；必须认真琢磨实验线路，找出线路联接的特点，明确线路联接的要领，基本熟悉实验线路（对于简单线路应能记住）。

(2) 进入实验室后，不要急于联接线路，应先检查实验所用的电器、仪表、设备是否良好，了解各种电器的结构、工作原理、型号规格，熟悉仪器设备的技术性能和使用方法，并合理选用仪表及其量程，发现实验仪器设

备有故障时，应立即告知指导教师检查处理，以保证实验顺利进行。

2、联接实验线路

(1) 接线前，必须认真听取指导教师对实验的介绍。

(2) 接线前，根据具体实验线路，以方便操作、易于读数、接线短少和美观、便于检查为原则合理安排电器、仪表的位置。并了解仪器设备的性能和部件的作用。

(3) 掌握一般的接线规律。例如先负载后电源（拆除线路时是先电源后负载）；先串联后并联；先主电路后控制电路；先控制接点后保护接点，最后接控制线圈等。

(4) 严格按图接线，未经指导教师同意，不得随意更改实验线路。

(5) 在保证接触良好的情况下，接线柱不宜拧得太紧，以免接线柱下面的螺母被拧松而花费修复时间。

(6) 实验线路联接完成后，应全面检查，认为无误后，经指导教师检查同意方可通电进行实验。

3、正确使用测量仪表

(1) 注意测量仪表刻度盘上的符号，弄清测量仪表的类型、功能、测量误差和使用条件，明确如何接线，谨防错用错接。

(2) 正确选择测量仪表的量程。一是确保测量值不超过测量仪表的量程，以免烧毁测量仪表；二是使测量仪表的指针有较大的偏转，从而减少测量的相对误差；三是考虑测量仪表的接入误差。

(3) 正确读数。一是根据测量仪表的量程 x_m 和刻度盘的格数，弄清测量仪表的分度值（正确读数的依据之一） C_x ：

$$C_x = \text{量程 } x_m / \text{总格数 } N$$

二是由测量仪表给出的准确度等级 γ ，弄清测量仪表的测量误差（正确读数的依据之二） Δx ：

$$\Delta x = x_m \gamma \%$$

三是根据测量仪表指针的偏转格数 n （正确读数的依据之三），按下式确定测量结果 x ：

$$x = c_x n \pm \Delta x$$

式中 Δx 为测量的绝对误差，一般取一位有效数字。注意：测量结果的有效数字位数由测量的绝对误差决定，即测量结果的有效数字的最后一位与 Δx 相对应（也就是测量结果的最后一位有效数字是可疑数字）。

4、观察与记录、操作与安全

(1) 注意观察实验中出现的各种现象，并记录和作出分析。

(2) 检测数据时，在特性曲线的弯曲部分应多选取几个点，而在特性曲线的线性部分时则可少取几个点。

(3) 严格遵守仪器设备的操作规程，不得乱动与本实验无关的仪器设备；不了解仪器性能和使用方法时不得使用该设备；接线、拆线和改接线路均应在断电状态下进行；闭合或断开电源开关时，动作要迅速果断，目光应注意仪表、电机、电器等是否正常动作，而不应只注视电源开关；用多用电表检查电路故障时，切忌在带电的情况下用欧姆档进行检测。

(4) 进行控制电路实验时，应有目的地操作主令电器，观察各电器的动作情况，从而进一步理解电路的工作原理。如果出现异常现象（例如测量仪表的指针偏转是否正常，有无反偏或超过量程；变压器、电机、电器是否发热，有无焦味；电机的转速是否过高，有无怪声或冒火花等），应立即断开电源，对异常现象进行分析检查，排除电路故障后才能继续进行实验。

(5) 时刻注意安全。养成单手操作的习惯，实验线路接通电源后，不要触摸任何裸露的带电部位，能用单手操作的尽量不用双手，养成单手操作的习惯；身体的任何部位都不能与机器的旋转部分接触，女生要将头发（特别是辫子）扎好，防止被转动部分卷挂而危及人身安全；万一发生事故，应迅速切断本组电源，必要时按动可切断全室实验电源的安全按钮（注意：正常实验时，严禁按动安全按钮）。

5、结束实验

(1) 实验结束应先断开电源，但不要急于拆除线路。待认真检查实验结果，确认无遗漏或其他问题，并经指导教师检查同意后，方可拆除线路，整理实验设备，填写实验登记卡，由指导教师签名后离开实验室。

(2) 实验者有保护仪器设备的义务。实验器材和工具不得擅自拿出实验室；若损坏仪器设备，应如实报告指导教师，按实验室有关规定办理登记

手续（如属违反仪器设备操作规程或随意乱动与实验无关设备而损坏的，应负赔偿责任）。

三、实验报告

必须依时缴交实验报告。实验报告是实验工作的全面总结，要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出来。实验报告要求简明扼要、字迹工整、数据处理方法正确、图表整齐清晰（用铅笔及绘图仪器绘制，不应徒手描绘）和科学分析实验结果。实验报告包括以下内容：

1、实验题目

2、实验目的

3、实验内容

4、实验仪器设备

记录实验仪器设备的名称、型号、规格参数和使用要求等。

5、实验原理或实验方法说明

简述实验所依据的理论或实验方法，列写主要计算公式和画出实验线路图。

6、实验结果

根据实验原始记录，整理实验数据（尽可能列成表格形式），计算结果，绘出实验图形（如曲线、相量图等）。

7、分析讨论

对实验中观察到的现象和实验结果进行分析讨论，并回答指导教师提出的问题。

实验一 直流电机的使用

一、实验目的：

- 1、掌握直流电动机的起动方法；
- 2、掌握直流电动机的调速方法；
- 3、掌握改变直流电动机转向的方法；
- 4、了解并励直流发电机电枢电动势与转速及励磁电流的关系。

二、实验仪器：

直流电动机—直流发电机组、可控硅调速装置、变阻器、直流电流表、直流电压表、转速表、灯排。

三、实验原理：

1、直流电动机的起动

直流电动机在起动时，由于启动瞬间，转速 $n=0$ ，感应电势 $E_a=0$ ，而电枢电阻 R_a 又很小，所以启动电流

$$I_{st} = \frac{U_e - E_a}{R_a} = \frac{U_e}{R_a}$$

将很大，一般情况下能达到其额定电流的 10—20 倍。这样大的起动电流不仅会危及直流电动机本身，而且还有可能引起电网电压下降，甚至过大的起动电流将使电源的保护装置动作，从而切断电源造成事故，影响其它负载的正常运行。因此，必须采取措施限制直流电动机的起动电流。通常限制直流电动机起动电流的方法有两种：一是降压起动，显而易见此法是通过减少电枢电压而减少起动电流 I_{st} 的。随着直流电动机转速的升高，然后逐步升高电枢电压至额定值 U_e 。二是在电枢回路中串入降压电阻 R_{st} 起动，此时直流电动机的起动电流

$$I_{st} = \frac{U_e}{R_a' + R_{st}} = \frac{U_e}{R_a + R_{st}}$$

将受到起动电阻 R_{st} 的限制而减小。随着电动机转速 n 的升高，反电势 E_a 增大，再逐步减少起动电阻 R_{st} ，直至全部切除起动电阻 R_{st} ，此时电动机达到所要求的转速。必须指出：起动电阻不能当作调速电阻使用，否则起动电阻将会被烧毁。

本实验采用降压起动法。

2、直流电动机的调速

直流电动机的调速是指在一定的负载条件下，人为地改变直流电动机的参数，从而使直流电动机的稳定转速发生改变。从他励（并励）直流电动机的机械特性方程式

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_a}{C_e C_M \phi^2} M$$

可知，改变电枢回路电阻 R_a 、电枢电压 U 、主磁通 ϕ ，都可以得到不同的人为机械特性，从而在负载不变时可以改变电动机的转速，达到速度调节的要求。

(1) 电枢电阻法

电枢电阻法是指在电枢回路中串入一个可调电阻 R_{ad} ，此时

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_{ad}}{C_e C_M \phi} M$$

显然在其它参数不变的条件下，直流电动机的稳定转速 n 下降。这种调速方法的优点是可同时进行起动控制，但存在不少缺点，如串入调速电阻 R_{ad} 愈大，则直流电动机的机械特性愈软，稳定度愈低；空载或轻载时调速范围不大；实现无级调速困难；在调速电阻上消耗大量电能等。

(2) 电枢电压法

电枢电压法是指通过改变电枢电压 U 的大小，从而达到调速的目的。这种调速方法可以平滑无级调速；机械特性较硬，稳定度较高；不需要采用其它起动设备，利用调节电枢电压来起动直流电动机。但是必须具备专门的直流电源。

(3) 磁场控制法

磁场控制法是指通过改变直流电动机的主磁通 ϕ 而达到改变直流电动机转速的一种方法。这种调速方法可以平滑无级调速，但是人为机械特性较软，调速不稳定，调速范围不大，且只能弱磁调速。所谓弱磁调速，就是用减少磁通 ϕ 来增加转速 n 。具体是在励磁回路中串联一个可调电阻 r_Ω 便可实现调速的目的。

3、改变直流电动机的转向

改变直流电动机电枢电流或励磁电流的方向都能使直流电动机反转。但

如果同时改变直流电动机电枢电流和励磁电流的方向，则直流电动机的转向不变。

4、并励直流发电机输出电压的调节

直流电动机输出电压的调节实质上是其电枢电动势的调节。直流发电机的输出电压随负载电流的增大而降低，为了维持输出电压 $U = U_e$ 不变，可以通过改变直流电动机的转速 n 或者改变励磁电流 I_f 进行调节。在实际使用直流发电机时，一般是将转速 n 调到额定转速 n_e ，然后改变励磁电流 I_f ，使直流发电机端电压 U 达到额定值 U_e 。直流发电机加上负载后，其转速 n 和端电压 U 都会变化，此时，也应先调节发电机使转速 n 恢复到额定值 n_e ，然后再调节励磁电流 I_f ，使其端电压 U 也恢复到额定值 U_e 。

四、实验内容与步骤：

1、直流电动机的起动控制：

(1) 按图 1—1 连接线路，并检查接线是否正确和接头有无松动（必要时请指导教师检查）。

(2) 接通供电电源及 KGT—2 型可控硅调速装置电源开关，此时 KGT—2 型可控硅调速装置的三相指示灯 A、B、C 全亮，并显示“00”代码，按“复位”键复位后，再分别按电枢电压下调键“▼”、他励电压下调键“▼”、励磁电流下调键“▼”，扬声器均会发出“嘟”声，表明可正常开机使用。

(3) 将 KGT—2 型可控硅调速装置的“恒速、恒压转换锁孔”键逆时针旋至“恒压”方式。

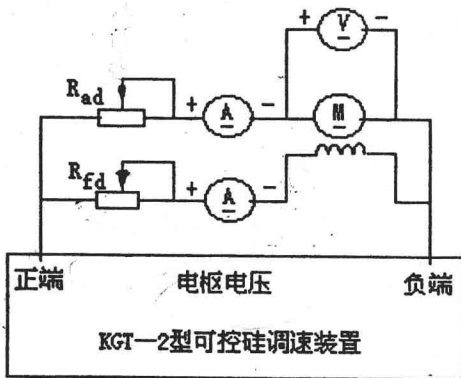


图 1—1 直流电动机实验线路图

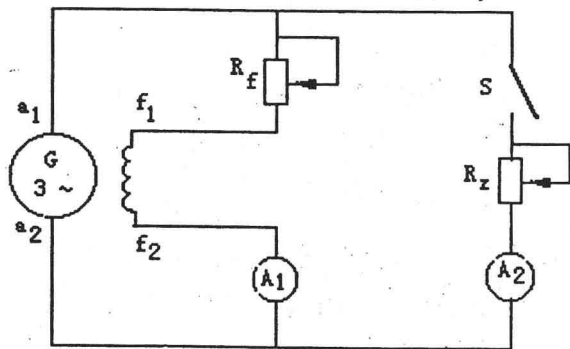


图 1—2 直流发电机实验线路图

(4) 按下电枢电压上调键“▲”，把电枢电压升至额定值 $U_e = 220V$ ；然后按下励磁电流上调键“▲”，使励磁电流升至 1.8A。用转速表测定直流电动机的转速 n 。

(5) 断开 KGT—2 型可控硅调速装置电源开关，然后切断供电电源。

2、直流电动机的调速

仍按图 1—1 线路进行实验。

(1) 电枢电阻法（下调）

把励磁回路的调速电阻 R_{fd} 置于阻值最小处；起动直流电动机，调节电枢电压上调键“▲”，使直流电动机的转速为 1500r/min；然后，调节电枢回路的调速电阻 R_{ad} ，测出与调速电阻 R_{ad} 相对应的转速 n 和电枢两端电压 U （每次减少电枢电压 $\Delta U = 10V$ ，直到转速 $n = 1000r/min$ ）；实验完毕，调速电阻 R_{ad} 的滑动触头置于阻值最小处。由测量数据作 $n = f(U)$ 曲线。

(2) 磁场控制法（上调）

起动直流电动机，调节电枢电压上调键“▲”或电枢电压下调键“▼”，使直流电动机的转速 $n = 1500r/min$ 。测量出此时的电枢电压 U 和励磁电流 I_f 。然后逐渐增加励磁回路的调速电阻 R_{fd} ，使励磁电流 I_f 减少，测量出与调速电阻 R_{fd} 相对应的励磁电流 I_f 和直流电动机的转速 n （每次减少励磁电流 $\Delta I = 0.05A$ ，但要注意直流电动机的转速切勿超过 1700r/min）。由测量数据作 $n = f(I_f)$ 曲线。

3、直流电动机的转向控制

(1) 起动直流电动机，注意观察并确定直流电动机的转向，然后关断电源停机。

(2) 使电枢电流的方向与步骤 (1) 相反，而保持励磁电流的方向不变，重新起动直流电动机，注意观察并与步骤 (1) 比较直流电动机的转向是否改变。

(3) 保持电枢电流的方向不变，而改变励磁电流的方向，再起直流电动机，注意观察并与步骤 (2) 比较直流电动机的转向是否改变。

(4) 使电枢电流的方向和励磁电流的方向均与步骤 (3) 相反，再起直流电动机，注意观察并与步骤 (3) 比较直流电动机的转向是否改变。

4、观察发电机空载端电压 U_0 与励磁电流 I_f 的关系

起动直流发电机，先把转速 n 调到额定转速 n_e 。然后，调节励磁电流 I_f ，使之从零逐渐增大，记录直流发电机相应的端电压 U_0 ，直至 $U_0 = 1.2U_e$ 为止。由此数据作出直流发电机的空载特性曲线 $U_0 = f(I_f)$ 。

5、观察发电机输出电压 U 与负载电流 I 的关系

保持转速 $n = n_e$ 和励磁回路电阻 R_f 不变，起动直流发电机后，使 $U_0 = 1.2U_e$ 。改变负载大小，测出直流发电机的负载电流 I 和相应的端电压 U 。由此数据作出直流发电机的外特性曲线 $U = f(I)$ 。

五、实验报告要求：

- 1、列表记录测量数据。
- 2、在坐标纸上分别作出直流发电机的空载特性曲线 $U_0 = f(I_f)$ 和直流发电机的外特性曲线 $U = f(I)$ 。
- 3、在“讨论”中提出自己对实验出现的某些问题、现象的看法或回答教师指定的思考题。

六、注意事项：

- 1、正确使用 KGT—2 型可控硅调速装置，尤其是严格遵守注意事项。
- 2、切记防止身体各个部位（含头发和衣服）触及电机的旋转部分，以确保人身安全。

七、思考题：

- 1、在实验内容与步骤 4 中，励磁电流 I_f 的调节能否时增时减？为什么？
- 2、起动直流发电机后，如果其端电压为零，那么原因是什么？应如何处理？
- 3、直流电动机电枢电阻法调速电路和在电枢回路中串入降压电阻起动电路能否使用同一可调电阻？为什么？
- 4、如何使直流电动机电枢电流反向？如何使直流电动机的励磁电流反向？

附录： KGT—2 型可控硅调速装置

KGT—2 型可控硅调速装置与同厂生产的 SDF 系列电动机——发电机组配套使用，并适合 3KW 以下直流电动机调速。

一、主要技术指标

供电电源：	三相四线制	380V/220V	AC	50Hz
直流输出：	电枢电压	0—220V	DC	20A
	他励电压	0—220V	DC	2A
	同步励磁	0—45V	DC	4A

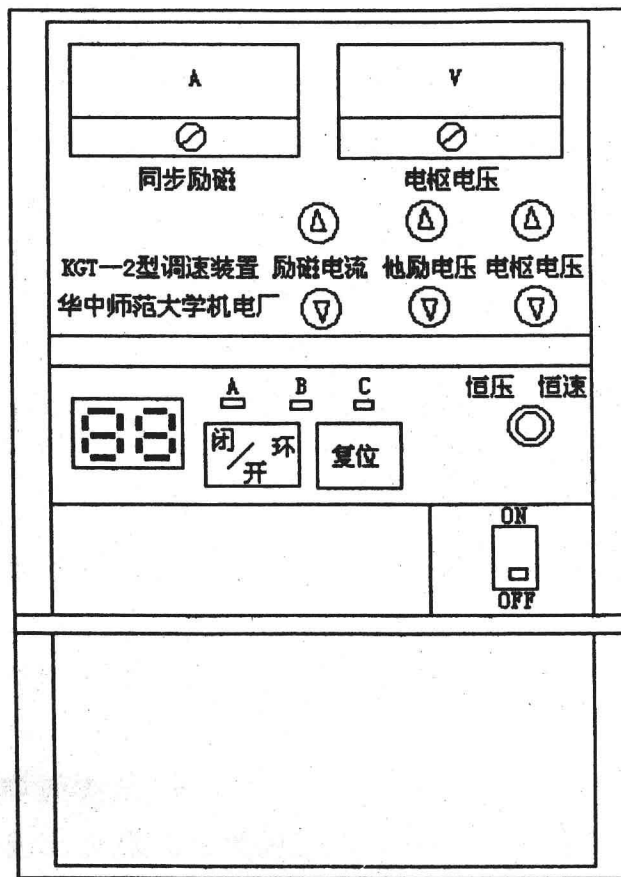


图 1—3 LGT—2 型可控硅调速装置的面板结构

电压调整率： $\leq 2.5\%$

负载调整率： $\leq 2\%$

开环恒速精度： $\leq 3\%$

闭环恒速精度： $\leq 0.5\%$

工作条件： 1) 环境温度 $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$

2) 相对湿度 $\leq 85\%$

3) 空气中不含有腐蚀性气体

二、面板结构

KGT—2 型可控硅调速装置的面板结构如图 1—3 所示。

三、后板结构图

KGT—2 型可控硅调速装置后板图如图 1—4 所示。

四、使用注意事项：

1、供电电源用三相四线 380/220V AC 50Hz，其中心线必须是零线，如

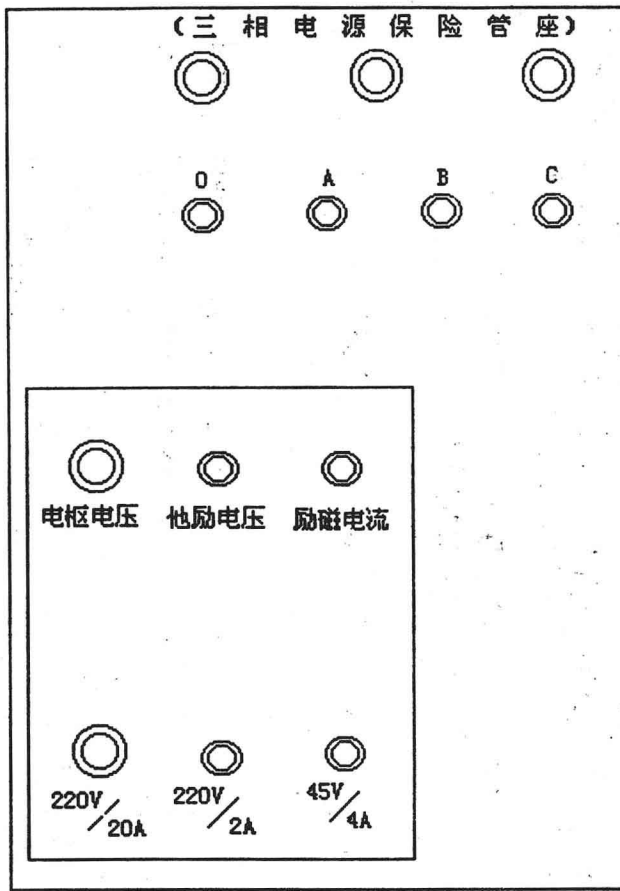


图 1—4 KGT—2 型可控硅调速装置后板图

果是悬浮零线，则烧坏可控硅调速装置。

2、第一次使用 KGT-2 型可控硅调速装置时，将三相四线制供电电源与其联接，接通电源开关后，显示“00”数码，按“复位”键后，再分别按下电枢电压下调键“▼”、他励电压下调键“▼”、励磁电流下调键“▼”后，扬声器均会发出“嘟”声，方可正常开机使用。

3、本装置三路输出不能混用，特别是做直流电动机并励运行时，应该将直流电动机电枢及励磁绕组并接在本装置 220V/20A 电枢电压输出端，不能使用 220V/2A 输出端。

4、本装置后板三路输出端的黑色接线柱（“同步发电机励磁电压接线负端”、“他励电压输出接线负端”、“电枢电压接线负端”）均经过取样电阻与电源零线相连，使用时不能与零线或大地有电气联接。

5、电枢电压输出电流达 15A 以上连续工作时应外加风冷，以防止晶闸管结温过高而烧坏。

6、三相保险用 10A 或 12A，不得超过 12A。

7、本装置如果没有配厂家提供的 CFY—3 型直流永磁式发电机用于闭环恒速实验，则不得按下“开环、闭环选择”键。

8、本装置三路输出电压均有最大值限制，当连续按下电枢电压上调键“▲”或他励电压上调键“▲”或励磁电流上调键“▲”时，该路输出电压连续上升直至发出“嘟”声，此即表示达到其上限值。

9、本装置发生异常时，应按下“复位”键使系统复位，将“电源开关”关掉，以切断电源。

实验二 变压器试验

一、实验目的：

- 1、掌握变压器空载试验和短路试验的方法
- 2、测定变压器的变比和损耗
- 3、测定变压器的激磁参数和短路参数

二、实验仪器：

单相变压器、三相变压器、单相调压器、三相调压器、功率表、电压表、电流表。

三、实验原理：

1、变压器空载试验

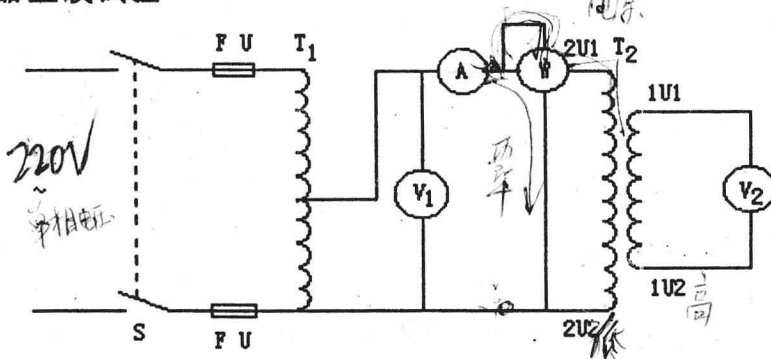


图 2-1 变压器空载试验线路图

变压器空载试验是指在其原边加上额定电压 U_{1e} ，副边开路的情况下进行试验的一种方法。变压器空载试验线路如图 2-1 所示。

变压器空载试验原则上在高、低压边加上额定电压都可以进行，但为了方便和安全，通常在低压边加上额定电压，高压边开路的情况下进行。

在变压器空载试验中，分别测量出原边电压 U_{1e} 、电流 I_0 、输入功率 p_0 、副边电压 U_{20} ，便可以求出变压器的变比 K 、铁心损耗 p_{Fe} 、励磁阻抗 z_m 、励磁电阻 r_m 、励磁电抗 x_m 。

$$K = \frac{U_{1e}}{U_{20}} \quad (2-1)$$

$$p_{Fe} \approx p_0 \quad (2-2)$$

$$z_m = \frac{U_{1e}}{I_0} \quad (2-3)$$

$$r_m = \frac{P_0}{I_0^2} \quad (2-4)$$

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} \quad (2-5)$$

如果改变加在原边电压 U_1 ，并测量出相应的空载电流 I_0 ，便可以作出变压器的空载特性曲线 $I_0 = f(U_1)$ 。

2、变压器短路试验

变压器短路试验是指其副边两端短路，在原边加上短路电压 U_k （短路电压 U_k 从零逐渐增大到原边电流 I_k 接近或等于其额定电流 I_{1e} 为止）的情况

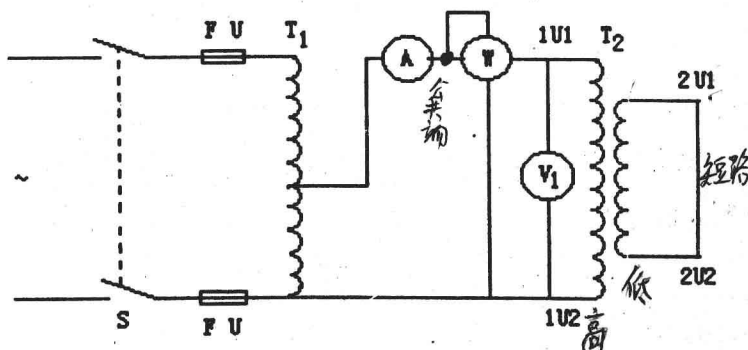


图 2-2 变压器短路试验线路图

下进行试验的一种方法。变压器短路试验线路如图 2-2 所示。

变压器短路试验原则上在高、低压边加上短路电压都可以进行，但为了方便和安全，通常在高压边加上短路电压，低压边两端短路的情况下进行。

变压器短路试验时，外加短路电压 U_k 很低，主磁通也就很小，变压器的铁耗和励磁电流均可忽略不计；其次，由于副绕组两端短路，输出电压为零，也就没有功率输出，因此，短路损耗 p_k 近似等于铜耗 p_{cu} 。

在变压器短路试验中，分别测量出原边短路电压 U_k 、短路电流 I_k 、短路损耗 p_k 、便可以求出变压器的铜耗 p_{cu} 、短路阻抗 z_k 、短路电阻 r_k 、短路电抗 x_k 。

如果改变加在原边短路电压 U_k ，并测量出相应的短路电流 I_k ，便可以作出变压器的短路特性曲线 $I_k = f(U_k)$ 。

$$P_{cu} = P_k \quad (2-6)$$