

电修及变压器制作与维修

实习指导书

福建工程学院电子电气实验中心

2007年7月

目录

第一部分 电机修理

| | |
|------------------------------|----|
| 一、实习目的····· | 1 |
| 二、实习操作内容····· | 1 |
| (一)、电机拆装工艺练习····· | 1 |
| (二)、交流三相异步电机定子绕组重绕····· | 2 |
| (三)异步电动机定子绕组嵌线步骤····· | 7 |
| (四)异步电动机维修后的检查和试验图····· | 8 |
| (五) 交流三相异步电动机的故障分析与排除方法····· | 8 |
| 三、实习成绩评分细则····· | 10 |

第二部分：变压器制作

| | |
|-------------------------|----|
| 一、实习目的····· | 12 |
| 二、实习操作内容····· | 12 |
| (一) 重绕一只小功率控制变压器····· | 12 |
| (二) 制作小功率电源变压器····· | 15 |
| 三、小功率变压器的故障分析与排除方法····· | 16 |
| 四、实习成绩评分细则····· | 18 |

第一部分：电机修理

一、实习目的

本课程设置的目的是，提高学生的动手能力和操作技能。对他们来说，除应当了解必要的电学理论外，更位重要的是必须掌握实际的维修技能和操纵工艺知识。通过重绕交流三相异步机（双层、单层），掌握绕线工艺、嵌线工艺、绑扎工艺、装配工艺及烘干浸漆工艺。能进行常见故障的分析、判断与排除，逐步提高学生分析问题、解决问题的能力，培养具备综合职业能力的应用型人才。

二、实习操作内容

（一）、电机拆装工艺练习

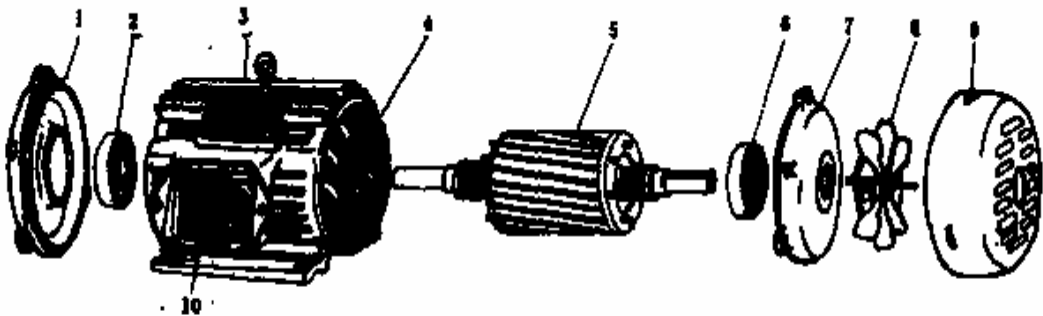


图 1—2 三相异步电动机的结构

1. 端盖; 2. 轴承; 3. 机座; 4. 定子; 5. 转子;
6. 轴承; 7. 端盖; 8. 风扇; 9. 风罩; 10. 接线盒

1、基本要求:

按工艺步骤拆装一台三相异步电动机，拆装过程步骤应正确，

正确使用各种工具，，整机外观完整，转子转动灵活。

2、拆卸步骤：在拆卸前，首先要作好准备工作，即准备各种工具，以及作好拆卸前的记录和检查工作，然后进行正确的拆卸。电动机拆卸方法和步骤如下：

从前端拆：风罩 — 风叶 - 后端盖的外轴承盖 - 前端盖三螺栓（前端盖特点：三螺栓固定孔处没有径向螺纹孔、靠近接线盒端、-套在轴伸部分） -- 取前端盖及转子部件 -- 后端盖

从后端拆：风罩 -- 前端盖的外轴承盖 -- 后端盖三螺栓 -- 取后端盖及转子部件 -- 前端盖（前端盖特点：三螺栓固定孔处没有径向螺纹孔、靠近接线盒端、-套在轴伸部分）

3、装配步骤：安装过程工艺步骤与拆卸步骤相反，值得注意的是装配过程最后安装外轴承盖时要通过适当调整。

（二）、交流三相异步电机定子绕组重绕

1、基本要求：按电机绕组重绕工艺要求，进行单层绕组及双层绕组重绕练习。

要求三相绕组匝数平衡、无断路及无匝间短路现象，三相绕组 $R_{地} \geq 0.5M\Omega$ 及 $R_{相间} \geq 0.5M\Omega$ ，三相绕组首尾端正确。

2、交流三相异步电机定子绕组的重绕工艺

（1）、数据记录

a) 外部数据即铭牌数据：

| 三 相 异 步 电 动 机 | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 型 号 <input type="text"/> | 额定功率 <input type="text"/> kW |
| 额定电压 <input type="text"/> V | 额定电流 <input type="text"/> A |
| 接 法 <input type="text"/> | 绝缘等级 <input type="text"/> |
| 额定转速 <input type="text"/> r/min | 额定频率 <input type="text"/> Hz |
| 防护等级 <input type="text"/> | 重 量 <input type="text"/> kg |
| 标准编号 <input type="text"/> | 定 额 <input type="text"/> |
| 产品编号 <input type="text"/> | 日 期 年 月 |
| x x x 电 机 厂 | |

- b) **内部数据即绕组数据:** 槽数 24 元件 12
 每极相组元件数 1 跨距 1--6
 导线直径 Φ0.83 元件匝数 62
 绕组并绕根数 1 导线重量 1.7kg
 铁心长度 120

(2) 拆卸绕组的步骤 :

- 解开端部绑扎线
- 剪下六根引相组间接线
- 取出槽口竹契, 槽口绝缘纸及相间绝缘纸
- 取绕组, 对于双层绕组 2 只线圈连绕组成一个极相组, 中间连绕处不得剪线

(3) 单层链式绕组

$$Z=24 \quad M=3 \quad P=2 \quad q=2$$

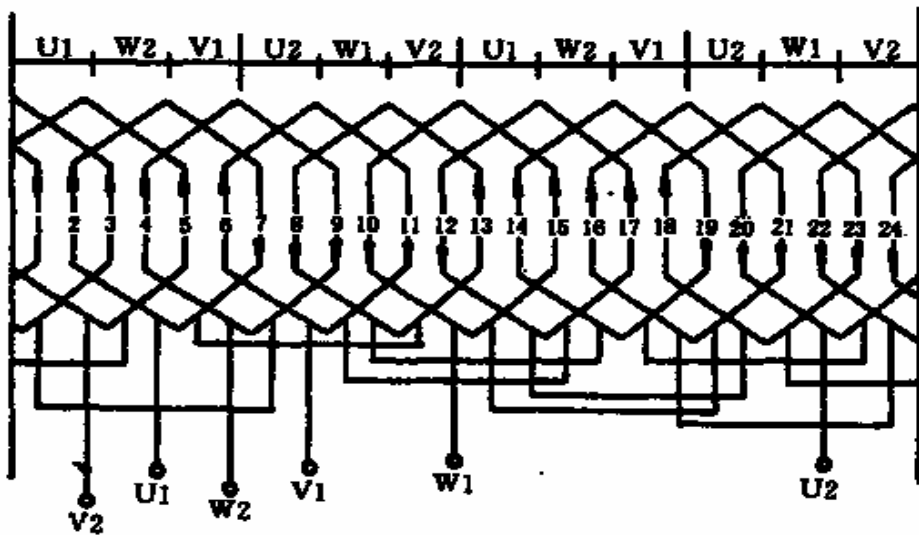


图 2: 单层链式绕组展开图

A、分极 B、分相 C、定电流方向

上图为单层链式绕组, 此绕组结构紧凑, 端部美观合理, 用料节约。

(4)、双层链式绕组

为了改善起动性能，①

双层绕组必须采用短距元件。而且同全距元①件相比较，短距元件的端接部分较短，可以节约一些导线，现在主产的 10 千瓦以上的异步电机都采用双层短距绕组。当元件节距等于 $5/6$ 极距，即 $Y=5/6t$ 时，对改善起动性能最为有利，其优点为电机效率高。

图 3：双层链式绕组展开图

(5)、交流异步绕线式电机转子绕组

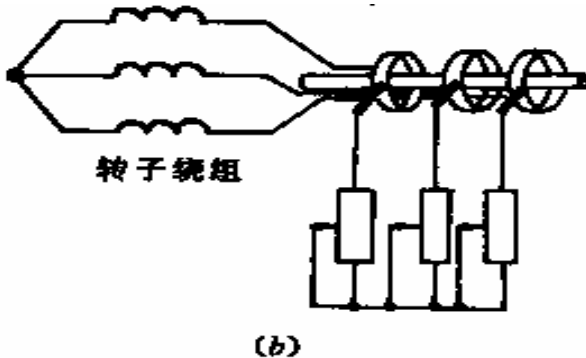
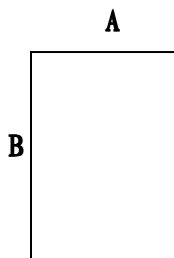


图 4：交流异步绕线式电机转子绕组

(6)、定线模尺寸：测量法



$A=1-6$ 槽（跨距）槽底中心线间的弧长

$B=L$ （铁心长度） $+2d$ （ $d=5-20$ ）

以上介绍的是测量法，关键在于如何力求尺寸的准确，线模尺寸太大造成端部长碰端盖，引起失地现象，线模尺寸太小嵌线困难。

(7)、绕线工艺：

- a) 用千分尺检查导线直径是否符合要求
- b) 绕组引出线应处理在线圈同一短边

- c) 绕组引出线长度与短边等长
- d) 绕组中间所有接头应处理在两短边的中部
- e) 绕组不得有交叉、弯曲现象
- f) 绕组应绑扎在短边且打活结
- g) 检查绕组匝数及绝缘状况

(8)、嵌线工艺:

- a) 检查绕组通路、绝缘、匝数等状况
- b) 检查铁心两端部状况并加以处理
- c) 绝缘纸安装时伸出铁心部分应等长，以保证绕组对铁心有足够的爬电距离，伸出长度一般为 7—10mm
- d) 嵌线时绕组所有引线应处理在靠近机座出线盒的一端
- e) 理线与压线:：要点示范
- f) 封槽: 绕组入槽后,若槽中纸高出槽口,应用通针将其折下后才能插入槽契. 插入槽契时不得高出槽口.
- g) 端部整形: 每嵌完一组线圈端部均应整形,使绕组两端成喇叭口,斜度为 5° — 8° 较为适合.
- h) 嵌线规律: 单层嵌一空一吊二 ; 双层嵌 6 吊 5

(9)、绕组接线: 绕组嵌线完成后,需要将其连接成三相绕组,同时将各相绕组的始末端引出称为接线。下图中箭头方向为电流规定方向。

接线规律: a、隔二接一 b、首首尾尾相接即反串 c、极相间电流方向相对相背原则

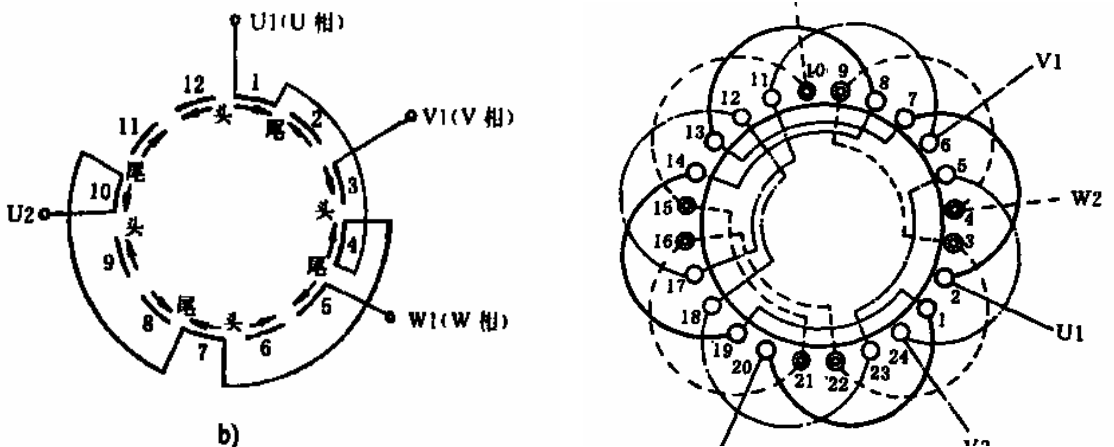


图 5：三相交流异步电机定子绕组接线图

(10)、绑扎工艺：异步电动机定子绕组经过嵌线和接线完毕后，必须进行端部扎。绕组端部绑扎的目的在于固定引接线和引出线，增加绕组的机械强度。绑扎绕组一般可用 0.1 mm 无碱玻璃丝带或白布带。绑扎时首先将三相绕组六根引出线按隔一分组后，分别从接线盒处连孔穿出。应按顺序将引接线和引出线布置在绕组的顶部，并注意端部相间和线圈间的绝缘材料的位置不要变动，保证能有效地分隔线头，但又不会凸出太高（一般高出线圈 5~6mm 较为适宜）。对太高的端部绝缘材料要修剪整齐。绑扎前应检查绕组的相间绝缘和对地绝缘是否良好，最后将绕组的端部整成喇叭口形状。利用划线板和木锤将绕组的端部整理喇叭口形状如：下图。喇叭口的直径大小要适当、过小将影响通风散热效果，甚至与转子风扇相擦造成损坏；太大则会使绕组端部碰壳，特别是在装配时使绕组端部与端盖相碰，造成绝缘损伤，产生接地故障。经过绕组端部整形后，要再次检查相间绝缘和对地绝缘。

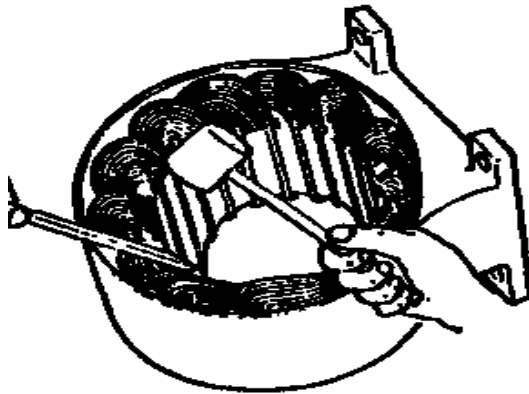


图 6：定子绕组整形绑扎

(11)、烘干浸漆工艺：为了提高电动机绕组的绝缘性能，加强绕组的机械强度，对重新更换绕组或绕组绝缘电阻值低或受潮的电动机，则必须进行绝缘漆浸渍和烘干处理。

A、浸漆处理的目的：

- (a) 提高绕组的耐潮性能。浸漆处理后，绝缘漆将线圈导线之间的缝隙填满，并在表面形成光滑的漆膜，使水分和潮气不易侵入，因而提高了绕组的耐潮性能。浸漆处理的次数越多，防潮性能越好。
- (b) 改善散热条件。电机绕组的使用寿命与绕组的温度有着密切的关系。绕组经过浸漆处理后，绕组内部及与铁心之间的空隙被绝缘漆填满，空隙中的空气被排走，这样传导热量的能力提高了许多，因此电机运行时绕

组的热量能较快散发出去，从而改善了电动机的散热条件。

- (c) 增加绕组的机械强度、绕组经过浸漆处理后，使松散的导线粘结成为一个坚实的整体，从而加强了绕组的机械强度。
- (d) 改善电动机的电气绝缘性能。经过绝缘漆处理后，绕组内部及与铁心间的空隙均被绝缘漆填满，形成电气性能较好的漆膜，从而提高了绕组的电气绝缘能力。

B、浸漆处理的方法： 沉浸、淋浸（浇浸）、滚浸、滴浸

(三) 异步电动机定子绕组嵌线步骤

1、单层绕组嵌线步骤： 现介绍单层链式绕组。以国产 J0₂ 系列三相异步电动机，定子槽数为 24 槽，极数 $ZP=4$ ，相数 $m=3$ ，每极每相槽数 $q=2$ 。线圈节距 $y=5$ （即 1~6 槽）为例，说明这种绕组的嵌线过程。其绕组展开图如图 2 所示，绕组布线接线如图 5 所示。

- a) 先把任意一相（如 U 相）的第一个线圈的一个有效边嵌入槽 7 内，由于它的端部将被压在下层，因此称其为下层边。在嵌第 n 个线圈时就要安排好引出线位置，使得三相的引出线最短。第一个线圈的另一条有效边暂时不嵌，这种线圈称为起把线圈。
- b) 接下来空一个槽（8 号槽）暂时不嵌线，然后将第二相的第一个线圈的下层边嵌入 9 号槽中。该线圈的另一有效边暂时不嵌进 4 号槽中。也为起把线圈。
- c) 再空一个槽（10 号槽）在 11 号槽中嵌入第三相的第一个线圈的下层边，此时该线圈的上层边根据 $y=5$ 的规定即可嵌入 6 号槽之中。
- d) 以后各线圈仍按空一槽嵌一个有效边，同时按线圈节距 y 将上层边也嵌入槽内。直到所有线的下层边全部嵌入槽内之后，最后再把起把线圈的起把边嵌入 2 号槽和 4 号槽之中，至此整个绕组全部嵌完。
- e) 对各相绕组的四个线圈按反串联的连接方法进行连接，即上层边与上层边相连，下层边与下层边相连。

由此可以看出，单层链式绕组的嵌线工艺有以下特点：

- a、起把线圈（或称吊把线圈）数等于 q （ $q=2$ ）
 - b、嵌完一个槽后，空一个槽再嵌另一相线圈的下层边。
 - c、同相线圈的连接规律为上层边与上层边相连，下层边与下层边相连。相绕组引出的首端（或束端）在空间彼此相隔 120° 电角度，即四个槽
- 这种绕组的嵌线方法可以简单地归纳为“嵌一、空一、吊二”。

2、双层绕组嵌线步骤： 双层叠绕组的嵌线工艺比较简单。只需依次逐槽嵌线，直至完成即可。

- a) 嵌线前，要注意使线圈的引出线置于靠近机壳上出线孔的一端，以免引出线接线困难。
- b) 开始嵌线时，首先要确定暂时不嵌上层边的起把线圈数，即与线圈节距 y

相等数目的线圈的上层边暂时不嵌，只依次嵌入它们的下层边。

- c) 嵌完开始的 y 只起把线圈的下层边，并在它们的上面放好层间绝缘纸并压紧，然后再依次嵌入其后的各只线圈的下层边和上层边。每个下层边嵌进槽后，都要在它的上面放好层间绝缘纸。
 - d) 直到全部线圈的下层边嵌进槽后，最后方可将开始的 y 只起把线圈的上层边依次嵌入对应槽的上层
 - e) 这种绕组的嵌线方法可以简单地归纳为“嵌六、吊五”。
- 各相的通线圈之间的连接，按反串联的方法进行连接。即上层边引出线接上层边引出线，下层边引出线接下层边引出线

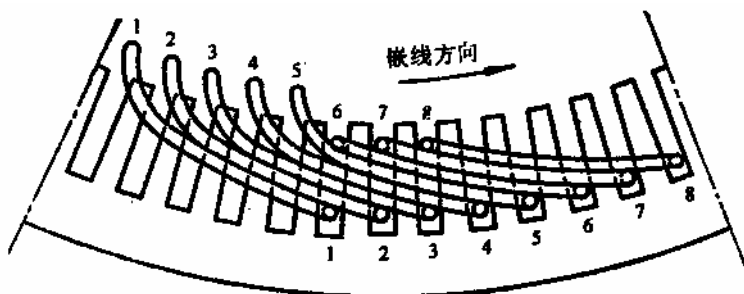


图 7：双层叠绕组嵌线示意图

(四) 异步电动机维修后的检查和试验图

- 1、检查的项目：
 - (1) 三相绕组对地绝缘电阻, $R \geq 0.5M\Omega$
 - (2) 三相绕组相间绝缘电阻, $R \geq 0.5M\Omega$
 - (3) 三相绕组通路
- 2 试验的项目：
 - (1) 直流电阻的测定：直流电阻的测定主要是检验其三相绕组的直流阻值是否平衡，要求阻值不平衡率不超过均值的 4%。
 - (2) 空载电流 I_0 的测量：主要是检验电机的空载铜耗与铁耗，要求三相 I_0 不平衡率不超过 I_N 的 5%， $I_0 \leq I_N 30\%$ 。

(五) 交流三相异步电动机的故障分析与排除方法

三相异步电动机的故障一般可分为机械故障、电磁故障、滑环与电刷故障等。

1、机械故障的分析

(1) 振动严重

- a、电动机轴承配合不良或轴承损坏
- b、电动机转子不平衡或轴伸连接的联轴器、皮带轮等不平衡
- c、电动机定子绕组局部短路或接地故障时，三相电流不平衡，使磁场不

对称而引起的振动

d、绕线式转子的绕组有局部短路故障时，使转子磁场不对称

e、电动机长期运行引起地脚螺钉松动

(2) 定、转子碰擦

a、轴承内外圈之间的间隙太大，松动明显

b、端盖止口与机座配合松动

c、端盖轴承室与轴承配合松动，结果走轴承外径

d、转轴弯曲偏心运转

(3) 电磁故障的分析

a、电源断相：当 Y 形接法时，则两相绕组烧毁，而形接法时则一相绕组烧毁。

b、匝间短路：会引起短路的一匝或几匝自身组成回路，产生很大的电流，时间一久短路匝的绝缘破坏导致电机烧毁。

c、相间短路：相间短路时，电动机的损坏程度与短路点的位置及其他一些因素有关。

d、绕组接地：会引起电机漏电，运转不正常

e、绕组断路：对于 Y 形接法的电动机绕组断路一相时与电源断相造成的后果一样，而对于形接法的电动机，当绕组断一相时，电动机内部成了一个开路三角形，这时电动机是两相运行，有起动转矩。如果长时间满载运行，电动机会因过热烧毁。

f：转子断条：断条严重时，表现为启动转矩降低，转速低，转子过热，导致温升增高，但定子电流正常，带不动负载。

3、滑环与电刷故障的分析

a、环表面不清洁、不平，将会引起滑环过热或烧毁，电刷冒火。排除方法是用 0 号砂纸磨光滑环表面或放在车床上车光和车圆。

- b、刷与滑环接触不良而引起滑环过热或烧毁。排除方法是仔细磨好滑环表面及碳刷，使碳刷与滑环表面接触良好。
- c、滑环过热或烧毁。排除方法是选用合适的碳刷的牌号、大小不符合电动机的要求、压力不足或太大等，将会引起刷，碳刷的压力应调整合适。

三、实习成绩评分细则

1、电机拆装工艺成绩评分标准

- A 正确使用各种工具，拆装步骤正确，整机外观完整，转子转动灵活。
- B 正确使用各种工具，拆装步骤正确，整机外观完整，但转子转动不够灵活。
- C 正确使用各种工具，拆装步骤较正确，整机外观完整，转子转动不够灵活。
- D 使用各种工具正确，拆装步骤较正确，整机外观不完整，转子转动不灵活。

2、相定子绕组重绕练习成绩评分标准

- A 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线结实并按要求扎线紧，嵌线过程工具使用正确，操作姿势正确且两端部绕组排列有序结实，绕组绑扎结实美观。
- B 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线结实并按要求扎紧，嵌线过程工具使用正确，操作姿势正确且两端部绕组排列有序结实，绕组绑扎结实但较美观。
- C 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线结实并按要求扎紧，嵌线过程工具使用正确，操作姿势正确但两端部绕组排列不够有序结实，绕组绑扎结实不够美观。
- D 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线结实并按要求扎紧，嵌线过程工具使用正确，操作姿势基本正确但两端部绕组排列不整齐，绕组绑扎结实但不美观。

3、电机装配与试验评分标准

- A 熟悉电路工作原理，三相绕组绝缘电阻达标准值，通电试验三相空载电流值平衡，电机运转正常无异声。
- B 熟悉电路工作原理，三相绕组绝缘电阻达标准值，通电试验三相空载电流值不够平衡，电机运转正常无异声。
- C 熟悉电路工作原理，三相绕组绝缘电阻达标准值，通电试验三相空载电流值不平衡，电机运转正常无异声。
- D 熟悉电路工作原理，三相绕组绝缘电阻达标准值，通电试验三相空载电流值平衡，电机运转正常有异声。

4、纪律学风成绩评分标准

- A 出满勤，且无迟到、早退现象。实习期间严格遵守实训中心的规章制度及安全操作规程，学习认真，劳动积极主动。
- B 出满勤，且无迟到、早退现象。实习期间严格遵守实训中心的规章制度及安全操作规程，学习认真，劳动较积极主动。
- C 实习期间遵守实训中心的规章制度及安全操作规程，学习主动性一般。
- D 实习期间有违反纪律现象，或有多次迟到、早退、旷课现象。

5、实习报告成绩评分标准

- A 在规定时间内按要求完成实习报告，报告内容正确、全面、系统。
- B 在规定时间内按要求完成实习报告，报告内容基本正确且较全面、系统。
- C 未在规定时间内按要求完成实习报告，或在规定时间内未按要求完成实习报告，报告内容不正确，不够系统、全面。
- D 未完成实习报告，或实习报告内容基本错误。

第二部分：变压器制作

一、实习目的

本课程设置的目的是，提高学生的动手能力和操作技能。必须掌握实际的维修技能和操作工艺。通过制作小功率控制变压器和电源变压器，掌握小功率变压器的计算方法和步骤、绕线工艺、叠装工艺及烘干浸漆工艺，掌握变压器的耐压试验方法和通电试验项目。能进行常见故障的分析、判断与排除，逐步提高学生分析问题、解决问题的能力，培养具备综合职业能力的应用型人才。

二、实习操作内容

（一）、重绕一只小功率控制变压器

1、基本要求：

按工艺步骤重绕一只小功率控制变压器，绕制过程步骤应正确，正确使用各种工具，整只变压器外观完整，引出线正确，绝缘良好。

2、小功率控制变压器的重绕工艺

（1）、数据记录

- a、铭牌数据：型号、容量、相数、一二次侧电压、连接组、绝缘等级
- b、铁心数据：铁心厚度、舌宽、窗高、铁心叠压顺序和方法
- c、绕组数据：导线型号及规格、绕组匝数、绕组尺寸、绕组引出线排列
- d、层间绝缘纸数据：纸的型号及厚度
- e、屏蔽层

（2）拆卸铁心及绕组的步骤：

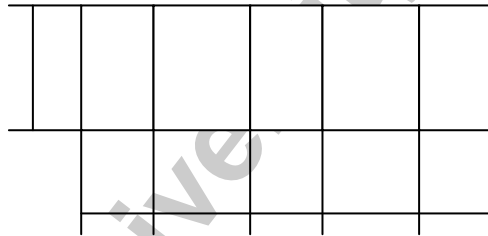
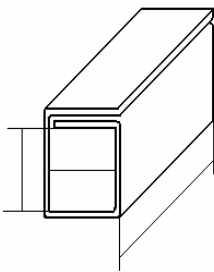
松开铁心夹件、先拆铁心 I 片、后拆铁心 E 片、收拾好铁心叠片不可散失。铁心装配步骤与拆卸步骤相反，而且是每两片进行，以避免抢片现象发生。拆绕

组时外层为二次方，内层为一次方，注意绕组一、二次方电压引线的排列

(3) 制作绕线骨架及模心

骨架除起支撑绕组作用外，还起对地绝缘作用，要求具有一定的机械强度和绝缘强度。重绕变压器在拆卸铁心时，一定要尽可能的保护好绕线骨架的完整、良好，以便继续使用或作为制作骨架的依据，在这里介绍无框骨架及模心的计算与制作。

①、无框骨架的计算与制作：



上图中 a' =舌宽 (22)、 b' =铁心厚度 (30)、 h' =窗高 (39)

$$a(\text{短边}) = a' + 0.5 = 22.5、b(\text{长边}) = b' + 0.5 = 30.5、h(\text{窗高}) = h' - 1 = 38$$

无框骨架一般采用弹性纸或红钢纸制成，所用弹性纸的厚度根据变压器的容量选择，如下表

| | | | | |
|------------|-----|-----|---------|----------|
| 变压器容量 (VA) | 30 | 50 | 100—300 | 400—1000 |
| 弹性纸厚度 (mm) | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.5 |

②、模心的制作：模心是用来套在绕线机转轴上支撑绕组骨架进行绕线的。它的长宽尺寸按铁心中心柱截面 $a \times b$ 稍大一些，高度与绕线骨架相等。

③有骨框架的制作

(4)、绕线工艺：

- a、线头的处理：要求接触良好、牢靠、绝缘
- b、接头的处理：要求接触良好、绝缘
- c、线尾的处理：要求接触良好、牢靠、绝缘

- d、中间抽头的处理：要求牢靠、绝缘
- e、绝缘纸的处理：应处理在短边
- f、绕线要求：排列严密平整，绕线成塔状

(5)、烘干浸漆工艺

新制作的和大修后的变压器必须进行浸漆和烘烤处理，以提高防潮、防霉、防锈蚀的性能，保证长期稳定可靠地工作。浸漆的目的是使绝缘漆填满绝缘物毛细孔内、导线间、铁心间、线圈与铁心间的空隙，使外界潮气不能侵入。

同时将线圈与铁心粘接成一个整体，增强机械强度。烘干浸漆的工艺步骤如下：1、预烘

将变压器置于烘干箱中预烘，温度调节为低温 $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下 1 小时左右，再用高温 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下 3 小时左右，以便驱除内部潮气。

2、浸漆

浸漆时，变压器温度一般规定为 $60^{\circ}\text{C}—80^{\circ}\text{C}$ ，因为变压器温度太高，则漆遇到高温时溶剂易挥发，但盛漆桶温度太低时，工件温度可以适当提高，使漆流动性较好，容易使工件浸透。将预烘干燥的变压器淹没于绝缘漆中，浸泡 1 小时左右。开始时线圈中不断有气泡逸出，经过 1 小时左右，基本上不再冒泡，说明线圈已经浸透绝缘漆。

3、滴漆

将浸透漆的变压器悬吊或放在铁丝网上，使附在表面及空隙中多余的漆滴去，经 1 小时基本可以滴尽。

4、烘烤

将滴尽的变压器放进烘箱，先在低温 $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下 1 小时左右，再用高温 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下 3 小时左右，烘烤后复查绝缘电阻应 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，达到要求即可使用。

如果烘干浸漆两次，工艺过程不变，第一次的粘度为 18~22 秒，第二次粘度为 30~35 秒。第一次粘度较稀，目的是使漆容易浸透到绕组内，但是由于漆比较稀，在溶剂挥发掉以后，所留下的固体很少，有形成泡沫状多孔性漆膜的可能，这样会影响浸漆的质量。第二次浸漆的浓度要大，目的是让绝缘漆能多一些填充绕组的间隙及附着绕组表面。近来，有些先进单位已在处理 E、B 级绝时实行一次浸漆工艺，漆的粘度采用 35~38 秒。处理后经防潮、温升等有关试验，结果这种浸漆工艺比上述二次浸漆效果还要好，而且大大地缩短了浸漆时间。

(6)小功率控制变压器重绕后的检查和试验项目

- ①、检查的项目：a、检查外观质量及绕组引线排列是否正确

- b、检查一、二次方绕组通路
 - c、检查一、二次方绕组对地绝缘电阻, $R_{地} \geq 0.5M\Omega$
 - d、检查一、二次方绕组间绝缘电阻
- ② 试验的项目:
- a、一、二次方绕组匝数的测定: 要求匝数误差不超过 5%。
 - b、空载电流 I_0 的测定: 主要是检验变压器的空载铜耗与铁耗, 要求 $I_0 \leq I_N 10\%$ 。
 - c、空载电压 U_0 的测定: 要求输出电压比额定值高出 5%, 即 $U_0 = 105\%U_N$
 - d、耐压实验: 一次方绕组打耐压 3500V, 时间为 1 分钟; 二次方绕组打耐压 1700V, 时间为 1 分钟。

(二) 制作小功率电源变压器

- 1、外部数据: 容量 20VA
 电压 220/8V、15V
 电流 0.06A/0.24A
 频率 50HZ
 绝缘等级: B 级

1、内部数据: EI-57 × 25

$$S_c = 1.9 \times 2.5 \times 0.97 \text{ cm}^2$$

$$B_m = 1.3T \quad T_v = 7.435T/V$$

导线: $\Phi 0.17 / \Phi 0.35$
 匝数: 1640T/0-60T-112T

2、计算步骤:

(1) 确定额定功率 P_B : 根据变压器次级绕组的电压、电流, 初级电源的电压、频率等数据, 可计算出变压器额定功率 P_B 。

(2) 计算 $S_c S_0$

$$S_c S_0 = (P_1 + P_2) \times 10^8 / 4.44 f B_m j K_0 K_c$$

$$= P_B 10^8 / 2.22 f B_m j K_0 K_c$$

$$= K \cdot P_B$$

上式中 P_1 为初级功率, P_2 为次级功率, P_B 为额定功率, B_m 为磁通密度取 1.3T, j 为电流密度, 一般取 $2.5A/mm^2$ 。在上式计算过程中, 为了与手册的单位一致, 取 $j = 250A/cm^2$, $B_m = 1.3 \times 10^4 GS$, K_0 为铜线占空系数, 取 0.3-0.5; K_c 为铁心叠装系数, 取 0.9-0.97。

(3) $P_B < 100VA$ 时、取 $S_0 = 0.8 S_c$, 计算求得 S_c , 单位为 cm^2 。式中 S_0 为窗口面积, $S_0 = \text{窗宽} \times \text{窗高} = c \times h$, S_c 为铁心中心柱截面积, $S_c = \text{舌宽} \times \text{铁芯厚度} = a \times b$

(4) 估取 $b = 1.5a$ 则 $S_c = ab = 1.5a^2$, 计算求得 a

查表找出接近 a 的标准宽度值，再根据 $b=S_c/aK_c$ 。（式中 K_c 为铁心叠装系数），计算出铁心的实际叠厚，并查表选取 b 的标准值（所选的标准值只能比计算值大，而不能小），从而初步选定铁心尺寸，并计算 $N_c=b/b_0$ 。（ N_c 为硅钢片的片数）

(5) 计算绕组每伏匝数 N_0

$V \approx E=4.44fNB_mS_c \times 10^{-8}$ 式中 B_m 单位取 GS ($1T=10^4GS$) S_c 单位取 cm^2

$N_{01}=N_1/V_1=10^8/4.44fB_mS_c$

$N_{02}=(1.05 \sim 1.1)N_{01}$ 考虑了压降选损耗

(6) 计算 N_1 、 N_2 、 N_3

(7) 选择导线截面积或直径

$$S_v=I/j \quad d=\sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad \text{当 } j=2.5A/mm^2 \text{ 时, } d=0.75 \text{ I}$$

由计算结果查附表得出铜线标称直径及最大外径值，这样就可以计算出变压器的基本结构参数。

(8) 经验铁心窗口

窗口太空、 S_0 太大、变压器体积增大、应修改 S_c 与 S_0 比例关系。若窗口太小、应增大 S_0 ，总之，以刚好放得下又有空隙为好。

$S_0'=\sum N_i S_{L_i}=N_1 S_{L1}+N_2 S_{L2}+N_3 S_{L3}$

$K_0=S_0'/S_0$ (K_0 为铜线占空系数，计算结果应在 $0.3 \sim 0.5$ 之间)

三、小功率变压器的故障分析与排除方法

变压器在运行中由于种种原因会发生各种故障，必须加强维护与修理，以保证其安全、可靠地运行。为此，既要掌握变压器的维修技能，又要掌握常见故障的分析与处理。判断变压器故障的基本方法，可归纳为三点：一看、二测、三想，看：就是从外观来发现变压器故障，例如引线从变压器外部拆断可以直接观察到。测：就是用仪表测试，例如变压器内部断线，线因受潮等，就需要用万用表、兆欧表进行测试。想：就是根据故障现象进行分析，例如电源变压器在空载时发热比较厉害，则多半是线圈有短路现象。小型变压器的故障主要是铁芯故障和绕组故障，此外还有装配或绝缘不良等故障，这里只介绍小型变压器常见故障的现象、原因与处理方法。见下表

表：小型变压器的常见故障与处理方法

| 故障现象 | 造成原因 | 处理方法 |
|--------------|---|--|
| 一、电源接通后无电压输出 | 1、一次侧绕组短路或引出线脱焊 2、二次侧绕组短路或引出线脱焊 | 1、拆换修理一次侧绕组或焊牢引出线接头 2、拆换修理二次侧绕组或焊牢引出线接头 |
| 二、温升过高或冒烟 | 1、绕组匝间短路或一、二次侧绕组间短路 2、绕组匝间或层间绝缘老化 3、铁心硅钢片绝缘太差 4、铁心叠厚不足 5、负载过重 | 1、拆换绕组或修理短路部分 2、重新绝缘或更换导线重绕 3、拆下铁心，对硅钢重新涂绝缘漆 4、加厚铁心或重新制作骨架、重绕绕组 5、减轻负载 |
| 三、空载电流偏大 | 1、一、二次侧绕组匝数不足 2、一、二次侧绕组局部匝间短路 3、铁心叠厚不足 4、铁心质量太差 | 1、增加一、二次侧绕组匝数 2、拆开绕组修理局部短路部分 3、加厚铁心或重新制作骨架、重绕绕组 4、更换或加厚铁心 |
| 四、运行中噪声太大 | 1、铁心硅钢片未插紧或未压紧 2、铁心硅钢片不符设计要求 3、负载过重或电源电压过高 4、绕组短路 | 1、插紧铁心硅钢片或紧固铁心 2、更换质量较高的同规格硅钢片 3、减轻负载或降低电源电压 4、查找短路部位并进行修复 |
| 五、二次侧电压下降 | 1、电源电压过低或负载过重 2、二次侧绕组匝间短路或对地短路 3、绕组对地绝缘老化 4、绕组受潮 | 1、增加电源电压，使其达到额定植 2、查找短路部位并进行修复 3、重新绝缘或更换导线重绕 4、对绕组进行干燥处理 |

| | | |
|-----------|--|---|
| 六、铁心或地板带电 | 1、一次侧或二次侧绕组对地短路或一、二侧绕组间短路 2、绕组对地绝缘老化 3、引出线碰触铁心或底板 4、绕组受潮或 | 1、加强对地绝缘或拆换修理绕组 2、重新绝缘或更换导线重绕 3、排除引出线头与铁心或底板的短路点 4、对绕组进行干燥处理或将变压器置于环境干燥场合使用，底板感应带电现象只需将电源火线与零线对调即可消失 |
|-----------|--|---|

四、实习成绩评分细则

1、变压器装配工艺成绩评分标准

- A 正确使用各种工具，拆装步骤正确，按顺序叠装变压器铁心，外观完整美观。
- B 正确使用各种工具，拆装步骤正确，按顺序叠装变压器铁心，外观完整较美观。
- C 正确使用各种工具，拆装步骤较正确，按顺序叠装变压器铁心，外观完整不够美观。
- D 正确使用各种工具，拆装步骤较正确，不按顺序叠装变压器铁心，外观完整不美观。

2、制作练习成绩评分标准

- A 在规定时间内完成绕组重绕任务，绕线姿势正确且线圈两端部导线排列有序结实，排线平整无塌蹦现象，绕组结实美观，一二次方引出线排列正确。
- B 在规定时间内完成绕组重绕任务，绕线姿势正确且线圈两端部导线排列有序结实，排线平整无塌蹦现象，绕组结实较美观，一二次方引出线排列正确。

C 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线姿势正确，但线圈两端部导线排列不够有序结实，排线平整无塌蹦现象，绕组结实较美观，一二次方引出线排列正确。

D 规定时间内完成绕组重绕任务，绕线姿势正确，但线圈两端部导线排列无序不结实，排线不平整存在塌蹦现象，绕组不结实不美观，一二次方引出线排列不正确。

3、变压器通电试验评分标准

A 熟悉变压器工作原理，一二次方绕组直流电阻达标准值，通电试验空载电压 U_0 符合额定值，空载电流值 $I_0 \leq I_N 10\%$ ，通电无异常电磁声。

B 较熟悉变压器工作原理，一二次方绕组直流电阻达标准值，通电试验空载电压 U_0 符合额定值，空载电流值 $I_0 \leq I_N 10\%$ ，通电无异常电磁声。

C 不熟悉变压器工作原理，一二次方绕组直流电阻达标准值，通电试验空载电压 U_0 符合额定值，空载电流值 $I_0 \leq I_N 10\%$ ，通电有异常电磁声。

D 不熟悉变压器工作原理，一二次方绕组直流电阻未达标准值，通电试验空载电压 U_0 不符合额定值，空载电流值 $I_0 \geq I_N 10\%$ ，通电无异常电磁声。

4、纪律学风成绩评分标准（同上）

5、实习报告成绩评分标准（同上）