

摘要：着重介绍大功率UV灯用的漏磁变压器的结构，自耦式漏磁变压器的设计和调试。

1 前言

在电子行业，印刷电路板的制作要用光固化油墨，常用UV紫外线光固化机，通过传送带使物件通过紫外线强光照射，促使光致抗蚀剂或光敏漆快速固化，且UV灯产生很高的热量将油墨烘干。完全固化后的膜层表面应平滑、硬度较高。UV光固化机的光源，常装有3支5kW的大功率高压紫外线灯，光固化速度约为每分钟3米。涂有光致抗蚀剂的印刷电路板，在UV光固化机的传送带上，通过3支紫外线灯的照射后，光致抗蚀剂就被固化，从而达到加工的目的。

UV紫外线灯是气体放电灯，在石英灯管中充以高压水银蒸气，它的供电方式以采用漏磁变压器为主，当UV灯起辉后，必须限制通过灯管的电流，大功率UV灯管有5kW、7.5kW和10kW等几种，灯管两端的电压约有1kV。UV灯用的漏磁变压器有隔离式和自耦式两种，其电原理如图1和图2所示。

2UV灯漏磁变压器的结构

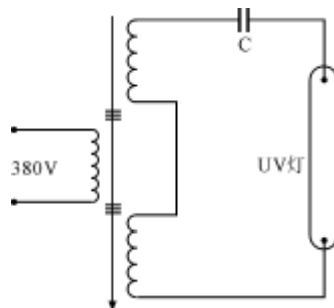


图1 隔离式变压器

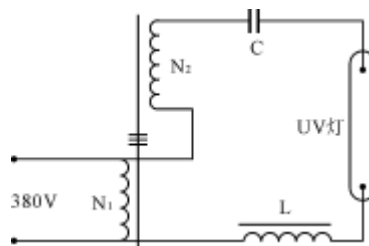


图2 自耦式变压器

2.1 隔离型漏磁变压器

5kW隔离型漏磁变压器的结构类似于霓虹灯变压器，中间的两个绕组为初级绕组，为了适应220V或380V电源，初级绕两个0V—190V—220V相同的绕组，将它们串联或并联，可适应220V、380V或440V的电源电压，次级电压为1100V/5A，分绕成两个绕组，置于初级绕组的两边，初、次级绕组之间设有4个磁分路，将初、次级绕组隔开，当变压器通电时，能起到限流的作用。

从图 1 可见，次级绕组输出电路中串联一个电容器,再与 UV 灯管相接，就是一个 RLC 谐振电路。当电源电压变化时，次级回路还有稳压作用，由于电容器 C 的存在，也使电路的功率因数有所提高。

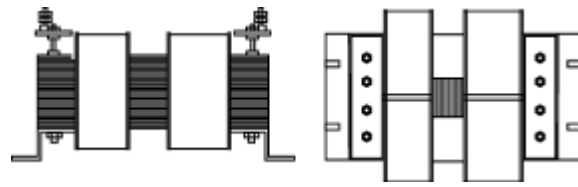


图 3 自耦式变压器

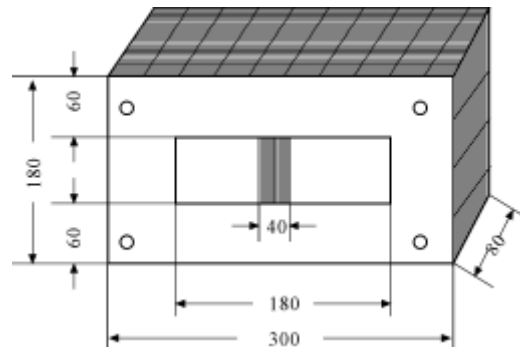


图 4 铁心尺寸

2.2 自耦式 UV 灯漏磁变压器

图 3 为自耦式变压器结构，采用□字形芯式铁心，左边的两个绕组为初级绕组，右边的两个绕组为次级绕组，初、次级绕组之间有磁分路隔开，初、次级绕组相互串联后，接成如图 2 所示的电路。因此，初级绕组既是输入回路，又是输出回路的一部份。

自耦式漏磁变压器的特点是体积小、效率高，但因变压器的阻抗小，通电开机时浪涌电流大，为了防止对灯管的冲击，必须在电路中串联一个电抗器，如图 2 中的 L，以增加回路中的阻抗。

35kW 自耦式漏磁变压器

按图 2 所示的电路图设计一台 5kW 自耦式 UV 灯漏磁变压器，其电气参数如下：

UV 灯管的额定功率：P=5kW

灯管电压：U=1000V

灯管电流：I=5A

变压器输入电压：U₁=380V，f=50Hz

变压器输出电压：U₂=1170V

额定负载电流：I₂=5A

绝缘等级：B 级（130℃）

温升：Δtm≤80℃(在强迫风冷条件下)

耐压：3000V，10mA，1 分钟

计算步骤如下:

(1) 变压器容量 $PT=U_2I_2=1170\times 5=5850VA$

(2) 变压器输入电流 I_1 由下式求出:

$$I_1=PT/U_1=5850/380=15.4(A)$$

(3) 输出绕组电流 I_2 =灯管电流=5A

(4) 变压器输入端公共部份绕组 N_1 的电流 I_1' , 因输入电流和输出电流的方向相反, 所以有一部份电流被抵消, 故:

$$I_1'=I_1-I_2=15.4-5=10.4(A)$$

(5) 绕组 N_2 的电压 U_2'

$$U_2'=U_2-U_1=1170-380=790(V)$$

(6) 变压器平均功率 P

$$P=(U_1I_1'+U_2'I_2)/2=(380\times 10.4+790\times 5)/2=3970(VA)$$

(7) 求铁心截面积 SC

UV 灯漏磁变压器的次级回路工作在 RLC 谐振状态, 铁心处于饱和条件, 若采用 DW360-50 无取向冷轧硅钢片, 磁感应强度 B 的值可取到约 1.5T~1.6T, 所以铁心截面积 $S=0.7\sqrt{P}=0.7\sqrt{3970}=44.1(\text{cm}^2)$

(8) 确定铁心尺寸

$$\text{铁心截面积 } SC=abKC=6\times 8\times 0.95=45.6(\quad)$$

$$\text{铁心磁路长度 } LC=72\text{cm}$$

铁心重量 GC 为:

$$GC=SCLCr\times 10^{-3}=45.6\times 72\times 7.7\times 10^{-3}=25.3\text{kg}$$

(9) 计算初级绕组匝数

$$N_1=U_1\times 10^4/4.44fBSC=380\times 10^4/4.44\times 50\times 1.55\times 45.6=242(t)$$

(10) 每伏匝数

$$TV=N_1/U_1=242/380=0.637(t/v)$$

(11) 次级匝数

$$N_2=1.035U_2TV=1.035\times 790\times 0.637=520(t)$$

(12) 初级导线直径 $d_1d=1.13\sqrt{I_1/J}=1.13\sqrt{10.4/2}=2.5(\text{mm})$

(13) 次级导线直径 $d_2d=1.13\sqrt{I_2/J}=1.13\sqrt{5/1.5}=2.10(\text{mm})$

(14) 各绕组排列

初级分两个线包, 每个线包用 QZ-2.5 漆包线绕 121t, 装配时串联;

次级也分两个线包, 每个线包用 QZ-2.1 漆包线绕 260t, 装配时串联。

4 个线包组装在铁心上的外形结构如图 5 所示。

4UV 灯漏磁变压器的调试

5kWUV 灯漏磁变压器必须按图 6 所示的电路联接，并在 UV 灯点亮时产生强烈的紫外光线，以防止紫外线灼伤人的皮肤，必须将 UV 灯管用金属罩子罩起来，必要时，调试人员还应戴好太阳眼镜。

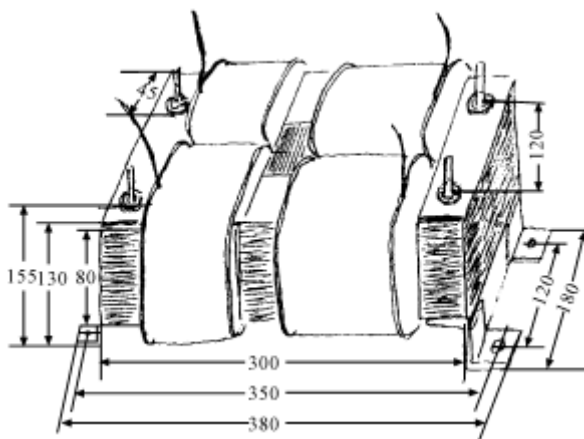


图 5 线包铁心组装图

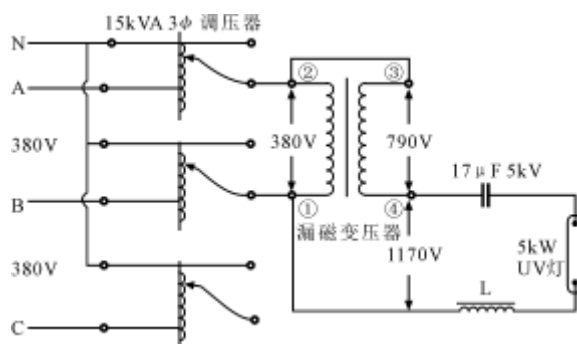


图 6 调试电路图

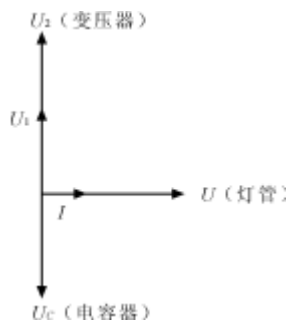


图 7 回路矢量图

4.1 开路试验

将 3 相调压器的指针调到 0 位。断开漏磁变压器输出回路。接通 3 相调压器的 380V50Hz 电源。逐步调节 3 相调压器旋钮，使漏磁变压器初级①—②的电压达到 380V。用钳形电流表测量输入空载电流 I_1 达到 2A。用交流电压表测得次级③—④的电压为 640V，测得①—④的输出电压为 1020V。将 3 相调压器调回到 0 位，切断电源。

4.2 负载试验

按图 6 所示电路接上负载，输入和输出均用钳形电流表表示。接通 3 相调节器的 380V50Hz 电源。逐步调节 3 相调压器，使电压逐步上升到 380V，此时 UV 灯管也开始发光，逐步点亮，两个钳形表的电流也逐步上升。待 5 分钟后，紫外线灯的发光基本稳定，记录输入电流 I_1 为 15A，输出电流 I_2 为 5.5A。测量各点的电压，输入电压 $U_{①-②}=380V$ ，输出电压 $U_{①-④}=1170V$ ，电容器两端电压 $U_C=1300V$ ，灯管两端电压 $U=920V$ ，电抗器两端电压 $U_L=180V$ 。

若输出电流 I_2 的偏差太大，即流过紫外线灯管的电流与额定值偏离太大，可调整变压器铁心中的磁分路片，增减磁分路的厚度，以改变输出回路的电气参数，达到最佳的数值。

经调整后，必须将主铁心和磁分路压紧，以防止在负载时铁心会产生振动噪声，因铁心处于磁饱和状态，所以最好将变压器整体浸漆、烘干后，变压器噪声会大为减小。

4.3 电抗器

电抗器工作时，两端的电压应预先调整到 150V5A，所以当负载电流达到 5.5A 时，两端的电压增大到 180V，铁心磁感应强度应设计在 1T 左右，不应太高，否则端电压升高时，磁通也会增加，铁心会产生较大的噪声。

4.4 回路各点的电压、电流矢量

回路各点的电压和电流矢量如图 7 所示。

5 结论

(1) 自耦式 UV 灯用的漏磁变压器的结构简单、紧凑，体积比双圈隔离式的变压器小，成本低，更有市场竞争力。

(2) 铁心材料如采用低损耗、冷轧取向高 B_s 硅钢片，那么变压器体积还可进一步减小，而铜铁损耗也相应减小，有利于提高效率、节约能源，是下一步开发的方向。

(3) 由于漏磁变压器温升高，所以在机箱内必须用小风扇对变压器进行强迫风冷。也可将对 UV 灯管吹风的鼓风机装在变压器旁，借助鼓风机的吸风，使机箱内的空气加速对流，将变压器发出的热量迅速带走。