

R型变压器容量与温升的关系

Relation of Volume and Temperature Rise for R Iype Transformers

袁海涛

北京核原科电气有限公司

中图分类号: TM4 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2015)12-4-129

1 概述

R型变压器的设计生产已有二十多年的历程了。R型变压器系列在“电子变压器手册”中也有典型的设计参数表,在多年的设计工作中也已成为传统的典范,但是在R型变压器的标称功率上,它有一个范围。例如:R-20的容量可达20-28VA,R-80的容量可达70-100VA,每一档R型铁芯的功率上限与标称容量有25%-40%的增量,对R型变压器用户来说,最好以较小的铁芯能输出较大的功率,而对变压器生产厂来说,一个变压器在最大额定功率负载下,温升是否会超过?或者用户所提的功率有一定的余量,

实际负载没有那么大,所以在实际使用时却安然无恙。

R型变压器若在额定功率的上限作长期运行,变压器的温升情况究竟如何?这就是本文要讨论的内容。

2 R型电源变压器设计参数表

R型变压器自从引进、开发,生产至今已有二十多年历史了,设计方法与生产工艺早已成熟,R型变压器的尺寸系列,型号与容量之间的关系在《电子变压器手册》上也有介绍,生产R型变压器的专业厂也印有相关产品目录,可以说是众所周知的,此R型铁芯的型号与容量之间的关系(见表一),

表一 R型变压器设计参数

型号	容量 P ₂ VA	铁芯 截面积 cm ²	磁路 长度 cm	重量 Gc kg	磁感应 强度 T	电流密度 J A/mm ²	效率 η	电压 调整率 %	初级骨架绕线 宽度 h ₁ 可绕厚度	次级骨架绕线 宽度 h ₂ 可绕厚度	初级 220V 匝数 N ₁	导线 直径 d mm
R-5	5	1.3	13.3	0.13	1.59	4.4	0.77	20	26 1.2	无 1.3	2×2400t	0.1
R-10	10-15	1.9	17.1	0.251	1.63	4.2-4.4	0.8	18	30 2	27 2.1	2×1600t	0.15
R-20	20-28	2.28	18	0.31	1.61	3.9-4.3	0.8	15	32 2.5	31 2.5	2×1350t	0.21
R-30	25-40	2.69	21.2	0.432	1.6	3.7-4.0	0.83	12	42 2.5	43 2.6	2×1150t	0.25
R-40	35-55	3.1	21.5	0.516	1.6	3.4-3.8	0.83	11	41 2.1	41 3.5	2×1000t	0.31
R-50	45-65	3.61	22.2	0.615	1.62	3.2-3.5	0.86	10	40 4	40 4.5	2×850t	0.35
R-80	70-100	4.12	27.1	0.84	1.6	3.0-3.3	0.86	9	58 3.2	59 3.5	2×750t	0.44
R-100	90-130	4.85	28.2	0.96	1.6	2.8-3.2	0.88	9	58 3.5	56 4.2	2×640t	0.49
R-160	150-200	5.43	31.5	1.27	1.65	2.7-3.0	0.88	8	67 4	66 4.5	2×550t	0.62
R-260	200-300	6.27	34.8	1.62	1.62	2.6-2.8	0.9	8	80 4.8	76 4.8	2×490t	0.8
R-320	280-380	6.94	37.2	1.96	1.62	2.5-2.7	0.9	7	83 5	78 5	2×440t	0.93
R-600	380-650	10.3	40.9	3.05	1.64	2.4-2.6	0.92	6	92 4.6	85 6	2×588t 并	0.85
R-800	650-850	14.1	44	4.7	1.5	2.3-2.5	0.92	5	91 5	无 7	2×470t 并	1
R-1000	650-1200	14.6	48	5.21	1.62	2.2-2.5	0.92	5	111 6.2	107 8	2×420t 并	1.12

在容量一栏里，每一型号的铁芯可做到的输出功率 P_2 都有一个范围，小铁芯的输出功率上限要比标称值大 50%，而大铁芯的输出功率上限仅比标称值大 20%，据了解，此 R 型变压器的输出容量范围原先是从国外引进时在外商的样本目录上印的数据，我们一直沿用至今，为了这个原因，我们对 R 型变压器的标称功率与输出功率的上限分别进行设计和试验。

R 型铁芯所用的材料，都是进口的 30ZH105，也有采用 23ZH100 的，其材质要比做 C 型铁芯的好得多，但是所取的磁感应强度 B 值却不高，例如 C 型变压器的 B 值可取到 1.75T，而 R 型变压器的 B 值仅取到 1.65T。原因是 R

型铁芯为闭合磁路，R 型变压器在通电瞬间冲击电流很大，容易将保险丝冲断，或者空气开关会跳闸，所以设计 R 型变压器时，应将 B 值适当下降，即增加些匝数，以降低变压器通电时的合闸电流。

3 设计举例

现在选择 R-160 铁芯，按常规设计二种规格的变压器。一种是输出功率为 160VA，另一种输出功率为 200VA，变压器设计一般均采用表格式列项计算，见表二所示。根据参数表设定的数据逐项计算后填入表二中，表二的左边是

表二 变压器设计单

R-160 初级电压 $U_1=220V$ 次级电压 $U_2=37V$ 表二

计算项目	按 160VA 计算		按 200VA 计算		
	电流 I	0.73A	4.3A	0.91A	5.4A
导线截面 S	0.3117mm ²	2×0.8825=1.77mm ²	0.3117mm ²	2×0.9825=1.97mm ²	
导线直径 d	QZ-0.63	QZ-1.06	QZ-0.63	QZ-1.12	
最大外径 dm	0.706mm	1.155mm	0.706mm	1.215mm	
电流密度 J	2.34A/mm ²	2.43A/mm ²	2.92A/mm ²	2.74A/mm ²	
单位铜耗 P'_m	13.1W/kg	14.2W/kg	20.5w/kg	18w/kg	
额定电压 U	220V	37V	220v	37v	
每伏匝数 T_v	5t/v		5t/v		
匝数 N	2×550π=1100π	2×200π 并联	2×550π=1100π	2×200π 并联	
空载电压 U_{20}		40V		40v	
绕线宽度 h	67mm	66mm	67mm	66mm	
每层匝数 m	94π	56π	94π	53π	
层数 SL	6 层	4 层	6 层	4 层	
层间绝缘					
组间绝缘 ξ					
组绕厚度 A	4.2mm	4.6mm	4.2mm	4.9mm	
内径	Φ33	Φ44	Φ33	Φ44	
外径	Φ40	Φ53.2	Φ40	Φ53.8	
平均匝长 L_0	117mm	153mm	117mm	154mm	
总长 L	129m	30.6m	129m	30.8mm	
铜量 G_m	0.358kg	0.482kg	0.358kg	0.54kg	
铜阻 R_{20}	7.24Ω	0.303Ω	7.24Ω	0.274Ω	
铜耗 P_m	4.69w	4.3w	7.33w	9.72w	
电压降 U_r	5.3v	1.3v	6.59v	1.48v	
电压调整率 $\Delta u\%$	2.40%	3.30%	3%	3.70%	
铁芯部分	铁芯尺寸	R-160		每匝电压 e_0	0.2v
	截面积 S_c	S ₁ 43 Cm ²		磁感应强度 B	1.65T
	磁路长度 L_c	31.5 Cm		空载电流 I_0	18mA
	铁芯重量 G_c	1.27kg		单位损耗 P_y	2.2w/kg
	总损耗 $P_c + P_m$	2.8 + 9W = 11.8W		铁耗 $P_c = P_y G_c$	2.2 × 1.27 = 2.8w
	效率 η	93%	91%		

按 160VA 计算的, 表二的右边是按 200VA 计算的, 现在来看在 200VA 计算过程中存在的问题。

1) 因为在 R-160 铁芯上的磁感应强度 B 值已定好, 而且在参数表上已给出了匝数, 所以输出功率 160VA 或者 200VA 其初级绕组的匝数已确定, 所以在同一型号的铁芯上, 两者输出功率不同, 但匝数是一样的。

2) 输出 200VA 的功率, 初、次级的电流均要增大, 当然导线直径 d 要加粗, 但是在计算 160VA 时, 初级导线用 QZ-0.63, 这在初级的骨架中已经绕满。所以初级导线线径不能加粗, 那么电流密度 J 就感到偏高了。

3) 次级骨架在外档, 所以次级导线可以适当加粗。

经过计算所得的结果都逐项填入表二的设计单中, 然后按上述设计各做一台样品进行试验。

现将设计结果绘制成电原理图, 便于直接看到相关的参数, 160VA 的电原理图见图 1 所示, 200VA 的电原理图见图 2 所示。

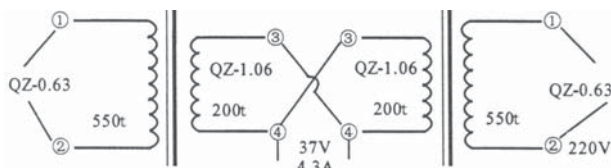


图 1

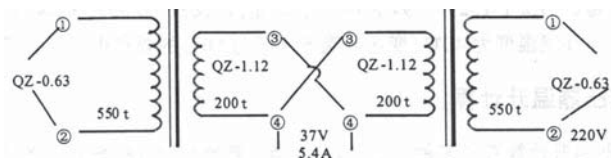


图 2

4 温升试验

按上述设计的 R-160 二种变压器样品, 分别予以通电负载试验, 一般变压器的初级均绕在内档, 次级绕在外档, 次级的散热条件好, 所以温升高, 初级绕组的散热条件差, 所以温升高, 本次试验也以测量初级绕组的温升为准。

在试验之前先要测量初级绕组的冷电阻 $R_c=7.3\Omega$, 此时室温 $T_c=7^\circ\text{C}$, 由于 160VA 与 200VA 两种变压器初级绕组的匝数 N_1 与导线直径 d_1 都相同, 所以测得两种变压器的直流电阻 R_c 均相同。

R-160 第一种样品的额定功率为 160VA, 初级 220V50Hz, 次级 37V4.3A, 在次级接上额定负载后, 初级接通电源后, 初级电流 $I_1=0.73\text{A}$, 通电 5 小时后, 测量初

级热态电阻 $R_h=9\Omega$, 此时室温 T_h 也上升到 9°C , 计算初级绕组温升 ΔT_m 为:

$$\begin{aligned}\Delta T_m &= \frac{R_h(234.5 + T_c) - 234.5R_c}{R_c} - T_h \\ &= \frac{9(234.5 + 7) - 234.5 \times 7.3}{7.3} - 9 = 54.2^\circ\text{C}\end{aligned}$$

R-160 第二种样品的额定功率为 200VA, 初级 220V50HZ, 次级 37V5.4A, 在次级接上额定负载后, 初级接通电源, 初级电流 $I_1=0.91\text{A}$, 通电 5 小时后, 测量初级热态电阻 $R_h=10\Omega$, 此时室温 $T_h=9^\circ\text{C}$, 计算初级绕组温升 ΔT_m 为:

$$\begin{aligned}\Delta T_m &= \frac{R_h(234.5 + T_c) - 234.5R_c}{R_c} - T_h \\ &= \frac{10(234.5 + 7) - 234.5 \times 7.3}{7.3} - 9 = 87^\circ\text{C}\end{aligned}$$

通过上述对 R-160 两种变压器的试验, R-160 铁芯做成 160VA 电源变压器, 负载后的初级绕组温升为 54.2°C , 符合国家标准。

GB/T 15290—94 的标准, 即环境温度为 55°C 时, 变压器温度不超过 60°C 。

而当 R-160 铁芯做成 200VA 电源变压器时, 负载后的初级绕组温度达到 87°C , 已经超过 GB/T 15290—94 标准中的规定, 即使按 JB 5555 机床控制变压器的标准, 在环境温度为 40°C , 变压器温升不超过 80°C 的要求也已超过了 7°C 。

5 R 型变压器温升计算

变压器温升计算有好多种方法, 部标典型计算推荐的方法要查三条曲线图。计算公式也较复杂, 而且变压器的环境条件、通风、散热情况都不相同, 给温升计算准确度带来一定困难, 这里我们采用单位面积散热量 W/cm^2 , 即每平方米散发多少瓦损耗的功率。用一条曲线 (见图 3) 就能计算出变压器温升。

损耗功率 P_L 是铁芯损耗功率 P_c 和导线损耗功率 P_m 之和, 即: $P_L=P_c+P_m$

F 为有效散热面积, 单位为 cm^2 , 此有效散热面积 F

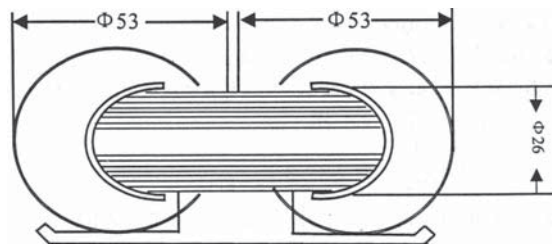


图 3

是线圈和铁芯外表面的面积，但要扣除两线包之间被绝缘层包围的部分，为简化计算，可将变压器的外表面积乘以一个系数 K，那么有效散热面积 F：F=SK

式中：F——变压器有效散热面积 cm²
S——线包和铁芯的外表面积 cm²
K——系数

问题就在这个系数 K 如何定？而且小变压器和大变压器的系数 K 不是同一个数值，好在上述 R-160 已经做过二种变压器，而且都已经做过温升试验，这就可以用逆向法推导出系数 K 值，现将 R-160 变压器的外形绘于图 3 中，并计算出线包和铁芯的表面面积。

线圈表面面积 S_m：

$$S_m = 2 \times D \pi \times h = 2 \times 5.3 \times 3.14 \times 6.7 = 223 \text{ cm}^2$$

式中：D——线圈直径 cm

h——绕线宽度 cm

铁芯外露面积 S_n

$$S_n = 2 \times D \pi \times L = 2 \times 2.6 \times 3.14 \times 8 = 131 \text{ cm}^2$$

式中：D——R 型铁芯的直径 cm

L——R 型铁芯外露部分的长度 cm

将这两部分面积 S_m 和 S_n 相加后得到：

$$223 \text{ cm}^2 + 131 \text{ cm}^2 = 354 \text{ cm}^2$$

R 型变压器的次级绕在外骨架上，散热条件较好，而初级绕在内骨架上，骨架与铁芯之间还有间隙，所以初级绕组所产生的热量难以向外传导，所以上述计算线圈与铁芯的表面积有一半是被绝缘材料、引出线组件等遮盖，真正有效的散热面积 F 仅为上述计算表面积的一半，即：

$$F = \frac{354}{2} = 177 \text{ cm}^2$$

160VA 变压器的单位散热量：

$$\frac{P_L}{F} = \frac{P_c + P_m}{F} = \frac{11.8}{177} = 0.067 \text{ W/cm}^2$$

式中，铁和铜的损耗 P_c 和 P_m 见表 2 设计单中左边部分。

从图 3 温升曲线在上在横坐标上找到单位散热量为 0.067W/cm² 处，往上相交点再在纵坐标上找到温升为 60℃（比实际测试略高）

200VA 变压器的单位散热量：

$$\frac{P_L}{F} = \frac{P_c + P_m}{F} = \frac{19.85}{177} = 0.11 \text{ W/cm}^2$$

从图 3 的温升曲线上看，单位散热量 0.11W/cm² 已超出表格之外，估计温升约为 85℃（这与实际检测很接近）。

从计算变压器的有效散热面积，再计算出单位面积散热量，就可以从图 4 的曲线上找到变压器的温升。当然 R 型变压器从小到大整个系列有十多个规格。

其计算有效散热面积的系数 K 可能不同，必须通过温升实验来验证变压器温升的计算，才能对以后的设计有指导意义。

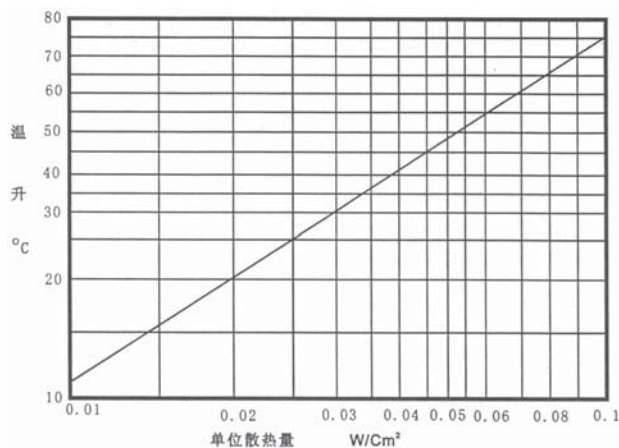


图 4

6 结论

R 型变压器的设计、生产已经有多年的历史，也已积累了很多经验。但是各厂编印的产品目录，在功率容量这一栏中，每一栏铁心仍标有一定的功率范围，通过本文的设计和试验，对 R 型变压器的容量，应给出一个明确的数值。例如：

R160 铁心 功率 160VA 绝缘等级 B 级

功率 200VA 绝缘等级 H 级

也就是说在容量这一栏中可以分成二档，一档功率为 B 级绝缘，另一档为 H 级绝缘，使客户也了解 R 型变压器的功率范围应考虑环境温度与耐温等级。

在 R 型变压器设计时也已发现。因受到初级骨架尺寸的限制，变压器功率增大，必须将导线直径放粗，但是初级骨架中线包已经绕满，导线直径放大，要超出初级骨架的外径，使外骨架套上去两半接合面合不拢，势必影响初、次级之间耐压，只有提高导线的耐温等级，如原来用 QA 或是 QZ 高强度漆包线，耐温等级为 B 级，现改用 QZY 漆包线，耐温等级达到 H 级 180℃，那么变压器的温升可以提高到 120℃，那么塑料骨架的材料也要提高到相应的等级。

现在 R 型塑料骨架有一种中间有间隔板的王字形结构，不用初、次级分开的骨架，可节约一个骨架的成本，并且因初级绕组有一半空间外露，改善了散热条件。本文所得 R 型变压器容量与温升关系的试验，不够全面，不当之处，欢迎指正。