

1.5 启动电抗器

1.5.1 用途及设计要点

1. 用途

交流电动机在额定电压下启动时,初始启动电流将是很大的,往往超过额定电流的许多倍。为了降低启动电流,通常采用降低电压的方法来启动交流电动机,常用的降压方法是采用电抗器或自耦变压器,交流电动机的启动过程很短,启动后就应将降压启动用的电抗器或自耦变压器切除。

给交流电动机作降压启动用的电抗器称为启动电抗器。启动电抗器的工作制度属于短时工作制,负载时间通常为 2min。

2. 设计要点

(1)设计前已知的参数设计启动电抗器之前,必须给出启动容量 P_Q 和启动电流 I_Q 二个参数。由这二个参数,首先确定启动电抗器的端电压

$$U_Q = \frac{P_Q \times 1000}{3 \times I_Q} \text{ V}$$

式中 P_Q ——启动容量(kVA),

然后确定启动电抗器每相电抗

$$X_Q = \frac{U_Q}{I_Q} \text{ } \Omega$$

为了方便用户使用,启动电抗器线圈还有一个抽头,抽头电抗为额定电抗 X_Q 的 0.85。

此外,还得给出交流电动机的额定电压,以便确定启动电抗器线圈的绝缘水平。

(2)电磁负荷 由于启动电抗器的工作制度是短时工作制,负载时间仅为 2min,所以它的电磁负荷可以取得极高。铁心磁密,热轧硅钢片可高达 1.85T,冷轧硅钢片可高达 2T。线圈导线电密,铝导线可高达 12A/mm²,铜导线可高达 15A/mm²。

(3)温升计算 启动电抗器的电磁计算,可按铁心电抗器的计算程序进行。温升计算则按数分钟短时负载进行。

在数分钟短时负载下,线圈最热点温度允许达 180℃,考虑到周围环境空气最高温度

40℃,线圈最热点与平均温度差10K,所以线圈对周围环境空气的平均温升为130K。又由于数分钟短时负载下,油的温升不会超过15K,所以线圈对油的平均温升限值应为115K。

1.5.2 计算实例

1. 技术要求

型号 QKS-3200/6

起动容量 $P_Q = 3010\text{kVA}$

起动电流 $I_Q = 560\text{A}$

线路电压 6kV

工作制度 负载 2min, 休息 6h

冷却方式 ONAN

2. 端电压及每相电抗

$$U_Q = \frac{3010 \times 1000}{3 \times 560} = 1792 \text{ V}$$

$$X_Q = \frac{1792}{560} = 3.2 \ \Omega$$

3. 铁心直径选择及线圈匝数确定

铁心直径

$$D = 32 \times (3010/3)^{0.25} = 180$$

选取铁心直径 $\phi 180$, 材质 Z11-0.35, 叠片系数 0.95, 心柱截面积 213.1cm^2 , 铁轭截面面积 235.1cm^2 , 三相角重 53.8kg, 最大片宽 175mm, 叠片总厚 150mm。

主电抗电压占总电抗电压的比例按 80% 估计, 则 $U_M = 0.8 \times 1792 = 1433.6\text{V}$ 。

线圈匝数取 $W = 166$ 匝。

心柱磁密

$$B_M = \frac{1433.6 \times 10^4}{166 \times 222 \times 213.1} = 1.83 \text{ T}$$

4. 主电抗计算

每个气隙长 $\delta = 2\text{cm}$, 每个心柱 6 个气隙。

气隙处主磁通衍射宽度

$$\epsilon = \frac{2}{\pi} \ln\left(\frac{512}{2}\right) = 0.8 \text{ cm}$$

气隙处等效截面面积

$$S_M = 2 \times 0.8 \times (17.5 + 15 + 2 \times 0.8) + 213.1/0.95 = 278.9 \text{ cm}^2$$

主电抗

$$X_M = \frac{395 \times 166^2 \times 278.9}{2 \times 6 \times 10^8} = 2.53 \ \Omega$$

$$2.53/3.2 = 0.79$$

5. 线匝排列及线圈尺寸计算(见表 2.10-12)。

6. 绝缘半径(见表 2.10-13)。

表 2.10-12 线匝排列及线圈尺寸计算

容量 (kVA)	3010
电压 (V)	1792
电流 (A)	560
匝数	166
撑条数×撑条宽度 (mm)	8×12
线圈型式	四层圆筒式
线匝排列	$3 \times 42 = 126$ $\frac{1 \times 40 = 40}{4} \quad 166$
导线规格	ZB-0.45 $\frac{4.25 \times 9}{4.7 \times 9.45}$
导线截面 (mm ²)	37.35
电流密度(A/mm ²)	15
平均匝长 (m)	0.8168
导线长度(m)	137
直流电阻 (Ω)	0.07831
I ² R (W)	73676
导线重量 (kg)	137/139
辐向尺寸	$2 \times 4.7 = 9.4$ $\frac{1 \times 4 \times 0.12 = 0.48}{9.88}$ $\frac{\text{裕度 } 0.12}{10}$ $\text{油道 } 8$ $\frac{10}{28}$
轴向尺寸	$43 \times 9.45 \times 1.095 = 445$ $\text{上端绝缘 } 30$ $\frac{\text{下端绝缘 } 25}{\text{窗高 } 470}$
电抗高	415-9.45=405.55

表 2.10-13 绝缘半径

φ180	
	R 90
间隙	5
	95
绝缘筒	4
	99
撑条	17
	116
线圈	10
	126
撑条	8 (130)
	134
线圈	10
	144
	× 2
相间距	288
	12
柱心距	300

7. 漏电抗计算

$$\text{漏磁面积 } S_s = \frac{2\pi}{3} \times 2.8 \times 13 + \pi \times 11.6^2 - 213.1/0.95 = 275.66 \text{ cm}^2$$

$$\text{洛氏系数 } \rho = 1 - \frac{2 \times (144 - 90)}{\pi \times 405.55} = 0.915$$

$$\text{漏电抗 } X_s = \frac{395 \times 166^2 \times 275.66 \times 0.915}{40.555 \times 10^8} = 0.68 \ \Omega$$

$$\text{总电抗 } X_Q = 2.53 + 0.68 = 3.21 \ \Omega$$

$$\text{抽头 } W_1 = 166 \times \sqrt{0.85} = 153 \text{ 匝}$$

8. 铁心重量及铁心损耗

$$\text{心柱重量 } 3 \times (47 - 6 \times 2) \times 213.1 \times 7.65 \times 10^{-3} = 171.17 \text{ kg}$$

$$\text{铁轭重量 } 4 \times 30 \times 235.1 \times 7.65 \times 10^{-3} = 215.82 \text{ kg}$$

$$\text{角重 } 53.8$$

$$\text{铁心重量 } 440.79 \approx 441 \text{ kg}$$

$$\text{铁心损耗 } P_{Fe} = 1.8 \times 1.87 \times 441 = 1484 \text{ W}$$

$$\text{总损耗 } P_I = 73676 + 1484 = 75160 \text{ W}$$

9. 重量估算

$$\text{器身重 } G_Q = (139 + 441) \times 1.2 = 696 \text{ kg}$$

$$\text{油箱重 } G_r = 255 \text{ kg}$$

$$\text{油重 } G_o = 325 \text{ kg}$$

$$\text{总重 } G_z = 696 + 255 + 325 = 1276 \text{ kg}$$

10. 温升计算

散热面

$$S = [(0.116 + 0.126 + 0.134 + 0.144) \times 2\pi - 3 \times 8 \times 0.012] \times 0.40555 = 1.208 \text{ m}^2$$

$$\text{单位热负荷 } q = \frac{1.2 \times 73676}{3 \times 1.208} \approx 24394 \text{ W/m}^2$$

$$\text{稳态温升 } \tau = 0.065 \times 24394^{0.9} = 210 \text{ K}$$

$$\text{绕组绝缘重与铜重之比 } K_c = \left(\frac{10 \times 406.55 \times 2}{37.35 \times 166} - 1 \right) \times \frac{0.85}{8.9} = 0.0294$$

$$\text{绕组发热时间常数 } T = \frac{(6.5 + 0.294) \times 210}{1.05 \times 2.4 \times 15^2} = 2.52 \text{ min}$$

$$\text{负载 2min 后绕组温升 } \tau = 210(1 - e^{-2/2.52}) = 115 \text{ K}$$

隐形专家 2011-05 编