课题：三相异步电动机 $P_N=2.55kW$，$p=1$

n_N: 2880 r/min

设计指标：

(1) 标准机座尺寸：H=

(2) 额定性能 $\cos\varphi=0.87$ $\eta=0.82$

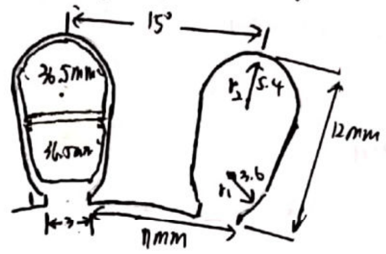
(3) 起动性能 $I_{st}\le 7I_N$ $T_{st}\ge 2.2T_N$

(4) 过载能力 $T_{max}\ge 2T_N$

设计计算

1. $n_1=3000$ rpm
2. $p=1$
3. "Y" $U_N=220V$
4. 初选 $k_E=0.9$
5. $E_1=k_E\cdot U_N=198V$
6. $P=k_E\cdot\frac{P_N}{\eta\cos\varphi}=3.21kW$
7. 选 $B_\delta=0.6T$
8. 选 $A=25.32\times10^3 A/m$
9. 选 $\alpha_p=0.7$
10. 选 $k_{w1}=0.946$
11. $D_1^2 l_1=\frac{5.5P}{\alpha_p k_{w1} A B_\delta n_1}$
12. 选取 $\lambda=0.682$ $l_1=\frac{\pi\lambda}{2p}D_1$
13. $D_1=0.084m$
14. $l_1=0.09m$
15. $\tau=\frac{\pi D}{2p}=0.132m$
16. $\delta=0.4\times10^{-3}m$
17. 选取60°相带 $m_1=3$ $q=4$
18. $Z_1=2m_1pq=4$
19. 选取双层叠式绕组
20. $\beta=\frac{y}{\tau}=5/6$
21. 取 $a=1$
22. $k_{w1}=k_{y1}\cdot k_{q1}=0.985\times0.96=0.946$
23. $\Phi=\alpha_p B_\delta\tau l_1=4.99\times10^{-3}Wb$
24. $I_N=\frac{P}{m_1E_1}=5.4A$
25. $N_1=\frac{\pi D_1A}{2m_1I_N}=188\Rightarrow184$
26. $N_y=\frac{m_1aN_1}{Z_{Q1}}=23$
27. $N_s=2N_y=46$
29. J_1 取 $5.5\times10^6 A/m^2$
30. $S_c=\frac{I_N}{J_1}=0.98\times10^{-6}m^2$
31. $d_c=\sqrt{\frac{4S_c}{\pi}}=1.12\times10^{-3}m$
32. 根据 H-100 $D_2=155mm$
33. 采用 D23(0.5mm) 冲片，$k_{Fe}=0.95$

选择定子梨形、半闭口、等齿宽槽型

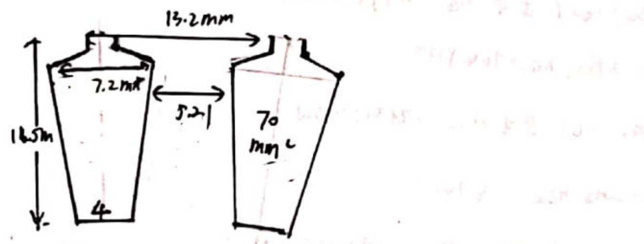


34. $t_{Q1}=\frac{\pi D_1}{Q_1}=0.011m$
35. $B_{Q1}=1.62T$

    $b_{Q1}=\frac{t_{Q1}\cdot B_\delta}{1.62k_{Fe}}=4.3mm$
36. $b_{01}=3mm$
37. $h_{01}=1mm$
38. $r_1=3.6mm$
39. $r_2=5.4mm$
40. $h_{Q1}=12mm$
41. $h_{a1}=21.9mm$ $B_{a1}=1.33T$
42. $S_0=73mm^2$
43. $k_s=\frac{N_s'd}{S_0}=0.79$

转子铁芯和槽型绕组设计

44. 设 $Q_2=20$
45. 采用 D23(0.5mm) 冲片，选择转子梯形、半闭口、等齿宽槽形



46. $d_1=D_1-2\delta=83.2mm$
47. $I_2=k_2I_N\cdot\frac{2m_1N_1k_{w1}}{Q_2}=248A$
48. 取 $J_2=3.5\times10^6 A/m^2$
49. $S_2=I_2/J_2=70\times10^{-6}m^2$
50. $t_{Q2}=\frac{\pi d_2}{Q_2}=13.2mm$
51. $b_{Q2}=5.21mm$，$B_{Q2}=1.6T$
52. $b_{02}=2mm$
53. $h_{02}=1mm$
54. $b_1=7.2mm$
55. $b_2=4mm$

56. h_{z2} = 16.5 mm　h_1 = 16mm　h_2 = 1.5mm

57. S_2 = 72mm²　有 49

58. 取 d_2 = 48mm

59. 取 $l_1 = l_2$

60. $b_{\delta 2} = \frac{1}{2}(d_1 - d_{z1} - h_{z2})$ = 27.06mm

$B_{\delta 2}$ = 1.08T

61. $J_R = \frac{I_2}{2a(\frac{\pi D}{Q_2})}$ = 7931A

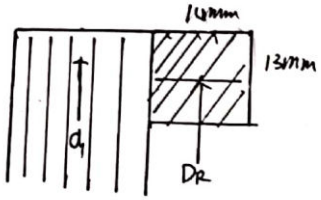
62. 取 J_R = 4.5×10⁶A/m² 试

63 $S_R = \frac{I_2}{J_R}$ = 176.4×10⁻⁶m²

二) S_R = 182mm²

64. 端环截面 14×13mm²

D_R = 76.7mm



磁路计算

65. $k_\delta = \frac{t_{z1}(k_{\delta 1}+0.75b_{\delta 1})}{t_{z1}(k_{\delta 1}+0.75b_{\delta 1})-b_{\delta 1}^2} \times \frac{t_{z2}(k_{\delta 2}+0.75b_{\delta 2})}{t_{z2}(k_{\delta 2}+0.75b_{\delta 2})-b_{\delta 2}^2}$

= 1.26×1.016 = 1.28

66. 得 $F_\delta = 2.\frac{B_\delta}{\mu_0} k_\delta$ = 489.2AT

67. 由 B_{z1} = 1.62T 查表 H_{z1} = 4.57×10³A/m

68. $F_{z1} = 2H_{z1}.h_{z1}$ = 104.9AT

69. 由 B_{z2} = 1.6T 查表 H_{z2} = 4.78×10³A/m

70. $F_{z2} = 2H_{z2}h_{z2}$ = 124.74AT

71. 由 $B_{\delta 1}$ = 1.33T 查表得 $H_{\delta 1}$ = 0.98×10³A/m

72. $l_{\delta 1} = \frac{\pi(D_2 - b_{\delta 1})}{2p} C_{\delta 1}$ = 0.104 m

73. $F_{\delta 1} = H_{\delta 1} l_{\delta 1}$ = 102.4AT

74. 由 $B_{\delta 2}$ = 1.08T 查表 $H_{\delta 2}$ = 0.687×10³A/m

75. $l_{\delta 2} = \frac{\pi(d_2 + b_{\delta 2})}{2p} C_{\delta 2}$ = 0.05 m

76. $F_{\delta 2} = H_{\delta 2} \cdot l_{\delta 2}$ = 27.774A·T

77. F_0 = $F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_{\delta 1} + F_{\delta 2}$ = 847.7AT

78. $I_0 = \frac{pF_0}{0.9 m_1 w_1 k_{w1}}$ = 1.8A

79. 由 B_{z1} = 1.62T 查表 P_{Cz} = 46.1×10³ W/m³

80. $V_{z1} = C_{z1} b_{z1} h_{z1} l_1 k_{Fe}$

= 0.106×10⁻³m³

81. $P_{z1} = P_{Cz} \cdot V_{z1}$ = 4.88W

82. 由 $B_{\delta 1}$ = 1.33T → $P_{\delta C}$ = 31×10⁴ W/m³

83. $V_{\delta 1} = \pi(D_2 - b_{\delta 1}) b_{\delta 1} l_1 k_{Fe}$ = 7.84 ×10⁻⁴m³

84. $P_{\delta 1} = P_{\delta C} \cdot V_{\delta 1}$ = 24.304AT

85. $\sum F_\sigma$ = 2.5×488 + 2×24.304

= 60.81·AT

86 l_1 = 1.875T = 0.198M

87 $l_{av} = 2(l_1 + l_2)$ = 0.576M

88. 导线电阻 $r_{15°C}$ = 0.01888 Ω/m

$r_{75°C}$ = 0.0225 Ω/m

89. $r_1 = \frac{1}{\alpha} w_1 l_{av} r_{75°C}$ = 2.592Ω

90. 铸铝电阻率 $\rho_{15°C}$ = 0.035×10⁻⁶ Ω·M

$\rho_{75°C}$ = 0.042×10⁻⁶ Ω·M

91. $r_0 = \rho_{75°C} \times \frac{l_2}{S_1}$ = 0.054×10⁻³Ω

92 $r_R = \rho_{75°C} \times \frac{\pi D_R}{Q_2 S_R}$ = 0.0028×10⁻³Ω

93. $r_2 = r_0 + \frac{2r_R}{(2\sin\frac{\pi p}{Q_2})^2}$ = 0.101×10⁻³Ω

94. $r_2' = \frac{4m_1(w_1 k_{w1})^2}{Q_2} r_2$ = 1.89Ω

95. $\lambda_{\delta 1} = \frac{1}{4}[0.31 + \frac{2h_1}{\pi(d_1' + b_{z2})} + (3\beta+1.67)(\frac{h}{d_1'+b_{z2}} + (3\beta+1)(0.785 + \frac{b_{\delta 1}}{b_{\delta 1}}$

= 1.77

96. $\lambda_{l1} = 0.57 \frac{\beta T}{l_1}(\frac{3\beta-1}{2})$ = 2.51

97. $\lambda_{v1} = \frac{m_1}{p^2} \cdot \frac{\beta T}{k_\delta \cdot \delta} \sum s$ = 3.13

98. $\sum \lambda_1 = \lambda_{\delta 1} + \lambda_{l1} + \lambda_{v1}$ = 7.42

99. $X_{\sigma 1} = 4\pi\mu_0 f \cdot \frac{w_1^2}{pq} l_1 \sum \lambda_1$

100. $\lambda_{\delta 2} = \frac{h_{\delta 2}}{b_{\delta 2}} + \lambda_s$ = 1.27 (λ_s = 0.77)

101. $\lambda_{l2} = 0.75 \times \frac{C_{\delta 2}}{2pm_1 l_1} \times \frac{D_R}{2p}$

= 1.026

102. $\lambda_{v2} = \frac{C_{\delta 2}}{2pq^2} \times \frac{Q_2}{k_\delta \cdot \delta} \sum R$ = 3.4

103. $\sum \lambda_2$ = 5.6p

104. $X_{\sigma 2} = 2\pi\mu_0 f l_2 \sum \lambda_2$ = 201.86 ×10⁻⁶Ω

105. $X_{\sigma 2}' = \frac{4m_1(w_1 k_{w1})^2}{Q_2} X_{\sigma 2}$ = 3.67Ω

106. $r_m = \frac{P_{Fe}}{m_1 I_0^2}$ = 6.55Ω

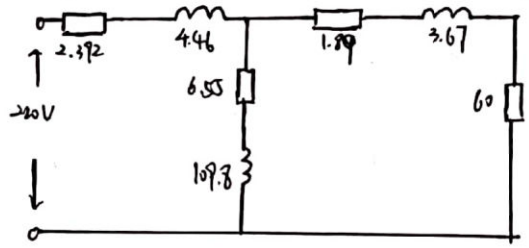
107. $Z_m = \frac{E_1}{I_0}$ = 110Ω

108. $x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} = 109.8\Omega$

性能计算

109. $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = 0.04$

110. 求已知值电路



111. 总相对输入阻抗 $z = (r_1 + jx_{\sigma 1}) + (r_m + jx_m) // (\frac{1}{s_N} r_2' + jx_{\sigma 2}')$

$= 8.942 + 114.26j // 46 + 3.67j$

$= 41 \angle 25.14°$

112. $I_N = \frac{U_N}{z} = 5.37 \angle -25.14°$. 与初相几乎一致

113. 线电流 $I = I_N = 5.37A$

114 $\cos\varphi = 0.9$. 其中 $\varphi = 25.14°$ 这利设计指标

115. $E_1 = U_N - I_N(r_1 + jx_{\sigma 1}) = 200V$

116. $I_2' = \frac{E_1}{\frac{1}{s_N} r_2' + jx_{\sigma 2}'} = 4.35A$

117 $P_M = m_1 (I_2')^2 \times \frac{1-s_N}{s_N} r_2' = 2574W$

118. $\Delta p = P_M - P_N = 274W$

119. $p_{cm} = m[I_N^2 r_1 + (I_2')^2 r_2']$ $= 321W$

120. $p_1 = m_1 U_N I_N \cos\varphi = 3150W$

121. $\eta = \frac{P_N}{P_1} = 80.95\%$

122. $T_N = \frac{30 P_N}{\pi n_N} = 8.46 N \cdot M$

123 $T_{max} = \frac{m_1 p U_N^2}{4\pi f C [r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + x_{\sigma 2}')^2}]}$

$= 21.9 N \cdot m$

124. $T_{max} / T_N = 2.5$

125. 设 $I_{st}' = 6.5 I_N = 34.9A$

126. $k_x = 0.64 + 2.5\sqrt{\frac{\delta}{h_{q1} + h_{q2}}} = 0.961$

127. $B_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} I_{st}' \frac{N_0}{\delta} (\frac{2\beta_1}{\tau} + k_{w1} k_{q1} \times \frac{\tau_1}{\tau_2}) \frac{k_0}{k_{fe}\delta} = 3.285T$

128. 由 B_1 查表 $k_{fe} = 0.58$

129. $\Delta b_{01} = (t_{q1} - b_{01})(1 - k_{fe}) = 3.36mm$

$b_{01}' = b_{01} + \Delta b_{01} = 6.36mm$

130. $\Delta b_{02} = (t_{q2} - b_{02})(1 - k_{fe}) = 4.7mm$

$b_{02}' = b_{02} + \Delta b_{02} = 6.7mm$

131. $\xi = (h_{q2} - h_0)\sqrt{\frac{\pi \mu_0 f}{\rho_{12.75°}}} = 1.193$

132. $\xi = 1.193$ $b_1 / b_2 = 1.5$ 查得 $k_R = 1.25$. $k_x = 0.325$

133. $r_2(st) = k_R \cdot r_0 + \frac{2R}{(2s_1 \frac{\pi D}{q_2}) l_{ef}} = 1.22 \times 10^{-4} \Omega$

134. $r_2'(st) = \frac{4m_1 (W_1 k_{W1})^2}{q_2} r_2(st) = 2.218\Omega$

135. $\lambda_{q1}(st) = \frac{1}{6}[0.31 + \frac{h_1}{3(d_1 + b_1)} + (sp+1)(0.785 + \frac{h_2}{d_1 + b_2}) + (sp+1)](0.785 + \frac{h_2}{b_1 + b_2})$

$= 1.29$

136. $\lambda_{v1}(st) = k_{fe} \cdot \lambda_{v1} = 0.58 \times 3.137 = 1.82$

137. $\Sigma \lambda_1(st) = \lambda_{q1}(st) + \lambda_{l1} + \lambda_{v1}(st)$

$= 5.62$

138. $x_{\sigma 1}(st) = 4\pi \mu_0 f \times \frac{W_1^2}{pq} l_1 \Sigma \lambda_1(st)$

$= 3.377\Omega$

139. $\lambda_{s2}(st) = k_x (\frac{h_{02}}{b_{02}} + \lambda_\beta) = 0.413$

140. $\lambda_{v2}(st) = k_{fe} \cdot \lambda_{v2} = 0.58 \times 4.4 = 1.97$

141. $\Sigma \lambda_2(st) = \lambda_{\sigma 2}(st) + \lambda_{l2} + \lambda_{v2}(st)$

$= 5.41$

142. $x_{\sigma 2}(st) = 2\pi \mu_0 f l_2 \Sigma \lambda_2(st)$

$= 1.21 \times 10^{-4} \Omega$

143. $x_{\sigma 2}'(st) = \frac{4m_1 (W_1 k_{W1})^2}{q_2} x_{\sigma 2}(st) = 2.2\Omega$

144. $r_{st} = r_1 + r_2'(st) = 2.392 + 2.218 = 4.61\Omega$

145. $x_{st} = x_{\sigma 1}(st) + x_{\sigma 2}'(st) = 3.377 + 2.22 = 5.577\Omega$

146. $z_{est} = \sqrt{r_{st}^2 + x_{st}^2}$

$= \sqrt{4.61^2 + 5.577^2} = 7.24\Omega$

147. $I_{st} = \frac{U_N}{z_{est}} = \frac{220}{7.24} = 30.4A$

148. $I_{st} / I_N = 5.63$

149. $T_{st} = \frac{m_1 p U_N^2 r_2' st}{2\pi f z_{st}^2} = 19.56N$

150 $T_{st} / T_N = 2.3$

总结报告

(1). 设计结果 $\eta = 80.85\%$ 未达到设计 $\eta = 82\%$

$\cos\varphi = 0.90$ 达到 $\cos\varphi = 0.87$

$I_{st}/I_N = 3.63 \le 7$. $T_{st}/T_N = 2.3 > 2$

$T_{max}/T_N = 2.59 > 2$. 符合设计要求

(2) 调整过程

由于效率过低. $\eta = \frac{P_N}{3UI\cos\varphi}$

所以尝试将 I 缩小

$I = \frac{U}{Z_e}$ 要将 I 减小，即增大 Z_e

$Z_e = (r_1 + r_m + j(x_{\sigma1} + x_m)) // (\frac{r_2'}{s} + jx_{\sigma2}')$

所以方法一：略微调整 S_N. 将转速增大一些 使 $\frac{r_2'}{s}$ 增大. 经过试算. 适当的减小转差率 可以增大效率. 但引入了新的问题 P_M.

$P_M = m_1(I_2')^2\frac{1-S_N}{S_N}r_2'$ 会过小. $P_M < P_N$. 电机不能正常工作. 由于 I_2' 过小. 导致电机功率不够. 所以过度的调节转速. 无法解决问题

法二：尝试调节 l. 将 l 由 0.09m ⇒ 0.098m

增大长度 l 后. 发现励磁电流 I_0 略有增大

r_1 增大. r_2' 明显增大到 2.09

$x_{\sigma1}$ 增大到 4.92Ω $x_{\sigma2}'$ ⇒ 3.99Ω

r_m 减小到 6.56Ω x_m = 109.8 Ω 几乎不变

Z_e = 45.16. I_N = 4.88A

额定电流下降过多. l 增大过多

将 l 由 0.09 ⇒ 0.095

$r_1 = 2.434Ω$ $r_2' = 2.04Ω$ $x_{\sigma1} = 4.64Ω$

$x_{\sigma2}' = 3.87Ω$ $r_m = 6.52Ω$ $x_m = 109.9Ω$

x_m 几乎不变

Z_e = 45.1 Z_e 过大

$n_N \to 2860$

法三：由于调节 l 之后. r_2' 明显增大.

适当增大转差率 $S_N = 0.048$

$Z_e = 41.84$ $I = 5.31\angle -26°$ 但是 $P_M < P_N$ 不成立

$\eta = \frac{2550}{3\times5.31\times220\cos26°} = 81.02\%$

三次调节过程. 分别增大了 l

发现 r_1. r_2'. r_m 均有增大.

x_m 无明显变化. 可以有效减小电流, 提高效率 但是会导致 I_2' 过小 导致 $P_M < P_N$. 所以不能采用.

(3) 变频分析

调节电源频率 f_1 改变同步转速 n_1 来调节转子转速 n. 当 s 基本不变时, $n \propto f_1$. 变频调速可以由基频向上调 也可以由基频向下调。在变频调速时, 也要改变 U_1. 要保持 $\frac{U_1}{f_1} = 4.44 w_1 k_{w1} \Phi_m$ = 常数。由基频向上调速, 电机的线电机只可保持额定电压. 所以, $f\uparrow$. $\Phi_m\downarrow$. T_{max} 下降. 适合拖动恒转矩负载, 适合恒功率负载

(4) 思想总结.

电机并不等同于我们大三一年在课本中所学到的知识. 在没做电机课设之前, 对于三相异步电机, 仅仅停留于 $S_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1}$. P_{em}. P_{Cu} 这些表面的物理量上, 对于阻抗. 漏抗. 内阻的折合分析不甚了解 很难将旋转的电机与等效电路联系起来。

对于电机内的磁通, 只知道由于磁通的变化影响各个性能. 并不知道它是何种分布以及与哪些相关。通过课设. 我初步了解了 x_m. r_m. r_1 ... 物理参数与 D. δ. l 的关系, 并且深入了解到工程问题与学习课本的区别, 设计一个电机, 电机的齿槽形状. 槽满率. 这部分十分关键. 对于电机的性能有巨大的影响。同时异步电机的额定转速也很重要. n_N 的微小变化. 也会给电机性能带来巨大的影响。

电机课设确实给人印象深刻, 电机课设耗时 5天, 每天从早上8点算到晚上, 工作量比较大。然后, 计算量巨大, 前面一个不小心算错了, 就要重新开始, 我重复了3次, 这个确实比较令人绝望。

关于这门课程, 我个人意见是希望电机课设的案例可以清晰一点. 高糊画质很伤眼睛. 而且也容易导致错误, 人为加大工作量.

X_m 无明显变化，…

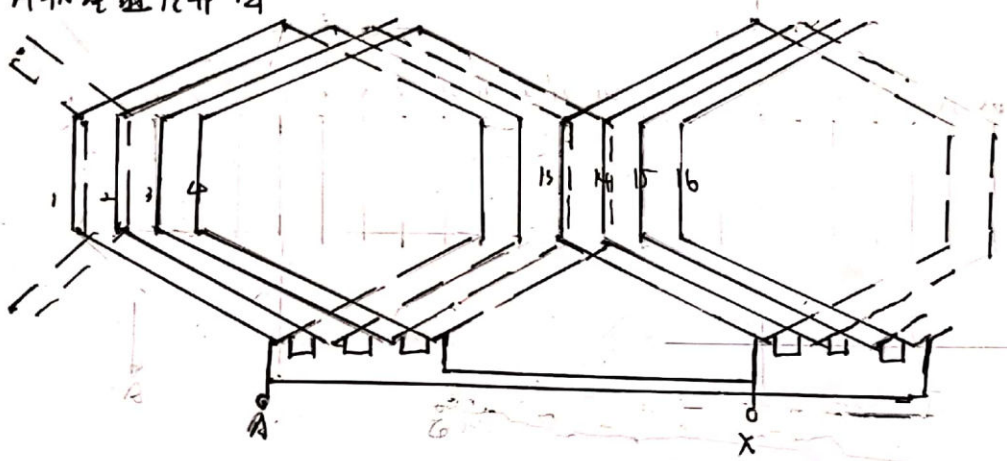
$Z_1=24$ $p=1$ $y=\frac{5}{6}\tau$

60°双层短节

$q=\frac{Z_1}{2mp}=\frac{24}{2\times3\times1}=4$

$\tau=12$ $y=10$

A相绕组展开图



等值电路