

## 空心杯电枢永磁式直流电动机设计程序

### 1. 主要技术指标:

- (1) 额定电压  $U_N := 12V$
- (2) 额定转速  $n_N := 3000$
- (3) 输出功率  $P_2 := 2W$
- (4) 工作方式 连续运行

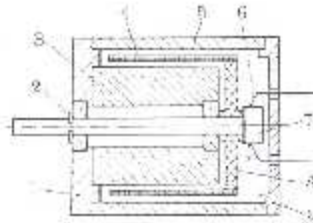


图 2-23 空心杯电枢直流电动机结构  
 1-非磁性端盖;2-轴用衬圈;3-内定子磁钢;  
 4-电枢杯;5-外定子;6-电刷;7-换向器;  
 8-电枢杯支架;9-非磁性端盖

### 2. 主要尺寸

- (5) 磁钢内孔  $D_{Mi} := 0.6cm$
- (6) 磁钢外径  $D_{Me} := 1.815cm$
- (7) 磁钢轴长  $l_M := 2.9cm$
- (8) 电枢杯壁厚

选带漆膜线径  $d_i := 0.145mm$

$$\Delta_b := 4 \cdot d_i = 0.058 \cdot cm$$

- (9) 电枢杯与机壳间气隙

$$\delta_1 := 0.02cm$$

- (10) 电枢杯与磁钢气隙

$$\delta_2 := 0.015cm$$

- (11) 机壳内径

$$D_i := D_{Me} + 2 \cdot (\delta_1 + \Delta_b + \delta_2) = 2.001 \cdot cm$$

- (12) 机壳外径

$$D_j := \begin{cases} 2.4cm & \text{if } D_i < 2.5cm \\ 2.6cm & \text{if } D_i > 2.5cm \end{cases}$$

$$D_j = 2.4 \cdot cm$$

- (13) 机壳的计算长度

$$l_j := l_M + 2(\delta_1 + \Delta_b + \delta_2) = 3.086 \cdot cm$$

### 3. 磁路计算

- (14) 磁钢的平均直径

$$D_{mav} := \frac{1}{2}(D_{Me} + D_{Mi}) = 1.207 \cdot cm$$

- (15) 磁钢磁路平均长度

--

$$\alpha_{\delta} := .65$$

$$L_m := \frac{\pi}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_{\delta}}{2} \right) \cdot D_{\text{max}} + \frac{1}{2} (D_{\text{Me}} - D_{\text{Mi}}) = 1.888 \cdot \text{cm}$$

(16) 磁钢截面积

$$S_m := (D_{\text{Me}} - D_{\text{Mi}}) \cdot l_M = 3.523 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

(17) 磁钢密度

$$B_m := \begin{pmatrix} 1.2 \\ 1.15 \\ 1.1 \\ 1.03 \\ 0.96 \\ 0.8 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ T}$$

(18) 磁钢磁场强度

$$H_m := \begin{pmatrix} 0 \\ 15915.5 \\ 23873.2 \\ 31831.0 \\ 35809.8 \\ 39788.7 \\ 43767.6 \end{pmatrix} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

(19) 磁钢磁通

$$\Phi_m := S_m \cdot B_m = \begin{pmatrix} 4.228 \times 10^{-4} \\ 4.052 \times 10^{-4} \\ 3.876 \times 10^{-4} \\ 3.629 \times 10^{-4} \\ 3.383 \times 10^{-4} \\ 2.819 \times 10^{-4} \\ 0 \end{pmatrix} \text{ Wb}$$

(20) 漏磁系数

$$\sigma := 1.15$$

(21) 磁钢有效磁通

$$\Phi_{1\delta} := \frac{\Phi_m}{\sigma}$$

(22) 磁钢的磁势

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 300.152 \end{pmatrix}$$

$$F_m := H_m \cdot L_m = \begin{pmatrix} 300.452 \\ 450.678 \\ 600.905 \\ 676.016 \\ 751.13 \\ 826.244 \end{pmatrix} A$$

(23) 磁钢的磁特性计算表

	0	1	2	3
0	0	1.2	$4.228 \cdot 10^{-4}$	0
1	$1.592 \cdot 10^4$	1.15	$4.052 \cdot 10^{-4}$	300.452
2	$2.387 \cdot 10^4$	1.1	$3.876 \cdot 10^{-4}$	450.678
3	$3.183 \cdot 10^4$	1.03	$3.629 \cdot 10^{-4}$	600.905
4	$3.581 \cdot 10^4$	0.96	$3.383 \cdot 10^{-4}$	676.016
5	$3.979 \cdot 10^4$	0.8	$2.819 \cdot 10^{-4}$	751.13
6	$4.377 \cdot 10^4$	0	0	826.244

(24) 电枢平均直径

$$D_{bav} := \frac{(D_i + D_{Me})}{2} = 0.019 \cdot m$$

(25) 极对数

$$p := 1$$

(26) 极距

$$\tau := \frac{\pi \cdot D_{bav}}{2 \cdot p} = 0.03m$$

(27) 气隙磁密

$$B_g$$

(28) 气隙磁通

$$\Phi_{1g} := \alpha_g \cdot \tau \cdot (L_m + \delta_1 + \Delta_b + \delta_2) \cdot B_g$$

(29) 总气隙

$$\dots (D_i - D_{Me}) \dots - 4$$

$$\delta_1 := \frac{1 - \dots}{2} = 9.3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

(30) 气隙磁势

$$F_\delta := 16000 \cdot \delta \cdot B_\delta$$

(31) 机壳内磁势

$$B_i := \frac{\Phi_{1\delta} \cdot 10000}{(D_j - D_i) l_j}$$

(32) 机壳磁路长度

$$L_i := \frac{(D_j - D_i)}{2} + \frac{\pi}{4} (D_j + D_i) \cdot \left(1 - \frac{\alpha_\delta}{2}\right) = 0.025 \text{ m}$$

(33) 机壳磁势

$$F_i := H_j \cdot L_j$$

(34) 空载特性计算

(35) 磁钢工作图

(36) 空载时气隙磁通

$$\Phi_{\delta 0} := \frac{\Phi_m}{\sigma}$$

$$\Phi_\delta := \Phi_{\delta 0}$$

4. 绕组计算

(37) 线绕组轴向长

$$l_{b2} := 3.5 \text{ cm}$$

(38) 一根导线平均长

$$l_{av} := \sqrt{l_{b2}^2 + \tau^2} = 0.046 \text{ m}$$

(39) 选导线

$$d_c := 0.12 \text{ mm}$$

$$d_i = 1.45 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$r_{c20^\circ\text{C}} := 1.551 \Omega$$

(40) 斜导线与轴向夹角

$$\beta := \operatorname{atan}\left(\frac{\tau}{l_{b2}}\right) = 40.574 \cdot \text{deg}$$

(41) 导线布满率

$$K_b := 0.97$$

(42) 总导体数 (考虑二层)

$$N1_c := 2\pi \cdot \frac{D_{bav}}{10} \cdot K_b \cdot \frac{10}{d_i} \cdot \cos(\beta) = 609.158$$

$$N2_c := \operatorname{floor}(N1_c) = 609$$

考虑到导线外径实际小于  $d_i$ , 所以最终取值如下:

$$N_c := 770$$

(43) 换向片数

$$KK := 7$$

(44) 电枢电阻

$$\alpha := 1$$

$$R_{c20^\circ\text{C}} := \frac{1}{(2\alpha)^2} N_c \cdot l_{av} \cdot r_{c20^\circ\text{C}} = 13.758 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3}$$

5. 机械损耗

(45) 转向器数据

$$D_k := 0.6 \text{ cm}$$

$$l_k := 0.5 \text{ cm}$$

$$\rho_k := \frac{7500 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 7.5 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_k := \rho_k \frac{\pi}{4} \cdot D_k^2 \cdot l_k = 1.06 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

(46) 电刷数据

电刷材料选用 TSQ-7

$$b_b := 0.2 \text{ cm}$$

$$l_b := 0.2 \text{ cm}$$

$$s_b := b_b \cdot l_b = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

## (47) 转子总重量

转轴重量

$$G_2 := \frac{7800\text{kg}}{1\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.3\text{cm})^2 \cdot 5.95\text{cm} = 3.281 \times 10^{-3}\text{kg}$$

电枢杯重

$$G_b := \frac{8900\text{kg}}{1\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.12\text{cm})^2 \cdot 4.61\text{cm} \cdot 7.7 = 3.573 \times 10^{-3}\text{kg}$$

电枢杯支架重

$$G_j := \frac{1800\text{kg}}{1\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1.835\text{cm})^2 \cdot 0.3\text{cm} = 1.428 \times 10^{-3}\text{kg}$$

总重量

$$TG := G_2 + G_b + G_k + G_j = 9.342 \times 10^{-3}\text{kg}$$

## (48) 轴承摩擦损耗

$$K_m := 2$$

$$P_{Bf} := K_m \cdot TG \cdot n$$

## (49) 转向器圆周速度

$$v_k := \pi \cdot D_k \cdot \frac{n}{60}$$

## (50) 转向器与电刷摩擦损耗

$$\mu := 0.2$$

$$P_s := 4.9$$

$$S_b := 0.04$$

$$P_{kb} := 0.0002 \cdot \mu \cdot P_s \cdot S_b \cdot v_k$$

## (51) 电枢与空气摩擦损耗

$$P_{wf} := 2 \cdot D_{bav}^3 \cdot l_{b2} \cdot n^3$$

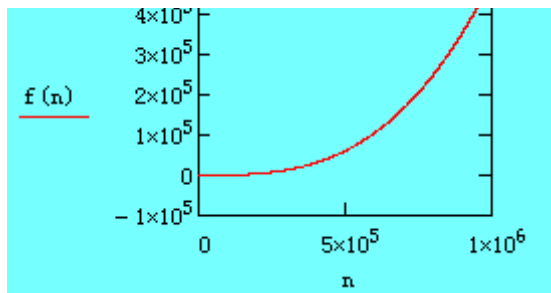
## (52) 总机械损耗

$$P_{moc} := P_{Bf} + P_{kb} + P_{wf}$$

$$f(n) := 18.67 \cdot n \cdot 10^{-6} + 24.6 \cdot n \cdot 10^{-6} + 48.6 \cdot n^3 \cdot 10^{-14}$$

## (53) 不同转速下的机械损耗计算见表





## 6. 工作特性计算

(54) 电枢电流

$$I_2$$

(55) 电枢电阻压降

$$\Delta U_2 := 13.76 \cdot I_2$$

(56) 每对电刷压降

$$\Delta U_{kb} := 0.5$$

(57) 电枢电阻压降和电刷压降之和

$$UU := \Delta U_2 + \Delta U_{kb}$$

(58) 电枢内感应磁势

$$E_i := 12 - UU$$

(59) 斜槽系数

$$K_{sk} := 0.741$$

(60) 短距系数

$$K_p := 0.996$$

(61) 绕组系数

$$K_{dp} := K_{sk} \cdot K_p = 0.738$$

(62) 电枢转速

$$n := \frac{60 \cdot \alpha \cdot E_i}{1.770 \cdot 2.4 \cdot 10^{-4} \cdot K_{dp}} = 1.440 E_i$$

(63) 电刷压降损耗

$$P_{cub} := I_2 \cdot \Delta U_{kb}$$

(64) 电枢绕组铜损

?

$$P_{ca} := 13.76 \cdot I_2^2$$

(65) 总损耗

$$PP := P_{mec} + P_{cub} + P_{ca}$$

$$P_{mec} := 100$$

$$FF(I_2) := P_{mec} + 0.5I_2 + 13.76 \cdot I_2^2$$

(71) 工作特性曲线见图

