

中华人民共和国第一机械工业部

ZHONGHUA RENMIN GONGHEGUO DIYI JIXIE GONGYEBU

电工专业指导性技术文件

DIANGONG ZHUANYE ZHIDAOXING JISHU WENJIAN

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

(内部发行)

北 京

1965

中华人民共和国第一机械工业部
电工专业指导性技术文件
凸 极 同 步 电 机
电 磁 计 算 公 式
电 指 (DZ) 27—63

技术标准出版社出版 (北京安定門外小黃庄)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 114 号)

新华书店内部发行

787×1092 $\frac{1}{11}$ ·5 $\frac{2}{11}$ ·80,000字 1965年9月第一版 1965年9月第一次印刷

印数: 1—5,000

统一书号: 15169·(2)—28 定价 (科八): 0.85元

目 次

一、基本数据	1
(一) 额定数据	1
(二) 定子铁心和转子磁极铁心尺寸	1
(三) 定子绕组数据	1
(四) 励磁绕组及阻尼绕组数据	3
二、空载磁势计算	6
(一) 磁路尺寸	6
(二) 空载特性计算	7
三、电抗和时间常数的计算	11
四、负载磁势计算	14
(一) 短路和额定千伏安 $\cos\varphi = 0$ 时磁势的计算	14
(二) 用图解法和算法确定额定负载时的磁势	15
五、励磁数据	16
六、损耗和效率	17
(一) 空载损耗	17
(二) 短路损耗	18
(三) 励磁损耗	20
(四) 机械损耗(摩擦损耗和通风损耗)	20
(五) 效率	21
七、温升计算	22
(一) 定子温升计算	22
(二) 转子温升计算	23
八、经济指标	24
附 录	
一、同步电动机特性计算	25
(一) 起动与牵入特性	25
不考虑反相序磁势的影响时	25
考虑反相序磁势的影响时	26
(二) 静过载能力	26
二、同步电动机在异步起动时绕组温升的计算	27
(一) 额定电压起动	27
(二) 降低电压($U = \alpha U_N$, $\alpha < 1$)起动	27
三、短路电流计算	28
四、其他	30
(一) 发电机工作情况变化时励磁电流的计算	30
(二) 发电机作调相机运行时功率的确定	31
(三) 磁极冲片的两边阻尼孔为闭口槽时 x_{kd} 的计算	31
五、附表及附图	32

中华人民共和国 第一机械工业部	电工专业指导性技术文件	电指(DZ) 27—63																																																									
	凸极同步电机电磁计算公式																																																										
一、基本数据 (一) 额定数据 <table> <tr> <td>1. 视在功率</td><td>$P_S = \sqrt{3} U_N I_N 10^{-3}$</td><td>千伏安 (kV A)</td></tr> <tr> <td>2. 额定功率</td><td>$P_N = P_S$ (发电机) $P_N = P_S \cos \varphi_N \eta_D$ (电动机)</td><td>千伏安 (kV A) 千瓦 (kW)</td></tr> <tr> <td colspan="3">式中: η_D——电动机效率</td></tr> <tr> <td>3. 额定电压</td><td>U_N</td><td>伏 (V)</td></tr> <tr> <td>4. 额定电流</td><td>$I_N = \frac{P_S \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_N}$</td><td>安 (A)</td></tr> <tr> <td>5. 额定功率因数</td><td>$\cos \varphi_N$</td><td></td></tr> <tr> <td>6. 有功功率</td><td>$P_A = P_S \cos \varphi_N$</td><td>千瓦 (kW)</td></tr> <tr> <td>7. 无功功率</td><td>$P_R = P_S \sin \varphi_N$</td><td>千乏 (kvar)</td></tr> <tr> <td>8. 相电压</td><td>$U_\phi = U_N$ (△接法) $U_\phi = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)</td><td>伏 (V) 伏 (V)</td></tr> <tr> <td>9. 相电流</td><td>$I_\phi = I_N$ (△接法) $I_\phi = \frac{I_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)</td><td>安 (A) 安 (A)</td></tr> <tr> <td>10. 额定转速</td><td>n_N</td><td>转/分 (rpm)</td></tr> <tr> <td>11. 额定频率</td><td>f_N</td><td>周/秒 (c/s)</td></tr> <tr> <td>12. 极对数</td><td>$p = \frac{60 f_N}{n_N}$</td><td></td></tr> <tr> <td>13. 相数</td><td>m</td><td></td></tr> </table> (二) 定子铁心和转子磁极铁心尺寸 (见图 1) (三) 定子绕组数据 <table> <tr> <td>14. 定子槽数</td><td>$Z = 6pq$</td><td></td></tr> <tr> <td>15. 每极每相槽数</td><td>$q = \frac{Z}{6p}$</td><td></td></tr> <tr> <td>16. 每槽有效导体数</td><td>$S_n = \frac{W a}{pq}$</td><td></td></tr> <tr> <td>17. 每相并联支路数</td><td>$a = \frac{S_n pq}{W}$</td><td></td></tr> <tr> <td>18. 每相串联匝数</td><td>$W = \frac{Z S_n}{6a}$</td><td></td></tr> </table>			1. 视在功率	$P_S = \sqrt{3} U_N I_N 10^{-3}$	千伏安 (kV A)	2. 额定功率	$P_N = P_S$ (发电机) $P_N = P_S \cos \varphi_N \eta_D$ (电动机)	千伏安 (kV A) 千瓦 (kW)	式中: η_D ——电动机效率			3. 额定电压	U_N	伏 (V)	4. 额定电流	$I_N = \frac{P_S \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_N}$	安 (A)	5. 额定功率因数	$\cos \varphi_N$		6. 有功功率	$P_A = P_S \cos \varphi_N$	千瓦 (kW)	7. 无功功率	$P_R = P_S \sin \varphi_N$	千乏 (kvar)	8. 相电压	$U_\phi = U_N$ (△接法) $U_\phi = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)	伏 (V) 伏 (V)	9. 相电流	$I_\phi = I_N$ (△接法) $I_\phi = \frac{I_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)	安 (A) 安 (A)	10. 额定转速	n_N	转/分 (rpm)	11. 额定频率	f_N	周/秒 (c/s)	12. 极对数	$p = \frac{60 f_N}{n_N}$		13. 相数	m		14. 定子槽数	$Z = 6pq$		15. 每极每相槽数	$q = \frac{Z}{6p}$		16. 每槽有效导体数	$S_n = \frac{W a}{pq}$		17. 每相并联支路数	$a = \frac{S_n pq}{W}$		18. 每相串联匝数	$W = \frac{Z S_n}{6a}$	
1. 视在功率	$P_S = \sqrt{3} U_N I_N 10^{-3}$	千伏安 (kV A)																																																									
2. 额定功率	$P_N = P_S$ (发电机) $P_N = P_S \cos \varphi_N \eta_D$ (电动机)	千伏安 (kV A) 千瓦 (kW)																																																									
式中: η_D ——电动机效率																																																											
3. 额定电压	U_N	伏 (V)																																																									
4. 额定电流	$I_N = \frac{P_S \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_N}$	安 (A)																																																									
5. 额定功率因数	$\cos \varphi_N$																																																										
6. 有功功率	$P_A = P_S \cos \varphi_N$	千瓦 (kW)																																																									
7. 无功功率	$P_R = P_S \sin \varphi_N$	千乏 (kvar)																																																									
8. 相电压	$U_\phi = U_N$ (△接法) $U_\phi = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)	伏 (V) 伏 (V)																																																									
9. 相电流	$I_\phi = I_N$ (△接法) $I_\phi = \frac{I_N}{\sqrt{3}}$ (Y接法)	安 (A) 安 (A)																																																									
10. 额定转速	n_N	转/分 (rpm)																																																									
11. 额定频率	f_N	周/秒 (c/s)																																																									
12. 极对数	$p = \frac{60 f_N}{n_N}$																																																										
13. 相数	m																																																										
14. 定子槽数	$Z = 6pq$																																																										
15. 每极每相槽数	$q = \frac{Z}{6p}$																																																										
16. 每槽有效导体数	$S_n = \frac{W a}{pq}$																																																										
17. 每相并联支路数	$a = \frac{S_n pq}{W}$																																																										
18. 每相串联匝数	$W = \frac{Z S_n}{6a}$																																																										
大电机研究所 提出	1963年 4 月 1 日	批准试行																																																									

19. 繞組节距

 y

20. 繞組短距比

$$\beta = \frac{y}{3q} \quad (\text{短距})$$

$$\beta = \frac{6q - y}{3q} \quad (\text{长距})$$

21. 定子繞圈的股綫尺寸

$$\frac{a \times b}{a' \times b'} ; \quad \frac{d}{d'}$$

毫米 (mm)

式中: $a \times b$ —— 扁銅綫无絕緣 $a' \times b'$ —— 扁銅綫帶絕緣 d —— 圓銅綫无絕緣 d' —— 圓銅綫帶絕緣

22. 每支路有效导体截面积

$$F_{ca1} = F'_{ca1} C$$

毫米² (mm²)式中: C —— 并联股綫数 F'_{ca1} —— 股綫截面积

23. 每支路的电流

$$I_s = \frac{I_\phi}{a}$$

安 (A)

24. 定子繞組的电流密度

$$i_1 = \frac{I_s}{F_{ca1}}$$

安/毫米² (A/mm²)

25. 定子綫负载

$$AS = \frac{I_s S_n}{t_1 10^{-1}}$$

安/厘米 (A/cm)

26. 定子繞組每匝平均长度

$$l_{w1} = 2(l_i + l_s)$$

毫米 (mm)

27. 定子鉄心全长

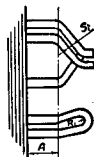
$$l_i = l + n_v b_v$$

毫米 (mm)

式中: l —— 无通风沟的定子鉄心长度 n_v —— 径向通风沟数 b_v —— 径向通风沟宽

28. 定子繞組端部每半匝的平均长

$$(1) \text{ 双层硬繞組} \quad l_s = \frac{\pi(D_i + h_n)\beta}{2\rho\sqrt{1 - \left(\frac{b_n + S_i}{t_1}\right)^2}} + \pi\left(R_1 + \frac{h_n}{4}\right) + 2A \quad \text{毫米 (mm)}$$

式中: h_n, b_n —— 冲片槽深及槽宽 S_i —— 端部相邻繞圈間的距离 A —— 繞圈端部从槽中伸出的直綫部分长度 R_1 —— 繞圈端部的弯曲半径当用波繞組时 β 值取 1.0 S_i 及 A, R_1 值按下表决定

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

电 压 U_N (V)	连续式绝缘		套筒式绝缘		R_1
	S_1	$2A$	S_1	$2A$	
≤ 525	—	—	5.5	60	12
3000~3150	6	80	6.0	90	12
6000~6300	7.5	100	7.5	140	15
10000~15000	10	130	—	—	20

(2) 双层绕组 $l_s = A \frac{\pi(D_f + b_n)\beta}{2p} \div B$ 毫米 (mm)

 A, B 值按下表决定

$2p$	铁心装入机座前下线		铁心装入机座后下线	
	A	B	A	B
2	1.25	20	1.30	30
4	1.30	20	1.35	30
6	1.40	20	1.45	30
8	1.50	20	1.55	30

29. 定子绕组每相电阻 $R_{1(15)} = \frac{W l_{w1}}{57 F_{cu1} a} 10^{-3}$ (15°C时) 欧 (Ω)

$R_{1(75)} = 1.24 R_{1(15)}$ (75°C时) 欧 (Ω)

30. 定子绕组铜重 $G_{w1} = Z S_n F_{cu1} \frac{l_{w1}}{2} 8.9 \times 10^{-6}$ (无绝缘) 公斤 (kg)

$G'_{w1} = Z S_n F_{cu1} \frac{l_{w1}}{2} 9.3 \times 10^{-6}$ (带股线绝缘) 公斤 (kg)

(四) 励磁绕组及阻尼绕组数据

31. 励磁绕组导线尺寸 $\frac{a_2 \times b_2}{a'_2 \times b'_2}; \frac{d_2}{d'_2}$ 毫米 (mm)

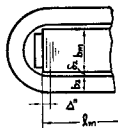
式中: $a_2 \times b_2$ ——扁铜线无绝缘 $a'_2 \times b'_2$ ——扁铜线带绝缘 d_2 ——圆铜线无绝缘 d'_2 ——圆铜线带绝缘

32. 励磁绕组导线截面积 F_{cu2} 毫米² (mm²)

33. 励磁绕组每极匝数 W_2

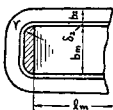
34. 励磁绕组每匝平均长 (单排线圈)

(1) 圆头线圈 $l_{w2} = 2(l_m - 2\Delta^*) + \pi(b_m + 2\delta_2 + b_2)$ 毫米 (mm)

式中: Δ^* ——圆心到磁极冲片边缘的距离, 其值约取自下表 δ_2 ——磁极铁心与铜线间的单边绝缘厚 (包括间隙) b_2 ——裸铜线宽度 (mm)

b_m (mm)	Δ'' (mm)
60以下	10
60~100	12.5
101~120	15
121~150	20
151~200	30

- (2) 平头繞圈 $l_{w2} = 2(l_m + b_m + 2l_f - 4r) + \pi(2r + 2\delta_2 + b_2)$ 毫米 (mm)
- 式中: r —— 磁极鉄芯的圓角半径
- b_2 —— 裸銅繞寬度 (mm)
- l_f —— 磁极压板极身部份的厚度 (mm)



35. 勵磁繞組电阻 $R_{z(15)} = \frac{2\rho W_z l_{wz}}{57 F_{cuz}} \cdot 10^{-3}$ (15°C 时) 欧 (Ω)
- $R_{z(75)} = 1.24 R_{z(15)}$ (75°C 时) 欧 (Ω)
- $R_{z(100)} = 1.34 R_{z(15)}$ (100°C 时) 欧 (Ω)
- $R_{z(120)} = 1.42 R_{z(15)}$ (120°C 时) 欧 (Ω)
- $R_{z(140)} = 1.46 R_{z(15)}$ (130°C 时) 欧 (Ω)
36. 勵磁繞組銅重 $G_{cuz} = 2\rho W_z l_{wz} F_{cuz} 8.9 \times 10^{-6}$ (无絕緣) 公斤 (kg)
- $G'_{cuz} = 2\rho W_z l_{wz} F_{cuz} 9.3 \times 10^{-6}$ (帶絕緣) 公斤 (kg)
37. 圓阻尼条直径 d_b 毫米 (mm)
38. 圓阻尼条截面积 $F_b = \frac{\pi d_b^2}{4}$ 毫米² (mm²)
39. 阻尼环截面积 $F_R \approx a_R b_R$ 毫米² (mm²)
- 式中: a_R —— 阻尼环厚度
- b_R —— 阻尼环寬度
40. 每极阻尼条数 B
41. 阻尼孔距 (极轆表面处) l_z 毫米 (mm)
42. 阻尼条、阻尼环材料的电阻系数与銅的电阻系数之比 C_b, C_R (75°C 时)

材 料	銅	黃 銅	磷 青 銅	含有鋁鉄 錫的青銅	鋼
C_b, C_R	1.0	3.7	8.0	10.5	8.8

43. 阻尼条重量 $G_b = 2bBF_z l_z \gamma_b 10^{-6}$ 公斤 (kg)
- 式中: γ_b —— 阻尼条材料的比重, 見第46条
44. 极間联接阻尼环重量 $G_R = 2\pi D_R F_R \gamma_R 10^{-6}$ 公斤 (kg)
- 式中: γ_R —— 阻尼环材料的比重, 見第46条
45. 极間不联接阻尼环重量 $G_{RS} = 2\pi D_R F_R \gamma_{RS} 10^{-6}$ 公斤 (kg)
- 式中: α_{RS} —— 在平均直径 D_R 上, 阻尼环的弧长与极距之比。

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

46. 阻尼繞組材料的比重

材 料	銅	黃 銅	青 銅	含有鋁鐵 鎳的 青銅
比 重 γ_D, γ_R	8.9	8.5	8.5	7.0

二、空 載 磁 势 計 算

(一) 磁 路 尺 寸

$$47. \text{ 极距} \quad \tau = \frac{\pi D_i}{2p} \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$48. \text{ 定子铁心有效长度} \quad l_{ef} = K_{Fe} l \quad \text{毫米 (mm)}$$

式中: $K_{Fe} = 0.93$ 用于涂漆的 0.5mm 厚硅钢片

$K_{Fe} = 0.9$ 用于涂漆的 0.35mm 厚硅钢片

$$49. \text{ 定子铁心计算长度} \quad l' = l_i - 2a_1 + \frac{2a_1\delta}{\frac{C_2}{2} + \delta} \quad \text{毫米 (mm)}$$

式中: l_i, a_1, C_2 见图 1

$$l'_i = l_i \quad (\text{铁心端部无阶梯时}) \quad \text{毫米 (mm)}$$

50. 定子齿距

$$\text{齿顶处} \quad \tau_1 = \frac{\pi D_i}{Z} \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$\frac{1}{3} \text{ 齿高处} \quad \tau_{1/3} = \frac{\pi \left(D_i + \frac{2}{3} h_a \right)}{Z} \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$\frac{1}{2} \text{ 齿高处} \quad \tau_{1/2} = \frac{\pi (D_i + h_a)}{Z} \quad \text{毫米 (mm)}$$

51. 定子齿宽

$$\text{齿顶处} \begin{cases} \text{开口槽} & b_{z1} = \tau_1 - b_a \end{cases} \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$\begin{cases} \text{半开口及半闭口槽} & b_{z1} = \tau_1 - b_s \end{cases} \quad (b_s \text{ 见图 1}) \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$\frac{1}{3} \text{ 齿高处} \quad b_{z1/3} = \tau_{1/3} - b_a \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$\frac{1}{2} \text{ 齿高处} \quad b_{z1/2} = \tau_{1/2} - b_a \quad \text{毫米 (mm)}$$

52. 一个极距内定子齿截面积

$$\text{齿顶处} \quad F_{z1} = 3q l_{ef} b_{z1} 10^{-2} \quad \text{厘米}^2 (\text{cm}^2)$$

$$\frac{1}{3} \text{ 齿高处} \quad F_{z1/3} = 3q l_{ef} b_{z1/3} 10^{-2} \quad \text{厘米}^2 (\text{cm}^2)$$

$$\frac{1}{2} \text{ 齿高处} \quad F_{z1/2} = 3q l_{ef} b_{z1/2} 10^{-2} \quad \text{厘米}^2 (\text{cm}^2)$$

$$53. \text{ 定子齿磁路长} \quad l_{z1} = 2h_a 10^{-1} \quad \text{厘米 (cm)}$$

$$54. \text{ 定子齿重} \quad G_{z1} = 2p F_{z1/2} h_a \gamma 10^{-4} \quad \text{公斤 (kg)}$$

式中: γ —— 硅钢片比重见下表

硅钢片牌号	D 11	D 12	D 21	D 31	D 41	D 42	D 43
γ	7.80	7.80	7.75	7.65	7.55	7.55	7.55

$$55. \text{ 定子轭高} \quad h_{i2} = \frac{D_a - D_i}{2} - h_a \quad \text{毫米 (mm)}$$

$$56. \text{ 定子轭截面积} \quad F_{i2} = h_{i2} l_{ef} 10^{-2} \quad \text{厘米}^2 (\text{cm}^2)$$

$$57. \text{ 定子轭磁路长} \quad l_{i2} = \frac{\pi (D_a - h_{i2})}{2p} 10^{-1} \quad \text{厘米 (cm)}$$

$$58. \text{ 定子轭重} \quad G_{i2} = 2p F_{i2} l_{i2} \gamma 10^{-3} \quad \text{公斤 (kg)}$$

$$59. \text{ 极弧系数} \quad \alpha = \frac{b_p}{\tau} \quad (\text{当 } 2p \geq 6)$$

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

$$\alpha = \frac{2R_p \sin^{-1} \frac{b_p}{2R_p}}{\tau} \quad (\text{当 } 2p=4)$$

60. 极弧半径 $R_p = \frac{D_i}{2 + \frac{8D_i(\delta_m - \delta)}{b_p^2}}$ 毫米 (mm)

61. 极靴边缘的空气隙 $\delta_m = \delta + \frac{(0.5D_i - R_p)\delta^2}{4D_i R_p}$ 毫米 (mm)

62. 极靴计算长度 $l'_p = \frac{l_p + l_s}{2}$ (当 $l_p \geq l_s$ 时) 毫米 (mm)

式中: l_p —— 极靴长度 (冲片部分)

$$l'_p = l_p + 2l_{p1} \frac{\delta b_{p1}}{\delta_p b_p} \quad (\text{当 } l_p < l_s \text{ 时})$$
 毫米 (mm)

式中: l_{p1} , b_{p1} , δ_p —— 见图 1

63. 轴向气隙计算长度 $l_o = \frac{l_i + l'_p}{2}$ 毫米 (mm)

64. 计算气隙 $\delta' = \delta + \frac{1}{3} (\delta_m - \delta)$ 毫米 (mm)

65. 气隙截面积 $F_g = \alpha \tau l_o 10^{-2}$ 厘米² (cm²)

66. 气隙磁路长度 $l_g = 2\delta' 10^{-1}$ 厘米 (cm)

67. 一个极靴上齿的平均截面积 $F_{z1} = 0.95 l_p (b_p - 0.94 B d_s) 10^{-2}$ 厘米² (cm²)

(由厚 1mm 及以下钢板迭成的磁极)

$$F_{z1} = 0.97 l_p (b_p - 0.94 B d_s)$$

(由厚 1.5~2mm 钢板迭成的磁极)

68. 极靴上齿的磁路长度 $l_{z1} = 2(h_{z1} + d_s) 10^{-1}$ 厘米 (cm)

69. 磁极铁心的计算长度 (用于第 88 条)

$$l'_m = l_m + l_f$$
 毫米 (mm)

式中: l_m —— 磁极铁心长度 (冲片部分)

l_f —— 磁极压板厚度

70. 磁极压板截面积 $F_f \approx 0.7 b_m l_f 10^{-2}$ (平头励磁线圈) 厘米² (cm²)

$$F_f \approx 0.5 b_m l_f 10^{-2}$$
 (圆头励磁线圈) 厘米² (cm²)

71. 磁极铁心截面积 $F_m = 0.95 l_m b_m 10^{-2} + 2F_f$ 厘米² (cm²)

(由厚 1mm 及以下钢板迭成的磁极)

$$F_m = 0.97 l_m b_m 10^{-2} + 2F_f$$

(由厚 1.5~2mm 钢板迭成的磁极)

72. 磁极磁路长度 $L_m = 2(h_m + h_p) 10^{-1} - L_{z1}$ 厘米 (cm)

73. 转子轭截面积 F_{j2} 由轭的图纸求出 厘米² (cm²)

74. 转子轭的磁路长度 $L_{j2} = \frac{\pi}{2p} [D_i - 2(\delta + h_p + h_m)] 10^{-1}$ 厘米 (cm)

(二) 空 载 特 性 计 算

75. 绕组的基波的分布系数 (60° 相带)

$$(1) \text{ 当 } q > 3 \text{ 和 } q \text{ 为分数时 } K_p = \frac{\sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = 0.955$$

(2) 當 $q \leq 3$ 時 K_p 見表

q	1	2	3
K_p	1	0.966	0.96

76. 繞組的基波的短距系數 $K_y = \sin\left(\beta \frac{\pi}{2}\right)$ (見表 1)

77. 繞組的 ν 次諧波的分布系數 (60° 相帶) ($\nu > 1$)

$$K_{r\nu} \approx \frac{\sin \frac{\nu\pi}{6}}{\frac{\nu\pi}{6}}$$

78. 繞組的 ν 次諧波的短距系數 $K_{y\nu} = \sin\left(\beta \frac{\nu\pi}{2}\right)$

79. 基波的繞組系數 $K_w = K_p K_y$ (參見表 1 和圖 2)

80. 磁場波形系數 $K_\phi = \frac{\phi}{\phi_1}$ (見圖 3)

81. 空載額定電壓時的每極磁通 $\phi = K_\phi \phi_1 = K_\phi \frac{u_e 10^8}{4.44 f_N W K_w}$ 馬 (Mx)

$$\phi = 0.45 \left(\frac{50}{f_N} \right) \frac{U_\phi}{W K_w} K_\phi 10^6 \quad \text{馬 (Mx)}$$

82. 基波磁通 $\phi_1 = \frac{\phi}{K_\phi}$ 馬 (Mx)

83. 極靴部分的磁通 $\phi_1 = K_1 \phi$ 馬 (Mx)

$$K_1 = \frac{\phi_1}{\phi} \quad (\text{見圖 4})$$

84. 極靴上氣隙中的平均磁通密度

$$B_s = \frac{\phi_1}{F_s} = \frac{K_1 \phi}{F_s} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

85. 定子轆的磁通密度 $B_{j1} = \frac{\phi}{2F_{j1}}$ 高斯 (Gs)

86. 定子齒的磁通密度

$1/2$ 齒高處 $B_{z1/2} = \frac{\phi_1}{aF_{z1/2}}$ 高斯 (Gs)

$1/3$ 齒高處 $B_{z1/3} = \frac{\phi_1}{aF_{z1/3}}$ 高斯 (Gs)

87. 極身根部的磁通 $\phi_m = \sigma_m \phi$ 馬 (Mx)

88. 磁轂漏磁系數

$$(1) \text{ 空載時} \quad \sigma_m = 1 + \frac{2\lambda_{m+r} l'_m (AW_s + AW_{j1} + AW_{z1})}{10 \phi}$$

式中:

$$\lambda_{m+r} = \lambda_{ms} + \lambda_{ml} + \lambda_{pl}$$

$$\lambda_{ms} = 0.37 \frac{b_m}{l'_m}$$

$$\lambda_{ml} = \frac{0.55 h_m}{\tau - b_m - \frac{\pi}{2p} (h_m + 2h_p + 2\delta)}$$

$$\lambda_{pl} = 1.4 \left(\frac{d_l}{C_p} - 0.25 \right) + 0.55 \left(\frac{a_p}{C_p} + 0.2 \right) - 0.4 \left(\frac{a_p}{C_p} - 0.5 \right)^2$$

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

$$a_p = \frac{1}{2} (b_p - b_m)$$

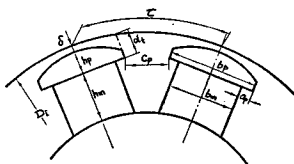
$$d_f = h_p + \delta - \frac{\delta_f^2}{4D_f}$$

$$C_p = \tau - b_p - \frac{2\pi d_f}{2p}$$

$$\lambda_1 \frac{d_f}{C_p} < 0.25 \text{ 时 } \lambda_{f1} \text{ 第一项不计}$$

(2) 额定千伏安, $\cos\varphi = 0$ 时

$$\sigma'_m = 1 + \frac{2\lambda_{m+p} \lambda'_{m2} (AW'_s + AW'_{f1} + AW'_{z1} + AW'_{sd})}{10\phi'}$$

(用于第149条) $AW'_s, AW'_{f1}, AW'_{z1}$ 按第154、155、156条

89. 极身上部的磁通

$$\phi_p = \sigma_p \phi$$

馬 (Mx)

90. 极靴的漏磁系数

(1) 空载时

$$\sigma_p = 1 + (\sigma_m - 1) \frac{\lambda_{f1}}{\lambda_{m+p}}$$

(2) 额定千伏安 $\cos\varphi = 0$ 时 $\sigma'_p = 1 + (\sigma'_m - 1) \frac{\lambda_{f1}}{\lambda_{m+p}}$ (用于第150条)

91. 极身根部的磁通密度

$$B_m = \frac{\phi_m}{F_m}$$

高斯 (Gs)

92. 极身上部的磁通密度

$$B_p = \frac{\phi_p}{F_m}$$

高斯 (Gs)

93. 磁极的平均磁通密度

$$B_{m1/2} = B_p + \frac{3}{4} (B_m - B_p)$$

高斯 (Gs)

94. 极靴齿部的磁通密度

$$B_{z2} = \frac{\phi}{F_{z2}}$$

高斯 (Gs)

95. 转子轭的磁通密度

$$B_{j2} = \frac{\phi_m}{2F_{j2}}$$

高斯 (Gs)

96. 总气隙系数

$$K_s = K_{s1} K_{s2} K_{s3}$$

97. 定子齿的气隙系数

$$K_{s1} = \frac{\tau_1 + 10\delta'}{b_{z1} + 10\delta'}$$

98. 径向通风沟的气隙系数

$$K_{s2} = \frac{\tau_v + 10\delta'}{(\tau_v - b_v) + 10\delta'}$$

式中: τ_v, b_v — 见图 1

$$\tau_v = \frac{l_z}{n_v + 1} \quad (\text{当各段铁心长不等时})$$

99. 轉子极靴齿的气隙系数 $K_{g2} = \frac{t_2 + 10\delta'}{(t_2 - b_{s2}) + 10\delta'}$

式中: t_2, b_{s2} ——见图 1

100. 空气隙的磁势 $AW_g = 0.16\delta'K_gB_g$ 安匝 (AW)

101. 定子轭的磁势 $AW_{j1} = aw_{j1}L_{j1}$ 安匝 (AW)

式中: aw_{j1} ——对应 B_{j1} 的单位安匝查表 2、3

102. 定子齿的磁势 $AW_{z1} = aw_{z1}L_{z1}$ 安匝 (AW)

式中: aw_{z1} ——对应 $B_{z1/3}$ 的单位安匝查表 4、5

当 $B_{z1/3} > 18000\text{Gs}$ 时见图 20

103. 磁极的磁势 $AW_m = aw_{m1}L_{m1} + aw_{z1}L_{z1}$ 安匝 (AW)

式中: $aw_{m1} = \frac{aw_m + 4aw_{m1/2} + aw_p}{6}$

$aw_{m1}, aw_{m1/2}, aw_p$ 及 aw_{z1} 分别对应于 $B_m, B_{m1/2}, B_p$ 及 B_{z1} 的单位安匝, 查表 6

104. 轉子轭与磁极接缝处之磁势

$AW_c \cong 0.05B_m$ 安匝 (AW)

105. 轉子靴磁势 $AW_{j2} = aw_{j2}L_{j2}$ 安匝 (AW)

式中: aw_{j2} ——对应 B_{j2} 的单位安匝, 查表 7、8

106. 额定电压下的空载磁势 $AW_0 = AW_g + AW_{j1} + AW_{z1} + AW'_m + AW_c + AW_{j2}$ 安匝 (AW)

三、电抗和时间常数的计算

107. 定子绕组的矩形波磁势 $AW_A = 0.071 K_w ASr$ 安匝 (AW)
108. 定子绕组纵轴电枢反应磁势 $AW_{ad} = K_{ad} AW_A$ 安匝 (AW)
109. 定子绕组纵轴电枢反应系数 K_{ad} 见图 5
110. 纵轴互感电抗 $x_{md} = \frac{AW_A}{AW_d}$ 标么值
111. 纵轴电枢反应电抗 $x_{ad} = K_{ad} x_{md} = K_{ad} \frac{AW_A}{AW_d}$ 标么值
112. 横轴电枢反应电抗 $x_{aq} = K_q \frac{1+K_s}{2} x_{ad}$ 标么值
113. 定子横轴与纵轴电枢反应基波磁通之比 $K_q = K_s + K_2$ 见图 6
114. 定子绕组漏抗 (定子齿顶漏磁不计)
- (1) 开口槽
$$x_s = \frac{0.306}{K_y^2} \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{l_z}{10q} (3\beta + 1) \frac{h_a + \delta_i + 2h_K}{b_n} + 0.344\tau (3\beta - 1) \right] + 0.156 \frac{AW_A}{AW_d} \left(\frac{1}{q} \right)^2$$
 标么值
- 式中: 波绕组时 (3β-1) 取 2
 δ_i —— 单边绝缘厚 (由铜至槽壁)
 h_K —— 见图 1
- (2) 半开口槽和半闭口槽
$$x_s = \frac{0.306}{K_y^2} \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{l_z}{10q} (3\beta + 1) \left(\frac{h_a + \delta_i + h_K}{b_n} + \frac{6h_K}{b_n + \delta_s} + \frac{3h_s}{b_s} \right) + 0.344\tau (3\beta - 1) \right] + 0.156 \frac{AW_A}{AW_d} \left(\frac{1}{q} \right)^2$$
 标么值
115. 纵轴同步电抗 $x_d = x_s + x_{ad}$ 标么值
116. 横轴同步电抗 $x_q = x_s + x_{aq}$ 标么值
117. 励磁绕组总电抗 $X_f = K_{ad} x_{ad} \left(K_f + \frac{2AW_d' l_f A}{10\phi_1} \right)$ 标么值
118. 磁极的漏磁导 $\Lambda = \lambda_{pl} + \frac{\lambda_{ml}}{1.53} + \frac{\lambda_{mb}}{2.65}$
- 式中: $\lambda_{pl}, \lambda_{ml}, \lambda_{mb}$ 见图 88 条
119. 励磁绕组漏抗 $x_f = X_f - x_{ad}$ 标么值
120. 纵轴瞬变电抗 $x_d' = x_d - \frac{x_{ad}^2}{X_f} = x_s + \frac{x_{ad} x_{fT}}{x_{ad} + x_f}$ 标么值
121. 横轴瞬变电抗 $x_q' = x_q$ 标么值
122. 阻尼绕组纵轴漏抗 (用圆阻尼条时)
$$x_{Kd} = 0.51 \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{D_f}{4p} + \frac{(1.7 + 2.8 \frac{h_{s2}}{b_{s2}}) l_f}{b} \right]$$
 标么值
- 当用闭口槽及开口槽与闭口槽合用时见附录四。
123. 阻尼绕组横轴漏抗 $x_{Kq} = 0.75 x_{Kd}$ (整圆阻尼环) 标么值
 $x_{Kq} = 2 x_{Kd}$ (扇形阻尼环) 标么值

124. 纵轴超瞬变电抗 $x_d'' = x_d + \frac{x_{Kd}(x_d' - x_d)}{x_{Kd} + x_d' - x_d}$ (有阻尼绕组时) 标么值

$x_d'' = x_d'$ (无阻尼绕组时) 标么值

125. 横轴超瞬变电抗 $x_q'' = x_q + \frac{x_{Kq}x_{Kd}}{x_{Kq} + x_{Kd}}$ (有阻尼绕组时) 标么值

$x_q'' = x_q$ (无阻尼绕组时) 标么值

126. 逆序电抗 $x_2 = \sqrt{x_d' x_q'}$ (当短路时) 标么值

$x_2 \approx \frac{x_d' + x_q'}{2}$ (当工作于大的外电抗时) 标么值

$x_2 = \frac{2x_d' x_q'}{x_d' + x_q'}$ (当转子静止时) 标么值

127. 零序电抗

(1) 对于 $\frac{2}{3} \leq \beta \leq 1$, 开口槽, 有阻尼绕组的电机

$$x_0 = \frac{0.83l_f}{3qK_y^2} - \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[(\beta - 0.555) \frac{h_n}{b_n} + (3\beta - 2) \frac{h_K}{b_n} \right] + 0.45 \frac{AW_A}{AW_b} \frac{3\beta - 2}{K_y^2} \left[\left(\frac{1}{3q} \right)^2 + 0.39 \left(\beta - \frac{2}{3} \right) - \left(\beta - \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{1}{27} \right]$$

标么值

(2) 对于 $\frac{1}{3} \leq \beta \leq \frac{2}{3}$, 开口槽, 有阻尼绕组的电机

$$x_0 = \frac{0.83l_f}{3qK_y^2} - \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[(0.78 - \beta) \frac{h_n}{b_n} + (3.33 - 5\beta) \frac{h_K}{b_n} \right] + 0.45 \frac{AW_A}{AW_b} \frac{2 - 3\beta}{K_y^2} \left[\left(\frac{1}{3q} \right)^2 + \left(0.33 - \frac{\beta}{2} \right) - \left(\frac{2}{3} - \beta \right)^2 \right]$$

标么值

h ——见图 1

注: ①当无阻尼绕组时上两式第二项系数 0.45 改成 0.9

②对于半开口槽和半闭口槽的电机上两式中

$\frac{h_n}{b_n}$ 以 $\left(\frac{h_n - h_K - h_s}{b_n} + \frac{2h_s}{b_n + b_s} + \frac{h_s}{b_s} \right)$ 代换

$\frac{h_K}{b_n}$ 以 $\frac{2h_K}{b_n + b_s}$ 代换

128. 励磁绕组电阻 $r_f = \frac{333}{f_N} \frac{AW_A}{2\phi_1} \frac{K_{fd}^2}{W_2} \frac{l_{w2}}{F_{cm2}}$ 标么值

129. 纵轴阻尼绕组电阻 $r_{Kd} = \frac{3550}{f_N} \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{C_d^2 l_b}{BF_b} + 0.2 \frac{D_f C_R}{\rho F_R} \right]$ 标么值

130. 横轴阻尼绕组电阻

(1) 对于极间联接阻尼环 $r_{Kq} = \frac{2660}{f_N} \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{C_q^2 l_b}{BF_b} + \frac{0.4 D_f C_R}{\rho F_R} \right]$ 标么值

(2) 对于极间不联接阻尼环 $r_{Kq} = \frac{8150}{f_N} \frac{AW_A}{2\phi_1} \left[\frac{C_q^2 l_b}{BF_b} + \frac{0.1 D_f C_R}{\rho F_R} \right]$ 标么值

131. 定子绕组开路时励磁绕组的时间常数

$$T_{d0} = \frac{X_f}{2\pi f_N r_f} = \frac{x_f + x_{ad}}{2\pi f_N r_f} \quad \text{秒 (s)}$$

凸极同步电机电磁计算公式

电指 (DZ) 27—63

132. 定子绕组和励磁绕组开路时纵轴阻尼绕组的时间常数

$$T'_{do} = \frac{x_{ad} + x_{kd}}{2\pi f_s r_{kd}} \quad \text{秒 (s)}$$

133. 定子绕组开路时横轴阻尼绕组的时间常数

$$T'_{qo} = \frac{x_{aq} + x_{kq}}{2\pi f_s r_{kq}} \quad \text{秒 (s)}$$

134. 定子绕组短路时励磁绕组的时间常数 (无阻尼绕组时)

$$T'_d = \frac{x'_d}{x_d} T''_{do} \quad \text{秒 (s)}$$

135. 励磁绕组短路及定子绕组开路时纵轴阻尼绕组的时间常数

$$T''_{do} = \frac{x_{kd}x_f + x_{ad}x_{kd} + x_f x_{ad}}{2\pi f_s r_{kd}(x_f + x_{ad})} \quad \text{秒 (s)}$$

136. 励磁绕组及定子绕组短路时纵轴阻尼绕组的时间常数

$$T'_d = \frac{x_f x_{ad} x_d + x_f x_d x_{kd} + x_{ad} x_f x_{kd}}{2\pi f_s r_{kd}(x_f x_d + x_{ad} x_d)} = \frac{x'_d}{x'_d} T''_{do} \quad \text{秒 (s)}$$

137. 定子绕组短路时横轴阻尼绕组的时间常数

$$T'_q = \frac{x'_q(x_{aq} + x_{kq})}{2\pi f_s r_{kq} x_q} = \frac{x'_q}{x_q} T''_{qo} \quad \text{秒 (s)}$$

138. 转子绕组短路时定子绕组的时间常数

$$T_s = \frac{x_1}{2\pi f_s r_1} \quad \text{秒 (s)}$$

139. 定子绕组电阻之标么值

$$r_1 = \frac{R_{1(25)} I_\phi}{U_\phi} \quad \text{标么值}$$

四、負載磁勢計算

(一) 短路和額定千伏安 $\cos\varphi = 0$ 時磁勢的計算

$$140. \text{定子繞組總漏抗} \quad X_s = x_s + \left(x_{ad} - \frac{x_{ad}}{K_{ad}} \right) = x_s + \frac{AW_s^2}{AW_s'} (K_{ad} - 1) \quad \text{標幺值}$$

$$141. \text{保梯 (Potier) 電抗} \quad x_T = x_s + (x'_d - x_r) \frac{AW_m}{AW_m + AW_{T1}} \\ \approx x_s + 0.63(x'_d - x_r) \\ \approx 0.8x'_d \quad \text{標幺值}$$

$$142. \text{短路電流為額定電流值時的磁勢} \quad AW_K = AW_{ad} + x_r AW_s \quad \text{安匝 (A W)}$$

$$143. \text{短路比} \quad k_{ko} = \frac{AW_o}{AW_K}$$

$$144. \cos\varphi = 0 \text{ 時對應額定電壓 } U_\psi \text{ 之相電勢} \quad E'_\psi = U_\psi (1 + x_r) \quad \text{伏 (V)}$$

$$145. \text{對應於 } E'_\psi \text{ 的磁通} \quad \phi' = \phi (1 + x_r) \quad \text{馬 (Mx)}$$

$$146. \text{氣隙中平均磁通密度} \quad B'_\delta = \frac{K_\delta \phi'}{F_\delta} = (1 + x_r) B_\delta \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$147. \text{定子軛的磁通密度} \quad B'_{11} = \frac{\phi'}{2F_{11}} = (1 + x_r) B_{11} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$148. \text{定子齒的磁通密度} \quad B'_{21/3} = \frac{K_\delta \phi'}{\alpha F_{21/3}} = (1 + x_r) B_{21/3} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$149. \text{極身根部的磁通密度} \quad B'_{10} = \frac{\sigma'_m \phi'}{F_m} + \frac{(X_r - x_r) \phi}{F_m} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

式中: σ'_m 見第88條

$$150. \text{極身上部的磁通密度} \quad B'_r = \frac{\sigma'_r \phi'}{F_m} + \frac{(X_r - x_r) \phi}{F_m} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

式中: σ'_r 見第90條

$$151. \text{磁極的平均磁通密度} \quad B'_{m1/2} = B'_r + \frac{3}{4} (B'_m - B'_r) \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$152. \text{極靴齒部的磁通密度} \quad B'_{22} = \frac{\phi'}{F_{22}} = (1 + x_r) B_{22} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$153. \text{轉子軛的磁通密度} \quad B'_{12} = \frac{\sigma'_m \phi'}{2F_{12}} \quad \text{高斯 (Gs)}$$

$$154. \text{空氣隙的磁勢} \quad AW'_\delta = 0.16 K_\delta \delta' B'_\delta \quad \text{安匝 (A W)}$$

$$155. \text{定子軛的磁勢} \quad AW'_{11} = aw'_{11} L_{11} \quad \text{安匝 (A W)}$$

式中: aw'_{11} 查表 2、3

$$156. \text{定子齒的磁勢} \quad AW'_{21} = aw'_{21} L_{21} \quad \text{安匝 (A W)}$$

式中: aw'_{21} 查表 4、5當 $B'_{21/3} > 18000$ 高斯時見圖19、20

$$157. \text{磁極的磁勢} \quad AW'_m = aw'_{m1} L_m + aw'_{21} L_{21} \quad \text{安匝 (A W)}$$

$$aw'_{m1} = \frac{aw'_m + 4aw'_{m1/2} + aw'_r}{6}$$

式中: aw'_m , $aw'_{m1/2}$ 及 aw'_r 查表 6