

凸極同步電機的 計 算

卡西亞諾夫著

機械工業出版社

凸極同步電機的 計 算

卡西亞諾夫著

曹显鈞、陳介合譯



機械工業出版社

1959

出版者的話

本書系根据以克路罗夫 (А. Н. Крылов) 命名的海軍武器和造船学院出版的卡西亞諾夫 (В. Т. Касьянов) 所著的“凸極同步电机的計算” (Расчет явнополюсных синхронных машин) 一書 1951 年版譯出。

本書敘述了凸極同步电机的計算理論，并附有三个具体的計算实例。在附录中关于同步电机励磁机在强行激磁时的激磁速度和峰值的計算与各种实验方法作了詳尽的介紹。

本書可供电机專業学校作为教材之用，也可作为工厂技术人員設計凸極电机的参考資料。

本書正文部分曾承王家燁、潘京嵩二同志协助翻譯，書中圖表由华生电机厂繪圖組复制。

苏联 В. Т. Касьянов 著 [Расчет явнополюсных синхронных машин] (Ленинград 1951 年第一版)

* * *

NO. 2735

1959 年 4 月第一版 1959 年 7 月第一版第二次印刷

7. × 1092 ¹/₃₂ 字数 102 千字 印張 4 ¹⁴/₁₆ 5,101—6,630 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(11) 0.76 元

目 次

原序	5
凸極同步电机計算的論証和范例	7
任务	7
§1 定子电流和極数	8
§2 定子的內徑和長度	9
§3 定子繞組型式和槽数的選擇	18
§4 定子的扇片疊集和分拆	29
§5 定子繞組节距, 繞組系数和每相匝数	38
§6 定子繞組的經綫、导体和槽尺寸	41
§7 空載时和額定負載时的每極有效磁通	53
§8 定子的疊片段数和長度最終值的确定	54
§9 定子的軀高、鉄芯外徑和机壳外徑	60
§10 定子齿和軀的鉄重	63
§11 定子繞組的有效电阻和銅重	64
§12 气隙	66
§13 定子繞組的电抗	68
§14 磁極和阻尼籠的尺寸	72
§15 轉子輪緣尺寸	81
§16 磁路各部分的尺寸、磁感应和磁化安匝数	83
§17 磁化曲綫的計算	89
§18 磁势(M. A. C.)圖	93
§19 激磁繞組	97
§20 額定負載时的損耗和效率	113
§21 有效材料重量的概要	117
§22 电机發热的計算	119

4	
§23	冷却空气量129
§24	一些机械计算〔文献1〕121
附录 1	凸极同步电机的暂态电抗和时间常数127
附录 2	作者在同步电机设计草案中所采用的一些近似公式的说明132
附录 3	同步电机的励磁机激磁速度和〔峰值〕的选择、测定与计算134

凸極同步電機的 計 算

卡西亞諾夫著

曹显鈞、陳介合譯



機械工業出版社

1959

出版者的話

本書系根据以克路罗夫 (А. Н. Крылов) 命名的海軍武器和造船学院出版的卡西亞諾夫 (В. Т. Касьянов) 所著的“凸極同步电机的計算” (Расчет явнополюсных синхронных машин) 一書 1951 年版譯出。

本書敘述了凸極同步电机的計算理論，并附有三个具体的計算实例。在附录中关于同步电机励磁机在强行激磁时的激磁速度和峰值的計算与各种实验方法作了詳尽的介紹。

本書可供电机專業学校作为教材之用，也可作为工厂技术人員設計凸極电机的参考資料。

本書正文部分曾承王家燁、潘京嵩二同志协助翻譯，書中圖表由华生电机厂繪圖組复制。

苏联 В. Т. Касьянов 著 [Расчет явнополюсных синхронных машин] (Ленинград 1951 年第一版)

*

*

*

NO. 2735

1959 年 4 月第一版 1959 年 7 月第一版第二次印刷

7. × 1092 $\frac{1}{32}$ 字数 102 千字 印張 4 $\frac{14}{16}$ 5,101—6,630 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(11) 0.76 元

目 次

原序	5
凸極同步电机計算的論証和范例	7
任务	7
§1 定子电流和極數	8
§2 定子的內徑和長度	9
§3 定子繞組型式和槽數的選擇	18
§4 定子的扇片疊集和分拆	29
§5 定子繞組節距、繞組系數和每相匝數	38
§6 定子繞組的絕緣、導體和槽尺寸	41
§7 空載時和額定負載時的每極有效磁通	53
§8 定子的疊片段數和長度最終值的確定	54
§9 定子的軀高、鐵芯外徑和機殼外徑	60
§10 定子齒和軀的鐵重	63
§11 定子繞組的有效電阻和銅重	64
§12 氣隙	66
§13 定子繞組的電抗	68
§14 磁極和阻尼籠的尺寸	72
§15 轉子輪緣尺寸	81
§16 磁路各部分的尺寸、磁感應和磁化安匝數	83
§17 磁化曲線的計算	89
§18 磁勢(M. Л. C.)圖	93
§19 激磁繞組	97
§20 額定負載時的損耗和效率	113
§21 有效材料重量的概要	117
§22 电机發熱的計算	119

§23 冷却空气量	129
§24 一些机械计算〔文献1〕	121
附录1 凸极同步电机的暂态电抗和时间常数	127
附录2 作者在同步电机设计草案中所采用的一些近似公式的说明	132
附录3 同步电机的励磁机激磁速度和〔峰值〕的选择、测定与计算	134

原 序

电机計算本身就是一个多少含有以近似的并与实际上等值的数据来作計算的課題。它的主要依据是一些推荐的比值，参数和尺寸。这些数据是从理論研究結果和已經制成并且运行良好的电机中研究获得的。当然在計算中可能与推荐的数据有不少出入，因为这些数据仅仅指出在选用比例和数值时应遵循的極限，可是他們是有助于寻求最好的方案，并能縮短所需計算的时间。

应当指出，甚至有經驗的职业設計师亦要通过逐步校正若干初步草案的方法来探求最好的結果，以确定最后工作設計。

在課程設計的情况下，限于時間不可能演算好几个方案来寻求其中最优良的設計，因此只得局限于編制一个足以令人滿意的方案。要得到这样的方案并避免增加过多的劳动量，有效材料應該采用适度的負担。必須指出使用高度資料的电机只能作为畢業設計或專門工作的目标。

本書对同步电机的計算公式仅作簡短解釋，其詳尽論証讀者可从括号內注脚查得或在指出的其他参考文献中查得。

本書主要算式和代号作者引自文献[9]，另一些算式的依据詳載附录[2]。

作者对协助誊写原稿的 Г. С. 馬夫路夫斯基，敬表謝忱，
М. И. 阿利亞亦夫，Л. Н. 葛路查夫，А. С. 叶兰姆也夫，Н. И.

叶莫利奴，A. П. 沙哈路夫，等同志在付样前校閱原稿，并提宝贵意見，一并致謝。

卡西亞諾夫

凸極同步电机計算的論証和范例

任务 1: 發電機 (或電動機)

綫端功率 (視在功率)	$P_N = 80$ 仟伏安
有功功率	$P_a = 64$ 仟瓦
电压	$U_N = 400/230$ 伏
相間接法	星形/三角
功率因数	$\cos \varphi_N = 0.8$
轉速	$n_N = 1000$ 轉/分
短路比	$OK3 \geq 1.0$
逸速倍数	$\kappa_y = 1.20$
自然通風	

任务 2: 發電機 (或電動機)

綫端功率 (視在功率)	$P_N = 90,000$ 仟伏安
有功功率	$P_a = 81,000$ 仟瓦
电压	$U_N = 13,800$ 伏
功率因数	$\cos \varphi_N = 0.9$
相間接法	星形
轉速	$n_N = 88.2$ 轉/分
短路比	$OK3 \geq 1.5$
逸速倍数	$\kappa_y = 2.6$
飞輪力矩	$GD^2 = 33,000$ 吨·公尺 ²
閉合循環通風	

任务 3: 發電機 (帶有阻尼籠)

綫端功率 (視在功率)	$P_N = 550$ 仟伏安
有功功率	$P_a = 440$ 仟瓦
功率因數	$\cos \varphi_N = 0.8$
电压	$U_N = 400/230$ 伏
相間接法	星形/三角
轉速	$n_N = 1000$ 轉/分
短路比	$OK3 \geq 1.0$
逸速倍數	$\kappa_y = 1.20$
自然通風	

§ 1 定子电流和極數

發電機的綫电流:

$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_N} \text{ (安)}。 \quad (1)$$

電動機的視在輸入功率:

$$P_N = \frac{P_a \text{ (仟瓦)}}{\cos \varphi_N \times \eta} \text{ (仟伏安)}, \quad (2)$$

式中 η —— 電机的效率, 其數值与功率有关:

$$\eta = (0.87) \sim 0.92 \sim 0.97。$$

電動機的綫电流:

$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_N} \text{ (安)}。 \quad (3)$$

極數 (頻率 $f = 50$ 赫芝時):

$$2p = \frac{120 \times f}{n_N} = \frac{6000}{n_N}。 \quad (4)$$

例 1

$$I_N = \frac{80 \times 10^3}{400 \sqrt{3}} = 115 \text{ 安}。$$

$$2p = \frac{120 \times 50}{1000} = 6。$$

例 2

$$I_N = \frac{90,000 \times 10^3}{13800 \times \sqrt{3}} = 3770 \text{ 安。}$$

$$2p = \frac{120 \times 50}{88.2} = 68。$$

例 3

$$I_N = \frac{550 \times 10^3}{400 \sqrt{3}} = 793 \text{ 安。}$$

$$2p = \frac{120 \times 50}{1000} = 6。$$

§ 2 定子的內徑和长度

定子內徑 D_i 与总長的初值 l_t (包括通風沟) 可借电机常数 C 加以确定:

$$C = \frac{6 \times 10^{11}}{k_B \times f_w \times \alpha AS \times B_{\delta N}} = \frac{D_i^2 \times l_t \times n_N}{P_{\phi}}, \quad (5)$$

式中

D_i 和 l_t ——以公分为單位;

n_N ——轉速, 轉/分;

P_{ϕ} ——內在的 (电磁的) 視在功率, 仟伏安;

k_B ——磁場波形系数;

f_w ——繞組系数;

α ——極抱系数;

AS ——綫負荷;

$B_{\delta N}$ ——額定負載时气隙中最大磁通密度。

附注: 为了比較电机的利用特性起見, 一般采用如下形式的电机常数

$$C = \frac{D_i^2 \times l_t \times n_N}{I_N}, \quad (5a)$$

式中 P_N ——电机綫端的視在功率，仟伏安。

有些作者[文献 1, 2, 8]在計算(5a)的电机常数时，假定 $U \approx E$ ，但是因此引入了 6~18% 的誤差（例如，在同步补偿机的情况下）。由于在計算中采用了空載額定电压时的 B_{δ} 值的这一假定，結果使額定負載时的实际 B_{δ} 值将增大 6~18%。为此，宜于使用(5)的 C 值以確定額定負載时的实际 $B_{\delta N}$ 值。

对于發电机以及在相当于功率因数为 0.8 的正常过激情况况下运行的电动机可折衷采用： $P_s \approx 1.08 \times P_N$ 。此外，設 $k_B = 1.11$ ； $f_w \approx 0.93$ ； $\alpha = 0.7$ 。此时，由(5)可得：

$$C = \frac{9 \times 10^{11}}{AS \times B_{\delta N}} = \frac{D_i^2 \times l_t \times n_N}{P_N} \quad (5b)$$

C 值处于 50×10^4 (对小型电机) $\sim 17 \times 10^4$ (对大型电机) 的範圍內。

从表 1，查得 AS 和 $B_{\delta N}$ 的約值代入(5b)，求出所設計的电机的 C 值，由此可以确定定子的內徑和其長度的初值。定子長度的最終值要在計算繞組后(§ 8)再行确定。

同步电机的主要参数有極距 τ 、磁場周速 v (用定子內徑來計算的轉子速度) 和定子長度 l_t 与極距 τ 的比值 $\xi = \frac{l_t}{\tau}$ 。

在一般情况下 50 周率电机的極距与周速等于：

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p} = \frac{\pi D_i n_N}{120 \times f} = \frac{\pi D_i n_N}{6000} \text{ 公分} \quad (6)$$

$$v = \frac{\pi D_i n_N}{6000} = \frac{\tau f}{50} \text{ 公尺/秒} \quad (6a)$$

从(6)和(6a)可以看出当 $f = 50$ 赫时，周速 v (公尺/秒) 和極距 τ (公分) 在数值上是相等的。

凸極电机額定轉速的上限值：

表1 各种不同容量电机的綫負載 AS , 槽电流 J_n
和氣隙磁通密度 $B_{\delta N}$ (額定負載時) 的約值^①

P_N	50	100	200	300	450	600	800	1000
AS	300	330	350	365	380	390	410	420
$J_n \leq$	800			1000		1300		1800
$B_{\delta N}$	从6000~6500到7600							
P_N	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
AS	420	440	460	480	490	510	520	530
$J_n \leq$	1800			2000		2500		3000
$B_{\delta N}$	从7600到8200							
P_N	10000	15000	20000	30000	40000	50000	80000	100000及以上
AS	530	540	550	570	585	600	600	600
$J_n \leq$	3000			3300		3800		4500
$B_{\delta N}$	从8200到8500							

① 对于担任長距离輸电工作的發电机, 为了要得到低值電抗, 表1所列的 AS 和 J_n 数值应降低 20~25%, 但是此时电机尺寸和重量也相应加大。

$$v < (75 \sim 90) \text{公尺/秒}。 \quad (6b)$$

一般 ξ 值的幅度变化較大, 即:

$$\xi = \frac{l_t}{\tau} = (0.6 \sim 6)。 \quad (6c)$$

但是最适宜的 (經濟上最合理的) ξ_{opt} 在下列的範圍內 [文献 2, 8]:

$$\xi_{opt} = \frac{l_{opt}}{\tau} = (1.3 \sim 1.6)。 \quad (6d)$$

确定了 (例如最理想的) 比值 ξ 并将 (6) 和 (6c) 代入 (5b), 消去定子長度 l_t 后, 就得出定子內徑 D_i :

$$D_i = \sqrt[3]{\frac{1900 \times C \times P_N}{\xi \times n_N^2}} \text{公分}。 \quad (7)$$

按(7)或根据其他方法(見后述)确定 D_i 后, 再从(5b)求出定子长度:

$$l_t = \frac{C \times P_N}{D_i^2 \times n_N} \text{ 公分。} \quad (7a)$$

对不同类型的电机, 应研究选用 D_i 和 l_t 的特点。

A 正常凸極50周率电机, 逸速 $n_y = n_N + 20\%$

属于这一类的有小型、中型、大型的發电机、电动机、同步补偿机、柴油引擎發电机和低速电动机等等。

要确定基本尺寸 D_i 和 l_t 应先从(5b)和表1求出电机常数 C , 再根据(6d)确定理想的比值 ξ 。将 C 和 ξ 代入(7)求得定子内徑, 把它化成整数使等于适当尺寸或标准的(系列的)尺寸, 然后引用(7a)算出定子长度。最后根据(6)計算 τ 和 ν , 并按(6c)和(6d)来核算 ξ 值。

若此时 $\tau > 75$ 公分, 也就是 $\nu > 75$ 公尺/秒 (在同步补偿机的計算中有这种情形), 則必須选用合适的 ν 值 (在 $60 \sim 75$ 公尺/秒範圍內), 从(6)或(6a)另外找出一个較小的内徑 D_i , 再从(7a)求出 l_t , 最后用(6c)来核算比值 ξ 。若 $\tau < 13$ 公分, 則必須选用合适的 $\tau_{\min}$ 值 (假定: 对无阻尼籠的發电机, $\tau_{\min} = 13 \sim 15$ 公分[⊖], 对有阻尼籠的發电机或电动机, $\tau_{\min} = 15 \sim 17$ 公分), 从(6)和(6a)另外找出一个較大的内徑 D_i , 再从(7a)算出 l_t 最后用(6c)来核算比值 ξ 。

B 水輪發电机

計算水輪發电机时, 任务書中所規定的逸速 n_y 和轉子的

⊖ 对于 $P_N \leq 100 \sim 200$ 仟伏安的电机, 为了改善自然通風而又可能安放激磁繞組, 比值 ξ 应在 $0.6 \sim 0.8$ 範圍內选取。

⊕ 較高頻率凸極發电机的極距可采用 $8 \sim 9$ 公分。