

单相及三相微型 感应电动机计算

上海科学技术出版社

[苏联] E. M. 洛普欣娜 Г. C. 索米欣娜 著
广州电器科学研究所上海试验站 译

73.25
366

单相及三相微型感应 电动机计算

[苏联] E. M. 洛普欣娜 著
Г. С. 索米欣娜

广州电器科学研究所
上海試驗站 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书介紹 600 瓦以內工頻单相及三相(分相式及电容式)感应电动机的設計方法及有关原理。对一般微型电机主要尺寸的选定、繞組設計、磁路与損耗及性能的計算等,均作詳尽的闡述,并以設計实例作为說明。各种設計曲綫及数据亦均有附載,足供設計时应用。书末附有各种附录,可作参考。

本书可供微型电机設計人員及专业师生参考。

РАСЧЕТ АСИНХРОННЫХ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ ОДНОФАЗНОГО И ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Е. М. Лопухина, Г. С. Сомнихина

Госэнергиздат · 1961

单相及三相微型感应电动机計算

广州电器科学研究所上海試驗站 譯

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可證出 093 号

洪兴印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1156 1/32 印张 9 4/32 排版字数 233,400

1963 年 11 月第 1 版 1964 年 12 月第 2 次印刷

印数 5,501—15,500

統一书号 15119·1755 定价(科六) 1.25 元

原 序

小功率电机在工业、农业、自动装置和計算机构、各种机械傳动以及日用器具等方面的用途正在不断增长，促使作者們編写本书。

本书可作为高等学校学生課程設計和毕业設計的参考教材，也可供設計微电机的工程师和技术員使用。本书搜集了莫斯科动力学院微电机課程設計和毕业設計的經驗、全苏机电科学研究院(ВНИИЭМ)的計算方法、微型电动机統一系列的經驗以及苏联和国外的文献資料。本书包括了作者們在莫斯科动力学院微电机實驗室 Ю. С. 切切特教授领导下从事多年科学研究所得到的成果。切切特教授的工作在很多方面促进了微电机的理論和計算方法的发展。

作者們衷心感謝电机教研室主任 Г. Н. 彼德罗夫教授极宝贵的指示和建議。

作者們也感謝 Н. А. 穆士克多夫工程师帮助选择資料和提出的許多宝贵意見，同时对帮助整理手稿的技术員 Т. И. 伊林娜表示謝意。

作者之間的分工如下：緒論、第 1、2、8、9 章和附录是共同写成的；第 4~7 章、第 12 章、第 13·2 和 13·5 节是 Е. М. 洛普欣娜写的；第 3、10、11 章，第 2·4、13·1 和 13·4 节是 Г. С. 索米欣娜写的。

本书总结和整理了一般用途微型电动机的計算資料，对于建立三相和单相电动机的統一計算方法作了初步嘗試，因此，书中可能有不少缺点，請讀者們指正。

作 者

07633

目 录

原序

緒論	1
0.1 微型电动机的分类和类型的选择	2
0.2 設計任务书和計算程序图	9
第1章 主要尺寸的決定	11
1.1 “电机常数”和利用系数	11
1.2 电磁負載	16
1.3 定子外徑、內徑、計算长度和气隙	19
第2章 定子繞組、槽和軛	24
2.1 定子和轉子槽数的选择	24
2.2 繞組型式的选择	27
2.3 定子繞組的計算	36
2.4 “正弦”繞組的計算	43
2.5 定子的槽和軛	49
第3章 轉子槽、軛和鼠籠	53
3.1 轉子繞組参数的选择	53
3.2 轉子槽形的选择 and 計算	57
3.3 斜槽系数的計算	59
第4章 定子和轉子繞組的阻抗	60
4.1 定子的阻抗	60

4.2 轉子的阻抗	72
第5章 磁路計算	76
第6章 損耗計算	81
6.1 鐵耗	81
6.2 鐵耗对定子电流数值影响的計算	84
6.3 机械損耗	85
6.4 电損耗	86
6.5 附加損耗	87
第7章 主相的等值电路	88
第8章 輔相的計算	91
8.1 概述	91
8.2 輔繞組的阻抗	92
8.3 电容电动机的变比和移相元件的計算	94
8.4 单相电动机变比的选择和起元件的計算	99
8.5 具有起元件的单相电动机起元件的圖图	107
第9章 工作特性和轉矩曲綫 $M=f(s)$ 的計算	112
9.1 在椭圆形、圓形和脉振磁場时电动机的特性, 能量图	112
9.2 空載轉差率的計算和額定轉差率的确定	120
第10章 三相感应电动机的单相接綫电路	122
10.1 概述	122
10.2 由三相电机派生的两相电机的等值电路参数	123
10.3 电容电动机	126
10.4 电容起单相电动机	128
10.5 分相起单相电动机	129
第11章 微型感应电动机結構的某些特点	130
第12章 封閉式微型感应电动机的热計算	141
12.1 热計算的方法	141

12.2 連續工作制的三相微型感应电动机的热計算	144
第 13 章 計算例題	151
13.1 分相起动单相电动机的計算	151
13.2 电容起动单相电动机的計算	182
13.3 电容運轉电动机的計算	188
13.4 “正弦”繞組的計算	203
13.5 封閉扇冷式微型感应电动机的热計算	210
参考文献	217
附录	221
1. 911 和 912 牌号电机級硅鋼片的 $H=f(B)$ 关系	221
2. 电磁圓銅綫的标准直徑 d 、截面 S 和每公里的重量 G	222
3. 电磁綫的絕緣厚度(毫米)	223
4. 統一系列电动机定子散下綫繞組的絕緣(A 級絕緣标准)电压 500 伏以下	224
5. 計算轉子鉄耗用的数据	225
6. (6.1~6.7) 統一系列零号、一号、二号和三号机座微型感应电 动机的技术数据和繞組数据	226
(6.8~6.9) 統一系列零号、一号、二号和三号机座微型感应电 动机的主要尺寸	256
7. (7.1~7.2) 統一系列零号、一号和二号机座微型感应电动机 的安装尺寸	264
8. (8.1~8.2) 工作电容器和起动电容器	266
9. AB 和 ABE 系列三相和单相的小功率感应电动机	268
10. 具有鼠籠轉子的分相起动单相微型感应电动机	270
11. 具有鼠籠轉子的单相微型电容电动机	276
12. 主要符号	282

結 論

微型电机在电机制造业中是一个較新的部門，苏联大概是在20年前出現的，現已得到蓬勃的发展。

微型电机的功率从分数瓦到600瓦^①，可分为两大类：(1)一般用途的微型电机；(2)自动装置、航空、船舶以及其他控制机构用途的特殊微型电机。

一般用途微型电机主要用于輕工业(紡織、制革等)、食品工业、医疗企业、农业、公共飲食业和日常生活等方面，也用在各种自动装置中作为輔助的驅动电机。

微型三相和单相鼠籠轉子感应电动机在交流电机中是最普遍的，可用来驅动小型机床、离心机、压縮机、泵、風扇、記帳机、录音机、电唱机、剪羊毛机、挤奶机、冷冻机、洗衣机、榨汁机和干燥器等。

由于单相感应电动机由单相公用电网供电，因此使用特別广泛。

微型感应电动机与其他类型电机，特别是与整流子电机相比較，具有下列优点：

- (1) 結構簡單，成本低廉；
- (2) 不产生无綫电干扰；
- (3) 噪音較小；
- (4) 使用簡便可靠。

普通鼠籠轉子电动机的缺点是調节特性較差。具有空心非磁性和空心磁性轉子、实心轉子和高电阻鼠籠轉子的特殊感应电动机，則具有很大的調速範圍。单相和三相多速电动机則采用分段

① 原文为500瓦。

調速。

本書介紹一般普通鼠籠轉子的微型感應電動機的設計和計算方法。

目前在蘇聯生產着各種一般用途的微型感應電動機(表0·1),且已有統一系列。統一系列包括三相(АОИ)和單相(АОЛБ),功率自18~600瓦,二極和四極的微型電機。在系列改型以及各種派生系列的設計方面,亦作了大量的工作,如低速電動機、低噪音電動機、中頻(高速)電動機、裝入式電動機等等。尤其是全蘇電機科學研究院(ВНИИ ЭМ)已完成了裝入式電動機的两个系列的設計方案:三相電動機 AB 系列,功率自30~600瓦;單相電容電動機 ABE 系列,功率自10~400瓦。

0·1 微型電動機的分類和類型的選擇

根據供電網路的相數和起動元件的特徵,微型感應電動機可以分為下列幾種:

1. 三相電動機($m=3$);

2. 在輔相內接起動元件的單相電動機($m=1$):

(1) 分相電動機,輔繞組中接有起動電阻(內在的或外接的);
提高輔繞組電阻的電動機也可稱為高起動電阻的電動機;

(2) 電容起動電動機,輔繞組中接有起動電容;

3. 電容電動機($m=2$):

(1) 電容起動和運轉電動機;

(2) 電容運轉電動機。

按供電方式,電容電動機屬於單相電機。由於兩個定子繞組均參與電動機的工作,因此在所有計算公式中取相數 $m=2$ 。

4. 罩極電動機或大小氣隙電動機,後者在部分磁極下具有增大的空氣隙,而不用短路環。

三相電動機、接起動元件的單相電動機和電容電動機都可以製成單速的和多速的。

此外,感应电动机根据轉子的形式可分为:

- (1) 鼠籠轉子电动机;
- (2) 綫繞轉子电动机;
- (3) 整体轉子电动机: a. 由鉄磁材料制成实心轉子; b. 由非磁性或鉄磁材料制成的空心轉子。

一般用途微电机的分类、接綫图以及特性曲綫列于表 0.1 内。

除了装入式电动机和多速电动机以外,上述电动机的容量等級均已標準化。根据苏联国家标准 ГOCT 6435-52 的規定,电动机应按下列額定功率制造: 5、10、18、30、50、80、120、180、270、400 和 600 瓦。

电动机的类型可根据其工作、起动和調节特性来选择,这些特性都列于表 0.1 内。

根据起动条件,单相电动机可以分为三种:

(一) 輕载起动 起动轉矩 $M_k \leq 0.5 M_H$ (罩极式、电容運轉电动机);

(二) 正常起动 $M_k = 1 \sim 1.2 M_H$ (分相起动、电容起动和運轉、电容運轉和罩极电动机);

(三) 重载起动 $M_k = 1.5 \sim 3.5 M_H$ (电容起动电动机)。

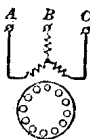


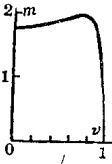
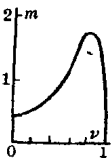
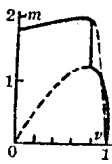
上述按起动轉矩倍数的分类可用以正确地选择单相电动机的类型。必須指出,罩极电动机采用大小气隙和双罩极后,可使起动轉矩增加。对于电容運轉电动机,应适当地选择电容,以保証得到所規定的起动轉矩,但其工作特性将稍差。

分相起动电动机的起动轉矩倍数有时达到 $m_k = 2$, 而电容起动电动机的起动轉矩特別大,可达到 $m_k = 3.5$ 。在很多場合下,为了保証电动机的均匀運轉和减小振动,在电容運轉电动机的輔相内接入电阻(参看第 8.2 节);这时起动轉矩倍数可提高到 $m_k = 1 \sim 1.2$ 。

三相电动机和电容电动机具有最优良的运行指标,后者的功

① 自此以后,“起动轉矩”的意思是指在 $s=1$ 时的初始起动轉矩。——原注

表 0.1 一般用途微型感应

电动机类型 电动机特性	三相电动机	单 相	
		罩 极 式	电 容 起 动 ^①
电动机的接线图			
机械特性曲线(5) $m = f(v), m = \frac{M}{M_H}$ $v = \frac{n}{n_c}$ (实心转子电动机除外, 它们的 $m = \frac{M}{M_K}$);			
转子结构	鼠 笼	鼠 笼	鼠 笼
起动装置	不需要	不需要	离心开关
功率范围(瓦)	10~600	0.5~120	18~600
电压(伏)	127/220, 220/380(7)	127, 220	127, 220, 380
同步转速 n_c (转/分)	1500, 3000	1500, 3000	1500, 3000
速度调节	不能调节	不能调节	不能调节
适用范围	机床传动	电风扇、榨油机、 烘箱、留声机、电 唱机、商业用器 具、洗衣机等	是目前最普遍的一 种单相电动机, 用于 洗衣机、冰箱、电影 放映机、医疗器械等

- [注] (1) r_n —轴绕组的外接起动电阻。
 (2) r_A —在某些场合, 例如在录音机电动机中应用的附加电阻。
 (3) 起动时的功率。
 (4) 也可制成多速电动机(通常是双速的)。

① 原文誤为分相起动。——譯注

电动机的分类及其特性

电动机			
分相启动②	电 容 式		
	电 容 运 轉	电 容 运 轉	电 容 起 动 和 运 轉
鼠籠	鼠籠	实心鉄磁性	鼠籠
离心开关	不需要	不需要	离心开关
18~600	5~600	50~100(3)	5~600
127, 220, 380	127, 220, 380	110, 127, 220	127, 220, 380
1500, 3000	750, 1000, 1500, 3000	在 1500 左右变动	1500, 3000
不能調节	不能調节(4)	能調节	不能調节
活塞泵、压缩机、泵、冷冻机	录音机(主导电动机)、家用电器泵、空载启动的小机床、电风扇	录音机(重繞式电动机)、牙科钻孔机	家用电器、泵、小机床

(5) 曲綫 $m=f(v)$ 是对基波磁場作出的。

(6) 目前單极电动机和大小气隙(无短路环)的电动机均有生产,在这些电动机中,启动轉矩提高很大($m_K=1$),使用在洗衣机中。

(7) 在个别情况下,电动机可制成一种电压。

② 原文誤为电容启动。——譯注

表 0.2 统一系列微型电动机的运用指标

电动机 类型	功率 P_H (瓦)	转速 (同步) 转/分								备 注
		3000		1500		3000		1500		
		η	$\cos \varphi$	启动转矩倍数 m_K	启动电流倍数 I_K	最大转矩倍数 m_{H1}				
AOJ 型 三相电动机	30~600 18~400	0.54~0.75 —	0.66~0.85 —	1.3~2 —	4~5 —	1.5~2.2 —	3~4 —	—	—	ГОСТ 8212-56
AJ 型三 相电动机	18~400 10~270	0.22~0.70 —	0.50~0.76 —	1.3~2 —	4~6.5 —	1.5~2.2 —	3~5 —	—	—	ГОСТ 8212-56
AOJIA 型 电容启动 和运转电 动机	50~600 30~400	0.41~0.73 —	0.66~0.87 —	1~1.2 —	4~5.5 —	1.6~2.2 —	—	—	—	—
AOJII 型 电容启动 电动机	30~600 18~400	0.41~0.69 —	0.68~0.72 —	2 —	4~6 —	1.9~2.2 —	3~4.5 —	—	—	—
AOJB 型 分相启动 电动机	30~600 18~400	0.41~0.69 —	0.68~0.72 —	1 —	7.5~9 —	1.4~2.2 —	—	—	—	苏联电机 工业部产 品目录 №1641

[注] 由于已有小尺寸的电容器生产, AOJIA 型和 AOJII 型电动机将在最近期间内生产。

率因数 $\cos \varphi$ 甚至比前者为高。

利用统一系列的综合数据(表 0.2), 可以比较各种类型感应电动机的性能, 表 0.2 中列入了封闭扇冷式三相电动机(AOЛ)的数据。三相电动机也制成封闭自冷式(AЛ)。此时同一功率的电动机采用大一号的机座, 电能指标(η 和 $\cos \varphi$) 将有一些改善。

从表 0.2 可以看出, 分相起动电动机(AOЛБ)的起动电流倍数很高, $i_k=6.5\sim 9$, 远远大于所有其他类型的电动机。从起动转矩倍数出发, 分相起动电动机(AOЛБ)和电容电动机(AOЛД)适用于正常起动; 而电容起动电动机(AOЛП)则适用于重载起动。关于统一系列电动机的更详细的技术数据列于附录 6 内。

所有带起动元件的单相电动机都必须有专用的起动装置。在起动时期内, 起动装置使辅助相(起动相)和起动元件(电阻 r_n 或电容 C_n) 接通; 在达到一定的转速后(同步转速的 $0.75\sim 0.8$) 将起动相切断, 电动机仅以一个工作相(主相)工作。在此转速下, 由一个工作相所产生的转矩一般比接入两相时大。在电容起动和运转电动机中, 起动装置在起动期(从 $s=1$ 到 $s=0.25\sim 0.2$) 使起动电容 C_n 接通。起动装置可采用: 离心开关、按钮、过电流继电器等等。其中最普遍的是采用离心开关。

为了降低成本、简化生产和运用方便, 有时将微电机制成结构和绕组数据不变的同—电机, 即三相和单相(具有各种起动元件)通用的电动机; 称为通用微型感应电动机。对于这类电动机, 应保证所有派生电动机的起动特性和工作特性不逊于专门设计的单相电动机。

苏联莫斯科动力学院(MЭИ)电机教研组所进行的试验研究证明[12], 从技术观点和电能指标来看, 把三相微型感应电动机用作三相和单相通用的电动机是非常合理的。

当三相微型感应电动机作为单相电动机使用时, 通常将两相绕组串联作为工作相(主相); 而第三相则作为辅助相, 起动元件接在辅助相内, 如图 0.1 所示。

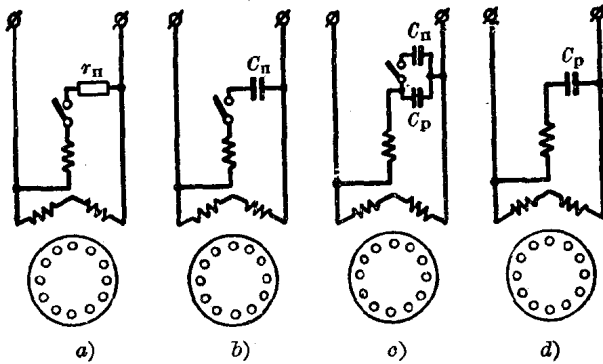


图 0.1 三相电动机的单相接綫图

a—分相起動；b—电容起動；c—电容起動和運轉；d—电容運轉

此外，亦可采用图 0.2 所示的接綫。其中 b~d 的接綫仅能用于电容起動、电容起動和運轉以及电容運轉电动机。

图 0.2a 和 b 的接綫用于三相繞組为星形联結的場合，而图 0.2c 則用于三相繞組为三角形联結的場合。

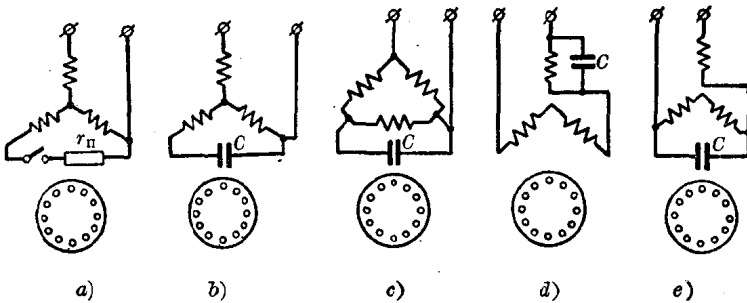


图 0.2 三相电动机的单相接綫图

如果三相电机外面有六个出綫头，則大多采用图 0.1 的接綫。

图 0.1a 的接綫与类似的 0.2a 相比較，若起動电阻相同，則起動轉矩要大得多。图 0.1b 和 c 的接綫与图 0.2c~e 的接綫相比較，則也有同样的优点。图 0.1b 的接綫与类似的图 0.2b 的接綫相比較，則前者能得到最大的起動轉矩，并能保証大的过载能力。

然而，在不需得到高的起動轉矩倍數時，建議採用圖 0·2b 的接綫，這樣能保證起動時各相內有較均勻的電流分布，而其工作特性却與圖 0·1b 接綫的一樣，並且電容器上的電壓也較低。如電機採用單層整矩繞組，則這種接綫同樣能獲得沒有陡降的轉矩曲綫 $M=f(s)$ 。當電機的 $\cos \varphi$ 為一定時，圖 0·2b 的接綫能產生與圖 0·1b 的接綫相同的起動轉矩 [18]。

在電機單相連接的情況下，如供電電壓為三相電動機額定電壓的兩倍，則採用圖 0·2d 和 e 的接綫。

圖 0·1 接綫圖的缺點是電機必須採用雙層短矩繞組，以避免由三次諧波所引起的轉矩曲綫的陡降。

0·2 設計任务书和計算程序图

在設計電動機時應給出：

(一) 額定数据

額定有效功率 P_n , 瓦；

轉速(同步) n_c , 轉/分；

相數, m ；

電源頻率 f , 赫；

額定電壓 U_n , 伏；

(二) 工作制度 連續的、重復短時的、短時的；

(三) 工作条件 周圍空氣溫度的變化範圍、濕度；

(四) 特殊条件 其中可以包括轉矩隨轉速變化的特性、調節特性、起動特性(起動轉矩倍數 m_k 、起動電流倍數 i_k)，過載能力(即最大轉矩倍數 m_m)和低噪音等。

此外，還應說明軸的工作位置——臥式的或立式的。臥式的電機占多數。立式的電機用於離心機、洗衣機、磁性錄音機等設備中。

電動機的類型和結構型式按照設計任务书和用途來選擇(可參考緒論和第 11 章)。而主要尺寸則按額定數據來決定(第 1 章)。在選擇電磁負載、計算轉子和輔相以及解決與結構有關的一系列

問題時,都需考慮到特殊條件。

微型感應電動機的計算建議按照圖 0·3 的程序進行。對於三相電動機應除去其中輔相的計算。為使三相電動機和所有類型的單相電動機的計算方法統一,在決定單相電動機的主要尺寸時引進了利用係數 β 。(與三相電動機的比)(參看第 1·1 節)。

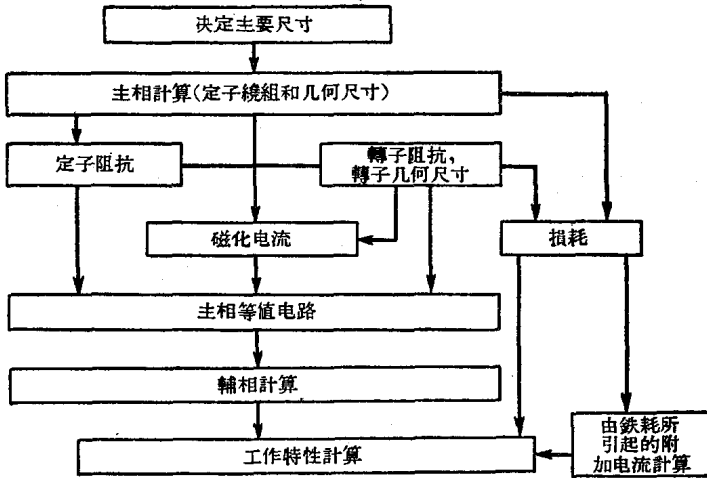


圖 0·3 微型感應電動機的計算程序圖

圖 0·3 所列計算程序有下列特點：

- (1) 工作特性按等值電路計算；
- (2) 按照能夠保證符合特殊條件的參數（尤其是給定的最大轉矩倍數）合理地設計轉子；
- (3) 利用附加電流來計算鐵耗。

此外,對於單相電動機尚包括：

- (1) 主相的計算:對於電容電動機,其主相按照對稱的兩相電動機的條件設計,對於具有起動元件的電動機,則按單相工作方式(僅接通工作相)的條件來設計；
- (2) 輔相的設計；
- (3) 計算橢圓形和脈振磁場的工作特性。

在以下各章中,將詳細討論各道計算程序和計算特點。