

9234/283

45203

滑差电机调速及其自动控制

林少鹿 编著



电气自动化杂志社

滑差电机调速及其自动控制

林少鹿 编著

电气自动化杂志社

1982年

内容提要： 本书说明滑差电机及其自动控制装置的调速原理，着重介绍在工业生产过程自动控制中，滑差电机各种运转和控制方式的实际应用原则与方法，对于我国目前引进较多的日本安川VS电机及其控制器，也作了分析。

本书可作为设计单位选择滑差调速方案的依据，同时，对生产、科研单位有参考价值，也可作为大专院校自动化专业师生的教学参考书。

滑差电机调速及其自动控制

林少鹿 编著

※

《电气自动化》杂志社

(上海斜土路414号)

浙江教育印刷厂印刷

《电气自动化》杂志社发行

1982年10月第一版

开本：787×1092 1/32

1982年10月第一次印刷

印张：5.22

印数：000,001—025,000

字数：220千字

定价：1.25元

前 言

在生产过程的自动控制中，电磁调速异步电动机（我国习惯称滑差电机，又称电磁转差离合器。国外则称VS电机或HC电机。）的应用越来越广泛，特别在轻纺工业和石油化学工业的发展中，滑差电机以其装置简单、性能稳定、运行可靠和较易实现节电运转的优越性，使之成为普遍采用的一种速度调节与控制方法。

为适应国民经济发展对滑差电机调速系统的需要，我们请上海电器成套厂林少鹿工程师编著了这本书。

本书以全国联合设计的滑差电机自动控制组合装置为主要内容，从说明滑差电机及其控制器的基本原理入手，以控制为主，重点介绍各种运转方式的实际应用原则与具体方法。因此，全书取材广泛，对于设计人员选择滑差电机调速方案，对于用户使用、调整与维修，对于从事工业生产过程自动控制研究的科技人员和大专院校有关专业师生，都有参考价值。

负责本书审稿的主要有：浙江大学许大中教授，袁国华付教授，上海交通大学陈敏逊付教授，南京调速电机厂吕有毅工程师，上海电气自动化研究所张北辰工程师，杭州电气控制设备厂张家煌工程师，沈阳第二电机厂王玉来工程师，上海电器成套厂董运康工程师，浙江桐乡电机厂徐鸿寿工程师和天津电气控制设备厂宋沛瑛同志。全书由本刊负责责任编辑。

为今后有机会再版时改进，请读者对书中不足和谬误之处提出批评。

《电气自动化》杂志社编辑部

一九八二年·上海

目 录

前 言

第一章 滑差电机的原理和特性…………… (1)

第一节 滑差电机的结构特点…………… (1)

一、单电枢感应式和单电枢爪式滑差电机 …………… (1)

二、小惯量滑差电机…………… (15)

三、整体式双定子绕组滑差电机…………… (16)

第二节 滑差电机的工作原理和机械特性…………… (18)

一、电动机机械特性的基本概念…………… (18)

二、滑差电机的工作原理…………… (22)

三、滑差电机的自然机械特性和人工机械特性 …………… (24)

第二章 工作机械的机械特性与滑差电机的传递效率 …………… (33)

第一节 工作机械的机械特性…………… (33)

第二节 滑差电机的传递效率…………… (35)

第三节 滑差电机在通风机型负载下的机械特性与 力能经济…………… (36)

第四节 滑差电机的节电运转…………… (39)

一、恒转矩负载下的节电运转…………… (39)

二、通风机型负载下的节电运转…………… (41)

三、结论…………… (42)

第三章 滑差电机控制装置..... (44)

第一节 带信号控制和脉冲测速的转差离合器控制 器..... (44)

一、线路的工作原理..... (44)

二、触发脉冲移相控制回路分析..... (58)

三、可控硅整流器在感性负载下工作的分析
..... (64)

四、闭环控制系统的特性..... (68)

五、结论..... (69)

六、控制装置的外接线与调整特性..... (71)

七、同步操作器..... (75)

第二节 带PIDT 调节的多功能组合式转差离合器 控制装置..... (82)

一、线路的作用原理..... (82)

二、集成运算放大器简介..... (87)

三、FC-54集成运算放大器简介..... (96)

四、集成电路稳压电源..... (107)

五、移相触发器..... (108)

六、速度调节器..... (113)

七、速度负反馈及可控硅整流..... (130)

第三节 单机手操作简易式转差离合器控制装置 (130)

一、ZLK-1型转差离合器控制装置的作用原
理..... (130)

二、系统静特性的计算..... (135)

三、前置放大器..... (137)

四、移相触发器及可控硅回路参数的选择

.....	(138)
五、JZT ₁ 型转差离合器控制装置.....	(140)
第四节 带磁放大器的转差离合器控制装置.....	(144)
一、带前置磁放大器的转差离合器控制装置	(144)
二、前置磁放大器.....	(149)
第五节 VS电动机控制盘.....	(150)
一、品种及特点.....	(150)
二、工作原理.....	(151)
三、调整.....	(154)
第四章 滑差电机的自动控制组件.....	(156)
第一节 主速整定器.....	(156)
一、工作原理.....	(157)
二、磁分路稳压变压器.....	(158)
三、磁分路稳压变压器主要参数的计算.....	(159)
第二节 比例控制器.....	(162)
一、偏移信号的产生.....	(164)
二、比率信号的产生.....	(165)
三、比例信号输出.....	(166)
四、比率与偏移整定.....	(166)
第三节 位移检测器.....	(167)
一、ZKJ-J型位移检测器的作用原理.....	(167)
二、位移传感器.....	(170)
三、多谐振荡器.....	(172)
四、相敏整流器.....	(173)
五、放大器.....	(174)
六、调试与整定.....	(175)

(2) 第四节 缓冲控制器.....	(177)
一、缓冲控制器的基本工作原理.....	(177)
二、调整方法.....	(182)
第五节 前置放大器.....	(182)
一、ZKJ-Q型前置放大器的主要技术性能	(182)
二、工作原理.....	(183)
三、调整方法.....	(189)
四、调节灵敏度的计算.....	(190)
第六节 PIDT 调节器.....	(191)
一、主要技术数据.....	(191)
二、基本工作原理.....	(191)
三、ZKJ-P 型PIDT调节器的传递函数.....	(194)
四、调整方法.....	(195)
第七节 电流检测器.....	(200)
一、主要技术数据.....	(200)
二、基本工作原理.....	(200)
三、调整方法.....	(203)
第八节 操作器.....	(204)
一、ZKJ-C ₁ 型操作器.....	(204)
二、ZKJ-C ₃ 型操作器.....	(205)
三、ZKJ-C ₅ 型操作器.....	(205)
四、ZKJ-C ₇ 型操作器.....	(205)
五、ZKJ-C ₉ 型操作器.....	(207)
第九节 电动操作器.....	(209)
第十节 自动换极控制器.....	(211)
一、工作原理.....	(211)

二、调整与试运行	(220)
第十一节 寸动控制器	(222)
第十二节 制动力矩调节器	(224)
一、主要技术数据	(224)
二、基本工作原理	(225)
三、调整方法	(229)
第十三节 电磁制动控制器	(230)
一、主要技术数据	(230)
二、基本工作原理	(230)
三、调整方法	(234)
第五章 滑差电机的协调运行	(235)
第一节 比率运转	(235)
第二节 联锁运转	(240)
第三节 卷取控制	(243)
第四节 齐速运转	(247)
第六章 滑差电机的按调节器信号控制	(251)
第一节 滑差电机的按调节器信号控制	(251)
第二节 按调节器信号控制的应用	(252)
一、风机和泵类的节电运转	(252)
二、风机和泵类的按调节器信号控制	(255)
第七章 滑差电机的并联同轴运转与挖土机特性的应用	(274)
第一节 滑差电机的并联同轴运转	(274)
第二节 滑差电机的转矩限制控制方法和挖土机特性的应用	(277)
一、转矩的简易控制	(278)
二、由检测电流进行转矩控制	(280)

第八章 滑差电机的缓冲、同步、遥控、寸动及重物下

降时的速度控制..... (289)

第一节 滑差电机的缓冲控制..... (289)

一、加速度控制..... (289)

二、缓冲起动..... (290)

三、齐速加速..... (291)

四、缓冲调速..... (291)

第二节 同步运转..... (294)

第三节 电动遥控操作器..... (295)

第四节 寸动控制、制动力矩自动调节及位置停车
控制..... (297)

一、寸动控制..... (297)

二、制动力矩自动调节及位置停车控制..... (298)

第五节 滑差电机在重物下降时的速度控制..... (301)

一、位转矩特性..... (301)

二、重物下降时的速度控制..... (302)

三、滑差电机对电弧炉电极升降的自动控制
..... (306)

附录 I JZT 系列滑差电机的主要技术参数和外形尺寸
..... (309)

附录 II JZT₂ 系列滑差电机的主要技术参数和外形
尺寸..... (311)

附录 III JZTT 系列滑差电机的主要技术参数及外形尺
寸..... (313)

附录 IV 滑差电机控制装置的主要技术参数和外形尺寸
..... (315)

主要参考书目..... (319)

第一章 滑差电机的原理和特性

滑差电机调速系统，是由鼠笼式异步电动机、转差离合器、测速发电机和控制装置所组成的。作为原动机的鼠笼式异步电动机，由测速发电机和控制装置通过改变转差离合器的激磁电流来实现调速。

本章将介绍滑差电机的结构特点、机械特性和调速原理。

第一节 滑差电机的结构特点

滑差电机的结构，可分为单电枢感应式和单电枢爪式两种。单电枢感应式和单电枢爪式的本质区别是同极性磁场分布与异极性磁场分布，因此在磁路上有外磁路和内磁路之分。由于磁路上的这种差异，也决定了滑差电机机座的材质的不同，前者要用低碳钢，后者可用铸铁。同时，根据这种结构原理，又制成了小惯量滑差电机和整体式结构的滑差电机。还可制成带涡流制动线圈和带圆盘式制动器的滑差电机之派生系列。在冷却方式上，又可分为自冷式、管道通风冷却式、水冷式和封闭式。

一、单电枢感应式和单电枢爪式滑差电机

图1—1为单电枢感应式滑差电机的结构简图。它主要由电枢、机座、磁极、激磁线圈、导磁体、测速发电机和原动机所组成。

图1—2为单电枢爪式滑差电机的结构简图。它主要由电枢、磁轭、机座、磁极、激磁线圈、导磁体、测速发电机和原动机所组成。

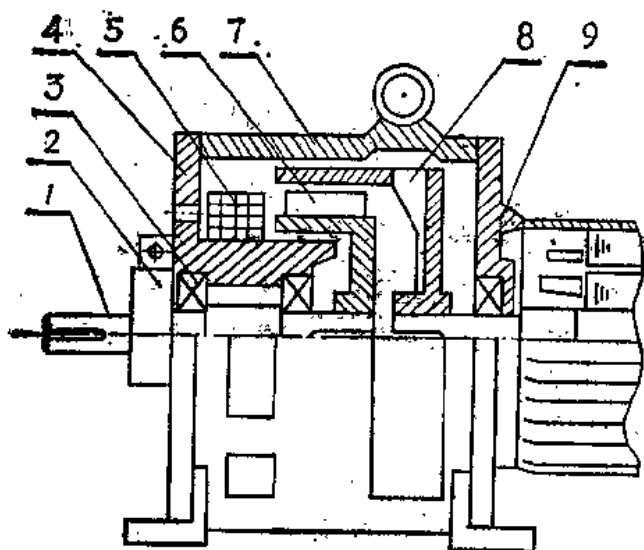


图 1—1 单电枢感应式滑差电机结构简图

1—轴；2—测速发电机；3—轴承；4—导磁体；5—激磁线圈；6—磁极；7—机座；8—电枢；9—原动机

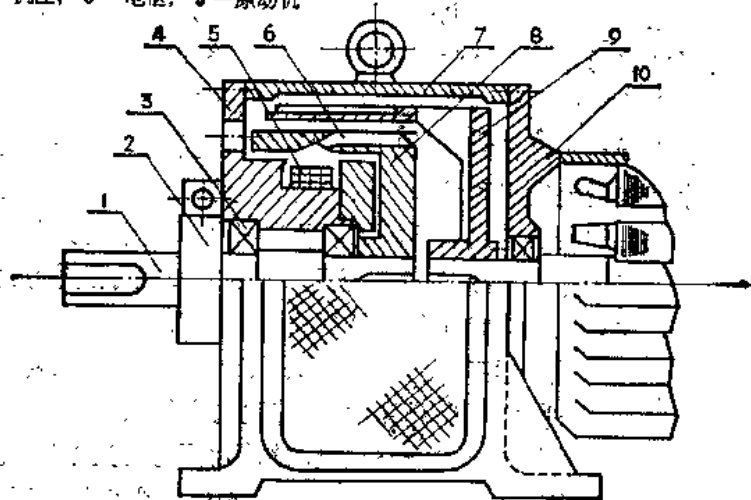


图 1—2 单电枢爪式滑差电机结构简图

1—轴；2—测速发电机；3—轴承；4—导磁体；5—激磁线圈；6—磁极；7—机座；8—磁轭；9—电枢；10—原动机。

1. 固定磁场 固定磁场是由直流激磁绕组和导磁体托架所组成，固定在端盖上。导磁体既是结构体，又是磁路的一部分，由低碳钢铸成，藉二个辅助气隙与磁极（或称齿极）分开。

2. 机座 在单电枢感应式结构中，机座既是结构体，又是磁路的一部分，由低碳钢铸成。在单电枢爪式结构中，机座仅起结构体作用，由普通铸铁铸成。

3. 电枢 为圆筒形实心钢体，兼有导磁、导电作用，由低碳钢铸成。它直接套在原动机的轴伸上。作为主动转子，其转速与拖动它的原动机相同。运行时，在电枢中感应电势并产生涡流，因此在电枢上同时还铸有风叶，以获得良好散热效果。

4. 磁极 又称为齿极。在单电枢感应式结构中，磁极为一直齿形，由低碳钢铸成。在单电枢爪式结构中，磁极为由低碳钢铸成的二个爪形轮，部分交叉，作为从动转子而输出转矩，在机械上与电枢无硬性连接，藉气隙而分开。

5. 测速发电机 它是滑差电机测量转速信号的元件。它的输出电压与转速成正比。在整个调速系统中，它是作为一种校正元件，起提高系统的静态精度和动态稳定性的作用。

调速系统对测速发电机的性能主要有以下要求：

- (1) 输出特性的线性误差要小；
- (2) 剩余电压（速度为零时的输出电压）要小；
- (3) 温度变化引起的误差要小；
- (4) 运行平稳，无噪音，无线电干扰要小；
- (5) 惯性小，反应要快，输出电压的斜率大；
- (6) 磨擦转矩和体积要小，重量轻。

上述各项性能指标中，尤其希望输出电压的斜率越大越好，在多机比例运转中，则对线性度的要求也较高，而其精度指标的要求则是次要的。

测速发电机按输出信号的形式，基本上分为两类，即交流测速发电机和直流测速发电机。而交、直流测速发电机按本身的结构和原理又有以下区分：

交流测速发电机有同步测速发电机和异步测速发电机。

同步测速发电机又有永磁式、感应子式和脉冲式。前两种测速发电机的输出电压与转速成正比，而频率也随转速变化而变化。脉冲式测速发电机是以脉冲频率作为输出信号的。

异步测速发电机按其结构可分为鼠笼转子和杯形转子两种。鼠笼转子测速发电机的输出斜率大，但线性度差，相位误差大，剩磁电压高，一般用在对精度要求不高的系统中。杯形转子异步测速发电机的精度比鼠笼式要高得多，也是目前应用最广的一种。

直流测速发电机按激磁方式可分为：他激式和永磁式。如果按结构不同又可分为：有槽电枢、无槽电枢、空心电枢和圆盘式印刷绕组电枢等形式。目前以他激式和永磁式有槽电枢直流测速发电机应用较多。

我国目前生产的滑差电机，所用的测速发电机主要为三相中频同步永磁式交流测速发电机、脉冲式测速发电机和他激式直流测速发电机。JZT、JZT2、JZTT系列滑差电机均采用三相中频同步永磁式交流测速发电机。JZT2M、JZTTM系列滑差电机均采用脉冲式测速发电机，而JZFX系列滑差电机及其他特殊用途的普通型滑差电机，则采用他激式直流测速发电机。

三相中频同步永磁式交流测速发电机，其转子用永久磁钢 AlNiCO_5 或铁氧磁性材料经饱和充磁制成，定子为16极、三相输出，功率在2~5瓦之间，1200转/分时的额定输出电压为（交流线电压）24V~45V之间（各制造厂并不统一）。

脉冲式测速发电机是一种输出信号为脉冲形式的转速测量

元件。它由定子和转子两部分组成。定子是由永久磁铁和导磁体组成的 Π 型组件,转子是用软磁材料做成的齿轮。工作磁通由条形永久磁铁产生,磁通经由磁轭、气隙和齿轮闭合。齿轮由被测转速的转轴带动旋转。由于齿轮的齿和槽位置的交替变化,引起气隙磁通的交替变化,结果就在线圈内感应出电势。两个线圈串联,电势相加后作为输出信号。图1—3所示为脉冲式测速发电机的原理结构图。

以软铁制成的齿轮直接安装在转差离合器的输出轴上。因为齿轮可以做得很薄,所以整个测速发电机所占空间很小,结构也紧凑,转动部分的转动惯量也很小。

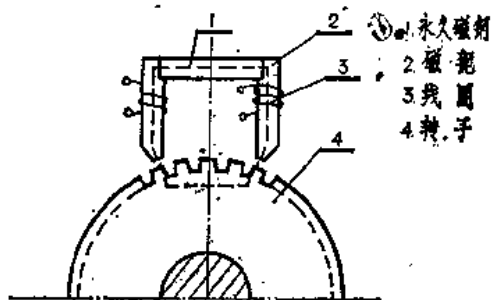


图1—3 脉冲式测速发电机的原理结构图

下面来分析这种脉冲测速发电机输出电势的大小和波形。

在图1—4(a)中,时间的起点选在定子磁极和齿轮的齿槽完全相对的瞬间。这里忽略除空气隙以外的所有磁阻,因为它们比空气隙的磁阻小得多。

从 $t=0$, $a=0$ 到 $t=\frac{T}{2}$ 。在这个过程中齿轮共转过一个与齿槽相对应的角度,变为图(b)的情况。因为气隙很小,在近似计算时

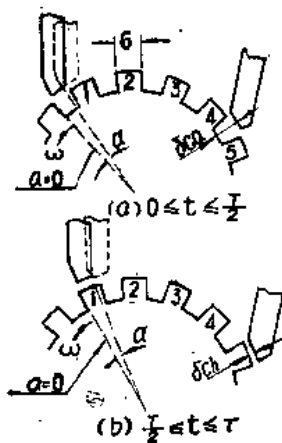


图1—4 脉冲式测速发电机的工作原理

忽略磁场的边缘效应。这时磁阻为：

$$R_{\delta} = \frac{\delta_{c a}}{\mu_0 S_{c a}} // \frac{\delta_{c h}}{\mu_0 S_{c h}} = R_{\delta c a} // R_{\delta c h}$$

所以

$$R_{\delta} = \frac{R_{\delta c a} \cdot R_{\delta c h}}{R_{\delta c a} + R_{\delta c h}} \quad (1-1)$$

$$S_{c a} = b \cdot B - r a B = B(b - r a) = B(b - r \omega t) \quad (1-2)$$

$$S_{c h} = B r a = B r \omega t \quad (1-3)$$

式中 $\delta_{c a}$ 、 $\delta_{c h}$ —见图 1—4 (a)、(b) 所示；

b —齿槽 (齿) 的宽度，即磁极的厚度；

B —齿轮的厚度，即磁极的厚度；

r —齿轮的半径；

a —在 $t = 0$ 到 $t = \frac{T}{2}$ 的过程中齿轮转过的角度；

$f = \frac{Zn}{60}$ —齿轮变化一个槽和一个齿的频率；

$T = \frac{1}{f} = \frac{60}{Zn}$ —齿轮变化一个槽和一个齿所需的时间，亦即磁阻变化的周期；

Z —齿轮的齿数；

n —齿轮每分钟的转数；

ω —齿轮的角速度。

将式 (1-2) 和式 (1-3) 代入式 (1-1) 得

$$R_{\delta} = \frac{\frac{\delta_{c a}}{\mu_0 B(b-r\omega t)} \cdot \frac{\delta_{c h}}{\mu_0 B r \omega t}}{\frac{\delta_{c a}}{\mu_0 B(b-r\omega t)} + \frac{\delta_{c h}}{\mu_0 B r \omega t}} = \frac{\delta_{c a} \cdot \delta_{c h}}{\mu_0 B [\delta_{c a} r \omega t + \delta_{c h} (b-r\omega t)]} \quad (1-4)$$

穿过磁极，即穿过线圈 W 的磁通 ϕ 为：

$$\phi = \frac{(AN_o)}{R_s} = \frac{(AN_o)\mu_o B[\delta_{ca}r\omega t + \delta_{ch}(b-r\omega t)]}{\delta_{ca} \cdot \delta_{ch}} \quad (1-5)$$

为便于分析，在这里将永久磁铁近似地等效为一个安匝 (AN) 。

每个线圈的感应电势 e_{out} 为：

$$\begin{aligned} e_{out} &= -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{(AN_o)\mu_o B[\delta_{ca}r\omega - \delta_{ch}r\omega]}{\delta_{ca} \cdot \delta_{ch}} \\ &= -\frac{N(AN_o)\mu_o Br(\delta_{ca} - \delta_{ch})\omega}{\delta_{ca} \cdot \delta_{ch}} = -K\omega \quad (1-6) \end{aligned}$$

式中 N —线圈 W 的匝数。

因为 $\delta_{ca} > \delta_{ch}$ ，

$$\text{所以 } K = \frac{N(AN_o)\mu_o Br(\delta_{ca} - \delta_{ch})}{\delta_{ca} \cdot \delta_{ch}} > 0$$

在图 1—4 (b) 中，时间的起点是选在定子磁极和齿轮的齿完全相对的瞬间，即时间的起点选在图 1—4 (a) 的时间起点之后 $\frac{T}{2}$ 。这时的磁阻 R_s 为：

$$R_s = R_{sch} // R_{sca} = \frac{R_{sca} \cdot R_{sch}}{R_{sca} + R_{sch}} \quad (1-7)$$

$$S_{ca} = Bra = Br\omega t \quad (1-8)$$

$$S_{ch} = B(b-ra) = B(b-r\omega t) \quad (1-9)$$

所以

$$R_{sca} = \frac{\delta_{ca}}{\mu_o S_{ca}} = \frac{\delta_{ca}}{\mu_o Br\omega t} \quad (1-10)$$

$$R_{sch} = \frac{\delta_{ch}}{\mu_o S_{ch}} = \frac{\delta_{ch}}{\mu_o B(b-r\omega t)} \quad (1-11)$$

将式 (1-10)、式 (1-11) 代入式 (1-7)，得