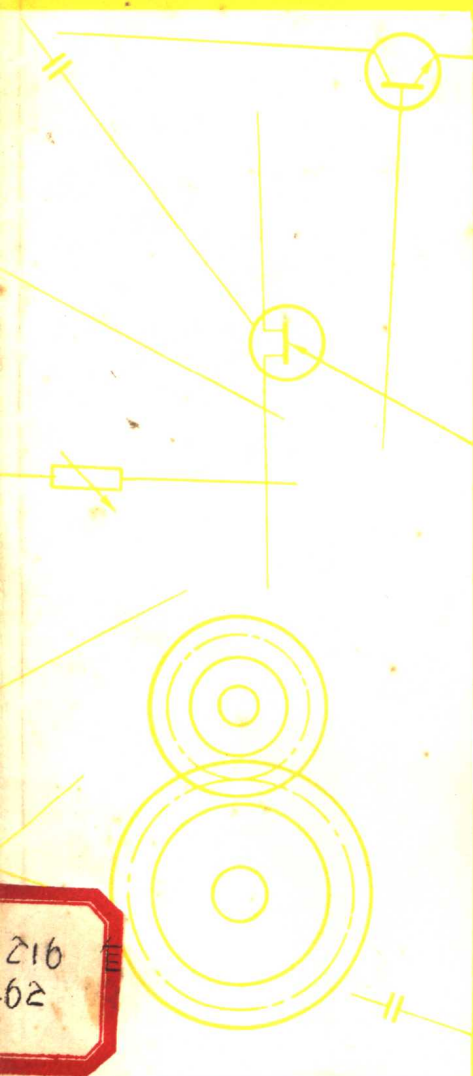




自动平衡仪表电机

仪 表 元 件 丛 书

自动平衡仪表电机

陈学明 肖栋林 编

机 械 工 业 出 版 社

本书主要叙述自动平衡仪表中的伺服电动机和同步电动机方面的内容，重点介绍交流和直流伺服电动机及同步电动机的作用原理、结构特点、性能及设计上的特殊性，还介绍了一些主要零部件的制造工艺。

本书可供从事仪表电机设计和制造的工程技术人员及工人阅读，也可供有关院校师生参考。

仪 表 元 件 丛 书

自动平衡仪表电机

陈学明 肖栋林 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $1/32$ · 印张 $4\frac{1}{8}$ · 字数 86 千字
1982 年 5 月重庆第一版 · 1982 年 5 月重庆第一次印刷
印数 0.001—5,900 · 定价 0.40 元

*

统一书号：15033·5291

出版者的话

仪器仪表是实现四个现代化必不可少的技术装备，而仪器仪表元件（简称仪表元件）是仪器仪表中具有独立功能的最基本的单元，它是仪器仪表的基础，能完成信号的检测、传递、转换、放大、储存、运算、控制和显示等功能。仪表元件的品种和质量直接影响着仪器仪表的性能。

目前，仪器仪表已广泛应用于国民经济各部门。为了适应仪器仪表工业发展的需要，进一步做好仪表元件基础知识的普及工作，在国家仪器仪表工业总局的直接关怀下，我们编辑出版了这套《仪表元件丛书》。

本丛书预定为十一分册，分别为《热敏电阻器》、《集成电路在仪器仪表中的应用》、《半导体光电器件》、《宝石支承》、《仪表齿轮》、《金刚石压头》、《数据采集系统中的放大器》、《磁电转换元件》、《自动平衡仪表放大器》、《自动平衡仪表电机》、《集成运算放大器》等，将陆续出版。

本丛书以介绍各类仪表元件的结构原理、特性、设计计算为主，对制造工艺、性能测试和应用知识也作了简单的阐述。在写法上，力求通俗易懂，深入浅出，从基础概念出发，对仪表元件的有关问题进行论述。

值此《仪表元件丛书》出版之际，我们向为丛书的编写做了大量组织、指导工作的沈阳仪器仪表工艺研究所的领导及从事具体工作的王崇光、董世章等同志表示深切的谢意，并向大力支持丛书编写的各有关单位领导及编者，表示衷心的感谢。

目 录

出版者的话

第一章 概述	1
第一节 定义和用途	1
一、伺服电动机	1
二、同步电动机	3
第二节 对仪表电机的要求	3
一、基本要求	3
二、对伺服电动机的特殊要求	3
第三节 仪表电机的发展趋势	4
一、提高工作可靠性和寿命	4
二、向提高性能指标及精度方向发展	5
三、向组合电机和新结构方向发展	5
四、仪表电机与电子线路相结合	7
第四节 仪表电机的定子磁场	8
一、恒定磁场	8
二、脉动磁场	8
三、旋转磁场	9
四、脉动磁场的分解	13
五、椭圆形旋转磁场的分解	14
第二章 两相交流伺服电动机	16
第一节 两相交流伺服电动机的种类和结构	16
一、鼠笼转子两相交流伺服电动机	16
二、非磁性杯形转子两相交流伺服电动机	18
三、铁磁杯式两相交流伺服电动机	20

第二节 定子绕组的型式	20
一、分布绕组	20
二、集中绕组	22
第三节 鼠笼转子伺服电动机的作用原理	23
第四节 工作特性及设计特点	24
一、机械特性	24
二、起动转矩特性	26
三、调速特性	27
四、输出功率特性	28
第五节 动态特性	29
第六节 自转问题	32
第七节 实际使用中的几个问题	34
一、励磁电压与控制电压之间的相位变化对机械特性的影响	34
二、输入阻抗与转速的关系	34
三、伺服放大器输出阻抗对机械特性的影响	35
四、移相电容的影响	36
五、控制电容中高次谐波和直流分量的影响	36
第八节 交流伺服电动机-测速发电机组	37
一、结构	37
二、测速发电机的作用原理	39
三、测速发电机的输出特性和零位误差	40
四、测速发电机的主要性能指标	41
五、伺服-测速机组的工作原理	42
第三章 直流伺服电动机	44
第一节 结构	44
一、静止部分	44
二、转动部分	45
第二节 工作原理	47

第三节 直流伺服电动机几个重要参数的关系式	49
一、转矩公式	49
二、转矩平衡方程式	50
三、反电势及电势平衡方程式	50
第四节 工作特性	51
一、机械特性	51
二、调速特性	52
三、直流伺服电动机的动态特性	53
第五节 直流伺服-测速机组	54
一、直流伺服-测速机组的结构与原理	55
二、机组对测速发电机的性能要求	56
第四章 同步电动机的结构与原理	57
第一节 电容分相永磁爪极同步电动机	57
一、结构	57
二、工作原理	59
第二节 短路环永磁爪极同步电动机	61
一、结构	61
二、作用原理	63
第三节 无短路环永磁爪极同步电动机	66
一、结构	67
二、作用原理	67
第四节 反应式同步电动机	69
一、结构	70
二、作用原理	70
第五节 磁滞同步电动机	74
一、结构	74
二、作用原理	75
第六节 低速同步电动机	77
一、气隙磁导波的空间分布	77

二、反应式低速同步电动机	80
三、永磁式低速同步电动机	83
四、反应式低速同步电动机的特性	85
五、永磁式低速同步电动机的特性	87
第五章 同步电动机中的定向装置及充磁方法	89
第一节 定向装置的种类	89
一、单棘轮式定向装置	89
二、弹簧式定向装置	89
三、双月式定向装置	90
四、不对称式定向装置	91
五、TDY-375 型电动机的定向装置	92
六、普通棘轮的定向装置	92
七、特种棘轮的定向装置	93
第二节 电动机永久磁钢的充磁和退磁	94
一、永久磁钢的充磁	94
二、永久磁钢的退磁	98
第六章 仪表电机制造工艺的特点	101
第一节 仪表电机制造的基本要求	101
一、机械加工的基本要求	101
二、装配工艺的技术要求	102
三、仪表电机的绝缘等级	102
四、绕组方面	102
第二节 专业工艺要点简介	102
一、定子和转子冲片退火工艺	102
二、冲片绝缘处理的特点	103
三、绕组常用浸渍漆的成分及特点	104
四、定子浇注环氧树脂的配方及工艺	106
第三节 几种主要零部件的加工过程	107
一、伺服电动机的零部件加工	107

二、同步电动机部分	111
三、仪表电机的装配工艺要求	113
第四节 制造中的几个关键问题	113
一、工艺方面	113
二、模具的制造	114
三、专用工艺装备	114
四、测量工具和测试仪表	114
附录	115
一、小型自动化仪表常用的伺服电动机型号及数据	115
二、小型自动化仪表用同步电动机的品种规格	117
三、伺服电动机国家标准 SL 系列鼠笼转子两相交流 伺服 电动机额定数据和技术数据(部分)	119
参考文献	122

第一章 概 述

随着科学技术的不断发展，电子自动平衡显示仪表在各工业部门中的应用将愈来愈广泛。它配用不同的检测仪表，可用于测量各种不同的参量，如在电工测量方面可测量电压、电流、功率、频率等；在热工测量方面可测量温度、流量、压力、真空度等；在测量化学量方面可测化学成分、浓度、酸度等。显示仪表并可附加各种调节器、计数器、电阻发信装置等，这样就扩大了仪表的使用范围。

所以，随着自动平衡显示仪表应用范围的扩大，用于自动平衡显示仪表中的仪表电机也相应地得到广泛应用，并且其品种规格和产量也将不断地增加。本书就是介绍用于自动平衡显示仪表中的仪表电机的结构、原理及性能特点的。

第一节 定义和用途

自动平衡显示仪表中的电机主要有伺服电动机和同步电动机两大类。

一、伺服电动机

伺服电动机是一种控制电动机，在自动平衡显示仪表中作执行元件。它将线路中的电信号转变为伺服电动机转轴的机械运动，使自动平衡显示仪表达到自动平衡的目的。

如图 1-1 所示，当自动平衡显示仪表——电子电位差计中的测量系统，由于被测信号的变化而失去平衡时，便输出一个偏差信号。此偏差信号电压经放大器放大后，作为伺服

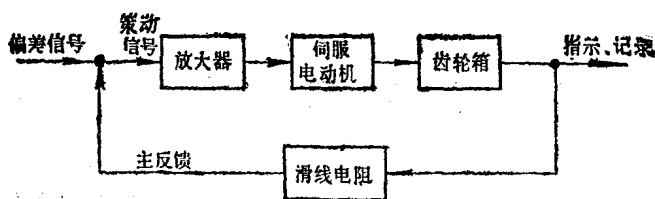


图 1-1 自动平衡式显示仪表工作原理框图

电动机的控制电压，它驱动伺服电动机按要求的方向旋转，电动机的转轴通过机械传动带动平衡电桥的滑线电阻的滑臂，仪表指针和记录笔动作，使测量系统随即达到新的平衡状态，同时也实现了连续自动指示和记录。可见自动平衡显示仪表的自动平衡、指示和记录都是由伺服电动机来实现的。

伺服电动机按其使用的电源，分为交流和直流二种。

1. 交流伺服电动机

交流伺服电动机一般都是两相的交流异步电动机。根据控制电压的相位及幅值大小的变化，伺服电动机的旋转方向和转速也随之改变。所以，伺服电动机可以正、反两个方向旋转，故习惯上又把交流伺服电动机称为可逆电动机。

2. 直流伺服电动机

直流伺服电动机与一般普通直流电动机的结构相似，在功率较小的直流伺服电动机中，大多采用永久磁钢作为定子的磁极，这样可以缩小体积、简化结构，并且能提高直流伺服电动机的效率。

直流伺服电动机的性能和用途与交流伺服电动机一样，也在自动平衡显示仪表中作执行元件。

目前，在自动平衡显示仪表中用得较多的是两相交流伺服电动机，而直流伺服电动机只适用于某些特殊场合。但是

随着自动化仪表的发展，直流伺服电动机的应用面也将越来越广。

二、同步电动机

同步电动机是一种转速与供电电网频率有严格不变关系的交流电动机，也就是以某一恒定不变转速旋转的电动机。它在自动平衡显示仪表中应用十分普遍，主要用于带动走纸机构、切换开关的切换和打印记录等。

第二节 对仪表电机的要求

为了满足自动平衡显示仪表的技术指标和要求，对仪表电机提出下列技术和性能方面的要求。

一、基本要求

1. 要有较大的起动转矩。
2. 能在给定的环境条件下稳定可靠地工作。
3. 使用寿命长。
4. 电动机温升要低。
5. 噪音要低。
6. 体积小，重量轻。

二、对伺服电动机的特殊要求

1. 伺服电动机的机械特性应该是稳定的。在电压不变时，应能保证从零转速到空载转速的范围内平滑、稳定地运行。
2. 机械特性、调节特性和起动特性曲线应接近线性关系。在通常情况下，机械特性曲线的非线性度为 10~20%，起动特性曲线的非线性度为 5~10%。
3. 没有自转现象。也就是当伺服电动机的控制电压消失后，电动机在空载情况下，控制绕组开路或短路，电动机

应能较快地停止转动。

4. 电动机的起动电压要低。一般交流伺服电动机的起动电压应不超过额定控制电压值的 3.5%。

5. 伺服电动机的机电时间常数要小, 转动惯性矩要小。

6. 控制绕组的单位输入功率起动转矩要大。

第三节 仪表电机的发展趋势

仪表电机是自动平衡显示仪表及其它自动化仪器仪表中的一个十分重要的元件。随着工业、农业和科研工作的飞速发展, 对各种控制系统的仪器仪表的发展和应用也提出了要求。这样, 对仪表电机的质量、性能及数量也相应地提出了要求。所以, 在国内外, 对仪表电机的品种规格、生产的系列化和自动化都十分重视, 并且把使用的可靠性和稳定性也提到更高的水平。

一、提高工作可靠性和寿命

由于各种自动平衡显示仪表的应用愈来愈广, 使用条件的差异也十分大, 所以对仪表电机在某些特殊环境如高温、高湿、不同的海拔高度及各种有害气体条件下的工作能力和使用可靠性有要求。这与仪表电机在设计、制造工艺及采用性能良好的材料方面有密切的关系。同时对仪表电机的使用寿命也提出了新的要求, 要求仪表电机能长期而又十分可靠地稳定工作; 要求仪表电机的故障降低到最低限度。这样也能使自动化仪器仪表的成本降低并使维护工作得到改善。

我国对在自动化仪表中已用的微电机, 根据具体使用情况制定了各种标准和系列。总的来讲, 仪表电机的使用环境

条件分为五个等级，其中对在每个等级中使用的海拔高度、空气的温度、相对湿度、振动和冲击等都作了具体规定，同时对寿命也有时间的规定。

目前我国有些生产单位和研究单位，正在研制一些在特殊场合中使用的仪表电机，对耐高温 250°C 以上，耐核辐射及在液态物质中使用的仪表电机的研制已取得不少成果，有些并已有产品了。

二、向提高性能指标及精度方向发展

为了满足自动化仪表的要求，对仪表电机的性能和精度都有较高的要求，如力能指标、体积、重量、电动机的快速反应和灵敏度等。这对自动化仪表的快速性及减小仪表的不灵敏区等都有十分重要的作用。同时，为了提高自动化仪表的精度和稳定性，希望能使用直接传动的仪表电机，这就希望伺服电动机是具有低转速、高转矩的交流和直流的力矩电机。

对同步电动机在转速稳定性、低转速、高转矩方面也有迫切的要求。

目前有许多自动平衡显示仪表同时要测量二个或二个以上不同的数据，故在同一台仪表中要安置较多数量的仪表电机，这就要求仪表电机除具有好的性能指标外，还要体积小，重量轻。

三、向组合电机和新结构方向发展

在自动平衡显示仪表中，要得到必要的精度和静态、动态的稳定性，并同时要求反应速度也越快越好，因此采用单独的伺服电动机往往不能满足要求。所以将伺服电动机与其它电机或元件组合为一体成为机组的形式，作为自动化仪表中的执行元件，这样不但提高了自动化仪表的精度和稳

定性，同时也使仪表的结构紧凑。

在目前，以伺服电动机与测速发电机组为伺服测速机组应用较多。在自动化仪表要求快速，而又有较高的稳定性时，单靠伺服电动机本身的内阻尼是不够的，故伺服测速机组就利用测速发电机来提供附加阻尼以满足仪表的要求。

在输出功率相当低、而又要求有较好的阻尼性能的情况下，可以采用伺服电动机带粘滞阻尼器的机组，这对于减小由游隙、径向间隙及不大的非线性引起的振荡是十分有效的。

如图 1-2 所示，粘滞阻尼器是由一个低惯量的铝杯装在伺服电动机的转轴上，在伺服电动机的机壳上装一固定的永久磁钢，另一永久磁钢可调节固定之。这样就可以产生一个磁场，铝杯在磁场中旋转，则在铝杯中产生涡流，这样就产生了粘滞阻尼的作用。

在要求转速很稳定的低加速度的控制系统中，可以采用伺服电动机带惯性阻尼器的机组，它的特点是既不减小伺服电动机的转速，又不减小伺服电动机的输出功率。

惯性阻尼器是由导电材料制成的杯子装在伺服电动机的转轴上，磁结构通过摩擦力很小的轴承也装在转轴上，当伺服电动机转速在瞬变过程中，由于用导电材料制成的杯子与实心的磁结构之间有相对运动，故产生粘滞阻尼作用。这种相对运动是由实心磁结构有较大的惯性而不能跟随瞬变而产生的。当伺服电动机恒定转速或加速度较小时，磁结构与导电材料制的杯子的转速相同，所以就不产生阻尼。

同样，用于仪表中的同步电动机为了适应各种不同的要求，其新品种、新结构发展也很快，其中，如永磁低速同步电动机是最近发展的一种，它的特点是低转速，大力矩，并且转速的稳定性也较好，这样不但可以简化减速机构，并且可

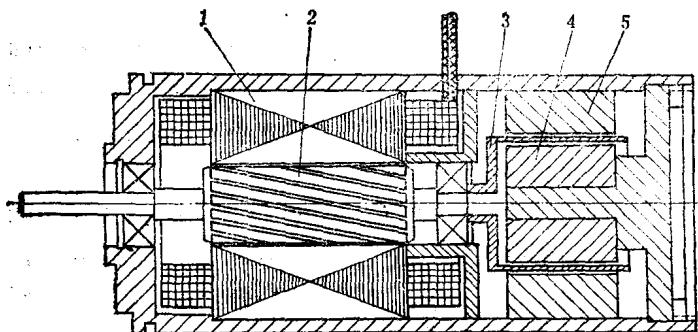


图1-2 伺服电动机与粘滞阻尼器的机组

- 1—电动机定子 2—鼠笼转子 3—低惯量铝杯 4—可调内磁钢
5—固定外磁钢

减低噪音和机械传动所引起的振荡。

四、仪表电机与电子线路相结合

由于电子技术的发展，促使电子线路与仪表电机相结合，以提高仪表电机的性能及工作可靠性。

例如，直流伺服电动机的新品种和新结构发展得十分快，但是由于换向器和电刷的关系，影响直流伺服电动机的工作寿命以及产生换向火花干扰。但是如用电子技术来取代换向器和电刷的功能，可提高直流伺服电动机的工作寿命，大大减少直流伺服电动机的维护工作。所以目前正在开展无刷直流电动机的研制工作。采用电磁感应器、霍尔器件（磁敏器件）、光电元件等作为直流电动机转子位置检测器，以实现各种直流电动机的无刷换向。

所以，随着仪表电机的发展，电子线路已成为其不可分割的一个组成部分了。

第四节 仪表电机的定子磁场

由于仪表电机的种类比较多,按定子结构及电源性质的不同,定子磁场也各不一样。为了便于后面各种电机的分析和研究,本节简单介绍有关各种定子磁场的种类和性质。

一、恒定磁场

如图 1-3 所示,假如我们取单匝线圈 $A-A_1$,其线圈的匝面与力轴相重合,如果通入线圈 $A-A_1$ 的是直流电流,它的方向如图 1-3a) 所示,符号“ $\times$ ”表示直流电流进入纸面的方向;符号“ $\cdot$ ”表示电流流出纸面的方向,那么在线圈 $A-A_1$ 中心的磁通密度 B_A 的方向和 y 轴重合,其数值为恒定值,如图 1-3b) 所示。

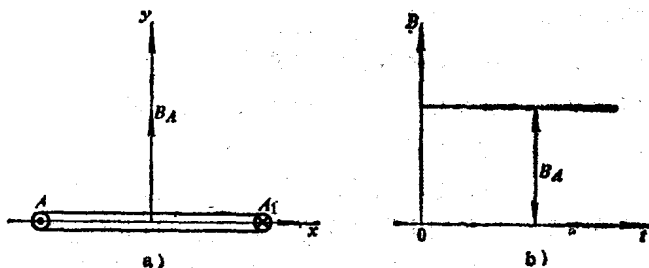


图 1-3

a) 直流电磁场 b) 磁通密度和时间的关系

这磁场的大小和方向不随时间的变化而改变,所以称为恒定磁场。

二、脉动磁场

假如我们在图 1-3a) 的线圈 $A-A_1$ 中通以正弦变化的交流电流: