

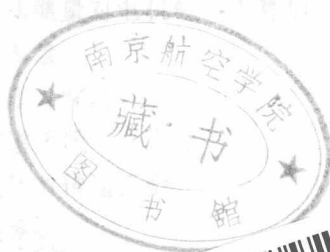
航空仪表随动系统 及其 放大器设计实践

林云峰 王绍志 吴守志 编著

国防工业出版社出版

航空仪表随动系统及其 放大器设计实践

林云峰 王绍志 吴守志 编著



国防工业出版社

500611

航空仪表随动系统及其放大器设计实践 内容简介

全书共有九章，其中前五章为第一篇，是航空仪表随动系统部分；后四章为第二篇，是伺服放大器部分。

本书从我国航空仪表的实际出发，在理论与实践的结合上较系统地总结了这类小功率随动系统及其伺服放大器的设计实践经验。书中论理分析简明扼要，列举了许多设计方法和表格数据，对目前国内外类似航空仪表小功率随动系统实际使用的、较为新颖的伺服放大器线路也作了介绍。

本书对从事小功率随动系统研究设计的工程技术人员和大专院校有关专业的师生都有参考价值。

航空仪表随动系统及其放大器设计实践

林云峰 王绍志 吴守志 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/16$ 印张14 $5/8$ 335千字

1984年2月第一版 1984年2月第一次印刷 印数：0,001—1,400册

统一书号：15034·2558 定价：1.55元

前 言

在现代飞机对信号的需求越来越多, 仪表板越来越拥挤的情况下, 航空仪表系统的综合化势在必行。航空仪表随动系统在实现这一目标方面正起着重要作用。和纯机械式或简单的同步传输式仪表传感器相比较, 采用小功率随动系统方式工作的仪表系统, 具有较高的测量精度, 较灵活的输出和显示形式。正因为如此, 目前航空仪表日益广泛地运用小功率随动系统来实现信号的转换、解算和远距传输。本书试图总结这方面的部分设计实践经验, 以供正在或将要从事这方面工作的同志参考。

目前, 航空仪表多数是二阶小功率随动系统。这是自动调节工程中最简单的一类反馈控制系统。用微分方程和传递函数来分析这类系统显得简单、直观。所以, 本书将从这个角度出发, 尽可能地结合仪表工程实际对系统作较详细的探讨。

作为一个随动系统工程设计者, 应该了解系统中各元、部件性能和使用情况。实践证明, 系统工作性能的好坏, 不仅取决于组成系统的元、部件本身的优劣, 而且在很大程度上取决于系统的结构形式和各元、部件间的相互关系。本书以较大篇幅介绍了用于航空仪表随动系统的元、部件的性能、工作原理和在实际使用中的某些问题。

伺服放大器是随动系统中的重要组成环节, 本书对其工作原理、设计和实际调试方法作了较详细的介绍。为了工程实践的方便, 书中列举了目前国内外用于航空仪表随动系统的、较为新颖的伺服放大器线路, 以供参考选用。

本书的编写组织工作由三机部航空标准化研究所张力方负责。郭锁凤、张国华和马文生对全稿进行了审校。全庆先描图。在本书的编写过程中, 得到了南山自动化研究所、太行仪表厂、宝成仪表厂以及南京航空学院、北京航空学院、西北工业大学等单位的大力支持和协助, 编者在此深表谢意。

由于编者水平所限, 书中必有不少缺点和错误之处, 敬请读者批评指正!

编 者

目 录

第一篇 航空仪表随动系统

第一章 航空仪表随动系统简介	1
一 航空仪表随动系统作用原理简述	1
二 航空仪表随动系统的组成环节	2
三 航空仪表随动系统的设计特点	3
四 航空仪表随动系统的质量指标	3
第二章 系统各环节的选择设计和应用	6
§ 2-1 信号检测变换元件	6
一 控制式自整角机	6
二 旋转变压器	13
三 电位器	18
四 电感变换器	26
五 电容变换器	33
§ 2-2 伺服电机	37
一 航空仪表随动系统执行元件的选择原则	37
二 用于航空仪表随动系统的部分电机	37
三 交流伺服电机的特点及动作原理	38
四 伺服电机的机械特性及其分析	39
五 伺服电机的运动方程	42
六 关于伺服电机激磁和控制电压的相位移问题	43
§ 2-3 交流测速发电机	47
一 交流测速发电机作用原理简述	47
二 测速发电机的主要技术指标	48
§ 2-4 减速器	49
一 减速器的功用和技术要求	49
二 减速器的折算关系	49
三 减速比的选择和分配	50
四 减速器的误差计算	51
五 减速器误差分析	54
六 减速器设计的有关问题	55
附录 带小数减速比齿数搭配公式的论证	60
第三章 系统综合及分析	62
§ 3-1 拉普拉斯变换	62
一 拉氏变换	62
二 拉氏变换性质	63
§ 3-2 系统微分方程	65
一 微分方程的建立	65
二 二阶系统微分方程式求解	68
§ 3-3 传递函数及结构图变换	69
一 传递函数定义	69
二 系统结构图的变换	70
三 传递函数的建立	74

§ 3-4 系统稳定性分析	75
一 系统稳定性定义	75
二 稳定性判别-代数判据	76
三 稳定性判别举例	77
§ 3-5 二阶系统动态分析和设计	77
一 二阶系统运动特性分析	78
二 二阶系统动态指标 $\sigma\%$ 、 t_s 与系统参数 ξ 、 ω_n 的关系	79
§ 3-6 系统静态分析及计算	81
一 系统静差及计算	81
二 系统误差及计算	83
§ 3-7 改善系统品质的有关措施	86
一 问题的提出	86
二 采用反馈校正以提高系统动态品质	86
三 提高系统精度的措施	90
§ 3-8 系统中的非线性问题	92
一 实际系统中存在的非线性	92
二 非线性系统的运动特点	93
三 几种常见的非线性因素对系统运动特性的影响	94
第四章 系统设计	96
§ 4-1 航空仪表随动系统设计实施方法步骤	96
§ 4-2 设计举例	99
示例一 某M数指示器随动系统设计	99
示例二 某陀螺磁罗盘随动系统设计	108
第五章 系统的模拟研究及调试	116
§ 5-1 系统的模拟研究	116
一 模拟计算机的组成部件	116
二 系统的模拟机研究法	121
§ 5-2 系统调试	128
一 系统的调整	128
二 系统动态指标的测试及放大倍数和反馈系数的调整	129
三 系统的静态指标测试	130
四 系统调试中常遇到的一些问题	130
五 其他实验	131
第二篇 伺服放大器	
第六章 伺服放大器概述	132
§ 6-1 放大器的种类、指标和设计分析中应注意的问题	132
一 放大器的种类	132
二 交流伺服放大器的主要技术指标	132
三 设计分析中应注意的几个问题	133
§ 6-2 输入电阻、输出电阻和电压放大倍数的计算	134
一 输入电阻 r_{ir} 的计算	134
二 输出电阻 r_{sc} 的计算	135
三 放大倍数 K_u 的计算	136
§ 6-3 温度对晶体管参数的影响及几种典型的稳定工作点电路	136
一 温度对晶体管参数的影响	136

二 几种典型的稳定工作点电路	137
§ 6-4 系统信号源在放大器输入端的综合方式	138
一 信号的串联综合	138
二 信号的并联综合	139
第七章 放大器电路的工作原理与分析	141
§ 7-1 前置放大级	141
一 几种不同输入电阻的电路	141
二 限幅电路	143
三 线性集成电路前置放大级	143
§ 7-2 功率放大级	146
一 单管甲类功率放大级	146
二 双管推挽功率放大级	149
三 采用脉动直流电源供电的功率放大级	152
四 对功率放大级负载的分析	156
附录 关于功率放大级负载的固有频率和谐振电阻的推导	159
§ 7-3 信号的调制、解调与正交分量切除	162
一 调制与解调原理	163
二 调制器	164
三 解调器	169
四 正交分量切除器	175
§ 7-4 耦合、匹配与反馈	179
一 多级放大器的级间耦合	179
二 放大器的级间匹配	181
三 反馈在放大器中的应用	181
§ 7-5 放大器的相位移	184
一 RC 移相	185
二 变压器移相	186
第八章 放大器的分析估算与调试实验	188
§ 8-1 放大器的分析与调试	188
一 设计数据	188
二 电路及其特点	188
三 放大器增益分配	189
四 产品实际达到的指标与静态工作点	189
五 放大器的调试	190
§ 8-2 电机补偿电容的选取	190
一 二次测定法求补偿电容	191
二 实测法求补偿电容	192
§ 8-3 输入电阻 r_{sr} 与输出电阻 r_{sc} 的测试	192
一 输入电阻 r_{sr} 的测量	192
二 输出电阻 r_{sc} 的测量	193
第九章 伺服放大器实用电路选	194
§ 9-1 功率放大级电路	194
§ 9-2 调制器、解调器与正交分量切除器电路	194
一 调制器电路	194
二 解调器电路	196
三 正交分量切除器电路	197
§ 9-3 分立元件放大器电路	198

一 甲类功率放大级电路	198
二 乙类推挽功率放大级电路	199
三 功率放大级采用脉动电源供电的放大器电路	204
四 “脉冲调宽”放大器电路	207
§ 9-4 集成化放大器电路	209
§ 9-5 解调-调制型放大器电路	212
附录 一些设计中的参考资料	216
一 图示仪的用途及输出特性与电流放大倍数的关系	216
二 晶体管的复合及其判别	217
三 半导体器件型号命名方法	218
四 常用晶体管主要参数表及主要管脚外型	219
五 集成运算放大器典型参数表	221
六 主要符号	225

第一篇 航空仪表随动系统

第一章 航空仪表随动系统简介

一、航空仪表随动系统作用原理简述

目前，航空仪表广泛运用小功率随动系统来实现信号的转换、解算和远距传输。图1-1是一个高度差传感器的原理图和方块图。它实际上是一个位置反馈系统。象这样一类位置反馈系统，除采用的信号检测元件和输出形式随仪表功用而有不同外，就系统的动作原理及结构形式来说，是大同小异的，都是由敏感测量元件测出飞行器的某一物理参数，然后通过传动机构转换成控制随动系统运动的角位信号 α_{sr} 。当 α_{sr} 随飞行参数变化时，就使原来协调的系统失去协调。其误差角信号 $\Delta\alpha$ 经比较变换环节转变为误差电压信号 ΔU ，这一电压信号经伺服放大器进行电压和功率放大后，控制伺服电机运转。从而带动减速器和负载，一方面使反馈元件消除失调信号，系统获得新的协调；另一方面输出元件将复现出系统的这一变化了的输入信息。

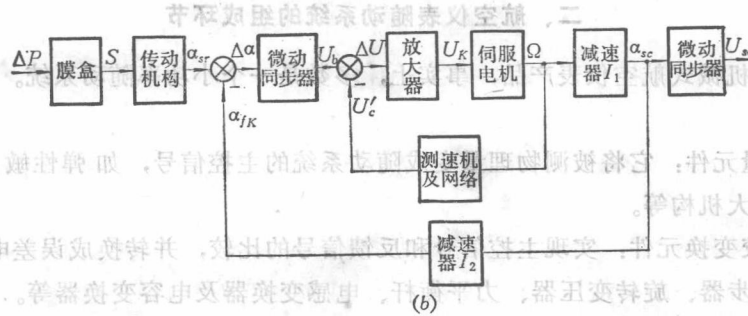
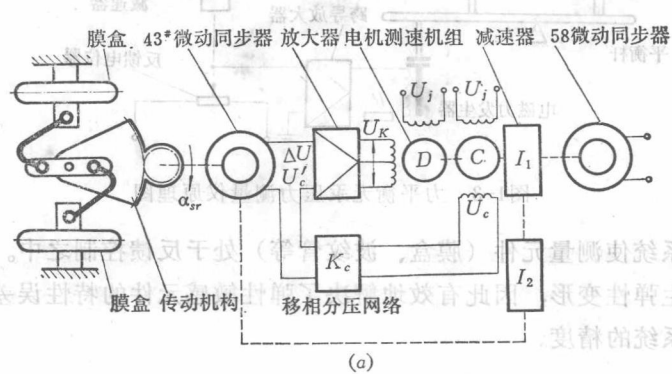


图1-1 高度差压力传感器
(a) 原理图 (b) 方块图

这种电气机械式位置反馈系统和纯机械式仪表或简单的同步传输系统相比较，提高了系统的负载能力，减少了外界干扰和负载对系统的影响，从而提高了系统的精度和灵敏度。

但是,这类系统由于信号测量元件处在闭环系统外面,它的工作状态不受随动系统的反馈控制。因此,它的测量特性和误差使这类仪表进一步提高测量或显示精度受到限制。

力反馈系统在发动机仪表及飞行仪表中获得了广泛的运用。

如图1-2、1-3所示,这类系统都使用了力平衡杆作比较反馈环节。当被测压力 P_s 变化时,平衡杆将失去平衡,变换器则有误差电压信号输出至伺服放大器,

经放大后控制伺服电机动作,从而带动减速器和负载,并改变平衡杆的支点位置,使其获得新的平衡(图1-2);或使输出到力发生器的电流发生变化,以至使反馈力大小发生变化,使平衡杆达到新的平衡(如图1-3)。

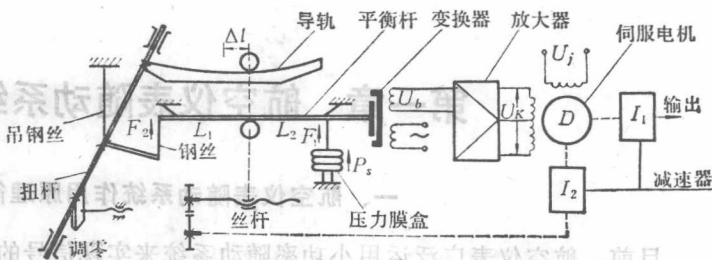


图1-2 力平衡高度传感器原理图

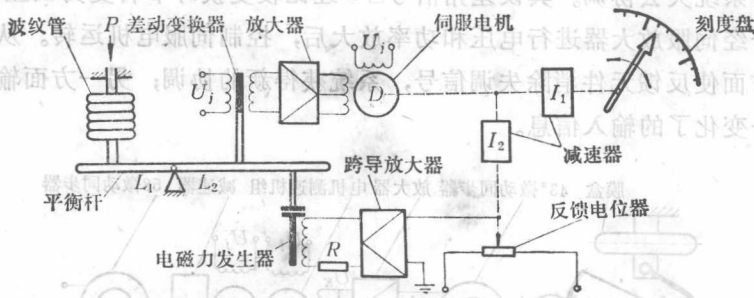


图1-3 力平衡无汞压力测量仪原理图

这类力反馈系统使测量元件(膜盒、波纹管等)处于反馈控制之中。在仪表工作过程中测量元件不产生弹性变形,因此有效地解决了弹性敏感元件的特性误差和迟滞误差的问题,提高了仪表系统的精度。

二、航空仪表随动系统的组成环节

一个电气机械式航空仪表产品,事实上,多数是一个小功率随动系统。它一般包括以下几个部分:

(1) 测量元件:它将被测物理量变成随动系统的主控信号,如弹性敏感元件、磁传感器及传动放大机构等。

(2) 比较变换元件:实现主控信号和反馈信号的比较,并转换成误差电信号,如自整角机、微动同步器、旋转变压器、力平衡杆、电感变换器及电容变换器等。

(3) 伺服放大器:将误差电信号进行电压和功率放大,以驱动伺服电机,目前一般采用晶体管放大器作为伺服放大器。

(4) 执行元件:将放大器输出的控制电压信号变成机械位移。目前,航空仪表一般采用交流伺服电动机或伺服电动测速机组。测速机一般用作速度阻尼。

(5) 减速器:将电机的高转速低力矩转换成低转速高力矩,以拖动输出和反馈元件。

(6) 输出环节: 将输出轴角位移转换成一定形式指示值, 如刻度盘、指针和数码显示机构等; 或输出一定形式的电信号, 如自整角机、电位器等。

三、航空仪表随动系统的设计特点

1. 小负载小惯量

航空仪表随动系统的负载一般是指针、刻度盘或电位器、自整角机等。负载力矩和转动惯量都很小。同时由于减速的原因, 负载力矩和转动惯量在电机轴上的折算值与伺服电机自身的摩擦力矩及惯量相比较, 要小一至几个数量级。因此, 在系统动态过程中, 伺服电机的输出力矩主要是消耗在对其自身的和前几级减速器的惯量的加速上面。在系统稳态工作时, 伺服电机及减速器的摩擦力矩将消耗伺服电机产生的大部分力矩。所以在仪表系统设计中, 要尽量选取力矩惯量比 M_a/J_a 大的伺服电机作执行元件, 以提高系统的动态性能。同时, 在减速器设计中, 一般要求前几级有较小的转动惯量, 较少的传递级数和较好的制造装配工艺, 以提高减速器的传递效率和运转的平稳性。

2. 小功率交流载波系统

就目前多数航空仪表而论, 仪表随动系统实际是一个交流随动系统。信号检测比较变换元件是一个调制器, 它将误差电信号调制在 400 周或更高的频率上。通过交流伺服放大器放大后去控制交流伺服电机。而由于伺服电机的惯性, 它的动作又只能反映低频变化的误差信号, 从而起了检波作用。

这样的交流载波系统, 伺服放大器是交流伺服放大器, 它要比直流放大器结构简单, 制作方便。测速反馈是这种交流载波系统普遍采用的简便而有效的校正方法。而在直流系统中运用的网络校正, 一般来说在这样的交流载波系统中是不适用的。

交流载波系统分幅控和相控两种。大多数航空仪表随动系统都属幅控系统, 即载波电压的幅值随误差信号而变化。载波电压的相位变化也将影响系统的正常工作, 所以对系统各环节的相位必须合理地进行设计和调整。

3. 二阶系统

航空仪表中的位置反馈系统一般是二阶系统。力反馈系统, 由于其平衡杆是个二阶环节, 所以整个系统是四阶系统。但是, 由于平衡杆和电机减速器相比较, 时间常数小得多, 故可对力反馈系统作近似二阶系统来分析处理。实践证明, 把力平衡杆当作一个比例环节, 整个系统的分析结论与实验是吻合的。

至于稳定性问题, 对二阶系统来说, 只要系统连接正确, 阻尼加得适当, 一般是不成问题的。但对某些高阶仪表系统必须用适当的手段判断其稳定性。

用解析法分析二阶系统, 可以直接找到系统品质指标和系统参数之间的关系。比频率法和根轨迹法来得简单和直观。故目前航空仪表设计和调试的通用方法是解析法, 即微分方程和传递函数分析法。

四、航空仪表随动系统的质量指标

随动系统设计的目标一般是“稳、准、快”三个字。“稳”是要求系统工作稳定可靠, “准”是指系统精度高, 误差小; “快”是指系统动态响应快, 过渡过程时间短。

用什么标准来表征上述这三个字呢?人们根据不同的分析研究系统的方法制定出不同的衡量系统性能好坏的质量指标。

随动系统工程实践中,一般采用二种分析研究方法:一种是微分方程分析研究方法,又称其为时间域分析研究方法;另一种是频率法,又称为频率域分析研究方法。

如前所述,航空仪表随动系统一般是二阶小功率随动系统。对这样的低阶系统,用微分方程分析研究,显得简单和直观。因此它是本书所用的基本分析方法,质量指标自然也是时间域内的质量指标。

在微分方程分析方法中,通常是选择阶跃函数作为系统的典型输入作用。它的数学表达式如下:

$$\alpha(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ \alpha_0 \cdot 1(t) & (t > 0) \end{cases} \quad (1-1a)$$

若是单位阶跃,则

$$\alpha(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ 1(t) & (t > 0) \end{cases} \quad (1-1b)$$

人们所以选择阶跃函数作为系统的典型输入作用,一方面因为这样的外作用在实际工程中是经常要遇到的,例如电源的开启,电路的通断,信号的切换等;另一方面因为这种外作用对系统来说是最严重的工作状态。倘若在这种状态下系统能胜任调节任务,令人满意,那么系统在其他较缓慢变化的输入作用下,必然更能满足要求。可见,研究随动系统对阶跃输入作用下的运动特性所得的结论具有现实性和普遍性。

一个稳定工作的二阶系统,在阶跃输入作用下,其输出端的被调量的典型的运动特性曲线如图 1-4 所示。

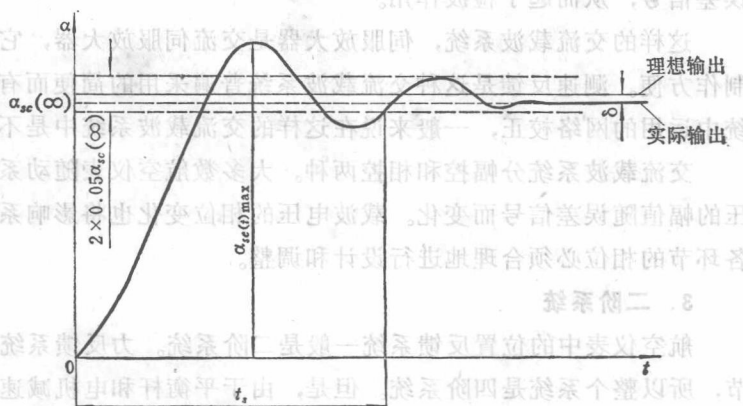


图1-4 系统典型运动特性

从图中可以看出,系统的运动可分两个阶段,一个是暂态阶段,一个是稳态阶段。可由下列四项指标来描述系统运动的全过程。

1. 超调量 $\sigma\%$

定义:在阶跃输入作用下,系统过渡过程中的第一个振荡峰值与稳态输出 $\alpha_{se}(\infty)$ 之间的差值相对于稳态值的百分比。即:

$$\sigma\% = \frac{|\alpha_{se}(t)_{\max} - \alpha_{se}(\infty)|}{\alpha_{se}(\infty)}\% \quad (1-2)$$

2. 过渡过程时间 t_s

定义:在阶跃输入作用下,输出量与输入量之差的绝对值达到小于或等于 5% 所需的时间。如图 1-4 中 t_s 即为调节时间。

6 用。差动系统代替，当差动同之量出解时，量出解的误差系统，误差系统到长

第二章 系统各环节的选择设计 and 应用

§ 2-1 信号检测变换元件

信号检测变换元件在随动系统中是一个传感部和比较变换装置。一方面，它将非电量（或电量）转换成电量，一方面又使系统的主控信号和反馈信号相比较，以所得的误差信号去控制系统中的其后各环节。下面我们介绍几种在航空仪表随动系统中广泛采用的元件的有关性能和设计使用中的有关问题。

一、控制式自整角机

自整角机分力矩式和控制式两种。航空仪表随动系统一般是用控制式自整角机作比较变换元件的。目前国内生产的可供航空仪表随动系统使用的部分自整角机产品列于表2-1。

控制式自整角机分为发送机（力矩式自整角发送机也可用作随动系统中的发送机），差动发送机和接收机（又称自整角变压器）三种。一般来说，传感器系统用自整角发送机作信号输出元件。指示器系统用自整角变压器作信号接收元件。差动发送机用于实现信号的和差运算。发送、接收连接后组成仪表随动系统的比较变换环节。其电气连接图如图2-1所示。

表2-1 部分自整角机性能表

型 号	激磁电压 (伏)	频率 (赫)	次级电压 (伏)	激磁电流 (安)	变 比	相移 (度)	消耗功率 (瓦)	剩余电压 (毫伏)	转子开路阻抗 (欧)	电气误差 (分)	定子开路阻抗 (欧)	定子直流电阻 (欧)	转子直流电阻 (欧)	生产厂
12ZK-5	26	400		0.052	0.462	15		45		20				
20KF4B	36	400	16	0.09			1.30		370	I级10	60	18	100	上海微型电机厂
20KCF4B	16	400	16	0.12			0.65		110	I级15	100	30	37	上海微型电机厂
20KB4B	16	400	32	0.08			0.43		1000	II级30	150	40	280	上海微型电机厂
20KF4A	36	400	16	0.06	0.444	≤10	0.8	70		15		18	190	上海有线电机厂
20KCF4A	16	400	16	0.18	1.154	≤10	0.8	70		15		18	278	上海有线电机厂
20KB4A	16	400	32	0.04	2.32	≤14	0.3	80		15		1044	520	上海有线电机厂
28KF4A	115	400	90	0.025			0.60		5720	I级10	2860	12	57	上海微型电机厂
28KCF4A	90	400	90	0.025			0.50		5220	I级15	4400	23	25	上海微型电机厂
28KB4A	90	400	58	0.01			0.20		6170	II级30	9970	44	260	上海微型电机厂
28KF4A	36	400	16	0.271			1.5	70		0级5 I级10				西安微型电机厂
28KB4A	16	400	32	0.138			0.4	70		I级20				西安微型电机厂
36KF4A	115	400	90	0.07			1.6		1890	0级5 I级10	950	125	225	北京曙光电机厂
36KB4A	90	400	58	0.03			0.3		2205	I级15 II级30	3530	470	345	北京曙光电机厂

1. 自整角机工作原理

如图 2-1 所示, 当发送机转子端 Z_{f1} 、 Z_{f2} 施加额定激磁电压 U_f 时, 则自整角发送机中便建立起脉动磁场 $\dot{F}_f$, 在其三相定子绕组中将产生感应电势。

$$E_1 = E \cos \theta_f$$

$$E_2 = E \cos(\theta_f + 120^\circ)$$

$$E_3 = E \cos(\theta_f - 120^\circ)$$

式中 θ_f ——转子绕组轴线相对于其定子绕组参考相 D_{f1} 的夹角;

E ——定子任一相绕组轴线和转子绕组轴线相重合时在该相绕组上感应的最大电势;

$$E = 4.44 f W_{fD} \Phi_{fm}$$

f ——激磁电源频率;

W_{fD} ——定子绕组等效匝数;

Φ_{fm} ——磁通最大值。

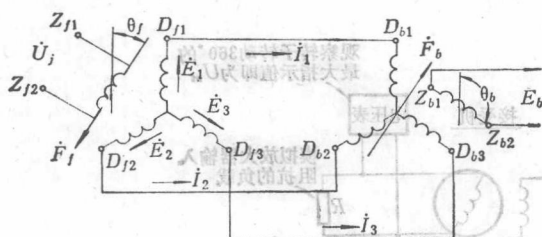


图 2-1 自整角机电气连接图

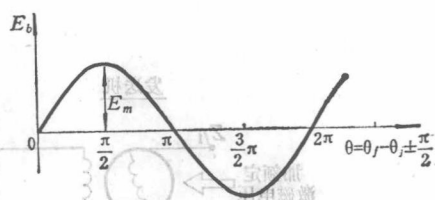


图 2-2 自整角机输出特性

当发送机和接收机的定子三相对应相连接后, 由于感应电势 E_1 、 E_2 、 E_3 的作用, 在接收机的三相定子绕组中产生电流 I_1 、 I_2 、 I_3 , 从而在接收机中建立起合成磁场 $\dot{F}_b$, 这样, 在转子绕组中将产生感应电势 E_b :

$$E_b = C \frac{E}{Z_f + Z_b} \cos(\theta_b - \theta_f) = E_m \cos(\theta_b - \theta_f) \quad (2-1)$$

式中 C ——与自整角机结构有关的常数;

Z_f 、 Z_b ——分别为发送机和接收机定子相绕组阻抗;

θ_b ——接收机转子绕组轴线和其定子参考相 D_{b1} 绕组轴线的夹角。

显然, 当 $\theta_b = \theta_f$ 时, 有 $E_b = E_m$ 。接收机转子输出最大感应电势。

因随动系统工作时是协调在自整角机输出电势 E_b 最小的位置上, 所以接收机转子转过 $\frac{\pi}{2}$, 即 $\theta_b = \theta_f + \frac{\pi}{2}$ 时, 输出电势 E_b 为最小。现以这个角度位置为计算起点, 并令接收机转子轴线相对此位置的转角为 θ , 即 $\theta = \theta_f - \theta_b \pm \frac{\pi}{2}$, 那么, 式 (2-1) 便可改写成如下形式:

$$E_b = E_m \cos\left(\theta \mp \frac{\pi}{2}\right) = E_m \sin \theta \quad (2-2a)$$

上式说明自整角机输出电势 E_b 和失调角 θ 成正弦函数关系。如图 2-2 所示。

2. 自整角机电压灵敏度

在发送机额定激磁下, 单位失调角所对应的接收机转子绕组上感应的电势称自整角机

系统的电压灵敏度。如果自整角机系统用于随动系统作比较变换环节,则这电压灵敏度也就是该环节的传递系数,用 K_b 表示。考虑其负载情况下,将式 (2-2 a) 写成电压形式

$$U_b = U_m \sin \theta \quad (2-2 b)$$

根据定义,每度所对应的输出电压为:

$$K_b = \frac{U_b}{1^\circ} = \frac{U_m \cdot \sin 1^\circ}{1^\circ} = 0.0175 U_m \text{ (伏/度)} \quad (2-3 a)$$

K_b 也可用每弧度所对应的输出电压值表示

$$K_b = U_m \text{ (伏/弧)} \quad (2-3 b)$$

U_m 为接收机转子感应电势的最大值,对于不同型号的自整角机 U_m 是不同的。而在一定的激磁电压和相同的负载情况下,同一型号的自整角机其电压灵敏度 K_b 是相同的,它可以通过电路磁路的计算求得。产品目录中给出的接收机次级输出电压即为 U_m (如 20KB4A 次级输出电压为 32V)。但厂方尚未考虑具体使用中的负载影响,故此值偏高。所以对系统设计者来说,较实际和简便的方法是通过实际测试获得 U_m ,从而计算出 K_b 。测试线路如图 2-3 所示。

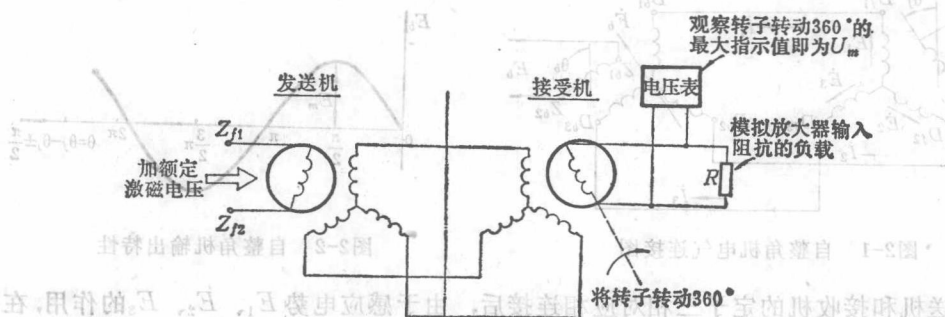


图2-3 自整角机系统电压灵敏度的测试

例如对某一自整角机系统测试得 $U_m = 25$ 伏,则 $K_b = 0.0175 \times 25 = 0.44$ 伏/度 = 25 伏/弧。

3. 自整角机的调零方法

按 JB1239-72 标准规定,自整角机调零所加的试验激磁电压如表 2-2 所示。

表2-2 自整角机试验激磁电压

自整角机类型	激磁端	电压等级	试 验 电 压 U_f (伏)			
			115	110	36	20
发 送 机	Z_1-Z_2		115	110	36	20
差动发送机	$D_1 D_3-D_2$		78	78	13.9	7.8
接 收 机	$D_1 D_3-D_2$		78	78	13.9	7.8

调零方法如下:

首先,按图 2-4(a) 接线,并按表 2-2 中规定的试验激磁电压的 50% 电压值加入激磁端。转动转子(或转子不动,转动定子外壳)粗调至真空管电压表读数最小的位置。

其次,按图 2-4(b) 接线,并加表 2-2 中规定的试验电压值,精调转子(或定子)的

位置，至使电压表（或指零仪）示数最小。这样就完成了自整角机单机的调零。单独调好零位的发送机和接收机对应连接后，也就形成了自整角机系统的零位。

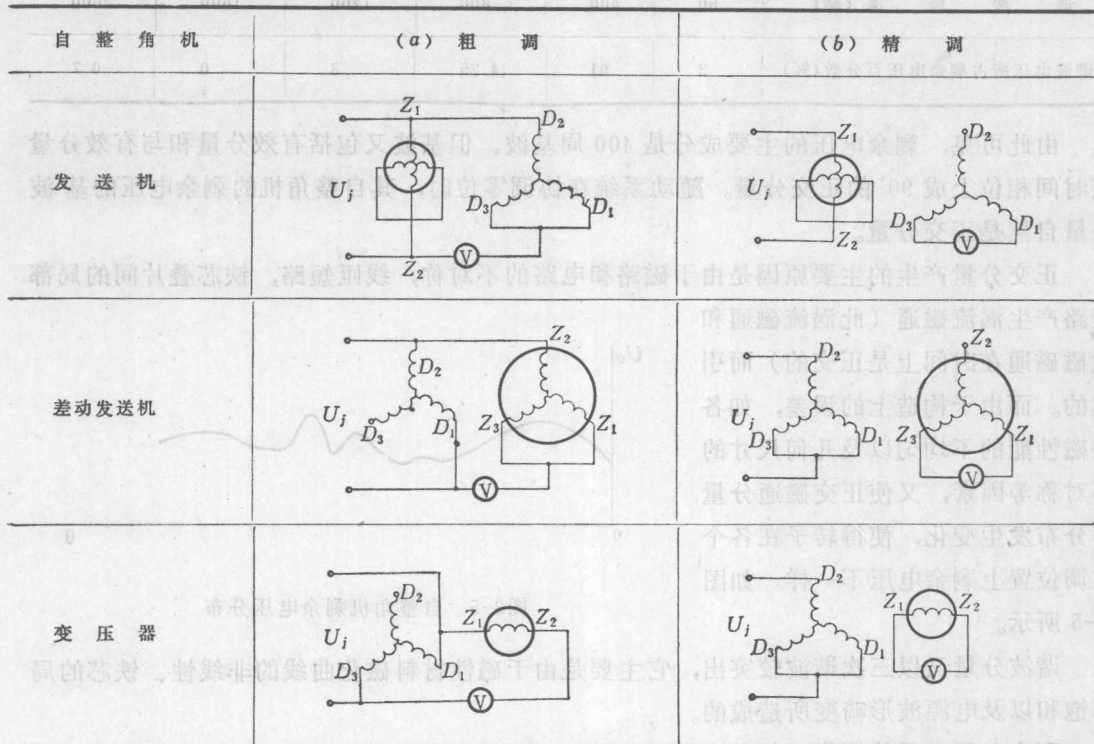


图2-4 自整角机零位调整

4. 自整角机的剩余电压及减少剩余电压的方法

和一般电磁元件一样，自整角机由于其几何尺寸和电磁性能的不对称，必然在上述调整的零位上或在系统运行过程中的协调位置上，都存在着剩余电压，又称零位电压。

据 JB1239-72 标准规定，KL 系列自整角机单机的剩余电压不应大于表 2-3 所规定的数值。

表2-3 自整角机的剩余电压

电压等级 (伏)	频 率 (赫)	剩 余 电 压 U_0 (毫 伏)		
		发送机 U_{01}	差动发送机 U_{03}	接收机 U_{02}
20	400	50	50	70
36	400	70	70	80
115	400	150	150	100

当发送机和接收机组成自整角机系统时，其剩余电压可按均方根方法作近似计算：

$$U_0 = \sqrt{U_{01}^2 + U_{02}^2} \quad (2-4a)$$

对于接有差动发送机的自整角机系统有：

$$U_0 = \sqrt{U_{01}^2 + U_{02}^2 + U_{03}^2} \quad (2-4b)$$

剩余电压包括了哪些成分呢？表 2-4 是对某一类型 20 号机座自整角机剩余电压 所进行的谐波分析实验数据。