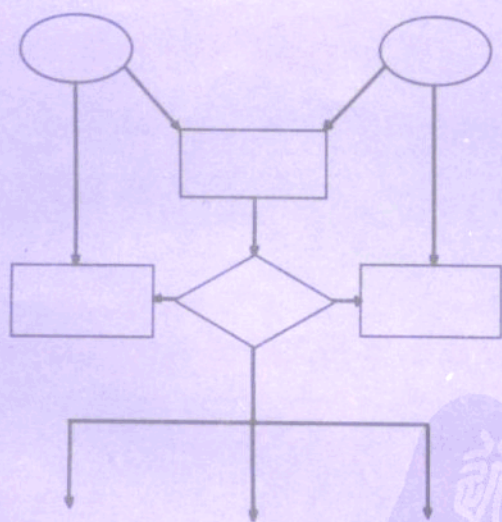
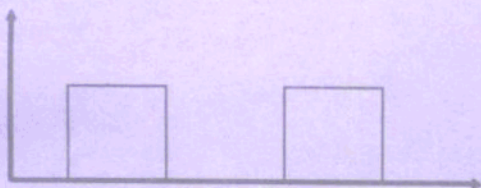
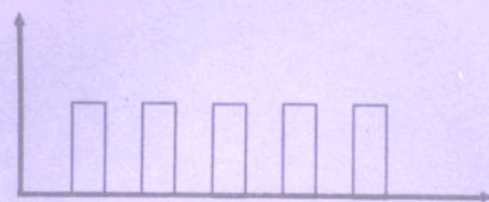


同步器解算器及其工程系统设计实践

马克刚 编著



兵器工业出版社

294222

同步器解算器及其工程系统 设计实践

马克刚 编著



兵器工业出版社

内容简介

同步器(即自整角机)和解算器(即旋转变压器)是高精度、高可靠性和长寿命的测角与测线性位移的器件,广泛用于测量、数据传输和各种伺服控制系统。本书详细地介绍了各种类型的同步器、解算器以及它们所构成的控制链,同步器和解算器的各种误差、性能测试和调整方法,同步器或解算器/数字变换器、数字/同步器或解算器变换器。最后介绍了同步器和解算器在军事装备、机器人与机床控制系统中的应用。

本书内容丰富,具有较高的实用性,可供从事军用和民用产品工程控制系统的设计人员参考,也可作为大专院校相关专业的教师和学生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

DL90/38-55

同步器解算器及其工程系统设计实践/马克刚编著.

北京:兵器工业出版社,1996.10

ISBN 7-80038-887-5

I. 同… I. 马… II. ①自整角机-系统设计②旋转变压器-系统设计 IV. ①TM383.102②TM383.892

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 05532 号

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

北京怀柔燕文印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.25 字数: 347.88 千字

1996年10月第1版 1996年10月第1次印刷

印数: 1—1000 定价: 20.00 元

前 言

在现代机床、机器人和其他机械设备等控制系统中,在火力控制和指挥系统等军事工程装备控制中,往往有这样一类要求:远距离、高精度的传输或复现一个角度;精确测量某个线性位移或角位移;机械上不固联的两轴或多轴之间实现同步旋转——即所谓角度同步跟踪等等。解决这些问题最好的技术途径是使用解算器(即旋转变换器)和同步器(即自整角机)。

解算器和同步器是一种特殊的交流微电机。由于它们结构简单、工作可靠、精度高、使用方便、寿命长、可维修性好等特点,所以为众多的工业制造设备和军事装备控制系统使用。鉴于解算器和同步器应用广泛,而目前缺乏此类书籍,编者根据多年来收集的资料和工程设计实践体会,从工程设计应用的观点出发,编写了此书。在编写过程中除十分必要外,本书的各章节均不作原理上的论述,只着重于性能参数比较、测试、调试和系统设计分析等。如果读者需要了解同步器和解算器的原理上的有关理论,可参阅有关的教科书和专业著作^{[1][2]}。

本书共分六章。第一章介绍了同步器和解算器的基本概念以及各种类型的同步器和解算器;第二章介绍了同步器和解算器的各种误差、性能参数测试、调试方法、连接方法以及系统综合分析所必须的传递函数等;第三章介绍了近几年来研制的同步器/数字变换器和解算器/数字变换器;第四章介绍数字/同步器变换器和数字/解算器;第五章介绍同步器和解算器在坦克火控系统、地炮火控系统以及海空军事装备中的应用;第六章介绍同步器和解算器在机床、机器人以及众多机械设备中的应用。

作者以此书奉献给致力于工程控制特别是火力控制与指挥系统设计和研制的读者。

本书在编写过程中吸收了国内外专业杂志上发表的部分成果;阎敬工程师提供了部分国外资料;姚菊芬高级工程师帮助校验书中部分公式;有关领导对本书出版给予了帮助,编者在此向他(她)们表示真诚的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,缺点、错误在所难免,敬请读者不吝指教。

编者

1994. 09

目 录

第一章 同步器和解算器的基本概念	(1)
§ 1.1 概述	(1)
§ 1.2 同步器的基本概念和种类	(2)
§ 1.2.1 基本概念	(2)
§ 1.2.2 力矩式同步器	(2)
§ 1.2.3 控制式同步器	(6)
§ 1.3 解算器的基本概念和种类	(11)
§ 1.3.1 解算器的基本概念	(11)
§ 1.3.2 解算器的种类	(12)
§ 1.3.3 解算器的等效电路及电路分析	(14)
§ 1.3.4 解算器的应用实例	(15)
§ 1.3.5 解算器链	(17)
§ 1.4 其他形式的同步器和解算器	(21)
§ 1.4.1 多速率同步器和解算器	(21)
§ 1.4.2 无电刷同步器和解算器	(22)
§ 1.4.3 无触点自整角机	(22)
§ 1.4.4 混合式同步器	(23)
§ 1.4.5 扁形或扁平形同步器和解算器	(24)
§ 1.4.6 扫描用解算器	(24)
§ 1.4.7 感应同步器	(25)
§ 1.4.8 线性感应电位计	(28)
§ 1.4.9 霍尔效应的同步器	(29)
§ 1.5 同步器和解算器的技术参数	(31)
§ 1.5.1 电气技术要求	(31)
§ 1.5.2 机械技术要求	(39)
§ 1.5.3 环境条件的要求和可靠性要求	(40)
§ 1.6 与其他角度传感器的比较	(41)
§ 1.6.1 编码器	(41)
§ 1.6.2 同步器和解算器与其他角度传感器的比较	(43)
§ 1.7 同步器/解算器及其变换器的符号	(44)
第二章 同步器和解算器应用工程基础	(45)
§ 2.1 同步器和解算器及其系统误差分析	(45)
§ 2.1.1 同步器和解算器的机械误差	(45)
§ 2.1.2 同步器和解算器的系统误差	(48)
§ 2.1.3 方案设计——齿轮传动伺服机构的误差分析实例	(52)
§ 2.2 同步器和解算器参数测试方法和调整方法	(61)

§ 2.2.1	几个基本条件	(61)
§ 2.2.2	同步器和解算器参数测试方法和调整方法	(61)
§ 2.3	斯柯特连接变压器	(81)
§ 2.3.1	简介	(81)
§ 2.3.2	同步器格式信号变换成解算器格式信号的斯柯特连接变压器	(82)
§ 2.3.3	解算器格式信号变为同步器格式信号的斯柯特连接变压器	(83)
§ 2.3.4	数字/同步器变换器的斯柯特连接输出变压器的映射阻抗	(84)
§ 2.3.5	使用斯柯特连接变压器作为同步器/数字变换器的输入	(85)
§ 2.3.6	电气斯柯特 T 型变压器	(85)
§ 2.4	角度的数字表示	(86)
§ 2.4.1	二进制码	(86)
§ 2.4.2	二—十进制(BCD)	(87)
§ 2.4.3	机床控制计数(4000 计数法)	(87)
§ 2.4.4	军用计数法(6400 计数法)	(87)
§ 2.4.5	度和分的表示	(87)
§ 2.5	同步器和解算器系统的传递函数	(87)
§ 2.5.1	同步器和解算器的加载能力	(88)
§ 2.5.2	同步器和解算器的级间连接	(88)
§ 2.5.3	同步器和解算器系统的传递函数	(89)
第三章	同步器/数字变换器和解算器/数字变换器	(92)
§ 3.1	概述	(92)
§ 3.1.1	同步器/数字变换器和解算器/数字变换器的功能	(92)
§ 3.1.2	同步器/数字变换器和解算器/数字变换器的种类	(92)
§ 3.2	跟踪式同步器/数字变换器和解算器/数字变换器	(93)
§ 3.2.1	跟踪式变换器的原理	(93)
§ 3.2.2	跟踪式变换器的优点	(96)
§ 3.2.3	跟踪式变换器的连接和使用	(97)
§ 3.2.4	跟踪式变换器的数据传送	(99)
§ 3.2.5	跟踪式变换器的术语和定义	(102)
§ 3.2.6	跟踪式变换器的带宽和传递函数	(110)
§ 3.2.7	同步器/数字粗—精(双速率)系统	(112)
§ 3.2.8	跟踪式变换器的速度电压输出	(116)
§ 3.2.9	逐次逼近式同步器和解算器/数字变换器	(118)
§ 3.3	同步器或解算器/数字变换器的性能参数和引脚说明	(120)
§ 3.3.1	变换器的参数	(120)
§ 3.3.2	引脚说明	(121)
§ 3.4	同步器/数字变换器和解算器/数字变换器的维护保养与故障排除	(123)
§ 3.4.1	维护保养	(123)
§ 3.4.2	故障排除	(123)

第四章 数字/同步器变换器和数字/解算器变换器	(124)
§ 4.1 概述	(124)
§ 4.1.1 数字/同步器变换器和数字/解算器变换器的功能	(124)
§ 4.1.2 工作原理	(125)
§ 4.1.3 变换器的封装	(126)
§ 4.1.4 变换器输入数字角量位权表	(127)
§ 4.1.5 数字/同步器变换器 DRC1745 和数字/解算器变换器 DRC1746 的主要性能参数	(127)
§ 4.2 数字/同步器变换器或数字/解算器变换器的应用	(128)
§ 4.2.1 变换器的连接	(128)
§ 4.2.2 连接电源的考虑	(131)
§ 4.2.3 精度和参数随基准频率变化	(131)
§ 4.2.4 变换器的负载	(132)
§ 4.3 基准相位移和正交误差	(140)
§ 4.3.1 基准相位移	(140)
§ 4.3.2 正交误差	(140)
§ 4.4 数字/同步器双通道(粗/精)系统	(142)
第五章 同步器或解算器在军事装备中的应用	(145)
§ 5.1 同步器或解算器在地面火炮自动操作瞄准系统中的应用	(145)
§ 5.1.1 方位向的反馈控制	(146)
§ 5.1.2 高低向的反馈控制	(148)
§ 5.1.3 横向倾斜角的测量	(148)
§ 5.1.4 纵向倾斜角的测量	(149)
§ 5.2 同步器和解算器在坦克火控系统中的应用	(150)
§ 5.2.1 火炮耳轴倾斜角的测量	(150)
§ 5.2.2 瞄准线的同步控制	(151)
§ 5.3 同步器或解算器在雷达系统中的应用	(161)
§ 5.3.1 雷达平面位置显示器的波形发生器	(161)
§ 5.3.2 雷达平面位置显示器的同步控制	(162)
§ 5.3.3 在轴角-数字转换装置中的应用	(166)
§ 5.4 同步器或解算器在航空设备中的应用	(179)
§ 5.4.1 三轴平台轴角测量和反馈控制	(179)
§ 5.4.2 轰炸机尾部射击控制系统	(179)
§ 5.4.3 信息处理和变换	(181)
§ 5.4.4 陀螺角和方向余弦间的变换	(183)
§ 5.5 舰载火控系统和数据传输	(184)
§ 5.5.1 舰载火控系统	(184)
§ 5.5.2 以同步器格式信号传输数据	(184)
§ 5.5.3 稳定船舶用的多变量控制系统——角位置和角速度函数的迭加	(185)

第六章 解算器和感应同步器在机床和机器人控制中的应用	(188)
§ 6.1 感应同步器/数字变换器及其控制系统	(188)
§ 6.1.1 直线感应同步器/数字变换器	(188)
§ 6.1.2 三速率感应同步器系统	(191)
§ 6.1.3 使用固态解算器控制变换器的一种感应同步器控制系统	(191)
§ 6.1.4 感应同步器在位置检测系统中的应用	(192)
§ 6.1.5 精密随动系统	(195)
§ 6.1.6 直线位移的速度控制	(196)
§ 6.2 解算器在线性测量和控制中的应用	(198)
§ 6.2.1 齿条和小齿轮解算器驱动装置	(198)
§ 6.2.2 丝杠解算器驱动装置	(200)
§ 6.2.3 齿条、小齿轮、丝杠的轴向测量用解算器和变换器系统	(200)
§ 6.2.4 解算器和固态解算器控制变压器系统	(203)
§ 6.3 解算器及其数字变换器在机器人控制中的应用	(204)
§ 6.4 同步器和解算器在机械设备控制中的应用	(207)
§ 6.4.1 太阳能系统中反射器的定位	(207)
§ 6.4.2 缝纫机和多头电脑刺绣机的控制	(208)
§ 6.4.3 弯管机的控制	(209)
§ 6.4.4 风速和风向指示器的应用	(210)
§ 6.4.5 高速率轴间的相位同步控制	(210)
§ 6.4.6 转轴间的速率偏差精确控制	(212)
§ 6.4.7 同步器和解算器格式信号旋转速率的改变	(212)
§ 6.4.8 固态同步器中继发送系统	(216)
§ 6.4.9 轧钢机的控制装置——采用粗精同步器控制的钢梁轧机	(217)

第一章 同步器和解算器的基本概念

§ 1.1 概 述

同步器和解算器均属于感应式的机电元件,它们可用于数据传输、计算、测量仪器、数字显示、轴角定位和伺服控制系统中。具体来说,同步器和解算器是一种利用电磁感应原理将机械转角或直线位移精确地转换成电信号的精密检测和控制元件,它们的功能是以转角或直线位移的一定函数的电气输入或输出来提供转角或直线位置的机械指示;或者远距离传输与复现一个角度;或者实现机械上不固联的两轴或多轴之间的同步旋转,即所谓的角度跟踪和伺服控制等等。

从原理上讲,同步器和解算器是一种可调整的旋转变压器,即转子(或滑尺)转动(或移动)时,就引起输出感应电动势的变化。对旋转的同步器和解算器而言,感应电动势的大小和相位与定子绕组相对转子绕组的空间位置呈严格的正、余弦关系;对直线感应同步器而言,感应电动势与滑尺相对定尺的位置有关。从外观上看成圆筒形(或长、或扁平),很像小型的交流微电机。从结构上看,本体的一端具有输入和输出的引出线,另一端有和外部机械固定的安装法兰盘和带有螺纹或花键的转动轴。内部有转子和定子,转子具有1~3个绕组,有一个机械轴,能够在固定的定子内部旋转。定子具有2~3个绕组。根据使用功能的不同,转子绕组和定子绕组的数量与内部连接方式有所不同,这样,构成了不同种类和型号的同步器和解算器,主要有:扭矩同步器、控制同步器、感应同步器和解算器等。

尽管各种同步器和解算器在不同情况下使用,但决定它们性能结构和物理定律(电磁感应原理)是相似或相同的。因此,按它们的不同功能可采用两种基本设计方案进行制造。第一种功能是传输功能,该功能是输出响应所有输入的相互关系。例如在后面将介绍的同步器接收器,它的输入是交流电压,输出是机械转动或力矩。但有一种特殊情况,输入是机械轴的转动,输出是交流电压,若处于静态或在轴低速旋转时,同步器基本上是一种具有可变耦合因素的变压器。在较高速度旋转的使用中,传输功能由于速度-电压对应关系变得十分复杂,这是因为运动导体切割交变磁场引起再生电压之故,进一步说,当同步器在串联使用时,环路中的全部传输功能已不存在,这是由于负载影响大大地改变了这种功能。因此,在这种情况下,需要采用另一种设计方法——等效电气电路。它与传输功能的区别在于:它把输入和输出的电气量联系起来,而不是电气(电压)和机械(力矩)联系起来。这样,使用等效电气电路,使得有可能计算加在相邻的电气装置的负载上,或者在无负载条件下,有可能在装置的终端测量有关参数,这样对使用者来说能提供很有意义的结果。总之,无论是传输功能还是等效电气电路方案的选择,都取决于变化的环境和使用条件。

下面分别介绍同步器和解算器(包括各种特殊的同步器和解算器)。

§ 1.2 同步器的基本概念和种类

§ 1.2.1 基本概念

同步器是一种传输和感应角度或位移的传感器。它们可以按不同形式连接在一起形成轴角、直线位移测量和定位控制系统等。

同步器有 1 个转子绕组和 3 个定子绕组。3 个定子绕组呈星形连接, 相位各为 120° , 直接引至接线端 S_1 、 S_2 和 S_3 上。转子绕组通常通过汇流环和电刷连接到接线端 R_1 和 R_2 上。图 1-1 表示了同步器的内部结构和电气表示方法。

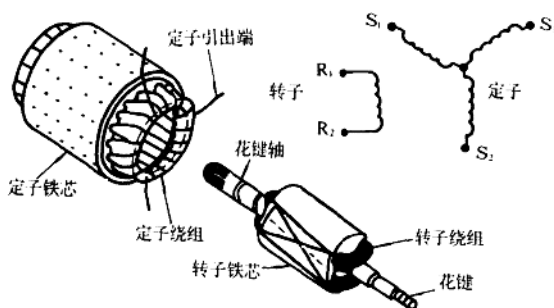


图 1-1 同步器的内部结构和电气表示方法

一般说来, 如果同步器的转子绕组由一个交流电压激励(叫基准电压, 其激励频率 f 一般为 $60 \sim 400\text{Hz}$)。在任何一个定子绕组中感应的电压将与转子线圈轴和定子线圈轴之间角度 (θ) 的正弦成比例关系, 任何一对定子绕组引出端间的感应电压, 取决于这两个线圈的电压的相位。

我们在同步器的转子绕组接线端 R_1 和 R_2 加上基准电压

$$A \sin \omega t$$

在定子绕组接线端上产生的电压是:

$$S_1 \text{ 与 } S_3 \text{ 间 } U_{S_1-S_3} = n A \sin \omega t \sin \theta$$

$$S_3 \text{ 与 } S_2 \text{ 间 } U_{S_3-S_2} = n A \sin \omega t \sin(\theta + 120^\circ)$$

$$S_2 \text{ 与 } S_1 \text{ 间 } U_{S_2-S_1} = n A \sin \omega t \sin(\theta + 240^\circ)$$

式中 A ——基准电压的幅值;

n ——变比;

ω ——基准电压角频率, 等于 $2\pi f$;

θ ——同步器轴角, 同步器转子线圈轴与定子线圈轴间的角度。

同步器一般分为力矩式和控制式两类。

§ 1.2.2 力矩式同步器

对于必须把角度信息从一个同步器轴传送到另一个同步器轴上, 而不使用任何其他器件

或构件的随动系统,常常使用力矩式同步器。力矩式同步器通常有三种形式;即力矩发送器(Torque Transmitter——简记 TX)、力矩差动发送器(Torque Differential Transmitter——简记 TDX)和力矩接收器(Torque Receiver——简记 TR)。这些器件连接在一起一般称作“力矩链”,图 1-2 所示是由一个力矩发送器和一个力矩接收器组成的力矩链。

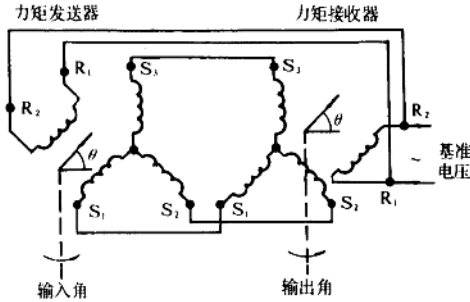


图 1-2 由力矩发送器和力矩接收器构成的力矩链

在力矩链中两个同步器的定子绕组按相序相应连接。在同步器的转子绕组 R_1 、 R_2 间接上激磁基准电压,则分别在各自的定子绕组 S_1 、 S_2 和 S_3 引出端产生同步器输出电压,很显然若发送器和接收器的定子处于相同位置时,定子绕组 S_1 、 S_2 和 S_3 引出端上的同步输出电压大小和相位相同,因此,定子绕组组成的回路中电势差为零。若发送器有一个输入角 θ_1 ,两同步器的定子位置会有不同,2 个同步器的定子绕组 S_1 、 S_2 和 S_3 就存在电势差,于是就会有电流流过发送器和接收器的定子绕组。这些电流和定子绕组磁通相互作用产生电磁转矩,使接收机转动,直到 2 个同步器定子有相同的位置为止,这时接收器的定子绕组中建立磁势和磁通交变场与发送器的交变场一样,发送器的轴引起了接收器轴一致运动,这就是接收器复现了发送器转角过程,即实现了转角信息的传递。

下面以数学关系式分析接收器复现发送器转角的物理过程。

假设发送器存在一输入机械角 θ_1 ,而接收器将随之转动 θ_2 ,2 个同步器的定子绕组的感应电动势分别为:

$$\begin{aligned} \text{对发送器:} \quad E_{TX_1} &= E_{\max} \cos \theta_1 \\ E_{TX_2} &= E_{\max} \cos (\theta_1 - 120^\circ) \\ E_{TX_3} &= E_{\max} \cos (\theta_1 + 120^\circ) \end{aligned}$$

对接收器:

$$\begin{aligned} E_{TR_1} &= E_{\max} \cos \theta_2 \\ E_{TR_2} &= E_{\max} \cos (\theta_2 - 120^\circ) \\ E_{TR_3} &= E_{\max} \cos (\theta_2 + 120^\circ) \end{aligned}$$

式中 $E_{\max}$ ——定子某相绕组轴线与激磁绕组轴线重合时,该相绕组中的感应电动势。

在两同步器定子绕组组成的各相回路中,总电势是两同步器定子绕组感应电动势之差,即:

$$\Delta E_1 = E_{TX_1} - E_{TR_1} = E_{\max}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

$$\Delta E_2 = E_{TX_2} - E_{TR_2} = E_{\max}[\cos(\theta_1 - 120^\circ) - \cos(\theta_2 - 120^\circ)]$$

$$\Delta E_3 = E_{TX_3} - E_{TR_3} = E_{\max}[\cos(\theta_1 + 120^\circ) - \cos(\theta_2 + 120^\circ)]$$

经三角函数关系变换上式可写成：

$$\Delta E_1 = 2E_{\max} \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

$$\Delta E_2 = 2E_{\max} \sin \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - 120^\circ \right) \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

$$\Delta E_3 = 2E_{\max} \sin \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + 120^\circ \right) \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

令 $\theta_1 - \theta_2 = \delta$ ——称之为失调角，代入上式得：

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_1 &= 2E_{\max} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} \right) \sin \frac{\delta}{2} \\ \Delta E_2 &= 2E_{\max} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} - 120^\circ \right) \sin \frac{\delta}{2} \\ \Delta E_3 &= 2E_{\max} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} + 120^\circ \right) \sin \frac{\delta}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

因为定子绕组组成的回路中存在电势差，故回路中有电流，该电流称之为均衡电流。假设两同步器各定子绕组的阻抗相等，并用 Z 表示，则各相的均衡电流为：

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\Delta E_1}{2Z} = \frac{E_{\max}}{Z} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} \right) \sin \frac{\delta}{2} \\ I_2 &= \frac{\Delta E_2}{2Z} = \frac{E_{\max}}{Z} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} - 120^\circ \right) \sin \frac{\delta}{2} \\ I_3 &= \frac{\Delta E_3}{2Z} = \frac{E_{\max}}{Z} \sin \left(\theta_1 - \frac{\delta}{2} + 120^\circ \right) \sin \frac{\delta}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

根据式(1-1)和式(1-2)可进一步说明力矩式同步器构成的力矩链的物理本质。当 $\theta_1 \neq \theta_2$ ，即 $\delta \neq 0$ 时，同步器定子绕组组成回路中，有电动势 ΔE_1 、 ΔE_2 和 ΔE_3 ，并产生电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。该电流和激磁绕组产生的磁通相互作用，产生电磁转矩，该电磁转矩企图使 2 个同步器的定子位置保持一致。当 $\theta_2 = \theta_1$ ，即 $\delta = 0$ 时， ΔE_1 、 ΔE_2 和 ΔE_3 等于零， I_1 、 I_2 和 I_3 也等于零，电磁转矩等于零，这时两同步器的定子位置就保持一致，这样接收器就复现了发送器的输入角。

这样的力矩链的精度大约为 $\pm 1^\circ$ 。在需用旋转元件驱动遥控指示的系统中经常使用这种力矩链，典型的应用如将数据传输到舰船和飞机的指示仪表中，以直接驱动刻度盘和指针等。由于没有力矩放大，还由于力矩链中的力矩接收器轴驱动负载的能力受到（如接收器轴承座和刻度盘的摩擦力等）限制，所以，经常需要提高最大输出力矩，以克服摩擦力。为此又出现了另一类型的同步器——力矩差动发送器(TDX)。

力矩差动发送器由转子和定子组成。转子和定子各有三个绕组，均呈星形连接。它有两个输入：一个电气输入，来自力矩发送器；一个机械转轴输入，它给出电同步器格式的信号。力矩差动发送器的输出通常用于驱动力矩接收器。图 1-3 表示了使用力矩差动发送器的力矩链。

力矩差动发送器的用途是加减由同步器格式电气信号表示的角度的轴角，并可提供足够的功率驱动力矩接收器。这与常见的输出变压器驱动末级负载一样。

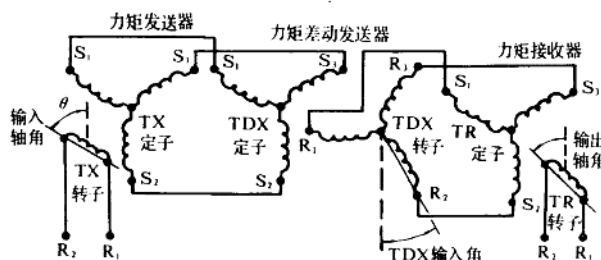


图 1-3 带有力矩差动发送器的力矩链

下面介绍力矩式同步器使用中的一些问题。力矩式同步器(TX、TDX 和 TR)常构成没有放大而直接驱动负载的系统。这种系统虽是一个最简单的系统,但也像任何其他控制系统一样,应进行系统综合或应注意系统动态精度和静态精度等要求。

力矩式同步器的动态精度由接收器的轴滞后角度来确定。当发送器以约 $2\pi/\text{min}$ 的速度旋转时,驱动低误差($3'$ 左右)的接收器的滞后角,大约为 1° 。这对驱动刻度盘或指针装置来说,还是足够的。

力矩式同步器的静态精度通过发送器转子轴位置与驱动低误差的接收器的位置对比来确定的。力矩接收器的轴自动与发送器轴的位置同步。它们像弹簧一样,当它从同步位置移开时就会给出一个与移动角位置成比例的恢复力矩,轴承座或套的摩擦力是造成接收器轴不能达到精确同步的主要原因。轴向同步位置移动所产生的力矩可通过库仑摩擦力矩来进行精确计算。精度测量时使用了力矩梯度这一概念。力矩梯度 $\text{grad}M$ 的公式如下:

$$\text{grad}M = \frac{1}{\frac{1}{M_{ur}} + \frac{n}{M_{ux}}}$$

式中 n ——接收机的数量;

M_{ur} ——发送器的单位力矩梯度;

M_{ux} ——接收器单位力矩梯度。

单位力矩梯度是由系统中两个相同装置的输出力矩梯度来确定的。这两个装置一个作为发送器使用,一个作为接收器使用。一旦发送器和接收器的单位力矩梯度测定后,可按上面公式计算出每个轴的实际力矩梯度。计算的程序如图 1-4 所示。

使用力矩梯度公式时需假设:

- (1)测试系统中所有的接收器使用相同型号的;
- (2)测试系统中所有接收器转动角度均小于 15° ;
- (3)测试系统中发送器和接收器的变比相等;
- (4)接收器的铁耗为零。

实际使用中上述条件是不能完全满足的,事实上存在一定误差。

从力矩梯度公式和上述假设可以得出这样结论:多个接收器并联使用,力矩梯度和精度将下降。

由两个或两个以上的力矩接收器连接力矩发送器所构成的系统与弹簧连接振动体的机械

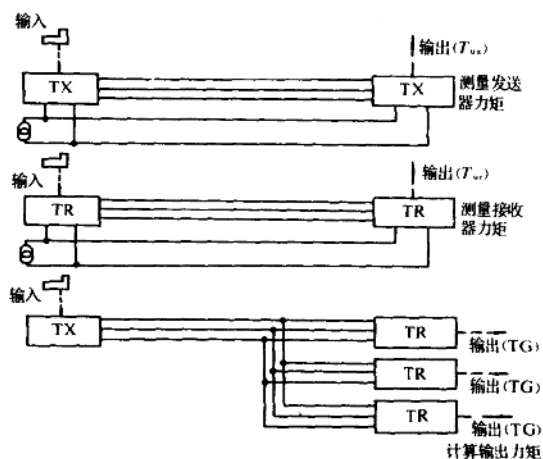


图 1-4 力矩式同步器测量

模拟系统示于图 1-5。由于一个接收器的变化将耦合到其它接收器中,所以任一个接收器发生任何转动都将引起所有其他接收器的转动。为此,我们需要限制力矩梯度,以便改善系统的稳定性能。实验证明,要求力矩梯度小于或等于 $F^2/4J$, 其中 F 为折算到接收器轴上的粘滞摩擦力; J 为折算到接收器轴上的惯性矩。

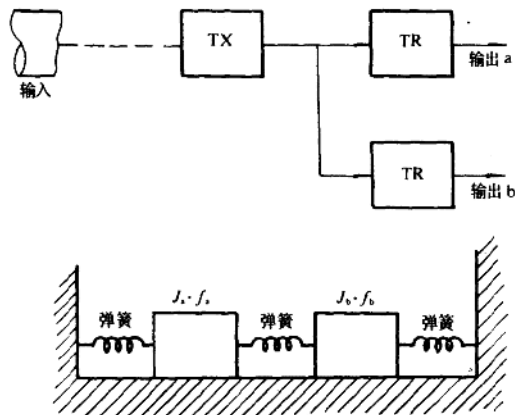


图 1-5 TX-TR 系统和它的机械模拟系统

采取的办法是在系统设计中降低惯性矩和库仑摩擦力。

§ 1.2.3 控制式同步器

顾名思义,控制式同步器是用于提供和处理随动系统中的控制信号,通过放大器和伺服马达,将电压转换为力矩。在要求大力矩、高精度系统中就要使用这类同步器。

控制同步器包括控制发送器、控制变压器和控制差动发送器。

1. 控制发送器(Control Transmitter——简记 CX)

控制发送器实际上是一个力矩发送器的高阻抗型式,因此制造成与力矩发送器一样,转子有一个单相绕组,定子为星形三相绕组。这种发送器的转子被机械地固定。传输定子和转子的角位置的电气信息主要用于对控制变压器或控制差动发送器的操纵。其电气示意图如图 1-6 所示。

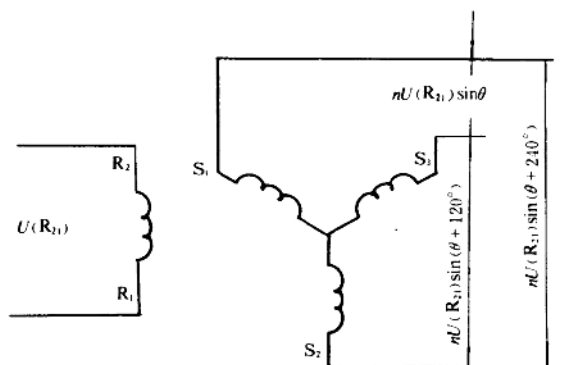


图 1-6 控制发送器的电气示意图

如果在控制发送器的转子绕组 R_1 、 R_2 上加以基准电压 $U(R_{21})$ 激励,将在定子绕组 S_1 、 S_2 和 S_3 引出端上产生输出电压,这些电压是轴角 θ 的函数。当轴旋转时它们将随之改变。控制发送器的电气机械关系式如下:

$$\left. \begin{aligned} U(S_{13}) &= nU(R_{21})\sin\theta \\ U(S_{32}) &= nU(R_{21})\sin(\theta + 120^\circ) \\ U(S_{21}) &= nU(R_{21})\sin(\theta + 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中 $U(S_{13})$ 是指定子引出端 S_1 和 S_3 间的电压, S_{13} 的第二个下标(3)通常是指高电位端,而第一个下标(1)是指低电位端。但如果相反,下标(3)是低电位端,下标(1)是高电位端,上面表达式仍然是正确的,只要自始至终保持一致性,这两种表达式都可以。 $U(R_{21})$ 是转子引线端 R_1 、 R_2 间的电压,其他电压依次类推。 θ 表示电气角。 n 表示变比(将在后面再说明)。图 1-7 表示控制发送器转子和定子接线端上的电压波形。图 1-8 表示轴连续旋转时 S_1 和 S_3 接线端上产生的波形。

2. 控制变压器(Control Transformer——简记 CT)

这种变压器的定子提供电气角度信息,转子输出是与电气输入角和控制变压器的转子角之差的正弦值成比例的电压。主要用于对控制差动发送器的操纵。

控制变压器转子有一单相绕组,有二个汇流环或电刷,用于输送控制变压器的输出电压。而其定子类似控制发送器定子,是呈星形连接的三相绕组,但控制变压器中定子绕组是激磁端,类似一般变压器的原边。图 1-9 表示在图 1-6 控制发送器上增加控制变压器。实际上来自控制发送器的输出电压,馈给控制变压器的定子绕组作为激磁电压,而从控制变压器转子绕组

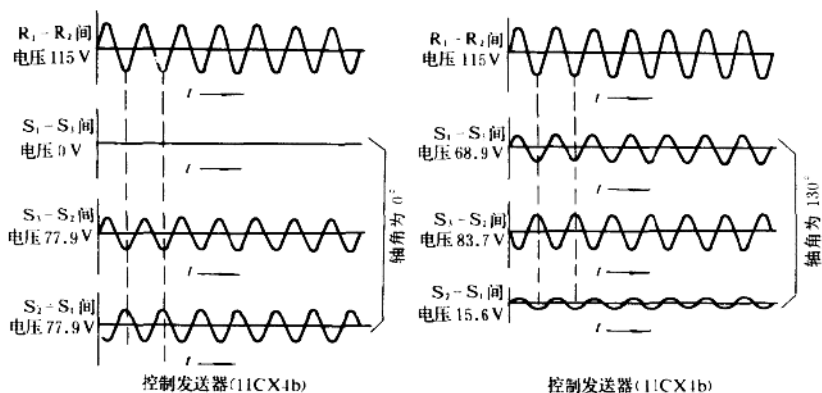


图 1-7 控制发送器转子、定子绕组在两个轴角位置的电压波形

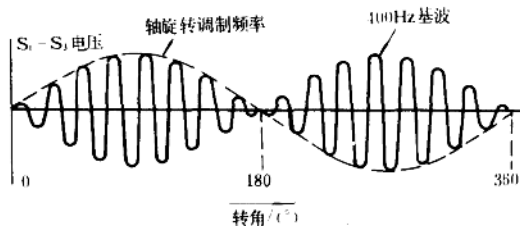


图 1-8 轴连续旋转时 $U(S_{13})$ 电压波形

输出角度信息。图 1-9 称为带有控制变压器的控制链。

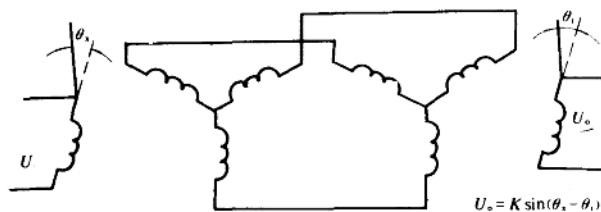


图 1-9 带有控制变压器的控制链

控制变压器的电气机械关系式如下：

$$\left. \begin{aligned} U(R_{12}) &= n[U(S_{13})\sin(\theta + 120^\circ) + U(S_{32})\sin\theta] \\ U(S_{13}) + U(S_{32}) + U(S_{21}) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

在控制链中，当控制发送器轴角位置准确地等于控制变压器的轴角位置时，控制变压器的转子接线端 R_1 和 R_2 上将出现零电压。若稍微偏离该调准的位置时，在转子中将产生一个信

号,它相对于基准电压的相位将取决于偏离的方向。图 1-10 表示控制变压器转子输出。

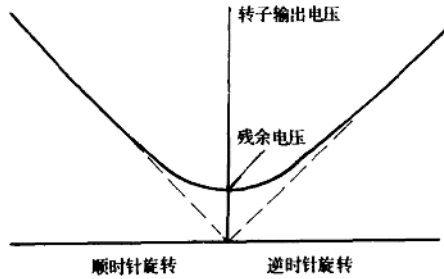


图 1-10 控制变压器输出特性

这样,控制变压器可以被认为是零检测器,常用于随动系统中。事实上,零位置并非是真的零,总是有残余电压。该残余电压由三部分组成:①和正常输出同相的基波电压;②和正常电压正交的基波电压;③若干谐波。对于 115V 的控制变压器而言,其基波残余电压典型值是 30mV,包含谐波的总残余电压约为 60mV。

图 1-11 表示使用控制链的随动系统。在此系统中的伺服电机、控制变压器和机械负载(如

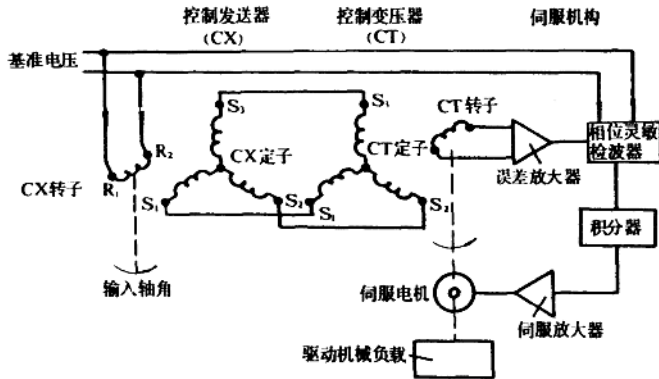


图 1-11 使用控制链的随动系统

火炮支架、罗盘中继电器等)全都机械耦合在一起。当控制发送器轴被转到 θ 角时,由输出端 S_1 、 S_2 和 S_3 取出的同步器格式信号电压确定角度 θ 。

$$U(S_{13}) = A \sin \omega t \sin \theta$$

$$U(S_{32}) = A \sin \omega t \sin(\theta + 120^\circ)$$

$$U(S_{21}) = A \sin \omega t \sin(\theta + 240^\circ)$$

这些电压在控制链中通过 S_1 、 S_2 和 S_3 被耦合到控制变压器的定子绕组。如果我们假定控制变压器的转角不处在 θ 角位置,则在控制变压器的转子绕组上产生一个电压,该电压被馈送到一