



自动控制 原理及应用



Principles and Applications of
Automatic Control

主编 苏欣平



自动控制 原理及应用



Principles and Applications of
Automatic Control

主编 苏欣平

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理及应用 / 苏欣平主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 10

ISBN 978 - 7 - 5682 - 3181 - 7

I. ①自… II. ①苏… III. ①自动控制理论-高等学校-教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 241080 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 301 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 32.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 王素新

责任印制 / 王美丽

编 审 人 员

主 编 苏欣平

主 审 刘爱诗

编 写 苏欣平 李春卉 柴树峰 董 帅

本书主要是为机械工程等非控制类专业的本科生提供一本内容适度、实用性强的控制理论教材，参考学时为40学时。考虑到本科教学的现状，本书的内容以经典控制理论为主。为适应不同专业和不同层次教学的需要，本书各章所述的各种基本分析方法尽可能做到相对独立，以便使用者根据具体情况灵活选择。在教学中建议做如下三个基本实验：①环节与系统的模拟；②频率特性的测试；③物理系统的实验（随动系统或温度控制系统等）。

为了能在较少的学时内，使学生较系统地掌握控制理论中最基本的理论和分析设计方法，并对一些新的理论和方法亦有初步的了解，本书在内容的组织上，力求做到加强基础、突出重点、注重应用，力求在保持控制理论严密性的前提下，尽量删繁就简，避免过分地引申、扩充和高深的数学论证，尽可能地从工程实例引入某些重要的概念和方法，并增加了MATLAB在控制系统分析和计算方面的应用等新的内容。在内容的叙述上，侧重于基本概念和实际应用。为加深学生对控制理论基本概念的理解和提高学生分析综合问题的能力，本书附有一定数量的综合性例题分析或习题，以便他们能较快地掌握控制系统理论的最基本内容。

本书的第一章至第六章由苏欣平教授编写和校对，并负责全书的统稿；第七章、第八章由李春卉讲师编写和校对；第九章、第十章由柴树峰讲师编写，并负责全书的校对；全书习题由董帅助教编导和校对。本书由军事交通学院刘爱诗教授主审，并对书稿的修改提出了不少宝贵的意见，各级领导和同事对我们的工作也给予了大力的支持和帮助，在此一并致以深切的谢意。

由于水平有限，书中一定会有一些不妥之处，恳请广大读者和同行专家批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

第一章 绪论	001
第一节 自动控制系统的一般概念	002
第二节 开环控制与闭环控制	004
一、开环控制	004
二、闭环控制	004
第三节 自动控制系统示例	005
一、电压调节系统	005
二、函数记录仪	006
三、飞机—自动驾驶仪系统	007
第四节 自动控制系统的分类	008
一、恒值调节系统、程序控制系统和随动系统	008
二、线性系统和非线性系统	008
三、定常系统和时变系统	009
四、连续系统和离散系统	009
第五节 控制系统的组成及对控制系统的基本要求	009
一、控制系统的基本组成	009
二、对控制系统性能的要求	010
第六节 自动控制技术在军事仓储中的应用	011
一、收发作业自动控制	011
二、库房内温、湿度自动控制	011
三、消防自动控制	012
四、防盗报警自动控制	012
五、自动化立体库房	013
习题	015

第二章 系统的数学模型	016
第一节 系统的微分方程	016
一、系统动态微分方程的建立	016
二、线性定常微分方程的求解	017
第二节 传递函数	019
一、传递函数的定义和性质	019
二、典型环节的传递函数	020
第三节 框图和系统的传递函数	022
一、绘制系统方框图的一般步骤	022
二、框图的等效变换	023
三、控制系统的传递函数	027
第四节 用 MATLAB 建立数学模型	029
小结	031
习题	031
第三章 系统的时域分析	033
第一节 典型的试验信号	033
一、阶跃输入信号	033
二、斜坡输入信号	033
三、等加速度信号	034
四、脉冲信号	034
五、正弦信号	034
第二节 系统时间响应的性能指标	035
一、动态过程与稳态过程	035
二、动态性能和稳态性能	035
第三节 一阶系统的时域响应	036
一、单位阶跃响应	037
二、单位斜坡响应	037
三、单位脉冲响应	038
第四节 二阶系统的时域响应	039
一、二阶系统的数学模型	039
二、欠阻尼二阶系统阶跃响应的动态性能指标	041
第五节 高阶系统的时域响应	045
第六节 用 MATLAB 求控制系统的瞬态响应	046
一、用 MATLAB 求控制系统的单位阶跃响应	046
二、用 MATLAB 求控制系统的单位脉冲响应	047
三、用 MATLAB 求控制系统的单位斜坡响应	048
第七节 线性定常系统的稳定性	049

一、稳定性的基本概念	050
二、稳定的充要条件	050
三、劳斯 (Routh) 稳定判据	050
第八节 控制系统的稳态误差	054
一、稳态误差的定义	054
二、给定输入下的稳态误差	054
三、扰动作用下的稳态误差	056
小结	057
习题	058
第四章 根轨迹法	060
第一节 根轨迹法的基本概念	060
一、什么是根轨迹	060
二、根轨迹的幅值条件和相角条件	061
第二节 用 MATLAB 绘制控制系统的根轨迹	064
第三节 非最小相位系统的根轨迹	070
一、正反馈回路的根轨迹	071
二、系统中含有非最小相位元件	071
三、滞后系统的根轨迹	071
第四节 用根轨迹法分析控制系统	072
一、用根轨迹法确定系统的有关参数	072
二、确定指定 K_0 时的闭环传递函数	074
三、确定具有指定阻尼比 ζ 的闭环极点和单位阶跃响应	075
第五节 例题分析	076
小结	079
习题	080
第五章 频率响应分析法	084
第一节 频率特性	084
一、频率特性的基本概念	084
二、频率特性的求取	086
三、频率特性表示法	087
第二节 极坐标图	088
一、典型环节	088
二、开环系统的乃氏图	091
第三节 对数坐标图	094
一、典型环节的伯德图	095
二、开环系统的伯德图	100
三、由伯德图确定系统的传递函数	101

四、最小相位系统和非最小相位系统	103
第四节 用 MATLAB 绘制伯德图和极坐标图	104
一、用 MATLAB 绘制伯德图	104
二、用 MATLAB 绘制极坐标图	108
第五节 乃奎斯特稳定判据	111
一、闭环系统稳定性与开环传递函数的关系	111
二、辐角原理	112
三、乃奎斯特稳定判据	114
第六节 相对稳定性分析	117
一、增益裕量 K_g	118
二、相位裕量 γ	119
第七节 频域性能指标与时域性能指标间的关系	121
一、闭环频率特性及其特征量	121
二、二阶系统时域响应与频域响应的关系	123
三、高阶系统时域响应与频域响应的关系	125
小结	125
习题	126
第六章 控制系统的校正	129
第一节 系统校正的基本概念	129
一、系统校正方式	129
二、基本控制规律	130
第二节 常用校正装置及其特性	132
一、超前校正装置	132
二、串联滞后校正装置	134
三、无源滞后-超前网络	135
第三节 频率法的串联校正	136
一、串联超前校正	138
二、串联滞后校正	140
三、串联滞后-超前校正	143
小结	143
习题	144
第七章 转速反馈控制的直流调速系统	147
第一节 转速反馈控制的直流调速系统	147
一、转速反馈控制直流调速系统的静特性	147
二、转速反馈控制直流调速系统的动态数学模型	149
第二节 比例控制的直流调速系统	152
一、开环系统机械特性和比例控制闭环系统静特性的关系	152

二、比例控制闭环直流调速系统的动态稳定性	153
第三节 比例积分控制的无静差直流调速系统	154
一、积分调节器和积分控制规律	154
二、比例积分控制规律	155
第四节 直流调速系统的稳态误差分析	157
一、阶跃给定输入的稳态误差	158
二、扰动引起的稳态误差	159
第八章 汽车液压控制系统的电液伺服阀	161
第一节 力反馈两级电液伺服阀	161
一、工作原理	161
二、基本方程和框图	162
三、力反馈伺服阀的稳定性分析	165
四、力反馈伺服阀的传递函数	166
五、力反馈伺服阀的静态特性	167
第二节 直接反馈两级滑阀式电液伺服阀	168
一、结构及工作原理	168
二、动圈式两级滑阀伺服阀的框图	168
三、动圈式两级滑阀伺服阀的传递函数	169
第九章 飞机垂直速度控制系统	171
第一节 垂直速度控制系统的模型	171
第二节 垂直速度控制系统的设计	172
第三节 飞行状态对垂直速度控制系统的影响	179
第十章 车辆控制系统	181
第一节 ABS 控制系统	182
一、轮胎接地点力矩平衡	182
二、ABS 控制循环	183
三、ABS 循环检测	184
第二节 横摆动力学控制	187
一、简单控制律设计	188
二、参考值推导	189
附录 1 常见函数拉氏变换对照表	193
附录 2 MATLAB 函数指令表	194
参考文献	196

第一章 绪 论

在现代工程和科学技术的众多领域中，自动控制技术起着越来越重要的作用。所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称为控制装置或控制器），使机器、设备或生产过程（统称被控对象）的某个工作状态或参数（即被控量）自动地按照预定的规律运行。例如，导弹能够准确地命中目标，人造卫星能按预定的轨道运行并返回地面，宇宙飞船能准确地月球着陆并重返地球，都是以应用高水平的自动控制技术为前提的。

控制理论和实践的不断发展和人们提供了获得动态系统最佳性能的方法，改善了劳动条件，提高了生产率。在军事装备上，自动控制技术大大地提高了武器装备的威力和精度，降低了作业强度。近十几年来，由于计算机的广泛应用和控制理论的发展，使得自动控制技术所能完成的任务更加复杂，应用的领域也越来越广。可以说，自动控制理论的概念、方法和体系已经渗透到工业生产、军事、空间、生物医学、交通运输、企业管理等广阔领域。现代科学技术的发展及其学科的相互交叉，要求高级工程技术人员更多地了解和掌握其他相近学科、专业的知识。因此，一些非控制类专业的人员根据研究工作和知识结构的需要，学习自动控制原理课程是非常必要的。

自动控制原理主要讲述自动控制的基本理论和分析、设计控制系统的基本方法。控制原理包括经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论主要以传递函数为工具和基础，以频域法和根轨迹法为核心，研究单变量控制系统的分析和设计。经典控制理论在 20 世纪 50 年代就已经发展成熟，至今在工程实践中仍得到广泛的应用。现代控制理论从 1960 年开始得到迅速发展，它以状态空间方法作为标志和基础，研究多变量控制系统与复杂系统的分析和设计，以满足军事、空间技术和复杂的工业领域对精度、重量、加速度和成本等方面的严格要求。本书主要介绍经典控制理论。

控制理论的内容极其丰富，但是作为为机械工程等非控制类专业的本科学生开设的课程，其目的是使学生掌握基本的理论和方法，为今后深入学习本学科的其他分支学科打好基础。本着加强基础、突出重点、注重应用的原则，本书以介绍线性系统的基本理论及其应用为主要内容。从非控制工程专业学员对控制理论的需求和教学学时相对较少的实情出发，本教材在介绍有关基本概念时，力求在保持控制理论严密性的前提下，尽量删繁就简，避免过分地引申、扩充和高深的数学论证。尽可能从工程实例引入某些重要的概念和方法，并配有适当的例题与习题，使学生能较快地掌握控制系统理论的基本内容。

全书共分十章，第一章介绍有关自动控制系统的基本知识以及控制技术在军事仓储中的应用；第二章介绍系统的数学模型，包括以微分方程、传递函数、系统方框图等形式描述的系统数学模型，此外，还介绍了非线性数学模型的线性化；第三章讨论一阶、二阶和高阶系

统的时域分析,并介绍用 MATLAB 进行瞬态响应分析的方法,劳斯稳定判据和单位反馈控制系统中的稳态误差也在本章中做了介绍;第四章分析控制系统的根轨迹,提供了作根轨迹图的一般规则,并且介绍了用 MATLAB 作根轨图的方法;第五章给出控制系统的频率响应分析方法,讨论了伯德图、极坐标图、乃奎斯特稳定性判据和闭环频率响应;第六章介绍控制系统的校正,主要介绍超前校正、滞后校正、反馈校正;第七~十章介绍控制系统的运用实例。

第一节 自动控制系统的一般概念

在各种生产过程和生产设备中,常常需要使其中某些物理量(如温度、压力、位置、速度等)保持恒定,或者让它们按照一定规律变化。要满足这种要求,就需要对生产机械或设备进行及时的控制和调整,以抵消外界的扰动和影响。

那么自动控制系统是如何对这些物理量实现控制的呢?首先来考虑一个电加热炉的炉温控制系统。如图 1-1 所示,在该系统中,炉温通过热电偶测量,热电偶可将温度值转换为电压值 U_2 。给定炉温通过一个电位器的电压值 U_1 反映,这一给定值还可以通过调节可变电阻的大小来改变。通过 U_1 与 U_2 的反向串接,就可以实现比较算法 $U_1 - U_2 = \Delta U$ (温度的偏差信号)。 ΔU 的大小反映了实测炉温与给定炉温的差别,它的正负决定了执行机构——电动机的转向。 ΔU 经过放大器放大后,控制电动机的转速和方向,并通过传动装置拖动调压器动触头。当温度偏高时,动触头向着减小加热电阻丝电流的方向运动,反之则加大电流,直到温度接近给定值为止。即只有在温度的偏差信号 $\Delta U \approx 0$ 时,电动机才停转,完成所要求的控制任务。所有这些装置便组成了一个自动控制系统。

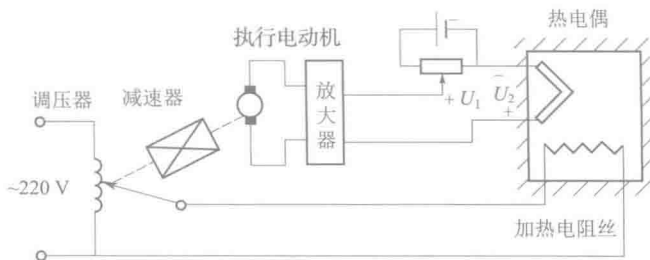


图 1-1 电加热炉的炉温控制系统

我们再来研究一下火炮方位角控制系统。图 1-2 所示为采用自整角机作为角度测量元件的火炮方位角控制系统。图 1-2 中的自整角机工作在变压器状态,自整角发送机 BD 的转子与输入轴连接,转子绕组通入单相交流电;自整角接收机 BS 的转子则与输出轴(炮架的方位角轴)相连接。当转动瞄准具输入一个角度 θ_i 的瞬间,由于火炮方位角 $\theta_o \neq \theta_i$,会出现角位置偏差 θ_e 。这时,自整角接收机 BS 的转子输出一个相应的交流调制信号电压,其幅值与 θ_e 的大小成正比,相位则取决于 θ_e 的极性。当偏差角 $\theta_e > 0$ 时,交流调制信号呈正相位;当 $\theta_e < 0$ 时,交流调制信号呈反相位。该调制信号经相敏整流器解调后,变成一个与 θ_e 的大小和极性相对应的直流电压,经校正装置、放大器处理后成为 u_a 。 u_a 驱动电动机带动火炮架转动,同时带动自整角接收机的转子将火炮方位角反馈到输入端。显然,电动机的

旋转方向必须是朝着减小或消除偏差角 θ_e 的方向转动，直到 $\theta_o = \theta_i$ 为止。这样，火炮就指向了手柄给定的方位角。

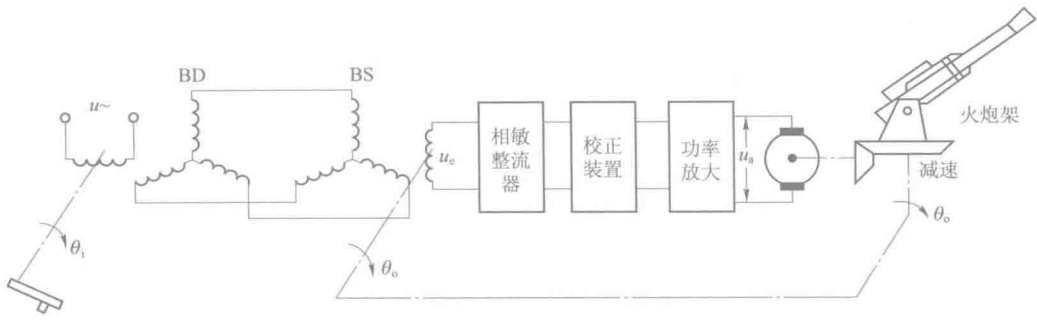


图 1-2 火炮方位角控制系统

上述两个控制系统有一个共同的特点，就是都要检测偏差，并用检测到的偏差去纠正偏差，可见没有偏差就没有调节过程。在自动控制系统中，这一偏差是通过反馈建立起来的。给定量称为控制系统的输入量，被控制量称为系统的输出量。反馈就是指输出量通过适当的测量装置将输出信号的全部或一部分返回输入端，使之与输入量进行比较，比较的结果叫作偏差。因此基于反馈基础上的“检测偏差用以纠正偏差”的原理又称为反馈控制原理。利用反馈控制原理组成的系统称为反馈控制系统，图 1-3 所示为反馈控制结构框图。

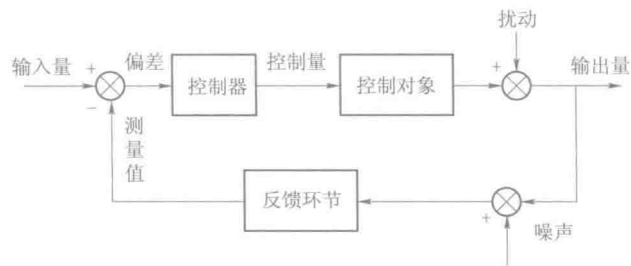


图 1-3 反馈控制结构框图

在研究自动控制系统时常遇到一些专用术语，现将最常见的介绍如下。

- (1) 输入量（指令或参考输入量，也称给定量或控制量）：对被控制量的希望值，即目标值。如图 1-1 所示系统中加热电阻丝两端的电压。
- (2) 输出量（也称被控制量）：是指被测量或被控制的量或状态，如图 1-1 所示系统中的炉温。
- (3) 控制对象：需要控制的装置或系统。它一般是一个设备，常常由一些机器零件有机地组合在一起，其作用是完成一种特定的功能，如电加热炉、汽车发动机等。
- (4) 控制器：为了使控制系统具有良好的性能，对偏差信号进行某种模拟或数字运算而进行决策的装置或程序。
- (5) 偏差：目标值减去控制量测量值的实际值。
- (6) 扰动：是一种对系统的输出量产生不利影响的因素或信号。如果扰动来自于系统内部，则称为内部扰动；如果扰动来自于系统外部，则称为外部扰动。如电加热炉中被加热物体的增多或减少显然会影响炉温的高低，这种因素对系统来说就是一种外部扰动。

(7) 噪声：在反馈通道中，它表示测量元件引入的误差，该误差也称为系统的噪声特性。

第二节 开环控制与闭环控制

工业上用的控制系统，根据有无反馈作用可分为两类：开环控制与闭环控制。

一、开环控制

开环控制是指组成系统的控制器和控制对象之间，只有顺向作用而没有反向联系的控制，即系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路，输出量不会对系统的控制作用发生影响，其结构框图如图 1-4 所示。



图 1-4 开环控制结构框图

如图 1-5 所示的电动机转速控制系统就是开环控制。当给定电压改变时，电动机转速也跟着改变，但这个控制系统经受不住负载力矩变化对转速的影响。

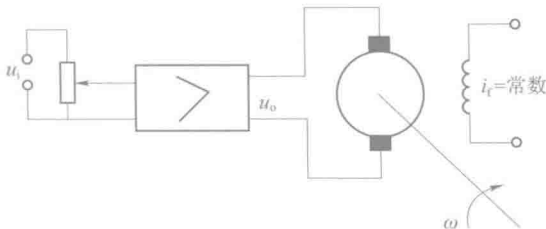


图 1-5 电动机转速控制系统

开环控制系统的特点是结构简单、所用的元器件少、成本低。但由于系统没有将被控制量反馈到系统的输入端和参考输入相比较，所以当系统受到干扰后，被控制量一旦偏离原有的平衡状态，系统就没有消除或减少误差的功能，抗干扰性差。因此适用于精度要求不高或扰动影响较小的场合。

二、闭环控制

为了解决开环控制存在的问题，把系统的被控制量通过检测反馈到它的输入端，并与参考输入量相比较，即系统的输出端和输入端之间存在反馈回路，输出量对控制作用有直接影响，这种控制方式叫作反馈控制，也称闭环控制，如图 1-6 所示。闭环的作用就是应用反馈来减少偏差。

闭环控制的大致过程为：对被控制量（即输出量）进行测量，并与控制信号（输入量）进行比较，得到误差（偏差）信号，将偏差信号在控制器中进行处理（放大与变换），利用变换与放大后的偏差信号产生控制作用，达到消除（或减小）偏差的目的。如果经过反馈环节使系统偏差增加，即为正反馈，它不能达到自动控制的目的。所以一

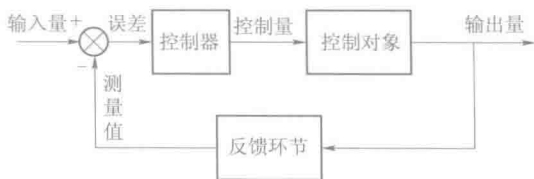


图 1-6 闭环控制结构框图

般说的反馈控制都指的是负反馈。可以说,反馈控制系统具有抑制内、外扰动对被控制量产生影响的能力,具有较高的控制精度,是一种重要的并被广泛应用的控制方式。

如图 1-7 所示的电动机转速闭环控制系统就能大大降低负载力矩对转速的影响。例如:负载加大,转速就会降低,但有了反馈,偏差就会增大,电动机电压就会升高,转速又会上升。

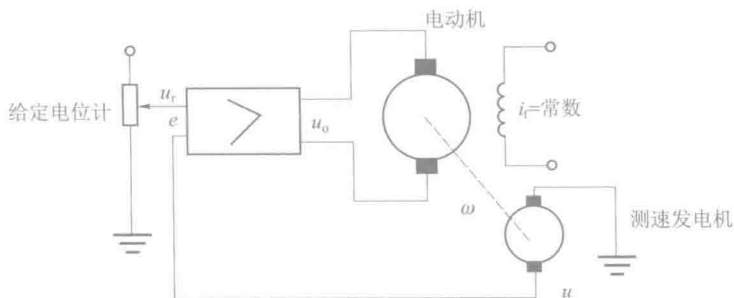


图 1-7 电动机转速闭环控制系统

闭环系统的作用是检测偏差并用以纠正偏差,或者说是靠偏差进行控制。在工作过程中系统总会存在着偏差,由于元件的惯性(如负载的惯性),很容易引起振荡,使系统不稳定。因此精度和稳定性之间的矛盾是闭环系统要解决的主要矛盾。

第三节 自动控制系统示例

一、电压调节系统

电压调节系统工作原理如图 1-8 所示。系统在运行过程中,不论负载如何变化,要求发电机能够提供由给定电位器设定的规定电压值。在负载恒定、发电机输出规定电压的情况下,偏差电压 $\Delta u = u_r - u = 0$,放大器输出为零,电动机不动,励磁电位器的滑臂保持原来的位置上,发电机的励磁电流不变,发电机在原动机带动下维持恒定的输出电压。当负载增加使发电机输出电压低于规定电压时,输出电压在反馈口与给定电压经比较后所得的偏差电压 $\Delta u = u_r - u > 0$,放大器输出电压 u_1 便驱动电动机带动励磁电位器的滑臂顺时针旋转,使励磁电流增加,发电机输出电压 u 上升。直到 u 达到规定电压 u_r 时,电动机停止转动,发电机在新的平衡状态下运行,输出满足要求的电压。

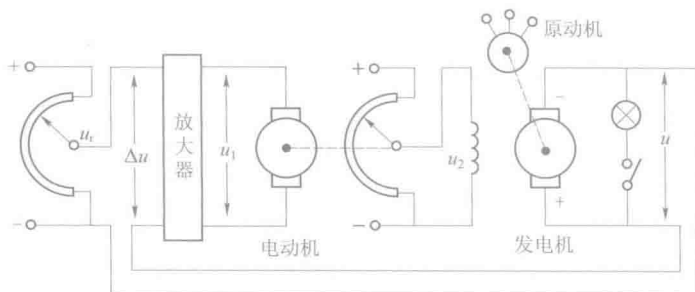


图 1-8 电压调节系统原理图

系统中，发电机是被控对象，发电机的输出电压是被控制量，给定量是给定电位器设定的电压 u_r 。电压调节系统方框图如图 1-9 所示。

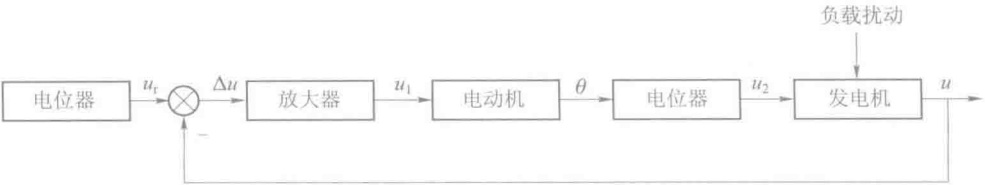


图 1-9 电压调节系统方框图

二、函数记录仪

函数记录仪是一种通用记录仪，它可以在直角坐标上自动描绘两个电量的函数关系。同时，记录仪还带有走纸机构，用以描绘一个电量对时间的函数关系。

函数记录仪通常由变换器、测量元件、放大器、伺服电动机—测速发电机组、齿轮系及绳轮等组成，其工作原理如图 1-10 所示。系统的输入（给定量）是待记录电压，被控对象是记录笔，笔的位移是被控制量。系统的任务是控制记录笔位移，在纸上描绘出待记录的电压曲线。

在图 1-10 中，测量元件是由电位器 R_Q 和 R_M 组成的桥式测量电路，记录笔就固定在电位器 R_M 的滑臂上，因此，测量电路的输出电压 u_p 与记录笔位移成正比。当有慢变的输入电压 u_r 时，在放大元件输入口得到偏差电压 $\Delta u = u_r - u_p$ ，经放大后驱动伺服电动机，并通过齿轮系及绳轮带动记录笔移动，同时使偏差电压减小。当偏差电压 $\Delta u = 0$ 时，电动机停止转动，记录笔也静止不动。此时， $u_p = u_r$ ，表明记录笔位移与输入电压相对应。如果输入电压随时间连续变化，记录笔便描绘出相应的电压曲线。

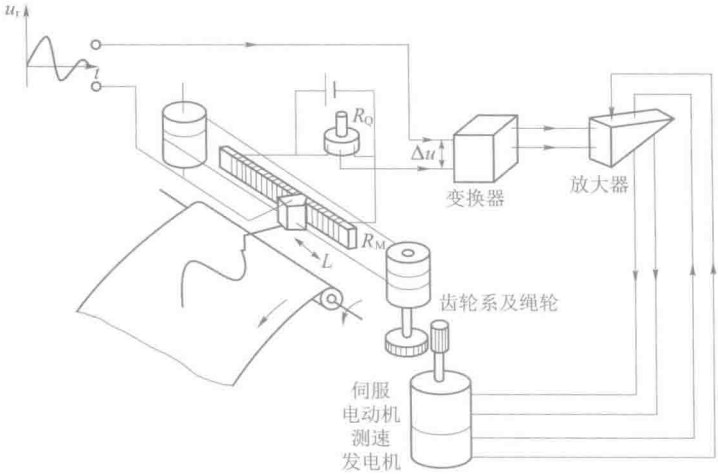


图 1-10 函数记录仪工作原理

函数记录仪控制系统方框图如图 1-11 所示。其中，测速发电机是校正元件，它测量电动机转速并进行反馈，用以增加阻尼，改善系统性能。

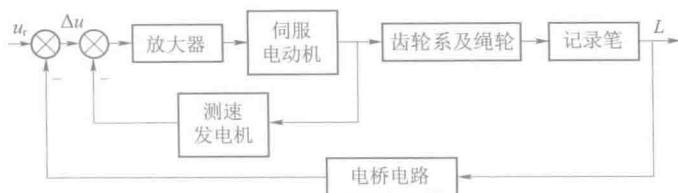


图 1-11 函数记录仪控制系统方框图

三、飞机—自动驾驶仪系统

飞机—自动驾驶仪是一种能保持或改变飞机飞行状态的自动装置。它可以稳定飞机的姿态、高度和航迹；可以操纵飞机爬高、下滑和转弯。飞机和驾驶仪组成的控制系统称为飞机—自动驾驶仪系统。

如同飞行员操纵飞机一样，自动驾驶仪控制飞机飞行的原理是通过控制飞机的三个操纵面（升降舵、方向舵、副翼）的偏转，改变舵面的空气动力特性，以形成围绕飞机质心的旋转力矩，从而改变飞机的飞行姿态和轨迹。现以比例式自动驾驶仪稳定飞机俯仰角的过程为例，说明其工作原理。图 1-12 所示为飞机—自动驾驶仪系统稳定俯仰角的工作原理。

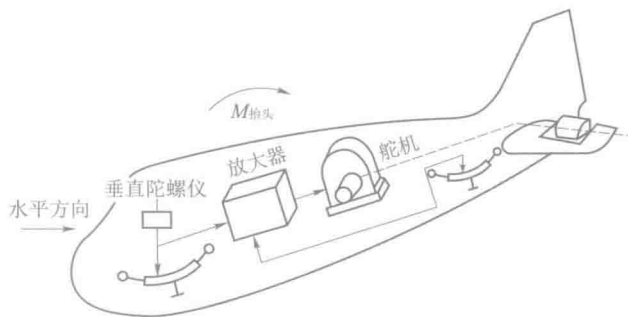


图 1-12 飞机—自动驾驶仪系统稳定俯仰角的工作原理

在图 1-12 中，垂直陀螺仪作为测量元件用以测量飞机的俯仰角，当飞机以给定俯仰角水平飞行时，陀螺仪电位计没有电压输出；如果飞机受到扰动，使俯仰角向下偏离期望值，陀螺仪电位计输出与俯仰角偏差成正比的信号，经放大器放大后驱动舵机，一方面推动升降舵面向上偏转，产生使飞机抬头的转矩，以减小俯仰角偏差；同时带动反馈电位计滑臂，输出与舵偏角成正比的电压信号并反馈到输入端。随着俯仰角偏差的减小，陀螺仪电位计输出的信号越来越小，舵偏角也随之减小，直到俯仰角回到期望值，这时，舵面也恢复到原来状态。

图 1-13 所示为飞机—自动驾驶仪俯仰角稳定系统方框图。在图 1-13 中，飞机是被控对象，俯仰角是被控制量，放大器、舵机、垂直陀螺仪、反馈电位计等组成控制装置，即自动驾驶仪。参考量是给定的常值俯仰角，控制系统的任务就是在任何扰动（如阵风或气流冲击）作用下，始终保持飞机以给定俯仰角飞行。