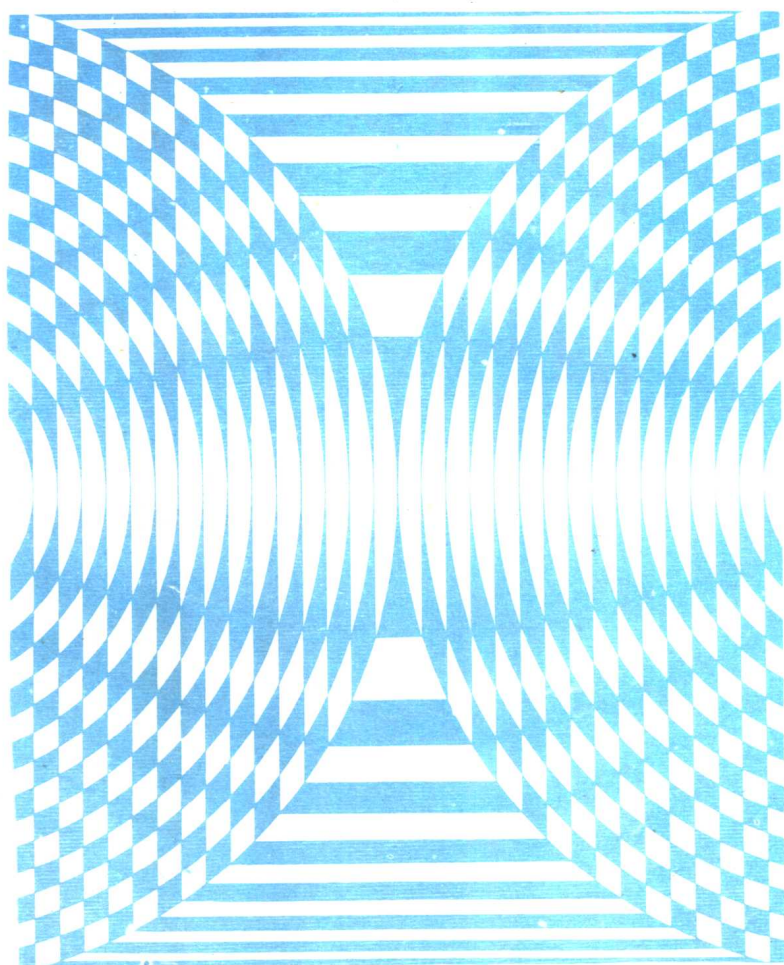


ZI DONG
KONG ZHI YUAN LI
SHI YAN

自动控制原理实验

郭维藩 主编

哈尔滨工业大学出版社



3
24

自动控制原理实验

郭 维 藩 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书是“自动控制原理”课的实验教材。全书以直流电动机转速控制系统、脉冲调宽型小功率随动系统、六阶电子模拟计算机和微型计算机控制系统以及二级倒立摆系统等为主，全面系统地介绍古典控制理论和现代控制理论的教学实验内容、实验原理和实验方法。

本书可作为高等工科院校船电自动化、工业自动化、自动控制、测量仪表、热工仪表等专业的实验教材，也可供有关科技人员参考。

自 动 控 制 原 理 实 验

郭 维 藩 主 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版
新华书店首都发行所发行
哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张6.875 字数130 000
1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷
印数 1—5 000

ISBN 7-5603-0273-4/TP·19 定价 1.65 元

前 言

目前,国内各高等院校在教授理论知识为学生打好基础的同时,逐渐重视实践性教学环节,着眼于培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力,以适应我国科学技术飞速发展和社会主义现代化建设的需要。

本书以古典控制理论教学实验为主,适当地增添了现代控制理论教学实验内容。古典控制理论部分系根据1986年船电自动化专业教材小组第一次会议通过的“自动控制原理实验教学基本要求”编写的,以直流电动机转速控制系统、脉冲调宽型小功率随动系统、六阶电子模拟计算机和微型计算机控制系统等实验装置为主。实验课内容主要包括以下几部分:

参数和特性的测试:包括典型环节和系统的静态参数的测试,二阶系统时域特性的测试,典型系统时域和频域响应的测试。

系统分析:通过典型系统的时域和频域响应,对系统的稳定性、稳态误差及动态特性进行分析,应用模拟和数字仿真技术进行线性和非线性控制系统的分析。

系统校正:按性能指标对典型系统进行串联、并联校正,以及对离散控制系统进行数字校正等。

现代控制理论部分是以目前国内各主要重点工科院校都已开始采用的二级倒立摆系统为主,内容主要包括:

推导、分析部分:根据对象物理模型的实测参数,推导建立对象的数学模型,然后对得到的数学模型进行分析。

设计部分:主要设计控制器,包括状态调节器、降维观测器及线性函数观测器的设计方法和步骤。

实现部分:将已固化的实时控制程序调入单板机内存,再把算得的控制器及线性函数观测器参数输入该程序数据区进行实际控制实验。

综合设计过程中需进行大量的计算,为了计算方便,缩短设计时间,实验时可向学生提供一整套辅助设计程序(CAD软件包)。

本书古典部分教学实验课参考学时:24~36学时,其中24学时为基本实验内容,12学时为选作实验内容;现代部分:8学时。

本书第一、二、三、五章由哈尔滨工业大学自动控制理论教研室的郭维藩编写,柏桂珍编写第四章。全书由哈尔滨船舶工程学院自动控制教研室李文秀副教授主审。在编写过程中,石家庄河北机电学院李友善教授对编写大纲和具体内容都提出了许多宝贵意见。在此仅向他们表示衷心的感谢。

我们编写实验课教材还是第一次,错误和不足之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

1990年3月

EA021/09

目 录

第一章 电动机转速控制系统的分析	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 实验装置的组成及工作原理.....	(3)
第三节 各组成环节的传递函数、系统的方块图及静态结构图.....	(5)
第四节 实验前的准备工作.....	(6)
第五节 电动机转速控制系统实验.....	(6)
实验一 电动机转速控制系统静态特性的测试.....	(6)
实验二 电动机转速控制系统过渡过程的测试.....	(7)
实验三 电动机转速控制系统频率特性的测试.....	(8)
第二章 脉冲调宽型小功率随动系统的分析	(12)
第一节 概述.....	(12)
第二节 实验装置的组成及工作原理.....	(12)
第三节 各主要环节的传递函数及系统的方块图.....	(18)
第四节 实验前的准备工作.....	(20)
第五节 小功率随动系统实验.....	(20)
实验一 小功率随动系统静态特性的测试.....	(20)
实验二 小功率随动系统的串联校正.....	(22)
实验三 小功率随动系统的并联校正.....	(23)
第三章 典型环节和系统的模拟仿真	(25)
第一节 模拟计算机模拟控制系统的工作原理.....	(25)
第二节 典型环节及控制系统的模拟方法.....	(29)
第三节 模拟计算机的仿真实验.....	(36)
实验一 典型二阶系统的模拟仿真.....	(36)
实验二 开环零点及闭环零点作用的研究.....	(37)
实验三 校正装置的模拟设计.....	(39)
实验四 PID调节规律的作用.....	(41)
实验五 非线性系统的描述函数法.....	(42)
实验六 非线性系统的相平面法.....	(44)
第四章 线性离散控制系统的分析	(48)
第一节 微型计算机控制系统简述.....	(48)
第二节 线性离散系统.....	(50)
第三节 线性离散系统的设计与分析.....	(52)

第四节 最少拍控制系统的设计与分析	(54)
第五节 最少拍无波纹系统的设计与分析	(56)
第六节 数字PID控制器和积分分离式PID控制器	(59)
实验一 相位超前校正作用的分析	(61)
实验二 最少拍控制系统的实验研究	(67)
实验三 最少拍无波纹控制系统的实验	(69)
实验四 数字PID控制器的实验	(71)
实验五 积分分离式PID控制器的实验	(74)
第五章 二级倒立摆系统实验	(78)
第一节 概述	(78)
第二节 结构及工作原理	(78)
第三节 综合设计及实验内容简介	(79)
第四节 对象物理模型的实测参数	(79)
第五节 数学模型推导	(80)
第六节 控制器的设计	(83)
第七节 控制器的硬件结构及控制算法	(88)
第八节 线性函数观测器的设计	(91)
第九节 二级倒立摆系统的实验	(93)
实验一 计算系统状态方程中的系数矩阵 A_{21} 、 A_{22} 、 B_2	(93)
实验二 分析系统的可控性、可观性及稳定性	(94)
实验三 数字控制器辅助设计程序及固化的实时控制程序操作	(95)
实验四 线性函数观测器辅助设计程序及固化的实时控制程序操作	(100)

第一章 电动机转速控制系统的分析

第一节 概 述

所谓电动机转速控制系统，就是在一个自动控制系统中，被控制对象是电动机，被控制的物理量是电动机的转速，通过自动调节的作用，使电动机转速的变化能按一定的精度自动地符合于给定量的要求。电动机的转速为什么要进行调节，这是因为电动机在实际运行中，其转速要受到负载的大小和其它外界干扰信号的影响。我们知道，电动机的机械特性表达式为

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_a}{C_e \phi} - \frac{I_a R_a}{C_e \phi} = \frac{U_a}{C_e \phi} - \frac{R_a}{C_e C_M \phi^2} M_{fz} \\ &= n_0 - \Delta n \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 n ——电动机的转速；

U_a ——电动机电枢两端的控制电压；

R_a ——电动机电枢绕组的电阻；

M_{fz} ——负载转矩，稳态时等于电动机的电磁转矩；

ϕ ——电动机的激磁磁通量；

n_0 ——电动机的空载转速；

Δn ——电动机的静态速降。

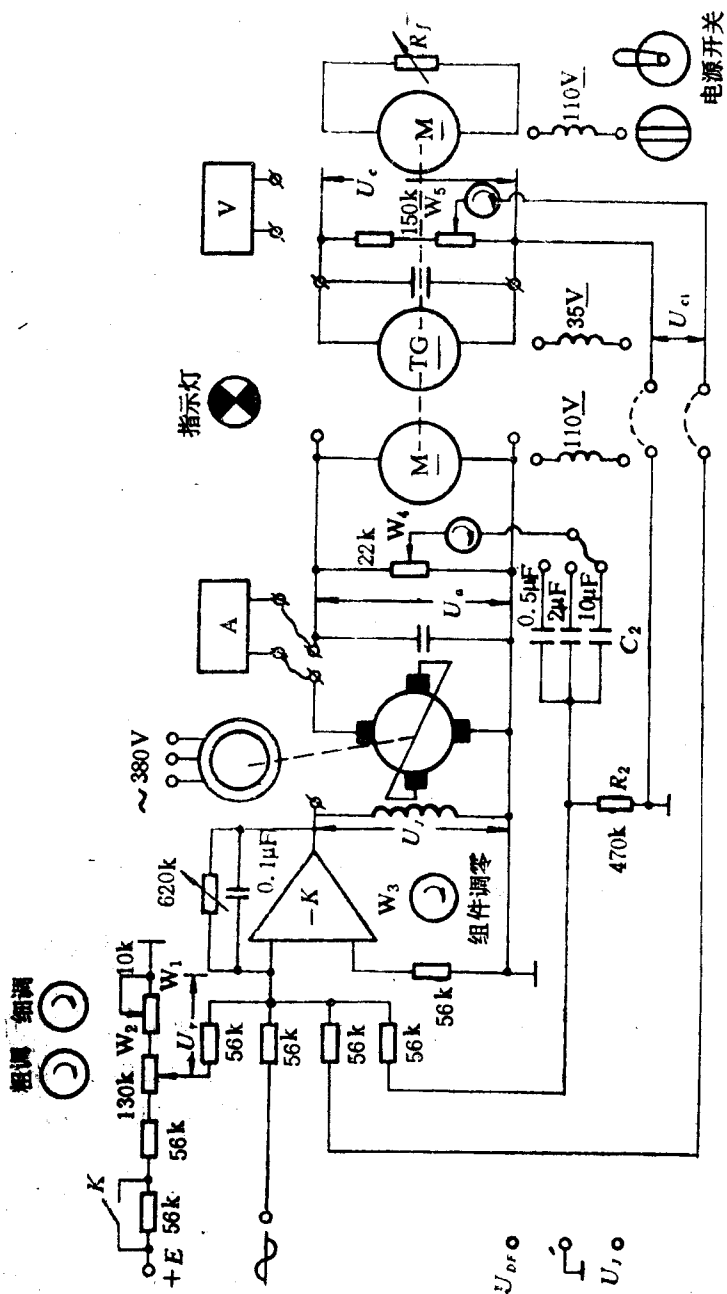
由式(1-1)看出，当电动机不带负载时， $\Delta n = 0$ ，电动机的转速等于空载转速 n_0 。电动机带上负载以后，就产生一个静态速降 Δn ，负载越大， Δn 也越大，电动机转速 n 下降得越多。总之，由此式可以看出负载的大小对电动机的转速是有影响的，这种影响对电动机所执行的任务是不利的。下面例举两个例子：

(1) 车床车削工件时，车刀在切削过程中相当于给电动机加负载，吃刀量越大，所加的负载也越大，那么电动机的转速变化也就越大。吃刀量的变化，导致电动机的转速也不断发生变化，从而影响加工工件的表面光洁度。为了提高加工精度，可在车床上安装一套电动机转速控制系统。

(2) 电站的发电机组也组成一个电动机转速控制系统，它使发电机的转速保持恒定，从而使发电机发出的电压保持恒定。

总之，凡是转速需要保持恒定的地方，我们都可以组成一个电动机转速控制系统，如轧钢机、卷扬机、起重机、造纸机和金属切削机床等，以便减少负载变化等外界因素对电动机转速的影响。

目前，电动机转速控制系统按拖动电动机的类型来分，有直流电动机转速控制系统



和交流电动机转速控制系统两大类。随着交流电动机转速控制系统的理论不断完善，交流电动机转速控制系统的应用会越来越普遍。因为直流电动机转速控制系统所用的直流电动机带有换向片和电刷，结构复杂，造价高，寿命低，需要经常维护，而交流电动机没有这些缺点。但是，最近几年直流伺服电动机的性能有了很大改进，现在我国已经能生产出性能比较好的永磁式直流伺服电动机，它具有以下主要特点：

- (1) 调速范围宽（可达10000:1），低速平稳（每分钟0.1转仍能平稳工作）；
- (2) 过载能力强，最大力矩为额定力矩的5~10倍；
- (3) 速度低，转矩大，可直接驱动车床丝杠，取消了减速器，不仅简化了车床传动机构，同时也消除了齿轮传动间隙对系统性能的影响；
- (4) 加速能力强，动态响应快。

由于直流伺服电动机具有上述特点，并且直流电动机转速控制系统的理论和实践都比较成熟，所以目前直流电动机转速控制系统还在广泛地应用。

第二节 实验装置的组成及工作原理

电动机转速控制系统原理线路图如图1-1所示。

一、实验装置简介

1. 给定元件（亦称给定装置）：包括直流电源给出的直流电压 E ，56k电阻，130k和10k电位器，该直流电压 E 是由220V、50Hz的交流电压经过整流得到的。两个电位器是用来对电源电压 E 进行分压，一个粗调，一个细调，其输出加到前置放大器的输入端，作为系统的输入信号，给定信号的大小根据电动机转速的希望值来设置。

2. 放大元件：由前置电压放大器和功率放大器组成。前置电压放大器是采用F007C型集成运算放大器组成的比例放大器，其作用是对偏差信号进行电压放大。功率放大器采用电机放大机，它虽然比较笨重，但使用可靠，抗干扰能力强。前置放大器输出的信号加到电机放大机的控制绕组，电机放大机在这个比较弱的信号控制下，能输出功率比较大的信号去控制电动机。电机放大机由原动机带动，其工作原理相当于两个直流发电机串联，其等效电路如图1-2所示。前置放大器的输出信号加到电机放大机控制

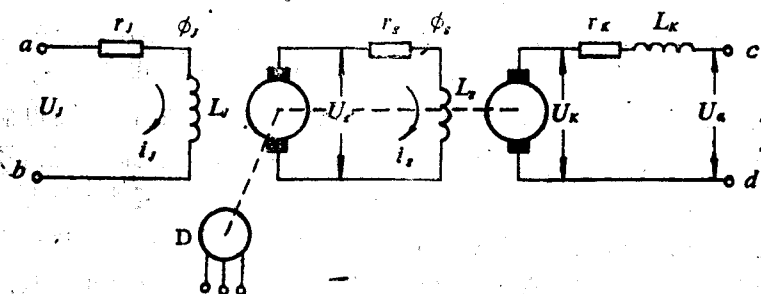


图 1-2 电机放大机的等效电路

绕组 a 、 b 两端，回路产生电流 i_J ，又产生磁通 ϕ_J 。发电机在原动机 D 带动下旋转，从而在电机放大机交轴感应出电压 U_o 。由于交轴短接，此感应电压 U_o 就产生较大的短路电流 i_o ， i_o 又产生相当大的交轴磁通 ϕ_o 。在 ϕ_o 的作用下，一对输出电刷上产生电压 U_K ，最后 U_o 信号从 c 、 d 端输出去控制电动机。

3. 校正元件：包括电位器 W_4 、电容 C_2 和电阻 R_2 ，它们组成并联电压微分负反馈电路，即电机放大机输出信号的一部分，经过阻容微分网络微分以后加到前置放大器的输入端。

4. 执行元件：即该系统被调节对象——直流电动机。

5. 测量反馈元件：即测速发电机，它与电动机同轴相连，将输入端的机械转速变成电压信号，其中的一部分反馈到系统的输入端，使系统构成闭环。

6. 发电机：作为电动机的负载，它与电动机同轴相连，改变滑线变阻器的阻值，就可改变负载的大小。

7. 电压表 V 和电流表 A ：用来测量测速发电机的输出电压和电动机电枢回路的电流。

电动机和负载发电机的激磁是它激的，激磁电压为直流 110V，由直流电源供给。测速发电机的激磁电压为 35V，它和系统给定信号共用一个电源。

二、实验装置的工作原理

参看图 1-1，比较系统的控制信号 U ，与反馈信号 U_{c1} ，得到偏差信号 U_e ， U_e 经过前置电压放大器放大以后加到电机放大机的一个控制绕组，再经电机放大机进行功率放大，得到电压 U_o ，该电压加到电动机电枢绕组两端，控制电动机的转速。测速发电机 TG 和电动机 M 同轴相连，把电动机的转速变成相应的电压信号 U_s ，此信号电压经过电位器 W_s 分压，其中一部分 U_{c1} 反馈到系统的输入端，与输入信号 U 比较，以改变偏差信号 U_e ，控制电动机的转速。

如果电动机的转速在干扰信号作用下升高，即 n 升高，则 U_{c1} 升高，导致偏差信号 U_e 下降。 U_e 下降，又导致电动机电枢两端电压 U_o 下降，最后使电动机的转速又降下来。相反，如果电动机转速在干扰信号作用下降低，则 U_{c1} 下降， U_e 上升，导致 U_o 上升，最后使电动机的转速又回升。这样，通过上述负反馈的调整作用，就可使电动机的转速在允许误差范围内保持恒定。

下面介绍校正装置的作用。这里的校正实际上是并联电压微分负反馈校正，就是说，将电机放大机输出电压（亦即加在电动机电枢绕组两端的电压）经 W_4 取样，再经过微分电路微分后反馈到前置放大器的输入端。经 W_4 取样后电压的微分，反映的是电枢两端电压 U_o 变化的速度。因此，电压微分负反馈实质上是限制和稳定电枢两端电压的变化速度，使其变化缓慢。就是说，当电枢两端的电压 U_o 不变化时，无信号反馈到放大器的输入端。当电压 U_o 变化时，将与变化速度成比例的信号负反馈到放大器的输入端，从而减弱给定信号的作用，限制电枢两端控制电压 U_o 的变化速度，电机转速就能跟上控制电压 U_o 的变化，即可消除振荡。电枢两端控制电压 U_o 的变化速度可近似认为是电动机旋转的加速度。因此，电压微分负反馈可认为是对加速度起阻尼而稳定速度的负反馈。调节 β 的大小，就相当于调节阻尼的大小，即对电动机产生的加速度起阻尼作用。

第三节 各组成环节的传递函数、系统的方块图及静态结构图

1. 前置放大器的传递函数为

$$G_1(s) = K_1$$

2. 电机放大机的传递函数为

$$G_2(s) = \frac{K_2}{(T_J s + 1)(T_\sigma s + 1)} \approx \frac{K_2}{T_\sigma s + 1}$$

式中, T_J 、 T_σ 分别为控制绕组与交轴绕组时间常数, 这里忽略了 T_J 。

3. 电动机的传递函数为

$$G_3(s) = \frac{K_3}{T_M s + 1}$$

4. 校正元件的传递函数为

$$G_4(s) = \frac{\beta \tau s}{\tau s + 1}$$

5. 测速发电机的传递系数为

$$K_c = 0.05 \text{ V/r/min}$$

系统的方块图及静态结构图如图1-3、1-4所示。

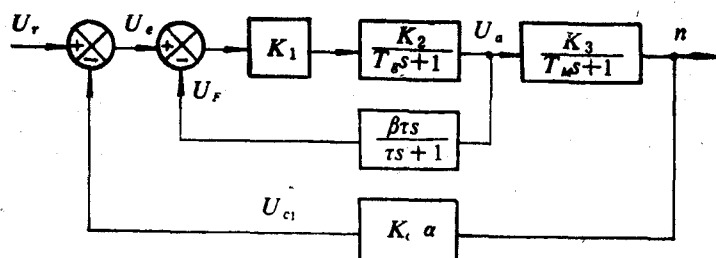


图 1-3 电动机转速控制系统方块图

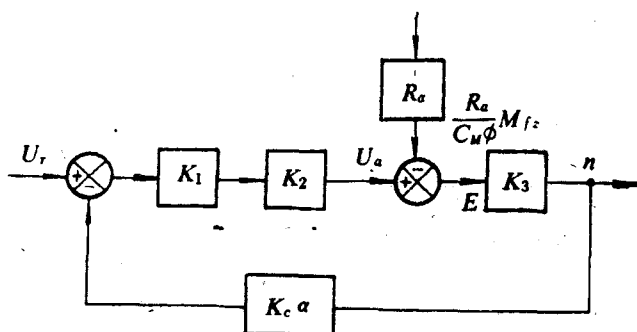


图 1-4 电动机转速控制系统静态结构图

该电动机转速控制系统的开环机械特性为

$$n = K_1 K_2 K_3 U_r - \frac{K_3 R_a}{C_M \phi} M_{fz} = n_{0K} - \Delta n_K \quad (1-2)$$

闭环系统的静态特性为

$$n = \frac{K_1 K_2 K_3}{1+K} U_r - \frac{K_3 R_a}{C_M \phi (1+K)} M_{fz} = n_{0b} - \Delta n_b \quad (1-3)$$

比较式 (1-2) 和 (1-3) 可看出:

(1) 当给定电压 U_r 不变时, 加入转速负反馈以后, 使理想空载转速大大降低, 它只是开环的 $1/(1+K)$ 倍。这一点在物理意义上是很明显的, 因为速度负反馈电压 U_{cl} 把给定电压 U_r 顶掉了一大部分, 从而使加到放大器输入端的电压大大降低了, 电动机的转速自然地降低了。

(2) 当负载相同时, 闭环系统的静态速降 Δn_b 减为开环系统速降 Δn_K 的 $1/(1+K)$ 倍, 即闭环调节精度大大提高了, 这是闭环系统突出的优点。

第四节 实验前的准备工作

1. 将给定信号电位器 (W_1, W_2) 及反馈电位器 (W_4, W_5) 的旋钮逆时针转到头。电流表串入电动机电枢回路, 电压表并入测速发电机电枢回路, 接通控制台电源。
2. 给电动机和负载发电机加110V激磁电压。
3. 接通电机放大机三相电源, 电机转动方向要符合电机外壳箭头方向, 否则可将三相中任意两相对调。
4. 顺时针旋转电位器 W_1, W_2 , 使 $U_c = 20 \sim 25V$ (根据电动机转速希望值而定)。
5. 接通反馈, 顺时针旋转电位器 W_5 , 利用电压表的指示观察是否是负反馈, 若 U_c 急剧上升, 说明是正反馈, 应重新换接反馈线。

第五节 电动机转速控制系统实验

实验一 电动机转速控制系统静态特性的测试

一、实验目的

1. 熟悉电动机转速控制系统的组成;
2. 了解系统开环和闭环两种控制方式以及它们的抗干扰能力;
3. 掌握系统静态特性的测试方法;
4. 了解系统开环放大倍数对系统稳态精度的影响。

二、实验原理

所谓系统的静态特性, 就是指电动机转速控制系统中电动机转速与负载转矩的静态关系。系统在开环与闭环的情况下, 或者同在闭环运行但取不同的反馈系数 α ($\alpha = U_{cl}/$

U_e) 得到的系统静态特性,其斜率将是不同的,这个斜率将影响系统的稳态误差。一般系统静态特性表示的函数关系是 $n = f(M_f)$ 。这里用测速机输出电压 U_e 表示电动机转速,因为 $U_e = K_e n$ 。用电动机电枢电流 I_a 表示负载转矩,因为系统处于稳态时 $M_f = K_M I_a$ 。所以我们用 $U_e = f(I_a)$ 的静态关系表示系统的静态特性,而 U_e 和 I_a 能很方便地测量出来。

三、实验用仪器和设备

1. 真空管电压表;
2. 电流表和电压表;
3. 滑线变阻器;
4. 电动机转速控制系统实验装置。

四、测试方法

1. 启动系统,使系统处于开环状态,置工作点 $U_{e0} = 20 \sim 25V$, 接入负载电阻 R_f (开始测试之前 R_f 调到最大值), 逐渐改变电阻 R_f , 使电动机电枢电流 I_a 逐渐增大 (但不得超过电动机额定电流), 记录 U_e 和 I_a 值。

2. 使系统处于闭环状态,系统工作点同上,测 $\alpha = \alpha_1$ 和 $\alpha = \alpha_2$ ($\alpha = U_{e1}/U_e$, $\alpha_2 > \alpha_1$) 两种情况下系统的静态特性,分别记录 I_a 和 U_e 值。

五、实验报告要求

1. 记录实验数据,绘出 $\alpha = 0$ (开环), $\alpha = \alpha_1$ 和 $\alpha = \alpha_2$ ($\alpha_2 > \alpha_1$) 三种情况下的静态特性曲线。

2. 计算三种曲线的斜率,并进行分析讨论。

六、思考题

1. 为什么改变负载电阻 R_f 值就相当于改变电动机的负载转矩?
2. 分析系统的开环增益与稳态误差的关系。

实验二 电动机转速控制系统过渡过程的测试

一、实验目的

1. 掌握系统动态特性的测试方法;
2. 观察和分析系统开环放大倍数对系统稳定性的影响;
3. 了解并联电压微分负反馈校正的作用;
4. 了解校正参数对动态响应的影响。

二、实验原理

系统的过渡过程是指系统在阶跃输入信号作用下的动态特性。测试时,在控制系统的输入端加方波信号,该方波信号由正弦信号发生器给出,方波信号的周期一定要大于系统过渡过程时间的两倍,即 $T \geq 2t_s$ 。将该方波信号重复地加到系统的输入端,可用长余辉示波器观察测速发电机输出电压 U_e 的过渡过程。

三、实验用仪器和设备

1. 超低频正弦信号发生器;
2. 长余辉示波器;

3. 光线示波器（或者X-Y记录仪）；
4. 电动机转速控制系统实验装置。

四、测试方法

首先，使系统处于闭环状态，工作点调到 $U_{c0} = 20V$ ，由正弦信号发生器加入方波信号（信号的周期 $T = 3.5s$ ），并使反馈系数 $\alpha = 0.5 \sim 0.2$ 。此时系统可能处于不稳定的工作状态，应立即加校正装置，并顺时针旋转电位器 W_4 ，使系统处于稳定的工作状态。显示和记录系统过渡过程可采用下述两种方法：

方法一 用长余辉示波器，将测速机输出电压 U_c 接在示波器Y轴输入端，适当调节扫描速度，观察系统的阶跃响应。调节反馈校正参数 β (W_4 分压的大小)，可获得两种不同的过渡过程曲线， $\beta = \beta_1$ ， $\beta = \beta_2$ ($\beta_2 > \beta_1$)。记录纵坐标 U_c 峰值和稳态值在荧光屏上所占用的格数，可求出超调量 $\sigma_p\%$ 。用示波器时标周期记录系统过渡过程时间 t_s 、上升时间 t_r 和峰值时间 t_p 。

方法二 用X-Y记录仪或光线示波器直接记录系统的过渡过程曲线，并求出超调量、过渡过程时间、上升时间和峰值时间。

五、实验报告要求

1. 绘出 $\beta = \beta_1$ 和 $\beta = \beta_2$ ($\beta_2 > \beta_1$) 两种参数下的过渡过程曲线，并标出系统的超调量和过渡过程时间，分析 β 的大小对系统稳定性的影响。
2. 分析系统开环放大倍数的大小对稳定性的影响。

六、思考题

1. 为什么作为阶跃输入信号的方波信号，其周期要大于系统过渡过程时间的两倍？
2. 并联校正装置的电压反馈系数 β 对系统开环放大倍数有什么影响？

实验三 电动机转速控制系统频率特性的测试

一、实验目的

1. 掌握用超低频系列仪器和 BT6 频率特性测试仪测试系统或元件频率特性的原理及方法；
2. 学习由实验测得的开环频率特性确定系统开环传递函数的方法。

二、实验原理

待测系统的输入和输出信号如图1-5所示。

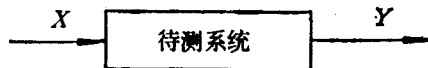


图 1-5 待测系统输入和输出信号

在系统的输入端加一个正弦输入信号

$$X = X_m \sin \omega t$$

则系统输出信号为

$$Y = Y_m \sin(\omega t + \theta)$$

系统的频率特性为

$$G(j\omega) = |G(j\omega)| e^{i\theta}$$

其中幅频特性为

$$|G(j\omega)| = \frac{Y_m(\omega)}{X_m}$$

相频特性为

$$\theta(j\omega) = \angle G(j\omega)$$

X、Y信号在双线示波器上显示的图形如图1-6所示。

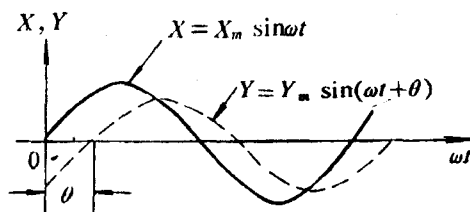


图 1-6 X、Y信号波形

三、实验用仪器和设备

1. 超低频信号发生器；
2. 移相器；
3. BT6 频率特性测试仪；
4. 长余辉示波器；
5. 电动机转速控制系统实验装置。

四、测试方法

频率特性的测试方法很多，下面只介绍两种。

1. 利用正弦信号发生器、示波器与移相器配合，直接测出频率特性的方法。

测试原理线路图如图1-7所示。在未介绍测试方法之前，首先介绍根据利萨如图形判别X、Y轴输入信号的相位差方法，利萨如图形如图1-8所示。

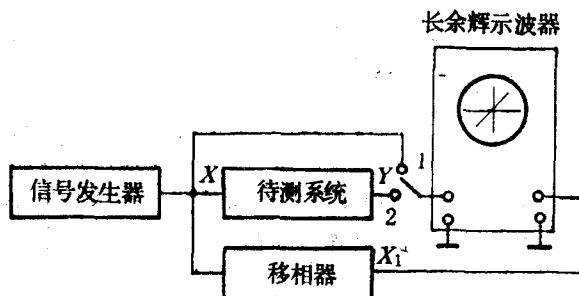


图 1-7 频率特性测试原理图

当 $\omega t = 0$ 时, 有

$$X(0) = X_m \sin 0 = 0$$

$$Y(0) = Y_m \sin(0 + \theta) = Y_m \sin \theta$$

因此

$$\theta = \arcsin \frac{Y_0}{Y_m} = \arcsin \frac{2Y_0}{2Y_m}$$

Y_0 和 Y_m 可在利萨如图形上求得。当变化输入信号 X 的频率 ω 时, 就可得到一组利萨如图形, 其图形形状与幅值、相位的关系如图1-9所示。

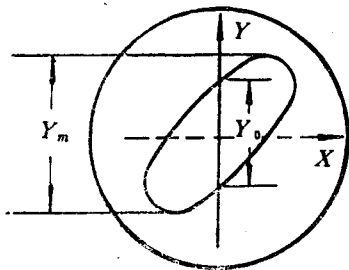


图 1-8 利萨如图形

相位差	0°	$0 \sim 90^\circ$	90°	$90^\circ \sim 180^\circ$	180°	$180 \sim 270^\circ$	270°
图形							
计算公式 $\theta =$	0°	$\arcsin \frac{Y_0}{Y_m}$	90°	$180^\circ - \arcsin \frac{Y_0}{Y_m}$	180°	$180^\circ + \arcsin \frac{Y_0}{Y_m}$	270°

图 1-9 利萨如图形与幅值、相位的关系

下面利用图1-7简述频率特性的测试原理:

若待测系统 X 和 Y 信号之间有相位差 $\theta_1(\omega)$, 可调节移相器相移旋钮, 使 X 和 X_1 之间的相位差亦是 $\theta_1(\omega)$, 即使 X 信号移相 $\theta_1(\omega)$ 角度, 则 Y 与 X_1 之间相位差就等于零, 在示波器上显示的利萨如图形就是一条斜线。这样就可从移相器的刻度盘上直接读出角度 $\theta_1(\omega)$, 此角就是系统输出信号与输入信号之间的相位差。实验时, 每改变一个频率, 调节移相器的相角, 使荧光屏上呈现一条斜直线, 就可测出系统的相频特性。

幅频特性的测试方法是先将正弦信号发生器的输出信号 X 接到示波器 Y 轴输入端(将 K 置于1), 然后将示波器 X 轴增益旋钮逆时针旋到头, 再适当调整示波器增益旋钮, 读出 Y 轴输入信号(亦即系统的输入信号)在荧光屏上所占有的格数, 并记录。然后, 将 K 置于2, 适当调节 X 轴增益旋钮, 在某一频率下, 调节移相器相角, 使荧光屏上的利萨如图形呈现一条斜直线, 再把 X 轴增益调到零, 读下 Y 轴输入信号(亦即系统的输出信

号)在荧光屏上所占有格数。以后每改变一个频率,都重复上述操作,从而可测出系统的幅频特性。具体做实验时,应首先连好测试电路。正弦信号发生器输出信号是用 $T/2$ (T 为信号的周期)来表示。测量闭环频率特性时,可取 $T/2=3.00\sim 0.1s$,而测量开环频率特性时, $T/2=6.00\sim 0.1s$ 。

2. 利用BT6型低频频率特性测试仪可直接测出系统的对数幅频特性和对数相频特性。测试原理参见图1-10。

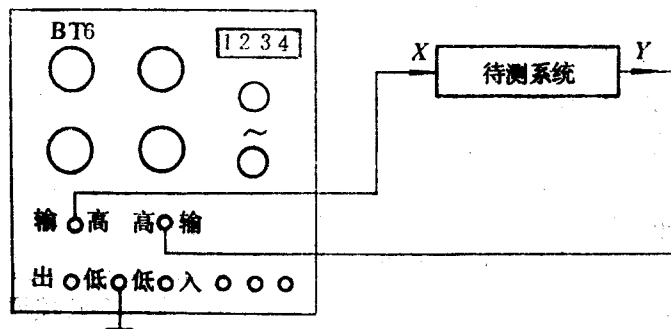


图 1-10 用BT6测试系统的频率特性

五、实验报告要求

1. 画出闭环系统的幅频特性,求出 M_r 、 ω_r ,并根据经验公式求出 $\sigma_p\%$ 。

$$\sigma_p\% \leq \frac{1.18M_r - M(\omega)}{M(0)} \times 100\% \quad (1-4)$$

2. 画出具有校正装置的系统开环对数频率特性,并求出开环放大倍数 K 、交接频率 ω_i 、剪切频率 ω_c 及相角裕度 γ 。

3. 画出无校正装置的系统开环对数频率特性,求出开环放大倍数 K 、交接频率 ω_i 、剪切频率 ω_c 、相角裕度 γ ,并近似写出系统开环传递函数。

4. 比较2和3两特性指标,讨论校正装置对系统质量的影响。

六、思考题

1. 如何根据系统开环频率特性确定系统开环传递函数?
2. 何谓系统的通频带?通频带的宽窄对系统的性能有何影响?