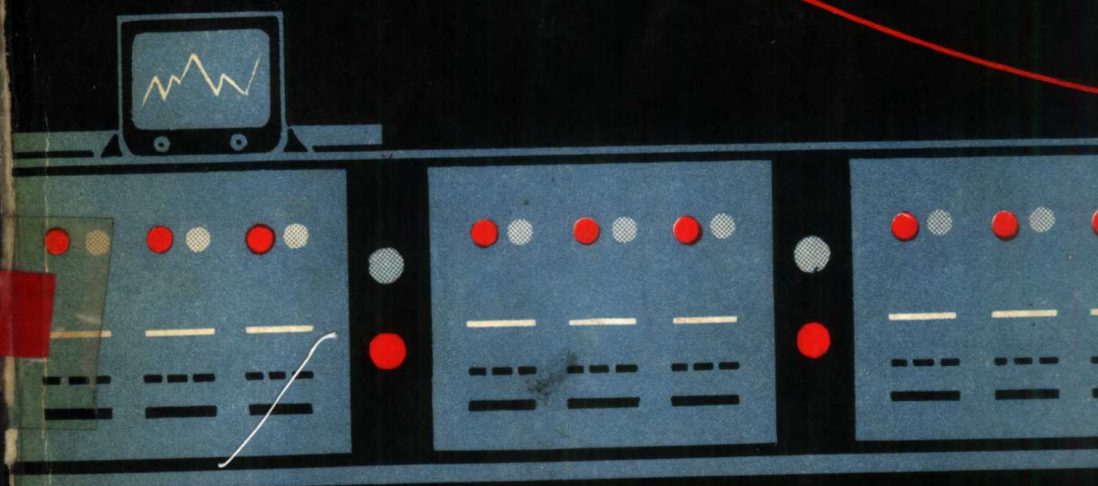


ZIDONGKONGZHIXITONG

自动控制系统



辽宁人民出版社

自动控制系统

伊藤政八
(日) 加村正夫 著
福岡佑治

郑永植 赵树萍 裴定远 译

刘 玉 璧 校

辽宁人民出版社

一九八二年·沈阳

自動制御システム

伊藤政八

加村正夫 共著

福岡佑治

根据日本電気書院1974年版译出。

自动控制系统

郑永植 赵树萍 裴定远 译

刘玉璧 校

*

辽宁人民出版社出版

(沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行

沈阳新华印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 16 1/2 插页: 3

字数: 420,000 印数: 1—5,200

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

统一书号: 15090·94 定价: 2.15元

前 言

随着科学技术日新月异的发展，自动化技术不仅广泛用于发电厂的自动运行，电力系统的自动控制，水处理设备的综合自动化，交通、通讯、大型楼房的供电、空气调节系统以及其他工业部门，而且还用于雷达、坦克、飞机、导弹和宇宙航行，所以它已逐渐发展成为一门专门的科学。

采用自动化装置的目的在于稳定产品质量、提高工作效率、节省人力、提高动作的准确性和快速性等，这对于很多部门和专业来说是必不可少的。

在这些自动控制方面起中心作用的是反馈自动控制技术，即反馈自动控制系统。自从瓦特蒸汽机上设置的调速器应用自动控制技术以来，在通讯学、机械学、电工学等方面开展了控制理论的研究，特别是由于采用了最新出现的各种自动控制元件，就使自动控制系统具有更高的性能。

为了适应新的形势，促进我国自动化技术的发展，加快四个现代化的步伐，我们翻译出版了《自动控制系统》一书。

本书首先讲述基础理论，然后列举各种自动控制元件，并且尽可能结合实际说明自动控制系统的设计方法。最后，为提高运用基础知识的能力，还介绍了各种自动控制系统在一些生产部门的应用情况。

本书在翻译过程中得到辽宁省科学技术情报研究所张继增同志以及有关院校和研究所的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

2757

内 容 简 介

《自动控制系统》主要介绍自动控制理论,系统中所使用的各种自动控制元件,各电气元件传递函数的求法以及自动控制系统的设计方法。作为应用,本书还详细地介绍了在火力、水力等发电设备,大中小型电力系统,钢铁以及塑料、橡胶、乙烯树脂、造纸、电缆(线)等工业部门使用的较先进的自动控制系统。每章末尾附有习题。

本书可供从事生产过程自动控制的工程技术人员及大专院校有关专业的师生参考。

目 录

1 自动控制概要

1.1 自动化.....	1
1.2 顺序控制.....	2
1.3 反馈控制.....	3
1.4 两种控制方式的区别	3
1.5 自动控制概念的演变	5
1.6 自动控制系统的种类	6
1.6.1 按给定值的时间性质分类.....	6
1.6.2 按自动控制系统的使用部门分类.....	8
1.6.3 其他分类.....	8
练习题.....	9

2 自动控制理论

2.1 自动控制系统的特性	10
2.2 方块图和传递函数概念.....	14
2.3 拉普拉斯变换	16
2.4 传递环节的种类	26
2.4.1 比例(0阶)环节	27
2.4.2 惯性环节.....	29
2.4.3 积分环节.....	31

2.4.4	微分环节	34
2.4.5	一阶环节的组舍	37
2.4.6	时滞环节	38
2.4.7	其他环节	39
2.5	方块图的变换	40
2.6	频率响应	44
2.6.1	惯性环节的频率响应	47
2.6.2	积分环节的频率响应	52
2.6.3	微分环节的频率响应	53
2.6.4	一阶环节的组舍频率响应	54
2.6.5	振荡环节的频率响应	55
2.6.6	时滞环节的频率响应	61
2.6.7	比例 + 积分 (PI) 环节	61
2.6.8	比例 + 微分 (PD) 环节	63
2.6.9	比例 + 积分 + 微分 (PID) 环节	65
2.7	稳定性	65
2.7.1	奈奎斯特 (Nyquist) 稳定判据	70
2.7.2	波德稳定判据	78
2.8	响应特性	80
2.8.1	稳态响应特性	81
2.8.2	过渡响应特性	86
2.8.3	理想滤波器	88
练习题		91

3 自动控制元件

3.1	传感器	95
3.1.1	传感器的种类	95
3.1.2	电位计	96
3.1.3	差动变压器	99

3.1.4	同步电机	101
3.1.5	伺服发电机	104
3.1.6	电压检测电路	105
3.1.7	功率及无功功率检测电路	107
3.1.8	功率因数检测电路	111
3.1.9	频率检测电路	112
3.2	放大器	114
3.2.1	放大器的种类	114
3.2.2	晶体管放大器	116
3.2.3	可控硅	122
3.2.4	磁放大器	133
3.2.5	电机放大机	139
3.2.6	补偿元件	141
3.3	流体控制元件	143
3.3.1	液压系统与气动系统	143
3.3.2	喷嘴挡板	144
3.3.3	射流管	145
3.3.4	滑阀	147
3.3.5	作动器	150
练习题		151

4 电气机器传递函数的求法

4.1	直流发电机的传递函数	154
4.1.1	他激直流发电机的传递函数	157
4.1.2	有两个励磁线圈的他激直流发电机的传递函数	162
4.1.3	带有他激励磁线圈的并激直流发电机的传递函数	167
4.1.4	带有他激励磁线圈的串激直流发电机的传递函数	171
4.2	交流发电机的传递函数	176
4.2.1	由简易法求传递函数	176

4.2.2	由二轴法求传递函数	177
4.3	直流电动机的传递函数	192
4.3.1	励磁电流恒定时, 控制端电压的他激直流 电动机的传递函数	193
4.3.2	端电压恒定时, 控制励磁电流的他激直流 电动机的传递函数	200
4.4	涡流接头的传递函数	212
4.5	感应电动机的传递函数	217
4.5.1	克莱玛方式的传递函数	221
4.5.2	谢尔比乌斯方式的传递函数	229
4.6	求运动体传递函数所需的关系式	238
4.7	运算放大器的传递函数及其应用电路	244
4.7.1	运算放大器的原理及其传递函数	244
4.7.2	限幅电路与死区电路	255
4.7.3	具有限幅器的运算放大器应用实例	258
4.7.4	检测比较电路	261
4.7.5	运算放大器使用上应注意的问题	263
4.8	可控硅电路的应用及其传递函数	270
4.8.1	可控硅电路及其传递函数	271
4.8.2	可控硅电路在应用上的问题	279

5 自动控制系统的设计方法

5.1	自动控制系统的设计程序	284
5.1.1	被控机器自动控制系统的确定	284
5.1.2	被控机器的确定	289
5.1.3	基本控制系统的确定	296
5.1.4	执行机构额定值的确定	305
5.1.5	传感器、给定器及放大器的确定	303
5.1.6	绘制方块图	311

5.1.7	稳态精度的计算	311
5.1.8	特性设计	311
5.1.9	与顺序回路的关系	312
5.1.10	图纸的绘制	312
5.2	利用模拟计算机分析自动控制系统	312
5.2.1	模拟计算机概要	313
5.2.2	利用模拟计算机分析自动控制系统的实例	325
5.3	利用波德图分析自动控制系统	338
5.3.1	绘制波德图应掌握的基本事项	338
5.3.2	波德图的绘制方法	340
5.3.3	利用波德图进行自动控制系统稳定判别的方法	347
5.3.4	根据波德图掌握过渡响应特性的要点	350
5.3.5	确定自动控制系统补偿电路的试验方法	364
练习题		365

6 发电设备的自动控制系统

6.1	发电设备自动控制系统的种类	368
6.2	发电机的励磁控制	370
6.2.1	励磁控制的目的与动作	370
6.2.2	励磁系统的组成与分类	378
6.2.3	采用直流励磁机的励磁系统	381
6.2.4	采用交流励磁机和硅整流器的励磁系统	386
6.2.5	自激方式中的复激式励磁系统	388
6.2.6	采用可控硅直接励磁方式的励磁系统	392
6.2.7	功率因数及无功功率的控制	396
6.3	水轮机的速度控制	398
6.3.1	调速机的使用目的	398
6.3.2	调速机的动作	401
6.3.3	调速机的特性	404

6.3.4 机械式调速机	410
6.3.5 电气式调速机	414
6.3.6 水位调节器	419
6.4 蒸汽轮机的控制	423
6.4.1 蒸汽轮机控制装置的动作与分类	423
6.4.2 机械式控制装置(调速机)	425
6.4.3 电气式控制装置(调速机)	430
6.5 内燃机的调速机	432
6.6 锅炉的自动控制	434
练习题	436

7 电力系统中的自动控制系统

7.1 电力系统及其自动控制	438
7.2 频率·有功功率控制	440
7.2.1 系统特性和控制分担	440
7.2.2 自动频率控制(AFC)	445
7.2.3 自动频率控制(AFC)与经济负载 分配控制(EDC)的协调	450
7.2.4 辅助调节	451
7.3 电压·无功功率控制	452
7.3.1 电压·无功功率特性	453
7.3.2 电压·无功功率控制机器	457
7.3.3 电压·无功功率的控制方式	458
练习题	462

8 一般工业部门使用的自动控制系统

8.1 电动机的同速运行	463
8.1.1 直流电动机的同速运行	463
8.1.2 直流电动机同速运行时的问题	470

8.1.3 交流电动机的同速运行	473
8.2 环路控制	474
8.2.1 环路控制的目的	474
8.2.2 环路的检测法及其传递函数	474
8.2.3 环路控制的实例	479
8.2.4 环路控制的注意事项	481
8.3 直流电动机的电枢电流控制	481
8.4 卷绕机的控制	483
8.5 位置控制	493
练习题解答	494

1 自动控制概要

为掌握自动控制的概概念，本章首先解释与控制有关的术语，并列举常见的例子来概述自动控制的动作。

1.1 自 动 化

自动化一词，我们已经不感到陌生，因为工业各部门正在广泛地采用着自动化技术。

在美国所说的自动化意味着：在制造零件、机械和器具时，采用自动机械和装置来尽可能地节省人力，或者在化学、石油精炼以及其他生产过程中，采用能使所谓过程量（流量、压力、成分等）保持在给定值的自动化装置，特别是依靠计算机合理处理全部过程。自动化要解决的是：提高并稳定产品质量、提高设备驱动效率，以便达到最经济地进行生产和经营的目的；在人力不能胜任的复杂工作或者人所不能靠近的场合，实现自动操作；尤其是把人们从历来的繁重劳动中解放出来，从事要求有更高判断力的工作。

自动化结构有顺序自动控制和反馈自动控制，还有把两种控制组合起来能够提高自动化效果的结构。

本书着重论述反馈自动控制，但首先要搞清两种方式的区别。

1.2 顺序控制

根据 JIS*自动控制术语(Z8166—1972), 所谓控制就是: “为达到某一目的, 对称之为对象的机器进行操作”; 而手动控制是: “由人来完成的控制动作”; 自动控制则是: “用控制装置自动完成所需的操作”。就是说, 作为控制方法, 把由机械(广义的)自动完成操作的情况叫做自动控制, 而靠人力直接完成控制动作的情况叫做手动控制。

比如, 乘电车的人要到另一车厢时, 必须把关着的门用手打开。但是, 对东海道新干线**车辆来说, 只要人站到门前, 门就会自动打开, 当人离开车门一定时间后, 门就自动关闭。可以说, 前者为手动控制, 后者为自动控制。这是纯属于手动控制和自动控制的例子。

下面再举一个有关控制的例子——门灯开闭。一到傍晚天黑, 人们就操作开关来开灯, 到早晨天亮时再把开关关闭熄灯。这一系列动作可以自动实现。利用时间开关, 例如把它调节到18点使电路接通, 7点使电路断开, 这样就可以不靠任何人力自动实现所需动作。

以上所述的控制方法叫做顺序控制。根据 JIS的定义: “按预先确定的顺序进行各阶段的控制”就叫做顺序控制。因此, 根据这一定义, 在顺序控制时, 有以下几种预先确定下一阶段所要完成的控制动作。

- (1) 当前一阶段控制动作结束之后转到下一动作时。
- (2) 当前一阶段控制动作结束, 再经一定时间之后转到下一动作时。

* JIS 系日本工业标准。——译者注

** 指日本一条铁路干线。——译者注

(3) 根据前一阶段的控制结果, 选定下一阶段所要完成的控制动作, 转到下一阶段时。

以上各类动作组合出现的情况也很多。把这一系列动作由人来完成的叫做顺序手动控制, 而若这一过程能自动完成, 就叫做顺序自动控制。前面所讲的开关车门一例, 属顺序控制。

1.3 反馈控制

再举一电熨斗作为例子。从前曾用与电熨斗内部构造相似的小型电热器或白炽灯取暖。当开关闭合时内部温度随即上升, 感到温度过高时把开关断开。人们为保障适当的温度必须经常进行开闭动作。

目前社会上出现的电熨斗, 当然不是象前面所说的原始的东西, 而是都装有恒温器。当其内部温度高于某一给定值时, 恒温器就断开电源, 相反, 当其内部温度低于某一给定值时, 就接通电源。如此进行调节, 使其内部温度始终保持在一定范围。

这种控制与门灯开闭不同, 称为反馈控制。JIS 规定的定义是: 由反馈决定的控制值与给定值相比较, 使这两个值成为一致的调节动作叫做反馈控制。

拿电熨斗来说, 靠人工开闭的原始电熨斗可称为反馈手动控制, 而带有恒温器的电熨斗可称为反馈自动控制。

1.4 两种控制方式的区别

这里, 在搞清了反馈控制的特点之后, 为了进而搞清反馈控制与顺序控制之间的不同点, 就有必要详细研究一下电熨斗的动作。图1.1表示的是恒温器的工作原理。现在来研究在某一温度(例如 15°C)下触头轻轻关闭时的情况。调整温度调节螺丝, 使可动弹簧的基线产生一个 $\Delta\theta_1$ 的角变化。如果双金属片不动, 触

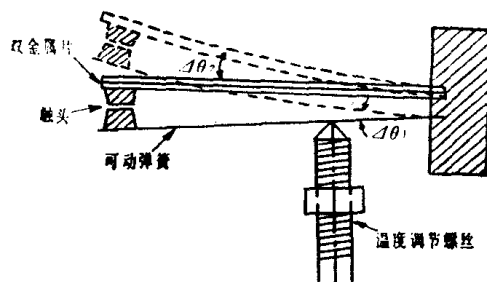


图1·1 电熨斗温度调节机构

头将被强压，但只要温度一开始上升，双金属片随即被弯曲，由原来的位置再产生一个 $\Delta\theta_2$ 的角变化，使触头开启。电源接通后，在 $\Delta\theta_2$ 从 0 到 $\Delta\theta_2$ 以前通电，而到 $\Delta\theta_2$ 时就停止通电。用温度调节螺丝加减 $\Delta\theta_1$ ，可任意调节通电区间。

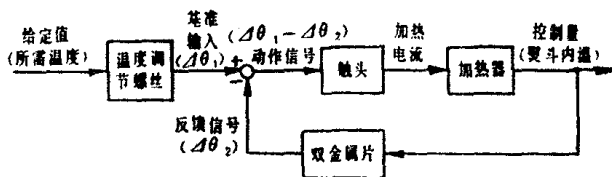


图1·2 电熨斗自动控制方块图

图1·2所示的是电熨斗自动控制方块图。假如我们所需温度为 50°C ，那么，把它称做给定值。为获得此值，调整调节螺丝确定与 50°C 相对应的 $\Delta\theta_1$ ，并把 $\Delta\theta_1$ 称做基准输入。另一方面，把双金属片的角度变化 $\Delta\theta_2$ 称做反馈信号。比较 $\Delta\theta_2$ 和 $\Delta\theta_1$ ，当 $\Delta\theta_1 \geq \Delta\theta_2$ 时，触头就闭合， $\Delta\theta_1 < \Delta\theta_2$ 时，触头就开启。 $(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)$ 称为动作信号或称控制偏差。该值大于零时，触头压力起作用，加热器通电，于是熨斗内部温度上升。熨斗内部温度称做控制量，而其内部温度使双金属片产生弯曲。当 $\Delta\theta_2$ 增加到 $(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2) < 0$ 时，触头被开启，加热器断电，内部温度开始下降。随着温度的

下降, $\Delta\theta_2$ 亦变小, 而且在 $(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2) \geq 0$ 时, 触头重新闭合, 加热器又通电, 重复温度上升动作。如此由调节螺丝确定的与 $\Delta\theta_1$ 相对应的熨斗内部温度, 大体上保持在一定范围 (当然, 由于熨斗内部温度引起的双金属片角度变化的时间延迟或触头开闭动作的滞后等原因, 不能使其内部温度为一定值, 而是保持在一定的温度范围)。

以上叙述了关于电熨斗温度控制动作, 在此需要注意的是:

1. 为确定控制量大小, 需要给定值。
2. 传递控制信号的路径为闭环, 信号在此闭环中单向传递 (逆向不传递)。

为获得所需温度, 必须确定给定值。为此调整调节螺丝, 确定 $\Delta\theta_1$ 为基准输入。熨斗内部实际温度, 即控制量, 经双金属片 $\Delta\theta_2$ 的角度变化过程之后进行反馈 (由输出返回输入), 并把 $\Delta\theta_1$ 同 $\Delta\theta_2$ 比较后的差值作为动作信号, 使触头开闭。当触头闭合时, 加热器通电发热, 使熨斗内部温度终于引起控制量的变化。此变化使重新反馈到输入端的动作反复进行, 进而确定给定值。信号传递路径对图1·2而言, 形成顺时针方向的闭环, 这可以说是反馈控制的特点。对已叙述过的原始电熨斗来说, 虽然人的感觉代替了恒温器, 触头开闭动作是由手工完成的, 但亦可理解为反馈控制。

顺序控制无特定给定值, 因此无输出输入量的比较, 传递信号不一定为闭环。这就是两种控制方式的最大区别。

1.5 自动控制概念的演变

从前我们所说的自动控制, 多半指反馈自动控制。1954年日本电气学会和机械学会联合委员会认为: “所谓自动控制, 是为了使物体、过程、机械等的某个量同外来给定值一致, 测量控制量并与给定值相比较, 根据比较结果, 自动完成校正动作。”但对