

第32篇 组装式电子综合控制装置

主编单位:

上海工业自动化仪表研究所

编写单位:

西安仪表厂 上海自动化仪表一厂

合稿人:

詹纪鸿

编写人:

詹纪鸿 董景辰 吴人祺

特约编辑:

甘和贵

CA14/2805

常用符号表

<p>A——电流指示表</p> <p>C_I——比例输入电容</p> <p>C_M——积分电容、存储电容</p> <p>C_D——微分电容</p> <p>E_i——输入电压信号</p> <p>E_o——输出电压信号</p> <p>E_f——反馈电压</p> <p>E_b——偏置电压</p> <p>E_s——设定电压</p> <p>E_G——手动跟踪电压</p> <p>E_H——上限设定电压</p> <p>E_L——下限设定电压</p> <p>E_{oD}——微分级输出电压</p> <p>E_{oP}——比例级输出电压</p> <p>F——运算放大器</p> <p>J——继电器</p> <p>J_{BC}——保持继电器</p> <p>$J_{Z/S}$——自动/手动切换继电器</p> <p>$J_{R/G}$——软手动/跟踪切换继电器</p> <p>J_s——手动切换继电器</p> <p>J_{s1}——软手动切换继电器</p> <p>J_{s2}——硬手动切换继电器</p> <p>K——一般开关、增益</p> <p>K_0——开环增益</p> <p>K_o——闭环增益</p> <p>K_p——比例增益</p>	<p>K_I——积分增益</p> <p>K_D——微分增益</p> <p>k——斜率、电路内可调增益</p> <p>L_z——自动指示灯</p> <p>L_s——手动指示灯</p> <p>L_x——故障指示灯</p> <p>m——倍率</p> <p>P——比例范围、比例带</p> <p>R_i——输入电阻</p> <p>R_f——反馈电阻</p> <p>R_L——负载电阻</p> <p>R_D——微分电阻</p> <p>R_I——积分电阻</p> <p>S——手动状态</p> <p>S_1——软手动操作（指速度式增加/减少手动操作）、软手动输入信号</p> <p>S_2——硬手动操作（指位置式手动操作）、硬手动输入信号</p> <p>S'_1——软手动继电器动作信号</p> <p>S'_2——硬手动继电器动作信号</p> <p>T——跳线</p> <p>T_I——积分时间</p> <p>T_D——微分时间</p> <p>δ——不灵敏区</p> <p>α——分压系数</p> <p>β——反馈系数</p>
--	---

第1章 概 论

1 组装式电子综合控制装置的发展背景和特点

工业自动化仪表的发展与整个工业生产和科学技术水平的提高是分不开的。其中自动控制仪表与电子技术发展的关系就更加密切。自从四十年代以来,自动控制仪表已经发生了很大的变化。六十年代期间,由于工业生产装备的大型化和复杂化,迫切要求人们改善控制方式,从而出现了试图用电子计算机实现生产过程的最佳控制,这一趋势又促进了电子控制仪表的更进一步发展。六十年代末至七十年代后期,国际仪表行业在新兴起的计算机控制装置的影响下,也积极倡导改进电子控制仪表的设计,并行发展了两种结构体系,即单元式(整体形)和组装式(分离形),满足了过程控制使用的需要。

近代工业生产规模日益扩大,工艺过程愈益复杂,要求能处理多变量控制等一系列问题。另外,随着控制理论不断完善,过程控制系统由开环控制进到以反馈理论为基础的闭环控制,以至于各种复杂的控制,如前馈、解耦、自适应和相关控制等。因此,要想设计出能够满足现代控制系统要求的仪表装置,必须首先对整个系统的静态和动态性能及其相互间的复杂关系,以及安全性和经济性等因素进行分析、研究,从整个系统出发,使设计符合使用要求。一般说来,在设计时应考虑下列几点要求,即

- 1) 容易进行系统设计;
- 2) 容易进行仪表(硬设备)的选择;
- 3) 仪表盘的设计、安装和检查方便合理;
- 4) 仪表应用工程简单化;
- 5) 维护操作简便、容易。

从仪表设计制造方面看,还要求便于采用先进的工艺,易于产品的不断更新和提高生产效率。使所设计的仪表系统能达到功能通用化、结构标准化和品种系列化。七十年代初期,市场上出现的组装式电子综合控制装置,就是按上述要求设计的一种

控制装置。它按照控制系统的要求,在结构上进行功能分离,如将显示操作功能与运算调节功能在结构上分离。其中运算调节部分也是按功能划分的,通常把构成它的印制电路插板称为功能组件,它们可装在标准的机箱(或机架)内,是构成控制系统的基本单元;而显示操作部分可以是一些自成系列的盘装仪表。这种控制装置的特点如下:

- 1) 使用灵活,按系统功能组合便利,更改设计容易;
- 2) 互换方便、维修容易,可实现快速维修;
- 3) 系统可扩展能力强,可从小规模系统入手,逐渐发展到采用计算机控制的系统;
- 4) 引入监控功能,有利提高系统运行的安全性;
- 5) 能提高装置设计、装配的效率,有利于降低成本。

我国自七十年代后期开始,根据电站锅炉自控要求,开展了组装式电子综合控制装置的研制工作,并先后出现了组件组装式和模件组装式两种产品。这类成套控制装置的问世,标志着我国自动控制仪表发展到新的阶段。

2 组装式电子综合控制装置的设计概要

2.1 设计思路

组装式电子综合控制装置在设计时主要考虑的是既要有利于控制系统的工程应用,又要有利于仪表的加工制造和质量管理。

虽然工业控制对象具有不同的物理性质,但是在控制特性的数学描述上确具有某种共同性,因此,反应到控制系统的功能结构上也是基本上类同的。若以此为基础拟定一组特定的基本单元,使每一单元都具有构成系统所需的某种功能,将这些单元进行不同的组合,形成多种多样的系统功能,完成不同的控制任务,这就是单元化的设计思想。在系统设计和仪表制造时,单元化对减少品种具有良好效果。一般说来,单元划分愈细,灵活性愈大,

但也暴露出外接线路复杂、结构臃肿、组成系统松散、成本增加、使用不便等缺点。尤其在构成大型工程成套控制系统时,传统的单元组合式仪表就显得灵活性不足、整体布置松散、表盘和控制室设计效率不高、监控不便、组合复杂以及与计算机兼容性不强等弱点。然而单元化的设计思想已把装置结构的标准化扩大到电路功能实现标准化,这种功能实现标准化的电路,犹如独立的积木块,也叫做功能组件,它在电路上有独立电路的功能,在结构上完全是标准化的网络结构的模件,这就是七十年代的模件式设计思想,也是近代电子控制装置主要的设计思想。

在设计中,重要的是应如何划分这些功能组件和以何种方式组合最佳,这个问题对调节器来说尤为突出。图32.1-1所示为调节器的两种不同结构体系。图中a)为整体结构、功能合一,称单元式

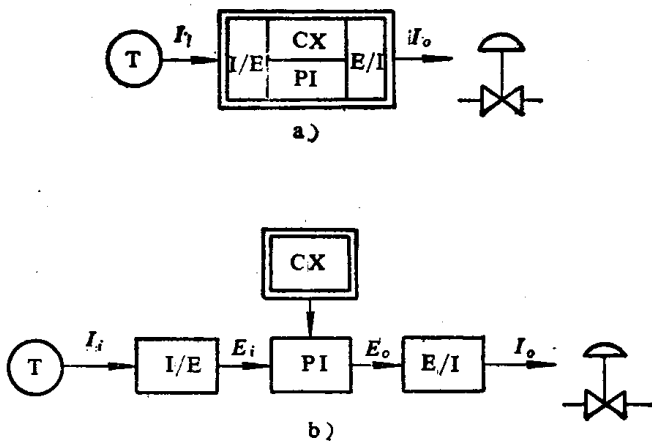


图32.1-1 调节器的两种结构体系

a) 单元式 b) 组装式

T—变送器; CX—显示操作; I/E—输入转换;
E/I—输出转换; PI—比例积分运算

(又称整体形)结构体系;图中b)为分离结构、功能依存,称组装式(又称分离形)结构体系。对于单回路控制来说,前者简单实用,虽然灵活性较差,但已能满足使用要求,在以电子管和晶体管为基本器件的阶段,它成为工业控制仪表的主流。由于多回路控制对灵活性和总体布局都提出了较高要求,显然,应用后者就更适宜。此外,由于采用了集成电路,使仪表设计、制造水平产生了质的飞跃,功能组件的种类和数量之间的矛盾逐渐获得解决,使组装式结构体系由于具有组装灵活、结构简化、布置紧凑、外线工程的缩减等优点,而将成为经济有

效的自动控制装置。

控制装置的可靠性是系统安全运行的基础,因此,装置的可靠性是当前必须解决的主要矛盾。

2.2 设计要点

2.2.1 信号标准

信号标准是实现仪表系统灵活组合的重要条件,选用信号制的原则是传输精确,运算方便,系统组成容易,有利于新老设备的混用和更新。目前,一般采用三种不同的信号制:现场传输信号采用电流制;控制室内进行运算处理的信号采用电压制和电流/电压制。电压制信号的负载是并联的,适于组件结构,插拔方便,组装灵活。电压信号的量程为0~10V直流。此量程符合人们十进制习惯。从零开始的信号,便于数学运算、标度变换和误差分析,并可简化电路。提高信号电平(10V),抗干扰性能好,同时可降低运算放大器失调参数和温度影响所造成的漂移误差。

现场传输信号为0~10mA和4~20mA直流。组装式综合控制装置与现场信号联络的输入输出接口,一般是采用专门的转换组件,也可以采用标准型组件,通过简单的跳线(对不同量程的电压信号)或跨接不同的电阻(对不同量程的电流信号)直接与变送器或执行器相连,与执行器相联的输出接口组件,还可以通过组件内装的输出转换级转换为电流输出信号。各种非标准信号(如频率、脉冲、开关量等)经相应的转换组件后,变成统一的标准信号。

2.2.2 供电电源形式

电源的设计对整套装置的安全性、灵活性和经济性等影响很大。电源形式与运算放大器对电源的要求和信号的量程有关。目前采用集中供电方式,电源幅值采用:单电源为24V直流或双电源为±15V直流。在采用单电源供电时,对功能组件上运算放大器的电源(±15V)还采取了特殊措施。

2.2.3 可靠性和安全性

装置的可靠性是设计中首要考虑的因素。把简化电路设计、正确选用电子元器件、严格控制元件质量和电路的冗余度、引用焊接和绕接新工艺等作

为提高可靠性的本征措施。同时，在系统里引进安全保护措施(监控、多级手操、后备电源等)，使得一旦出现操作或系统方面的故障(如误操作、信号线中断、失电、主设备异常)时，能自动进行切换和连锁，以此作为提高可靠性的防范措施，也是确保系统运行的安全性措施。

2.2.4 应用灵活性

灵活性是整套装置固有的设计特点。首先，体现在仪表配套方面的灵活性，除能与标准信号变送器配用外，亦能与其他检测仪表和传感器配套使用，从而扩大了仪表配套能力。其次，体现在系统组成方面的灵活性，由于功能和结构的标准化，容易按功能要求实现系统的组成、更改或扩充。第三，体现在装置结构方面的灵活性，根据系统功能的规模和复杂程度的不同，可组装成符合用户需要的大、小不等的装置形式。第四，体现在模拟调节系统与监控系统相结合，并能与计算机控制系统相兼容(通过专用接口)，容易实现直接数字控制(DDC)和给定值控制(SPC)。

2.2.5 经济性

装置设计中的重要因素之一是对经济性的考虑。在设计中应作到：采用最成熟的电路，减少电路种类；既要满足使用要求又要减少仪表的基型品种；在不影响系统灵活性的前提下，尽量使每一个功能组件具有尽可能多的功能，减少硬件数量，有利于提高系统的可靠性，亦有利于降低成本；大量采用金属型材结构件，充分发挥组装特点，使整套装置现场安装时间最短，并能及时投运，缩减系统工程的费用。此外，还应尽量简化维修程序。

2.2.6 可维修性

组装式电子综合控制装置必须考虑可维修性，所有组件运行状态的监视、测试点，均设在正面板上；组件内部电路故障维修的测试点，设在印制电

路板上，通过引接板可以进行在线测试。对功能组件还备有专用校验器。凡此，均能适应于快速维修的要求。

3 组装式电子综合控制装置的基本型式和分类

3.1 系统组成和基本型式

图32.1-2所示为组装式电子综合控制装置的系统组成框图。来自现场不同的变送器信号输入到控制装置内，经过各种必要的转换和运算处理后，再送到现场执行器。装置的基本型式，按照结构分

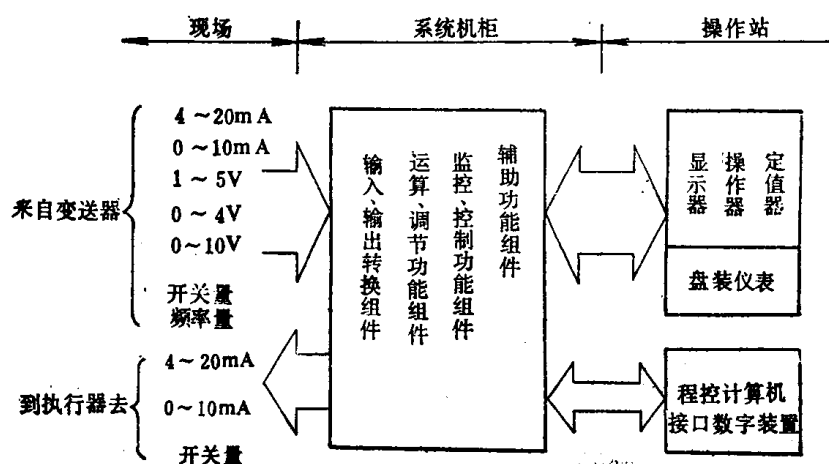


图32.1-2 组装式电子综合控制装置的系统组成框图

离、功能依存的原则，分为控制系统机柜和集中控制操作站两部分，如图32.1-3所示。控制系统机柜上装有各种功能组件，其中包括运算调节和逻辑监控组件以及系统电源箱，这是系统的核心部分。集中控制操作站上装有人和过程进行联系所必需的显示操作部件，如指示器、记录仪、显示操作器和定值器等。操作功能和信息显示部件之间的双向通信，是通过多芯电缆实现的。集中控制操作站置于控制室内，操作者在此区域内能对生产过程进行正常的运行操作。如调整给定值，进行自动和手动的切换，以及在手动状态时调整控制回路的输出值等。

显然，组装式电子综合控制装置以系统机柜和操作站为中心，配备必要的现场仪表和其他设备，如变送器、执行器、显示器、程控装置等，可以构

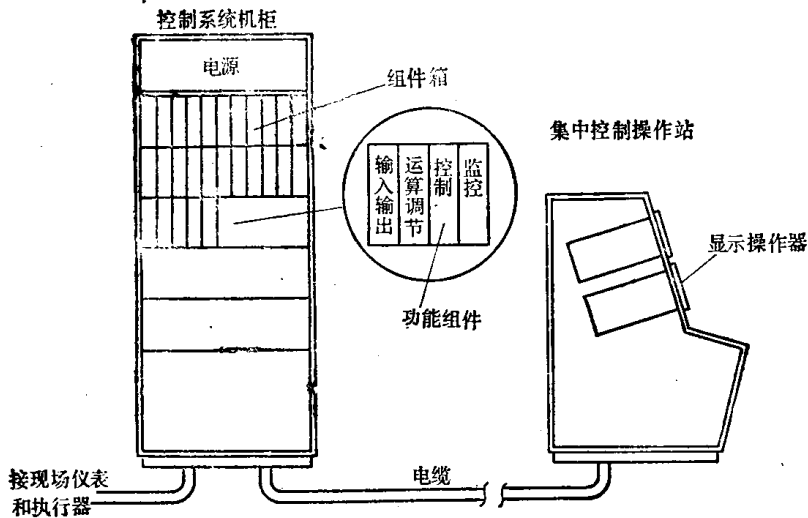


图32.1-3 组装式电子综合控制装置基本型式

成完整的系统。通过计算机专用接口，又可与计算机联用。

3.2 分类方法

组装式电子综合控制装置的硬设备，按照它们在系统中完成的功能，一般可分为以下七类：

1) 信号转换组件 分为输入转换和输出转换两种。输入转换组件用来接受各种变送器、检测仪表送来的信号，并将其转换为系统内部的统一信号(0~10V)，以便供系统作进一步处理。输出转换组件是用来将系统内的统一信号转换为送到现场的信号(4~20mA; 0~10mA 和开关量等)。在某些场合，信号需要隔离，因此，还设有隔离型输入和输出组件。

2) 计算组件 用来对0~10V信号进行加、减、乘、除和开方等算术运算处理。

3) 信号处理组件 除计算组件外包括报警(监视)、信号选择、信号限幅、信号变化速率限制、信号阻尼、信号偏置和各种非线性函数变换，以及跟踪比较，自动手动切换等组件。这些组件在系统中接受一个或几个0~10V的电压信号，经综合处理后，满足所需的逻辑关系或函数关系，从而扩大系统的功能，加强控制手段。

4) 调节组件 是自动调节系统的核心部件，包括比例积分(PI)、比例积分微分(PID)、积分、微分加法、偏差微分及比例加偏置等组件。这些组件除实现基本调节作用外，尚可带有抗积分饱和

(输出限幅)、引用前馈信号、参控信号(变参数)等附加功能，以便构成各种更为复杂、完善的调节系统。

5) 操作器 在系统正常情况下，按工艺要求实现对调节系统的遥控操作，通过操作器操纵执行器的动作。一般分为间接操作器和直接操作器两种。所谓间接操作器是指在操作执行器时，由操作器发出的操作指令必须通过系统机柜(调节组件或自动/手动切换组件等)实现操作功能者，包括有测量值指示的显示操作器和

无测量值指示的操作器。所谓直接操作器是指不通过系统机柜，操作指令由操作器直接产生而实现操作功能者，包括输出毫安电流的弱电操作器和直接用电网交流的强电操作器。直接操作器一般不与机柜共电源，还备有切换触点。此外，它还包括定值器等，这类仪表均为面板(表盘)安装式结构。

6) 监控组件 是实现监视、控制、保护功能的组件，包括监视、监控、继电、触点等组件。它们在故障情况下对工艺条件的完备性、电源条件、系统的完整性等进行监视或采取必要的保护措施，以保证系统安全运行。

7) 辅助功能组件和其它附件 除上述基本设备外，尚包括一部分辅助功能组件和其它附件，以及电源箱、填空组件、引接板、校验器等。

3.3 功能组件、组件箱及其布置方式

功能组件是整套装置的基本单元，按其构成方法目前有两种类型。

3.3.1 模件式结构

每个组件由一块通用的“模件”和一块专用的“程序板”两部分组成，更换不同的程序板可获得不同功能的组件。组件线路的电子元、器件大部分集中在模件上，模件的基础是一组优选出来的单元电路，称为“元电路”。程序板一般仅包括连接线路(印制电路)和少量的无源元件，主要是组件的整定元件。模件与程序板具有可靠的连接。

3.3.2 单板式结构

每个组件是由一块具有特定功能的印制电路板组成。组件线路由某些基本功能电路（优选出来的单元电路）组合而成。

组件结构的设计不仅与外观有关，而且是涉及到整套装置的可靠性和灵活性的重要问题。

3.3.3 组件箱（或机架）

机柜内安装功能组件的箱体结构称为组件箱（或机架），箱（架）内具有上、下导轨供组件插拔，共有11格，可容纳10块功能组件和1块监控组件，对格位号的顺序和制造厂标志均有规定。采用铝型材结构。单组件箱还可用来组装某些小系统，作台式安装或嵌装于表盘上。

3.3.4 组件的布置方式

各种功能在机柜机箱内的具体布置与许多因素有关，一般有两种方式。

1) 按功能布置：在一个机柜内，将同类型的功能组件布置在同一个（或几个）组件箱内。

2) 按回路布置：在一个机柜内，将与某一控制回路有关的功能组件集中布置在一个（或几个）组件箱内。

这两种布置方式各有其优缺点，表32.1-1所示

表32.1-1 组件箱的布置方式

布置方式	按功能布置	按回路布置
考虑内容		
系统规模	常用于较大系统	常用于较小系统
改接控制回路和附加功能的灵活性	容易实现	较难实现
维修和检验	功能的维修检验容易实现回路的维修检验比较困难	回路的维修检验容易实现功能的维修检验比较困难
回路故障影响	一个组件箱出故障受影响的回路数多	一个组件箱出故障受影响的回路数少
电缆连接和接线	能预先敷设电缆	不能预先敷设电缆
本安防爆	容易进行隔离防范	不容易进行隔离防范

是从应用观点对两种方式进行的比较。实际选用时还应考虑到应用的具体条件和工厂的特定要求。例如也有部分组件按功能布置（如安全栅），而其余组件按回路布置。

由于上述特点，用户可根据不同的用途而采取不同的结构布置。显示操作部分和系统机柜部分可以视控制系统的规模 and 设计要求而分开安置，或者合并安装。

3.4 系统机柜

组装式电子综合控制装置的系统机柜均按国家有关标准进行结构设计，所有结构件一般按同一尺寸基数使其系列化、标准化和组化。机柜的主体是非封闭的立式安装架，前后开门，左右挂门。采用铝型材和钢板结构。全部构件设计成标准构件，以便于按工业过程控制系统工程需要，选取相应构件组成整机。一般构件的尺寸基数常选用2.5mm、20mm为计算的单元数值。典型机柜尺寸为高2000mm、宽600mm、深600或610mm。

每一机柜最多可装设七个组件箱或八格机架，一般按装方法是电源机架、组件机架等自上而下顺次排列。外部接线端子、插座安装板及继电器支架等是装在机柜下面部分。

机柜可以单柜安装，也可多柜并装。机柜外形如图32.1-4所示。

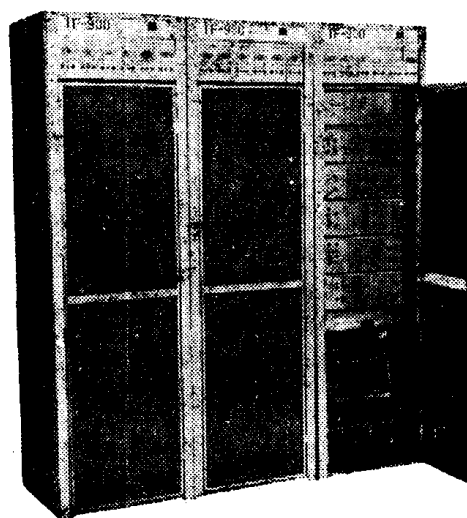


图32.1-4 系统机柜外形

组装式控制装置考虑与计算机的设定值控制（SPC）和图象显示装置（CRT）兼容，一般设计

有专用的接口组件，这些组件也插装在系统机柜中，从而大大简化了接线工程，减少了外界干扰。

3.5 操作站

操作站是实现人一机联系的主要装置，是由操作器、显示器、定值器、开关等仪表器件装在标准控制台（或盘）上而成。操作站中的操作器是系统中重要的接口装置，除可对调节系统进行遥控操作外，尚可根据系统需要接受监控和程控的连锁信号，实现外部强迫自动/手动切换和“增—减”操作。操作器一般分为四种型式，见表 32.1-2。图 32.1-5所示为显示操作器外形。

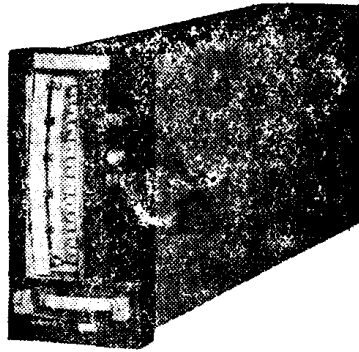


图32.1-5 显示操作器

机柜与控制盘或操作站之间的布线：由插头座通过多芯预置电缆连接，也可经D型端子连接。

机柜内部功能组件之间的布线方式有两种。一种为直接连接。另一种是采用独特的矩阵端子接线方式连接。在后者方式中所有组件之间的信号交换和导线联接全部集中在矩阵端子板上进行。这种方式对于按设计图纸进行系统接线、查线、检测或更改系统特别方便。

表32.1-2 操作器型式

类别	名称	功能	操作性质
间接操作	显示操作器	给定值指示 测量值指示 输出值(阀位)指示 给定值信号输出 操作方式切换 状态灯光显示	弱电操作，通过调节组件或切换组件对电动执行器或电-气阀门定位器进行控制操作
	小型操作器	阀位指示 给定值信号输出 自动-软手动切换 软手操 状态灯光显示	与显示操作器同
直接操作	弱电直接操作器	阀位指示 自动-软手动-硬手动切换 软、硬手操 状态灯光显示	弱电操作，直接操作执行器
	强电直接操作器	阀位指示 自动-强电直接操作切换 交流直接操作(或经中间继电器) 状态灯光显示	强电操作，对电动执行器的马达进行交流 220 伏直接操作

4 供电电源

组装式电子综合控制装置的供电方式要求布线简单、工作安全、保护容易、备用方便。整套装置是采用集中直流供电，供电电压除直流24伏单电源或直流±15伏双电源外，还可根据需要设有直流5伏的监控系统电源。本系统供电方式的主要特点如下。

1) 直流电源由专用供电机箱产生，并通过电源分配组件或直接供给各功能组件。供电机箱则由交流220V/50Hz的仪表专用电网供电。

2) 直流电源也可由用户提供的直流电源直接供电。

3) 为保证供电可靠，最好采用双重供电方式：
(1) 由两路独立的交流电源馈给不同的供电电源，直流端并联工作，互为备用。

(2) 由足够容量的蓄电池作直流备用(应急电源)。

4) 为保证电源分配系统可靠，除供电机箱本身带有失电、过流和过压保护外，系统中还设置了多级短路保护和失电监视，可确切判断故障部位。

5) 由于采取系统机柜与直接操作器分别供电，当机柜失电时，系统能自动切换至直接操作器的手动状态；若处于软手动状态，则输出仍保持失

3.6 系统布线

机柜内布线：包括组件间和机架间的布线采用可靠的绕接或焊接方式连接，导线置于线槽内。

机柜外布线：从现场变送器、执行器以及其他设备(如程控装置)来的各种信号均与机柜下面左右侧布置的标准D型组合端子连接。

电瞬间前自动状态时的输出值；若处于硬手动状态，则输出为硬手动安全值（硬手动定值位置）。当机柜和直接操作器同时失电时，则由执行器保位。当电源恢复后，系统恢复为软手动或者硬手动状态，输出值同上。

5 总体技术性能

- 1) 现场传输信号 0~10mA DC; 4~20mA DC(任选)
- 2) 系统运算信号 0~10V DC
- 3) 输入电阻 ≥100kΩ
- 4) 负载电阻 输出为0~10V时, ≥10kΩ
输出为0~10mA时, 0~1.2kΩ
输出为4~20mA时, 0~600Ω
- 5) 基本误差 ±0.5%(特殊要求±0.25%)
部分为±0.2%或±1.0%.
- 6) 输出交流分量 ≤0.5%
- 7) 环境温度变化影响 ≤±0.25%/20℃
- 8) 相对湿度变化影响 ≤±0.25%/30~85%
- 9) 供电电压波动影响 ≤±1%
- 10) 工作振动影响 ≤±0.25%
- 11) 干扰(单项)影响 ≤±0.25%
- 12) 反应时间 ≤1s
- 13) 长期漂移 ≤±0.25%/48h
- 14) 绝缘电阻 ≥100MΩ
- 15) 绝缘强度 ≥500V/50Hz 1min
- 16) 使用环境温度 0~50℃
- 17) 空气相对湿度 30~85%
- 18) 工作振动 振幅≤0.1mm(双振幅)
频率≤25Hz

- 19) 抗干扰性:
纵向≤220V交流(50Hz)
(内阻200kΩ)
横向≤输入信号量程的1%
(有效值)
外磁场≤50e

20) 环境空气要求: 不含有易燃、易爆和导电性介质以及会引起严重腐蚀作用的介质。

6 系统功能

组装式综合控制装置采用高增益线性运算放大器和高抗扰数字电路, 以模拟技术为主实现各种运算、调节功能, 并结合数字技术以获得各种控制、保护功能, 直至与计算机的联用实现高级控制。本系列装置利用各种功能组件能完成的系统功能如表32.1-3所示。

表32.1-3 系统功能

功能	运算、调节	操作控制 (包括程控)	监 控
系 统 名 称	单环系统	定值控制	声、光报警
	比值系统	系统结构切换	不准投自动
	串级系统	调节规律变换	强制切手动
	前馈系统	参数控制	安全连锁
	超驰系统		执行器强开(关)
	变参数系统	自动-手动切换	阀门保位
	非线性系统	外部自动-手动切	自动备用
		换	⋮
	协调系统	手操	⋮
	校正系统	外部强操	
	输出外控		
	⋮		

第2章 组件组装式综合控制装置

1 概述

组件组装式综合控制装置是由功能单一而又完全的单板式结构的功能组件构成。整套装置的设计着眼于提高综合控制的能力, 以模拟量技术为主, 吸收数字技术的优点, 在调节系统的基础上能方便地引入严密的监控系统, 并考虑能与电子计算

机联用, 密切结合系统工程, 以提高综合控制实施能力。

采用组装技术设计的调节器, 是把调节器主要功能的电子部件——功能组件与相连的显示操作部分从结构上分离开来, 以谋取最大限度的应用灵活性。由于组装技术的特点, 使系统设计既灵活又方便, 根据不同的用途可采取不同的结构布置方法。

对于较小规模的系统，可以将功能组件箱与显示操作仪表一起配置在表盘或机柜上，从而构成带显示和组件箱的操作盘或带显示和组件箱的机柜。

整套装置本体可靠性的提高，着重于对电子元件的选用，设计考虑的选用原则如下。

1) 选用成熟而性能稳定的国产电子元器件，功能电路用的运算放大器，全部经严格老化筛选处理；

2) 除大功率电源外，不采用电解电容器，而采用钽电容或聚碳酸酯薄膜电容器；

3) 尽量采用金属膜电阻或线绕电阻；

4) 采用全密封结构的继电器，触点断开阻抗高，动作可靠。并在线路上采取特殊措施，防止在动作时产生干扰；

5) 各种电路元件均考虑降额使用；

6) 所有采用的元器件必须符合严格的老化筛选工艺要求。

电源系统采用集中供电方式，电源结构为单元化的稳压电源（+15V DC和-15V DC），并具有过流、过压等保护功能。此外，还考虑有蓄电池后备。

组件组装式综合控制装置的现场接口是输入信号转换组件（接受来自现场变送器的各种信号）和输出信号转换组件（将系统内部的0~10VDC电压信号转为现场适用的信号），这些现场接口的组件也都装在机柜内。

为了使用时便于按设计图纸进行系统接线、查线和检查测试，或者更改系统。在机柜内部功能组件之间可采取矩阵板接线方式。每只组件箱内每块功能组件的输入和输出端子，与每块矩阵端子上相应的端子一一对应，将系统接线简化为端子间的联接。这种方式对系统接线和检查特别方便。

2 功能组件的基本电路

组件组装式综合控制装置，尽管按照系统的复杂程度具有各种简单和复杂的组装结构，但所有模拟量功能组件却是由一组基本电路组合而成。而基

本电路是以高增益集成运算放大器为核心，其功能随放大器反馈回路元件不同而异。

目前功能组件中用的基本电路共有九种类型：

- 1) 单端输入比例运算电路；
- 2) 差动输入电路；
- 3) 电压跟随电路；
- 4) 比较电路；
- 5) 积分运算电路；
- 6) 保持电路；
- 7) 微分运算电路；
- 8) 单向电路；
- 9) 三角波发生电路。

2.1 单端输入比例运算电路

电路的输出信号与输入信号成一定的比例关系，信号由反相端输入时为反比例，由同相端输入时为同比例运算电路。

2.1.1 反比例比例运算电路

反比例比例运算电路如图32.2-1(a)所示。输入信号与输出信号反相，电路的闭环增益 K_c 取决于反馈回路电阻 R_f 对反相端输入电阻 R_i 的比值。本电路的输出 E_o 为：

$$E_o = -K_c \cdot E_i \quad (32.2-1)$$

$$K_c = \frac{R_f}{R_i} \quad (32.2-2)$$

可见电路的闭环增益 K_c 仅与 R_f 与 R_i 的比值有关，而与运算放大器本身的参数无关。 K_c 也就是比例系数，设计时可取整数或取分数，式中负号表

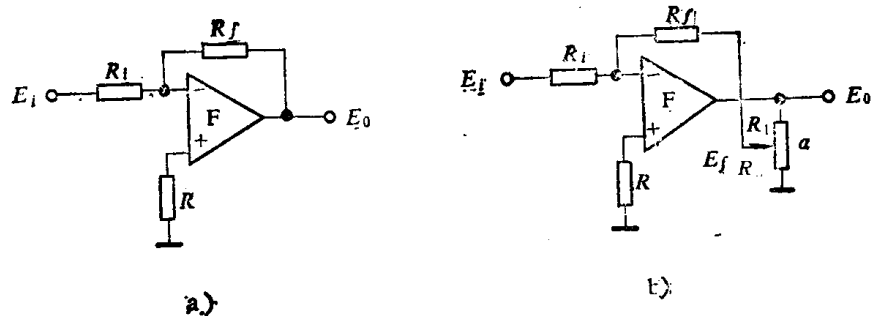


图32.2-1 反相输入比例运算电路
a) 固定比例系数 b) 可变比例系数

示输入 E_i 与输出 E_o 反相。改变电阻 R_f 和 R_i 的比值，可得不同的比例系数。若其比值为1时，即成为反相器。由于电路在深度负反馈条件下工作，所以闭环增益的精度和稳定性很高。为了保证反相和同相输入端平衡对称，同相端的平衡电阻 R 应等于反相端的等效电阻（认为信号源对地短路，输出电阻为零），即

$$R = R_i \parallel R_f$$

反相比例运算电路的输入电阻等于输入回路的电阻 R_i ，由于引入深度电压负反馈后，放大器的输出电阻很小，并趋近于零。

在实际电路中，反馈电阻一般不宜过大（以 $1\text{ k}\Omega \sim 100\text{ k}\Omega$ 为宜），以免影响增益的精度和稳定性。为了能获得高的电路增益，并避免采用高阻值的反馈电阻，通常采用一种称为可变比例系数的反相比例运算电路，如图32.2-1(b)所示。反馈电压 E_f 仅为输出电压 E_o 的一部分，取 $R_f \gg R_2$ ，则

$$E_f \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_o = \alpha E_o \quad (32.2-3)$$

因为反馈电压 E_f 与输入电压 E_i 的关系应满足式(32.2-1)，即有

$$E_f = -\frac{R_f}{R_i} E_i$$

将此式代入式(32.2-3)，得出图32.2-1(b)所示电路的运算关系式，即

$$E_o = -\frac{1}{\alpha} \frac{R_f}{R_i} E_i \quad (32.2-4)$$

式中，分压系数 $\alpha \approx R_2 / (R_1 + R_2) \leq 1$ 。若 α 为可调，图32.2-1(b)即为可变比例系数运算电路。

电路的闭环增益 K_c 为

$$K_c = \frac{R_f}{R_i} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

总的等效反馈电阻 R_f' 为

$$R_f' = R_f \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

显然，分压电阻比取得较大，所得等效反馈电阻将较 R_f 为大。该电路中同相端的平衡电阻 R 按下式计算，即

$$R = \frac{R_i [R_f + (R_1 \parallel R_2)]}{R_i + [R_f + (R_1 \parallel R_2)]}$$

在反相比例运算电路基础上可实现若干个输入信号之和的运算，即构成比例加法运算电路。图32.2-2所示是具有三个输入信号的加法运算电路。求算加法电路的运算关系可利用迭加定理，即分别考虑某一个输入信号存在，另两个为零，求出三个输入信号单独作用下的运算电路的输出信号，然后迭加即得所求的输出与输入信号关系。

考虑第一个输入信号时的输出为

$$E_{o1} = -\frac{R_4}{R_1} E_{i1}$$

同理可得 E_{i2} 与 E_{i3} 单独作用下的运算关系：

$$E_{o2} = -\frac{R_4}{R_2} E_{i2}$$

$$E_{o3} = -\frac{R_4}{R_3} E_{i3}$$

由于 $E_o = E_{o1} + E_{o2} + E_{o3}$ ，所以

$$E_o = -\left(\frac{R_4}{R_1} E_{i1} + \frac{R_4}{R_2} E_{i2} + \frac{R_4}{R_3} E_{i3} \right) \quad (32.2-5)$$

当输入电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 均等于反馈电阻 R_4 时，输出信号为输入信号的简单求和，即

$$E_o = -(E_{i1} + E_{i2} + E_{i3}) \quad (32.2-6)$$

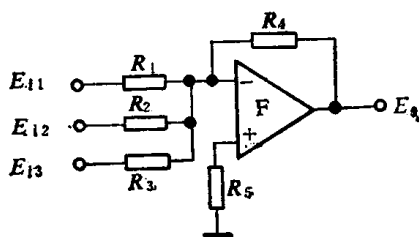


图32.2-2 加法运算电路

2.1.2 同相比例运算电路

同相比例运算电路如图32.2-3所示。电路的输出信号与输入信号同相，其运算关系为

$$E_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) E_i \quad (32.2-7)$$

可见，电路的比例系数为 $\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$ ，亦即电路的闭环增益值恒大于1且极性恒为正。

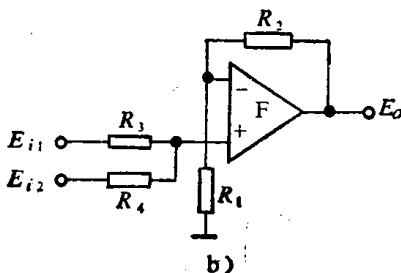
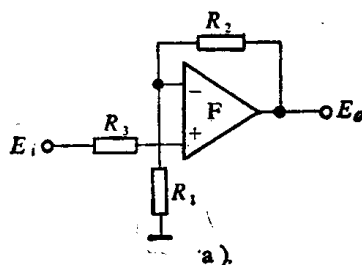


图32.2-3 同相比例运算电路

a) 比例运算 b) 比例加法运算

同相比例运算电路的输入阻抗很高，一般在兆欧级以上。而输出阻抗很小，一般可忽略不计。平衡电阻 $R_3 = R_1 \parallel R_2$ 。

图32.2-3 b) 所示为同相输入迭加的加法运算电路，其输出电压 E_o 为

$$E_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} E_{i1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} E_{i2}\right) \quad (32.2-8)$$

如果电阻 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，则

$$E_o = E_{i1} + E_{i2} \quad (32.2-9)$$

2.2 差动输入比例运算电路

差动输入电路如图32.2-4所示，其输出信号是两个输入信号之差，也称为减法运算电路。

利用迭加原理和有关比例运算电路的运算公式，可求出电路的输出信号与输入信号的关系，即

$$E_o = -\frac{R_3}{R_1}(E_{i1} - E_{i2}) \quad (32.2-10)$$

差动输入电路是反相和同相放大电路的组合，因此，完全可以按照分别考虑每一个输入的情况处理。若两电阻 ($R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$) 相等，则反相和同相输入电路的增益取决于 R_3 对 R_1 的比值，使电路的输出直接为两个输入信号之差。图32.2-4 b) 为可变增益差动电路，输出 $E_o = -\frac{1}{\alpha} R_3/R_1 (E_{i1} - E_{i2})$ ， $\alpha = R_0/(R_0 + R_3)$ 。

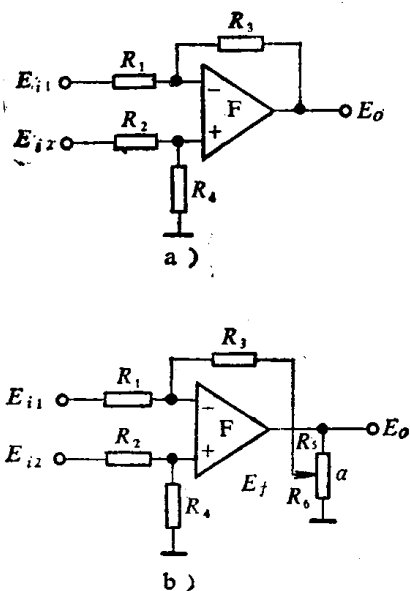


图32.2-4 差动输入比例运算电路

a) 固定增益 b) 可变增益

2.3 电压跟随电路

电压跟随电路常用于两个电路之间需要隔离和阻抗匹配的场所。如图32.2-5所示，利用同相比例运算电路输入阻抗高而输出阻抗低，且电压增益为1的特点。其输出与输入的关系为

$$e_p = e_n = E_i$$

$$e_n = E_o$$

$$\therefore E_o = E_i$$

式中 e_p ——同相端电压；

e_n ——反相端电压。

有时在输入回路接入电阻 R_1 ，以提高输入电阻，对前级限流。在反馈回路接入电阻 R_2 ，以起阻抗平衡作用。如图32.2-5 b) 所示。

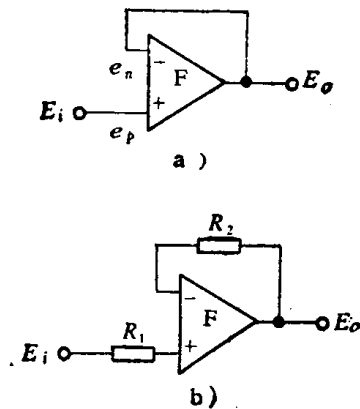


图32.2-5 电压跟随电路

a) 直接跟随 b) 限流跟随

2.4 比较电路

一般的比较电路是使运算放大器工作在开环状态，将一个输入端接基准电压，而另一个输入端接正在变化的被比较电压，电路的输出仅有两种状态，(图32.2-6)当 $E_{i2} > E_{i1}$ ，则输出 E_o 呈现正饱和电压；当 $E_{i2} \leq E_{i1}$ ， E_o 呈现负饱和电压。若输入信号反相，则输入输出的相位关系也相反。

图32.2-7所示为正反馈比较电路及其特性，这种电路具有斯密特触发器特性，存在不灵敏区(回环)。设基准电压 E_{i1} 加在反相输入端，则在反相端的电压为：

$$e_n = E_{i1} \frac{R_1}{R_1 + R_x}$$

这样，运算放大器同相端接输入电压 E_{i2} ，于

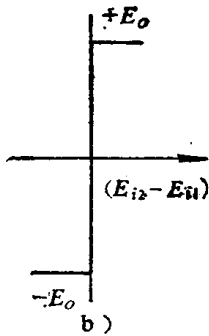
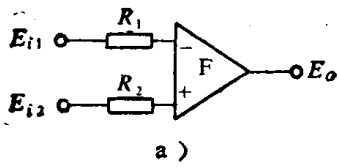


图32.2-6 零交比较电路及其特性

a) 电路 b) 特性

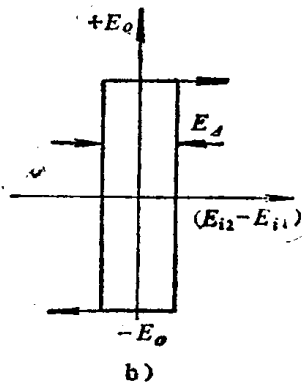
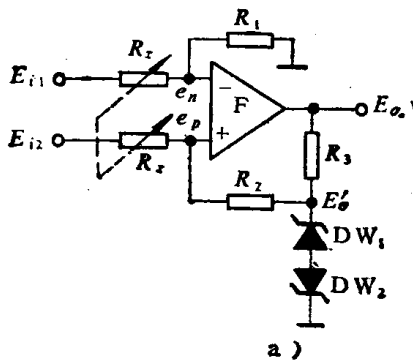


图32.2-7 正反馈比较电路及其特性

a) 电路 b) 特性

是按叠加原理可得同相端电压为

$$e_p = E_{i2} \frac{R_2}{R_2 + R_x} + E'_0 \frac{R_x}{R_2 + R_x}$$

当 $E_{i2} > E_{i1}$ 时, 输出 E_o 达正饱和值, E'_0 的稳压值为10伏。

由于 $E_o = K_o(e_p - e_n)$

所以

$$E_o = \frac{K_o}{1 - K_o\beta} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_x} E_{i2} - \frac{R_1}{R_1 + R_x} E_{i1} \right) \quad (32.2-11)$$

式中 K_o ——运算放大器开环增益;

$$\beta = \frac{R_x}{R_x + R_2} \text{——反馈系数}$$

在式(32.2-11)中 $K_o/(1 - K_o\beta)$ 为正反馈比较电路的增益。可见, 随着回路增益 $K_o\beta$ 的数值不同, 电路工况亦将有异。设计时取 $K_o\beta > 1$, 则在动态翻转过程中成为一典型的斯密特触发器。欲维持电路的稳定状态, 必须使输出电压通过正反馈网络取出, 并把反馈系数 β 所确定的反馈电压值加到输入端。其值可由式(32.2-11)导出, 即

$$E_o = -\frac{R_2}{R_x} (E_{i2} - E_{i1})$$

由此可得维持稳定状态的阈值电压为

$$E_{i2} - E_{i1} = -\frac{R_x}{R_2} E_o$$

式中负号, 表示要使比较电路翻转, 必须加上与 E_o 极性相反的偏差触发电压。反之, 若 E_{i2} 加在反相端, E_{i1} 加在同相端, 输入条件则相反, 等式右边就变成正号。总之, 由于 $K_o\beta > 1$, 电路具有阈值电压, 就形成不灵敏区(回环) E_d , 其值为

$$E_d = 2E_o \frac{R_x}{R_2} \quad (32.2-12)$$

式中 R_x ——调整不灵敏区宽度的电位器阻值 $k\Omega$;

R_2 ——反馈电阻 $k\Omega$

由式(32.2-12)可知, 不灵敏区(电路回环)是通过调整 R_x 来实现的, R_x 为双联线性电位器, 可使 E_d 在 $0.04 \sim 1.4V$ 内连续可调。

2.5 积分运算电路

积分运算电路如图 32.2-8 所示, 具有反相结构, 电路的输出信号为输入信号积分后的结果。设运算放大器为理想状态, 则 $e_p = e_n = 0$, $I_x = I_c$, 而 $I_x = E_i/R_i$, 可求得

$$E_o = -\frac{1}{C_M} \int I_c dt = -\frac{1}{R_i C_M} \int E_i dt$$

即
$$E_o = -\frac{1}{T} \int E_i dt \quad (32.2-13)$$

式中 $T = R_1 C_M$

或用传递函数表示为

$$W(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = -\frac{1}{TS} \quad (32.2-14)$$

即输出电压 E_o 为输入电压 E_i 的反相积分。当输入信号 E_i 为常数时，则 $E_o = -(E_i/R_1 C_M)t$ ，特性如图32.2-9所示。

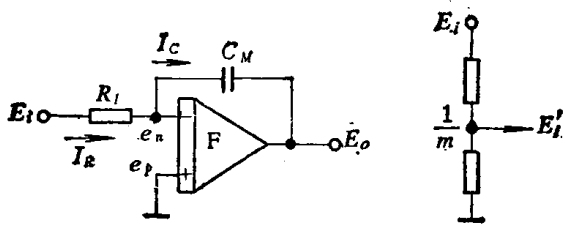


图32.2-8 积分运算电路

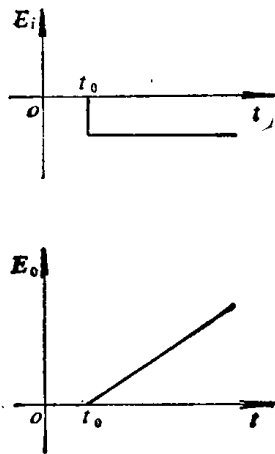


图32.2-9 积分电路特性

若将输入信号 E_i 分压后的信号 $E'_i = \frac{1}{m} E_i$ 输入

积分器，则可求得：

$$E_o = -\frac{1}{T} \int \frac{1}{m} E_i dt = -\frac{1}{T_e} \int E_i dt \quad (32.2-15)$$

式中 $T_e = mT = mR_1 C_M$

由此可知，将积分器的输入信号衰减了多少倍就等效于将积分时间常数 T 增加了多少倍。在线路中常采用改变 R_1 或（和） m 的方法来改变积分电路的等效时间常数。

实际的积分电路由于运算放大器和积分电容器的性能不理想，因此将产生运算误差。误差的大小主要取决于运算放大器的失调参数、漂移和直流开

环增益，以及积分电容器的漏阻和介质吸收效应。运算放大器的输入阻抗也是会影响积分电路的运算。因此，通常是选取高质量电容器和高输入阻抗运算放大器组成积分电路。

在图32.2-8中如将输入回路电阻 R_1 换接为电容 C_I ，则可获得电容分压式比例运算电路，如图32.2-10 a) 所示。

由于 $I_c = C_I \frac{dE_i}{dt} = I'_c$

所以 $E_o = -\frac{1}{C_M} \int I'_c dt = -\frac{1}{C_M} \int C_I \frac{dE_i}{dt} dt$

即 $E_o = -\left(\frac{C_I}{C_M}\right) E_i \quad (32.2-16)$

或以传递函数表示为：

$$W_p(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = -\left(\frac{C_I}{C_M}\right) \quad (32.2-17)$$

可见，图32.2-10 a) 也是一种反相比例运算电路，其增益决定于输入电容 C_I 和反馈电容 C_M 之比。

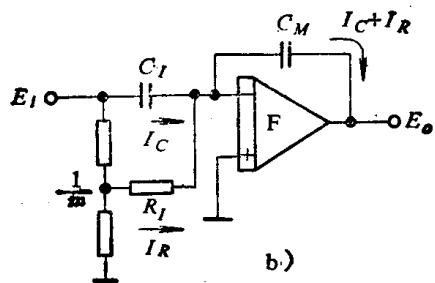
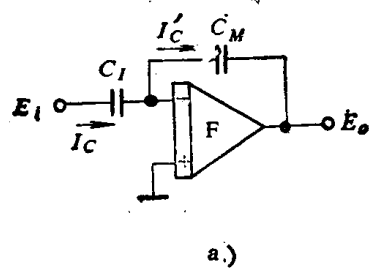


图32.2-10 比例运算和比例积分运算电路
a) 比例运算电路 b) 比例积分运算电路

如果将图32.2-8和图32.2-10 a) 综合就可获得如图32.2-10 b) 所示的比例积分运算电路。由图即可求得：

$$I_c = C_I \frac{dE_i}{dt}$$

$$I_R = \frac{E_i}{m \cdot R_1}$$

因此
$$E_o = -\frac{1}{C_M} \int (I_c + I_R) dt$$

$$= -\frac{1}{C_M} \int \left[C_I \frac{dE_i}{dt} + \frac{E_i}{m \cdot R_I} \right] dt$$

$$= -\frac{C_I}{C_M} \left[E_i + \frac{1}{T_I} \int E_i dt \right]$$
(32.2-18)

式中 $T_I = m R_I C_I$
 或用传递函数表示为:

$$W_{PI}(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = -\frac{C_I}{C_M} \left[1 + \frac{1}{T_I s} \right]$$
(32.2-19)

可见图32.2-10 b) 所示电路是对输入 E_i 实现比例加积分的运算电路。式中 $-C_I/C_M$ 为比例增益, T_I 为等效积分时间常数, 显然 $T_I = mT$, 比固有时间常数 $T = R_I C_I$ 大 m 倍。本电路是构成调节组件的基础。

2.6 保持电路

当积分电路有一个信号输入时, 它将对此信号进行积分。若在积分过程中的某一时刻移去输入信号, 输出端即应永远保持着该瞬间的电平。移去输入回路的积分电阻就是保持电路。显然, 保持电路是一种模拟记忆电路。如图32.2-11所示。由高输入阻抗运算放大器 F 、高质量记忆电容器 C_M 及带常

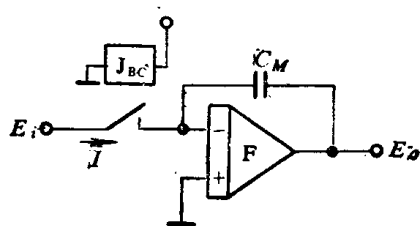


图32.2-11 保持电路

开触点的保持继电器 J_{bc} 组成。在理想情况下, 当输入信号被继电器 J_{bc} 切断时, 电路能“保持”在切断前瞬间的输出电压 E_o 不变。但是实际上由于运算放大器特性不理想、电容器漏电等因素, 输出电压会缓慢地漂移, 造成保持特性的误差。其相对值为:

$$\frac{\Delta E_o}{E_o} = \frac{\Delta t}{C_M R_i (1 + K_o)} + \frac{\Delta t}{C_M R_c} + \frac{I_b \Delta t}{C_M E_o}$$
(32.2-20)

式中 E_o ——切换瞬间的输出值
 ΔE_o ——在 Δt 时间内 E_o 的变化值
 R_i ——运算放大器的输入电阻
 R_c ——电容器 C_M 的漏电阻
 K_o ——运算放大器的开环增益
 I_b ——运算放大器的偏置电流

在式(32.2-20)中对漂移影响最严重的是 I_b 。为了获得良好保持特性, 应采用 I_b 小、 R_i 高和 K_o 大的运算放大器, 选用 R_c 、 C_M 大的阻容值。同时对继电器和印制电路板要求有高绝缘性能。

在保持电路的基础上, 可以构成实现调节系统中的软手动操作电路。如图32.2-12, 当继电器 J_{bc} 触点接通时, 电路对输入电压 E_i 进行积分运算, 当 J_{bc} 触点断开时, $I = 0$, 电容 C_M 不充电, 这时电路由积分状态进入保持状态。当 J_{bc} 触点再接通时, 电路又从保持的最终值开始进行积分。因此, 只要适当操作 J_{bc} 和改变输入信号极性, 就可将电路的输出 E_o 调整到所需数值上, 如图32.2-12 b) 所示。这种积分-保持状态的变换是构成软手动操作的原理。

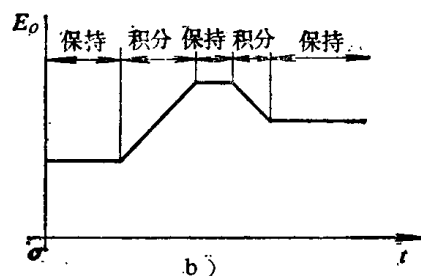
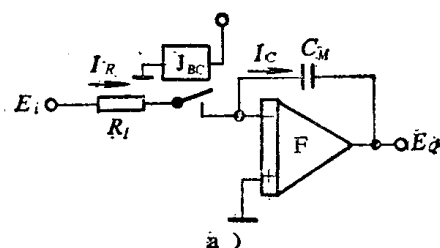


图32.2-12 积分-保持状态变换电路 (图 a) 和输出特性 (图 b)

2.7 微分运算电路

微分运算电路的输出信号是对输入信号微分运算的结果。常用的有两种型式, 即积分反馈式微分运算电路和比例微分运算电路。

2.7.1 积分反馈式微分运算电路

如图 32.2-13 所示积分反馈式微分运算电路，是由差动放大器和积分运算器两个基本电路组成。其中积分运算作为反馈电路应用。

图 32.2-13 所示电路输出信号在阶跃输入 E_i 、初始条件为零时的变化式为：

$$E_o = -K_d E_i e^{-\frac{K_d}{R_D C_D} t} \quad (32.2-21)$$

其时间特性如图 32.2-14 所示。由式 (32.2-21) 可知，微分作用持续时间与 $R_D C_D$ 乘积成正比，而微分作用的幅度则与 K_d (放大器 F_1 的增益) 成正比。适当调整上述某些参数即可调整微分作用的强弱。

电路的传递函数表示式为：

$$W_D = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = -\frac{R_D C_D s}{1 + \frac{R_D C_D s}{K_d}} \quad (32.2-22)$$

式中
$$K_d = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = 1$$

($R_1 = R_2$; $R_3 = R_4$)

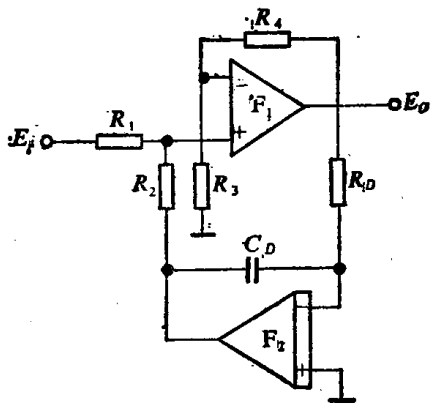


图 32.2-13 积分反馈式微分运算电路

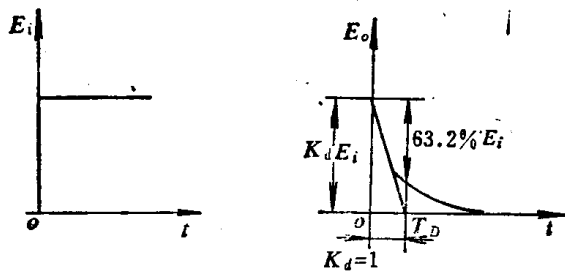


图 32.2-14 微分运算电路的特性

2.7.2 比例微分运算电路

图 32.2-15 所示为比例微分运算电路，在电路中一般取 R_D 远大于 R_1 和 R_2 ，因此，可以近似地认为其分压系数为： $\alpha = R_2 / (R_1 + R_2)$ 。当输入信号为阶跃 E_i 、初始条件为零时，可得电路的输出信号变化式为

$$E_o = \left[1 + (K_D - 1) e^{-\frac{K_D}{R_D C_D} t}\right] E_i$$

此关系式的时间特性如图 32.2-16 所示。

电路的传递函数表示式为

$$W_p(s) = \frac{1 + R_D C_D s}{1 + \frac{R_D C_D s}{K_D}} \quad (32.2-23)$$

式中

$$K_D = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

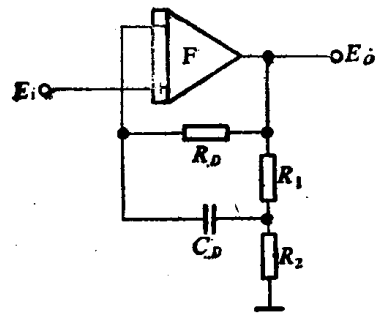


图 32.2-15 比例微分运算电路

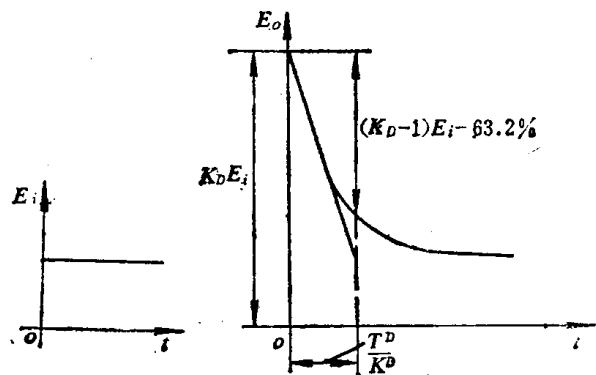


图 32.2-16 比例微分电路的特性

2.8 单向电路

单向电路是运算放大器的一种非线性应用方式，实质上是利用运算放大器的高增益和二极管的单向特性相结合而组成，如图 32.2-17 所示。