

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

DIANQI
XINXILEI

现代运动控制系统工程

■ 曾毅 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



如果您想设计一个能满足用户要求的自动控制系统或者一套生产流水线的控制装置；如果您想掌握自动控制系统构造、组态设计和仿真、调试、维护的基本方法与技巧，那么就请您阅读此书。

本书为自动化专业必修课程教材。本书从工程实际出发，重点讲述了自动控制系统和网络运动控制系统的构造过程、组成方法与应用技术，介绍了自动控制系统的三大件：调速器、触摸屏和 PLC 的连接方法；介绍了系统形成后在实际应用中所出现的一些常见问题的解决方法。本书针对不同的生产工艺要求，对调速器的选择、人机界面的设计、计算机仿真调试与 PROFIBUS 组成的网络运动控制系统作了全面系统的介绍。

本书是作者在十多年教学与科研实践经验的基础上，结合近几年来自动化控制技术的发展编写而成的。书中所提供的多数应用实例，是来自作者在自动化领域的部分最新科研成果和经验总结。

本书既可作为高等院校自动化、电气自动化等专业的教材，又可作为科研人员、工程技术人员的实用参考书，也可供电类维修人员作培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代运动控制系统工程/曾毅编著. —北京：机械工业出版社，2006.8
普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材
ISBN 7-111-19547-7

I. 现... II. 曾... III. 自动控制系统 - 高等学校 - 教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 075659 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：于苏华 版式设计：张世琴 责任校对：李秋荣
封面设计：张静 责任印制：杨曦
北京机工印刷厂印刷
2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 21 印张 · 521 千字
定价：30.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
编辑热线电话 (010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

前 言

自动控制系统就是用已经存在的零部件按照某种目的和要求，组合成一种或一套装置，去完成人工难以处理或者人工不能可靠地、高速地、低损耗和低成本地完成的那些工作；然后对该种设备或该套装置进行软件组态和编程，给它们“注入灵魂”，使这些设备变成机械手、机器人、全自动智能机床或全自动化流水线等。这个组合的过程、这个“注入灵魂”的过程就是自动控制系统工程。

该书主要介绍运动物体控制系统的构造过程、组合方法，研究解决系统形成后在实际应用中所出现的一些实际问题；掌握人机界面设计的初步知识、计算机仿真调试与实际调试单机和网络电力拖动自动控制系统的一些基本方法和技术。目前自动控制领域的发展潮流是：智能化、网络化。本书为适应这种变化，从单机和网络运动自动控制系统的组成方法和应用技术中都有所介绍。

本书是作者多年来从事自动控制系统工程设计与维护的教学和科研工作的总结。其中也包含了作者最新的工程科研项目和成果。

本书共分五章。第一章介绍自动控制系统的一般构造理论、方法和最新发展的控制技术；第二章介绍闭环控制系统的形成过程和 Simulink 的建模仿真技术；第三章介绍多闭环控制系统的构造过程和 PROFIBUS-DP 通信网络的组态方法；第四章讲述了可逆调速控制系统的构造过程，着重讲解了逻辑无环流可逆调速控制系统的构造过程，还分析了目前比较流行的全数字调速器的一般结构、控制系统组态方法及维修技术；第五章介绍了 HMI 设计基础知识和目前流行的触摸屏画面的组态方法，通过应用实例介绍了自动控制系统的三大件——触摸屏、PLC 和调速器如何通过 PROFIBUS “走”在一起的。

为了便于读者自学，本书在后面给出了习题解答；为了便于学生毕业设计与课程设计，本书还在附录中收录了部分控制系统外壳设计的图样。本书既可作为自动化专业学生的专业教材，又可作为工程技术人员、大专院校相关专业师生的参考书，也可供自动控制系统设计与维修人员作培训教材使用。

本书的部分实例由山东大学控制科学与工程学院的高芳红、张明老师进行了实际验证；本书的部分习题解答是由硕士研究生芦明义、李红等提供的；对于书中所引用的参考文献及照片的作者，在此一并向他（她）们表示诚挚的感谢！

由于笔者学识水平有限，再加上自动化控制技术近年来几乎达到了日新月异的地步，所以在自动控制系统构造方法和程序编制上，存在不当之处和错误在所难免，殷切希望读者批评指正。

作 者

2006 年 3 月

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 自动控制系统的构造方法	3	
第一节 物体运动控制系统（电气控制线路）的设计方法	4	
一、功能添加法	4	
二、步进逻辑公式法	8	
三、步进逻辑公式法应用举例	11	
四、最少程序步判别定理及其应用举例	23	
第二节 恒值控制系统的形成方法	26	
一、系统的抑制能力	28	
二、抑制定理与反馈定理	31	
三、恒值控制系统设计方法应用举例	32	
第三节 智能控制系统设计简介	40	
一、智能控制的基本概念及控制系统结构	40	
二、模糊控制系统的基本原理	42	
三、模糊控制器的基本设计方法	51	
四、神经网络的基本概念	59	
五、神经网络的结构和学习规则	61	
六、神经网络控制的基本原理	64	
七、基于神经网络的智能控制	65	
习题	67	
第二章 闭环控制的直流调速系统及计算机仿真	69	
第一节 开环调速控制系统的构造过程及其静特性	69	
一、开环调速控制系统的动、静态结构图	69	
二、晶闸管-电动机系统的特殊问题	73	
第二节 单闭环调速控制系统的动、静态分析与设计	75	
一、生产工艺要求与控制系统转速降之间的关系	75	
二、单闭环调速控制系统的抗干扰能力	76	
三、单闭环调速控制系统的限流保护方法	78	
四、控制系统的稳定条件及校正	79	
五、系统的稳态参数计算（静态参数计算）	80	
第三节 电压负反馈电流补偿控制的调速系统	81	
一、电压负反馈调速控制系统	81	
二、电流正反馈和补偿控制规律	83	
三、电流补偿控制调速系统的数学模型和稳定条件	85	
第四节 Simulink 建模与仿真技术	87	
一、计算机仿真技术的基础知识及 Simulink 使用入门	87	
二、仿真参数设置及仿真速度的控制方法	101	
三、子系统的生成及其封装技术	106	
四、多组参数同时仿真技术	124	
第五节 PID 调节器控制规律分析	127	
一、比例调节器的时域表达式和控制规律	128	
二、积分调节器的时域表达式和控制规律	130	
三、比例、积分调节器的时域表达式和控制规律	131	
四、微分调节器的时域表达式和控制规律	132	
五、比例、微分调节器的时域表达式和控制规律	133	
六、PID 调节器的时域表达式和控制规律	136	
习题	137	
第三章 多闭环控制系统的构造及 PROFIBUS 网络组态	140	
第一节 转速、电流双闭环调速控制系统及		

其静特性	140	馈制动	186
一、问题的提出及构造过程	140	一、可逆运行理论分析	186
二、稳态结构图及静特性	145	二、晶闸管-电动机系统四个象限运行	
第二节 双闭环调速控制系统的动态性能及		方法	187
其仿真	147	三、晶闸管-电动机系统回馈制动条件	188
一、动态数学模型	147	第二节 可逆线路中的环流及其抑制	
二、突加给定时的起动过程仿真分析	147	措施	189
三、动态性能和两个调节器的作用	150	一、环流及其种类	189
四、调节器的设计及存在的问题	152	二、典型配合控制	190
第三节 无转速超调的双闭环调速控制		三、瞬时脉动环流及其抑制措施	191
系统	153	第三节 有环流可逆调速控制系统及系统	
一、瞬间降低转速给定电压 U_n^*	153	仿真	192
二、自动提高转速反馈电压 U_n	154	一、典型配合控制系统的组成分析	192
第四节 多闭环调速控制系统的构造过程及		二、典型配合控制系统的制动过程	
性能分析	155	分析	194
一、带电流变化率内环的三环调速		三、典型配合控制系统的仿真波形及应用	
系统	155	场合	197
二、全状态反馈调速控制系统(准全状态		四、环流自控可逆调速控制系统	199
反馈)	156	第四节 无环流可逆调速系统及系统仿	
三、带能耗制动单元的全状态反馈调速控		真	201
制系统	157	一、问题的提出	201
四、闭环数目的限制与带预控制调节器的		二、逻辑控制装置的设计过程	202
闭环系统	158	三、逻辑控制无环流可逆系统的仿真	
第五节 弱磁控制的直流调速控制系统	160	波形	208
一、问题的提出及解决原则	160	第五节 直流脉宽调速控制系统及控制电路	
二、弱磁控制直流调速系统的构造		仿真	212
过程	161	一、脉宽调制主电路的形成过程	212
第六节 PROFIBUS 通信和网络组态	164	二、脉宽调制变换器的工作原理及构造	
一、网络通信概述	164	过程	214
二、PROFIBUS 网络通信概述	168	三、脉宽调制变换器的机械特性及数学	
三、PROFIBUS-DP 的主要特点	171	模型	222
四、PROFIBUS 协议专用集成电路及接口		四、脉宽调速系统的控制电路	224
电路	174	五、脉宽调速系统的特殊问题	230
五、PROFIBUS-DP 网络组态过程及数据		第六节 全数字直流调速器的结构及控制系	
传输命令	176	统软件组态	231
六、PROFIBUS-DP 网络常见通信故障的		一、全数字直流调速器性能概述	232
处理	182	二、全数字直流调速器的外围接线与内部	
习题	183	结构	234
第四章 可逆调速控制系统及全数字调		三、全数字直流调速器控制系统组态	
速控制器	186	方法	239
第一节 晶闸管-电动机系统的可逆线路及回		四、全数字直流调速器参数设置过程及优	
		化方法	241
		五、直流调速器常见故障的维修方法及	

实例	244	二、EasyView500 的安装及使用入门	262
习题	246	三、EasyView500 触摸屏画面组态软件简介	270
第五章 系统的人机界面设计及触摸屏使用方法	249	四、EB500 触摸屏软件组态编辑操作举例	277
第一节 人机界面研究的内容及常用认知心理学知识	250	第五节 ProTool 6.0 使用入门及 TP270 的网络通信	288
一、人机界面的定义及研究的主要内容	250	一、ProTool 6.0 的安装与启动过程	288
二、研究人机界面所需要的基础知识	251	二、项目(工程)的创建过程	289
三、常用认知心理学基础知识	251	三、常用组态显示元素和控件	291
第二节 人机界面与控制系统外壳的色彩搭配	254	四、窗口显示区域的拆分设置	292
一、色彩基础与人机界面色彩搭配	254	五、组态编辑程序分析实例	295
二、控制系统外壳色彩搭配	255	习题	307
第三节 显示与控制界面的设计原则	256	习题解答	309
一、显示界面的设计	256	附录	317
二、显示与控制界面的布局设计原则	258	附录 A SPWM 逆变器控制系统工作原理仿真实验	317
三、控制柜壳体内部设计原则	260	附录 B 转速电流双闭环可逆调速控制系统仿真实验	323
第四节 MT500 系列触摸屏画面组态与数据通信	262	附录 C 典型控制系统外壳设计实例图	327
一、人机界面(触摸屏)画面总体设计步骤	262	参考文献	330

绪 论

“现代运动控制系统工程”是自动化专业的课程之一，是一门应用科学。重点研究自动控制系统和网络运动控制系统的构造过程、组成方法和应用技术，研究解决系统形成后在实际应用中所出现的一些实际问题；熟悉人机界面设计的初步知识、计算机仿真调试与实际调试自动控制系统和网络运动控制系统的一些基本方法和技术。

本课程以“电机学”、“电子学”、“变流技术”、“电机拖动”为基础，以“Simulink”为主要研究工具，以“可编程控制器”和“微型计算机或单片机”为主要控制器件，以“传统控制理论和智能控制理论”为指导。

本课程以电动机（交流和直流）作为主要执行元件，以调速器（交流和直流调速器）作为控制信号的主要执行元件，以触摸屏作为主要的人机界面，用 PROFIBUS 把自动控制系统的三大件——人机界面、可编程控制器和调速器组成一个现代运动控制系统的网络，如图 0-1 所示。

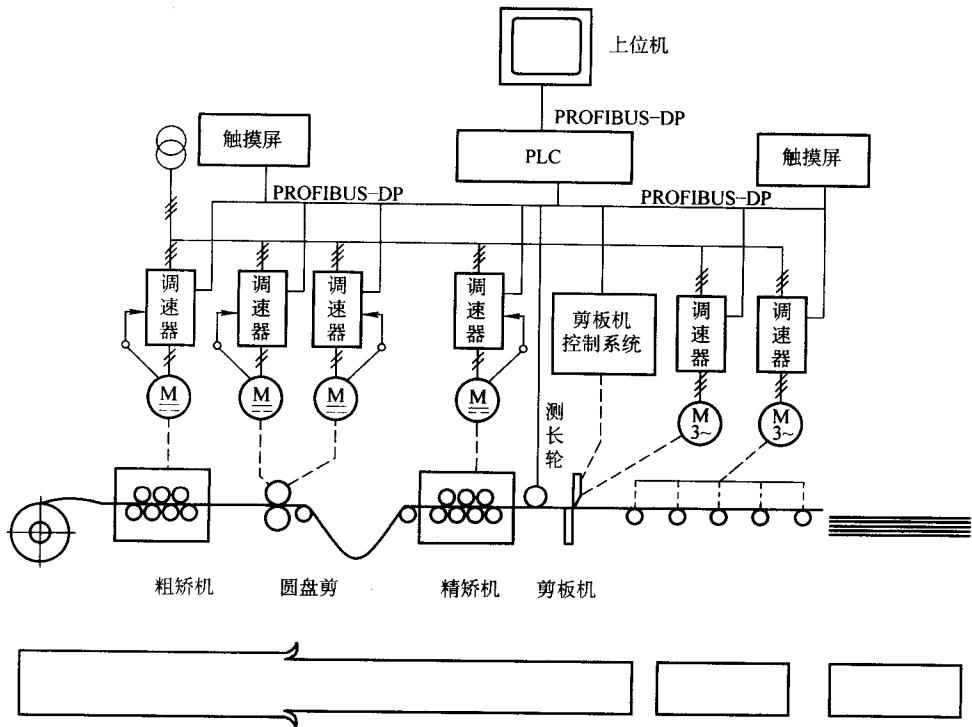


图 0-1 某钢板横剪生产线 PROFIBUS-DP 网络运动控制系统

图示系统是一个典型的网络运动控制系统，要想知道该系统的工作原理，应该掌握如下知识：

要了解交流电机与直流电机就应该具有“电机及拖动基础”知识；要了解转速检测装置和电流检测装置的工作原理就应该具有“检测与转换技术”知识；要了解可编程控制器和上位机的工作原理就应该具有“可编程控制器”、“微机原理”的知识。

组成系统离不开供电电网，要了解如何选择变压器、导线，就应该具有“工厂供电”的知识。控制系统原理图组成之后，必须经过计算机仿真，观察我们所设计的控制系统是否满足生产工艺的要求？是否还存在着我们没有发现的设计缺陷？这就需要具有 Windows 操作系统和 MATLAB 方面的知识。在计算机仿真过程如果系统不能稳定运行怎么办？不能满足系统的动态指标怎么办？这意味还需要掌握“自动控制理论”的知识。有时生产实际要求控制系统的输出具有上升时间短、无超调的性能，如果采用常规自动控制理论已无法解决时，还需要采用智能控制的策略。

在控制系统组态过程中最关键的两个问题：一是“硬件结构问题”，控制系统为什么这样构造？为什么要引入这种反馈？引入其他反馈行不行？网络总线为什么采用 PROFIBUS-DP 总线？采用其他总线是否合适？二是“软件设计问题”，控制系统构造完成后，如何使其满足生产工艺所提出的行为（运动）要求和动、静态技术指标的要求呢？

要回答上述问题，就必须从“自动控制系统的构造方法”开始探讨。

第一节 物体运动控制系统（电气控制线路）的设计方法

物体运动控制系统的设计方法所遵循的基本定理和基本方法是：功能添加法、步进逻辑公式法和程序步最少判定定理。

在物体运动控制线路设计方法中，最基本的方法是功能添加法。

一、功能添加法

什么是“功能添加法”呢？首先让我们观察用功能添加法设计一辆小车自动往复运动控制电路的设计过程。

如图 1-4 所示，假设有一辆小车由电动机 M 带动，电动机要旋转必须有电源，于是通过一个三相断路器（三相断路器至少具有缺相和过流保护功能）接通电动机 M（如图 1-5 所示）。



图 1-4 添加功能前的运动初图

当三相断路器闭合时，电动机 M 转动，带动小车向右运行。那么当断路器断开时电动机停止转动，小车停止运动。但是用断路器直接去断开电动机的电源除了有触电的危险之外，还有就是没有一点现代化的“味道”。自动化的标志之一就是按一下按钮（或者用其他方法，如声控方法），电动机就能自动起动。

于是，用常开按钮 S_1 控制接触器 KM_1 线圈的得电状态；用 KM_1 的主触点控制电动机的得电状态（如图 1-6 所示）。

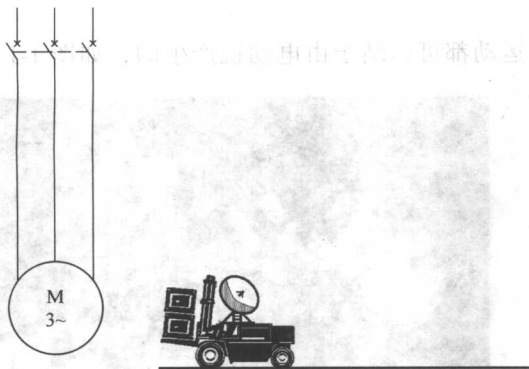


图 1-5 添加断路器

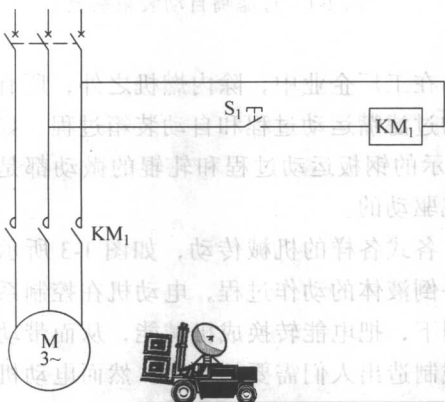


图 1-6 第一次添加功能过程

此时三相断路器变成了总电源开关，总电源开关闭合后，只要按一下起动按钮 S_1 ，接触器 KM_1 的线圈得电，之后所有与线圈标号相同触点均动作，常开触点闭合，常闭触点断开。所以主电路中的常开触点 KM_1 也闭合，电源接通，电动机开始旋转，小车开始向右运动。

但在小车向右运动的过程中，操作者必须一直按着按钮，因为一旦松开按钮，按钮 S_1

自动弹回（自动控制系统一般不能使用带自锁的按钮），接触器 KM_1 的线圈失电，其常开触点断开，电动机 M 脱离电网，小车就会停止运动。

要想让操作工人的手“解放”出来，必须当接触器 KM_1 线圈得电后，用一根导线使按钮 S_1 短路，使其在线圈 KM_1 得电后失去控制作用。我们注意到，此短路线是在线圈 KM_1 得电后出现的，因此用 KM_1 常开辅助触点与按钮 S_1 并联即可实现这种功能（如图 1-7 所示）。

不按动按钮 S_1 ，接触器 KM_1 线圈不会得电；一旦按动 S_1 ， KM_1 的线圈得电，根据线圈得电后“常开触点闭合，常闭触点打开”的特点，与 S_1 并联的常开触点 KM_1 也会闭合。因此当 S_1 自动弹回时， KM_1 的线圈仍然得电，此时与 S_1 并联的这个常开触点起到自锁作用，所以通常称这种触点为“自锁触点”。

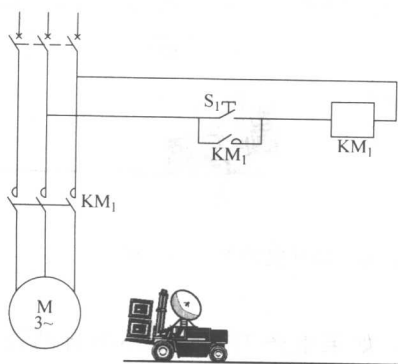


图 1-7 第二次添加功能过程

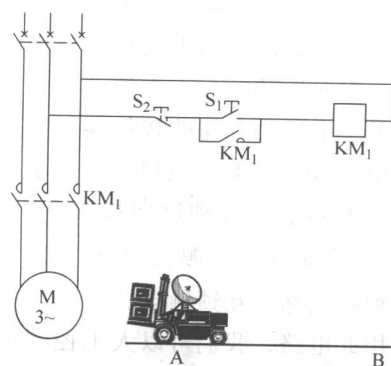


图 1-8 第三次添加功能过程

由于自锁触点的出现，当接触器 KM_1 线圈得电后，电动机一直处于旋转状态，小车也就一直向右运动。如何让小车停下来呢？在控制电路上加一个常闭按钮 S_2 ，问题即可解决（如图 1-8 所示）。当小车需要停止时，只需按一下按钮 S_2 ，接触器 KM_1 线圈失电，小车就会停止。

利用这种电路，我们可以使小车从 A 点向右运行到任意一点 B 停止。但是运行到 B 点以后，如果让小车再返回 A 点，应该轻轻地按一下另一个按钮，小车即可自动返回。也就是说轻轻地按一下反转按钮让电动机自动反转。模仿正转控制电路可以得到反转控制电路，这里用 S_3 表示反向启动按钮； KM_2 表示控制电动机反转的接触器。根据电机学的知识：电动机的三相电源的相序发生变化，电动机的旋转方向就会发生变化（如图 1-9 所示）。

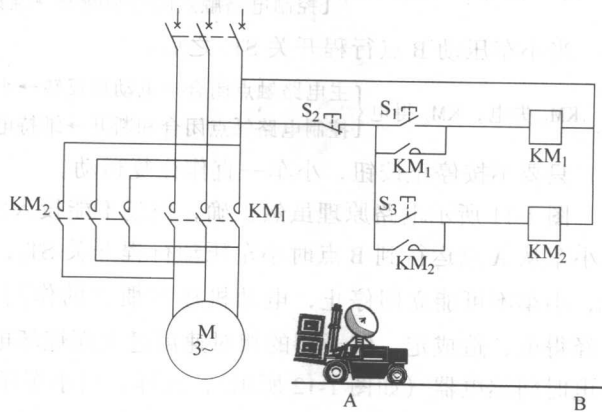


图 1-9 第四次添加功能过程

小车向右运动：按下按钮 S_1 ，线圈 KM_1 得电，所有常开触点闭合，电动机 M 正转，小

车开始向右运动。按下按钮 S_2 ，线圈 KM_1 失电，所有常开触点打开，电动机 M 停止运行，小车停止向右运动。

小车向左运动：按下按钮 S_3 ，线圈 KM_2 得电，所有常开触点闭合，电动机 M 反转，小车开始向左运动。

但是这个线路有一个缺点，当小车正在向某一方向运动时（如向右运动），如果需要停止，按错了按钮，把另一方向的起动按钮（例如 S_3 ）当成停止按钮，将会发生电源短路事故。为了避免 KM_1 、 KM_2 两个线圈同时得电，线路必须做如下改进：当小车向某一方向运动时，另一个运动方向的接触器就不可能得电（如图 1-10 所示）。如果小车正在向右运动，按动反向按钮 S_3 ， KM_2 不可能得电，电源也就不会短路。这种触点称为互锁触点。

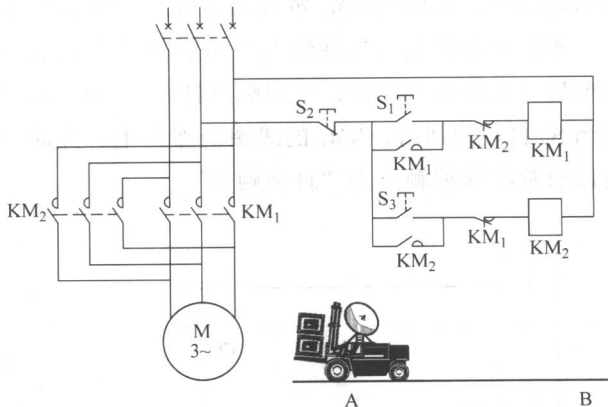


图 1-10 第五次添加功能过程

使用此电路，我们可以人工控制小车作往复运动。如果生产工艺要求小车自动往复运动，如何实现呢？只要在 A、B 两点加两个位置检测装置即可。假设在 A、B 两点分别加装行程开关或接近开关，而每个行程开关至少有一对常开和常闭触点。把这些触点添加到控制电路中即得到了能控制小车自动往复运动的控制电路，如图 1-11 所示，图中 ST_1 和 ST_2 为行程开关。

假设小车原来停在 A、B 之间的某一点上：

当 S_1 闭合 \rightarrow KM_1 得电 $\left\{ \begin{array}{l} \text{主电路触点闭合} \rightarrow \text{电动机正转} \rightarrow \text{小车向右运行} \\ \text{控制电路触点闭合和断开} \rightarrow \text{维持电动机正转和避免 } KM_2 \text{ 得电} \end{array} \right.$

当小车压动 B 点行程开关 ST_2 之后：

KM_1 失电， KM_2 得电 $\left\{ \begin{array}{l} \text{主电路触点闭合} \rightarrow \text{电动机反转} \rightarrow \text{小车向左运行} \\ \text{控制电路触点闭合和断开} \rightarrow \text{维持电动机反转和避免 } KM_1 \text{ 得电} \end{array} \right.$

只要不按停止按钮，小车一直作往复运动。

图 1-11 所示电路原理虽然正确，但还不能投入实际运行，因为任何一个物体都有惯性，当小车从 A 点运行到 B 点时小车压动行程开关 ST_2 ， KM_1 立即失电， KM_2 立即得电，由于惯性，小车不可能立即停止，电动机还在惯性的作用下正转。但是在 KM_1 失电的同时， KM_2 已经得电，造成定、转子间的相对速度过大而烧坏电动机。为此需在控制电路增加延长反向得电时间继电器（如图 1-12 所示），这样，当小车压动行程开关 ST_2 ，经过一段时间的延时， KM_2 才能得电（延时时间的大小由现场调试决定），避免了立即反向过流，烧坏电动机。

投入实际运行还应考虑主电路和控制电路有短路保护的功能。如图 1-13 所示，当主电路或控制电路出现短路故障时，快速熔断器 FU_1 或 FU_2 迅速熔断，避免了故障的扩大，从而保护未发生故障的器件。在图 1-13 中还增加了电动机过热检测元件，当电动机由于某种原

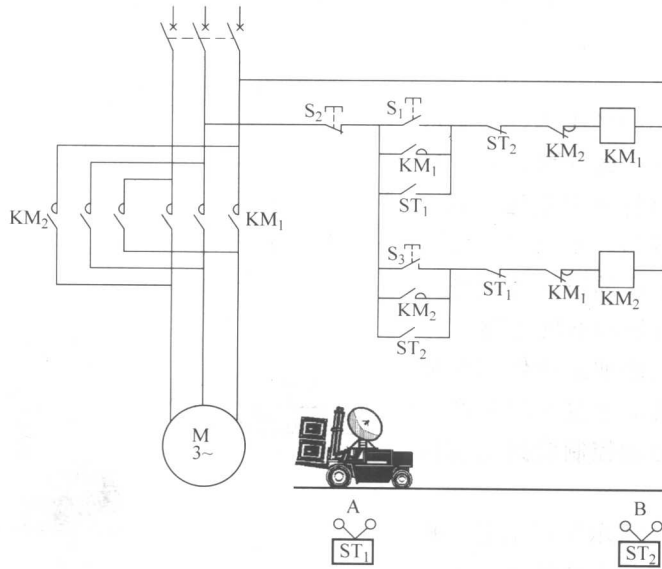


图 1-11 第六次添加功能过程

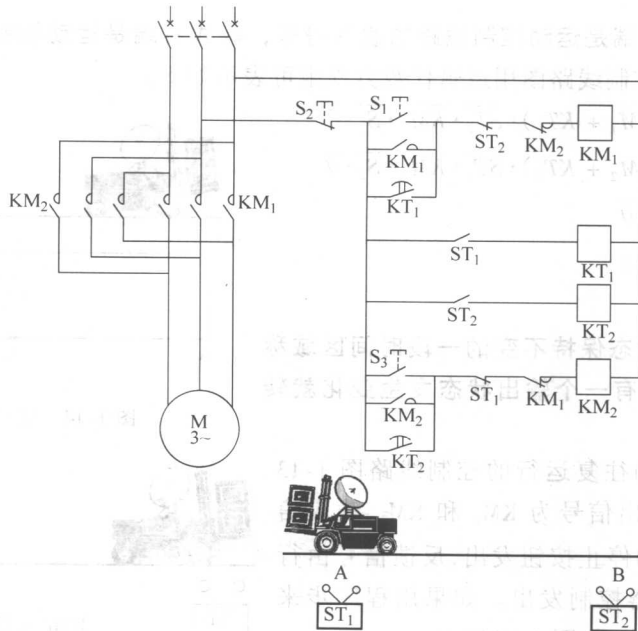


图 1-12 第七次添加功能过程

因引起过热时，例如电动机的冷却系统出现故障，串接在控制电路中的过热检测元件的常闭触点 A₁-B₁ 就会自动断开。过热检测器动作值的大小由实际情况决定。

随着各种问题的解决，运动控制线路逐渐完善起来。每增加一种功能，原运动控制线路

的功能保持不变,这种设计方法称为“功能添加法”,这种方法的优点是灵活方便,但是对于比较复杂的生产工艺,则不适合采用此方法设计电路。

例如图 1-14 所示生产工艺,小车从 A 点运行到 B 点,然后运行到 C 点,再向右运行到 B 点,再返回向左运行到 A 点,然后重复上述过程。要用“功能添加法”设计,没有丰富的设计经验是相当困难的,这是该方法的不足之处。

综上所述,功能添加法的优点是使用灵活方便;缺点是对于复杂的生产工艺,用此方法设计运动控制线路比较困难。

那么对于图 1-14 所示生产工艺,我们如何来设计电路呢?于是就产生了下面的设计方法。

二、步进逻辑公式法

1. 规定

逻辑代数等式左端是运动控制线路的线圈符号,等式右端是运动控制线路的触点符号。例如将图 1-13 运动控制线路图用逻辑代数方程组可表示如下:

$$\begin{cases} KM_1 = (S_1 + KM_1 + KT_1) \cdot \overline{ST_2} \cdot \overline{KM_2} \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{\theta} \\ KM_2 = (S_3 + KM_2 + KT_2) \cdot \overline{ST_1} \cdot \overline{KM_1} \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{\theta} \\ KT_1 = ST_1 \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{\theta} \\ KT_2 = ST_2 \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{\theta} \end{cases}$$

2. 程序步

全部有关输出状态保持不变的一段时间区域称为一个程序步,只要有一个输出状态发生变化就转入下一步。

在控制小车自动往复运行的控制线路图 1-13 中,此控制系统的输出信号为 KM_1 和 KM_2 ,输入信号由两个起动按钮和停止按钮发出,反馈信号由行程开关和过热继电器控制发出。如果用程序步来描述,只需两个程序步,如图 1-15 所示。

因为图 1-13 所示控制系统只有 KM_1 和 KM_2 两个输出信号,当小车从 A 点向 B 点运行期间, KM_1 保持得电状态, KM_2 保持失电状态,由定义可得这是一个程序步。当小车从 B 点向 A 点运行期间, KM_2 保持得电状态; KM_1 保持失电状态,所以又形

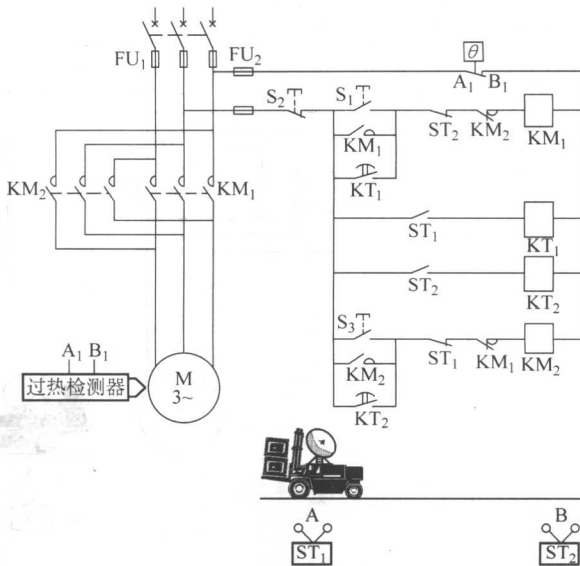


图 1-13 第八次添加功能过程

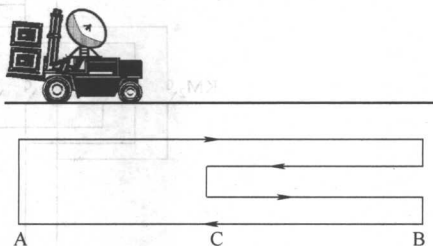


图 1-14 生产工艺要求

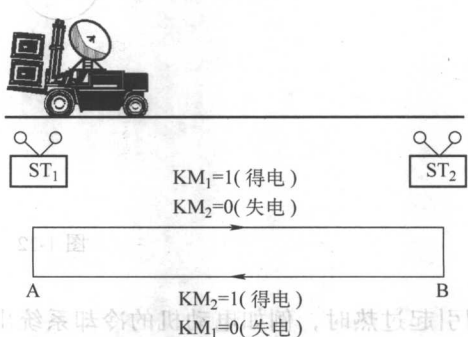


图 1-15 小车自动往复运行轨迹

成一个程序步。因此用两个程序步就可以描述小车自动往复运动的全过程。

对于运行轨迹作如下规定:有箭头表示的(导数连续的)线段说明小车有位移;无箭头表示的线段说明小车无位移或无程序步。

3. 步进逻辑公式

$$K_i = (ST \cdot K_{i-1} + K_i) \cdot \overline{K_{i+1}} \quad (1-1)$$

式中, K_i 表示第 i (程序)步; K_{i+1} 表示第 $i+1$ (程序)步; K_{i-1} 表示第 $i-1$ (程序)步; ST 表示转步信号,通常由位置检测器产生。当转步信号 ST 是行程开关时,式(1-1)步进逻辑公式用常规电气线路图及梯形图表示,如图 1-16 所示。

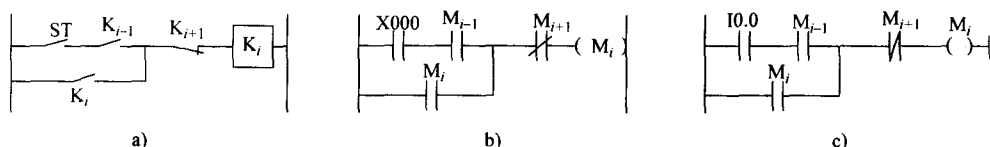


图 1-16 步进逻辑公式用常规电气线路图和 PLC 梯形图的表示法

a) 常规电气线路图表示法 b) 三菱 PLC 梯形图的表示法 c) 西门子 PLC 梯形图的表示法

式(1-1)说明,对于比较复杂的连续化的生产工艺,每个程序步之间一般存在如下关系:

每个程序步都是由前一步接触或感应转步信号 ST 产生的,每一步的消失都因后一步的出现而消失。其推导过程如下:

假设 K 表示中间继电器的线圈或触点,第 i 程序步用逻辑代数书写的过程为

每一步 K_i 的产生都是由前一步 K_{i-1} 接触或感应 ST 所产生

$$K_i = ST \cdot K_{i-1}$$

产生后应该有一段时间区域保持不变,故应该有自保(自锁)

$$K_i = ST \cdot K_{i-1} + K_i$$

每一步 K_i 的消失都是由后一步 K_{i+1} 的出现而消失

$$K_i = (ST \cdot K_{i-1} + K_i) \cdot \overline{K_{i+1}}$$

式(1-1)尽管比较简单,但是许多自动化流水线、工业机器人和机器手的控制电路的形成过程都由此公式而来。

4. 步进逻辑公式的使用方法

式(1-1)的表示方法简单,不但容易记忆而且使用也方便。其使用方法如下:

- 1) 先把运行轨迹分成若干程序步并定义转步信号(位置检测信号)。
- 2) 根据运行轨迹结构写出决定物体运动状态的输出电路的逻辑代数方程组。

输出方程定义:假设能决定物体某运动状态或方向的变量是 y ,那么,输出方程为

$$y = \sum(\text{物体在该运动状态或方向上的程序步})$$

3) 套用步进公式写出控制电路的逻辑代数方程组,如果有必要可绘出其运动控制电路原理图(控制方程组是由步进公式按照某一生产工艺要求所组成的逻辑代数方程组)。

例 1:某生产工艺要求,按动起动按钮时,电动机带动小车左右运动,小车的运动轨迹如图 1-14 所示;按动停止按钮时,小车就地停止(注意:没有箭头的运行轨迹线段表示物体没有产

生位移)。

已知: KM_1 得电, 电动机 M 带动小车向右运动; KM_2 得电, 电动机 M 带动小车向左运动。试设计满足该运动轨迹的物体运动控制系统(不考虑电动机的惯性和过热问题)。

注意: 为了突出主要问题, 在没有特别说明时, 以后暂不考虑电动机的惯性和过热问题。

设计如下:

(1) 定义程序步和转步信号 根据程序步的定义, 可知此运行轨迹分为 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 四步, 每步的转步信号分别设为 ST_1 、 ST_2 、 ST_3 , 如图 1-17 所示。

(2) 写出输出逻辑代数方程组 根据运动轨迹, 可以直接写出该控制系统的输出方程组:

$$\begin{cases} \rightarrow KM_1 = (K_1 + K_3) \cdot \overline{KM_2} \\ \leftarrow KM_2 = (K_2 + K_4) \cdot \overline{KM_1} \end{cases}$$

(3) 套用步进公式可得该控制系统的控制方程组

$$\begin{cases} K_1 = (ST_1 \cdot K_4 + K_1) \cdot \overline{K_2} \\ K_2 = (ST_2 \cdot K_1 + K_2) \cdot \overline{K_3} \\ K_3 = (ST_3 \cdot K_2 + K_3) \cdot \overline{K_4} \\ K_4 = (ST_2 \cdot K_3 + K_4) \cdot \overline{K_1} \end{cases} \quad (1-2)$$

通过增加起动按钮 S_1 来实现这组循环, 式(1-2)改为

$$K_1 = (ST_1 \cdot K_4 + K_1 + S_1) \cdot \overline{K_2} \quad (1-3)$$

通过停止按钮 S_2 来使系统停止工作。式(1-2)改为

$$\begin{cases} K_1 = (ST_1 \cdot K_4 + K_1 + S_1) \cdot \overline{K_2} \cdot \overline{S_2} \\ K_2 = (ST_2 \cdot K_1 + K_2) \cdot \overline{K_3} \cdot \overline{S_2} \\ K_3 = (ST_3 \cdot K_2 + K_3) \cdot \overline{K_4} \cdot \overline{S_2} \\ K_4 = (ST_2 \cdot K_3 + K_4) \cdot \overline{K_1} \cdot \overline{S_2} \end{cases} \quad (1-4)$$

(4) 物体运动控制系统的原理图 根据逻辑代数方程组绘出其运动控制系统的原理图见图 1-18。

5. 步进逻辑公式法实际应用时的注意事项

在实际工程应用中, 电动机一般需要调速, 控制电路大都采用可编程控制器, 应注意如下事项:

1) 如果电动机是交流异步电动机, 当采用变频器控制电动机的转速时, 可将图 1-18 所示主电路转换成图 1-19 所示的主电路形式; 如果电动机是直流电动机, 还可将图 1-18 转换成图 1-20 所示控制系统。

2) 为了施工方便快捷、调试修改程序灵活方便、控制系统安全可靠, 一般都采用可编程控制器来实现逻辑代数描述的控制电路。逻辑代数方程组与 PLC 的梯形图十分接近, 因此逻辑代数方程组也是可编程控制器的控制程序。如果用可编程控制器 (C20P) 实现与图 1-19 控制电路等效的控制系统如图 1-21 所示。

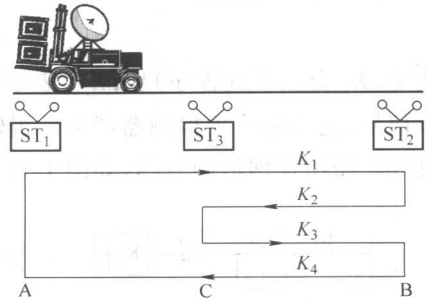


图 1-17 例题

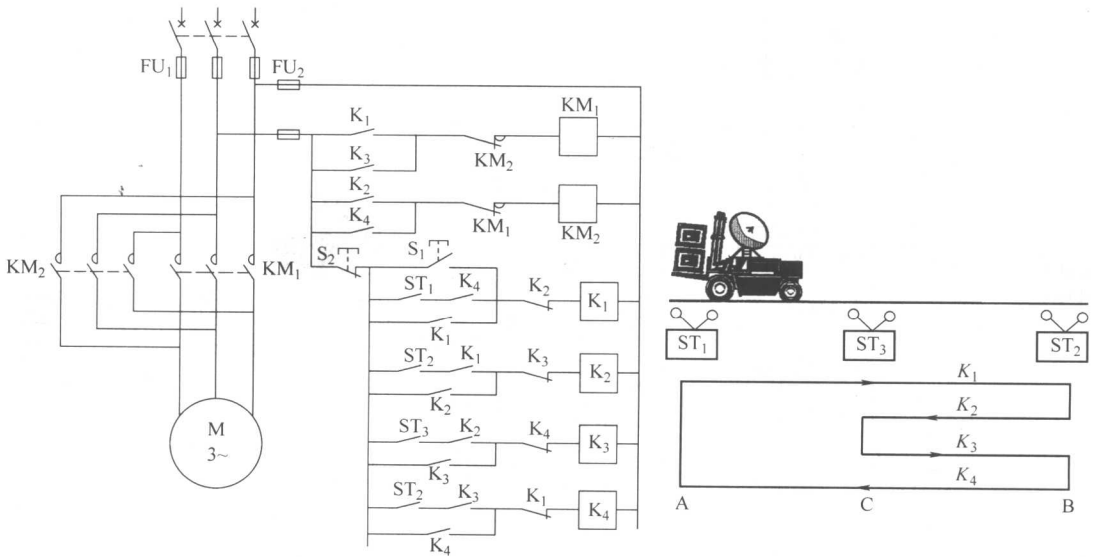


图 1-18 小车运动控制系统原理图 (继电器实现线路)

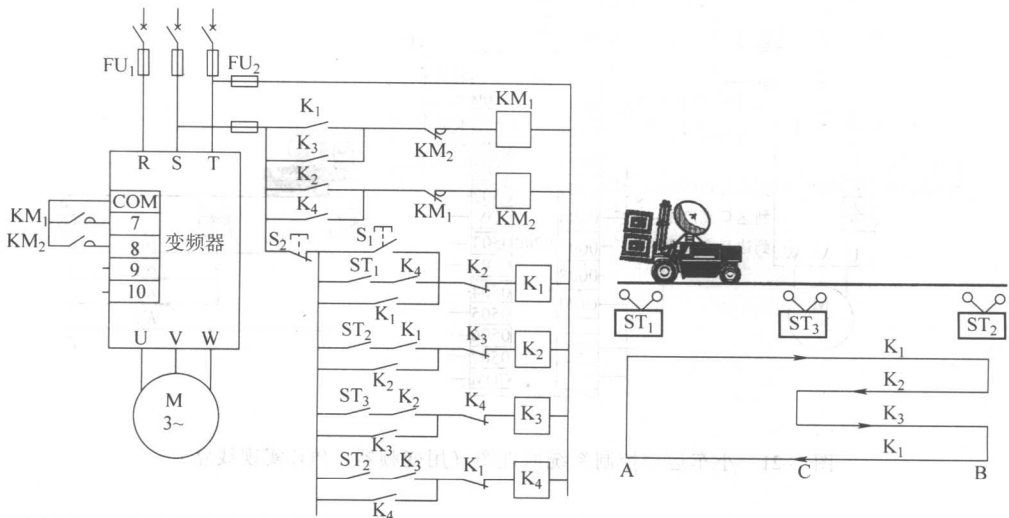


图 1-19 小车运动控制系统原理图 (用变频器调速实现)

转换特点：原电气控制电路的输入信号和反馈信号成为 PLC 输入信号；原电气控制电路的输出信号成为 PLC 的输出信号。

三、步进逻辑公式法应用举例

1. 平面运动

例 2：某生产工艺要求，按动起动按钮 S_1 后，小车的运动轨迹如图 1-22 所示，按动停止按钮 S_2 时，小车就地停止。已知：电动机 M_1 带动小车左右运动，电动机 M_2 带动小车上、下运动。假设： KM_1 得电小车向右运行， KM_2 得电小车向左运行， KM_3 得电小车上运行，