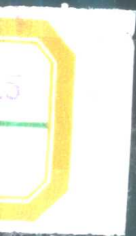


电气控制及维修

齐占伟 编



电 气 控 制 及 维 修

齐占伟 编



机 械 工 业 出 版 社

本书以电气控制电路为中心,以控制元器件的结构原理为基础,常见的典型控制电路为实例,介绍了电气控制功能的实现,控制电路的构成,一般设计、分析方法和故障查找方法。鉴于电子技术在电气控制电路中的应用日益广泛,还介绍了电子电路与电气控制电路的接口,电子电路的逻辑实现原理以及电子电路在电气控制中的应用。

本书理论联系实际,实用性强,可供电气控制电路设计、运行、维修的技术人员和工人阅读,也可供院校电气专业类师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制及维修/齐占伟编. —北京:机械工业出版社, 2001.5
ISBN 7-111-08955-3

I. 电… II. 齐… III. ①电气控制-基本知识
②电气控制装置-维修 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 26665 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: 边 萌 版式设计: 冉晓华 责任校对: 魏俊云
封面设计: 姚 毅 责任印制: 郭景龙
北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2001 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆ · 23.75 印张 · 585 千字
0 001—4 000 册
定价: 35.00 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) 68993821、68326677-2527

前言

由于电气控制电路功能、种类繁多，原理复杂，控制元件各种各样，加上电气控制新技术的应用，使电气控制成为许多电气工作者难以掌握的一门技术。怎样才能从众多类型的电气控制电路中抓住重点，找出规律，并能在电气控制电路分析、设计和维修中得到应用，这是广大读者所关心的问题，也是编写本书的目的。

本书重点介绍了接触器、继电器控制电路，内容包括常用电气控制电路的结构、原理和性能，电气控制电路的构成方法，电气控制电路的设计思路，电气控制电路的分析技巧和电气控制电路的故障查找方法。随着科学技术的发展，许多新技术特别是电子技术越来越多地渗入到电气控制电路中，并有更加深入、广泛应用的趋势，因此电子技术成为电气控制中不可缺少的一部分内容。为了满足读者的这一需要，本书介绍了电子电路的分析，电子电路与电气控制电路的接口（输入、输出），电子电路的逻辑实现方法，电子电路在电气控制中的应用和电子电路的简单维修等内容，最后介绍了部分用于电气控制电路中的电子电器。

编写本书的指导思想是：简明扼要，思路清晰，内容实用，难易适中。具体来说，就是理论分析上不求过深，以实际中需要的理论水平为准；叙述上不求过泛，以实际中涉及的知识范围为主；内容上不求过多，以实用性、可行性为限；文字上不求平均，以电气控制电路设计分析和故障查找为中心。总之一句话，深入浅出地介绍电气控制电路中的实用知识，使没有掌握很深专业知识的电气工作者甚至是其他行业上的技术人员也能在较短的时间内掌握电气控制电路的一般规律和应用方法。在格式上，除少部分引用图形外，所有的文字符号、图形符号、计量单位、编排格式等，均采用国家的最新标准。在结构上，基本上采用层层深入的方法，循序渐进，先介绍元器件的结构，再介绍基本环节的种类，然后是控制电路的组成，最后讲解电路分析和故障查找方法，使读者在阅读过程中逐步掌握设计和维修电气控制电路的基本技能。

在编写中，王维同志负责本书的绘图、资料收集和整理工作。机械工业出版社的边萌同志为本书的结构和内容提出了许多颇有开创性的建议；何利民教授、张金城副教授在百忙中悉心指导并仔细审稿；作者还参阅了近年来出版的各种国内外期刊、产品说明和有关著作；征求过许多人员的意见，限于篇幅，恕不一一列举，谨致谢意。

由于作者水平有限，经验不足，书中肯定有许多不妥之处，热忱欢迎读者批评指正。

作者

目 录

前言

第一章 概述 1

- 第一节 控制系统的构成及作用 1
- 第二节 电气控制电路的构成及特点 3
- 第三节 对电气控制系统的要求 6
- 第四节 电气控制电路的一般故障原因 8

第二章 电气控制电路中常用电器 12

- 第一节 低压控制电器的作用和分类 12
- 第二节 电磁式控制电器的基本原理 14
- 第三节 电磁式接触器 20
- 第四节 电磁式继电器 33
- 第五节 熔断器 40
- 第六节 热继电器 47
- 第七节 自动空气开关 56
- 第八节 温度继电器 67
- 第九节 感应式速度继电器 69
- 第十节 漏电继电器 71
- 第十一节 主令电器 74

第三章 电气控制电路 86

- 第一节 电气控制电路的功能 86
- 第二节 电气控制电路的绘图规则及常用符号 86
- 第三节 电气控制电路的基本环节 91
- 第四节 基本控制环节的組合 100
- 第五节 电气控制电路的一般设计方法 103
- 第六节 电气控制电路的逻辑设计方法 112
- 第七节 电气控制电路设计方法举例 128

第四章 电气控制电路的故障查找 141

- 第一节 电气控制系统故障常见原因 141

- 第二节 电源故障及其查找 149
- 第三节 线路故障及其查找 153
- 第四节 元件故障及其查找 157
- 第五节 电气控制电路检修的一般方法 165
- 第六节 电气控制电路故障排除实例 177
- 第七节 电气控制电路动作流程图与应用 184

第五章 实际控制电路分析与故障排除 194

- 第一节 小型异步电动机的控制电路 194
- 第二节 电动机起动与制动电路 202
- 第三节 单相交流电动机及其控制电路 213
- 第四节 直流电动机及其控制电路 217
- 第五节 柴油发电机组自动起动及内外线切换控制电路 225
- 第六节 双电源自动切换控制电路 231
- 第七节 电梯的电气控制电路 235

第六章 电子电路与电气接口电路 254

- 第一节 晶体管与晶体管电路 254
- 第二节 逻辑电路与数字电路 259
- 第三节 接口电路 266
- 第四节 电子技术在电气控制中的应用 273

第七章 常用家用电器及其控制 301

- 第一节 常用电热器具 302
- 第二节 制冷器具 314
- 第三节 其它家用电器 340
- 第四节 微电脑控制在家用电器中的应用 359

参考文献 373

第一章 概 述

第一节 控制系统的构成及作用

随着科学技术的发展,生产的机械越来越精密,系统也越来越复杂,对其操作的要求也越来越高。这些都要求机械系统的操作向方便、简洁、自动、可靠、经济、安全的方向发展,控制系统就是满足这些要求的中介设备。

所谓控制系统,是指能够根据指令或外界条件自动地完成一定功能的系统。它一般介于人与设备之间,使人能简洁、可靠、自动地操纵设备或系统。一套完整的控制系统,可以分析目前的状况与人的意图,合理地驱动设备进行工作。如果发现一些特殊的情况,如设备损坏,人身损伤,或者是环境条件恶化,可以自动地采取措施,避免事故发生,同时给出指示或警告;还可自动实现设备的启、停以及设备工况之间的连锁等。

控制器和控制对象的总和称为控制系统。控制器由信号给定部分、逻辑判断部分和驱动元件组成。其中,逻辑判断部分是控制系统的核心,它负责对操纵意图及外围状态进行分析判断,以驱动设备工作。

信号给定部分是控制系统的受令部分,负责接收操纵人员的指令。驱动部分则仅仅是一个放大环节或转换环节,负责将逻辑判断部分的输出信号进行放大或进行其它处理,以驱动被控对象动作。不一定每个系统都有信号给定部分或驱动部分。常用控制系统结构如图1-1所示。



图 1-1 控制系统结构图

例 1-1 柴油机调速系统即为一控制系统,其各组成部分为:

信号给定部分——调速手柄。

逻辑判断部分——调速器。

驱动部分——油泵。

输出部分——柴油机转轴。

例 1-2 直流电动机的开环控制电路,如图1-2所示。其各组成部分为:

信号给定部分——调速电位器;

逻辑判断部分——功率放大器;

驱动部分——电动机;

输出部分——电动机转轴。

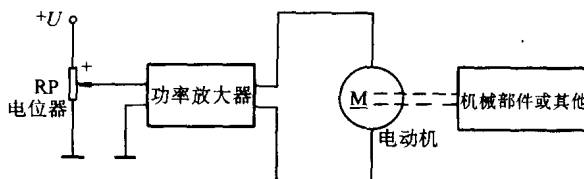


图 1-2 直流电动机开环控制电路

有的设备在运行时,要求能依据外界条件的变化而改变自身的工作状态。这就要求对应的控制系统必须能从现场取得信

号,使控制系统按要求输出。例如电梯的控制电路中,轿厢的位置信号就是一种状态信号。当

轿厢冲顶或沉底时，逻辑判断部分应能及时发出指令，使轿厢停止运行，以免发生事故。同样，轿厢的运行速度也是一个状态信号，如果速度太高，就意味着要出事故，这时逻辑判断部分也会及时采取相应措施，降低轿厢的速度或停止轿厢的运行。

类似这种系统，把系统的输出信号即设备运行的参数，送到了输入端，由逻辑判断部分拾取，又反过来作为输入信号参与逻辑分析判断，影响判断部分的输出，这种系统称为闭环控制系统；而输出信号不参与分析、判断的系统，称为开环系统。闭环系统的结构图如图 1-3 所示。

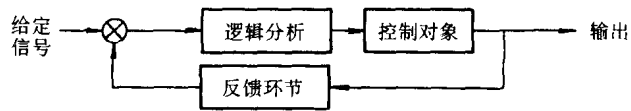


图 1-3 闭环系统的结构图

开环系统的精度很难做得很高，这是因为开环系统没有根据系统的实际输出修正输入，即输出对输入没有影响，受外界扰动较大，因此难以使系统有较准确的输出。实际中，往往采用闭环系统，根据输出情况改变输入值，以提高系统的输出精度。

例 1-3 对柴油机调速系统，人们通过油门调节转速时，人的操纵为一给定信号。在调速器内部，装有一离心摆，专门感应柴油机的转速。当柴油机的转速发生变化时，离心摆的张角也随之发生变化，从而自动改变油门的大小；当转速过低时，油门自动开大，柴油机转速升高；当转速过高时，油门自动关小，柴油机转速降低。此系统即为一闭环控制系统。当操纵者观测柴油机转速，认为转速不合适，则可改变油门大小。这条反馈路径也是一条闭环回路。因此可以说，本系统为一双闭环调节系统。如图 1-4 所示。包括：

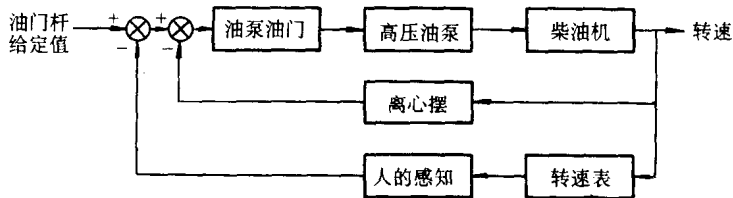


图 1-4 柴油机调速系统示意图

信号给定部分——调速手柄。
逻辑判断部分——调速器。
信号反馈部分 1——离心摆。
信号反馈部分 2——操作者。
驱动部分——油泵。
输出部分——柴油机转轴。

例 1-4 直流电动机调速系统，加闭环控制环节后，其结构示意图如图 1-5 所示，包括：

信号给定部分——调速电位器。

逻辑判断部分——功率放大器。

信号反馈部分——测速发电机。

驱动部分——电动机。

输出部分——电动机转轴。

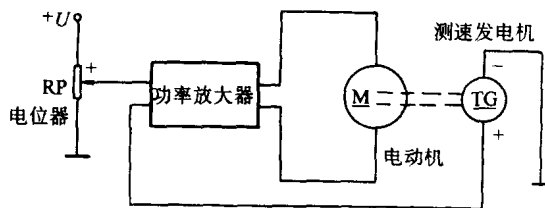


图 1-5 直流电动机闭环控制电路

例 1-3 和例 1-4 这两个系统的输出信号经反馈环节之后，改变了输入信号的大小，起到了抑制输出变化趋势的作用。

柴油机调速回路中，当输出转速上升，输出信号经反馈环节之后作用到逻辑分析部分和驱动部分，带动调速器的油门，使油门减小，转速降低；反之，当

输出转速降低时,输出信号通过反馈环节的作用,使输出自动增加,油门放大,转速上升,因此反馈环节能抑制柴油机转速的变化。在直流电动机调速回路中,当输出转速上升,测速发电机的输出电压将升高,电位器的输出电压与之相减后,送入功率放大器的电压降低,使得功率放大器输出的电压降低,电动机的转速变慢;反之,当电动机的转速下降时,测速发电机的输出电压将降低,电位器的输出电压与之相减后的差值变大,功率放大器的输出电压会上升,电动机的转速增加。可见反馈环节的加入会抑制电动机输出转速的变化。这种对扰动起抑制作用的反馈系统称为负反馈系统。

与之相反,如果反馈环节的作用是增强输出变化的趋势,则称之为正反馈系统。如电子电路中常用的脉冲发生电路,就是利用正反馈使输出信号的正向变化和负向变化得到加强,直至电路饱和,从而输出一连串的脉冲信号,如图 1-6 所示。

负反馈系统与开环系统相比,具有精度高、抗干扰能力强、对控制元件要求低等优点。虽然其放大能力低一些,但以牺牲放大倍数为代价来获取较好的性能还是值得的。正因为如此,在自动控制系统中,负反馈控制系统获得了十分广泛的应用。

当然,由于实际系统一般都具有质量、容量、惯性或延滞效应,属于动态系统,对于一定的输入,其输出或相应的响应往往是振荡的。而负反馈的引入,就有可能使振荡加剧,甚至形成自激振荡,使系统不能正常工作。在实际应用中应采取一定的措施,消除或抑制振荡的发生。

从理论上讲,负反馈的引入对模拟系统即对时间连续的系统是非常有效的;对数字系统或只有开关两个状态的系统同样有效,只是其分析方法有较大的差异。

控制系统的主要作用有:

- (1) 自动地控制设备按预定的要求动作。
- (2) 将复杂的操作简单化,减轻人的劳动强度。
- (3) 精确控制手工难以精确控制的设备。
- (4) 快速反应可能出现的各种危险情况。
- (5) 代替人在高温、有毒、易燃等危险场所操作设备。
- (6) 替代人在狭窄、水下、高空、远距离等人不易到达的地方操作设备。
- (7) 限定各种不允许的操作。
- (8) 自动保护人和设备的安全等。

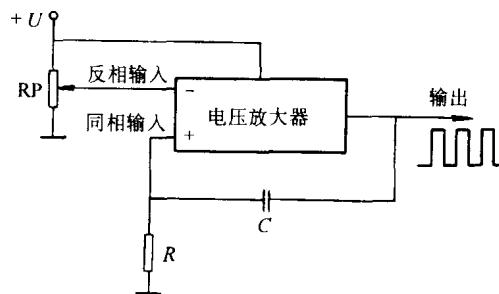


图 1-6 振荡电路的正反馈应用

第二节 电气控制电路的构成及特点

电作为一种能源,具有传输容易、没有污染、无噪声、控制方便等优点,已经深入到了工业、农业、交通、国防以至人们日常生活中。因此有人认为,科学技术的发展,生产力的发展,最能体现在电气化上;而电气化的发展,则体现在电气控制自动化上。电气自动化控制有继电器、接触器构成的控制,电子元器件构成的控制和微电脑构成的控制等,其中微电

脑构成的电气控制代表了目前电气控制系统的前沿。

同其它控制系统一样,电气控制系统也是由受令部分、分析判断部分和执行部分构成,其功能与其它控制系统相同。

对于电气设备来讲,控制信号的种类十分繁多,表 1-1 只列出了部分电气设备控制参量。但很多情况下,只要将电气设备的电源加上,如异步电动机等,设备就开始正常工作。因此要实现对设备的控制,只需控制其电源的通断,即通过使用合适的开关信号就可实现对设备的控制。虽然这仅是一般情况,但在大多数情况下仍然适用。因为如果把复杂的系统进行分解,就会发现它们通常是由一个或几个供电就工作的设备组合而成,控制信号也可简化成多个开关信号。因此,电气控制系统的执行部分往往是一个开关,或是由开关控制的电动机(输出位移或随位移改变的电阻、电感、电压、电容、压力等)、电灯(输出光强)、电热丝(输出热量)等用电设备。

表 1-1 部分电气设备控制参量表

序 号	参 量	应 用 范 围	应 用 举 例
1	电压	控制信号给定、输出信号强度	直流电动机调速电路
2	电阻	控制信号给定、输出衰减	直流电动机励磁调节
3	电流	输入信号、功率输出	环境温度变换
4	电容	输入信号	弱位移测量、调谐装置
5	电感	输入信号	电机绕组测试仪
6	导通角	交流输出电压调整	晶闸管调压
7	频率	输入信号、交频调速输出	计数装置、变频调速器
8	脉冲宽度	输出信号	开关电源
9	开关信号	输入信号、输出信号	接触器控制电路
10	位移	输入信号、输出信号	水电站水门开启设备
11	压力	输入信号、输出信号	高压油泵
12	温度	输入信号	温度继电器
13	湿度	输入信号	湿度继电器
14	速度	输入信号	速度继电器
15	光强	输入信号、输出信号	红外遥控器
16	气体含量	输入信号	可燃气体检测器
17	射线	输入信号	氧含量检测

对开关信号,电气控制电路的逻辑判断部分,可以由电气元器件的触点按串并联等联接方法,实现信号的联锁与逻辑关系,也可以依靠电子电路或数字集成电路来实现。

不同的电路有不同的特点,也有各自应用上的局限性。目前在工业生产中,复杂的或精密的设备普遍采用可编程控制器或微电脑进行控制,它们是利用事先编写好的程序来实现所需要的逻辑关系的,其输出可以是开关信号,也可以是模拟信号,或者是其它信号。

电气控制系统按逻辑判断部分的结构,可分为接触器、继电器控制系统、可编程顺序控制系统和交磁放大机系统等。随着科学技术的发展,不同类型的控制系统互相渗透,有些时候界限已不十分明显。

从电路上看,电气控制电路可分为主要被控回路(即主回路)和控制回路。它们都有电源供给部分,也有自己的保护电路。为了能感受系统信息,有时还采用传感器及其它转换部件,一般电气控制电路由以下部分构成:

- (1) 电源部分—分别为主回路和控制回路提供电源。
- (2) 电源保护部分—保护主回路和控制回路电源,以保证设备电路在发生短路故障时及时切断电源。
- (3) 控制部分—一般为串接在主回路中的开关或其它电气设备,使得控制系统输出信号得到响应。
- (4) 执行部分—即逻辑、分析、判断部分。
- (5) 测量部分—由传感器、变换元件等组成,专门检测外部参量,如传感温度的温度继电器,传感位置的位置开关等。
- (6) 保护部分—也属于测量的一部分。当设备出现过热、过压、缺润滑等特殊情况时,必须立即切断电源,以保护设备不致损坏。
- (7) 指示部分—分为故障指示、状态指示和操作指示等。可以是灯光指示,也可以是声音指示或其它指示。
- (8) 受令部分—即接受操纵命令的部分。一般为主令电器,如按钮、主令开关等。

各部分之间的关系如图 1-7 所示。

电气控制电路有以下优点:

(1) 功能多,灵活性强,可以在一个控制电路中加入多种功能,也可适当改动,使原控制系统具有其它功能。

(2) 电气控制系统由于投资少、费用低,因而制造周期短,设备更新较快。

(3) 操作简便,可靠性高,维修方便。

(4) 电气控制装置紧凑,占用空间少,便于不同场所使用。

(5) 功耗小,效率高,特别是电子技术的应用,使功耗降低更多。

(6) 各种被测量信号容易被转换成电信号,因此易于实现控制系统的自动化控制,不需人的看护与频繁操纵。

接触器、继电器控制系统以其结构简单、工作可靠、寿命长和易于维修而广泛应用于各种电气控制中。可编程控制器及微电脑控制器功耗小、控制灵活,容易实现较复杂的控制,但其成本较高,且需要专门的维修知识,因而在小型控制系统中的应用受到了限制。本书主要以接触器、继电器为例来介绍电气控制系统的设计、使用和维修方法。

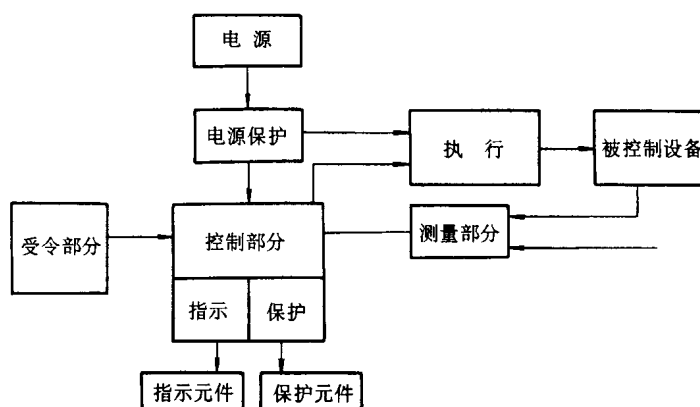


图 1-7 电气控制系统各部分之间的关系

第三节 对电气控制系统的要求

对电气控制系统的要求,大致可分为两类,一类是系统应具备的一般特点,另一类是系统本身技术性能应能达到的指标。

一、一般要求

1. 经济性强,成本低 这是针对任何一个系统提出的最基本的要求。因为所有系统都存在着成本问题和更新换代问题。

2. 低功耗和易维护 如果功耗较大,不仅仅是一种能源浪费,更重要的是消耗的电能被转化为热量,增加了电气控制系统的散热负担,恶化了电气控制系统的工作环境。事实上,功耗大的设备必然伴随着元器件体积的庞大和可靠性的降低,这不但增加了电气控制系统的成本,也减弱了设备使用的灵活性。电子技术和其它新技术的应用,使这一问题得到了较好的解决,然而仍大有潜力可挖。

易于维护也是电气控制系统的基本要求。只有易于维护、易于修理,才能增加系统运行的可靠性。

3. 工作可靠 一个设计良好的电气控制系统,应该具有可靠的工作性能。它包括两方面的内容:一是在恶劣环境和恶劣工况下,系统本身可靠性高,不出故障,这主要是由设备元器件质量和安装工艺决定的;二是系统有较强的容错或者是纠错能力。如按键选台的老式电视机(非遥控型),如果不采取一定的措施,所有按键被同时全部按下时,按键将无法复位。所以此类电视机频道选择按键总有几个是互锁的,保证不被同时按下。类似这类系统的设计就是比较成功的。在电气控制系统中也是如此,在各种操作甚至是误操作下也不出问题,或者有一定的预防措施,不至于出现误操作。例如电动机起、停控制电路,当起、停按钮同时按下时,电动机是起动还是停止?或当正、反转按钮同时按下时,电动机正转还是反转?如果系统设计得好,这些问题都可避免,不至于误动甚至出事故,这主要取决于电路设计是否完善。

二、控制系统的性能

电气控制系统的一些数据是衡量系统性能的指标。控制系统的性能,是指控制系统的被控制量或输出量能否迅速、准确地按控制输入量的变化而变化,二者之间保持一定的函数关系,并且这种函数关系尽可能地不受外界扰动的影响。

例如:对于一发电机组,在转速恒定不变时,调压器设定值为 380V。如果由于负荷发生了较大的变化,使发电机的电压降低到 360V,则是我们所不希望的。一旦设备的电压误差过大时,自动恒压系统应能减小这种误差。

当负荷突然增加时,电压的降低过程如图 1-8 所示。从图中可以看出,负荷突然增加时,电压从 380V 跌落。电压首先降低到 360V 以下,然后又回升,并超过 360V,然后又降低到 360V 以下,再回升。经过多次振荡,振荡幅度越来越小,最终稳定在 360V 上。

如果需要将电压调整到 380V,应将调压器的电位器朝电压升高的方向调节,即使不计调节电位器的时间,发电机输出电压也不是立即上升,而是经历一个过程,即首先输出电压上升,然后下降,经过一段振荡时间后,电压才稳定在 380V。

在响应过程中,有几个参量是比较重要的:一个是系统的自身调整能力,即在受到扰动

并且系统达到稳态后, 输出值与理想值之间的差值; 另一个是系统受到扰动时的振荡强度, 用最大振幅或超调量来表示; 还有一个参量是系统的振荡时间, 它反映了系统在受到扰动时自动调整所需的时间。这些参量的图形意义如图 1-9 所示。

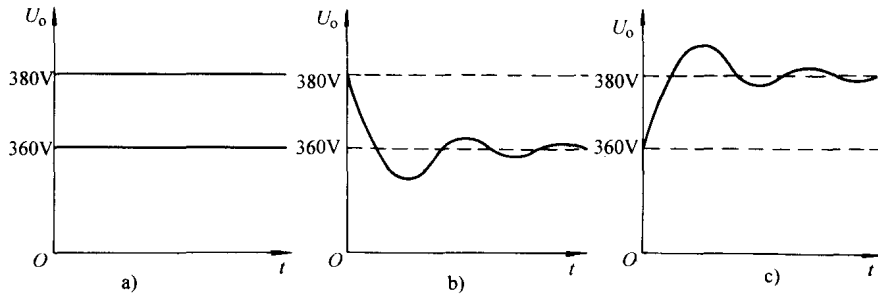


图 1-8 发电机负荷增加时电压的变化过程

a) 稳态时的输出电压 b) 负荷突然增加时的电压变化过程 c) 调节调压器时的电压变化过程

各参量在电气控制系统中的具体含义为:

1. 稳态误差 稳态误差是指电气控制系统在给定输入时, 当 $t \rightarrow \infty$ 时稳态输出与希望输出之间的偏差, 它表达了系统实际输出与希望值之间的最终偏差, 包括在任何扰动下的偏差。

显然, 不同的输入对应的稳态误差是不同的, 有时甚至是一个变化的数值。为了具有可比性, 可指定稳态误差对应的输入信号, 例如单位阶跃输入信号或斜坡函数等。

从响应曲线上, 稳态误差是指稳态输出值与理想值之间的差值。

例如发电机电压调节系统, 如果调节电位器, 使其指针指向 380V, 但由于某种原因, 输出电压达到稳态后仅为 360V, 那么稳态误差就是 20V。所以稳态误差是系统误差的一种表现形式。

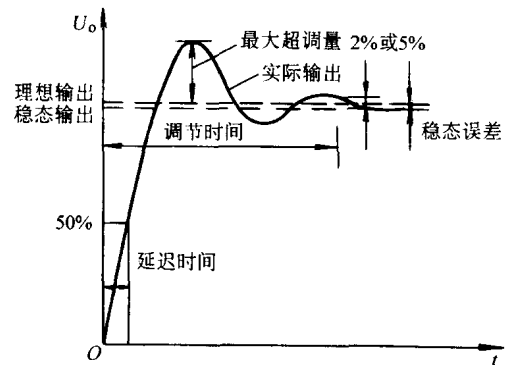


图 1-9 电气控制系统的阶跃响应

2. 瞬态性能 我们希望电气控制系统输出值能紧跟输入值变化, 但实际系统中有电感、电容等储能元件或转动件的惯性, 往往使输出值不能对输入值的变化立即响应, 而需要经历一个过程。在衡量这个响应过程中采用了最大超调量、延滞时间、上升时间、峰值时间、调节时间等指标, 各参量的意义为:

最大超调量——阶跃响应曲线超过理想输出的最大值, 常以百分比表示。

延迟时间——阶跃响应曲线上升到稳态值的 50% 所需的时间。

上升时间——阶跃响应曲线从稳态值的 5% 上升到 95% 或从稳态值的 10% 上升到 90% 所需的时间。对有振荡系统, 常用从 0 到第一次上升至稳态值所需的时间来表示。

峰值时间——响应曲线到达第一个峰值所需的时间。

调节时间——响应曲线衰减到与稳态值之差不超过 2% 或 5% 所需的时间。

电气控制系统中一般要求响应输入的速度高一些为好, 也即要求延迟时间、上升时间、峰值时间、调节时间要短, 超调量要小。

3. 系统稳定性 系统稳定性能可分为大范围内稳定、小范围内稳定和系统不稳定三种。对应于小范围内稳定的参数有稳定点和稳定半径。

因此,对电气控制系统在性能上的要求是:系统稳定,裕量较大(特殊情况下除外),瞬态响应迅速,调节灵敏,无过调现象或阻尼振荡衰减迅速,稳态误差小。只有这样才能满足工农业生产及国防工业控制技术的需要。

对于非线性电气控制系统,分析时与上述方法有一定的区别,可参照上述参量逐项检验。

第四节 电气控制电路的一般故障原因

从结构上讲,电气控制电路主要由电气元件、电源、导线及联接导线的固定部分所组成。因此,故障主要发生在以下部位。

一、导线故障

导线是由导电的金属部分和包裹在外面的绝缘部分所组成。导线产生故障的原因有三种。

1. 断线 如果导线用于两个相对活动的部件的联接,则导线将会随着活动部件的移动而弯曲和伸直。由于金属有疲劳现象,因此弯曲超过一定的次数或小于一定的曲率半径,将会引起导线折断。有时候,这种折断只是导线内部芯线的断裂,而外部绝缘层完好,故难以发现故障。在固定连线中,导线从中间折断的可能性很小,也很少见到。在实际应用中,活动部分的导线应选择软导线,以防止导线折断。

发生断线的另一个原因是霉断,这种情况一般发生在较细的导线中。例如收音机中频变压器内的绕组或测量仪表表头内的线圈,由于漆包线很细,加上霉菌生长或铜的锈蚀,均会造成漆包线断线。粗导线很少会因此而断线。

机械损伤也会造成导线断线。敷设导线前,如果导线受到外力损伤使某一处截面变小,则在通过大电流时,截面积小的地方就会发热严重,甚至烧断导线。外力作用致使导线从中间断裂,比较直观,也较易维修。

2. 漏电 漏电是指导线已绝缘不良,但并未完全损坏时产生的漏电现象。常见的有壳体带电、绝缘指示不正常或有放电现象。产生这一故障的原因是绝缘层老化、变性或受外力损伤。

3. 短路 当绝缘层被破坏后就有可能产生这一故障。如两根相互错动的导线,当绝缘层磨破之后,两根线芯接在一起,这就是短路。短路是较严重的故障,轻则使电气控制电路工作不正常,重则发生电源短路事故,使整个系统瘫痪。

二、导线联接部分故障

导线与导线之间的联接以及导线与元器件之间的联接是最容易出问题的地方。由于导体表面不是绝对的光滑,因此两导体相接触时只是若干点的接触,电流流过时会产生束流现象,造成接触面上的接触电阻较大,发热较严重。接触部分常见的故障有接触不良、松脱、发热等。

1. 松脱 松脱常出现在工作环境比较恶劣的场所。如系统振动比较厉害,久而久之螺钉松动引起导线脱落,脱落的导线碰到别处,造成漏电、短路等事故。因此导线的联接必须牢固,尤其在振动比较剧烈的场合,导线联接更要注意。螺钉联接时,应将导线弯成圆环套在螺钉上。

2. 发热 接触电阻较大是发热的主要原因，特别在大功率、大电流的场合，发热现象尤为突出。发热严重时会造成金属氧化，甚至烧熔、冒火。一般的金属氧化后，生成氧化物的导电性能都较差，而银的氧化物的导电性能与银相差不多，故在导电元件的联接中，银的使用量较多。如果采用的金属是铜或铝，那么在接触处发热时，会加速铜或铝的氧化，而铜或铝的氧化，则意味着接触电阻的增加，也就等于加剧了金属的发热现象。这一恶性循环，是烧坏导线联接处的主要原因。

导线发热常伴随着金属的部分发黑（即氧化）和绝缘的部分烧坏（即发出异味），通过观察即可容易地发现这种故障。

要避免这种情况，必须从减小接触电阻入手，增加导线的接触面积不失为一种有效方法。增加导线的接触面积可以从以下几个方面入手：一是增加导线联接部分的长度；二是增加联接件的接触压力，使导线的联接从点接触变为面接触；三是采用焊接的方法。解决发热问题的第二种方法是增强散热功能，如加大联接部分金属的体积，增大金属与空气的接触面积，采用大的螺栓、螺母进行联接等。第三种方法是增加联接部分的导电性能，可在联接部分镀一层锡或在接触面上涂上导电硅脂等。

一旦发生了联接处过热的情况，应采取积极的措施，以防止故障的扩大。首先对氧化层进行清除，然后对烧蚀部分进行修复，最后再对照上述方法进行解决，一定要干净、彻底，否则会旧病复发。如果螺钉被烧坏，不能拧动，可用煤油浸泡。必要时可更换联接件、导线或将导线头部剪除重剥，以杜绝发热现象的发生。

3. 接触不良 接触不良是指导体联接部分接触电阻过大或不稳定，使电路不能正常工作，或出现时好时坏的故障。产生接触不良故障的原因一般是联接处松动、发热、氧化、发霉等。为防范联接件出现接触不良的现象，除了要按国家规定安装、操作外，还需定期检查。及时发现、解决问题。

三、元器件的故障

在电气控制系统中，控制元器件种类较多。元器件不同，故障种类和故障现象也不同。这里只给出一般故障。

1. 元器件损坏 元器件损坏的原因是多方面的：有自身的质量问题，有外力的作用，也有工作条件超过极限等原因。元器件损坏后，往往能从外表看到变形、烧焦、冒烟、部分损坏等明显故障，有时伴有异味。有的元器件损坏后，从外表上看与完好时并无二致，只有用仪表测试时才能发现问题。

元器件损坏是比较常见的故障，它能造成系统功能异常，甚至使系统瘫痪。在检修过程中，采用一问、二看、三摸、四量、五换的原则，一般能奏效。对值得怀疑的元器件，首先观察其外表，如发现明显问题如变形、冒烟等，则该元器件已经损坏，即使能暂时工作，往往也是下次故障的根源。然后，对可疑元器件进行测量，可以在电路上进行，以判断其部分性能。这种测量可以在电路工作中进行，也可以在电气控制电路停止工作时进行，但要注意考虑其它电路对测量数据的影响。另一种测量方法是将被怀疑的元器件从电气电路中拆下取出，以排除其它电路对测量的影响，确切地测出元器件的性能。此外，也可对被怀疑的元器件采用替代的方法，即用一好的元器件替换被怀疑的元器件，这种方法在弄不清电路原理时比较有用，是一种不使用测量仪器的有效方法。

值得一提的是元器件的损坏经常跟其它部分故障有直接联系。例如接触器触头烧坏，表

明回路中有短路现象存在, 对此必须追根究底加以排除, 而不是简单地更换元器件了事。元器件故障的原因不排除, 将会导致下一次故障。

2. 元器件性能变差 同其它系统一样, 元器件性能变差是一种软故障, 也是一种难以查找的故障。这种故障又分两种: 一种是其性能一直较差, 例如自动恒速系统, 系统的速度波动比原来大; 另一种是性能时好时坏, 有时候不能正常工作, 但修理时却又没问题了, 怎么也查不出故障所在。这种故障的出现, 与元器件损坏的原因一样, 如工作状况的变化、环境参量的改变以及其它故障连带引起等, 都是元器件性能变差的原因。元件性能变差以后, 经过一段时间的发展, 会造成元器件的损坏, 甚至影响到其它元器件的可靠性。因此这种故障出现后, 必须加以处理以避免造成更大的损失。

这类故障的查找比较困难, 通常采用恶化工况的方法进行查找。例如让电气控制系统工作于高温环境, 或者工作于高湿环境, 必要时可适当提高电源电压等等。待故障出现后, 动作要快, 测量要细, 判断要迅速, 以免系统长时间工作于故障状况或极限状况而造成更大的损坏。其它方法如测温、听声、嗅味等方法, 在检修中常使用。

总之, 对于电气控制系统, 由于安装工艺上的原因, 使得对照实物查找电路成为一大难题。如何在实际中总结经验, 快速、准确地排查故障, 是广大电气工作者长期探索的目标之一。

例 1-5 楼梯上、下两处开关控制一盏灯, 出现灯常亮不熄的故障而开关动作自如。

分析: 灯常亮不熄, 表明该电气线路在关灯时并未被切断。从图 1-10 中可以看出: 开关出故障的概率最大, 其次是两开关之间的一段线路, 故应先从开关入手查找故障。

检修: 断开电源, 打开开关, 检查联线, 未发现线路短接等异常情况; 拆下联线, 用万用表测量开关性能, 通断正常; 检查开关之间的联线, 发现扁平护套线绝缘层已破, 后又受外力的作用, 致使两线短接, 用绝缘胶带包扎后, 接好开关, 通电, 故障排除。

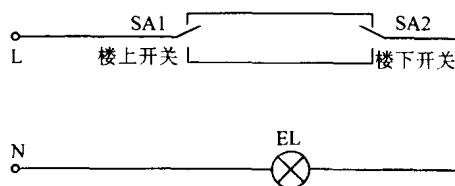


图 1-10 照明灯双开关电路

例 1-6 一台固定式起吊设备, 上、下动作自如, 向后动作也比较灵活, 但向前动作有时不灵。

分析: 从现象上看属于一种软故障, 有可能是元件性能变差, 也有可能是导线联接处接触不良, 但这些问题都出在向前动作控制电路中。

检修: 由于本系统线路分布很广, 查找十分不便, 因此从向前控制按钮处开始查找。断开电源, 打开控制箱, 观察向前控制按钮, 未见异常, 用电阻表测量按钮按下时的电阻, 电阻表指针不为零且摇摆不定, 由此断定该按钮接触不良, 更换该按钮后故障排除。

说明: 这是一种典型的元件性能变差的故障。如果只对按钮触头进行擦拭, 常会因为清除不彻底而造成第二次故障。由于该起吊设备工作时危险性较大, 要求其动作必须自如, 故应该以更换同型号新品为最好处理方法。当然, 处理本故障还应分析该按钮性能变差的原因, 如果是环境不好, 应采取措施; 如果是整体性能老化, 则应对所有按钮进行检查更换, 以杜绝隐患。

例 1-7 一台内燃机交流起动机不能正常工作。

分析：该起动器是用来为内燃机起动时提供直流 24V 或 36V 电源的。据用户介绍，本设备放置时间较久，一直没有用过，也不知故障原因。既然提供低压直流电源，内部就应该有变压器、整流元件以及控制电路等。检查步骤应该是先检查变压器和整流器，若它们没有问题，再查控制电路。

检修：按以下步骤进行检修。

1) 查变压器，无烧焦、打火、烧蚀的痕迹，外观也未见异常；测其三相电阻平衡，绕组对地绝缘良好。

2) 查整流二极管，外观光洁，安装正确，未见损坏迹象。

3) 查控制线路，导线无脱落、破皮现象；熔断器没有动作，接触良好；按钮虽然较为陈旧，但无损坏痕迹；查接触器，已布满霉斑；仔细观察，发现一桥形触点被烧穿。更换同型号接触器，通电后一切正常，至今已工作两年有余。

说明：本故障为元件损坏。元件损坏的原因不清，因此也就无法加以排除，只有在试用期内严格监视，以观察问题的发展状况。实践证明，更换接触器是可行的。

第二章 电气控制电路中常用电器

低压电器是构成低压控制电路的最基本元件，它们性能的优劣、状态的好坏、维修是否及时将直接影响到控制电路的正常工作。除了电磁类低压控制电器外，常用低压电器还有：①保护类低压控制电器，如热继电器、熔断器、漏电保护器等；②主令电器类，如万能转换开关、按钮、行程开关、主令控制器等；③其它控制电器，如温度继电器、速度继电器、低压断路器以及电磁阀、电磁抱闸等。无论其功能如何，它们的工作过程都是相同的，即都是将一些非电信号或电量信号转变为非通即断的电量信号或随信号变化的模拟量信号，以实现控制电路对操作人员、被控对象、环境等进行正确反应。

第一节 低压控制电器的作用和分类

低压控制电器属于低压电器的一种。所谓低压电器，是指在低压供电网络中，能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变电路的状况、参数，用以实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节和转换等的电气器械。低压电器的作用有：

- (1) 控制作用 如电梯轿厢的上下移动、快慢速自动切换与自动平层等。
- (2) 保护作用 能根据设备的特点，对设备、环境、以及人身实行自动保护，如电机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。
- (3) 测量作用 利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网或其它非电参数进行测量，如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等。
- (4) 调节作用 低压电器可对一些电气量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、照度的自动调节等。
- (5) 指示作用 利用低压电器的控制、保护等功能，检测出设备运行状况与电气电路工作情况，如绝缘监测、保护掉牌指示等。
- (6) 转换作用 在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行，以实现功能切换，如励磁装置手动与自动的转换，供电的市电与自备电的切换等。

当然，低压电器的作用远不止这些，随着科学技术的发展，新功能、新设备会不断出现。按照低压电器在控制电路中的作用，可以将低压电器分为：

- (1) 低压配电电器 用于低压配电系统或动力设备中，用来对电能进行输送、分配和保护。主要有刀开关、低压断路器、熔断器、转换开关等。低压配电电器的主要种类和用途如表 2-1 所示。
- (2) 低压控制电器 用于拖动及其它控制电路中，对命令、现场信号进行分析判断并驱动电器设备进行工作。低压控制电器有接触器、继电器、起动器、控制器、主令电器、电磁铁等。常用低压控制电器的主要种类和用途如表 2-2 所示。

对低压配电电器，要求是灭弧能力强、分断能力好、热稳定性能好、限流准确等；对低压控制电器，则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长并具有一定的负载能力。

在电气控制电路中，两类低压电器常互相配合，同时使用。