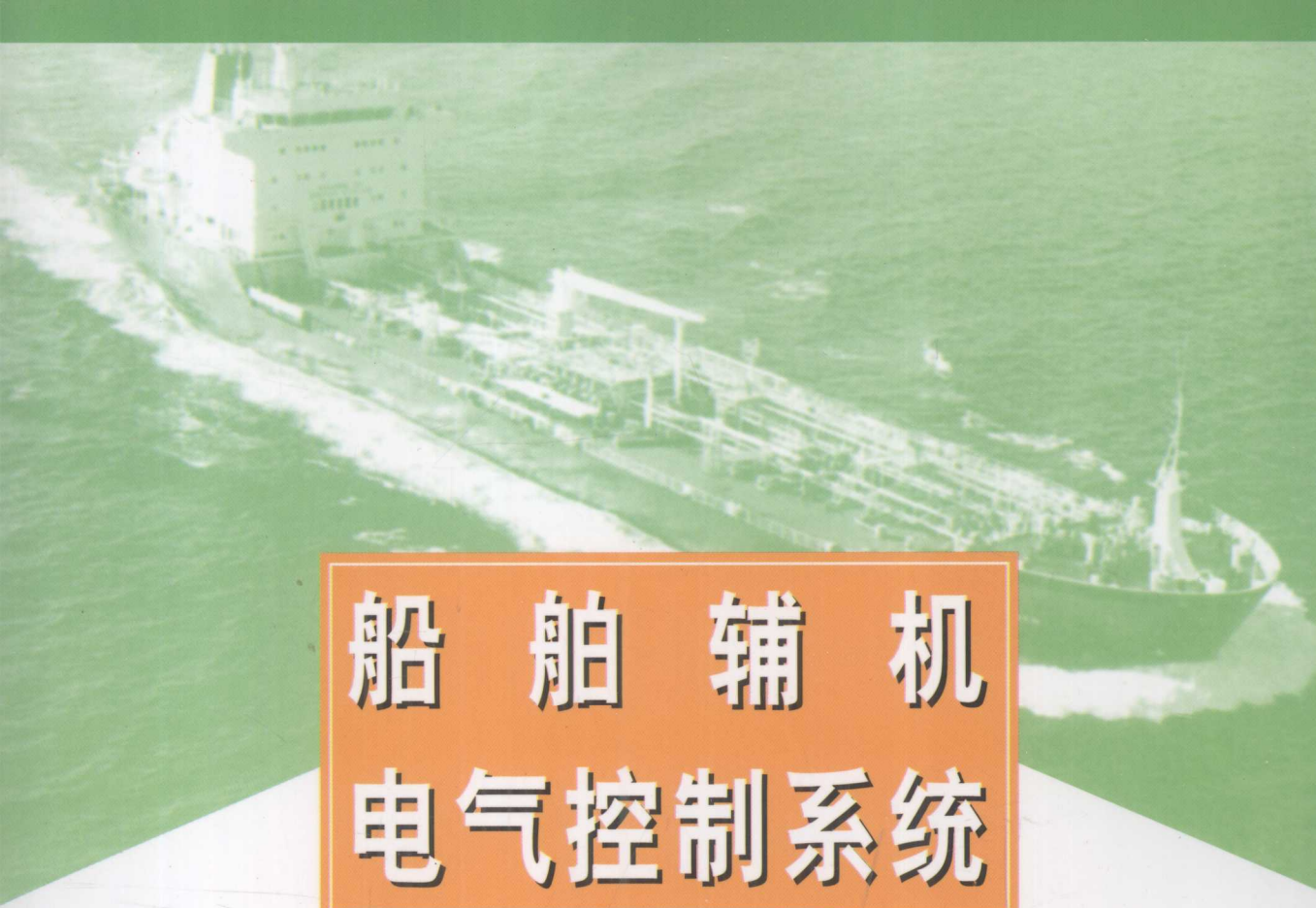




船舶辅机 电气控制系统

赵殿礼 主编
林澄渊 费 千 主审

CHUANBO FUJI DIANQI KONGZHI XITONG



大连海事大学出版社

船舶辅机电气控制系统

赵殿礼 主 编
林澄渊 主 审
费 千

大连海事大学出版社

© 赵殿礼 2003

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶辅机电气控制系统 / 赵殿礼主编 .—大连 : 大连海事大学出版社, 2003.2

ISBN 7 - 5632 - 1609 - X

I. 船... II. 赵... III. 船舶辅机—电气控制系统 IV. U664.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 083980 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌水桥 邮政:116026 电话:4728394 传真:4727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@ dmupress.com

大连理工印刷有限公司印刷

大连海事大学出版社发行

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:15

字数:374 千字 印数:1 ~ 2500 册

2003 年 2 月第 1 版

2003 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:黎 为

版式设计:纪 渝

封面设计:王 艳

责任校对:晓 艺

定价:23.00 元

内 容 提 要

本书共分四篇,在电工学的基础上全面系统地介绍了船舶辅机电力拖动系统及电气控制的基本原理和方法,并引用船舶上的实际设备为例进一步详细说明。第一篇介绍电动机的基本控制方法;第二篇介绍船舶甲板机械(即船舶起货机、船舶锚机和绞缆机)电力拖动及其电气控制的类型与控制方法;第三篇介绍船舶舵机的电力拖动与控制,即各种操舵系统的工作原理;第四篇主要介绍船舶舱室机械的电气自动控制。

本书可作为高等航海院校轮机管理专业的本科生教材和参考书,也可作为在职轮机管理人员的自学教材和参考书。

前 言

本书是为高等航海院校轮机管理专业培养船舶机电合一高级管理人才的配套教材,也是现代船舶轮机员进一步学习和工作的重要参考书。

根据轮机管理专业指导委员会确定的基本教学要求,结合国际海事组织 1995 年修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW78/95 公约)“关于轮机部的标准”以及中华人民共和国港监局颁布的《中华人民共和国海员专业培训办法》和海船船员评估标准等文件的要求,编写了这本教材。本教材编写的主要目的是加强轮机管理专业在校学生电工学的基本理论的应用及实际技能的培养,了解和掌握现代化船舶电气设备的管理知识,使他们任职后能对船舶电气自动化设备的具体问题有较强的分析和解决的能力,全面负责船舶电气设备的使用、维护、管理和故障的处理。

本书共分四篇十五章。第一篇船舶电动机基本的控制方法;第二篇船舶甲板机械的电力拖动及其电气控制;第三篇船舶舵机的电力拖动与控制;第四篇船舶舱室机械的电气自动控制。

本书基本上反映了船舶辅机电气控制设备及其自动控制的现状。其特色是从系统的概念出发,以现代化船舶典型的、实际的机电系统为例,阐述电气控制系统的各基本环节和工作原理,以及各环节之间的联系,介绍其原理、使用、维护的基本方法和故障处理。目录中带 * 部分可根据情况选用。

本书有些章节的内容取材于较新的现代化船舶,内容基本上涵盖了现代先进技术在船舶上的应用。

本书由大连海事大学赵殿礼副教授主编,张春来副教授、孙才勤讲师、吴浩峻讲师、曲宏飞工程师参加本书的编写工作。

本书由大连海事大学林澄渊教授和费千教授主审。冯惠、夏志发和陈宫甫老师对本书的编写提出了很多宝贵意见。在此特向他们表示感谢。

由于时间仓促以及作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者



1	第一篇 电动机的基本控制
1	第一章 电气控制线路的基本概念
1	第一节 控制电器的分类
2	第二节 电气控制系统中的图形符号及文字符号
2	第三节 电气控制系统的电路原理图和安装图
3	第二章 电动机常用控制方法
3	第一节 三相异步电动机的起动和停止
10	第二节 三相异步电动机的制动
14	第三节 三相异步电动机的调速
17	第四节 直流电动机的起动和反转
22	第三章 船舶各种常用泵的控制方法
22	第一节 各负载泵参数及其控制方法的分类
26	第二节 控制模块介绍
44	第四章 电动机典型控制电路实例分析
44	第一节 某远洋船机舱用模块控制线路实例分析
52	第二节 空压机控制电路实例分析
54	第二篇 船舶甲板机械电力拖动及其电气控制
54	第五章 船舶甲板机械的特点及驱动与控制方式
54	第一节 甲板机械的特点、驱动及控制方式
56	第二节 船舶电力拖动系统的分类
57	第三节 船舶起货机的类型及特点
57	第四节 电动起货机的结构和运行特性
62	第六章 船舶直流电动起货机
62	第一节 直流电动起货机的类型及特点
65	第二节 三输出直流 G-M 系统起货机
69	第三节 直流电动起货机电气设备的常见故障及排除
72	第七章 船舶交流电动起货机
72	第一节 交流电动起货机的构成及特点
73	第二节 国产交流变极调速起货机控制系统
77	第三节 交流变极三速电动起货机的常见故障分析
81	第四节 恒转矩交流三速起货机的线路分析

85	第五节 PLC 控制三速交流起货机控制系统
90	第六节 电动液压起货机
98	第八章 船舶锚机、绞缆机电力拖动自动控制系统
98	第一节 锚机、绞缆机的类型及运行特点
99	第二节 锚机、绞缆机对电力拖动系统的基本要求
100	第三节 电动锚机及其控制
102	第四节 交流三速锚机电气控制系统
105	* 第五节 采用 PLC 控制的交流三速锚机控制系统
106	* 第六节 “HATLAPA”电动液压锚机自动抛锚控制系统简介
111	第三篇 船舶舵机的电力拖动与控制
112	第九章 船舶舵机的基本工作原理
112	第一节 单动操舵系统基本工作原理
114	第二节 随动操舵的工作原理
119	第三节 自动操舵系统基本工作原理
124	第十章 典型自动舵分析实例
124	第一节 概述
130	第二节 自动舵的工作原理及操作
140	第三节 自动舵的检修与保养
156	第四节 电动液压舵机液压系统实例的分析
164	第四篇 船舶舱室机械的电气自动控制
164	第十一章 辅助锅炉的电气自动控制
164	第一节 船舶辅助锅炉电气自动控制系统的主要环节
176	第二节 可编程控制技术在船舶辅助锅炉控制系统中的应用
185	第三节 船舶主锅炉的燃烧程序控制系统
187	第十二章 伙食冷库制冷装置的电气自动控制
187	第一节 伙食冷库制冷装置自动控制的基本工作原理
188	第二节 伙食冷库制冷装置自动控制的主要环节及元件
198	第三节 TEKNOTHERM 型伙食冷库制冷装置自动控制系统
203	第十三章 空调装置的电气自动控制
203	第一节 空调装置的基本结构及工作原理
204	第二节 NSA45LR 型空调装置及控制系统
207	第三节 TEKNOTHERM 型空调装置及控制系统
211	* 第十四章 冷藏集装箱的电气自动控制
211	第一节 LKAEN5BD5 型冷藏集装箱控制系统
214	第二节 CARRIER 系列冷藏集装箱控制系统

219	第十五章 排油监控装置的自动控制
219	第一节 系统基本工作原理
219	第二节 维护保养注意事项
220	第三节 典型故障分析
220	第四节 船舶排油监控系统实例分析
224	附录 电气线路图中常用图形符号及文字符号
229	参考文献

第一篇 电动机的基本控制

电动机作为电能与机械能的转换装置,不仅是工业、农业、国防和交通运输业等行业的重要设备,而且广泛地应用于人们的日常生活中。

电动机分为交流电动机和直流电动机两大类,交流电动机又分为异步电动机和同步电动机,直流电动机按励磁方式的不同又分为他励、并励、串励和复励四种。

交流电动机体积小,重量轻,制造简单,结构牢固,工作可靠,易于修理和价格低廉,因此被广泛使用。交流电动机的控制方法很多,也比较完善和成熟,但长期以来,由于调速性能差、调速装置价格高和效率低,其应用受到了某些局限,但随着新型电子器件的产生,交流电动机的控制技术得到了迅速的发展,特别是控制理论和计算机的应用,进一步推动了交流电动机控制的发展。

直流电动机和交流电动机相比,虽然结构复杂、维修不便和价格昂贵,但由于有良好的调速性能、起动转矩大,因此,在对调速和起动要求高的场合,往往仍采用直流电动机来拖动。

本篇主要分析电动机的控制方法和对典型控制电路进行分析。

首先,描述电动机控制的一些基本概念,包括各种控制电器、电器符号及分析控制电路的基本方法;对电动机的常用控制方法进行分析,包括电动机的起动、停止、调速和制动。

其次,以一艘 68 000 t 远洋船为对象,全面分析该船,特别是机舱内各种负载泵(电动机)是如何被控制的。在该船上,机舱内所有泵的控制大体上分为两类,一类是我们常见的用各种控制电器组成的控制线路,这种控制线路是对某一特定控制对象(特定负载)进行设计的;另一类是采用模块控制的线路,在该船机舱内负载控制的特点就是采用模块控制。所谓模块,是指把按钮开关、指示灯、继电器和保险丝等电器部件集中在一块电路板上。用模块控制有几个明显的优点:第一,集成化,单元结构体积小、控制电路可靠;第二,智能化,在模块上采用了微处理器,因此,模块具有智能化控制的特点,相同模块采用不同的控制程序就可以有不同的控制方法,大大提高了模块的功能;第三,通用性,在该船上模块有五种类型,相同模块的控制方法基本相同,尽管控制对象不同,但模块是可以相互替换的。

最后,进行电动机控制实例分析,分析的对象以该远洋船为主,也分析其他一些控制线路。在该船上,每种模块所控制的负载有很多,只要分析其中一个线路就可以掌握同类模块所控制的其他所有负载,同时,对该船上没有用模块控制的某些负载也进行了实例分析。

第一章 电气控制线路的基本概念

第一节 控制电器的分类

由于电能具有分配灵活、输送经济和控制方便等优点,故被广泛应用于各种生产部门,要应用电能就必须对它进行分配、控制和调节。电器就是实现这种作用的器具。概括地说,“电器”就是电能的控制器具。其控制作用就是接通或断开电路中的电流,因此“开”和“关”就是电

器最基本的、最典型的功能。电器的种类繁多,这里只介绍用于电力拖动自动控制领域中的低压电器(低压指 1 200 V 以下),所谓的控制电器,按其性能和用途可分为以下几种类型。

1. 接触器

用于远距离、频繁接通和分断工作大电流的电路,它适用于交流和直流电动机的频繁起动和控制,接触器分交流接触器和直流接触器两大类。

2. 控制继电器

用来控制其他电器的动作,控制继电器分中间继电器、电流继电器、电压继电器和热继电器等。

3. 控制器

用来换接电路中的电阻、电抗器等,从而实现电动机的起动、制动、反向和调速,它分鼓形控制器和凸轮控制器等。

4. 主令电器

在控制电路中用来发布命令,它包括按钮、万能转换开关和主令控制器等。

5. 电阻器

用来限制和调节电路中的电流和电压,它分铸铁电阻、瓷管式电阻和框架式电阻等。

6. 其他控制电器

第二节 电气控制系统中的图形符号及文字符号

电气控制系统是由电机和各种控制电器所组成,为了便于分析系统的工作原理,便于电器设备的安装、调整、使用和维修,必须用统一的规定图形符号和文字符号来代表各种电机和电器,由于各国的电器符号和文字符号不完全相同,各有各自的标准,因此在分析电路图时要注意识别。

常用电器符号参见书后附录。

第三节 电气控制系统的电路原理图和安装图

在电气控制系统中,各种电机、电器等元件是根据生产工艺的要求,按照一定的规律,由导线等连成电气线路,而表示电气电路图的方法有两种,即原理图和安装图。

原理图是用来说明电气控制系统工作原理的电气电路图,绘制原理图的出发点是便于阅读,下面列出绘制原理图的几项原则:

1. 所有电机、电器等元件都应采用统一规定的图形符号和文字符号来表示。

2. 原理图一般分主电路和辅助(控制)电路两大部分。主电路中通过的电流较大,主电路用粗线条画出。辅助电路还包括控制电路、指示电路和照明电路等。辅助电路中的电流较小,一般用细线条画出。在各导线间有电联系时,必须在相连导线的交点处画一个圆点。

3. 在原理图中,同一电器的不同部分(如线圈、触点)分散在图内不同的部位,为易于识别,规定使用同一文字符号标明。对于几个同类电器则用不同数字同一文字的符号表示。

4. 在原理图中所有的触点均表示“正常状态”,所谓正常状态是指各种电器在没有通电和没有外力作用时的状态。如对于接触器、电磁式继电器等是指其线圈未加电压,而对于按钮、行程开关等是指其未被压合。

5. 为安装和维修方便,电机和电器的各接线端都要用数字编号。主电路的接线端子用字

母后面附加一位或两位数字,如 X11, X21, X31 等。辅助电路的接线端子只用数字编号,常采用单数或双数区分两根电源线的极性。

安装图是用来表明电气控制系统中各元件的实际安装位置和接线情况的,在安装和检修电气设备时用安装图更为方便,下面列出绘制安装接线图的几项原则:

1. 安装接线图应表示出各电器的实际位置,同一电器的各元件要画在一起。
2. 要表示出各电机、电器之间的电气连接,凡是导线走向相同的可以合并画成单线。
3. 安装接线图中元件的图形和文字符号以及端子的编号应与原理图一致。
4. 安装接线图上应标明导线的走线管的型号、规格和尺寸。在复杂的系统中,某些电气连接可以用去向号来代替线条,这样表示反而更清晰。

第二章 电动机常用控制方法

第一节 三相异步电动机的起动和停止

一、鼠笼式异步电动机的直接起动和停止

为了正确理解异步电动机的起动问题,先简单分析它的起动过程:

电动机在起动的瞬间,因为转子转速 $n_2 = 0$,转差率 $S = 1$, $S = (n_1 - n_2)/n_1$, n_1 为定子旋转磁场的同步转速,转子与旋转磁场之间的相对转速最大 $(n_1 - n_2)/n_1$,所以它在转子导体上产生的感应电动势和电流也最大,这时定子绕组中的电流 I_s ,可达到电动机额定电流 I_N 的 4~7 倍,即 $I_s/I_N = 4 \sim 7$,各种三相异步电动机的 I_s/I_N 值可以从电机产品手册中查到。异步电动机起动时,过大的起动电流将产生不良影响,主要有以下两方面:

1. 产生较大的线路压降,使电网电压波动过大,影响并联在电网上的其他电动机等电器设备的正常运行,故直接起动时,应考虑到造成的电网压降。一般规定经常起动的电动机引起的电网压降不大于 10%,偶尔起动的电动机不大于 15%。在保证生产机械所要求的起动转矩,又不影响其他用电设备正常运行时,电动机引起的电网压降,在起动的短暂过程中可允许 20% 或更大。

2. 对那些惯性较大、起动时间较长或起动频繁的电动机来说,过大的起动电流,将使电动机绕组绝缘过热而老化,因此,大容量电动机的起动电流,必须加以限制,一般不允许在额定电压下直接起动。在一般情况下,只有小容量电动机才采用在额定电压下直接起动的方法。

鼠笼式异步电动机直接起动一般有以下几种典型的控制电路。

1. 点动、连续控制和多地点控制

(1) 点动控制

有些设备,在运行过程中,必须要有人监视,如机舱的盘车机、行车和甲板上的扶梯起落机等都需要点动控制。

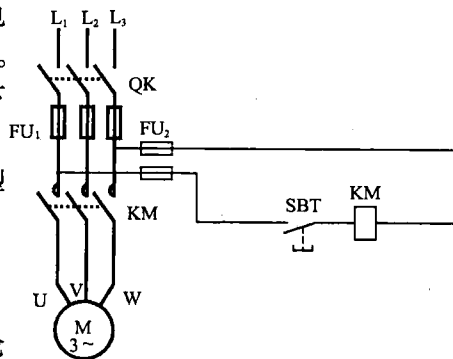


图 2-1 电动机点动控制

图 2-1 为简单的点动控制线路。

线路分析如下:按下起动按钮 SBT,接触器 KM 线圈有电,主触头闭合,电动机 M 起动运转;手松开,接触器失电,主触头断开,电动机停止运转。

(2) 连续控制

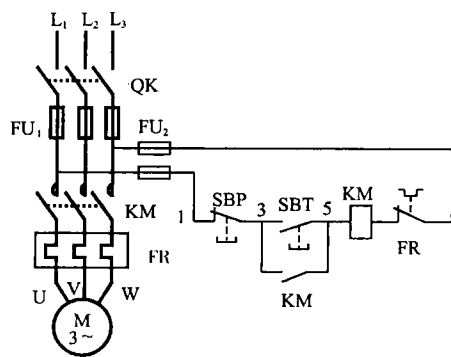


图 2-2 磁力起动器

大多数鼠笼电动机的连续控制采用磁力起动器进行控制。磁力起动器是用来远距离控制和保护鼠笼电动机最简单的成套电器,它由电源开关、熔断器、按钮、交流接触器和热继电器等组成,图 2-2 就是单向(不可逆)磁力起动器控制电路。

线路分析如下:起动电机时,先将电源开关 QK 闭合。当按下起动按钮 SBT 时,3、5 两点接通,接触器 KM 线圈有电,故其常开主触头闭合,电动机接通 380 V 电源而直接起动。它的常开辅助触头 KM 闭合,当松开 SBT 按钮时,回路就可通过其辅助触头使线圈 KM 继续通电。

凡是接触器(或继电器)利用它自己的辅助触头来保持线圈吸合的,称之为自锁,这个触头称为自锁触头,它起着自锁作用。

如果要使电动机 M 停止运转,只需将停止按钮 SBP 按下,1、3 之间触头断开,接触器 KM 线圈失电,接触器释放,其常开主触头打开,电动机 M 停止运转,同时,当 SBP 恢复到原来位置时,接触器 KM 不会动作。只有再操作起动按钮,电动机才能再起动。

上述电路,如将自锁触头去掉,则变成点动控制电路。

该控制线路具有失压(欠压)保护、过载保护和短路保护等基本功能。

①失压(欠压)保护环节:

失压(欠压)保护是依靠接触器本身的电磁机构来实现的。当电源电压由于某种原因消失时,电动机会自动停车。当电源电压恢复时,电动机不会自动起动,只有在操作人员按下起动按钮后,电动机才可起动,这种保护称为失压保护。当电源电压过分降低(欠压)时,电动机为了维护电磁转矩满足负载转矩的需要,其电流必将增加,使电动机可能过载甚至烧毁。而此时由于电源电压过分降低,接触器反力弹簧的作用力大于电磁吸力时衔铁将释放,主触头断开,使电动机脱离电源,实现欠压保护。

②过载保护环节:

电动机的过载保护是通过热继电器来实现的。当过载时,它的热元件发热将其常闭触头断开,使接触器线圈断电,电动机脱离电源。热继电器至少有两个发热元件,分别串联在任意两相线路中,这样不仅在电动机过载时起保护作用,而且当任意一相电源断开后,使电动机单相运行时,仍有一个或两个发热元件中通有过载电流,电动机因而也能得到保护。

③短路保护环节:

电动机的短路保护是通过熔断器来实现的。当电动机侧发生短路时,较大的短路电流将使供电线路或电动机和其他电器受到严重损坏,因此应及时将短路部分和电源脱离。在磁力起动器控制线路中一般分为主回路短路保护(FU_1)和控制回路短路保护(FU_2)两种。

(3) 多地点控制

为了操作方便,某些设备往往要求在两个或两个以上的地点对它都能进行操作,例如:机

舱的许多泵要求既能在机旁操纵,又能在集中控制室操纵。实现这一要求的就是多地点控制,只要将两个或多个起动按钮和停止按钮分别组成并联和串联电路即可。如图 2-3 所示为两地点控制。

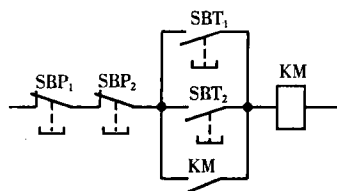


图 2-3 两地点控制

2. 正反转互锁控制(可逆控制)

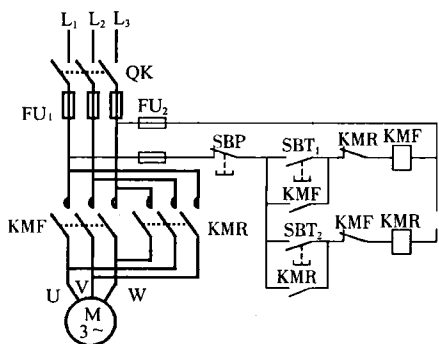


图 2-4 正反转起动控制

图 2-4 是用辅助触头作连锁的可逆起动控制电路。

线路分析如下:当正向接触器 KMF 接通时,电动机定子 U 相接通 L_1 相, V 相接通 L_2 相, W 相接通 L_3 相,电动机正向运转。当反向接触器 KMR 接通时, L_1 、 L_2 电源进线对调从而改变了输入电动机电源的相序,亦即改变了电动机旋转磁场的方向,电动机反向运转。从图 2-4 可见, KMF、KMR 主触头不能同时接通,如果同时接通,会造成电源短路,因此,必须采取措施防止 KMF、KMR 同时吸合。防止 KMF、KMR 同时吸合的方法很多,图 2-4

中是利用它们的常闭触头来实现的。当 KMF 动作后,其常闭触头断开,保证了这时如果按下 SBT_2 , KMR 也不会吸合。同样,如果 KMR 动作, KMF 也不会吸合。所以这种电路,能避免主回路相间短路。对这类控制线路在线路设计方面最基本的要求是:必须保证两个接触器不能同时工作。能实现这一要求的控制线路称为互锁控制。需要电动机反转时,必须先按停止按钮,让电动机停下来,然后再按反向按钮。

图 2-5 是利用复合按钮及辅助触头做连锁的可逆起动电路。

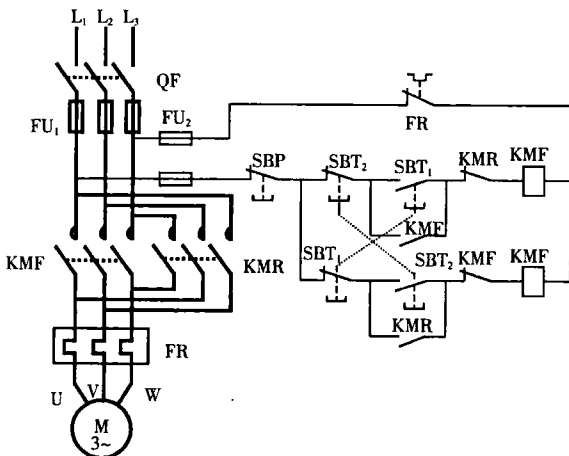


图 2-5 用复合按钮正反转起动控制

它是在图 2-4 利用 KMF、KMR 的常闭辅助触头进行连锁的基础上,增加了用复合按钮(具有一个常开触头和一个常闭触头的按钮)进行连锁保护。当同时按下两个起动按钮时, KMF、KMR 都不能得电。另外,使用复合按钮,电动机起动后,不必先停止,可以直接按下反向起动

按钮,使电动机反转。除了电气互锁外,还常设有机械互锁。

3. 顺序起动连锁控制

生产机械或生产自动线都是由许多部件组成的。不同的运动部件之间是相互联系的,但又是相互制约的。例如某些空压机正常工作时,需要冷却水进行冷却,所以要求冷却水压力建立后才能起动空压机。图 2-6 就可以完成这样的要求。

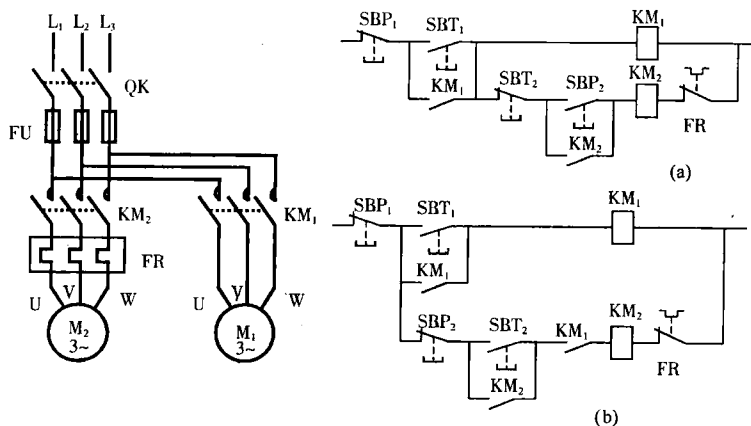


图 2-6 顺序起动连锁控制

线路分析如下:图 2-6(a)中接触器 KM_1 (控制冷却水泵电动机 M_1) 的自锁触头又是 KM_2 (控制空压机电动机 M_2) 的连锁触头。因此,只有在 KM_1 线圈通电,冷却水泵起动后, KM_2 线圈才能通电,空压机起动运转。如果 KM_1 线圈断电,冷却水泵停止供水,由于 KM_1 触头打开,使 KM_2 线圈立即断电,空压机停止运转。图 2-6(b)是用 KM_1 的另一个常开辅助触头与 KM_2 线圈串联,同样能满足上述要求。

二. 鼠笼式异步电动机的降压起动

由于船舶电站的容量有限,所以大容量的电动机通常采用降压起动的方法,常用的降压起动有以下几种:

1. 星/三角降压起动

只有在正常运行时,定子绕组接成三角形的鼠笼式异步电动机,才可以采用星/三角降压起动。目前,我国生产的 Y 系列电动机,容量在 4 kW 以上的都是三角形连接,额定电压为 380 V,起动时,先将定子绕组接成星形,这时加在每相绕组上的 U_p (V), $U_p = 1/\sqrt{3} U_L$, 式中 U_L 为电源电压(V)。电动机起动后,再改接到三角形联结,此时电动机端电压为额定值。同时我们来比较一下电动机三角形联结和星形联结直接起动时线电流 $I_{L\Delta}$ (Δ) 和 I_{LY} (Y) 的大小。为方便起见,画出这两种联结的原理图,如图 2-7 所示。

电动机作三角形联结直接起动,电网中的起动电流(定子绕组线电流),应为定子每相绕组中的起动电流的 $1/\sqrt{3}$ 倍, $I_{LY} = I_p = U_L/Z$, 如果起动时,将定子绕组作星形联结,每相绕组所加电压为 $U_p = 1/\sqrt{3} U_L$, 线电流为 $I_{L\Delta} = U_L/Z$, 比较以上两式得

$$I_{LY}/I_{L\Delta} = \frac{\frac{U_L}{\sqrt{3}Z}}{\frac{U_L}{Z}} = \frac{1}{3}$$

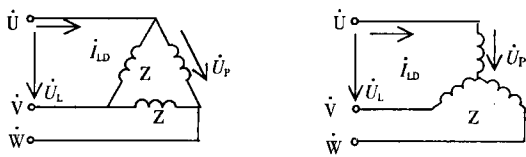


图 2-7 定子绕组三角形联结和星形联结的原理接线图

所以
$$I_{IS}/I_{Id} = \frac{1}{3}$$

上述结果表明,电动机起动时接成星形,起动电流只有三角形联结的 1/3,但是起动转矩也相应降低,因为电动机的转矩与所加的电压的平方成正比。所以这两种情况下的起动转矩之比为

$$\frac{T_{IS}}{T_{Id}} = \frac{(\frac{U_L}{\sqrt{3}})^2}{U_L^2} = \frac{1}{3}$$

则
$$T_{IS} = \frac{T_{Id}}{3} = \frac{1}{3} T_{Id}$$

这就是说,起动时接成星形,起动转矩也只有三角形联结的 1/3。
星/三角形起动控制电路的形式比较多,图 2-8 所示为其中的一种。

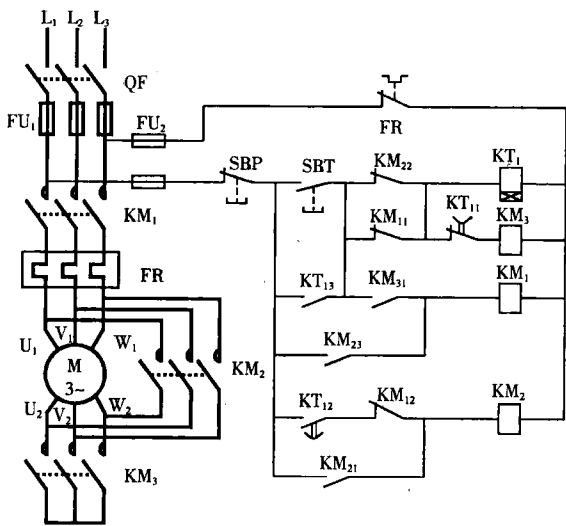


图 2-8 星/三角形起动控制

不妨来分析这个控制电路的工作过程:按下起动按钮 SBT,时间继电器 KT_1 、接触器 KM_3 线圈得电吸合。 KM_3 的常开辅助触头 KM_{31} 闭合,接触器 KM_1 线圈得电吸合, KM_1 的常闭辅助触头 KM_{12} 断开,保证接触器 KM_2 在电动机起动过程中不能吸合,时间继电器 KT_1 的常开瞬动触头 KT_{13} 闭合起自锁作用,使 KT_1 、 KM_3 、 KM_1 保持在吸合状态,电动机在星形联结下起动。虽然此时 KM_1 的常闭辅助触头 KM_{11} 也断开;但由于并联的 KM_2 的常闭辅助触头 KM_{22} 处于闭合

状态,保证 KT_1 、 KM_3 继续得电工作。当 KT_1 的整定时间一到,其常闭延时断开触头 KT_{11} 就断开, KM_3 线圈断电释放, KM_3 的常开辅助触头 KM_{31} 断开, KM_1 线圈断电释放, KM_1 的常闭辅助触头 KM_{12} 闭合。在此之前 KT 的常开延时闭合触头 KT_{12} 已闭合。因此接触器 KM_2 得电吸合, KM_2 的常闭辅助触头 KM_{22} 断开,由于此时与其并联的 KM_1 常闭辅助触头 KM_{12} 已重新闭合,故 KT_1 还处于工作状态。 KM_2 常开辅助触头 KM_{21} 闭合自锁, KM_{23} 闭合使接触器 KM_1 线圈重新得电吸合,电动机转换为三角形联结运行。 KM_1 的常闭辅助触头 KM_{11} 再次断开,此时 KT_1 才断电释放,起动过程全部结束。

该控制电路的特点是在主电路断电的情况下来完成电动机星/三角降压起动的自动切换,线路简单,工作可靠,消除了一般星/三角形起动控制电路在带电切换时所造成的飞弧短路,有效地防止了因飞弧短路而烧毁电器和电动机现象的发生。由于星/三角起动的自动切换是在很短的时间内完成的,所以电动机的转速不会出现明显下降。电动机在重新得电进入三角形联结运行时,其运行电流的变化和带电时星/三角形自动切换一样。另外该控制电路还有一个特点是:当时间继电器 KT 万一损坏后不能吸合工作时,其常开瞬动触头 KT_{13} 就不会闭合,只要松开起动按钮 SBT ,就使接触器 KM_1 、 KM_3 无法保持在吸合状态,电动机就会停转,避免了电动机长时间在星形联结下运行带来的危害。

2. 自耦变压器降压起动

自耦变压器起动器,又叫补偿起动器。用它起动电动机时,起动电流和起动转矩可以根据抽头位置进行调节,使用自耦变压器时,高压侧接到电网,低压侧接到电动机,一般有几个分接头,可以选择不同的变压比。设自耦变压器二次侧电压与一次侧电压之比为 K_U , $K_U < 1$,那么在起动时加到电动机的电压,降低至电网电压的 K_U 倍, $U = K_U U_L$, 式中 U 为加到电动机上电压, U_L 为电网电压。电动机的电流,即自耦变压器的二次侧电流 I_2 为

$$I_2 = \frac{U}{Z} = \frac{K_U U_L}{Z} = K_U \frac{U_L}{Z} = K_U I_{sd}$$

式中, I_{sd} 为直接起动时的电流。由于电动机接在自耦变压器的二次侧,自耦变压器的一次侧线圈接电网,故电网供给电动机起动的电流 I_s ,也就是自耦变压器的一次电流 I_1 。

$$I_1 = K_U I_2 = K_U^2 I_{sd}$$

由此可见,当用自耦变压器降压起动时,起动电流只有直接起动时的 K_U^2 倍, $K_U < 1$,同样,由于转矩和电压的平方成正比,起动转矩也只有直接起动时的 K_U^2 倍。即 $T_s = K_U^2 T_{sd}$,通常,自耦变压器的抽头比为 60% 和 80% 或 65% 和 80%。

当抽头比为 60%, 即 $K_U = 0.6$ 时, $I_s = 0.36 I_{sd}$, $T_s = 0.36 T_{sd}$ 。

当抽头比为 65%, 即 $K_U = 0.65$ 时, $I_s = 0.4225 I_{sd}$, $T_s = 0.4225 T_{sd}$ 。

当抽头比为 80%, 即 $K_U = 0.8$ 时, $I_s = 0.64 I_{sd}$, $T_s = 0.64 T_{sd}$ 。

用自耦变压器降压起动,起动转矩和起动电流可以调节,但设备庞大,成本较高。

图 2-9 为采用自耦变压器降压起动鼠笼式异步电动机的起动线路。

电路分析如下:按下 SBT ,接触器 KM_1 、 KM_2 、时间继电器 KT 相继动作,通过自耦变压器 TM 的输出端对电动机 M 进行降压起动。 KT 延时动作,使中间继电器 KA 动作,触头 KA_1 打开, KM_1 、 KM_2 、线圈 KT 相继断电,自耦变压器退出;触头 KA_2 闭合,接触器 KM_3 动作,电动机运行

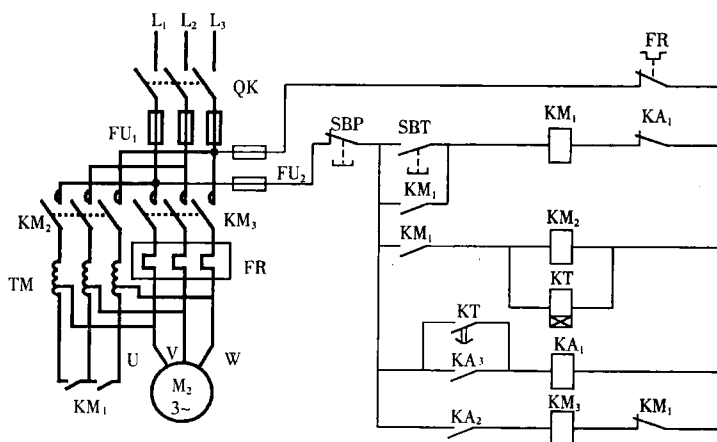


图 2-9 自耦变压器降压起动控制

于额定电压下。

3. 定子回路串联电抗、电阻降压起动

鼠笼式异步电动机定子回路串电阻起动,适用于中等容量的异步电动机要求平稳起动的场合。这种降压起动方法是在电动机起动时,在三相定子回路中分别串接一个电阻,由于串联了电阻,使加在电动机绕组上的电压低于电网电压,待起动后,再将电阻短路切除,电动机即在额定电压下正常运行。

图 2-10、图 2-11 为电动机定子回路串电阻降压起动的两种控制回路。

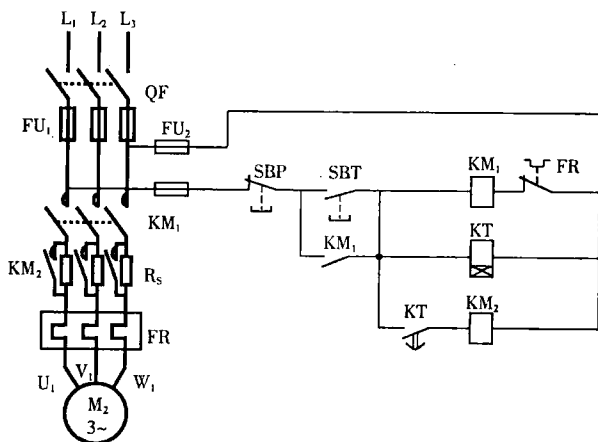


图 2-10 定子回路串电阻降压起动

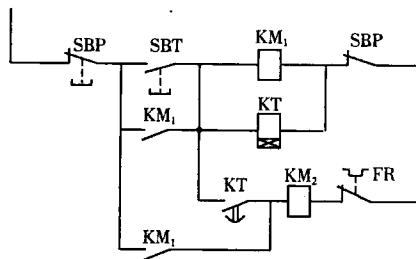


图 2-11 另一种定子回路串电阻降压起动

在图 2-10 中,接触器 KM_1 、 KM_2 和时间继电器 KT 在电动机工作时均接入同一电源。图 2-11 中,电动机工作时,只有 KM_2 接入电路, KM_1 与 KT 均与电动机电源脱离。

定子回路串电阻降压起动的缺点是,减少了起动转矩,同时在电阻上功率损耗也较大,如起动频繁,则电阻的温升很高,对于精密的生产机械有一定的影响。鼠笼式异步电动机串电抗器降压起动,通常应用于高压电动机。起动时,将电抗器接入定子回路,待电动机转速接近于额定转速以后,再将电抗器切除,电动机正常运转。串联电抗器起动的控制电路与串联电阻起