

JINGXUAN GONGYE DIANQI DIANLU YUANLI TUXI YU SHIYONG JIANXIU

# 精选工业 电器电路原理 图析与实用检修

咸庆信◎著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 精选工业电器电路原理图析 与实用检修

咸庆信 著



机械工业出版社

随着电子技术的成熟和普及,电子控制电路已经渗透到工业控制的各个方面。如可编程控制器 步进电动机驱动器 智能仪表 UPS 电源 电动机综合保护器等,涵盖了工业控制的大部分领域,并且都以电子电路为核心而构成。已出版的相关技术书籍,往往仅着眼于设备应用 或仅处于理论阐述层面,对该类设备的电子电路的原理和检修,还属于一块空白,未引起足够重视。

作者长期在生产一线工作,对工控电子设备的调试、应用、维修涉猎颇广,本书以作者测绘实际电路为主要内容,并阐述其原理分析和故障实例,对电路的维修和设计有较高的参考价值。在工业电子设备的应用之外,拾遗补缺地完善了电路原理分析和故障检修。本书涉及产品多为 20 世纪 90 年代至近几年(2010 年前后)上市的新型工控电子设备 将设备应用 电路原理分析 检修指导三者有机结合,以实用性为宗旨,以图文对照的形式讲解电路原理和维修,适用于广大电工 高职高专院校师生和从事电气工程的技术人员。

## 图书在版编目(CIP)数据

精选工业电器电路原理图析与实用检修/戚庆信著 —北京:机械工业出版社,2012.1

ISBN 978 7 111 36733 8

I ①精 II ①戚 III ①电器—电路图—识别 ②电器—检修  
IV ①TM507

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 257484 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑 朱 林 责任编辑 赵玲丽

版式设计 张世琴 责任校对 刘秀芝

封面设计 马精明 责任印制 李 妍

高等教育出版社印刷厂印刷

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm 13.5 印张 329 千字

0001—3000 册

标准书号 ISBN 978—7—111—36733—8

定价 39.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服中心 (010)88361066

门户网 <http://www.cmpbook.com>

销售一部 (010)68326294

教材网 <http://www.cmpedu.com>

销售二部 (010)88379649

读者购书热线 (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

电气电子电路的应用与检修，是一个太过宽泛的话题。工业控制的主流设备，如可编程程序控制器、文本屏/触摸屏、控制仪表、变频调速器、直流调速器、软起动器、步进电动机驱动器、伺服电动机驱动器等，都与电子电路相关，有些是电力电子和微控制器相结合的产物。其他如电动机保护器、各种电源产品、车床/生产线控制产品等，广泛应用于工业控制的大部分领域，并且都是以电子电路为核心构成的。

这类设备的相关应用方面的书籍，林林总总，是相关技术出版物中占尽优势和强势的一大版块，但该类设备的实际构成，具体到电子电路的原理和检修，（部分设备）还属于一块空白，未引起足够重视。而广大的一线电工和相关技术人员，对此却有强烈的学习需求。其理由如下：

- 1) 这类设备的电子电路，在对其具体构成没有深入了解，并且没有电路图样的情况下，对该类设备的维护和维修较为困难。
- 2) 对故障处理不及时，有时会影响生产运行。有了相关资料，也许在故障时能找到应急处理方法，不耽误生产运行。
- 3) 设备损坏后，除一部分送厂家维修外，大部分往往报废或更换新品，造成资源浪费。

作者长期在生产一线工作，对工控电子设备的调试、应用、维修涉猎颇广，本书涉及电路实例全部为作者所经手。本书大部分电路资料属于首次独家披露，系由设备实物测绘所得的电路图样，同时结合其原理分析和故障实例，对电路的维修和设计有较高的参考价值。本书分为：电动机综合保护装置、仪表电路、PLC 电路、步进电动机驱动器、特型电焊机、电源电路、车床/生产线控制电路等七大部分，在工业电子设备的应用之外，拾遗补缺地完善了电路原理分析和故障检修。涉及产品多为 20 世纪 90 年代至近几年上市的新型工控电子设备，将设备应用、电路原理分析、检修指导三者有机结合，以资料性、实用性为宗旨，以图文对照的形式讲解电路原理和维修，适用于广大高职高专院校师生和从事电气工程的技术人员。

由于客观条件和本人能力所限，图样和原理分析或有讹讹和见地不真之处，希望能得到读者朋友的指正！

一本书的出版，不只是作者一个人的事情，与作者家人、朋友的关怀，机械工业出版社编辑老师的辛勤劳动、和广大读者朋友的支持，都是分不开的！在此表示衷心的感谢！

作 者

# 目 录

## 前言

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 第1章 绪论 .....                                       | 1   |
| 1.1 概述 .....                                       | 1   |
| 1.2 本书内容分类 .....                                   | 1   |
| 1.3 本书读图及其他阅读事项 .....                              | 2   |
| 第2章 电动机综合保护装置 .....                                | 7   |
| 2.1 概述 .....                                       | 7   |
| 2.2 HHD2-F-G 无源型电动机保护器 .....                       | 9   |
| 2.3 HBHQ-0-1 型电动机断相过载保护器和 JD6 型全电子式多功能电动机保护器 ..... | 15  |
| 2.4 SJDB-4 型电动机综合保护器 .....                         | 21  |
| 2.5 SJDB-5 型数字式电动机综合保护器 .....                      | 27  |
| 2.6 SDB-1 型数字式多功能电动机保护器 .....                      | 30  |
| 2.7 GJBK-1 型电动机星—三角节能保护控制器 .....                   | 33  |
| 2.8 DZD80/31 多功能断路器 .....                          | 38  |
| 2.9 KBB-1 型变压器综合保护装置 .....                         | 40  |
| 2.9.1 KBB-1 型变压器综合保护装置的性能与结构概述 .....               | 40  |
| 2.9.2 KBB-1 型变压器综合保护装置的整机电路 .....                  | 41  |
| 2.9.3 KBB-1 型变压器综合保护装置的故障检修 .....                  | 45  |
| 第3章 仪表电路 .....                                     | 47  |
| 3.1 WMZK-08 型温度指示控制仪 .....                         | 47  |
| 3.2 XL5135V 型数显表头 .....                            | 49  |
| 3.3 用数显表头做成的温控仪和液位显示仪 .....                        | 54  |
| 3.4 UHZ-58C 型磁性浮球液位计 .....                         | 59  |
| 3.5 TA9-IRR 智能温控表 .....                            | 61  |
| 3.6 LU-906M 智能调节仪 .....                            | 70  |
| 第4章 PLC 电路 .....                                   | 77  |
| 4.1 PLC 产品概述 .....                                 | 77  |
| 4.2 欧姆龙 PLC 开关电源电路 .....                           | 79  |
| 4.3 三菱 FX1S-30MR-001 PLC 开关电源电路 .....              | 81  |
| 4.4 三菱 FX0S-20MR 型 PLC 整机电路 .....                  | 87  |
| 4.5 信捷 XC1-24R-E 型 PLC 整机电路 .....                  | 96  |
| 第5章 步进电动机驱动器 .....                                 | 105 |
| 5.1 步进电动机和步进驱动器的性能和作用概述 .....                      | 105 |
| 5.2 CQ436X8A 步进电动机驱动器 .....                        | 109 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 5.3 RKD514L-C 东方步进电动机驱动器 .....      | 123 |
| <b>第6章 特型电焊机</b> .....              | 135 |
| 6.1 特型电焊机的功率和分类简述 .....             | 135 |
| 6.2 NBC-160F 二氧化碳气体保护半自动焊机 .....    | 135 |
| 6.3 ZS5-400 晶闸管直流弧焊机 .....          | 138 |
| 6.4 ZX7-315 逆变焊机 .....              | 144 |
| 6.5 YC-050WS 电阻焊变频电源 .....          | 156 |
| 6.6 WSM-160 直流逆变氩弧焊机 .....          | 162 |
| <b>第7章 电源电路</b> .....               | 169 |
| 7.1 仪用 DC24V 开关电源 .....             | 169 |
| 7.2 TXD1742 连续可调交流稳压器 .....         | 172 |
| 7.3 JHW-Y 型 1000VA 净化式交流稳压电源 .....  | 174 |
| 7.4 TG-1000 后备式方波输出 UPS 电源 .....    | 178 |
| <b>第8章 车床/生产线控制电路</b> .....         | 186 |
| 8.1 TB-03 同步控制器 .....               | 186 |
| 8.2 BYK-3C 型编织袋印刷机自控装置 .....        | 196 |
| 8.3 KYZC-1 原油自动采样装置 .....           | 200 |
| 8.3.1 KYZC-1 原油自动采样装置的性能和控制要求 ..... | 200 |
| 8.3.2 KYZC-1 原油自动采样装置的整机电路 .....    | 202 |
| 8.3.3 KYZC-1 原油自动采样装置的故障检修 .....    | 206 |
| <b>参考文献</b> .....                   | 208 |

# 第1章 绪 论

## 1.1 概述

工业电器电子电路应用与检修，是一个太过宽泛的话题。

工业控制的主流设备，如可编程序控制器、文本屏/触摸屏、控制仪表、变频调速器、直流调速器、软起动器、步进电动机驱动器、伺服电动机驱动器等，都与电子电路相关，有些是电力电子和微控制器相结合的产物。其他如电动机保护器、各种电源产品、车床/生产线控制产品等，涵盖了工业控制的大部分领域，并且都是以电子电路为核心而构成。

这类设备的相关应用方面的书籍，林林总总，是出版物中占尽优势和强势的一大版块，但该类设备的实际构成，具体到电子电路的原理和检修，还属于一块空白，未引起足够重视。而广大的一线电工和相关技术人员，对此类资料有强烈的需求。其理由如下：

因为这类设备的电子电路，在对其具体构成没有深入了解，并且没有电路图样的情况下，对该类设备的维护和维修较为困难。

对故障处理不及时，有时会影响生产运行。有了相关资料，也许在故障时能找到应急处理方法，不耽误生产运行。

设备损坏后，除一部分送厂家维修外，往往报废或更换新品，造成资源浪费。

作者长期从事工控行业，在生产一线，对工控电子设备（调试、应用、维修）的涉猎面颇广，本书以作者经手的电路为主要内容，本书大部分电路资料属于首次独家披露，系由设备实物测绘所得的电路图样，并阐述其原理分析和故障实例，对电路的维修和设计有较高的参考价值。本书涉及产品多为20世纪90年代到近几年（2010年前后）上市的新型工控电子设备，将设备应用、电路原理分析、检修指导三者有机结合，以实用性为宗旨，以图文对照的形式讲解电路原理和维修，适用广大从事电气工程的技术人员。

## 1.2 本书内容分类

工业电器电子电路，大致可分为以下几大类：

1) 电源类设备：如变频调速器、直流电动机调速器、软起动器、步进电动机驱动器、伺服电动机驱动器和各种开关电源、交/直流稳压电源、UPS后备电源等，以上设备都是有别于工频电源（固定频率和电压）的电源设备，可称为受控电源（由用户调整，改变其电压或频率），据其功能，又称为变频电源、稳压电源等。该类设备为交/直流电动机、步进电动机、办公设备等提供专用电源。电焊机（电焊电源）也是一种电源设备。

变频调速器、直流电动机调速器、软起动器等，已有相关专著问世，本书重点讲述交/直流稳压电源，UPS后备电源等相对“冷门”的电源设备产品。对步进电动机驱动器，由于行业内的流通资料几乎为零，本书辟专章予以讲述。

各类电焊机（由电子电路控制的）设备，因种类、内容较多，也辟专章进行讲述。

2) 自动化控制系统的设备：典型设备如可编程序控制器（简称 PLC），是一种专为工业控制、适应较恶劣工作环境的数字化智能型控制设备。国内外产品有几大系列，虽然编程语言有所不同，但其电子电路的结构是相近的，本书选取了两种 PLC 设备的整机电路，和其他品牌 PLC 设备易发故障环节进行讲述，如 PLC 的开关电源电路，读者可举一反三，掌握 PLC 电路的检修特点。

另一类设备，车床/生产线控制电路（或称电路板），往往与机床/生产线紧密组合成一体，整套设备具有机电一体化特点。控制电路在一定程度上，是由电子电路完成了 PLC 的控制功能。设备厂商出于降低制造成本的考虑，自行研制设备的配套控制电路。该类设备也有较大的应用面，也辟专章进行讲述。

3) 仪表设备：显示和控制仪表（也称自动化仪表）的应用，贯穿于每一个生产控制环节，由此形成了一个特殊工种——仪表工。在工业自动化控制过程中，需要对设置量（目标值）和控制变量（实际值）进行显示和监控，并能使被控制量向设置量靠近，即仪表通常具有显示和控制两大基本功能。能完成温度、压力、湿度、流量、液位等的自动控制与监控。

4) 保护设备：专用于电动机、变压器保护的电子设备。如电动机综合保护器、变压器综合保护器等。弥补了常规热继电器保护的种种不足，能对电源（变压器）及负载（电动机）断相、过载、短路故障提供全方面的保护，并兼作电动机起动、停止等控制功能。该类设备也多作为配电盘、柜的配套产品。

综上所述，本书分为：电动机综合保护装置、仪表电路、PLC 电路、步进电动机驱动器、特型电焊机、电源电路、车床/生产线控制电路等七大部分，在工业电子电器的应用之外，拾遗补缺地完善了电路原理分析和故障检修。

## 1.3 本书读图及其他阅读事项

本书偏重于电路资料，除第 7 章原测绘电路有误，摘引一例电路实例外，书中图样全部为实际测绘电路。

### 1. 电路中元器件的符号标注

说到元器件的符号标注，一直是个比较麻烦的问题。依据出版社的要求，统一标注为好。但电器实物，各厂家的标注并不一致。如果统一标准，则与实际电路相悖。目前的电子设备的生产，由于各种原因，出现各厂家标注不一的状况。考虑到多方面的因素，本书标注以实物——电路板上的实际标注为准。便于与实物（电子设备）对应，利于实际的故障检修。

1) 集成电路的标注法：一般标注为 IC，如 IC1、IC2……。但有些实例中，采用实际标注为：D1、D2……。文中已有相关说明。IC 的元器件引脚号和功能字符，一般尽可能地标出，省去读者查找电路资料的麻烦。

某片集成电路，如 LF353，内含两组运算放大器电路，当其作为一个整体器件出现在图样中时，标注为 U3（见图 1-1）。但有时为分析信号流程的方便，将其拆分为两个独立的运放电路，

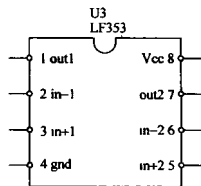


图 1-1 集成电路元件序号与型号标注法（一）



则更改标注为 N1、N2，并附加 N1/N2：LF353 的文字说明（见图 1-2）。

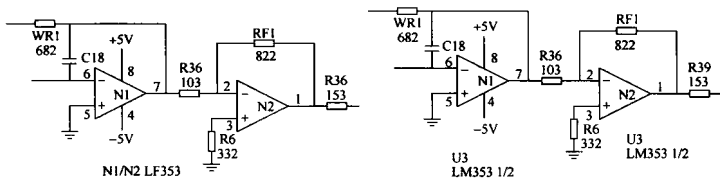


图 1-2 集成电路元件序号与型号标注法（二）

或采取如图 1-2 所示的右图标注法，分别将同属一个元器件序号的两级运放电路标注为 U3 LM353 1/2 和 U3 LM353 1/2，意为该两级电路各为 U3 电路的一部分。

若集成电路内含四级运放电路（如 LM324），则分别标注为 N1、N2、N3、N4，并加以 N1/N2/N3/N4：LF324。或标注为 U1 LM324 1/4、U1 LM324 2/4、U1 LM324 3/4、U1 LM324 4/4。

对数字 IC 电路的标注原则，与此相同。

2）晶体管，有的标注为 BG1，有的标注为 Q1，有的是 VT1 等；二极管有的标注为 D，有的标注为 VD。也是依据所测绘电路实物为准的。

3）无序号元器件的标注：有些电路板实物，无元器件序号的标注，图样中也仅标出元器件的规格，如  $1\text{k}\Omega$  电阻元件，标注为  $1\text{k}$ ，一般不标注序号； $100\mu\text{F}25\text{V}$  电容元件标注为  $100\mu 25\text{V}$ ，一般不标注序号。

但这为电路原理（信号流程）的分析带来不便，此种情况下，仅对部分重要元器件按序号标出，如以信号流程对电阻元件标以 R1、R2、R3……，或针对相关集成电路，标注 U1、U2、U3……等，对无碍原理分析和故障检修分析的元器件，则不予标注。这是作者“不得已而为之”的自行标注，部分元器件的序号标注与实际电路上的元器件无法对应。

4）接线端子排的标注：有的电路接线端子原无标号，为图示和叙述方便，暂且由作者自定义端子号，在图上标出，在文中叙及该端子号和功能时，以“（自定义）”字样来说明。

## 2. 图与图之间的衔接问题

工业电器设备整机电路往往由多块电路板组合，每块电路板上的电路构成，书中已有文字说明。

本书为读图和电路原理分析的方便，是以信号传输流程为序，逐一画出各块电路图、各集成器件，可以拆分的（如六反相器 CD4069），便以独立器件的形式画出（将 CD4069 拆分为 6 个独立反相器电路画出），与厂家设计图样的画法有所不同。

因于本书印张尺寸的限制，和便于信号分解的缘故，整机电路又被拆分为数个局部（功能）电路，这样带来读图——图与图之间的（信号）衔接的问题。

1）图与图之间用字母标注相衔接：如图 1-3 所示，图 1-3a 整流电路的电源输出端标注为 P、N，图 1-3b 逆变功率电路中的供电端，也标注 P、N 字样，标注同一字母的相关电路，是直接相连接的，也是同电位点。

2）图与图之间用文字说明相衔接：如图 1-4 所示，IC10 的 A 通道模拟电压输出与模拟

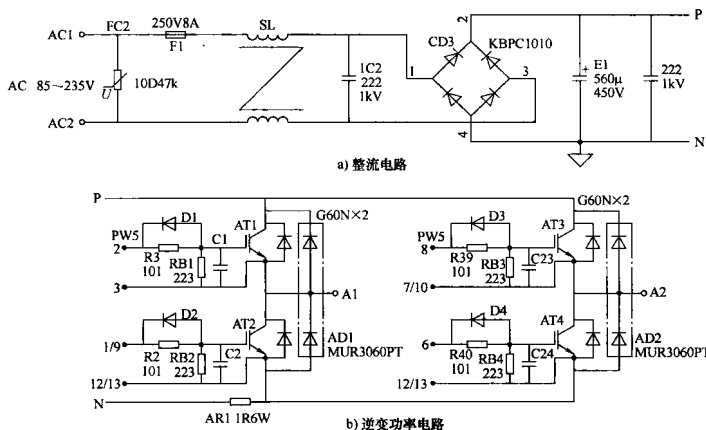


图 1-3 读图（衔接）示意图（一）

输出反馈信号，与 IC13、IC8 器件之间的信号流向，输入/输出关系，用“A 通道模拟电压输出”和“模拟输出反馈信号”文字标注来说明。说明实际电路中，图 1-4a 电路中 IC10 引脚 4 与图 1-4b 电路中 IC8 引脚 6 是连接的；图 1-4a 电路中 IC10 引脚 4 与图 1-4b 电路中 IC8 引脚 3 是连接的，以实现两路信号的传输。

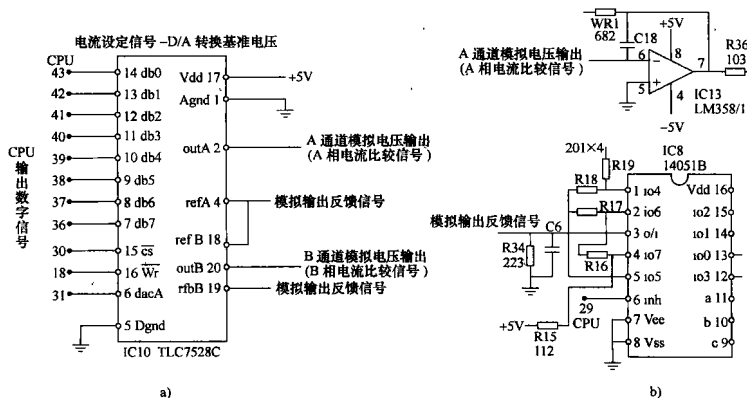


图 1-4 读图（衔接）示意图（二）

3) CPU 引脚的标注（信号去向）：如图 1-4a 所示，IC10 的左侧引脚，除 5 脚接地外，其余全部引脚直接与其他图中的 CPU 相关引脚连接，引脚上方标注 CPU 字样，左侧还添加

“CPU 输出信号”的文字说明，CPU 引脚添加“实心圆点”。这些添加实心圆点的 CPU 引脚，在其他图中的 CPU 电路中不再重复出现。

4) 排线端子的标注：用字母标注端子名称及序号；用阿拉伯数字标注排线序号；用实心圆点标注端子引脚；有的同时添加相关文字说明。

如图 1-5 所示，图 1-5b 逆变电路中 IGBT 功率管的驱动信号，是由排线端子 PW5 引入

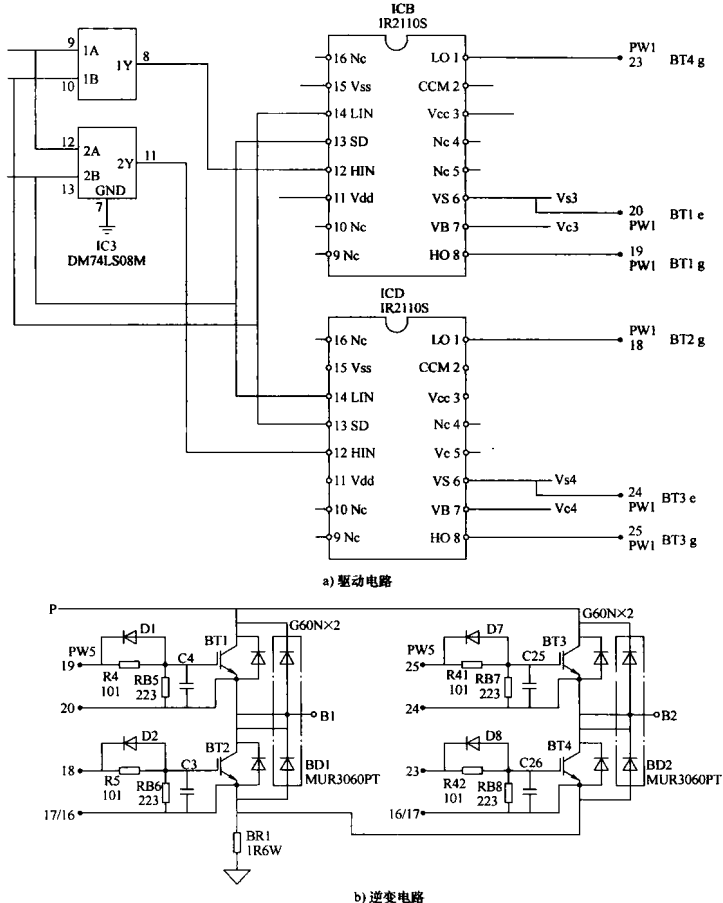


图 1-5 读图（衔接）示意图（三）

的, 信号来自于图 1-5a 驱动电路的 PW1 排线端子。两个端子在两块电路板(两个电路)中的标号虽有所不同, 但其引线序号(1~25)却是相同和统一的, 如 PW1 端子 25 线和 PW5 端子的 25 线是经同一根排线相连接的, 即图 1-5a 电路 ICD 的 8 脚输出信号经 PW1、PW5 两个排线端子, 引入图 1-5b 电路中经电阻 R41 输入 BT3 的栅极。

### 3. “(试分析)”文字说明

电路原理与故障分析, 因涉及不能解析程序软件及手头已无实物进行实际检测确认等多方面原因, 无法得出较为明晰的定论, 文字讲述可能有不确定或失误之处, 添加“(试分析)”字样, 以引起读者注意。因手头资料均为一手“原创”资料, 找不到能供参考的厂家或相关权威技术资料。有时不得已进行的电路原理分析, 是作者“勉力而为”的。

### 4. 图样及文字中可能的失误

由于客观条件和本人能力所限, 本书图样可能有失误之处, 依据测绘图样所作出的原理分析, 也有不确定之处。出现失误的可能原因如下:

1) 电路图样的测绘是在维修过程中进行的, 机器一经修复, 即为用户取走, 图样与电路板来不及细致核对, 有可能出现测绘失误。

2) 测绘出于维修目的, 并非是将电路板上的元器件全部拆除后, 才行测绘的。由于 IC 等元器件的遮盖, 可能遗漏了铜箔条的连接, 或遗漏了数只贴片电阻、贴片电容等元器件。虽然作者在分析电路原理之后, 尽最大努力进行了“补漏”, 但仍有存在遗漏的可能。

3) 原电路设计者的错误。这是值得注意的一点, 即使是成品电路, 仍可能有错误存在(如书中提及的“灰色电路”)。为反映电路原貌, 将相关电路也一并绘出。

4) 本人的疏忽和能力所限, 图样和图说中, 或有错讹和见地不真之处。

以上各点敬请读者留意。

工业电子电器的应用之广, 品类之杂, 技术涵盖面之宽, 不是一本书有能力所能包含的, 本书能对工业电子电器的概貌有所反映, 并进而起到抛砖引玉的作用, 引起相关专家学者对该领域的关注, 使广大读者能获得更多更好的实用型技术读物, 是本书作者的初衷。

## 第2章 电动机综合保护装置

### 2.1 概述

由三相交流电动机所构成的电力拖动系统，形成了工业现代化的基础性支撑，对三相交流电动机（以下简称电动机）的保护，是一个历久弥新的话题。

20 世纪 80 年代之前，电子技术的应用尚处于初级阶段，对电动机的保护任务多由热继电器承担，国内型号为 JR20-XX 系列、JR36-XX 系列等。其保护机理如下：热继电器由发热元件、双金属片、触点及一套传动和调整机构组成。发热元件是一段阻值不大的电阻丝，串接在被保护电动机的主电路中。双金属片由两种不同热膨胀系数的金属片辗压而成。当电动机过载时，通过发热元件的电流超过整定电流，使具有不同膨胀系数的双金属片发生形变，当形变达到一定程度（距离）时，就推动连杆动作，使控制（常闭）触点断开，进而控制主电路接触器因线圈失电而释放，断开主电路，实现电动机的过载保护。

热继电器以其体积小、结构简单、成本低等优点得到了广泛应用。但同时存在不易克服的下述缺点：双金属片受热弯曲过程中，热量的传递需要较长的时间，因此，热继电器不能用作短路（要求速断）保护，而只能用作过载保护。对电动机的短路保护，通常采用在电源回路中串接熔断器的方法来实施；热继电器取决于机械结构所形成的机械动作来实现停机保护，当动作结构产生机械疲劳（老化）、机械形变时，会使动作阈值偏离设定值，造成误动作或保护失效；普通的热继电器，不具备断相保护功能。

用热继电器对电动机进行保护的典型电路如图 2-1 所示。

热继电器 FR1 串接于主电路中，FR1 的常闭触点串接于控制电路，过载故障发生时，FR1 控制触点断开，交流接触器 KM1 线圈失电，KM1 开断，起到过载停机保护作用。

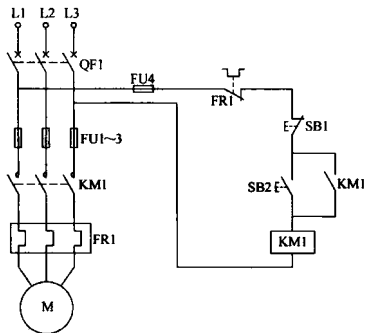


图 2-1 电动机过载保护典型电路

#### 1. 电动机在启动和运行过程中可能发生的故障和保护特点

(1) 电动机的过载 电动机的一个重要工作参数即额定工作电流，在额定电流以内运行，为安全工作区。机械负载或供电电压变化，都会引起工作电流的变化，出现异常情况时使电动机过载，转速下降，电动机绕组中的电流增大，超过额定工作电流，绕组温度升高。过载运行，会导致电动机绕组绝缘老化、缩短电动机使用寿命，严重时使绕组绝缘击穿造成

短路,或造成绕组起火烧毁等故障。电动机的过载运行,指转差率增大、过电流引起绕组异常升温,所以又称为过电流运行。

电动机的过电流大小与过电流时间之间的关系称为过载特性。在实际运行中,电动机短时过载和较低程度的过载,是难以避免的,也是可以允许的,过电流大小和过电流允许时间呈反比,称为反时限保护特性,其特性曲线如图 2-2 所示。

过载保护运行阈值的整定点在电动机额定电流的 0.95 ~ 1.05 倍左右,即运行电流在额定电流的 1.1 倍以下时,电动机应该能长期运行,不产生保护停机动作;过载程度继续加大时,保护动作时间应随过电流程度的加重而缩短。一般认为,电动机的起动电流为额定电流的 4 ~ 7 倍,保护动作应该既能避开正常的起动电流,又能在过载时,实施有效的停机保护。比如在 4 倍额定电流时,延时 15s 产生保护动作,在 7 倍额定电流时,延时 2s 即应产生保护动作。对运行中的短时过载,有一定的时间延时处理,不会产生误保护动作,对长时间过载,则能做出有效的反应。

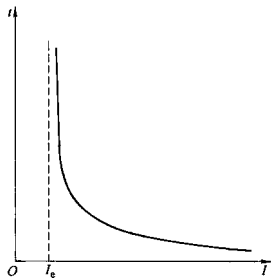


图 2-2 电动机过载保护反限保护特性曲线

(2) 电动机的短路 短路保护是过载保护的一个极限情况。三相交流电动机的短路故障,有单相接地短路故障、相间短路故障等,当电缆或电动机绕组短路时,更直接造成对三相电源的短路。电动机内部短路大都是电动机绕组绝缘损坏引起的,表现为线圈匝间短路、层间短路、相间短路和对地(电动机外壳、转子)短路等。单相对地短路,一般不会烧毁电动机,根据外壳接地电阻的不同,形成大小不同的接地电流;(两相或三相)相间短路时,会形成较大的短路电流,通常会使电动机严重烧毁。

一般,将大于电动机 8 倍额定电流,视为短路电流。对电动机的短路保护,要求实施速断保护,时间常数越小越好(动作越快越好)。

另外,当电动机在运行中因机械原因出现堵转时,其堵转电流有可能达到额定电流的 5 ~ 8 倍,在运行中出现 5 倍以上额定电流时,视为电动机堵转故障,也应实施相应的反时限保护。

(3) 电动机的断相 电动机的断相运行,可分为以下几种情况:

1) 供电电源断相。在电动机起动前断相,会造成起动困难或无法起动,起动声音异常,无保护时电动机因堵转极易烧毁;在运行中断相,轻载时尚能运转,但运行电流严重不平衡,可能出现过电流运行;重载时易发生堵转、严重过载而损坏。

2) 电动机绕组断路故障。因电动机绕组断路故障出现断相运行,运转无力,电动机振动大,故障现象同 1);

3) 电动机连接线断路故障。故障现象同供电电源断相。

电子式电动机保护器的出现,为完善地实施电动机的过载、短路和断相保护提供了可能,一定程度上取代了热继电器,提升了控制功能和保护效果。本章内容的重点是对各种电子式电动机保护器电路进行原理分析和故障维修指导,对电子式电动机保护器以下简称为电动机保护器。

## 2. 电动机保护器对故障信号的采样方法

1) 对过载、短路故障信号的采样。电动机起动运行中的过载和短路故障,体现在流经电动机绕组的电流值异常增大的上,一般电动机保护器电路是采用3只电流互感器采样运行电流信号,将采样信号与电流基准信号相比较,判断是否处于过载或短路故障状态,故障时输出停机信号。电路采集处理的为模拟电压信号——电流互感器输出的电流信号经负载电阻转变为电压信号,送入电压比较器电路,得到故障信号输出。

对产生单相对地短路故障信号的采样,可通过零序电流互感器取得,原理同漏电保护器,或采样电动机外壳电压,取得漏电信号。

2) 对断相故障信号的采样。如上所述,电动机的断相故障表现为电源断相、电动机绕组断路等不同故障内容,若采用对三相电源电压进行采样的方法,仅能对电源断相故障进行保护,无法完成对其他各种断相故障的检测。根本的方法,是采用对三相电流进行采样来判断断相故障的方法,对电源断相和电动机绕组断路故障都能做出准确反应,采取相应的措施,还能对三相电流不平衡作出判断。

一般对断相运行的判断,不是着眼于电流信号幅度的大小,而是着重于三相电流信号的有无,比较三相电流信号的有无,得到断相故障信号。因而通常是将电流检测信号处理为数字信号,经逻辑运算,得到断相故障保护信号。

## 3. 电动机的保护器的典型电路结构

从图2-3可以看到,3只电流互感器LH1~LH3,将电动机的三相运行电流信号取出,分别送入后级过载、短路信号采样处理电路和断相信号采样处理电路,处理成开关量信号,再送入信号输出电路和故障信号指示电路,输出电路的形式也有多种,一般为继电器触点信号输出,或晶闸管器件开关信号输出,或晶体管开路集电极信号输出等。

需要说明的是:部分电动机保护器,采用微控制器处理电流采样和电压采样信号(但电流信号采样电路的前级电路同本章所述电路相似),可从操作显示面板设置故障动作电流值,并可以监看运行电流值、电压值等,其功能更为强大,智能化程度更高,但应用面不够广泛。另外有的产品,如变频器、软起动器等产品,其过载、短路及断相保护电路作为控制电路的一个有机组成部分。本章所述电动机保护器,系全部采用模拟或数字电路硬件电路作为一个独立部件被应用的保护装置(产品)。

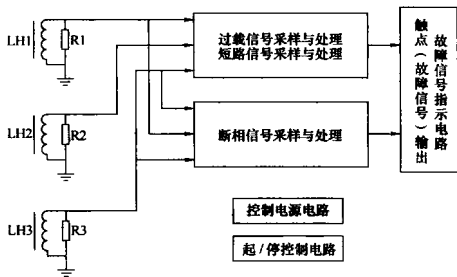


图2-3 电动机保护器的典型电路结构

## 2.2 HHD2-F-G 无源型电动机保护器

国内生产交流接触器、空气断路器等低压电器的厂家,大多也同时生产电动机保护器

等电子装置（产品），电动机保护器用于电动机控制柜等设备中，作为一个独立的控制部件，具有接线简单、便于安装操作、与控制电路构成一个整体等特点，受到广大用户的欢迎。

### 1. HHD2-F-G 无源型电动机保护器的控制接线（见图 2-4）

HHD2-F-G 无源型电动机保护器，不需引入控制电源，在工作和停机状态，几乎不消耗电能，故称无源型保护器，安装应用时，只需主电源线穿入装置的三个圆孔（内部为电流互感器的环形铁心）内，将起/停控制电路串接于 1、2 控制端子即可。1、2 端子内部为由晶闸管器件构成的无触点开关。正常运行时，1、2 端子呈现“通路”状态，电动机持续运行，故障发生时，1、2 端子呈现“断路”状态，控制电路失电，电动机停止运转。

HHD2-F-G 无源型电动机保护器的整机电路，如图 2-5 所示。

### 2. HHD2-F-G 无源型电动机保护器电路原理

结合电动机保护器（以下简称保护器）实际电路说明其工作原理。原（实物）电路元器件没有序号，为原理分析的方便，部分元器件的序号为作者所标注。

（1）“交流开关”电路 整流电路 D1 ~ D4、单向晶闸管 VT1 和晶体管 Q1、Q2 等组成“交流开关”电路，控制交流接触器 KM1 的得电和失电，从而对电动机进行运转和停机、故障保护停机的控制。

在控制电路起动按钮 SB1 按下之前，控制电路呈断开状态，交流接触器 KM1 的线圈与保护器 HHD2 均处于失电（停止工作）状态，KM1 不吸合，电动机处于停机状态。当按下起动按钮 SB1 时，由电源线 L1、L2 引入的 380V 控制电源，经 FU1、SB1、SB2、KM1 线圈电阻引入到 HHD2 保护器的 1、2 端子。二极管 D1 ~ D4 组成整流电路，将输入交流电压“调向”成直流脉动电压，加到单向晶闸管 VT1 的阳极上。D1 ~ D4 整流电源与 VT1、D12 的共同作用，使单向晶闸管 VT1 起到“交流开关”的作用——经整流“调向”，使电源电压的正、负半波均流经 VT1。在 VT1 导通后，VT1、D12 的串联电压降降为 2V 左右，D1 ~ D4 整流电路变为“直通”，控制电路的 380V 电压加于 KM1 线圈上，交流接触器 KM1 得电吸合，电动机运转。晶闸管 VT1 因流过 KM1 线圈电流而使导通状态得以维持。

VT1 起到交流开关的作用，此交流开关的通断受控于晶体管 Q1 和 Q2。正常情况下，当按下起动按钮 SB1 而使控制电路接通时，电网电压的每个半波期间，脉动直流电压经 R1、R2、R3 引入晶体管 Q2 的基极，Q2 饱和导通，将 Q1 的基极电压拉低为“地”电平，使 Q1 处于可靠的截止状态。同时整流后的脉动直流电压经 R4、R5 引入晶闸管 VT1 的门极，VT1 受控导通，“交流开关”电路处于通态，交流接触器 KM1 线圈得电吸合，负载电动机得电运行。

因为按下 SB1 的时间为随机的，输入脉动直流电压的幅度是不确定的，电路设计考虑

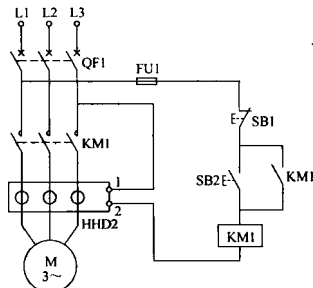


图 2-4 HHD2-F-G 无源型电动机保护器控制接线图



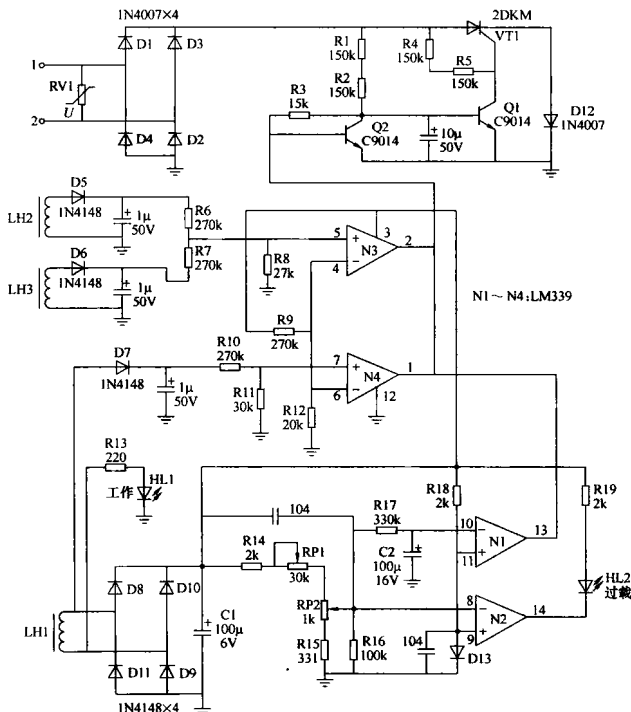


图 2-5 HHD2-F-G 无源型电动机保护器整机电路

了输入峰值电压的电路元器件的耐受能力，故触发电阻选用了两只  $150\text{k}\Omega$  串联电阻，这就要求选用晶闸管 VT1，可以用极小的（数  $10\mu\text{A}$  级或更小）触发电流即能使其可靠导通，以保证在电网过零点附近 VT1 就能导通，使 KM1 线圈能得到接近电源电压的供电电源。维修中若需换用 VT1，应选用所需触发电流值较小的器件。

(2) 过载故障保护电路 由电流互感器 LH1 ~ LH3 和四级运算放大器 N1 ~ N4 电路等元器件组成故障保护电路。LH1、N1、N2 等元器件组成过载保护电路。N1 ~ N4 运放电路的工作电源，是在电动机运行后由电流互感器 LH1 取得的电流信号经 D8 ~ D11 整流和 C1 电容滤波后取得直流电压，LH1 的感应电流信号，也经 R13 限流，作为发光二极管 HL1 的驱动电流，用于“工作”指示。同时，LH1 感应电流信号，经整流滤波变为信号电压后，也作为电流检测信号，送入 N1、N2 电路。

电路中电位器 RP1 置于保护器内部，用于设定电流保护动作值的上限。电位器 RP2 安