

# 变频器

## 电路维修与 故障实例分析

戚庆信 著

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



本书根据变频器的实际电路测绘所得的电路图,结合作者10年来变频器的检修心得,给出电路原理解析、检修思路和检修方法。对故障检测电路的解密式精彩阐述,独门检修方法的首次披露,对疑难故障检修进程的生动推演,成为本书的三大魅力亮点。

本书以富士、松下、东元、英威腾、康沃等几种具有代表性的国内外机型电路为主线,从电路的整机构成、单元电路的故障机理、故障判断上的辩证施治、检修思路上的缜密奇妙、修理方法的新颖独到等几个方面,道出了变频器维修的方法和意义。对实际检修具有积极的释疑、指导和启发作用。

本书适合作为广大电工及从事电气自动化工程、电力电子、电气传动专业的技术工程人员和设计人员的工具书和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

变频器电路维修与故障实例分析/戚庆信著. —北京:机械工业出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-111-28319-5

I. 变… II. 戚… III. ①变频器-电子电路-维修②变频器-电子电路-故障诊断 IV. TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第164882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:朱林 版式设计:张世琴

责任校对:陈延翔 封面设计:路恩中 责任印制:李妍

北京汇林印务有限公司印刷

2010年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·359千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28319-5

定价:38.00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

社服务中心:(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

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

已出版的有关变频器的维修书籍，多从应用上着笔，对实际电路涉及甚少，未结合具体电路讲解维修。在维修指导上浅尝辄止，使人有隔靴搔痒之感；能对变频器维修直接产生实效作用的、真正意义上的维修指导书，市面上少之又少。

本书以作者测绘的实际电路为主线，穿插电路讲解、检修思路、检修方法、要点评述、故障实例分析等，形成系统的电路讲解、元器件资料、故障分析、检修方法的维修指导和示范。活泼有致的文字语言，实用的电路讲解和故障分析，独特的检修思路和独到的检修方法，使本书不同于任何其他变频器维修图书。

本书实际电路构成、电路原理解析和故障实例同步展开，而故障实例中对故障形成机理的分析，又构成了对电路原理解析的有机组成部分，深化了对电路原理和检修思路的领悟，使得读者对该电路故障的检修豁然开朗。

变频器的生产和应用已有 20 年的历史，但在国内的生产及普及应用，却是近五六年的事。变频器的应用和普及，一是拓宽了电工和电气自动化的概念，对变频器的调试和应用，成为该领域的一大重要内容；二是因较大的维修量乃至形成了一个特有的变频器维修行业。但由于生产厂家技术保密等诸多方面的原因，变频器的维修资料和有关维修指导的书籍相对匮乏，而生产一线的安装、调试和维修人员，又亟需一本真正实用的电路分析和检修指导的工具书、参考书。

变频器，是弱电和强电的有机结合，是软件和硬件的有机结合。它强大的功能、各种完善的检测和保护电路、控制上的智能化和灵活多变、微电子技术和电力半导体器件的结合应用、电路元器件的非通用性和特殊要求，说明了这类机器的智能化电气设备的特点，因而检修思路和方法也有其独特性。

作者在生产一线，从事变频器的安装、调试和维修工作近 10 年，修理国内外各类变频器数百台次，书中故障实例大部分都是来自于作者的维修笔记和日记，电路实例全是由变频器实物测绘所成，可以说本书是维修实践的产物，是作者的心血之作。

在此向促成本书问世的我的朋友们、我的家人、机械工业出版社的编辑，表示由衷的感谢！

测绘电路和在测绘电路基础上的电路解析，有着难免的纰漏，再加上限于作者的学识水平、时间和精力，书中可能存在疏忽和谬误之处，恳请广大读者及时指正，作者深表感谢！

作者的电子邮箱：[lyfxian@163.com](mailto:lyfxian@163.com)

戚庆信  
2009 年 6 月

# 目 录

前言	
第1章 说一说变频器的维修	1
1.1 变频器的整机电路	1
1.2 INVERTER VFO 变频器的整机电路	2
1.3 康沃 CVF-G 变频器整机电路	6
1.4 变频器电路的维修特点	13
1.5 变频器的修理准备	14
第2章 变频器主电路的检修	16
2.1 对 IGBT 模块的检测	16
2.2 主电路上电检修	20
2.3 储能电容的问题	26
2.4 充电电阻故障	28
2.5 晶闸管故障	32
2.6 变频器主电路的其他环节故障	38
2.7 省钱的修理方法之一	39
2.8 省钱的修理方法之二	42
2.9 维修补充注意说明	44
第3章 开关电源的检修	46
3.1 开关电源的供电取自何处	46
3.2 认识开关电源电路的重要元器件	49
3.3 开关电源的检修思路和检修方法	55
3.4 开关电源的经典电路及故障实例之一	58
3.5 开关电源的经典电路及故障实例之二	61
3.6 开关电源的经典电路及故障实例之三	64
3.7 大功率变频器的开关电源	67
第4章 变频器驱动电路的检修	71
4.1 驱动电路的供电电源	71
4.2 认识驱动电路常用的几种驱动 IC	73
4.3 PC923 和 PC929 驱动电路的检修	78
4.4 A316J (HCPL-316J) 驱动电路的检修	85
4.5 驱动电路的神秘之处	87
4.6 早期变频器产品驱动电路的检修	91
4.7 驱动 IC 经典组合电路的检修	98
4.8 由 A316J 构成的驱动电路的检修	101
4.9 由 A4504 和 MC33153P 构成的驱动电路的检修	105
4.10 IPM 驱动 (信号隔离) 电路的检修	108
4.11 变频器电路中制动电路的检修	112
第5章 电流检测电路的检修	116
5.1 直流母线电流检测与保护电路	118
5.2 电流互感器电路	122
5.3 东元 7200MA 3.7kW 变频器的电流检测电路	125
5.4 英威腾 G9/P9 中、小功率机型输出电流检测电路	128
5.5 阿尔法 5.5kW 变频器电流检测电路	131
5.6 电流与电压检测的共用电路——基准电压形成电路	132
5.7 根据故障代码检修电流检测电路	134
第6章 电压及温度检测电路的检修	139
6.1 直流回路电压检测电路之一	139
6.2 直流回路电压检测电路之二	142
6.3 直流回路电压的辅助检测——充电接触器触点状态检测电路	147
6.4 直流回路电压的辅助检测——三相输入电压检测电路	149
6.5 输出电压/频率检测电路	152
6.6 温度检测与保护电路	154
6.7 故障检测电路常用到的模拟电路	159
第7章 CPU 电路的检修	166
7.1 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路	167

---

7.2 英威腾 G9/P9 中、小功率机型 CPU 主板电路 .....	175	8.3 特殊故障 .....	208
7.3 阿尔法变频器故障信号末级处理电路 和前级逆变脉冲电路 .....	193	8.4 从整机电路看两类故障 .....	214
7.4 CPU 损坏后的修复 .....	198	8.5 检修过程中对故障报警信号的解除 方法 .....	215
<b>第 8 章 变频器检修的系统方法论述</b> ..	<b>201</b>	8.6 IC 短路故障的一个检修方法 .....	219
8.1 掌握排线端子信号来源的好处 .....	201	<b>附录 变频器电路常用 IC 引脚 功能图</b> .....	<b>220</b>
8.2 OC 故障信号的来源和实质 .....	205		

# 第1章 说一说变频器的维修

## 1.1 变频器的整机电路

我们维修中能经常见到如图 1-1 所示结构的机型，又称为电压型变频器，其逆变电路是由电容储能提供电源供应的；电路的能量传递为交-直-交方式，将输入交流电压先整流成直流，再逆变为交流输出。变频器本身是一个逆变器，相比于工频电源，变频器是一个输出频率（和电压）可变的三相电源，具有从几 Hz 到几百 Hz 的频率输出范围。

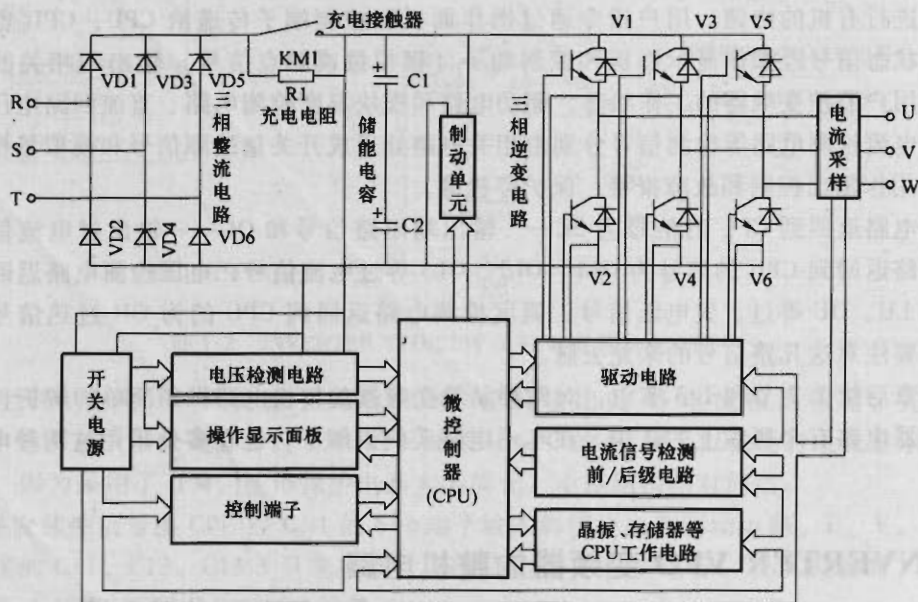


图 1-1 变频器整机电路框图

变频器的功率级别，往往以 18.5kW/P 型（15kW/G 型）为分界线，大于此者为中功率机型，小于此者为小功率机型。大、中功率的划分尚不明晰。

变频器的小功率机型，一般由两大块电路板构成，输入整流电路采用 6 只二极管封装的三相整流模块，输出电路往往采用 6 只 IGBT 封装模块（少数机型采用 IPM 即智能功率模块），部分机型又将整流和逆变电路封装成一个整体的模块电路，可称为“一体化主电路”。当然，直流回路的储能电容是独立安装的。主电路往往又与开关电源电路和驱动电路整合到一个电路板上，称为电源/驱动板。另一块电路板称为 CPU 主板，以单片机（国际上称微控制器，简称 CPU）为中心，包括 CPU 的供电、晶振、复位等基本工作电路、变频器的控制端子电路、操作显示面板的接口电路和模块温度检测、电压检测、电流检测保护后级电路等。

变频器的中功率机型和大功率机型，采用单二极管或双二极管的整流模块，用3块或6块（大功率机型也有并联扩流应用的）构成整流电路。采用单IGBT或双IGBT逆变模块，用3块或6块（大功率机型也有并联扩流应用的，少数也有采用IPM的）组成三相逆变输出电路。控制电路板一般也为两块，一块为电源/驱动板，集成了开关电源电路、驱动电路、温度检测、电压检测、电流检测的前级电路等；一块为CPU主板。

以中功率机型为例，图1-1中的上半部分为变频器的主电路，VD1~VD6构成了三相输入整流电路，R1为充电电阻，变频器上电期间对储能电容进行充电，当C1、C2上建立起一定幅值的电压之后，充电接触器动作，短接R1。IGBT V1~V6构成三相逆变输出电路。

图1-1中的下半部分则为控制电路板的电路，开关电源和驱动电路往往是在一块电路板上的，称为电源/驱动板；而其他CPU外围基本工作电路和各类检测电路，则集中于另一块电路板上，称为CPU主板。当然，也有例外，也有将开关电源和CPU整合在一块电路板上的，但是不具代表性。

CPU生成6路PWM脉冲，经驱动电路激励6只IGBT，输出三相逆变电压。CPU又对整机的工作进行有机的协调。用户指令通过操作面板和控制端子传递给CPU，CPU也将变频器的工作状态信号经操作显示面板和控制端子（模拟量或触点信号）输出到相关的外围设备上，供用户监控变频器的工作状态。驱动电路和模块温度检测电路、直流回路电压检测电路、输出电流检测电路等检测信号分别由相关电路处理成开关量故障信号和模拟量检测信号送CPU，用作输出控制和故障报警、保护停机等。

驱动电路返回到CPU的信号为SC——输出端短路信号和OC——输出过电流信号；电流检测电路返回到CPU的信号为OL1、OL2、OL3等过电流信号；电压检测电路返回到CPU的信号为LU、OU等过、欠电压信号；温度检测电路返回到CPU的为OH过热信号等。维修中一定要注意这几路信号的来龙去脉。

在本章后续1.2节和1.3节中，对两种品牌变频器的整机电路做了简单的解析，使读者能对变频器电路有个概貌上的认识。在本书电路实例讲解中，也在多处采用这两种电路作为蓝本。

## 1.2 INVERTER VFO 变频器的整机电路

### 1. 电源/驱动电路板电路

变频器的主电路（见图1-2）由输入整流模块、输出逆变模块和储能电容搭成主框架。小功率变频器还内置直流制动开关管和制动电阻器，受CPU信号控制，在因负载电动机反发电造成电能回馈直流回路，致使直流回路电压异常上升，危及逆变模块和储能电容的安全时，制动开关管导通，将制动电阻并入直流回路。本电路中光耦合器PC1驱动制动开关管VF1的回路，不能形成激励电压的通路，制动电路形同虚设。即使为成品机型，也可能有电路上的失误之处。维修中需注意！

逆变模块的型号为STK621-051A，为智能功率模块（IPM）。模块内含IGBT的驱动电路、欠电压（驱动电压跌落时电路动作）和IGBT过电流、短路保护电路，以及模块温度检测电路、故障信号输出电路。FO为故障信号输出端子，经CNI的5脚连接到CPU的77脚。模块内部故障检测电路往往有自锁功能，在输出过电流、短路或驱动电源欠电压、模块过热

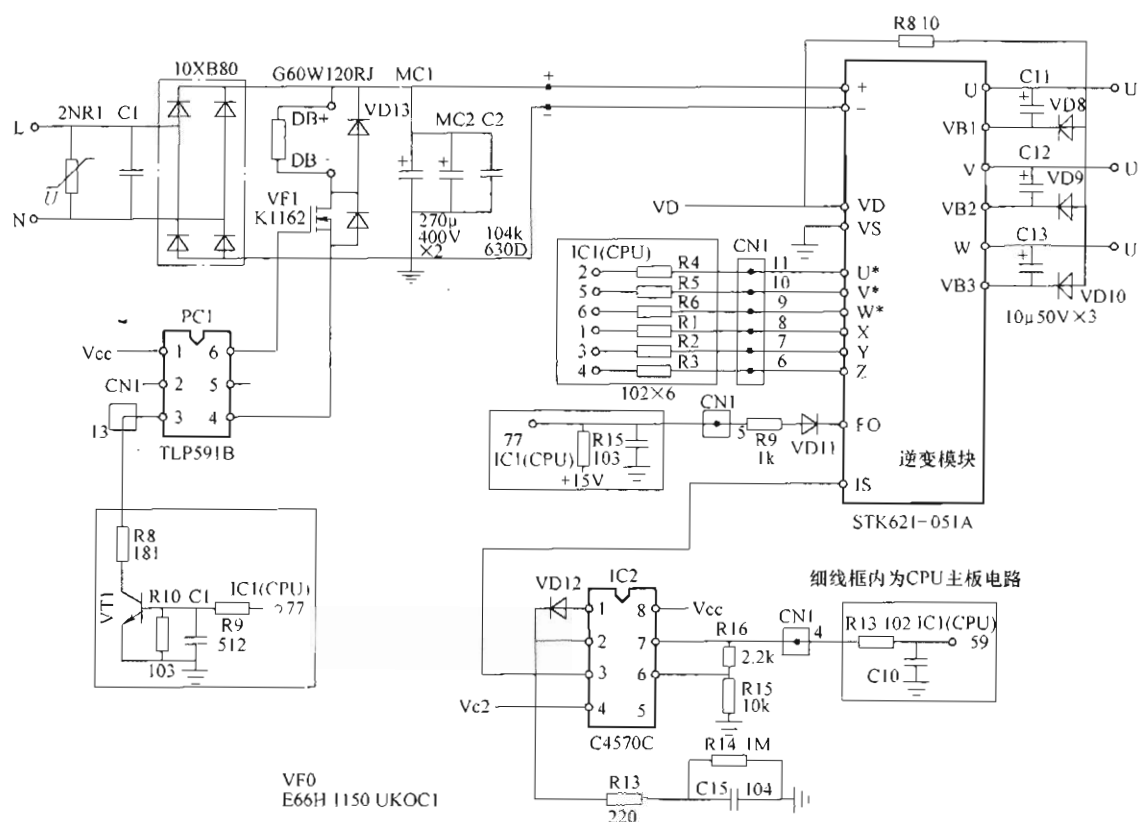


图 1-2 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器主电路

等故障发生时，也对 IGBT 实施了关断措施。模块输出的 IS 电流检测信号，先由 IC2 (C4570C) 运算放大器处理后，经 CN1 的 4 脚送入 CPU 的 59 脚，以供运行电流显示及故障报警之用。因为采用了 IPM，使得保护电路大为简化，电路结构相对简洁。

6 路逆变脉冲信号由 CPU 经 CN1 的 6 个端子输入到模块内部驱动电路。U、V、W 输出端子上并接的 C11、C12、C13 3 只电容器，为驱动电路的自举电容，当其失容时，会因不能良好地驱动 IGBT 而频报 OC、SC 故障。

变频器开关电源电路（见图 1-3）的供电取自直流回路的 +、- 端，为直流 280V 左右。开关电源为单管自激振荡电路，R1、R2 为起振电路，提供开关管 VT1 上电时的起振电压。R5、C4 等元件形成正反馈支路，控制 VT1 的截止和饱和和导通。VD3、VS1 又构成一个稳压支路，除加速 VT1 的截止外，利用 VS1 的电压击穿特性，可使振荡电路完成工作状态的转换（VS1 的击穿电压点，即 VT1 由饱和和导通到进入放大区与截止区的转折点），以此来控制电路达到稳压输出的目的。二次绕组输出的工作电源还要经后级稳压电路处理后，才作为控制电源。控制端子的电源 Vc1 由 VD4、C7 整流滤波得到，因采用 IPM 的原因，逆变电路不再需要外部 4 路相互独立的驱动电源，这使得电源电路也大为简化。Vc1 提供变频器控制端子的操作电源。VD5、C10 整流滤波得到的 VD 电源，专供逆变模块内部的驱动电路的供电。VD6、VD7 整流电路提供控制电路所需的正、负电源。除控制端子的操作电源外，其他电源都是共“地”的，与直流回路的-端同电位。电路板上的各路供电，与“强电”有通路，这



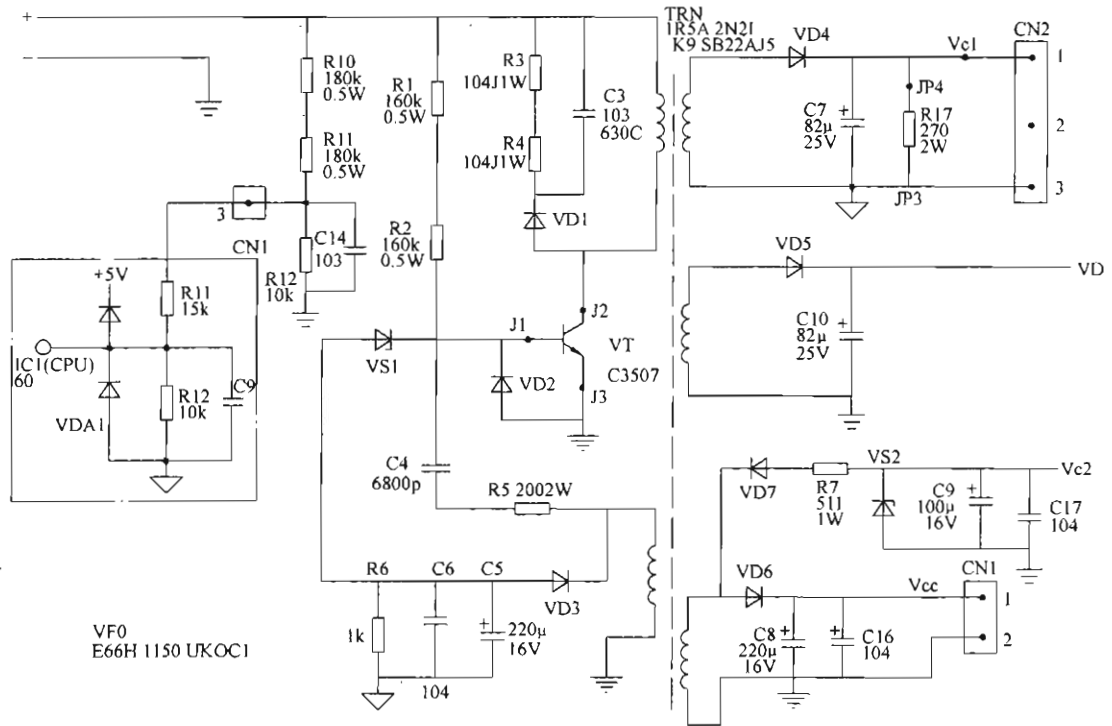


图 1-3 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器开关电源电路

一点必须注意！检修时应用隔离 220V 交流电源供电，避免电击！

## 2. CPU 主板电路

图 1-4 为 CPU 主板电路之一——CPU 的基本电路，也即满足 CPU 基本工作条件所需的

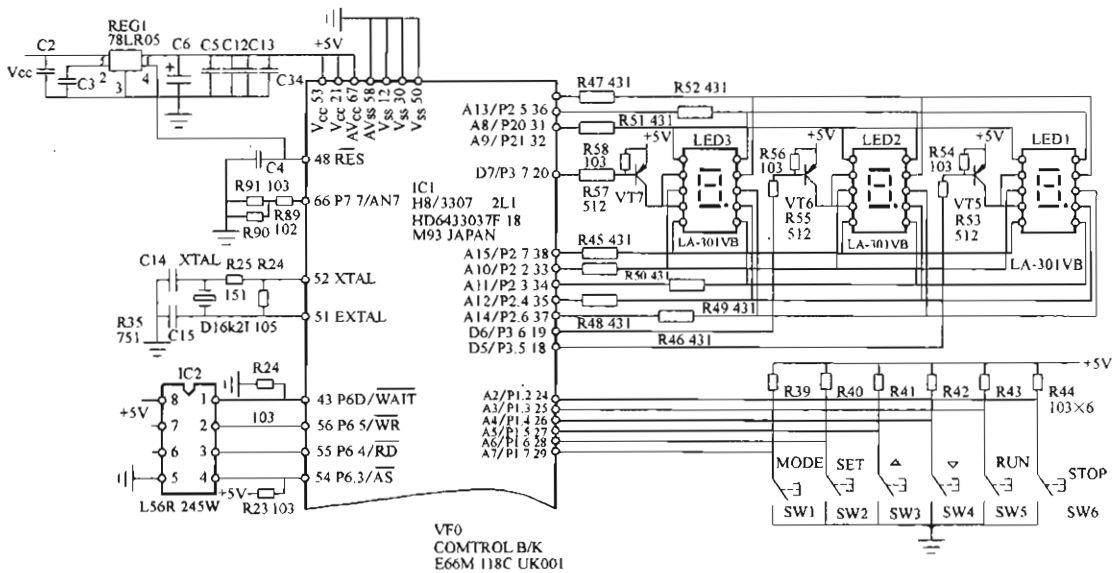


图 1-4 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之一——CPU 的基本电路

电路构成。由+5V供电电路、复位电路、晶振电路、外接存储器电路、操作显示面板的数码显示电路和键盘电路组成。

图1-5为CPU主板电路之二——数字/模拟信号控制端子电路，是处理变频器的控制端子输入、输出的数字与模拟信号的。10、11控制端子输出变频器的状态（运转或故障）开关量信号。RPI输入面板频率指令信号。2端子输入控制端子输入的模拟电压信号——频率指令信号。输入信号的切换由IC4（BU4066BCK）双向模拟开关来控制。

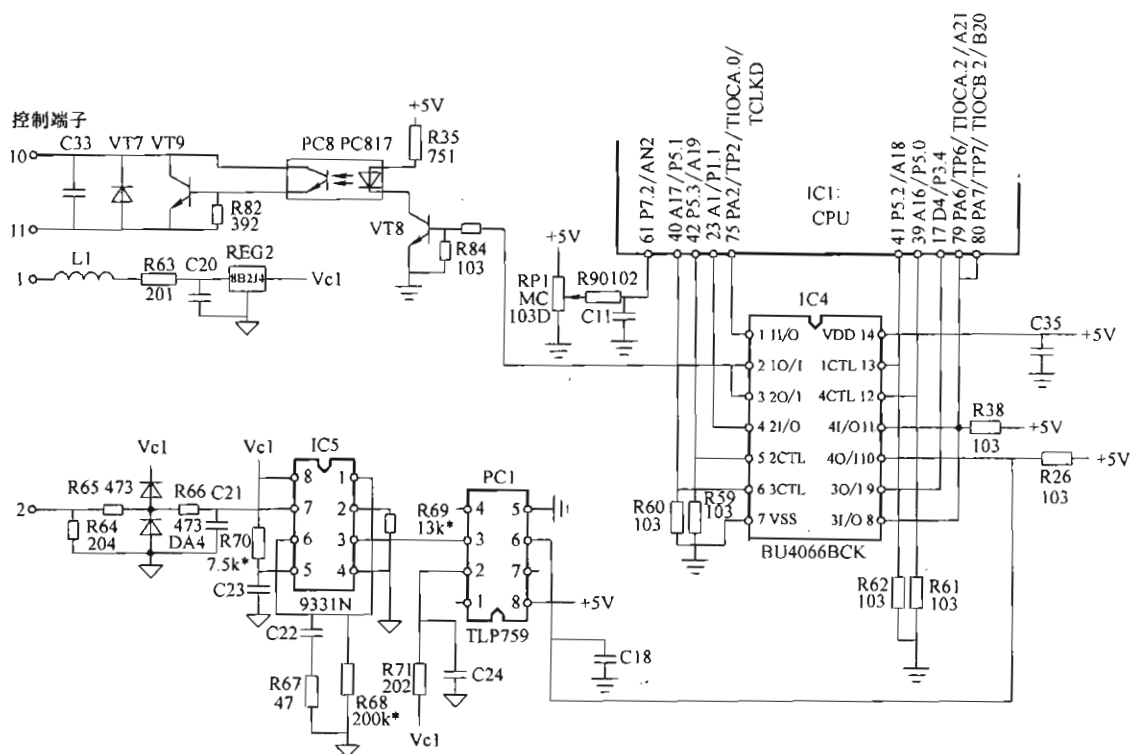


图1-5 INVERTER VFO 220V 0.4kW变频器CPU主板电路之二——数字/模拟信号控制端子电路

图1-6为CPU主板电路之三——数字控制端子电路。电路处理的都是数字开关量信号。用户用外接按钮、开关等，通过数字控制端子，控制变频器的启停和故障复位等。3~9端子为控制信号输入端子，控制信号经光耦合器输入到CPU引脚。继电器K1输出变频器的工作状态信号，是无源触点输出。VT2、PC2、运算放大器IC6等电路，是将CPU 76脚输出的PWM脉冲信号，经光电隔离、数/模转换、低通滤波成模拟电压信号，供外接电压表来显示运行频率的。电路传输的实际也为开关量信号。

CPU主板电路的电路原理解析详见第7章，此处读者只需了解整机电路的构成，以及各部分电路的衔接和信号流程的走向。在看到后续各章对某部分电路的分析时，能找到这部分电路在整机电路中的位置和明晓电路的前后联系，就可以了。

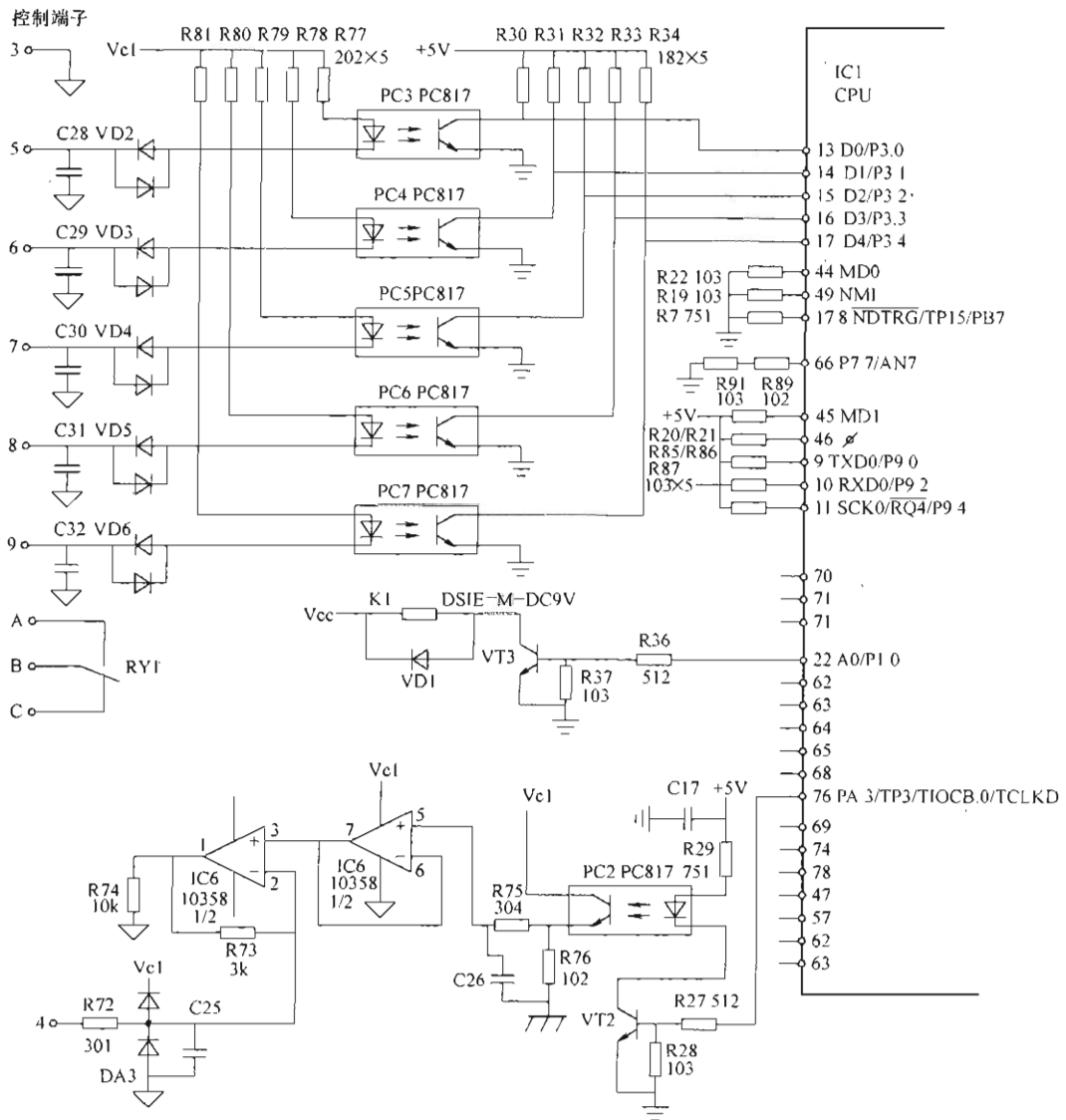


图 1-6 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之三——数字控制端子电路

### 1.3 康沃 CVF-G 变频器整机电路

#### 1. 电源/驱动板电路（含主电路）

变频器中的小功率（G 型机 15kW 以下）机型，往往采用一体化模块，即将三相整流电路与逆变输出电路集成于一个模块内，模块内部还有制动开关管和模块温度检测电路。对于中功率机型，整流和逆变电路便由分立式（双管或单管）模块构成了，制动电路和模块温度检测也是独立设置的。图 1-7 为康沃 CVF-G5.5kW 小功率变频器主电路 R44、R45 为充电电阻、MC 为充电继电器的常开触点。R44、R45 和 MC 构成预充电电路。P1、PB 端子为外接制动电阻端子，机器已有内置制动电阻。储能电容是在焊接在电路板上的，TA1 和 TA2 为两只串接于

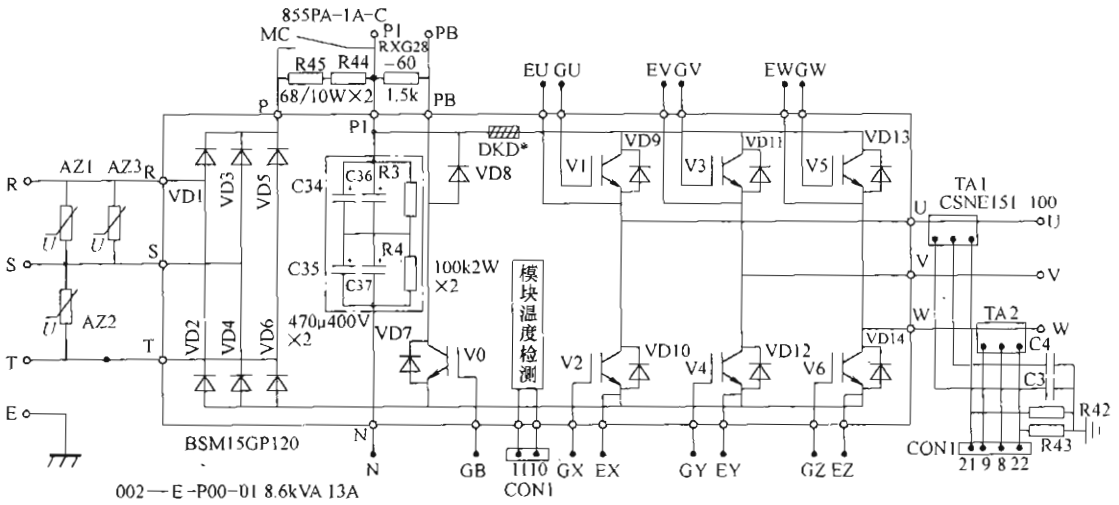


图 1-7 康沃 VCF-G 5.5kW 变频器主电路

U、W 输出端的电子型电流互感器，将输出电流信号经 CON1 端子传输到后级电流检测电路。

开关电源电路（见图 1-8）提供整机的控制用电，电流输入取自直流回路 P1、N 两端的 530V 三相整流电压，又称为直流回路电压。U1（3844B）为开关电源专用振荡芯片，在变频器开关电源电路中被广泛应用。开关电源的一次侧电路可分为振荡电路和稳压电路两个支路。二次绕组的整流滤波电路，提供 +24V、+15V、-15V、+5V 四路控制用电，和四路驱动电路所需的 22V 隔离电源（在驱动电路中画出）。本电路输出的 +18V、-18V、+8V 电压，进入 CPU 主板后经稳压电路，再处理成 +15V、-15V、+5V 三路供电。

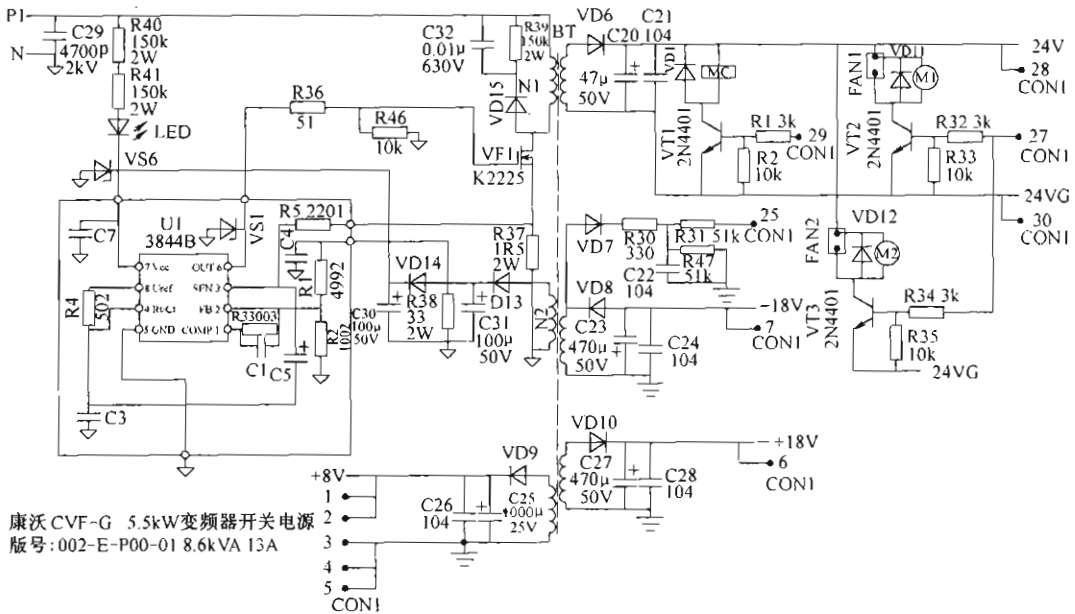


图 1-8 康沃 VCF-G 5.5kW 变频器开关电源电路

VD7 整流正电压，经 R30、C22、R31、R47 滤波和分压后，输入 CPU，作为直流回路的电压采样信号。

+24V 电源还提供充电继电器线圈的供电和散热风扇的供电。充电继电器和散热风扇是由 CPU 发出的开关指令信号控制的。

CON1 为电源/驱动板与 CPU 主板之间的排线连接端子。在电源驱动板上标注为 CON1，CPU 主板上标注为 CON2，但引线次序一致。

小功率变频器的驱动电路，很多采用了 TLP250 光耦合器作为驱动 IC（见图 1-9），TLP250 内部不含 IGBT 保护电路。U+、V+、W+ 三路逆变脉冲输出电路用来驱动上三臂 IGBT，因 EU、EV、EW 三路信号的“地”即是 U、V、W 三个输出端，不能共于一点，故驱动电路的供电采用了三路相互隔离的供电电源。U-、V-、W- 三路逆变脉冲信号驱动下三臂 IGBT，此三路信号“地”——EX、EY、EZ 是连接于一点的，实际上为直流回路的 N 端，故下三臂 IGBT 的驱动电路共用了一组供电电源。

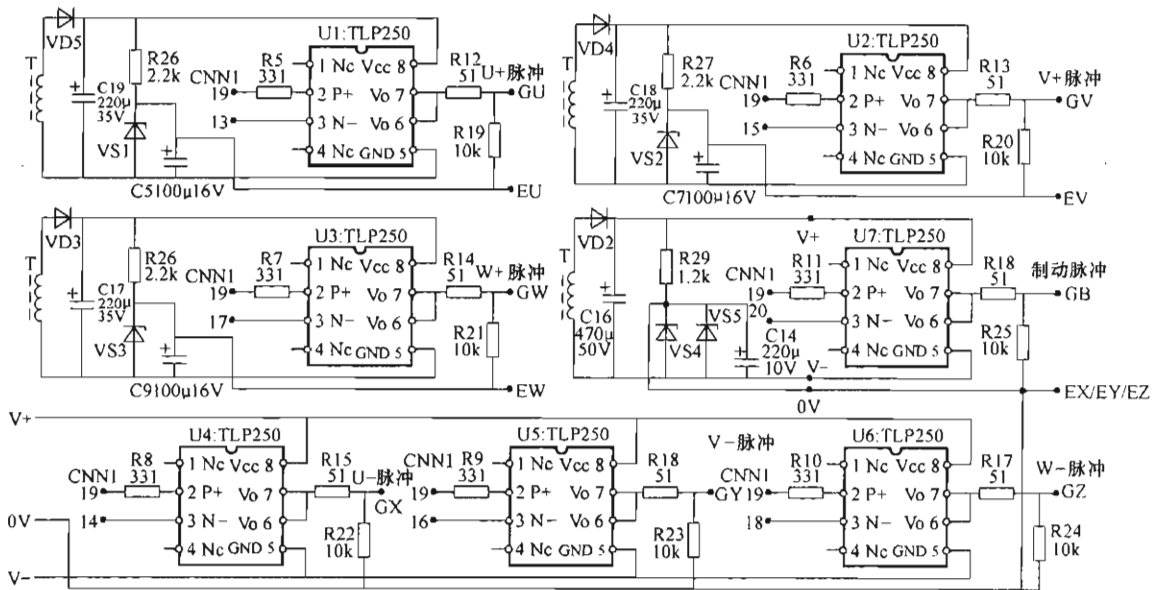


图 1-9 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器驱动电路

驱动电路的四路供电由开关电源的二次侧的 4 个负载绕组提供，经整流、滤波后，又经简单稳压电路分为正、负两路供电，正供电提供 IGBT 的激励电压，控制其开通；而负供电则提供 IGBT 的截止电压，控制其关断。在停机状态，负载截止电压是一直加在 IGBT 的栅-射极回路的。

较大功率的机型，在驱动 IC 与 IGBT 之间，还增设有末级功率放大器，对驱动 IC 输出的脉冲信号进行电流/功率放大，以提高驱动大功率 IGBT 的能力。

## 2. CPU 主板电路

图 1-10 为 CPU 工作的基本电路。

开关电源二次绕组输出的 +8V 电源经 VOL1 (L7805CV) 稳压成 +5V，加到 CPU 的 Vcc、Vss 和 AVcc、AVss 引脚，提供 CPU 芯片的供电；CPU 的 22、23 脚外接晶振、电容元件，与内部振荡电路一起，提供工作时钟；19 脚外接由晶体管 VT4 等构成的复位电路，提供上电瞬间的低脉冲复位电平；IC2 (93C66) 外部存储器与 CPU 的 4 个引脚相连，完成读/

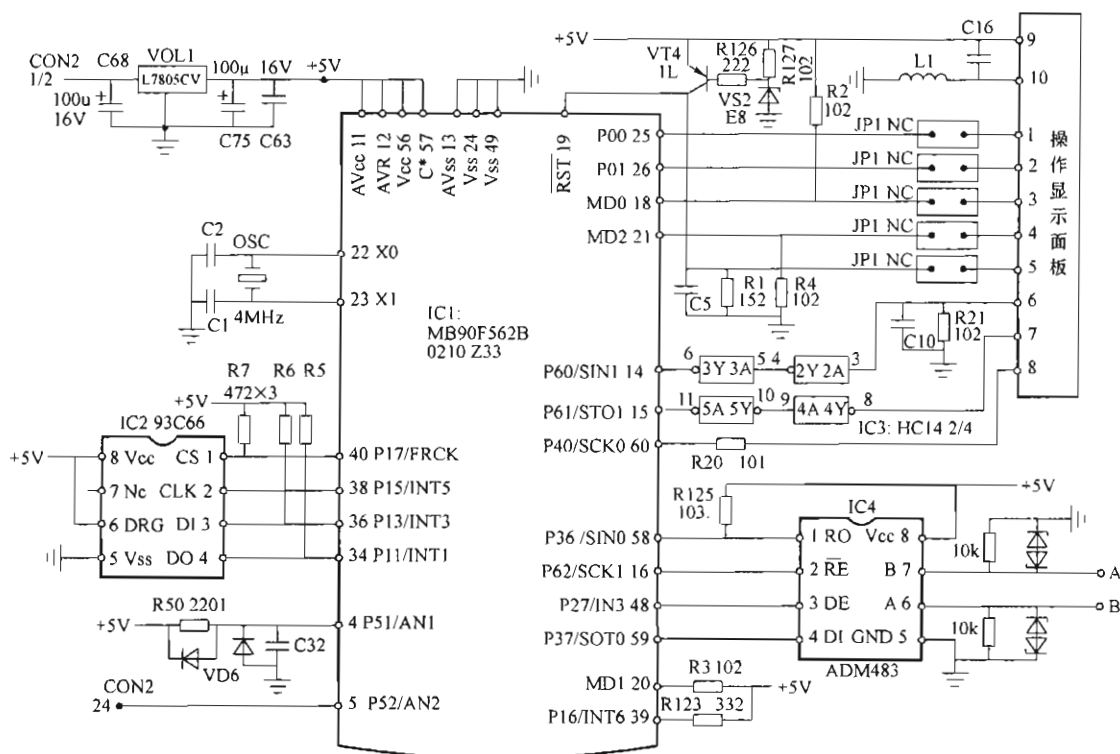


图 1-10 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器 CPU 基本电路

写操作和存储功能；CPU 通过三线通信方式与操作显示面板进行通信；对变频器的控制和相关数据传输，也通过 IC4（ADM483）半双工收发器与上位机或 PLC 来实现。

变频器的数字/模拟控制端子，一方面接受用户控制指令，用于对变频器起停和频率调节等控制，一方面又将变频器的工作状态传达给用户，便于工作监控。图 1-11 左侧为数字输入信号控制端子；右上侧为数字输出（变频器状态）信号端子电路；右侧中部为模拟量输入/输出信号端子，用于输入频率指令和输出 0~10V 的输出频率监控电压；右下侧电路为模块温度信号输入和两路开关量控制信号输出。

变频器的控制端子是通过光耦合器直接与 CPU 连接的。其他信号的出入，对整机工作过程的控制，也是由 CPU 直接“发号施令”来完成的。

CPU 的一个重要功用即是用软件方式生成六路 PWM 逆变脉冲，经反相驱动器送入电源/驱动板的驱动电路驱动 IGBT，实现三相逆变输出。从 CPU 6 个引脚输出的六路逆变脉冲信号，往往经过一级反相或同相驱动器，再送入后级驱动电路，但个别机型，也有从 CPU 的引脚直接连接至驱动电路的。相对于驱动电路（脉冲后级电路），图 1-12 所示电路又称为逆变脉冲的前级电路。

从开关电源来的 +18V、-18V 电源经 VOL3、VOL2 稳压成 +15V、-15V 电源，供电流、电压检测电路（见图 1-13）。从电流互感器来的 U、V 两相电流信号，经 CON2 排线端子引入到 CPU 主板的电流检测电路（见图 1-13）。根据机型不同，电流检测电路有在电源/驱动板上的，但大部分变频器电流检测电路则全部在 CPU 主板上。如在电源/驱动板上，则称为前级（或前置）电流检测电路。电路由运算放大器构成，将电流互感器来的检测信号

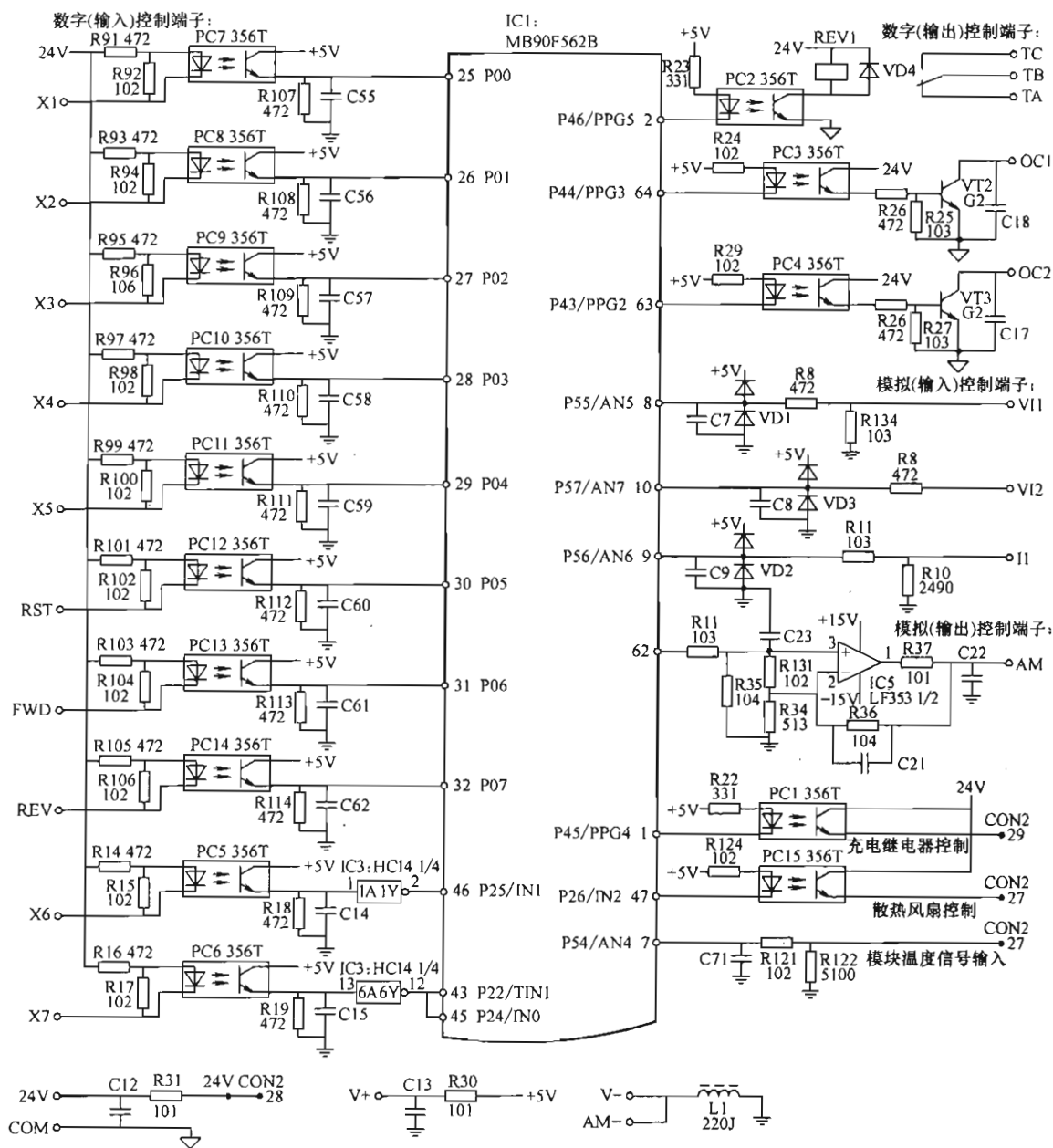


图 1-11 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器控制端子/控制信号电路

放大处理后，送入后级电流检测（故障末级）处理电路。由后级电流检测（故障信号末级电路）处理电路将电流检测（故障）信号送入 CPU。

IU 信号经 IC7 放大，从 1 脚输出，直接送入 CPU 的 3 脚，提供运行电流显示、参与运算控制及保护。

本电路处理的是模拟信号。

由前级电流/电压检测电路来的模拟信号，都要送入末级故障信号电路（见图 1-14），进一步处理为（可控）开关量信号后，再输入 CPU，主要用于故障报警和停机保护。

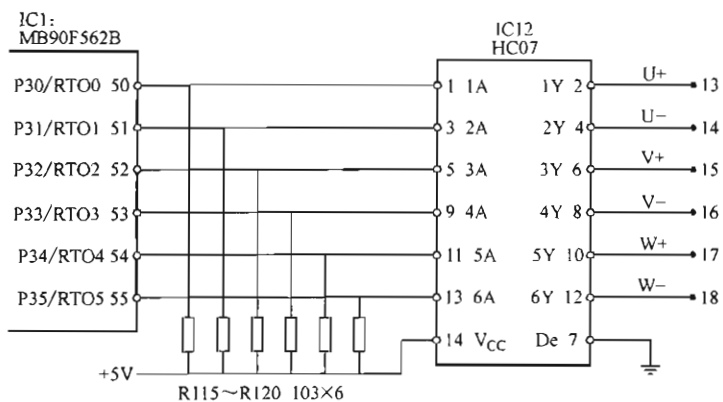


图 1-12 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器逆变脉冲输出电路

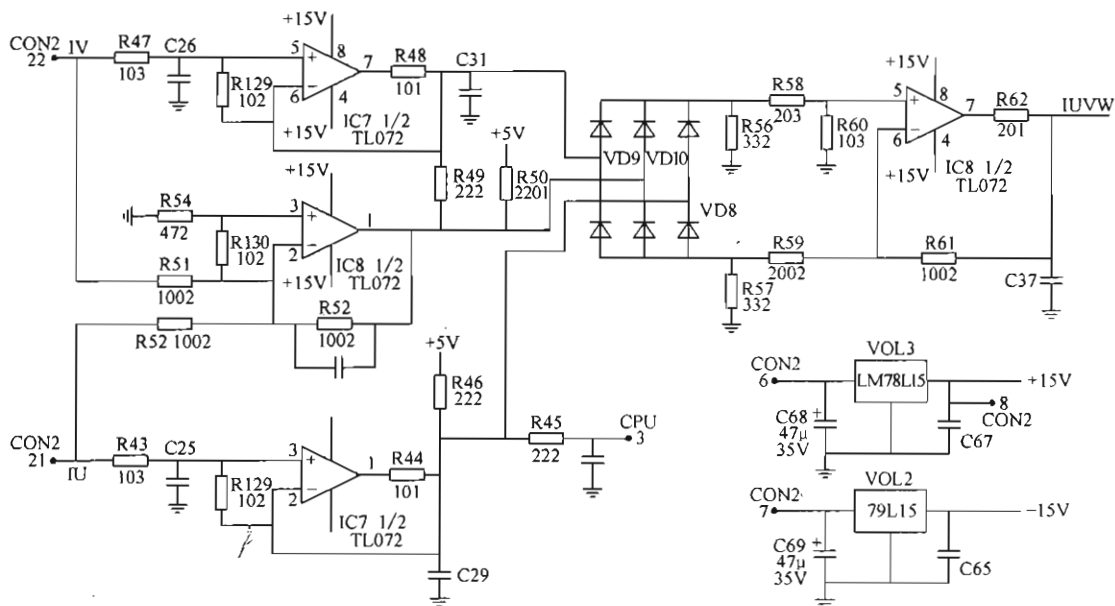


图 1-13 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器电流检测电路

末级故障信号电多由电压比较器（迟滞比较器）和数字电路所构成，信号的输入（有效与无效和动作起控点）受 CPU 输出指令的控制；末级故障信号电路与驱动电路有故障联锁关系，故障信号生效时，六路脉冲传输通道被封锁。

电压检测信号一路经 IC10 电压跟随器直接送入 CPU，用作过、欠电压报警，停机保护和参与输出控制；一路又经电压比较器处理成制动信号，控制逆变模块中的制动开关管。有的机型中，制动信号是直接由 CPU 输出的。

相对于采用 IPM 模块的机型，采用普通 IGBT 模块的机型，电流/电压检测（故障信号）电路，成为 CPU 主板电路重要的构成和故障维修内容。

通过变频器整机电路的构成，读者应能形成：



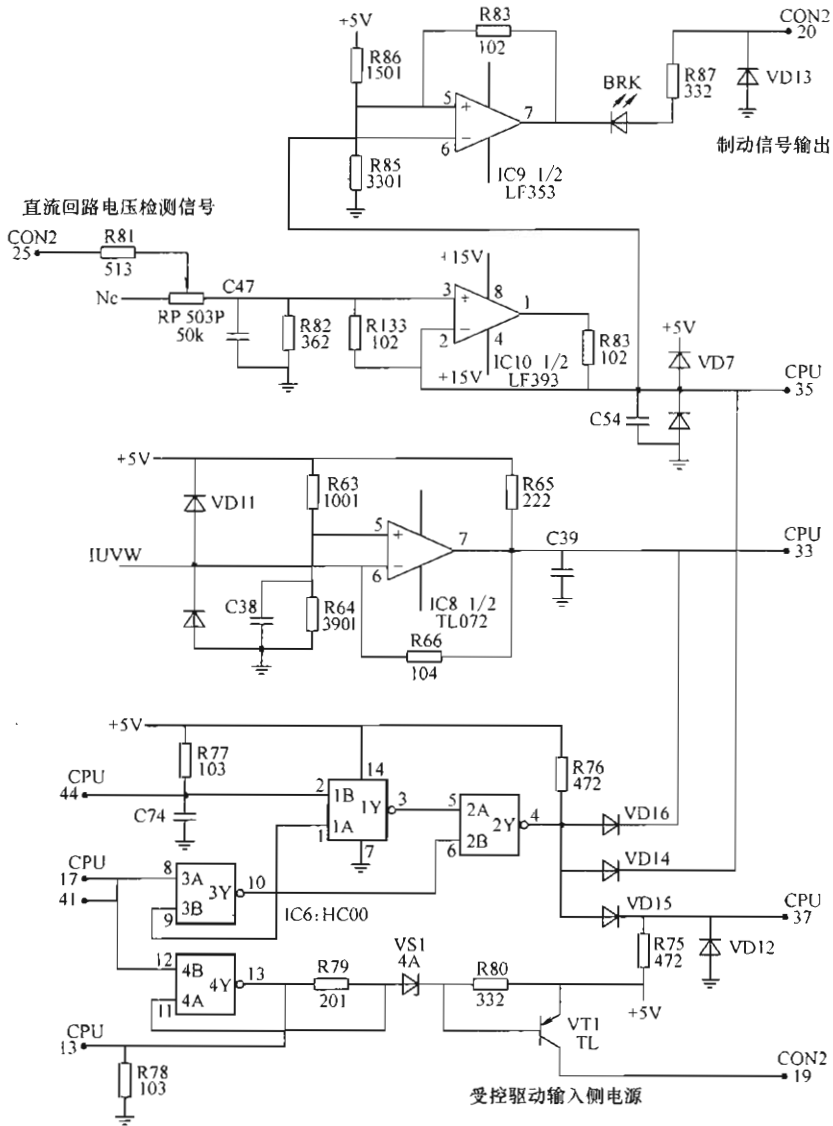


图 1-14 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器电压检测/未级故障信号电路

1) 对变频器电路一个概括的认识。了解变频器由哪几大块电路所构成，电源/驱动板由哪几部分电路构成，CPU 主板电路由哪几部分电路所构成。

2) 对局部电路的认识和特点掌握，如驱动电路由 6 片驱动 IC 构成，其特点为正、负双电源供电。

3) 对某一信号流程的掌握，如逆变脉冲信号通路，由 CPU 6 个 PMW 端口，至反相驱动器（脉冲前级电路）以及至驱动电路（脉冲后级电路）的信号传输通路。

4) 对电路类型的掌握，如电流检测电路，前级电路采用运算放大器（反相放大器）来处理模拟信号；而后级电流检测电路，则采用电压比较器，与数字电路、CPU 指令相配合，

处理开关量信号。

5) 掌握信号的不同用途, 如电流/电压检测电路, 模拟信号直接送入 CPU 的, 供操作显示面板的电流显示和参与程序运算、输出控制等, 变换为开关量再输入 CPU 的, 则起到故障报警、停机保护等作用。

## 1.4 变频器电路的维修特点

对变频器各部分电路故障率的划分, 很难有精准的统一的标准。维修层次的一不一样, 得出各电路故障率的结论肯定会有差异。以笔者近 10 年以来的维修实例作为参照, 可以确定一个大致的范围: 主电路的故障率约占到 40%, 其中逆变模块的故障率最高, 能占到 25%, 整流模块和储能电容器及充电电阻、充电接触器的故障率占到 15%; 开关电源的故障率约占 30%; 各类检测电路的故障率约占 15%, 控制端子等 CPU 外围电路故障率约占 13%, 而 CPU 本身和外挂存储器的故障率仅占到 2% 左右。

变频器的生产与应用, 已有 20 年的历史, 不算新产品。但国产机的生产及普及应用, 却是近几年的事情。早期投入市场的, 进口品牌较多, 目前已进入故障多发期, 形成了较大的维修量。近几年各个层次的变频器生产厂家蜂拥而上, 品牌之多, 质量上参差不齐, 电路上各出机杼, 性能上更新换代之快, 使人有目不暇接之感。

正是有了电力电子器件研发的成功和广泛应用, 有了微控制器在控制领域上的拓展, 才有了变频器这样一个在电力拖动系统被大量应用的工控产品。随着技术的进步以及“综合学科”和“边缘学科”的出现, 要求维修者技术知识的储备尽量全面一点才好。变频器的应用和维修, 在技术上是一个很宽泛的“面”, 因为变频器是弱电(微电子)和强电(电力开关器件)的有机结合, 是软件和硬件的有机结合, 它强大的功能、各种完善的检测和保护电路、控制上的智能化和灵活性、电路元器件的非通用性和特殊要求, 说明着这类机器的独特性, 也势必决定着独特的检测思路 and 检测方法——维修者不能再以往检修纯硬件电路的眼光来检修变频器了, 它有多由软件控制程序决定的和表现出来的“怪故障”, 促使我们必须以“系统”的眼光和手段, 才能有效地排除。

因而, 维修者首先要对 CPU 的电路特点要熟悉一些, 如 CPU 工作的电源、晶振、复位的三要素等。第二要准备维修资料, 如变频器的说明书, 实物复印也好, 网上搜罗也好, 反正是越多、越全越好。检修和修复后的试机, 都要参考说明书来调整相关参数值, 确定某种运行控制方式。有时候因找不到操作说明书, 会造成修理上的“卡壳”; 要学会对变频器的调试, 一个变频器修理高手, 必然也是一个调试高手, 一些不能运行的故障, 并非全是由硬件电路异常造成, 合理的参数调整, 便可使机器起死回生。一些机器是按几下按键就修好了, 此类维修对说明书等资料的依赖性比较强。变频器说明书是不可能搜罗完备的, 要积累自己的操作调试经验, 如操作面板不能起动车变频器, 可从端子的接线方式上试验, 达到起动车变频器运行和试机的目的。

变频器是一个智能化产品, 其检测保护功能尤为强大。例如, 变频器上电后显示“死机状态”, 所有操作均失效。这往往并非是 CPU 坏掉使程序不能运行, 而有可能是检测到 OC 或 SC 故障, CPU 实施的一种保护手段。如果不停地检查 CPU 工作三要素, 则结果必定是南辕北辙, 事倍功半。

要学好配合故障代码检查相关电路，更要从机器的智能控制方式上着眼，理性地辨析故障所在，提高维修效率。短路、过电流、接地，虽然实质上都属过电流故障，但故障检测部位、检测时机和检测电路有所区别，应逐步锻炼以增长经验，使自己具备这种将故障落实到具体电路上的能力。

一门技艺，有速成的东西，如对主电路的检测和一些修复方法，看过本书相关章节便会轻易掌握；也有一些需经日积月累形成的只属于你自己的东西，如对电路故障近于直觉的把握和判断，修理中一些随机应变的变通方法。后者才是一个维修者成熟的标志。一个电路正常的工作状态只有一种，而故障状态却有多种，并且很难对其进行定性分析。同一种电路，已经修复了1000种故障，但眼下接手的，可能正是第1001种故障，要举一反三，要变通，要突破定式思维，从检修思路到修理手段都要放开。哪里有什么疑难故障，只是我们相关知识的“面”不够宽泛而已，只是我们的检修思路没有“疏通”而已，只是我们的修理方法缺乏变通而已。

## 1.5 变频器的修理准备

印制电路板制作工艺水平已有很大的提高，双层、三层乃至多层印制电路板的出现，为分层走线和处理密集元器件引脚走线提供了更大的方便，排开元器件的地方就能走开连接铜箔线完全成为可能。大量贴片IC、电阻器、晶体管及小容量电容器的使用，进一步缩小了印制电路板的体积，小型化已经成为——工控产品的一个大趋势，一些变频器的印制电路板已经接近手机电路板的水平了。

小型化使电路板的检修有了一定难度，不能进行粗暴式的拆装和焊接，得讲究一点轻巧和细致。

放大镜台灯是必备的一个检测工具，视力再好的人能看清铜箔条的走向已经不错，但要看清全部贴片元器件上的标注，就非常困难甚至不可能了。方便的伸缩台架和有两种放大镜片的放大镜台灯，就成为检测印制电路板一个不可或缺的工具。

维修中还需要两把30W和60W的烙铁，分别用于贴片元件的焊接和功率电阻、整流、逆变模块等的焊接。热风焊台可有可无，对贴片IC的焊接，可用烙铁熔化细焊丝（内含松香），将IC引脚涂满焊锡和松香，用烙铁头快速交叉加热两引脚，使IC均匀受热，即可将IC轻易取下，且不易损伤电路板。此操作技巧几个小时即可操作熟练。对过孔元件（如电容器）焊接时，可先用一个小圆筒状器件，如碳素笔的笔筒将焊盘焊锡融化后，嘴含笔筒向元件焊盘吹气，使其露出干净焊盘，安装元件后再实施焊接。这是笔者摸索出的一个“吹锡法”，用于清理焊盘孔，非常有效，比吸锡烙铁效果显著。焊接完毕须清理“飞锡”。逆变模块因引脚很多，有的达二十几个引脚，且引脚分散面积大，在不损伤电路板铜箔和焊盘过孔的情况下，很难将其完好取下。在确认模块已经损坏的前提下，采用锯拉、剪脚等可行的方法，先使模块引脚脱离电路板，再清除焊盘孔，要保证不损伤电路板。

万用表最好有两块，一块数字式的和一块指针式的，这两种不同表各有优缺点，可以互补。指针式万用表测量电压和电流时，本身不耗费电池电能，电阻档消耗一定电能，但因采用2#电池，一年换一次即可。它的输入阻抗低的缺点，应用在某种场合，反而成为优点。如检查IGBT模块的好坏和测量三相逆变输出电压，数字式万用表无能为力，指针式万用表

却能较好地完成任务。检查电路的连接及电阻元件的阻值和二极管的正向压降，则指针式万用表就不如数字式万用表灵敏了。示波器也可有可无，六路 PWM 脉冲电路，动、静态工作点的电压变化很显著，数字式、指针式万用表都能方便地测出。

对 CPU 主板的检修，在无图样的情况下，是有一定困难的。只要用户能承担高额修理费用，当然可以采用简单的“换板修复法”。由机械工业出版社出版的《变频器实用电路图集与原理图说》，收录了二十余种国内外变频器的电路图，是一本很好的变频器维修工具书，可提供很好的维修参考。而面对电路板，顺着铜箔条的走向，在测量中，使电路板在头脑中形成“原理图”，假以时日，强化自己的这种“成图能力”，是提高检修能力的一个步骤。

## 第2章 变频器主电路的检修

变频器的主电路结构，是由交-直-交工作方式所决定的，由整流、储能（滤波）、逆变3个环节构成。图2-1为东元7200PA 37kW变频器主电路，从R、S、T电源端子输入的三相380V交流电压，经三相桥式整流电路整流成300Hz脉动直流，再经大容量储能电容平滑和储能，输入到由6只IGBT构成的三相逆变电路，在驱动电路的6路PWM脉冲激励下，6只IGBT按一定规律导通和截止，将直流电源逆变为频率和电压可变的三相交流电压，输出到负载电路。变频器主电路的简单工作原理就是如此。

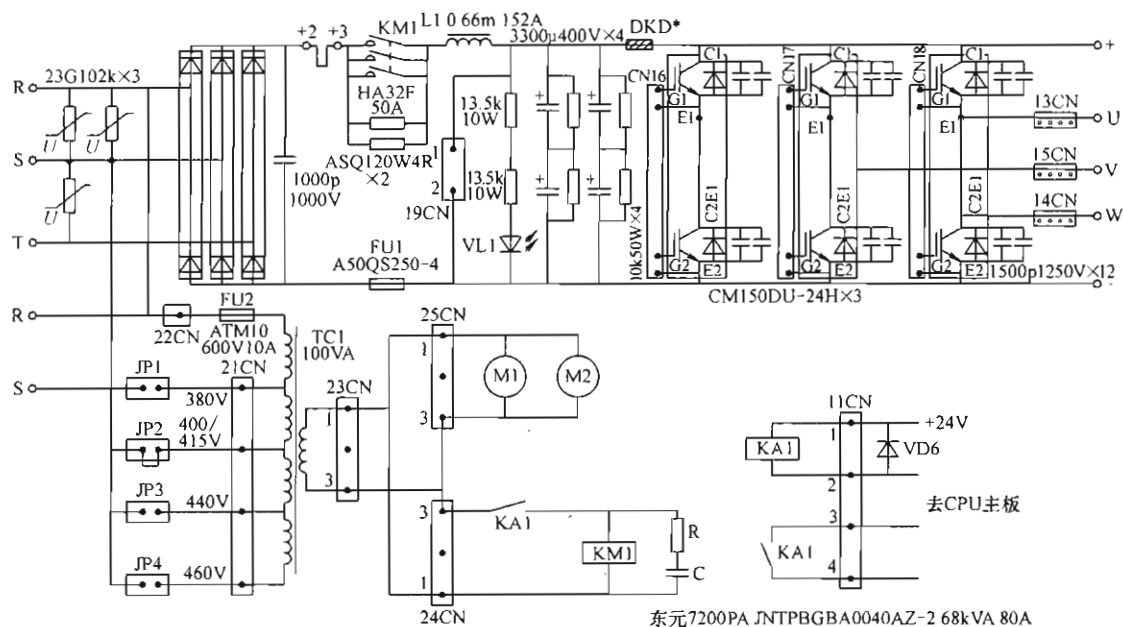


图2-1 东元7200PA 37kW变频器主电路

变频器的主电路，也有多种电路形式。7.5kW以下小功率机型，如台安N2-405-1013 3.7kW变频器主电路，三相整流和三相逆变电路都集成于一个模块内，曾称为“一体化或集成式主电路”；功率稍大一点，主电路即由三相整流模块和三相逆变模块两个模块构成；中功率机型，则由3只或6只单管或双管式（又称半桥）整流模块组成，逆变输出电路也是如此；大功率变频器，则数只功率模块并联构成以提高电流输出（扩流）能力。

主电路的形式随功率大小而表现在配置上有所不同。

### 2.1 对IGBT模块的检测

对用户送修的变频器，一定要先与用户交流，掌握使用和损坏的大致情况，这对故障部位的判断和对用户的答复都大有好处。变频器接手后，不要忙于上电检查，可先万用表的电

阻档（数字式万用表的二极管档、指针式万用表  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  档），分别测量 R、S、T 3 个电源端子对 +、- 端子之间的电阻值，其他变频器直流回路正、负端标注为 P、N，打开机器外壳后在主电路或电路板上可找到测量点。另外，直流回路的储能电容是个比较显眼的元件，由 R、S、T 端子直接搭接储能电容的正、负极进行电阻测量，也比较方便。

R、S、T 3 个电源端子对 +、- 端子之间的电阻值，反映了三相整流电路的好坏，而 U、V、W 3 个输出端子对 +、- 端子之间的电阻值，则能基本上反映 IGBT 模块的好坏。将图 2-1 整流和逆变输出电路简化一下，输入、输入端子与直流回路之间的测量结果便会一目了然。如图 2-2 所示。

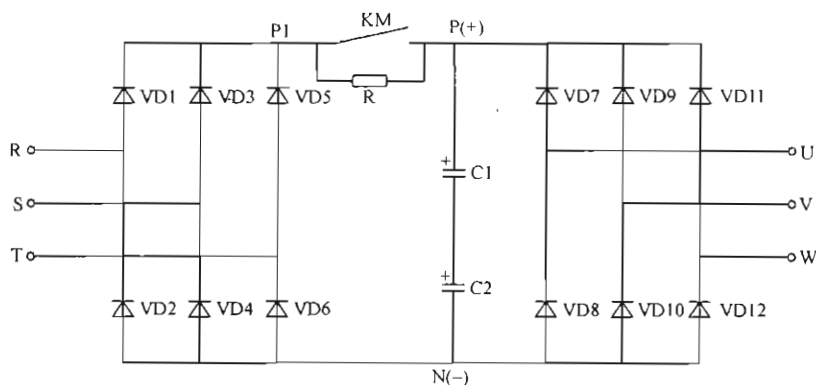


图 2-2 变频器主电路端子正反向电阻等效图

VD1 ~ VD6 为输入三相整流电路，R 为充电电阻，KM 为充电接触器。C1、C2 为串联储能电容。VD7 ~ VD12 为三相逆变电路中 6 只 IGBT 两端反向并联的 6 只二极管。IGBT 除非在漏电和短路状态能测出电阻的变化，对逆变输出电路我们能实际测出的只是 6 只二极管的正、反向电阻值。这样一来，整个变频器主电路的输入整流和输出逆变电路，相当于两个三相桥式整流电路。

用数字式万用表测量二极管，将 R、S、T 搭接红表笔，P (+) 端搭接黑表笔，测得的是整流二极管 VD1、VD3、VD5 的正向压降，为 0.5V 左右，数值显示为 540；如将表笔反接，则所测压降为无穷大。如用指针式万用表，黑表笔搭接 R、S、T 端，红表笔搭接 P (+) 端，则显示 7k $\Omega$  正向电阻；表笔反接，则显示数百 k $\Omega$ 。因充电电阻的阻值一般很小，如图 2-1 所示电路，仅为几欧，小功率机型为几十欧，测量中可将其忽略不计。但测其 R、P1 正向电阻正常，而 R、P (+) 之间正向电阻无穷大（或直接测量 KM 常开触头之间电阻为无穷大），则为充电电阻已经开路了。

整流电路中 VD2、VD4、VD6 及 U、V、W 端子对 P (+)、N (-) 端子之间的测量，也只能通过测量内部二极管的正反向电阻的情况来大致判定 IGBT 的好坏。

需说明的是，桥式整流电路用的是低频整流二极管模块，正向压降和正向电阻较大，同于一般硅整流二极管。而 IGBT 上反向并联的 6 只二极管是高速二极管，正向压降和正向电阻较小，正向压降为 0.35V 左右，指针式万用表测量正向电阻为 4k $\Omega$  左右。

以上说到对端子电阻的测量只是大致判定 IGBT 的好坏，尚不能最后认定 IGBT 就是好的，简易测量后，就对用户说，输出模块是好的，会给自己带来极大的被动，IGBT 的好坏还需进一步测量验证。如何检测 IGBT 的好坏，得首先从 IGBT 的结构原理入手，找到相应

有效的测量方法，图 2-3 所示为 IGBT 等效电路和单/双管模块引脚图。

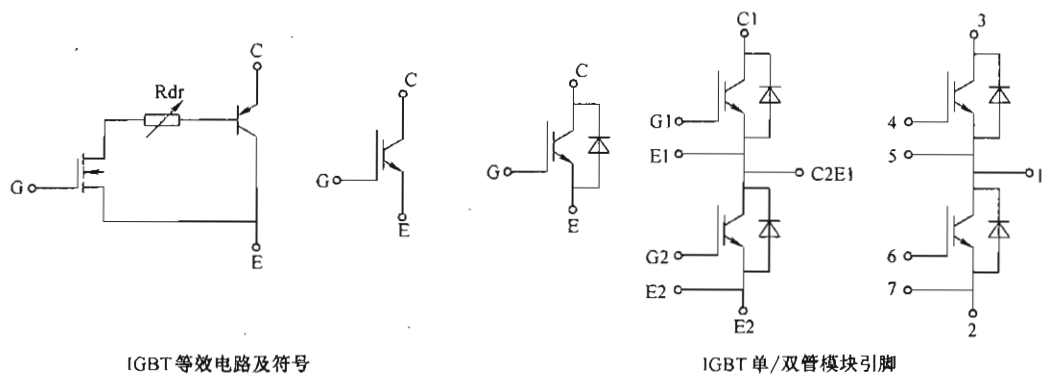


图 2-3 IGBT 等效电路和单/双管模块引脚

场效应晶体管有开关速度快、电压控制容易的优点，但也有导通压降大以及电压与电流容量小的缺点。而双极型器件恰恰有与其相反的特点，如电流控制容易、导通压降小，功率容量大等，两者复合，正所谓优势互补。IGBT 或者 IGBT 模块的由来，即基于此。从结构上看，类似于我们都早已熟悉的复合放大管，输出管为一只 PNP 型晶体管，而激励管是一只场效应晶体管，后者的漏极电流形成了前者的基极电流，放大能力是两管之积。

单/双管模块常在中功率机型中得到应用。大功率机型将其并联作用，以达到扩流的目的。图 2-4 为单机模块，将整流与逆变电路集成于一体。另外，有的一体化（集成式）模块，将制动单元和温度检测电路也集成在内。

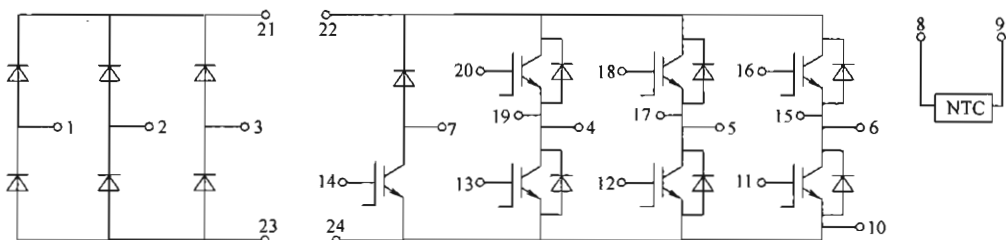


图 2-4 FP25R12KE3 单机模块原理图

对主电路测量方法有两种，即在线测量和脱机测量。

### 1. 在线测量

1) 上述测量方式是仅从输入、输出端子对直流回路之间来进行的，是在线测量方法的一种，对整流电路的开路与短路故障则较明显，但对逆变电路还需进一步在线测量以判断好坏。

2) 打开机器外壳，将 CPU 主板和电源/驱动板两块电路板取出，记住排线、插座的位置，插头上无标记的，应用油性记号笔等打上标记。取下两块电路板后，剩下的就是如图 2-1 所示的主电路了。直接测量逆变模块的 G1、E1 和 G2、E2 之间的触发端子电阻，都应为无穷大。如果驱动板未取下，模块是与驱动电路相连接的，则 G1、E1 触发端子之间往往并接有  $10\text{k}\Omega$  电阻（大功率机型  $3\text{k}\Omega$  左右），则正反电阻值均应为  $10\text{k}\Omega$ 。有了正反电阻值的偏差，在排除掉驱动电路的原因后，则证明逆变模块已经损坏。

3) 触发端子的电阻测量也正常, 一般情况下认为逆变模块基本上是好的。但此时宣布该模块绝无问题, 仍为时过早。

## 2. 脱机测量

1) 此法常用于大功率单/双管模块和新购进一体化模块的测量。

将单/双管模块脱开电路后(或为新购进的模块), 可采用测量场效应晶体管(MOSFET)的方法来测试该模块。MOSFET的栅-阴极间有一个结电容存在, 故由此决定了极高的输入阻抗和电荷保持功能。对于IGBT, 存在一个G、E极间的结电容和C、E极之间的结电容, 利用其G、E极之间的结电容的充电、电荷保持、放电特性, 可有效检测IGBT的好坏。

方法是将指针式万用表拨到 $R \times 10k$ 档, 黑表笔接C极, 红表笔接E极, 此时所测量电阻值近乎无穷大; 搭好表笔不动, 用手指将C极与G极碰一下并拿开, 指示由无穷大阻值降为 $200k\Omega$ 左右; 过一、二十秒钟后, 再测一下C、E极间电阻(仍是黑表笔接C极, 红表笔接E极), 仍能维持 $200k\Omega$ 左右的电阻不变; 搭好表笔不动, 用手指短接一下G、E极, C、E极之间的电阻又重新变为接近无穷大。

实际上, 用手指碰一下C、G极, 是经人体电阻给栅、阴结电容充电, 拿开手指后, 因此电容无放电回路, 故电容上的电荷能保持一段时间。此电容上的充电电压, 为正向激励电压, 使IGBT出现微导通, C、E极之间的电阻减小; 第二次用手指短接G、E极时, 提供了电容的放电通路, 随着电荷的泄放, IGBT的激励电压消失, 管子变为截止, C、E极之间的电阻又趋于无穷大。

手指相当于一只阻值为数 $k\Omega$ 级的电阻, 提供栅阴极结电容充、放电的通路; 因IGBT的导通需较高的正向激励电压(10V以上), 所以使用指针式万用表的 $R \times 10k$ 档(此档位内部电池供电为9V或12V), 以满足IGBT激励电压的幅度。指针式万用表的电阻档, 黑表笔接内部电池的正极, 红表笔接内部电池的负极, 因而黑表笔为正, 红表笔为负。这种测量方法只能采用指针式万用表。

对触发端子的测量, 还可以配合电容表测其容量, 以增加判断的准确度。往往功率容量大的模块, 两端子间的电容值也稍大。

2) 下面为双管模块CM100DU-24H和SKM75GB128DE及集成式模块FP25R12KE3, 用MF47C指针式万用表的 $R \times 10k$ 档测量出的数据。

CM200Y-24H模块: 主端子C1、C2、E1、E2; 触发端子G1、E1、G2、E2; 触发后C、E极间电阻为 $250k\Omega$ ;

用电容表200nF档测量触发端子电容为36.7nF, 反测(黑表笔搭G极, 红表笔搭E极)为50nF。

SKM75GB128DE模块: 主端子同上, 触发后C、E极间电阻为 $250k\Omega$ ;

触发端子电容: 正测为4.1nF, 反测为12.3nF。

FP25R12KE3集成模块: 也可采用上述方法, 触发后为C、E极间电阻为 $200k\Omega$ 左右; 触发端子电容正测为6.9nF, 反测为10.1nF。

脱机测量得出的结果, 基本上可判定IGBT的好坏, 但仍不是绝对的。

在线测量或脱机测量之后的上电测量, 才能最后确定模块的好坏。上电后先空载测量三相输出电压, 其中不含直流成分, 三相电压平衡后, 再带上一定负载, 一般达到5A以上负



载电路，逆变模块导通、内阻变大的故障便能暴露出来，详见后面章节。

## 2.2 主电路上电检修

变频器维修者必须牢记：逆变模块与驱动电路在故障上有极强的关联性。当逆变模块炸裂损坏后，驱动电路势必受到冲击而损坏；逆变模块的损坏也可能正是因驱动电路的故障而造成。因而无论表现为驱动电路或是逆变输出电路的故障，必须将逆变输出电路与驱动电路一同彻底检查。对主电路上电试机，必须在确定驱动电路正常——能正常输出 6 路激励脉冲的前提下进行。对驱动电路的检修见本书第 4 章。

检查驱动电路正常后，将损坏逆变模块换新，才可以上电试机。

整机装配后的上电试机，是一个必须慎重的事情。必须采取相应的措施，以保证在异常情况出现时新换的 IGBT 模块不至于损坏。试机时，变频器起动瞬间是最“要命的一个时刻”，无任何防护措施下的匆忙上电，会使新换的价值昂贵的模块损坏于刹那间。以前所付出的检修的努力不仅白废了，而且造成了更大的损失，有可能使故障范围扩大了。有的维修人员炸过几次模块，便对变频器维修望而却步了。采取相应的上电试机措施，能基本上杜绝上电试机逆变模块损坏的发生，只要细心一点的话基本没有问题。

### 1. 方法一

将图 2-1 中标注 DKD\*（笔者自行标注的，意为断开点）处断开，其实电路中为连接铜排，拆去一段连接铜排，即将三相逆变电路的正供电端断开。注意，断开点必须在储能电容之后。假定在 KM1 或 L1 之处断开，储能电容上存储的电量，会在逆变电路故障发生时，释放足够的能量将逆变模块炸毁。连接简图如图 2-5 所示。

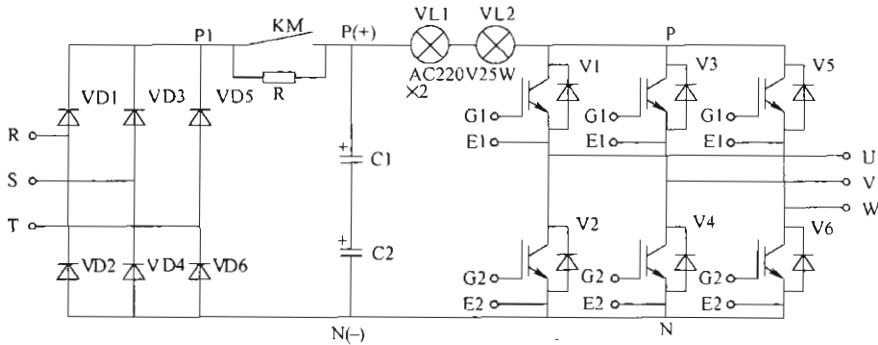


图 2-5 变频器逆变电路的上电检修电路接线图一

在断开处串入两只 25W 交流 220V 灯泡，因变频器直流电压约为 530V，一只灯泡的耐压不足（故障情况下），需两只串联以满足耐压要求。即使逆变电路有短路故障存在，因灯泡的降压限流作用，将逆变电路的供给电流限于 100mA 以内，逆变模块将不会再有损坏的危险。

变频器空载，U、V、W 端子不接任何负载。先切断驱动电路的模块 OC 信号输出回路，避免 CPU 作出停机保护动作，中断试机过程（具体操作方法见第 4 章）。上电后可能出现如下几种情况：

1) 变频器在停机状态，灯泡亮。3 只模块有一只上、下臂 IGBT 漏电，如 V1 和 V2。此

种漏电在低电压情况下不易暴露，如万用表不能测出，但引入直流高压后，出现了较大的漏电，说明模块内部有严重的绝缘缺陷。购买的拆机品中的模块有时候出现这种情况，可用排除法检修，如拆除U相模块（V1、V2）后灯泡不亮了，说明该模块已损坏。

2) 上电后，灯泡不亮，但接收运行信号后，灯光随频率的上升同步闪烁发亮。说明三相逆变模块中，出现一相上臂或下臂 IGBT 损坏故障。如当 V1 受激励信号而导通时，已损坏的 V2 与导通的 V1 一起，形成了对供电电源的短路。两只串联灯泡承受 530V 直流电压而发出亮光。

3) 上电后，灯泡不亮，接收运行信号后，灯泡仍不亮。用指针式万用表的交流 500V 档，测量 U、V、W 端子输出电压，随频率上升而均匀上升，三相输出电压平衡。说明逆变输出模块基本上是好的，可以带些负载试验了。

4) 上电后，灯泡不亮，起动变频器后，灯泡仍不亮。但测量三相输出电压，不平衡，严重偏相。故障原因：某一臂 IGBT 内部已呈开路性损坏；某一臂 IGBT 导通内阻变大，接近开路状态。对此故障的检测方法如下：

① 用直流电压档测量变频器 U、V、W 端子的方法。当变频器输出端子输出三相平衡的交流电压时，说明输出电压中不含有直流成分。换句话说，此时指针式万用表的直流 500V 档所测得的直流电压值为零。当输出偏相时，实质是逆变输出电路的某一臂 IGBT 导通不良或呈开路状态，致使该相输出为正或负的半波输出，或者该相输出的正、负半波不对称，输出电压中出现了直流分量。一臂 IGBT 为开路（断路）状态时，则为纯直流分量了。此时用万用表直流 500V 档测量，可得出如下结果：假定测量 U、V 之间无直流电压，但测量 W、V 和 W、U 之间有直流电压值出现，说明 W 相模块不良。若为红表笔搭接 W 相，指针正偏转，测说明 W 相下臂 IGBT（V6）导通不良或没有导通；若黑表笔搭接 W 相指针为正偏转，则说明 W 相上臂 IGBT（Q5）导通不良或没有导通。

也可以换一种测量方法，直接测量 U、V、W 3 个输出端子对 P、N 之间的电压值。仍用直流 500V 档。由分析可以得出结论：当 U 相的上、下臂 IGBT（V1、V2）完全正常地对称导通时，在 U 端子形成了“等效的”对直流供电 530V 的分压，U 端子对 P、N 两点都能测出 1/2 的 530V 直流电压，即 260V 左右的直流电压。而异常状态下，可得出这样的测量结果，如 P、U 之间所测电压远远高于 260V 甚至等于 530V，说明 V1 内部断路或导通不良；若在 U、N 之间所测电压远远高于 260V 甚至等于 530V，则说明 V2 内部 C、E 之间断路或导通不良，不能形成对 530V 的“正常分压”而使 U 相直流电压升高。

② 下述的测量方法，也为一有效方法。修复一台 37kW 东元变频器，检查发现为逆变模块损坏，型号为 CM100DU-24H。购得一块相同型号的模块，进行一遍脱机测量的所有“程序”，确认模块无问题后，装机上电试验。三相输出电压很不平衡，彻底检查驱动电路确认无故障后，按图 2-6（简化图）接线方式测量出新换模块导通内阻变大，换新模块后故障排除。

我国的动力和居民供电，一般采用三相四线制。N 为中性线，也称为零线。注意，变频器直流回路负端常常标注为 N，与三相供电的中性线不是一码事，在图中以 N\*（中性线）相区分。有的维修人员弄混了，以为变频器中的 N 点是与三相供电的 N 线相连的，连接后，一上电，整流模块就炸了。

将三相 U、V、W 输出端对三相供电的零线（N\*）测量（用指针式万用表直流 500V

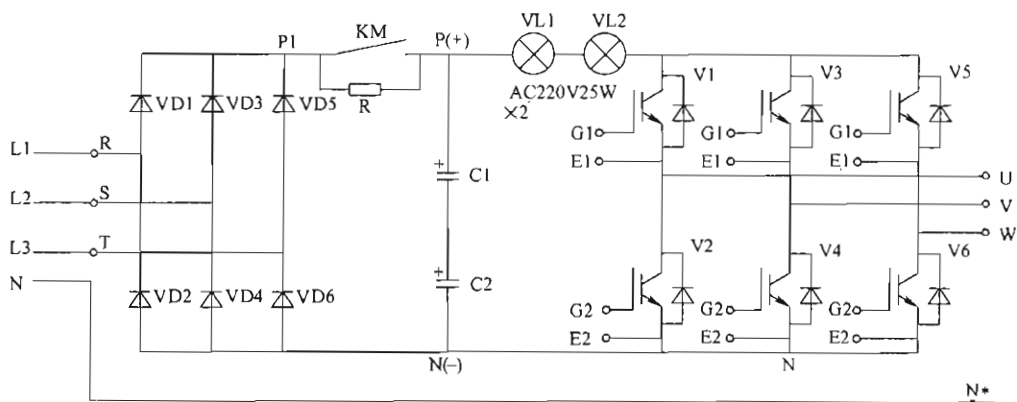


图 2-6 变频器逆变电路的上电检修电路接线图二

档), U相、W相直流成分为零,而V相约有 $-300\text{V}$ 的直流负压。由此判断:V相下臂导通良好,而上臂导通不良,两臂输出的正、负半波不对称,致使V相对零线有负电压输出。而V相上臂,恰巧就是新换上的模块。另购一只CM100DU-24H更换后,三相输出正常。模块的故障,为内部输出管C、E极间导通内阻变大。说明了一件事,即使是细致测量后,认为是好的逆变模块,也不能百分之百断定就是没有问题的。万用表的测量判断能力毕竟是有限的。对接入电路上电后反映出的问题,不要存有先入之见,认为模块不可能是坏的,从而造成对故障的误判,使检修走入弯路。

串接灯泡上电检查逆变电路,对绝大部分变频器是适用的,因为灯泡的限流和指示作用带来了检修上的很大方便。但也有例外,在检修一例安川 $55\text{kW}$ 变频器时,上电试机时出现意外,见故障实例。安川616G3型 $55\text{kW}$ 变频器的主电路如图2-7所示。

#### 故障实例1

在图2-7中DKD\*点串入两只灯泡,上电,灯泡不亮,这是对的,按操作面板起动车变频器,灯泡变亮。这说明输出模块有短路现象,这是笔者的第一判断。停电检查模块和驱动电路,均无异常。回头查看电路结构,在拆除掉MS1250D225P和MS1250D225N后,起动车变频器后灯泡不亮了。测空载输出三相电压正常。这两只元件与外接 $10\Omega 80\text{W}$ 电阻提供了约一百毫安的电流通路,使 $25\text{W}$ 灯泡变亮。安川与东元大功率变频器的IGBT上往往并联有MS1250D225P和MS1250D225N,内含电容、二极管等,与外接电阻元件一件构成了IGBT的保护电路,是为了抑制尖峰电压,提供IGBT的反向电流通路来保护IGBT安全的,以牺牲几十瓦功耗换来IGBT更高的安全性,这是安川变频器模块保护电路的特色。

变频器空载起动后,由于MS1250D225P和MS1250D225N等元件的关系,逆变电路自身形成了一定的电流通路,并非为逆变模块不良造成。该机是一个特例。有了电流通路,也并不一定是模块已经损坏了,观察一下,是不是有哪些元件提供了此电流通路?当新鲜的经验固化成思维定式,对故障的误判就在所难免了。

#### 2. 方法二

因灯泡的降压作用,虽有一定的输出电压,但幅值较低(模块相关电路取用了一部分电流),不能满足对三相输出电压的检测和判断要求,变频器有可能报出“输出异常”等故

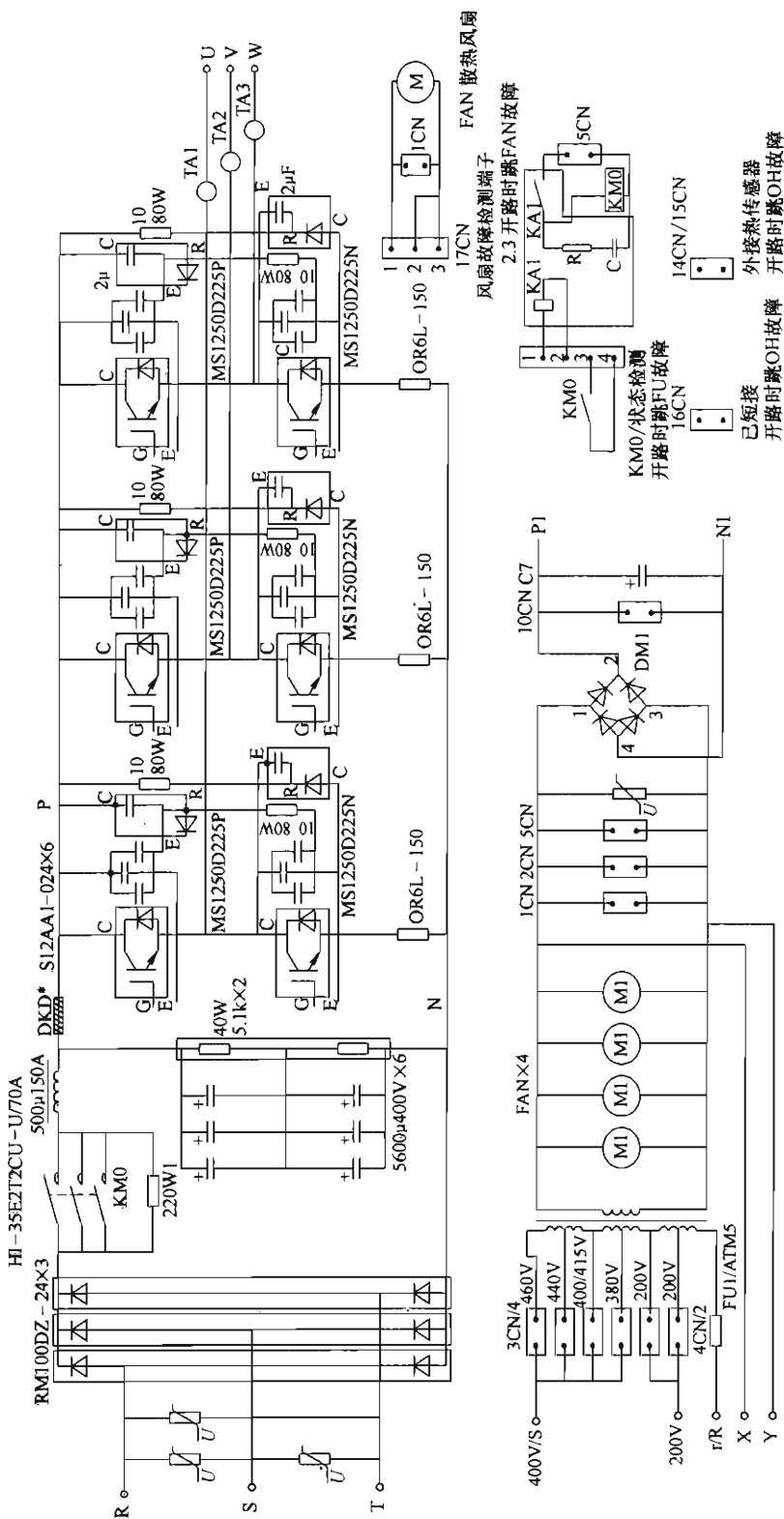


图 2-7 安川 616G3 型 55kW 变频器主电路

障, 采取保护停机措施, 由此引出了上电检修方法二, 如图 2-8 所示。

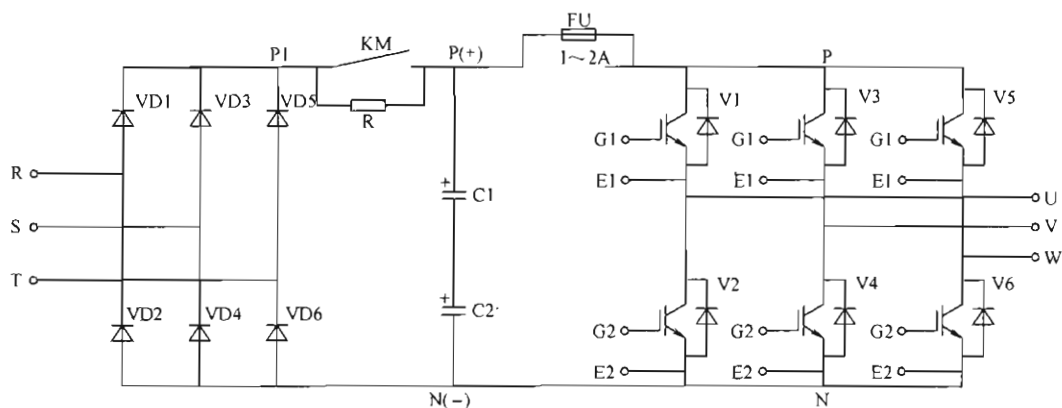


图 2-8 变频器逆变电路的上电检修电路接线图三

将串联灯泡拆除, 串入一只 2A 玻壳熔断器, 上电检测图 2-7 所示安川变频器主电路的 U、V、W 三相输出电路, 无直流成分, 输出三相电压平衡。将切断的 OC 信号回路恢复, 将 U、V、W 输出端接入 2.2kW 三相电动机, 进行频率增减和起、停操作, 表现良好, 机器修复。

### 3. 方法三

逆变输出电路在无防护措施下的高电压供电情况下, 带电状态 (尤其是起动运行状态) 时严禁测量触发端子 (G1、E1) ~ (G6、E6), 否则搭接表笔即由表笔引线引入干扰, 使 IGBT 误触发, 因对电源形成短路而导致炸毁。用示波器的探头检测也不可以。将驱动板脱开逆变电路后, 单独检修驱动板时, 可对 6 路输出脉冲进行检测。一旦连接好主电路, 在无限流降压措施下, 不可贸然搭接表笔测量。

上电检修前, 一定检查逆变模块的触发端子的连线是否牢固, 无保护措施下, 触发引线的连接不良, 将导致模块的炸裂。故障机理见本书第 4 章。

即使串入熔断器, 高电压状态下也不建议进行激励电压 (脉冲) 的测量, 由此引出了上电检修方法三, 低电压供电条件下是可以测量激励脉冲有无的, 如图 2-9 所示。

将逆变输出电路供电正端 P (+) 断开, 另行接入一个低压直流电源, 如常用的 S-100-24 型 24V/100W 的一体化医用开关电源, 或低压线性电源。因为低电压供电, 且电源本身有输出限流保护 (电源本身的电流输出能力也是有限的, 这是一个好处, 有了自限流功

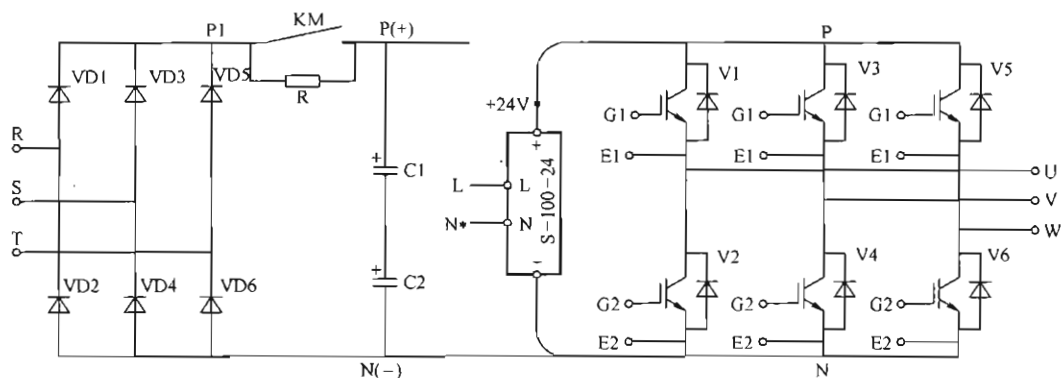


图 2-9 变频器逆变电路的上电检修电路接线图四

能),检测逆变输出电路就变得非常安全了。可配合测量触发端子上的截止负压和正的激励电压,来判断哪一路激励脉冲或哪一臂 IGBT 异常。

### 故障实例 2

接修一台 PI-18 型 11kW 普传变频器,开关电源电路、驱动电路等全部检测并修复后,将新购 SKM75GD124D 逆变输出模块焊接到电路板上。保险起见,先将逆变电路的供电正端断开,串接了两只灯泡上电试机。上电,灯泡不亮,按操作面板的起动按钮,灯泡一闪,接着跳 OC 停机。此前,对驱动电路已做了彻底的检查,对所购模块也做了细致的测量。分析 OC 信号还是因逆变电路故障由驱动电路返回 CPU 的,为检查故障所在,将串联灯泡拆去,为逆变电路接入低压直流 24V 电源,开机检测。

起动变频器,操作显示面板上显示输出频率正常,测 U、V、W 输出交流电压,50Hz 时 U、V、W 输出电压为 13V 左右,且输出幅度有周期性收缩现象。但三相都有输出,也不再跳 OC 故障。曾检测过正常的变频器,当逆变输出电源供电为 24V 时,U、V、W 端子应为稳定的 18V 左右交流电压。测触发端子上的 6 路激励脉冲,电压幅度和电流输出能力都满足要求。说明不是驱动电路的问题。这一来有点意思了,将 24V 电源换为 200V 直流电源后,并串接 2A 熔断器。上电后起动变频器,还是跳 OC,并且串接的熔断器熔断。这一下故障彻底暴露出来了,模块有严重绝缘缺陷!低电压供电时尚不至于击穿短路,能维持一定电压输出,高电压供电时,即形成较大的短路电流,使变频器报出 OC 故障。所购模块可能为拆机品,存在绝缘缺陷,换一块新模块,装机后故障排除。

### 故障实例 3

一台 22kW 泓筌变频器,逆变模块供电串接的熔断器熔断,测量主电路未见其他异常。一般情况下,逆变电路供电电路中串接的速熔熔断器熔断时,逆变电路中必定有一只或两只 IGBT 短路了。或者反过来说,正是由于 IGBT 的短路才造成了熔断器的熔断。但怎么测量该变频器逆变模块都是好的。装机后先将逆变供电送入 24V,跳 EOCn,意为加速中过电流,电动机侧短路。显然逆变模块或驱动电路部分还有故障。看来并非只是换上熔断器那么简单。

拆机,重新检查驱动电路板,结果 6 路驱动电路都工作正常。

装机,还是将逆变供电接入 24V,上电跳 EfbS,意为熔断器熔断。拆除 24V 供电,将原熔断器端子用灯泡串联代之,送电即发强光。但停电拆掉触发端子后,单独测量逆变模块正常。

又将逆变电路接入 24V 供电,起动变频器,当频率上升至 5Hz 左右时,仍跳 ECO<sub>n</sub>。到底是模块还是驱动电路仍有问题还是没弄明白。

重查一遍驱动输出电路的正负电压及电流,均正常。判断还是为逆变模块不良。索性将 3 只模块全数拆下,放到工作台上与驱动板一起上电检测。上电后,检测 V 相上臂 IGBT 触发端子的负压偏低,约为 2V(正常时约为 7.5V)。与驱动电路脱开触发端子后,测驱动板输出负压恢复为正常值,插上模块触发端子,负压又降低。证实该模块确实已经损坏,内部 IGBT 的 G、E 极已经漏电。换新模块后,故障修复。

变频器空载试机正常后,应将所有解除的保护电路恢复,进一步带载试验,限于条件,维修部内如果没有三相动力电源,则只有带轻载试验了。根据经验,一般输出电流达 5A 左右时,模块内部缺陷也是能暴露出来的。将 3 只相同功率的灯泡连接成星形(见图 2-10),

每只灯泡承受最高电压恰为 220V 左右,可直接接于变频器的 U、V、W 三个输出端;也可直接接入小功率三相电动机试机,后者的试验效果要好一些。

变频器装机完毕后,空载和轻载(试机)后,一般问题都能暴露出来,但逆变模块的输出内阻变大,不易检测出来,所以应尽可能地接入电动机试机,才能使返修率最低。

接入电动机,使输出电流达到 5A 左右。三相电压与电流都有较好的平衡度,电动机在整个频率范围内运行平稳,变频器修复。

如果电动机运行时有明显跳动,发出“咯楞咯楞”的声音,测量输出三相电压不平衡,偏相严重。用指针式万用表直流 500V 档,测量出哪一相直流电压最高,则该相模块不良,导通内阻变大,必须予以更换。此试机过程,可检测出逆变模块导通电阻变大的故障。

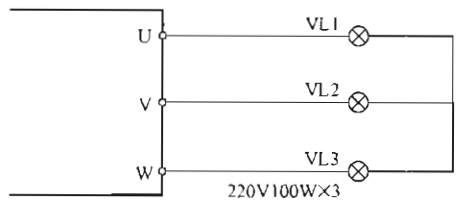


图 2-10 变频器负载灯泡连接电路图

## 2.3 储能电容的问题

直流回路储能电容的“硬”损坏,会出现明显溅液、鼓顶、炸裂等现象,观察即能看出。当出现严重漏电和击穿故障时,则已经炸裂了,是无须测量的。应用一块电容表,对电容容量进行检测,当容量有明显下降时,应予以更换。电容串联于电路中,两只串联电容容量应相等或接近,偏差过大时,容量小的电容会因承受过高电压而损坏。

储能电容有“老化失效现象”,电容表测量不出容量异常,但运行中会造成直流回路电压下降,变频器频报欠电压故障,带载能力变差。

下面结合故障实例来说明对储能电容的检修,电路如图 2-11 所示。

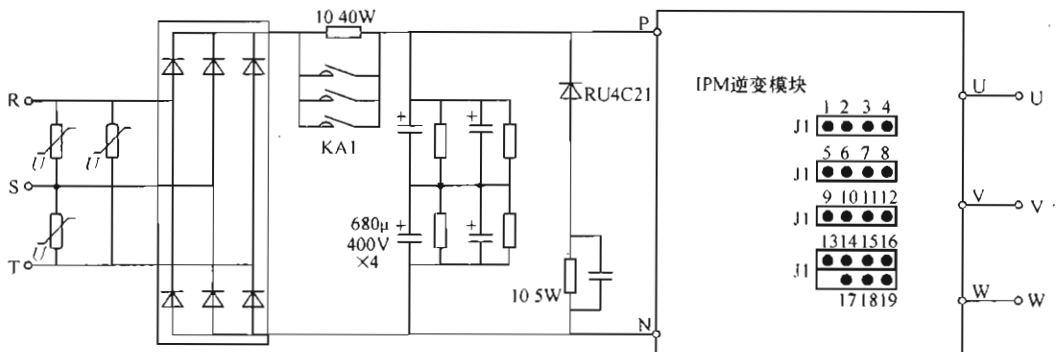


图 2-11 三垦 IPF-11kW (MC) ICO-3LC 变频器主电路 (简化图)

### 故障实例

1) 用户反映:该变频器因生产检修而停机,停机时变频器还是正常的。隔了一天,再起机时,听到变频器内部发出“啪”的一声响,连变频器的面板显示也熄灭了,电动机不能起动。用户应急将电动机改接到工频电源上,以满足生产供水要求。

2) 拆机检查:发现逆变输出模块炸裂,测量输出 U、V、W 端子已短路;发现

10Ω40W 电容充电电阻烧断。原因为逆变模块短路后（后查出充电继电器 KA1 也已损坏），其浪涌冲击电流将其烧断。查出整流回路尖波抑制电路的二极管 RU4C21 和串联电阻同时损坏，10Ω 5W 电阻已开路，二极管短路。

3) 分析原因：限流电阻的损坏是浪涌电流冲击所致；但尖峰电压抑制电路的电阻和二极管同时损坏，则说明直流回路中出现了波动异常剧烈的冲击电压，有可能存在电网电压异常的冲击，使其瞬间损坏，是否由于逆变模块的短路瞬间造成电网电压波动，以至于损坏了尖波抑制网络呢？逆变模块的损坏，可能是由于电动机时有堵转现象或由于元器件老化、电网电压冲击等原因。

4) 修复：将损坏元器件拆除，并换新的，观察 4 只 680μF400V 电容外面上无异常，粗测滤波电容器无短路，也有“容量”——有充、放电现象；将损坏模块拆除，将其他损坏元器件更换新品，送电后有显示，说明电源及控制部分基本正常，测开关电源各路输出都正常。

因为采用了 IPM，新品价格不菲，故购买了一只拆机品，更换后带 3 只 15W 灯泡试机，一切正常。由于手头也没有合适的负载试机，便认为已经修复完毕，可以交付使用了。

5) 几天后到现场安装试机，第一次起动时，频率才上升到 30Hz 左右，便跳“减速过电流”保护停机。将其复位后再起动，起动过程中听得“啪”的一声，前级空气开关跳闸，变频器内冒烟。又应急接成工频运行，将其拆机检查，损坏情况与上次大致相当，逆变模块炸裂，连充电短接继电器的触点都已烧熔，其触点引脚竟被电弧烧断。二极管 RU4C21 已被击穿。这只管子的耐压值相当高，起码应高达 1200V 以上。回忆工频起动过程，时间很短即能顺利起动，起动电流也不大，负载并不重。看来模块的损坏，过电流只不过是一个表面现象，或者不是主要原因。造成功率器件大面积损坏的原因，是直流回路中出现了异乎寻常的高电压，甚至出现了谐振过电压，以致超过了 RU4C21 的耐压值而导致其击穿，逆变模块的损坏原因可能也源于此，先是由过电压造成击穿，电压性击穿使电流剧增（实际上是输出三相短路），而接着又导致了热击穿。这种过电压发生得是如此迅疾，如此猝不及防，连一向自许为灵敏度极高的电压、电流保护电路竟都来不及动作，击穿过程就已经结束。

检测现场电动机的运行电流在额定值以内，电动机状况良好，三相工作电压均在额定值以内，外部的电气和机械环境都看不出什么异常，其异常只能发生在变频器内部。那么症结究竟在哪里呢？

还是从二极管 RU4C21 击穿着手，从直流回路出现异常的过电压状态着手。按说直流回路有大容量的储能电容，对电网侧的瞬时过电压也具有一定的吸收能力，除非雷击造成的过电压，其他情况很难击穿它。另外输入侧并接有 3 只压敏电阻，也具有一定的过电压吸收能力，检查 3 只压敏电阻都无过压击穿痕迹。那么这种过电压只能是变频器内部回路异常造成的。输入侧压敏电阻并未损坏，说明输入侧并未有过电压发生。拆下电容箱，将 4 只 6800μF 电容逐个拆下，拆某一只电容时发现，电容竟被什么东西“粘”在安装架上，细看该电容有喷液痕迹，测量其容量接近为 0！另 3 只并接电容虽无喷液痕迹，但测容量也仅为几十微法左右，至此真相大白了。

电容失效以后（只存在极小容量），带小功率负载（如 15W 灯泡）尚察觉不出什么异常，整个输出频率范围内“极为正常”，但接入较大功率负载后，情形就不同了。此时直流回路已完全丧失储能滤波能力，直流回路是频率为 300Hz 的脉动直流，电动机起动时的电



流吸入，加大了脉动电流的脉动成分。这还不是最主要的，要紧的是电动机绕组的反电动势或变频器的某一输出载波，恰好落在脉动直流的变化范围之内，两者互动，推波助澜。整个系统内脉动电流的急剧变化，恰好落到某一频率点上，电路中的分布电感和分布电容适时加入进来，各方面“生力军”的加入和互为作用，使回路中的动态能量急剧上升，危险的谐振过电压在此时出现。逆变模块中的 IGBT 和上述 RU4C21 尖峰电压吸收二极管，它们的耐压值在正常时有一定甚至是较大的富裕量，但在此时高于耐压值数倍的高电压冲击下，脆弱得简直不堪一击，炸裂和短路也就顺理成章。严重的是无论是电压或电流保护检测电路对此类瞬变根本无法作出适时的反应，电压击穿同时又是电流短路性损坏，发生在一瞬间，各类保护电路也无能为力。

逆变模块的损坏，除了外部负载的长时间过载，散热不良和雷电冲击外，究其内部原因，电容的容量减少、失容和失效，是导致其损坏的致命杀手，其危害性当属第二位（第一位为驱动电路异常）。电容的容量减少，轻者表现为带负载能力差，负载加重时往往跳直流回路欠电压故障，电容的进一步损坏，则形成对逆变模块的致命打击。此类故障往往又较为隐蔽，不像元件短路那样容易引人重视，检查起来有时也颇费周折，有的电容测其容量似乎为好电容，但好坏则不一定。尤其是大功率变频器中的电容，运行多年后，其引出电极常年累月经受数百赫兹的大电流充、放电冲击，出现不同程度的氧化现象，用电容表测量，容量正常，但接在电路中，则因充、放电内阻增大，致使直流回路电压下降，变频器不能正常工作，检修人员往往会作出误判。而失容后则极易出现谐振过电压导致炸裂模块。检修两年以上或运行年限更长的变频器，尤其不能忽略对储能电容的检查；对逆变模块不明原因的损坏，则应首先彻查直流回路中的储能电容。

现在回头来看一下该变频器未损坏前跳“减速过电流”的现象。应该说明的是，减速过电流是发生在加速起动的过程中。在起动过程中，直流母线电压检测将延时动作，以避免起动过程中因电流增大而导致的电压保护误动作。因电容已经失效，电压的跌落以及纹波的扰动使起动电流剧增，变频器在此时所能实施的动作，便是减缓频率上升速率，并进而将起动频率自动下调，以使电动机的转差率维持在一定范围内，抑制起动电流。等到电流回复到允许值以内，再继续升高频率起动。变频器起动过程中的智能化控制大致就是如此。在起动过程中出现了过电流现象，变频器启用的将频率自动下调（减速）这一“杀手锏”，因电容的失效，没有起到作用，出现了减速过程中的过电流。反之，起动过程中的电流（电压）的扰动使逆变模块数次处于过电流和过电压击穿的边缘上，此时过电流是个“显”现象，而危险的过电压则“潜伏”在此过程中，变频器确实检测到了减速过电流，只有停止起动，以求自保。程度不太严重的过电流，只会引起模块的温升，但不会导致瞬间损坏，而危险的过电压则可轻易使逆变模块击穿于瞬间。

将该变频器的失效电容更换后，再换掉损坏的逆变模块，现场试运行，起动过程也不再出现“减速过电流”，短时间内反复起动了几次，起动电流都在额定电流值以内，变频器投入正常运行。至此，该台变频器被有效修复。

## 2.4 充电电阻故障

运行中的变频器，停机后再上电，仿佛接不通电源似的，毫无反应。用户送修，测量图

2-9 中 P1、P (+) 两点间的电阻值变为无穷大, 充电电阻 R 在不知不觉中已经开路了。此种故障并不少见。充电电阻提供变频器上电期间对直流回路储能电容 (缓) 的充电任务, 在储能电容上建立起一定幅值的电压后, 充电接触器或充电继电器闭合, 变频器才能进入待机工作状态。充电电阻“执行任务”的时间虽短, 但要承受一定的电流冲击, 若选用功率余量不足或质量较差的元件, 则充电电阻在上电期间有可能随时“牺牲”掉。从 1.5 ~ 90kW 的变频器, 充电电阻的阻值从几  $\Omega$  到 51 $\Omega$ , 功率从几瓦到几百瓦, 多采用柱体线绕功率电阻和方形水泥电阻, 讲究一点和功率大些的变频器, 则采用铝封装功率电阻。大、中功率变频器的充电电阻损坏不多, 越是小功率的变频器, 充电电阻损坏的故障率越高。直流回路中串有直流电抗器的变频器, 如安川变频器、东元变频器等, 因电抗器对上电充电电流的抵制作用, 充电电阻往往阻值较小, 如东元 7200PA37kW 变频器, 两只充电电阻并联, 每只仅为 2 $\Omega$ /240W。

还有一种情况也易导致充电电阻的损坏。当充电继电器 (小功率变频器) 或充电接触器 (中功率变频器) 触点接触不良或控制电路不良时, 充电电阻可能会承受起动或运行电流, 过热而烧断。因而遇有充电电阻损坏时, 需检查充电继电器或接触器的触头状况及控制情况。除了三相整流电路采用晶闸管而省掉充电接触器这一环节外, 大部分变频器都有充电电阻和充电接触器这一环节。因而在变频器上电时要注意听一种声音: 对大、中功率变频器 (使用充电接触器), 上电期间, 会听到很响的“啞”一声, 是接触器闭合了, 没有动静就不对了; 小功率变频器采用充电继电器, 变频器上电期间, 应能听到“啪哒”一声响; 若没有动静, 就要检查继电器本身和控制电路了。

功率电阻元件假冒伪劣太多, 从拆机品里选用的充电电阻倒能用得住。下面举例解决此充电电阻问题。

#### 故障实例 1

英威腾 INVT-P9 1.5kW 变频器主电路的充电电阻 R44 是由两只 51 $\Omega$ /5W 电阻串联而成。总功率为 10W, 总阻值约为 100 $\Omega$ 。手头有每盒千只的 1.2k $\Omega$ /0.25W 的电阻, 不到一分钱一只。用 20 只并联为 60 $\Omega$ /5W 电阻, 再串联成 120 $\Omega$ /10W 电阻。装机反复上电试验, 电阻仅有轻微的温升, 完全没有问题。装机运行已有数年了, 未因充电电阻问题返修过。

#### 故障实例 2

阿尔法 ALPHA2000-318R5P 18.5kW 变频器, 充电电阻烧掉。原电阻为一只 20 $\Omega$ /80W 电阻。用 40 只 180 $\Omega$ /0.25W 的电阻并联为 4.5 $\Omega$ /10W 的电阻, 用 6 组串联组成 27 $\Omega$ 60W 充电电阻。共耗用了 240 只小电阻, 制作和焊接 1.5h。用热缩管缩成糖葫芦状的一个“整电阻”, 绝缘和加固两个问题一同解决, 未出现返修情况。

#### 故障实例 3

伟创 AC60 7.5kW 变频器, 现场起动运行中, 频率上升到 7Hz 左右, 跳欠电压故障代码而停机。故障复位后再行起动, 电动机才动一下, 面板就不显示了, 机器像没通电一样, 变频器外壳感觉很热。

拆机检查, 充电电阻已烧掉。单独给充电继电器上电, 检测触点闭合状态, 有接触不良现象, 拆开继电器检查, 触点因跳火有烧灼现象, 换新继电器和充电电阻后, 故障排除。

#### 故障实例 4

一台送修的 5.5kW 康沃变频器, 问题是: 有输出, 但是不能带负载运行, 电动机转不

动，运行频率上不去。

检测主电路、整流与逆变电路，都正常。

上电，空载测三相输出电压正常。接上一台 1.1kW 的空载电动机，起动变频器运行，频率在一二赫兹附近却升不上去，电动机有停顿现象，并发出“咯楞”声。也不报出过载或 OC 故障。停机，再起动，还是如此。

将逆变模块的 550V 直流供电断开，另送入直流 24V 低压电源，检查驱动电路。查驱动电路和驱动供电电路的电容等元件，都正常。测逆变输出上三臂驱动电路输出的正、负脉冲电流，均达到一定的幅值，驱动 IGBT 模块应该没什么问题；又检查电流互感器信号输出回路，也正常。在运行中，并无故障信号报出。

感觉无处下手了，找不到故障的原因。问题出在驱动、模块、电流检测还是其他电路？低频运行下，试短接 U、V、W 输出回路的分流电阻，以使 CPU 退出降速限流动作，无效；将参数恢复出厂值（怀疑此运行方式可能是人为设置），无效。

起动变频器，细致观察：转速上升到 3Hz 后，下降为 0，又重复此过程。电动机停顿，运行。

将加速时间大大加长后，平稳上升为 5Hz 后，又下降为 0，可看出驱动电路等皆无异常。此运转现象应是根据 CPU 发出的信号来形成的，好像是 CPU 根据电流信号，作出的限流动作。

在起动过程中自行降速一般源于以下两方面的原因：

1) 在起动过程中，CPU 检测到急剧上升的异常电流值，进行即时降速处理，当电流恢复到正常值以内时，再升速运行。

2) 在起动过程中，CPU 检测到主电路直流电压异常的跌落，进行即时降速处理，当主电路电压恢复到正常值以内时，再升速运行。

驱动与电流检测电路无问题后，应从电压方面着手检修了。

由电压导致的异常也分为两个方面：

1) 由直流回路电压检测电路异常造成（比较基准电压产生漂移、采样电阻变值等）。此信号使 CPU 误以为电压过低，从而采取降低输出频率来保持电压平稳的措施。

2) 主直流回路的异常造成电压过低（储能电容失容、充电短接接触器未吸合等），为检测电路所侦测，使 CPU 在变频器起动过程中采取降速动作。

重新装机上电，带电动机试验。上电时，未听到充电接触器的吸合声（即便是能听到充电接触器的吸合声，也不能忽略对其触头闭合状态的检查。如触头因烧灼、氧化或油污造成接触不良，同样导致此故障的出现）。检查接触器线圈为交流 380V，取自 R、S 电源进线端子。线圈引线端子松动造成接触不良，接触器未能吸合。起动时的较大电流在充电电阻上形成较大的压降。主电路直流电压的急剧跌落为电压检测电路所侦测，促使 CPU 发出了降频指令。

检修走了很多弯路的原因，一是未注意倾听上电时有没有接触器的吸合声；二是该台机器在电压跌落时，只是进行了降频处理，并未报出欠电压故障。而其他机型在此种情况下，往往已报出欠电压故障了。也是因为空载的原因，在降频处理时，电压很快回升，频率又继续上升。然后电压又再度回落，变频器降频处理，电压又能再度回升，如此反复，造成变频器升速，降为零速，停顿后又升速，再降为零速。但是不停机，也不报出故障信号。

想来如此简单的一个故障，竟在其正常电路上大查故障所在。又因其不报故障代码，致使检查步骤有些茫然无措。

变频器是软、硬件电路的有机结合，上述故障现象即是软件程序的自动控制下形成的。如果只根据表面现象和以往经验形成的思维定势，不作深入分析和细致的观察，真会把此简单故障当作疑难故障来修了。

上述几例充电电阻烧坏的故障维修，变频器已正常运行多年了，未因充电电阻故障返修过。用多只小电阻代用原充电电阻，实际应用效果还是不错的。代用原则如下：

1) 总阻值要等于或稍大于原电阻值，实际应用中，等于或大于原阻值两倍以内都没有问题，不过上电充电时间稍长一些，但充电电阻相对功耗小一些，安全一些。但电阻值过大就有坏处了。根据充电继电器、充电接触器控制方式的不同，充电电阻阻值过大，有以下3种弊端：会使充电继电器、充电接触器的触头闭合电流加大，缩短其使用寿命；会使充电时间过长，反而加大了充电电阻的功耗，易使充电电阻因过热而烧坏；充电过程中变频器可能会跳欠电压故障而实施保护停机动作。

2) 功率值应等于原电阻功率值，如前述的故障实例2，组装的充电电阻的功率值虽然稍小于原电阻，但长期应用都没有问题。实际上组装电阻的功率富裕量毕竟要大于原单只电阻。

对充电电阻的处理，有时因买不到质量较好的原配件，在维修上采用了一些变通方法。

变频器充电电阻的损坏，除自身质量欠佳和功率选配不当外，与充电继电器（接触器）的状态好坏更有直接关系。充电继电器（接触器）的控制方式如下：

1) 充电继电器（接触器）的电源取得方式：充电继电器的电源一般是取自开关电源电路二次绕组输出的直流24V电源；充电接触器的线圈电压一般为AC220V，通常由一只380V/220V的隔离变压器取得供电。如图2-1所示的东元7200PA 37kW变频器主电路中的电源变压器TC1既提供了充电接触器线圈的220V供电，也同时提供散热轴流风机的供电电源，但接触器线圈的得电是由中间继电器KA1来控制的；少数机型接触器线圈的供电是直接取自R、S、T三相电源进线端子的380V交流电压。

2) 充电继电器（接触器）的控制方式：

① 变频器上电后，随着直流回路储能电容上充电电压的建立，开关电源开始起振工作，二次绕组整流滤波后，输出直流24V控制供电，充电继电器直接由24V电压驱动而闭合。或由该继电器直接驱动充电接触器。这种控制方式最为直接，没有中间控制环节，控制动作最快，开关电源起振后，充电继电器（接触器）也相应完成闭合动作。

② 变频器上电，开关电源起振工作后，CPU得电工作，开始工作自检完成后，侦测直流回路的电压值，达一定幅度后，输出充电继电器（接触器）的闭合指令，经控制电路控制充电继电器（接触器）得电闭合。

③ 多数中功率变频器还有对充电接触器触头状态的检测电路，如图2-1东元7200PA 37kW变频器主电路中，由11CN接线端子的3、4将充电控制继电器的触头信号返回CPU，供CPU判断充电接触器的触头闭合状态。若CPU发送充电接触器闭合信号后，检测其触头并未闭合，便判断为充电接触器的控制电路故障，报出直流回路欠电压、输入电源断相等故障，拒绝运行操作。一般变频器是由充电接触器的常开辅助触头，来返回闭合信号的。对上电即报欠电压等故障的机器，要检查充电接触器辅助触头有无接触不良。

由充电继电器（接触器）故障检测电路引起的故障保护实例分析，见后面与故障检测电路相关的章节。

## 2.5 晶闸管故障

图 2-12 中主电路结构与其他变频器有所不同。三相整流桥的 3 个上桥臂是由 3 只单向晶闸管组成的,省去了充电电阻和充电接触器,增加了 R1、VD1 变频器上电时的预充电电路。在对直流回路储能电容器的充电控制上,也有其新的特点。控制机理如下:变频器上电瞬间,三相整流桥的上三桥臂晶闸管,因无触发电流而关断;R1、FU1、VD1 将 R 相输入交流电整流成正半波电压,经 P0、P1 端子给直流回路的储能电容器充电。在电容器建立起充电电压后,变频器的开关电源电路起振,由开关变压器 DT1 的二次绕组感应电压,经 VD7、DC31 整流滤波后,作为晶闸管触发电路的隔离直流电源。多谐振荡器 DU2 开始工作。此时 CPU 检测由直流回路来的电压检测信号,判断储能电容上电压达到一定幅值时,输出一个晶闸管控制信号,控制光耦合器 DPH2 导通,将振荡信号由 DU2 的 3 脚引入到晶体管 VT22 的基极,进而驱动功率管 VT3 导通,将触发信号同时加到 3 只晶闸管的栅极和阴极,3 只晶闸管全部导通,输入电路由半波整流电路转化为三相桥式整流电路,预充电过程结束,变频器进入待机状态。

触发电路相对简单,既非移相电路也非过零触发电路,振荡电路输出占空比达 90% 以上的矩形脉冲,几乎在任意时间内都将触发信号送到 3 只晶闸管的触发极。可以说,变频器在上电后,一旦 DPH2 受 CPU 控制而导通,3 只晶闸管也即随时处于导通状态下,同 3 只普通整流二极管相差不大。

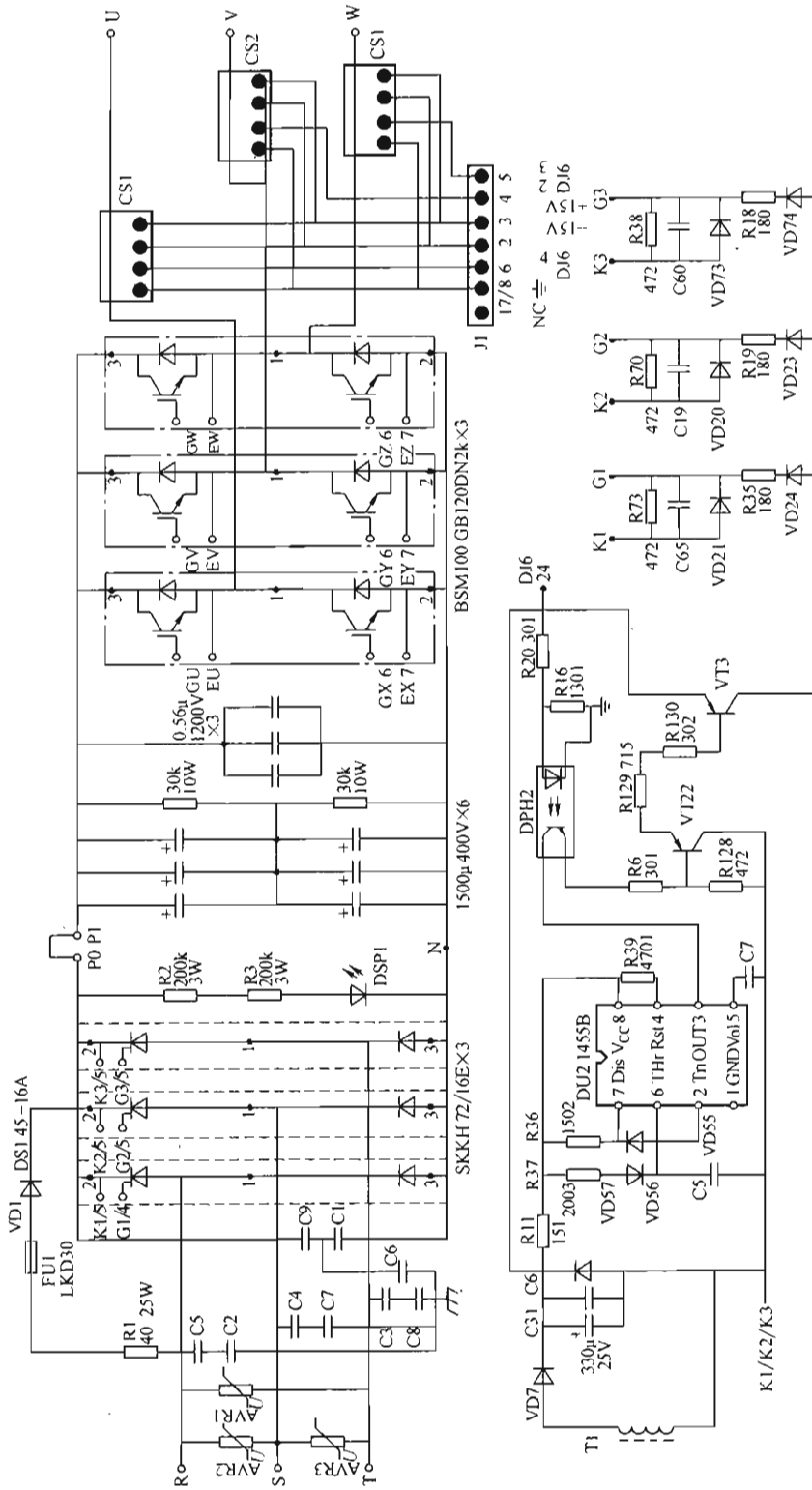
晶闸管的意思:可控的硅整流器,其整流输出电压是受控的,常与移相或过零触发电路配合,应用于交、直流调压电路。晶闸管是在晶体管基础上发展起来的一种集成式半导体器件。单向晶闸管的等效原理及测量电路如图 2-13 所示。

晶闸管为具有 3 个 PN 结的 4 层结构,由最外层的 P 层、N 层引出两个电极——阳极 A 和阴极 K,由中间的 P 层引出门极 G。电路符号好像为一只二极管,但多一个引出电极——门极或触发极 G。SCR 或 MCR 为晶闸管英文缩写名称。

从控制原理上晶闸管可等效为一只 PNP 晶体管与一只 NPN 晶体管的连接电路,两管的基极电流和集电极电流互为通路,具有强烈的正反馈作用。一旦从 G、K 回路输入 NPN 管的基极电流,由于正反馈作用,两管将迅速进入饱和导通状态。晶闸管导通之后,它的导通状态完全依靠管子本身的正反馈作用来维持,即使控制电流(电压)消失,晶闸管仍处于导通状态。控制信号  $U_{CK}$  的作用仅仅是触发晶闸管使其导通,导通之后,控制信号便失去控制作用。

单向晶闸管的导通需要两个条件:A、K 之间加正向电压;G、K 之间输入一个正向触发电流信号,无论是直流或脉冲信号。欲使晶闸管关断,也有两个关断条件:使正向导通电流值小于其工作维持电流值;使 A、K 之间电压反向。

可见,晶闸管若用于直流电路,一旦为触发信号导通,并保持一定幅度的流通电流的话,则晶闸管会一直保持导通状态。除非将电源开断一次,才能使其关断。若用于交流电路,则在其承受正向电压期间,若接收一个触发信号,则一直保持导通,直到电压过零点到来,因无流通电流而自行关断。在承受反向电压期间,即使送入触发信号,晶闸管也因 A、K 间的电压反向,而保持于关断状态。



ECT1, 94V-0, 0205, APK-SB00079

图 2-12 台达 DVP-1 22kW 变频器主电路/晶闸管触发电路

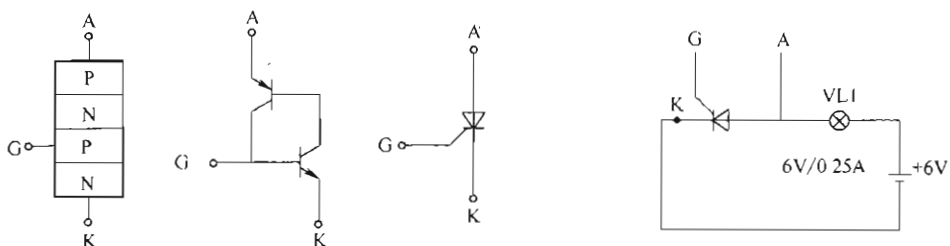


图 2-13 晶闸管器件等效及测量电路

晶闸管因工艺上的离散性，其触发电压、触发电流值与导通压降很难有统一的标准。晶闸管控制本质上如同晶体管一样，为电流控制器件。功率越大，所需触发电流也越大。触发电压范围一般为  $1.5 \sim 3\text{V}$  左右，触发电流为  $10$  到几百  $\text{mA}$  左右。峰值触发电压不宜超过  $10\text{V}$ ，峰值触发电流也不宜超过  $2\text{A}$ 。A、K 间的导通压降为  $1 \sim 2\text{V}$ 。主要工作参数有正、反向耐压值和正向平均电流、触发电流（电压）值、维持电流值等。

晶闸管的检测方法如下：

1) 用万用表粗测晶闸管的好坏。用  $R \times 1\text{k}$  档，正、反向测量 A、K 之间的电阻值，均接近无穷大；用  $R \times 10$  档测量 G、K 之间的电阻，从十几欧至几百欧，功率越大电阻值越小，正、反向电阻值相等或差异极小，说明晶闸管的 G、K 并不像一般晶体管的发射结有明显的正、反向电阻的差异。这种测量方式是有局限性的，当 A、K 之间已呈故障开路状态时，则无法测出好坏。有的晶闸管 G、K 间电阻值极小，也难以判别两极是否已经短路。

2) 较为准确的测量方法是如图 2-13 中给晶闸管连接上电源和负载，才能得出好坏的结论。方法是将晶闸管接入电路，晶闸管因无触发信号输入，小灯泡 HL1 无电流通路不发光；将 A、G 短接一下再断开，晶闸管受触发而导通，并能维持导通（灯泡的额定电流应大于  $100\text{mA}$ ），灯泡一直发光，直到断开电源。再接通电源时，灯泡不亮。说明晶闸管基本上是好的。

晶闸管有以下几种损坏情况：A、K 极间短路或断路；G、A 极间短路或断路；3 个电极之间的短路。

还有一种损坏情况很让人迷惑，用上述 1)、2) 两种检测方法检测时，晶闸管是好的，但接到交流电路中，便失去可控整流作用。故障晶闸管在未接收触发信号前，呈开路状态，是对的。触发电流输入后，晶闸管导通了，交流输入的正、负半波都一齐过去了，单向晶闸管成了一只“交流开关”。变频器整流电路中，若有这种情况发生，储能电容非喷液了不可。晶闸管的这种损坏情况，不能用短路或击穿来说明了，只能说这只晶闸管已经失效——失去整流作用了！

故障检修的几种常见情况：如图 2-12 所示电路，当晶闸管有击穿或短路故障时，将输入三相交流电源形成短路，运行中电源开关跳闸。用户会合不上供电开关（一般是采用断路器），一合即跳；当晶闸管有开路故障（或触发电路有故障）时，变频器起动或运行过程中，会跳直流回路欠电压、LU 等故障，并停机保护。此时必须区分是晶闸管本身故障还是触发电路的故障，用检测方法 2) 先检测是否是晶闸管损坏，再检查触发电路的好坏。

对触发电路的检查，先将直流回路的电容器组脱开主电路，另行接入两只  $100\mu\text{F}/400\text{V}$  电容器代替原储能电容，可方便对晶闸管触发电路的检查。

触发电路的正常工作须具备两个条件：DU2 振荡电路能正常工作，输出正的驱动电压；

触发电流的通路受控于 CPU 的开关信号，取决于 DPH2、VT22、VT3 的工作状态。对触发电路的检查，也可从此两方面着手。短接 VT3 的 C、E 极，测晶闸管的 G、K 极间应有 2V 左右的直流电压。若此电压正常，说明 DU2 振荡电路正常，检查排线 DJ8 的 24 端子从 CPU 来的 +5V 控制信号、DPH2、VT22、VT23 等环节；若晶闸管仍无触发信号，则检查 DU2 及外围电路。

从电路的一个关节处、枢纽处，人为改动一下原电路状态，即可令电路的输出产生明显的变化，从而暴露出故障在哪个环节。也许从电路的静态状态中我们较难判别，或是需费较大的力气才能检测出故障所在，而有采取一个小手段，令电路动起来，则故障环节就会显露无遗，我们可以自己造出一条故障检修的“捷径”来。

#### 故障实例 1

台达 DVP-1 22kW 变频器，上电无反应，操作面板无显示，测量控制端子的 24V 电压为 0。判断为开关电源或开关电源的供电回路故障。上电检测直流回路的储能电容两端无 530V 直流电压，进一步检测预充电电路的熔断器 FU 已经熔断，致使开关电源得不到输入电源，整机不工作。考虑到熔断原因为三相整流电路中晶闸管因未被触发导通，预充电电路因承受运行电流冲击，而使 FU 熔断。将 FU 换新后，上电，在 3 只晶闸管的触发端子处均检测不到直流电压。当短接触发电路中的 VT3 时，3 只晶闸管的触发端子均有触发电压输入，3 只晶闸管导通。检查 VT3 的集电结已经开路损坏，将 VT3 用功率管 BU406 代换后，故障排除。

#### 故障实例 2

台达 DVP-1 22kW 变频器，故障状态同上。检查也是 FU1 熔断。换新熔断器后上电检查：短接 VT3 的 C、E 极，测量 G1、K1，G2、K2，G3、K3 触发端子间仍无触发电压信号；测量 DU2 的 3 脚有直流电压输出；测量光耦合器 DPH2 的 1 脚无 1.7V 输入电压，排线端子 DJ6 的 24 脚电压仅为 0.3V。DPH2 因无信号电压输入，输出侧晶体管未导通，而使晶闸管的触发电流回路被切断。是直流回路的电压检测电路故障，使 CPU 误以为储能电容的电荷尚未充满，因而不输出晶闸管导通指令，还是 CPU 的 I/O 口内部电路故障，不能输出 +5V 高电平指令呢？变频器上电，在停机状态下，由预充电回路，也能在储能电容上建立起 500V 以上的电压。空载，操作变频器起动运行试验，输出正常，未报出欠电压故障。说明故障是由 CPU 的 I/O 口内电路损坏所致。

是由厂家购进 CPU 主板，还是采用应急措施修复此例故障呢？在不更换 CPU 主板的前提下，有两种方法，都可以将此故障变通修复：

1) 直接将 VT3 短接，变频器上电时，由预充电电路为储能电容充电，当充电电压建立起一定幅度后，如 450V，开关电源起振，触发电路得电，3 只晶闸管得到触发电源而导通；晶闸管导通时有较小的冲击电流，但基本上无妨。

2) 加装一个晶体管 R、C 延时电路，在开关电源起振后，控制 DPH2 延时得电，以便延时送出晶闸管开通的控制信号，电路如图 2-14 所示。

只需将 DPH2 的 1 脚元件拆除，加装由图 2-14 中的 5 只元件组成的延时电路即可。在开关电源起振工作后，从排线端子 DJ6 的 9 端引入 +15V 电源电压，经 R1 给 C2 充电到 C2 上电压上升为 12V 左右时，VS1 击穿导通，晶体管 VT1 有偏流而导通，驱动 DPH2，接通晶闸管的触发电流通路。电路的延时时间约为 3s。此时储能电容上已有 500V 以上的电压值，3 只晶闸管便基本上在无冲击电流的情况下顺利导通了。



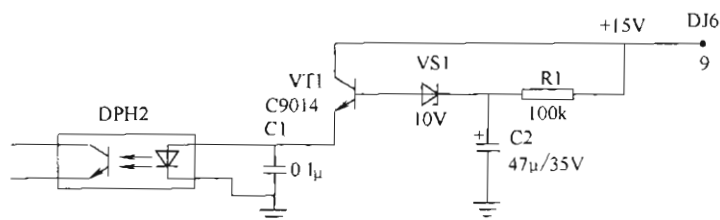


图 2-14 使晶闸管延时导通的电路

### 故障实例 3

先看一下东元 7300PA 300kW 变频器的整流电路与晶闸管触发电路图（见图 2-15）。

实际电路中，晶闸管的触发电路是由 PHR、PHS、PHT 3 个触发控制端子接入到晶闸管的 1、4、5 三个引脚的，为便于观察信号流程，省略了三个端子，将触发电路与晶闸管画在了一处。本机的整流电路，上三桥臂为晶闸管，下三桥臂为二极管（不可控），故称为三相半控桥电路。预充电回路由小三相整流桥（IXYS-VU036-16）、两只并联  $120\Omega/200W$  电阻和充电控制继电器 KA4 的常闭触点组成。变频器上电时将输入三相交流电压半波整流后，由电阻限流，为直流回路的 12 只  $8200\mu F$  电容器预（缓）充电，在电容器建立起一定幅度的电压值后，晶闸管触发电流通路接通，整流电路的 3 只上桥臂晶闸管在无冲击情况下顺利导通，同时将预充电回路断开，变频器进入待机工作状态。

晶闸管的导通和预充电回路的断开，是由 U7（六反相器/驱动器）受 CPU 指令控制 KA1 ~ KA4 4 只继电器实现的。在预充电期间，U7 内部反相器的输入端由 R47 上拉为高电平，输出端为低电平，VT10、VT11、VT12、VT8 4 只晶体管无正向基极偏流处于截止状态，KA1 的常闭触点串接于预充电回路，储能电容进行缓充电。随着电容上充电电压的升高，开关电源电路起振工作，CPU 检测到电压检测电路送来的信号后，经排线端子 7CN 的 1 脚输入到 U7 的 1、3、5、9 脚，U7 的 2、4、6、8 脚随即输出高电平信号，4 只晶体管的导通，驱动 KA1 ~ KA4 四只继电器得电吸合，KA1、KA2、KA3 接通了 3 只晶闸管的触发电流通路，KA4 常闭触点断开，切断了预充电回路。

晶闸管阳极、阴极之间并联的 R、C 电路，为尖峰电压吸收网络。KA1 ~ KA3 的常开触点与 D、R 构成触发电流通路，串入 D 是避免晶闸管的 G、K 极间承受反向电压。当控制继电器的常开触点闭合后（以其中一路触发电路为例），在输入交流电压的正半波期间，形成了自 KA1、VD15、R44、 $24\Omega/1W$  电阻的正向触发电流通路，晶闸管导通，将输入交流电压整流成直流电压。

东元 7300PA 300kW 变频器，起动过程中跳“直流回路电压低”故障，不能投入运行。上电观察 KA1 ~ KA3 控制继电器，只有一只得电动作。测量 U7 的各脚电压，在 7CN 的 1 脚为低电平信号时，U7 和 4 脚为高电平，其余各脚都为低电平。判断为 U7 损坏，更换 U7 后，KA1 ~ KA4 在变频器上电几秒钟后都能吸合，3 只晶闸管 G、K 间都有了触发直流电压，故障排除。

东元 7300PA 300kW 变频器，上电后操作显示面板无显示，操作无反应。测量控制端子的 24V、15V 等控制电压，均为 0。检测 KA4 的常闭触点呈开路状态，将 KA4 更换后，故障排除。

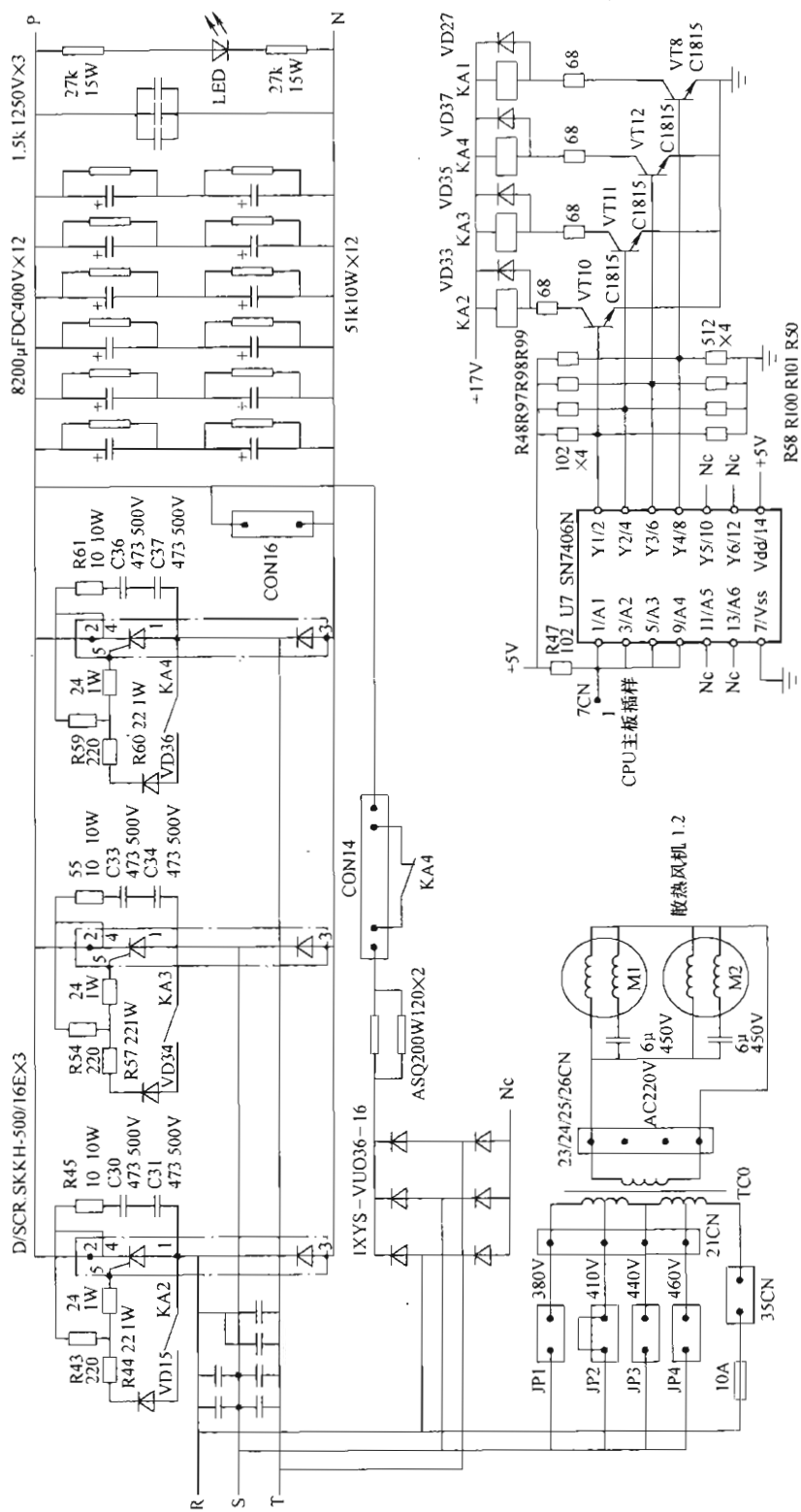


图 2-15 东元 7300PA 300kW 变频器整流电路与晶闸管触发电路

## 2.6 变频器主电路的其他环节故障

三相整流、直流储能回路、三相逆变电路搭起了变频器主电路的基本框架；整流和储能电容之间，串有充电电阻和充电继电器（接触器）的缓冲电路，而采用半控桥的三相整流器，则省去了这一环节。有充电接触器的电路，接触器的辅助触点信号往往作为反映接触器工作状态的检测信号，输入 CPU 电路。

此外，对于小功率变频器，散热风扇的电源是采用开关电源输出的直流 24V（或 12V）供电，而对大、中功率变频器，多采用 380V/220V 变压器用作散热风扇和充电接触器线圈的供电。散热风扇的运转，往往又与整流和逆变模块的温度检测有所联系。因而，对散热风扇的控制，常有以下几种方式：

1) 上电运行。如图 2-15 等风扇电路，变频器上电，风扇即由 380V/220V 变压器取得电源，在变频器通电过程中，风扇一直在运转。小功率变频器，散热风扇取自直流 24V 供电，在开关电源起振工作后，也一直在运转中。

2) 风扇的运转受模块温度检测电路控制，受信号阈值控制，如环境温度或模块温度低于 40℃ 以下，风扇不转，高于此值时，风扇运转。检测温度值高于 65℃ 时，变频器停机保护。风扇的运转可能直接受控于温度检测电路，也可能间接受控于 CPU（据温度检测电路的信号而发送风扇运转/停止信号）。

3) 受可编程运转模式控制，风扇怎么工作，完全取决于用户对相关参数值的调整，可将其设置为上电运转；变频器起动运行后运转；温度高于某一阈值后运转等。

风扇是个易损配件，厂家给出的寿命周期为 3 年，而劣质风扇仅有 1 年左右的寿命，优质风扇六七年后还能保持良好的运行状态，不能一概而论。当铝质散热器的风道严重阻塞时，即使散热风扇狂转，但模块的温度仍得不到有效的散失，变频器的温度检测电路也会报出 OH 过热故障，而保护停机。

风扇损坏，不只是引发 OH 故障，与温度检测电路、直流电源电路都有相关的联系，这些内容在第 6 章保护电路中专门讨论。

变频器模块温度的检测，常采用触点型热继电器和热敏电阻作为温度传感器。一般多采用常闭触点型热继电器，当运行中模块温度上升到一定值（85℃）时，触点断开，变频器报 OH 故障而停机。用热敏电阻作为传感器的，则可用于上述的第 2) 和 3) 种控制方式，使风扇按温度或可编程模式运行。温度传感器与温度检测电路配合，将温度信号送入 CPU，实行模块超温保护、风扇运转、温度显示（极少数机型有）等控制。这一块内容也将在第 6 章保护电路中专门讨论。

据风扇和温度检测的控制特点，便可得出相应的检修思路和检修方法。而对风扇的种种控制，最后落实到对风扇的供电控制上，种种控制电路，其实是种种供电电源控制方式上的不同，检查的重点也在这里。下面给出几个风扇检修的故障实例。

### 故障实例 1

一台科姆龙 KV2000 7.5kW 变频器，冬季使用正常，到夏季后频跳 E-12（意为散热器过热）故障。该变频器是用在食品机械上的，散热器风道与风扇上沾满了面粉，风扇运转迟滞，风道基本阻塞。运转中模块热量不能散发，报出过热故障。

拆去机壳与电路板，用吹风机、毛刷等，先将机器涂覆面粉全部清理干净。

其实接手任意一台变频器，卫生清理工作是一个维修环节，在对电容鼓顶、喷液、整流、逆变模块的炸裂等故障在清理过程中即能检查出来。先清理干净，便于检查和测量。

清理散热风道，将风扇更换后，故障排除。

## 故障实例 2

东元 7300PA 37kW 变频器，上电即跳 OH 过热故障，拒绝起动操作。模块温度检测为常闭触点型温度继电器，由 8CN 端子接入电源/驱动板。上电，将 8CN 端子用镊子短接，按操作面板 RST 键复位后，能起动运行。测量温度传感器引线，内部触点已呈开路状态。用一市售 75℃ 常闭触点型温度继电器代换后，故障修复。

## 2.7 省钱的修理方法之一

降低元器件性能指标下的“省钱”的修理，只图一时的低成本，但埋下了更大的故障隐患，是要不得的。储能电容器，单、双管式逆变、整流模块的损坏，坏一只，换一只，也谈不到省钱。CPU 主板电路，尤其是 CPU 本身局部引脚电路的损坏，采取变通手段应急修复它，最好是在不降低电路性能的前提下进行，则也不失为“省钱修复”的好方法（见第 7 章 CPU 主板电路的检修）。小功率变频器，其主电路采用一个集成模块，成本动辄几百元，乃至上千元，IPM 则造价更高。整流或逆变电路的局部性损坏，是不是可用分立元件取代，达到降低维修成本的要求，答案是肯定的。

当然，修复损坏严重的机器，必须先与用户沟通，最好还是用同型号器件来修复。如出于维修成本考虑，用分立元件来代用模块，必须先与用户达成共识。

想到用省钱的方法修复集成模块，是在阅读一本电磁炉维修的书籍时联想到的。用于电磁炉的一些集成整流器件和 IGBT，其高耐压、大电流特性完全可应用于对变频器集成模块局部损坏的修复。此后，笔者购买了一些整流桥和 IGBT 等，将变频器 15kW 以下的机型做了几例修复试验，发现 7.5kW 以下变频器的修复成功率较高，而较大功率机型，可能由于购买的 IGBT 的参数一致性较差，尤其是导通内阻较大。修复后，变频器空、轻载运转正常，但正常带载时会出现输出偏相、电动机跳动和易跳 OC 故障等现象。所以此类修复以 1.5~7.5kW 小功率机型为宜。电磁炉的配件中，IS2510 整流桥，额定电流为 25A，反向耐压为 1000V，全塑封，可涂覆导热硅脂后，直接攻螺纹（或用  $\phi 2.5\text{mm}$  的钻头打孔，用  $\phi 3\text{mm}$  的螺钉直接旋入）固定在模块散热器上；25N120 IGBT，额定电流为 25A，反向耐压为 1200V。安装时需在 IGBT 与散热器之间加装绝缘片。整流器与 IGBT 引脚图如图 2-16 所示。

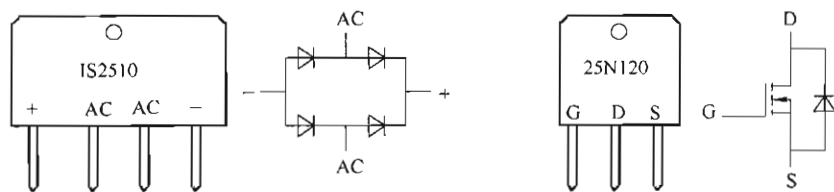


图 2-16 电磁炉功率配件引脚图

说明一下，本书只是提出这样一个模块修复方法，供维修中参考，并不积极提倡集成模块的局部修复，这是因其有一定的操作难度和较高的返修率，模块局部损坏是否会牵连到其他电路，模块内部是否有影响正常运行的其他缺陷等是不好检测和判断的。模块的损坏还是以原配件更换为主。

图 2-17 整个主电路采用了 BSM15GP120 一只集成型模块，或称一体化模块，连制动单元电路和温度检测电路都集成在内了。

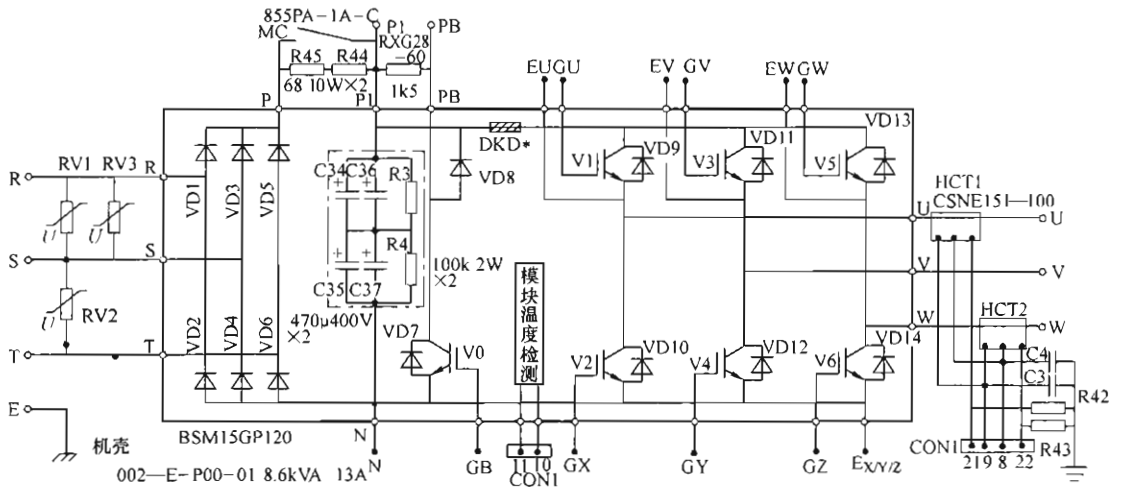


图 2-17 康沃 C VF-G3.7kW 变频器主电路

### 故障实例 1

康沃 C VF-G3.7kW 变频器，运行中听到异常响声，变频器电源输入端连接的 16A 断路器跳闸，送修。测量 R、S、T 三相电源输入端，无短路现象，但测量 R、P 端子，已短路，BSM15GP120 模块内部整流电路 VD1 已击穿短路。检测逆变输出电路等，都无异常。只从 S、T 端子接入 380V 供电，变频器操作运行等都正常。

询问用户，该变频器拖动 1.5kW 电动机，负载较轻。修复方法（见图 2-18）如下：

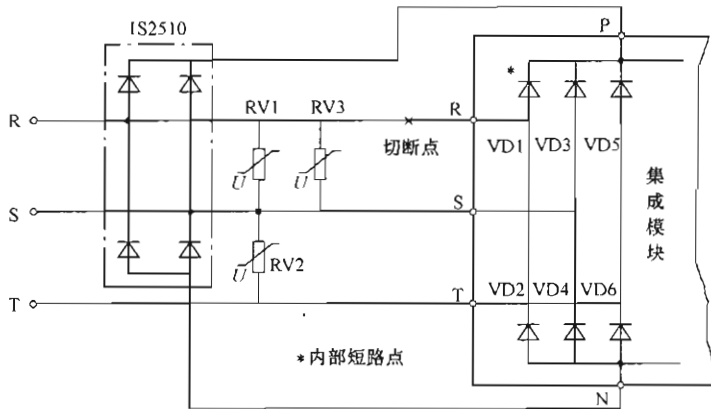


图 2-18 模块内部整流电路损坏后的整流整改电路之一

1) 较为省事的方法是：变频器与拖动电动机功率小，负载轻，即使单电源供电，也能满足负载要求。将 R 引线端子至模块的引线铜箔条切断，只从 S、T 端子输入电源。剩

下模块内部电路4只整流二极管工作,为逆变电路提供直流供电,也是可以满足工作要求的。

2) 切断R供电铜箔条,用整流桥器件搭接一整流电路,与模块内部整流电路一起构成三相桥式整流电路。

### 故障实例2

一台阿尔法 ALPHA2000 2.2kW 变频器,运行中电源开关跳闸,无法合闸运行,送修。测量R、T、S端子电阻,T、S端子间短路、S、P、T、P之间短路,S、N、T、N之间断路。

细致检测模块内部逆变电路部分和储能电容,没发现什么问题,直接向直流回路送入直流500V供电,做起动运行试验,正常。判断故障只出在模块内部整流电路,又据所测量的内部整流桥的短路和断路情况,决定从外部搭接两片IS2510整流电路,将机器修复。不用单只整流管的目的,是整流桥器件为片式塑封,并有固定孔,利于工作中的散热和固定,如图2-19所示。

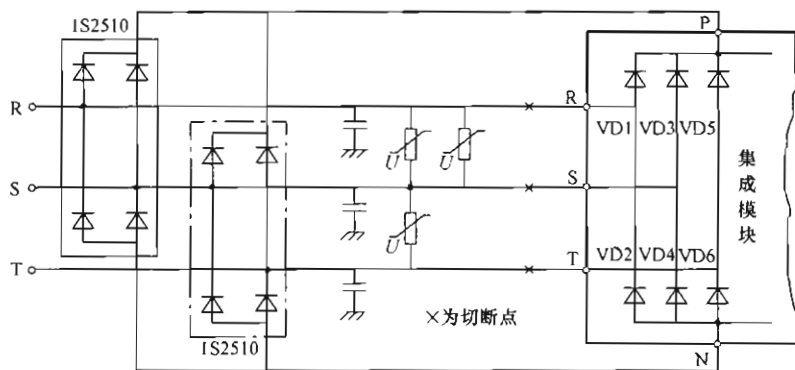


图 2-19 模块内部整流电路损坏后的整流整改电路之二

一体化模块,内含温度检测电路,经两个端子引出模块温度检测信号,当模块内部整流电路或逆变电路损坏时,有可能波及到温度检测电路也同时损坏,也可用外加温度检测电路来实施修复。常见模块温度检测电路形式有如图2-20所示的几种。

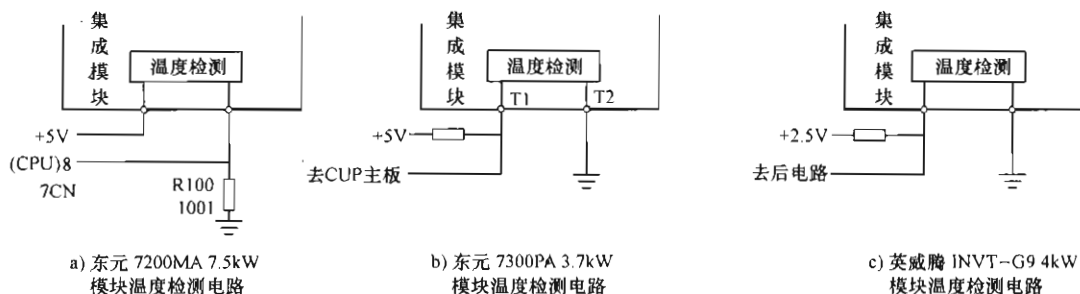


图 2-20 模块内部温度检测电路形式

模块内部由热敏电阻等元件构成模块温度检测电路,输出的是线性电压温度信号。信号输出后有的直接输入 CPU 引脚,有的经后续温度检测电路进一步处理后,再送入 CPU 电路。东元 7300PA 3.7kW 变频器的模块温度检测电路中,逆变模块的两个引脚 T1、T2 为模

块温度检测信号输出脚，T2 脚直接接地，T1 脚接入一只 +5V 的上拉电阻，电路正常和模块温度在正常范围内时，T1 脚电压幅度较低，当模块温度异常上升时，T1 脚电压上升至一定幅度，变频器报出模块过热故障，变频器自动停机。

### 故障实例 3

一台东元 7300PA 3.7kW 变频器，检查发现集成模块局部损坏，进行了相应的修复后，上电，变频器报过热故障。测量 T1 脚电压为 +5V，判断为内部温度检测电路损坏，误输出超温信号，使 CPU 报出过热故障。试用导线短接 T1、T2 端子，再上电启动变频器，能正常运行。因模块的其他部分已经修复，因温度检测电路故障即更换模块有些可惜。故加装了图 2-21 所示的点划线框内电路，将该台变频器成功修复。本电路虽将温度线性信号变为了温度开关信号，但不影响正常的超温起控。对于变频器上电，散热风扇即投入运行的机器，没有什么影响。需注意的是，若风扇的运转是取决于此路温度检测信号，则改装后，CPU 误认为环境和模块温度极低，使风扇不能投入运转。可以短接风扇的控制电路，强制风扇上电即行运转。此种“省钱”的修理方法，只能作为应急修复手段。

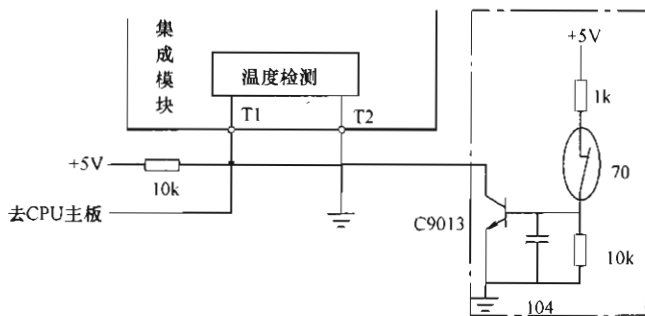


图 2-21 模块内部温度检测电路的应急修复

当对变频器进行某一电路改动后，可能会同时牵涉几个环节，要考虑周到，不能贸然下手。不能单求降低维修成本，而埋下更大的故障隐患。“省钱的和应急的修复方法”，仅作为修理中的参考和特殊情况下的应急措施，笔者本人并不提倡将其作为常规“赚钱”的手段。对于变频器的应急修理，也有个因地制宜的问题，需具体情况具体分析。

## 2.8 省钱的修理方法之二

一体化模块逆变电路的改装（修复）难度远远高于整流电路，改装的成功率也要低一些。还是要采用整体更换为主，局部修复为辅的原则。一个模块，有无可能局部修复，需看模块的损坏程度。观察外观完好，无裂纹和黑线出现。若有裂纹、黑线和变形等，说明内部绝缘物质炭化严重、模块引线端子受损等，必须更换新品。逆变电路只有一臂 IGBT，最多是一相电路中的两只 IGBT 损坏，应保障其余两相 IGBT 的完好。一旦有两相中的 IGBT 损坏，则应坚决换用新品。

逆变电路的修复会牵涉以下几方面的问题：

- 1) 上、下臂管子的配对，力求参数接近。
- 2) 对 IGBT 容量取得大一些，如 3.7kW 的变频器，也采用了 25N120 25A 的管子，管子

的驱动电流要比模块内管子的驱动电流可能要大一些。原栅极电阻的阻值要相应调小一些，如从  $100\Omega$  调整为  $75\Omega$  或  $51\Omega$ 。该电阻的大小决定了驱动峰值电流的大小和 IGBT 导通和截止脉冲沿的陡峭度，阻值偏大时，IGBT 导通内阻大，会出现三相输出电压不平衡，电动机抖动和易跳 OC 故障；阻值偏小时，产生过激励，有可能使 IGBT 损坏。

3) 必须考虑驱动电路的功率输出容量。加装 25N120 后，栅极电阻也相应调整，驱动电路则需输出更大的驱动功率，一个措施是将驱动电源的滤波电容的容量加大一些，如将  $47\mu\text{F}$  电容换为  $100\mu\text{F}$  的，以减小电源输出内阻。但小功率变频器，往往因空间狭小，电源的功率余量并不是太大，光靠加大驱动电源电容量不能解决根本问题。所以有一相逆变电路损坏，加装两只 IGBT，改装成功率要高。但用 6 只 IGBT 将逆变电路整体改装后，往往因驱动电路的驱动能力不足（电源容量不足）而导致修复的失败。耗费了许多工夫，最后还是得更换一体化模块。

试图搭接三相整流桥和三相逆变电路，而将一体化模块整体取代的做法，则存在一定的侥幸心理了。只有极少数的机型改装后能正常运行，多数机型是不行的。

近几年，有些厂家出于市场竞争的目的，逆变电路也可采用 6 只 IGBT 的。

4) 改装后，对 IGBT 的引线尽量要短些，两根触发线要用双绞线，以减小分布电容的影响。

#### 故障实例 1

一台康沃 CVF-G 3.7kW 变频器，上电起动，跳 OC 故障。将逆变电路的正供电铜箔条从 DKD\* 处切断（见图 2-22），为逆变电路送入直流 24V 供电，强制切断驱动电路返回 CPU 的 OC 信号（具体操作见驱动电路的维修一章），使六路激励脉冲正常加到 6 只 IGBT 的触发端子上。检测与判断 U 相上臂 IGBT 的 C、E 极间开路。用 2 只 IGBT 搭接 U 相电路（点画线框内电路），将一体化模块成功修复。

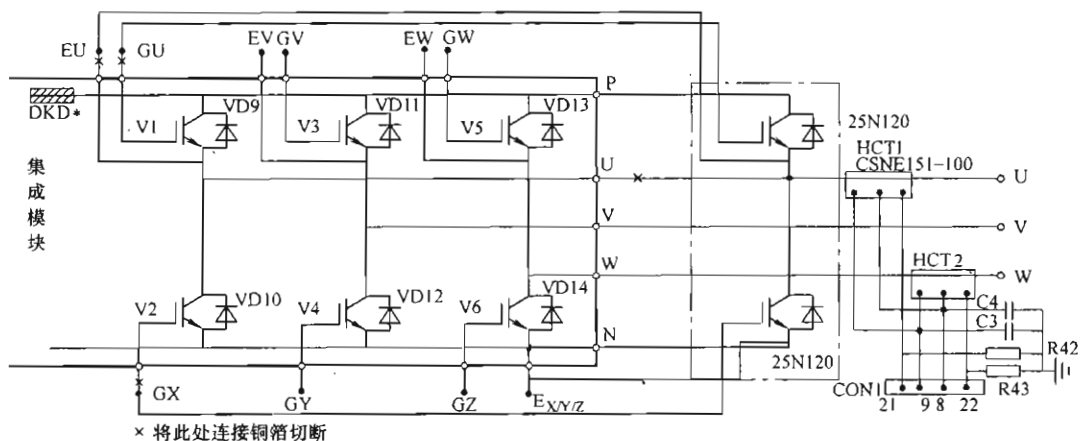


图 2-22 模块逆变电路的局部修复电路—

#### 故障实例 2

一台阿尔法 ALPHA2000 5.5kW 变频器，测量 U、V 输出端短路。进一步检测 U、V 与 N 之间短路，与 P 之间正反向电阻正常。判断模块内部的 Q2、Q4 两只 IGBT 短路。继而切断逆变电路的供电（见图 2-23），送入 24V 直流电源，检测 W 相输出正常。阿尔法



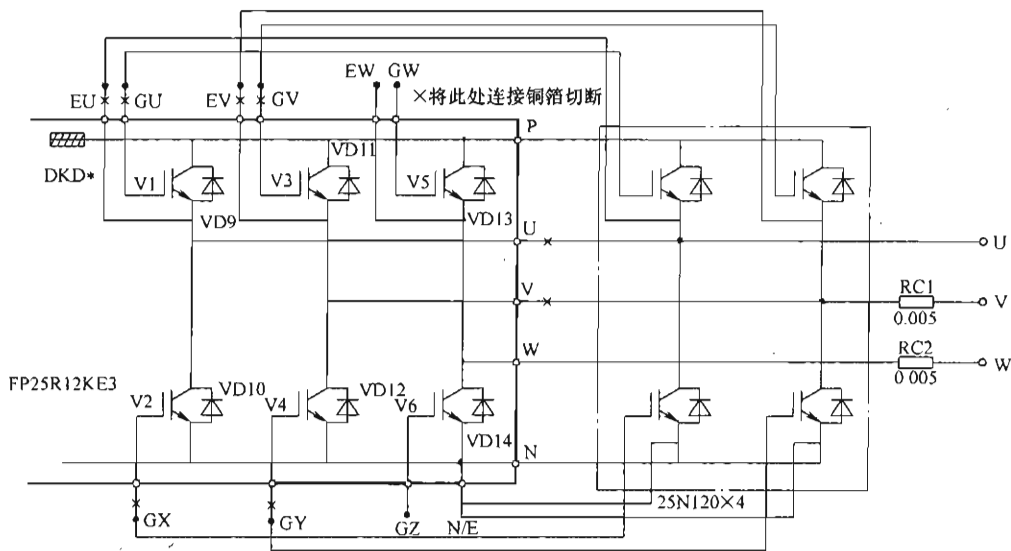


图 2-23 模块逆变电路的局部修复电路二

APHA2000 系列变频器，似乎比较适合用分立元件搭建逆变电路，即便是整体改装的成功率也较高。

## 2.9 维修补充注意说明

对变频器主电路的检修，归根到底落实到对逆变回路的检修。怎样采取措施保障 IGBT 的安全，使之不会在检修过程中造成新的损坏，形成大的损失，是一个重点问题。对主电路的检修，势必牵涉到驱动电路、开关电源电路及脉冲传递电路的检修等相关内容。本章内容不可能表述出所有的检修环节，只是讲解了部分检修方法，对逆变电路的检修，要全面掌握相关电路的检修方法，并融会贯通，才算具备了真正检测变频器主电路的能力。换句话说，将本书内容全面掌握后，才能检修变频器。对变频器的检测绝不能“头疼医头，脚疼医脚”，确实应以“系统的”眼光和思路，进行故障判断和检修。

IGBT 的损坏原因其实是多方面的，这是在本书的后几章有所论述。对其检修，应尤为注意以下几个方面：

1) 本章所提及的对 IGBT 逆变电路的上电检测，是在确认驱动电路正常的前提下进行的。逆变电路故障后，驱动电路受冲击而同时损坏，必须先修复驱动电路的故障，令其输出 6 路正常的工作脉冲，才谈得上对逆变功率电路的维修。

2) 从逆变电路的电路供电上采取相应措施，如串接灯泡、熔断器、降低供电电压等，以期保障 IGBT 在上电检修期间的安全；无论是一体化模块的整体更换，还是局部修复，必须将原供电切断，采用以上措施上电检查正常后，再恢复正常供电。

有的电路板为三层板或四层板，切断供电铜箔条时，应注意划痕不能过深，以免造成两层铜箔条之间的短路。也可采取将储能电容全部拆除的办法，用外加直流电源（串熔断器等措施）进行检修。修复故障后，再安装上储能电容。

3) 运用指针式万用表的交、直流电压档，根据三相输出电压情况正确判别 IGBT 的

故障。

4) 维修后要带上适当的负载,检测三相输出电路的平衡度等,进一步使隐蔽故障暴露出来。

5) 检修完毕,应将电路改动部分全部复原。焊锡搭焊切断的铜箔条,恢复原驱动电路的OC信号回路等。

## 第3章 开关电源的检修

所谓兵马未动，粮草先行。开关电源电路提供变频器的整机控制用电，是变频器正常工作的先决条件。

变频器应用的开关电源电路，为直—交—一直型的逆变电路，是一种电压和功率的变换器，将直流电压和功率转换为脉冲电压，再整流成为另一种直流电压。输入、输出电压由开关变压器相隔离，开关变压器起到功率传递、电压/电流变换的作用。开关变压器为降压变压器。开关电源的特点如下：

1) 开关电源的振荡和调压方式是利用改变脉冲宽度或周期来调整输出电压的，称为时间比例控制，又分为 PWM（调宽）和 PFM（调频）两种控制方式。

2) 从电路的能量转换特性看，可分为正激和反激两种工作方式。开关管饱和导通时，二次绕组连接的整流器受反偏压而截止，开关变压器的一次绕组流入电流而储能（电磁转换）。开关管截止时，二次绕组经负载电路释放电能（磁电转换）。正激方式则与此相反，实际应用不多。

3) 从开关变压器的一次电路结构来看，有分立元件构成的和集成振荡芯片构成的两种电路形式。因而从振荡信号的来源看，又分为自激（分立零件）和他激式（IC 电路）开关电源。两种电路结构都有应用。

4) 开关管有采用双极型器件和采用场效应晶体管的。

5) 小功率变频器采用单端正激式电路，大、中功率变频器常采用双端正激式电路。

一般变频器的开关电源，常提供以下几种电压输出：CPU 及附属电路、控制电路、操作显示面板的 +5V 供电；电流、电压、温度等故障检测电路、控制电路的  $\pm 15V$  供电；控制端子、工作继电器线圈的 24V 供电。四路相互隔离的约为 22V 的驱动电路的供电，该四路供电往往又经稳压电路处理成 +15V、-7.5V 的正、负电源供驱动电路，为 IGBT 逆变输出电路提供激励电流。

任何电子设备，电源电路的故障率总是相当高的——因其要提供整机的电源供应，负担最重。变频器的开关电源电路，形式上比较单一，结构上也比较简单。但是简单电路也可能产生疑难故障。开关电源的检修不像线性电源那么直观，电路的任一个小环节——振荡、稳压、保护、负载等出现异常，都会使电路出现各种各样的故障现象。

上电后无反应，操作显示面板无显示，变频器好像没通电一样。测量控制端子的 24V 控制电压和 10V 频率调整电压都为 0，测量变频器主接线端子电阻正常，那么大致上可以断定问题是出在开关电源电路了。

### 3.1 开关电源的供电取自何处

在维修中常需将控制电路板进行单独上电检修。无论是检测 CPU 主板还是检修电源/驱动板，都需要先使开关电源工作起来，为各部分电路的检测提供条件。所以需知晓开关电源

电路的电源取自哪里，进而用外置维修电源来取代。

开关电源的电源供给一般有以下几种来源：

1) 直接取自变频器主电路的直流回路的两端，即储能电容的两端，在变频器电路中，厂家往往标注为 P（或 P1，供电 + 端）、N 端（供电 - 端），P、N 之间直流电压约为 530V，如图 3-1a 所示。大部分变频器开关电源的供电，皆取自此处。如台达、东元、台安、康沃、富士等变频器一些机型的开关电源，都是取自直流回路 530V 直流电压的。

2) 直流回路的储能电容，由于耐压的关系，用两只串联接于直流回路上，两只电容对 530V 形成分压点，分压点电压为 265V 左右。有的变频器开关电源的供电是取自 a 点（见图 3-1b），供电电压降低为原来的 1/2。如英威腾 INVT-P9 系列小功率变频器的开关电源，取自直流回路的 265V 分压。

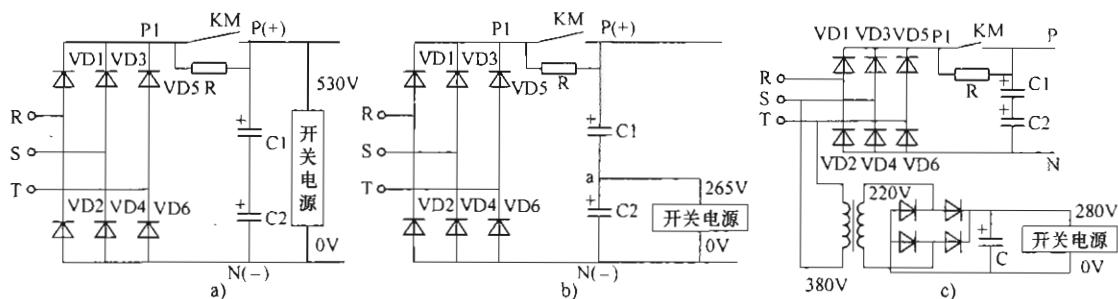


图 3-1 开关电源电路的 3 种检修供电方式

3) 开关电源的供电，不接自直流回路，而另用 380V/220V 变压器，从变频器电源输入端子 R、S、T 的任两相上取得，再经整流滤波后，送至开关电源，如富士、安川、东元变频器的一些机型。

由图 3-1 中的 3 种变频器开关电源电路的供电方式，可以自己动手制作一个简易的维修电源（见图 3-2），放置于检修工作台的一个位置上，这个维修电源可用于对变频器进行拆机的上电检查、维修完毕装机后的上电检查、对 CPU 主板和电源/驱动板的脱机检修等。

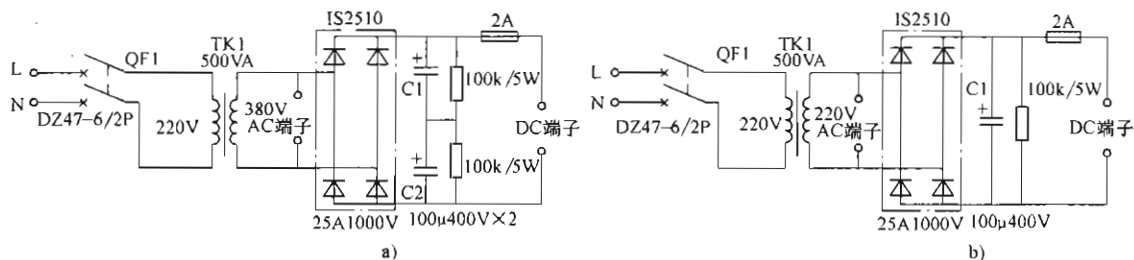


图 3-2 开关电源电路的两种维修电源

图 3-2a 中 AC 端子电源的作用如下：

1) 用户送修变频器，测量主接线端子无短路故障后，可从变频器的 R、T 电源输入端子接入图 3-2a 的 AC 端子电源，为变频器上电，进行初步检查，如操作显示面板无显示、控制端子无电压等，即可判断故障出在开关电源电路。操作面板有显示，可通过调看故障记录（一些变频器无此功能），起、停变频器，观察运行和报警（故障代码）情况，进一步判

断故障所在，为拆机检测提供依据。

需注意的是：

① 如图 3-1c 电路，应将 AC 端子电压接入该变频器的 S、T 电源输入端子，否则机器内部开关电源因得不到工作电源，整机不能工作。测量 T、S 端子间只有几十欧的电阻值，需细致检查和观察一下，不一定是整流模块短路故障，有可能是该电源端子接入了内部变压器的一次绕组。

② 部分变频器内部有三相电源输入检测电路，接入单相电源，上电会跳“输入断相”故障，需找出电路板中的相关电路，将此一报警信号切断或屏蔽掉（见第 6 章故障电路维修）。

③ 大功率变频器（如 55kW 以上机型），因直流回路的储能电容器容量大，电容器的瞬态充电电流过大，使维修电源中的断路器跳闸，此时可在 AC 端子上串联大功率电阻（如  $100\Omega/400W$ ）进行限流充电。

④ 维修部有三相动力电源，可直接用三相电源，上电检修。

2) 变频器维修完毕，整机装配后，可送入上图 3-2a 中的 AC 端子电源，将负载端接入 2.2kW 三相电动机，上电试验。虽然变压器 TK1 有较强的过载能力，但也要及时调整变频器的频率，使输出电流值较大时（如 4A）的时间要短一些，限制在 10s 以内，以保障变压器的运行安全。

维修部有三相动力电源，此试机步骤则不必用维修电源。

图 3-2a 中 DC 端子的作用如下：

接入 DC 端子电源，是将原变频器内三相整流电路、直流回路全部脱开，而用此电源代替之。从一定意义上讲，DC 端子电源也是一种安全检修电源，一是变压器本身供电隔离作用，在检修中万一触及强电部分，因无对地回路，不会造成对人体触电的危害（若同时接触两个电源端子，会使人触电）。二是该电源为小容量电源，又串入 2A 熔断器，机器电路即使有短路故障存在，但因电源容量所限和熔断器的作用，不致损坏整流和逆变模块。

1) 单独维修电源/驱动板和 CPU 主板时，可将 DC 端子直接接入开关电源的供电端子上，为开关电源提供工作电源，对 CPU 主板电路和驱动电路进行检查。

2) 整机试机时，可用此电源代替原直流回路，给逆变输出电路供电，对逆变电路进行试验与检查。

须注意的是：

对于大、中功率变频器，储能电容的容量较大，一般单独组装于一个容器箱内。在检修过程中，一定要将其撤去，当逆变电路、驱动电路及开关电源有异常时，储能电容上存储的电能，足以在瞬间内烧毁昂贵的逆变模块。用 DC 端子电源可直接为逆变电路供电和开关电源电路供电。严禁将大容量储能电容并接于逆变供电电源上，待各部电器检修完毕，进行整机装配时，再装入储能电容。

7.5kW 以下小功率变频器，储能电容往往直接焊装于电路板上，如方便拆下，拆下最好。如不能拆下，需从 P 端切断对逆变电路的供电，串入 1A 或 2A 熔断器后，再接入 P 端的供电。DC 端子电源可直接并接于 7.5kW 以下小功率变频器的直流回路。

图 3-2b 中的 AC 端子电源，可对 220V 交流供电的变频器，进行拆机前和装机后的上电检修；DC 端子电源可对该供电级别的变频器进行 CPU 主板、电源/驱动板的上电检修；可作为如图 3-1b 所示的电路开关电源的供电，便于对电路板进行上电检修。

### 3.2 认识开关电源电路的重要元器件

先看图 3-3 所示的一个开关电源的简化电路。

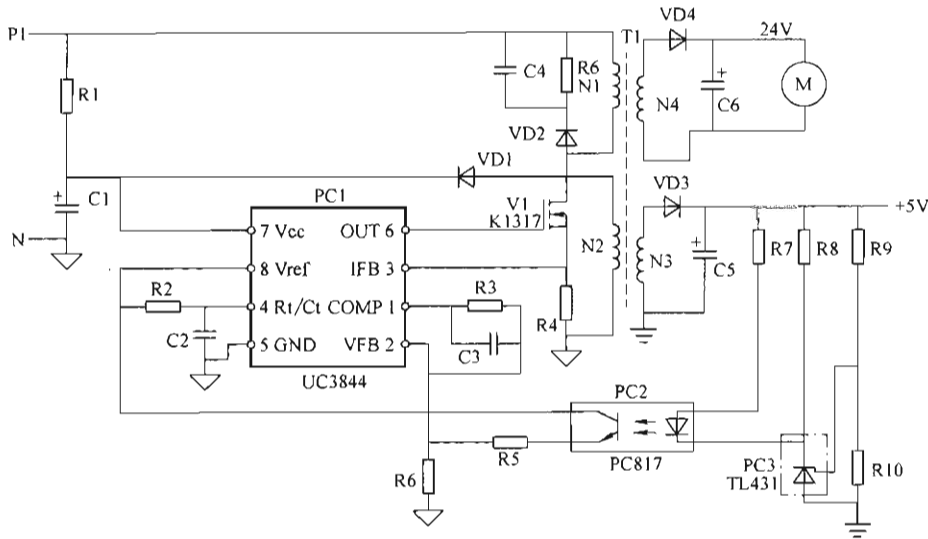


图 3-3 开关电源简化电路

可以看到，PC1、PC2、PC3、Q1 构成了开关电源电路的主干和骨架。PC1 为专用振荡芯片，是振荡、稳压与保护的控制中心。PC2 是一只光耦合器，跨接在一次和二次绕组之间，既将负载供电电压的采样信号传递给 PC1，又起到对输入、输出供电绝缘隔离的作用。PC2 可依输出侧、输入侧为界，将稳压电路切成两部分。PC3 为电压基准源电路，PC2 的工作状态，完全依赖于 PC3 的工作状态。两者结合，承担着对输出电压的稳压控制。V1 为开关管，电路的所有控制都落实到对 V1 导通与截止时间的控制上。一次、二次电路的功率传递，是通过 V1 进行的。因其工作于高电压、大电流状态，成为开关电源电路的易损元件。

下面详解一下开关电源电路 4 个元器件的工作参数和测量方法。

#### 1. 开关管

双极型器件晶体管和场效应晶体管，开关管都有采用，如图 3-4 所示，以场效应晶体管为多。

表 3-1 列出了晶体管 QM5HG-24 和场效应晶体管 BFC40 的部分参数。

表 3-1 晶体管 QM5HG-24 和场效应晶体管 BFC40 的部分参数

类别	型号	$V_{CEX}$	$V_{CBO}$	$V_{EBO}$	$I_C$	$P_C$	$t_{on}$	$t_s$	$t_f$
晶体管	QM5HG-24	1200V	1200V	7V	5A	100W	1.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s	0.8 $\mu$ s
类别	型号	$V_{DSS}$	$V_{GS}$	$I_D$	$I_{DM}$	$P_D$	$t_{on}$	$t_{off}$	$R_{ds(on)}$
场效应晶体管	BFC40	1500V	$\pm 20V$	2A	4A	50W	30ns	200ns	8.00 $\Omega$

型号为 K1317 和 K2225 的场效应晶体管应用最多，两者可互换。

器件互换首先考虑的是耐压和工作电流值，尤其是耐压值，应不低于 1200V 为宜。另

外, 应注意封装形式, C 极或漏极接金属散热壳体的, 应加装绝缘片和涂覆导热硅脂后进行安装。

大功率晶体管, 如图 3-4a 所示, B、E 极间并接有几十欧姆的电阻。测量发射结的正、反向电阻为一并接电阻的阻值。但集电结的正、反向电阻特性同一般晶体管。应与好的管子对比, 测量晶体管的放大倍数, 这在故障检修中尤为重要。

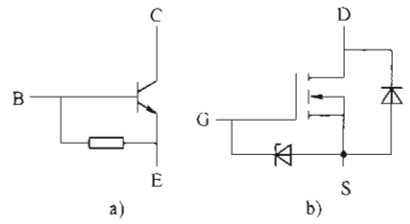


图 3-4 开关管的电路结构符号图

大功率场效应晶体管, 如图 3-4b 所示, G、S 间并接有双向击穿二极管, 在 D、S 极间反向并联有二极管(有资料说, 此二极管为工艺过程中自然生成), 两者都对场效应晶体管起到保护作用。测量 D、S 极间呈二极管的正、反向电阻特性。对场效应晶体管的测量, 应利用 G、S 结电容的电荷存储特性, 观测 D、S 极间电阻变化的方法, 检测其好坏。具体测量方法见 2.1 的相关内容。

故障检修中, 仅靠测量管子的电阻判断其性能是不够的, 一般条件下对管子的低效、老化现象是检测不出的, 须根据故障现象综合分析, 不放过看似“隐蔽”的故障环节和表现, “揪”出故障元件。

## 2. 光耦合器

由于光耦电路简单, 对不能共地的、电压差异较大的输入、输出信号有较好的隔离度, 又具有较高的抗干扰性能, 故在开关电源电路、数字隔离和模拟信号传输通道中被广泛采用。更换损坏光耦器件时, 要充分考虑其在电路中的位置和作用, 用同类型光耦器件进行代换。

在变频器电路中, 常用到 3 种类型的光耦合器(不只是开关电源电路中的应用, 在此一并交待一下), 一种为晶体管型光耦合器, 如 PC816、PC817、4N35 等, 常用于开关电源电路的输出电压采样和电压误差放大电路, 也应用于变频器控制端子的数字信号输入回路。3 种光耦合器结构如图 3-5 所示, 输入侧为一只发光二极管, 输出侧为一只光敏晶体管。第 2 种为集成电路型光耦合器, 如 6N137、HCPL2601 等, 其频率响应速度比晶体管型光耦合器大为提高, 输入侧发光管采用了延迟效应低微的新型发光材料, 输出侧为门电路和肖基特晶体管构成, 使工作性能大为提高。在变频器的故障检测电路和开关电源电路中也有应用。第 3 种为线性光耦合器, 如 A7840。便于对模拟信号进行线性传输, A7840 往往与后续运算电路相配合, 实现对输入信号的线性放大和传输。

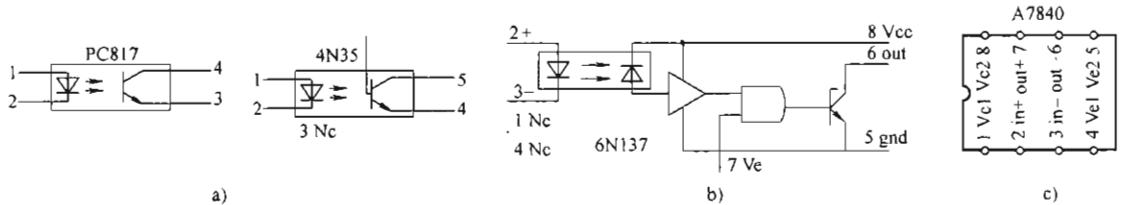


图 3-5 3 种光耦合器电路图

### (1) 第一类型的光耦合器

输入端工作压降约为 1.2V, 输入最大电流 50mA; 输出最大电流 1A 左右, 因而可直接驱动小型继电器, 输出饱和压降小于 0.4V。可用于几十 kHz 或较低频率信号的传输。

测量方法：

1) 数字式万用表二极管档，测量输入侧正向压降为 1.2V，反向无穷大。输出侧正、反压降或电阻值均接近无穷大。

2) 用指针式万用表的  $\times 10k$  电阻档，测其 1、2 脚，有明显的正、反电阻差异，正向电阻约为几十  $k\Omega$ ，反向电阻无穷大；3、4 脚正、反向电阻无穷大。

3) 两表笔测量法。用指针式万用表的  $\times 10k$  电阻档（能提供 15V 或 9V、几十  $\mu A$  的电流输出），正向接通 1、2 脚（黑表笔搭 1 脚），用另一表的  $\times 1k$  电阻档测量 3、4 脚的电阻值，当表笔接入 1、2 脚时，3、4 脚之间呈现  $20k\Omega$  左右的电阻值，脱开 1、2 脚的表笔，3、4 脚间电阻为无穷大。

4) 可用一个直流电源串入电阻，将输入电流限制在 10mA 以内。输入电路接通时，3、4 脚电阻为通路状态，输入电路开路时，3、4 脚电阻值无穷大。

3、4 种测量方法比较准确，如用同型号光耦器件相比较，甚至可检测出失效器件（如输出侧电阻过大）。

上述测量是新器件装机前的必要过程。对上线不便测量的情况下，必要时也可将器件从电路中拆下，脱机测量，进一步判断器件的好坏。

在实际检修中，脱机测量电阻不是很便利，上电检测则较为方便和准确。要采取措施，将输入侧电路变动一下，根据输出侧产生的相应的变化（或无变化），测量判断该器件的好坏。即打破故障中的“平衡状态”，使之出现“暂态失衡”，从而将故障原因暴露出来。光耦器件的输入、输出侧在电路中串有限流电阻，在上电检测中，可用减小（并联）电阻和加大电阻的方法（将其开路）等方法，配合输出侧的电压检测，判断光耦器件的好坏。部分电路中，甚至可用直接短接或开路输入侧、输出侧，来检测和观察电路的动态变化，利于判断故障区域和检修工作的开展（详见第 5、6 故障电路检修一章）。

如图 3-6a 所示电路，为变频器控制端子电路的数字信号输入电路，当正转端子 FWD 与公共端子 COM 短接时，PC817 的 1、2 脚电压为 1.2V，4 脚电压由 5V 变为 0V。同理，当控制端子呈开路状态时，PC817 的 1、2 脚之间电压为 0V，而 3、4 脚之间电压为 5V。从图 3-6a 电路可以看出光耦器件的各脚电压值，故障或正常状态测量输入、输出脚电压即可得出判断。

如图 3-6b 所示电路，测量 1、2 之间为 0.7V（交流信号平均值），3、4 脚之间为 3V，说明光耦器件有了输入信号，但光耦器件本身是否正常？用金属镊子短接 PC817 的 1、2 脚，测量 4 脚的电压由原 3V 上升为 5V（或有明显上升），说明光耦器件是好的。若电压不变，说明光耦损坏。

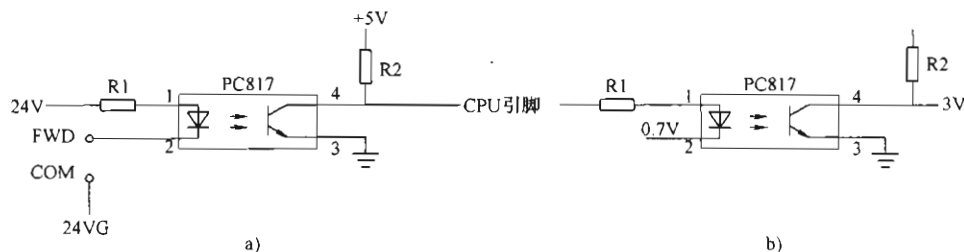


图 3-6 光电耦合器在线检测示意图



## (2) 光耦合器 (6N137)

输入端工作压降约为 1.5V 左右, 但输入、输出最大电流仅为 mA 级, 只起到对较高频率信号的传输作用, 电路本身不具备电流驱动能力, 可用于对 MHz 级信号进行有效的传输。

3 种在线测量方法, 可用短接或开路 2、3 输入脚, 同时测量输出 6、5 脚的电压变化; 减小或加大输入脚外接电阻, 测量输出脚电压有无相应变化; 从 +5V 供电或其他供电串限流电阻引入到输入脚, 检测输出脚电压有无相应变化, 来判断器件是否正常。

## (3) 第 3 种类型的光耦合器

输入侧不是发光二极管, 输入、输出阻抗较高, 用于对小信号的传输。检测方法同上。

注意: 在开关电源电路应用的光耦合器, 是作为电压误差放大器的一个环节来使用的, 测量中输入、输出脚的电压扰动, 会引起负载供电的突变。尤其是 +5V 的 CPU 主板负载电路在连接状态下, 不可带电在线检测光耦合器的引脚电压, 测试不慎将造成烧掉 CPU 的危险! 对其好坏的判断, 应通过停电后, 对引脚电阻值的检测来进行。

运用于其他电路的光耦合器, 如控制端子的光耦合器, 则完全可以带电在线测量, 比电阻测量更为方便。

## 3. 专用电流模式 PWM 振荡芯片 UC3844 (3842)

UC3844 与 UC3842 在变频器的开关电源中都有应用, 前者应用为多, 其电路图如图 3-7 所示。电路无论为塑封或贴片元器件, 都有 8 脚和 14 脚两种双列封装型式。两种电路的主要区别为 UC3842 输出频率等于振荡器的振荡频率, 输出频率的最大占空比可达 100%; 而 UC3844 内部集成了一个二分频触发器, 输出频率只有振荡频率的一半, 输出最大占空比为 50%。另外, 两者内部欠电压锁定电路的开启阈值有所差异。UC3844、UC3845 可互换, UC3842、UC3843 可互换。一般电路的实际振荡频率在 100kHz 以下, 为 40 ~ 60kHz 左右。电路内部集成了基准电源、高频振荡器、电压误差放大器、电流检测比较器、PWM 锁存器及输出电路。利用误差放大器和外围电压采样电路能构成电压闭环 (稳压) 控制; 利用电

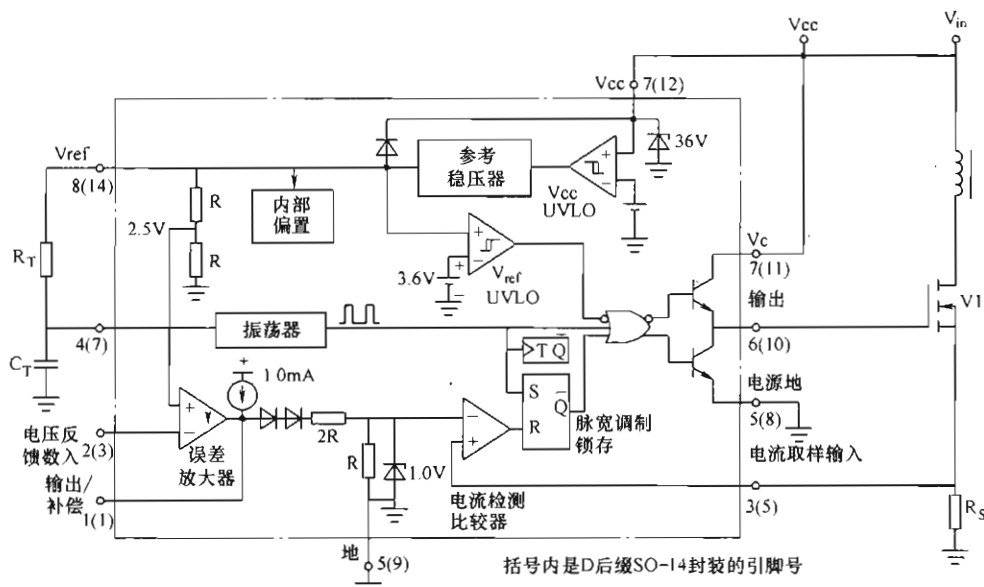


图 3-7 振荡芯片 UC3844 (3842) 电路原理图

流检测比较器和外围电流检测电路，能构成电流闭环控制。

引脚功能说明（以下均以8脚封装为例）：1脚为误差放大器输出端，与引脚2之间接入R、C反馈网络，以决定误差放大器的带宽频率特性和放大倍数；2脚为误差放大器反馈输入端，该端接输入电压反馈信号，以实现电压闭环（稳压）控制；3脚为电流检测比较器输入端，该端接电流（电压）检测信号，以实现过电流（过电压）保护；4脚为振荡器定时元件接入端，所接R、C元件决定了电路振荡频率的高低；8脚为基准电源输出端，可提供+5V温度稳定性良好的基准电压，实际应用中，R、C振荡电路及稳压电路，常取用该电源，以增加振荡和稳压的稳定性；7、5脚是供电V<sub>cc</sub>、GND端子，额定供电电压为30V，实际电路中自供电绕组提供的直流电压约为20V左右；6脚为PWM波形输出脚，最大输出电流（拉、灌电流）达1A。

UC3842/44的3脚内部误差放大器的同相端已在内部供入2.5V，意味着：当2脚反馈输入电压也稳定于2.5V——也必然会保持在2.5V时，电路的动态反馈及输出的稳定过程已经完成，在此稳定状态下，输出电压的高低，取决于外围电压采样、反馈电压处理电路，而与芯片本身和振荡环节无关；2脚反馈电压的输入范围为-0.55~5.5V，当2脚反馈电压维持一个低于2.5V的值时，负载电压将维持一个超压输出状态。当2脚反馈电压维持一个高于2.5V的值时，输出电压将维持一个低于正常值的状态。由此可判断反馈电压处理电路相关元件的故障。

UC3842/44欠电压锁定开启阈值为16V，UC3843/3845则为8.5V；UC3842/44欠电压锁定关断阈值为10V，UC3843/3845则为7.6V。其意义是：当芯片供电电压高于16V时，8脚输出+5V电压，提供给4脚R、C振荡定时元件，电路起振工作，当供电低于10V时，欠电压保护电路起控，8脚输出电压为0，电路停振，避免了开关管因欠激励（功耗过大）而烧毁。应用此一特点，当电路出现停振故障，而又查不出故障点时，可单独为振荡芯片提供10~20V的可调直流电源（将其他供电全部停掉！），在调压过程中，检测8脚的电压变化（应有0~5V的跳变输出），6脚也相继有0V和1.2V的输出，从而大致确定振荡芯片及外围部分电路的好坏。

要使UC3844内部的保护电路动作，通常有两种方法：使引脚1（内部误差电压放大器输出端）上的电压降至1V以下；使引脚3（电流检测比较器输入端）电压升至1V以上。前者为输出过电压保护，后者为输出过电流保护，两种方法都会导致电流检测比较器输出高电平，PWM锁存器复位，输出端关闭。其意义在于：当电路出现停振故障时，可能为保护电路故障或其他电路故障引发保护电路动作，而使芯片的1、3脚电压值分别降至了1V以下和升至了1V以上！

UC3844芯片各引脚电阻值见表3-2。

表3-2 UC3844芯片各引脚电阻（用MF47指针式万用表×1k档测量）值

5脚搭红表笔：							
引脚号	1	2	3	4	6	7	8
电阻/kΩ	24	14	14	14	140	100	4
5脚搭黑表笔：							
引脚号	1	2	3	4	6	7	8
电阻/kΩ	9	10	10	9	14	8.5	4

以上所测贴片元件 3844B 各引脚电阻值，与双列塑封直插元件的引脚电阻稍有差异。

#### 4. 基准电压源（可调式精密并联稳压器）TL431

TL431 是一种具有电流输出能力的可调基准电压源，输出电压范围 2.5 ~ 36V。在开关电源电路中，常与光耦合器配合构成隔离式电压反馈（误差电压放大器）电路。其主要优点，是动态阻抗低，典型值为  $0.2\Omega$ ，若构成稳压电路，能显著提高稳压精度。工作电流  $I_{KA}$  为 1 ~ 100mA，范围较宽。器件一般为 3 引脚和 8 引脚两种封装形式，为三端控制器件。内部基准电压  $V_{ref}$  为 2.5V，接入电路达到稳态输出后，外部基准端子  $V_{REF}$  电压也为 2.5V，因此而端子也称为外部基准端子。

短接  $V_{REF}$  和 K 端子，接成图 3-8 中的左边的测试电路，即成为 2.5V 稳压电路。稳压控制原理如下：当负载电流减小引起输出电压上升时，内部运算放大器的同相端电压上升，晶体管 VT 导通增强，对负载电路进行并联式分流，直到  $V_{REF}$  端子电压等于 2.5V 为止。若在  $V_{REF}$  端子和 K、A 极间接入分压电阻如图 3-8 中右边的测试电路，可以调整输出电压为 2.5 ~ 36V 以内的任意值。在稳压电路中，TL431 与外围电路接成闭环电压控制电路，从  $V_{REF}$  端子输入的为输出电路反馈信号，电路的动态调整，即是将此反馈信号调整到 2.5V 左右，电路达到平衡状态。

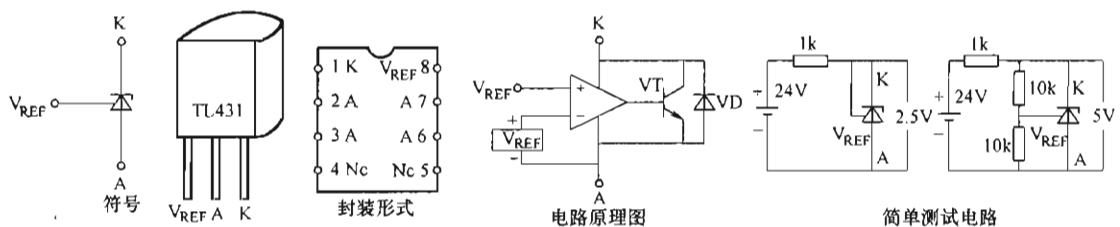


图 3-8 TL431 元件符号、封装形式、原理图和测试电路图

但在开关电源电路中，对 TL431 并不是作为一个稳压电路来使用的，如图 3-3 所示。

分析一下稳压控制过程：当 +5V 输出电压上升时，R8、R9 分压点电压上升，流过 TL431 阳极、阴极间的电流上升。TL431 的  $I_{AK}$  电流的上升，使光耦合器 PC2 输入侧二极管发光强度随之上升，PC2 输出侧光敏晶体管因受光面的光通量上升，其导通等效内阻减小，PC1 的 2 脚（反馈电压引入脚）的电压升高，IC201 内部误差放大器的输出增大，此信号控制内部 PWM 波发生器，IC201 的 6 脚输出的脉冲占空比变化，使开关管 TR1 的截止时间变长，TL1 的储能减少，二次绕组输出电压回落。

常规由 TL431 构成的稳压电路中，K 极输出电压再经分压电阻反馈到  $V_{REF}$  端，电路工作于闭环状态，形成并联分流式稳压控制。而开关电源电路中，TL431 自身恰恰是工作于开环状态的，利用  $V_{REF}$  端子输入小信号电压的变化，控制  $I_{AK}$  较大电流的输出。

当  $V_{REF}$  端电压  $< 2.5V$  时，PC2、PC3 中无电流， $U_k$  约为 5V；当  $V_{REF}$  端电压  $\geq 2.5V$  时，PC2、PC3 中产生电流， $U_k$  约为 2V 左右。而且随着 +5V 输出电压的上升， $I_{AK}$  有明显的上升，因回路电流在 R6、R7 上产生压降的缘故， $U_k$  反而有一定的下降。此种变化对控制光耦合器中的发光二极管的发光强度有较好的作用，对二次绕组输出 +5V 电压的稳压性有较好的保障。如同用一个高阻抗的电压源，获得了一个低阻抗的电流源，从而提高了控制的灵敏度。

表 3-3 为三线端 TL431 各引脚电阻值, 8 引脚贴片封装型式的 TL431 引脚电阻稍有差异。

表 3-3 TL431 (3 引脚封装型式) 各脚电阻 (用 MF47 指针式万用表测量) 值

表笔接入方式	K、A 电阻值/k $\Omega$	表笔接入方式	K、VREF 电阻值/k $\Omega$
A 极接红表笔	$\infty$	K 极接红表笔	11
A 极接黑表笔	7	K 极接黑表笔	$\infty$

TL431 的上电检测 (见图 3-3): 脱开开关电源的输入电源和 +5V 供电负载电路, 单独在 C4 两端加上 5V 左右的电源。

1) 测量第 1 脚 (或第 8 脚) 电压应为 2.5V, 测量  $U_k$  电压, 应为 2V 左右。

2) 测量 R7 两端电压降, 正常时应为 3V 左右。过低, TL431 漏电或短路损坏。等于 5V 时, TL431 已经开路损坏。

3) 用同阻值电阻并联 R8 时, 测量 R7 两端电压有显著上升; 用同阻值电阻并联 R9 时, R7 两端电压有显著下降。说明 TL431 性能良好。

### 3.3 开关电源的检修思路和检修方法

变频器的开关电源电路完全可以简化为图 3-3 的电路模型, 电路中的关键要素都包含在内了。而任何复杂的开关电源, 剔除枝蔓后, 也会剩下图 3-3 这样的主干。其实在检修中, 要具备对复杂电路的“化简”的能力, 要在看似杂乱无章的电路伸展中, 拈出这几条主要的脉络。要向解牛的庖丁学习, 训练自己, 使眼前不存在什么整体的开关电源电路, 只有各部分脉络和脉络的走向——振荡回路、稳压回路、保护回路和负载回路等。

看一下电路中有几路脉络。

1) 振荡回路: 开关变压器的主绕组 N1、Q1 的漏-源极、R4 为电源工作电流的通路; R1 提供了起动电流; 自供电绕组 N2、VD1、C1 形成振荡芯片的供电电压。这 3 个环节的正常运行, 是电源能够振荡起来的先决条件。

当然, PC1 的 4 脚外接定时元件 R2、C2 和 PC1 芯片本身, 也构成了振荡回路的一部分。

2) 稳压回路: N3、VD3、C5 等的 +5V 电源, R7 ~ R10、PC3、R5、R6 等元件构成了稳压控制回路。

当然, PC1 芯片和 1、2 脚外围元件 R3、C3, 也是稳压回路的一部分。

3) 保护回路: PC1 芯片本身和 3 脚外围元件 R4 构成过电流保护回路; N1 绕组上并联的 VD2、R6、C4 元件构成了开关管的反压吸收保护电路; 实质上稳压回路的电压反馈信号——稳压信号, 也可看作是一路电压保护信号。但保护电路的内容并不仅是局限于保护电路本身, 保护电路的起控往往是由于负载电路的异常所引起。

4) 负载回路: N3、N4 二次绕组及后续电路, 均为负载回路。负载回路的异常, 会牵涉到保护回路和稳压回路, 使两个回路做出相应的保护和调整动作。

振荡芯片本身参与和构成了前三个回路, 芯片损坏, 三个回路都会一齐罢工。对三个或四个回路的检修, 是在芯片本身正常的前提下进行的。另外, 要像下象棋一样, 用全局观念

和系统思路来进行故障判断,透过现象看本质。如停振故障,也许并非由振荡回路元件损坏所引起,有可能是稳压回路故障或负载回路异常,导致了芯片内部保护电路起控,而停止了 PWM 脉冲的输出。并不能将各个回路完全孤立起来进行检修,某一故障元件的出现很可能表现出“牵一发而全身动”的效果。

开关电源电路常表现为以下 3 种典型故障现象(见图 3-3):

1) 次级负载供电电压都为 0V。变频器上电后无反应,操作显示面板无指示,测量控制端子的 24V 和 10V 电压为 0V。检查开关电源输入的 530V 电压正常,可判断为开关电源故障。检修步骤如下:

① 先用电阻测量法测量开关管 Q1 有无击穿短路现象,电流取样电阻 R4 有无开路。电路易损坏元件为开关管,当其损坏后,R4 因受冲击而阻值变大或断路。Q1 的 G 极串联电阻、振荡芯片 PC1 往往受强电冲击而损坏,必须同时更换;检查负载回路有无短路现象。

② 更换损坏件,或未检测到有短路元件,可进行上电检查,进一步判断故障是出在振荡回路还是稳压回路。

检查方法:

a 先检查起动电阻 R1 有无断路。正常后,用 18V 直流电源直接送入 UC3844 的 7、5 脚,为振荡电路单独上电。测量 8 脚应有 5V 电压输出;6 脚应有 1V 左右的电压输出。说明振荡回路基本正常,故障在稳压回路。

若测量 8 脚有 5V 电压输出,但 6 脚电压为 0V,查 8、4 脚外接 R、C 定时元件,6 脚外围电路。

若测量 8 脚、6 脚电压都为 0V,UC3844 振荡芯片坏掉,需更换。

b 对 UC3844 单独上电,短接 PC2 输入侧,若电路起振,说明故障在 PC2 输入侧外围电路;电路仍不起振,查 PC2 输出侧电路。

2) 开关电源出现间歇振荡,能听到“打嗝”声或“吱吱”声,或听不到“打嗝”声,但操作显示面板时亮时熄。这是因负载电路异常,导致电源过载,引发过电流保护电路动作的典型故障特征。负载电流的异常上升,引起一次绕组激磁电流的大幅度上升,在电流采样电阻 R4 形成 1V 以上的电压信号,使 UC3844 内部电流检测电路起控,电路停振;R4 上过电流信号消失,电路又重新起振,如此循环往复,电源出现间歇振荡。

检查方法:

a 测量供电电路 C5、C6 两端电阻值,如有短路直通现象,可能为整流二极管 VD3、VD4 有短路;观察 C5、C6 外观有无鼓顶、喷液等现象,必要时拆下检测;供电电路者无异常,可能为负载电路有短路故障元件。

b 检查供电电路无异常,上电,用排除法,对各路供电进行逐一排除。如拔下风扇供电端子,开关电源工作正常,操作显示面板正常显示,则为 24V 散热风扇已经损坏;拔下 +5V 供电接子或切断供电铜箔,开关电源正常工作,则为 +5V 负载电路有损坏元件。

3) 负载电路的供电电压过高或过低。开关电源的振荡回路正常,问题出在稳压回路。

输出电压过高,稳压回路的元件损坏或低效,使反馈电压幅度不足。检查方法:

a 在 PC2 输出端并接 10k $\Omega$  电阻,输出电压回落。说明 PC2 输出侧稳压电路正常,故障在 PC2 本身及输入侧电路。

b 在 R7 上并联 500 $\Omega$  电阻,输出电压有显著回落。说明光耦合器 PC2 良好,故障为

PC3 低效或 PC3 外接电阻元件变值。反之，为 PC2 不良。

负载供电电压过低，有 3 个故障可能：负载过重，使输出电压下降；稳压回路元件不良，导致电压反馈信号过大；开关管低效，使开关变压器储能不足。

修复方法：

a 将供电支路的负载电路逐一解除（注意！不要以断开该路供电整流管的方法来脱开负载电路，尤其是接有稳压反馈信号的 +5V 供电电路——稳压回路不可断开！反馈电压信号的消失，会导致各路输出电压异常升高，而将负载电路大片烧毁！），判断是否由于负载过重引起电压回落；如切断某路供电后，电路回升到正常值，说明开关电源本身正常，检查负载电路；若输出电压低，检查稳压回路。

b 检查稳压回路的电阻元件 R5 ~ R10，无变值现象；逐一代换 PC2、PC3，若正常，说明代换元件低效，导通内阻变大。

c 代换 PC2、PC3 若无效，故障可能为开关管低效，或开关管激励电路有问题，也不排除 UC3844 内部输出电路低效。更换优质开关管、振荡芯片 UC3844。

对于一般性故障，上述故障排查法是有效的，但不一定百分之百的准确。若检查振荡回路、稳压回路、负载回路都无异常，电路还是输出电压低，或间歇振荡，或干脆毫无反应，这些情况都有可能出现。先不要犯愁，让我们往深入里分析一下电路故障的原因，以帮助尽快查出故障元件。电路的间歇振荡或停振的原因不在起振回路和稳压回路时，还有哪些原因可导致电路不起振呢？

1) 主绕组 N1 两端并联的 R、D、C 电路，为尖峰电压吸收网络，提供开关管截止期间，存储在变压器中磁场能量的泄放通路（开关管的反向电流通路），保护了开关管不被过电压击穿。当 VD2 或 C4 严重漏电或击穿短路时，电源相当于加上了一个很重的负载，使输出电压严重回落，U3844 供电不足，内部欠电压保护电路起控，而导致电路进入间歇振荡。因元件并联在 N1 绕组上，短路后不易测出，往往被忽略。

2) 有的开关电源有输入供电电压的（电压过高）保护电路，一旦电路本身故障，使电路出现误过压保护动作，电路停振。

3) 电流采样电阻不良，如引脚氧化、碳化或阻值变大时，导致压降上升，出现误过电流保护，使电路进入间歇振荡状态。

4) 自供电绕组的整流二极管 VD1 低效，正向导通内阻变大，电路不能起振，更换试验。

5) 开关变压器因绕组发霉、受潮等，品质因数降低，用原型号变压器代换试验。

6) R1 起振电路参数变异，但测量不出异常，或开关管低效，此时遍查电路无异常，但就是不起振。

修理方法：

变动一下电路既有参数和状态，让故障暴露出来！试减小 R1 的电阻值（不宜低于 200k $\Omega$  以下），电路能起振（此法也可作为应急修理手段之一）。若无效，更换开关管、UC3844、开关变压器再试验。

输出电压总是偏高或偏低一点，达不到正常值。检查不出电路和元件的异常，几乎换掉了电路中所有元件，电路的输出电压值还是在“勉强”状态，有时好像能“正常工作”了，但让人心里不踏实，不知什么时候会来个“反常表现”。不要放弃，调整一下电路参数，使输出电路达到正常值，达到其稳定工作状态。电路参数的变异，有以下几种原因：

- 1) 晶体管低效, 如晶体管放大倍数降低, 或导通内阻变大, 二极管正向电阻变大, 反向电阻变小等;
- 2) 用万用表不能测出的电容的相关介质损耗、频率损耗等;
- 3) 晶体管、芯片器件的老化和参数漂移, 如光耦合器的光传递效率变低等;
- 4) 电感元件, 如开关变压器的 Q 值降低等;
- 5) 电阻元件的阻值变异, 但不显著。
- 6) 上述 5 种原因有数种参于其中, 形成“综合作用”。

由各种原因形成的电路的“现在的”这种状态, 是一种“病态”, 也许我们得换一下检修思路了, 中医有一个“辨证施治的”理论, 我们也要用一下了, 下一个方子, 不是针对哪一个元件, 而是将整个电路“调理”一下, 使之由“病态”趋于“常态”。电路的一个环节动了, 整个状态就变了, 所谓满盘皆活。就这么“模糊着糊涂着”, 把病就给治了。

修理方法 (元件数值的轻微调整):

- 1) 输出电压偏低: 增大 R5 或减小 R6 电阻值; 减小 R7、R8 电阻值或加大 R9 电阻值。
- 2) 输出电压偏高: 减小 R5 或增大 R6 电阻值; 增大 R7、R8 电阻值或减小 R9 电阻值。

上述调整的目的, 是在对电路进行彻底检查, 换掉低效元件后进行的。目的是调整稳压反馈电路的相关增益, 使振荡芯片输出的脉冲占空比变化, 开关变压器的储能变化, 使二次绕组的输出电压达到正常值, 电路进入一个新的“正常的平衡”状态。

好多看似不可修复的疑难故障, 经过一、两只电阻值的调整, 就被修复了。

检修中需注意的问题: 在开关电源检查和修复过程中, 应切断三相逆变电路 IGBT 模块的供电, 以防止驱动供电异常, 造成 IGBT 模块的损坏; 在修理输出电压过高的故障时, 更要切断 +5V 对 CPU 主板的供电, 以免异常或高电压损坏 CPU, 造成 CPU 主板报废; 不可使稳压回路中断, 将导致输出电压异常升高; 开关电源电路的二极管, 用于整流和用于保护的, 都为高速二极管或肖基特二极管, 不可用普通 IN4000 系列整流二极管代用; 开关管损坏后, 最好换用原型号的。

### 3.4 开关电源的经典电路及故障实例之一

图 3-9 所示电路为单端正激式隔离型开关稳压电源。电路由分立元件组成, 非常简洁, 故障率较低。与上文中由 UC3844 振荡芯片为主干构成的电源电路有所不同, 但电路原理与检查方法都是相近的。

开关电源的供电取自直流回路的 530V 直流电压, 由端子 CN19 引入到电源/驱动板。

电路原理简述: 由 R26 ~ R33 电源起动电路提供 VT2 上电时的起始基极偏压; 由 VT2 的基极电流  $I_b$  的产生, 导致了流经 TC2 主绕组  $I_c$  的产生, 继而正反馈电压绕组也产生感应电压, 经 R32、VD8 加到 VT2 基极; 强烈的正反馈过程, 使 VT2 很快由放大区进入饱和区; 正反馈电压绕组的感应电压由此降低, VT2 由饱和区退出进入放大区,  $I_c$  开始减小; 正反馈绕组的感应电压反向, 由于强烈的正反馈作用, VT2 又由放大状态进入截止区。以上电路为振荡电路。VD2、R3 将 VT2 截止期间正反馈电压绕组产生的负压, 送入 VT1 基极, 迫使其截止, 停止对 VT2 的  $I_b$  的分流, R26 ~ R33 支路再次从电源提供 VT1 的起振电流, 使电路进入下一个振荡循环。

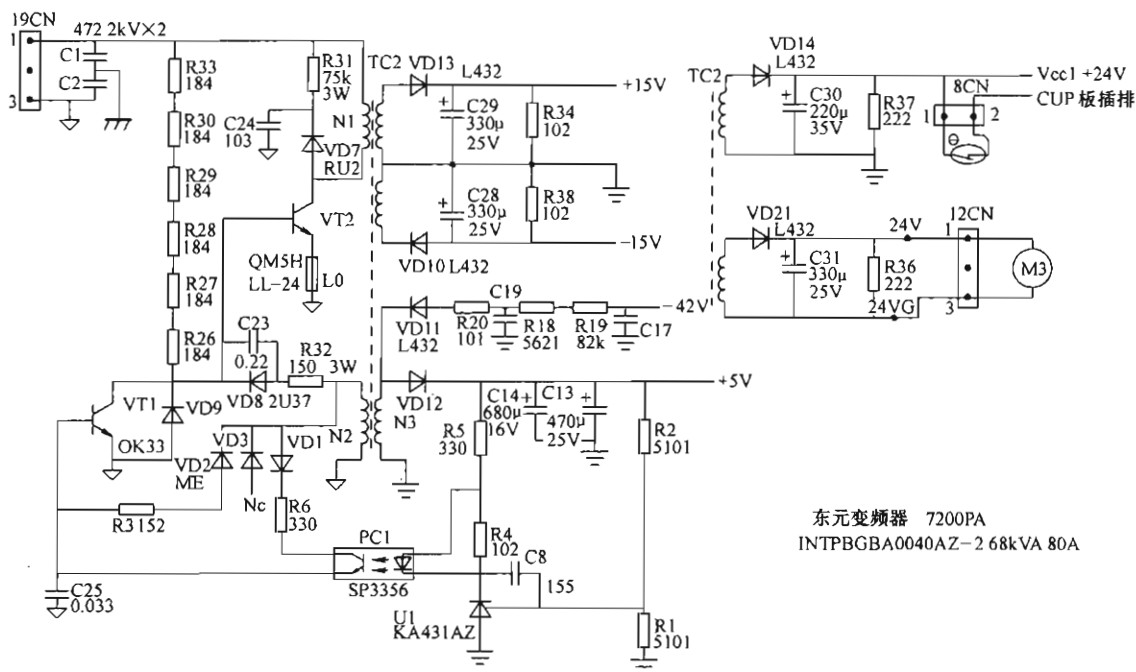


图 3-9 东元 7200PA 37kW 变频器开关电源电路

5V 输出电压作为负反馈信号（输出电压采样信号）经稳压电路，来控制 VT2 的导通程度，实施稳压控制。稳压电路由 U1 基准电压源、PC1 光耦合器、VT1 分流管等组成。5V 输出电压的高低变化，转化为 PC1 输入侧发光二极管的电流变化，进而使 PC1 输出测光敏晶体管的导通内阻变化，经 VD1、R6、PC1 调整了 VT2 的偏置电流。以此调整输出电压使之稳定。

在 VT2 截止期间，开关变压器 TC2 中存储的磁能量，由二次电路进行整流滤波释放给负载电路，在 VT2 导通期间，TC2 从电源吸取能量进行存储。在二次绕组上产生交变的感应电压，正向脉冲宽度较大，幅值较低，经正向整流后提供负载电路的供电；反向脉冲宽度极窄，但因无电流释放回路，故能维持较高的幅值。VT2 饱和导通时，将 TC2 的一次绕组接入直流 530V 电源的两端，因而二次绕组所感应的负向脉冲电压，是能反映 TC2 主绕组供电电压高低的。VD11 和 VD12 接于同一个二次绕组上，VD12 将“大面积低幅度”的正向脉冲整流作为 5V 供电，而 VD11 却将“小面积而幅度高”的负向脉冲做负向整流后，经 R20、C19、R19、C17 等元件简单滤波处理后，将此能反映一次主绕组供电高低的 -42V 电压信号，作为直流电路电压的检测信号，送入 CPU，如图 3-10 所示，供显示直流电压值和参与 CPU 程序控制之用。

直流回路的直流电压检测信号，即为 D11 的后续 R、C 电路输出的 -42V 电压信号，属于对直流回路电压的间接采样。这几乎成为电压检测电路的一个机密，好多维修人员从与直流回路有联系的电路上查找电压检测电路，结果是可知的。此一电路功能的揭示，对相关故障检修有重要的意义（见第 6 章相关内容）。

为驱动电路供电的六组相互隔离的整流、滤波电路，省略未画，请参见第 4 章驱动电路的相关内容。



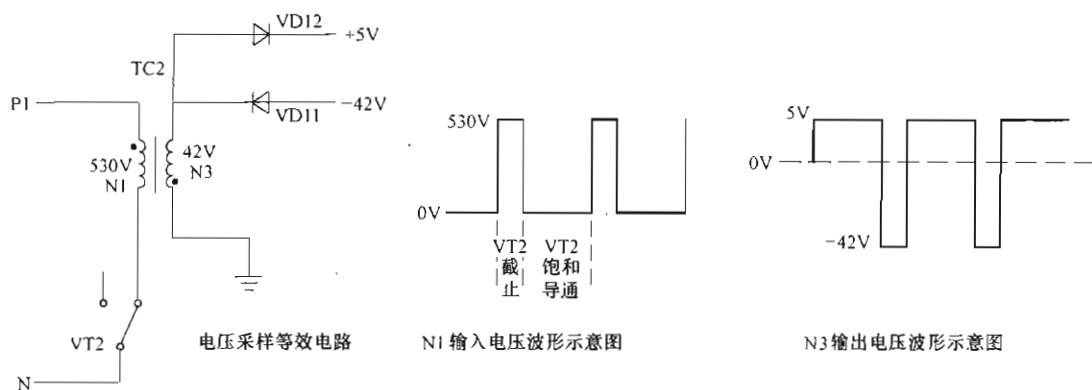


图 3-10 直流回路电压采样等效电路及波形示意图

对开关电源故障的检修，要找出其中关键的脉络。主要有两个电路环节：

1) 振荡支路——包括起振电路和正反馈信号回路。起振电路：由 TC2 一次绕组、VT2 的 C、E 极构成 VT2 的  $I_c$  电流回路，和由起动电阻 R26 ~ R33、VT2 的发射结构成的 ( $I_b$ ) 起振回路；由 TC2 的正反馈绕组（有时称自供电绕组，本电路中兼有两种身份）、R32、VD8 构成的正反馈回路。起振回路和正反馈回路，两者结合，共同提供了和满足了 VT2 的振荡条件。

2) 稳压支路——U1、PC1、VT1 构成了对输出电压的采样电路和电压误差放大电路，以 VT1 对 VT2 的  $I_c$  的分流作用实现对输出电压的调整。

在实际工作中，开关电源电路的两个支路其实共同构成了对 VT2 的  $I_b$  的控制。显然，稳压支路会影响到振荡支路。如 VT2 的漏电或击穿，将会造成对 VT2 的  $I_b$  分流过大，导致电路停振。电路停振肯定不单只是振荡电路本身的问题，但检修的步骤，却可以围绕两个支路来展开。

### 故障实例 1

接手一台 7200GA-41kVA 变频器，属雷击故障。检查三相整流模块其中一块短路；开关电源电路中开关管 VT2，分流控制管 VT1 都已击穿短路。开关变压器 TC2 的一次绕组受冲击而开路。

采购整流模块、电源损坏元件。开关变压器 TC2 须采购原配件。因市售晶体管的耐压一般在 900V 以下，也需采购原型号或工作参数与原管子接近的元件。分流控制管最好有原型号管子，如不易购到，可用市售彩电开关电源中的分流管代用。

拆下电源/驱动板，更换损坏元件。上电，测各路输出电压正常，连接 CPU 主板，屏显正常。检测驱动电路的六路触发脉冲正常，整机装配后，带电动机试验。修复。

### 故障实例 2

该机在遭受雷击损坏修复后，运行了一个多月，又出现了奇怪的故障现象：运行当中出现随机停机现象，可能几天停机一次，也可能几个小时停机一次；起动困难，起动过程中电容充电接触器“哒哒”跳动，起动失败，但操作面板不显示故障代码。费些力气起动成功后又能运转一段时间。

将控制板从现场拆回，将热继电器的端子短接，以防进入热保护状态不能试机；将充电

接触器的触点检测端子短接以防进入低电压保护状态不能试机，进行全面检修，检查不出什么异常。

又将控制板装回机器，上电试机，起动时充电接触器“哒哒”跳动，不能起动。拔掉12CN插头散热风扇的连线，为开关电源减轻负载后，情况大为好转，起动成功率上升。仔细观察，起动过程中显示面板的显示亮度有所降低，判断故障为开关电源带负载能力差。

拆下电源/驱动板，从机外送入直流500V维修电源，单独检修开关电源电路。

各路电源输出空载时，输出电压为正常值。将各路电源输出加接电阻性负载，电压值略有降低；+24V接入散热风扇和继电器负载后，5V降为4.7V，此时屏显及其他操作均正常。但若使变频器进入起动状态，则出现继电器“哒哒”跳动，间或出现“直流电压低”、“CPU与操作面板通信中断”等故障代码，使操作失败。测量中，当5V降为4.5V以下时，则变频器马上会从起动状态变为待机状态。详查各电源负载电路，均无异常。

分析：控制电源带负载能力差的判断是正确的。由于CPU对电源的要求比较苛刻，不低于4.7V时，尚能勉强工作；但当低于4.5V时，则被强制进入“待机状态”；在4.7~4.5V之间时，则检测电路工作发出故障报警。

意想不到的的是此故障的检修竟然相当棘手，遍查开关电源的相关元器件竟“无一损坏”！试将U1(KA431AZ)的基准电压分压电阻之一的R1(5101)并联电阻试验，其目的是改变分压值而使输出电压上升。测输出电压略有上升，但带载能力仍差。仔细观察电路板，分流调整管VT1似有焊接痕迹，但看其型号为原型号，即使更换也是从同类机中拆换的。该机的开关管VT2为高反压和高放大倍数的双极型晶体管，市场上较难购到，况电路对这两只管子的参数有较严格的要求。再结合故障分析，可能为VT2管子低效，如 $\beta$ 值降低等，使TC2储能下降，电路带载能力变差；也可能为VT1的工作偏移，对VT2基极电流分流能力过强，使电源带载能力变差。试调整电路，将分流调整管的工作点下调，使之降低对VT2基极电流的分流作用，进而提升开关管VT2的导通能力，使TC2储能增加。

试将与电压反馈光耦合器串接的电阻R6(330 $\Omega$ )串联47 $\Omega$ 电阻以减小VT1的基极电流，进而降低其对VT2的分流能力，使电源的带载能力有所增强。上电试机，无论加载或起动操作，均稳定输出5V，故障排除！

故障推断：VT1有老化现象，放大能力下降，故经分流后的 $I_b$ 值不足使其饱和导通（导通电阻增大）而使电源带载能力变差；分流支路有特性偏移现象，使分流过大，VT1得不到良好驱动，从而使电源带载能力差。

附记：以后该机又因模块损坏故障送修，手头有QM5HLL-24管子，故换掉VT2，将串接47 $\Omega$ 电阻解除，恢复原电路后，开关电源工作正常。说明该机器开关电源电路带载能力差的故障原因，确为VT2开关管低效所致。

### 3.5 开关电源的经典电路及故障实例之二

图3-11为台安N2-405-1013 3.7kW开关电源电路图，开关电源电路的供电由直流回路的530V取得。

R248、R249、R250、R266 4只75k $\Omega$ 2W电阻承担了输送电源起动电流的任务，可称之为起动电路。电源起振后，IC201的供电即由自供电绕组N2的输出电压经VD215、C236整

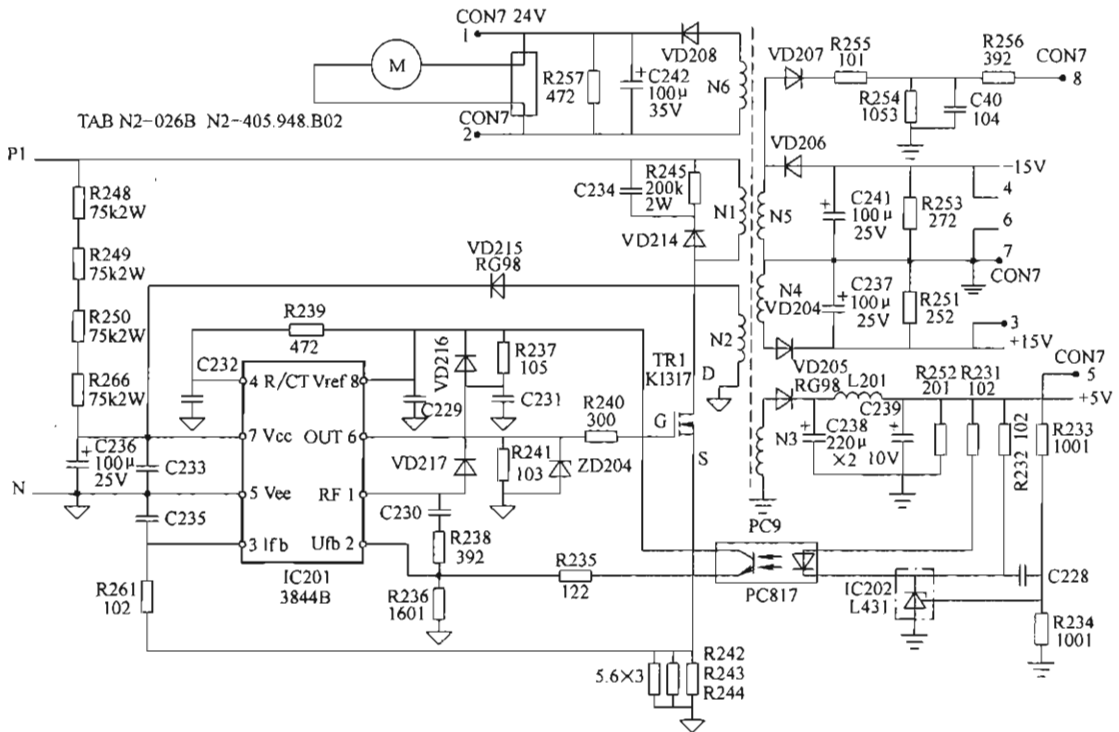


图 3-11 台安 N2-405-1013 3.7kW 开关电源电路

流滤波成直流电压供给。电源起动后，IC201 的 8 脚输出 5V 基准电压，除提供 8、4 脚之间的 R、C 振荡定时电路的供电外，还提供稳压控制电路中 PC9 输出侧内部晶体管的电源；IC201 的 1、2 脚之间所并联的 R238、C230 等元件，构成了内部电压误差放大器的反馈回路，决定了放大器的增益和频率传输特性。由 1 脚到 8 脚的 VD216、VD217，则将 1 脚电位嵌位在 6.2V 左右，当反馈电压瞬间过低时，避免了 IC201 内部误差放大器输出过高的电压信号，而使输出电压产生过冲现象；6 脚内部为 PWM 波形成电路，振荡脉冲由 6 脚输出，由 R241、ZD204 消噪和正向限幅，经 R240 加到开关管 TR1 的栅极，TR1 的导通，形成了开关变压器 TL1 一次绕组 N1 中的电流，TL1 的自供电绕组、二次绕组随即产生感生电压，并经负载电路形成输出电流通路。

TL1 一次绕组中的电流，在 R242、R243、R244 3 只并联电流采样电阻上，产生电压降信号，此电流采样信号经 R261 输入到 IC201 的 3 脚，与内部电路基准电压比较，产生控制信号送后级 PWM 波形成电路。因电流采样信号能对一次绕组电流变化做出快速反应，使整体电路有较好的电流控制性能，在过电流程度较轻时，电流的闭环控制，使输出电流趋于稳定，在过电流程度较重时，使开关电源停振，保护了开关管和后级负载电路的安全。

稳压电路由 5V 输出端、R233、R234、IC202、PC9、IC201 的 8 脚基准电压、R235、R236 等环节构成。开关电源输出的 5V 为 CPU 直接供电，而 CPU 较之其他电路对供电有较苛刻的要求，要求电压的波动不大于 5%，因而开关电源的电压反馈信号就取自这里。5V 电源是直接受开关电源稳压支路控制的，属于“嫡系电源”，其他各路输出电源的稳压精度稍次之，属于“旁系电源”了。

稳压控制过程如下：当 5V 输出电压上升时，R233、R234 分压点电压上升，流过电压

基准源 L431 阳极、阴极间的电流上升, 因 R231 的降压作用, L431 阳极电压反而下降。L431 电路出现了一个负的电压放大倍数, 回路电流的上升, 使光耦合器 PC9 中的二极管发光强度随之上升, PC9 输出侧光敏晶体管因受光面的光通量上升, 其导通等效内阻减小, 由 R235 输入到 IC201 的 2 脚 (反馈电压引入脚) 的电压升高, IC201 内部误差放大器的输出增大, 此信号控制内部 PWM 波发生器, IC201 的 6 脚输出的脉冲占空比变化——低电平脉冲时间加长, 使开关管 TR1 的截止时间变长, 开关变压器 TL1 的储能减少, 二次绕组输出电压回落。在因电网电压降低或负载电流上升, 引起 5V 输出电压下降时, 实施反过程稳压控制。

二次绕组的整流、滤波电路输出 24V、15V、-15V 等各路常规用电。-15V 的供电绕组, 有两组整流电路, 一路即 D206、C241 的 -15V 电源, 一路是 VD207、R225、R254、C40、R226 等的正电压输出电路。注意, 此路“电源”的滤波电容仅为 0.1 $\mu$ F, 又经约 10k $\Omega$  电阻串联输出。这路输出显然是不能当作电源使用的, 它不需要提供大的负载电流, 它只是提供一个电压信号, 它是直流回路的电压检测输出信号。这个模拟电压信号, 反映了 530V 直流回路电压的高低。

从维修的角度出发, 同分立元件构成的开关电源电路一样, 可将本电路分为 4 个工作环节:

1) 振荡支路。R248、R249、R250、R266 为电源起动电路; N2 绕组、VD215 等构成提供 IC201 的工作供电; IC201 本身及 4、8、6 脚内电路和外接元件、TR1、N1 绕组等构成了振荡电路。

2) 稳压控制支路。N3 绕组、+5V 整流滤波电路、IC202、PC9、IC201 的 1、2 脚内电路和外接元件等, 构成了稳压电路。

3) 保护电路。TR1 的源极电流采样电阻、R261、IC201 的内部电路等构成了电流保护电路; 上述稳压控制支路也可看作是一个电压保护支路; N1 绕组并联的尖峰电压吸收网络 (TR1 反向电流泄放通路), 则可看作是又一个电压保护支路。

4) 二次绕组供电电路及负载电路。

#### 故障实例 1

接手一台台安 N2-405-1013 3.7kW 变频器, 检测主电路无短路故障。接入交流 380V 维修隔离电源, 上电即跳 OC 故障, 检测逆变输出模块未损坏, 6 块逆变驱动 IC 已损坏大半。进一步检查发现, 开关电源有一奇特现象: 甩开 CPU 主板供电时, 测 5V 正常, 但其他支路的供电较正常偏高, 如 15V 为 18V, 22V 的驱动供电为 26V, 担插上 CPU 主板的接线排时, 测 +5V 仍正常, 但其他支路的供电较则出现异常升高现象! 如 22V 的驱动供电甚至于上升为近 40V (驱动 IC 电路的供电极限电压为 36V), 驱动 IC 的损坏即源于此。

重点检查稳压环节, IC202、PC9 等外围电路皆无异常。脱开 5V 负载电路后, 在 R233 上并联 5k $\Omega$  电阻, 输出 5V 电压有明显下降, 且能稳压在一定值上, 说明稳压电路是在正常工作的。进一步查找其他电路也无“异常”, 检修陷入僵局。

分析: 电路的稳压环节是起作用的。稳压电路的电压采样取自 5V 电路, 拔掉 CPU 主板的接线排时, 相当于 5V 轻载或空载, 5V 的上升趋势使电压负反馈量加大, 电源开关管驱动脉冲的占空比减小, 开关变压器的励磁电流减小, 其他支路的输出电压相对较低; 当插入 CPU 主板的接线排时, 相当于 5V 带载或重载, 5V 的下降趋势使电压负反馈量减小, 电源开关管驱动脉冲的占空比加大, 开关变压器的励磁电流上升, 使其他支路的输出电压幅度上升。现在的状况是, 5V 电路空载时, 其他供电虽输出较低, 但仍偏高。5V 加载后, 其他供

电支路则出现异常高的电压输出！故障环节要么是5V供电电路本身故障导致带载能力变差，要么是负载电路异常（过载），两者的异常都使得稳压电路进行了恪尽职守的“误”调节，结果是维护了5V故障电路的“电压稳定”，出现了其他供电支路“电压的异常上升”！

下面检修5V电源输出电路，拔下电源滤波电容C238、C239，检测：两只电容容量仅十几个微法，且存在明显的漏电电阻。两只电容的失效正好满足了两个条件：容量变小使电源带载能力差，漏电使负载变重。

更换C238、C239电容后，开关电源的各路供电输出正常。

### 故障实例2

一台英威腾P9/G9 55kW变频器，开关电源电路结构同图3-11接近。机器在雷雨天气中突然停机，面板无显示，疑遭雷击损坏。

检查：输入整流模块与输出逆变模块均无损坏。开关电源无输出，开关管损坏，电源引入铜箔条及开关管漏极回路的铜箔条都已与基板脱离，说明该机可能从电源引线引入了雷电，致使开关电源电路损坏。

更换开关管、开关管源极电流信号采样电阻、振荡块3844B和开关电源供电熔断器F1后，给开关电源先送入直流300V直流维修电源，不起振；再送入500V直流维修电源，上电即烧电源熔断器F1。停电测量检查，无短路现象，更换保险管后上电，供电电压低于300V直流时，电路不起振，送入500V时仍烧熔断器。

分析：开关电源供电低时，电路不起振。当供电高到一定幅值时，如直流450V时，电源有可能起振。是否为电源起振后，电路存在“交流”短路而烧掉F1呢？因为据检测，无短路元件，不存在直流短路呀。交流短路的原因，不外乎开关变压器匝间短路、负载电路有元件有加电后软击穿现象。

又检查了一遍，甚至代换开关变压器试验，无效。将负载电路逐一切除，无效。检修进入死胡同。

在观察电路板的过程中，无意中观察到开关电源的电路板上有一条异常黑线！开关电源的530V直流电源通过主直流回路引入，电路板为双面电路板。电源引入端子在电路板的边缘，正面为+极引线铜箔条，反面为-极引线铜箔条，发现电路板边缘——+、-铜箔条之间有一条“黑线”！由于雷雨潮湿天气，使电路板材的绝缘降低，引起+、-铜箔条之间跳火，电路板碳化。电源电压低于某值时不会击穿，高于500V时便使碳化电路板击穿，烧断熔丝。烧断熔丝的原因并非起振后开关管回路有短路故障，而由电路板碳化引起。检修中并未从供电现象得出绝缘不良的原因，使检修走了一段弯路。

清除电路板边缘的碳化物并做好绝缘处理，送入500V时不再烧熔丝，但不能起振。检查开关变压器自供电绕组的整流二极管D38（LL4148）有一定的反向电阻（整流效率变低），更换后试机正常。

由电路板潮湿后，电源引线铜箔条之间的绝缘介质被击穿碳化，引起烧熔丝故障，这也是开关电源中较少碰到的故障现象。

## 3.6 开关电源的经典电路及故障实例之三

图3-12为康沃CVF-G 5.5kW变频器开关电源电路，本机的电压反馈信号也取自自供电

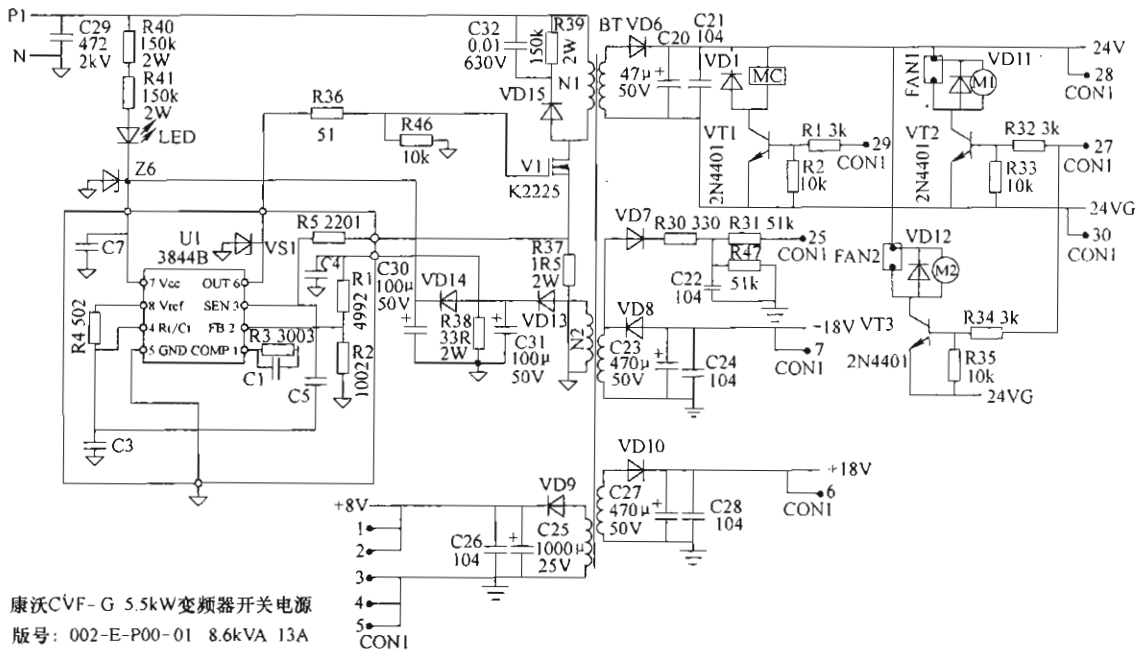


图 3-12 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器开关电源电路

绕组 N2，而非取自二次绕组的整流电压。二次绕组输出的各路供电电压，为间接稳压控制，控制精度不高，故各路输出电压再经后级稳压电路处理后，再送至负载电路。

R40、R41、LED 组成上电起动电路，为振荡芯片 U1 (3844B) 提供上电时的起振电流。在电路起振工作后，由自供电绕组、VD13、VD14、C30 构成的整流滤波电路为 U1 提供工作电源。自供电绕组、VD13、C31 整流滤波电路输出的电压，同时也作为反馈电压信号输入到 U1 的 2 脚，由内部误差放大器与基准电压处理，输出控制电压控制内部 PWM 波发生器，改变 U1 的 6 脚输出脉冲的占空比，从而控制开关管 K2225 的导通与截止时间，维持二次绕组输出电压的稳定。自供电绕组、VD13、VD14、C30、C31 既是 U1 的供电电源，同时构成了稳压电路，将因电网电压波动或负载电流变动引起的二次绕组输出电压的变化，反馈到 U1 的 2 脚，实现稳压控制。

二次绕组输出电压经 VD9、C25 整流滤波成 8V 直流电源，送入 CPU 主板，再经后级电路稳压成 5V，供 CPU 电路；二次绕组输出电压经 VD6、C20 整流滤波成 24V 直流电源，供充电继电器 MC 的线圈供电，变频器上电时，先由充电电阻给直流电路的储能电容器充电，CPU 再输出一个 MC 闭合指令（由 CON1 端子的 29 脚进入），MC 闭合，将充电电阻短接。24V 电源还作为两只散热风扇的供电电源，两只散热风扇由晶体管 VT2、VT3 驱动，风扇运转指令也由 CPU 从端子 CON1 的 27 脚输入，控制 VT2、VT3 的导通与截止。另有两组 VD10、C27 和 VD8、C23 等整流滤波电源，分别输出 ±18V 两路供电，送入 CPU 主板，再由后级稳压电路处理成 ±15V 直流稳压电源，供电流、电压保护检测电路和控制电路。-18V 的供电绕组，同时还由 VD7 正向整流成正电压，作为直流电压的检测信号，送入后级直流电路电压检测电路，进一步处理后，送入 CPU，供过、欠电压保护、直流电压显示、参与输出电压控制等。

图 3-12 也可将电路分为振荡、稳压、保护等 3 个支路来进行检修。

### 故障实例 1

接手了 3 台康沃 CVF-G1 型小功率机器，故障皆为开关电源无输出，操作显示面板无屏显，电路如图 3-12 所示。

所有开关电源不外乎有以下几条支路：

1) 上电起动支路，往往由数只较大阻值的电阻串联而成，上电时将 530V 直流电压引至 3844B 供电脚，提供开关管的起振电压。

2) 正反馈和工作电源支路，由反馈绕组和整流滤波电路组成（有的机器由两绕组供电支路组成，有的兼用）。

3) 稳压支路，一般由二次侧 5V 供电支路，将 5V 电压的变化由光耦合器反馈到一次侧 3844B 的 2 脚，但该机型的电压反馈是取自一次侧自供电绕组。

电路起振的条件是：

1) 530V 供电回路正常，530V 直流经一次绕组加至开关管漏极，开关管源极经小阻值电流采样电阻形成供电回路。

2) 上电起动支路正常，提供足够幅度的起振电压（电流）。

3) 正反馈和工作电源支路正常，提供满足幅度要求的正反馈电压（电流）和工作电源。

4) 负载侧无短路，负载侧短路无法使正反馈电压建立起来足够的幅度或由此引发电流保护电路起控，故电路不能正常起振。

以上电路构成了开关电源回路。为缩小故障，应采用将稳压支路开路，看电路能否起振。方法是：将 530V 供电切断，对振荡芯片 U3844B 单独供入 18V 直流电源，测 8、6 脚的电压输出。若电路能起振——6、8 脚有相应电压输出，说明满足起振条件的前 3 个支路大致正常，可进而排查稳压支路负载电路的故障元件。若仍不能起振，说明故障在振荡回路，可查找上述的 4 个支路。

依上述检查次序，甲、乙、丙机开关电源的故障都在振荡电路。检查甲机 4 个支路及 3844B 外围元件都无异常，试将一块 3845B 代换之，电源输出正常，修复；乙机，换用 3845B 后仍不能起振，4 个支路元件都无异常，试将上电起动支路的 R40、R41 串联 300k $\Omega$  电阻上并联 390k $\Omega$  电阻后，上电恢复正常；丙机也为 3844B 损坏，换新块后故障排除。

只有乙机的故障稍微有趣，试分析如下：

表面看起来，乙机查不出一个故障损坏元件，成了疑难故障。但减小起动支路的电阻值后，则能正常工作。乙机的“异常之处”到底在哪里呢？可能是元器件性能的微弱变化导致电路综合参数的变动，如开关管放大能力的稍微降低，或开关变压器因轻度受潮使 Q 值变化，或 3844B 输出内阻有所增大，或阻容元件有轻微变异，上述原因的查找与确认委实不易，或者是有一种，甚至有可能是数种原因参与其中。但上述多种原因只导致了一个后果：开关管不能被有效起动，电路不能起振！解决的办法是转变现有状态，往促成开关管起振的方面下力气，在起动支路并联电阻是最省力也是最有效的一个方法。

顺便说明一下，该机的起动支路电阻为 300k $\Omega$ ，再加上其他环节的电阻，实际加到开关管栅极的起动电流仅 1mA 多一点。按道理说，虽然场效应晶体管为电压控制器件，理论上不吸取电流，但能使其导通的结电容充电电流，恰恰是使其导通的硬指标。从此一角度来讲，场效应晶体管仍为电流驱动器件。当电路参数产生变动后，原起动支路的供给电流不足

以使开关管导通乃至微导通，所以电路不能起振。将此起动电流值稍稍加大，电路便有可能起振。300k $\Omega$  启动电阻只是提供 UC3844 的起振电压，并不直接参与对开关管的导通控制，稍稍减小其阻值，能够促成电路起振。

因而高效率的修理方法不妨走以下的路子：检查开关管不坏，4 个支路大致无异常，先在起动支路上并联电阻试验，无效后，再换用 3844B，再无效，才下功夫细查电路。往往在第 1)、2) 个步骤，故障就已经排除了。

### 故障实例 2

一台康沃 CVF-G1 型小功率变频器，上电，操作面板无显示，检测主电路输入、输出端子电阻均正常。判断为控制板开关电源故障。细听有轻微的间隔的“嗒嗒”声（开关电源的间歇振荡倒不一定是“打嗝”声或“吱吱”声啊），显然为电源起振困难。据经验，此种现象多为电源负载异常引起。查各路电源的整流、滤波及负载电路，均无异常；先后脱开散热风扇电源、逆变驱动电源、操作面板显示电源等电流较大的电源支路，故障现象依旧。

莫非不是负载电路异常所引起，但故障特征为典型的负载电路过电流，引起电流检测电路起控。

检查并联在开关变压器一次绕组的尖峰电压吸收网络 R39、C32、VD15，用指针式万用表测量二极管正反向电阻均为 15 $\Omega$ ，感觉异常。将二极管 VD15 焊开一端检测，正常。细观察，电容器有细微裂纹，测其两引脚电阻值，近于短路了。将 C32 更换后，机器恢复正常。

此电容短路引起开关电源起振困难的故障殊不多见。

此尖峰电压吸收网络的设置，本是为了吸收开关管截止期间产生的异常的危及开关管安全的尖峰电压，但电容被击穿后，相当于开关变压器的一次绕组负载加重，有一点交流短路的意思。使开关变压器容易进入磁饱和区，从而使自供电绕组感生电压大为降低，UC3844 内部的欠电压保护电路起控，造成了与电流保护电路起控一样的，引发电路进入间歇振荡状态——的电路振荡，然后因供电电压低落，电路停振；然后电路重新起振，又停振，这样一个过程。

### 故障实例 3

一台康沃 CVF-G1 型小功率变频器，上电时，操作显示机板的显示时有时无，测量开关电源电路的各路供电电压，也是时有时无。当脱开 24V 供电端子时，显示正常。故障为散热风扇损坏，将风扇换新后故障排除。

故障实例 3 说明好多电源故障其实是很容易排除的。简单的故障修复过程，往往没做什么笔记。上述实例，多为故障检修中碰到的疑难问题，就记下来了。如停振故障，仍以开关管与 UC3844 损坏为多。疑难故障毕竟只是少数，可是碰上一个，就应该想办法解决，好多个检测方法，可以说是被疑难故障逼出来的。

## 3.7 大功率变频器的开关电源

打开东元 7300PA 300kW (446kVA) 的机壳，找到开关电源电路，一看其结构布局，就感到与其他变频器的开关电源电路不太一样。有两只大个头的开关变压器和两只小个头的变压器，开关管好像有 4 只。不错，大功率变频器所需电源容量较大，尤其是驱动电路，需要较大的功率输出能力，故开关电源电路与小功率变频器有了明显不同。开关电源电路可分为



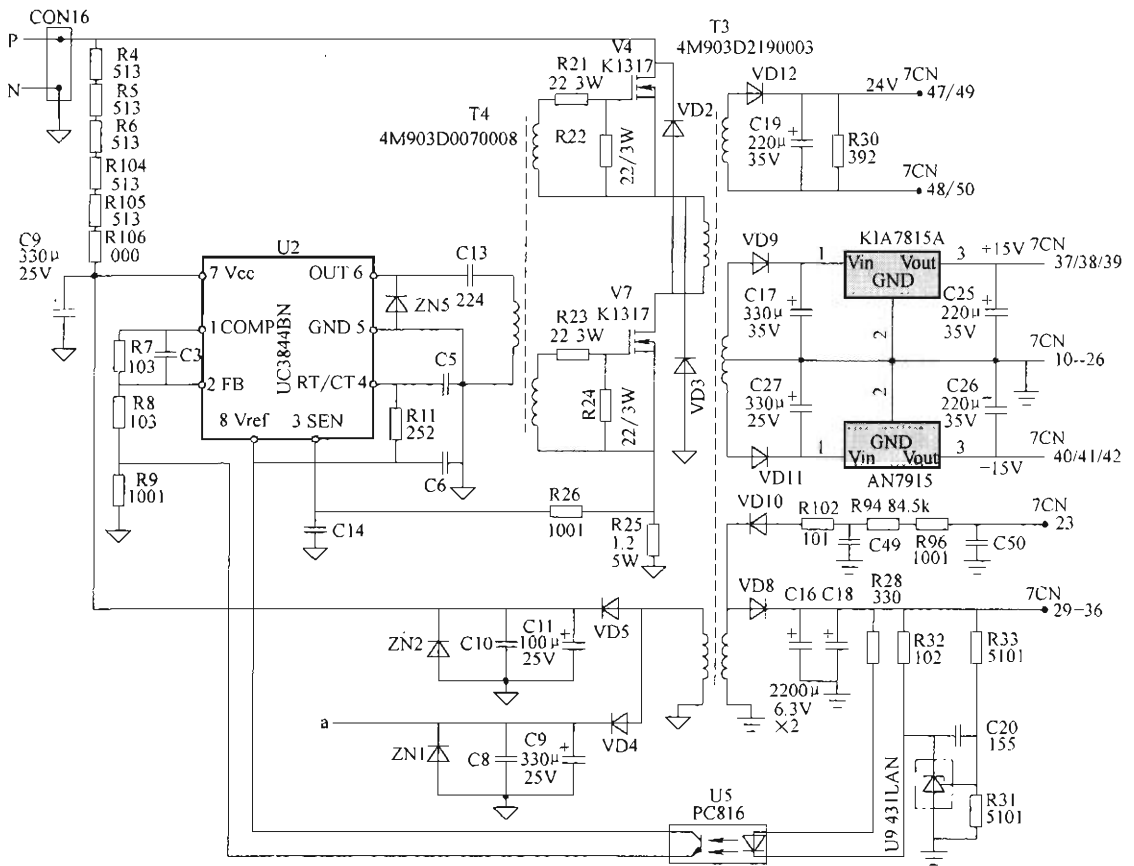


图 3-13 东元 7300PA 300kW 变频器开关电源一图

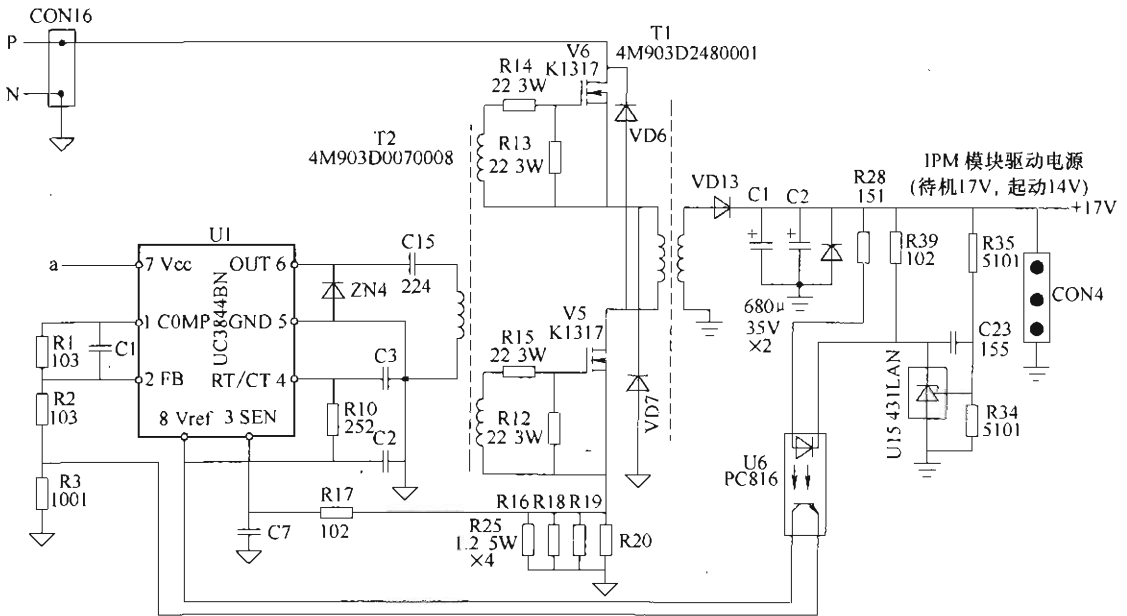


图 3-14 东元 7300PA 300kW 变频器开关电源二图

两部分。如图 3-13 和图 3-14，前者提供整机控制电路的用电，后者单独提供 IPM 智能功率模块内部驱动电路的供电。4 只变压器，两个个头小的，是激励变压器（推动变压器），两个个头大的，为输出变压器。开关变压器的一次回路，由 V4 和 V7 两只管子的同时通断，提供主电流通路，此种工作方式，称为双端控制方式。当电源功率达 300W 以上时，多采用双端正激电路。

如图 3-13 电路：由 U2（UC3844BN）产生振荡脉冲，再经激励变压器 T4 分解为同相位的两路脉冲同步驱动开关管 V4 和 V7。在一次振荡回路采用双管，可提高电源容量和降低管子的耐压。电流采样信号由 R25 上取得；电压反馈信号由 5V 输出端取得，以使 CPU 主板供电得到较好的稳定效果；R4、R5、R6、R104、R105、R106 提供 U2 的起振电压与电流，建立振荡后由 VD5 支路提供 U2 的供电。VD12 支路输出 24V 电路，提供工作继电器及控制端子的供电；VD9、C17、D11、C27 的整流滤波电压，又经 7815、7915 稳压成 15V，用作 CPU 主板控制电路、故障检测电路的供电；5V 输出供 CPU 主板、操作显示面板的用电，同时，VD10 支路输出 -16V（随直流回路电压而变的可变电压）电压，作为直流回路的电压检测信号，输入到 CPU，供主回路电压显示和参与 CPU 的相关控制。

电路起振工作后，自供电绕组、VD5、C11 回路提供 U2 的工作电压，同时，自供电绕组、VD4、C9 回路提供了图 3-14 电路 U1 的工作供电。当图 3-13 电路故障时，图 3-14 电路无工作电源而停止工作，IPM 模块随即失去驱动电压。正常工作时，有一个工作时序：图 3-13 整机控制电压正常建立后，IPM 驱动电路才具备工作条件。

本机器逆变输出电路采用了 3 只 IPM 智能功率模块（SEMIKRON SK11P 1203GB122-2DL）。IPM 模块是将驱动电路、模块故障检测保护电路和大功率 IGBT 集成在一起的，而所有逆变模块的供电，只用了这一路 17V 直流电源。6 只 IGBT 管子的驱动电流，都是取自此一电源的，要求电源本身有较大的电流输出能力。实际测量，变频器在停机（空载）状态，此路供电为 17V，起动变频器后，降为 14V。

两路开关电源的特点，与其他变频器的电源相比，多出了 T2、T4 两只激励变压器的中间环节，这是检修中须予以注意的地方。

#### 故障实例 1

一台东元 7300PA 300kW 变频器，起动运行后，操作显示面板上有输出频率指示，但电动机不转，用指针式万用表的 500V 交流档测不到交流电压的输出。表面看起来，该机的开关电源电路肯定工作正常，怀疑问题出在驱动电路或 CPU 主板的六路脉冲电路环节。

拆机检查，机器逆变电路采用 3 块 IPM 大功率智能模块，功率驱动电路在模块内部。测量 IPM 模块的驱动供电电压，为 0V。本机开关电源电路如图 3-14 所示，驱动电路的供电由一个独立的开关电源来提供，该电源的振荡芯片的工作电压是由前开关电源电路（见图 3-13）的 a 点引入的。

经详细检查，发现 a 点铜箔条因潮湿而霉断。用导线连接后，IPM 驱动电路的 17V 供电恢复。变频器输出正常，电动机运转。

三相无输出，逆变电路不工作，出在这一路 17V 供电电源上，也有点出人意料啊。

#### 故障实例 2

在对阿尔法小功率变频器维修的过程中，发现该变频器有一个通病——容易跳 OC 故障。其表现为：多在起、停操作过程中跳故障，但有时也在运行中跳故障；有时候莫名其妙

地又好了，能运行长短不一的一段时间。在以为已经没有问题的时候，又开始频繁跳 OC 故障；空载时用表笔测量 U、V、W 输出电压时，易跳故障，但接入电动机后起动运行，又不跳了，再过一阵子，接入电动机还是跳 OC 故障。

无论怎么查找故障原因和进行故障检测电路逐一的排查，就是找不出故障原因（当然是针对逆变电路和驱动电路），逆变电路和驱动电路都无问题呀。又检查故障检测电路和 CPU 电路，该类机型故障检测电路有一个故障信号汇总点，过、欠电压、OC 等信号统统汇集于一处，再送入 CPU 电路，将此故障汇总点切断，变频器还是频报 OC 故障。难道别处还有串入 OC 信号的途径吗？不大可能啊！

该类故障的处理相当棘手，可能在测试过程中故障已经消除，致使查无所据。即使在故障频繁发生的当口，测试硬件电路（保护电路），却怎么也检查不出什么问题，搞不清此故障的来龙去脉。

可能电路存在说不清道不明的某种干扰，但干扰的来源与起因又很难查找。绞尽脑汁用尽了一切手段，在故障信号电路中，加装电容、电阻滤波元件，以提高电路的抗干扰性能，但无效果。莫非是起/停瞬间——逆变驱动模块的“加载和卸载”期间，导致了 CPU 供电的波动而跳故障吗？测量 CPU 供电为 4.98V，很稳定，满足要求呀。无来由地灵机一动，将 4.98V 调整为 5.02V，再作起/停试验，故障竟然排除了！故障原因竟然为 5V 供电偏低！

试分析故障原因如下：

CPU 外部或内部静态电压工作点的设置不当或偏低，恰在信号干扰电平的临界点上，故易出现让人摸不着头脑的随机性的跳 OC 故障的现象。将其 5V 供电略调高后，其工作点的电压值也相应抬高，避开了干扰电平的临界点，变频器便变为正常了。

机器在出厂时，CPU 供电调整值略高一点的，机器便能长时间正常运行。调整值偏低一点的，或在使用过程中因某种原因（如元件变值、温飘等）使 5V 略有下降，便出现频繁跳 OC 的故障。在确保硬件保护电路无问题时，调整 5V 供电，便能轻易解决问题了。不是出于一个偶然的因素，则此故障的隐蔽性之深，让人很难将此一故障“调理”好。

OC 故障的根源，竟然在开关电源电路上，又只是 5V 电压只是低那么一点点，真是有点匪夷所思了啊。

## 第4章 变频器驱动电路的检修

变频器维修中的大部分时间都是在驱动电路上“折腾”。但这种折腾又是非常必要的——与其让逆变功率模块承受损坏的危险，不如在驱动电路上多下一点功夫。哪一台变频器的维修，都似乎经受不住逆变功率模块的重复性损坏。赔钱式维修是任何一个维修人员都不愿看到的局面。

逆变功率模块与驱动电路有斩不断的“血缘关系”，这不单是从信号流程上来讲的。驱动电路的异常，不仅表现为逆变模块的“无法正常工作”，而且可能会导致上电过程中逆变功率模块不可逆的损坏——直接炸裂！驱动电路也不仅是提供逆变功率电路的六路激励脉冲，往往也承担着对 IGBT 的管压降检测和驱动电压的检测，因而也像“贴身警卫”一样承担着对逆变功率模块的直接保护任务。变频器的电流互感器及后续电流检测电路主要分担着对输出频率的控制和电流显示的任务，它所实施的对 IGBT 的故障报警和过电流保护，是较为迟缓的、间接的和有条件的，不像驱动电路这样直接。

变频器电路中的逆变功率模块是易损部件，这也就决定了驱动电路是“事故频发地段”。当逆变功率模块击穿损坏时，驱动电路首当其冲，也会经受强电动势冲击而被动损坏，很少有幸免于难者。

因而逆变功率模块损坏后，必须对驱动电路进行彻底检查，解决两个疑点：模块的损坏是模块质量、负载短路原因，还是因驱动电路不良引起；对逆变功率模块的更换，必须是在彻底检查驱动电路是正常的前提下进行。要避免一个问题出现：驱动电路存在故障，模块有可能在上电或试机过程中炸毁！

一定要将本章内容与第2章结合起来看，如果把驱动电路看成为一个电源电路，把逆变功率模块看成一个负载电路的话，则只有当电源与负载连接在一起后，才能显现出两者的故障所在。

### 4.1 驱动电路的供电电源

图 4-1 为驱动电路的电源供应图。

1) 除少数大功率变频器的驱动电路，采用独立电源供电外，大部分驱动电路的供电取自开关电源电路。因而驱动电路也是开关电源电路的一个负载电路之一，当驱动 IC（或驱动 IC 后级功放电路）短路时，开关电源因负载过重会出现间歇振荡的故障现象。而开关电源的带负载能力不足时，也会令驱动电路频报 OC 故障，出现断相运行等现象，尤其当负供电（IGBT 的截止电压）丢失和 IGBT 的触发回路处于开路状态时，很容易使 IGBT 模块炸裂！驱动电路与开关电源电路是密切关联的。

2) 变频器的逆变功率电路是由 6 只 IGBT 构成，有人称其为三相逆变桥，每相电路上、下臂 IGBT 组成。上三臂 IGBT V1、V3、V5 的驱动，因其 IGBT 的射极为三相输出端子 U、V、W，不是同一电位点，驱动电路须采用由 N1、N2、N3 3 个开关变压器独立绕组提供

的供电电源。而下三臂 IGBT 的驱动，因 3 只 IGBT 的射极共地 (N)，驱动电路可共用由 N4 绕组提供的供电电源。有的变频器电路，干脆采用了六路相隔离的供电电源，由开关变压器的 6 个绕组提供六组供电电源。但与变频器主电路连接后，还是形成了共 N 点。这为我们判断某电路是上臂 IGBT 还是下臂 IGBT 的驱动电路提供了测量依据。

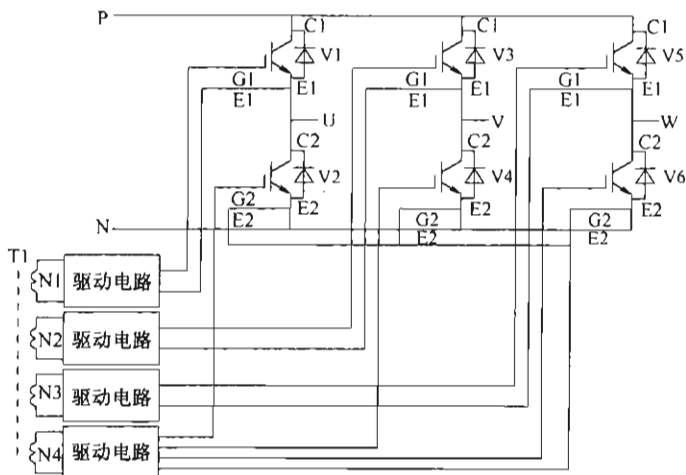


图 4-1 驱动电路的电源供应图

3) 普通单、双管 IGBT 模块或集成型逆变电路。因考虑到驱动信号的引线电感效应，和提高 IGBT 工作的可靠性，常采用正、负双电源供电模式；

少数逆变功率电路，是采用 IPM 智能模块的，驱动电路与 IGBT 保护电路是集成于模块内部的，故驱动电路的电源便为单电源模式了，甚至只提供了一路驱动电源（如第 3 章所述东元 300kW 变频器的 17V 驱动供电）。

大部分变频器驱动电路的电源形式，都与图 4-1 所示电路相同或近似。由开关变压器二次绕组输出的交流电压，经整流滤波成直流电压后，往往又经限流电阻和稳压管组成的稳压电路，处理成正、负双电源，再供给驱动电路和后续逆变功率电路。严格的说，驱动电路接受的仍为 22V 左右的单电源供电，但驱动电路的输出电路与 IGBT 的输入电路构成了正、负双电源回路，IGBT 和射极与电源 0V 端子是直接相通的，为等电位点。如果忽略驱动电路的输出内阻的话，相对于 0V 端子，驱动电路输出的是 15V 左右的正电压和 -7.5V 左右的负电压。在正电压输出时，IGBT 受正向电激励电压的作用而开通，而在负电压输出期间，IGBT 受反向截止电压而截止。为提高电路的可靠性，在待机和停止状态，IGBT 的 G、E 极间往往为栅负偏压所嵌位，以保障其处于可靠的截止状态下。

图 4-2 的 3 种电路，只是被稳压的对象不同，图 4-2a 所示电路将 -7.5V 稳压，图 4-2b 所示电路是将 +15V 稳压。但电路结构是相同的。开关电源二次绕组的输出电压，处于一个大的稳压控制环路中，如图 4-2a 所示电路中的 +15V 输出电压，虽未并接稳压二极管，但电压的稳定性仍有一定的保障。图 4-2c 所示电路中的正电压值为 +18V，负电压值为 -9V，比图 4-2a、b 电路稍高，对 IGBT 的控制电压要求，正向激励电压不低于 12V，典型值为 +15V，一

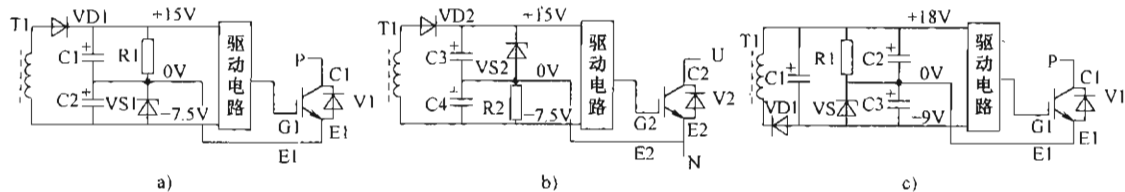


图 4-2 驱动电路供电电源的基本类型

一般为 15~18V；负载截止偏压不低于 -5V，典型值为 -7.5V，一般为 -10~-7.5V。

对驱动电路的检查，总是要配合对驱动电源的检测和对 IGBT 的检测。最终，当驱动电路形成一个完整的信号通路时（见图 4-1），检测才具有决定性的意义。当脉冲输出端子呈开路状态（与 IGBT 相脱离后），检测驱动电路的输出是正常的（空载状态是正常的），却不能保证驱动电源的带负载能力是正常的。IGBT 是电压控制型器件已成为公论和定论，但实际上运行中仍具有电流控制和驱动特性，对驱动电路的电流输出能力，也有比较严格的要求。

驱动电路、开关电源电路和逆变输出电路三者驱动电路的检修中，有着密切联系。当驱动电路故障时，必须同时检查这三种电路的工作状态。

## 4.2 认识驱动电路常用的几种驱动 IC

变频器驱动电路中的常用 IC 共有为数不多的几种。可以设想一下，变频器电路的通用电路，必定是主电路（包括三相整流电路和三相逆变电路）和驱动电路，即便是不同型号的功率级别不同的变频器，驱动电路也往往采用了同一型号的驱动 IC，甚至于驱动电路的结构和布局是非常类似的和接近的。

早期的和小功率的变频器机种，经常采用 TLP250、HCPL3120（A3120）驱动 IC，内部电路简单，不含 IGBT 保护电路；被大量广泛采用的是 PC923、PC929 的组合驱动电路，往往上三臂 IGBT 采用 PC923 驱动，而下三臂 IGBT 则采用 PC929 驱动，PC929 内含 IGBT 检测保护电路等。智能化程度比较高的专用驱动芯片 A316J，也在大量机型中被采用。

通过熟悉驱动 IC 的引脚功能和掌握相关的检测方法，达到掌握对驱动电路进行故障判断与检测的能力，以及能对不同型号的驱动 IC 应急进行代换与修复。

### 1. TLP250 和 HCPL3120 驱动 IC（见图 4-3）

TLP250：输入 IF 电流阈值为 5mA，电源电压为 10~35V，输出电流为  $\pm 0.5A$ ，隔离电压为 2500V，开通/关断时间（ $t_{PLH}/t_{PHL}$ ）为 0.5 $\mu s$ 。可直接驱动 50A 1200V 的 IGBT 模块，在小功率变频器驱动电路中和早期变频器产品中被普遍采用。

HCNW3120（A3120）：其与 HCPL3120、HCPLJ312 内部电路结构相同，只是因选材和工艺的不同，后者的电隔离能力低于前者。输入 IF 电流阈值为 2.5mA，电源电压为 15~30V，输出电流为  $\pm 2A$ ，隔离电压为 1414V，可直接驱动 150A 1200V 的 IGBT 模块。

3 种驱动 IC 的引脚功能基本一致，小功率机型中可用 TLP250 直接代换另两种 HCNW3120 和 HCPL3120，大多数情况下 TLP250、HCNW3120 可以互换，虽然它们的个别参数和内部电路有所差异，如 TLP250 的电流输出能力较低，但在中功率机型变频器中，驱动 IC 往往有后置放大器，对驱动 IC 的电流输出能力就不是太挑剔了。

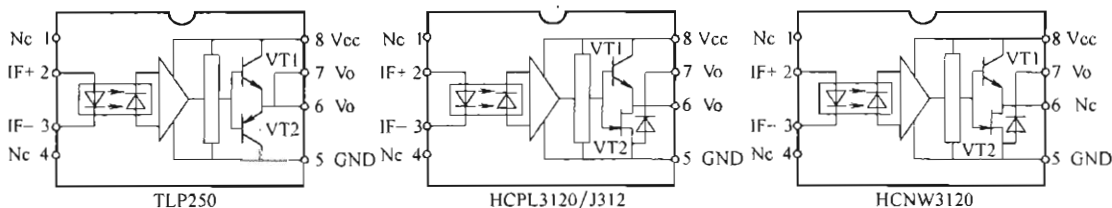


图 4-3 3 种驱动 IC 的功能电路图

驱动 IC 实质上都为光耦合器件，具有优良的电气隔离特性。输入侧内部电路为一只发光二极管，有明显的正、反向电阻特性。用指针式万用表  $R \times 1k$  档测量，2、3 脚正向电阻约为  $100k\Omega$  左右，反向电阻无穷大；用  $R \times 10k$  档测量，正向电阻约为  $25k\Omega$  左右，反向电阻也为无穷大。当然 2、3 脚与输出侧各引脚电阻，都是无穷大的。5、6 脚和 5、8 脚之间，均有鲜明的正、反向电阻，当 5 脚搭接红表笔时，有  $10 \sim 30k\Omega$  的电阻值，5 脚接黑表笔时，电阻值接近于无穷大。因选材、工艺和封装型式不同和测量仪表的选型不同，得出的测量数值会有一些的差异。TLP250 的输出电路采用互补式电压跟随器输出电路，V1、V2 均为双极型晶体管。而 HCPL3120 的输出电路 V2 采用了 DMOS 晶体管，两种芯片的输出侧电阻值有所差异。在上电检测中，从驱动 IC 的电路结构中可得出如下结论：当 2、3 脚输入电流通路接通时，TLP250 内部 V1 导通，6、7 脚则与 8 脚电压相近或相等；当 2、3 脚输入电流为零时，TLP250 内部 V2 导通，6、7 脚则与 5 脚电位相近或相等。这即是对 TLP250 好坏进行判断的依据。

TLP250 在线测量：

因机型不同，外围电路的数值不尽相同，所以测量得出的在线电阻值的参考意义不大。在供电状态下，可方便测出 TLP250 的好坏情况。驱动电路的带电检测，必须在单独检修驱动电路的情况下或已将逆变功率电路的供电切除的情况下进行！严禁在整机运行状态下，直接下笔测量驱动电路——由表笔引入的干扰信号会误触发 IGBT，造成严重损坏！在驱动电路供电正常的情况下和 CPU 主板能输出正常六路驱动脉冲的情况下，可以在线检测驱动 IC 的工作状态。

在变频器的控制电路处于停机状态时，测量 2、3 脚电压应为 0V，测量 5、6 脚电压应为 0V。操作变频器的操作显示面板，使之处于起动运行状态，测量 2、3 脚应有 0.6V 左右的正向电压值，此时测量 5、6 脚之间应有  $2 \sim 4V$  左右的电压输出。说明 TLP250 是好的。2、3 脚输入电压有变化，但输出脚无电压变化，或输出脚一直保持一个固定不变的高电平或低电平，说明 TLP250 损坏。

当然，也可用外加电源串联限流电阻提供 TLP250 的输入电流，检测输出脚的电压变化，来检测判断 TLP250 的好坏。上述检测方法同样适用于 HCNW3120 等的检测。

## 2. PC923、PC929 驱动 IC（见图 4-4）

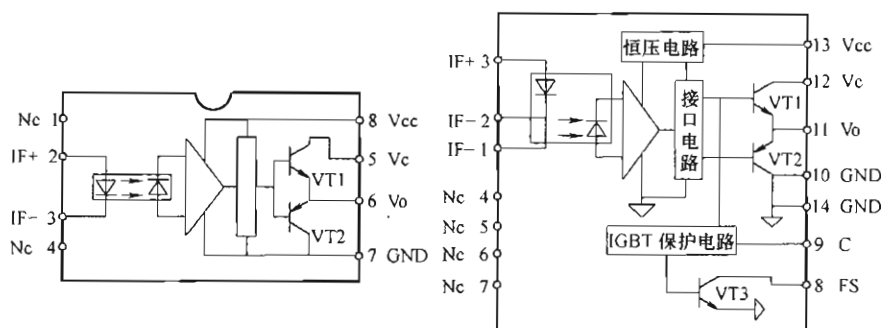


图 4-4 配对应用的驱动 IC：PC923（8 引脚）、PC929（14 引脚）

两片驱动 IC 经常成对出现，成为驱动电路的一个经典组合模式。PC923 用于上三臂（见图 4-1 中的 V1、V3、V5）IGBT 的驱动，PC929 则用于驱动下三臂（见图 4-1 中的 V2、

V4、V6) IGBT, 并同时承担对 IGBT 导通管压降的检测; 对 IGBT 实施过电流保护和输出 OC 报警信号的任务。PC929 与普通驱动 IC 的不同, 它内部含有 IGBT 保护电路和 OC 信号输出电路, 将驱动和保护功能集成于一体。PC923 和 PC929 与后置放大器构成的 U 相驱动电路如图 4-5 所示。

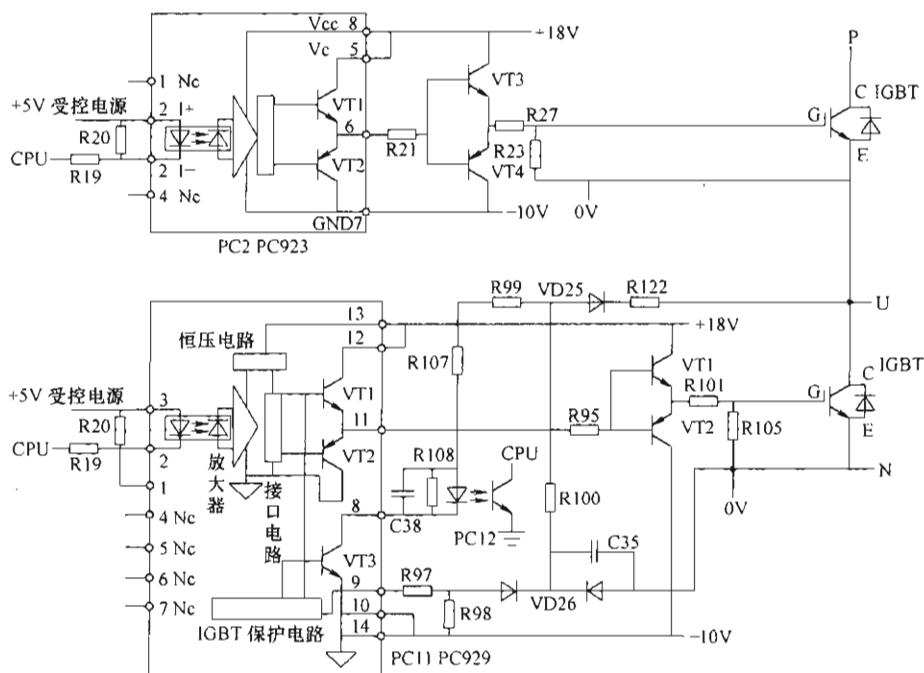


图 4-5 PC923 和 PC929 与后置放大器构成的 U 相驱动电路

PC923 的相关参数: 输入 IF 电流值为 5 ~ 20mA, 电源电压为 15 ~ 35V, 输出峰值电流为  $\pm 0.4$ A, 隔离电压为 5000V, 开通/关断时间 ( $t_{PLH}/t_{PHL}$ ) 为 0.5 $\mu$ s。可直接驱动 50A 1200V 以下的小功率 IGBT 模块。PC923 的电路结构同 TLP250 等相近, 但输出引脚不太一样。5、8 脚之间可接入限流电阻, 限制输出电流以保护内部 VT1、VT2 晶体管。常规应用, 是将 5、8 脚直接短接, 接入供电电源的正极。如果将输出侧引线改动一下, 也可以与 TLP520、A3120 等互为代换。其上电检测方法也同于 TLP250, 在此不予赘述。

PC929 的相关参数与 PC923 相接近, 在电路结构上要复杂一些。1、2 脚为内部发光二极管阴极, 3 脚为发光二极管阳极, 1、3 脚构成了信号输入端。4、5、6、7 脚为空端子。输入信号经内部光电耦合器、放大器隔离处理后经接口电路输入到推挽式输出电路。10、14 脚为输出侧供电负端, 13 脚为输出侧供电正端, 12 脚为输出级供电端, 一般应用中将 13、12 脚短接。11 脚为驱动信号输出端, 经栅极电阻接 IGBT 或后置功率放大电路。PC929 的 9 脚为 IGBT 管压降信号检测脚, 9、10 脚经外电路并联于 IGBT 的 C、E 极上。IGBT 在额定电流下的正常管压降仅为 3V 左右。异常管压降的产生表征了 IGBT 运行在危险的过电流状态下。PC929 的 8 脚为 IGBT 的 OC (过载、过电流、短路) 信号输出脚, 由外接光耦合器将故障信号返回 CPU。

PC929 内部 IGBT 保护电路的动作过程: 在正常状态下, 变频器无论处于待机或运行状态, 2、3 脚输入脉冲信号电流, 11 脚相继产生 15V 和 -7.5V 的输出驱动电压信号。此时



PC929 的 8 (FS) 脚一直为高电平状态; 当所驱动的 IGBT 流过异常电流时 (如 2 倍以上额定电流), IGBT 的导通管压降迅速上升, 使 9 脚电压到达故障报警阈值 (7V), PC929 内部的 IGBT 保护电路起控, 11 脚输出的正向激励电压降低, 使 IGBT 的导通电流下降, 同时控制 8 脚内部的晶体管 VT3 导通, 输出一个低电平的 OC 故障信号, 经外接光耦合器送入 CPU, CPU 据过电流情况实施保护停机等工作。

PC923、PC929 输出侧的各脚电阻值见表 4-1 (MF47 型指针式万用表 R $\times$ 1k 档, 红表笔搭接 GND 脚)

表 4-1 PC923、PC929 输出侧的各脚阻值 (单位: k $\Omega$ )

	2,3 脚		5,6 脚	5,7 脚	5,8 脚		
PC923	正向电阻 100	5 脚搭接红表笔	34	8.5	70		
	反向 $\infty$	5 脚搭接黑表笔	$\infty$	$\infty$	$\infty$		
	3,2 脚		10,8 脚	10,9 脚	10,11 脚	10,12 脚	10,13 脚
PC929	正向电阻 250	10 脚搭接红表笔	$\infty$	55	10	$\infty$	20
	反向 $\infty$	10 脚搭接黑表笔	13	13	12	11	10

在单独维修电源/驱动板的上电检测中, 因 PC929 的 9、10 脚与 IGBT 模块脱离, 一接受运行信号, 8 脚即报出 OC 故障信号, 11 脚输出脉冲电压也被内部 IGBT 保护电路所钳制, 致使无法测出 PC929 的工作状态。需采取相应措施, 解除 PC929 的管压降检测功能, 强制电路正常工作, 达到方便检测的目的 (具体方法见 4.3 节)。

### 3. 智能型驱动 IC——HCPL-316J (A316J)

图 4-6 和图 4-7 分别为 A316J 的内部结构图和原理图。A316J 的输出电流值达 2.5A, 可直接驱动 150A/1200V 的 IGBT。作为一种专用驱动芯片, 其各项功能已接近完善, 外围附属电路相对简洁。输入侧内部电路为数字门电路, 阻抗较高, 不必取用大的信号源电流。A316J 内含欠电压封锁输出电路和 IGBT 保护电路, 还内含输入脉冲信号和输出 OC 信号的两路光耦合器; 具有故障时封锁驱动脉冲和故障复位控制功能, 与 CPU 配合, 可实现自动停

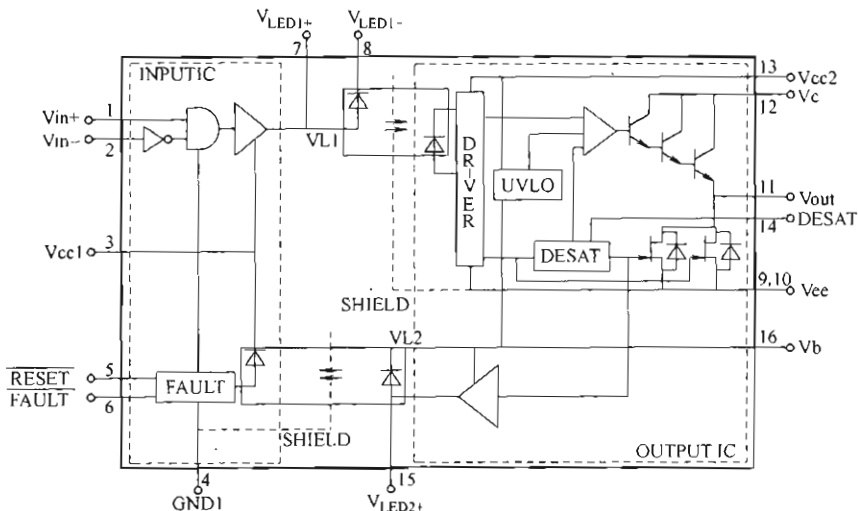


图 4-6 A316J 内部结构框图及引脚功能图

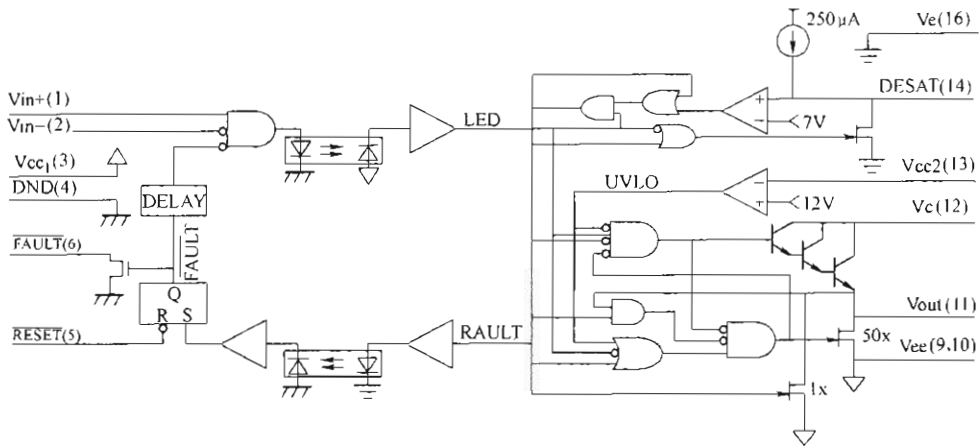


图 4-7 A316J 内部电路原理图

机、自动复位等控制。

如图 4-6 所示，A316J 内部以两只光耦合器光传输通道为分界点，分出了输入侧电路和输出侧电路。1、2 为  $V_{in+}$ 、 $V_{in-}$  正/负信号输入端，VL1 与相关输入侧、输出侧电路构成了脉冲信号传输电路。输入信号经门电路由发光管 VL1（光耦合器）传输至输出侧电路。输出侧接收到的光信号再经受控放大电路，进行功率放大后由 11 脚输出，驱动 IGBT 模块。VL1 的阳极和阴极分别由 7、8 脚引出，便于外接故障保护电路，以切断脉冲信号的传输。但常规应用中，一般是将 7 脚悬空，8 脚直接接输入侧信号（电源）地，构成了信号直通回路。

内部输出级电路为推挽式输出电路，由复合放大器保障大电流输出能力。实际电路中，控制电路的供电端子 13 脚与输出级放大器的供电端子 12 脚也是短接的，接入驱动电路供电电源的正极，9、10 脚接入供电负极，电源电压范围为 15 ~ 30V。

驱动电路对 IGBT 的过载保护，并非是通过电流采样——串联电流采样电阻或采用电流互感器来进行的，而是由 IGBT 的通态管压降，来判断 IGBT 是否出处于过电流状态。在额定电流以下运行时，IGBT 管压降不大于 3V，当运行电流达到 IGBT 的两倍时，管压降会上升到 7V 以上。应该实施保护停机了。图 4-8 为 A316J 构成的驱动电路。

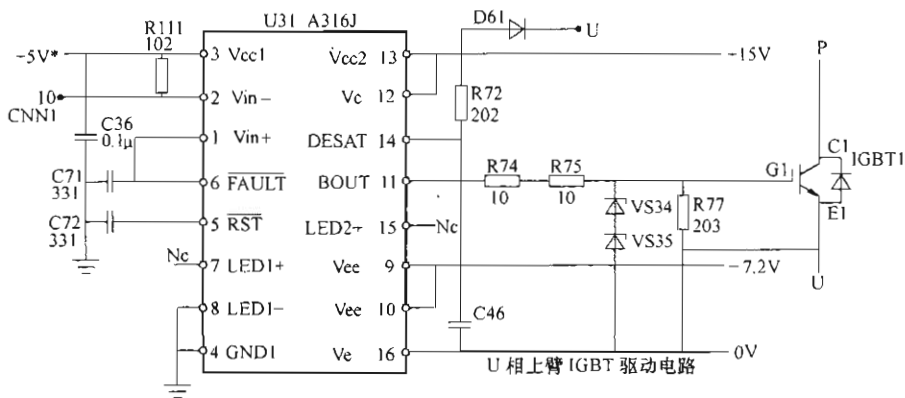


图 4-8 由 A316J 构成的驱动电路

VL2 (光耦合器) 与输入、输出侧相关电路构成了 IGBT 管压降检测电路、IGBT 模块的 OC 信号报警电路和故障复位电路。14 脚为 IGBT 管压降信号 (IGBT 过电流检测信号) 输入脚, 14、16 脚经外接元件并联于 IGBT 的 C、E 极上。正常工作状态下, IGBT 保护电路不动作, VL2 为截止状态, 输入侧内部 RS 触发器的输出 Q 端保持低电平, 对 VL1 的信号输入通路不起控制作用, 同时 6 脚内部 DMOS 管因无工作偏压处于截止状态, 6 脚 (模块 OC 信号输出脚) 为高阻态 (高电平), 电路正常工作; 当负载过重或驱动电路本身故障或 IGBT 有开路性损坏时, 14 脚检测到 IGBT 导通期间的管压降达 7V 以上时, 内部 IGBT 保护电路起控, 11 脚内部功率输出电路被先行封锁, VL2 导通, RS 触发器 Q 端变为高电压, 脉冲信号输入门电路被封锁, 同时 6 脚内部 DMOS 管子导通, 将低电平的 OC 信号输入 CPU 或前级故障信号处理电路。当 RS 触发器被触发后, 将维持故障锁定状态, VL1 的传输通路被切断, 驱动信号无输出。直到 AJ316 的 5 脚 (复位信号输入脚) 接收一个外来 (该信号常用 CPU 输出) 低电平的复位信号时, RS 触发器状态复位, VL1 等电路构成的脉冲信号传输通道, 才又重新开通。15 脚在 OC 故障信号输出时为高电平, 也可配合外接电路进行故障报警等, 一般电路中, 15 脚也被空置未用。

OC 故障信号、供电电源欠电压信号和脉冲输入信号, 决定着 AJ316 的输出状态。输出推挽电路具有互锁功能, 确保上、下管子不会同时导通。当供电电压低落到 12V 以下时, 为避免 IGBT 欠激励而导致电路故障, 内部欠电压电路保护电路起控, 推挽输出电路的 DMOS 下管被强制导通, 将驱动脉冲输出端下拉为低电平, IGBT 被截止; 在脉冲输入信号有效期间, IGBT 保护电路检测到 IGBT 的管压降异常上升时, 则保护电路起控, 推挽输出电路的上部达林顿管被关断, 并由 RS 触发器实施了故障锁定。同时推挽输出电路下管中并联的 DMOS 管子中放大倍数小的管子先行导通, 经外接触发回路将 IGBT 的 G、E 结电容所存储的电荷进行缓慢释放, 使 IGBT 软关断, 避免由主电路的分布电感形成过大的  $Ldi/dt$ , 易使 IGBT 超出安全工作区而损坏。

A316J 的各脚电阻值见表 4-2 (MF47 型指针式万用表  $R \times 1k$  档测量)。

表 4-2 A316J 的各脚电阻值 (单位:  $k\Omega$ )

输入侧引脚	1	2	3	5	6	7	8
4 脚搭接红表笔	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
4 脚搭接黑表笔	43	43	7	42	9	10	$\infty$
输出侧引脚	10	11	12	13	14	15	16
9 脚搭接红表笔	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
9 脚搭接黑表笔	0	8	8	8	9	10	9

A316J 的上电检测, 请参见 4.4 节的相关内容。

### 4.3 PC923 和 PC929 驱动电路的检修

对逆变功率电路的修复是在确认 CPU 主板和驱动电路正常的前提下进行的, 否则对 IGBT 模块的盲目更换不但毫无意义, 而且可能会造成直接的经济损失。对驱动电路的修复是在 CPU 主板能正常输出六路脉冲信号的前提下进行的, 否则对驱动电路的修复不但无意义,

而且给检测带来了一定的难度。CPU 主板（操作显示面板）的正常，为我们修复各种故障，提供了有效的监控和提示的作用，使我们能根据操作显示面板上故障代码的提示，有针对性地检查故障电路。

变频器完善的各种检测和保护功能，在变频器正常运行时是非常必要的，但在我们进行局部电路故障的维修时——总得使机器脱离整机连接的状态，会引发相关保护电路的起控，而使变频器进入故障锁定状态，停止了对比如对六路脉冲信号的输出，使我们无法（或比较困难）检测该信号通路（如驱动电路）是否能正常地对 CPU 电路来的六路脉冲信号进行传输和放大。

驱动电路的工作状态的正常，只有一个标准：能正常地传输和放大六路驱动脉冲。输出的六路驱动脉冲具有符合要求的电压幅度和电流供给能力。静态（待机）下的工作点检测，往往不能得出准确的结论。得想法让电路处于动态工作中：一是采取相应措施；屏蔽掉变频器的相关故障检测功能；二是用某种方法验证驱动电路的输出能力，确认驱动电路输出的六路逆变脉冲信号是完全符合要求的，于是对驱动电路的修复才能画上一个圆满的句号。

对驱动电路的检修，一定程度上决定了整机检修的成败。故障变频器无论表现出何种故障，最后的修复总是表现驱动电路六路驱动脉冲的正常输出！六路脉冲输出信号都有，但有缺陷，轻者机器不能正常工作，重者将有可能使逆变模块损坏，对驱动电路的检修，小心不过！

### 1. 驱动电路（由 PC923 和 PC929 组合）的构成和电路原理

图 4-9 为 INTPBGBA0100AZ 110kVA 东元变频器 U 相的驱动电路图。15kW 以下的驱动电路，则由 PC923 和 PC929 经栅极电阻直接驱动 IGBT，中、大功率变频器，则由后置放大器将驱动 IC 输出的驱动脉冲进行功率放大后，再输入 IGBT 的 G、E 极。

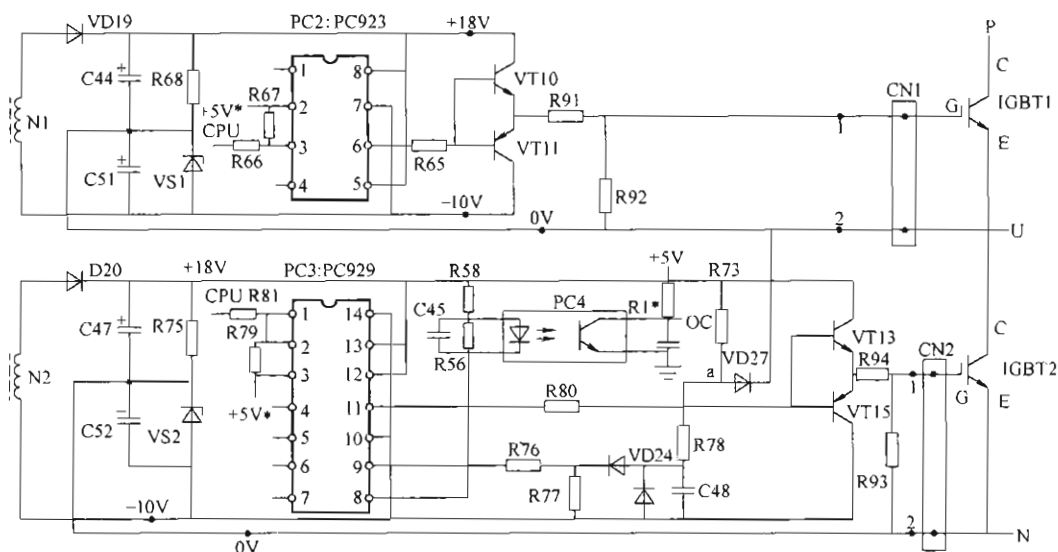


图 4-9 由 PC923 和 PC929 构成的驱动电路

驱动电路的电源电路，是故障检测的一个重要环节。不但要求其输出电压范围满足正常要求，而且要求其具有足够的电流（功率）输出能力——带负载能力。每一相的上、下 IG-

BT 驱动电路，因 IGBT 的触发回路不存在共电位点，驱动电路也需要相互隔离的供电电源。由开关电源电路中的开关变压器 N1 绕组输出的交流电压，经整流滤波成 28V 直流电压后，又由 R68、VS1（10V 稳压二极管）简单稳压电路处理成正 18V 和负 10V 两路电源，供给驱动电路。电源的 0V（零电位点）线接入了 IGBT 的 E 极，驱动 IC 的供电脚则接入了 28V 的电源电压。

光耦合器的输入、输入侧应有独立的供电电源，以形成输入电流和输出电流的通路。PC2 的 2、3 脚输入电流由 +5V\* 提供。此处供电标记为 +5V\*，是为了和开关电源电路输出的 +5V 相区分。+5V\* 供电电路如图 4-10 所示。该电路可看作一简单的动态恒流源电路，R179 为稳压二极管 VS7 的限流电阻，稳压二极管的击穿电压值为 3.5V 左右。基极电流回路中稳压电路的接入，使流过 VT8 发射结的  $I_b$  维持一恒定值，进而使动态  $I_c$  也近似为恒定值。忽略 VT8 的导通压降，电路的静态输出电压为 +5V，但动态输出电压值取决于所接负载电路的“动态电阻值”，而动态输出电流总是接近于恒定的，这就使得驱动电路内部发光二极管能维持一个较为恒定的光通量，从而使传输脉冲信号的“陡峭度”比较理想，使传输特性大为改善。

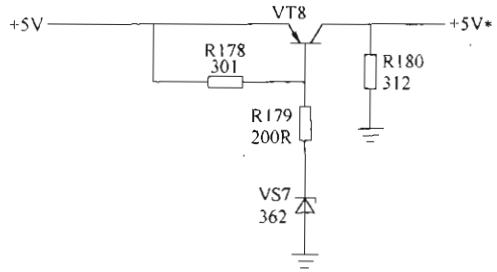


图 4-10 驱动光耦输入侧供电电路

电路工作原理简述（请同时参见图 4-4 的 PC923、PC925 内部电路）：

由 CPU 主板来的脉冲信号，经 R66 加到 PC2 的 3 脚，在输入信号低电平期间，PC2 形成由 +5V\*、PC2 的 2、3 脚内部发光二极管、信号源电路到地的输入电流通路，PC2 内部输出电路的晶体管 VT1 导通，PC2 的 6 脚输出高电平信号（18V 峰值），经 R65 为驱动后置放大电路的 VT10 提供正向偏流，VT10 的导通将正供电电压经栅极电阻 R91 引入到 IGBT 的 G 极，IGBT 开通；在输入信号的高电平期间，PC2 的 3 脚也为 +5V 高电平，因而无输入电流通路，PC2 内部输出电路的晶体管 VT2 导通，6 脚转为负压输出（10V 峰值），经 R65 为驱动后置放大电路的 VT11 提供了正向偏流，VT11 的导通将供电的负 10V 电压——IGBT 的截止电压经栅极电阻 R91 引入到 IGBT 的 G 极，IGBT 关断。在待机状态，PC2 的 3 脚输入信号一直维持在 +5V 高电平状态，则驱动电路一直输出 -10V 的截止电压，加到 CN1 触发端子上，IGBT 一直维持于可靠的截止状态上。

因 IGBT 栅-射极间结电容的存在，对其开通和截止的控制过程，实质上是对 IGBT 栅-射极间结电容进行充、放电的过程，这个充、放电过程形成了一定的峰值电流，故功率较大的 IGBT 模块须由 VT10、VT11 组成的互补式电压跟随放大器来驱动。

PC929 驱动 IC 是兼有对驱动脉冲隔离放大和模块故障检测双重“身份”的。由 CPU 主板来的脉冲信号从 1/2、3 脚输入到 PC923 内部的光耦合器，从 11 脚输出后，经 VT13、VT15 两级互补式电压跟随器的功率放大后，引入 IGBT2 的 G 极。此为驱动脉冲的信号传输电路；PC929 的 9 脚为模块故障检测信号输入脚。正常工作状态下，PC923 的 11 脚输出正的激励脉冲电压，使 VT13 导通，VT15 截止。VT13 的导通，将正偏压加到 IGBT2 的 G 极上，IGBT2 进入饱和导通状态。忽略 IGBT 导通管压降的话，IGBT2 的导通即将 U 输出端与负直流供电端 N 短接起来，提供输出交流电压的负半波通路，在导通期间，只要变频器是在额

定电流以内运行，IGBT2的正常管压降应在3V以下。

PC929的9脚内部电路与外接R76、R77、VD24、R73、D27等元器件构成了IGBT管压降检测电路，二极管VD27和负极接入了IGBT2的C极。PC929在发送激励脉冲的同时，内部模块检测电路与外电路配合，检测IGBT2的管压降，当IGBT2正常开通期间，忽略IGBT2的导通压降，U点电压与N点电压应是等电位的，N点与该路驱动电源的零电位点为同一条线。可以看到，VD27的正向导通将a点电压也钳位为零电位点，即PC929的9脚无故障信号输入，IGBT模块OC信号输出8脚为高电平状态。当变频器的负载电路异常或IGBT2故障时，虽有激励偏压加到IGBT2的G极，但严重过电流状态（或管子已经开路性损坏），使IGBT2的管压降超过7V或更大，U、N之间高电压差使VD27反偏截止，此时a点电压是由R73引入的、经R78、VD24、R77分压的高于7V的电压值，经R76输入到PC929的9脚。PC929内部IGBT保护电路起控，对IGBT进行强行软关断动作，同时控制8脚内部晶体管导通，进而提供了PC4光耦合器的输入电流，于是PC4将低电平的模块OC信号报与CPU，变频器实施OC故障保护停机动作。

IGBT模块管压降检测电路中的VD24和C48组成消噪电路，以避免负噪声干扰引起误码保护动作。

让我们看一下驱动电路中R91、R92、R93、R94的作用，实际电路中，这4只电阻在模块损坏带来的强电压冲击下，造成开路、短路和阻值变大的情况比比皆是。而这4只电阻的未予修复，会给新换功率模块带来毁灭性的打击。它在电路中究竟起到什么样的作用呢？

R91将驱动脉冲引入到IGBT的G极，表面看来，这是一只限流电阻，限制流入IGBT的驱动（充电）电流，因管子的开通速度越快越好，开通时间越短越好，电阻的阻值就不能太大，以避免与IGBT管子的输入结电容形成一个较大时间常数的延时电路，这是不希望出现的。但过激励也会导致IGBT的损坏。此电阻多为欧姆级功率电阻，随变频器功率的增加其阻值而减小。此电阻还有一个“真名”，叫栅极补偿电阻，因为IGBT的触发引线有一定长度，触发脉冲又是数千赫兹的高频信号，所以有一定的引线电感存在，而引线电感会引起触发脉冲的畸变，产生“电压过冲”现象，严重时会造成IGBT的误开通而造成损坏。接入R91可对引线电感有所补偿，尽量使引线呈现电阻特性而不是电感特性，有效缓解引线电感造成的电压过冲现象。

R92并接于IGBT的G、E极间，第一个好处就是，将IGBT输入端的高阻状态变为低阻状态。我们新购得的IGBT逆变模块，出厂前是用短路线将G、E极短接的，这样万一有异常电压（如静电）加到G、E极时，短路线将很快将此一异常电压吸收，而避免了IGBT因输入端子遭受冲击而损坏。电路中并联R92也有同样的用处，在一定程度上将输入的“差分电压”变为了“共模电压”，消解了异常输入电压的冲击作用。R92对瞬态干扰有一定的作用，又可称之为“消噪电阻”。R92并接于IGBT的G、E极间，与IGBT的G、E结电容相并联，此电阻又被称为“旁路电阻”，将瞬态干扰造成的对G、E结电容的充电电流“旁路掉”，以避免其误开通。R92又形成了IGBT输入结电容的电荷泄放通路，能提高电荷的泄放速度，对于只采用单电压供电（无负供电电压）的驱动电路，此电阻的作用尤其重要。

我们说，截止负电压的丢失或幅度不足，会给IGBT的安全运行带来极大的危害，而R91、R92的断路，使IGBT的触发回路变成了“高阻态”，更易受感应电压冲击，形成G、

E 结电容的充电流,而造成 IGBT 的误开通。当拔掉 IGBT 模块的触发端子后,上电或起动变频器,会造成 IGBT 模块的炸裂,原因正源于此。

R39、R94 同 R91、R92 作用是一样的,分析从略。

## 2. 驱动电路的故障特征

1) 变频器上电显示正常,接收起动信号,即跳 OC (过电流)、SC (短路) 故障代码。

故障原因:

① 逆变模块有开路性损坏,先是击穿短路,炸裂后开路,或 G、E 间内部损坏,虽有触发信号引入,但 IGBT 不能正常开通,驱动电路的 IGBT 管压降检测到异常大的导通压降,报出 OC 故障。

② 驱动电路本身故障。

a 无激励脉冲加到 IGBT 的触发端子。一是从 CPU 主板来的脉冲信号未能正常输入到驱动电路的输入端;二是驱动电路有元器件损坏,阻断了脉冲信号的传输。

b 驱动电路不能输出正常的驱动脉冲,多为电流输出能力不足。一是驱动 IC 的后置放大器低效,元器件变值等;二是驱动供电不良,不能达到足够的电压幅值和输出足够的驱动电流,使 IGBT 不能被良好导通或处于导通与截止的临界点上,IGBT 管压降检测电路检测到大于 7V 的管压降信号而报出 OC 故障。

c 驱动供电电源电压的低落为驱动 IC 内部欠电压电路所侦测,驱动 IC 报出 OC 故障。

2) 接收起动信号,即跳 GF (接地故障)。变频器说明书中对接地故障的定义是,当接地电流大于额定电流的 50% 时,即判断为 GF 故障。其实 GF 也是 OC 故障的一个别名。在报警层次上有所不同 (详见安川驱动电路的检修一节),GF 报警用于起动初始阶段的对 IGBT 过电流 (或管压降) 状态的检测。

3) 上电,变频器未接收起动信号,变频器在系统自检结束后,即报出 OC 故障。故障原因:

① 变频器的三相输出电流检测电路损坏,误报过电流故障,如电流互感器内部电路损坏,误报出严重过电流故障。

② 驱动电路的 OC 信号报警电路损坏,如 PC929 的 8 脚内部 DMOS 晶体管短路,向 CPU 误报 OC 信号。

4) 变频器上电后,不跳 OC、SC 等故障代码,但拒绝所有操作,出现类似于程序进入死循环的“死机”现象,先不要轻易判断为 CPU 故障,可能为变频器上电检测到有 OC 信号输出,出于保护目的,故拒绝所有操作,以免造成人为的故障扩大 (详见英威腾驱动电路检修一节)。

5) 变频器上电,操作显示正常,起动后能在操作面板上监控到输出频率数值上升的现象,但 U、V、W 输出端子无电压输出,变频器也不报出 OC 故障,好像是“运行正常”。

故障原因为驱动 IC 输入侧的 +5V \* 供电电源丢失,六路驱动 IC 都无脉冲信号输入,驱动电路处于“待机”状态,IGBT 管压降检测电路在“休息中”,并不向 CPU 返回 OC 信号。

6) 变频器空载或轻载运行正常,但带上一定负载后,出现电动机振动、输出电压移相、频跳 OC 故障等。

故障原因:驱动电路的供电电源电流 (功率) 输出能力不足;驱动 IC 或驱动 IC 后置放大器低效,输出内阻变大,使驱动脉冲的电压幅度或电流幅度不足;IGBT 低效,导通内阻

变大，导通管压降增大。

### 3. PC923 和 PC929 驱动电路的检修方法

本节检修是指在脱开变频器主电路后的，对电源/驱动板的单独上电检修，整机连接条件下，可不敢对驱动电路这么动手啊，别说逆变电路有 6 只 IGBT，有 60 只 IGBT 也不够“报销”的。

#### (1) 静态检测

电路处于静止状态时，相对于 +5V 供电的地端，PC2 的 2、3 脚电压都为 5V，直接测量 2、3 脚之间电压差为 0V；以驱动电源的 0V 为 0 电位参考点，CN1 触发引线端子的 1 线应为 -10V。PC923、PC929 的脉冲输出脚和后置放大器的中点电压都为 -10V。

检测 CN1 端子的 1 线为 0V，故障原因有：驱动电源稳压二极管击穿短路；栅极电阻 R91 开路。

检测 CN1 端子的 1 线为 18V 左右，故障原因有：PC2 的后置放大电路中的 VT10 短路；PC2 内部输出电路中的 VT1 短路；检查 PC2 的 2、3 脚如有电压输入，如 1V、2V，故障原因为前级信号电路故障，使 PC2 形成了输入电流的通路。

#### (2) 动态检测

电路静态时测得 CN1 端子 1 线上有正常的 -10V 截止电压，及测量各静态工作点基本正常（其实各检测点都表现为供电电压），要进一步检查动态——对脉冲信号的传输能力，验证电路确无故障或使隐蔽故障暴露出来。

但接着碰到了麻烦事，因为在检修中电源/驱动板与主电路已经脱开，CN1、CN2 触发端子是空置的，并未接入 IGBT，而且在未查明驱动电路是否工作正常之前，也是绝不允许在 IGBT 接入 530V 直流供电的情况下连接驱动电路并检查驱动电路的故障的。请参考第 1 章变频器主电路的有关章节。

因为 IGBT 的脱开，驱动电路输出的脉冲无论正常与否，只要按一下操作面板的起动 (FWD) 或运行 (RUN) 按键，操作显示面板即跳出 OC 故障。原因在于驱动芯片 PC929 在脉冲信号传输期间，PC929 的 9 脚内部电路与外部元器件构成的 IGBT 管压降检测电路，因 IGBT 的未接入（相当于开路），而检测到极大的管压降信号，而向 CPU 报出 OC 信号，CPU 采取了停机保护措施。必须采取相应手段，屏蔽掉驱动电路对 IGBT 管压降检测功能，令 CPU 正常发送六路脉冲，以利驱动电路的进一步检修。

图 4-11 所示电路为 PC929 驱动电路的 IGBT 管压降检测等效电路图。

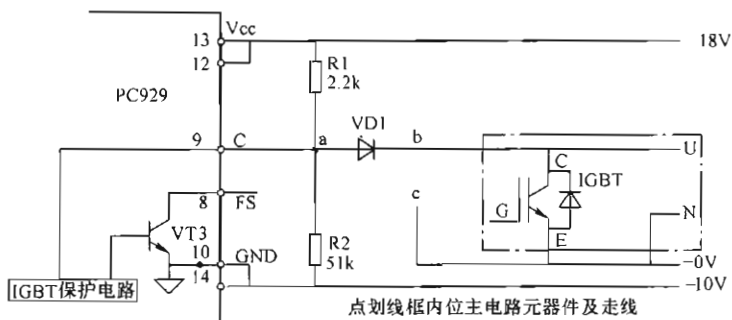


图 4-11 IGBT 管压降检测等效电路图



如果把 IGBT 看作一只开关的话,则在正向激励脉冲作用期间,这只开关是闭合状态的, b 点电压也为 0V, 钳位二极管 VD1 正向导通, 将 a 点电压钳位为 0V, PC929 的 9 脚因输入低电平信号, IGBT 保护电路不起控, 驱动电路正常传输脉冲信号。当 IGBT 开路性损坏或检修中脱开主电路后, 同样在正向激励脉冲作用期间, VD1 反偏截止 (在与主电路连接状态下) 或因脱开主电路呈开路状态, a 点电压则上升为 R1 与 R2 对 18V 和 -10V 的分压值, 从两只电阻的阻值可看出, a 点电压上升为近 17V, PC929 的 9 脚内部 IGBT 保护电路起控, VT3 导通, 由 8 脚输出 OC 信号, 经光耦器件输入 CPU, CPU 报出 OC 故障, 并停止了脉冲信号的输出。

如果单纯将 OC 信号切断, 如将图 4-9 中的 PC4 开路或短接 PC2 的 1、2 脚, 以中断 OC 信号的输出, 固然可以令 CPU 不停止脉冲信号的输出, 但 PC929 中 IGBT 保护电路还处于起控状态, PC929 仍无法正常输出驱动脉冲信号。正确的做法是: 短接图 4-11 中的 b、c 点, 即将 VD1 的负极与 0V 供电引出线短接, 人为造成“IGBT 的正常导通状态”, “糊弄”一下 IGBT 管压降检测电路, 使之在激励脉冲作用期间, 能一直检测到 IGBT 的“正常状态”, 内部保护电路不起控。

在检修所有变频器的驱动电路板时, 只有驱动电路本身有 IGBT (管压降检测) 保护电路, 我们都可以找出图 4-11 电路中的 b、c 点并予以短接, 就可以将驱动电路 OC 故障的报警功能屏蔽掉, 对驱动电路进行脉冲传输状态的检查了。

好了, 短接 b、c 点, 按动操作显示面板上的起动和停止按键, 配合对输出脉冲电压的测量, 驱动电路的隐蔽故障, 便一一暴露无遗了。

驱动电路动、静态电压变化是如此明显, 无论用指针式万用表或数字式万用表的用直流电压档或交流电压档, 都能测出明显的变化。以至于我们不必采用示波器, 也能准确判断出驱动电路对脉冲信号的传输情况。测量数据见表 4-3。

表 4-3 电压测量值

	直流电压档/停止	直流电压档/起动	交流电压档/停止	交流电压档/起动
输入信号电压/V (PC923 的 2、3 脚之间)	0	约 0.3	0	约 0.6
输出信号电压/V (CN1 端子/2 线为 0V)	-10	约 4	0	约 16

注: 1. 用数字式万用表, 则能得出表 4-3 中的数据。指针式万用表的交流电压档, 也能显示偏大的直流电压值, 故在停机状态, 仍显示一定电压值, 但在起动状态, 表笔马上反向指示, 说明指针式万用表的交流电压档, 虽能测出信号电压的峰值, 但仍能指示出电压的极性。

2. 当驱动供电电压为 15V 和 -7.5V 时, 检测得出的输出侧的电压值也相应降低。

3. 因电路元器件的离散性、各路驱动电源电压的差异以及不同型号变频器 PWM (SPWM) 脉冲波形的差异, 测量所得出的动态电压值也会有较大的差异。如从触发端子测得交流电压值, 其峰值往往大致接近供电电压值, 一般只要满足在 13V 以上, IGBT 就能可靠工作, 六路脉冲电压的幅度也有所差异。所以即使同一种采用同一种驱动 IC 的不同型号的变频器, 也不可能测得一样的结果。我们不必从数值的精确度上太过讲究, 可完全从动、静态电压值、电压极性的明显变化上, 判断出驱动电路的工作状态。

每一路驱动电路, 都可以直接从驱动 IC 的两个输入脚检测输入信号, 从驱动信号的输出端子 (模块触发端子) 检测输出信号。

若输入信号电压为零, 则往前检测从 CPU 至驱动 IC 的信号传输电路, 检测内容请见第 7 章脉冲信号的前级电路检测; 若有输入信号, CN1、CN2 的输出信号端子则可能有以下几

种情况：

1) 用50V交流档测PC923的6脚电压，若过低（如仅为10V），对比测量一下PC929的输入2、3脚电压，若偏低，则往前检测从CPU至驱动IC的信号传输电路，检测内容请见第7章相关章节；如正常，故障可能为PC923内部输出电路的VT1低效，代换PC923。

2) 检测PC923的6脚交流电压值，达15V以上（15V供电下，13V以上即为正常值），故障原因为R65、R91有阻值变大现象，更换。或VT11低效，更换。

若触发端子仍为-10V的固定负压。测PC923的6脚，也为-10V，驱动IC内部VT2击穿，代换；测PC923的6脚有4V左右的正电压，故障为驱动IC后置放大器的VT11短路，更换。

以上检查，只是检测出驱动电路输出的脉冲电压幅度没有问题，但下一个驱动电路无问题的结论还为时过早。还需验证驱动电路的电流（功率输出能力）请参见下两节驱动电路的检修。

#### 4.4 A316J（HCPL-316J）驱动电路的检修

图4-12画出了阿尔法变频器驱动电路，每相下臂IGBT的驱动电路其实是共用D51、E32直流电源的。驱动供电也由稳压电路分为15V和-7.2V两路电源，以形成对IGBT供电的15V激励电压回路和-7.2V的截止电压回路。驱动IC（A316J）的左侧引脚为输入侧电路，右侧引脚为输出侧电路。无论是脉冲信号还是OC故障信号，都由内部光耦合器电路相隔离。与PC929相比，因内部已有对OC信号的隔离，可省去外接光耦合器，并且脉冲信

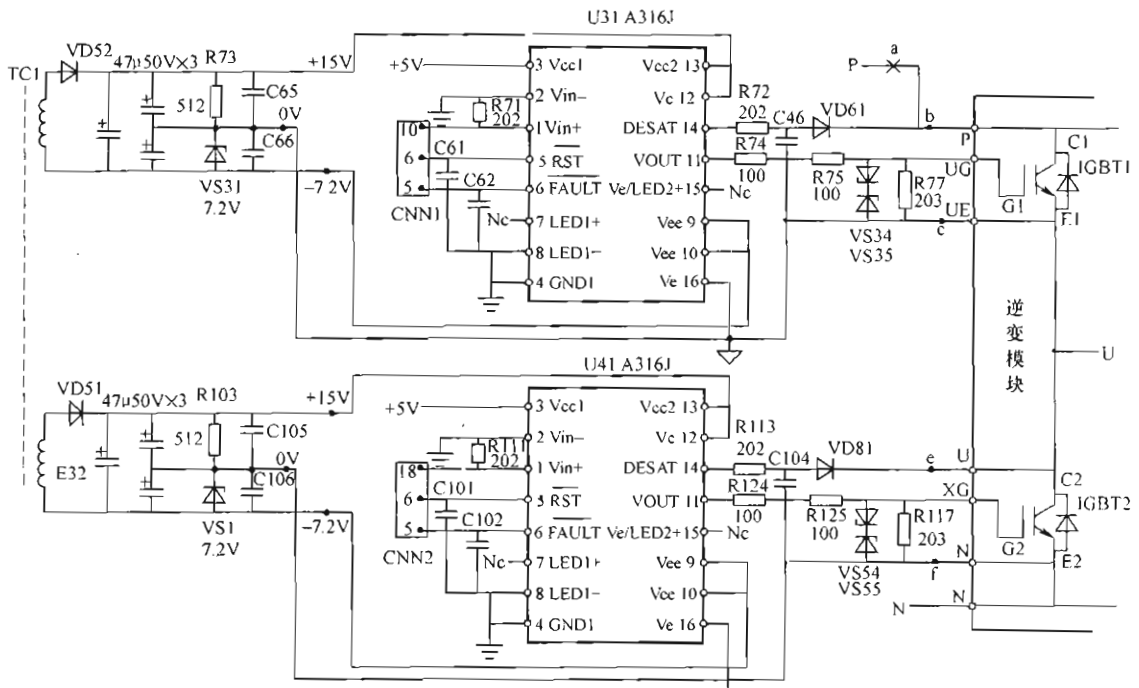


图4-12 阿尔法变频器驱动电路

号、OC 信号和故障复位信号可经控制端子 CNN1 直接与 CPU 引脚相连。在有的变频器电路中，仅是下三臂 IGBT 驱动电路采用 A316J，上三臂采用 TLP250 等。

### 1. 电路工作原理简述（以 U 相上臂 IGBT 驱动电路为例）

U31（A316J）的输入侧的供电为 5V，由 CPU 主板来的正向脉冲信号输入到 3 脚，经 2 脚到地形成输入信号通路。U31 本身可能产生的 OC 信号由 5 脚经 CNN1 排线端子返回 CPU，从 CPU 来的复位控制信号也由 CNN1 端子输入到 U31 的 6 脚。整个驱动电路中的 6 块驱动 IC，其 OC 信号和复位信号是并联的，即当检测到任一臂 IGBT 有过电流故障时，都将 OC 故障信号以或输入方式输入到 CPU；而从 CPU 来的故障复位信号，也同时加到 6 片 A316 的 6 脚，将整个驱动电路一同复位。

驱动脉冲从 A316J 的 11 脚输出，经 R74、R75 栅极电阻引入到模块内部 IGBT 的 G 极。R77 为栅极旁路电阻，VS34、VS35 为栅、射极正负偏压钳位稳压管，保护 IGBT 的输入回路的安全。

A316J 的 14 脚外电路与 16 脚引线并接于 IGBT 的 C、E 极，构成 IGBT 管压降检测电路，电路仅由 R72、VD61、C46 3 只元件构成，C46 吸收瞬态干扰，避免误保护动作出现。在 11 脚输出高电平驱动电压期间，IGBT1 的导通，使 VD61 正偏导通，将 b 点电位钳制于 0V 驱动供电电位上。U31 的 14 脚输入一个“IGBT 良好开通”的低电平信号，驱动脉冲被正常传输。因过电流或 IGBT 低效或损坏时，b、c 两点间电压异常升高，VD61 反偏截止失去低电平钳位作用，14 脚为高电平状态，U31 内部 IGBT 保护电路起控，将脉冲信号传输通道锁定，同时令 5 脚输出一个低电平的 OC 信号，通知 CPU。直到 6 脚输入一个 CPU 来的低电平复位信号后，U31 的故障锁定状态才被解除。

### 2. 检修步骤和方法

根据驱动电路相关的故障特征（见 4.3 节），可以有的放矢地进行检查和修复了。

1) 对小功率变频器，逆变输出电路采用集成型（一体化）模块，引脚较多，而且直接焊接于电源/驱动板上。在对驱动电路上电进行电压检测前，必须先行切断逆变模块的供电，待驱动电路检修完毕后，再将逆变模块的供电恢复！用壁纸刀或钢锯条将图 4-12 中 a 点切开一个 2mm 以上的缺口，印刷电路板多为双面的，应将电路板两面的铜箔条各切开一个口子。切完后，测量一下从 P 供电线到逆变模块的 P 供电引入端子，呈现较大电阻后，再行上电。切忌在只切断一面的铜箔而另一面铜箔仍旧相连的状态下上电，避免测量不慎或驱动电路存在故障而造成 IGBT 的损坏！

2) 电路静态测量（操作控制在停机状态）。

输入侧电路（4 脚为 0 电位点）：

3、4 脚之间有 5V 的供电引入，1 脚信号输入端为接近 0V 的低电平，5、6 脚为接近 5V 的高电平，说明 A316J 输入端静态工作点基本正常。

① 若测得 1 脚有 1V 以上（比如 5V）的高电平信号输入，检查 CNN1 端子 10 到 CPU 脉冲输出脚的脉冲信号传输通道，排除其故障。

② 若测得 OC 信号输出脚 6 脚，为 1V 以下低电平，加热焊点，用细钢针挑开 6 脚与电路板的连接，原测量点电压上升为 5V，说明 6 脚内部 DMOS 管子短路，更换 A316J。若测量点仍为低电平，检查 A316J 的 6 脚至 CPU 引脚的相关电路，直到 6 脚电压值恢复 5V 的正常值为止。

③ 若测得 RST 信号输入脚 5 脚为 1V 以下低电平，加热焊点，用细钢针挑开 5 脚与电路板的连接，原测量点电压上升为 5V，说明 A316 内部电路损坏，更换 A316J；若仍为低电平，检查 CPU 主板电路。

输出侧电路（以 16 脚为 0 电位点）：

① 先检查 15V、-7.2V 的驱动供电电源是否正常。若无负压，检查稳压电路并排除；测得输出电压偏低，A316 有异常温升，脱开栅极电阻 R74，供电电压正常，为模块内部 IGBT 的 G、E 结漏电损坏，更换模块；若供电电压仍低，挑开 A316 的 12/13 脚，供电电压恢复为正常值，更换 A316J。

② 测量 UG、UE 端子电压应为 -7V 左右。测得负压仅为 3V 以下，测得栅极电阻上有电压降，说明模块内部 IGBT 的 G、E 结漏电损坏，更换逆变模块；测得栅极电阻上电压降为 0V，更换 A316J。

③ 检查 R74、R75、VS34、VS35、R77 等 IGBT 栅控回路元器件，确保其正常。

3) 电路的动态检测。

从三相供电电路中找到 b、c、e、f 点，并将 b、c 点和 e、f 点分别短接，以屏蔽驱动 IC 中 IGBT 保护电路 OC 故障报警功能，令 CPU 输出六路脉冲信号。

配合操作显示面板的起/停操作，可测出正常状态下的驱动电路的输入、输出电压值（数字式万用表测得），见表 4-4。

表 4-4 驱动电路的输入、输出电压值

	直流电压档/停止	直流电压档/起动	交流电压档/停止	交流电压档/起动
输入信号电压/V (A316J 的 2、3 脚之间)	约 0	约 0.4	0	约 0.7
输出信号电压/V (UG、UE 端子电压)	-7	约 4	0	约 14

注：各机型所测驱动脉冲的输出信号电压应相差不大，但输入电压值因各种因素的不同，可能有较大差异，但以动、静态电压值的显著变化来判断故障所在就行了。显然，用交流电压档，测量数值变化更为显著。

① 检测 A316J 的 1、2 脚之间输入信号无变化，检查 CPU 至 A316J 的输入信号通路，并将故障排除（见第 8 章 CPU 主板电路的检修相关章节）。

② 若检测输入信号正常，检测 UG、UE 端子电压，正常时交流电压值约为 14V 左右；检测输出电压偏低，同时测量 15V 供电电压低落，为电源带负载能力不足，排除电源故障；检查电源无故障，可能为 A316J 内部输出管低效，导通内阻变大，更换 AJ316。

4) 检查六路驱动脉冲电压幅度都正常了，先别忙着装机，在 4.5 节专门讨论装机过程中必须注意的问题。

## 4.5 驱动电路的神秘之处

对驱动电路经过以上检查，一般检修人员就认为可以将驱动电路与逆变模块连接，然后装机试验了，此时忽略了一个极其重要的检查环节——对驱动电路电流（功率）输出能力的检查！很多我们认为已经正常修复的变频器，在运行中还会暴露出更隐蔽的故障现象，并由此导致了一定的返修率。

变频器空载或轻载运行正常，但带上一定负载后，出现电动机振动、输出电压偏相、频

跳 OC 故障等。

故障原因有：驱动电路的供电电源电流（功率）输出能力不足；驱动 IC 或驱动 IC 后置放大器低效，输出内阻变大，使驱动脉冲的电压幅度或电流幅度不足；IGBT 低效，导通内阻变大，导通管压降增大。

第三个原因所导致的故障比例并不高，而且限于维修部的条件所限，如无法为变频器提供额定负载试机。但前两个原因所带来的隐蔽性故障，我们可以采用为驱动电路增加负载的方法，使其暴露出来，并进而修复之，从而能使返修率降到最低。

IGBT 的正常导通不仅需要幅值足够的激励电压，如 12V 以上，更需要足够的驱动电流，保障其可靠导通，或者说保障其导通在一定的低导通内阻下。上述前两个故障原因的实质，即由于驱动电路的功率能力输出不足，导致了 IGBT 虽能导通但不能处于良好的导通状态中，从而表现出输出偏相、电动机振动剧烈和频跳 OC 故障等。

让我们从 IGBT 的控制特性上来做一下较为深入的分析，找出故障的根源所在。

### 1. IGBT 的控制特性

通常的观念，认为 IGBT 器件是电压型控制器件——为栅偏压控制，只需提供一定电平的激励电压，而不需吸取激励电流。在小功率电路中，仅由数字门电路，就可以驱动 MOS 型绝缘栅场效应晶体管，做为 IGBT，输入电路恰好具有 MOS 型绝缘栅场效应晶体管的特性，因而也可视为电压控制器件。这种观念确实有失偏颇。因结构和工艺的原因，IGBT 的栅-射结间形成了一个名为  $C_{ge}$  的结电容，对 IGBT 导通和截止的控制，其实就是  $C_{ge}$  进行的充、放电控制。15V 的激励脉冲电压，提供了  $C_{ge}$  的一个充电电流通路，IGBT 因之而导通；-7.5V 的负向脉冲电压，将  $C_{ge}$  上的“已充电荷强行拉出来”，起到快速中和作用，IGBT 因之而截止。

假定 IGBT 只对一个工作频率为零的直流电路进行通断控制，对  $C_{ge}$  一次性充满电荷后，几乎不再需要进行充、放电的控制，那么将此电路中的 IGBT 说成是电压控制器件，是成立的。而问题是：变频器输出电路中的 IGBT 工作于数千赫兹的频率之下，其栅偏压也为数千赫兹频率的脉冲电压！一方面，对于这种较高频率的信号， $C_{ge}$  的呈现出的容抗是较小的，故形成了较大的充、放电电流。另一方面，要使 IGBT 可靠和快速的导通（力争使管子有较小的导通内阻），在 IGBT 的允许工作区内，就要提供尽可能大的驱动电流（充电电流）。对于截止的控制也是一样，须提供一个低内阻（欧姆级）的外部泄放电路，将栅-射结电容上的电荷极快地泄放掉！

大家都知道电容为储能元件，本身不消耗功率，称为容性负载。但正犹如输、配电线路的道理一样，除了电源必须提供容性元件的无功电流（无功功率）外，无功电流也必然带来了线路电阻上的损耗！驱动电路的功率损耗主要集中在栅极电阻和末级放大管的导通内阻上。我们常看到——尤其是大功率变频器——驱动电路的输出级其实是一个功率放大电路，常由中功率甚至大功率对管、几瓦的栅极电阻等元器件构成，说明 IGBT 的驱动电路是消耗一定功率的，是需要输出一定电流的。

而从上述分析可看出：应用在变频器输出电路的 IGBT，恰恰应该说是电流或说是功率驱动器件，而不纯为电压控制器件。

### 2. 装机前最后一个检测内容

为最大可能地降低返修率，在对驱动电路进行全面检测后，不要漏过对驱动电路的带负

载能力这样一个检查环节。方法如下：

图 4-13 为 DVP-1 22kW 台达变频器的 U 相上臂的驱动电路。图中 GU、EU 为脉冲信号输出端子，外接 IGBT 的 G、E 极，检修驱动板时已与主电路脱离。点划线框内为外加测量电路。为电源/驱动板上电后，配合起动和停止操作，在 m、n 点串入万用表直流 250mA 档，与 15Ω 3W 的外加测量电阻构成回路，检测各路驱动电路的电流输出能力，测得起动状态，有五路输出电流值均在 150mA 左右，其中一路输出电流仅为 40mA，装机运行后跳 OC 的故障原因正在于此，该路驱动电路的驱动能力大大不足！停机状态，测得各路电流值均为 50mA 左右，负压供电能力正常。

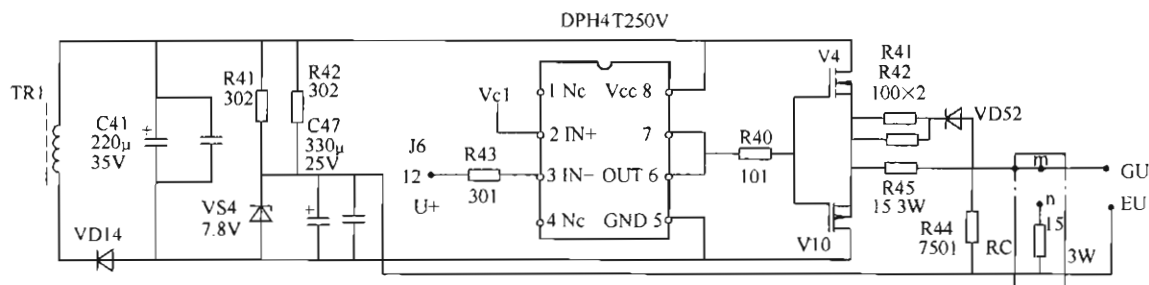


图 4-13 对驱动电路带负载能力的测量

串接 RC，起到限流作用，其取值的原则：选取电阻值及功率值与栅极电阻相等（图 4-13 中 R45 的参数值），以使检测效果明显。

对驱动电路做过功率输出能力的检测，可以确定驱动电路完全正常了。在驱动电路与主电路连接的试机过程中，请参照第 2 章主电路的维修供电一节，以低压直流电源或在供电回路串接灯泡等措施，进一步检测逆变输出回路的故障，正常后，再恢复逆变回路的正常供电。

驱动电路输出能力的不足，由以下两方面的原因造成：

1) 电源供电能力不足，空载情况下，我们检测输出正、负电压，往往达到正常的幅度要求，即使带载（如接入 IGBT 后）情况下，虽然对  $C_{ge}$  的瞬时的充电能力不足，但因充电时间太短，我们往往也测不出供电电压的低落，不带上电阻负载，这种隐蔽故障几乎不能被检测出来！电源电路的常见故障为滤波电容失容，如图 4-13 中 C41，因长期运行中电解电容内部的电解液干涸，其容量由几百微法减小为几十微法，甚至为几微法。另外，可能有整流管低效，如正向电阻变大等，也会造成电源输出能力不足。

2) 驱动 IC 内部输出电路不良或后置放大器 V4、V10 导通内阻变大等。如带载后检测电源电压无低落现象，检测 T250V 输出电压偏低，则为 T250V 不良，否则更换 V4、V10 等元件。R40、R45 等阻值变大的现象比较少见。

需要说明的是：正向激励电压的不足，只是表现出电动机振动剧烈、输出电压移相、频繁跳 OC 故障等现象，虽然有可能使电动机绕组中产生直流成分出现过电流状态，但对模块构不成一投入运行信号即爆裂的危害。而负向截止电压的丢失和栅极电阻、旁路电阻的断路，则表现出上电时正常，一按动起动按键，IGBT 逆变模块便会发出“咣”的一声马上爆裂的故障！这是为何呢？

### 3. IGBT 截止负压丢失（栅控回路开路）后的危害

除了在全速运行下负载突然短路造成的损坏外，过电流、过载、过电压、欠电压等，所有故障的危害性都要远远小于截止负压丢失对 IGBT 的危害（栅极电阻的断路、触发端子拔掉），说到这一点，广大维修人员都会深有体会的。

检修过程中漏焊了栅极电阻，如图 4-9 所示，在装机过程中粗心大意间只插好了 CN1 端子，而忘记了连接 CN2 端子，而使 IGBT2 驱动信号引入端子被空置，上电后，不投入启动信号，还没有问题，一旦投入启动信号，那就毫无商量，模块坏掉。长期的维修工作中，要养成一个习惯：上电后启动操作前先停一会儿，观察一下驱动脉冲输出端子是否已经连接完好。检查每路都连接完好后，再按下启动按键。常常觉得这轻轻的一点有千钧之重啊——驱动电路与逆变模块都是好的状态下，只漏插了一只驱动脉冲的信号端子，必会造成 IGBT 模块与驱动电路的再次严重损坏，致使前功尽弃！

如同双极型器件——晶体管一样，三线 IGBT 器件也自然形成了内部 3 只等效电容，而 IGBT 内部的  $C_{ge}$  却不是寄生性的，实在是工艺与结构所形成，对  $C_{ce}$  电容我们不要去管它。对 IGBT 能起到毁灭性作用的是  $C_{cg}$  和  $C_{ge}$  两只电容。

图 4-14 为下臂 IGBT 的触发端子开路时的情形。上电后，IGBT1 因驱动电路的接入，负的截止电压加到 G、E 极上，能将其维持在可靠的截止状态。变频器运行信号的莽撞投入，使 IGBT1 受正向激励脉冲电压驱动而导通，U 端子即 IGBT2 的 C 极马上跳变为 530V 的直流高压，此跳变电压提供了  $C_{cg}$ 、 $C_{ge}$  两只电容的充电电流回路，在 IGBT1 导通期间，IGBT2 也为此充电电流所驱动，而近于同时导通，两管的共通形成了对 P、N 端的 530V 供电电源的短路，“啪啦”一声，两只管子都炸掉了！假如上管的信号端子是空置的，而下管接入了驱动电路，同样，下管的导通，也会因同样的原因使两管损坏。

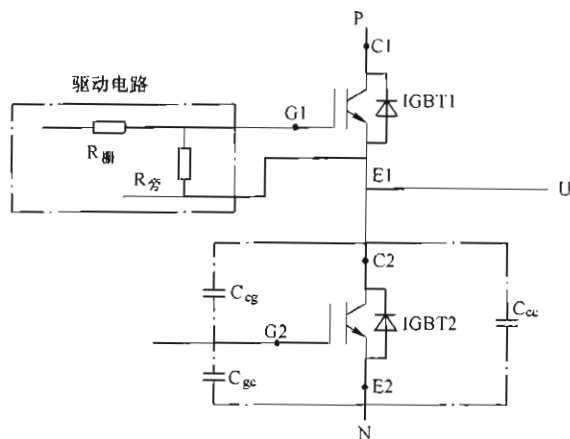


图 4-14 IGBT 结电容等效图

期间，IGBT2 也为此充电电流所驱动，而近于同时导通，两管的共通形成了对 P、N 端的 530V 供电电源的短路，“啪啦”一声，两只管子都炸掉了！假如上管的信号端子是空置的，而下管接入了驱动电路，同样，下管的导通，也会因同样的原因使两管损坏。

假定 IGBT2 的 G、E 极上，尚并联有栅极旁路电阻（如 IGBT1 栅控回路中的  $R_{旁}$ ），将对上述充电电流形成旁路作用，两管同时导通的可能性会降低一些。再假定在上管导通期间，下管的 G、E 极间有 7V 左右截止负压的存在，正向的充电电流为栅负偏压所中和和吸收，远远达不到使 IGBT 导通的幅值，则 IGBT2 是安全的。这也正是 IGBT 的控制回路为什么要加上负压的缘故。

对于采用 IPM 智能化逆变模块的变频器，驱动供电往往为单电源，并未提供负压，又是怎么回事呢？

从设计上的要求，IGBT 驱动信号的引线越短越好，因驱动信号为数万赫兹的高频脉冲信号，引线电感不容忽视，栅极电阻的接入并不能完全补偿引线电感效应。而逆变输出电路工作于高频率大电流状态下，引线电感产生的作用同样不容忽视。故逆变电路用分立元件构成的机型，或驱动电路与逆变电路的信号引线较长时（达几十厘米），驱动供电必须有负压

提供，而保障 IGBT 的安全。而 IPM 模块，驱动电路与逆变主电路都集成于模块内部，引线电感的作用就不是那么突出了。再加上栅-射极的低阻抗匹配措施，是完全可以省掉负压的。

在 IGBT 截止负压丢失或触发端子空置的情况下，且记：不可使变频器进入启动状态！

### 4.6 早期变频器产品驱动电路的检修

图 4-15 为 616G3 55kW 安川变频器驱动电路图，由 CPU 主板来的 U+、U-、V+、

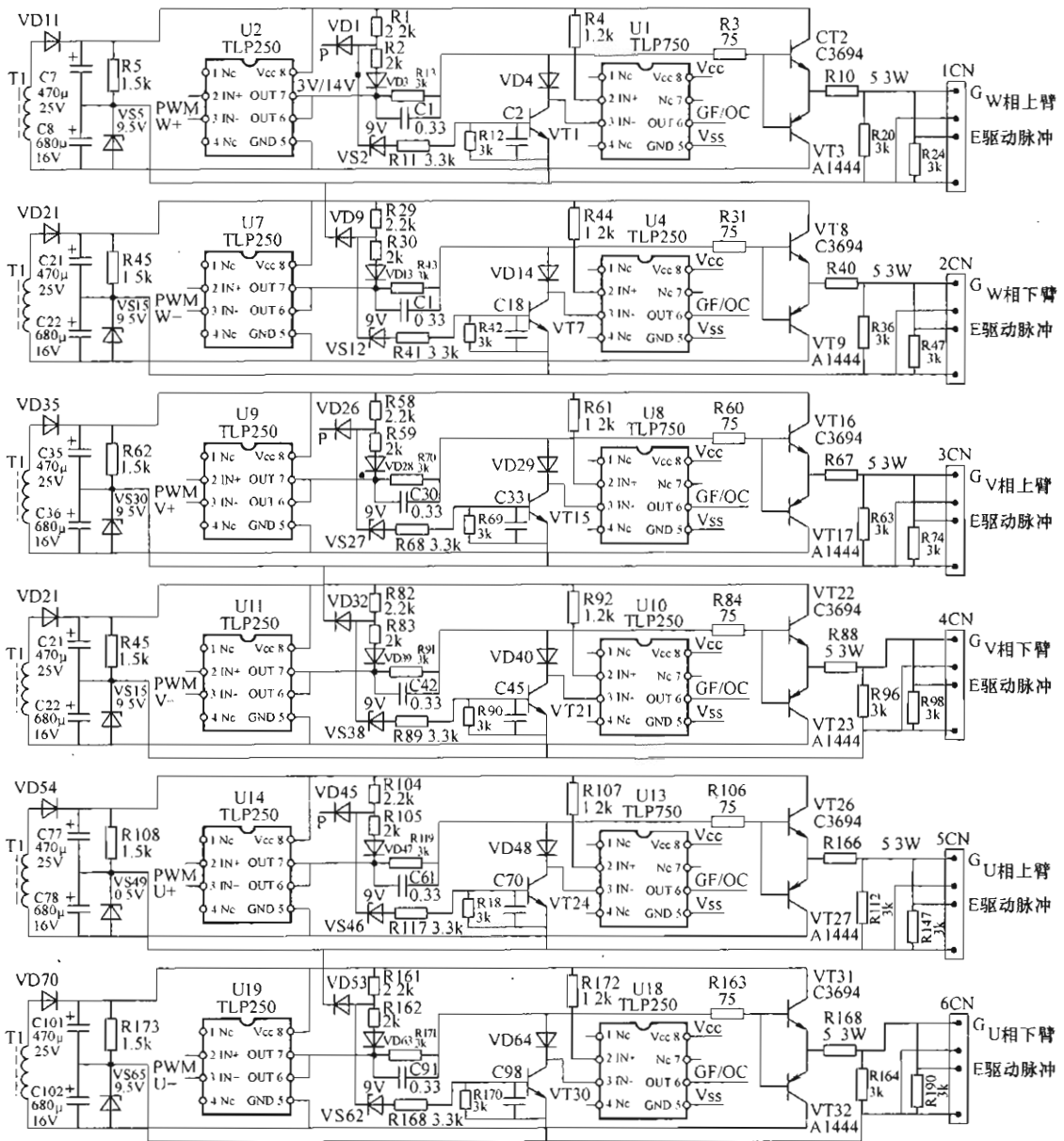


图 4-15 616G3 55kW 安川变频器驱动电路图



V-、W+、W- 六路 PWM 脉冲信号，经 TLP250 驱动光耦隔离和放大后，送入后置功率放大器继续放大至一定的电流幅度后，由 1CN~6CN 6 个信号端子输入至逆变电路的 6 只 IGBT 模块。本电路中 IGBT 管压降检测与保护电路是由分立元件构成的，因此更便于理解 IGBT 管压降检测与保护动作过程。将图 4-15 中的其中一路脉冲与保护电路（W 相上臂 IGBT 驱动电路）稍为改画，即可看出 IGBT 管压降检测电路是如何对 IGBT 模块实施保护动作的了，如图 4-16 所示。

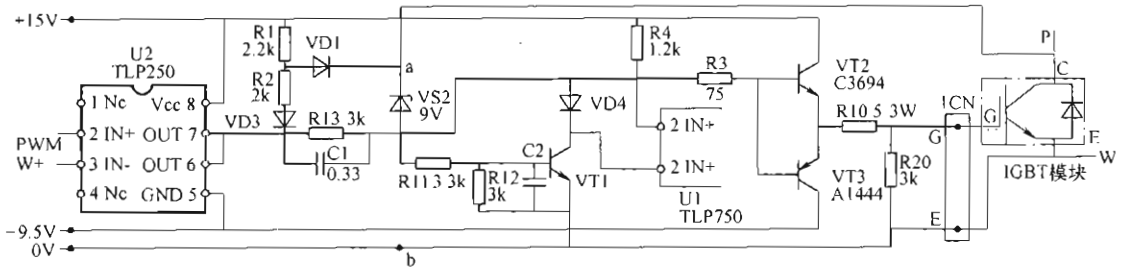


图 4-16 616G3 55kW 安川变频器驱动电路中的 IGBT 保护电路

在变频器未接收起动信号时，U2 的 6、7 输出脚为截止负电压，如以 0V 电源线做为参考点的话，此时 6、7 脚电压约 -9.5V，此负压经 R13、C1、R3 引入到 VT2 和 VT3 的基极，C1 为加速电容，能加快 VT2 的导通并加速 VT3 的截止。VT2 因反偏压而截止，VT3 因正偏压而导通，IGBT 模块的栅偏压为负，处于截止状态。电阻 R1、R2 对 15V 和负 -9.5V 分压得到 3V 的电压。VD9 是击穿电压值为 9V 的稳压管，R1 与 R2 的分压值不足以使其击穿，故 VT3 无偏流，处于截止状态。光耦合器 U1 无输入电流，故无 GF（接地）和 OC（过载、短路）等故障信号返回 CPU。当 CPU 发送激励脉冲期间，U2 的 7、8 脚变为峰值为 15V 的正脉冲电压，VD1 的正极便因 VD3 的隔离作用而上升为 15V，此时便出现了两种情况：一种情况下是模块良好，IGBT 在正激励脉冲驱动下迅即导通，可认为 P 与电源供电 0V 线短接了。VD1、VS2 的负端电位因 IGBT 模块的导通被拉低为 0V 的低电平，使 VT3 仍无基极偏流而截止；一种情况下是模块已损坏或因负载异常使运行电流过大，或因 VT3 等驱动电路本身不良使 IGBT 管子并未良好地导通（导通管压降大大上升），VD1 反偏截止，此时由 R1、VD1 引入的 +15V 电压使 VS2 击穿，VT1 得到偏流导通，将 U2 输出的正脉冲电压拉为 0.8V 左右零电平，IGBT 模块失去激励脉冲而截止。保护动作管 VT3 的 C 极串入 VD4 的目的，是使驱动脉冲电压在保护电路动作后仍能保持一个低电平输出，实现软关断控制。同时 VT3 的导通产生了 U1 的输入电流通路，U1 将模块故障信号送入 CPU。可见此电路是保护电路先切断了 IGBT 的驱动脉冲，同时送出了模块故障信号。保护时间上是较为及时和快速的。

由 U1 报与 CPU 的故障信号，在起动初始阶段，为 GF（接地故障）信号；在起动的后半阶段和运行期间，则为 OC（模块过流故障）信号。

在与主电路脱开，单独检修电源/驱动板时，短接 a、b 点或短接 VT1 的发射结，均会使保护电路停止工作，不向 CPU 返回故障停机信号，便于对驱动电路的动态检修。

#### 故障实例 1

一例安川变频器 GF（接地）故障——疑难故障的修复。

检修一台安川 616G3 型 55kW 变频器，上电即报 GF——接地故障。也曾上过一些网站搜寻对此故障的分析，好多帖子都反映这个故障比较顽固的，必须换板才能修复的。换主板还是驱动板？未说清楚。由于检修的一度陷入僵局，几乎也要认可这一说法了。

但看安川变频器保护电路的结构，与其他变频器其实是一样的。过电流 OL1、OL2、OL3 故障信号，应是电流互感器和后续电流检测处理电路与 CPU 的；而 GF（接地）和 OC（负载侧短路）故障信号，应为驱动电路板的保护电路直接馈送 CPU 的。不同点在于，在起动初始阶段，检测模块异常，即报出 GF 故障。在运行中检测模块异常，则报出 OC 故障。这两种信号，其实也透出这样一种信息：起动初始阶段，还未建立起三相输出电压，负载尚未运行，实际的故障来源应为变频器驱动电路或 IGBT 模块本身异常所致，但也不排除负载有接地故障；在运行中有异常大的电流出现，跳 OC，则为负载侧故障的几率为大，而且为过电流故障而非接地故障。GF 和 OC 故障的区别和所指，确实是有其道理的。

由 CPU 自身损坏，造成上电即报 GF 故障的可能性，是微乎其微的。而 GF 故障，肯定是由驱动电路直接报予 CPU 的。换板，似乎只能是换驱动板了。更换 CPU 主板来修复此故障，不符合逻辑条件呀。此纯粹是硬件电路（驱动电路或 IGBT 模块）的故障。

机器原故障为：三相电源输入整流模块有两块损坏，6 块逆变 IGBT 模块有两块损坏。驱动板因受 IGBT 损坏模块的冲击，也有一些元件损坏。此机器因某种原因放置了二、三年后，才来维修部修理。先检查了主电路，对逆变模块与直流回路的储能电容进行了检测，对损坏模块咨询了货物来源和价格。然后准备在修复驱动板后，才购回模块实施修复。

驱动电路如图 4-15 所示。

将电源/驱动板和 CPU 主板从机器中脱开，单独引入直流 500V 维修电源进行检修。换掉已坏的功率放大电路的 4 只晶体管 VT26、VT27、VT31、VT32 及 R166、R168 栅极电阻等损坏元件，上电，操作面板有显示，能操作。说明开关电源与主板大致无问题。依照常规采取相应措施，人为解除了过电压、欠电压、过热、风扇、OC 等故障报警（即采取相应手段满足上述故障检测电路的检测条件），以使驱动板能输出六路正常的激励脉冲，以检查驱动电路的好坏。

但作了上述处理后，电路仍然报 FU（熔断器）故障，检查了 VT5、VT20、VT29 光耦器件及相属电路的元器件（请参阅第 7 章故障检测电路相关的内容），都无异常。观察电路板，部分铜箔条有霉变现象，且从主电路再经端子引入的 P、N 接线的铜箔条，细如发丝。不但铜箔条有可能霉断，尤其是此铜箔条上的焊盘过孔处极易产生接触不良的故障。要注意此点。霉变铜箔条，这往往成为疑难故障的根源。检查发现，果然发现 N 引线铜箔条有断裂现象，致使熔断器检测电路以为连接 N 线的熔断器已断，故上电后即报出 FU 故障。将霉变铜箔条用细砂纸打磨后，贴敷一根裸铜线再用焊锡连接后，上电后跳 FU 的故障排除。

按操作面板 [RUN] 键，给出运行指令，测驱动电路输出的六路脉冲，均正常。停机后，测六路截止负压，也都在正常范围以内。经过以上大致检查，确定机器完全可以修复，即打去货款，让供货商将定购的整流与逆变模块发过来。进行装机试验了。

装机试验，仍跳 GF（接地）故障。在线检查模块等均无异常。拆下驱动板重新检修，测量电路元器件都是好的。短接了保护电路的晶体管 VT3、VT7、VT15、VT21 等的发射结（当然短接图 4-16 中的 a、b 点，也是一样的效果，但不如晶体管好找短接点），才不跳 GF 故障了。逆变模块没有问题，可能为驱动电路误报 GF 故障。检查发现，是 IGBT 管压降检

测回路的一只二极管 VD9 的焊盘与铜箔条接触不良，进行清污和焊接处理。慎重起见，又重新检查了六路输出脉冲的电流输出能力，检测中发现 W 相上管驱动脉冲的正电压偏低，正电流偏小（比其他电路近乎小一半），肯定存在故障。查起来可就费了劲了，先后换掉了驱动对管、滤波电容、稳压管和驱动光耦等，均无效果。从电路原理分析，同等负载情况下，输出电压幅度低，说明输出电路存在一定的输出内阻。故障还是在驱动 IC——U14 上，可能所换的 TLP250 也为不良器件！用手头的一片 A3120 将 TLP250 更换后，测输出脉冲幅度与其他五路的基本一样了。原驱动光耦合器和所更换的光耦合器低效，输出内阻增大，使输出能力打了折扣。这当然也是驱动电路报 GF 故障的一个原因。

此时以为驱动板的故障已经彻底修复，装机试验。起动后还是跳 GF 故障。重又查了一次模块，感觉故障还是在驱动板上。又拆下驱动板，利用故障分区切割法，缩小故障范围，查出 U 上臂 IGBT 驱动电路（保护电路）易报出 GF 故障。这回下了细功夫了，总共也不过十几个元器件，一个一个地排查。当表笔无意中触到模块检测输入电路的二极管 VD45 时，准确一点地说，是触到二极管管体中间的“小圆疙瘩”时，这个“小圆疙瘩”竟然从电路板上滚落了下来。该二极管的封装形式现在已经不多见，像是旧式彩电上行输出电路中的阻尼二极管，中间是一个“小圆疙瘩”。细看从电路板上留下 VD45 的引线端面，隐约有一个小黑点。这只二极管的电极引线早就接触不良了。但为什么在数次检测中没有测量出来呢？因电路板上表面涂敷有一层绝缘漆，故测量该二极管的引线端时，必须在表笔上施加一定的加力，才能测量。在此压力下，二极管是“是接触良好”的。而撤去表笔，而又处在接触不良的状态下了。因而这种接触不良，甚至是很难测量的。另外，当驱动板从主电路上拆除后检修时，不再承受主回路高电压的冲击。接通低电压回路，强制解除掉 GF 故障报警功能时，在低电压状态下，其接触不良引起的“导通内阻”便被忽略了。而接入主电路后，这种接触不良，必定又会暴露无遗，导致 IGBT 管压降检测电路（保护电路）误送出 GF 信号，而使变频器实施保护停机动作。

一般的 GF 故障，到此应该是宣告结束了。

又一次装机试验，起动仍跳 GF 接地故障！有点意外，原以为驱动板已修好，十拿九稳地装机即能正常运行了。无奈之下，在主回路 P 供电端与逆变模块之间串接两只 25W 灯泡的前提下，将模块检测电路的晶体管 VT3、VT7、VT15、VT21、VT24、VT30 的发射结全都短接，解除了驱动电路的保护功能。U、V、W 三相输出端全部空置，不接负载。上电起动，出现一个不同于其他机器的异常现象：上电后，不投入起动信号，串接灯泡不亮；投入起动信号后，灯泡即亮，且亮度较高！照常规判断，是起动后逆变模块出现了上、下臂 IGBT 的共通现象。不是驱动电路有异常，即是有模块存在漏电或短路！将直流供电的电压全降在灯泡上了。但更为奇怪的是，此时测量 3 个输出端，竟也能输出较高幅值的三相交流电压，且较为平衡，其中无直流成分！由此也可判断出：驱动脉冲电路和输出模块应该都是正常的。但这种正常又都是画了问号的正常了。

到底属于正常还是不正常呢？

单独检查和试验驱动电路和检测模块，确实检测不出有什么异常。只给一相供电，送入驱动脉冲后，串接灯泡仍亮。单独送电三相皆如此，显然三相模块回路应该都是正常的。

观察逆变模块电路结构，发现每只 IGBT 模块上皆装配有型号为 MS1250D225P 和 MS1250D225N 的方形黑色的东西。此为何物？测量判断，内部应为一只二极管和一只  $2\mu\text{F}$

容量的无极性电容，再配接外接的一只  $10\Omega$   $60W$  的电阻，以上元件并联于逆变模块的两端，应是提供模块的反向电流通路，抑制反压，保护模块不被反压击穿的阻容保护网络。将其拆除后，给出起动信号，串接灯泡不亮了。灯泡的百毫安左右的电流，原来就是这个东西提供通路的！以一定的功率损耗作为牺牲，来保障 IGBT 模块更高的安全性。IGBT 模块上并接的 MS1250D225P 和 MS1250D225N 器件，在东元变频器较大功率的机型上也有应用。

解决了这个疑问，模块没有问题，在起动运行后灯泡点亮是正常的。可是又出现了其他问题：空载起动后，有时正常有时还是跳 GF 故障。而最奇怪的是：有时是在运行和 GF 故障停机状态中不停切换的。既不是停机保护了，也不是一直在输出中，测输出也是时有时无的。CPU 好像也处于一个矛盾心态中：可以运行吧？不行。GF 故障！好像又可以运行？就这样来回折腾。CPU 对 GF 或其他故障，总是有一定的时间延迟确认功能的，故障信号好像变化太快，使 CPU 也来不及确认。

这下子有了点安慰：好像能运行了；又有点犯愁：故障更难查了呀。

再将驱动和模块电路检查了一遍，确定都无问题。一共有六路脉冲电路，保护电路也有六路。还是采取“笨法子”，一路一路地解除掉保护信号（分别短接每一路保护电路中晶体管的发射结），判断是哪路报的 GF 信号。但奇怪了：只要解除掉其中任一路保护信号，运行中就几乎不跳 GF 了！但实在查不出故障所在，查不出到底是哪一路驱动或模块不良。好像冥冥中一个“共性”在起作用，但琢磨不出这个“共性”是什么因素？莫非如网络上所称，安川变频器的 GF 故障，为疑难的不可解决的？只有换板子才能解决的故障？看其保护电路，与其他品牌变频器的电路也相似呀，看不出什么特别之处呀。还是下决心要解决这个问题。

怎么也检查不出问题，脑子里突然闪现了这样一种观念：既然六路驱动和六路模块都表现了同一个状态，如果说这六路都反常了，反而说明这六路都是正常的。应该确定此六路驱动和保护电路都无问题！6 只功率模块同样也没有问题！问题肯定出在一个共同原因上，此一原因影响了六路保护电路，使任何一路都会随机性地报出 GF 故障。

将此机器的检修稍微停顿了一下，放松了一下大脑神经，再端详这台修理中的变频器时，忽而被电容器的引线吸引住了。

因该台变频器为功率为  $55kW$  的大中功率机型，直流回路电容量较大，电容器组安装在两块支撑板上，体积较大。为了维修和检查方便，故将电容和支撑板搬到机器壳体外，用引线串入灯泡和充电电阻接入到模块和整流电路上。变频器体积较大，电容器组的引线较长，中间又串入了两只灯泡和限流电阻，总引线长度达  $4、5m$ 。因有了 MS1250D225P 和 MS1250D225N 两个阻容吸收网络，使逆变模块在空载时也有了输入电流，这种电流是一种数千赫兹按载波频率变化的电流啊。如此长的引线，引线电感肯定是不容忽视的。此回路中的感生电动势和感生电流形成的干扰信号，影响了模块故障检测电路，导致其报出了不规则的 GF 信号，使 CPU 也模棱两可地判断不准了。其他机型的变频器，因无 MS1250D225P 和 MS1250D225N 两个阻容吸收网络，空载输出中几乎没有输入电流，因而串接灯泡不亮，也不会有什么干扰信号干扰模块故障检测电路。

如果此判断成立的话，则可进行正式装机了，正式装机后，电容器组的引线电感将被限制在允许值内，应该能正常运行，不再跳这个顽固异常的 GF 故障了。

如此思考一番后，果断地拆除了所有临时连接线，正式装机。安川变频器运行后输出稳

定,像一位约会迟到的美女虽然姗姗来迟,但也终于向我宣告了一个“已经修复完毕”的消息。

本例维修中出现的问题:

1) 因 IGBT 模块两端并联有 MS1250D225P 和 MS1250D225N 器件,故形成一定的电流通路,在将逆变回路的供电串接灯泡进行上电检修时,出现了起动后灯泡发亮的现象,其他变频器在空载时串接灯泡检修,不会出现此种现象。检修中出现一个怪现象,要静下心来,从电路的结构、功能来找出产生此现象的原因。

2) 大功率变频器的检修,像本例,其电容器的引线连接等方面,都会带来意想不到的问题,如引线电感的问题,单从电路原理图上,是分析不出故障原因来的。要结合具体检修情况,全面、综合地分析故障成因。像本例因引线电感的干扰造成的误报 GF 故障,从驱动电路的元器件本身,是永远也查不出故障根源的。检修的实施过程,有一个“变数”在里面,这是我们需要注意的地方。

## 故障实例 2

中达(台达)牌 VFD-A 型 3.7kW 3PHASE 变频器驱动电路故障的检修。

接手两台同型号(中达)牌变频器,检查都为逆变输出模块损坏和驱动电路严重损坏:驱动集成电路 T250V 或炸裂,或输出端与供电地短路、滤波电容喷液、稳压二极管击穿或开路、栅极电阻开路或阻值变大、电路板碳化受损等情况,继续检查,发现一台变频器的三相整流桥已有一臂击穿,充电限流电阻、充电电阻短接,继电器触点粘连等情况,损坏情况较为严重。发现驱动集成电路的输入侧的信号引入电阻也有几只呈现开路状态,此电阻的另一端即接至 CPU 触发脉冲输出端,想必 CPU 也遭受了强大的电冲击,如果 CPU 控制板再有损坏的话,则此两台变频器已无太大的修理价值。

1) 将主电路及驱动电路画图后进行全面检查,将电路板碳化部分用小刀刮净,将损坏元器件尽数拆除。测量主电路不存在短路现象,送电检查,显示正常,说明开关电源、控制部分基本上正常。用万用表测量驱动 IC 的输入侧有 0~0.6V 的静、动态电压值,说明 CPU 主板能正常输出六路逆变脉冲。即开始购件,做好全面修复准备。

2) 将驱动电路损坏部分全部换新(30 多只元器件),上电检测各个驱动电路的输出电压幅度,也都正常。

3) 装机后上电检查,用万用表交流档测量发现有三相输出电压不平衡现象,换用直流 500V 档测量, V、W 之间无直流成分,但 U、V 和 U、W 之间有直流电压!判断 U 相上、下臂 IGBT,有一路是无输出的!

4) 停电检查,发现 EU 回路触发电源中的稳压二极管 VS11,由于原贴片元件损坏后,换用普通元件后搭焊不结实,在安装逆变模块时不慎将其脱焊,供该路驱动供电电源的中的 OV 点强制为负压,致使 U 相中的上臂 IGBT 的栅偏压一直被钳位为负压,处于截止状态。该相只有下管导通的负半波输出,因而在输出中产生了直流成分!将 VS11 补焊,通电试机,测三相输出平衡,直流成分为零,带载试机,起动与运行都正常,于是第一台变频器顺利修复。

修复第二台机器时,重复了第一台的清理步骤,将驱动电路修复——输出六路电压和电流幅度都正常的脉冲电压后,开始焊接逆变模块。焊装模块完毕后,犯了个粗心大意的错误:未在模块直流供电回路串入灯泡或熔断器,也未先接入低压直流电源先行试机,即将逆

变模块直接接入主直流回路中，将控制端子 DCM 与 FWD 端子（正转起动控制）瞬时短接了一下，耳听得“啪啦”一声，心里只叫得一声“糟了”，明白刚换上的 MG25Q6ES42 逆变输出模块已于瞬间炸裂损坏！

记得焊接逆变模块前，已测过六路驱动电路的输出脉冲电压，完全正常，应该是没有问题的呀。也将逆变模块触发输出端的并联电阻全部焊接，并用万用表测了一遍，以证实焊接良好。一检查，电路板正面的驱动电路的栅极电阻、旁路电阻等都焊接完毕，但一时迷糊，电路板反面驱动电路的栅极电阻、栅极旁路电阻忘了焊了。电路板正面已损坏的 EU、EV、EW 端子的 3 只触发信号引入电阻都已焊接，但位于电路板背面的 GX、GY 端子因处于背面并已焊接上逆变模块（焊接模块前一定要彻底检查！），两只栅极电阻（一路原为  $100\Omega$  两只并联电阻，修理时用一只  $0.5W$   $51\Omega$  电阻代替）忘记焊接，致使 U、V 下臂 IGBT 栅控回路呈开路状态，接收起动信号后，模块炸裂！

在不接通触发回路的情况下、在触发引入电阻开路损坏的情况下、逆变输出模块触发端子一臂悬空的情况下，运转信号的莽撞投入，会导致逆变模块眨眼间损坏。起动状态下严禁将某一触发输入端开路，否则将造成模块损坏的严重后果！修理过程中，通电试验前，一定要检查触发端子引线是否连接牢靠。对通电起动即损坏逆变模块的故障，就首查、彻查模块驱动电路！逆变模块的首次上电检查，一定要串接灯泡或熔断器或采用低压直流  $24V$  供电，验证驱动电路正常后，再恢复原供电。不可图省事，直接接入  $530V$  供电试机！

但其损坏机理何在呢？从故障现象来看，逆变模块为短路性击穿炸裂损坏，短路的原因不属过电压性击穿，应属过电流性损坏。但负载接了 3 只  $15W$  灯泡，为空载（实际上即使完全空载，也会出现短路性损坏），那么过电流性损坏又是如何发生的呢？试分析如下：逆变电路正常工作时，由六路触发脉冲控制 6 只 IGBT 按一定次序导通与截止，将直流电源斩波成三相交变电压输出。每相输出由上下两只管子轮流导通与截止，形成该相的正半波和负半波电压。两管交接时存在一定的时间间隔，又称一定的死区时间，也即是在任一时间段内，不允许出现两管同时导通的局面。上下两管的同时导通，必定导致对直流电源的短路，其后果是逆变模块的炸裂损坏！这种损坏与外接负载没有直接关系，即使是空载也会照常损坏。上例中下臂 IGBT 的触发端悬空，管子截止所需的负偏压为零，当上管受触发导通时，下管 IGBT 的 C 极将产生一个跳变高电位，由此产生了一个经由下臂 IGBT 的集电极-栅极之间形成的电容、栅极和-射极之间的输入电容的充电电流。栅极电阻未开路时，此充电电流为足够大的负偏压所吸收，不能触通下臂 IGBT。但此时由于负偏压的消失，此充电电流形成了正向栅偏压，其值足以使下管导通，上、下两管的同时导通造成了电源的直接短路，当然就会听见“啪啦”一声了。同理，当上管的触发引入电阻开路时，下管的导通会引起上臂 IGBT 的发射极产生一个低电位跳变，同样瞬间会产生一个经由集电极向集-栅电容、栅-射电容充电的充电电流。形成了两管同时导通将直流电源短路的局面。

以前提到，直流回路储能滤波电容的失效，是造成逆变模块损坏的二级杀手，逆变模块触发端子的悬空（或截止负压的消失、栅极电阻的断路），则是逆变模块破坏的一级杀手了！两者的相同点在于，破坏性极大，保护电路往来不及动作。两者的不同之处是：前者为电容失效，直流回路的谐波使逆变模块造成过电压性击穿损坏，后者为管子的截止负偏压消失而造成两管同时导通对电源形成的过电流性短路损坏；前者的损坏尚有一个渐变过程，在起动或运行过程中损坏，如果很轻的负载或者空载，不会导致损坏，而后者简直就是无过

程损坏,表现为一接受到起动信号,无论是带载或空载,逆变模块都会瞬时坏掉!所以后的为害尤烈,尤其是易发生于故障修复过程中,稍有不慎,即导致前功尽弃,后悔莫及!

修复后、起动前的保证措施:先断掉逆变模块的供电电源,再上电检查驱动电路的故障。

1) 测量驱动集成电路的输入、输出侧的直流静态电压,保证为正常状态。

2) 测量六路驱动的输出脉冲信号电压,脉冲信号电流都达到一定幅度。

3) 先将逆变模块的供电改接较低的直流电压,如 24V 供电电压,做起停试验,检测三相输出的平衡情况,及有无直流成分。一般在此一步骤,如驱动电路有异常,故障便已经暴露出来。

4) 无低压直流电压条件的,可在逆变供电回路中串接两只 15~40W 的灯泡,再开机试验,此灯泡在此不仅起到输出电流指示,重要的是驱动电路不良造成输出短路时,电路的压降降在灯泡上,以灯泡电阻的限流作用保护了模块不被损坏。灯泡也有可能起到一个熔丝的作用,灯丝熔断后也保护了逆变模块。最省事也要串接一只 2A 熔断器,起到对逆变模块的保护作用。

5) 检测空载输出正常后,恢复逆变模块的供电。再最后检查触发端子的插头、连接线都正常,整机装配。

6) 带载试验,可根据维修部条件,接入小功率三相电动机试验。

7) 到现场安装时,落实上次的损坏原因,根据现场的电气、机械和温度等环境,调整相关参数,或增设附件。如考虑现场有电容补偿柜,变频器安装较为密集,因而电源污染较为严重,电源谐波大,可在电源输入侧加装三相电抗器,以避免短时间内再度损坏。如发现负载惯性大,而又必须做到快速停车,变频器易出现过电压损坏。则应要求用户加装制动单元和制动电阻后,再投入运行。需要注意的是,一些变频器的损坏大多是因为用户使用与调整不当造成的,不把这些有害因素排除掉,则修复好的变频器很可能在短时间内再度损坏,使用户和维修者蒙受不必要的损失。

## 4.7 驱动 IC 经典组合电路的检修

图 4-17 为 N2-405 3.7kW 台安变频器的驱动电路。

### 1. 电路原理简述

本机驱动电路的供电是由开关变压器的 4 个相互隔离的二次绕组的输出其交流电压,经整流滤波,再由 R、VD 稳压电路分解为四路正、负电源,供驱动电路的。逆变功率输出电路上三臂 IGBT,因信号地不能“相共”,由三组驱动电源单独提供;下三臂 IGBT 的驱动,因 3 只管子的 E 极是共 N 的,故采用了一组供电,该组供电是由双绕组正、负整流、滤波输出的。

上三臂 IGBT 的驱动 IC,采用专用驱动芯片 PC923;下三臂 IGBT 的驱动 IC,采用内含模块故障检测电路的 PC929。由 PC923 内部电路和 9 脚外接元件,对下三臂 IGBT 管压降的检测,向 CPU 报出 SC 或 OC 故障,实施停机保护。

PC923、PC929 输入侧均为发光二极管,输入脉冲信号使发光二极管点亮和熄灭,光敏二极管通过光信号强弱导通和截止,将输入光信号转变为电压(电流)信号输入 IC 内部后

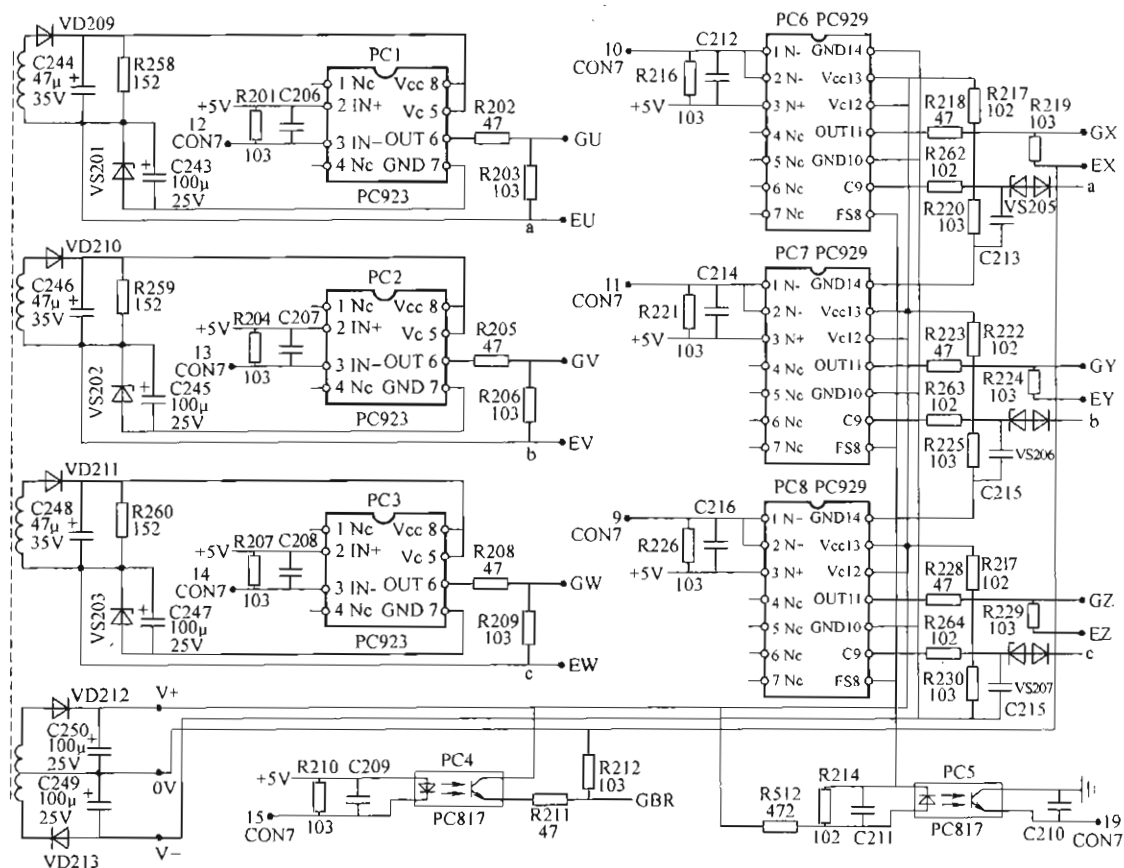


图 4-17 N2-405 3.7kW 台安变频器驱动电路

级放大器。驱动 IC 输出的驱动脉冲信号经栅极电阻引入模块的 (GU、EU) ~ (GZ、EZ) 6 组控制信号输入端子。本机为小功率机型，采用一体化模块，整流和逆变电路都集成在模块内部。另外，模块内部还集成了 IGBT 制动开关管，在直流回路过电压制动电路起控时，由排线端子 CON7 的 15 脚输入制动脉冲信号，由光耦合器 PC4 驱动模块内部的 IGBT 制动开关管。

PC929 的 9 脚为 IGBT 导通管压降信号输入脚，与外电路配合，检测 IGBT 导通时的管压降，大于起控阈值时，内部 IGBT 保护电路动作，控制下三臂 IGBT 的软关断，同时 8 脚输出低电平。接通了 PC5 光耦合器的输入电流通路，PC5 将 OC 信号报与 CPU。下三臂 IGBT 的任一臂出现过电流，都会控制 PC5 送出 OC 信号，由 CPU 中止六路脉冲信号的传输，实施停机保护动作。

## 2. 对驱动电路的故障检测

1) 当逆变电路损坏后，驱动电路也受到冲击，出现驱动 IC 损坏，栅极电阻、旁路电阻损坏等故障，可将损坏模块拆除，为电源/驱动板单独接入 +500V 维修直流电源，令开关电源起振工作后进行检修。将损坏元器件换新后，可将 IGBT 管压降检测电路的 a、b、c 三点驱动电源的 0V 供电线短接，为 PC929 的 9 脚人为输入“IGBT 正常开通”的信号，使保护电路不起控，CPU 正常输出六路脉冲信号，以利检修工作的进行。



2) 当逆变回路正常, 驱动电路本身故障时, 因一体化模块拆除困难, 可将逆变电路的 P 端正供电, 切断, 将 a、b、c 三点对驱动电源的 0V 供电线短接后, 上电检修。将故障修复后, 拆除短接线, 再恢复逆变回路的供电。

#### 故障实例 1

一台 7200GA-41kVA (22kW) 变频器雷击故障的修复。

接手一台 7200GA-41kVA (22kW) 变频器, 属雷击故障, 将损坏的输入整流模块、开关电源的开关管、分流管更换后, 屏显正常, 看来问题不大。

测六路驱动信号输出端子上的负压正常, 驱动 IC 的输入信号均“正常”, 整机装配试验, 一上电即跳 OC, 但复位后能起动作, 操作显示面板上有频率输出显示, 但实测 U、V、W 端子无三相电压输出。本机驱动 IC 采用光耦 PC923 和 PC929, 由 PC929 与光耦合器 SN0357 配合向 CPU 返回 OC 信号。

检查驱动 IC 输出侧电路及模块内部的逆变回路, 都无异常。测 PC923 的脉冲输入脚, 感觉不大对劲, 怎么 3 脚电平高, 2 脚电平低? 难道是驱动供电搞反了吗? 2 脚和 3 脚为光敏二极管输入电路, 2 脚为二极管的阳极, 3 脚为二极管的阴极, 按常理说, 一般 2 脚常由 +5V 供电再经稳压处理给出 +5V \* 的电源, 而 3 脚接 CPU 的脉冲输出端, 低电平输出有效, 即输出时从 PC923 的 3 脚拉入电流, 使内部输入侧二极管导通。有脉冲作用且频率较低时 (直流电压档对 +5V 供电地端测量), 3 脚为 3V 上下的摆动电压, 当频率上升时, 该脚约为 3V 左右的电压值。无输出时, 3 脚也为 5V 左右的直流电压。

现在检测的结果如下: 未输入运行指令时, 3 脚为 0.5V 高电平, 2 脚为接近 0V 的低电平; 当输入运行指令时, 3 脚降为 0.2V, 有高低电平的变化, 说明 CPU 的脉冲已经到达了 PC923。但 PC923 的 2 脚的 +5V \* W 供电丢失了。2 脚供电电压的丢失, 使驱动 IC 无输入电流通路不能传输脉冲信号, IGBT 得不到激励脉冲, 因而变频器无输出电压。在此情形下, PC923 内部 IGBT 保护电路, 也不报出 OC 信号。CPU 以为电路在正常工作中, 根据 CPU 对 PWM 波形的输出控制进程, 在操作显示面板上显示输出频率值。

检查 PC923 2 脚供电为一只晶体管稳压二极管的简单串联稳压电源 (见图 4-10), 晶体管基极偏流电阻开路, 导致供电电压为零。更换偏流电阻后, 测 PC923 的 2 脚和 3 脚电压恢复正常。但变频器上电, 还是跳 OC 故障, 必须进行复位操作后, 才接受运行信号。此 OC 信号是上电即跳, 并不是在起动作运行后再跳的。说明 OC 信号输出电路本身有故障, CPU 在自检过程中, 检测到 OC 故障的存在。

检测传送 OC 信号的 SN0357 光耦器件, 输入侧两引脚电压值为零, 说明 PC929 的保护电路未输入 OC 信号, 但测 OC 信号传输光耦合器输出侧的两引脚电压值为 0.5V! 既然无 OC 信号输入, 光耦合器输出侧呈高阻态, 两引脚电压应为 5V。测量输出引脚无短路现象, 只有一个可能, 即信号输出脚的 5V 上拉电阻已经变值或开路。试用一只 10kΩ 电阻接于信号输出脚与 5V 供电之间, 开机测信号输出脚为 5V, 反复送电几次, 不再跳 OC 故障。

上述两个故障, 其实都来自于一个原因: 即变频器内部电路因引入雷击, 由某些电阻元件开路, 导致信号回路供电的丢失。脉冲信号输入脚与 OC 信号输出脚, 都与 CPU 引脚直接相连, 并由上接电阻接 +5V 供电。元件损坏导致上拉高电平消失后, CPU 引脚为 0.5V 的低电平, 驱动电路不工作和上电即跳 OC 信号的原因, 即在于此。

## 故障实例 2

一台 DVP-1 /22kW 台达变频器的修复过程。

22kW 台达变频器检查完驱动电路，换上新模块后，起动即跳 OC。模块是新换的，六路驱动脉冲都正常，又检查了一下电流互感器及后续电路，也没有问题。停机时驱动 IC 的六路负压均正常，起动后六路激励电压也正常。需要先判断故障是出在驱动 IC 还是模块身上。

先检测一下六路驱动 IC 的带负载能力，即测其输出的触发电流值。原输出端串接一只  $15\Omega$  电阻（栅极电阻），再在表笔上串接一只  $15\Omega$  电阻，将回路电流限制在  $0.5\text{A}$  左右。起动信号投入后，测其电流输出能力，在原触发电路连接正常的情况下，仍能给出约  $150\text{mA}$  的动态电流。其中 V 相下臂 IGBT 的驱动电路仅输出约  $40\text{mA}$  的电流，显然远远不能满足 IGBT 的激励要求，跳 OC 故障的根源即在于此！

该机驱动 IC（PC929 和 PC923）的输出信号又经一级互补型电压跟随器功率放大后，再供到模块触发端子。推挽放大器原为一对场效应晶体管，因手头无原型号管子，现更换为晶体管对管 D1899 和 B1261，经改制试验，能满足激励要求。查 V 相下臂电路，由 PC929 的 11（脉冲输出脚）脚接至后级功率放大电路的电阻原值为  $100\Omega$ ，现变值为  $10\text{k}\Omega$  以上，致使 D1899 不能饱和导通，输出驱动电流过小。更换电阻后，输出电流正常。顺便测量了一下截止负压输出时，驱动电路的负电流供给能力，表笔仍串接  $15\Omega$  电阻，各路都在  $50\text{mA}$  左右。

这就得出一个结论：测驱动 IC 的输出电压不如测其输出电流更为直捷有效。而且能暴露出故障根源。因某些原因导致电路输出内阻增大时，测量驱动电压往往正常，掩盖了驱动电流不足的真相。

## 4.8 由 A316J 构成的驱动电路的检修

英威腾变频器的中功率机型以 6 片 A316J 专用驱动芯片电路为中心，构成了驱动电路如图 4-18 和图 4-19 所示。电路采用相隔离的供电电源，下三臂 IGBT 驱动电路因射极共 N，故可共同一组驱动供电电源。电源由三抽头绕组经二极管正、负整流和滤波取得，每路电源的正负供电端都加有  $30\text{V}$  保护稳压管，以保障 A316J 的供电不超过安全工作范围。因 A316J 的集成度较高，脉冲传输电路及 IGBT 保护电路都已集成于芯片内部，故障外围电路非常简洁。电源/驱动板为中功率机型定做，为达到较好通用性，A316J 输出的脉冲信号又经后置放大器放大到一定功率值后，送入 IGBT 模块的控制端子。栅极电阻（带 \* 号的）可据模块功率大小，另行灵活配置。

### 1. 电路工作原理简述

与其他驱动芯片相比，A316J 的信号输入电路为数字电路，输入阻抗较高，不像发光二极管，需吸入较大的信号电流，这也为相关控制提供了方便。A316J 的输入侧的供电引脚 3 脚和 4 脚接入的是经前级稳压电路处理过后质量较高的  $+5\text{V}$  \* 电源。低电平有效的脉冲信号（U+、U-、V+、V-、W+、W-）由 2 脚输入，2 脚和 3 脚之间接有  $1\text{k}\Omega$  的上拉电阻，使输入脚静态电平为高电平。同时，信号输入脚 1 脚与 SC 信号输出脚 6 脚并接在一起，

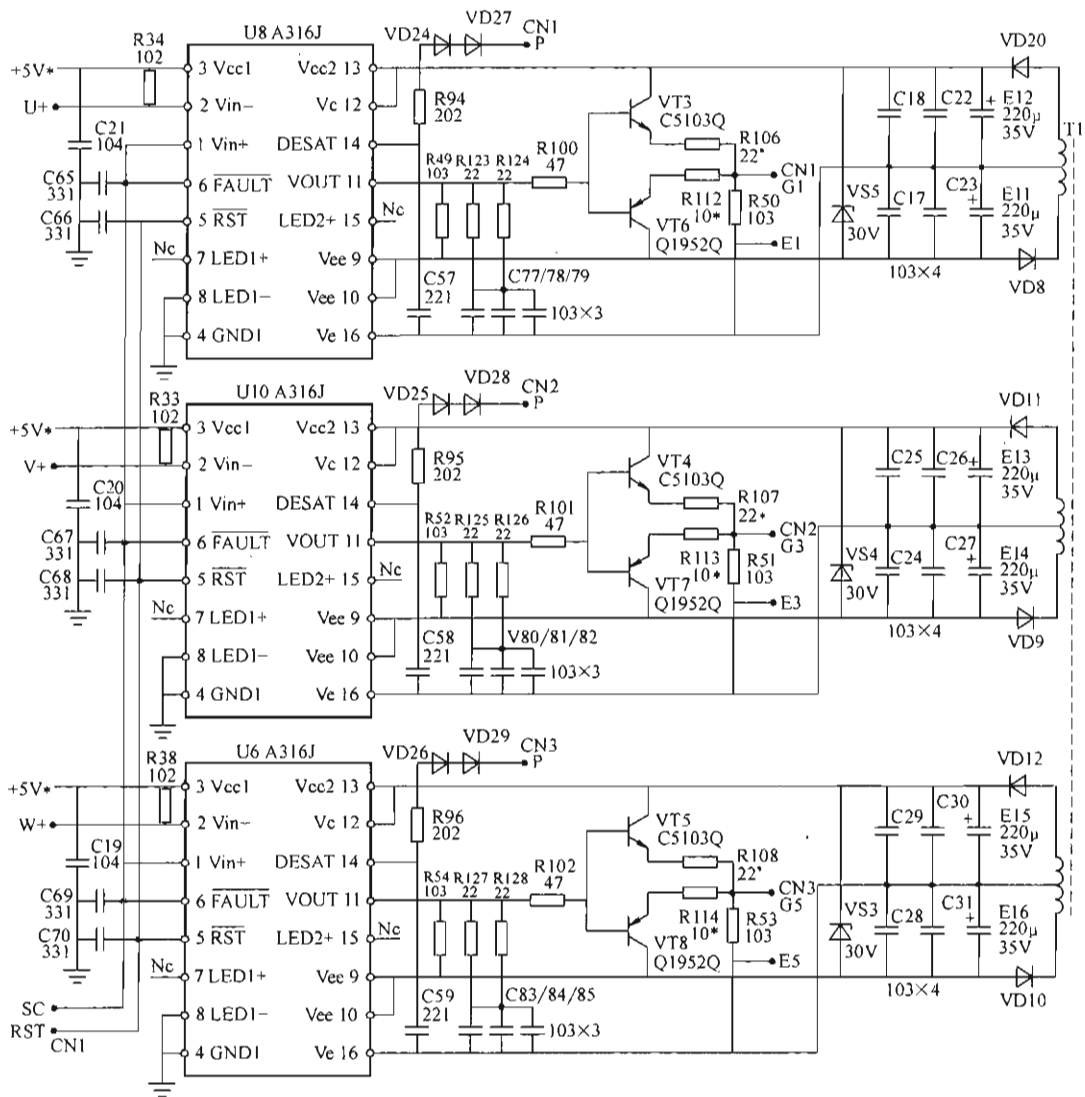


图 4-18 英威腾 G9/P9 中功率机型上三臂 IGBT 驱动电路

正常状态下，1 脚和 6 脚为高电平，1 脚和 2 脚之间为“差分信号输入方式”。当 IGBT 保护电路起控时，1 脚和 6 脚被 A316J 内部电路拉为低电平，1 脚和 2 脚之间形成“共模信号输入方式”，而切断了 A316J 对脉冲信号的传输，比 CPU 接受 SC 信号后再停止脉冲信号的输出动作要快一些。六片驱动芯片的 1 脚和 6 脚全部并联起来，任一路 IGBT 的过载信号，都会同时将整个驱动电路的工作处于停止状态，提升了电路的保护性能。

A316J 的 11 脚输出的脉冲信号，经基极电阻送入后置放大器，高电平脉冲期间，NPN 型晶体管正偏导通，输出正向激励脉冲，经  $22\Omega$  栅极电阻输入到 IGBT 的栅极；低电平反向截止脉冲期间和停机期间，PNP 型晶体管正偏导通，经  $10\Omega$  栅极电阻提供 IGBT 栅-射结电容的放电通路，使其维持在可靠截止状态。

A316J 的 14 脚外接电阻、二极管等与内部电路一起构成 IGBT 保护电路，该电路并联于 IGBT 的 C、E 极间，在激励脉冲作用期间，检测 IGBT 的导通管压降，到达动作阈值时，

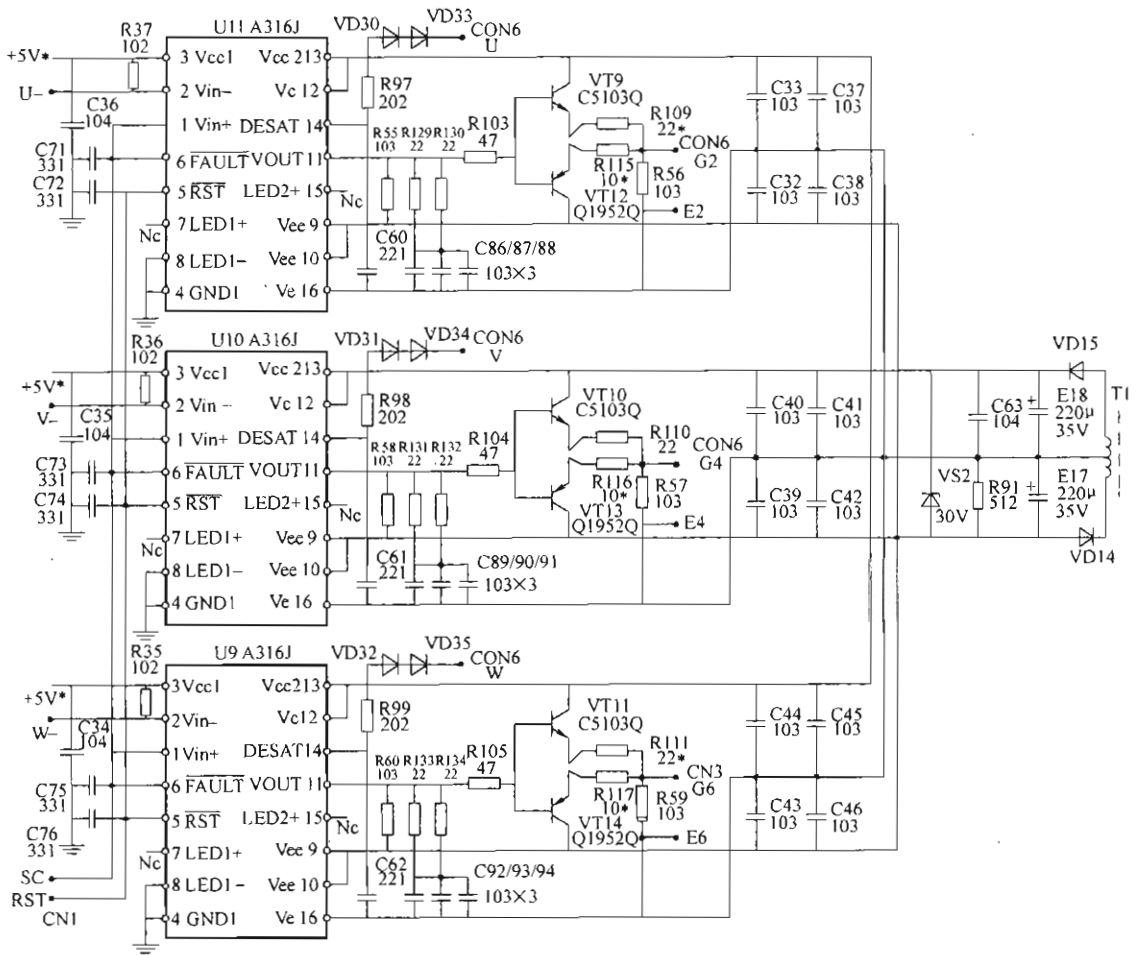


图 4-19 英威腾 G9/P9 中功率机型下三臂 IGBT 驱动电路

A316J 内部 IGBT 保护电路动作，一边对 IGBT 实施软关断控制，并锁定了 A316J 内部脉冲信号的传输通道，一边将 SC 信号从 6 脚输出，送与 CPU。直到从 CPU 来的低电平复位信号加到 A316J 的 5 脚，才将故障锁定状态解除。6 片芯片的复位控制脚也都并联在一起，共同受一路 CPU 复位信号的控制。

A316J 还内含供电电源欠电压检测电路，当检测到驱动电源电压跌落到一定阈值（12V 左右）后，无论输入信号是否有效，信号传输通道都被封锁。

### 2. 对 A316J 驱动电路故障的检测

1) 上电检测驱动电路前，必须切断对逆变回路的供电。检修完毕后，应对逆变电路采取串接灯泡等措施，确定驱动电路与逆变回路都无问题后，才恢复逆变电路的原供电，这是检修驱动电路的老生常谈。

2) 在脱开主电路后对驱动电路的单独上电检修中，必须将图 4-18 中的 CON6 端子中 U、V、W 3 个端子与驱动供电的 0V 线（A316J 的 16 脚）短接，以屏蔽保护电路的 IGBT 管压降检测功能。

3) IGBT 的可靠开通，不只取决于激励电压的幅度，更取决于驱动电流的幅度，因而对

驱动脉冲信号，必须对此两个参量进行检测，并使之达到相应要求。

### 故障实例 1

一例 A316J 驱动不良的故障。

IGBT 的导通压降在正常电流范围内一般在 3V 以内，当出现异常过电流时，管压降急剧上升，管子到达击穿损坏的边缘，此时必须实施速断保护，这一任务由 A316J 向 CPU 发送 OC 信号来完成。

在工作过程中有以下 3 种情况可导致 A316J 报 OC 信号：

1) 负载异常导致运行电流过大（大于额定电流的 2 倍左右），使 IGBT 的管压降大于 7V；

2) IGBT 有开路性损坏；

3) 驱动电路不良，造成 IGBT 的欠激励，此时输出电流虽偏小，但因管子处于微导通和随机关断状态下，也使其管压降大于动作阈值，A316J 报出 OC 信号。

在维修时，需判别 A316J 及脉冲回路的好坏时（在并不明了 IGBT 的好坏的情况下，或 IGBT 尚未接入电路的情况下），可将 A316J 的 14 脚外接 IGBT 管压降检测电路的末端与 A316J 的 16 脚短接，解除掉 OC 报警和脉冲封锁功能，利于检测 A316J 本身及脉冲输入、输出电路的好坏。

接修一台小功率变频器，更换损坏 IGBT 模块，上电带轻载试机，当频率上升到 20Hz 以上时，电动机出现“咯噔”声，并伴随电动机机体的抖动，运行中不时报出 OC 故障，导致停机保护动作的发生。检测三相输出电压，也有偏相和输出不稳定现象。判断为 IGBT 模块内某一只管子导通不好或性能不良，或某一路驱动电路的供电电源不良。采用第 2 章图 2-6 逆变回路的上电检修电路接线图二的接法，测出故障为 W 上臂 IGBT 导通不良，导致驱动电路报出 OC 故障。检修步骤如下：

1) 检查驱动电路，将 A316J 更换，试机故障依旧。

2) 单独更换 W 上臂 IGBT 试验（在模块外外接一只 IGBT 试验），故障依旧。

3) 故障还在 A316J 外围电路。拆下 A316J 供电电源的两只  $100\mu\text{F}/25\text{V}$  电容，检测容量只有几微法了。又顺便检查了其他驱动电源的电容，发现皆有失容或容量严重减小的现象。逆变模块的损坏原因正在于此。

驱动电源的电容失效后，使电源的带负载能力大为降低，表现为负载低速空载运行（小电流运行中）时，模块内 IGBT 尚维持较小的导通压降，电动机还能“稳定运行”。当频率上升或带载运行时，由于驱动电源的电容失效，驱动能力下降使 IGBT 不能良好导通，形成较大的导通电阻，出现三相严重不平衡而导致电动机振动，并进而因管压降继续增大，使 A316J 检测电路输出 OC 信号而保护停机。所以对逆变模块损坏的机器，不能忽略对驱动电源滤波电容的检查，尤其是使用年限超过 3 年以上的机器，电解电容往往因电解液干涸而产生失容现象。

### 故障实例 2

一台阿尔法 18.5kW 变频器，遭雷击损坏。逆变电路由 6 只单管 IGBT 模块组成，其中一只 IGBT 模块损坏。上电后 CPU 主板跳 2501，面板操作失效。

检查驱动电路，共 6 片 A316J 承担六路驱动脉冲输出任务。其中 3 片输出上臂脉冲的驱动电路损坏，但手头没有同型号的集成电路更换。用户生产急迫，根据维修其他变频器驱动电路的经验，参考其驱动电路的结构，只用 3 片 A316J 担任三相 OC 信号报警输出，也能满

足保护要求。故将输出上臂 IGBT 驱动脉冲电路用 3 片 A3120 (同 PL250V) 将其代换 (见图 4-20), 原 IC 为 16 脚双列贴片封装, 换用 IC 为 8 脚双列直插式封装。但连接也较为方便, 只将新 A3120 的 8 脚对焊原 12/13 脚, 将 A3120 的 5 脚对焊原 9/10 脚, 将 A3120 的 6/7 相连后对焊原 11 脚; 因 A316J 为数字电路输入, A3120 为光耦合输入, 故需较大的输入电流。将 A3120 的 3 脚接 +5V 供电地, 原 1 脚串入 300Ω 电阻接入 A3120 的 2 脚, 通电试之, 静态电压正常。

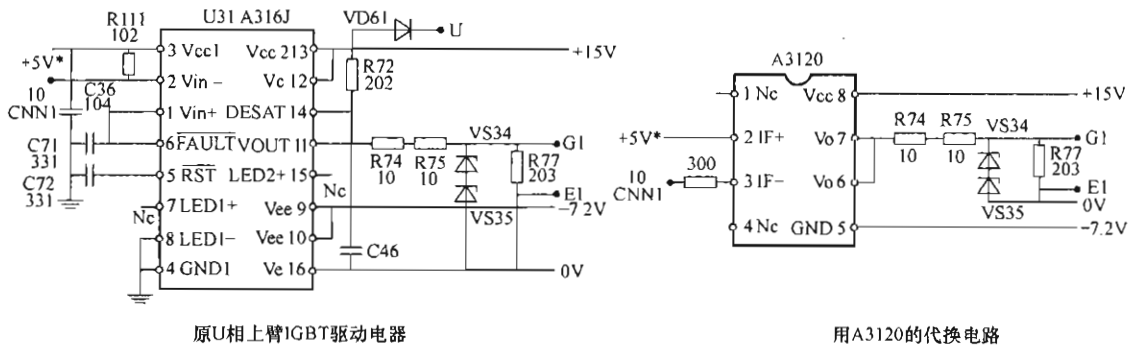


图 4-20 A316J 驱动芯片的应急代换电路

CPU 主板遭雷击损坏, 更换了 CPU 主板, 通电检测六路驱动电路的电压和电流输出能力均正常, 将损坏的 IGBT 模块换新后, 机器修复。

## 4.9 由 A4504 和 MC33153P 构成的驱动电路的检修

普传 PI-18 11kW 变频器的驱动电路, 如图 4-21 所示, 采用了 A4504 光耦合器和 MC33153P 驱动 IC 的组合驱动电路。MC33153P 的电路功能同 PC929 相仿, 但输入、输出电路不隔离, 故采用前级光耦合器 A4504 实现对输入信号的隔离。A4504 光耦合器与 TLP250 略有不同, 输出电流能力较小, 输出电路为单只晶体管构成, 为开路集电极输出方式, 故输出端与正供电之间接有上拉电阻, 输出为低电平脉冲信号。可以说, A4504 和 MC33153 两只 IC 才完成了 PC929 驱动 IC 所具有的功能。

### 1. 电路原理简述 (以 U 相上臂 IGBT 驱动电路为例)

由 CPU 主板来的负向脉冲信号输入到 A4504 的 3 脚, 经隔离由 6 脚输出负向脉冲信号, 由 MC33153P 的 4 脚输入至内部电路。MC33153P 内含欠电压保护电路和 IGBT 保护电路, 8 脚为 IGBT 管压降检测信号输入脚, 8 脚外接元器件 DR16、VD27 接于 IGBT 的 C 极, D27 为钳位二极管, 当激励脉冲作用期间, VD27 导通将 8 脚输入电压钳位于供电负端低电平值; 因过载、IGBT 损坏或驱动能力不足导致 IGBT 管压降异常上升时, VD27 反偏截止, 8 脚电位上升为高电平, MC33153P 内部 IGBT 保护电路动作, 输出电路对 IGBT 实施软关断的同时, 7 脚输出 OC 报警信号 (高电平信号), 光耦合器 U25 导通, 将 OC 信号输入 CPU。

驱动脉冲信号经 CON1、CON2、CON3 3 个控制端子引入 3 只双管式 IGBT 模块。其中端子 14 脚引入到 IGBT 的 C 极, 输入 IGBT 管压降检测信号。

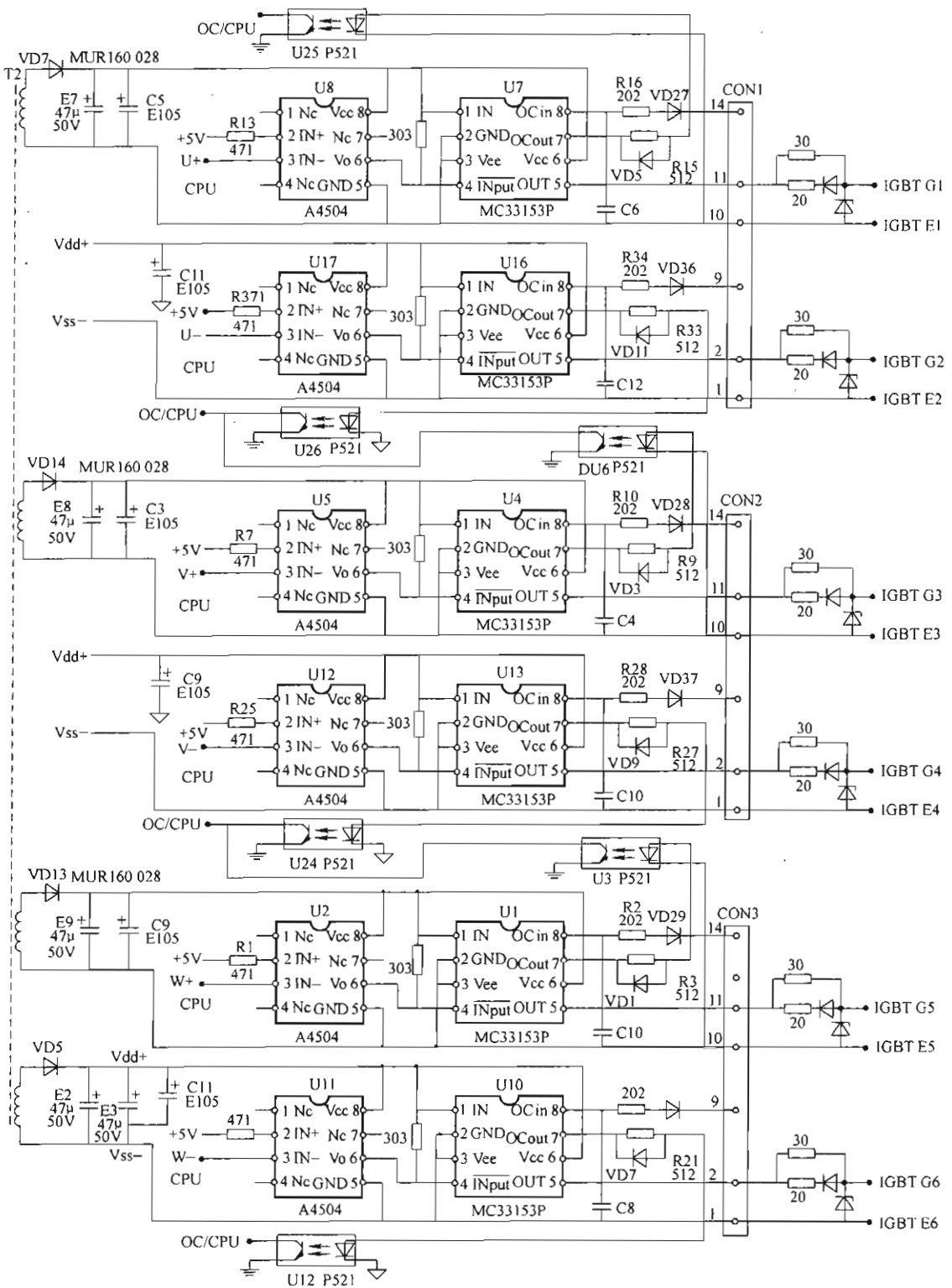


图 4-21 普传 PI-18 11kW 变频器驱动电路

前文我们谈到，驱动信号负压的丢失、控制端子的开路，将对 IGBT 模块产生毁灭性的打击。那么该机驱动电源的供电没有负电压，IGBT 模块有无损坏的危险？假设上臂 IGBT 端子连接正常，而下臂 IGBT 控制端子空置时，上、下臂 IGBT 有无短路炸裂的可能？

当栅、射极旁路电阻过大，或没有旁路元件时，则下臂 IGBT 的截止完全依赖于负的截止电压。同理，当栅、射极并联有旁路元件且并联等效电阻值足够小时，控制引线又足够短（不必考虑引线电感效应）时，则可省掉驱动电源的负供电，IPM 模块都为单电源供电，即为此理。但由分立元件构成的逆变电路，往往牵涉到电路的相关分布参数，为提高工作可靠性，采用单电源供电的就比较少见了。本电路控制端子的空置，同样会造成相关 IGBT 的误导通，引发短路故障。

## 2. 驱动电路的故障检修

- 1) 当驱动电路与逆变回路相连接状态下检修时，必须切断逆变电路的供电。
- 2) 为避免变频器报出 OC 故障，封锁脉冲信号的输出。可将控制端子的 1、9 脚，10、14 脚分别短接，屏蔽 OC 故障报警功能，以使驱动电路工作于动态下，便于检测相关故障。
- 3) 检修过程中，尤其是试机过程中，必须注意对逆变电路的供电支路的限流（串灯泡等），确保 IGBT 的安全。

## 故障实例

修理一台普传 PI-18 11kW 变频器（驱动电路见图 4-21），在处理过程中发现了不少“机要”，总结如下：

- 1) 变频器逆变电路接入直流回路供电的情况下，触发端子悬空是为大忌！
- 2) 模块的损坏不只是主电流端子的短路或开路，还可能有控制端子与主端子之间的短路、控制端子短路等故障，测量主端子无短路，并不能证实模块没有损坏。
- 3) 假定主端子、触发端子测量都无问题，也不能彻底证实模块没有损坏，模块尚存在漏电、性能变劣等较为隐蔽的损坏，关键是如何采取手段验明其好坏，确保最后的成功修复，并在通电调试过程中，不致引发新的故障，从而扩大故障范围，造成人为的麻烦。选购拆机品模块应尤为注意，用万用表测量不出什么异常，但很可能存在潜在的损坏，选用好模块，也应注意触发端子万万不能悬空，不能确诊端子有无悬空，及连线是否正常的情况下，530V 的直流母线电压不能轻易投送，应验证确无异常后，才能连接直流母线回路。

### 1. 修理中出现的异常

1) 测量主电路各端子无短路等异常现象，尤其将逆变模块其他引脚各测了一遍，确认可以送电检测。送电，显示正常，空载按起动键，跳 OC 保护停机。空载下的起动即跳 OC，是由 DU25 等六路光耦合器将信号馈回 CPU 的。

停电检测了一遍，未发现异常，在模块控制端子的插拔过程中，不小心弄断了一根脉冲信号的引线，再次上电检测过程中，听见“啪”的一声，又跳 OC，但显然此次是将故障范围扩大了。分析原因，在断线后，IGBT 的 G、E 极间旁路电阻被开路，因 C 极电压跳变，有 IGBT 结电容的充电电流注入，引发 IGBT 的误导通，形成两管对直流电源的短路，造成模块的损坏。开机检查，逆变模块有鼓起痕迹。测量 V 相与 P 端已短路。

判断逆变输出模块 SKM75GD124D 已经彻底损坏，故购得一块相同型号的拆机品，慎重起见，先脱开直流母线，送电起动试之，变频器显示频率正常输出，测六路驱动直流电压，模块触发端未起动运行时为 0V，起动后 7.6V 左右，都为正常。判断驱动电路及连接线都准



确无误。

还是未敢贸然将逆变模块接入直流母线，先接入 DC24V 开关电源，试起动，变频器显示频率正常，测 U、V、W 输出电压，50Hz 时电压仅为 13V，且输出幅度有周期性收缩现象，但尚能“正常触发与运行”。感觉不太正常，又接入了 200V 左右的直流电源，一送电起动，还是跳 OC！感觉所购模块还是有问题！接入一个优良的逆变模块试验，也是提供 24V 直流电源，测量 U、V、W 输出电压，50Hz 时电压值上升到 17.8V，且输出幅度恒定，无收缩现象。对比检测说明，拆机品模块存在严重漏电现象，低供电时，好像能正常工作，但供电电压升高时，故障也变暴露出来了。用万用表测量，实在也测不出什么异常来。

2) 又换回了一只拆机品模块，重复了以上步骤后，验明一切正常，装机，故障修复。

## 2. 修理步骤

1) 六路输出触发脉冲电压全都正常——以后才知道电流输出能力也应该正常，才可以焊接逆变模块。

2) 先用 24V 开关电源加电试验，无异常，再送入直流母线电压（如驱动电路及引线异常，加入 24V 开关电源不会损坏模块。注意测量三相交流电压输出是否平衡，输出中是否有直流成分，若异常，往往存在有一臂无触发脉冲，或触发脉冲异常。这一环节的观测至为重要，故障隐患往往都会暴露出来）。

3) 在逆变电路供电接入前，检查控制端子引线，接线应无断路，触发端子插头不可漏插！

## 4.10 IPM 驱动（信号隔离）电路的检修

IPM 智能化逆变模块，因驱动电路与 IGBT 保护电路，IGBT 运行温度检测电路等，都集成于模块内部，其外围驱动电路（实质上不宜称其为驱动电路了）相对较为简单了。华伟 TD2000 中、小功率机型，驱动电路是由 6 片 A4504 光耦合器构成，如图 4-22 和图 4-23 所示，只是起到将输入脉冲信号进行隔离的作用罢了。

A4504 输入侧的电源，由 VT2 动态稳流电路提供，以保障信号的动态传输性能。电路也由四路相互隔离的电源来供电。因 IPM 内部引线短，引线电感效应在允许值内，又兼采取了硬件措施，使 IGBT 的 G、E 控制回路能维持一个较小的电阻值，故不需要提供负电源。IGBT 的故障信号由 4 只光耦合器返回 CPU，因下三臂 IGBT 的供电共地，下三臂 IGBT 信号共由一只光耦合器 PC11 返回故障信号。

A4504 的输出电路为开路集电极输出电路，需采用上拉电阻来传递脉冲信号，图中 R36 ~ R41 即输出端上拉电阻。脉冲信号和故障返回信号均通过 J1 过孔端子，直接经金属插针与 IPM 模块控制端子相连，主电路由螺钉固定，模块更换时勿需焊接。

IPM 模块损坏时，因内部驱动电路的屏障作用，外部驱动电路受害轻微，损坏并不严重。

检查驱动电路故障时，也应先切断逆变电路的供电，检测六路脉冲信号正常后，才恢复逆变电路的供电。当 A4504 输入侧电源电路损坏后，出现操作显示面板有输出频率显示，但却无三相输出电压的故障现象。模块或驱动电路（内、外部驱动电路）损坏时，变频器接受运行信号，便跳出 OC、SC 故障代码。IPM 模块内部的驱动 IC，损坏故障也时有发生，

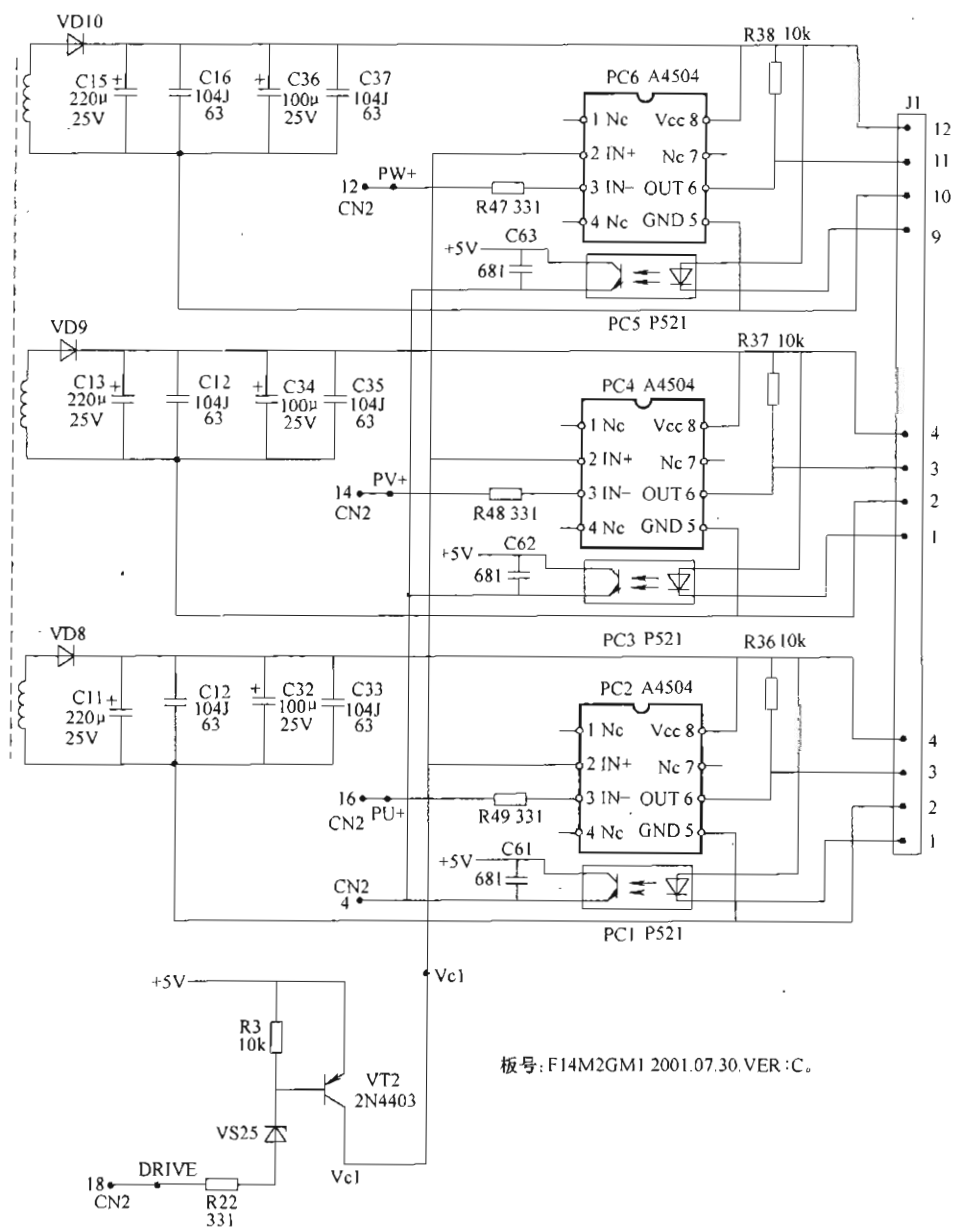


图 4-22 华伟 TD2000 37kW 变频器 IPM 模块驱动电路一

如小心拆开 IPM 模块上盖，可看到电路板上贴片形式封装的驱动 IC，修复驱动电路，能将整个 IPM 模块救活。

#### 故障实例 1

一台华伟 TD2000 37kW 变频器，接受起动信号，即跳 E010（模块故障）故障。

分析：无运行信号投入，输出回路未产生电流，信号不是三相输出电流检测电路返回 CPU 的。故障变频器起动过程中，IGBT 管压降检测电路动作，报出 OC 故障。

先将逆变回路的供电切断，另接入 24V 直流电源，上电检测，当短接光耦合器 PC5 的

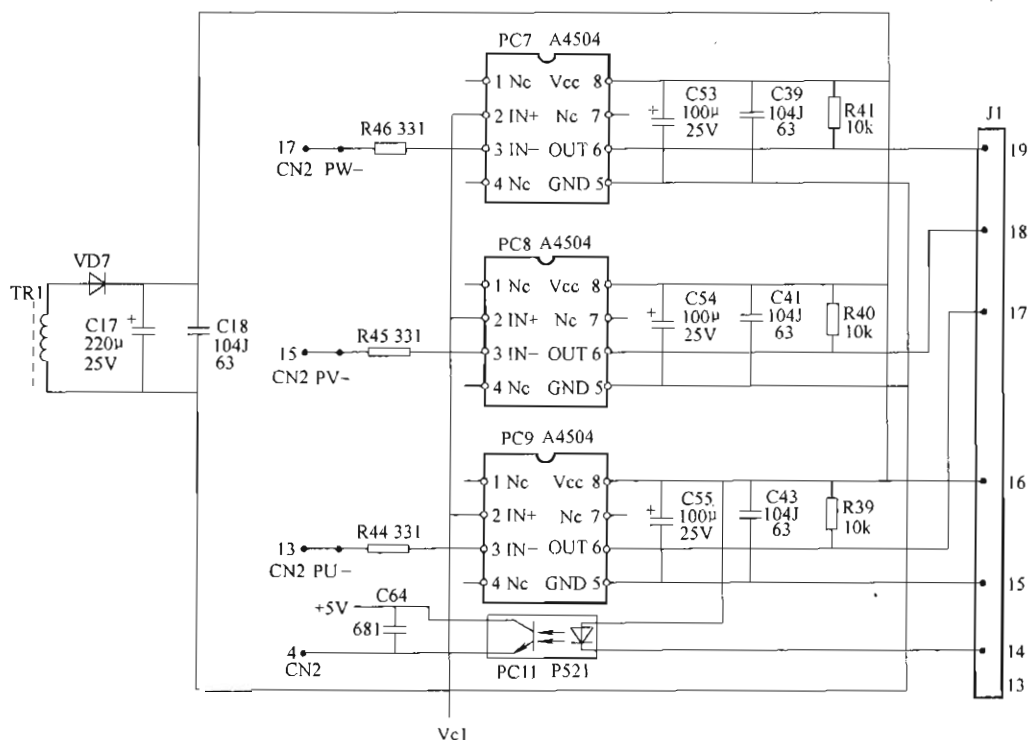


图 4-23 华伟 TD2000 3kW 变频器 IPM 模块驱动电路二

输入侧 1 脚和 2 脚时，变频器运行，不再报 OC 故障。用交流 50V 档，测量三相输出电路，都为 18V，三相平衡。故障的可能性有两方面：U 相 IGBT 有不良现象，如导通内阻变大等；IGBT 管压降检测电路不良，误报 OC 故障。

为进一步验证，撤去 24V 供电电源，将逆变电路的供电串入两只 40W 灯泡，短接 PC5 的 1 脚和 2 脚后，上电试机，灯泡不亮，测量三相输出电压正常。确定故障为 IGBT 检测电路不良，但此电路在 IPM 内部，修复较为困难，因此小故障就更换昂贵的 IPM 模块，有些不值。考虑到另外五路 IGBT 管压降检测电路都处于正常状态，屏蔽掉此一路误报的 OC 信号，对电路无太大的影响。

故直接将 PC5 的 1 脚和 2 脚短接后，将机器修复。

### 故障实例 2

一台华伟 TD2000 3kW 变频器，运行中跳 E010 故障。据用户反映，机器曾维修过，并判断为 IPM 模块故障，更换后故障依旧。询问用户负载情况，负载为 2.2kW 新电动机，只运行于 30Hz 以下，现场有电流表显示，工作电流小于 3A，跳 OC 故障并不是过载所引起。

上电，空载运行正常，不跳故障。带上 2.2kW 电动机试验，5Hz 以下不跳 OC 故障，5Hz 以上，频跳 E010（输出模块故障）故障。

故障分析：驱动电路低效，使电流驱动能力不足，IGBT 导通内阻加大，管压降上升，使 IGBT 保护电路起控；IGBT 低效、老化等引起管压降上升，IGBT 保护电路起控。

询问用户，得知机器运行已近 5 年。停电，焊下驱动供电电源的滤波电容器，测量部分电容器的容量已减至一半以下，有的仅余十分之一的容量。电容的失容使电源负载能力变

差，输出驱动电流的幅度不足，IGBT导通压降大，IGBT保护电路起控。电源提供的瞬时电流幅度不足，但供电电压却并没有明显降低。致使前修理人员判断为模块故障，未将检查重点放在驱动电路上。

将驱动电源的10只滤波电容全部更换，上电带载试机，故障排除。

### 故障实例3

对SB40-S11-11kW森兰变频器驱动电路的检查和修复。

修理一台森兰SB40-S11-11kW的变频器，检查为模块输出端U和P+端击穿损坏，按照常规，拆下损坏模块后，单独给电路板上电，检查驱动电路是否异常。上电，跳OLE故障。查说明书，为外部报警信号，将控制端子THR与CM短接后，上电显示正常。

但一按下运行键，即跳FL故障代码，意为模块故障。驱动板是一个较大的电路板，上面有二十几片集成块吧。不知什么原因要搞这么复杂。观察背面有6只光耦合器，应是向CPU返回FL（模块）故障的吧。检查6只光耦合器的输出是并联的，于是将其输入侧全部短接，上电起动运行，果然不跳FL故障代码了。

但一测量模块控制端子上的电压，又傻眼了：怎么没电压呀啊！细看U、V、W上三臂IGBT的驱动供电，是由主板上的开关电源输出的12V，又经NE555振荡逆变，再由一圆柱体密封式变压器，由次级3个绕组取出电压，整流而成三路独立的驱动供电。测这三路供电都有。进而观察三路驱动信号是由两只对管推挽输出，驱动模块的，加到推挽管上的供电也有了，只是推挽输出电路的输出电压为0，因而模块控制端子上没有电压。猜测模块控制供电可能为受控电源。莫非模块的损坏，即是此压丢失造成的？六路都无电压，源于一个通病吗？

忽然想到：这一大片电路，除了处理从CPU送来的六路脉冲信号外，大概就是实施对模块的保护了。短接了6只光耦合器返回到CPU的FL信号，虽然CPU认为模块已无故障，故正常发送六路脉冲，但光耦合器输入侧的大片保护电路，则因模块的拆除，在六路脉冲到来期间检测到异常大的“IGBT导通期间的管压降”，而判断为模块损坏。在将此故障信号由六路光耦合器发送回CPU的同时，也采取保护动作，切断了模块触发端子上的信号——实质上控制驱动电源的供电，使电源输出电压为0！

必须人为造成一个IGBT导通的“假象”，“糊弄”一下恪尽职守的IGBT保护电路，使其解除保护状态，才能检查出驱动电路是否能输出六路合格的激励脉冲，然后才能确定可不可以换上新模块修复。

循着这个思路，将控制端子的上三路与U、V、W直通的3个端子连起来，接直流回路的N-点，即人为短接了下三臂IGBT的C、E极，同时将对应的三路光耦合器（报FL故障的）的短接解除。上电，起动运行后，果然不再报FL故障。测模块下三臂触发端子，有正脉冲电压输出了。直流档为4V，交流档为15V，正常！又照此办理，将触发端子的上三路与U、V、W直通的3个端子连起来，接P+点，即人为短接了上三臂IGBT的C、E极。上电起动运行后，测模块上三臂触发端子，也有正常的脉冲电压输出了。说明整个驱动电路与操作控制是正常的，可以换新模块修复了。

该变频器的驱动电路，为单电源供电，无截止负压，停机状态，触发端子电压为零。

换新模块后，机器修复。

思路决定出路。是为记。

## 4.11 变频器电路中制动电路的检修

### 1. 采用制动电路的原因是什么？

因惯性或某种原因，导致负载电动机的转速大于变频器的输出转速时，此时电动机由“电动”状态进入“动电”状态，使电动机暂时变成了发电机。一些特殊机械，如矿用提升机、卷扬机、高速电梯、风机等，当电动机减速、制动或者下放负载重物时，因机械系统的位能和势能作用，会使电动机的实际转速有可能超过变频器的给定转速，电动机转子绕组中的感生电流的相位超前于感生电压，并由互感作用，使定子绕组中出现感生电流——容性电流，而变频器逆变回路 IGBT 两端并联的二极管和直流回路的储能电容器恰恰提供了这一容性电流的通路。电动机因有了容性励磁电流，进而产生励磁磁动势，电动机自励发电，向供电电源回馈能量。这是一个电动机将机械势能转变为电能回馈回电网的过程。

此再生能量由变频器的逆变电路所并联的二极管整流，馈入变频器的直流回路，使直流回路的电压由 530V 左右上升到六七百伏，甚至更高。尤其在大惯性负载需减速停车的过程中，更是频繁发生。这种急剧上升的电压，有可能对变频器主电路的储能电容和逆变模块造成较大的电压和电流冲击甚至损坏。因而制动单元与制动电阻（又称刹车单元和刹车电阻）常成为变频器的必备件或首选辅助件。在小功率变频器中，制动单元往往集成于功率模块内，制动电阻也安装于机体内。但较大功率的变频器，直接从直流回路引出 P、N 端子，由用户则根据负载运行情况选配制动单元和制动电阻。

制动开关管由驱动电路控制，因而制动控制电路也为驱动电路之一。

### 2. 变频器制动电路的类型

小功率变频器机型常采用一体化模块，制动单元和温度检测电路也集成在内了。图4-24中的 V0 为制动开关管，该机器内置 1.5kΩ80W 的制动电阻一只，并预留了 P1、PB 制动电阻的接入端子，当内置制动电阻不足以将再生能量消耗掉时，可外接辅助制动电阻，进一步

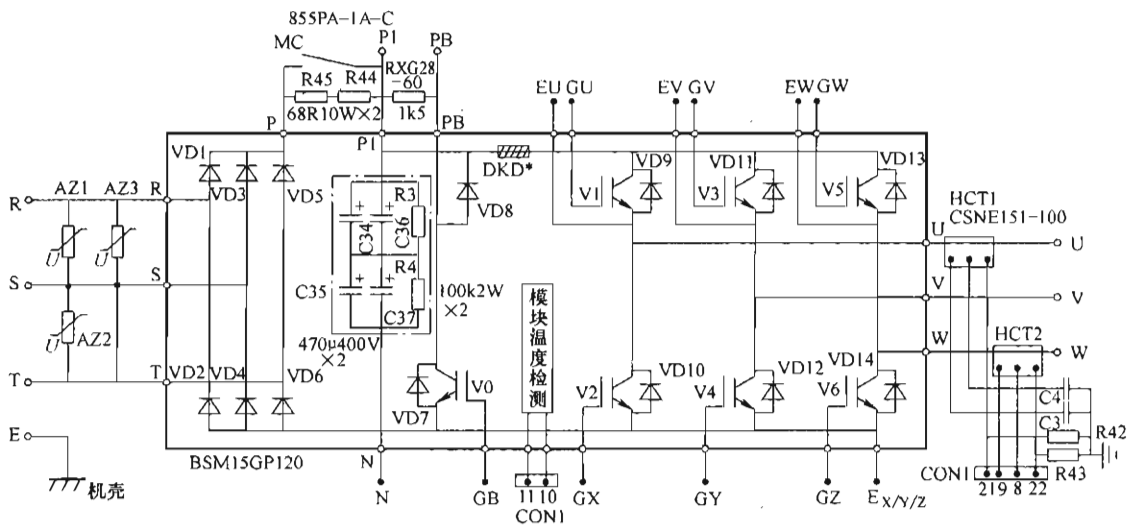


图 4-24 康沃 VCVF-G 3.7kW 变频器模块内部的制动开关电路

加大消耗量。因制动电阻为线绕式电阻，有一定的电感量存在，接入二极管 VD8，提供 V0 截止期间的续流以抑制反压，保护制动开关管的安全。

制动控制信号的来源有：

1) 由 CPU 根据直流回路电压检测信号，发送制动动作指令，经普通光耦合器或驱动光耦合器控制制动开关管的通断。制动指令可能为脉冲信号，也可能为直流电压信号。

2) 由直流回路电压检测电路处理成直流开关量信号，直接控制光耦合器，进而控制制动开关管的开通和断开。

制动开关管的控制电路如图 4-25 所示。

图 4-25 为富士 5000G11/P11 160kVA 变频器的制动控制电路。CPU 根据检测直流回路电压信号，输出制动动作指令，经光耦合器 PC19 (PC923)、后级电压跟随放大器输出制动脉冲，经 CN23 端子，控制制动开关管的导通和截止。电路形式同驱动电路是一样的。

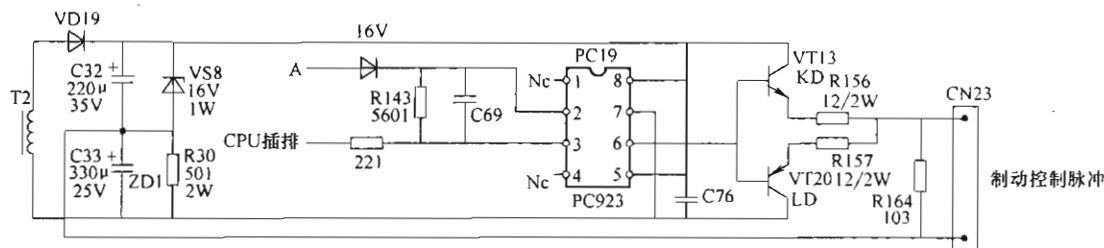
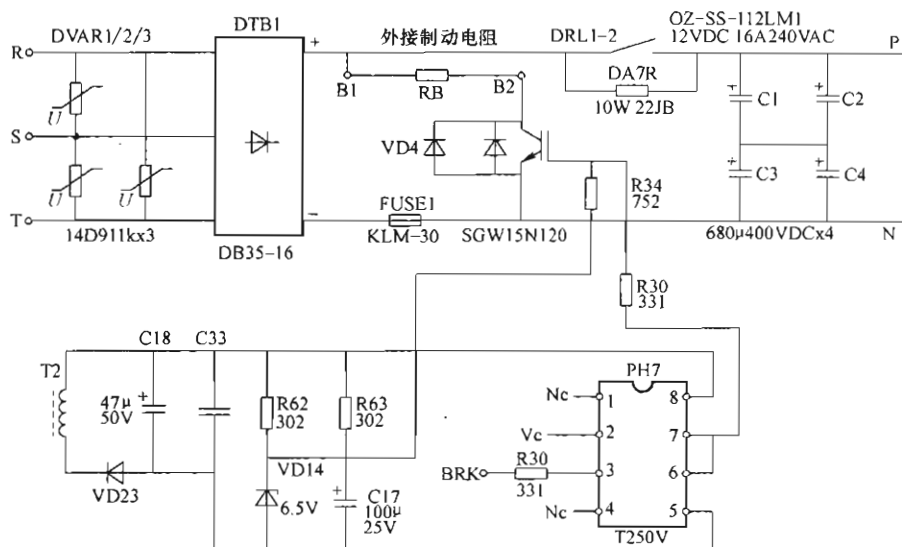


图 4-25 富士 5000G11/P11 160kVA 变频器的制动控制电路

图 4-26 为台达 VFD-A 型 3.7kW 变频器的制动控制电路，控制电路由独立绕组供电，以实现强、弱电隔离。从 CPU 来的 BRK 制动脉冲信号，经 PH7 光耦合器隔离与功率放大，驱动制动开关管。B1、B2 为制动电阻接入端子。驱动信号由 T250V 光耦合器传输。



台达 (中达) VFD-A 型 3.7kW 460V 3PHASE 制动控制电路

图 4-26 台达 VFD-A 型 3.7kW 变频器制动控制电路

### 3. 制动单元

大、中功率变频器因安装空间、制动功率、现场运行情况不一等原因，一般不内置制动开关管和制动电阻，只是从直流回路引出 P、N 两个接线端子，供用户外接制动单元和制动电阻。制动单元和制动电阻为变频器常用可选配件之一，也为易损部件，有一定的维修量。变频器厂家一般也附带生产制动单元，供用户选用。

图 4-27 为某厂家生产的变频器选配件——制动单元的电路原理图。

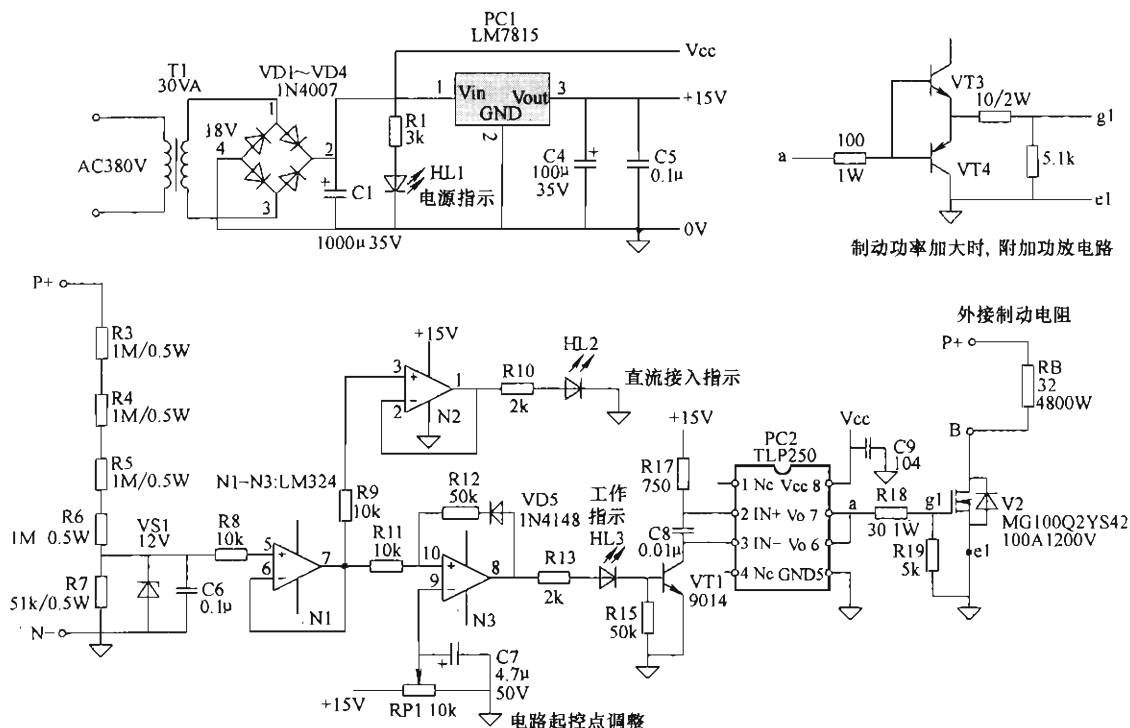


图 4-27 刹车单元整机电路图

本制动单元的供电是由一只 380V/18V 变压器取得的，由整流、滤波、稳压电路取出 +15V 的稳压电源，供整机控制电路。

变频器的 P+、N- 端子接至制动单元的主电路和电压检测电路上。由 R3 ~ R7 构成电压采样电路，在直流电路电压为 550V 时，R7 上电压约为 7V。稳压器 VS2 提供输入保护，C6 滤掉引线噪声电压，检测电路经 R8 输入到由运算放大器 LM324 的 5 脚，该级放大器构成电压跟随输出器。由 7 脚输出的电压检测信号，一路经 R9 加至后级电压跟随器，驱动 HL2——主直流回路电压接入指示灯；一路经 R11 输入到后级电压比较器的 10 脚（同相输入端），该级放大器的 9 脚（反相输入端）接有 RP1 可调电阻，接入 RP1 的目的，是为了克服采样电阻网络的离散性，可以精确调整制动动作值。RP1 的中心臂电压即为基准电压，10 脚电压检测信号与此基准电压相比较，在因负载电动机反发电能量回馈直流回路使其电压上升到 660V 时，检测信号电压上为 8.5V 左右，因 9 脚基准电压已事先调整为 8.4V 左右，该组放大器两个输入端信号比较的结果，使放大器的输出反转，8 脚输出高电平，HL3 指示灯点亮，提示电路正在实施制动动作。HL3 的电流通路正是 VT1 的正偏压通路，晶体管 VT1

导通, 提供了驱动 TLP520 (光耦型驱动 IC) 的输入电流, TLP520 的 6/7 输出脚输出正的激励电压, 经 R18 直接驱动 IGBT 模块。图中 VT2 即为 IGBT 模块, 型号为 MG100Q2YS42, 为 100A 模块。若需更大的制动功率、驱动更大的 IGBT 模块时, 从 A 点接入由两只大、中功率晶体管构成的互补式电压跟随器 (功率放大器电路), 将 PC2 输出的激励电流信号放大到一定幅度后, 再驱动 IGBT 制动开关模块。

制动单元电路往往由 3 部分组成:

1) 供电电路。由降压变压器整流、滤波、稳压取得; 由功率电阻降压、稳压取得; 再讲究一点的, 由开关电源逆变再整流、稳压取得。图 4-27 中电路采用了此种供电方式。

2) 直流电路电压检测 (采样) 电路。一般由电阻分压网络取得, 再由后级电压比较器, 取出制动动作信号, 送后级 IGBT 模块驱动电路。

3) IGBT 模块驱动电路。往简单处考虑, 制动单元就是一个电子开关, 承担将制动电阻接入直流电路的任务。

比较简单的控制是由电压比较器的输出信号直接控制驱动 IC 的输出, 在直流电路电压高到 660V 时, 模块开通 (开关闭合), 接入制动电阻进行“能耗制动”, 当直流电路电压回落到 600V 左右时, 电压比较器输出状态反转, 模块截止 (开关断开), 制动动作结束。制动动作点和结束点的整定, 也不是那么严格和精确, 各个厂家的整定值可能有一定的偏差, 只要保证直流电路不受高电压冲击就可以了。讲究一点的驱动电路, 对 IGBT 模块, 是采用脉冲方式驱动的, 效果就要好一些了。

启用制动开关电路, 有时还需要配合变频器相关控制参数的调整, 使变频器内置的制动开关电路投入工作。

### 维修实例

一台东元 7300PA 75kW 变频器, 因 IGBT 模块炸裂送修。检查 U、V 相模块俱已损坏, 驱动电路受强电冲击也有损坏元器件。将模块和驱动电路修复后, 带 7.5kW 电动机试机, 运行正常。即交付用户安装使用了。

运行约一个月时间, 又因模块炸裂送修, 检查又为两相模块损坏。到用户生产现场, 弄明白了损坏的原因, 原来变频器的负载为风机, 因工艺要求, 运行 3min, 又需在 30s 内停机。采用自由停车方式, 现场做了个试验, 因风机为大惯性负载, 电动机完全停住需要接近 20min 的时间。为快速停车, 用户将控制参数设置为减速停车, 将减速时间设置为 30s。在减速停车过程中, 电动机的再生电能回馈, 使变频器直流回路电压异常升高, 有时即跳出过电压故障而停机。用户往往实施故障复位后, 又强制开机。正是这种回馈电能, 使直流回路电压异常升高, 超出了 IGBT 的安全工作范围, 而炸裂了。

此次修复后, 给用户说明情况, 增上了制动单元和制动电阻器后, 变频器投入运行, 几年来未再发生模块炸裂故障。



## 第5章 电流检测电路的检修

虽有时候令人头疼，但却是最令人产生检修兴趣的电路之一。变频器故障检测电路，往往是变频器厂家在软、硬件电路设计上的浓笔重彩之处。

变频器电路中林林总总的各种故障检修电路，只有一个指向和目的——在变频器面临异常工作状态时，采取停机或其他保护措施，尽最大可能保护 IGBT 模块的安全。

究竟有哪些因素会影响乃至危及 IGBT 模块的安全呢？

### 1. 电压因素

1) IGBT 模块的供电电压过高时，将超出其安全工作范围，导致其击穿损坏。

2) 供电电压过低时，使负载能力不足，运行电流加大，运行电动机易产生堵转现象，危及 IGBT 模块的安全。

3) 供电电压波动，如直流回路滤波（储能）电容的失容等，会引起浪涌电流及尖峰电压的产生，对 IGBT 模块的安全运行产生威胁。

4) IGBT 的控制电压——驱动电压转低时，会导致 IGBT 的欠激励，导通内阻变大，功耗与温度上升，易于损坏 IGBT 模块。

### 2. 电流因素

1) 过电流，在轻、中度过电流状态，为反时限保护区域。

2) 严重过电流或短路状态，无延时速断保护。

### 3. 温度因素

1) 轻度温升，采用强制风冷等手段。

2) 温度上升到一定幅值时，停机保护。

### 4. 其他因素

1) 驱动电路的异常，如负载止负压控制回路的中断等，会使 IGBT 受误触通而损坏。

2) 控制电路、检测电路本身异常，如检测电路的基准电压漂移，导致保护动作起控点变化，起不到应有的保护作用。

相对于以上影响或危及 IGBT 模块的因素，则衍生了下述种类的保护电路。

### 1. 电压检测电路

1) 直流回路电压检测电路用电阻分压网络直接对直流 530V 电压采样，或从开关电源二次整流电路间接对直流 530V 进行采样，由后续电路处理成模拟信号和数字开关量信号。其中模拟量信号用于直流回路的电压显示、输出控制等，而开关量信号用于故障报警、停机保护等。

2) 有的机型对三相交流输入电压进行检测，借以判断 IGBT 的供电状态，异常时停机保护。

3) 对驱动供电电压进行监测，常由驱动 IC 的内部保护电路执行此任务，预防 IGBT 出现欠激励现象。

4) 对充电接触器的触点状态进行检测，实际为直流回路电压的辅助检测。

## 2. 电流检测电路

1) IGBT 保护电路, 检测 IGBT 在导通期间的管压降, 判断 IGBT 是否处于过电流、短路状态, 实施软关断与停机保护措施。

2) 对三相输出电流进行采样, 据过电流程度不同, 采取不同的保护手段, 如降低运行频率、延时停机保护等。

3) 在逆变模块供电回路串接快熔熔断器, 实现对逆变模块的短路保护, 对快熔熔断器状态的检测。

4) 个别机型还对直流母线的电流进行采样, 异常时采取保护动作。

5) 个别机型对输出电压/频率进行采样, 实施对 IGBT 的保护。

## 3. 温度检测电路

1) 用温度传感器检测 IGBT 模块的温度。

2) 用温度传感器检测 IGBT 模块的温度的同时检测散热风扇的工作状态。

除了对 IGBT 的相关保护外, 对其他元器件不需要保护吗? 有无相关的故障检测电路呢?

对整流模块的保护, 有的机型提供了用温度传感器形式的超温保护。有的没有。

有的机型在供电方面提供了对 CPU 电路、控制电路的检测和保护, 如检测负载电压的高低, 在供电异常时, 实施停机保护, 并报出故障代码。CPU 本身(配合软件)也有一个供电检测, 超出一定范围后, 报出相关故障。

故障检测电路的故障表现为两个方面:

1) 保护功能失效, 相关电路故障或变频器工作状态异常时, 不能起到正常的保护作用。

2) 电路本身故障, 在所保护电路(元器件)为正常状态时, 误报电路(元器件)故障, 变频器不能投入正常工作。

故障信号的存在, 会使 CPU 封锁六路驱动信号的输出, 使我们无法检测驱动电路和逆变模块的正常。故障信号的存在, 还可能使 CPU 做出非常“另类”的举动来, 如 OC 故障信号的存在, 使操作面板的所有操作均被拒绝, 好像进入了程序死循环一样, 会使人误认为 CPU 故障, 而忽视了对驱动电路及逆变输出电路的检查, 而实质上是 CPU 采取的一个防范措施——防止因操作造成进一步严重故障的发生!

还有一种情况: 故障检测电路本身并无故障, 但在检修过程中, 我们常将 CPU 主板、电源/驱动板与主电路脱开, 单独上电检修, 因形不成故障检测电路的检测条件, 常使故障检测电路报出相关故障, CPU 封锁六路驱动信号的输出, 给检修带来很大的不便。检修电路板故障之前, 经常要做的第一项工作, 即是采取相应手段, 人为提供相关故障检测电路的“正常检测条件”, 令 CPU 判断“整机工作状态正常”, 可以根据起、停操作, 输出正常的六路驱动脉冲信号, 以利于检修工作的开展。

故障检测与保护电路本身的故障率是较低的, 但在检修过程中, 即使故障检测与保护电路状态是完好的, 我们仍需要对大部分检测电路动一下“手脚”, 屏蔽其检测与报警功能。因而要在电路原理上吃透, 知道在什么地方“动手脚”才能有效, 才能让故障检测与保护电路听话, 根据维修需要, 作出相应的动作。摸对了故障检测电路的“脾性”, 故障检测与保护电路, 确实能“听”维修人员的话。

在逆变回路的供电——直流母线回路中串接熔断器是最为直接的保护方式之一。只要运行电流超过某一保护阈值，熔丝熔断，即保护了 IGBT 的安全。但熔丝的熔断值往往要留有一定的余地，负载电路出现的正常情况下的随机性过载，靠快熔熔丝来完成这种保护任务，显然是不现实的。快熔熔丝所起到的作用，是在严重过电流故障状态下熔断，从而中断对逆变电路的供电，避免了故障的进一步扩大。

由电流互感器检测三相输出电流信号，由运算电路（和数字电路）处理成模拟和开关量信号，再输入到 CPU，进行运行电流显示，和根据过载等级不同，进行相关如降低运行频率、报警延时停机、直接停机保护等不同的控制。在危及 IGBT 安全的异常过载情况下，因传输电路的 R、C 延时效应，再加上软件程序运行时间，CPU 很难在  $\mu\text{s}$  级时间内作出快速反应，对 IGBT 起到应有的保护。

因而对 IGBT 最直接和有效的保护任务，落在驱动电路的 IGBT 保护电路——IGBT 管压降检测电路的身上。驱动电路与 IGBT 在电气上有直接连结的关系，在检测到 IGBT 的故障状态时，一边对 IGBT 采取软关断措施，一边将 OC 故障信号送入 CPU，在 CPU 实施保护动作之前，已经先行实施了对 IGBT 的关断动作。此保护机理在第 4 章中已有详述。

本章的重点是电流检测与保护电路。

## 5.1 直流母线电流检测与保护电路

### 1. 在直流母线中串接电流采样电阻的检测与保护电路

图 5-1 为松下 DV-551-16A 型变频器的直流母线电流检测保护电路，在正、负直流母线中，串接了  $30\text{m}\Omega 30\text{W}$  电流采样电阻，逆变电路的输入电流在采样电阻上产生电压降，当输入电流达到一定值， $30\text{m}\Omega 30\text{W}$  电流采样电阻上电压降达到一定值时，光耦合器 PC12、PC8 输入侧发光二极管导通，将过电流信号传输给 CPU，变频器报出过载故障，并停机保护。对正、负端供电同时采样是为了提高动作速度，力图在输出电压的正半波周期或负半波周期内，完成对输出电路某一臂 IGBT 的保护。

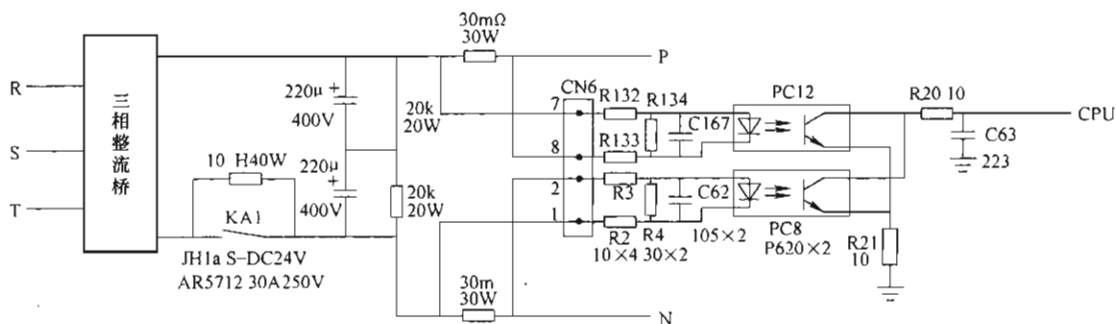


图 5-1 松下 DV-551-16A 型变频器的直流母线电流检测保护电路

电路传送的其实是一路开关量信号，CPU 接受信号，即实施保护动作，没有延时处理过程。

这种电流检测电路在早期的变频器产品中应用较多，新产品则省去了此一检测环节，只

是对三相输出电流进行检测了。有的一体化 IGBT 模块和智能 IPM 模块，在其内部电路也设有对直流母线电流的检测。

### 故障实例 1

一台松下 DV-551-16A 变频器，因逆变模块损坏送修。修复逆变与驱动电路后，上电带载试机，跳过电流故障，而空载运行正常。该机器的过电流保护与检测电路有：U 相输出电流检测电路，直流母线的电流检测电路，而对 IGBT 逆变输出电路的保护，相当程度上是依赖于后者的，此电路的功能相当于驱动电路中对 IGBT 管压降检测电路。

拔掉电流互感器的引线端子，带载运行时仍跳过电流故障，说明故障是直流母线检测电路报出。测量直流母线中 P 端串接的  $30\text{m}\Omega$  电阻，已有  $2\Omega$  的阻值，说明 IGBT 损坏时，因其冲击电流造成了其阻值变大，电压降上升，使检测电路中的光耦合器 PC12 导通，向 CPU 送出过电流保护信号。

$30\text{m}\Omega 30\text{W}$  采样电阻不易购得，根据铜导线的电阻率：截面积为  $1\text{mm}^2$ 、长  $1\text{m}$  的导线，电阻为  $0.0175\Omega$ ，用 4 段  $17\text{cm}$ （阻值  $30\text{m}\Omega$ ）长，截面积为  $1\text{mm}^2$  的铜导线，两两串联后，再两根并联，然后绕制一下，造出一只  $30\text{m}\Omega$  的“电流采样电阻（形状像是一只空心电感线圈）”来，更换后故障排除。

### 2. 在直流母线中串接熔断器的检测与保护电路

在供电电源中串接熔断器、熔丝，实施对负载电路的过电流和短路保护，是最原始、最直接和最为有效的保护方式之一，因而在各种电子保护电路和功能已经非常完备的情况下，大多变频器产品还是在直流供电回路中串入熔断器，以实现 IGBT 逆变电路的过电流和短路保护。这是因为，其一，熔断器的保护快速和直接；其二，能在危急情况下，断开故障电路的供电电源，避免故障的进一步扩大。

图 5-2 中的上图主电路的直流回路用简化示意图画出，C 为直流回路储能电容器，R 为直流回路的等效电阻。FU1 串接于直流母线的负端回路中，担任着对 IGBT 逆变输出电路和储能电容器 C 的短路保护任务。检测电路的供电取自驱动电路的负  $10\text{V}$  电源。正常情况下，FU1 两端电位差为  $0\text{V}$ ，检测电路中的 VT7 的射极与基极等电位，无偏流形成，

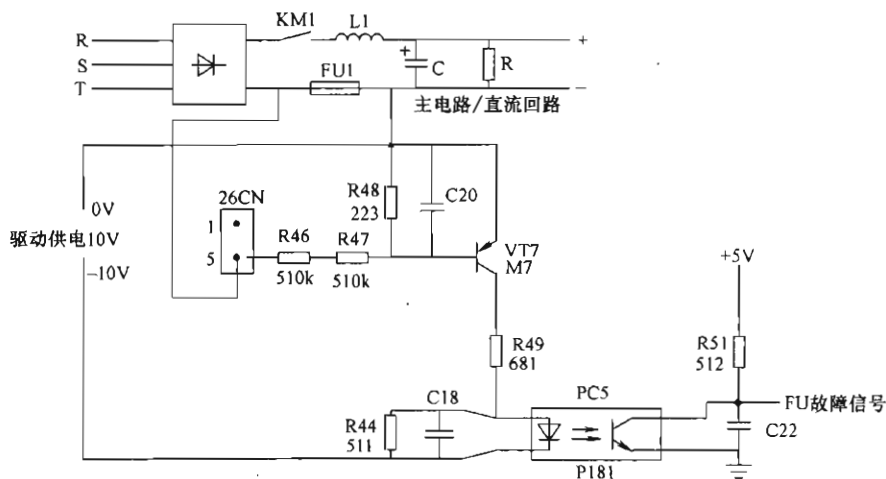


图 5-2 东元 INTPBGBA0100AZ 110kVA 变频器的熔断器状态检测电路

PC5 无驱动电流输入，输出端为 5V 高电平——FU 正常信号。当逆变回路或储能电容发生短路故障时，FU1 熔断，FU1 两端出现 500V 以上高电位，电压极性为左负右正（右端经 R 引回正电压），形成由 VT7 的发射结、R47、R46、整流输出负端的 VT7 的  $I_b$  偏流回路，VT7 的导通提供了 PC5 的驱动电流，PC5 输出脚变为 0 电平，将 FU 故障信号送入 CPU，实施停机保护动作。

富士 5000G11/P11 160kVA 变频器的熔断器检测电路如图 5-3 所示，FU1 的串接位置则移在直流回路的储能电容之后，大多变频器的 FU1 都是在这个位置上，与图 5-2 相比，本电路能起到对 IGBT 更好的保护作用。因过电流或短路故障导致 FU1 熔断后，FU1 两端形成左正右负的 500V 以上的电位差，PC2 导通，输出低电平的 FU 故障信号，送入 CPU，变频器保护停机。

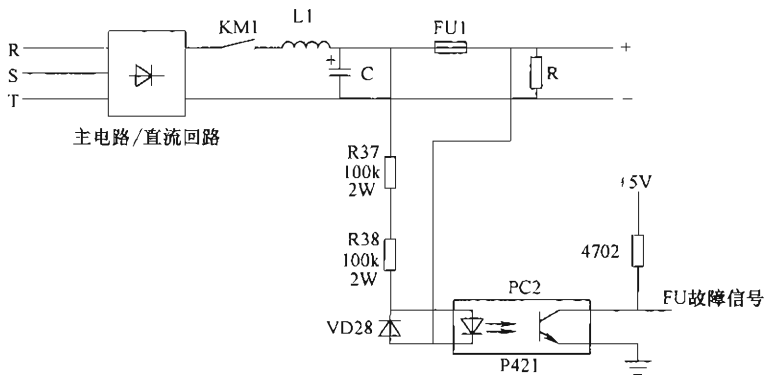


图 5-3 富士 5000G11/P11 160kVA 变频器熔断器检测电路

616G3-55kW 安川变频器熔断器检测电路如图 5-4 所示，在 3 相逆变模块中分别串入了 FU1、FU2、FU3 3 只熔断器，当逆变功率模块遭受过电流和短路故障时，能起到较好的保护作用。3 路 FU 故障检测电路的供电，取自 3 路驱动电路的 -9.5V 电源。其控制原理同上。3 路检测信号由 Q5、Q20、Q29 3 只光耦合器并联输出至 CPU。

FU 检测电路的本身故障率并不高。当电源/驱动板与变频器主电路脱离单独检修时，对 FU 检测电路来说，即相当于 FU 熔断了，因而在电路板上电后，即报出 FU 故障，电路处于故障锁定状态，使我们无法展开对其他故障电路的检修。解决方法如下：

在 FU 熔断、光耦器有了输入电流通路后，才报出 FU 故障。那么将光耦器的输入电流通路截断，即阻断了 FU 故障的报出。将图 5-2 ~ 图 5-4 电路中的光耦器的输入侧短接，即避免了电源/驱动板脱离主电路时报 FU 故障。这是在检修工作过程中经常要实施的一个人为措施。

对变频器熔断器故障的检修有如下几种情况：

1) 送修变频器，在上电后报出 FU 故障，往往熔断器已经熔断。其熔断原因多是因负载产生过电流或过电压冲击，致使 IGBT 损坏，使流过直流母流的电流剧增，造成熔断器熔断。熔断器为快速熔断器，具有过电流时快速熔断的特性，与一般电工电器中常用的熔断器的特性（具有反时限保护特性，能避过载电动机的起动电流，熔断速度与过电流倍数有关系）不太一样。最好能用原型号熔断器更换，如代用，应选用工作参数一致的快速熔断型熔断器。

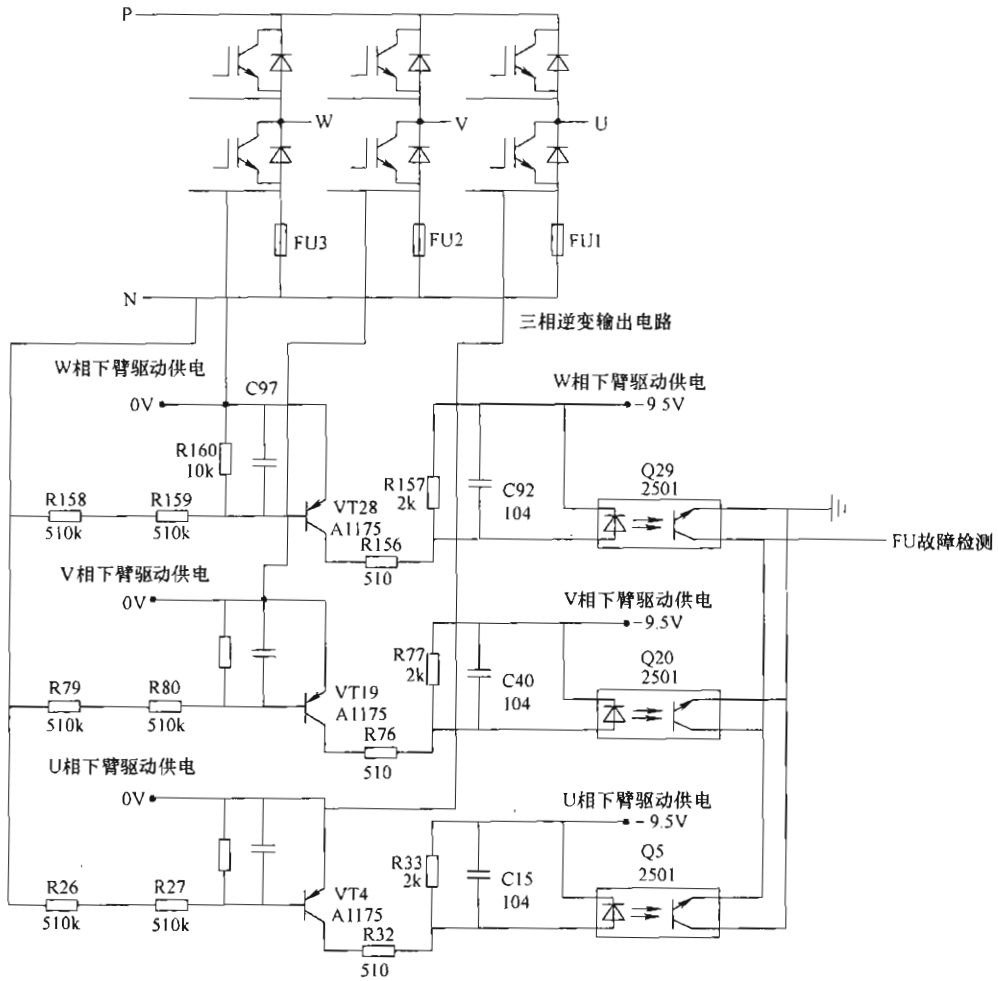


图 5-4 616G3-55kW 安川变频器熔断器检测电路

2) FU 检测电路的信号端子及连线接触不良时，会误报 FU 故障，不能开机运行。

3) FU 检测电路本身故障，变频器上电后，会误报 FU 故障，变频器进入故障锁定状态。

### 故障实例 2

一台东元 INTPBGBA0100AZ 110kVA 变频器，上电跳 FU 故障，查说明书中 FU 故障代码及相关说明。拆机查看主电路中串有 FU1 熔断器，检查 FU1 良好（见图 5-2），短接 FU 故障检测电路中的光耦合器 PC5 的输入侧时，上电后不跳 FU 故障，能开机运行。查出为晶体管 VT7 击穿短路，更换后故障排除。

### 故障实例 3

一台 616G3-55kW 安川变频器，因雷击造成整流和逆变功率模块损坏，将电路板与主电路脱开，检修驱动电路时，上电后，操作面板 FU 字符闪烁，不能进行相关操作。从电源/驱动板上找到 FU 故障检测电路（与驱动电路一起），分别将 Q5、Q20、Q29 3 只光耦合器的输入侧短接后，上电不跳 FU 故障。查出驱动电路的故障排除和更换损坏模块后，将 Q5、

Q20、Q29 3 只光耦合器的输入侧的短接线解除，变频器投入正常运行。

## 5.2 电流互感器电路

变频器电路上应用的电流互感器，除早期极个别产品采用穿心式电感线圈绕制而成的传统互感器外，在成熟电路中，常采用霍尔元件与前置电流检测电路做成的一体化密封式电流互感器（姑且称之为电子型电流互感器吧），其中又分为标准型和非标准型，标准型采用市场上的专用成型产品。如 10A/1V 型电流互感器，回路中的每 10A 电流产生 1V 的信号电压输出。非标准型是变频器厂家自行设计与制作的，不能通用，损坏时一般是更换原厂家提供的同型号产品。

电子型电流互感器，其实就是一个电流/电压转换器的电路。图 5-5 中两种电流互感器的电路比较具有代表性。台安 3.7kW 变频器电流互感器电路中，电流互感器的主体也为一个圆形空心磁环，变频器的 U、V、W 输出线作为一次绕组穿过铁心磁环（小功率机型一般是穿过多匝），磁环中即产生随变频器输出电流大小而疏密变化的磁力线。此磁环有一个缺口，在这个缺口里嵌入了四引线端的霍尔元件。霍尔元件为片状封装，磁环的磁力线穿过霍尔元件的封装端面，此端面又称为磁力线收集区（或磁感应面）。霍尔元件将磁力线的变化转变为感应电压输出。电路由霍尔元件和一只精密双运放电路 4570 组成。霍尔元件工作时须加入一个 mA（约 3~5mA 左右）级的恒定电流，4570a 接成恒流源输出电路，提供霍尔元件正常工作所需的 mA 级恒定电流（本电路霍尔元件的工作电流为 5.77mA），加至霍尔元件的 4 脚和 2 脚；霍尔元件 1 脚和 3 脚输出随输出电流变化而变化的感应电压，加到 4570b 的 2 脚和 3 脚两个输入端，经放大后由 1 脚输出（电流检测信号）交流电压信号。电子型电流互感器往往为四端元件，其中两个端子为  $\pm 15V$  的内部放大器的供电，另两个端子为信号输出端，一个端子接地，一个端子为信号 OUT 端。 $\pm 15V$  除提供双运放 IC4570 的供电外，又经进一步的  $\pm 6V$  稳压，形成一个零电位点引入 4570 的 3 脚。变频器在停机状态时，对地测 OUT 点，应为 0V，在运行中，则随输出电流大小比例输出 3V 以下的交流信号电压。

东元 3.7kW 变频器电流互感器电路采用的是一片可编程运放芯片，此芯片的型号至今没有查到，但通过改装试验，摸出了电路的一些特点。据试验，2 脚为恒流供电端，3 脚和 4 脚为差分放大器输入端，13 脚为信号输出端。将 11、12、13 脚焊锡缺口逐级短接时，放大倍数呈减小趋势；逐级开路时，放大倍数增大。以此可以调节芯片的放大倍数，便于匹配不同功率输出的变频器。

变频器的电压检测和电流检测信号都有可能被程序运用到输出三相电压和电流的控制——检测信号发生变化时，输出三相电压和电流也相应变化。其损坏时，最好采用原厂配件进行修复，以避免引起保护和控制性能的变化。

电流互感器损坏后，典型的故障现象是：上电即显示过电流、短路、接地（OC、SC、GF）故障，有的变频器可能会显示一个故障代码表中所没有的一个代码，拒绝任何操作。遇有此类状况，首先应检查故障与检测保护电路，是否有起控现象。电流互感器的检测方法如下：

- 1) 变频器上电，测量电流互感器的供电脚， $\pm 15V$  是否正常，若其中一路供电偏低或

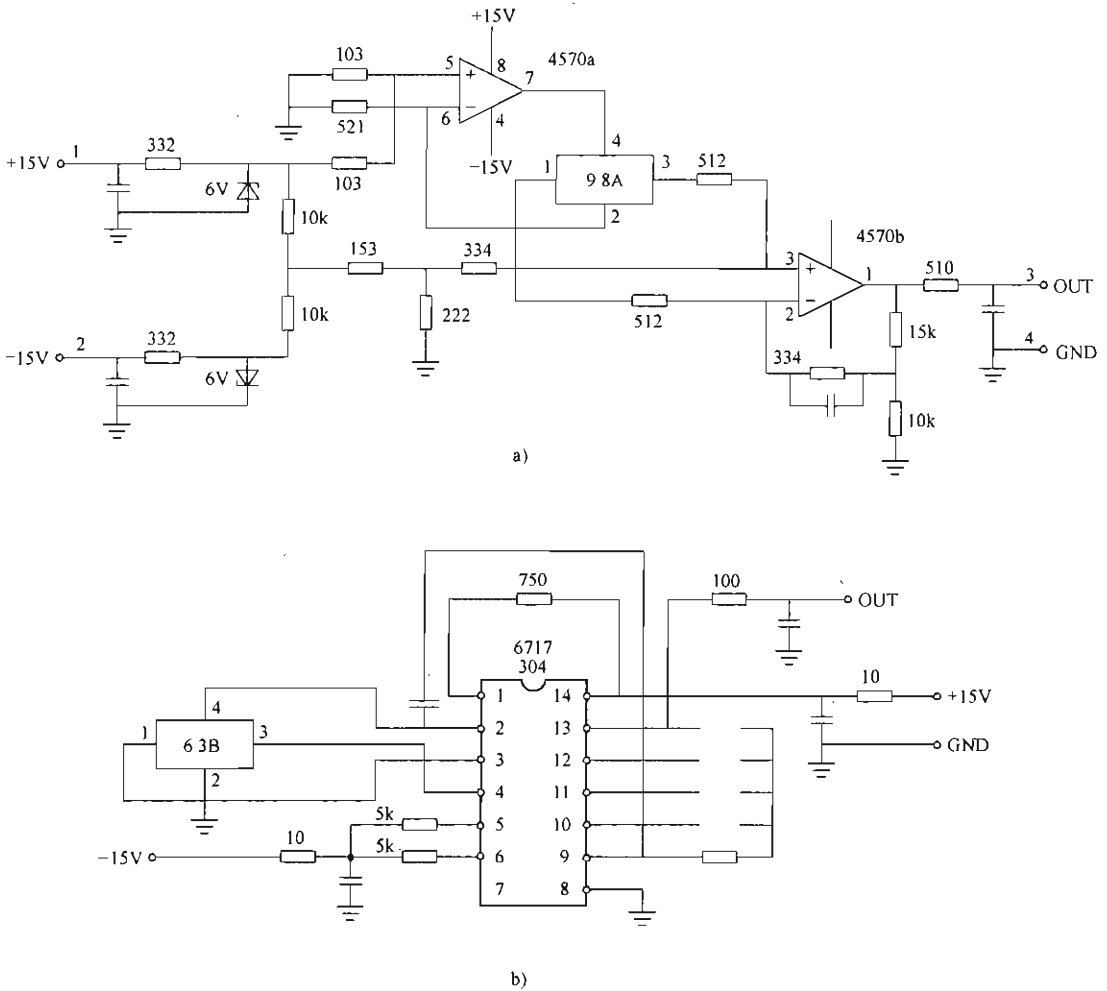


图 5-5 台安 N2、东元 7200MA 变频器电流互感器电路

a) 台安 N2-405-1013/3.7kW 电流互感器 b) 东元 7200MA 3.7kW 电流互感器电路

为 0V，电路即误输出过电流信号，使 CPU 实施保护动作。如供电异常，先修复供电。

2) 测量信号输出脚 OUT 与 GND 之间，静态时应为 0V，若有正或负的输出电压值，应检查。

① 将电流互感器 OUT 信号与后级电路连接的铜箔线切断，测量电流互感器的 OUT 端子电压，为 0V。说明电流互感器正常，故障为后级电流检测电路损坏。

② 将 OUT 信号铜箔条切断，测量电流互感器的 OUT 端子电压，仍为正或负的较高幅度的电压输出，说明电流互感器本身损坏。

电子型电流互感器损坏后，在静态时（变频器停机）即输出一个正或负的较高的直流电压，其电压值接近供电电压，故障多为内部运算放大器损坏。电子型电流互感器往往采用某种密封胶进行固化，修复难度较大。

电流互感器损坏后的修复：

1) 从厂家或供应商处购得原配件更换。



2) 用微型螺钉旋具, 小心拆开外壳, 逐一清除固化物, 使电路板显露出来, 检查损坏元器件并更换。

3) 应急调试修复法。若机器采用 3 只电流互感器, 已经坏掉一只, 上电即报 OC 故障。将坏掉电流互感器拆除后, 变频器能投入运行。调出运行电流显示值 (小于实际电流值), 用嵌形电流表检测输出电流值, 对比其误差, 计算其误差系数, 将变频器保护动作电流值的参数值按误差系数调小。变频器仍能实施正常的保护动作。有的变频器只采集两相运行电流的模拟信号输入 CPU, 可以调整电流互感器的安装位置, 满足其采样要求。部分变频器机型可用此方法应急修复运行。

4) 用其他型号的电流互感器应急换修复, 原则是: 供电及引脚功能相同; 输出电压信号幅度输较原电流互感器为大; 将输出端串接半可变电位器, 为变频器接入额定负载, 调整 OUT 端电压, 与另两路电流互感器输出信号幅度一致。

#### 故障实例 1

一台 N2 型 220V1.5kW 的台安牌变频器, 因故障送修。先是修好了开关电源, 上电即跳 UL 故障, 操作面板拒绝操作。根据修理其他机型的经验, 可能模块或相关故障检测电路异常, 变频器拒绝运行操作。但查逆变模块正常, 应在故障检测电路方面下功夫了。

怀疑是跳电压低故障, 变频器上电后, 检测主回路电压低, 也会拒绝起动操作。但查说明书中的故障代码表, 欠电压故障代码应为 LU, 不应是 UL, 说明书上不该有此失误。但也不敢掉以轻心, 先查主回路直流电压检测电路, 与东元和大连普传变频器一样, 也是从开关变压器的二次绕组间接采样的, 采集的是正向尖脉冲整流的正电压信号。取自 -15V 电源的同一绕组, 经 D207 整流, R254 和 C40 平滑滤波后, 为 60V 直流正电压, 再由 R256 (180k) 隔离和分压成 3.6V 左右的采样电压, 送入 CPU 主板。试将 R256 并联一只 220k 电位器, 调整试之。在调整过程中, 听到充电继电器随 3.6V 的高低发出接通和断开的“喀啦”声, 证明此电路确为电压检测电路, 此采样电压也应在正常范围内, 没有问题。

这个 UL 代码是故障代码中所没有的, 但也是提示维修人员故障原因的。这倒勾起了编者的好奇心, 想下点功夫解透 UL 这个密码到底是什么意思。观察逆变模块的所有引脚, 没有报热故障或 OC 故障的引出脚, 接着查三相输出电流互感器输出的三相电流采样信号。互感器供电为  $\pm 15V$ , 据经验, 在静态时信号输出脚应为 0V。三相电流互感器 3 个输出脚的电压值分别为: U 相 2.6V, V 相 4.7V, 而 W 相竟然为 12V! 原因在此吗? 将此 3 个信号切断, 将信号输入脚与 GND 地连接后, 上电跳 UU 了, 停电时跳 220V, 然后跳 LU (真正的欠电压代码), 有了变化, 说明跳 UL 故障的起因仍在三相电流检测环节。UL 和 UU 都是故障代码表中所没有的, 但和电流检测信号有关系。检查 3 只电流互感器都已损坏, 又查出后级电路检测电路中的一只 IC 损坏, 将 3 只电流互感器和后级损坏 IC 换新后, 故障排除。

#### 故障实例 2

一台 P9 型 22kW 英威腾变频器, 上电后跳 H: 00, 所有操作均被拒绝。一开始以为 CPU 电路损坏, 导致程序不能运行, 遍查无果。后考虑到可能为某路故障检测电路报出故障信号的原因, 使 CPU 进入故障锁定状态。检查驱动电路无异常, 将驱动电路的 SC 报警功能解除掉后, 故障依旧。后查出 V 相电流传感器在静态时输出 -12V, 将信号输出铜箔条切断后, 能进行运行操作。更换同型号电流互感器后, 故障排除。

从以上两例故障可以看出: 变频器在上电后, 程序自检结束后, 检测到相关故障状

态——电流互感器损坏后误报过电流信号，但并不一定直接报出 OC 或 OL 故障。变频器有时候所报故障代码，甚至是说明书中故障代码表中所没有的，如故障实例 1。遇有此类情况，先要冷静下来，排除故障检测电路的错误报警状态后，再去检修 CPU 电路。

### 5.3 东元 7200MA 3.7kW 变频器的电流检测电路

#### 1. 电流检测电路之一——模拟信号/开关量信号处理电路（见图 5-6）

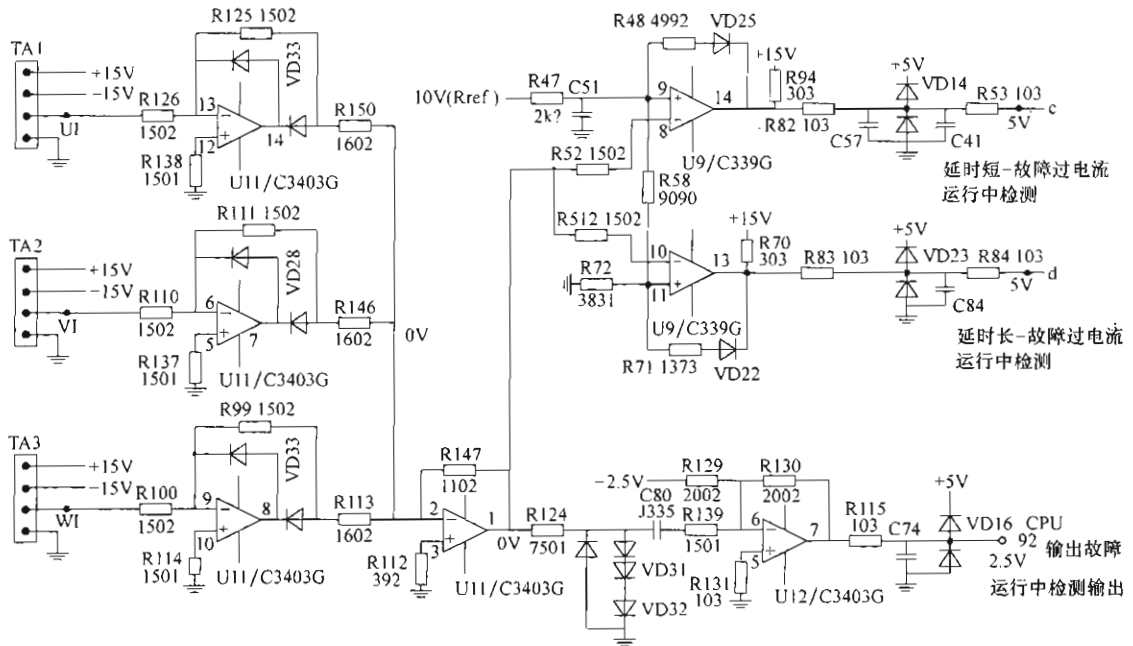


图 5-6 模拟信号/开关量信号处理电路

TA1、TA2、TA3 是 3 只电流互感器，电流互感器的内电路如图 5-5 所示。3 只电流互感器串接于三相输出电流回路，输出 UI、VI、WI 三路代表输出电流大小的交流电压信号。U11（四运算放大器 C3403G）内部的 3 组放大器与外围元件构成了三路精密半波整流器，将输入 3 相交流电压信号的负半波倒相整流成正电压信号，输入到由 U11 内部第四组运算放大器构成的反相放大器的输入端，输出负的 IUVW（全电流信号）信号，IUVW 又分为两路，送入后级开关量信号处理电路。

U11 实际构成了三相半波整流电路，整流信号 IUVW 实质上为 3 个电压波头的脉动直流信号，含有 U、V、W 三相输出电流的信息。IUVW 信号经 R124、VD31、VD32 的正、负向钳位与 C80 隔离直流成分后，输入 U12 的 6 脚，U12 构成了一个电压整形电路，输出正的 3 个波头的频率信号由 R115、C74 滤除干扰和 VD16 钳位保护后，送入 CPU 的 92 脚。CPU 内部计数电路（程序）据单位时间内输入脉冲个数的多少，判断是否有输出断相现象，当波头数目少时，报出“输出断相”故障，停机保护。该级电路输出的是脉冲信号，信号被 VD31、VD32、VD16 输入、输出钳位电路所嵌位，已失去“模拟放大”的特征，说电路传输的是开关量信号也无不可。本电路实际相当于对输出频率/电压的间接检测，但是通过电

流信号来间接采样的。

IUVW 信号还同时送入由 U9 (C339G 四组开路集电极输出运算放大器) 构成的两级迟滞电压比较器的反相输入端, 见图 5-6 右上部电路。两级迟滞电压比较器的同相端是由 10V (Rref) 基准电压经 R47、R58、R72 分压形成的两个基准电压, 其中 9 脚的基准电压高于 11 脚的基准电压, 因而两者构成了一个梯级电压比较器。经 R512 输入到 10 脚的 IUVW 压信号大于 11 脚基准电压时, 迟滞电压比较器输出状态反转, 由 +5V 钳位高电平, 转变为 0V 钳位低电平, 此路输出信号为 OL1 过电流信号。CPU 接受此“轻度过电流信号”后, 一边发出过电流警告, 一边进行“长”延时处理, 若属于偶然性过电流, 在延时时间内运行电流又回得到正常值, 则报警提示结束, 变频器继续运行; 若延时时间已到, 过电流现象依旧存在, 则实施保护停机控制。运行中当过电流幅度进一步上升时, 电流检测信号经 R52 输入到 U9 的 8 脚, 其电压值超过 9 脚的基准电压值时, 14 脚输出状态反转, 输出 -15V 的负电压信号, 经 VD14 钳位为 0V 地电平信号, 此路输出故障信号为 OL2 过电流信号。CPU 接受此“较严重过电流信号”后, 一边发出过电流警示, 一边进行“短”延时处理。在短延时处理过程中, 若过电流现象消失, 则变频器继续运行。若过电流信号依旧存在, 则停机保护。

上述“轻度过电流”信号, (试分析) 本机说明书中定义为变频器过负载, 意为运行电流超过额定电流的 115%, 一般变频器说明书定义为“OL1”过电流信号; 而“较重过电流”信号, 本机说明书定义为故障为“过转矩”, 意为运行电流超过额定电流的 150% (或 130%), 一般说明书中定义为“OL2”过电流信号。这两路输出信号, 都是系将电流模拟采样信号处理为开关量信号, 再经后级电路——末级故障信号处理电压送入 CPU 的。并且都是运行中检测有效的。上电期间或待机期间, CPU 将忽略掉对 OL1、OL2 过电流信号的检测。若因电路元器件损坏造成误报故障, 也是在起动运行后, 才报出 OL1、OL2 故障。两路过电流信号是经 c、d 点输入后级数字电路的。OL1、OL2 信号的生效或无效, 取决于 CPU 的控制。只有在接受起动信号后, 数字电路才受控工作 (详见第 7 章 CPU 电路的检修内的相关内容)。

电路中的关键测试点为待机状态下的静态电压值。-2.5V 和 10V (Rref) 两路基准电压来自于基准电压产生电路, 见 5.6 节基准电压产生电路。

## 2. 电流检测电路之一——模拟信号处理电路 (见图 5-7)

由电流互感器来的三路电流检测信号, 有两路输入到图 5-7 的精密半波整流器——模拟信号处理电路。此两路信号有以下特点:

- 1) 在上电期间和待机过程中不起作用;
- 2) 重点用于在起动过程中对输出电流/频率的控制;
- 3) 被用作运行电流的显示 (采样);
- 4) 不被用作延时停机信号。

这是两路专门在起动 (和运行) 过程中应用的信号, 用作对输出电流/频率的控制。UI、WI 两相电流检测信号, 经 U12 两组运算放大器与外围元件构成的精密半波整流器, 整流为正的模拟电压信号, 直接经 R、C 抗干扰电路、VD18、VD17 二极管钳位保护电路, 输入到 CPU 的 95 脚和 93 脚。说一下在起动过程中对该信号的应用: 在变频器起动过程中, 应用此信号的目的, 是为了使负载电动机维持一定的转差率, 从而将起动电流维持在一定的允许的范围内。在起动过程中, 随输出频率的上升, 电动机转速也应随之同步上升。因负载

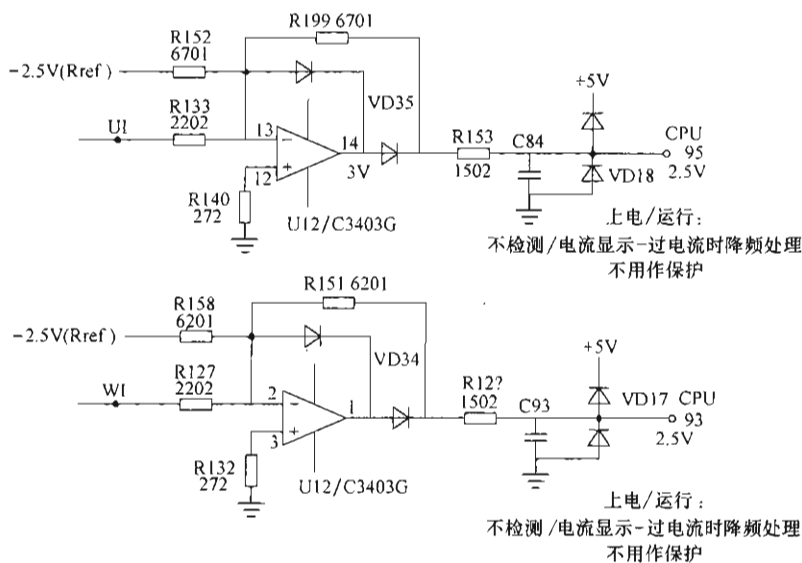


图 5-7 模拟信号处理电路

较重，电动机升速较慢而导致转差率上升，并形成过大的负载电流时。此异常增幅电流信号，由图 5-7 电路所检测，送入 CPU 的 93 脚和 95 脚，CPU 将暂停输出频率的上升（或使输出频率有所回落），等负载电动机的转差率下降，起动电流回落到允许值以内时，变频器输出频率才继续上升。此种控制过程一直持续到电动机正常运行为止。正常运行中，电流检测信号则由程序计算后，由操作显示面板，用于运行电流的显示。

### 3. 电流检测电路之三——快速停机保护信号（见图 5-8）

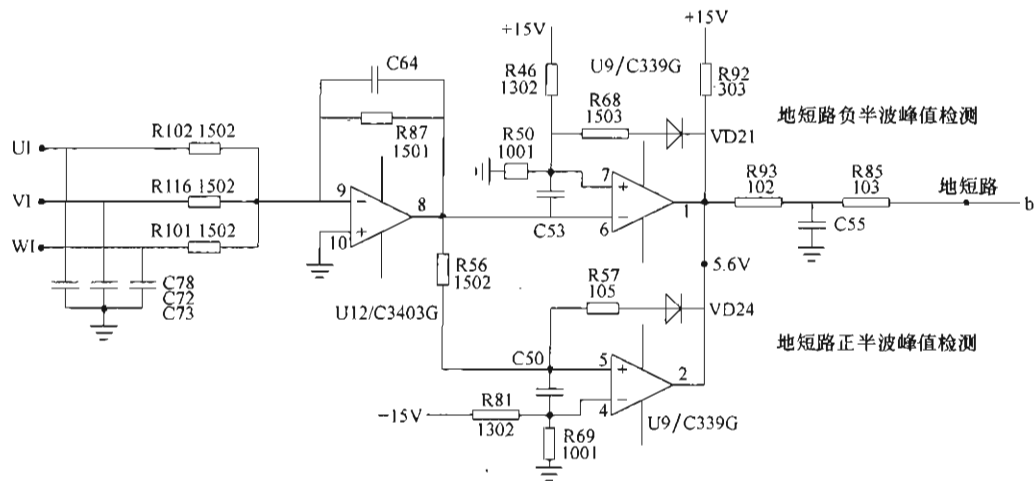


图 5-8 快速停机保护信号

电路原理：U9 为开路集电极输出方式的运算放大器，故两输出端可直接短接，并在静态时由 R92 上拉为高电平。两级放大器接成窗口电压比较器电路，当输入信号在正的和负的两个基准值之内时，电路无输出。信号超过任一基准值时，电路输出状态反转。

输入（由电流互感器来的）UI、VI、WI 三相电流信号，经 R102、R116、R101 3 只负

载电阻连接成星点后，再输入到 U12 的反相输入端 9 脚。当变频器输出端无接地故障时，三相电流有较好的平衡度，UI、VI、WI 三电流信号之和接近于零，U12 的 8 脚只有很低的电压输出。而当接地故障造成某相输出电流变大到一定值时，三相平衡状态被打破，U12 的 9 脚产生信号电压输入，8 脚输出接地电流信号电压信号，同时输入到后级由 U9 构成的窗口电压比较器的 5 脚和 6 脚。输入到 U9 反相输入端 6 脚的交流正半波信号与 7 脚由 +15V 分压形成的正的基准电压相比较，在输入信号正半波的幅值超过基准电压值时，1 脚变为低电平，将正半波电流峰值检测信号（地短路信号）送入后级电路；输入到 U9 同相输入端 5 脚由 -15V 分压形成的负的基准电压值相比较，在输入信号负半波的幅值超过基准电压值时，2 脚变为低电平，将负半波电流峰值检测信号（地短路信号）送入后级电路。

电路处理的是象征着三相电流不平衡度的三相电流之和，电路并不区分为哪一相出现接地故障，只要因接地故障造成较大的不平衡电流信号产生，则输出地短路故障信号，变频器实施无延时停机保护。该信号的特点是：信号在起动和运行期间都是有效的（部分机型在运行后，该信号则被忽略）。本机说明书中，对该信号的定义是：变频器输出端接地（接地电流大于变频器 50% 额定电流），实质上是指三相不平衡电流超过了变频器额定电流的 50%！

上述电流检测电路的 OL1、OL2 和地短路信号均被输入后级数字信号处理电路，由 CPU 输出的相关控制指令配合，使信号随着变频器的工作进程，起到“输入有效”和“输入忽略”的作用。

故障信号处理的末级电路，请详见第 7 章的故障信号末级处理电路相关内容。

## 5.4 英威腾 G9/P9 中、小功率机型输出电流检测电路

### 1. 在输出电路中串接电流采样电阻的电流信号检测电路（前置电路）（见图 5-9）

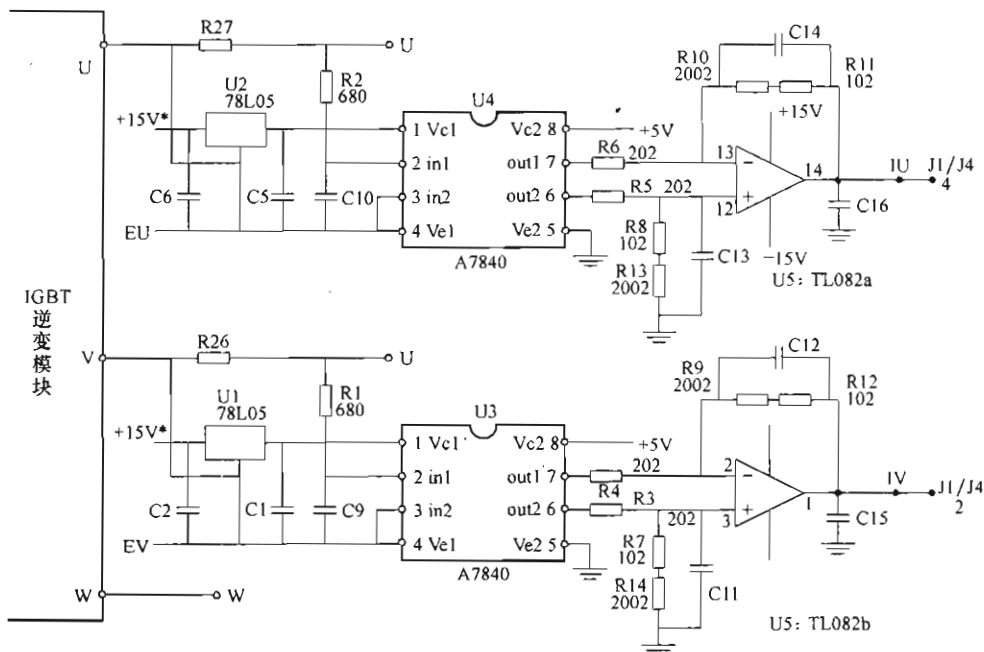


图 5-9 从采样电阻上取得输出电流信号的电路

部分小功率变频器机型，对输出电流的采样省掉了电流互感器。在 U、V 输出电路中直接串接了  $m\Omega$  级的电流采样电阻，将此电阻上的压降信号经 U3、U4 进行光电隔离和线性传输，先经 U5 (TL082) 进行放大后，送后级电流检测与保护电路进一步处理，再送入 CPU。U3、U4 (A7840) 为集成线性光耦合器，与普通光耦合器略有不同，内含放大电路，故适于对  $mV$  级微弱电压信号的传输，既实现了强、弱电的隔离，又实现了对小信号的线性传输。U4 输入侧的供电是由驱动电路供电（隔离电源）再经 U1、U2 (L7805 稳压器) 稳压成 5V 来提供的，此电源必须是与控制电路相隔离的。此两路电流检测信号输出端，在电路板上标注有 IU、IV 字样，是为检测点。

对小功率变频器电路，电源/驱动板上往往也同时集成了三相输入整流电路与三相输出逆变电路，直流回路的储能电容也焊接于此，变频器的主电路也在电源/驱动板上。图 5-9 中电流检测电路即在电源/驱动板上，为了文字叙述的方便，也将图 5-9 电流检测电路称为“电流检测电路的前置电路”。

## 2. 模拟电流检测信号的处理电路（见图 5-10）

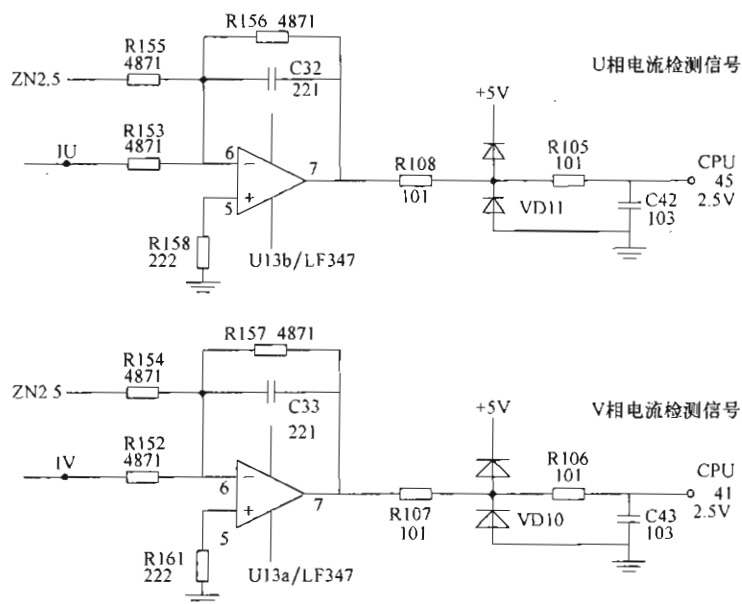


图 5-10 模拟电流信号处理电路

由前置电路或由电流互感器来的 IU、IV 信号，经 U13a、U13b 反相输出、VD10、VD11 钳位保护，输入到 CPU 的 41 脚和 45 脚，供运行电流显示及起动、运行过程中的输出电压/频率的控制。ZN2.5 为基准电压电路输出的  $-2.5V$  基准电压，经 R154、R155 加到两级放大器的反相输入端，因而电路静态输出电压值为  $2.5V$ 。输入交流电压信号叠加在  $-2.5V$  基准电压上，输出信号电压值在  $2.5V$  上下浮动。

## 3. 电流检测电路的保护信号处理电路一（见图 5-11）

这块 CPU 主板是小功率、中功率机型通用的。小功率机型在 U、V 相输出回路串入  $m\Omega$  级电阻，以取出两路电流信号。在实际电路中将 R189 空置，焊入 R169，如此处理，是将 IU、IV 信号经由 U13c 合成为 IW 信号，然后这三路信号经 U12b 进一步放大处理成三相电流的合成信号 IUVW。对于稍大功率的机型，则由霍尔元件及前置电流信号检测电路构成的

电流互感器，将三路 IU、IV、IW 信号直接传输到 CPU 主板上。此时 R189 接通，R169 空置，三路信号也经 U12b 进一步放大处理成三相电流的合成信号 IUVW。此合成的 IUVW 信号，其幅度反映了输出电流的大小，不必区别是哪一相电流，只要有异常的大电流信号出现，后级电路便报出故障信号。这一路信号被处理为保护动作信号，用于停机保护等目的，不参与电流显示和输出计算控制的。IUVW 三相电流合成信号一路加到 U11a，U11a 接成具有滞后特性的电压比较器电路。同相端是 10V 基准电压经电阻分压而成的固定偏压，当反相端输入负的信号电压的峰值超过同相端偏压时，U11a 就输出一个 OCL 信号；IUVW 信号还送入了 U11b，与同相端偏压相比较，输出一个 OCH 信号。OCL 信号实为 OL1（故障代码）过电流信号，过电流幅度较小；OCH 为 OL2 过电流信号，过电流幅度较大。变频器在运行中，出现此种过电流状况时，会提供过电流故障警示，并不马上停机保护。经一定时间的延时，仍有持续过电流信号输出，才实施停机保护。OL1 延时时间长一些，OL2 因过电流幅度大，延时动作时间相对短一些。

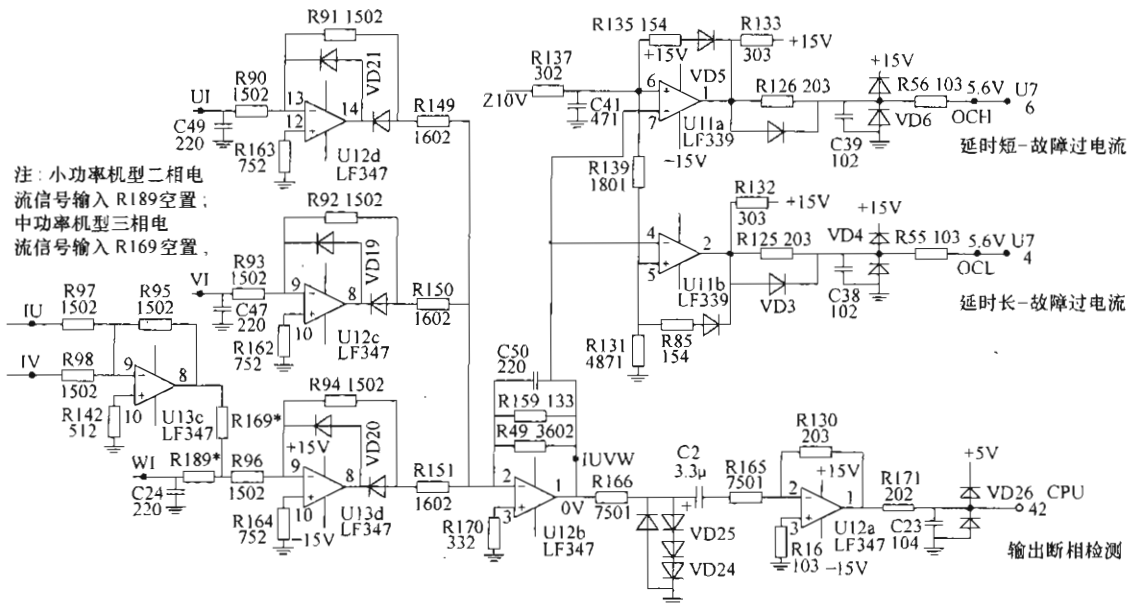


图 5-11 电流检测电路的保护信号处理电路一

U12、U13 内部的三组放大器构成了三相半波整流电路，三相电流的合成整流信号 IUVW，经 U12b 放大器倒相后，由 VD24、VD25 进行削波和钳位，经电容 C2 耦合，由 U12a 放大为三波头的矩形脉冲信号，送入 CPU 的 42 脚。因输入交流电源断相，储能电容严重失容造成直流回路电压的大幅度波动，因而使三相输出电流波动剧烈时，U12a 传输的三波头信号不规则或有缺失，变频器报出“SP1——母线汇流排上波动过大”或“输出断相”的故障信号而停机。这是利用输出电流信号对输出电压幅度/输出频率进行检测的电路。

#### 4. 电流检测电路的保护信号处理电路二（见图 5-12）

图 5-12 为电流检测信号的开关量信号处理电路。由前置电路来的三相电流检测信号，输入由 U15c 构成的加法放大器，其放大输出为三者信号相加之和。R143\*、R144\* 为大量调整电阻，因两相/三相输入信号的不同或前置电路来的信号幅度的不同，可通过调整两电阻值，达到与后级电路适配的目的。U11c、U11d 的电路形式同 U11a、U11b，也接成窗

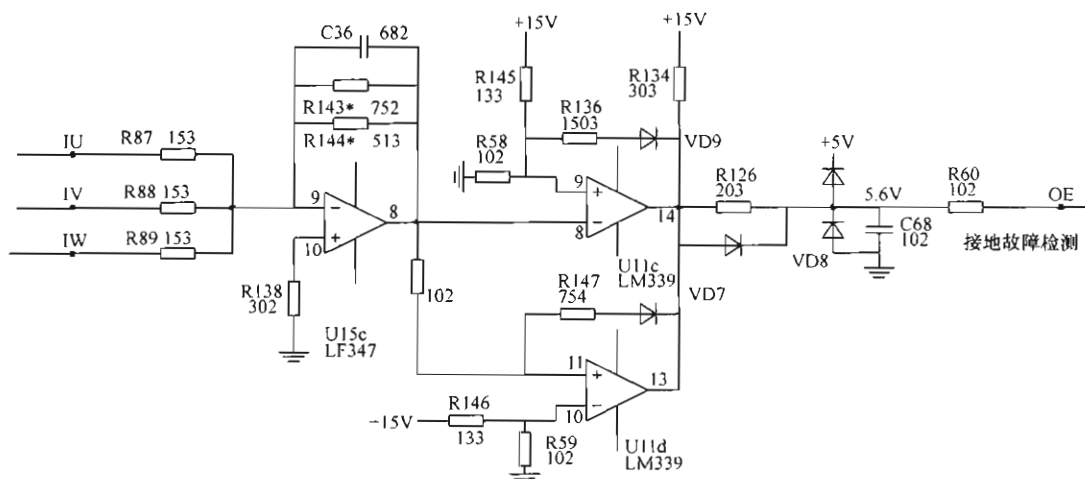


图 5-12 电流检测电路的保护信号处理电路二

口电压比较器的电路形式，在检测到三相接地故障发生时，输出一个 OE 信号。这个信号也为一种保护停机信号，为接地故障检测信号。

当变频器的三相输出电流平衡度较好时——说明输出端不存在接地故障，三信号之和为零（三输入信号形成一个中性点），电路无接地故障信号输出。当某一输出端有接地故障，引起该相输出电流大于其他两相输出电流时，即三相输出电流达到一定的不平衡度时，故障电流信号上升到一定的阈值，负的故障峰值电流信号使 U11c 的 14 脚输出 OE 信号，正的故障峰值电流信号使 U11d 的 13 脚输出 OE 信号。

CPU 接受此信号后，立即进行停机保护，没有延时过程。这种检测信号在起动和运行阶段，都起作用。但在本机电路中，当其他故障信号作用时，OE 信号即被中止。

## 5.5 阿尔法 5.5kW 变频器电流检测电路

阿尔法 5.5kW 变频器的电流检测电路如图 5-13 所示。

V、W 相输出电流信号由电流互感器取得（注意：电流互感器内含霍尔元件电流检测及信号放大电路，输出信号已达一定的电压幅度），经 R、C 滤波网络滤除高频噪声干扰，送入 U11a 的 2 脚和 U11c 的 13 脚，由此前两级放大器输出的 V、W 电流检测信号，由两放大器的输出 1 脚和 14 脚直接输入到由 VD20、VD21、VD22 组成的三相桥式整流电路中。IV、IW 两相电流信号，又由 R102、RR101 输入到 U12a 的 2 脚，经放大后从 1 脚输出合成的 IU 信号，也输入到由 VD20、VD21、VD22 组成的三相桥式整流电路中，由三相整流电路得到的反映三相输出电流 IUVW 大小的  $I_{in+}$ 、 $I_{in-}$  信号，送入后级电压比较器电路（CPU 外围电路），与可控基准信号相比较，输出过电流故障信号，与过电压、模块 OC 信号一起合成“综合故障信号”，再送入 CPU。

送入 CPU 的“综合故障信号”为开关量信号，此信号一旦输入，CPU 马上就会无条件地执行变频器停机命令。 $I_{in+}$ 、 $I_{in-}$  信号触发的是一个“故障阈值电压”， $I_{in+}$ 、 $I_{in-}$  信号到达一定幅度后，保护电路即被起动。CPU 还需输入另一路电流检测信号，这一路信号应该是模拟信号，在此信号作用期间，即使是某一程度的过电流信号，则保护电路不一定会



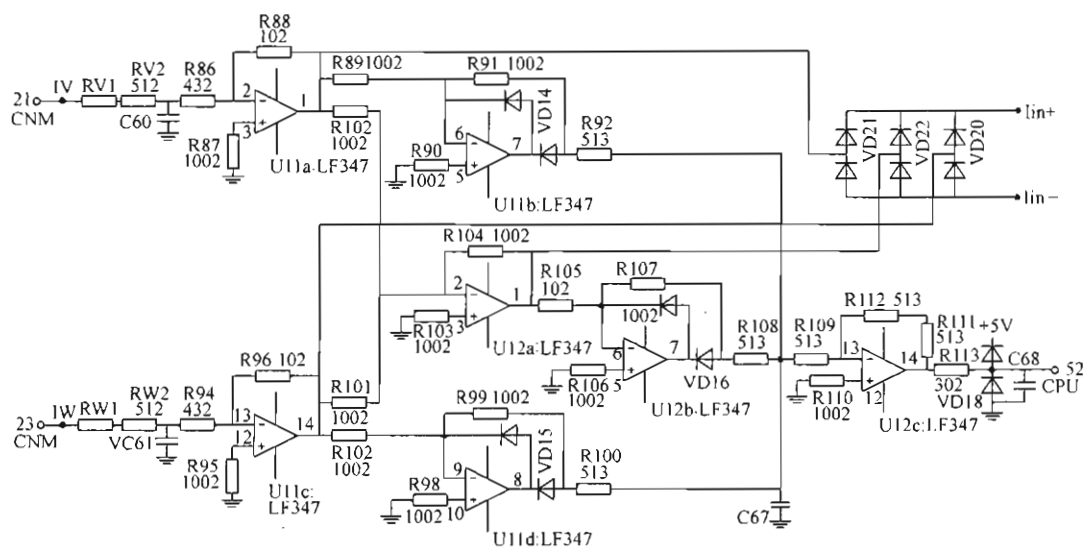


图 5-13 阿尔法 5.5kW 变频器电流检测电路

被马上启动，CPU 要采取一些迂回动作，要商量一下，比如降一下频率，看电流是否下降，如果商量成了（电流降下来了），便不再去启动保护电路了。变频器在启动或运行中，经常会有瞬时过载，变频器随之有一个动态频率调整动作，此动作就是根据电流检测电路送来的模拟号来判断的。

V、W 输入的 IV、IW 电流信号经 U11a、U11c 处理后，又经 U12a 合成出 IW 信号，IV、IW、IU 三路信号又经后级精密正半波整流电路（电路只对输入正的电压信号有放大作用，而输出为负向的电压信号），合成为负向的 IUVW 合成电流检测信号，U11b、U12b、U11d 三组运算放大器构成了精密半波整流电路，将输入信号进行了半波整流，处理成负的直流电压，再经 U12c 反相放大器处理成 5V 以下的正电压信号，经 VD18 组成的限幅电路送往 CPU 的 52 脚。在变频器的电流检测电路中，此信号的作用：

- 1) 用作变频器的输出电流显示，用户可从操作显示面板上监视变频器的运行电流。
- 2) 提供输出控制的参考，如过电流状态下，用降频方式使输出电流下降到允许值以内。
- 3) 会以其他方式参与输出控制。总之，通常这路信号不是用于保护，而是用于显示和控制之用。参与保护的电流检测信号往往被处理成开关信号输入 CPU，而参与控制的电流检测信号则为纯模拟信号，也送入了 CPU。

## 5.6 电流与电压检测的共用电路——基准电压形成电路

图 5-14 为 7200MA 7.5kW 东元变频器基准电压形成电路。

在故障检测电路，尤其是电压和电流故障检测电路（特别是电路在采用运算放大器来处理信号的情况下），提供一个基准电压是必须的。输入电压信号总要与一个基准电压值相比较，从而判断出过电流、过电压和欠电压故障来。同时，CPU 采用也须预先提供一个信号基准点——2.5V 的基准电压，供内部电路对输入模拟信号进行计算和程序应用。根据各个检测电路输入信号幅度的不同，所需的基准电压值也有所不同，该电路共有三路基准电压

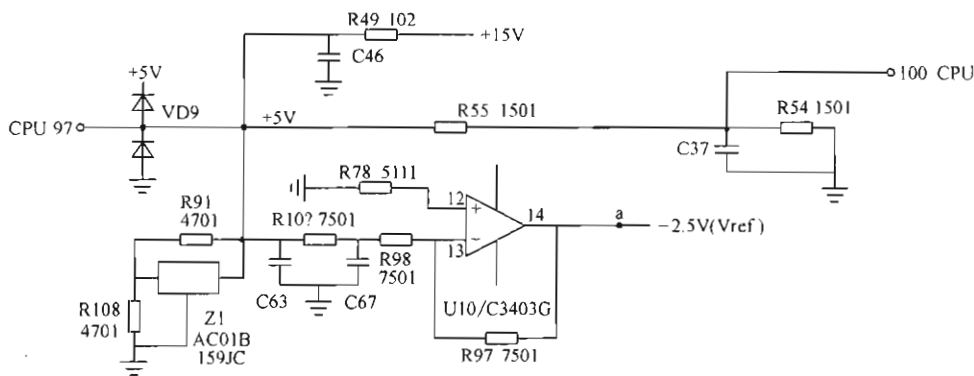


图 5-14 7200MA 7.5kW 东元变频器基准电压形成电路

输出。

15V 供电先由 Z1 (同 TL431) 基准电压源电路提供出第一路 5V 基准电压, 送 CPU 的 97 脚; 此 5V 又经 R55、R54 分压成 2.5V, 送入 CPU 的 100 脚, 两者都供 CPU 内部相关电路所需的电压基准。此 5V 又由 R107、C63、C67 滤波网络经 R98 输入到 U10 反相放大器的 13 脚, 输出一路 -2.5V (Vref) 基准电压, 由 a 点引入到电流、电压检测电路、温度检测电路, 做为故障检测电路——处理模拟信号所需的基准电压。

有的电路没有专用基准电压形成电路, 所需基准电压, 往往是由 +5V、+15V、-15V 分压取得, 分压所得, 实际也为基准电压, 与输入信号比较, 输出相关的检测信号。

G9/P9 英威腾中功率机型变频器的基准电压形成电路如图 5-15 所示, 则输出三路基准电压信号供电流、电压、温度等故障检测电路。+15V 供电经 R148、R190 限流、C7、C40 滤波后, 由基准电压源电路 U16 (TL431) 输出稳定性良好的第一路 5V 基准电压; 5V 电压经 U14B 反相 2 倍衰减器处理第二路 -2.5V 的基准电压; 5V 电路又经 U14 同相 2 倍放大器处理成第三路 10V 基准电压。

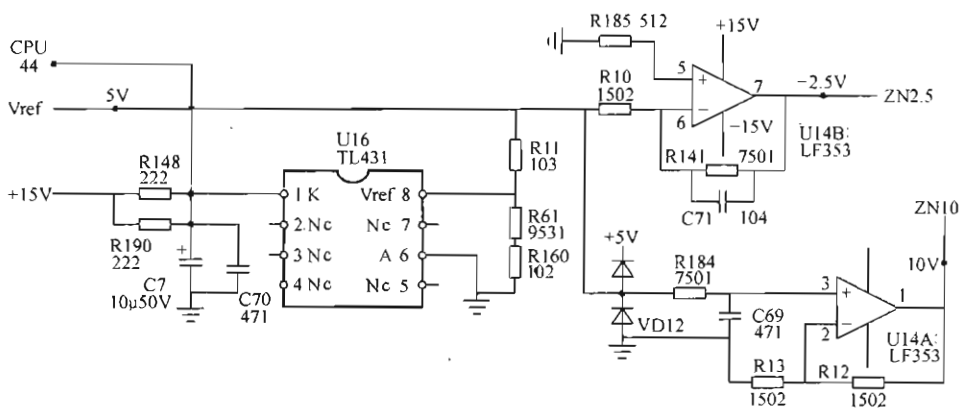


图 5-15 G9/P9 英威腾中功率机型变频器基准电压形成电路

第一路 5V 基准电压源, 供模块温度检测电路和 CPU 电路; 第二路和第三路基准电压源供电压、电流故障检测电路。

基准电压形成电路提供了各路故障检测电路所需的各种基准电压, 是故障检测电路正常

工作的前提条件之一。其状态的好坏影响到整个故障检测电路。电路出现故障时,基准电压严重偏离正常值,会使检测电路因比较电压的偏离,误输出故障信号。测量故障检测电路的静态电压偏离正常值时,应首先检测并确定基准电压形成电路是否正常。同时,当 CPU 检测到输入的基准电压异常时,可能会采取故障保护措施,报出如控制电压异常,或报出一个故障代码表中没有的一个故障“代码”,变频器拒绝操作和运行。

另外,基准电压形成电路故障,会使输入到 CPU 的模拟信号偏离正常值,操作显示面板显示的输出电流和直流回路电压值出同时出现较大偏差。同时也会导致多个故障检测电路误报警,但 CPU 根据各个故障的优先权,总是先报出其中一个故障,当我们将该故障屏蔽掉时,又会报出第二个故障,第三个故障。那么需要检查故障检测电路的共用电路——基准电压形成电路的故障了。

## 5.7 根据故障代码检修电流检测电路

5.3~5.5 节的内容为电流检测电路,5.6 节的内容为基准电压形成电路。本节的检修方法的叙述,是针对上述 5.3~5.6 节相关内容来进行的。

### 1. 电流检测电路的特点

1) 从 U、V、W 三相输出端 3 只电流互感器来的 UI、VI、WI 三相电流信号,被后续电路处理成两大类信号。

模拟电压信号,直接送入 CPU 电路,处理后供运行电流显示和输出(电流)电压/频率的控制;

开关量信号,用于不同工作过程中的保护动作控制,如运行中过电流、加速中过电流、减速中过电流,输出过电流、接地等。

2) 开关量信号被处理成“延时动作处理”和“直接动作”两类信号,前者为“轻故障”信号,信号输出时,变频器有一个延时动作过程。在延时过程中,变频器出现相应调整动作,只是给出故障示警,并不马上停机保护;后者为“重故障”信号,信号输出时,毫无商量余地马上停机保护。

3) 根据待机(停机)、起动、运行三大工作阶段的不同。

① 某故障信号被“有效”采用,某故障信号被“无效”忽略。

② 同一故障信号来源,根据工作阶段的不同,被报出不同的故障代码。

变频器的驱动电路和输出电流检测电路,都有报 OC(过电流、短路)、GF(接地、地短路)的可能。有的机型 GF 故障是由驱动电路在起动初始阶段报出,有的机型是由三相输出电流检测电路,在起动初始阶段报出。在起动瞬间报出的 OC 信号,是由驱动电路 IGBT 管压降检测电路报出,而运行中报出的 OC 信号,则多为三相电流检测电路所报出,属于“重故障”信号,不经延时,即直接报出。

### 2. 检修思路和方法

1) 上电即报 OC 故障。上电后处于待机状态,未接受起动信号,操作面板显示 OC 故障。有的变频器甚至显示一个说明书中没有的故障代码,变频器拒绝运行操作甚至拒绝所有操作(不能调看参数)。

故障实质:CPU 在上电自检中,检测故障报警端口有严重过载情况存在(或判断电流

检测电路已经损坏,起不到正常保护作用),如贸然投入运行将危及 IGBT 模块的安全,故以 OC 或其他代码做出警示,并拒绝相关的运行操作。

分析:输出电流检测电路与驱动电路的 IGBT 保护电器(IGBT 管压降检测电路)都可能报出 OC 故障。起动瞬间报出 OC 故障,多为 IGBT 管压降检测电路,检测到异常高的管压降,由驱动电路返回 OC 信号。另外,当驱动电路的 IGBT 保护电路本身故障时,也会向 CPU 返回一个 OC 信号,使 CPU 在上电后报出 OC 故障。三相电流检测电路本身故障,如基准电压偏移或检测电路的元器件损坏,使电路输出一个固定的“故障电平”,也会使 CPU 报出 OC 故障。

检测方法:先确定 OC(或别的故障代码)故障是由驱动电路还是电流检测电路所引起。将驱动电路的 OC 信号报警功能解除掉(见驱动电路的检修一章),如不再报 OC 故障,说明故障为驱动电路误报故障;若将驱动电路的 OC 报警解除后,仍报 OC 故障,说明故障在三相输出电流检测电路。检查电流检测电路中的故障信号处理电路,如图 5-6、图 5-8 和图 5-12、图 5-13 所示,检测电压比较器电路的输出状态,是否为故障信号电平,依信号次序向前级电路检查,直到找出“故障信号”的根源。

2) 上电报 GF(接地、地短路)。有两种情况:上电后,未接受起动信号,即报 GF 故障;一投入运行信号,即报出 GF 故障。

故障实质:变频器说明书对 GF 故障的定义是:接地电流大于变频器 50% 额定电流。变频器输出端的接线或负载电动机有接地现象,如电动机绕组与外壳绝缘变坏等。GF 故障检测电路本身故障造成。

分析:有的变频器是由驱动电路报出 GF 信号的,如 616G3 型安川变频器,起动瞬间报出 GF 故障,则说明逆变输出电路或驱动电路本身故障或存在严重接地故障;有的机型,如 7200MA 型东元变频器,上电后,报地短路故障,则为电流检测电路本身故障,误报地短路故障。变频器报 GF 故障的时机也有所不同,有的是上电后即可报出 GF 故障,有的则只在起动瞬间报 GF 故障。

检测方法:先将驱动电路的 OC(GF)报警功能解除(见驱动电路的检修一章),如不报 GF 故障,检修驱动电路。若仍报 GF 故障,检修三相输出电流检测电路。检查 GF 故障信号处理的相关电路,如图 5-8、图 5-12 所示,并依信号传输次序往前级电路查找信号来源,也有可能为电流互感器损坏,造成高电压幅度的“故障电压”输出,引起后级故障信号处理电路,报出 GF 故障。

3) 运行中报 OL 或 OL1、OL2、OL2 或 OC 故障。

故障实质:

① 负载过重,超过变频器的保护设定阈值,变频器实施正常的保护动作,用户误认为是变频器故障。

② 变频器工作参数设置不当,如大惯性负荷,因加、减速时间设置太短,使负载转差率增大,变频器给出“加速中过电流”、“减速中过电流”、“运行中过电流”等故障警示。

③ 直流回路的储能电容容量严重下降,因起动或运行过程中电流/电压剧烈波动,造成“加速中过电流”、OC 等故障报警。

④ 电流检测电路本身故障,如基准电压严重偏离等,造成额定电流以下,误报过流故

障。电流检测电路本身损坏。

故障分析:

上所述①、②两种“故障”，属于负载方面及参数设置方面的原因，似乎是属于用户方面的原因，但往往产品销售商和维修者难脱干系，因而现场的调试也势必成为不可或缺的一个“维修内容”，变频器能正常转起来，维修任务才能宣告结束。

第3种过电流原因出在直流回路的储能电容容量下降的身上，有些风牛马不相及的意思，很难让人联想起来。不是维修经验相当丰富的师傅，可能考虑不到也检查不到这一环节。

第4种过电流原因是电流检测电路本身元器件不良造成的。首先要确定基准电压形成电路是否正常，故障时造成基准电压偏离，较小的运行电流，便能电路报出严重的“过电流”故障；放大环节和电压比较器电路有元器件损坏或变值，造成电流检测电路的静态工作点偏离正常值，也易使正常电流信号被传输成故障电流信号。

电流检测电路由电流互感来的电流信号，是分为多路送往后级信号处理器的，各自完成各自的任务，有的负责报出地短路故障信号，有的经长延时处理后报出OL1信号，有的经短延时报出OL2信号，有的不经延时报出OE和OC信号，可根据故障代码的不同，落实到具体电路，检查故障来源，提高检修效率。

检测方法:

①属于用户方面的原因，要与用户进行很好的沟通，如负载过重，可建议用户将变频器功率级别增大一级等，或现场进行调试解决问题。

②对于起动即跳“加速中过电流”和OC故障的机器，则轻载试机正常和检查负载方面也无异常，千万不可人为将变频器的过电流保护百分比调大，进行强制开机。应检测直流回路的储能电容有无容量减小和失容现象，如存在电容失容现象，则应全部更换储能电容后，再行试机。如不属储能电容问题，则应检查负载电动机是否存在绝缘老化等问题，可更换电动机试验。

③对运行中跳过载的机器，应用钳形电流表测量输出电流，操作变频器的操作显示面板，调出输出电流显示值，看是否和测量值偏差异过大。如存在偏差，应调出变频器容量设置参数，据变频器容量重新设定。如东元和英威腾变频器，当变频器容量设置有误时，内部程序对电流的计算比例也同时变更，造成显示误差和误过电流报警；若变频器的容量设置无误，但屏显电流值与实测值相差较大，应检查基准电压形成电路和模拟电流信号传输通路；若实测电流值与实测值相符，则基准电压形成电路基本正常，应检查故障信号处理电路——开关量信号处理电路。

为了不使我们的维修工作陷于被动，必须要讲明一个问题，也是应与用户交待清楚的一个问题：变频器的保护电路不是万能的，一些故障的发生，是再先进的保护电路也无能为力的。要善于发现有“病”的电动机，并给用户打好“预防针”。不妨啰嗦几句：

运行多年的电动机，因电动机的运行温升和受潮等原因，绕组的绝缘程度已大大降低，甚至有了明显的绝缘缺陷，处于电压击穿的临界点上。工频供电情况下，电动机绕组输入的是三相50Hz的正弦波电压，绕组产生的感生电压也较低，电路中的浪涌分量较小，电动机绝缘程度的降低，也许只是带来了并不起眼的“漏电流”，但绕组的匝间和相间，还未能产生电压击穿现象，电动机还在“正常运行”。

接入变频器后,电动机的供电条件由此变得“恶劣”了:变频器输出的 PWM 波形,实为数 kHz 乃至十几 kHz 的载波电压,在电动机绕组供电回路中,还会产生各种分量的谐波电压。由电感特性可知,流过电感电流的变化速度越快,电感的感生电压也越高。电动机绕组的感生电压比工频供电时升高了。在工频供电时暴露不出的绝缘缺陷,因不耐高频载波下感生电压的冲击,于是绕组匝间或相间的电压击穿现象就产生了。由相间、匝间短路造成了电动机绕组的突然短路,在运行中——模块炸掉了,电动机烧毁了。

在全速(或近于全速)运行情况下,三相输出电压与频率均达较高的幅值,此时电动机绕组若有绝缘击穿现象,会于瞬间形成极大的浪涌电流,则逆变模块在电流检测电路动作之前,已经无法承受而炸裂损坏了。

工频能“正常运行”,但接入变频器后,频跳 OL 或 OC 故障,可能电动机绕组已存在绝缘缺陷了,跳故障不是变频器的问题,一定要用户检测电动机的绝缘啊。

### 故障实例 1

英威腾 INVT-G9-004T4 小功率机一例“死机”故障。

用户反映:此台变频器当时并未开机,但三相电源侧的其他机器有所异常,出现短路跳闸,波及到此台机器也出现电源开关跳闸,但重合闸后,发现操作面板已无显示,故此送修。

检测:R、S、T 与主直流回路 P、N 之间呈开路现象,拆机观察,模块电源引入铜箔条已被电弧烧断,测模块三相电源引入端子,短路。

故障原因:因电源侧其他负载支路的瞬时短路与跳闸的扰动,导致三相电源产生了异常的电压尖峰冲击,此危险电压导致了变频器模块内的整流电路击穿短路,短路产生的强电弧烧断了三相电源引入的铜箔条,同时引起了电源开关的保护跳闸。

测模块逆变部分尚正常,观察模块也无鼓出、变形现象,故采取切断模块整流部分、另外加装三相整流桥,仍利用原模块内三相逆变电路的低成本修复方案,进行修复试验。

检查:为防异常现象的发生,先切断模块逆变部分的供电;从外修理电源加一 500V 直流电压到变频器的直流回路,上电,操作面板显示 H.00,所有操作全无效。根据经验,此类故障并不一定是 CPU 电路损坏,程序进入“死循环”所致,而有可能是 CPU 检测到有故障信号存在,采取了故障锁定措施。

先解除掉驱动 IC 返回的 OC 信号,再上电,现象依旧。测量故障信号汇集处理电路 U7-HC4044 的 4 脚和 6 脚的电流检测信号,皆为负电压,而正常时静态应为 6V 正电压。顺电流检测电路往前查找,测电流信号输入放大器 U12d 的 8 脚和 14 脚为 0V,正常;U13d 的 14 脚为 -8V,有误过电流信号输出(见图 5-11)。将 R151 焊开,断开此路过电流故障信号,操作面板的所有参数设置均正常,但起/停操作无反应。

莫非还有哪路故障信号未排除,变频器仍处于保护状态中,因而拒绝起/停操作?测得模块热报警端子电压为 3V,从电路分析,此压正常时当为 5V 左右。是否模块内三相整流电路损坏后,此电路便输出热报警信号呢?或是整流电路的损坏,导致了该电路的同时损坏,而误输出热报警信号呢?试将热报警输出的铜箔条切断后,操作面板的起/停操作生效了!

英威腾 G9/P9 变频器的保护次序大概是这样的:上电检测功率逆变输出部分或驱动电路本身故障时,即使未接收起/停信号,显示 H.00,所有操作均被拒绝;上电检测到由电流检测电路来的严重过电流信号时,显示 H.00,此时所有操作仍被拒绝;上电检测有热报警

信号时,其他大部分操作可进行,但起动操作被拒绝,或许CPU认为输出模块仍在高温升状态下,等待其恢复常温后,才允许起动运行。而对模块短路故障和过电流性故障,为保障运行安全,索性拒绝所有操作!但此一保护性措施,常被人误认为是程序进入了死循环,或是CPU外围电路故障,如复位电路、晶振电路异常等。

修复:更换U13(LF347)和一体化整流、逆变模块后,故障排除。

### 故障实例2

一台英威腾INVT-G9 15kW变频器,空载运行一段时间后,跳OL1故障,然后停机保护。

分析:变频器空载运行,没有输出电流,属于误过电流报警;运行后延时报警再停机,故障电路应在图5-11中的U11b故障信号处理电路。

打开变频器外壳,找到CPU主板上的该部分电路,测量U11b(LF339)的输出脚2脚为0V低电平,OL1故障信号正是由此脚报出。U11b的2脚接有R132至+15V的上拉电阻,静态电压应为15V。观察到该机器主板曾被人维修过,R132有焊接痕迹,用万用表测量,R132因一端焊接不良而开焊,使U11b的2脚为0V低电平,故变频器在运行后报出OL1故障。

将R132补焊后,测量U11b的2脚为高电平。故障排除。

### 故障实例3

一台易能EDS1000型11kW变频器,运行中当加速到40Hz以上时,即跳恒速中过电流。但实际上运行电流远远小于额定电流,并且换用其他变频器后,电动机运行正常。检查驱动电路的六路逆变脉冲输出均正常,判断为电流互感器电路检测异常。测量电流检测电路的各静态电压,均正常。查看电流检测电路,电流互感器输出信号经一只3Ω电阻和50Ω电阻分压后,供CPU主板。怀疑电流互感器为非标产品,故外接分压网络以做调整。其分压值可能不够准确,使其电流采样值偏大,误跳过电流故障。或电流互感器内部电路的输出值有所漂移,同样造成误跳过电流故障。

最简单的方法,是调整电流互感器的外接分压电阻网络。将其下分压电阻值减小,使输出电压范围满足后续电路输入电压值的要求。有条件的话,可在运行中监测面板电流显示值,调整分压电阻值,使运行电流值与显示电流值相符。往往在维修部内,不能将变频器接上额定负载运行,故先将下分压电阻换为一只100Ω电位器,然后到现场安装运行时,再将其调整到适宜位置。

变频器到现场安装后,运行到25Hz时,从显示面板上调出运行电流值,与钳形电流表检测值相对照,调整100Ω电位器,使显示值与实测值相一致。停电后,测出电位器的阻值,用一只30Ω电阻代换后,故障排除。

## 第6章 电压及温度检测电路的检修

变频器在工作中，需要对主回路电压、控制电压进行检测，以完成输出控制和过电压、欠电压保护等功能，确保运行安全。电压检测电路的信号采集：取自直流回路的 P、N 端，530V 直流电压；由开关电源电路开关变压器的二次绕组的整流电压取得；检测交流三相输入电压输入状态；辅助检测，检测充电接触器的工作状态。对控制电压的检测，有的机型只采用其中一种方式，有的则兼用数种检测方式。

有关电压检测电路相关的故障代码：OU—过电压，LU—欠电压，输入电源断相，直流回路电压过低、充电接触器未闭合、控制回路电压故障等。

由以下几方面原因可引起电压检测电路报警：

- 1) 三相电网电压过高或过低（表现为直流回路电压的过高或过低）。
- 2) 充电接触器线圈烧毁或控制线断路，接触器主触点烧毁。
- 3) 输入电源断相。
- 4) 输出断相。
- 5) 控制电压异常（故障较少）。

同理，当电压检测电路本身故障时，也会误报上述故障，使变频器采到保护停机动作。典型故障特征：

- 1) 直流回路 530V 的电压检测电路本身故障时，变频器上电或运行过程中，报过电压、欠电压故障。
- 2) 充电接触器辅助触点接触不良或后续控制电路故障，变频器上电后报“主回路接触器故障”。
- 3) 输入电源检测电路故障时，上电后报“输入电源断相”故障。
- 4) 输出电压/频率检测电路异常时，运行中报“输出断相”故障。
- 5) 控制电压异常，上电时报“控制电压异常”。

需说明的是，因变频器的智能化控制方式，在 CPU 接受电压检测电路信号的过程中，会做出各种各样有趣的控制动作，报出各种不同的故障代码。过电压、欠电压故障因电路元器件的变值、基准电压的飘移等，表现为状态不稳定的报警输出，往往在起动或运行过程中，出现随机性故障停机，需微调电路元器件参数，使电路趋于稳定。

### 6.1 直流回路电压检测电路之一

阿尔法 ALPHA2000 18.5kW 变频器直流回路电压检测电路如图 6-1 所示，电压采样信号直接取自直流回路的 P、N 端的 530V 直流电压，经电阻降压、分压网络，加到小信号处理光耦合器 A7840 (U14) 的 2、3 输入脚上，经 U14 实施强、弱电隔离后，形成差分信号输入到 LF353 运算放大器的 2 脚和 3 脚，本级电路接成电压跟随器，输出信号由电位器中心头（线路板上厂家标注测试点 VPN）输出至 CPU 主板与电源/驱动板的排线端子 CNN1 的 8



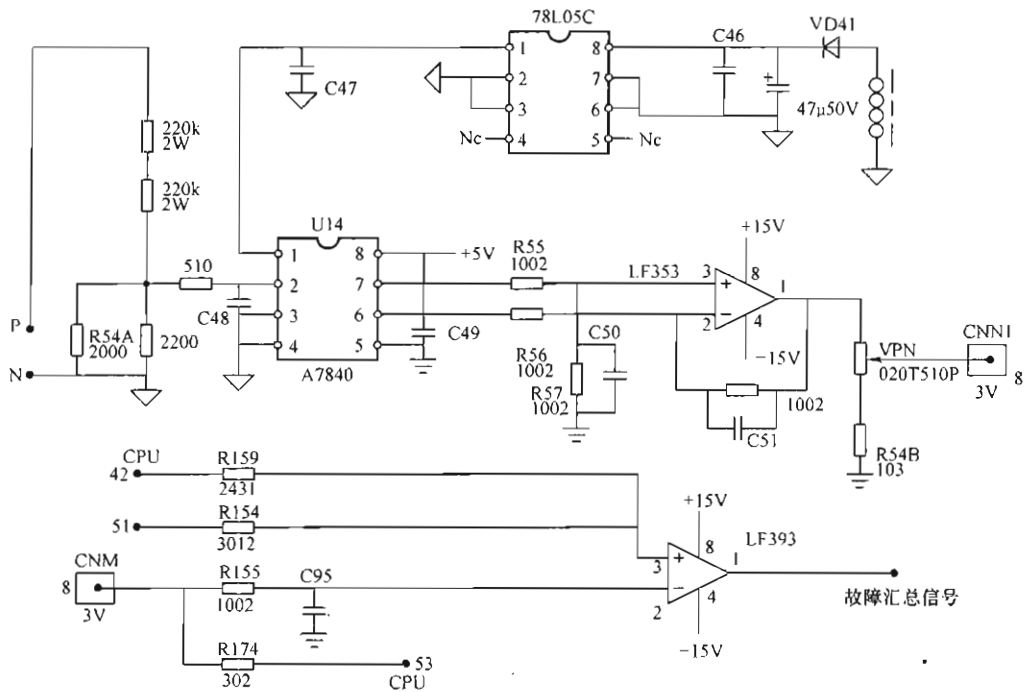


图 6-1 阿尔法 ALPHA2000 18.5kW 变频器直流回路电压检测电路

脚。在三相输入电压为 380V 时，8 脚采样直流电压为 3V。

直流回路电压检测信号由排线端子 CNN1、CNM 的 8 脚进入 CPU 主板，一路经 R174 直接输入 CPU 的 53 脚，此路信号为模拟电压信号，其作用有：供操作面板显示直流电压值，有的变频器机型经程序换算后显示输入交流电压值；有的机型用于对输出 U/F 比的控制，使输出电压值比例于输入电压值；少数机型用于过电压、欠电压保护的采样参考。另一路经 R155 送入 LF393 开路集电极输出运放构成的电压比较器的反相输入端，该路输出信号与过电流（OL）、OC、OH 等信号一起混合为一“故障汇总信号”，经 CPU 外围电路进一步处理，送入 CPU 引脚，作停机保护和切断驱动脉冲的控制。LF393 的同相输入端可看作为“可编程基准电压端”，其基准电压的幅值由 CPU 的 42 脚和 51 脚输出电压控制，在起动和运行过程中分别给出不同的基准电压值，与输入电压检测信号相比较。变频器的不同工作过程，则保护动作阈值也有所不同（详见第 7 章中故障信号末级修理电路的相关内容）。

富士、东元、安川等大量变频器，均采用了相类似的电压检测电路。

电压和电流检测电路中常会用到一个特殊光耦合器 A7840（HCPL-7840），如图 6-2 所示，其输入侧、输出侧的供电典型值为 5V，输入电阻 480kΩ，最大输入电压 320mV；差分信号输出方式。内部输入电路有放大作用，且为高阻抗输入，能不失真地传输 mV 级交、直流信号，输出信号作为后级运算放大器差分输入信号。在变频器电路中，常用于对直流回路的

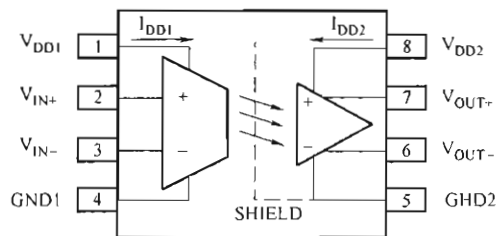


图 6-2 A7840 (HCPL-7840) 功能框图

电压采样与隔离、输出电流信号的采样与隔离。

检修方法：

1) 在单独为 CPU 主板、电源/驱动电路板上电检修时，如电压检测电路的输入信号是取自开关电源电路的电源端子，则为开关电源送入 500V 直流维修电源时，电压检测电路的输入信号也一并产生，如电压检测电路正常，则不会报出过电压、欠电压等相关故障，不影响正常检修，如图 6-3a 所示。

2) 开关电源电路的供电与电压检测电路的信号输入不是取自一处，可将开关电源的电源输入端子并接到电压检测电路的信号输入端子。但开关电源的供电电压为 530V 的一半或是用 380V/220V 变压器的提供的，则将开关电源的 265V 端并入 m 点后，还要调整输入电路的电阻分压网络，以使之适应输入电压的范围，如将图 5-1 中的输入分压电阻 220kΩ 上并联 100k 电阻，使电压检测电路满足正常的“检测条件”，不再报出过电压、欠电压故障，以利检修工作的开展，如图 6-3b 所示。

3) 对上述 1)、2) 两种方法我们在接手一只待修变频器，在未查明电压检测电路的具体电路的前提下，应找出信号输入端子与降、分压电阻网络，先行人为了满足检测电路的相关检测条件，使保护电路不致起控，为检修与测试创造条件。如手头有了电路图样，并掌握了相关电路原理后，也可从 a 点先行切断 VPN 电位器中心头的铜箔条，用两电阻对 5V 分压，取出 3V 左右电压，供后级电压检测电路，屏蔽相关故障报警功能，以利检修，如图 6-3c 所示；（注意：电路检修完毕后，记住一定要将原电路恢复！）。

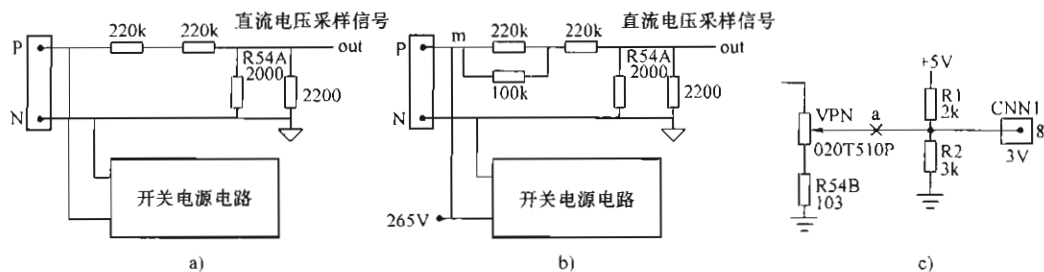


图 6-3 电压检测电路的维修接线图

4) 上述 1)、2)、3) 步骤，是在确定电压检测电路无故障情况下，为屏蔽变频器相关故障报警功能，方便检修其他电路而采取的“权宜之计”。当电压检测电路本身故障时，电压检测电路的检修方法如下：

① 变频器上电后，即报出过电压或欠电压故障，如图 6-1 电路。测量 CN1 的 8 端子电压，正常值应为 3V 左右。测量此点电压值偏高或偏低，说明电压检测电路有故障。首先检测 A7840 的输入侧、输出侧的 5V 供电是否正常，LF353 的供电是否正常，若不正常，修复相关电源供电支路。若正常，进行下一步检修。

② 测量 A7840 的 2 脚和 3 脚之间有 100mV 以上输入电压，用金属尖镊子短接 A7840 的 2 脚和 3 脚，测量 LF353 的输出脚 1 脚电压有明显下降，说明以上电压信号传输环节均正常，故障在 LF353 外接电位器不良或失调，更换并重新调整。调整变频器的相关参数，令操作显示面板显示直流回路的电压值，当输入三相电压为 380V 时，调整该电位器，使直流电压显示值为 530V，即可。

③ 用金属尖镊子短接 A7840 的 2 脚和 3 脚，测量 LF353 的 1 脚电压无变化，进一步检测 LF353 的输入脚电压（正常值为 3 左右，用镊子短接 A7840 输入脚时变为 0V）值无变化，A7840 或外电路元件损坏；LF353 输入脚电压值为正常值，LF353 损坏，更换 LF353。

④ 用镊子短接 A7840 的 2 脚和 3 脚时，LF353 电压值有变化，但其值偏低，如从 2V 变化为 0V，检查 A7840 外围元器件正常，故障为 A7840 低效，更换 A7840。

### 故障实例 1

接手一台阿尔法 11kW 变频器，上电即跳 OC 故障。检查了输出 OC 故障的驱动电路及输出电流检测电路，都无异常，根据经验分析，其他电路不是 OC 故障的来源呀。测量 CN1 端子上的各路故障检测信号，试图找出报 OC 故障的原因。

测量 CN1 的 8 脚电压为 4.2V，一下子引起了编者的注意。该脚为直流回路电压检测信号，经此脚馈入 CPU 引脚。该脚电压正常值应为 3V 左右。检查电压检测电路，该电路用贴片元件制作在一小块电路板上，通过几个引脚焊接电源/驱动电路板上。检查 LF353 输入电压正常，但输出电压偏低，更换 LF353 后，测量 CN1 端子 8 脚电压正常。变频器上电，不跳 OC 故障，运行正常。

该脚电压高，按说电变频器应该跳过电压故障，不应该跳 OC 故障呀。在 +5V 和控制地之间接入一只电位器，将电位器中心头引入 CN1 的 8 脚，调整电位器进行试验，当该脚电压低于 2.5V 时跳欠电压故障代码，电压高于 3.8V 时跳 OC 故障，由此揣测到电路软件开发者的用意了：当直流回路出现危险的高电压时，即将过电压故障“升级”为 OC，提醒用户，有威胁到逆变模块的故障存在，可不能开机啊！

直流回路电压过高或直流检测电路异常，是阿尔法变频器跳 OC 故障的又一个原因。

该例故障的特点说明变频器是一个硬件电路与软件电路密切结合的智能化设备，就是故障报警，也有可能“拐点弯”，OC 故障代码可看成 OU 故障代码的“伪装”。

### 故障实例 2

一台阿尔法 5.5kW 变频器，上电后跳欠电压故障。

开机后上电检测电压检测电路中的可调电位器的中心臂电压值为 2.2V，此点正常电压值为 3V 左右。检查为可调电位器有接触不良现象，更换，并与输入电压（380V）相对应，调整可调电位器活动臂电压值为 3V，故障排除。

## 6.2 直流回路电压检测电路之二

图 6-4 的直流回路电压的采样是取自开关电源电路的开关变压器的二次绕组，N3 绕组输出的交流电压的正半波，由 VD12、C14 整流滤波成直流 5V 电压，供 CPU 主板及操作显示面板的供电；N3 绕组输出的交流电压的负半波，则经 VD11 整流，和电阻、电容滤波成 -42V 电压，作为后续电压检测电路的输入电压信号。因 -42V 电压反映了开关变压器一次绕组供电电压的高低——直流回路

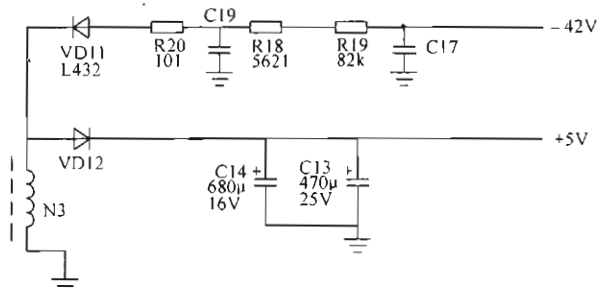


图 6-4 东元 7200PA 37kW 变频器直流回路电压检测电路

电压的高低（在开关电源电路一章中有详述），所以此电路也为直流回路电压检测电路。下面再看两例此类直流回路电压检测电路，如图 6-5 所示。

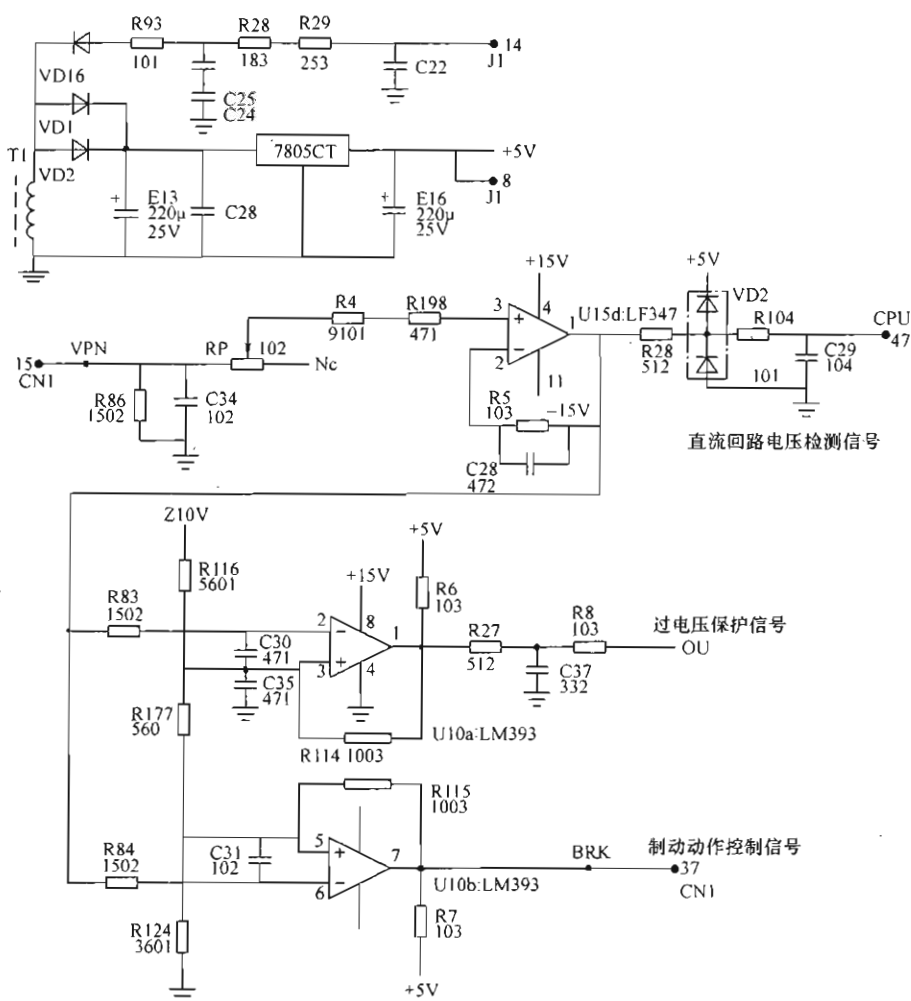


图 6-5 英威腾 P9/G9 变频器电压检测电路

由开关变压器的二次绕组输出的交流电压，经 VD16 负向整流成随直流回路电压变化的负电压，经 R、C 构成的  $\pi$  形滤波电路，处理成平滑的直流电压，作为直流回路的电压采样信号，由电源/驱动电路板的排线端子 J1 经排线电缆连接至 CPU 主板的排线端子 CN1，并经其 15 脚引入到后续电压检测电路。

为克服器件离散性带来的影响，直流回路的电压采样信号——VPN，经 RP1 调整后，由 R4、R198 输入到 U15d 构成的反相放大器电路，输出信号分为三路，送入后级电路。一路由 VD2 钳位保护电路、R104、C29 滤除干扰，送入 CPU 的 47 脚，供显示直流回路的电压的高低，和提供过电压、欠电压报警；另两路信号送入由 U10a、U10b 构成的两级迟滞电压比较器电路，分别输出过电压 OU 停机保护信号，至后级 CPU 外围（末级故障检测电路）故障信号处理电路；输出 BRK——制动电路控制信号，供后级制动开关管的控制电路。

有的机型中，BRK 信号是由 CPU 输出的脉冲信号，本机中是由电压检测电路检测到直

流回路的异常高电压（如 680V）信号后，由迟滞电压比较器输出控制信号，输入后级驱动电路，驱动制动开关管。

可以看出，因基准电压幅度的不同，U10a、U10b 构成了两级梯级电压比较器，其同相输入端输入的为基准电压信号。R116、R117、R124 3 只分压电阻将 Z10V（10V）基准电压分压成两个基准电压值，U10a 的同相输入端基准电压值要高于 U10b 的同相输入端的基准电压值，因而当直流回路电压升高时（如负载电动机超速向直流回路馈入再生能量时），反相端输入电压信号与同相端基准电压相比较，U10b 电压比较器先行输出，输出端由 +5V 上拉高电平变为低电平信号，制动开关管接受驱动信号而开通，将制动电阻并接于直流回路，对直流回路的电压增量进行消耗。若制动开关电路的动作能使直流回路电压达到有效的回落，则变频器继续正常运行；若投入制动电阻，直流回路电压仍在继续上升，U10a 的 6 脚输入的电压检测信号高于 5 脚基准电压信号，则 U10a 输出端由高电平变为低电平，将 OU 信号送入末级故障信号处理电路，变频器实施停机保护，同时在操作显示面板上显示 OU 故障代码。

应该说，送入 CPU 的 47 脚的电压检测信号，除作为模拟电压采样信号，供程序运算处理，在操作面板上显示直流回路的电压值（有的机型还作为对输出电压的参考）外，也用于过电压、欠电压报警提示。变频器在显示过电压、欠电压报警信号时，并不会马上停机，而是只给出警示，并配合时间上的延时处理，若在延时过程中，过电压、欠电压现象已经消失，则变频器继续运行。若延时时间到，仍处于过电压、欠电压状态，才实施保护停机措施。但此过电压、欠电压报警信号，与 U10a 输出的 OU 信号，在处理方式上有所不同。OU 信号与 BRK 信号，皆为开关量信号，是一个很干脆的（故障）动作信号，OU 信号输出时，说明过电压程度已经相当严重，变频器马上停机保护，没有控制动作上的延时处理。

电路对过电压的控制过程是：有过电压信号产生时，进行过电压预警，同时制动电路起控，直流回路接入制动电阻，对电压增量进行消耗；消耗无效时，报 OU 故障而停机。

由 CPU 对模拟信号和开关量信号的处理不同，可以形成我们的故障检测思路：

1) 变频器一上电，即报出 OU 信号，则为 U10a 电路报的 OU 信号。其原因有 2：

- ① 供电电压异常偏高；
- ② U10a 电路本身故障，误报 OU 信号。

2) 在运行过程中报 OU 或 LU 故障，原因有 4：

① 直流回路存在程度较轻的过电压、欠电压，为 U15d 所检测，CPU 进行延时处理后，报出过电压、欠电压故障；

② U15d 及外围电路参数变异，误报过电压、欠电压信号；

③ 直流回路出现异常上升电压，达到 U10a 的 5 脚基准电压值，U10a 输出 OU 信号；

④ U10a 及外围电路参数变异，误报 OU 信号，导致变频器保护停机。

#### 检测方法：

一般制动电路起控点为 660 ~ 680V；OU 信号起控点为 700 或 720V 左右。机型不同，可能会有所差异。

1) 变频器上电即报 OU 故障，检测直流回路电压不超过 600V，为 U10a 及末级电压检测电路本身故障，误报 OU 信号。

查说明书，找到相关参数，从操作显示面板调出直流电压显示值，若显示值与直流电压

实际值相对应,则为 U10a 及外围和后续电路有元器件损坏或电路参数变异;若显示值大大高于实际直流回路电压值,则为 U15d 本身及输入电路故障引起,如 RP1 失调或接触不良等。

2) 变频器在运行中,报过电压、欠电压故障。

监测输入供电、直流回路电压与运行电流。

① 若供电电源电压正常,运行电流在额定值以内,直流回路电压低于 450V 且比较平稳,则故障为直流回路的储能电容因电解液干涸等原因,造成容量减小。直流回路电压过低且波动剧烈,说明直流回路储电失容严重或充电接触器主触点因烧灼有接触不良现象,必须检查直流回路储能电容容量和充电接触器的触点状况。

② 变频器输入电压偏高,达到 460V 以上,使直流回路严重过电压。在工业区集中、而供电管理混乱的情况下,三相电源电压有时低至 300V 以下,有时高至 460V 以上。此为电源方面造成的过电压、欠电压报警及停机保护,应与用户方面协调解决此一问题,或换用供电变压器,增上交流稳压电源等。

③ 供电电压与运行电流均正常,随机性跳欠电压故障,故障为 U15d 输入电路不良,如 RP1 接触不良等。

④ 供电电压与运行电流均正常,随机性跳过电压故障,监测直流回路电压有异常上升现象,检查负载电动机有无再生发电现象,如属于电动机反发电的再生能量造成过电压报警,需与用户协调,加装制动单元和制动电阻,解决此一问题。

⑤ 监测直流回路电压无异常上升,但随机性报出过电压故障。调看直流回路电压显示值,接近实际值,为 U10a 及外围元器件损坏或电路参数变异等。

⑥ 负载电动机无再生发电能量产生,但制动电阻过热,有的冒烟等,检查 U10b 相关电路(注:小功率机型有内置制动开关管和制动电阻,大、中功率机型多为外加)。

变频器的过电压、欠电压“故障”有时候是比较麻烦的,变频器送到维修部,检测不出什么异常。故障的排除往往牵涉到现场供电及负载反发电等情况,所以有的维修,要到现场找出故障原因,有时候还要与用户一起,协商解决问题的办法。不光与机器打交道,还要与用户打交道。对电工电器的检修,往往牵扯到“现场”的问题。

图 6-6 为康沃 CVF-G 5.5kW 变频器电压检测电路,电路形式基本上同图 6-5,IC9(LF393)迟滞电压比较器两级运算放大器同相输入端的基准电压是由 +5V 分压形成的。在此读者可自行分析,得出相关的检修思路与检测方法。

#### 故障实例 1

一台康沃 CVF-G 5.5kW 变频器,在运行过程中随机性跳欠电压故障,用户测量现场供电电压与运行电流均正常。送去维修,接入三相调压器为变频器供电,检测直流回路电压正常。直流回路电压低于 500V 时跳欠电压故障。调整操作显示面板,调出直流电压显示值,看到低于实际直流回路电压值,调整 RP1,使显示值与实际值相对应,故障排除(见图 6-6)。

#### 故障实例 2

一台康沃 CVF-G 5.5kW 变频器,在运行过程中随机性跳 OU 过电压故障,用户测量现场供电电压与运行电流均正常。送去维修,接入三相调压器为变频器供电,检测直流回路电压正常。直流回路电压低于 500V 时跳欠电压故障。调整操作显示面板,调出直流电压显示

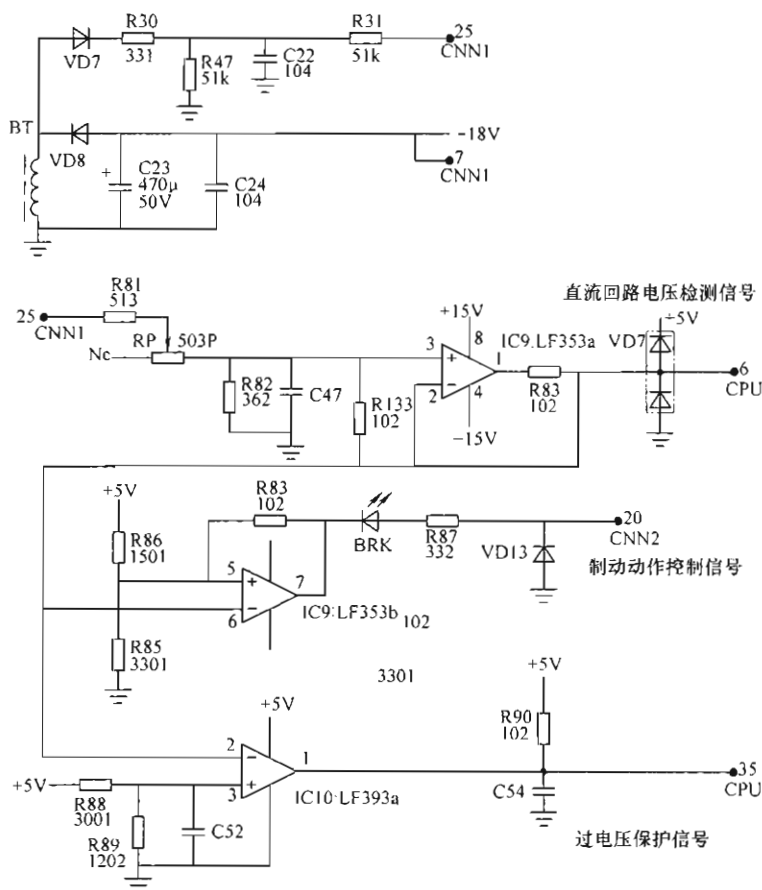


图 6-6 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器电压检测电路

值，发现与实际直流回路电压值接近。

将 IC10 的 2 脚输入信号线切断，不再报 OU 故障。由此判断故障原因为 IC10 本身或外围元器件不良，或电路参数发生变异，导致误报 OU 故障。未检查出 IC10 电路有什么异常，后将 R89 (12k $\Omega$ ) 串接 1k $\Omega$  电阻后，变频器正常运行，不再跳 OU 故障。

### 故障实例 3

一台普传 PI-168 型 22kW 变频器（见图 6-7），一上电即跳 LU，意为欠电压：主回路直流电压低或输入电压低。

检查主回路直流电压检测电路，竟然找不到。电路板上除了开关电源电路、逆变驱动电路，还有一只 LM347F 四运放电路，应是处理故障小信号的。又花了一天的功夫画出这部分电路及 26 芯信号（与 CPU 主板连接）电缆的连接去向，想彻底搞明白该机器是如何进行电压采样的。

直流电压检测不是直接取自主直流回路，而是取自开关变压器的低压侧的 5V 电源绕组。绕组输出的幅值较低但面积较大的正脉冲经整流为 +5V 的主板供电，宽度较窄但幅值较高的负向脉冲经负向整流后，再经简单滤波和电阻分压，送 CPU 做为 LU 欠电压和 OU 过电压检测和故障报警，同时还可供输出电压值的显示用。开关电源只要起振，该采样电压就有输出，当断开输入电源电压后，直流回路的储能电容逐渐放电，使直流电压逐渐降低，至

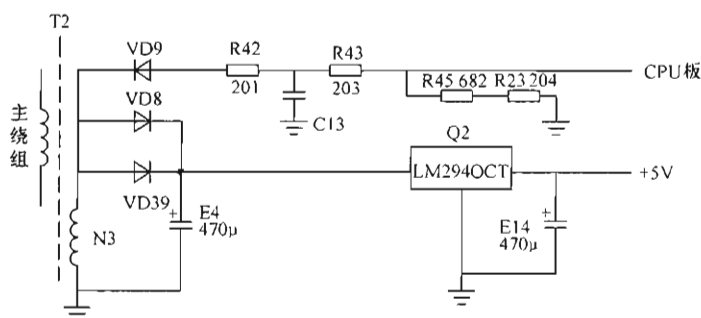


图 6-7 普传 PI-168 型 22kW 变频器直流回路电压检测电路

开关管的激励电流不能维持，开关电源停振。而在此过程中，该采样电压也线性跟着主回路直流电压的下降而下降。此负向脉冲与开关电源的负载轻重关系不大，而随高压侧直流电压高低的变化而变化，是可以作为主回路直流电压采样信号的。

将变频器接入 380V 供电电源，将 R43 (20kΩ) 两端并联一只 100kΩ 电位器进行调节试验：当采样电路输出点为 4.6V 时，操作面板的屏显输入电压显示为 380V；采样输出为 5.6V 时，屏显输入电压为 460V，同时跳 OU 过电压故障；当采样输出为 3.6V 时，屏显为 300V，同时跳 LU 欠电压故障。调整电位器，使屏显输入电压为 380V。断开电位器后测其阻值约为 51kΩ，与 R43 (20kΩ) 并联值接近 15kΩ。将 R43 用一只 15kΩ 用一只固定电阻代换，上电起动后，屏显输入电压为 379V，可正常操作起动运行，故障修复！

采取这种电压检测方式的，还有东元、富士等变频器产品，其他大多在直流高压侧直接用几百千欧大阻值电阻分压，然后用线性光耦合器进行放大处理后，将电压采样信号送入 CPU。

原电压采样回路的电阻都完好，阻值也正常，但如何会跳欠电压故障呢？那么故障的症结在何处呢？

试分析之：无论是欠电压或是过电压，在电压检测电路的后级电路或 CPU 内部一定有一个基准电压与之比较，从而做出电压异常的判断。因供电电压的轻微漂移或基准电压电路元器件值的微变导致电路参数的漂移，电压基准点随之上浮或下降，虽然原电压采样电路是完好的，采样电压值也无变化，但因基准电压参考点的变化，使信号处理电路输出了欠电压或过电压信号。此时检修 CPU 外围电路，绝无异常，往往会使检修进入死胡同。只有将检测电压值跟随比较基准电压的漂移而做调整，才能解决这种误报故障！处理的方法是调节电压检测电路分压电阻的阻值改变分压值，使其检测值落入精确和合理的范围内——既能准确反映实际交流输入电压值，又避开了过电压和欠电压故障检测的阈值区。当然有一个三相调压器，配合变频器操作显示面板输入电压值的显示来调节分压电阻值，最为得当。

### 6.3 直流回路电压的辅助检测——充电接触器触点状态检测电路

在大、中功率变频机型中，对充电接触器的状态设置有检测电路，检测信号则直接经光耦合器隔离后送入 CPU 引脚。控制过程是这样的：变频器上电期间，先由充电电阻对直流回路的储能电容器进行限流充电，当电容上建立起一定幅值的电压后，开关电源电路起振工



作, CPU 根据对直流回路电压检测电路输入的信号电压值的判断, 在储能电容上的电压幅度达到 530V 的 80% 以上时, CPU 输出一个充电接触器闭合指令, 充电接触器线圈得电, 接触器主触点闭合。正常状态下, 充电接触器的辅助触点也一同闭合, 提供了图 6-8 和图 6-9 中光耦合器 PC15、PC14 的输入电流通路, 由两只光耦合器将接触器“正常工作”信号, 送入 CPU。CPU 判断对储能电容器的充电过程已经完毕, 逆变电路的供电已经就绪, 故进入待机状态, 可以接受起动和运行信号了。

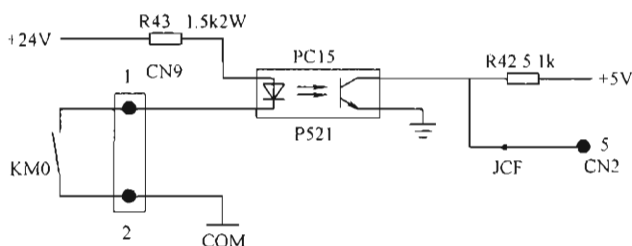


图 6-8 华伟 TD2000 型 15kW 变频器充电接触器检测电路

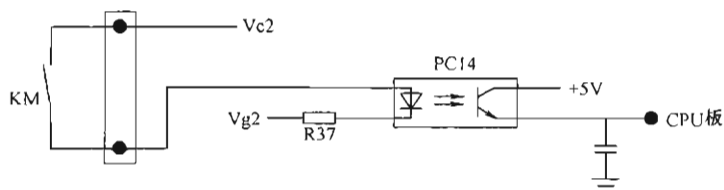


图 6-9 三肯 OM5 45kW 变频器充电接触器检测电路

如充电接触器控制回路出现故障, 在 CPU 发送闭合指令后, 充电接触器未能正常动作, 则由电路中 PC15、PC14 向 CPU 返回低电平（高电平）充电接触器故障信号, CPU 报出“主回路接触器故障”或“主接触器未吸合”、“直流回路欠电压”等故障信息, 变频器拒绝接受起动信号。

同样道理, 当充电接触器的辅助触点接触不良, 或充电接触器检测电路本身故障, 都会使电路误报“充电接触器故障”或欠电压故障, 变频器实施故障保护措施, 不能开机运行。

当 CPU 主板、电源/驱动板与主电路脱开检修时, 因图 6-8 的 CN9 端子的脱开, CPU 也会报出充电接触器故障, 出现故障锁定状态, 使我们无法展开对其他电路——尤其是驱动电路的检修。

可采取手段, 屏蔽此一故障检测功能。方法是:

1) 将图 6-8 中 CN9 端子用导线或焊锡短接。

2) 将 PC14、PC15 的输出脚用焊锡搭焊, 人为“强制”充电接触器检测电路在变频器上电期间, 向 CPU 输出“充电接触器已正常闭合”的信号, 避免 CPU 实施的故障锁定动作。

注意: 在检修工作完毕后, 务必要将电路恢复原状, 使电路的检测功能发挥正常作用。

#### 故障实例 1

一位朋友, 在检修三肯 OM5 型 45kW 变频器时遇到了一个小麻烦: 变频器上电, 一接受起动信号, 即跳欠电压故障, 不能投入运行。把部分故障检测电路画了画, 画完电路, 发现短接 PC14 的输出侧时, 投入起动信号不再报欠电压故障, 顺藤摸瓜, 查出为充电接触器

的辅助触点接触不良,致使 PC14 无输入电流通路,而报出欠电压故障。较大功率的变频器,除直流回路设有电压检测电路外,常加设由充电接触器的辅助触点状态作为输入信号的检测电路,以检测接触器触点的闭合状态,当闭合不良时,报出欠电压故障,避免充电电阻在运行中烧毁。如东元大功率变频器,即有此检测电路。

### 故障实例 2

一台华伟 TD2000 型 15kW 变频器,上电后跳充电接触器故障,不能投入运行。拆开变频器外壳检查,因工作环境恶劣,该台变频器电路板有霉变现象,观察光耦合器 PC15 的输出脚焊点有绿斑,检测 PC15 的 3 脚已经锈断。更换 PC15 后故障排除。PC15 输出脚断路后,在变频器上电期间,充电过程结束,CPU 发送接触器闭合指令后,PC15 不能返回充电接触器正常工作信号,CPU 认为充电接触器故障,故报出 E018 (接触器未吸合)故障。

### 故障实例 3

一台 7300PA 300kW (460kVA) 变频器,上电后报出“直流电压过低故障”,故障内容其中一项为:电源侧电磁接触器不良或故障。从操作显示面板调出监控控制参数 Hn-01,显示值为 560V。显然直流回路电压检测电路是正常的,能输送正常的模拟电压检测信号。故障可能为充电接触器工作状态检测电路失常,误报直流电压过低故障。但拆机检查主电路,楞住了:变频器主电路没用充电接触器呀。发现该台变频器三相整流电路的上桥臂整流元件为晶闸管器件,因而省去了充电接触器,好像不存在充电接触器的触点检测电路呀。那么又是从什么检测电路向 CPU 馈送的“直流电压过低信号”呢?

原来,东元 7300PA 变频器 CPU 主板的代换性较好,该机为大功率变频器,虽然因为采用晶闸管器件而省去了充电接触器,但充电接触器触点的检测电路仍然存在,图 6-10 点画线框内电路为预充电电路,其中控制继电器 KA1 串接于预充电回路中,当充电过程结束时,其常闭触点断开,而常开触点闭合,经 CN 端子向 CPU 输送一个充电过程结束的信号(充电接触器工作正常的信号)。因 CPU 主板通用,KA1 常开触点的闭合信号便被当作充电接触器工作状态的检测信号来使用了。当常开触点因氧化而接触不良时,CPU 就要在上电后报出“直流电压过低”的故障,而拒绝开机操作了。更换 KA1 后,故障排除。

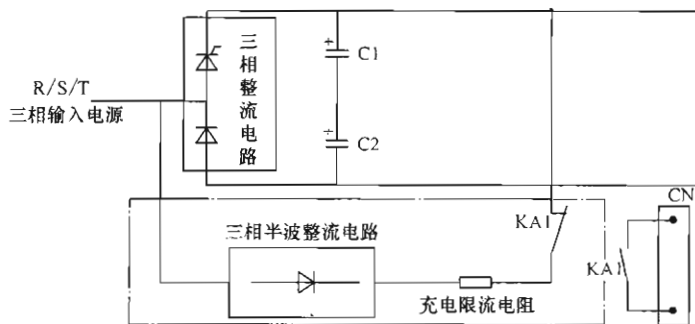


图 6-10 东元 7300PA 300kW 变频器接触器触点检测电路示意图

## 6.4 直流回路电压的辅助检测——三相输入电压检测电路

无论是充电接触器的触点检测电路还是图 6-11 三相输入电源检测电路,实质上都是对

直流回路电压的辅助检测，其目的是为了保障直流回路能满足一定电压幅值，两者的故障都会导致直流回路电压严重低落，若强行投入运行，有可能造成逆变模块的损坏。因而，CPU 检测到两者处于故障状态时，会控制变频器处于故障锁定状态，拒绝起动操作。

图 6-11 为华伟 TD2000 型 15kW 变频器三相输入电源检测电路。（试分析）由 R、S、T 端输入的三相电压，经 R53 ~ R55、R13 ~ R18 电阻降压电路，接入由 VD17 ~ VD22 组成的三相整流桥，当三相电压输入正常时，R53 ~ R55 3 只压敏电阻呈击穿状态，由 R13 ~ R18 引入三相整流桥的输入电压。整流桥的输出电压值高于稳压管 VS23 的击穿电压值，光耦合器 PC13 有了输入电流通路，将低电平信号经 CN2 的 3 端子送 CPU 主板电路。当出现电源断相故障时，如 R 相断相时，压敏电阻 R53 呈开路状态，整流桥只有单相电压输入，整流电压大幅度跌落，远低于 VS23 的击穿值，PC13 无输入电流通路，输出一个高电平的电源断相信号给 CPU。变频器报出输入电源断相故障，同时实施停机保护。电路中采用了压敏电阻与稳压二极管，利用其两者的压敏特性，检测输入电源的断相，提高了检测的可靠性。

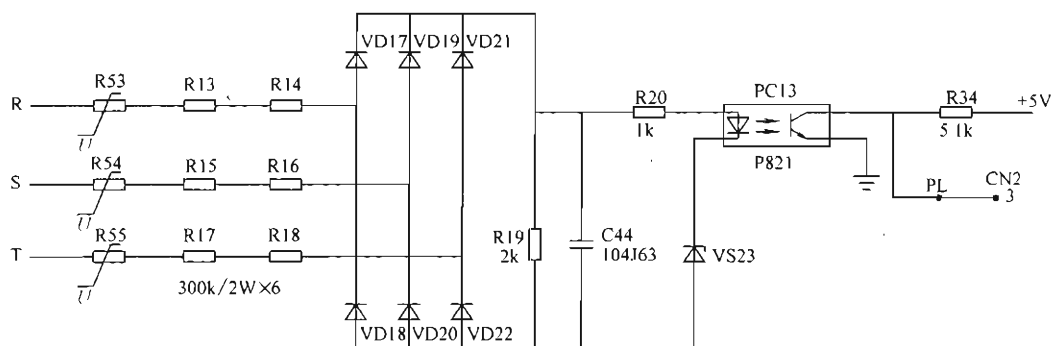


图 6-11 华伟 TD2000 型 15kW 变频器三相输入电源检测电路

当 CPU 主板、电源/驱动电路板与主电路脱开，单独上电检修时，三相电压检测电路也因无输入电压，光耦合器输出一个高电平的“输入电源断相”故障信号，给 CPU，CPU 实施停机保护动作。要解除 CPU 的故障锁定状态，用烙铁搭焊 PC13 的输出侧 3 脚和 4 脚就可以了。

当三相输入电源检测电路本身故障时，如输入电阻、光耦合器有断路故障时，变频器上电，即会报出 E008——输入侧断相故障。

### 故障实例

丹佛斯 VLT2800 (2900) 小功率变频器跳 Err-7 故障的检修。

丹麦丹佛斯公司产 VLT2800 (2900) 小功率 (3kW) 机型 2 台，工作中跳 Err-7，意为“过电压”，变频器停机。有时也跳 Err-5，高电压警告，实测三相交流供电为 400V，在额定范围内。用操作面板上的 + 键调出 Ud (主回路直流电压) 值，当高于 600V 时，出现跳闸停机。

按说明书上注明：该机型在直流回路的电压低于 370V 以下时欠电压报警动作，保护停机；低于 400V 时给出低电压警告，但尚可运行；不高于 665V 时，给出高电压报警，但尚可运行；高于 665 ~ 820V 时延时保护停机，电压保护范围可谓极宽！

图 6-12 为丹佛斯 VLT2800 (2900) 3kW 变频器直流回路电压采样电路。

上电检查，一台机器的 Ud 显示值不稳，可能为电路检测回路不良故障，判断为 Ud 检测电路异常。该机直流回路的电路采样取自 530V 直流回路的 P、N 端，检查 Ud 采样电路为

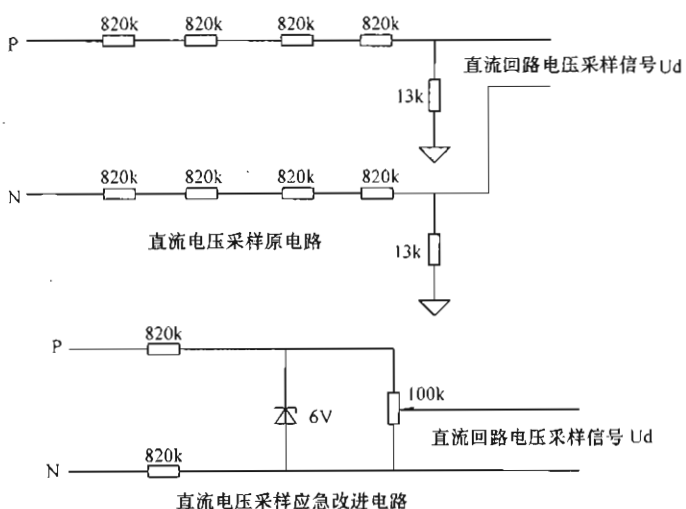


图 6-12 丹佛斯 VLT2800 (2900) 3kW 变频器直流回路电压采样电路

8 只  $820\text{k}\Omega$  电阻与 2 只  $13\text{k}\Omega$  电阻串联组成，将其分压值作为  $U_d$  信号。由于用户要求修复时间紧迫，来不及详查后续电路，将 8 只  $820\text{k}\Omega$  电阻回路再串入一只  $330\text{k}\Omega$  电阻后，上电试机用三相调压器试机，当输入三相交流电压为  $420\text{V}$  时，也不再跳 Err-7 故障代码，便让用户拿走装机了。

用户装机，试运行，一台跳 Err-8，欠电压；一台跳 Err-37，通信不良。

判断  $U_d$  检测电路仍有不良，本着先易后难的原则，还是在这 10 只检测电阻电路上做文章。将原电压采样电路改装成图 6-12 的  $6\text{V}$  稳压电路，把可变电阻的中心端作为  $U_d$  信号接入后续电路。计算  $U_d$  采样电压当输入为  $380\text{V}$  时，约为  $2.2\text{V}$ ，调整半可变电阻使中心端输出为  $2.2\text{V}$ ，将此电压定义为  $U_{\text{采}}$ 。

送电试调的过程很有趣：当  $U_{\text{采}} \gg 2.2\text{V}$  时，上电即跳 Err-37，意为控制卡与 BMC 之间通信故障，但此现象的实质是：不是控制卡与 BMC 通信中断才跳 Err-37，而是直流回路电压检测电路检测到  $U_d$  实在“高得吓人”，故强制中断了控制卡与 BMC 之间的通信，再跳 Err-37 予以警告！当  $U_{\text{采}}$  接近  $2.2\text{V}$  时，按复位键可消除 Err-37 报警，屏显出现 FT-00，进入待机状态；当  $U_{\text{采}} \ll 2.2\text{V}$  时，上电即跳 Err-35，意为起动冲击故障：若变频器在一分钟内反复多次接通电源，就会产生报警。但此现象的实质是：因 CPU 检测到  $U_d$  实在“低得出奇”，故姑且将其作为变频器在短时间内反复起动，而形成的应有的“低  $U_d$ ”来处理，于是给出 Err-35 报警信号！当  $U_{\text{采}} \ll 2.2\text{V}$  时，电容充电短接接触器也处于释放状态。只有当  $U_{\text{采}}$  接近  $2.2\text{V}$ （即直流回路电压高于  $400\text{V}$ ）时，充电接触器才得电吸合，变频器被允许进入待机状态。

当屏显出现 FT-00 后，按 + 键调出  $U_d$  值，调可调电阻，使之稳定显示  $500\text{V}$ 。此时，输入  $220\text{V} \sim 460\text{V}$ ，显示值一直稳定在  $500\text{V}$  上。装机后，一直正常运行。

需说明的是，以上处理只能作为应急修理手段之一，电路故障确为过电压误报警。假定是因主回路直流储能电容失容造成的欠电压报警，则必须查明故障原因，切实根除故障后，再修复  $U_{\text{采}}$  电路！

另：有些机型其输出电压取决于直流回路的采样电压，即输出电压跟踪于三相输入电压。如此处理后，输出 U/F 比会有变化。如安装现场电源电压比较稳定，便不会影响使用。此类机器，不宜采用上述应急修复方式。

本例故障中的变频器报警的内容很有趣。不同机型，由于软件设计者的思路不同，传递给我们的故障报警信息也会有所不同。在本节的故障实例中，我们已经有所体会。这种报警信息的变异现象，必须引起我们的注意。变频器的操作显示面板作为一个运行或故障监视器，能提供有效的故障指向，缩小了故障排查范围，但在软件设计者的周密思考和别具一格的定义下，故障代码已经越过了表面现象，传递给我们的是更为深层的东西（故障指向），充分利用故障代码的导向作用，但又不能被其表面意义所锁定，要领会软件设计者在故障代码背后所真正想表达的东西。

如阿尔法变频器，上电即检测到直流回路有危险高电压存在时，报出 OC——严重过电流和短路故障，以充分引起操作者的注意！本例故障，当电压检测电路检测到  $U_d$  实在“高得吓人”时，就强制中断了控制卡与 BMC 之间的通信，再跳 Err-37——控制卡与 BMC 之间通信故障予以警告！

“Err-37——控制卡与 BMC 之间通信故障”是“过电压”故障信号的变异和伪装啊。

检测变频器故障，应充分注意其智能化的特点。

## 6.5 输出电压/频率检测电路

输出电压/频率检测电路在部分进口和国产变频器，如富士 P9/G9 和华伟 TD2000 系列变频器中有应用，相当于其他变频器电流检测电路中的断相检测电路。其主要作用是检测逆变电路的输出状态，由此起到对 IGBT 的保护作用，如同驱动电路的 IGBT 管压降保护电路一样。富士 P9/G9 系列变频器的驱动电路没有 IGBT 管压降检测保护电路，对 IGBT 的保护，一定程度上依赖于三相输出电压检测电路——三相输出电压检测信号进一步经“模/数”转换后，再输入 CPU，一方面作为 IGBT 逆变电路的保护信号，一方面作为输出反馈电压采样，对输出电压有稳定控制作用。

图 6-13 是普传 8018F3 18.5kW 变频器输出电压/频率检测电路。这是一个典型仪用放大器的电路结构，N1、N2、N3 前三级电路构成了双端输入、单端输出的差动放大电路，第四级接成反相放大器，将信号放大到一定幅度后推动 U7 光耦合器。U、W 输出端电压信号经 R31、R34 降压，VD16、VD17 双向限幅，C17 滤掉了高频载波信号，将信号还原为两相电压信号，加入 N1、N2、N3 组成的差动放大电路，再经 N4 放大后推动 U7 输出。N1、N2、N3 电路又是 V 相电压信号的合成电路，输入的 U、W 两相信号中，包含了 V 相电压信号，经 N1、N2、N3 电路的合成作用，实际上 N3 输出的是表征着 V 相频率与时间基准的脉冲信号。耦合电容 E13 起到了隔直通交及对信号进行零电平“置位”的作用，以适应 N4 单电源供电电路的要求，N4 则相当于一个整形电路，将 N3 输出信号整形为矩形脉冲信号输出，以驱动光耦合器 U7。当 U7 输出的信号满足要求时，说明 U、V、W 三相输出都是正常的。U7 的输出信号反映了三相电压的输出状态，此信号输入到 CPU，与内部时间基准相比较，通过对脉冲计数的时间比对，从而可判断出是否存在输出断相（d.f.）故障。故障时可实施停机保护。

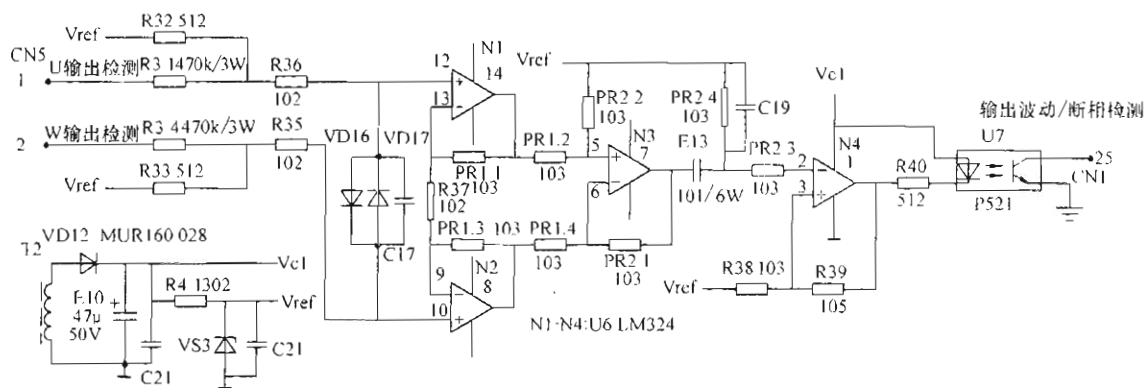


图 6-13 普传 8018F3 18.5kW 变频器输出电压/频率检测电路

因输入端 VD16、VD17 两只二极管的钳位作用，电路本身并不是用来对输入信号进行放大的，而是实现了对三相脉冲信号的合成作用。电路输出的脉冲信号，并不是表征着输出电压幅度的模拟电压信号，而是表征着输出频率的脉冲信号。电路是通过电压信号检测输出频率，电路相当于完成了个“模/数”转换的作用，将输入模拟电压信号，转变化“脉冲信号”输出。输出信号用于对逆变输出电路的检测，当逆变输出电路中某一臂 IGBT 在故障状态时，报出断相故障，并实施停机保护。

电路实质上是起到了对 IGBT 输出电路的保护作用。

图 6-14 为三肯 OM5 变频器三相输出电压检测电路。

U、V、W 三相输出电压，经电阻分压电路输入到 3 个电压比较器的反相输入端，而三个电压比较器的同相输入端，输入的是直流回路 P+ 端的电压，将三相输出电路分别与 P+ 端电压相比较，而比较输出的开关信号驱动光耦合器 A2261V，经 A2261V 隔离后，三路输出信号送入了 CPU 电路。

在一般变频器的驱动电路中，下三臂 IGBT 的驱动电路兼任模块故障检测的任务，如由 PC929 组成的驱动电路。而上三臂 IGBT 管压降的检测电路，大部分变频器电路未予设置。（试分析）从电路结构看，这三路电压比较器即是承担上三臂 IGBT 管压降检测任务的。在待机状态，因三路输入电压比较器的同相端电压约为 2.7V，反相输入端为 0V。三路电压比较器的输出端都为高电位。PC17、PC18、PC19 三路光耦合器的输入侧因形不成输入电流的通路，其输出端为上拉电阻引入的 +5V 高电平。当 3 只上桥臂 IGBT 模块工作正常时，在相应的激励脉冲到来期间，（以 U 相电压信号输入电路为例）管子的导通使 U 输出端的电压幅值瞬时高达 500V 以上，经 R57、R59 分得 6V 以上的电压信号，输入到三路电压比较器的反相输入端。电压比较器输出端变为低电位，形成了 A2261V 光耦合器的输入电流通路，PC17、PC18、PC19 3 只光耦合器将“逆变模块正常工作信号”送入 CPU 电路；而当某一臂逆变模块因故障未能正常开通时，电压比较器的反相输入端电位一直在零电平上，其输出端在逆变脉冲信号期间，一直维持高电位状态。后级光耦合器不能报出一个低电平的脉冲信号（IGBT 正常开通信号）给 CPU，CPU 便报出输出断相或 OC 故障，变频器实施停机保护。

三肯变频器的逆变输出电路的下三臂 IGBT 模块，均已有模块故障检测电路，此电路便专用于上三臂 IGBT 模块的检测与断相报警。

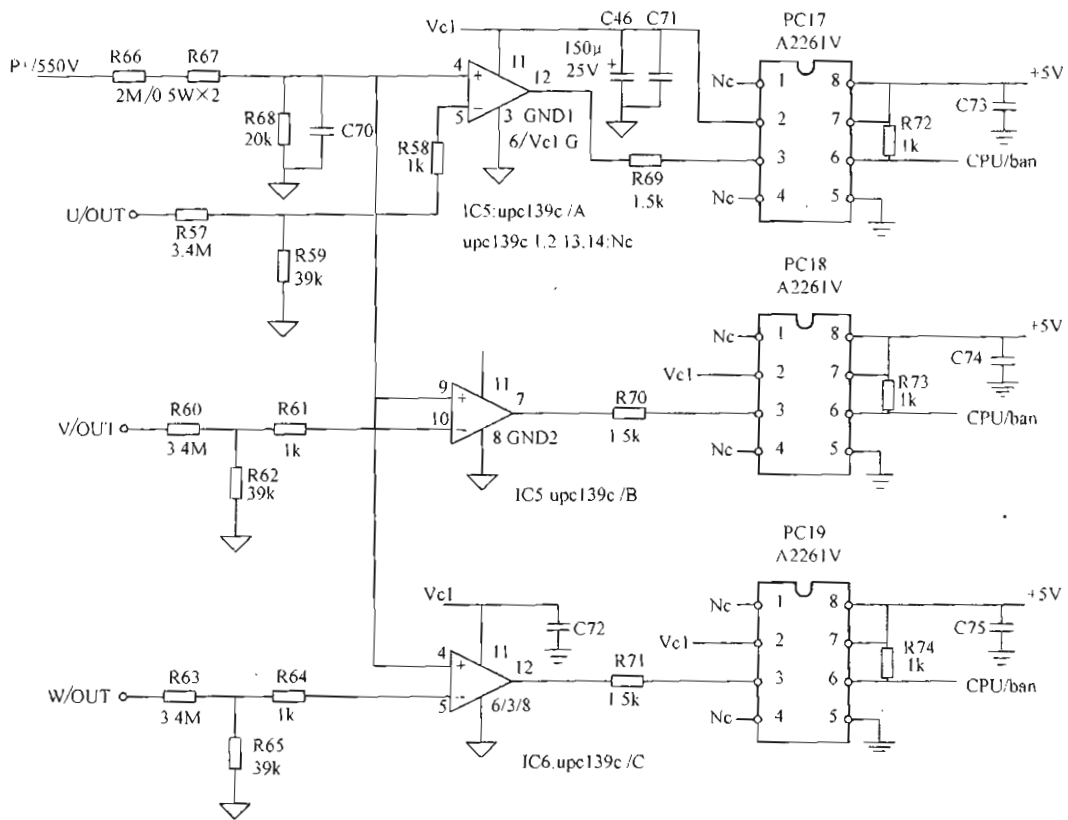


图 6-14 三肯 OM5 变频器三相输出电压 (IGBT 管压降) 检测电路

此类三相输出电压检测电路，在华伟 TD2000 和富士 P9/G9 系列变频器中也有应用。富士 P9/G9 系列变频器，驱动电路没有 IGBT 管压降检测保护电路。三相输出电压检测信号进一步经模/数转换后，再输入 CPU，一方面作为 IGBT 逆变电路的保护信号，一方面作为对输出电压的反馈采样，对三相输出电压有稳压控制作用。

#### 检修要点：

三相输出电压检测电路是在起动和运行过程中检测三相输出电压/频率的，除富士 P9/G9 系列变频器也同时检测电压幅度外，其余的变频器其实是检测输出频率的脉冲个数和时间基准的，脉冲个数和时间基准的缺失和错位，表征着 IGBT 逆变输出电路出现了故障。普通变频器在运行过程中，会报出断相故障，而其他变频器，则会在起动过程中，报出 OC 或断相故障。

## 6.6 温度检测与保护电路

IGBT 器件与整流器件因存在导通内阻，故有一定的发热功率消耗在器件内阻上。器件本身安装于大面积散热铝板上，但运行过程中，尤其是环境温度过高时，也需要采取强制风冷等措施，以加强空气对流，提高散热效果。逆变模块和整流模块的温升与风扇的状态有直接的联系，当散热风扇损坏时，则模块将处于超温运行的危险中，因而温度检测常常与散热

风扇的状态检测是密切联系在一起的。

小功率机型，采用一体化模块，模块内含温度检测电路，输出信号直接送与后级温度检测电路或 CPU（请参阅第 1 章相关内容）；对大、中功率机型，常用外置——安装于逆变模块和整流模块附近的温度传感器，来检测模块温升情况，将检测信号送入后级温度检测电路，经处理后再送入 CPU。常用温度传感器，有继电器触点型和热敏电阻型传感器。前者用于温度报警与停机保护，后者则可配合程序控制，使散热风扇工作于可编程工作模式。

### 1. 变频器温度检测电路

图 6-15 电路为温度检测电路经常采用的电路形式。华伟 TD2000 机型采用  $10\text{k}\Omega$  热敏电阻，将温度变化转化为模拟电压信号送入后级温度检测信号处理电路。散热风扇的运行可根据参数设置，实现可编程（智能化）运行，可起到延长散热风扇使用寿命的作用。其运行模式如下：变频器上电，风扇运行；变频器起动后，风扇运行；模块温升达到某阈值后，风扇运行；模块温升到达过热保护动作阈值后，变频器停机保护。

阿尔法变频器的温度检测电路则较为简单，采用常闭触点型温度继电器，检测模块温度信号，电路输出的为开关量温度报警信号。当模块温度达到  $85^\circ\text{C}$  时，温度继电器常闭触点断开，光耦合器 PC817 输入回路开路，输出脚变为 +5V 高电平信号，送入 CPU 的 14 脚，CPU 报出 OH（过热）故障。

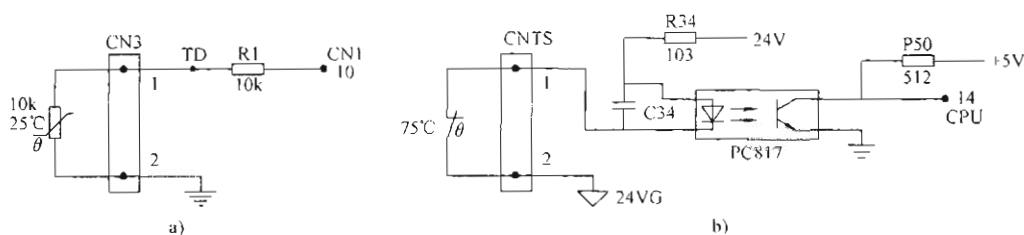


图 6-15 华伟 TD2000/11kW、阿尔法 7.5kW 变频器温度检测电路

a) 华伟温度检测电路 b) 阿尔法温度检测电路

对模块温度的检测，在上电或运行过程中均有效，温度继电器检测电路，当温度继电器动作时，变频器发出超温报警，同时停机保护。热敏电阻温度传感电路，则有一个智能化控制过程：当模块或环境温度上升为  $45^\circ\text{C}$  后，散热风扇运转，进行强制风冷散热；同时 CPU 进行延时检测与处理，若温升被限制于  $60^\circ\text{C}$  以下，则变频器继续运行，有的机型可能会发出过热警示，但不停机；若温升仍就上升，达  $80^\circ\text{C}$  以上，则发出过热报警，同时停机保护。

### 2. 富士 5000G11/P11 160kW 变频器散热风扇控制与检测电路（见图 6-16）

富士变频器的温度检测电路直接检测散热风扇的工作状态，电路设计者的思路是这样的：散热风扇运转正常，则模块就不会超温运行；散热风扇损坏，就会有过热故障出现。产品说明书中对 OH1 故障的说明是：如散热风扇故障，则“冷却整流二极管和 IGBT 功率模块的散热板的温度上升”，保护动作。可以说，由对散热风扇状态的检测，间接实现对功率模块温升的预警。

对散热风扇的控制和运转检测电路：CPU 在上电自检结束后，送出一个风扇运转的指令给风扇运转控制电路。当低电平的运转信号加到晶体管 VT4 基极时，VT4 承受正偏压而导通，光耦合器 PC6、PC7（两器件输入侧相串联）均形成输入电流通路。PC7 输出侧光敏



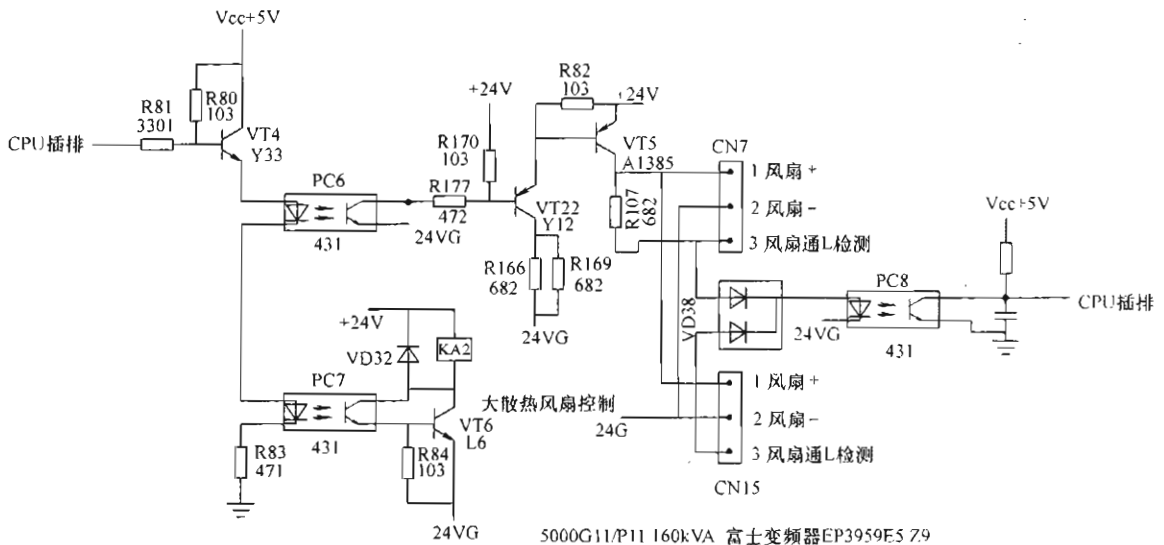


图 6-16 富士 5000G11/P11 160kW 变频器散热风扇控制与检测电路

晶体管导通，为晶体管 VT6 提供正偏压，使风扇控制继电器 KA2 得电工作，常开触点闭合，3 只安装于变频器顶部的主散热风扇获得 AC220V 电源而开始工作。PC7 输出侧光敏晶体管的导通，提供了复合放大器 VT22、VT5 的基极偏流通路，VT5 导通，将 24V 直流供电端子 CN7 和 CN15 提供给两只辅助散热风扇。这两只小风扇安装于机器内部，是为直流回路的储能电容器和 CPU 主板提供强制风冷的（当 CPU 过热时，报出 OH3 故障）。小风扇是三引线式的，其中两线为 24V 电源供电端，另一线为风扇状态信号输出端。输出高电平为风扇停机信号，低电平时为风扇运转信号。CPU 输出风扇运转信号之后，风扇内部控制电路使信号输出端为低电平，VD38 截止，光耦合器 PC8 输出一个高电平信号给 CPU，使之确认风扇已正常运转；当 CPU 输出风扇运转信号之后，风扇因故障不能产生正常的运转电流，控制电路不工作，输出信号为 R167 提供的上拉高电平，使 VD38 导通，PC7 输出一个低电平信号给 CPU，CPU 便报出控制电路过热（OH2）故障信号，同时采取保护停机等措施。当安装模块散热板上的温度继电器动作时，则报出模块过热（OH1）故障信号，停机保护。

### 3. 英威腾 P9/G9 机型变频器的模块温度检测电路（见图 6-17）

5.1V 基准电压经 U15a（LF347）电压跟随器阻抗变换后，由 R64、R63 加至温度传感器上。25℃ 环境温度下，温度传感器的电阻值为 10kΩ，温度传感器两端的电压值约为 4V。温度传感器常采用热敏电阻，本机电路采用的是负温度系数热敏电阻，模块温度上升时，温度传感器的电阻值减小，输入到 U15b 的同相输入端的电压降低，传感器将随环境温度而变化的阻值变化转化为“变化的电压信号”，输入到 U15b 的同相输入端，经电压跟随器输出后，输入至 CPU 的 46 脚。

在散热风扇坏掉、模块固定螺钉松动、模块散热片涂敷的导热硅脂干涸时，都有可能导导致运行中模块温度的异常上升，变频器报出 OH 过热信号。而出现上述情况时，即在正常电流输出情况下，模块也可能因温度剧增而导致热击穿（在异常温升状态下，模块的耐压值将呈下降趋势），因而是极有必要设置温度检测电路的。但设置的温度检测电路，本身工作异常时，也会误报出模块温度过热故障，使变频器采取故障保护措施而不能开机运行。这也

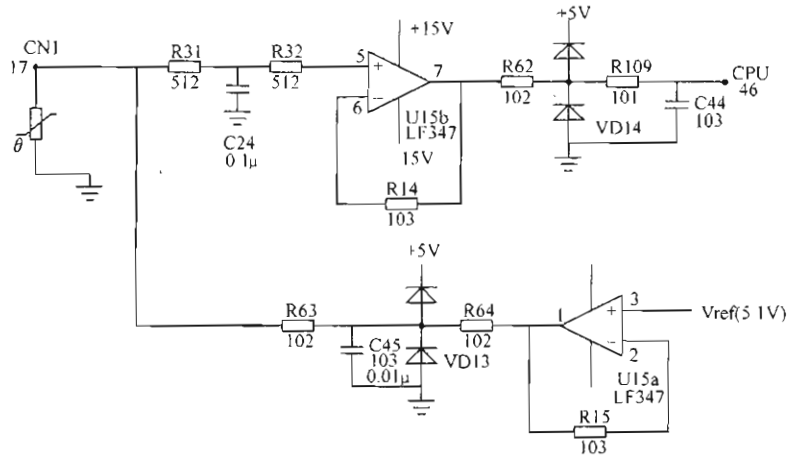


图 6-17 英威腾 P9/G9 机型变频器的模块温度检测电路

说明了凡事有其一长必有其一短的道理。

4. 台达 DVP-1 22kW 变频器温度检测与风扇控制电路 (见图 6-18)

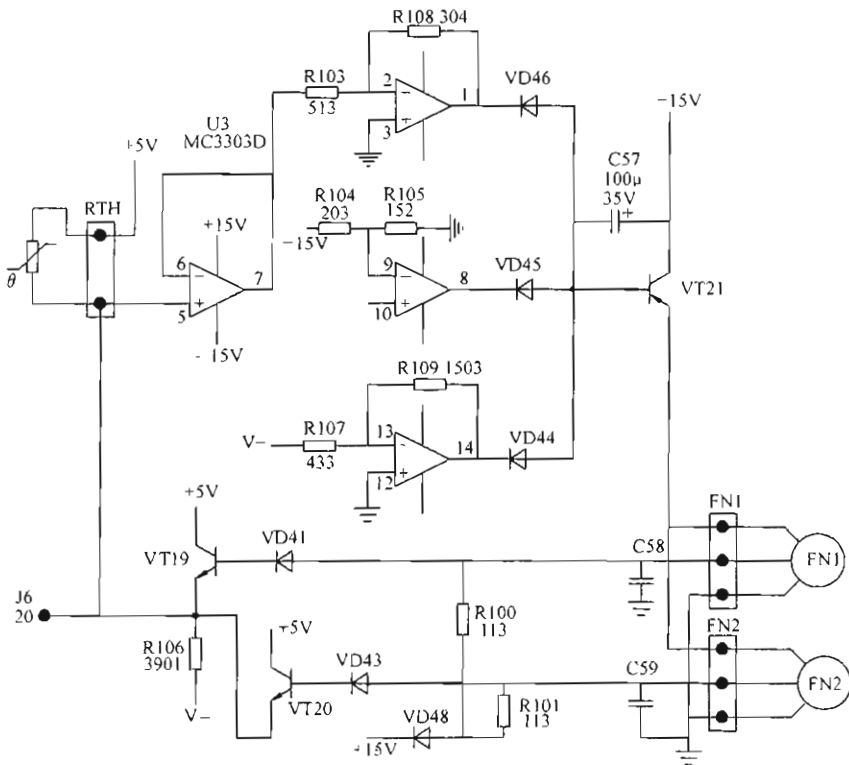


图 6-18 台达 DVP-1 22kW 变频器温度检测与风扇控制电路

该电路将温度检测信号与风扇检测信号两路并做了一路，无论是温度探头或是散热风扇损坏，都会报出 OH 过热故障，使变频器采取保护动作。而风扇又可根据模块的温升情况，有选择性地控制其运转或停机，避免了变频器上电后风扇一直运转而使风扇寿命缩短的弊

端。控制过程如下（试分析）：三线式风扇经端子 FN1、FN2 接入电路，当 VT21 导通时，风扇被接通地和 -15V 的电源供电，开始运转。VT21 为风扇电源的开关管。风扇的中心线输出一个 +15V 电平的运转信号（此信号由风扇的内部电路输出），两只风扇的运转信号分别经 VD41、VT19、VD43、VT20，送入 DJ6 排线端子的 20 脚。同时，温度检测探头也将探头电阻与 R106 的分压信号送入 J6 排线端子的 20 脚。当温度传感器断路或风扇出现故障时，J6 端子的 20 脚电压信号输入到 CPU，CPU 报出 OH 故障，保护停机。

温度检测电路由四级运算放大器（U3）组成。第一级是电压跟随器，输入信号为 +5V 和 V- 经温度探头和 R106 的分压值，此分压值随模块散热板温度上升而上升，当分压点信号上升到地电平以上时，U3 的 1 脚变为低电平，VT21 导通，风扇运转，加速散热器的热量散发；随着散热器温度的下降，+5V 和 V- 经温度探头和 R106 的分压值回落到地电平以下，U3 的 1 脚输出状态反转，VT21 截止，风扇停转。

### 5. 温度（散热风扇）检测电路的检修

温度（散热风扇）检测电路的故障典型特征是：

- 1) 变频器上电，即显示 OH 故障，变频器处于保护锁定状态，不能开机。
- 2) 在运行状态下报 OH 故障，停机保护。

引起变频器跳 OH 故障，有以下几方面的原因：

#### 1) 外部原因引起：

① 散热通道脏污与堵塞，运行一段时间后跳 OH 故障，措施是清除散热通路粉尘等杂物。

② 环境温度过高加上负载过重，变频器运行一段时间后跳 OH 故障，停机保护；需采取措施，改善变频器的运行工况，避免其超温运行。

③ 散热风扇低效，风力减弱，达不到应有的散热效果，更换散热风扇。

#### 2) 温度（散热风扇）检测电路的本身故障引起：

① 触点型温度传感器的内部触点接触不良，传感器连接线或插座不良，误报超温信号，上电即报 OH 故障。

② 温度检测电路的基准电压值漂移，误输出超温信号。运行中或上电即报出 OH 故障。

③ 三线式散热风扇损坏或内部信号电路损坏，报出 OH 故障，在上电或运行中报出 OH 故障。

④ 温度检测电路的后级电路 IC 等元件损坏，在上电或运行期间，报出 OH 故障。

在变频器的检修工作中，无论是触点型温度传感器还是热敏电阻型温度传感器，当与后续温度检测电路脱离后，都有可能造成 CPU 报出 OH 故障，不能进行开机操作。在单独检修 CPU 主板和电源/驱动电路板时，对触点型温度传感器检测电路，则可短接传感器接线端子；对于热敏电阻式传感器，可在其接线端子上并接 10kΩ 电阻代替原传感器，或干脆将散热板上传感器拆下，插入到电路板的相应插座上，以避免 CPU 报出 OH 故障，不利于电路故障的检修。

### 故障实例 1

一台台达 CVP-1 22KW 变频器，运行中频跳 OH 故障。到用户现场观察，发现为一食品生产车间，因粉尘较多，变频器安装于一个近乎密闭的箱体内部；环境温度较高，接近人体温度；负载较重，变频器运行于额定负载状态下。根据以上情况，先对变频器散热风道进行了

彻底清理，又建议用户将变频器挪到车间外部，避开粉尘和高温环境。经过以上处理，变频器运行正常。

### 故障实例 2

一台阿尔法 18.5kW 变频器，上电即跳 OH 故障。打开变频器机壳，将温度传感器引线端子短接后，再上电开机，不跳过热故障。检查为触点型温度传感器内部触点接触不良，造成误报过热故障。从电子市场购得一只开水器上用的 75℃ 常闭触点型热传感器，更换后故障排除。

### 故障实例 3

一台富士 P5000/G9 160kW 变频器，上电后报 OH3 故障，不能开机运行。拆开变频器机壳，上电观察安装于机器顶部的 3 只大风扇运行正常。安装于机器内部的两只小型散热风扇也运转正常，判断为温度（风扇）检测电路误报故障或三线式小风扇内部信号电路损坏，使变频器误报过热故障。为区别是小风扇内部电路损坏还是后续温度检测电路异常，将小风扇引线端子 CN1 端子的 2 脚和 3 脚短接后，上电运行正常，说明故障为小风扇内部信号电路损坏。更换同型号三线式风扇后，变频器运行正常。

同一机型的另一例故障，检测也为小风扇损坏，导致报出 OH3 故障。小风扇为三线式散热风扇，不能用普通两线式风扇代换，否则因无运转信号报 CPU，会使变频器误报过热故障，而不能投入运行。因用户生产急需，将 CN7 端子的 2 脚和 3 脚短接后，换用 24V 二线式风扇，将故障应急修复。

## 6.7 故障检测电路常用到的模拟电路

在各种信号检测电路中，应用到 3 种类型的模拟电路，一是常规的反相放大器，对输入信号进行“不走样地”线性放大；二是普遍采用的“滞回比较器”——具有滞后输出特性的电压比较器，以避免对输入信号的“点”比较，进入“段”比较，在将模拟信号转换为开关信号期间，使输出状态更为稳定，电路实质上已经脱离了放大器的范畴，近乎于开关电路了；三为整流二极管与运算放大器组合的精密半波整流电路，将输入的交流电流信号转化为线性直流信号，供后级电压比较器。

故障检测电路的主体电路还是由运算放大器构成，通常运算放大器被接成上述 3 种类型的电路形式，完成着对信号模拟放大、比较输出和精密整流三种工作任务。

### 1. 反相放大器电路

运算放大器，具有输入阻抗高（不取用信号源电流）、输出阻抗低（负载特性好）、放大差模信号（两输入端信号之差）、抑制共模信号（两输入端极性与大小相同）和对交、直流信号都能提供线性放大的优良特性。

图 6-19 中的 3 个电路在电路形式上为反相放大器，输出信号与输入信号相位相反，又称为倒相放大器。电路对输入电压信号有电压和电流的双重放大作用，但在小信号电路中，只注重对电压信号的放大和处理。电路的电压放大倍数取决于  $R_2$ （反馈电阻）与  $R_1$ （输入电阻）两者的比值。 $R_3$  为偏置电阻，其选值为  $R_1$ 、 $R_2$  的并联值。因  $R_2$ 、 $R_1$  的选值（比值）不同，可完成 3 种信号传输作用，即构成反相放大器、反相器和衰减器 3 种信号处理电路；电路作为反相放大器电路，电路的电压放大倍数为 5；电路作为倒相器，对输入信号起

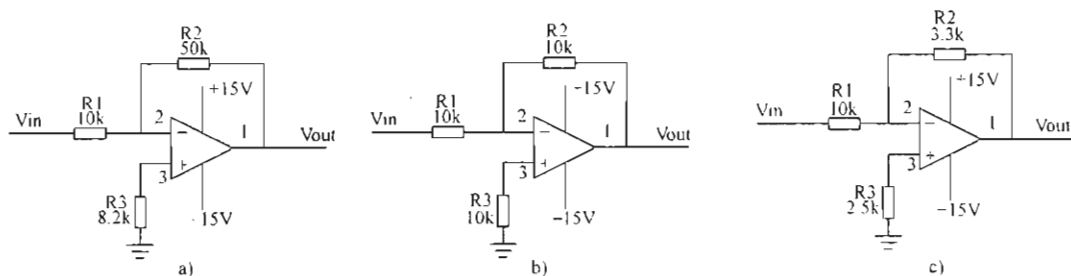


图 6-19 运算放大器反相放大电路

a) 反相放大器 b) 反相器或倒相器 c) 衰减器

到倒相输出作用，无放大倍数，不宜称为放大器了，或输入  $0 \sim 5\text{V}$  信号，则输出  $-5 \sim 0\text{V}$  倒相信号；电路作为衰减器电路，若输入  $0 \sim 10\text{V}$  信号，输出  $-3.3 \sim 0\text{V}$  倒相信号，为一个比例衰减器。

图 6-19 所示电路有两个特征：输入、输出信号反相；无论是放大或衰减或倒相电路，输出信号对输入信号维持一个比例输出关系，可以笼统地称为反相放大器，因为倒相器的放大倍数为 1，而衰减器恰恰也是利用了电路的放大作用，对输入信号起到了比例衰减作用。

有趣的是，这 3 种反相放大器，在电流、电压检测电路中都有应用。以电流检测电路为例：这是因为，串于三相输出端的电流互感器内置放大器，输出信号已达伏特级的电压幅度，而 CPU 的输入信号幅度又需在  $5\text{V}$  以下的电压幅度内，故后续电流信号处理电路，有的采用了有一定放大倍数的反相放大器；有的采用了倒相器电路，只是根据 CPU 输入电压信号极性的要求，只对信号进入了倒相处理，并不需再进行放大；部分电路为适配后级电路的信号幅度范围，甚至采用了衰减器电路，对电流互感器来的电压信号衰减一下，再送入后级电路。运算放大器，并不只是单纯用于对输入信号进行放大，有时是为了对电压极性进行转换和对电压幅度进行衰减，由此也可看出采用模拟电路处理信号的灵活性。

检测电路中的模拟信号电路的供电，根据放大交流信号的要求，一般采用  $\pm 15\text{V}$  双电源供电。根据反相放大器的电路形式和运算放大器的电路特性，我们可找到相应的检测方法：

1) 据反相放大器的特性，以正、负供电的  $0\text{V}$ （地）为基准电位（同相端接地时），当反相端输入电压“正”于同相端电压时，输出电压必为  $0\text{V}$  以下的负压，反之输出  $0\text{V}$  以上的正电压。可根据电路形式和输入、输出脚的静态电压值判断电路是否处于正常状态。

2) 查明该级电路为放大器或倒相器或衰减器，据输入电阻与反馈电阻的比值，可大致测算出输出电压值，由此可判断电路是否处于正常状态。

3) 根据电路对差模信号有放大（或衰减）作用，而对共模信号放大作用为 0 的特性，当短接两输入端时，输出电压应接近  $0$  电位值；或者测量输出端已有正电压（或负电压输出），但一短接两个输入端，输出电压马上降（或升）为  $0\text{V}$  左右。说明电路是好的，能正常传输信号。

4) 可以人为改变输入电压值，则输出电压必定有相应变化，可由此判断放大器是否处于正常状态。

#### 故障实例 1

某台变频器上电后，即报出 OC 故障，故障复位无效，测电流检测电路，如图 6-19a 电

路, 输出电压为 +12V, CPU 因有严重过电流信号输入, 故在上电后报出 OC 信号。用金属镊子短接运算放大器 2 脚和 3 脚, 测量 1 输出脚电压无变化, 仍为 +12V, 判断运算放大器损坏, 更换后, 故障排除。

### 故障实例 2

某台变频器, 上电后输出欠电压信号, 检测图 6-19b 电路, 输入电压为 -3V, 但输出电压为 0.7V, 说明为本级放大器故障, 用一外接直流 12V 电源串接 10k 电阻, 输入到反相输入端, 测输出端电压无变化, 判断该级放大器损坏, 更换后故障排除。

### 2. 同相放大器和电压跟随器电路

图 6-20a 所示电路为同相放大器的典型电路形式。输入信号进入放大器的同相端, 输出信号与输入信号同相位, 电路的电压放大倍数  $= 1 + R_2/R_1$ 。也用于故障信号检测电路中对模拟信号的放大处理。该电路当  $R_2$  短接或  $R_3$  开路时, 输出信号与输入信号的相位一致且大小相等, 因而 6-20a 所示电路可进一步“进化”为图 6-20b、c 所示电路。

图 6-20b、c 为电压跟随器电路, 输出电压完全跟踪于输入电路的幅度与相位, 故电压放大倍数为 1, 虽无电压放大效果, 但有一定的电流输出能力。电路起到了阻抗变换作用, 提升电路的带负载能力, 将一个高阻抗信号源转换成为一个低阻抗信号源。减弱信号输入回路高阻抗和输出回路低阻抗的相互影响, 又起到对输入、输出回路的隔离作用。作为电压跟随器应用时, 有时候也采用单电源供电。

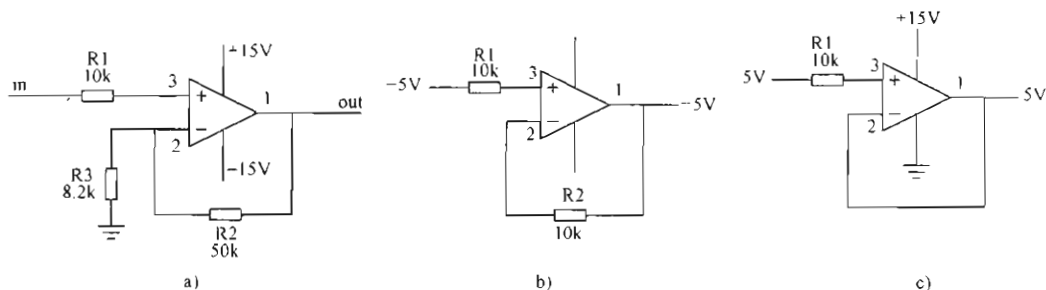


图 6-20 同相放大电路、电压跟随器电路

a) 同相放大器电路 b) 电压跟随器电路之一 c) 电压跟随器电路之二

图 6-20 中的 3 种电路, 也在故障检测电路中, 被用于模拟信号的放大、基准电压信号的处理等。

根据电路的特性与作用, 可得出检测方法如下:

1) 图 6-20a 所示电路为同相放大器电路, 输出电压幅度与极性比例跟踪于输入电压, 该级电压放大倍数约为 6 倍。当输入电压值为 1V 时, 输出电压约为 6V。可据输入、输出电压值的测算判断电路是否处于正常状态。

2) 图 6-20b、c 所示电路均为电压跟随器电路, 输出电压完全跟踪于输入电压, 输出电压值应与输入电压值相等, 据此可以判断电路是否处于正常状态。

3) 可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法, 测量输出端电压的相应变化, 来判断电路是否处于正常状态。

### 故障实例 3

某台变频器, 上电即跳 OH 故障, 测温度检测电路的基准电压电路如图 6-20b 所示, 电

路的输出电压为 1V，该机为电压比较器电路，测其输入端电压为 5V，正常状态下输出端电压也应为 5V。将输出端负载电路切除后，输出端电压为 1.2V，判断为该级放大器损坏，更换后故障排除。

### 3. 精密正、负半波整流器和全波整流器电路

由电流互感器来的交流电压信号，要经后续半波或全波整流电路整流成直流电压后，再送入 CPU，供电流显示和控制之用。精密半波或全波整流电路也用作模拟信号的处理和放大。由二极管组成的普通整流电路，存在整流输出非线性、有一定的“门坎电压”（整流死区电压）等缺点，对小于 0.5V 的输入电压是无能为力的。而采用运算放大器组成的半波或全波精密整流电路，则克服了以上缺点，构成了近于理想的整流电路，对于  $\mu\text{V}$  级输入交流信号，都能进行不失真地整流输出。利用运算放大器的放大作用和深度负反馈作用，在放大电路中加入二极管，利用二极管的单向导电特性，实现对输入正、负半波信号引入不同深度的负反馈，可以对输入  $\mu\text{V}$  级信号进行精密整流，电路本身还具有电压跟随或放大作用。

图 6-21a 为精密负半波整流电路，电路将输入负半波信号进行精密整流后，倒相输出。对正半波输入信号来说，VD1 的接入，为放大器引入了深度负反馈。在负半波输入信号的起始段，因信号输入幅度小，VD1、VD2 均截止，电路处于开环放大状态，微小的信号输入，便会使输出脚电压大于  $-0.7\text{V}$ ，VD1 导通，VD2 反偏截止。VD2 与 R125 串联引入了适度负反馈（由 R125 的阻值可决定本级电路是整流器还是整流放大器，本级电路为精密整流器，无放大作用），相当于一个反相放大器，输出与输入信号成倒相关系。

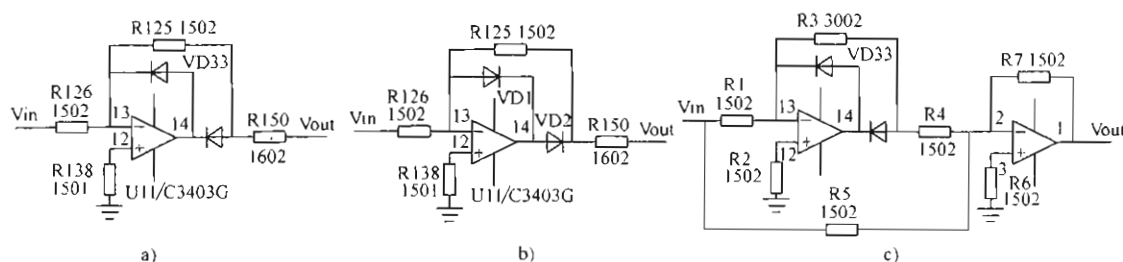


图 6-21 精密半波、全波整流器电路

a) 精密正半波整流电路 b) 精密负半波整流电路 c) 精密全波整流电路

图 6-21a 电路与图 6-21b 电路的不同之处，在于电路中两只二极管的极性相反，成为对输入正半波信号的精密整流电路。整流原理是一样的。

由一个半波整流器电路再加上一个反相求和电路，如图 6-21c 所示，实现将正、负半波输入并反相后输出，可得到全波输出电压波形，即构成了一个全波高精度整流电路。

在故障检测电路中，往往采用整流器电路，对三相输出电流采样信号，进行整流与放大，作为模拟电压信号（电流检测信号）输入后级故障信号处理电路和 CPU 电路，用作过载报警和运行电流的采样处理。

电路输入为交流电压信号，而输出为直流电压信号，大部分电路为整流器，部分电路为整流放大器。

检测方法：

1) 整流器电路：输入侧为交流电压，输出侧为直流电压，两测量值比较接近。

2) 整流放大器, 输入侧为交流电压, 输出侧为直流电压, 输出直流电压值高于输入交流电压值。

3) 可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法, 测量输出端电压的相应变化, 来判断电路是否处于正常状态。

#### 故障实例 4

某台变频器, 上电即跳 OC 故障, 检测电流检测电路如图 6-21b 所示的输出电压为 13V, 拔掉电流互感器引线端子, 该级放大器仍为 13V, 判断精密整流放大器损坏, 更换后故障排除。

#### 4. 电压比较器、梯级电压比较器和窗口电压比较器电路

上述几种电路, 都用于模拟信号的放大整流等, 其输出信号仍为模拟信号, 可称为模拟信号(放大)处理电路, 而下文介绍的电压比较等电路, 则输出为开关量信号, 其电路已脱离了模拟放大的范畴, 似乎进入了“数字电路”的领域, 其实是拿模拟电路当作了数字电路来应用。

电压比较器的作用是比较两个输入电压信号的大小, 将比较结果作为输出量输出。图 6-22a 所示电路, 放大器的同相输入端的电压, 为 R2、R3 两电阻对 +5V 的分压值 2.5V, 称为基准电压值, 输入信号与此基准值比较, 高于此值时, 则输出为 0V 低电平信号, 低于低值时, 则输出为 +15V 高电平信号。电路又称为单值比较器, 电路的输出状态取决于输入信号电压的一个值(一个点)——2.5V。

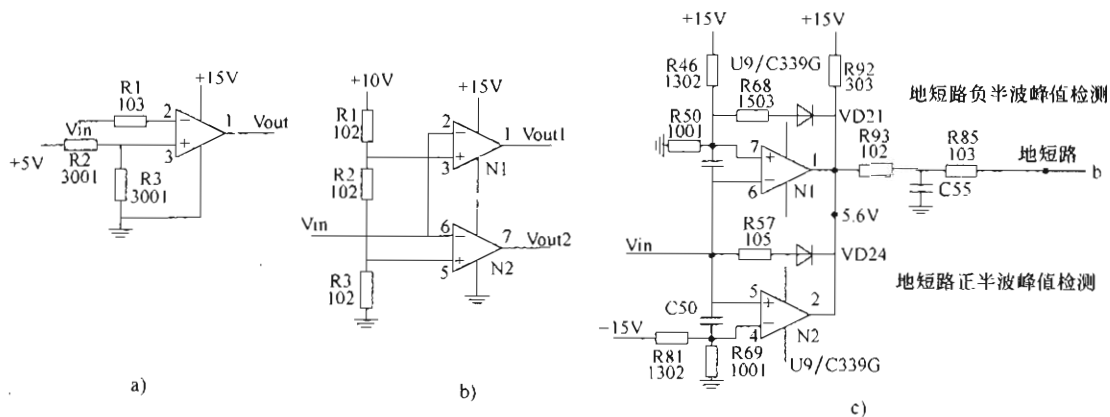


图 6-22 3 种电压比较器电路

a) 电压比较器 b) 梯级电压比较器 c) 窗口电压比较器

将两级电压比较器接为图 6-22b 所示电路, 则成为梯级电压比较器, 电路有一路输入信号和两路输出信号。N1、N2 两级电压比较器输入的是同一路信号电压, 但两级电路同相输入端的基准电压值不同, N1 基准电压为 6.6V, N2 基准电压值则为 3.3V。当输入信号由 0V 到逐渐上升时, 当上升为 3.3V 以上时, N2 的输出状态先变为低电平; N1 在输入信号值大于 6.6V 时, 才有低电平信号输出。图 6-22b 所示电路在用于直流回路电压检测电路时, 当因负载电动机再生发电能量回馈至直流回路, 使直流回路电压上升到一定值时, N2 先输出制动动作信号, 将制动电阻接入直流回路, 消耗电压增量; 若电压继续上升, N1 则输出 OU 过电压信号, 变频器保护停机。



若将两级电压比较器接为图 6-22c 所示电路, 则构成窗口电压比较器电路。相对于单值电压比较器电路, 窗口电压比较器可称为双值电压比较器了。电路有两个基准比较值, 输出一路信号。当输入信号  $\geq$  基准电压 1  $\leq$  基准电压 2 时, 电路输出状态转换。在输入信号的中间值的一个范围内, 输出状态不变。图 6-22c 所示电路为接地故障信号处理电路。N1 放大器的同相端是 R46、R50 对 +15V 的分压值, N2 放大器的反相端是 R81、R69 对 -15V 的分压值。输入三相电流采样信号进入到 N1 的反相输入端和 N2 的同相输入端, 分别与正分压值和负分压值相比较, 无论是输入信号的正半波或负半波, 只要大于两个基准值, 便会报出地短路信号。

电压比较器应用模拟电路, 可据信号幅度灵活设置基准电压, 比采用数字电路更为方便。另外, 图 6-22c 所示电路采用开路集电极输出的运算放大器电路, 可以实现输出端的并联输出, 使电路更为简洁。若采用普通放大器, 则输出信号还要经两只二极管隔离, 再并联在一起。

3 类电压比较器电路, 常用于将检测的电流或电压的模拟信号, 转化为开关量信号——故障信号输出, 供停机保护和实施控制动作等。

检测方法:

- 1) 放大器输出端只有两个电平状态, 低电平, 接近供电的地电平或负供电值; 高电平, 接近正供电值。
- 2) 测反相输入端低于同相输入端电压值, 则输出为低电平, 反之, 则输出为高电平。
- 3) 可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法, 测量输出端高低电平的相应变化, 来判断电路是否处于正常状态。

### 5. 滞回比较器电路

图 6-22c 所示电路, 也即为滞回电压比较器电路。电压比较器电路只要再引入一正反馈电路, 便可“升级”为滞回比较器电路。滞回比较器又被称为具有滞后特性的电压比较器电路。如果把普通的电压比较看作为“电压点比较”的话, 滞回比较器则可看作为“电压段比较”的比较器电路。通常, 我们希望电路的输出状态足够稳定, 电压比较在一个“点”上比较输出, 会因频繁输出造成输出状态的不稳定。将输入电路的“点”比较, 改进为“段”比较, 能较好地解决此问题——在输入电压变化的一个“段值”内, 输出状态不

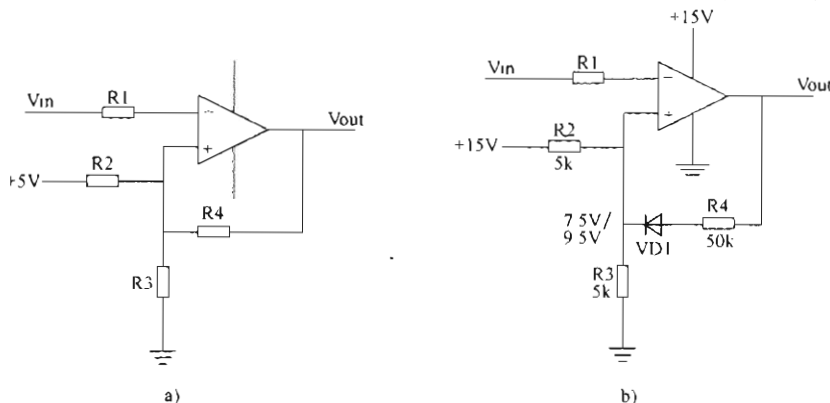


图 6-23 两种滞回比较器电路

a) 滞回比较器电路一 b) 滞回比较器电路二

变。图 6-23b 所示电路由 R4、VD1 构成一个正反馈支路，将电路的“点”比较特性转化为“段”比较特性。

控制原理简述如下：

先假定图 6-23b 所示电路被用于制动动作信号的处理，输入信号为直流回路的电压采样信号。当直流回路的电压因负载电动机再发电能量回馈造成异常上升，达 680V 时， $V_{in}$  输入电压值达 9.5V 以上，高于放大器反相端基准电压值时，放大器输出低电平信号，后级制动电路动作，将制动电阻接入直流回路，对电压增量进行消耗。因制动电阻的消耗作用， $V_{in}$  输入电压值很快下降到 9.5V 以下，可是制动信号仍在输出中，并不因直流回路电压稍为回落，制动信号即行消失，这就看出了滞后比较器的作用。制动电路继续工作，一直到直流回路电压回复为 620V 以下时，采样输入电压低于 7.5V 时，制动电路才停止工作。

电路上电时，放大器同相端电压（7.5V）高于反相端电压，输出电压为近 15V 的高电平电压，由 R4、VD1 反馈回同相端电路，将同相端电压“人为垫高”为 9.5V。此即该电路同相输入端的静态电压值。当输入电压高于 9.5V 时，电路输出状态反转，输出端变为低电平。VD1 反偏截止，反馈回路中断，同相端基准电压恢复为 7.5V 分压值。这样，当输入采样电压低于 7.5V（直流回路电压回落为 620V 以下）时，制动信号才停止输出。

滞回比较器电路常用于电流检测电路的后级故障信号输出电路、直流回路的电压检测，输出制动信号和过电压、欠电压故障信号等的处理。

检测方法同电压比较器，从略。

## 第 7 章 CPU 电路的检修

CPU 又称为中央处理器，内部一般由运算器、控制器、内存储器、输入/输出设备及接口电路及总线组成，但随着技术的进步和更新，其功能和结构均在不断扩充中——将原来 CPU 外围的电路也集成于器件内部。将其硬件设备扩充到一定的规模，而使之能独立完成一个较复杂的控制功能，此器件即被称为微处理器了。在微处理器家庭中，为适用于某一应用领域，在硬件构成上——有别于通用型微处理器（如 80C51）——有一定的独特性，如本文特指的变频器经常采用的微处理器，具备六路 PWM 波输出功能，能实现特定的控制功能，又被称为微控制器，别名单片机。因业内人士一般将变频器单片机的电路板称之为 CPU 主板，从约定俗成和定义简洁的方面考虑，本书也将微控制器（单片机）称之为 CPU 了。

用于变频器控制的微控制器，又称之为“高性能微控制器”，应该是有针对性开发的专用的控制芯片。它最少要有六路 PWM 波形成和输出电路及端口，以输出驱动电路所需的六路逆变脉冲；应有 A/D 转换电路，有的还要有 D/A 转换电路，以适应对模拟输入、输出量的处理；要有高速脉冲信号的输入、输出口和串口发送、接收引脚，以处理各种数字信号和通信指令；应内含程序存储器和数据存储器，以存放程序和原始数据及可改写的的数据；当然还要有端口驱动器、各类缓冲器等其他电路，在此不予以赘述了。

出入各 CPU 引脚的不外乎是一些“信号流”，有的只进不出，往而不返，如控制端子输入的开关量信号；有的只出不进，去而不还，如控制端子上 CPU 输出的继电器信号等；有的是往返进入，有进有出，如 CPU 与存储器，与操作显示面板之间传递的信号，此类信号是双向流通的。而所有信号，从信号性质上又可以分为两大类：数字的和模拟的。电压检测信号、调速指令信号往往是模拟的，变频器的起、停信号、键盘输入信号等是数字（开关量）的。有些模拟信号经过 CPU 外部电路处理，如经过 A/D 转换，才送入 CPU 的，有的是直接进入 CPU 引脚，由内部 A/D 转换电路进行处理的，采用的 CPU 硬件功能电路的不同，必然导致了外部电路的有异。

微控制器的集成度已经够高，它不可能无限制地将所有工作运行所需的电路元器件集成进去，它需要外电路的积极配合才能开展工作。有 3 个工作条件是微控制器所必需的，所谓 CPU 工作的三要素：+5V 电源、工作时钟和复位信号。工作时钟的产生是由微控制器内部电路和引脚外接晶振元件组成振荡电路来生成的；复位信号是由外部复位电路在上电时产生一个低电平（或高电平）的脉冲，送入微控制器的复位引脚，由内部电路控制程序复位，进入待机状态。微控制器内部的程序存储器和数据存储器（简称内存），其容量和用途是有限制的，常需要外接存储器——电可擦除存储器，来完成一些数据存储任务（尤其是用户程序存储任务），这应该构成了微控制器正常工作的第四要素。微控制器要接受用户的指令或将变频器的工作状态报知用户，需要一个人机界面——操作显示面板，与用户交流，与操作显示面板的正常通信，成为微控制器工作的第五要素。此外，微控制器各个引脚外接电路的好坏均会影响到微控制器的运行；自此微控制器工作的七要素或八要素乃至几十要素，都紧随出现。其实，依笔者看来，从微控制器（或微处理器，CPU）本身来说，三要素则是工

作所必需的，无它，则微控制器即不能满足最基本的工作条件。其他原因造成微控制器不工作，是外电路的事了，并不是微控制器本身的问题。

微控制器的外部电路、外部框架已经搭好，但仅仅一个“躯体”还不能干活，还需要一个指挥躯体运作的“灵魂”——软件控制程序。变频器的程序容量较大，一般长达数千行。微控制器的控制功能，集中于两个点上，一是对输出 PWM 波的控制，在这一点上，优质和劣质变频器可看出明显的不同，有的 PMW 波非常优化，有的则有些糟糕——输出力矩小运行噪声大，载波干扰也大；一是对逆变模块的状态检测和保护，这一任务是配合外电路共同完成的，也是变频器电路浓墨重彩的着笔之处。

微控制器——单片机技术成为自动化控制技术的一个重要技术分支，希望读者自己要多掌握一些相关的知识，在此不予赘述。

CPU 主板的故障率相对较低，约占总故障率的 20% 左右。故障多发生在故障检测电路和控制端子电路上。对故障检测电路的检修成为 CPU 主板的一个重要检修内容。故障检测电路（电压、电流检测的后续电路、温度检测电路）本身损坏时，就有点“谎报军情”“故意捣乱”的意思了，明明主电路是好的，却报出输出短路故障或输出断相故障，明明风扇是好的，却报出过热故障等，使变频器不能投入正常运行。控制端子的故障多为用户误接入高电压，而将端子 24V 电源电路烧坏，端子输入电路开路损坏和光耦合器的输入侧电路损坏等。

CPU 芯片本身的损坏率在 2% 以下，由于牵扯到技术封锁，内部程序不易破解。一般维修人员不具备修复芯片的相关条件，只有采购原厂家配件，或更换 CPU 主板，即所谓“板级修理”。但对于 CPU 芯片的局部损坏，却可以用变通手段尝试修复。

## 7.1 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路

### 1. CPU 基本电路

在对 CPU 电路的检修中，也有人提出过 CPU 工作的三要素：供电电源、提供时钟脉冲的晶振电路和上电瞬间提供复位脉冲的复位电路。三要素提供了 CPU 正常工作最基本的三大条件，三要素的具备，说明不管其他外围电路是否正常，但 CPU 本身（内部程序）可以运行了，可以干一些，比如开机自检，相应的故障报警等的活儿了。

此后，陆续有人提出，CPU 工作的第四要素，即 CPU 的按键电路、I/O 口指令输入电路等；CPU 工作的五要素，如外挂存储器的工作状态，由此延伸出 CPU 正常工作的六要素、七要素等。如以系统眼光来看，任一个故障环节的出现，都会使 CPU 的工作过程嵌定于某一状态下，阻断了正常运行的进程，则满足 CPU——CPU 主板正常工作的要素，又何止几十种！

从变频器本身的工作特点出发，从满足检修的条件来看，图 7-1 电路，包括了 CPU 供电电源电路、晶振电路、复位电路、操作显示面板的按键操作电路、显示电路——工作状态和参数值的显示电路，应该可以称之为 CPU 的基本工作电路了。

#### (1) 供电电路

CPU 的供电电源为直流 5V，由变频器的开关电源电路供给，具有较好的稳定性。但本电路，是由开关电源来的直流电源，再经稳压电路处理，才进入 CPU 供电引脚的。CPU 本

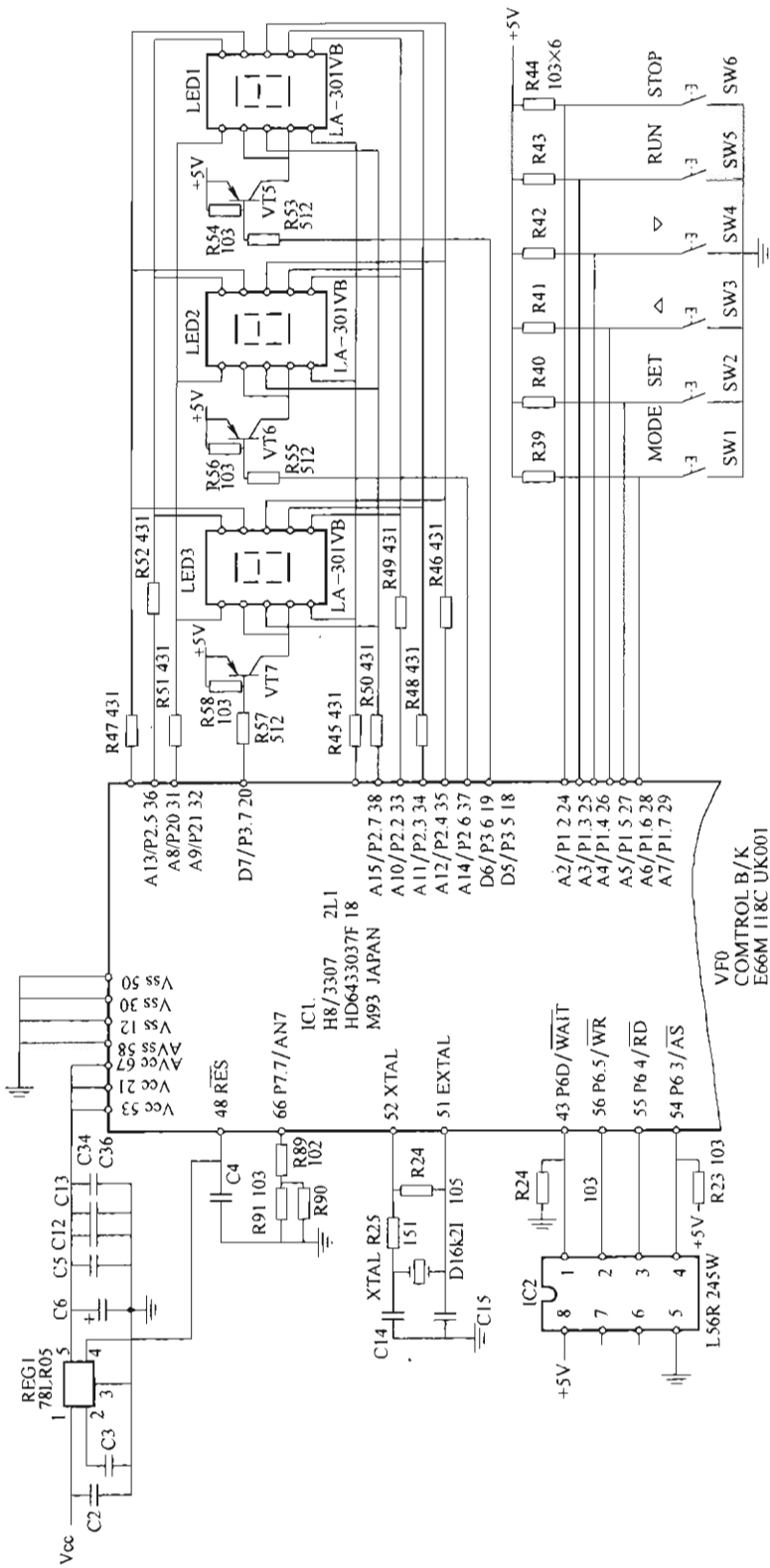


图 7-1 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之一：CPU 的基本电路

身对供电的要求也较为苛刻,要求供电在  $5 \times (1 \pm 5\%)V$  以内,偏高或偏低都会造成工作失常。为避免数字与模拟信号的相互串扰,往往将两种电路的供电电源独立引入,CPU 内部数字电路供电端一般标注为 Vdd (正供电端)、Vss (负供电端),模拟电路的供电端一般标注为 Vcc (正供电端)、GND (负供电端),因而 CPU 的供电脚不会是两个脚,再加上 CPU 的一些端子直接接入 +5V 或供电地端,实际接入供电的引脚,有的多达十几个。本电路 IC1 的 21 脚和 53 脚为 (数字) 供电的正电源端,30 脚和 50 脚为 (数字) 供电负端。而 58 脚和 67 脚为模拟电路供电正端,标注为 AVcc、AVss,加“A”字表明为模拟供电电源引入端。

## (2) 复位电路

所谓复位是指对 CPU 的初始化操作,清除内部程序计数器、指令寄存器内容,以便为 CPU 转入正常工作做好准备。复位也是一个上电过程的确认,说明供电条件已经建立。早期的变频器产品,还具有手动复位功能,除对系统进行初始化以外,当程序运行出错或操作错误使程序运行被“卡死”——程序进行死循环时,为解除此种状态,也需实施复位操作,以重新启动程序运行。

复位电压:上电瞬间为低电平,经  $\mu s$  级延时后,上升为 5V 高电平,可认为上电瞬间的一个低脉冲电压信号;当需用高电平复位信号时,则上电瞬间为高电平,经  $\mu s$  级延时后,恢复为 0V 低电平,可认为上电瞬间的一个高脉冲电压信号。

图 7-1 电路图中 48 脚为复位脉冲引入脚,工作方式为上电自动复位,复位信号是低电平复位信号有效。当此端子标注字母 RES (或 RETST) 上方不带横杠时,为高电平复位信号有效。本机电路为低电平复位信号有效。

本电路 CPU 的稳压供电和低电平复位脉冲的提供均由五线端元件 78LR05 提供。五线端 78LR05 是一个带复位信号输出端的 5V 电压的稳压 IC,输出两路 5V 电压,第一路提供 5V 供电电源,第二路由内部延时电路提供一个经延时的 5V 电压信号,输入到 CPU 的 48 复位脚。

复位电路的常见形式如图 7-2 所示,有 4 种。

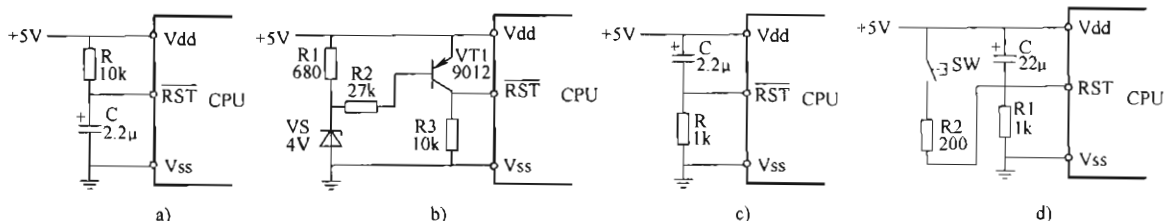


图 7-2 复位电路的电路形式

图 7-2a、b 所示电路为低电平复位脉冲形成电路。图 7-2a 所示电路为 R、C 延时电路,在上电瞬间,因电容 C 两端电位不能突变,C 上正端电压由零逐渐升高,经  $20\mu s$  延时后到达 5V 高电平。当此充电电压升高到一定值时,CPU 进入程序复位状态,开始寄存器清零,系统自检等工作。图 7-2b 所示电路利用晶体管 VT1 的导通延时,来提供上电期间的一个低电平的复位信号输入。因 5V 电源输出端接有大容量的滤波电容,因电容的充电造成 +5V 形成的延迟。上电期间,5V 电压逐渐建立,在未达到 4V 以上时,稳压二极管 VS 呈开路状态,晶体管 VT1 因无基极偏流通路而截止,CPU 复位端为 R3 引入的低电平;当电压上升到 4V 以上时,VS 击穿导通,形成 VT1 的基极偏流,VT1 饱和导通,将复位端引入 5V 高电平,复位过程结束。

图 7-2c、d 所示电路为高电平复位脉冲形成电路。图 7-2c 所示电路为 R、C 延时电路，上电瞬间，C 的充电电流使 RST 输入端产生一个高电平电压跳变，随充电过程的进行，RST 端子上电压逐渐降低，约  $20\mu\text{s}$  后，RST 复位信号输入端变为 OV 地电平，复位过程结束。图 7-2d 所示电路，在图 7-2c 所示电路的基础上，增加了 SW、R2 手动复位电路，在变频器运行过程中，若因某种原因出现故障锁定或“程序死机”现象时，可按动一次 SW 按键，实施人工强制复位。

### (3) 晶振电路

晶振电路用于产生 CPU 工作所需的时钟脉冲。CPU 本身为一个同步时序电路，电路应在时钟信号控制下按时序进行工作，犹如部队行军，必须按口令进行才能不乱套。在 CPU 晶振引脚内部有一个高增益放大器，与外接晶振元件一起构成了一个振荡器电路，产生振荡信号，再经分频后作为时钟信号。晶振引脚一般标注为 XTAL1 (X1)、XTAL2 (X2)，外接晶振元件和两只小容量电路。早期产品有外接陶瓷谐振器的，后期产品则大多采用晶振元件。晶振选用为 4MHz、6MHz、12MHz、16MHz、20MHz 振荡频率的，随 CPU 工作速度的不同而不同，以采用 16MHz 的为多。两只小容量瓷片电容的取值一般为 30PF 或 22PF。

CPU 外接晶振电路的常见形式如图 7-3 所示。

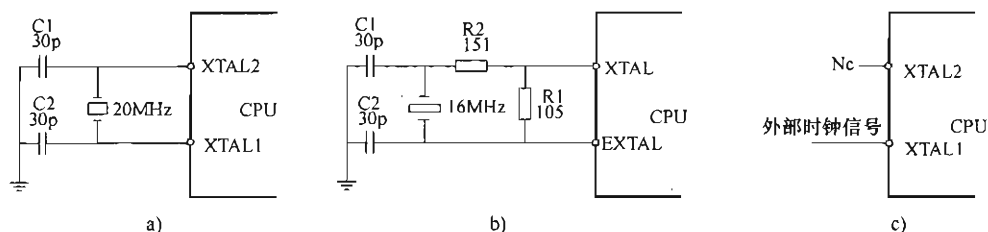


图 7-3 晶振电路的常见电路形式

因 CPU 型号的不同和晶振元件的差异，CPU 外接晶振电路也有所不同。另外，极少数变频器产品采用双 CPU 控制，由专用时钟信号发生器，直接输出振荡信号给 CPU，如图 7-3c 所示电路。

### (4) CPU 的外存储器电路

与 CPU 的 43 脚、54 脚、55 脚、56 脚相连的为外接存储器 (L56R 245W) 8 脚 IC 元件。四路信号的传输均为低电平有效模式。55 脚、56 脚为读写选通信号，另两脚则传输串行数据信号和时钟脉冲信号。

CPU 内部已设置有只读存储器 (ROM)，这种存储器数据是固定的，用来存放工厂程序，出厂时已固化在 ROM 中。此类程序无法改写，但断电也不会消失；CPU 内部还有另一类存储器，称为随机存储器 (RAM)，这类存储器可读可写，但断电后数据即行消失。RAM 用于处理一些“暂时应用”的数据，用于运行中的数据暂存以及数据的写入和读出。以上两类存储器又可称为“内存”。第三类存储器为 EEPROM (电可编程读写存储器)，当电源掉电后，可保存数据，同时又可用电擦除改写内部内容。该类存储器又称为外部存储器，用于存入用户控制程序，如控制参数的更改与储存。变频器 CPU 电路中常用 EEPROM，一般为 8 脚贴片封装，5V 单电源供电。

### (5) 操作显示面板电路

图 7-1 右侧电路即为操作面板的显示电路，右下侧为按键信号输入电路，按键电路接成

矩阵电路,对按键信号的读取一般采用循环扫描方式,以判断是哪个按键按下。按键电路除供用户用作参数修改和设置外,还可实现与控制端子一样的功能——用于变频器的起、停操作和故障复位操作等。右上侧电路为显示电路,小功率和经济型机型的操作显示面板多采用本电路。而在通用机型中,操作显示面板内含 CPU 控制,作为一个独立器件与 CPU 进行三线式通信。

显示电路:LED1、LED2、LED3 三只数码显示器为共阳极接线方式,采用动态扫描的方法进行显示。LED 显示器由 7 个发光二极管组成,也称为七段 LED 显示器。此外,还有一只圆点型发光二极管,供显示小数点。CPU 的内部驱动电路,输出脉冲式工作电流,对显示器的发光实施段控和位控。数码显示器直接由 CPU 引脚驱动,无外置驱动电路。

## 2. 数字控制端子电路

变频器的操作控制端子,接收和输出、处理的是数字、模拟两大类信号。模拟信号一般用于输入 0~5V (10V) 的频率指令,决定变频器输出转速;输出对应输出(给定)频率的模拟电压信号,供外接频率表显示运转频率等。而数字信号,其输入信号则用于变频器的起/停和故障复位等控制;输出开关量信号用于外接继电器、指示灯,用作变频器故障或运转状态的监控等。

图 7-4 为数字控制端子电路,3 为数字信号公共端子,5、6、7、8、9 为数字信号输入端子。其中任一信号输入端子与公共端子 3 接通时,都能形成光耦合器的输入通路,从而将控制信号传输给 CPU。采用光耦合器的好处,除实现电气隔离外,也使抗干扰性能有所提高。变频器控制端子的信号,输入和输出的均是直接来自于 CPU 引脚。CPU 的 13~17 脚,为开关量控制信号输入脚。而 22 脚则输出开关量信号,信号内容(运转、故障等)一般可由参数设定,又称为可编程输出端子。输出信号经 R36,为控制开关管 TR3 提供了正向基极偏流,VT3 的导通直接驱动 RY1 继电器,由 A、B、C 3 个端子输出开关量信号,供外接指示灯或继电器,指示变频器的工作状态。

从 CPU 的 76 脚输出的是代表输出转速的脉冲信号,经 R27 驱动晶体管 VT2,VT2 进而驱动光耦合器 PC2,PC2 输出的脉冲信号经 R75、C28 滤波成平滑直流电压,加至后续两级电压跟随器进行电流放大后,由控制端子 4 输出 0~10V (频率输出)模拟信号。该电路其实可看作是简单的模/数变换电路,虽端子输出为模拟电压,但 CPU 输出仍为数字(脉冲)信号。

数字(开关量)信号,在任意时刻,电路的输入、输出侧电位均为 0 (供电电源地电位)和 1 (供电电源的正端电位)两种状态。

图 7-5 仍为控制端子电路的一部分。因为是由 IC4 (BU4066BCK) 四双向模拟开关电路统一作输入、输出处理,为读图方便,故将数字/模拟电路画为一处。IC4 可进行数字、模拟信号的传输,内含四组双向开关,每组开关有独立的通/断控制端 CTL,该端子为低电平时,开关处于截止状态,I/O、O/I 之间为高阻态;CTL 端子为高电平时,开关处于接通状态。采用双向模拟开关的目的,是使信号的传输受控于 CPU 指令,从而实现可编程输入、输出控制。电路对两路输入信号进行切换输入和对两路数字信号切换输出。

对两路输入模拟信号的切换控制,为便于原理分析,将图 7-5 电路中的模拟信号通路重绘,如图 7-6 所示。

面板频率指令电路:RP1 为操作显示面板上的电位器,可从操作面板上调整变频器输出频率。RP1 的调整电压经 R90、C11 抗干扰电路,输入 CPU 的 61 脚,在内部进行 A/D 转换



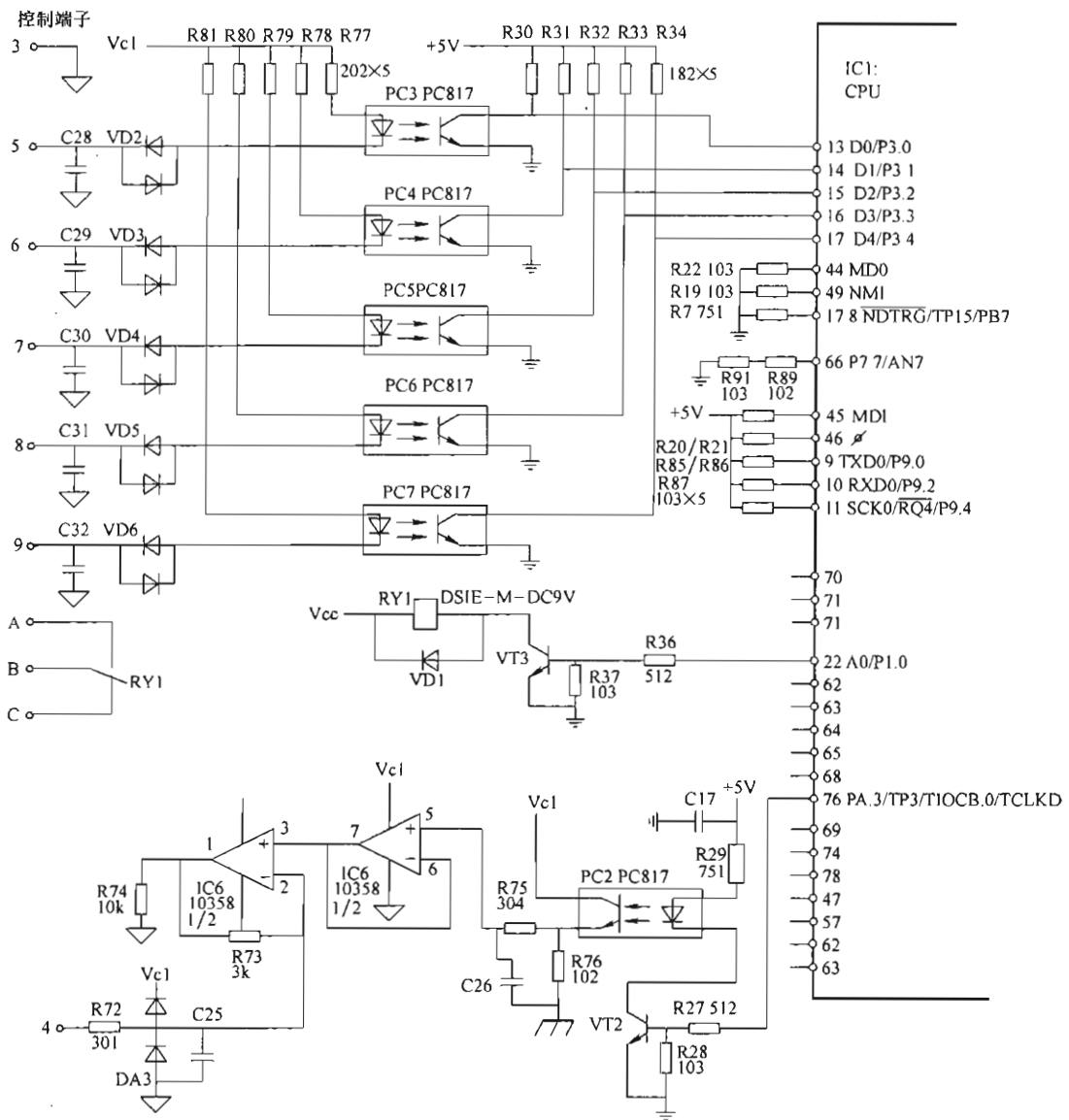


图 7-4 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之二：数字控制端子电路

后，由 17 脚输出，经 IC4 双向模拟开关，并接到 IC4 的 11 脚，然后输入 CPU 的 79 脚和 80 脚。

端子频率指令电路：控制端子 2 输入的是外接电位器的中心臂可变电电压信号，先由 IC5 (93321N) 进行 U/F 转换，转换为正比于输入电压的频率信号，再经 PC1 (TLP759) 光耦合器，送入 IC4 内部的另组双向模拟开关，由 11 脚输出。

两路频率指令信号受控于 CPU 的 39、40 两脚的电平状态，更进一步受控于用户的控制意向，可用控制参数设置。当 40 脚为高电平，39 脚为低电平时，CPU 输入由操作面板来的频率指令，据此决定输出频率的高低；反之，则由控制端子外接电位器（或其他模拟电压控制信号，如仪表输出信号等），来调节输出频率的高低。

控制端子 10、11 为开路集电极，开关量信号输出，可以实现可编程输出。由用户通过

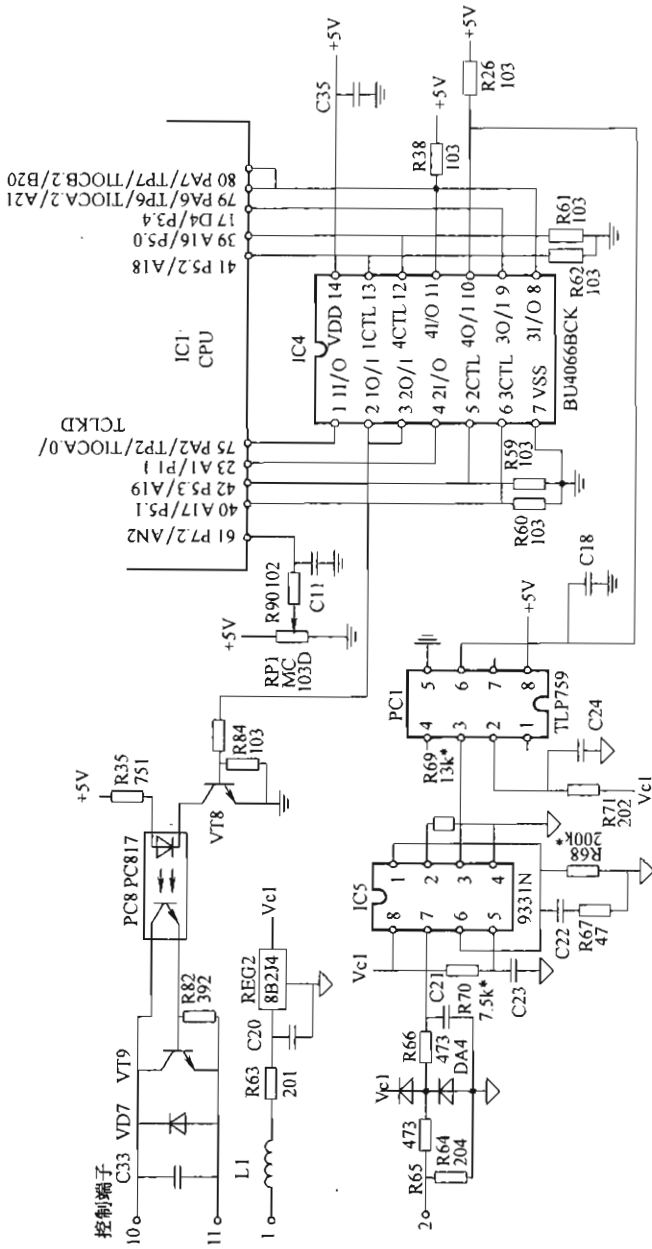


图 7-5 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之三：数字/模拟信号控制端子电路

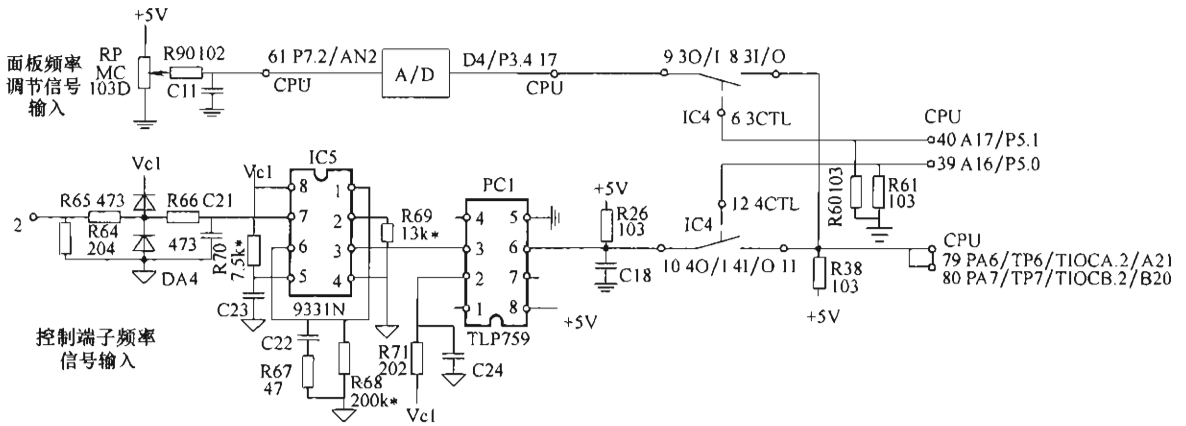


图 7-6 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器模拟信号输入控制

参数设置输出内容，或运转中端子接通，或故障中端子接通。在 CPU 的 41 脚输出指令控制下，当模拟开关 1 脚和 2 脚接通时，光耦合器 PC8 受 TR8 驱动而导通，端子 10、11 呈低阻状态，输出一个运转信号；当模拟开关的 3 脚和 4 脚受 CPU 的 40 脚输出指令而接通时，端子 10、11 也呈现导通状态，但此时输出的为变频器故障信号。如图 7-7 所示。

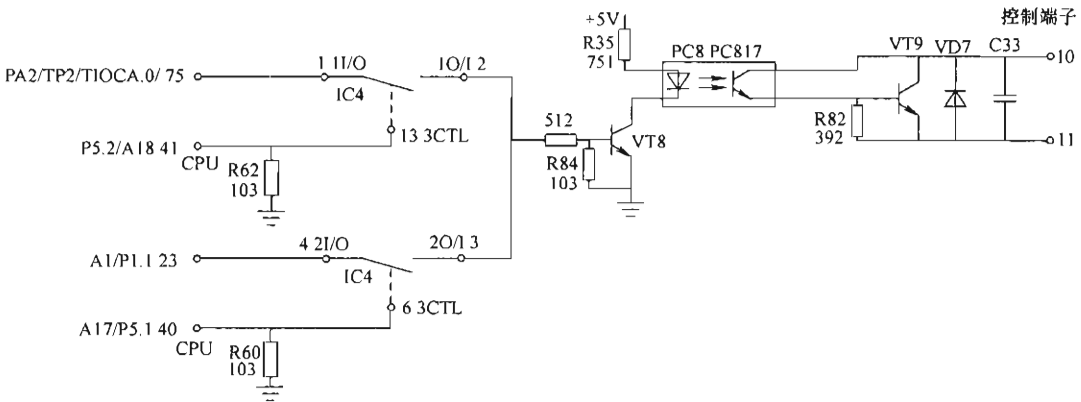


图 7-7 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器开关信号输出控制

同样，输出信号的内容，取决于使用者的意向——CPU 的指令。两组模拟开关，起到了一刀两掷转换开关的作用。根据使用者的意向，切换不同的输出内容。

由于逆变功率电路采用了 IPM 模块的缘故，模块温度检测、驱动电路的欠电压检测、OC 过电流检测及 SC 短路检测都在逆变模块内部完成，不需外围故障检测电路。FO 端子（见图 7-8）内部为开路集电极故障信号输出，是一种综合故障信号输出，故障输出时，六路 PWM 信号被锁定，停止输出。FO 端子将低电平信号，输入 CPU 的 77 脚，CPU 给出故障报警，并实施保护停机。IS 端子输出运行电流信号，经两 IC2 两级运放电路处理，输入 CPU 的 59 脚，处理后，供操作显示面板显示运行电流。

CPU 的 1~6 脚输出六路 PWM 逆变脉冲，经 CN1 端子进入逆变模块的脉冲信号输入端。由于模块内含驱动放大电路，所以省略了中间传输环节。将脉冲信号输入端标为 U\*，加\*号的原因，是区别于三相输出端端子 U、V、W。

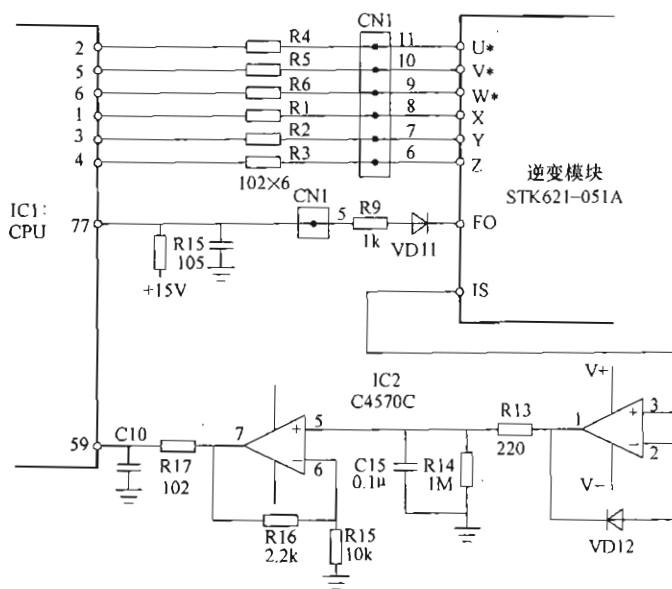


图 7-8 松下 VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之四：故障信号电路/脉冲电路

## 7.2 英威腾 G9/P9 中、小功率机型 CPU 主板电路

### 1. CPU 的基本电路的原理解析和检修

由电源供电、晶振电路、复位电路、外存储器电路及操作面板显示电路，构成了变频器 CPU 主板电路——CPU 工作的基本电路（见图 7-9）。复位电路由专用三端复位元件 IMP809M、R188 构成，上电瞬间为 CPU 的 48 脚提供一个低电平脉冲，犹如喊了一声“各就各位”的口号，实现系统清零，使程序开始运行。3 脚、4 脚、6 脚、8 脚外接 U2（93C66）存储器，出厂时内部已经存放了用户控制程序，在调试和使用过程中，用户对某些参数要进行随时修改，以满足控制要求，修改后的参数值由 U2 完成存储任务。CPU 与存储器相连的 4 个引脚均由上拉电阻接 5V。

对变频器的通用机型，操作显示面板已经作为一个独立器件与 CPU 进行通信联系，接受用户指令和传送相关监控数据。操作显示面板内含 CPU、解码驱动、LDE 显示器等电路，能与 CPU 进行双向数据传输。操作显示面板与 CPU 之间，RS442/RS485 收发器实现通信中转，用户操作信号由 A、B 差动输入端输入，由 R 接收器输出端送入 CPU；CPU 输出的数据信号由 D 发送器输入端进入，由 Y、Z 驱动器输出端进入操作显示面板。

为适应新的控制要求，变频器的控制端子还设有 RS485 通信口，图 7-9 中 U6（15176B）为 RS485 收发器，驱动器输入端 D 接 CPU 的 TXD1 串口发送脚；接收器输出端 R 接 CPU 的 RXD1 串口接收脚；A 和 B 为接收器输入、驱动器输出端；RE、DR 为驱动器、接收器允许信号端，驱动器和接收器的工作状态受此二脚电平信号控制。

#### (1) CPU 基本电路的检修

CPU（单片机芯片）本身的故障率是极低的，除遭遇异常情况如变频器引入雷击造成的损坏外，本身的电气故障较难碰到。CPU 的损坏，因内含运行程序，且厂家又出于技术保

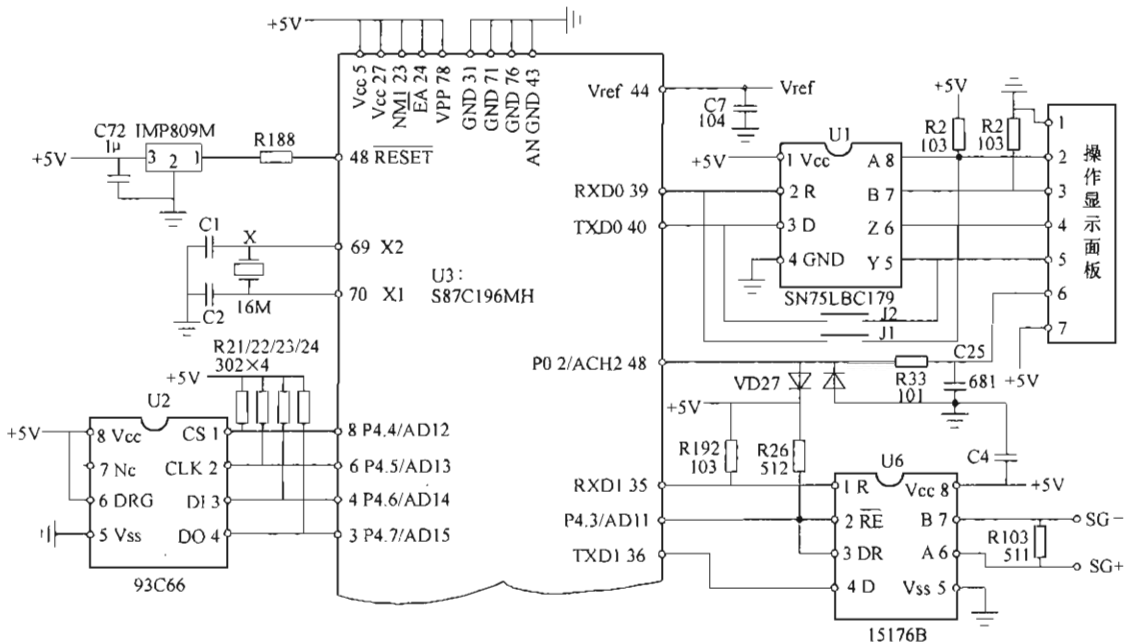


图 7-9 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之一：CPU 的基本电路

密的原因，尽最大可能地采取了一些保密措施，要将程序解密重新对芯片进行重新拷贝是困难的，一般维修人员不具备此种技术手段，这其中是否也牵扯到知识产权的问题。因而损坏后，需购用厂家提供的已复制好程序的芯片，或从同型号电路板上拆换，或干脆换用 CPU 主板。

对 CPU 基本电路的检查，其主要内容是对其工作三要素等工作条件的检查和故障修复。

CPU 基本电路（三要素电路）的故障，其典型特征是：上电后在供电电源正常的情况下操作面板无显示，或显示某一固定字符，变频器无初始化动作过程，操作显示面板所有操作失灵，类似电脑出现了不能开机和“死机”的现象。

故障实质：CPU 工作三要素中至少有一种要素不具备，CPU 不能完成初始化操作，程序被“卡”住；CPU 在自检过程中检测到危险故障信号存在，处于故障锁定状态中，所有操作被拒绝，这是一种“CPU 主板伪故障”现象，检查和排除故障原因，则 CPU “罢工”的现象也随即消失；由雷击或供电异常造成 CPU 芯片损坏。

注意：遇有程序“卡死”现象，务必先行排除“CPU 主板伪故障”，再对 CPU 的三要素等电路进行检修。重点检测 OC 故障报警电路，详见第 4 和 5 章的相关内容。

对 CPU 是否已经工作或三要素电路是否正常，可先作一大致判断：

1) 变频器上电期间，细听充电继电器或接触器有无“啪嗒”的吸合声，若有，说明三要素电路都正常，CPU 已经正常工作。变频器处于故障锁定状态。

2) 观察操作显示面板，一般有一个“开机字符”，呈闪烁状态，最后稳定为某一字符，有此过程，说明 CPU 也已进入工作状态。

3) 若清楚该台变频器的上电自检流程和各脚电位状态，可配合检测相关引脚的电压变化和电平状态，来判断 CPU 是否处于工作中。利用操作显示面板的按键信号输入和检测电路关键点的电压变化，判断 CPU 是否处于工作状态。如按动面板复位键，变频器状态信号

输出继电器,可能会发出“啪嗒”的开、断声,同时驱动电路的复位信号输入脚,有相应的电平变化。说明 CPU 能接受复位信号输入,能将故障复位信号输出到驱动电路。说明 CPU 工作正常。

4) 判断 CPU 没有投入正常工作,即可对 CPU 的基本工作电路进行检查。

(2) 对三要素电路的故障检查

1) +5V 供电电源电路的检查。检查 CPU 的 VDD、VSS、Vcc、GND 等电源引脚,确认电源供电正常,+5V 供电回路往往接有微法级较大容量的滤波电容器,当其容量严重下降时,会使 CPU 程序运行紊乱,易进入程序“死循环”。

2) 对复位电路的检查。复位电路为 CPU 的复位脚提供一个上电期间的脉冲电压,脉冲电压的持续时间为  $\mu\text{s}$  级。故需低脉冲进行复位的,其 CPU 复位脚静态电压应为 5V,需高电平脉冲进行复位的,其 CPU 复位引脚静态电压应为 0V 低电平。对复位电路的检测手段:

① 根据 CPU 复位引脚需要高或低脉冲电压的要求,测量其静态电位是否正常。若静态电压异常,查 CPU 外接复位电路。可断开 CPU 的引脚,判断复位脚电压异常是复位电路故障,还是 CPU 复位脚内部电路损坏。

② 若静态电压正常,可用人工强制复位方法判断 CPU 是否能正常工作。方法是:对 CPU 复位脚静态电压为 5V 的,则用金属导线快速将复位脚与供电地短接一下,人为形成一个低电平信号输入;若复位脚静态电压为 0V 的,则用导线快速将复位脚与供电 5V 短接一下,人为形成一个高电平信号输入。

③ 人为强制复位后,若 CPU 能正常工作——表现为操作显示面板的内容变化,可以修改参数等,说明外接复位电路故障,需更换损坏元件。对于采用专用三线端复位元件的,如无原型号元件代换,可参考图 7-2 中电阻、电容延时复位电路,搭接阻容元件电路应急修复。

④ 强制复位无效,应进一步检查晶振电路。

3) 对晶振电路的检查。晶振电路的外接元件较少,一般仅为两只电容和一只晶振。常见电路故障有以下几种:

① 因晶振元件内部为石英晶体,受剧烈振动后容易碎裂失效。

② 如晶振或电容漏电,会使信号传输损失加大,而引起停振。

③ CPU 内部振荡电路损坏,须更换 CPU。

测量方法:

① 振荡脉冲为矩形方波,其引脚电压约为 0V 和 5V 的中间值,两引脚的电压值略有差异,相差 0.3V 左右。其中 X2 引脚为 2V, X1 则为 2.3V,测量时请用数字式万用表的电压档,如用指针式万用表,因内阻偏低,有可能引起停振,使测量结果不准。

② 若晶振微漏电或性能变差,当用电烙铁轻烫晶振引脚时,CPU 主板恢复正常工作,可能为晶振低效,更换晶振。

③ 怀疑晶振不良时,最好是用优良晶振代换试验。摘下晶振进行检查时,可以晃动晶振,细看其内部有无细微的哗啦声,若有,说有晶振受振动而损坏。测量两引脚电阻值,应为无穷大,有电阻值说明漏电。若有电容表测量两引脚,好的晶振有 PF 级电容量,其容量值随标称频率的升高而减小。

④ 晶振的不良,还有一种极少见的情形,因结构形变或机械老化原因,使电路振荡频

率偏低于标称频率值, CPU 时钟脉冲的频率降低, 一是导致系统运行变缓, 二是因时间基准值变化, 使 CPU 对各路输入电流、电压信号的采样出现误差, 使运行电流、输出频率的显示值也出现相应偏差, 严重时有可能使 CPU 出现误停机动作。此一故障的出现, 则表现为疑难故障了。

下面介绍其他要素电路的故障检查。

1) 对 CPU 外部存储器的故障检查。变频器能操作运行, 参数也能被修改, 但停电后, 修改后的参数值不能被存储, 说明机器有外部存储器故障。检测 CPU 外部存储器的供电和与 CPU 连接线的状态, 因 CPU 与外部存储器之间传输的是“脉冲流信号”, 很难从其引脚电压的高低判断其工作好坏, 可以从同型号的电路板上拆下好的存储器, 代换试验。注意: 若换用新的空白存储器芯片, 机器将不能工作, 存储器中出厂时已存有用户控制参数。有条件的, 可将原存储内容拷贝到新的芯片中。或从制造厂家购得存储器芯片, 进行更换。

2) 操作显示面板的检修。

① 操作显示面板上的按键及调速电位器都属于易损件, 又因工作现场粉尘、潮湿等因素, 造成接触不良, 造成输出频率不稳或按键不能写入参数等故障, 可更换修复。

② LED 显示笔划不全, 因振动造成内部驱动电路引脚虚焊、铜箔条断裂等, 焊接修复。

③ 供电正常, 但无显示, 或显示一固定字符, 可有相同型号的操作面板代换试验, 若属于操作显示面板故障, 可从厂家购得整体更换。

3) 代换操作显示面板无效, 检查 CPU 与操作显示面板之间的数据通信模块——RS442/RS485 收发器等电路。

#### 故障实例 1

一台 7.5kW 英威腾变频器, 上电后听不到充电继电器的吸合声, 所有控制操作均失灵。测量 CPU 的复位控制脚 48 脚的电压为 2.3V, 正常时应为 5V, 判断三线端复位元件 IMP809M 已损坏, 更换后故障排除。

#### 故障实例 2

一台富士 5000G9S 11kW 变频器, 操作面板显示一固定字符, 不能操作, 出现“程序卡住”现象, 判断为 CPU 主板故障, 开机测量 CPU 复位控制脚静态电压正常, 用人为强制复位法无效, 用烙铁加热晶振焊脚时, 故障消失, 换优良晶振元件和两只瓷片电容后, 故障排除。

#### 故障实例 3

一台富士 5000G9S 47kW 变频器, 操作面板显示一固定字符, 不能操作, 出现“程序卡住”现象, 判断为 CPU 主板故障。开机检查, 上电, 测量 CPU 供电电源正常, 但 CPU 芯片烫手, 出现异常温升, 判断 CPU 芯片本身存在短路故障, 从一块相同型号的旧电路板上拆下一块 CPU 芯片, 更换后故障排除。

#### 故障实例 4

一台英威腾 INVT-G9-004T4 小功率机器, 检查故障为逆变模块损坏。先给 CPU 主板和电源驱动板上电, 准备修复驱动板故障后, 再购逆变模块。上电后, 操作显示面板显示 H:00, 面板所有按键操作均失灵, 判断为 CPU 基本电路的故障, 先对 CPU 的工作三要素进行检查, 无异常; 又对 CPU 的其他外围电路进行检查, 也无异常, 一时间茫然无从下手, 检修工作陷入僵局。

后来,在检查电流检测电路时,测电流信号输入放大U12d的8脚和14脚电压为0V,正常;U13d的14脚为负8V,有误过电流信号输出。但按道理,CPU应该报出OL或OC、SC故障,不应该程序不运行啊?试将该路电流信号切断,使之不能输入CPU,上电,操作面板竟然可以操作了!

SC信号的存在与示警,竟然表现为“程序死机”的现象!设计者的思路是:有严重危及变频器运行安全的故障存在时,变频器全面拒绝操作,运行操作与参数设置操作都被拒绝!但此一保护性措施,常被人误认为是程序进入了死循环,或是CPU外围电路故障,如复位电路、晶振电路异常等。

从此故障实例中,我们应充分认识到,变频器故障保护过程中,软件参与的智能化特性,应从软、硬件电路两个方面,表现出的软件故障,也应从硬件方面找找原因。综合考虑与判断,广开思路,积累经验,才能高效地排除故障。

将电流检测电路修复,并检查驱动电路无异常后,更换功率模块后,故障排除。

## 2. 变频器的控制端子电路的原理及检修

多数变频器产品,数字控制信号是由光耦合器传输的,以实现输入、输出间不同电位的隔离和提高抗干扰效果。实际应用中,因光耦合器的隔离作用,当控制端子误接入危险电压,如交流220V时,甚至从控制线引入雷击时,有时只是将光耦合器输入侧电路烧毁,而CPU得以免遭损坏。

本机电路数字控制端子电路(见图7-10)较为典型,光耦合器输入侧的24V供电,与输出侧5V供电,是相互隔离的。端子24V\*控制电源是由开关电源输出的24V,经L1(实

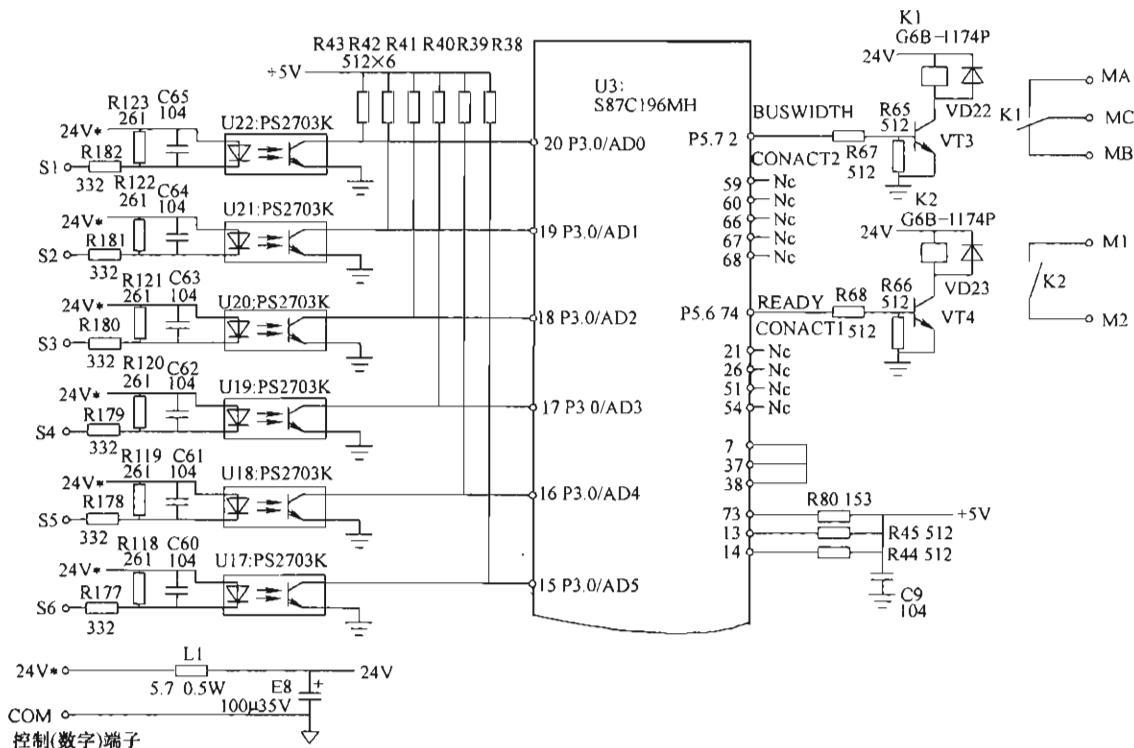


图7-10 英威腾变频器G9/P9机型CPU主板电路之二:数字控制端子



为一只电阻元件)引出到控制端子的。当 S1 ~ S6 任一控制端子与公共端 COM 相接时,即形成了光耦合器输入电流的通路,其输出侧即将一个低电平信号输入 CPU 的引脚。

数字信号输出端子:由 CPU 的 2 脚和 74 脚输出两路变频器的状态信号(可编程输出信号),控制晶体管 VT3、VT4 的导通,从而驱动 K1、K2 两只继电器,继电器触点连接到输出端子,输出触点型开关信号。有的电路采用开路集电极输出电路,可以输出表征输出频率的频率信号,供外接频率表显示与监控输出频率。

图 7-11 右侧电路的 S0 ~ S3 4 个焊口电路,为厂家调整之用,为见出 CPU 电路的全貌,也一并画出了。出厂时已将 S0、S1、S2 3 个焊口短接,代换主板时,要注意此处。先不要管它们的功能和作用。

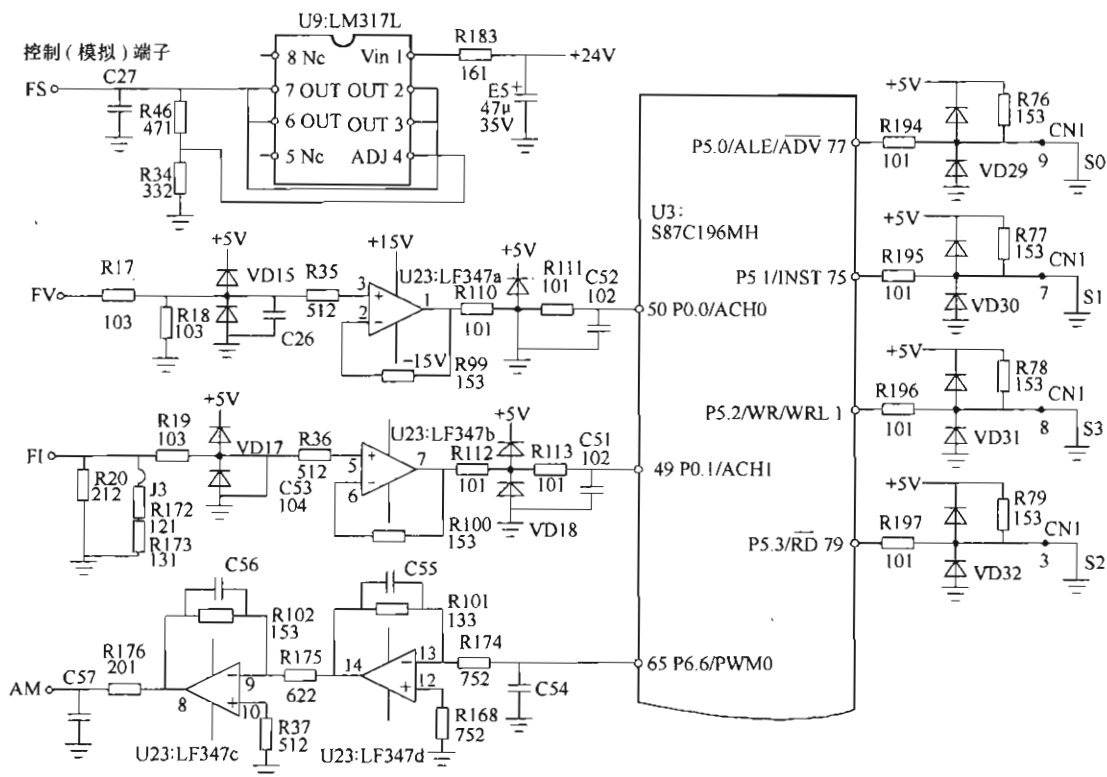


图 7-11 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之三:模拟信号端子电路

图 7-11 左侧即为控制端子的模拟信号端子电路,有两路输入和一路输出信号。模拟信号端子也需要一路控制电源,一般为 10V,供外接频率调整电位器取用。此 10V 端子电压是由开关电源输出的 24V 电源经 U9 (LM317L) 三端集成稳压器稳压成 10V 接至 FS 端子的, U9 的输出电压值取决于 R34 与 R46 的比值。

变频器由控制端子输入的频率指令信号,一般有 0 ~ 5V、0 ~ 10V、0 ~ 20mA、4 ~ 20mA 等几种信号格式,选取何种输入信号,除采用参数设置外,还可用插片选择(见图 7-11 中的 J3 插片)。本机电路有 0 ~ 10V、和 0 ~ 20mA 两种可选输入方式。

FV 端子为 0 ~ 10V 电压/频率指令信号输入,先由 R17、R18 分压成 5V,经 VD15 钳位(将输入信号钳位于 -0.5 ~ 5.5V 之间,以保护后续电路不受危险电压的冲击)、C26 滤除干扰,再由 U23 (LF347a) 运放电路接成的跟随器处理后输入 CPU 的 50 脚。FI 端子为 0 ~

20mA 电流/频率指令输入端。当选择电流信号输入时, 据说明书说明, 应将 J3 插片短接。这样一来, FI 端子与电源地之间接入了 R172、R173 两只串联电路, 其串联阻值为  $250\Omega$ , 将输入  $0 \sim 20\text{mA}$  电流信号转化为  $0 \sim 5\text{V}$  的电压信号。因而 FV、FI 两个信号处理电路, 实质上都是处理的  $0 \sim 5\text{V}$  电压信号。该路信号也由电压跟随器处理后, 输入 CPU 的 49 脚。

AM 端子为频率表输出信号, 在说明书中该端子被定义为模拟量监控。从 CPU 的 65 脚输出代表输出频率的 PWM 调宽脉冲, 经 LF347 内部两级放大器进行幅度放大, R176、C57 滤波成  $0 \sim 10\text{V}$  的直流电压, 供外接量程为 DC10V 的频率刻度表, 监控运行变频器的运行频率。电路即是放大器, 又是低通滤波器, 对 CPU 输出的 PMW 脉冲信号进行了简单的数/模变换, 从而输出  $0 \sim 10\text{V}$  的模拟电压信号。

#### 1) 对变频器控制端子电路的检修:

故障特征:

不接受输入信号, 一是控制参数设置不对, 需调出相关控制参数对照修改, 二是端子内部电路损坏, 输入信号不能传输给 CPU; 控制失灵, 变频器上电后即运行, 按某一固定频率或全速运行, 频率不可控。为控制端子内部电路损坏。

#### 2) 对数字控制端子的检查:

首先检查 24V 控制电源是否正常, 因为开关量由信号控制, 检测电路电位状态, 即可方便判断电路故障。输入信号电路, 可检测光耦合器的输入、输出侧两引脚之间的电压值, 判断电路好坏。静态时, 输入侧两引脚电压值为  $0\text{V}$ , 有输入信号时, 电压变为  $1.3\text{V}$  左右; 输出侧两引脚之间电压值, 静态时为  $5\text{V}$ , 有信号输入时, 变为  $0\text{V}$ 。数字信号输出电路, 可测量 CPU 输出引脚的电压变化及控制晶体管 C、E 极间电压变化和控制继电器线圈两端电压的变化, 从而明确判断故障所在。

#### 3) 对模拟控制端子的检查:

首先检查电源端子输出电压 ( $10\text{V}$ ) 是否正常。模拟端子多采用运放电路, 先确定供电电源是否正常, 再检测运放电路两个输入端和输出端之间的电位关系, 可明确判断电路是否处于正常或故障状态。如电压跟随器电路的输出电路跟踪于同相端输入电压, 两者电压值应相等, 如不等, 即为故障。

### 故障实例 5

接手一台  $15\text{kW}$  的伟创变频器, 雷击损坏的。主板与驱动板均受雷击冲击, 但幸而逆变功率模块与 CPU 都无损坏。

检修方法

1) 控制端子  $10\text{V}$  电压为  $0\text{V}$ , 无输出。此电压由开关电源的  $15\text{V}$  经稳压电路 LM317 (八脚贴片 IC) 稳压取得, 手头一时没有 LM317 贴片 IC, 用一只  $100\Omega$  电阻和一只  $10\text{V}$  稳压管代用修复。

2) 电压检测电路中 LF347 贴片 IC (四运放集成电路) 损坏, 用贴片 LM324 直接代用, 各引脚功能一致。

3) 控制充电继电器的贴片晶体管损坏, 用塑封直插型晶体管 D887 代换。

雷击故障全部修复。试机正常。

### 故障实例 6

一台英威腾 G9 型  $18.5\text{kW}$  变频器, 运转指令和频率指令均设为控制端子, 运行频率用

FV 端子控制。当 S1、COM 端子闭合后，变频器起动运行，但一直运行于全速 50Hz，外接电位器调整失灵。后将外接电位器拆除，变频器还是运行于全速状态。CPU 的 50 脚电压为 5.5V，说明 CPU 已经接受到最高频率指令信号，故运行于全速状态，测量 U23 (LF347) 的输出脚 7 脚电压为 14V，判断 U23 损坏，更换后故障排除。因 U23 内部运放电路的输出级对供电正端短路，使 CPU 相关引脚误输入全速运行指令，因而起动后，即运行于全速状态。

### 故障实例 7

一台 7300PA 22kW 东元变频器，运转指令和频率指令均用端子控制。但运行后，出现频率不可调，变频器运行于 45Hz 一个频率点上。将调速电位器拆除后，还是如此。判断故障在模拟信号控制端子的内部电路。

检查控制端子模拟信号电路，输入到 CPU 相关引脚的频率指令电压 (VIN 和 AIN) 都为 0V，没有什么异常状况，但变频器的频率指令是从何处得到的呢？

想到是不是控制参数设置不当所致呢？调出变频器的相关运行控制参数，与说明书逐一对照，不禁恍然大悟：发现运行模式已被修改为 PID (恒压供水控制) 运行模式，变频器的起停由端子控制，目标值设定为面板数字给定，反馈值由 AIN 电流信号给定，而上限频率已被设为 45Hz。

因变频器运行于 PID 工作模式下，AIN 电流信号 (压力反馈信号) 无输入，使 CPU 误以为管网压力极小，故在 PID 模式控制下，加大输出频率一直到所设定的上限频率。

变频器的模拟信号端子电路无故障，纯为参数调整不当所致。

修改控制参数，将 PID 功能取消，设置为端子起停与频率控制。变频器运行恢复正常。

后来向用户落实此事，原来生产车间新调进一名维修电工，出于对变频器的好奇，将相关工作参数“调整了一通”，结果变频器就出现了“高速运行不受控制的故障”。

教训：变频器有些故障，不一定是硬件电路所导致，与参数设置大有关系，用户输入什么指令，变频器就依据什么指令干活，“故障”是人为调整所致。

### 3. 逆变脉冲前级电路的原理和检修

将驱动电路看作对六路逆变脉冲信号处理的后续电路，则图 7-12 所示电路处于 CPU 和驱动电路之间，可称之为逆变脉冲信号的前级电路了。

由内部程序形成的六路逆变脉冲，由 CPU 的 6 个 PWM 输出脚输出至 U4 (LS07) 六反

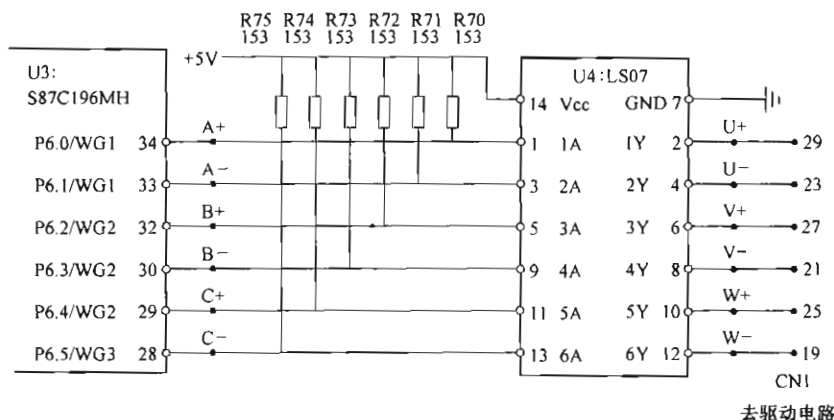


图 7-12 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之四：逆变脉冲输出前级电路

相缓冲器/驱动器的6个输入脚,经缓冲处理后,送后级驱动电路。U4的6个输入脚接有6只连接于5V电源的上拉电阻,从而决定了输入脚为输入低电平脉冲有效,经反相后,输出则为高电平脉冲。逆变脉冲的前级电路,其输出脉冲电压因各厂家对信号的处理方法不同,我们用万用表所测得的电压值会有所差异,但正常传输状态,其输入、输出信号电压都为5V和0V的中间值左右。如1.8~2.5V左右。如图7-12电路,六输入脚的静态电压值应为5V,而输出脚的静态电压则为0V。数字(脉冲)电路的工作状态,大概有3种,各自对应于3种电平状态:正供电电平、负供电电平和两者的中间电平(脉冲占空比不同,决定了中间电平的高低差异)。对逆变脉冲前级电路的检测,用万用表测量其输入、输出脚电平状态,即可得出有效的判断。

逆变脉冲前级电路的故障特征和实质(请参考图7-12):

1) 三相输出断相,因CPU与驱动电路的中间缓冲级电路不良,使六路PWM脉冲缺少一路或两路,造成三相输出电压不平衡。有的变频器机型设有输出频率检测电路,会报出断相故障,有的变频器因无此功能,会造成断相运行,电动机剧烈振动。

2) 操作显示面板上有频率输出显示,但无三相输出电压,可能为图7-12中的U4已经损坏。CPU已经正常输出了六路逆变脉冲,自认为工作正常,与操作显示面板通信,使其显示输出频率,但驱动电路因无逆变脉冲输入,逆变功率电路不工作。

由于逆变脉冲前级电路的故障,显然具有两个特点:驱动电路不报OC故障,无输出断相检测功能的变频器,也不报出“输出断相”等其他故障;操作显示面板还能正常显示输出频率,变频器好像状态不错,不像是愿干活的样子。这是为何?

原因如下:

1) 驱动电路有这样一个“脾气”:只在逆变脉冲输入期间IGBT保护电路起控,无信号脉冲输入IGBT保护电路并不动作。当一路或两路逆变脉冲信号消失时,相应的驱动电路,并不能报出OC等故障信号。

2) 操作面板对给定频率的显示是由端子或面板来的频率指令电压信号所决定的,而输出频率信号则由CPU内部PWM六路脉冲输出电路,经采样后供操作面板显示的。变频器的U、V、W三个端子无输出,而CPU的输出频率采样电路,在CPU内部如常工作,故照常输出运行频率指示。

而驱动电路本身故障造成输出断相时,驱动电路往往能报出OC故障。

#### 故障实例8

一台康沃CVF-PI 5.5kW变频器,运行时电动机出现剧烈振动。检测三相输出电压,有严重不平衡现象,判断为输出断相故障。此故障来源有:驱动电路的故障,驱动电源带载能力不足,某路驱动电路损坏或IGBT不良;逆变脉冲前级电路不良,六路逆变脉冲信号有丢失现象。

切断逆变模块的P端供电,上电检测六路脉冲回路。检测逆变脉冲的前级电路IC12(HC07)的输入脚,由CPU来的六路逆变信号都正常,但输出脚,6脚电压为1V以下,其余5脚皆为2V以上,判断为IC12不良,更换后,变频器输出正常。

#### 故障实例9

接手一台JNTFBGBA0400AZ-2 446kVA东元变频器,故障现象为操作面板有正常的输出频率显示,但U、V、W端子无输出。本机逆变功率电路采用3只大功率IPM模块,内含

IGBT 驱动与保护电路, 3 只模块一齐坏掉的可能性不大, 拆下外壳, 观察 IPM 模块, 无炸裂迹象。据用户咨询供应商, 供应商建议更换 CPU 主板。

判断此故障的原因有二: 一为 IPM 内部驱动电路的供电电源消失; 二是逆变脉冲的前级电路故障。

测量由开关电源来的 17V 驱动供电电压正常。脱开 IPM 模块供电后, 为变频器送入起动信号, 测量变频器 CPU 主板上 U12 (MC14069) 的输入脚, 由 CPU 来的六路 PWM 脉冲电压信号均正常。测量 U12 的输出脚信号, 则电压值参差不齐, 有的为 1.8V, 有的为 0V, 有的为 0.7V, 说明 U12 性能变劣。U12 为双列直接塑封元件, 用一片 HD4069 代换后, 将该台 300kW 大功率变频器, 成功修复。

#### 4. 控制信号输出电路的原理和检修

图 7-13 仍为 CPU 的控制信号输出电路, 但为了和控制端子电路相区别, 故将其单独列出, 以便于故障解析。当驱动电路采用 A316J 驱动 IC 时, 当 OC 故障发生后, A316J 一边实施对逆变脉冲信号的传输锁定, 一边将 OC 信号报知 CPU, CPU 实施保护停机控制。若异常状态消失后, 变频器需要重新投入运行, 可以从操作面板的 RST 按键或 RST 端子送入故障复位信号, 则 CPU 从 52 输出低电平复位信号至 A316 的 6 脚, 令其解除脉冲锁定状态, 变频器又可以起动运行了。

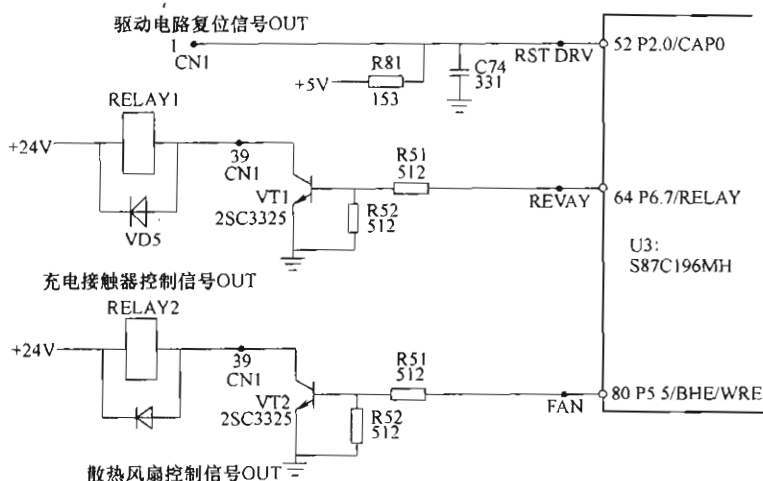


图 7-13 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之五：控制信号输出电路

在上电期间, 直流回路的储能电容, 先由充电电阻进行预充电, 以避免浪涌充电电流的形成, 对整流模块和电容形成大的冲击。当储能电容上建立起一定的电压幅度后, 开关电源开始工作, CPU 检测直流回路电压值达一定幅度后, 从 64 脚输出一个高电平的充电接触器 (继电器) 闭合信号, 充电接触器 (继电器) 得电吸合, 其工作常开触点短接掉充电电阻, 变频器进入待机状态。

逆变模块中 IGBT 的导通内阻和整流模块二极管的导通内阻不可避免地带来了一定的功率损失, 其功率的耗散以热量的形式表现出来。对散热风扇的控制有: 为风扇提供 AC220V 或 DC24V 电源, 变频器上电即运转; 由温度传感器检测模块 (环境) 温度, 到达一定温升后, 起动散热风扇运转散热; 散热风扇的运转模式由参数设置, 进行可编程控制, 可按用户要求运行于 1、2 模式, 或其他工作方式。从 CPU 的 80 脚输出风扇运转控制信号, 据温度

检测电路的信号，控制风扇的运转和停止。

另外，这3个控制信号输出脚，也是判断CPU是否正常工作的3个关键测试点，按一下复位按键，52脚应出现一个负电压跳变；上电过程中，64脚应由0V低电位变为5V高电位；当人为加热或冷却模块温度传感器时，80脚应有相应的高、低电平的变化。只要有任一变化，说明CPU是好的，工作三要素是正常的。

#### 故障实例 10

一台康沃变频器疑难故障的修复过程。

一台送修的5.5kW康沃变频器，客户说：有输出，但是不能带负载运行，电动机转不动，运行频率上不去。检测主电路，整流与逆变电路，都正常。

上电，空载测三相输出电压正常。接上一台1.1kW的空载电动机，起动变频器运行，频率在一二赫兹附近升不上去，电动机有停顿现象，并发出“咯楞声”。也不报出过载或OC故障。停机，再起动，还是如此。

判断变频器存在电流或电压异常故障或电流与电压检测电路本身异常引发限速保护动作。检查电流检测与保护电路，无异常，即从电压检测电路着手，试图找出故障原因。

由电压导致的异常也分为两个方面：

1) 由回路直流电压检测电路异常造成（比较基准电压产生漂移、采样电阻变值等）。此信号使CPU误以为电压过低，从而采取降低输出频率来保持电压平稳的措施。

2) 主直流回路的异常造成电压过低（储能电容失容、充电短接接触器未吸合等），为检测电路所侦测，使CPU在起动过程中采取降频动作。

最后找出故障为充电接触器控制电路的VT1（见图7-13）有开路性损坏，致使充电接触器不能得电吸合，运行电流在主电路充电阻上造成极大压降，直流回路电压检测电路，在起动过程中，向CPU报出欠电压信号，CPU实施降速动作，降低起动频率和减小起动电流，试图使直流回路电压恢复正常值。在此过程中，因负载电动机处于空载状态，降速动作使直流回路电压能暂时回复到正常值以内，故CPU进行反复调整，并不报出故障代码和实施保护停机动作。

#### 故障实例 11

一台阿尔法37kW变频器，接收到运行信号，电动机才动一下，即跳欠电压故障，保护停机。

上电检查，上电瞬间，没有听到充电接触器的吸合声。充电接触器线圈的工作电源直接从R、S端子取用AC380V，经控制继电器触点控制此电源的通断，从而对接触器进行通断控制。上电后，检查驱动继电器的驱动晶体管发射结已呈开路状态，基极虽有CPU来的高电平信号，但继电器不能得电吸合，充电接触器因而总是在开断状态。变频器起动运行后，逆变模块的供电回路因串入了充电电阻，运行电流在充电电阻上形成很大的压降，使直流回路电路严重跌落，CPU报欠电压故障而停机。将工作继电器的控制晶体管换用C9014后，故障排除。

#### 故障实例 12

一台普传小功率变频器，运行中跳过热故障，保护停机。上电后，观察散热风扇一直未转动。拆下风扇检查，发现轴承磨损严重，更新新风扇后，风扇仍不转动。

查看变频器说明书，风扇的运转模式不是可编程控制的。风扇供电为开关电源输出的

DC24V 电源, 应该是变频器上电, 开关电源起振后, 风扇即行得电运转。检查风扇控制继电器的线圈供电, 24V 电压已经加上。拆开继电器, 观察工作触点, 已严重烧灼, 造成虚接。更换继电器后, 故障排除。

### 5. 末级故障电路的原理和检修

各种故障检测信号, 尤其是故障停机信号, 常由末级故障信号处理电路在 CPU 相关指令的配合下, 经过处理 (其控制方式为硬件电路与软件程序的相结合), 再送入 CPU 电路, 供实施故障保护之用。其电路特点如下:

1) 停机保护信号集中处理。

2) 依工作过程中的不同阶段, 选择和处理相应的故障信号, 如在起动初始阶段优先处理的 OE 接地或地过电流信号, 在起动过程的末后阶段, 则被忽略或屏蔽; 当其他故障信号出现时, OE 信号的传输被中断。在不同工作阶段, OE 信号的优先权是不一样的。

3) 对各种故障保护信号的处理, 各厂家变频器虽大致相同, 但因设计者的思路不同, 存在具体上的差异。如阿尔法变频器, 变频器上电期间, 检测到 OU 过电压信号输入, 会报出 OC 故障, 而运行当中检测到 OU 信号, 则报出 OU 故障。英威腾 P9/G9 系列变频器, 在上电期间检测到 OCH 故障信号输入时, 则屏显 H: 00, 所有操作均失灵。

图 7-14 的故障末级信号处理电路, 由 U7 (HC4044) 三态与非门 R-S 锁存触发器和 U8 (74HC08D) 四 2 输入与门两片 IC 电路构成。由于对软件程序控制只能揣摩得知, 只能做出试分析:

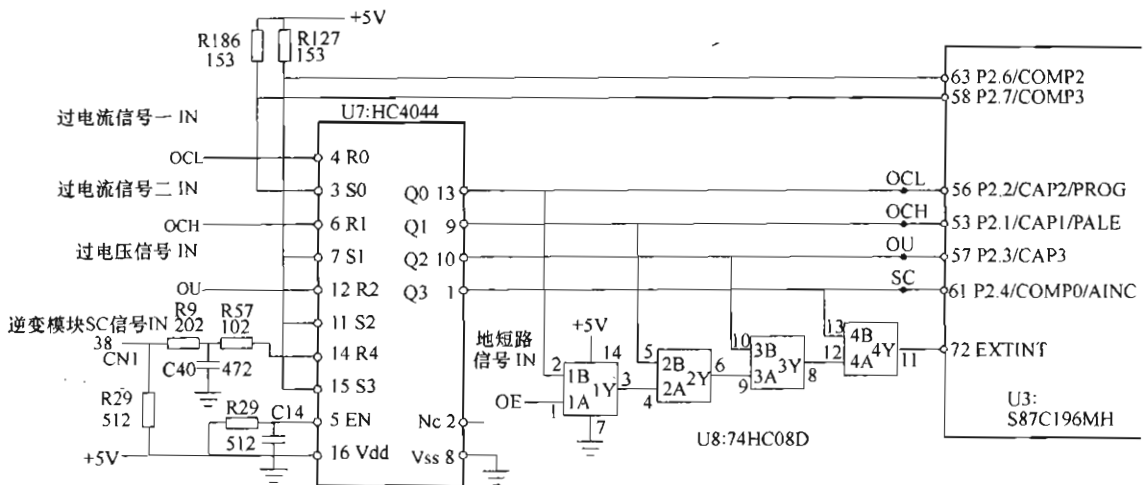


图 7-14 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之六: 末级故障信号处理电路一

U7 担任对 OCL (过电流一: 轻度过电流)、OLH (过电流二: 中度过电流)、SC (重度过电流: 输出短路)、OU (过电压) 四路故障信号的可控传输。据此四路故障信号对逆变功率模块的危害程度不同, 则处理方式也有所不同。对 OCL、OCH 过电流的信号和处理, 有一个延时和调控的过程, 无效再实施停机保护。有的机型 OCL 信号只是在起动过程中有效, 而运行过程中 OCH 有效。当起动或运行过程中, 出现轻微过电流状况时, 如过电流 115%, 此过流程度不足以危害功率模块的安全, 也可能为负载不稳定所引起, CPU 并不马上给出停机保护信号, 而是采取相应措施, 自动降低频率, 等待电流稳定降到允许电流值以内时, 再按给定频率运行。若经此降频调节, 过电流状态消失, 则继续运行; 若采取调整措

施, 输出电流仍旧上升, 到达 OCH 的保护阈值, 则 OCL 信号被屏蔽, CPU 以 OCH 信号为参考进行控制。同样采取降频限流和延时修理, 但延时时间大为缩短, 有的机型在此动态调整过程中, 操作显示面板闪烁 OL2 故障代码, 但不停机, 延时时间到后, 保护停机。有的机型则在停机动作后, 报出 OL 故障。SC 和 OU 故障对功率模块的安全形成较大的威胁, 在本机电路中, 一旦有故障信号输入, 则立即停机保护, 并报警, 没有延时调整和处理过程。本机型中, 对 OU 信号则有两个梯度控制, 在检测到轻度过电压信号时, 首先起动直流制动电路, 将直流回路接入制动电阻进行有效消耗, 若能在一段时间内使直流回路的电压有效回落, 则不报出 OU 信号, 若制动动作不但不能使直流电路电压回落到允许值内, 而且直流回路电压还在呈上升趋势, 以至于达到了 OU 报警阈值, 则报出 OU 信号, 保护停机。本机电路的制动动作是由前级电压检测电路所完成, 制动信号不是由 CPU 处理的。

我们看到, 四路故障信号分别输入到 U7 的 4 个复位端, 而置位端电位则由 CPU 输出指令信号所控制。故障信号的前级电路见第 6 章的相关章节, 是由 LM393 构成的电压比较器输出低电平的故障信号。U7 电路是“0”电平输入信号触发有效, 当故障信号动作时, 故障信号输入 R 端有触发信号输入, 但电路的输出状态还同时取决于 CPU 的指令信号对 S 置位端的控制。

在起动初始阶段, CPU 的 58 脚输出低电平信号, 此时 U7 若有 OCL 信号输入, 则 U7 的 13 脚 Q0 输出端因“与非”关系成立, 将高电平信号输入 CPU 的 56 脚, CPU 据此信号的存在, 进行降频和延时处理。随着变频器进入起动过程的后半阶段和运行阶段, CPU 的 58 脚变为高电平信号, OCL 信号被屏蔽, CPU 的 63 脚变为低电平, 同时加到 U7 的 3 个 S 端, SC、OU、OCH 3 个故障输入通道因而生效。

U8 完成对 OE 地短路信号的处理 (故障代码为 GF)。GF 信号的定义: 变频器输出接地电流大于额定电流的 50%。对接地故障的检测, 实际是对三输出不平衡电流值的检测。在本机电路中, 该信号用于在起动初始阶段, 对 GF 故障的报警和停机保护。在此阶段, 该信号具有最高优先权。在起动过程的中、后阶段和运行阶段, 故障信号的优先权则让位于 SC、OU、OCL、OCH 4 个故障信号。

在电路中, OE 信号实际是与 OCL、OCH、SC、OU 4 个故障信号相与后, 再送入 CPU 的 72 (EXTINT 外部中断, 低电平输入有效) 脚。对 OE 信号控制分为两个阶段:

1) U7 的 4 个输出 Q 端, 初始状态为“0”电位, OE 信号通道为通态。当 OE 信号一经形成, 与门电路的“两低出低”逻辑关系, 使 U8 的 11 脚输出故障低电平信号, CPU 运行程序即被中断, 报出 OE 故障。

2) 当 OCL、OCH、SC、OU 4 个故障信号中的任一个信号作用输出时, 因与 OE 信号的相与作用, 形成“高低出高”的逻辑关系, U8 的 11 脚被钳定于高电平状态, OE 信号即被中止。4 个故障信号作用期间, OE 信号的传输被中断。

U7 (HC4044) 三态与非门 R-S 锁存触发器的 EN 端 (三态允许端) 经 R29 接入 5V 高电平, 4 个传输通道已被强制接通。

末级故障信号处理电路是硬件和软件密切配合下的结果, 必须从对故障信号的控制方式上着手, 进行原理分析和故障诊断。

除了被集中处理和传输的图 7-14 电路中的 5 路“主故障”信号, 还有图 7-15 中的 8 路“辅助故障”信号, 也直接输入 CPU 的相关引脚, 用于输出和其他控制或实施停机保护。



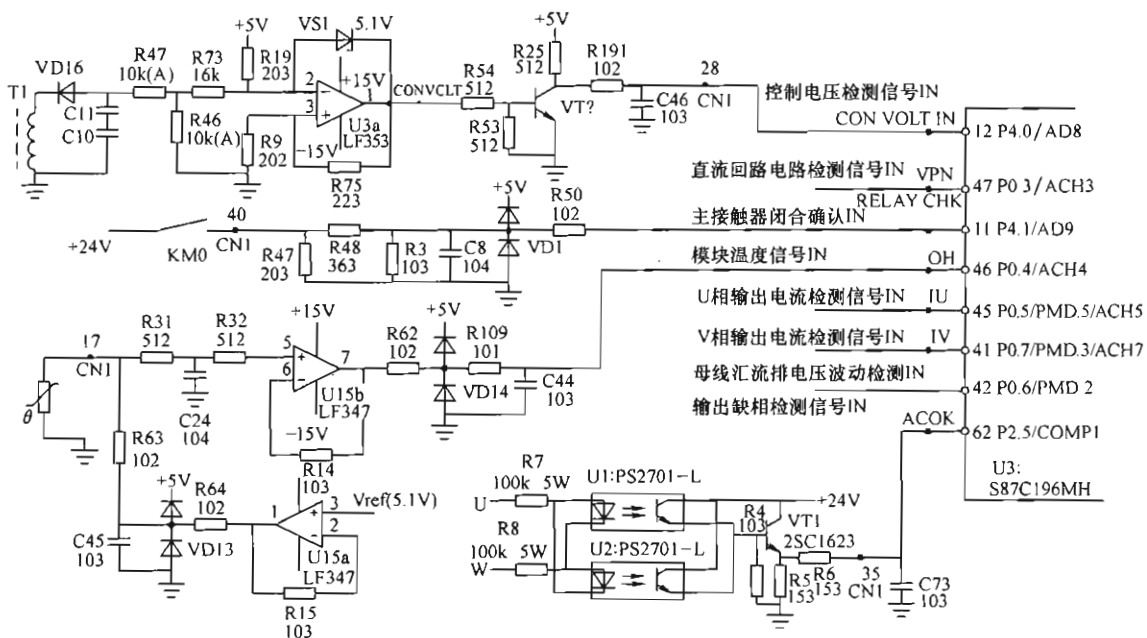


图 7-15 英威腾变频器 G9/P9 机型 CPU 主板电路之七：末级故障信号处理电路二

故障检测电路中的电压检测电路，其检测内容约有 4 项：

1) 对直流回路电压的检测，或用电阻网络直接取自于直流回路，或由开关变压器二次绕组取得。可称之为直流回路的电压检测。

2) 对充电接触器的触点状态进行检测，这是另一种形式的电压检测方法，当其触点不能良好接通时，被 CPU 认为有直流回路“欠电压”故障发生。这是一种“预测”，当充电接触器接触不良时，有可能导致欠电压故障发生。

3) 对开关电源输出电压的检测，供电电压正常是控制电路正常工作的前提，这称为控制回路电路检测。

4) 对三相逆变输出电压（频率）的检测，也用于对 IGBT 的快速保护，其作用如同 IGBT 管压降检测电路的作用相似。少数变频器，如 5000G9/P9 160kW 富士变频器，还把三相输出电压检测信号做为电压反馈信号，对三相输出电压实行稳压输出控制，对提升控制性能，提高负载电动机的“硬”的机械输出特性有一定作用。

图 7-15 所示电路由 U3a (LF353) 和晶体管 VT? 开关电路构成了对控制电压——开关电源二次输出电压的检测电路，U3a 及外围元件组成了一个具有滞后特性的、具有输出电压限幅功能的电压比较器电路，在同相输入端和输出端接入了 R75，以引入电压回差，实现滞后特性，在反相输入端与输出端之间则接入了 5.1V 稳压二极管 VS1，VS1 接入起到对输出正负电压的双向限幅作用。当 VD16 整流负压存在，且幅度达正常值时，此负压与 R19 引入的 5V 电压、R46 接地电阻组成的分压网络，输入 U3a 反相输入端的为 0V（接近 0V）以下的负电压，因放大器的同相端地电位高于反相端负电位，放大器输出为高电平，VS1 处于反向击穿状态，将输出端电压嵌位为 5V 左右的正电压，此输出正压形成晶体管 VT? 的基极偏流，VT? 饱和导通，输出一个低电平的“控制回路正常”的信号，进入 CPU 的 12 脚。当 VD16 整流电压由于故障等原因丢失或电压幅度严重变低时，因 R19 引入 5V 的缘故，

U3a 反相输入端的电压由负变正, 此输入正压被 VS1 的正向导通所钳位 (限幅), U3a 输出端输出  $-0.6\text{V}$  左右的电压值, 使 VT? 既能处于良好的反偏截止状态, 而又避免了其发射结承受过高反偏压而发生反向击穿现象。VT? 的截止, 使集电极变为  $5\text{V}$  高电平, CPU 认为控制回路供电失常, 报出 Uu2 (控制回路电压不足) 的故障代码, 并停机保护。

由前级电压检测电路来的直流回路电压的检测信号 VPN, 送入 CPU 的 47 脚, 为模拟电压信号, 用于操作显示面板显示直流回路电压 (交流输入电压) 值, 供控制和欠电压报警之用, 直流回路电压异常时, 报出 Uu1 (直流回路电压不足) 故障, 并保护停机。

充电接触器触点状态检测电路: 上电期间, 储能电容充电过程结束, 若充电接触器触点闭合, 则经 R48、R3 两电阻对触点引入  $24\text{V}$  分压, 得到约  $5.2\text{V}$  的电压信号, 经 VD1 钳位, 由 R50 输入到 CPU 的 11 脚。若 CPU 已输出接触器闭合指令, 但因某种 (故障) 原因造成充电接触器未能闭合, 则变频器报出 Uu3 (充电的主接触器断开) 故障, 变频器进入故障锁定状态, 起动信号不被接受。

母线汇流排电压/电流波动信号检测电路: 前级电路请参阅第 6 章的相关章节, 当输入断相, 储能电容容量降低等原因造成母线汇流排上电压波动过大时, 三相电流的输出波形便不再是等幅和匀称的, 而“多出 (或少了) 了几个谷底或峰顶”, 当 CPU 的 42 脚输入反映三相输出电压的不规则的波头信号时, 变频器报出 SPI (母线汇流排上波动过大) 和 SPO (变频器输出断相) 故障信号, 变频器停机保护。

变频器的三相输出侧还接有由两路光耦合器 U1、U2 对输出电压的检测电路, U、W 相的正、负半波均可形成 U1、U2 的输入电流通路, U、W 两相正、负半波的电流通路, 恰恰“全息反映了”三相电流的通路。U1、U2 输出电流的通路提供了晶体管 VT1 的基极偏流, VT1 将检测到输出脉冲信号输入到 CPU 的 42 脚。CPU 的 42 脚脉冲信号的出现, 意味着输出电压已经建立——ACOK。该信号是否在 CPU 内部与 PWM 脉冲形成电路的输出脉冲做一个时序上的比较, 以判断是否有输出断相故障存在, 由此承担对变频器输出断相的检测? 由于未作相应试验, 不好下结论。

故障检测电路中的电流检测电路, 其检测内容和具体电路有 4 种:

1) 驱动电路对 IGBT 管压降检测的 IGBT 保护电路, 当流过 IGBT 的电流值异常上升时, 保护电路动作, 驱动电路向 CPU 返回 OC 或 SC 信号, 变频器立即保护停机。

2) 变频器起动的初始阶段, 当三相不平衡电流达到一定幅度后, 变频器则报出 OE 接地故障, 保护停机, OE 信号有的机型由驱动电路报出, 有的机型则由三相输出电流检测电路报出。

3) OL (或 OL1、OL2、OL3) 轻、中度过电流检测信号, 此种过电流信号形成后, 并不是马上就停机保护的, 而是是否停机, 是有“商量余地”的, 在故障信号输入期间, 变频器采取降低运行频率、延时等措施, 过电流状态可以避开则继续运行, 否则经一个时间段后再停机保护。

4) CPU 还需要输入一路模拟电流信号, 由三相输出电流回路, 经电流互感器取得, 由后续电流检测电路进一步模拟放大处理后, 输入到 CPU 引脚。引入此信号的目的, 不是用于保护停机, 而是供操作显示面板用作运行电流显示, 也可能参与对三相输出电流/电压的控制。

以上前 3 种输入 CPU 的信号均为开关量故障检测信号, 即便是由三相输出电路的电流互感器来的模拟电流信号, 也是经后级电压比较器电路处理为开关量信号, 再送入 CPU 的。

其作用，一是保护停机，二是调控兼延时停机保护。主要作用是用于对 IGBT 逆变模块的保护。

图 7-15 中，由前级电流检测电路来的 IU、IV 两路反映输出电流大小的两路模拟电压信号，分别输入 CPU 的 45 脚和 41 脚，用作运行电流显示（和参与输出控制）。

温度检测电路：用触点型热继电器来检测模块的温度，一般采用常闭触点型，电路输送的是开关量信号；用热敏电阻检测模块温度的变化，输入 CPU 的是线性模拟信号，可实现智能化温度控制。

图 7-15 中的温度检测电路由 U15 内部两级运算放大器、温度传感器（热敏电阻）等元件构成，其电路原理请详见第 6 章中的温度检测电路。温度模拟信号电压输入 CPU 的 46 脚，在功率模块温度达到 80℃ 时，变频器报出 OH1（模块过热）故障，操作面板上 OH1 代码呈闪烁状态，CPU 只给出温度报警，变频器仍在运行；当模块温度上升为 90℃ 时，变频器报出 OH2（模块过热）故障，停机保护。

末级故障信号处理电路的检修特点：

1) 在对故障信号的处理上，具有软、硬件结合控制的特点。

2) 故障检测电路各有分工，有的电路处理停机保护信号，输出开关量动作信号，有的电路输出纯模拟信号，信号性质不同而用途不用。

3) 因软件设计思路的不同，故障代码有时并非直指故障原因。如上电时报 OC 故障，故障原因可能为过电压，而非 IGBT 保护电路示警或输出电流检测电路引起。上电检测到某种故障存在时，有的变频器可能显示故障代码表中所没有的一个代码，让人摸不着头绪；有的变频器则表现为操作失灵、程序不运行等状况。

因此特点，检修变频器的故障检测电路要具有系统的眼光，有时需要揣摩软件设计者的思路，并在维修工作中积累经验，提高自己对故障判断的“精准度”。出现操作失灵、程序“死掉”的状况，先不要着急，第一步先行检测故障信号处理电路的相关状态，是否有故障信号存在，变频器处于故障锁定状态中，而实施了“操作锁定”？在对各路故障信号的处理上，各厂家产品的控制思路和方式有大同小异的特点，将一二种（处于良好状态的）变频器的控制流程摸清楚，便可以举一反三，对其他变频器的类似故障进行判断了。

弄明白故障信号处理电路的特点，其检修方法也在其中了。

1) 根据故障代码提示和故障保护动作的实施过程，观察报警的动态现象，确定故障电路区域。上电时或运行中直报故障，无延时处理过程，则故障出在相关的开关量处理电路——OU、OC、SC 等检测电路，若有延时处理过程，则故障出在 OCL、OCH 等电路，操作面板的显示电流值严重偏离正常值，则为电流检测电路中的模拟信号处理电路不良。

2) 以故障代码的提示和故障信号输出电路的状态检测相结合；区别“直报故障”和“间报故障”。报 OC 故障，但检测到 OU 过电压故障信号有输出，而 IGBT 保护电路与输出电路检测电路均无 OC 信号输出时，此 OC 故障即为“间报故障”，是由 OU 故障间接报出 OC 故障，故障的直接来源是 OU 过电压故障，在设计者看来，会间接造成 IGBT 模块的损坏，因而不是直报 OU，而是间接报出 OC。通过检测相关故障信号的输出状态，找出故障代码背后真正的故障原因。

### 故障实例 13

阿尔法 18.5kW 以下变频器 OC 故障保护停机的一个隐蔽原因。

在对阿尔法小功率变频器维修的过程中，发现该变频器有一个通病——容易跳 OC 故障。其表现为：多在起、停操作过程中跳故障，但有时也在运行中跳故障；有时候莫名其妙地又好了，能运行长短不一的一段时间。在以为已经没有问题的时候，又开始频繁跳 OC 故障；变频器空载时用表笔测量 U、V、W 输出电压时，易跳故障，但接入电动机后起动运行，又不跳了，再过一阵子，接入电动机还是跳 OC 故障。

该类故障的处理相当棘手，可能在测试过程中故障已经消除，致使查无所据。即使在故障频繁发生的当口，测试硬件电路（保护电路），却怎么也检查不出什么问题，搞不清此故障的来龙去脉，此故障困惑了我有两个多月的时间。

硬件保护电路（见 7.3 节），主要由 U22 和 U24 两片 LM393 双运放电路来完成，其信号又经一级数字反相器电路倒相后，送入 CPU 的 16 脚，U22 和 U24 共输入了两路输出电流信号：1 路由逆变驱动 IC 返回的过载 OC 信号，一路直流电压检测信号，分别加至四路运放的输入端，经开环放大处理（运放电路在这里实际上作为开关电路来应用）后，将四路故障信号并联在一起，再经一级倒相处理后，送入了 CPU 的 16 脚。检修时先是切断了由逆变驱动 IC 返回的过载 OC 信号，后又切断了倒相输出的“总”故障信号，但均无效，故障现象依旧。难道别处还有串入 OC 信号的途径吗？

可能电路存在说不清道不明的某种干扰，但干扰的来源与起因又很难查找。用尽了一切手段，对所有故障检测电路进行了排查，甚至为故障信号输入、输出端加装了滤波元件试验，但无效果。莫非是起/停瞬间——逆变驱动模块的“加载和卸载”期间，导致了 CPU 供电的波动而跳故障吗？测量 CPU 供电为 4.98V，很稳定，满足要求呀。

该型号变频器的开关电源，有一只半可调电阻，可以调整 5V 输出电压的高低。突然地有一想法，将 4.98V 调整为 5.02V，再作起/停试验，故障竟然排除了！

试分析故障原因如下：CPU 外部或内部静态电压工作点的设置不当或偏低，恰在信号干扰电平的临界点上，故易出现让人摸不着头脑的随机性的跳 OC 故障的现象。将其 5V 供电略调高后，其内部工作点的电压（基准电压）值也相应抬高，避开了干扰电平的临界点，变频器便由“神经”变为“正常”了。

机器在出厂时，CPU 供电调整值略高一点的，机器便能长时间正常运行。调整值偏低一点的，或在使用过程中因某种原因（如元件变值、温飘等）使 5V 略有下降，便出现频繁跳 OC 的故障。在确保硬件保护电路无问题时，调整 5V 供电，便能轻易解决问题了。这个故障真算是 CPU 主板电路的一个疑难故障了。

#### 故障实例 14

阿尔法变频器跳 OC 故障的又一个原因。

一般来讲，OC 故障的来源有以下三个方面：

1) 当逆变模块运行电流超大，达额定电流的 2 倍以上时，IGBT 的管压降上升到 7V 以上时，由驱动 IC 返回过载 OC 信号，通知 CPU，实施快速停机保护。

2) 从变频器输出端的 3 只电流互感器（小功率机型有的采用两只），采集到急剧上升的异常电流后，由电压比较器（或由 CPU 内部电路）输出一个 OC 信号，通知 CPU，实施快速停机保护。

3) 当驱动 IC 或电流采样电路异常时，变频器会误报 OC 故障。

小功率机型往往采用在输出端直接串接分流电阻，来采集电流信号，经前级电路检测电

路放大处理后,由线性光耦合器隔离以运算放大器处理后输送至 CPU。其前级放大器的供电取自驱动 IC 的悬浮电源,这样当模块损坏后(或拆除后),经由逆变模块连接的供电支路断路,使得电流采样电路输出最高的负压, CPU 误认为有大电流信号,而报 OC 故障。对这种情况,变频器一上电即跳 OC 故障,致使无法检修驱动 IC 电路是否能输出六路正常触发脉冲,必须先将由电流检测电路来的过电流信号暂时解除,再对驱动电路进行检修。

另外,驱动 IC 的外围电路异常或其本身损坏,也会误报 OC 故障,因而在检修时需区分是电流采样电路还是驱动 IC 报的故障,是电路损坏误报还是模块损坏,是否真的存在过电流故障?并采取措施解除报警状态,以方便检修。

还遇到一台阿尔法变频器,上电即跳 OC 故障。将上述与 OC 故障有关的电路环节,全都细致检查了,但都未发现什么异常。当无意中检测 CN1 的 8 端子——直流回路电压检测信号端时,测得此脚电压偏高,为 4.5V(正常时应为 3V 左右),这应是一个过电压故障信号了。跳 OC 故障是不是由该路故障信号所引起的呢?人为将该脚接入 5V 可调电压试验,在上电后,变频器处于停机状态时,该脚电压值低于 2.5V 时跳欠电压故障代码,高于 3.8V 时跳 OC 故障;而在运行状态中,该脚电压高于 3.8V 时才跳 OU 故障。OC 故障竟然由过电压故障所引起!由此发现直流回路电压过高时或直流检测电路异常,是阿尔法变频器跳 OC 故障的又一个原因。

将直流电压检测电路的损坏元件换新,故障排除。

#### 故障实例 15

英威腾 INVT-G9-004T4 小功率机一例“死机”故障。

用户反映:此变频器当时并未开机,但三相电源侧的其他机器有所异常,出现短路跳闸,波及到这台机器也出现电源开关跳闸,但重合闸后,发现操作面板已无显示,故此送修。

检测:R、S、T 与主直流回路 P、N 之间呈开路现象,拆机观察,电源引入铜箔条已被电弧烧断,测模块三相电源引入端子,短路。

故障原因:因电源侧其他负载支路的瞬时短路与跳闸的扰动,导致三相电源产生了异常的电压尖峰冲击,此危险电压导致了变频器模块内的整流电路的击穿短路,短路产生的强电弧烧断了三相电源引入的铜箔条,同时引起了电源开关的保护跳闸。

测模块功率逆变部分尚正常,观察模块也无鼓出、变形现象,故采取切断模块整流部分,另外加装三相整流桥,仍利用原模块内三相逆变电路的低成本修复方案,进行修复试验。

检查:为防异常现象的发生,先切断模块逆变电路的供电;从维修电源引入 DC500V 直流电压,上电,操作面板显示 H.00,所有操作全无效,据经验判断可能有故障信号存在,变频器处于故障锁定状态,而拒绝了所有操作。于是先解除掉驱动电路返回的 OC 信号,再上电现象依旧。测量故障信号汇集处理电路(见图 7-14) U7(HC4044)的 4 脚和 6 脚的过电流信号,皆为 -0.6V 低电平(两引脚正常静态电压约为 6V),说明有过电流故障信号输入。顺电流检测电路往前查找,测电流信号输入放大 U12d 的 8 脚和 14 脚电压为 0V,正常;U13d 的 14 脚电压为 -8V,有误过流信号输出。将 R151 焊开,断开此路过电流故障信号,操作面板的所有参数设置均正常,但起/停操作无反应。

莫非还有哪路故障信号未排除,变频器仍处于保护状态中,因而拒绝起/停操作?测得

模块热报警端子电压为 3V，从电路分析，此压正常时当为 5V 左右。是否模块内三相整流电路损坏后，此电路便输出热报警信号呢？或是整流电路的损坏，导致了该电路的同时损坏，而误输出热报警信号呢？试将热报警输出的铜箔条切断后，操作面板的起/停操作也生效了！

英威腾 G9/P9 变频器的保护次序大概是这样的：上电检测到驱动电路返回的 SC 故障信号，即报出 SC 故障，所有操作被拒绝；当输出电流检测电路有 OC 过电流信号时，显示 H.00，此时所有操作被拒绝；上电检测有热报警信号时，其他大部分操作可进行（参数修改），但起动操作被拒绝。而对模块短路故障和过电流性故障，为保障运行安全，索性拒绝所有操作！但此一保护性措施，常被人误认为是程序进入了死循环，或是 CPU 外围电路故障，如复位电路、晶振电路异常等。

修复：切断三相电源铜箔条引线，并做好清洁和绝缘处理。外接三相整流电路，将其直流输出引入到 P、N 端子上；加装了热保护电路：手头有一只 75℃ 常闭触点的热继电器，串入 NPN 型晶体管基极到 5V 地回路中，用一只 10kΩ 电阻接入 5V 和基极，将晶体管射极接 5V 地，集电极接热报警电路信号输出端。模块温升正常时，晶体管无驱动电压而截止，不传送热报警信号。当模块温升异常时，热继电器常闭触点断开，晶体管得到驱动电流，饱和输出，使热报警信号输出端子电压降到 3V 以下，发送热报警停机保护信号，防止了模块的过热烧毁。

总结：故障范围大小和故障危害程度的轻重，决定了变频器接受操控的范围大小。循环解除故障信号时，则变频器的受控范围逐渐加大。

### 7.3 阿尔法变频器故障信号末级处理电路和前级逆变脉冲电路

阿尔法变频器的 CPU 主板电路中的基本电路、控制端子电路等与其他变频器电路大致相似，在此略过。但其末级故障信号处理电路和前级逆变脉冲信号处理电路与其他变频器电路有所不同，且两个电路具有直接联系——在保护动作上有密切联系，故在此独立列出，探讨一下它的工作原理和检修方法。

#### 1. 末级故障信号处理电路的原理解析

图 7-16 所示电路对驱动电路返回的 OC 故障信号、直流回路电压检测信号和从输出电流检测电路来的  $I_{in+}$ （三相正半波电流信号）、 $I_{in-}$ （三相负半波电流信号）信号进行了集中处理。然后经由 U22、U24（LM393）内部四组开路集电极输出电路，其四路输出端子并接在一起，形成了一个公共输出端。四路输入故障信号形成一个或门电路，任一路故障信号输出都使其故障公共端变为低电位，再由 U25 反相器电路输出高电位电平故障信号，送入 CPU 的 16 脚和 U21 的 11 脚（见图 7-17），供 CPU 停机保护和锁定脉冲前级电路对六路逆变脉冲的输出。由反相器 U25 的 10 脚输出的故障信号，为高电平有效，暂且将其称为“H 综合故障信号”。其中三路故障信号为过电流（OC）信号，一路为过电压（OU）信号。在上电 CPU 的工作自检过程中，“H 综合故障信号”有输出，并不区别为 OC 还是 OU，只报出一个 OC 信号，这也许阿尔法变频器上电期间，出现 OU 故障也报出 OC 故障的原因。

运算放大器 U22、U24 的供电为 +15V，而为适应 CPU 的工作电平要求，U25 反相器则采用了 +5V 供电，R138 为 U22、U24 输出端的上拉电阻。在 U22、U24 输出回路中串入 R149 的目的，是为了限制输入到 U25 的低电平（负压）值，与 U25 输入电压幅度要求相

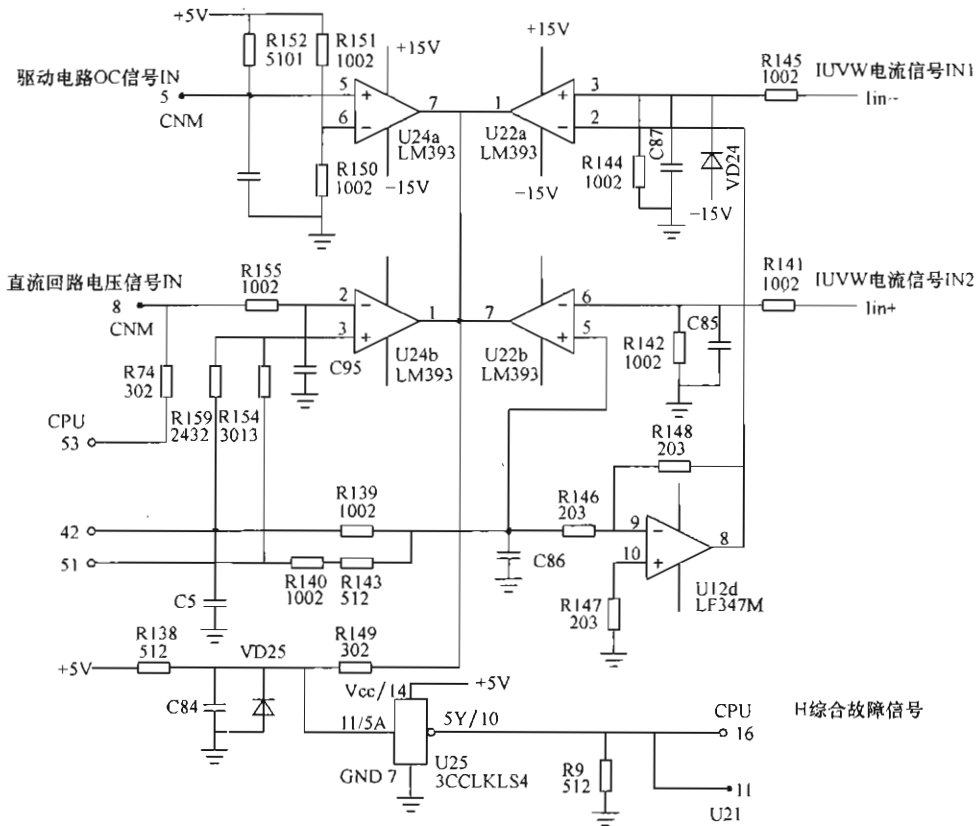


图 7-16 阿尔法变频器末级故障处理电路

匹配。

四组故障信号处理电路，其中三组为受控（可编程控制）电压比较器电路，一组为非受控电压比较器电路——OC 信号传输电路。当 OC 信号发生时，严重危及逆变功率模块的安全，故障信号直接经 U25 的 10 脚输出到 CPU 和 U21，停机没商量。

而另三路故障信号传输电路，受到 CPU 的 42、51 二路输出电平状态的影响。OU、Iin+、Iin- 三路信号的传输受 CPU 的 42、51 两脚电平状态的控制。换句话说，CPU 二引脚输出的电压值，形成了 3 个基准电压，三路输入信号是与 3 个基准压相比较，而输出故障信号的。这 3 个基准电压是可变的，也即故障保护电路的动作阈值是可变的。变频器处于不同的工作过程时，是与不同的基准电压相比较，其动作阈值是不一样的。

由图 7-16 所示电路可以分析出，此末级故障信号处理电路中，每路信号传输电路起码是有两个信号动作阈值的。即变频器起动初始阶段（如 15Hz 以内）和起动中、后期阶段、运行阶段的两个不同阈值。

（试分析）直流回路电压信号，一路经 R53 直接输入 CPU 的 45 脚，供输出控制和电压显示。一路则由 U24b 电压比较器处理后，输出故障动作信号。在起动初始阶段，有可能形成较大的起动电流，而引起直流回路的电压有所跌落，此时不宜过早报出过电压故障，以避免起动过程中不必要的停机保护，此时在内部程序控制下，CPU 的 51 脚输出高电平信号，42 脚为低电平信号，U24b 的 3 脚（动作阈值基准）电压值为 R159、R154 两电阻的分压

值, 约为 0.37V。直流回路电压为 530V 时, CNM 的 8 端子电压采样信号为 3V。按说这时候 OU 信号一直在报警状态的, 但实际上是在变频器起动的初始阶段, CPU 已经屏蔽了 OU 报警功能。当起动过程进入后半阶段和变频器进入运行阶段后, 受内部程序控制, OU 报警功能的屏蔽被解除, CPU 的 51 脚变为低电平, 而 42 脚变为高电平, R259、R154 两电阻分压得到 4.6V, 形成一个“较高的”故障信号动作阈值, 在直流回路电压上升到 780V 的危险高电压后, U24b 的输出脚变为低电平, 送出一个 OU 故障停机信号。

同理, 在起动与运行过程中, U22a、U22b 两路电压比较器, 其输入端(基准电压端)也受到 CPU 的 42、51 两脚电平状态的控制。在起动初始阶段, CPU 两输出脚的电平状态为 51 脚 +5V 高电平, 42 脚 0V 低电平, 由 R140、14、R139 分压得到一个“较低的 2V”电压值, 此电压设定值对应额定电流的约 100%, 一路直接加到 U22b 的 5 脚同相输入端, 与输入三相电流信号的正半波信号相比较, 在输入  $I_{in+}$  信号电压大于同相端基准电压值时, U22 的输出脚变为低电平, 经 U25 将故障信号送入 CPU, 变频器停机保护。R140、14、R139 分压值又同时送入由 U12dA 及附属元件构成的 1:1 反相器, 处理成负的基准电压送入 U22a 的 2 脚反相输入端, 与同相端输入的  $I_{in-}$  三相负半波信号相比较, 在  $I_{in-}$  信号达到一定幅度后, 也报出故障动作信号。U22a、U22b 两组放大器, 实质上构成了窗口电压比较器, 对  $I_{in+}$ 、 $I_{in-}$  两个电流信号同时进行比较输出, 三相输出电流无论在正半波或负半波期间, 若有异常电流发生, 均实施停机保护措施。

进入起动过程的后半阶段和运行阶段后, CPU 的 42 脚、53 脚的电平状态反转, U22a、U22b 两组电压比较器得到一个“较高的正(负) 3V (-3V)”的基准电压值, 此值对应额定电流的 150%, 在  $I_{in+}$ 、 $I_{in-}$  两个电流信号达到异常大的值后, 电路才输入故障动作信号。

在起动的初始阶段(在 15Hz 以内), 为维持较小的转差率, 避免过大的起动电流, 应将起动电流维持于额定电流的 80% 以内。此时起动电流过大的情况有: 电动机堵转、负载过重造成过电流; 电动机可能有接地故障造成过电流。故此阶段内, 起动电流虽小于额定电流, 但也应该停机保护。

在起动的后半阶段和运行期间, 运行电流超过额定电流的 150%, 也应该实施停机保护了。两个阶段所报的 OC 故障, 其报警动作阈值是相差很大的。由 CPU 的输出电压控制 U22a、U22b 两组电压比较器的基准电压, 能使同一个电路完成两种故障的检测功能, 分别完成起动初始阶段和起动后半阶段(运行阶段)的两个 OC 信号报警任务。

当然, 直流回路的电压采样信号——模拟电压信号也同时送入 CPU 的 16 脚。三相输出电流检测信号——模拟电流信号, 也输入到 CPU 的相关引脚。CPU 在接受开关量信号的同时, 也在检测和处理电流、电压检测电路输入的模拟信号, 并由开关量信号和电压、电流模拟信号相比较, 而区别报出 OL、OC、OE、 $U_u$ 、OU 等故障。

## 2. 逆变脉冲前级电路的原理解析

从 U25 反相器 10 脚输出的“H 综合故障信号”, 也同时送入 U21 (47A490K LS74A) 11 脚时钟脉冲输入端, 如图 7-17 所示。U21 为双 D 型正沿触发器(带预置和清除端), 内含两个独立的 D 型上升沿触发器, 每个触发器有数据输入 D、置位输入 SD, 复位输入 RD、时钟输入 CP 和数据输出 Q。SD、RD 为低电平有效, 两者的低电平使输出数据被预置或清除, 而与其他输入端的电平无关; SD、RD 均为无效高电平时, D 数据在 CP 上升沿作用下



传送到输出端。更详尽的电路原理请参见相关数字电路的技术书籍。

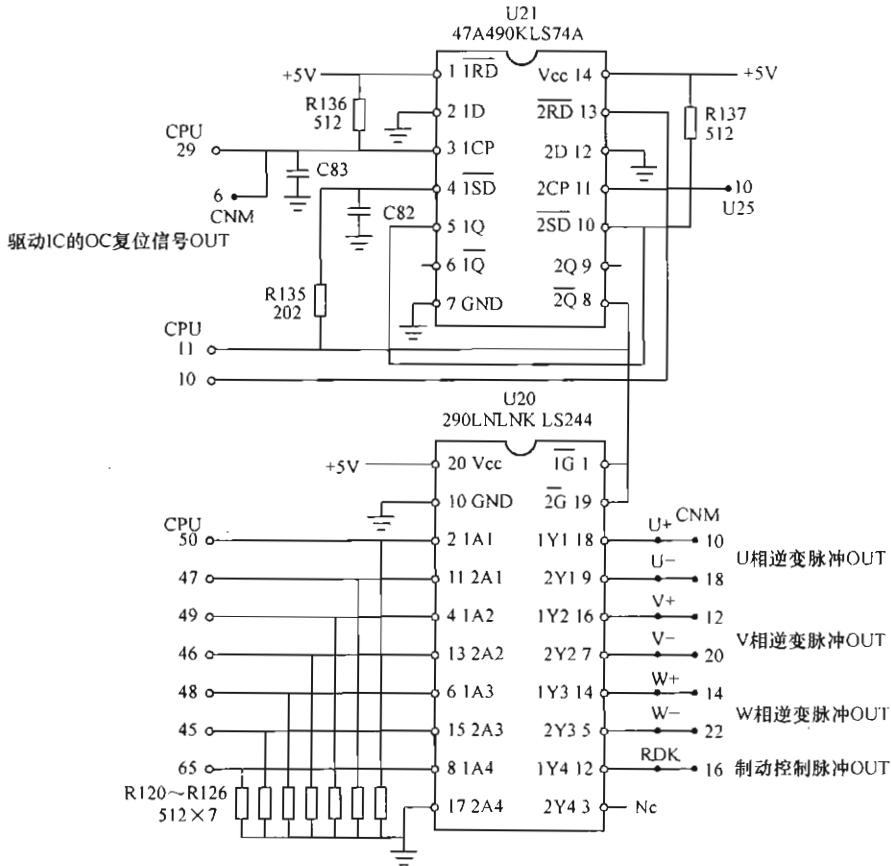


图 7-17 阿尔法变频器逆变脉冲前级电路

U20 (290LNLNKLS244) 八缓冲器/线驱动器/线接收器，担任对 CPU 的 PWM 逆变脉冲输出信号的传输任务，连接于 CPU 和驱动电路之间，被看作是驱动脉冲前级电路。U21 为输出受控电路，输出脚状态取决于 1G、2G 两脚的电平状态，当 1G、2G 两脚为 H 电平时，Y 为高阻抗；当 1G、2G 两脚为 L 电平时，Y = A。在 U20 的 1 脚和 19 脚为低电平时，U21 处于通态，将 CPU 的 45 ~ 50、65 脚的 PWM 脉冲信号传输至后级驱动电路，逆变工作电路处于正常工作状态。

本电路中，将 U21 的左侧（1 ~ 6 脚内电路）看作是左触发器，右侧（8 ~ 13 脚内电路）看作为右触发器。CPU 的 10 脚输出的控制信号加到右触发器的复位端，并由右触发器的输出状态进而控制左触发器的工作状态。触发器输出 Q 端的电平状态（在 D 端已为 0V 低电平状态下）取决于 CP、RD、SD 三脚电平的组合状态，而两个触发器的 Q 端也为一个受控（受控于 CPU）输出端。

U21 内部两个 D 型触发器在 CPU 控制信号和“H 综合故障信号”作用下，完成着两个作用：在“H 综合故障信号”产生时，使 U21 的 1 脚和 19 脚变为低电平，锁定逆变脉冲传输电路，起到对功率模块的保护作用；在 CPU 的复位信号控制下，将 U21 的 1 脚和 19 脚恢复为高电平，解除其故障锁定状态。

U21 两个触发器的数据端都已接地，强制为 0 电平（0 数据）。待机及正常运行状态下，CPU 两 10 脚为 H 电平状态，置位信号输入端由 R137 上拉为高电平，U21 右侧触发器的输出端 8 脚为低电平，U20 脉冲传输通路被“打开”。在 RD、SD 两脚电平状态不变（均为 H）情况下，“H 综合故障信号”的输入，在 U21 右触发器的 CP 时钟信号输入端形成了一个脉冲上升沿信号，D 端的“0 数据”被传输到 8 脚（互补输出脚）变为高电平信号，继之引发了 8 脚输出电压在 CUP 输出信号和左侧触发器控制下的一个“正反馈过程”，8 脚电压被“保持”在高电平状态，U20 逆变脉冲传输通路被“关闭”。

按操作面板上的复位键或从 RET 控制端子输入故障复位信号，令 CPU 的 29、10 脚同时输出 L 电平信号——故障复位信号。29 脚 L 电平信号，经 CNM 端子的 6 脚，实施对驱动电路 OC 故障锁定状态的复位（解除），10 脚 L 电平信号，则对 U21 右侧触发器进行复位，令 8 脚变为低电平。29 脚复位脉冲的中止（由 L 电平变为 H 电平时），恰巧又给 3 脚输入了一个上升沿脉冲，电路动态控制结果，使 U21 的 8 脚电平，被“保持”在低电平时，U20 逆变脉冲传输通路重新被“打开”。

#### 故障实例 1

一台阿尔法变频器，上电后，跳 OC 故障，查驱动电路与三相电流检测电路，都无异常。当检查故障末级电路时，手感 U24（8 脚贴片 IC：LM393）有温升，测输出脚电压为 -8.5V，判断为 U24 不良，更换后故障排除。

#### 故障实例 2

一台阿尔法变频器，出现三相输出电压时有时无的故障，但并不报出故障。检测驱动电路输入的六路逆变输入脉冲，时有时无。判断逆变脉冲前级电路 U20 六缓冲/接收器不良，更换后故障依旧。测量 U20 的 1 脚和 19 脚，为低电平时，三相电压输出正常，为高电平时，无输出。

该脚电平状态由 U21 的 8 脚输出的故障动作信号控制，但检查末级故障信号处理电压 U22、U24 的工作状态正常，并无故障信号送出。检测 U21 的各引脚电压，发现 CPU 的 10 脚和 11 脚电压有不规则变化。U21 受此电压控制，8 脚电压出现高、低电平变化，将 U20 的逆变脉冲传输通道一会儿打开一会儿关闭，出现三相输出电压时有时无的故障。

先代换了 U21，故障依旧，难道是 CPU 不良吗？想到以前修过因 5V 供电造成该类机器误报 OC 故障的例子，CPU10、11 脚输出电压的不规则变化，是否也与 5V 供电有关系呢？

轻调开关电源振荡板上的 RP1 电位器，同时监测 5V 输出电压，当此电压调整为 5.2V。U、V、W 3 个端子电压稳定输出，故障排除。

#### 故障实例 3

一台阿尔法故障变频器，上电后，操作显示均正常，起动后，操作显示面板有输出频率指示。但测量三相输出端子，无三相逆变电压输出。顺逆变脉冲回路检查，当检查到 U20 逆变脉冲前级电路时，测量 U20 的 1 脚和 19 脚为 5V 高电平，说明 U20 内部脉冲传输通路被关闭，导致逆变电路不工作。因无故障信号报出，估计各故障检测电路都没问题，可能为 U21 及外围电路有故障，或 CPU 控制信号有问题。因用户生产上不能长时间停机，维修只能在以后工休时进行。故将 U20 的 1 脚和 19 脚与 U21 的 8 脚连接铜箔条切断，将 U20 的 1 脚和 19 脚直接与 U20 的 10 脚（供电地）短接，强制“开通”U20 的脉冲传输通道，三相输出电压正常。

在此应急处理情况下，相对本机电路来说，驱动电路本身有 IGBT 保护电路，各电流、电压检测电路也在正常工作中，对正常运行应该说（似乎）影响不大。

但“应急修理”只是做为一种非常情况下的非常规手段，正常检修下还是应该查出所有的故障根源，并排除之。

“应急修理”方法仅供参考，本人并不提倡。应急修理牵扯到各方面的情况，处理不当会造成功率模块损坏的重大损失。应急修理应在有较大把握的前提下进行。

## 7.4 CPU 损坏后的修复

CPU（单片机）芯片本身的故障率极低，在数百台次的变频器维修过程中，碰到 CPU 芯片本身损坏的，仅有几例。但 CPU 芯片一坏，却很麻烦，更换整个 CPU 主板，造价不菲；从厂家邮购芯片，也非易事，厂家不一定单卖。

那么 CPU 坏了，能否对其实施修复呢？答案是：在一定条件下，是可以修复的。CPU 局部功能的损坏，局部引脚内电路的损坏，是可以采取变通手段，进行修复的。

修复的前提条件：CPU 的大部分功能正常，出现局部功能失常，个别引脚内电路损坏。

**修复方法：**

1) 增设外电路，由外电路完成功能控制。脱开原功能引脚，另加设或改装控制电路，完成原有的控制功能。

2) 配合参数设置，将甲引脚功能“移置”到乙引脚上，由乙引脚“代行职责”。

3) 损坏引脚处于“半好不坏”状态，增设引脚外电路，对该引脚进行“修补式”修复。

下面由几个故障实例说明一下上述 3 种修复方法。

### 故障实例 1

一台英威腾变频器 G9/P9 机型 18kW 变频器，运行中跳欠电压故障，上电检查，未听到充电接触器吸合声。检测充电接触器的线圈供电回路，也无异常。充电接触器线圈的得电，由控制继电器 RELAY1 控制，检查充电接触器控制电路，未见异常，上电期间测量 CPU（U3: S87C196MH）的 64 脚，无高电平控制信号输出。

机器故障：为 CPU 的 64 脚内电路损坏，但其他功能都正常，若因此换用 CPU 主板，未免可惜了。联想到其他变频器的充电接触器控制，是在直流回路的储能电容上建立起一定的电压后，开关电源起振后，由开关电源的 24V 直接为控制继电器 RELAY1 供电，控制充电接触器吸合的。

应急修理：将图 7-18 中充电控制开关管 VT1 的集、射极短接，由开关电源的 24V 直接

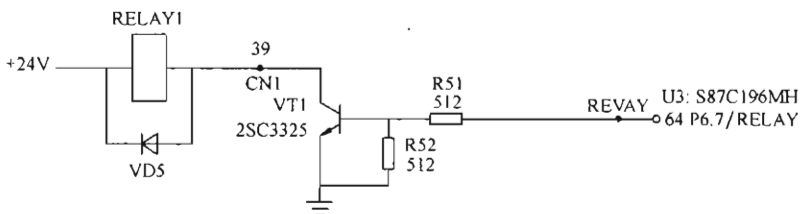


图 7-18 英威腾变频器 G9/P9 机型 37kW 变频器充电接触器控制电路

为控制继电器线圈供电，完成对充电接触器的控制。上电试机，故障排除。

该例故障修复，是运用了第一种修复方法，甩开原引脚控制，将相关控制电路进行改装，以完成原有控制功能。

### 故障实例 2

英威腾变频器 G9/P9 机型 5.5kW 变频器，用户用控制端子 S1 控制电动机正转，用 S2 端子控制电动机反转。但变频器出现只能正转不能反转的故障。控制端子电路请参考图 7-10。

检查：先调看控制端子的设置参数，S1 ~ S6 的设置均为出厂设置；再检查 S2 端子内部光耦合器等电路，未有异常。S2 端子信号经光耦合器隔离进入 CPU 的 20 脚。当短接或开路 S2 端时，CPU 的 20 脚出现相应的 0/5V 电压变化，说明端子电路是好的，但是 CPU 不能接受反转控制信号。故障可能为 CPU 的 20 脚内电路损坏。

变通修复：发现 S3 ~ S6 端子皆空置，未被用户采用。调出功能码 4-08，将赋值改写为 1：反转控制，将 S3 端子线并接到 S2 端子线上。用户的原控制接线不变，则 S2 端子又能实现反转控制功能了。

该例故障修复，是运用了第二种修复方法，将甲引脚功能“移置”到乙引脚上，由乙引脚“代行职责”，悄无声息地完成对变频器反转的控制功能。

这是调整控制参数来修复变频器的又一例证。

### 故障实例 3

一台阿尔法变频器，用户反映运行中电动机有跳动现象。上电检测，三相输出电压严重不平衡。

检查驱动电路的静态电压都正常，CPU 接受起动信号后，驱动电路少了一路（V+）逆变脉冲。判断故障出在前级逆变脉冲电路（见图 7-17 前级脉冲电路）。

测量 U20（290LNLNKLS244）的 16 脚，一直为 0 电平，无逆变脉冲信号输出，继而测量其 4 脚输入电压，有 0V 和 1.2V 的变化，说明 CPU 的 49 脚已有了脉冲信号输出，但幅度严重不足，不能达到 U20 输入的“门限电平”，致使 U20 无逆变脉冲输出。此脉冲电压的幅度过低，有两个原因：一是 U20 输入脚内电路损坏，将 CPU 输出的逆变脉冲电压拉低；二是 CPU 的 PWM 输出脚内电路不良，导致输出脉冲过低。切断 CPU 的 49 脚与 U20 的 4 脚铜箔条，测量 CPU 的 49 脚输出电压略有上升，但仍低于 2V 以下，故障原因为 CPU 引脚内电路损坏。

一下子犯了愁，原以为是逆变电路或脉冲前级电路的故障，但 CPU 一坏，可就难办了。想到 CPU 的引脚内电路虽坏，但仍有信号电压的变化，只不过其电压幅度不能满足要求罢了。能否利用此 0 ~ 1.8V 的电压变化，外加放大电路，将此电压放大到一定幅度，从而将该故障修复呢？不妨试一下呀。

将铜箔条从 a 点切断（见图 7-19），加装点划线框内的晶体管两级倒相电路，在正的有效脉冲电压输出期间，晶体管 C9013 的导通，提供了 C9012 的正向基极偏流，C9012 的饱和导通，将 5V 高电平加到 U20 的 4 脚。将 CPU 输出信号放大到 0 ~ 5V 的电压幅度，再输入 U20 的 4 脚。

改装完毕，上电试机，故障竟然彻底排除了！3 只电阻和两只晶体管，抢救了一块 CPU 主板啊。

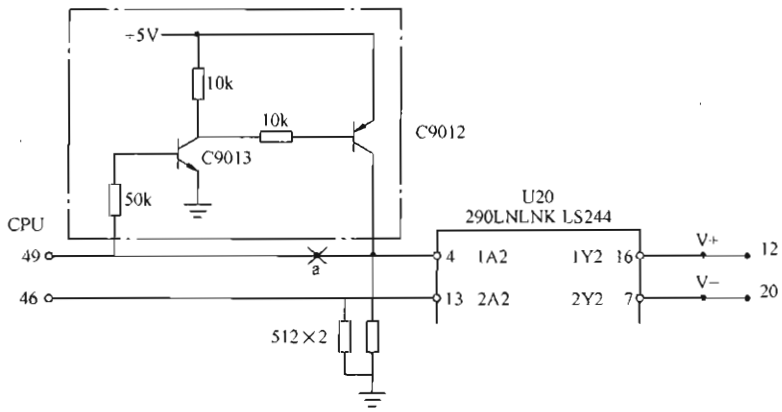


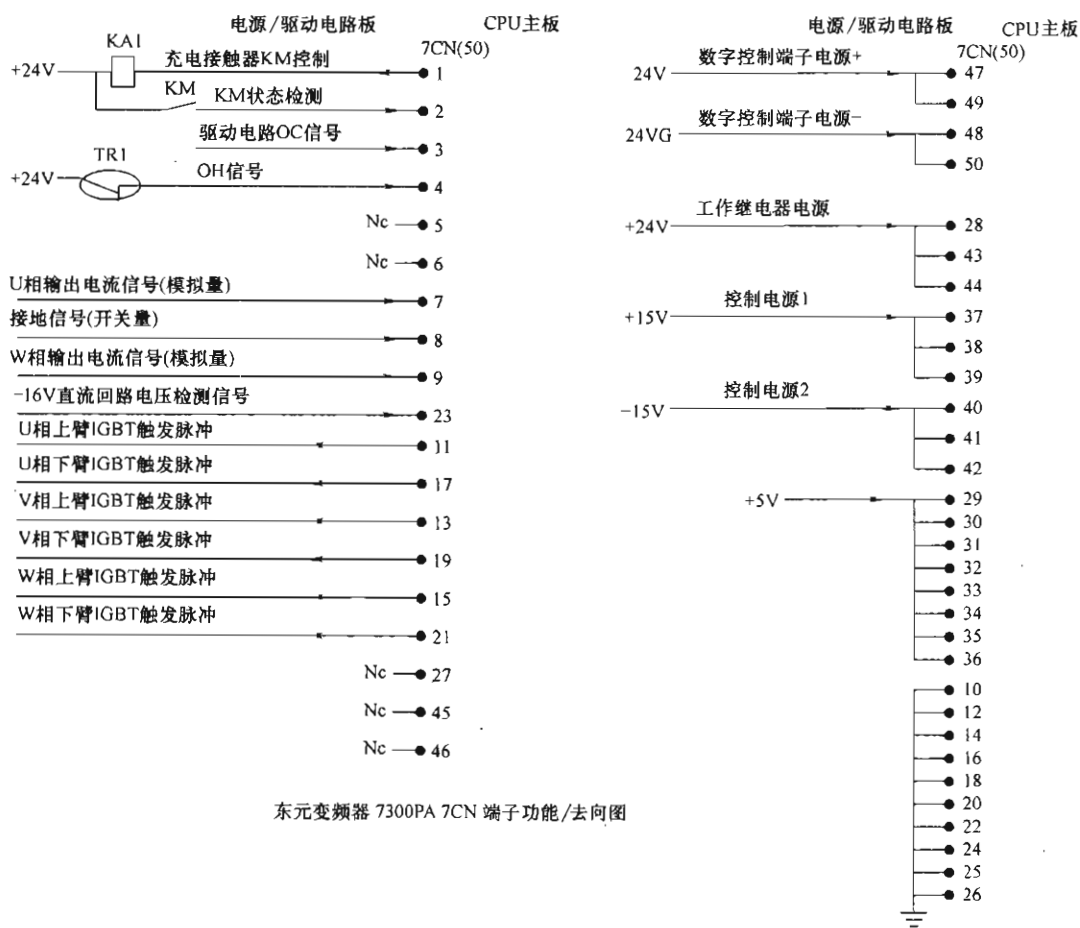
图 7-19 阿尔法 11kW 变频器 CPU 的 PWM 输出脚损坏应急修复电路

## 第 8 章 变频器检修的系统方法论述

### 8.1 掌握排线端子信号来源的好处

如果是经常维修某一种或几种品牌的变频器，手头应该有其 CPU 主板与电源/驱动电路板连接排线的端子图，有了它，检修工效会大为提高。笔者在维修工作中，测绘所得 3 种变频器的 CPU 主板的排线端子图，不敢自秘，在此与读者分享。

图 8-1 为东元 7300PA 变频器主板排线端子 7CN 功能/去向图，该机型变频器，CPU 主板的通用性极佳，从 22~300kW 的，可互为代换，只需调整“变频器容量”这一个参数就可以了。就是说，该品牌变频器，因功率级别不同，除电源/驱动板有差别外，其实用的是同一块 CPU 主板，故本张端子图在检修中可以“大小通吃”了。



东元变频器 7300PA 7CN 端子功能/去向图

图 8-1 东元 7300PA 变频器主板排线端子 7CN 功能/去向图

利用端子图：

1) 对输入、输出控制信号的检查。大多为开关量信号，高、低电平值非常明显。如充电接触器、温度传感器的检测信号 2、4 端子，正常时端子电压为 24V，异常时为 0V。六路脉冲信号端子静态（起动/停止）电压值明显；输出电流检测信号虽为模拟量，但静态和空载时，应为 0V，一般满载时为 2V 左右。

2) 可以在端子上“施展拳脚”，如模块过热故障，可试将 4 端子与 28 脚短接，若故障消失，则为 2 端子外接温度继电器（传感器）不良，则故障仍在，说明故障在后续温度信号处理电路不良。

如从 10 端子和 29 端子之间接入电位器，将其中心臂接入输出电流检测端（7 或 9 端子），可模拟带载试验，检查后级电流检测电路是否正常。

如果某模拟信号只偏离正常值（还能起作用），正常供电下误报“过电压”故障，可在 23 端子采用并、串电阻方法，使其电压值回落到正常检测值以内，予以应急修复。

#### 故障实例 1

一台东元 300kW7300PA 变频器，操作显示面板有输出频率显示，但 U、V、W 端子无三相电压输出。将逆变电路的供电脱开后，上电测量 7CN 端子的 11、13、15、17、19、21 脚六路脉冲信号都正常，判断故障出在电源/驱动电路板的脉冲后级信号电路上，从此 6 个端子往下检查，很快查到为 U12（MC14069）不良，更换后故障排除。

#### 故障实例 2

一台东元 300kW7300PA 变频器，上电后，报“直流回路欠电压”故障，不能起动运行。测量排线端子 7CN 的 23 端子直流回路电压检测信号正常。测量 2 端子在上电后，一直为低电平，说明充电接触器辅助触点没有闭合，CPU 检测到充电接触器未闭合，故报出欠电压故障。

试将 2 端子与 28 端子短接，运行正常。

顺 2 端子往电源/驱动电路板检查，查出继电器 KA1 常开触点串接于 2 端子回路中，KA1 触点接触不良，更换 KA1，故障排除。

#### 故障实例 3

一台东元 7300PA37kW 变频器，上电即报 OC 故障，从端子检测电流检测到电路的供电端子 40、41、42 的 -15V 变为 0V。因供电失常，造成电流检测电路输出偏移，报出 OC 故障。检查开关电源 -15V 整流二极管开路，更换后故障排除。

上述 3 例故障，因有 7CN 端子图引导，在很短的时间内，就迅速准确在查找到故障所在，高效率地排除了故障。

图 8-2 是阿尔法变频器的 CPU 主板 CNM 排线端子图，共 24 线。虽然该机型 CPU 主板不能代换（因过载保护等参数是固化的，不能修改相关参数值，且 CPU 主板电路也有所差异），但 CNM 端子却是一样的，因而 CNM 端子功能/去向图作为一个检修上的“向导”，还是很有价值的。

#### 故障实例 4

一台阿尔法 ALPHA2000 型 15kW 变频器，一起动，即跳欠电压故障，上电时未听到充电接触器吸合声。检测 CNM 端子 1，一直为 24V 高电平，说明充电继电器控制电路故障，从端子 1 往 CPU 主板上查，判断为 CPU 控制引脚内电路损坏。

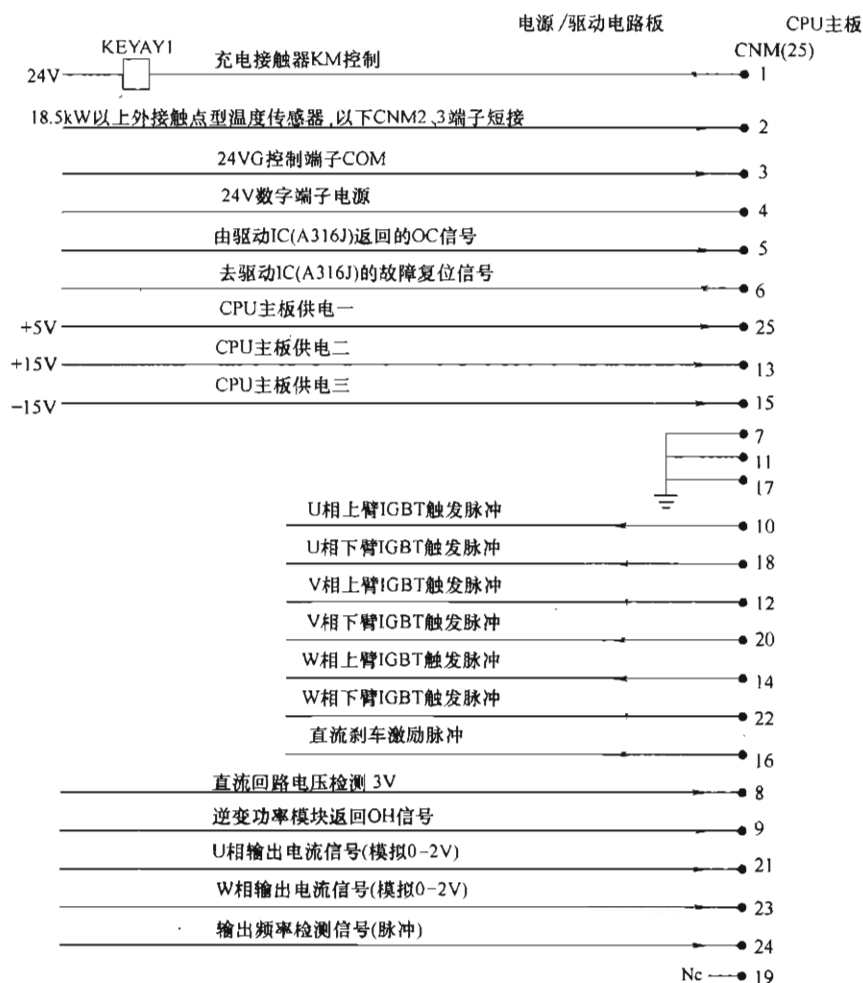


图 8-2 阿尔法 ALPHA2000 中、小功率机型变频器 CNM 主板排线端子功能/去向图

**应急修复:** 将端子 1 与端子 7 短接, 在开关电源起振后, 强行使充电继电器得电吸合, 故障排除。

#### 故障实例 5

一台阿尔法 ALPHA2000 型 18.5kW 变频器, 负载率 50% 以内, 但现场供电波动大, 低时到 320V。变频器跳欠电压故障, 经销商及用户都要求采取措施, 使变频器运行起来。将 CNM 端子 8 的排线挑断, 从 25、7 端子间接入 4.7k $\Omega$  电位器, 中心臂接入 8 端子, 调整为 3V 固定电压。

变频器不再跳欠电压故障, 正常运行 (此一应急手段, 具体应用, 一定要慎重为之!)

检修速度快, 有个妙招, 绘出一张主板排线端子图。将端子序列号、端子信号的来龙去脉都标注清楚, 如能将各端子的动、静态电压值再标注出, 当然也就更理想了。好在开关量信号为多, 比较易于检测和判断的。模拟量信号, 动、静态也有明显差异, 是比较易于检测的。



图 8-3 为英威腾 G8/P9 中功率机型变频器主板 CN1 端子的功能/去向图, 对于 3、7、8、9 端子, 为厂家设定端子, 除代换 CPU 主板时, 对照一下其端子短接状态, 对于检修, 没什么用处, 不要管它。CPU 主板有常规用的 5 路供电, 有的变频器, 有两路 24V 电源, 一为控制继电器线圈的供电, 一为控制子电源。端子中的电源引入, 占用了大部分端子, 六路逆变脉冲, 有的还有一路直流制动脉冲, 又占用了部分端子, 其他就是各种输入/输出、开关量/模拟量信号端子了。我们需注意和经常检测的是这第三类端子, 检查某个电路时, 也可以将这类端子的电(平)压状态人为变动一下, 看相应电路有否反应。观察或测量相应电路的正常或异常反应, 即能明确判断出该电路的好坏来。

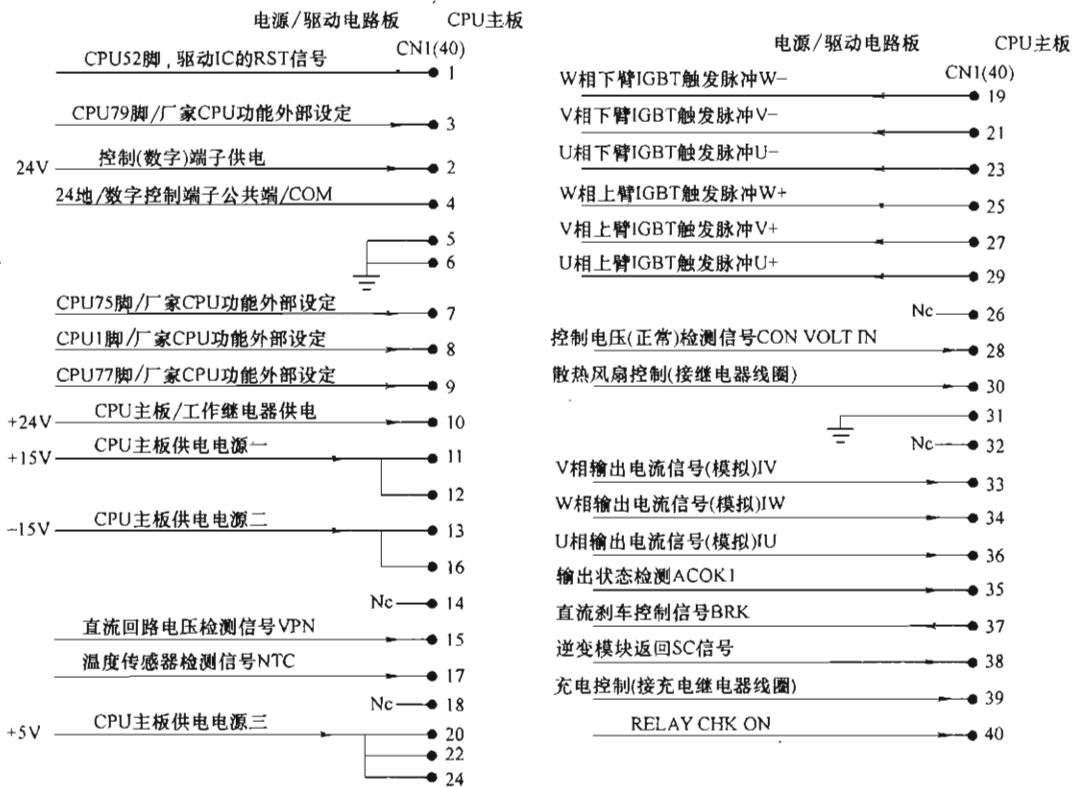


图 8-3 英威腾 G8/P9 中功率机型变频器主板 CN1 端子功能/去向图

### 故障实例 6

一台英威腾 G9/P9 型 5.5kW 变频器, 输出三相电压不平衡, 将逆变供电脱开后, 送入起动信号, 检测 CN1 端子 19、21、23、25、27、29 六个脉冲信号端子, 发现 21 端子为一固定电压, 动、静态无变化, 判断故障在脉冲前级电路或 CPU 的 PWM 脉冲输出脚。

检查逆变脉冲前级电路 U4 (LS07), 输入端六路逆变脉冲正常, 输出脚 8 脚无信号电压输出。更换 U4, 故障排除。

### 故障实例 7

一台英威腾 G9/P9 型 5.5kW 变频器, 运行中报欠电压故障, 检测 CN1 端子 39 为低电平, 说明 CPU 已输出充电继电器闭合信号, 查充电继电器, 已经更换过, 线圈焊点虚焊,

补焊后故障排除。

## 8.2 OC 故障信号的来源和实质

本节深入论证一下 OC 信号的来源和实质，进而拓展我们的检修思路。

OC 故障在变频器的所有故障中出现的频率是最高的。在起动过程中报警，在运行中报警，以至于上电即警示，还甚至以其他故障代码或现象间接地告知你：该台变频器存在 OC 类的故障！

在变频器说明书中对 OC 故障的说明为 OC：过电流故障；SC：短路故障。英威腾变频器，会区别报出两个故障，而其他变频器，并不加以区别，则只报出一个 OC 故障。OL1、OL2、OC 都属于过电流故障，前两者为轻度过电流信号，但 OC 为重度过电流信号，故障发生时需要最快的保护速度。说明书中，对 OC 故障大致有以下几种解释：负载侧短路，运行电流大于两倍以上时跳 OC 故障。有的变频器不报 OC 故障，报出中文提示：变频器输出模块短路，变频器输出端短路，变频器过电流等。变频器 OC 故障的具体故障原因是：负载过重；加、减速时间太短；逆变模块损坏；驱动电路损坏等。

有的变频器并不告知你故障的类别，当有 OC 故障存在，开机会造成更大的危险时，则索性造成类似程序死机的表面现象，如英威腾的 P9/G9 系列机型，当开机检测到模块故障时，操作面板便出现 H: 00 字符，所有按键操作均被拒绝。不明内里的人会以为：程序死机了，是 CPU 主板出了问题。

还有的变频器则更为有趣，当别的故障原因（如过电压）会导致运行中的模块损坏时，或者说在此故障状态下模块运行具有潜在的危险时，即在停机状态，也会警示 OC 故障。如阿尔法 ALPHA2000 型机器，当直流回路电压检测电路损坏，CPU 检测到危险的（高）电源电压信号时，好像来不及报过电压故障了，直接报 OC 故障得了，免得使用者对电源电压过高的提示不在意，或者运行即可导致逆变模块损坏！

一台台安 N2 型小功率机型，上电即跳 UL 或 UU 故障，拒绝操作。检查三相电流互感器的信号，三路信号有严重偏差，起码是已经坏掉了两只。但查该说明书的故障代码表，无此两种故障代码，猜测这种代码是厂方维修人员才能破解的密码，不足为外人道的。是否也为间接地提示 OC 故障呢？

变频器电路（程序）设计者的初衷是这样的：当上电检测模块已坏掉，或运行中出现危及模块安全的因素甚至模块已损坏时，会及时报出 OC 故障。其起因大致是负载侧短路或过重负载导致了严重过电流，或变频器因驱动不良或模块本身损坏造成了过电流甚至短路现象，必须快速实施停机保护措施！

综上所述，OC 故障预警的实质是：快速停机保护模块，或运行有短路危险，或模块已经坏掉！不允许再开机运行。从保护上讲，模块在变频器的“价值比重”如同显像管、液晶屏在彩电中的价值，是不言而喻的。就产生 OC 故障后强制运行的危险性而言，轻者有可能损坏模块，重者则有可能使设备爆炸造成严重的人身伤害！所以设计人员对模块故障不能不做第一位的考虑！

撇开检测电路损坏误报的 OC 故障不说，还有的变频器无“故障”，仅仅是电源电压有稍许难以意料的偏差，或是某种干扰，也会频报 OC 故障，而这种故障检修起来，就更是不可

能从一般意义上 OC 故障成因着手,来进行检修了。不“讲理”地报 OC 故障,也应该以“不讲理”的思维方式,来破解 OC 故障背后的秘密。

大部分变频器是在启动信号投入时,跳 OC 信号,此种情况往往是模块并没有损坏,而只是驱动电路存在异常使 IGBT 不能被良好驱动。有的是上电即跳 OC 信号,则可能是模块或驱动电路本身故障,输出电路检测电路本身故障,或者是具有其他运行会危及模块安全的因素(如过电压),当具有这种因素存在时,有的变频器处理的措施是:操作显示面板能调看和修改参数,但不能进行运行操作,有的则是干脆拒绝所有操作,全面罢工算了。

而在运行中报 OC 信号,则有以下 3 种可能:

1) 属于负载方面的异常:启动、运行、过程中都有可能报 OC 故障,一般为负载过重、负载有堵转现象、变频器功率容量不足等。

2) 用户对变频器的运行参数调节不当,如对恒转矩负载错误设置为二次递减转矩负载,加、减速时间设置不当,尤其是对大惯性负载加、减速时间的设置;或者是对停机方式的处理不当。更有甚者,是对保护参数的误设,如对变频器或电动机额定电流参数的误设(保护动作值小于额定电流值),使设备在额定电流以下竟出现频繁的过电流报警停机,不能投入运行!

3) 属于变频器本身的故障原因,往往为驱动电路的电源供电电容失效造成驱动能力不足,使 CPU 接收到由驱动电路内部 IGBT 管压降检测电路报出的 OC 信号。

但三方面的原因可归纳为一点:运行状态中有严重过电流的情况发生,因而报出 OC 信号!

一般来讲,OC 故障的来源有以下 4 个方面:

1) 当逆变模块运行电流超大,达额定电流的 2 倍以上时,IGBT 的管压降上升到 7V 以上,由驱动 IC 返回 OC 过电流信号,通知 CPU,实施快速停机保护。此 OC 故障信号在启动和运行过程中报出。

2) 从变频器输出端的 3 只电流互感器(小功率机型有的采用两只),采集到急剧上升的异常电流后,由电压比较器(或由 CPU 内部电路)输出一个 OC 信号,通知 CPU,实施快速停机保护。此故障信号在停机、启动或运行状态都有可能报出。停机状态下,当然没有输出电流信号,只能是电流检测电路本身故障,向 CPU 误报了一个“过电流信号”。

3) IGBT 已有或正在发生了短路性和开路性损坏,或 IGBT 性能不良导通内阻增大。由驱动 IC 检测到“极其异常的”管压降,当然 IGBT 开路时,C、E 极间会出现高达 500V 以上的管压降了。此 OC 故障在启动过程中报出。

4) 驱动电路不良,使 IGBT 不能被良好驱动,形成异常的管压降,驱动电路报出 OC 故障,此故障在启动过程中报出。

上述第 4 个方面,其危害程度最大,可能导致逆变模块的炸裂。分析如下:

驱动 IC 虽未损坏,但驱动电路的异常导致了模块异常的工作状态,驱动电路在此时报出 OC 信号,不但不算误报,而且是非常及时的。驱动 IC 的供电常采用正负双电源的方式,其正电压提供 IGBT 导通的激励电流。其负电压为 IGBT 的截止提供助力,强制拉出 IGBT 结电容的电荷,使其更为可靠和快速地截止。当正电压滤波电容(往往采用 47 $\mu$ F 或 100 $\mu$ F 电容,大功率机型也有采用 330 $\mu$ F 的)的容量大为减小时,IGBT 因激励不足,即使运行在额定电流以下,也呈现较大的管压降,经检测电路处理,CPU 报出 OC 故障。此际的故障表现

为：变频器空载或带有极轻负载时，运行正常，稍微加载即报 OC 故障。

如果说正电压滤波电容的失效会导致 IGBT 的激励不足，而促使驱动 IC 报出 OC 故障，IGBT 尚不存在较大危险的话，那么负电压滤波电容的失效，则就危险得多了。在某一相上臂管子开通的同时，会将主回路正电压跳变到下管的 C 极上，如果负压钳位不足（或负压回路断路），管子的结电容瞬时吸入电流有可能造成下臂管子的误导通，其后果是两只共通的管子对 530V 直流电源造成了短路！在此种情况下模块极易炸裂！当触发端子开路，IGBT 的触发端子开路时，危害则更为直接，接受起动信号，模块非炸了不可。

上述都是报 OC 故障的“显现象”，还有报 OC 故障的“隐现象”和似是而非的报 OC 现象，往往不被人注意。如下 3 例：

1) 检修一台阿尔法变频器，CNN1 端子的第 8 脚为主回路直流电压检测信号输出脚，正常时应为 3V 左右，当因电路损坏造成 4V 以上的“信号输出”（相当于三相交流输入电压达 700V 以上了）时，CPU 认为危及模块运行的安全了，于是不报过电压故障，而是上电即警示 OC，以引起用户的注意。

这个 OC 实质上是 OU 过电压故障，以 OU 代 OC，出于软件设计者的考虑（和硬件电路结构所限），只在上电瞬间报出。运行中报出的 OC 和 OU，则恢复本来面目。

2) 在对阿尔法小功率变频器维修的过程中，发现该变频器有一个通病——容易跳 OC 故障。其表现为：多在起、停操作过程中跳故障，但有时也在运行中跳故障；有时候莫名其妙地又好了，能运行长短不一的一段时间。空载时用表笔测量 U、V、W 输出电压时，易跳故障，但接入电动机后起动运行，又不跳了，再过一阵子，接入电动机还是跳 OC 故障。

最后查出故障原因竟然为 5V 供电偏低！CPU 误报 OC 故障。OC 故障和 5V 供电高低扯上了关系，实在是少见啊。

3) 修理一台英威腾 P9 型机器时，检查发现：上电，操作面板显示 H.00，所有操作全无效，CPU 拒绝所有操作。测量故障信号汇集处理电路 U7（HC4044）的 4 脚和 6 脚的过电流信号，皆为负电压，而正常时静态应为 6V 正电压。顺电流检测电路往前查找，测电流信号输入放大 U12d 的 8 脚和 14 脚为 0V，正常；U13d 的 14 脚为 -8V，有误过电流信号输出。将 R151 焊开，断开此路过电流故障信号，操作面板的所有参数设置均正常。故障原因为上电后检测到有过电流信号，于是拒绝所有操作，出现“程序卡住”现象。

该机型以“程序卡住”、拒绝操作的方式，提示变频器有 OC 故障存在！

从上文看来，好多电路和好多方面的原因都能使变频器报出 OC 故障，但哪个故障检测电路所报的 OC 信号更具有优先权呢？就故障检测电路来说，故障示警有没有预警层次呢？从保护角度而言，数方面的因素只要是危及了模块的安全，都会报出 OC 故障，但在“报警行为”实施过程中，也可以看出一些预警层次。

1) 驱动 IC 返回的 OC 信号是第一位的，如从 J316 的 6 脚、PC929 的 11 脚、IPM 模块的 OC 信号检出脚报出的信号。因是直接检测模块状态的，所以只要 CPU 接收信号，CPU 立即封锁三相触发脉冲的输出，报出 OC 信号。

2) 由三相输出电流互感器报出的 OC 信号。此信号的报出有一个梯级过程：当有过电流现象发生时，对轻度过电流，经长延时处理和降低频率等处理后，报过电流但不会报 OC。对中度过电流，经较短时间延时和其他处理无效后，报过电流，仍不报 OC。只有出现变化剧烈且幅值极大的电流检测信号时，则不经延时，直接报出 OC 信号。

3) 有些机型对过电压、欠电压的检测处理也按类似于电流检测一样的梯级报警层次: 如先报过电压, 并且伴有延时处理环节。当检测到极高电压值时, 才直报 OC 或 OU。

4) 英威腾 P9/G9 型机, 间接显示 OC 的过程, 也有梯级报警层次: 上电检测到模块或电流信号异常, 拒绝所有操作; 只检测到温度异常, 可设参数值, 但不能起停操作。

由此看来, 据危害程度的不同, 报各类故障的时间也有所差异。CPU 对 OC 信号的检测是直接停机保护或拒绝操作, 越快越好, 无时间延时处理; 对其他危害程度较轻的故障信号, 则有检测、延时、预报警、报警停机保护和配合频率调节以使过电流现象消失等几个环节。此为 OC 信号与其他故障信号在处理上的不同之处。

因而对变频器的保护来说, OC 故障信号的预警级别当为红色级, 为最高故障保护级别, 具有对其无条件执行的最高优先权。

因变频器软件编写者的思路不同, 而报警方式不一。当变频器“拐着弯儿”报警时, 我们要静下心来, 配合故障信号处理电路的状态检测, 找到故障代码背后的“东西”, 从而解决问题和排除故障。

## 8.3 特殊故障

### 1. 特殊故障的判定

维修中会碰到一些异常现象, 有的似故障而非故障, 有的似非故障而实为故障。其故障成因, 教科书中很难查到它们, 由于变频器电路构成的特点和现象的特殊性, 对一些老师傅也属于“新领域”, 咨询老师傅也说不出所以然。在长期的维修工作中, 有一天你会遭遇它们。下面将笔者的“遭遇”与读者共享。

一台 75kW 微能 WIN—G9 型变频器试运行中的奇怪现象——空载电流竟大于额定电流, 变频器究竟是好的还是坏的, 该台维修后的变频器能投入运行吗?

起因: 一水泥厂用户送修一台 75kW 微能 WIN—G9 变频器, 故障原因是运行中变频器机壳内突然跳火冒烟, 变频器停机。经检查, 该机器的电源输入电路为三相半控桥, 利用其可控整流原理, 对直流主回路储能电容进行“软充电”, 省去了小功率变频器常用的充电接触器。实际上半控桥在这里相当于无触点软充电开关。检查发现, 其中一只晶闸管模块的端子有明显电弧闪络烧灼的迹象, 但测量并不短路。在拆卸中发现很轻易便将固定螺母卸下, 闪络原因似乎是连接螺钉过松, 引起接触不良所致。该模块为一只二极管和一只单向晶闸管的组合体。进而检查控制板和逆变主回路, 无异常。将该模块拆除后, 余二相半控桥作为电源输入, 上电后, 带一只 2.2kW 小功率三相电动机试运行, 感觉没有什么问题, 换用了一只同型号新模块后, 便到现场进行安装了。

慎重起见, 先将运行频率调至 5Hz, 变频器负载为一台风机, 先将电动机的轴连接器脱开, 使电动机空载运行。这一试运行, 吓了一跳! 频率在 5Hz 以下时, 空载运行电流为 45A, 虽感觉稍大, 但考虑为可能为电动机绕组进行过修复或变频器的参数如起动曲线或转矩补偿等进行过调整等原因所造成, 未加理会。当增速到 10Hz 时, 变频器面板显示电流和用钳形表测量输出电流, 均达到了 100A! 且输出电流的摆动幅度极大, 很不稳定。但测三相输出电压, 为 70V 左右, 平衡而稳定。将电动机连接线脱开后, 上电测变频器输出参数, 输出频率 10Hz 时, 输出电压为 70V, 20Hz 时为 150V, 35Hz 时为 250V, 以后随运行频率上

升,到50Hz时,达到400V。在此过程中,测量三相输出电压的平衡度很好。变频器输出的U/F曲线符合二次方负载转矩特性,没有问题。输出电压平衡和稳定,而输出电流过大和电流剧烈波动,显然为负载异常所致。这是常规判断引出的结论。

与厂方的相关技术人员一块探讨,试图找出电动机方面和机械方面的原因来。比如电动机是否新修好,是否绕组绕制不良;轴承有无磨损,运行不稳;连接轴是否有松动及不同心现象;风叶有无变形等。恢复原工频起动柜的接线,工频起动电动机做对比,逐一排除了上述怀疑,且据现场观测,该电动机及连接负载状态优良,几乎听不到运行中的电气和机械噪声。工频全速运行下的空载电流仅不足35A,三相平衡,无波动!电动机及负载无问题,问题还在变频器。

那么变频器的故障部位在哪里呢?是电流检测不准吗,造成误输出吗?观察变频器的操作面板,显示的电流值与钳形电流表所测的接近,应该是没有问题的。还是CPU主板有问题,输出的驱动波形不对呀?没有道理呀。全数字电路呀,怎么会波形不对了呢?

还好,现场离此不远有另一台同型号同功率的变频器,带的负载也是一样的,这就好了。这给对比试验带来了极大的方便。将两台变频器的电流互感器互换,无效;将两机的CPU主板互换,无效。调出主回路直流电压显示,为550V,电压采样电路也无问题。对比机器在带载情况下,10Hz时运行电流为75A,到达35Hz以上时,运行电流才到达100A,比这台带空载电动机的电流还小呀。空载电流竟然远远大过了负载电流,变频器肯定是有问题。

在试机过程中,偶尔用电流钳形表测了一下该变频器的三相输出电流,更发现了一个不可思议的现象!该台变频器的输入、输出电流完全不成比例,有10倍以上的差距!

在输出40A电流时,输入电流为几个安培,几乎测不出来;在输出100A电流时,测输入电流仅为8A以下!不符合能量守恒定律了。100A输出电流从哪里变出来的?!仿佛一根不漏的水管,进了 $1\text{m}^3$ 水,而流出来 $10\text{m}^3$ 水,水管子里面不能变出水来呀。

我们都知道,在一般情况下,变频器的输入电流总是要小于输出电流的。其原因为直流回路的储能电容产生作用,仿佛在电动机端安装了一台无功功率补偿柜一样。在变频器空载或轻载时,由储能电容提供一部分电流给负载,使变频器从电网吸取的电流减小。而随着负荷的加大,其输入电流按比例增加,当投入额定负载后,变频器输入电流与输出电流应近于相等了。如输出40A时,输入才几个安培;输出100A时,输入电流已达70A;输出电流达140A时,输入电流也差不多到达此值了。正常情况下,输入、输出电流有差异,在输出电流幅度较小时,其差异较大,输出电流较大时,其差异较小。但如上述的极其悬殊的差异,还是第一次碰到。怀疑是不是测量仪表坏掉了。换了表,再测一遍,也还是同上结果。

咨询厂家后,变频器厂家技术人员给予答复:该型号变频器为最早生产的变频器,存在空载电流稍大、电流波动的问题,但属正常现象不影响使用。带载后电流会稳定下来。最好接入一台同功率电动机试验一下,是不是电动机的问题,或负载的问题。如电动机及负载问题全都排除,只要变频器输出三相电压平衡,输出电流不超过变频器额定电流,可以空载或带载试机。至于输入、输出电流的比例问题,因负荷情况不一样,是很难有固定比例的。

想想也是,只要是输出三相电压平衡,只要是在不超过额定电流的情况下,可以带载试验的。许是带载以后,输出电流便不会有大的波动了,也许就正常了呀。

只好带载试验,出现奇迹(让人大跌眼镜):10Hz运行时,在输出40A电流时,输入

电流仅七、八安培。30Hz运行时，输出电流60A，输入电流25A；40Hz运行时，在输出100A电流时，输入电流70A。运行电流小了，波动小了，基本上是稳定的。三相电压和三相电流都是平衡和比较稳定的，问题莫名其妙地消失了。

联想起检修一个发电站零线电流大的问题，为电路中的谐波分量造成，是谐波电流。在空载或轻载运行时，该台变频器的输出电路中是否也存在着极大的谐波分量呢？这个谐波分量从何而来呢？测量得出的结果是不是真的呢？

分析原因为空载时输出电流中有较大谐波分量造成的。谐波电流大可能有两个原因：

1) 该变频器输出PWM波不够理想，调制方式未达到最佳，即在软件控制思路上未达到优化（新型机器肯定已经改进了）。

2) 当空载时，相当于电源容量与负载容量严重不匹配，电源容量远远大于变频器容量，这也是产生谐波电流的一大原因。而带载运行时，容量匹配情况好转，谐波分量倒被大大削减了。

此两种原因的合成，导致变频器的空载电流大过了带载电流。

## 2. 故障字符

安邦信变频器的两个“怪”故障。

### (1) 奇怪的“故障字符”

用户送修一台国产变频器，是安邦信AMB-G9/P9型22kW的变频器，依照常规，先将损坏模块拆掉，上电检查驱动电路是否正常；上电后，操作面板显示OC故障代码；短接故障信号返回光耦合器后，不再跳OC信号。按操作控制面板RUN键时，充电继电器瞬时断开（听到“啪哒”一声），面板指示灯也同时熄灭，显示屏在闪烁后，显示一串在故障代码表中查不到的“故障字符”。怀疑仍有别的故障信号存在，检测三相输出电流检测的信号输出端，皆为0V，正常。对其他信号，不测绘电路，一时之间很难找出其来龙去脉。

偶尔断电再启动时，发现上述所谓的“故障字符”竟为开机字符！其故障实质是：可能开关电源的负载侧有短路性故障，尤其是驱动电路，当启动信号投入时，将电源电压拉至极低，甚而开关电源会因此而停振，除充电继电器因吸合电压不足而释放外，CPU判断为重新上电，而显示开机字符！实际上启动信号的投入造成了一个相当于重新上电开机的过程。

查驱动回路，驱动IC后面加有两只接成推挽形式的功率放大管，用于将驱动IC输出的脉冲放大后，再驱动逆变模块。其中U相的上、下臂驱动功放电路，都有一只晶体管因模块损坏和冲击而损坏，在无触发脉冲到来时，单管击穿短路形不成对驱动供电电源的短路。而脉冲信号的到来，好管的“导通”与坏管的“直通”造成了对驱动电源的瞬时短路，导致开关电源瞬时停振而断电，启动信号也因断电而中断，驱动IC后功放对管子的短路状态也因断电而解除。然后开关电源重新起振，CPU判断变频器为重新上电，故操作面板显示上电字符。

拆除模块后，便急着上电检查驱动电路的好坏，未将电路进行细致的测量与判断，故在此开机字符上浪费了一定的时间。拆除模块后应先彻底检查一下，再将驱动板上电的。

这个故障并不怪，但把开机字符误当作故障字符，就怪了。

### (2) 报警代码表中也无的故障字符

安装新模块后,先不接直流回路的530V直流电压,对功率逆变电路先加入24V直流电源进行试验。起动后,又跳Br Tr FeiLuRe字符,但可以按复位键进行复位;若断开24V电源,仍跳此故障,但不能复位。查说明书故障代码没有此项,一时搞不明白故障的起因了。不得已咨询厂家(一些技术问题原本就是可以咨询厂家的),回答说是制动回路故障,感觉有点风牛马不相及呀。端子外电路未接入制动电阻,测量端子内部的制动元件也无短路。可能逆变部分电源停掉后,由控制电源(开关电源的供电)串入,造成检测电路返回故障信号。

停掉24V电源后,逆变模块的P供电端子仍有约6V左右的电压,也许此电压再经某些环节进入故障检测电路,恰达到Br Tr FeiLuRe的报警电平,或是充当了Br Tr FeiLuRe故障信号。是不是呢?

测六路驱动电路的负压和脉冲正压均正常,因有截止负压的保障,可以送入直流回路的530V直流供电。保险起见,先将原75A快熔熔丝换为2A的,直接上电试之,一切正常。

可见:若75A快熔熔丝断掉,或模块内部的制动控制的IGBT短路(有可能引起直流回路的电压跌落)时,均有可能产生Br Tr FeiLuRe的报警信号。此信号的来源可能为故障检测电路检测到直流回路电压异常低落后,报与CPU的。但将其定义制动回路的故障,是否欠贴切呢?

但因此“故障”的产生,使低压供电检测逆变电路的这一手段不能实施了,也使维修费了点周折。

遇有此种情况,可在530V供电回路中串灯泡或加接2A熔丝进行上电试验。千万不能直接供530V直流电压,以免因驱动电路不良造成模块的损坏。

### 3. 整流模块的特殊故障

通常,逆变模块的故障率要比整流模块的故障率高许多。由负载短路和驱动电路的负压丢失造成的逆变模块的损坏,是不可避免的,尤其是全速(全压)输出下的负载瞬间短路,没有哪种保护电路能保证,逆变模块不被损坏。而整流模块的损坏几率就要小得多,直流回路的储能电容突然彻底击穿短路的情况极为少见,电容的短路有喷液、鼓顶、爆裂等,似乎有一个渐变过程,而整流电路的过电流能力往往要大于逆变模块。整流模块除了抗不住雷击的入侵,由输出过流引起的损坏较少,因为逆变电路(负载路)还串有快熔熔丝,变频器内部的保护电路也会提供及时的停机保护。当然器件本身质量缺陷也能引起损坏,保护电路对此无能为力。

变频器的直流回路和逆变回路无故障,负载电流又在额定电流以下,三相输入电压又在额定值以内,整流模块似乎就没有损坏的理由。

笔者又碰到了“不讲理”的事情,简单的三相整流电路,在维修上却碰到难题了。

#### 故障实例1

在某地安装了一台小功率变频器,先后出现了三次烧毁三相整流桥的故障。变频器功率为2.2kW,所配电动机为1.1kW,且负载较轻,运行电流约为2A,电源电压在380V左右,很稳定,三相电压平衡度较好,因而现场看不出什么异常。但先后更换了3台变频器,运行时间均不足2个月,检查都是三相整流桥烧毁,原因在哪呢?现场观测,输入、输出电压、电流情况都正常,属于轻负载运行。

赶赴现场全面检查,发现在同一车间、同一供电线路上还安装了另两台大功率(其中



一台为45kW)变频器,3台变频器既有同时运行、也有不同时起/停的可能。我隐约感到:大功率变频器的运行与起停,也许就是小功率变频器损坏的元凶!

原因是因变频器的三相整流电路为非线性元件,而直流回路又接有容量较大的储能电容,流入两台大功率变频器的整流电流是为直流回路电容器充电的非线性浪涌电流,使得电源侧电压(电流)波形的畸变分量大大增加(相当于在现场安装了两台电容补偿柜,因而形成了波荡的电容投切电流),但对于大功率变频器而言,由于其内部空间较大,输入电路的绝缘处理较强,所以不易造成过电压击穿,但小功率变频器,因内部空间较小,绝缘耐压是个薄弱环节,电源侧的浪涌电压冲击,便使其在劫难逃了。

另外,相对于电源容量而言,小功率变频器的功率显然太不匹配。尤其是当两台大功率变频器停机,只有小功率变频器运行时,当供电变压器容量数倍于变频器功率容量时,变频器输入侧的谐波分量则大为增强,这种能量会使小功率变频器形成过大的浪涌整流电流,也是危及变频器内三相整流桥的一个不容忽视的因素。

该例故障如果单从变频器本身作文章,换新整流模块后,结局仍然是可以预料的:在变频器运行中还会出现随机性损坏。问题的关键是:三相整流桥的损坏,应为外在因素引起,不在变频器电路本身。单纯的更换损坏整流模块,解决不了根本问题。

#### 故障实例2

某化工厂安装了数台进口变频器,工作电流和运行状态都正常,但也屡次出现炸毁三相整流桥的故障,往往在运行中毫无征兆地就爆裂了。变频器在跳闸后,再合闸却合不上,一合就跳,肯定就是变频器内整流桥击穿了。电工师傅曾将电动机换新试验,也无效。将变频器进行了多次维修和品牌更换,都没有彻底解决问题。据笔者现场勘测和分析:该厂为补偿无功功耗,在电控室安装了数台电容补偿柜。变频器距离电控室距离很近。大容量电容器的投、切动作在电网中形成了幅值极高的浪涌电压和浪涌电流。观察电容补偿柜中的电容进线,并未按常规要求加装浪涌抑制电抗器,此电抗器的作用实质上不但抑制了进入电容器的浪涌电流,也同时改善了整个电网内的电压波形畸变,对减缓浪涌电流的冲击有一定作用。

另外,车间电动机安装量比较多,因生产工艺要求,电动机起停频繁,负荷变动较大。同时由切换负荷引起电网中的浪涌电流,对小功率变频器内的整流模块也造成了一定冲击。

当生产线进行了变频改造后,补偿电容的投、切(充放电)电流、电动机起停造成的浪涌冲击,与变频器整流造成的谐波电流互相放大,在电网系统中形成了瞬时的动荡的电压尖峰与浪涌电流,击穿变频器中的整流模块也就顺理成章了。

上述两个故障实例其实只是一个问题,即电网电压波形的畸变形成了电压尖峰和浪涌电流,使变频器中的整流模块不堪其冲击而损坏,因而处理的措施也很简单。

在小功率变频器的电源输入侧,串入了由XD1电容浪涌抑制线圈(扼流圈)改做的3只“电抗器”如图8-4所示;为现场无功功率补偿柜中的电容器加装了XD1电容浪涌电流抑制器。经上述处理后,整个模块不明不白损坏的现象未再出现过。使用效果还是可以的,改造成本也很低廉,且免去了外地加工购料的麻烦,缩短了改造工期。如果处理得再理想一点,为变频器加装正宗的输入电抗器,当然是一个更好的举措。而XD1浪涌电流抑制器,10元左右一只,在变频器维修完毕后,可顺便为用户备好,以杜绝后患。在实际安装应用中,变频器产品供应商及用户往往出于降低成本的考虑,省掉了输入电抗器。

的配置，确是很有必要的。

检修变频器，也要配合对现场情况的分析，有时候应在变频器外下点功夫。否则看似简单故障，有可能会把一个“修理高手”搞得要缴械投降了。

#### 4. 输出频率不稳的处理

科姆龙变频器操作面板频率值波动及误停机原因与解决措施。

将4台小功率科姆龙牌KV2000型变频器安装于1个控制柜中，采用比例同步调速控制方式，用于石膏板生产线下料、供水、走带的同步调速控制。为了操作与监控方便，将变频器的控制面板安装在柜体正面，用厂家配套的信号电缆连接起来。

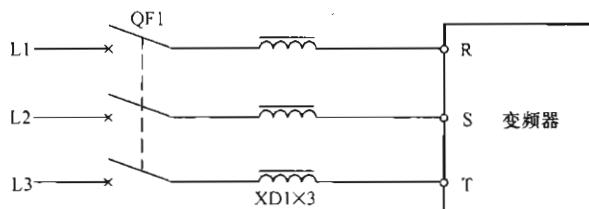


图 8-4 为易坏整流模块的变频器加装三相“电抗器”

现场调试中，在运转中发现，各台变频器的转速显示值的波动达  $\pm 30$  转以上！用户怀疑转速不稳，变频器不能正常工作，要求处理。

首先将主电路 G 端子进行了独立接地处理，将调速信号线进行了屏蔽单边接地处理，转速值波动现象有所改善，但仍未根除。询问厂家，回答是干扰造成，建议进行接地处理。接地无效后，厂家也提不出更好的解决方案。在试转中，发现单台运转，仍旧有波动。运行的台数多，波动就大一些。4 台机器有的波动大一些，有的波动小一些，但毕竟转速值不能稳定下来。此一问题终究未能得以彻底解决，但对运转看起来影响不大，也就不了了之了。

后来在另一家石膏板厂安装了一台同类设备，运行几个月后，用户反映其中一台 3.7kW 供水的变频器屡有停机现象，发展到一天内停机次数达十几次，用户要求必须现场维修解决。

现场观察：运行中该变频器的操作面板上转速显示值波动较大，三位数码都有闪烁现象，FWD 指示灯也跟随闪动。运行中转速值突然降到零值，也可能随即转速上升，继续运转，也可能需重新起动才能运转。有时候停机后显示 F000，无缘无故地进入了参数设置状态，仿佛有人进行了停机操作和参数调整操作，但这个“人”肯定是干扰信号，使变频器的 CPU 接收了停机指令或其他操作指令。测 3kW 电动机运行电流仅 2.6A，停机时变频器过电压、欠电压、过载等故障代码均未出现，显然电动机与变频器都非故障保护停机。将变频器单机运转，现象依旧；将起/停端子连线、调速端子连线全部拆除，现象依旧；改用操作面板控制起/停与调速，现象依旧；换用一台 5.5kW 变频器运转，现象依旧！

判断为信号干扰造成上述现象，处理如下：首先也进行了常规的接地处理；无效后又调整了变频器的载波频率，将其调整为最低载波频率 2kHz 后，略有改善；将操作面板至变频器的连接电缆包一层锡箔后，停机次数减少，似有改善；购得直径适度的磁环，在连接线的两端各穿绕 2~3 匝后，转速显示值及 FWD 指示灯的闪烁现象没有了，转速值不可思议地稳定了，连 1 转的波动也没有了！

干扰是变频器自身运转后输出端的载波，经由操作面板的连接电缆窜入 CPU 的 I/O 口的！干扰程度较轻的，输入频率及显示值有波动现象；干扰程度重的，则出现随机性停机现象。在信号线上套绕磁环抑制干扰的效果是很好的。

本例故障出在抗干扰性能不佳上（或是 PMW 波不够优化），但从变频器电路本身，无

从下手，必须从外部采取措施来解决。变频器的现场安装，很少有严格按标准来进行的。如在变频器的输入端、输出端均串有电抗器或噪声滤波器，因而现场运行中产生的种种干扰，对维修和使用者提出了更高的要求。维修的内容也从维修部延伸到了工作现场，或者说，有时候安装调试也成为了维修的一个内容。

## 8.4 从整机电路看两类故障

### 1. 电源故障检查

故障状态：上电后整机无反应，操作显示面板无显示。测量控制端子的 24V、10V 控制电源都为 0。

故障实质：变频器的开关电源没有工作。

检修思路：开关电压故障；预充电回路故障。

检修方法：

1) 先查开关电源的供电来源，直流回路有无正常 530V 电压。直流回路电压为 0，说明预充电回路故障，可能为充电电阻开路、半波整流电路损坏、串入接触器或继电器常闭点接触不良，应将预充电回路先行修复，再检查开关电源的故障。而往往修复预充电回路后，变频器也就修复了，则先不必在开关电源电路上大展拳脚。

2) 开关电源的 530V 或 265V 或 300V 直流供电都有了，还是不要在其稳压和振荡电路下大下功夫，先检测开关变压器二次负载电路有无短路等故障，如散热风扇损坏，故障检测电路中的 IC 短路、整流二极管有无击穿等。开关电源负载侧的故障率较高，振荡和稳压环节的问题倒少一些。

检修思路和检修次序，便决定了检修工作的高效率和低效率。而从整机电路来看，开关电源不工作的故障，检查预充电电路则是一个非常重要的环节，甚至是第一位必须考虑到的环节。

### 2. 逆变脉冲回路的故障检查

从 CPU 的 6 个 PWM 输出端子到中间缓冲电路，称为逆变脉冲前级电路，驱动电路称为逆变脉冲后级电路，总称逆变脉冲回路。

故障状态有如下几种：

- 1) 起动操作正常，操作显示面板有正常的输出频率指示，但无三相输出电压；
- 2) 起动操作正常，操作显示面板有正常的输出频率指示，输出三相电压不平衡；
- 3) 一按起动按键，即跳 OC 故障；
- 4) 运行中跳 OC 故障；
- 5) 轻载运行正常，带载电动机跳动或跳 OC 故障。

故障实质与检修思路（与故障状态的 5 种状态相对应）：

1) 有以下几种因素：驱动电路光耦合器输入侧的 +5V \* 供电丢失；前级脉冲电路的缓冲器损坏；CPU 的相关控制信号不确定或相关控制引脚损坏；故障保护电路误动，使脉冲前级电路被故障信号锁定。

在此处必须尤为注意一点，逆变脉冲信号的前级电路，如三态触发器、缓冲器电路等，有可能受电压、电流检测与保护电路的直接控制，当保护电路误动时，钳制和封锁了六路脉

冲信号的传输。要有故障保护电路独自参与脉冲传输控制的理念。虽然前两个因素造成的故障率较多，但后两个因素造成的原因，往往构成了疑难故障，检修思路到不了这里，维修起来可就要走弯路了啊。

2) 有以下3种因素：驱动电路的光耦合器损坏，不能正常传输逆变脉冲信号；逆变模块导通内阻变大，3只上臂 IGBT 模块有导通不良现象，因此三路驱动电路可能未设有 IGBT 管压降检测电路，故并不能报出 OC 故障；脉冲前级电路或 CPU 逆变脉冲输出引脚不良，致使逆变脉冲缺失一路或两路。

不要将着眼点只放在后级驱动电路上，也可能为前级的逆变脉冲未输入到驱动电路上。尤其是脑子里要有是否为模块不良，导通内阻变大这个观念。考虑不到第3个因素，便又构成了疑难故障啊。

3) 有以下3个因素：后级驱动电路本身不良；驱动电路的供电电源，带负载能力不足，如滤波电容失容，整流二极管低效（正向电阻变大、反向电阻变小）等；逆变模块不良。

对驱动电路的动、静态检测（电压检测）也许都是正常的，要测试驱动电路的电流输出能力，要关注后两个因素。

4) 有以下4种因素：驱动电路的带负载能力、逆变模块的导通内阻；三相输出电流检测电路；故障检测电路中的基准电压电路；用户负载方面的原因。

要注意后3种因素影响。三相检测电路本身不良，工作点转移，可能会误报 OC 故障；故障检测电路中的基准电压偏移，造成电流检测不准，误报 OC 故障；检查都无问题，得到生产现场找找原因了，并不排除负载方面的问题。第2、3种因素，可能又进入疑难故障的范围。

5) 有3种因素：驱动电路的电流（功率）输出能力不足；逆变模块不良，导通内阻偏大；负载电路有问题，电动机坏掉了。

变频器表现为运转不正常，不一定统统都是我变频器的问题，建议用户换一台电动机试试。应考虑到后两种因素，有时候要考虑到变频器以外的因素。

## 8.5 检修过程中对故障报警信号的解除方法

变频器故障的检修工作进程中，经常会遇到因控制板脱离主电路，或逆变电路损坏及拆除后的各类故障报警情况，报警动作后，变频器 CPU 主板输出的六路逆变脉冲信号被封锁，变频器拒绝起动与运行操作。若不能暂时中止报警状态，会使对某些电路的检修工作，陷于停顿之中。

变频器检修的关键内容有两个方面：

1) CPU 主板有无损坏，尤其是 CPU 芯片是否损坏。

2) 逆变脉冲传输电路，包括驱动电路、逆变脉冲前级电路有无损坏。尤其是驱动电路，应检查 IGBT 的触发端子回路，有无开路现象及负压供电异常等情况。

其中关键中的关键，只要 CPU 能有六路逆变脉冲输出，其他的故障修复起来便有较大的把握。而对驱动电路的修复，更是修复逆变主电路的前提。

下面将修理步骤及检修过程中对故障报警的解除方法，作一个简要的系统的论述。

### 1. 为开关电源上电或检修开关电源故障

将 CPU 主板、电源/驱动板两块电路板从变频器机壳中拆出，放到维修工作台上。要先给电路板的开关电源供电，或者是先将开关电源修复，解决变频器控制电路的电源供给问题，为检修其他电路的故障提供方便。测量一下开关电源的供电端子和开关变压器的二次整流电路的滤波电容两端，无短路现象后才可以为开关电源上电（顺一下开关电源的供电来源，是否直接取自直流回路的 530V 直流回路）。在电路上测量的话，开关电源的开关管的漏（集电极）极应与直流回路的 P 端相通，源极（发射极）与直流回路的 N 端相通。若是，则将 500V 直流维修电源接入开关电源的供电端子（注意极性，接反可就坏事了）！上电后，操作显示面板有了开机期间字符的相应变化，说明开关电源无故障。进一步操作显示面板，若能进行相关参数的操作，说明 CPU 芯片及外围电路基本工作正常，CPU 主板大致上没有问题。

若为开关电源接入供电后，测量二次绕组各路直流输出电路都为 0V，说明开关电源有故障，应将其修复后，再进行其他电路故障的检查。

开关电源修复后，根据操作显示面板的显示及按键操作，配合对 CPU 工作三要素的检查，判断 CPU 主板或 CPU 芯片有无问题，将其修复后，再进一步进行其他电路的检查。

若 CPU 主板大致无问题，在检修进程中，就需依次解除各类故障报警，最终的检修任务是使驱动电路，能正常输出六路电压和电流幅度均合格的驱动脉冲意味着检修工作圆满结束。

### 2. 解除 OH（模块过热）故障报警

操作显示面板上开机字符闪过后，机器报出一个 OH（模块过热）故障代码，按一下操作显示面板上的 RST 复位按键，OH 代码消失了一下，又显示出来了，无法复位。此时变频器处于故障锁定状态，不接受运行信号，也就无法检测逆变脉冲传输电路是否正常。需将 OH 报警解除掉，解决方法如下：

1) OH 信号是因温度传感器接线端子开路引起。观察主电路，散热片模块附近安装了两只常闭触点型热继电器，当电路板脱开主电路后，相当于温度传感器常闭触点断开，报出过热信号。找到电路板上的相应温度传感器的端子，用导线或焊锡短接，变频器就不会报出 OH 故障了。

2) 有的变频器是由热敏电阻检测模块温度的，端子开路时也会报 OH 故障。因温度传感器为双线端元件，体积又较小，这时可将温度传感器卸下，插入到控制板的相应端子上。另外，也可以测量一下热敏电阻的阻值，将一只同值电阻焊接于温度传感器的接线端子上，临时替代热敏电阻，等机器修复完毕后，再将该替代热敏电阻拆除，以避免变频器作出 OH 报警。

3) 由散热风扇状态检测电路报出 OH 故障。因散热风扇安装于机壳内部，检修中也将其与控制板脱离了。观察散热风扇的插座和引线，为三线式风扇，其中两线为 24V 供电的电源正、负极，一线为信号线，将运转/故障信号返回控制板。如果卸掉风扇再插到控制板上就太麻烦了。有一个简单办法，找到正、负线，将第三根线分别试着与正供电端、负供电端相接试验，当此线与正供电端相接时，操作显示面板上的 OH 故障代码消失了。

### 3. 解除 Uu（欠电压）和输入缺相报警

解除掉 OH 报警信号后，操作显示面板上又显示 Uu（欠电压）故障了，变频器还是处于故障锁定状态中。需说明的是，故障代码的出现，随机型的不同，出现的时机和先后次序

也有所不同,有的故障代码是在上电后即出现,有的是在起动操作后才出现的,有的出现较早,有的是将前几个故障报警解除后最后才出现的。但无论何种故障报警,都不要着急,找到相应电路,采取相应手段,将故障报警依次解除。分下面几种情况进行介绍:

1) 直流回路的采样电路丢失,报出  $U_u$  故障。当开关电源的供电采用 265V (或 300V) 直流供电时,我们将控制板与主电路脱开,单独为开关电源送上 265V (或 300V) 直流电源后,则操作面板大多会报出  $U_u$  故障(部分变频器的直流回路电压检测信号是在开关变压器二次整流电路取得,则不会报出  $U_u$  故障),因直流回路检测电路的输入端呈开路状态,电路输出欠电压信号。从直流回路电压引入端子(P、N端子),找到直流电路检测电路的输入电阻网络,由大阻值(数百千欧)电阻,四五只或七八只相串联,因此时开关电源为 300V 直流供电,直接引入到直流电压检测电路,还是报  $U_u$  故障啊。将输入电阻网络中的电阻短接几只(如数量为 8 只,可短接 3 只试验),至引入 300V 直流电压不报出  $U_u$  故障为止。修复后,要将短接线拆除。

为直流检测电路人为引入一个直流电压,并改动一下检测电路以适应电压输入范围的要求。

2) 有的变频器不报  $U_u$  故障了,但接着可能还会报出“充电接触器未吸合故障”,有的可能则仍旧报出  $U_u$  故障。别急,可能还有相关的电压检测信号送入控制板。

充电接触器,在主电路当中,也不可能拆下来接入控制板。变频器往往还设有对充电接触器辅助触点的状态检测电路,因控制板与主电路脱离,控制板在上电后,CPU 检测到充电接触器辅助触点一直处于开路状态,也会报  $U_u$  或“充电接触器未吸合故障”。从主电路上找到充电接触器辅助触点的引线端子,确定控制板的相应插座端子,将引线端子用导线短接或焊接,告诉 CPU: 充电接触器已经闭合了。

短接充电接触器辅助触点的引线端子后,变频器便不再跳  $U_u$  故障和“充电接触器未吸合故障”了。

3) 有的变频器可能还会报出“输入缺相故障”,还是不能对变频器进行起/停操作。检查变频器的三相电压检测电路,有 3 只光耦合器,承担着对输入三相电压检测的任务,也因控制板脱离主电路的原因,使 3 只光耦合器的输入电流通路被中断,而报出故障。将光耦合器的输出侧暂时短接,人为向 CPU 输送一个“三相输入电压正常”的信号,则此项故障报警,又被解除了。

通过以上方法,我们已将 OH、 $U_u$  等故障报警成功解除了!

#### 4. 解除 OC (模块过流或输出端短路) 故障报警

OH、 $U_u$  故障报警都已成功解除,从操作显示面板上的显示看来,变频器已经进入待机状态,可以进行起动操作以及检修逆变脉冲传输通道了。

1) 按操作显示机板的起动/停止按键,变频器无反应,用户可能已经设置为端子操作了。如果手头有变频器说明书,可以对控制参数进行修改的话,可改为用控制面板进行起/停和频率调整的操作;不便修改参数时,可试从控制端子输入运转和频率信号。测频率调整供电 10V 有正常输出,将其与 0~10V 频率信号输入端短接,为变频器输入最高运行频率指令。也可从控制端子外接电位器,为变频器输入可调的频率信号。

将正转运行端子与数字公共端短接,进行起动试验,操作显示面板跳出 OC 故障代码,变频器当然还是处于故障锁定状态,仍旧不能接受运行操作。

功率模块没有各种完善的保护不行，可是不解决掉故障报警，就不能对逆变脉冲传输电路进行检修。慢慢来，出一个报警信号，便跟踪解除一个报警信号，一般情况下，当控制电路板与主电路脱离后，也就跳出三四个故障报警，到跳 OC 故障报警时，往往差不多也是最后一个报警信号了。注意从各个插线端子找到各个信号的来源，或从插线端子或从传输信号的光耦合器的输入、输出侧，用导线短接法，使 CPU 被强制输入一个个“正常”信号，令其解除故障锁定状态。

OC 信号多由驱动电路的 IGBT 管压降检测电路（IGBT 保护电路）送回 CPU 的。当输出电流检测电路有故障时，也会报出 OC 故障，但此种情况较为少见。依着先易后难的原则，可先行解除驱动电路返回的 OC 信号，再检测输出电流检测电路。

2) 驱动电路常用 IC 为 PC923、PC929 和 A316J，前者由 PC929 内部 IGBT 保护电路输出的 OC 信号再经外接光耦合器，将信号送入 CPU。找到与 PC929 并接在一起的光耦合器，将其输入侧用烙铁搪锡短接，即将 OC 报警解除；后者，驱动芯片 A316J 的 5 脚为 OC 信号输出脚，想其与铜箔条挑开，能隔断 OC 信号的传输。以上两种方法都是快速方法但不是最好的方法。此种方法缺点是：虽然隔断了 OC 信号的传输，可以检查 CPU 和前级逆变脉冲传输电路有否逆变脉冲信号输出，但驱动 IC 本身还处于故障锁定状态，不利于对驱动电路进行检修。

好方法是，为 IGBT 检测电路“人为输入”一个 IGBT“正常导通”的信号，使驱动 IC 本身在输入逆变脉冲期间不再报出 OC 故障。一般驱动电路，是由下三臂驱动电路实施对 IGBT 管压降的检测，找到驱动 IC 外围的 IGBT 管压降检测电路，此电路是并接于所驱动 IGBT 的 C、E 极上，将此检测电路对应 IGBT 的 C、E 极的两个点短接（具体方法详见驱动电路的检修一章），即从根本上将 OC 报警信号解除了——驱动 IC 本身也处于对逆变脉冲的正常传输状态，利于对驱动电路的检修。

### 5. 对驱动电路进行检修

终于，变频器可以接受起动信号了。看着操作面板上显示的逐渐上升的输出频率指示，这说明 CPU 电路、控制端子电路都是好的，该台变频器的修复，基本上没有悬念了。

测量驱动 IC 的 6 个逆变脉冲输入端，起动和停止状态有明显的电压变化，由 CPU 主板来的六路逆变脉冲，已完好无损地输入到驱动电路，CPU 主板是好的！从电源/驱动板的脉冲输出端子，测六路逆变脉冲的输出状态，检测负载截止电压是否正常，有无正常脉冲输出，脉冲输出的电压幅度、电流幅度是否满足正常要求。若驱动电路本身有故障，不能正常传输逆变脉冲，进一步检查并排除，使之能正常输出六路合格的逆变驱动脉冲。

### 6. 整体装配与试机

将驱动电路修复，并采取手段验证电压、电流输出能力（详见驱动电路的检修）正常后，可进行整机装配与试机了。

最后的上电试机过程是维修当中的最后一道“坎”儿，是需要小心和细致的地方，要注意驱动电路的输出脉冲的控制引线要确实接在了逆变模块的触发端子上！驱动电路负的截止电压丢失和逆变模块触发引线的断路与空置，都有可能在上电过程中导致逆变模块的炸裂！

上电试机过程中，要在逆变模块的供电回路中，串入灯泡或 2A 熔断器，试机正常后，才恢复 530V 直接供电回路。发现问题时，要断开原供电，必要时，另行引入直流 24V 低压供电，检查和试机无问题后，再恢复原供电回路。

修复后，莫忘了对“动过手脚”的地方，要“恢复原貌”，例如将光耦合器输出侧的短接线拆除等。

检修过程中使用的各个方法，在本书前几章，都有涉及，但属于局部检修，对于实际（整体）检修，好像还隔着一点“什么”，由一个单元电路的讲解，在检修操作上很难与“整体”挂起钩来。通过本节一个整机电路检修过程的讲解——尤其是对故障报警信号的解除方法的应用，掌握实际检修中的大致工作流程，将报警信号“层层剥茧”地解决掉，而检修过程也随之宣告圆满结束了。

## 8.6 IC 短路故障的一个检修方法

一台变频器，开关电源出现间歇振荡现象，操作显示面板也时亮时灭。此为开关电源负载过重或存在短路状态的典型故障，负载异常引发了开关电源电流检测电路的保护动作，使开关电源处于间歇振荡状态。

用逐路脱开负载电路的方法，排查短路故障是出在哪路负载电路，或停电后测各路供电电源的输出端是否有阻值变小或短路现象。测量 5V 电源两端，呈现  $7.8\Omega$  的小电阻值，而正常的电路阻值约为数百  $\Omega$ 。判断 5V 负载电路有短路现象，将 5V 负载电路脱开后，开关电源有了稳定输出，说明故障就在 5V 负载电路。

5V 供电电源由排线端子到达了 CPU 主板，供 CPU 芯片及外围电路用，电路范围比较广，CPU 主板上 5V 供电的集成电路比较多，达二十多片，用常规排除法检查短路故障时，须将各片 IC 电路的 5V 供电脚挑开，配合电源输出端电阻值的检测，当挑开某片 IC 供电脚，电源输出端  $7.8\Omega$  的小阻值变为正常的电阻值后，说明该片 IC 即存在短路故障，当然测量挑开 IC 的供电脚，检测其供电引脚的电阻值也是一样。

无法预测需要挑开多少片 IC 后才能找到故障 IC。CPU 主板元件焊接的“精致程度”已经接近于手机的电路板，IC 电路全为贴片元件，将 IC 引脚的铜箔条说成比头发丝还细，甚至于都不算是夸张。手底一不小心，挑掉铜箔条的话，想接起来都比较困难，挨片挑，这个法也太笨了。

由于变频器的开关电源本身负载能力有限，接于故障电路时会引发过电流保护，使开关电源停止输出。故采用外接容量较大的 5V 电源，串联  $5\Omega$  限流电阻接到 CPU 主板上，通电几分钟后，用手触摸 CPU 主板上的 IC 芯片，哪片烫手，有异常温升，即是哪片 IC 已经坏掉了。

这个法还真灵，挑开两片有异常温升的 IC 供电引脚，测其引脚电阻，均在十几  $\Omega$  左右。此时再测 5V 电源输出端，已经是数百  $\Omega$  的正常阻值了。

这是个好法子，算是将错就错或将计就计或顺势而为，利用外接 5V 供电，既对好的 IC 没什么危害，又使坏 IC 持续升温，暴露在我手指的“测温仪”下。特别适宜于检测 CPU 主板上出现的 IC 短路故障。

变频器电路的故障检修，还有好多好办法，在新的故障案例中，还将诞生和形成新的别致的检修思路。全部教科书，甚至包括不在教科书之列的本书，都不可能收进所有的检修方法，也不能道尽其中奥妙。知无尽而言无尽，况深入之地离于言诠，也是本书到了该结束的时候了。本书能起到变频器故障判断和检修的一些引导作用，就算是完成了它的使命。



## 附录 变频器电路常用 IC 引脚功能图

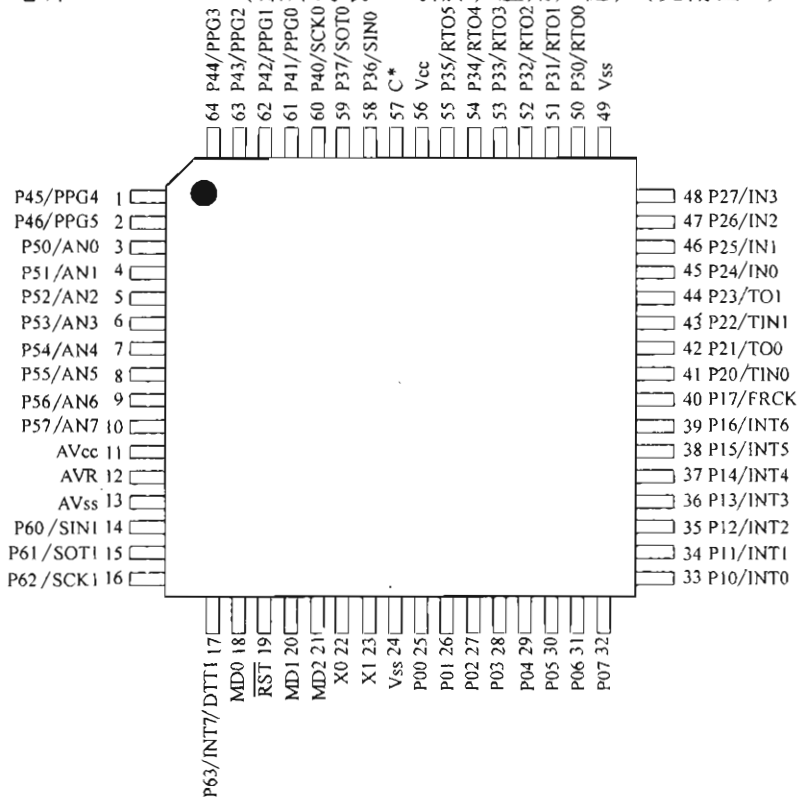
说明：

从应用维修的角度，掌握一些 IC 器件的引脚功能，便于测量部分引脚的电压（电平）状态，判断 IC 是否处于正常工作状态就够了。IC 内部具体是个什么电路，是来不及也无需去管它的。比如单片机电路，重点检测供电、复位、晶振、控制信号、输入信号几个端子的电压（电平）状态就可以了。对于数字（包括光耦合器）电路，一般情况下，知道器件引脚功能，便可根据输入、输出端的逻辑关系，测量判断 IC 的好坏了。而模拟电路，在变频器电路中，一半是用于处理开关量信号的，如电压比较器等，检测判断上，同数字电路是一样方便的。部分处理模拟信号的模拟电路，可据动、静态电压的明显变化，测其好坏，也不是太难的事。

因而，只要知晓两点：IC 是个什么类型的芯片，数字或模拟电路？引脚功能，该脚为输入、输出或供电脚？也就能实施测量了。将变频器常用 IC 引脚功能图，集中附录于后，读者就不必花费大量时间再去查阅相关的手册了。

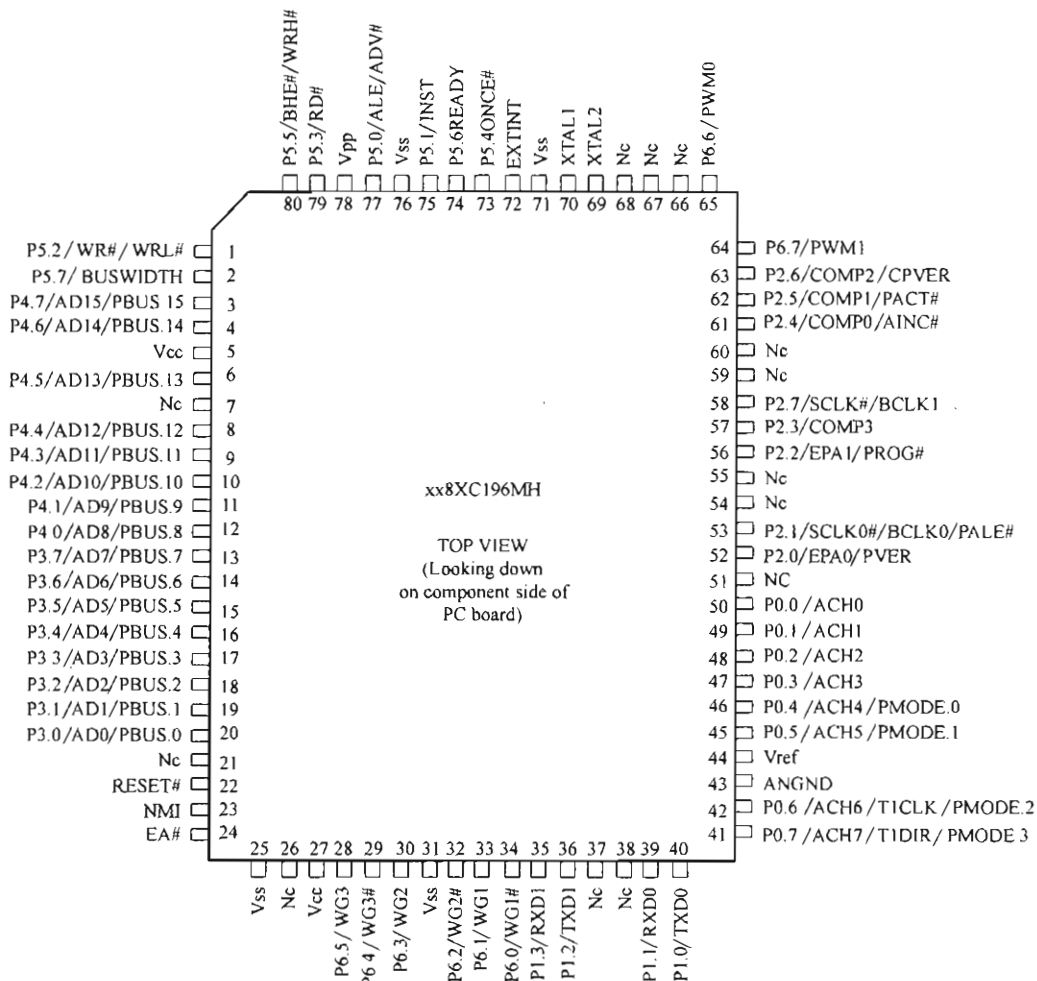
### 1. CPU（微控制器）芯片及外围 IC 电路引脚功能图：

(1) CPU 芯片-MB90F562B（贴片封装 64 引脚，应用广泛）（见附图 1）



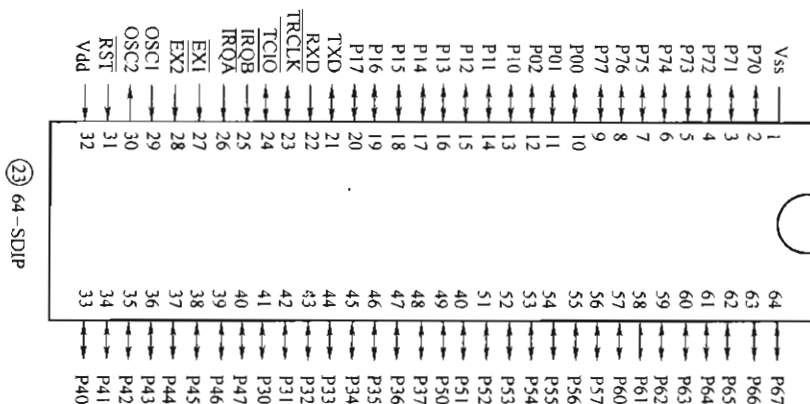
附图 1

(2) CPU 芯片-S87C196MH (贴片封装 80 引脚, 应用广泛) (见附图 2)



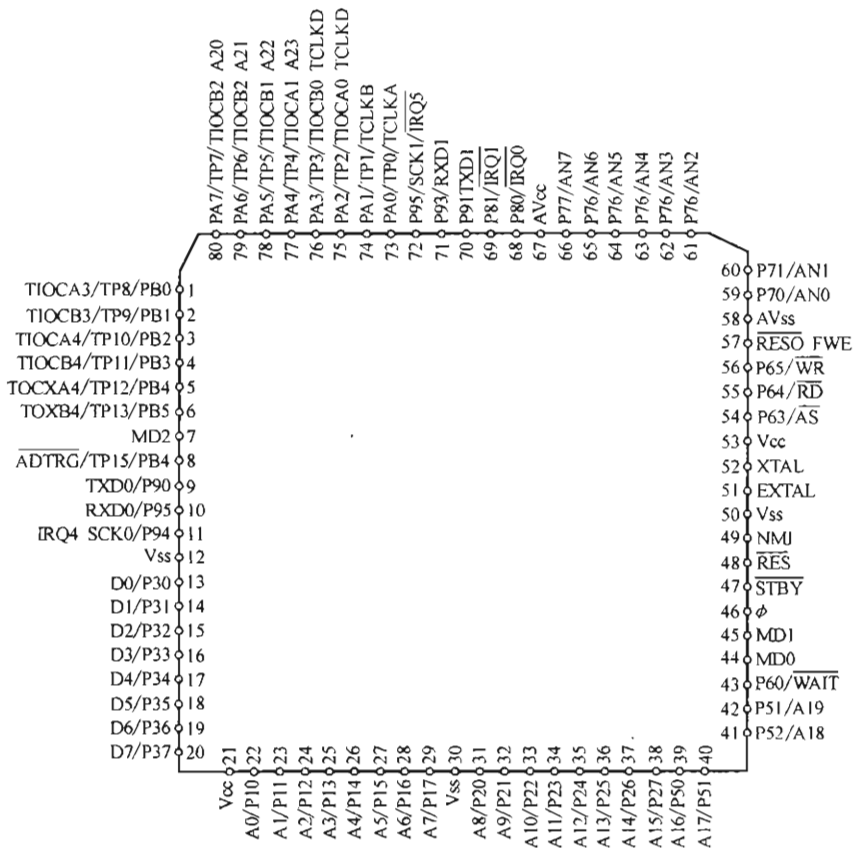
附图 2

(3) CPU 芯片-MN18992MDY-6 (塑封双列直插, 64 引脚, 用于松下早期 DV551、DV561 机型) (见附图 3)



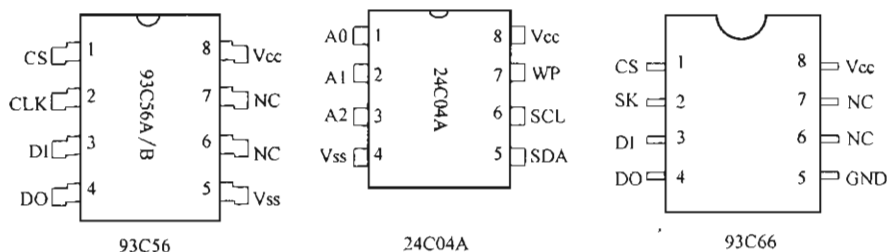
附图 3

(4) CPU 芯片-HD6404733037F (贴片封装 80 引脚, 应用广泛) (见附图 4)



附图 4

(5) 存储器引脚功能图 (见附图 5)

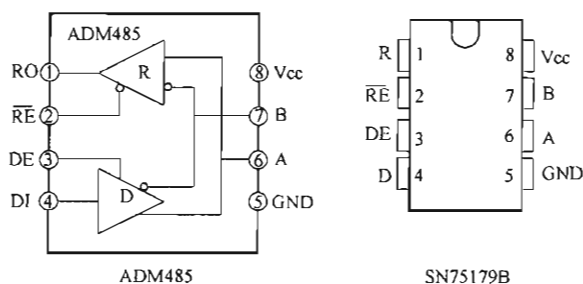


附图 5

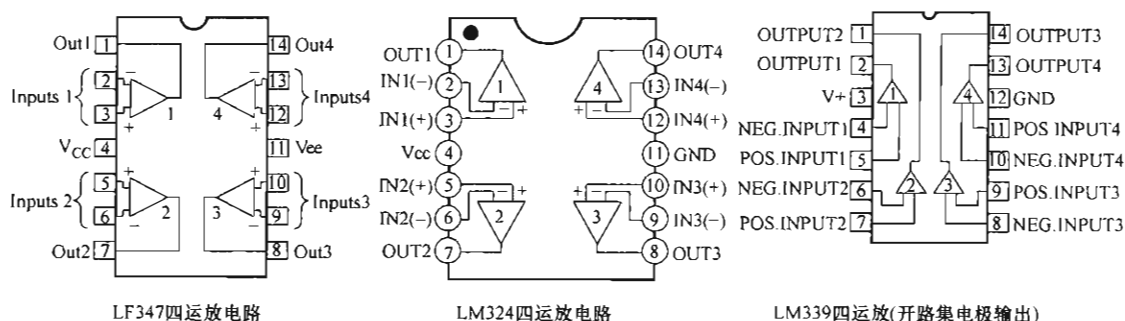
(6) RS485 通信模块引脚功能图 (见附图 6)

2. 常用运算放大器引脚功能图 (见附图 7)

运算放大器多用于电流、电压检测电路, 用于处理模拟信号和将模拟信号转换为开关量信号——报警、停机保护信号。开路集电极输出型多用于电压比较器电路。运算放大器有较好的代换性, 如附图 7 中的 LF347、LM324、TL072 都可以直接代换。当引脚排列不一致时,



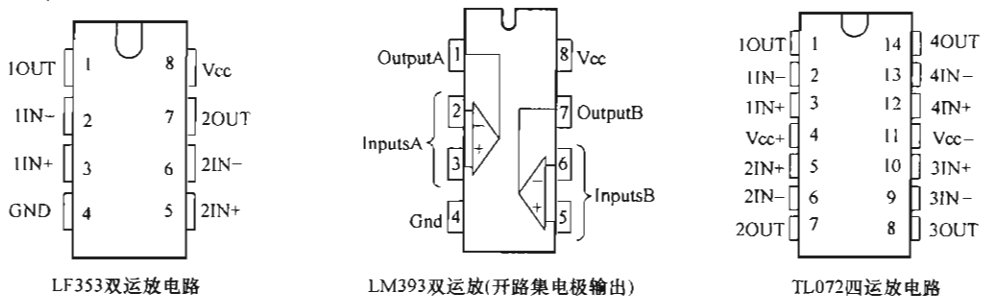
附图 6



LM347四运放电路

LM324四运放电路

LM339四运放(开路集电极输出)



LM353双运放电路

LM393双运放(开路集电极输出)

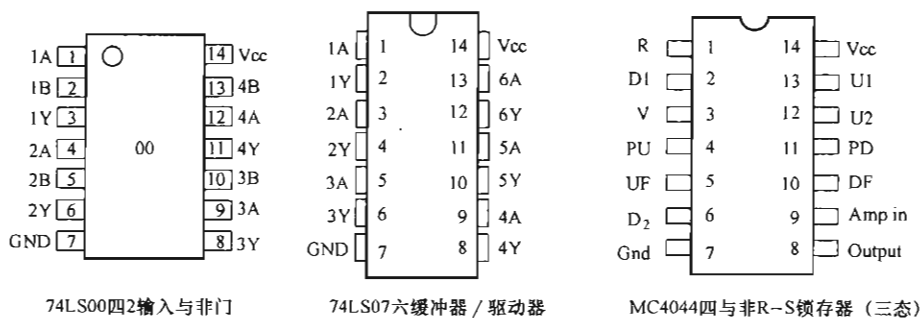
TL072四运放电路

附图 7

改换端子接线也能代换。

开路集电极输出型运算放大器，必须用同类型放大器代换。

### 3. 常用数字 IC 电路引脚功能图 (见附图 8)

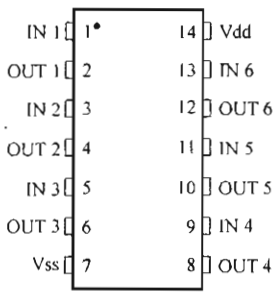


74LS00四2输入与非门

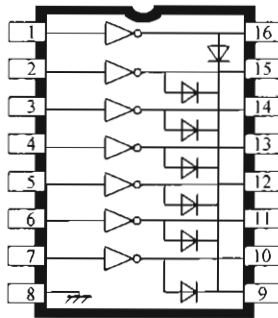
74LS07六缓冲器/驱动器

MC4044四与非R-S锁存器(三态)

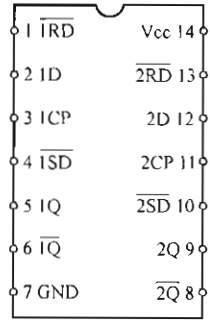
附图 8



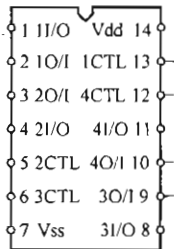
MC14069六反相器



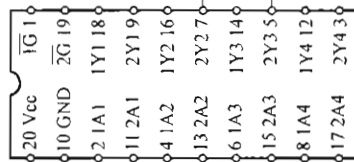
ULN2003A七路驱动器



74LS74A双D型正沿触发器



BU4066四双向模拟开关



74LS244八缓冲器/线驱动器/线接收器(三态)

附图 8 (续)

数字集成电路据材料和制作工艺的不同, 也分为几大类型。但以 TTL (晶体管-晶体管逻辑) 集成电路和 CMOS (互补型金属氧化物半导体逻辑) 集成电路为主。应用面最广、数量最大的是 74 系列的 TTL 电路和 4000 系列的 CMOS 电路。TTL 电路功耗稍大, 但工作频率较高和输出电流能力较强, 供电电压为 5V; CMOS 电路特性与之相反, 有较宽的供电电压 (3.0 ~ 18V) 范围。在 5V 供电情况下, 同类型电路两者可以互换。不同供电情况下, TTL 电路损坏后, 可以考虑用 CMOS 电路代换。

#### 4. 常用驱动 IC (见附图 9)

TLP250 和 HCPL3120 可直接代换, 将输出引脚改动一下, 也可与 PC923 相代换。PC923、PC929 往往配套使用, 而 A4504 和 MC33153 也是配套使用的, 两者组合完成了 PC929 的功能。

#### 5. 常用光耦合器 (见附图 10)

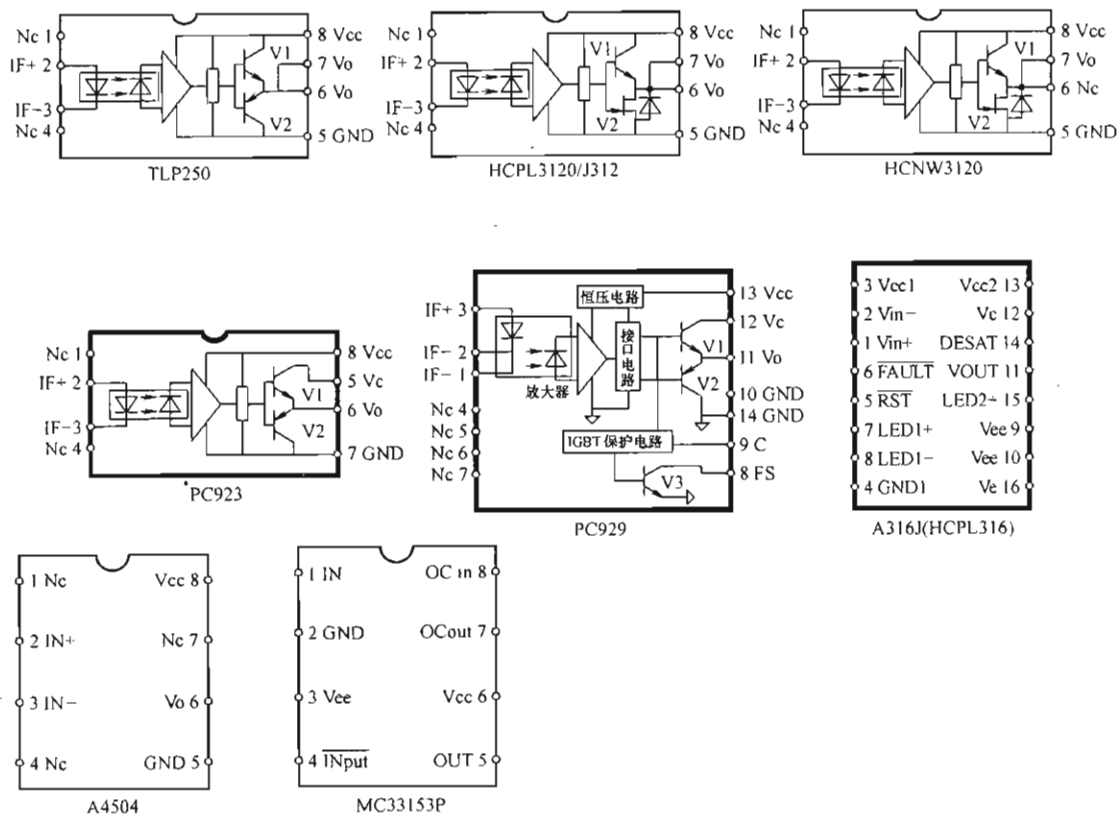
光耦合器用于变频器的控制端子内电路, 开关电源的电压采样与隔离等, 只要是四线端元件, 往往可用 PC817 代换之。线性光耦合器不能用普通光耦合器代换, 最好用原型号器件代换。

#### 6. 开关电源振荡芯片 (见附图 11)

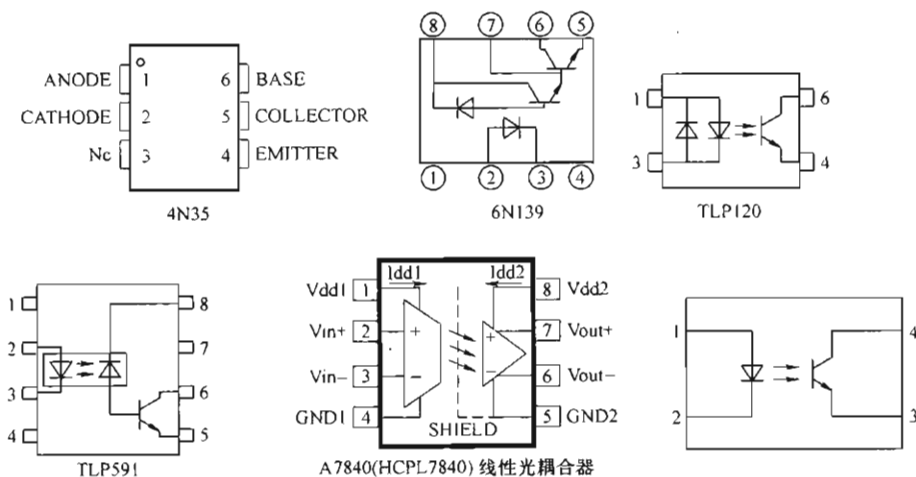
UC3842、UC3844 的引脚功能一致, 都有 8 脚和 14 脚两种封装形式。UC3842、UC3843 可相互代换, UC3844、UC4845 可相互代换。

#### 7. 常用功率 (逆变) 模块 (见附图 12 和附图 13)

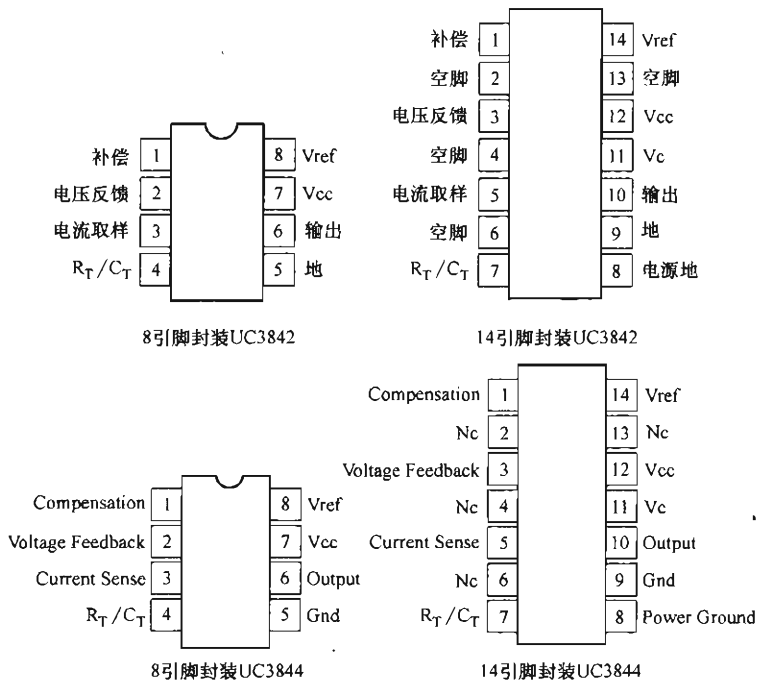
功率模块的封装形式和尺寸一致, 代换模块的额定电流值应等于或大于原损坏模块。



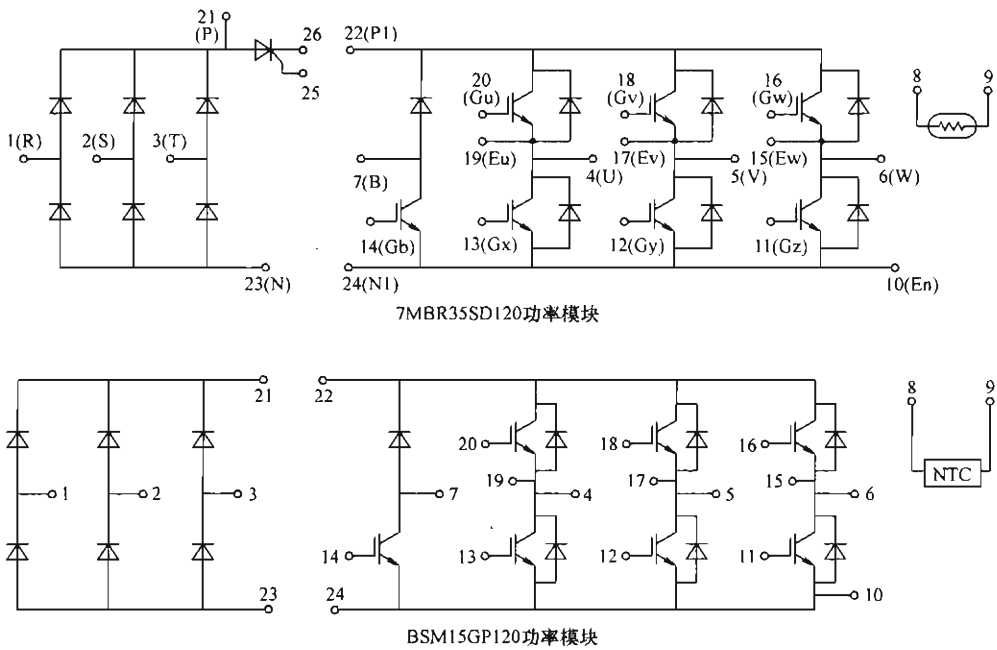
附图 9



附图 10

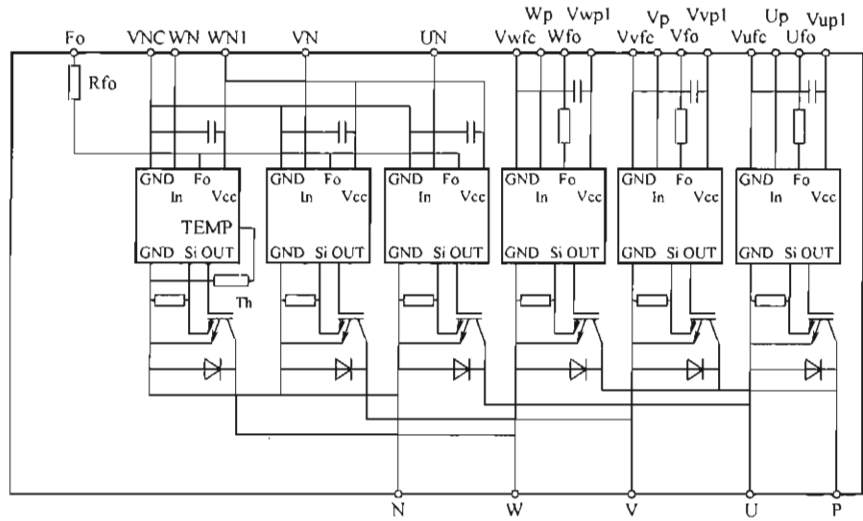


附图 11

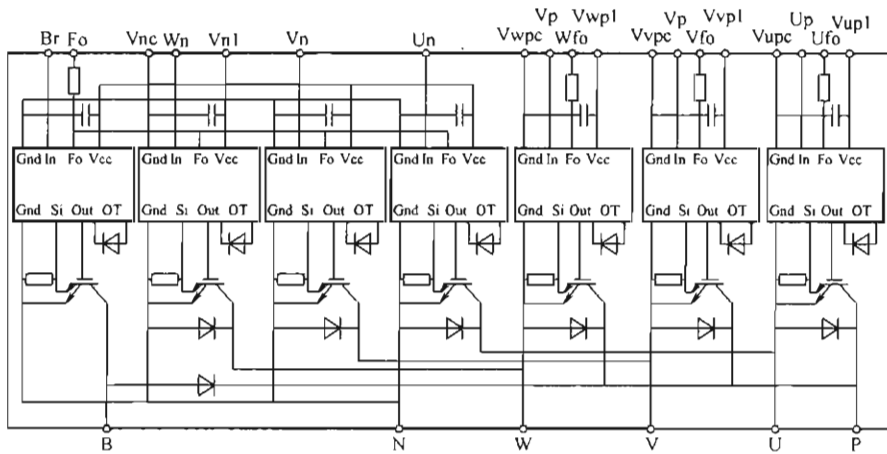


附图 12

智能功率模块应严格按原型号代换。



PM100VR120 IPM 智能逆变功率模块

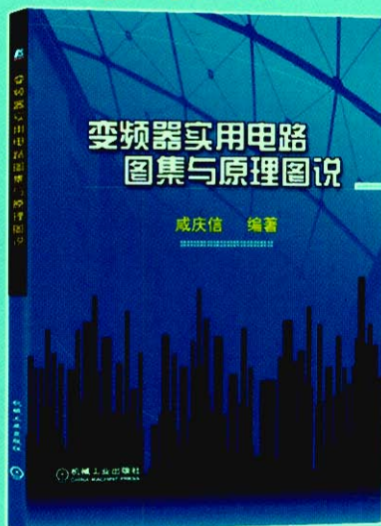


PM100RLA120 IPM 智能逆变功率模块

附图 13



## 参考图书



本书收进了从20世纪90年代初至近几年上市的15个变频器厂家的产品电路；汇集了国内外变频器厂家的23种变频器。

○ ISBN 978-7-111-28319-5

○ 策划编辑：朱 林

○ 封面设计：路恩中

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

(010)88379649

：(010)68993821

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-28319-5



9 787111 283195 >

定价：38.00元