

变频器

电路维修与 故障实例分析

咸庆信 著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



变频器电路维修与故障实例分析

咸庆信 著



机械工业出版社

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、故障判断上的辨证施治、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

咸庆信
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 主电路板····· 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
第 8 章 变频器检修的系统方法论述 ...	201	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	附录 变频器电路常用 IC 引脚 功能图	220
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。

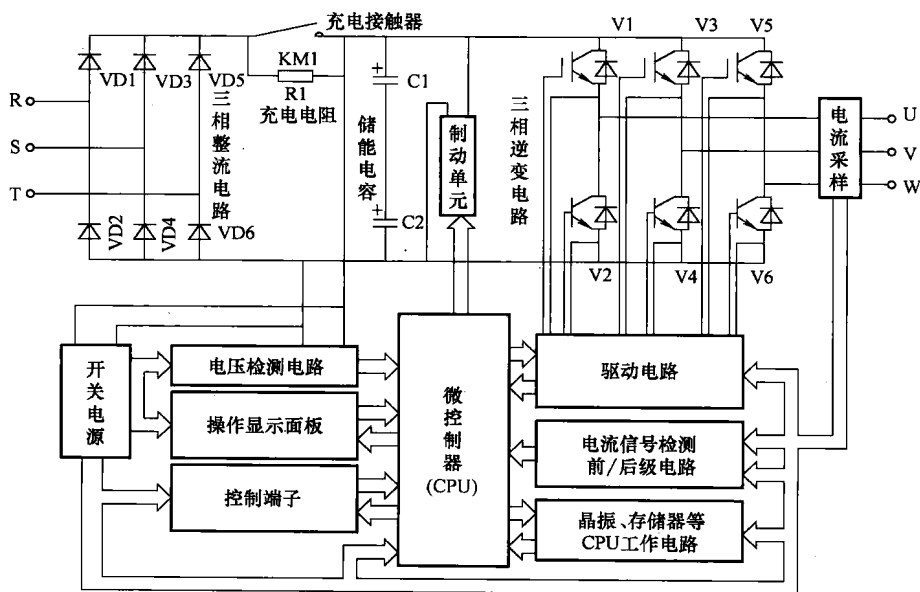


图 1-1 变频器整机电路框图

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CN1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

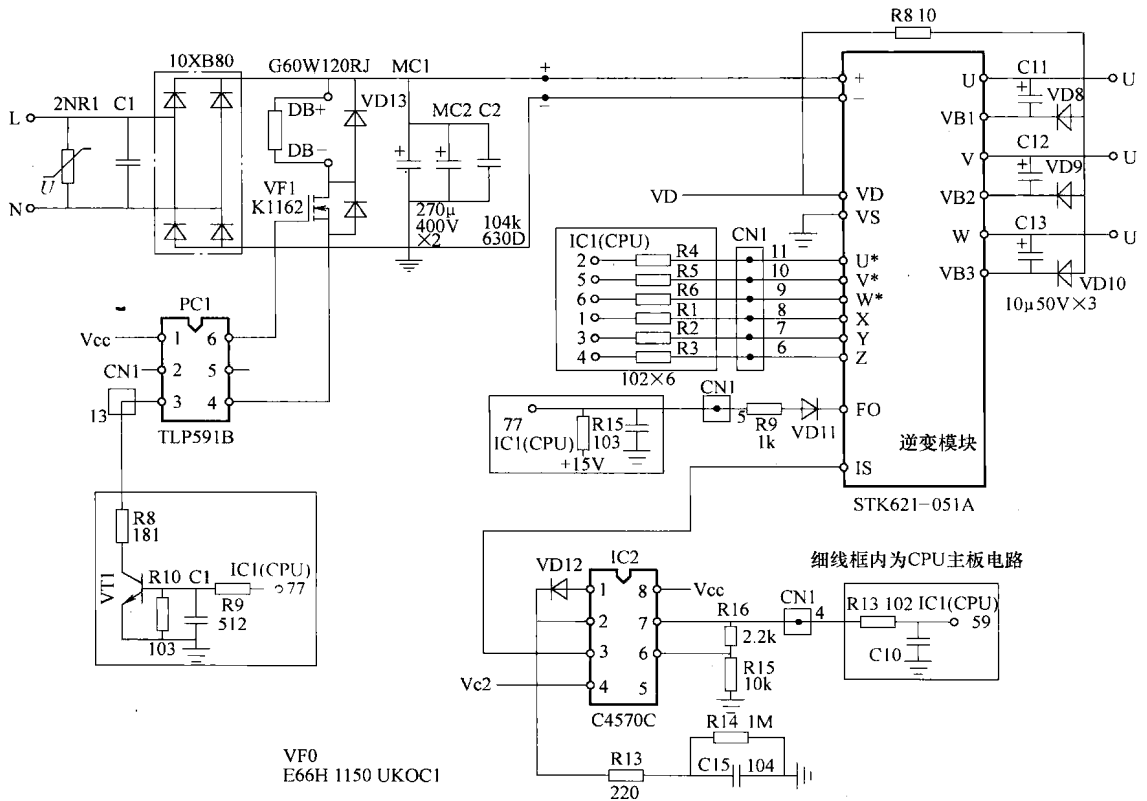


图 1-2 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器主电路

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 为起动电路，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

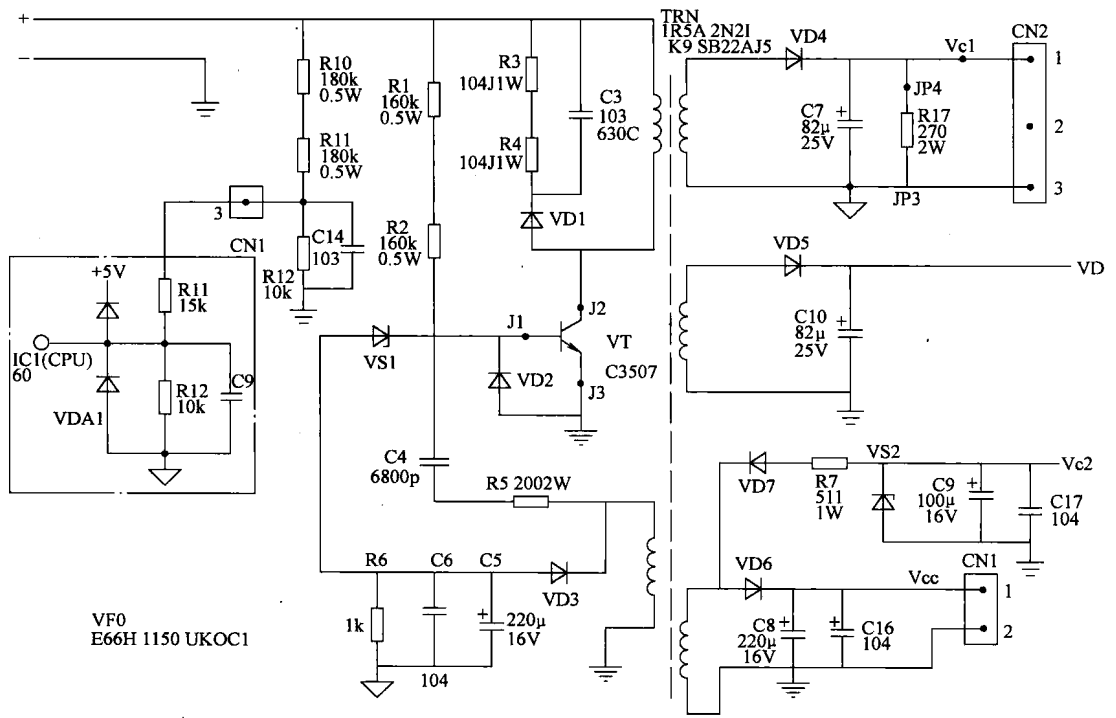


图 1-3 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器开关电源电路

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

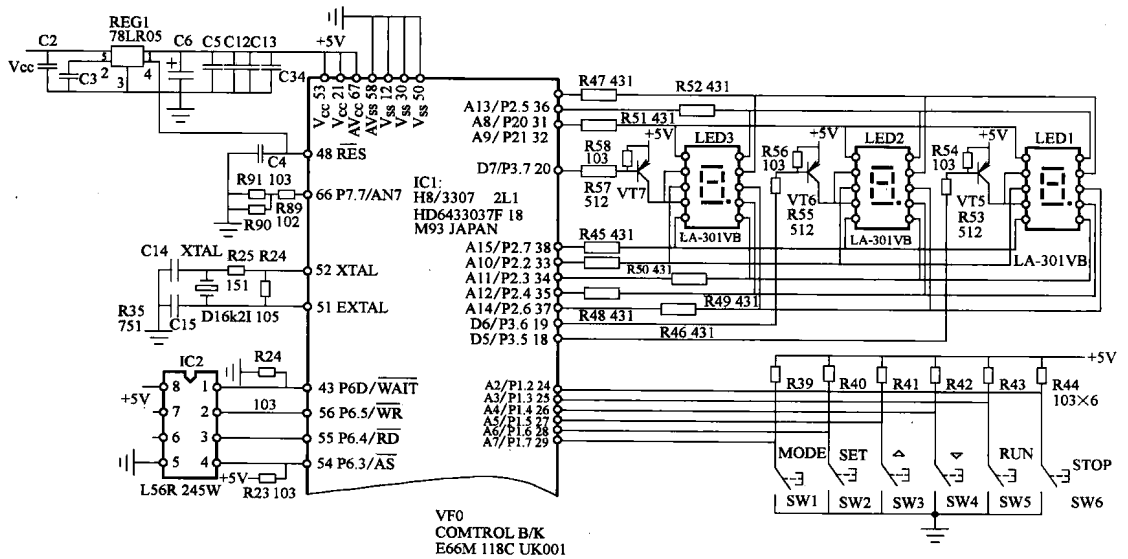


图 1-4 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之一——CPU 的基本电路

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。RP1 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。

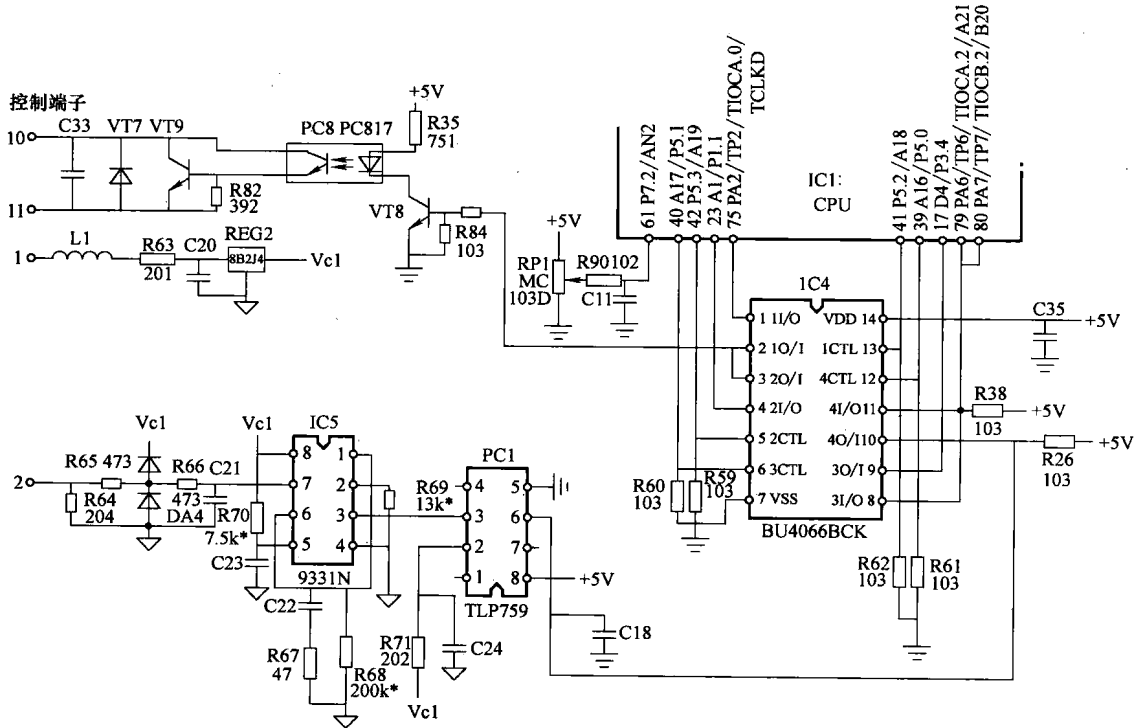


图 1-5 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之二——数字/模拟信号控制端子电路

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。

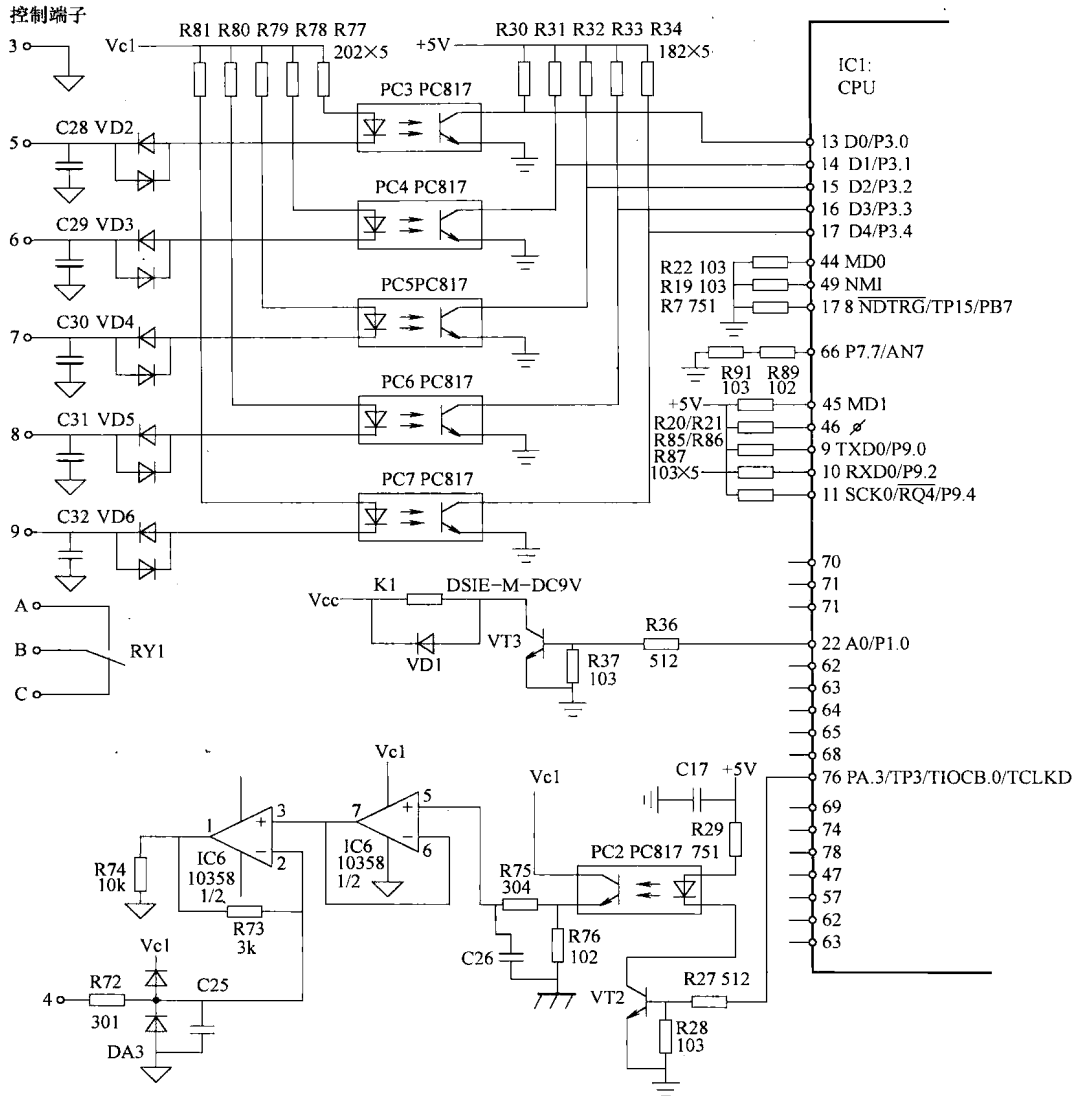


图 1-6 INVERTER VFO 220V 0.4kW 变频器 CPU 主板电路之三——数字控制端子电路

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

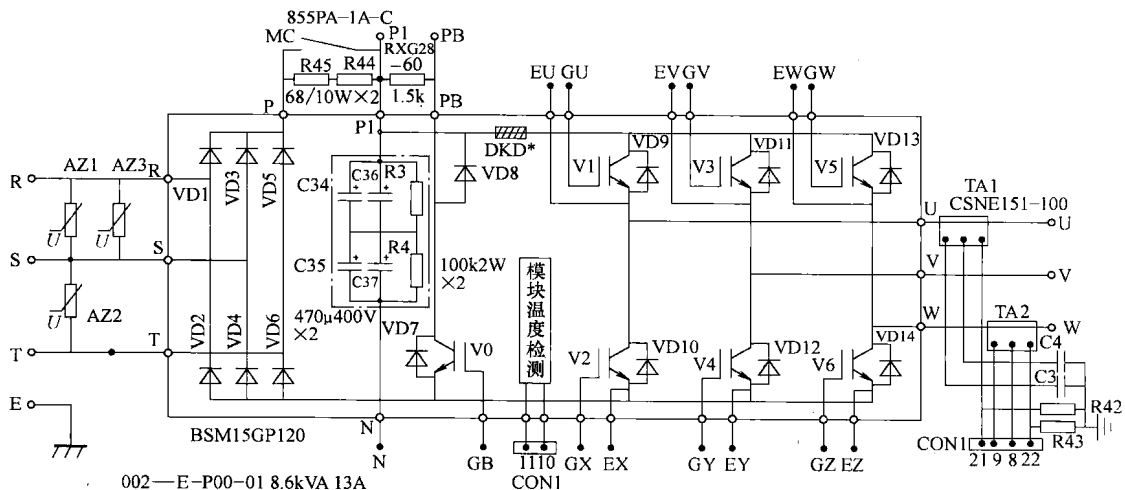


图 1-7 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器主电路

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。

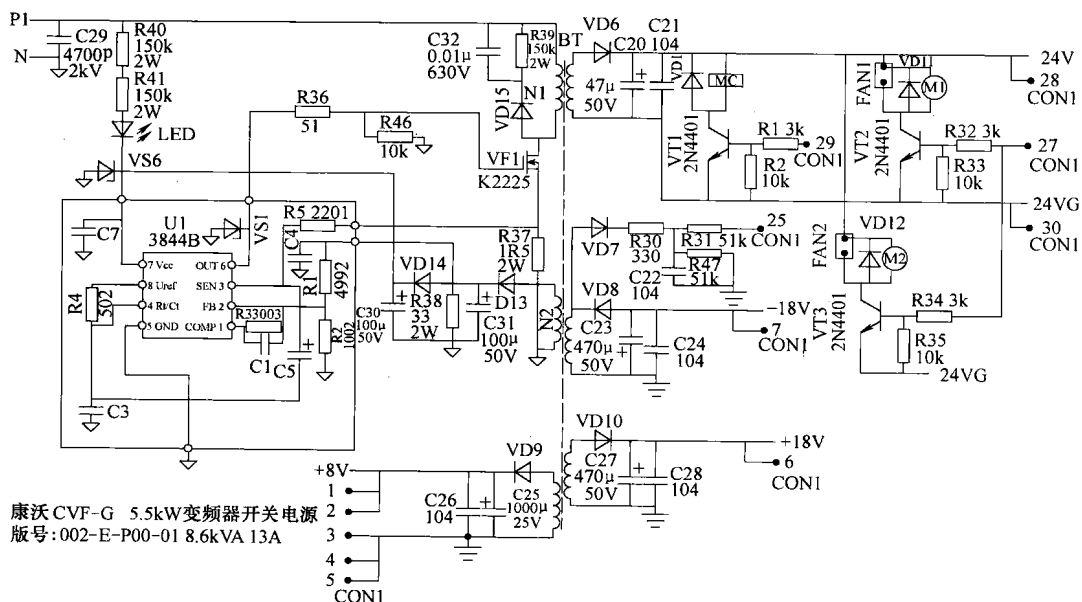


图 1-8 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器开关电源电路

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。

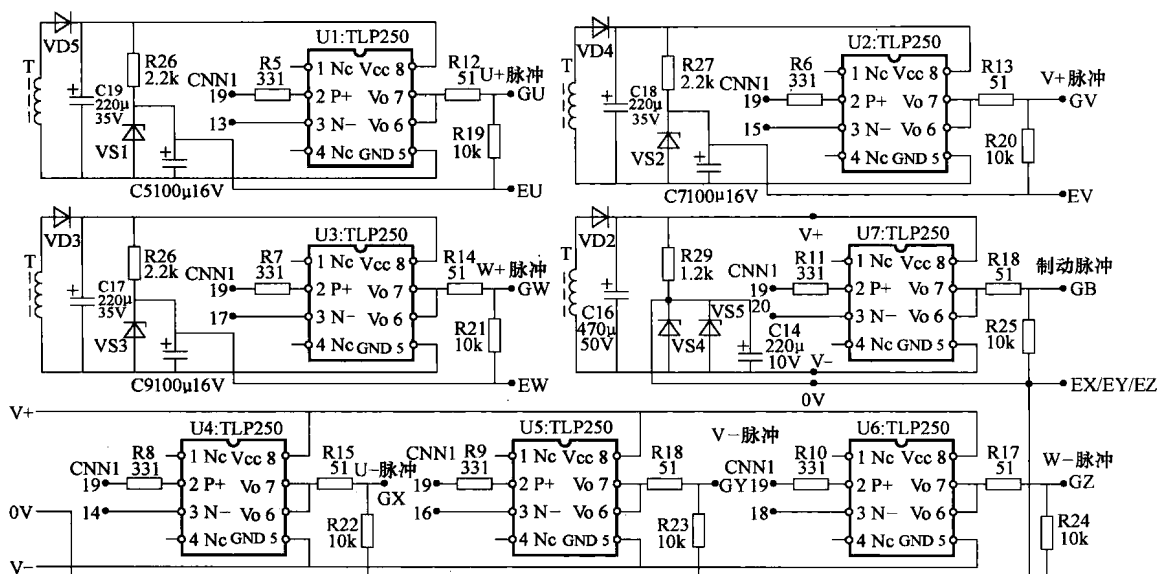


图 1-9 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器驱动电路

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/

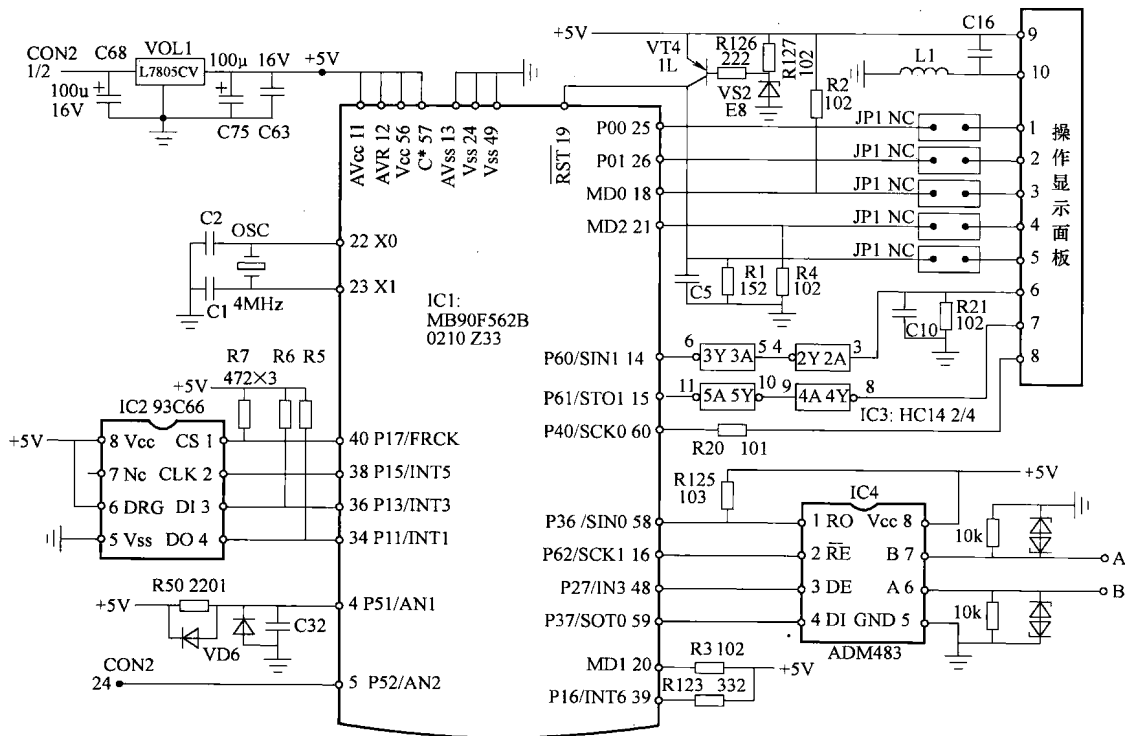


图 1-10 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器 CPU 基本电路

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

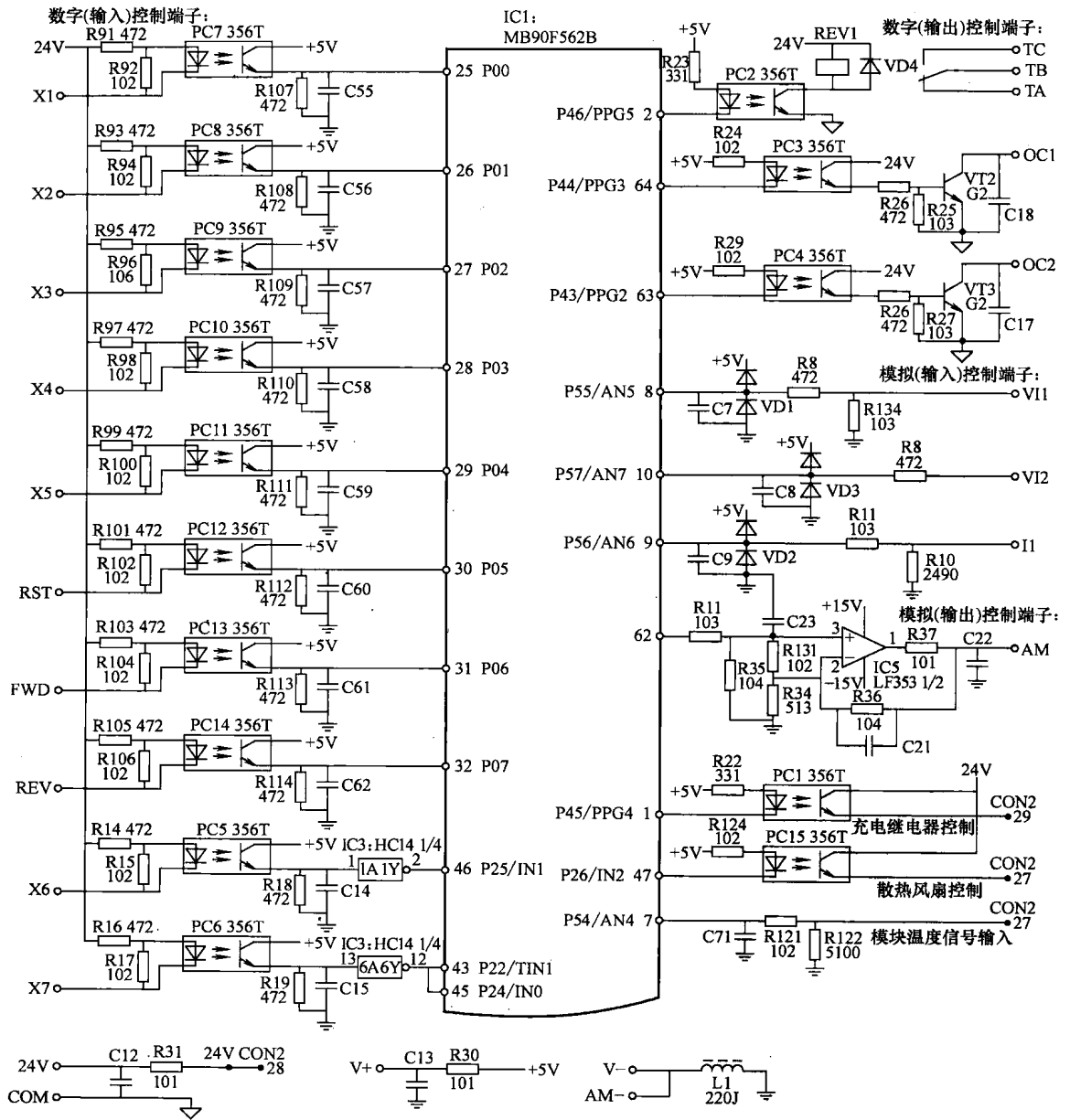


图 1-11 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器控制端子/控制信号电路

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。

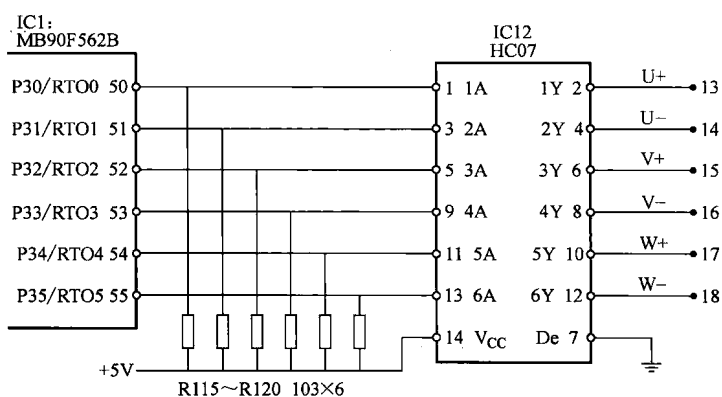


图 1-12 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器逆变脉冲输出电路

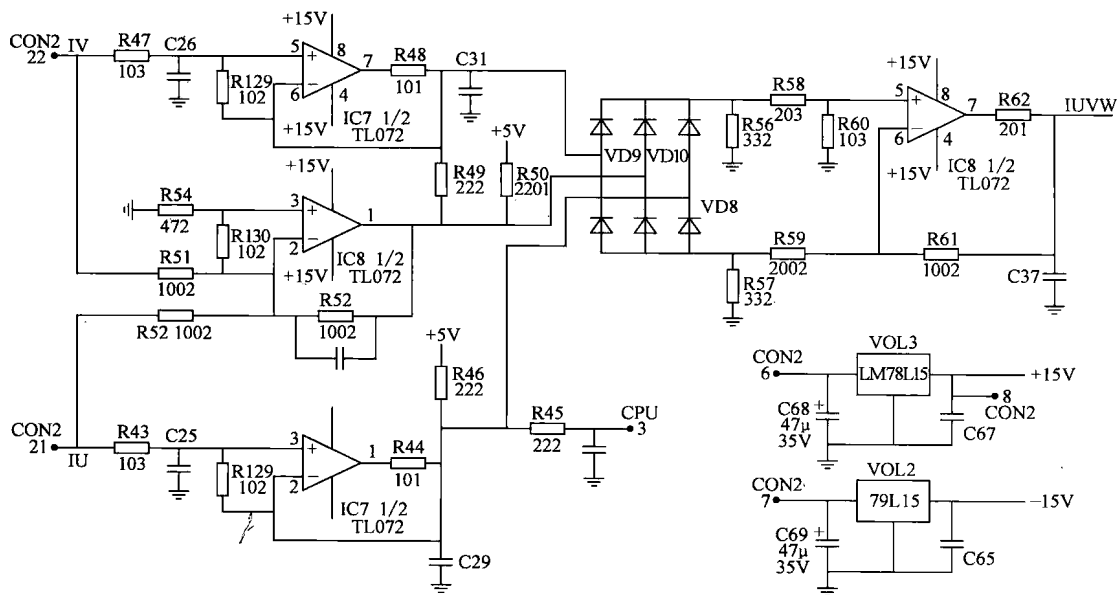


图 1-13 康沃 CVF-G 5.5kW 变频器电流检测电路

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连锁关系，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：