



变频器检修 快速入门

BIANPINQIAXIXU KUAISURUMEN

咸庆信 编著

- 分析实测电路原理
- 介绍重要元件功能
- 归纳故障检修思路
- 剖析典型故障实例



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

变频器检修 快速入门

咸庆信 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合作者多年变频器检修经验,以中达 VFD-B 型 22kW 变频器、正弦 SINE300 型 7.5kW 变频器、海利普 HLP-P 型 15kW 变频器的实际测绘整机电路为蓝本,并兼顾其他机型变频器的代表性电路,从电路构成、电路原理分析、重要元件的性能与检测、故障检修思路(方法)与故障实例分析,多角度、全方位地阐述了变频器的故障检修技术。本书通俗易懂、紧贴实际、图文并茂,是一本不可多得的变频器检修入门指导书。

本书适合于广大电工人群,从事电气自动化工程、电力电子、电气传动等专业的技术工程人员和设计人员学习使用,也可供大专、高职高专等院校电气专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频器检修快速入门 / 咸庆信编著. —北京:中国电力出版社, 2012.9

ISBN 978-7-5123-3544-8

I. ①变… II. ①咸… III. ①变频器—检修 IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 228204 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 542 千字

印数 0001—3000 册 定价 42.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

变频器电路，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，均说明着这类机器作为智能化电气设备的特点，因而其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、调试和维修工作达十年以上，修理各类进口、国产变频器数百台次，书中电路实例全是由变频器实物测绘所成，故障实例全部来自于作者的检修实践，可以说本书是变频器维修实践的产物，是一本原创型技术书籍。

本书从检修工具、检修仪表的应用和准备，到对电路板贴片元件的认识、检测和代换；从对整机实际测绘电路的原理分析，对重要元件的功能介绍、检测方法和代换事项的论述；从对故障思路的伸展、检测方法的归纳、故障实例的展示，比较全面和透彻地阐述了变频器的检修方法和操作示范，可读性好，可操作性强，使检修者通过对本书的学习，对变频器的检修感到有下手处、有思路、有方法、有把握掌握对变频器的故障检修。

书中的实际电路构成、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，这使得读者对相关故障的检修有豁然开朗的感觉。

本书以中达 VFD-B 型 22kW 变频器、正弦 SINE300 型 7.5kW 变频器、海利普 HLP-P 型 15kW 变频器的实际测绘整机电路为蓝本，并兼顾其他机型变频器的代表性电路，进行电路原理分析，并给出故障检修指导。书中有些元器件的图形符号和文字符号，由于是依据电路板实物进行的，可能并不完全符合相关标准，但为了忠实原电路，提供检修上的参考和方便，也就未作改动，特此说明。

一本书的出版，不是一人之劳。在此向促成本书问世的我的朋友和家人，以及广大热心的读者朋友们，表示由衷的感谢！

由于时间仓促，作者水平所限，书中难免存在疏忽和谬误之处，恳请广大读者批评指正！

咸庆信

〔作者在中华工控网 (<http://blog.gkong.com>) 开有“变频器维修——工控”的博客，并担任“变频器维修论坛”的版主，读者朋友们在维修中如碰到疑难问题，可随时提问，并参加讨论，作者会尽量及时有效地解答。电子邮箱：lyfxian@163.com〕

目 录

前言

第 1 章 认识变频器	1
1.1 变频器是什么	1
1.2 变频器的基础应用	2
1.3 变频器的整机电路构成	8
1.4 中达 VFD-B 型 22kW 变频器的整机电路	10
1.5 海利普 HLP-P 型 15kW 变频器的整机电路	21
1.6 正弦 SINE300 型 7.5kW 变频器整机电路	29
第 2 章 变频器维修前的准备工作	39
2.1 检修仪表和工具	39
2.2 认识贴片元件	43
2.3 知识储备和资料准备	66
第 3 章 变频器主电路的原理和检修	67
3.1 拆机前的“问、望、闻、切”和简易测量	67
3.2 变频器主电路的器件测量方法和故障表现	69
3.3 如何为主电路上电和带载	80
3.4 海利普 HLP-P 型 15kW 变频器主电路原理及检修	86
3.5 中达 VFD-B 型 22kW 变频器主电路原理及检修	94
第 4 章 变频器开关电源电路的检修	102
4.1 在维修中如何为开关电源电路供电	102
4.2 开关电源的电路特点综述	103
4.3 由分立元件构成的开关电源电路	104

4.4	由专用 PWM 振荡芯片构成的开关电源电路	116
4.5	中达 VFD-B 型 22kW 变频器开关电源的原理和检修	129
第 5	变频器驱动电路的检修	139
5.1	正弦 SINE300 型 7.5kW 变频器驱动电路	139
5.2	海利普 HLP-P 型 15kW 变频器驱动电路	148
5.3	中达 VFD-B 型 22kW 变频器驱动电路	160
5.4	由 HCPL-316J 驱动 IC 构成的驱动电路	169
5.5	变频器制动电路的检修	176
第 6	故障检测与保护电路的检修	178
6.1	电流检测与保护电路	179
6.2	电压检测电路	211
6.3	温度检测电路和散热风扇控制电路	222
第 7	变频器 MCU 主板 (和操作显示面板) 电路的检修	228
7.1	MCU 器件特性、引脚功能特点、故障检修思路	228
7.2	正弦 SINE303 型 7.5kW 变频器 MCU 主板电路	248
7.3	海利普 HLP-P 型 15kW 变频器 MCU 主板电路	262
7.4	VFD-B 型 15kW 中达变频器 MCU 主板电路	275
第 8	变频器检修“能量”的“进补”	286
8.1	掌握端子排线图的好处	286
8.2	变频器的电源系统	290
8.3	脉冲传输通道的“全电路”	297
8.4	变频器元器件的性能变劣现象	302
8.5	MCU (DSP) 芯片坏了还能修吗	307
8.6	如何代换 MCU 主板和破解密码锁定	310
	参考文献	314

认识变频器

1.1 变频器是什么

在工业生产领域，交流三相电动机是唱主角的，为生产过程提供源源不断的强大动力。电动机的转速取决于电动机定子绕组的连接方式（定子磁极对数）和电源频率。我国的工频电源的频率 50Hz，电压是三相 380V。在电动机的定子磁极对数固定不变的情况下，电动机运转的速度被电源频率“束缚”住，只能有一个固定转速。

在变频器出现以前，若实现对电动机的调速运行，所采用的方法，不外乎从电动机和机械两方面采取相关措施：①用传输带传输转矩的装置，用更换电动机轴端的主动轮和负载端从动轮的轮径的方法，来改变转速，负载只能运行于某一固定速度；②与此相仿，用变速箱（调整传动比）实现机械有级调速，有数个速度挡位；③能实现平滑无级调速的是滑差调速控制方式，通过调整原动机与从动机的电磁转矩实现无级调速，但缺点是存在较大的力矩传递损失，效率不高，低频时性能变差。以上都是从电动机以外采取措施调速的方法。若从电动机本身出发，可利用改变电动机的极对数，即改变电动机绕组接法的方法，来实现有级调速。电动机的结构较为特殊，需要较多的引出线，需与外部控制电路配合，完成极对数切换，切换级数受限，外接控制设备复杂。

应该说，是调速的需要导致了变频器的出现，如果电动机供电电源的频率是可以变化的，并且变化范围足够大，那么电动机的转速限制将被解除，只要是机械特性允许，就可使电动机“自由运转”于任意速度下，有人说，是变频器“解放”了电动机的运行速度。相对于工频电源来说，变频器是一个变频电源，其工作方式被称为 VVV/F 工作方式。事实上，为保证任意速度下的恒转矩特性，要求主磁通为一恒定值（避免产生磁饱和现象），在频率改变的同时，需要同步改变输出电压。因而变频器是一个既变频又变压的设备。其输出频率与电压，基本上也成一个对应的线性关系，如输出频率 0~50Hz，输出线性电压也为 0~380V。当频率为 25Hz 时，输出电压为 190V 左右。变频器的 U/f 输出特性，可据负载特性进行设置，为保证低速时的转矩能力，变频器通常还有转矩提升功能。

用变频器来控制电动机，首先是利用是其平滑无级（宽范围）的调速性能，同时带来了两个“副产品”：

1) 节能运行。基频 50Hz 以下运行时，运行电压（电流）减小，有功功率降低，节能效果明显。

2) 优良的软起动性能。比之传统的星/角降压起动、自耦变压器降压起动、晶闸管降压起动

方式,变频起动可称为理想的“终极性”的起动模式,前者仅仅是降压起动,起动期间由于巨大转差率的存在,仍会形成数倍于电动机额定电流的起动电流;后者不仅降压,而且降频,起动期间电动机的转差率也能较好地维持于 5% 以内,能真正地将满载起动电流值限制于额定电流以内。

一般厂家的变频器产品,通常分为三大系列,即风机/水泵专用型(定义为 P 型机)、通用型(定义为 G 型机)和矢量型(高转矩机),有的分类法将矢量型也并入通用型机。风机/水泵专用型变频器,适用于二次方递减转矩型负载,抗过载能力稍差;通用型变频器,适用于恒转矩负载,有较强的抗过载能力;矢量型变频器,有较强的适应负载的能力,能使交流电动机取得类似直流电动机一样的驱动效果。三种机型,从维修的角度看,控制电路的硬件电路结构其实是一样的,区别只是在软件控制和过载能力的大小上。后二者机型,在选用功率输出模块(逆变模块)上,要大一个功率级别,如 5.5kW 通用机型,其实又是 7.5kW 风机/水泵专用机型。

检修中,不必费心去考虑什么机型和哪家的产品,其整机硬件电路都是相似或相同的。下面来看一下变频器的整机电路构成。

1.2 变频器的基础应用

中达 VFD-B(矢量)型 22kW 变频器实物图如图 1-1 所示。



图 1-1 中达 VFD-B 型变频器实物图

如果将变频器看做是交流接触器一样的部件,都是输入三相工频电源,再输出三相电源。交流接触器是一个三相电源的通、断控制开关,变频器是一个电源设备,输入工频电源,输出为频率/电压可变的三相电源,或者说是一个逆变电源设备。机器正中有操作显示面板,底部或上部安装有散热风机(或称风扇)。打开防护盖板,可看到主接线端子和控制线路板上的控制端子排。从控制方面看,变频器具有更为复杂和高度智能化的控制功能,这从变频器的端子接线图就可以看出。VFD-B 型 22kW 变频器的端子接线图如图 1-2 所示。

一、主端子接线

图 1-2 的上部为主端子配线,包含三相电源输入端子、逆变电压输出端子、外接(或内接)直流电抗器端子、制动单元连接端子等,其功能说明详见表 1-1。

按电工标准,三相电源端子标注为 L1、L2、L3,变频器的三相电源进线端子,均标注为 R、S、T,本例机型实际标注为 R/L1、T/L2、S/L3;变频器输出端子标注为 U、V、W,本例机型为 U/T1、V/T2、W/T3。

主端子接线应该注意如下问题。

(1) 如果电源输入和输出端子接反,误将三相 AC380V 接入 U、V、W 端子,极有可能损坏内部逆变功率模块和储能电容。

(2) P1、P2 端子,本例机型实际标注为 (+1) DC、(+2) DC,系变频器内部三相桥式整流输出端,一般 11kW 以下小功率变频器,省掉内置或外置直流电抗器,处于直接短接状态,也无外引出端子。本例机型内含直流电抗器,无须外接,也无须将端子连接短路片。

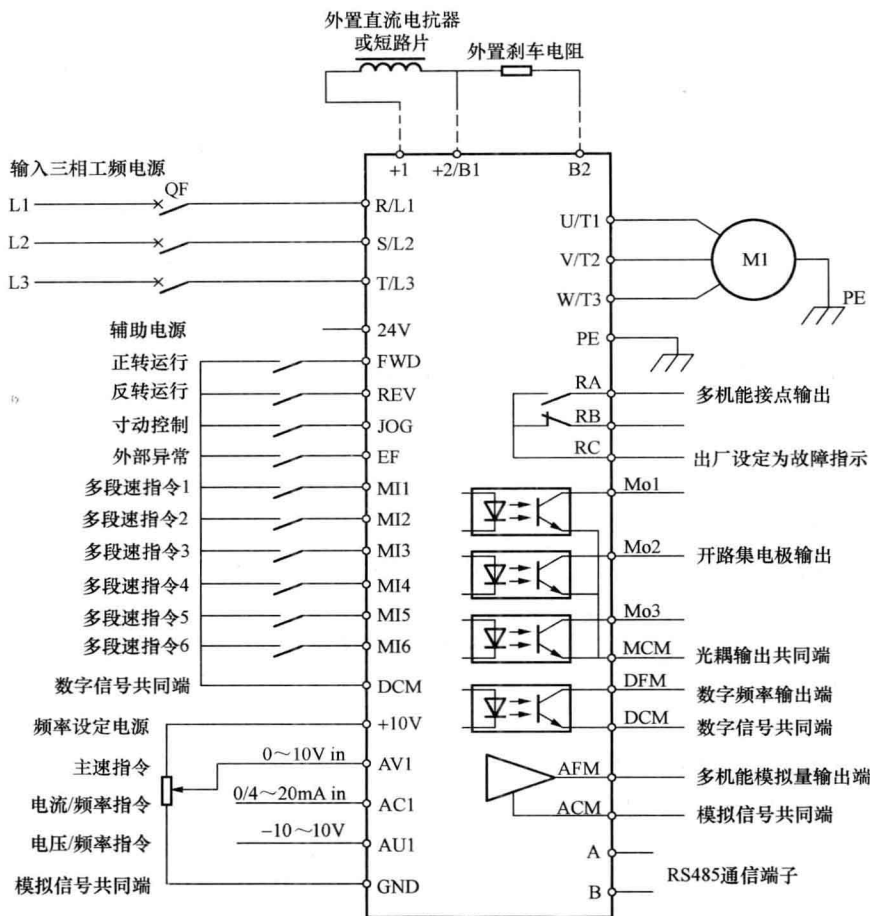


图 1-2 VFD-B 型 22kW 变频器配线图

表 1-1

VFD-B 型 22kW 变频器主端子功能说明

端子记号		内 容 说 明
R, S, T	R/L1, S/L2, T/L3	商用电源输入端（单/三相）
U, V, W P1, P2	U/T1, V/T2, W/T3 +1, +2	交流电动机驱动器输出，连接三相感应电动机 功率改善 DC 电抗器接续端，安装时请将短路片拆除（≥15kW 为内含 DC 电抗器）
P-B, P2/B1-B2	+2/B1, B2	刹车电阻连接端子，请依选用表选购
P2-N, P2/B1-N	[+2- (-), +2/B1- (-)]	刹车制动模块接线端（VFDB 系列）
⊕	接地端子，请依电工法规 230V 系列第三种接地，460V 系列特种接地	

机器无内置直流电抗器时，出厂时已用短路片短接，用户也可以用选配件（选购直流电抗器）外接。调试或检修中，应将该端子短接，以提供机器内部的工作电源。

（3）11kW 以下小功率变频器，机器内部一般都内含制动开关管和功率制动电阻。中、大功率变频器，往往从直流回路引出 P/P+、N/N-端子，供外接制动单元。部分小机型内含制动开关管，引出 PB、N 端子，供外接制动电阻。检修中，不必外接相关器件。

二、控制端子的作用

变频器的控制端子，一般包含数字信号输入端子、模拟信号输入端子、数字信号输出端子、模拟信号输出端子，以前三种应用最多。图 1-2 的左中侧为数字信号控制端子，为开关量信号输入，外部信号输入设备可为开关、按钮或（PLC 等控制器）输出继电器的触点信号等，用于变频器的起动、停机、故障复位、多段速运行等控制，外部控制部件经端子 24V 辅助电源，形成控制指令输入回路，将信号输入变频器内部电路。这些控制信号又称为变频器的控制指令来源，决定变频器的工作状态。

左下侧为模拟信号输入端子，一般有 0~10V 电压信号输入端子和 0/4~20mA 电流信号输入端子，至于哪路控制信号生效，可由参数设置（有的机型用信号选择短接片位置的不同来选择）。也可同时形成转速给定和反馈信号输入，实施 PID 闭环控制。端子输出的 10V 辅助电源，可供外接电位器的电源，形成频率调整信号。模拟输入信号，又称变频器的频率指令来源，决定着变频器的输出频率。

右中下侧为数字信号、模拟信号输出端子，输出信号的触点状态，表征着变频器的工作状态。大多为可编程输出信号，输出信号内部可由参数设置。供外接信号指示灯，外接频率计或电压表头，显示变频器的运行频率、输出电压、运行/停止/故障等工作状态。

变频还有一个信号端子，即 RS485 通信端口，该端口信号流通是双向的，无法将其定义为输入或输出端口。早期变频器与 PLC 须加装 RS485 通信模块才能工作，新型变频器与 PLC 都已有内置 RS485 通信模块，并配置了 RS485 通信端子，只须用两根双绞线连接，PLC 就可以对变频器实施通信控制了。

三、变频器的控制参数设置

对变频器的基本控制，即起动、停止和调速运行，除用控制端子进行控制外，还可以用操作显示面板进行起/停和调速控制，另外，变频器接受操作面板还是控制端子的控制，频率指令接受电压还是电流信号或面板的数字调节，控制端子的操作功能等，都要事先由工作参数进行设置。

对控制端子进行设置，即赋予相关端子的“具体权力”，指定该端子的操作功能，为下一步对变频器的操作和运行控制，做好准备。

表 1-2 是变频器控制端子的可设置内容，表 1-3 为变频器常用调节参数。

表 1-2 变频器控制端子的可设置内容

端子类型、名称	可设置内容
数字信号输入端子	多段速控制；正转/点动运行；反转/点动运行；故障复位；频率升或频率降调节；外部故障报警；频率设定通道选择等
数字信号输出端子 (接点信号输出)	零频率；运行中；变频器故障；频率上限到达；频率下限到达；变频器过电流；变频器过电压等
数字信号输出端子 (开路集电极输出)	开关量信号输出，同接点信号输出端子；脉冲信号输出：①变频器输出频率；②变频器输出电压；③变频输出电流等
模拟信号输入端子	频率指令，电流或电压信号；反馈信号，电压或电流信号（用于 PID 控制时）；辅助调速信号等
模拟信号输出端子 0~10V	输入或输入电压；直流回路电压；输出电压；输出电流；输出功率；PID 整定值；PID 反馈值等

表 1-3 变频器常用调节参数

序号	类 别	作 用
1	运转指令来源	对变频器运行和停止命令来源的设置, 见表 1-4
2	频率指令来源	对变频器输出频率控制信号来源的设置, 见表 1-4
3	起动方式	①从 0Hz 起动; ②按设定频率下限起动; ③转速跟踪起动
4	停车方式选择	根据运行工况选择停车方式: ①自由停车; ②减速停车; ③直流制动方式停车等
5	加、减速时间	根据负载特性调节, 如大惯性负载, 需适当延长加、减速时间
6	起动转矩调节	调节频率低段的 U/f 比, 以增大起动转矩, 避免堵转现象出现
7	载波频率调整	大功率电动机起动困难或运行时对仪表造成干扰时, 调低载波频率试之
8	V/F 曲线选择	据负载特性设置 U/f 运行曲线, 以与负载特性相适应
9	频率上/下限设置	特殊负荷, 须进行频率上/下限设定, 如水泵, 应设置频率下限, 防止干抽
10	输入/输出端子功能	对端子功能进行可编程设定, 使之按需要输出相应信号
11	PID 设置	使变频器运行于 PID 控制模式, 和对 P、I、D 值进行调节
12	RS485 通信设置	与上位机通信时, 需进行相关的通信设置
13	保护设置	对变频器容量, 负载电动机功率进行过压、欠压、过流等保护设置

表 1-3 中序号 1~8 项为必调参数, 其他参数可根据具体应用情况进行调节。

这里对停车方式和 U/f 曲线选择再作一下说明。

(1) 停车方式。一般有以下三种停车方式可供选择。

1) 自由停车。变频器接受停止信号后, 输出即时中止。电动机绕组供电中断, 无反发电能量回馈变频器, 停止方式最为安全, 负载设备完全靠运转惯性停车, 缺点是无法精确控制停车时间和停车位置, 适用于对停车时间和停车位置无要求的场合。

2) 减速停车。变频器接受停止信号后, 由逐渐降低运行频率至停止, 属于“柔性停车”方式。这种停车方式在供水控制中, 可有效消减“水锤效应”, 减缓对管网系统的冲击。但减速停车的缺点是当电动机有超速发生(系统惯性较大)时, 产生反发电能量馈入变频器的直流回路, 需加装制动单元和制动电阻, 消除此有害能量。

3) 直流制动停车, 变频器接受停机信号后, 三相电压输出中止, 接着输出一个直流制动电压, 施加于电动机绕组上, 直流电压的施加幅值和施加时间可以由参数设置, 由此可以较为精确地控制停车时间和停车位置。

(2) 对变频器输出 U/f 曲线的设置。调整的目的, 是使变频器的 U/f 输出特性吻合于所拖动负载的转矩特性, 以实现顺利起动、降低运行电流、降低无谓功耗、避免堵转现象出现等科学合理高效的运行。根据电动机负载的转矩特性, 可分为恒转矩负载、恒功率负载和二次方减转矩负载三种转矩类型。三种负载特性的转矩曲线如图 1-3 所示。

1) 恒转矩负载。起重机之类的位能负载, 需要电动机提供与速度基本无关的恒定转矩, 在不同转速下, 负载转矩基本保持不变。一个明显的输出特征是: 在低速和高速段的电动机电流几乎是恒定不变的。此外, 空气压缩机、传送带、台车等均呈现恒转矩特性。

2) 恒功率负载。典型负载如卷绕机, 开始时卷绕直径小, 卷绕速度高, 电动机输出转矩较小。随着卷绕直径的加大, 转速降低, 但卷绕转矩增大。其明显的输出特征是: 在低速段, 电动机电流大, 高速时电动机电流小。电动机的运行速度与电流值成反比, 电动机维持一个恒功率输出。

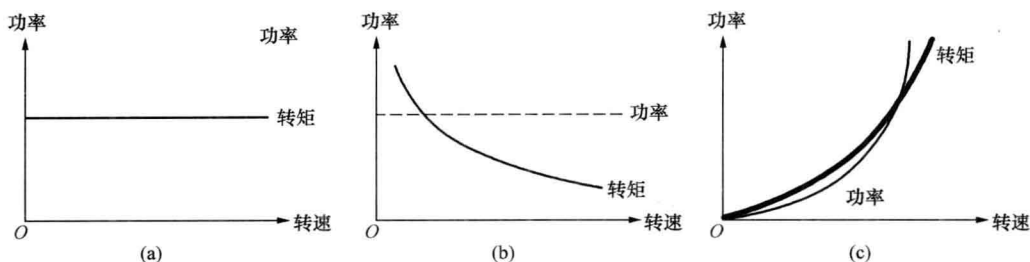


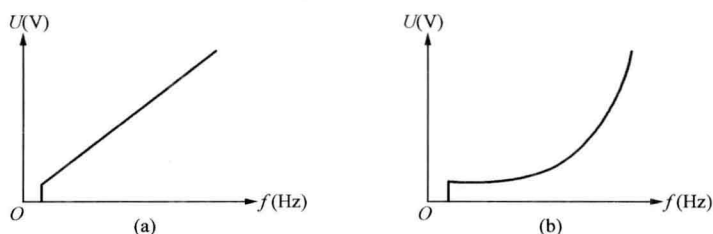
图 1-3 三种负载特性的转矩曲线

(a) 恒转矩负载; (b) 恒功率负载; (c) 二次方减转矩负载

3) 二次方减转矩负载。风机、水泵为典型负载。在低速时负载转矩较小, 随转速的上升, 其转矩按转速的二次方递增, 超速时会造成严重超载。明显的输出特征是: 输出电流也按转速的二次方进行递增。在速度起始段和中速以下, 电动机电流增幅小。在中速到高速的后半段, 电流增幅快, 电流曲线的陡峭度变大。

因三种负载特性差异太大, 当变频器的 U/f 曲线设置不当时, 会出现运行电流超大、电动机发热量增大、起动困难等异常现象。变频器参数项中, 有多种 U/f 曲线模式可供选择, 更可以通过调整最高频率、最高电压, 最低频率、最低电压, 中间频率、中间电压等参数, 对 U/f 曲线进行重设, 以更好地适应负载特性。

图 1-4 为 U/f 曲线图, 是变频器输出电压/频率的比例特性图。市场所销售的变频器, 一般有两种类型, 即通用型和风机水泵专用型。前者功率富裕量较大, 适用恒转矩负载, 过载能力强, 为图 1-4 (a) 所示的曲线输出型; 后者过载能力稍差, 为图 1-4 (b) 所示的曲线输出型, 适用风机水泵负载。两种变频器都可以适用于恒功率负载。

图 1-4 U/f 曲线图(a) 通用型 U/f 曲线; (b) 二次方减转矩 U/f 曲线

与 U/f 曲线相关联的参数: 起动转矩调节, 即起动频率值所对应的输出电压值调节。当起始点电压升高时, 起动转矩增大, 适宜于带载起动的场合。改变此参数, U/f 曲线也随之改变。

表 1-4 中的参数值, 是实现变频器运转和调速, 两个最基本的设置参数, 操作运行和检修调试过程中, 是首先要涉及和必须调整的参数值。如果被用户锁定, 不能调整时, 则可调看参数值, 由参数值确定当下的控制方式, 进而完成对变频器的起、停和调速控制, 达到调试和检修目的。

表 1-4

VFD-B 型 22kW 变频器的指令和频率来源参数值

参数代号	参数功能	设定范围	出厂值	客户
f02-00	第一频率指令来源设定	00: 由数字操作器输入 (PU01)	00	
		01: 由外部端子 AVI 输入模拟信号 DC0~+10V 控制		

续表

参数代号	参数功能	设定范围	出厂值	客户
f02-00	第一频率指令来源设定	02: 由外部端子 ACI 输入模拟信号 DC4~20mA 控制	00	
		03: 由外部端子 AUI 输入模拟信号 DC-10~+10V 控制		
		04: 由通信 RS485 输入		
		05: 由通信 RS485 输入 (不记忆频率)		
		06: 主频率与辅助频率组合 (配合参数 02-10~02-12)		
f02-01	第一运转指令来源设定	00: 由数字操作器输入 (PU01)	00	
		01: 由外部端子操作键盘 STOP1 键有效		
		02: 由外部端子操作键盘 STOP1 键无效		
		03: 由 RS-485 通信界面操作键盘 STOP 键有效		
		04: 由 RS-485 通信界面操作键盘 STOP 键无效		

参数调整时的注意事项:

1) 需要改变参数值时, 特别是用户在控制上有特殊要求时, 要先记录原设定值, 再修改参数值。调试或检修完毕后, 根据记录恢复原来的数值。

2) 原参数已经调乱, 不能进入正常的操作运行状态, 可实施参数初始化操作, 使其恢复为出厂值。

3) 一些参数因用户设置不当, 不能正常运行或误报故障, 需要根据工作现场的负载特性和控制要求, 重新修正相关参数值。

四、变频器的操作显示面板

参数设置与简易起停操作, 都是经过操作显示面板来进行的。

变频器的操作显示面板 (简称面板), 与控制线路之间通过插针或通信电缆连接, 是一种人机交互界面, 即可以将变频器的运行数据, 如运行电流值、直流电压值、输出频率值, 由 MCU (指主板上的微控制器) 上传至面板, 由数码显示器显示其数值, 并做出工作状态指示, 如运行、停机、故障指示; 也可以将按键操作信号下传至 MCU, 用于起、停操作或修改运行参数。

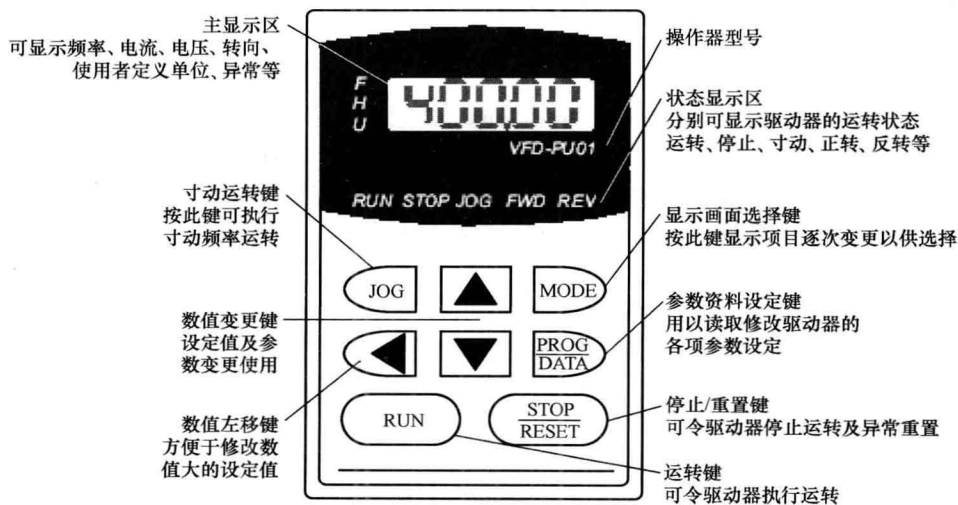


图 1-5 VFD-B 型 22kW 变频器操作显示面板的按键功能图

VFD-B 型 22kW 变频器操作显示面板的按键功能图如图 1-5 所示。操作显示面板的型号为 FU-01, 代换时须注意型号一致。MODE 按键用于显示画面切换和在显示、设置两种状态之间的切换; PROG/DATA 键用于参数值的读取与写入(储存); 3 个箭头键用于参数值的加、减和移位; 其他按键用于起、停、点动、故障复位等操作。

变频器的面板按键布置与数量及操作步骤和参数修改方法, 各种产品大致都是类似的, 熟练掌握一种, 其他品牌变频器的操作, 也同时会了。

故障检修中, 面板还起到一个“故障监控器”的作用, 根据故障代码形成的故障提示, 以及检修过程中, 面板的随机性相关指示和面板显示器、指示灯的全亮、全不亮等状态, 判断故障来源和缩小故障区域, 可以有针对性地采取检修措施, 达到快速、高效修复故障的目的。

本节内容都是变频器应用层面的东西, 但掌握这些基础性知识非常重要。应用和调试与检测过程密切相关, 一些设置不当的故障必须由正确的设置来解决, 单靠修理手段是不够的。有时候, 正确的调整, 能保障优良的修复效果, 使故障返修率降至最低。或者说调试与应用也构成了检修内容的一部分。应用能力和检修能力是一个互相促进的过程。如对 U/f 曲线的调整, 使之契合负载特性, 能有效降低故障率; 反过来, 如果对控制端子的内部电路了然于胸, 则能用 0~5V 的模拟电压信号, 输入 0/4~20mA 电流信号端子, 也能起到 0/4~20mA 电流信号一样的控制效果。这在信号源的类型受限或原端子内部电路损坏时的应急修复等情况下, 能立竿见影地解决问题, 将检修能力转化为超出一般的应用能力。

1.3 变频器的整机电路构成

在应用和维修中, 经常见到的变频器, 主电路的中间环节有一个电容储能电路, 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, 将输入三相交流电压先由整流桥电路整流和电容滤波(储能)变成直流电压, 再逆变为交流输出。变频器本身是一个逆变器, 比之于工频电源, 变频器是一个输出频率(和电压)可变的三相电源, 具有(从几伏到 400 伏)从零赫兹到几百赫兹的频率输出范围。变频器整机电路方框图如图 1-6 所示, 图中的上部主电路, 提示了电压型变频器的主电路结构, 下半部分则为控制电路, 其主要任务是生成逆变功率电路所需的 6 路脉冲信号, 并承担故障检测、停机保护和操作控制等任务。

一、变频器的主电路(见图 1-6)

变频器的主电路包括三相整流电路、电容储能(滤波)电路和 IGBT 功率模块(或由 6 只 IGBT 管), 在整流电路和储能电容之间, 还增设一个由限流电阻 R1、KM1 接触器主触点的预充电(或称为充电限流)电路, 在上电期间先由 R1 对储能电容 C1、C2 进行限流充电, 充电完成后, KM1 动作, 短接 R1, 使变频器进入待机工作状态。有些机型将整流二极管 D1、D3、D5 换成单向晶闸管器件, 控制晶闸管在电容充电过程结束后开通, 由此可省去接触器 KM1(具体电路见后文所述)。逆变功率电路由 Q1~Q6 等 6 只 IGBT 管(功率模块)组成, 每只 IGBT 管的集电极和发射极之间并联有反向连接的二极管, 是与 IGBT 密切结合在一体的, 不是外接的, 提供 IGBT 的反向电流通路, 消除反向电压对 IGBT 的威胁, 在负载电动机因超速产生发电时, 提供电动机的发电电能向直流回路的回馈通路。

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。中、大功率的划分尚见不出明晰的分野。小功率机型, 整流电路和逆变功率电路, 往往采用一体化模块电路。为降低生产成本, 有些机型, 逆变功率电路采用 6 只 IGBT 分立器件。中

功率机型，整流与逆变功率电路，多采用双管式功率模块（整流模块内含两只整流二极管，逆变模块内含两只 IGBT 功率管）。大功率机型，采用多只功率模块并联，以提升电流/功率输出能力。

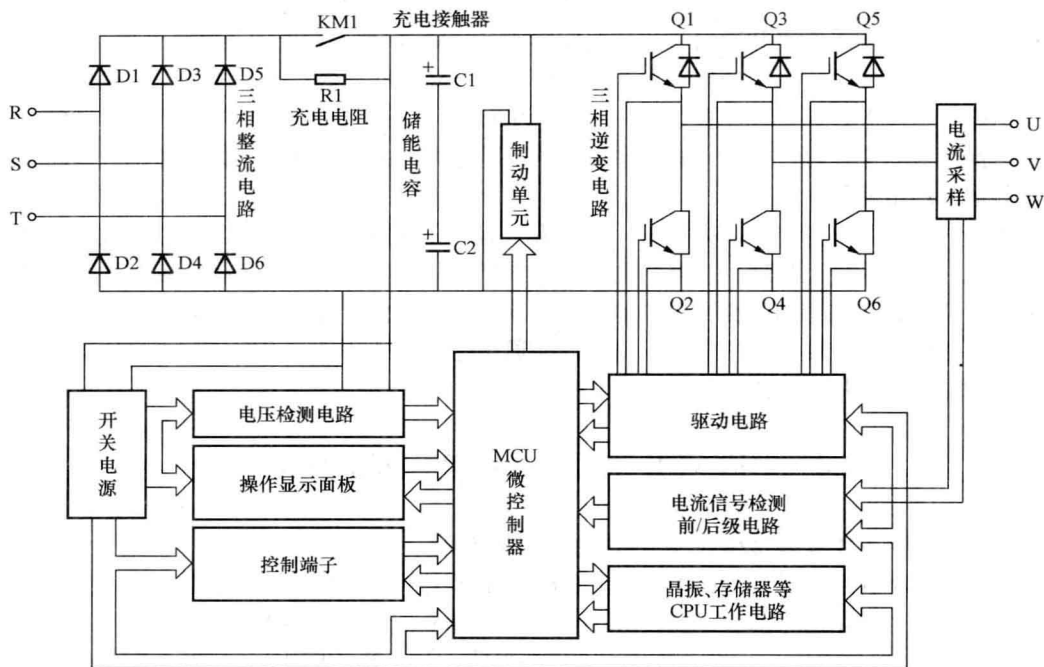


图 1-6 变频器整机电路方框图

小功率机型，机器内部往往内置制动开关管和制动电阻，对负载电动机回馈的反发电能量进行消耗，以保障储能电容和逆变功率电路的安全。中、大功率机型，制动单元和制动电阻，须经主电路引出端子外接。

二、变频器的控制电路

变频器的控制电路，是以 MCU（单片机，或称微控制器）为核心的，包括工作电源（开关电源电路）、电压、电流等检测（故障报警、保护）电路、IGBT 驱动电路和操作控制电路、MCU 基本电路等五大部分。

（1）开关电源电路。一般是从主电路的直流回路（C1、C2 两端）取得 530V 直流供电，经 DC-AC-DC 变换，取得+5、+15、-15、+24V 等几路稳定直流电压，供控制电路的工作电源。IGBT 驱动电路所需的 4 路或 6 路驱动电源，也由开关电源供给。

（2）驱动电路。MCU 引脚输出的 6 路脉冲信号，由缓冲电路输入至驱动电路，经光-电转换和隔离、功率放大后，用于驱动 IGBT，使之按一定规律导通和截止，将 DC530V 电源逆变成三相交流电压输出。

（3）电流、电压、功率模块温度、OC 故障等检测电路。从主电路的直流回路，取得电压检测信号，用于直流电压值显示、过、欠压报警和停机保护等；从 U、V、W 输出端串接电流互感器（霍尔元件及电路），对输出电流进行检测，用于运行电流显示、输出控制、过载报警与停机保护等；温度传感器安装于散热片上，检测逆变功率模块的温度变化，异常时实施超温报警和停机保护，并控制散热风扇的运转；驱动电路一般有 IGBT 的故障检测功能，逆变功率电路工作异常时，产生 OC 信号，用于报警和停机保护。

(4) 操作控制电路。变频器的控制端子内部电路(包括辅助电源、数字/模拟输入/输出电路)、操作显示面板等电路,对变频器完成起、停、通信等控制功能。面板还有运行状态监控功能。

(5) MCU 基本电路。以上(3)、(4)电路的检测信号和控制信号,最后都输入 MCU,进行软件程序处理后,输出 6 路脉冲信号和相关控制信号。MCU 器件作为“指挥中心”,对整机的正常工作进行有序的协调,集中处理输入、输出信号。+5V 工作电源、复位电路、晶振电路、外挂存储器电路等形成 MCU 工作的基本条件,故称为 MCU 基本电路。从维修角度考虑,MCU 的接口电路、操作显示电路等,也并入其基本电路的范畴之内。故障检修中,确定该部分电路正常,是检修其他故障电路的前提。

变频器产品,是电力电子(高反压、大电流)器件和微电子(微控制器)技术成熟后密切结合的产物,在一定程度上体现了当今的电子科技水平。是弱电和强电、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,它的微电子技术和电力半导体器件的结合应用,它的电路元器件的非通用性和特殊要求,说明着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。

1.4 中达 VFD-B 型 22kW 变频器的整机电路

1.4.1 中达 VFD-B 型 22kW 变频器的电路板实物

下面将图 1-6 电路方框图“演绎”成具体的变频器电路。先来看一下 VFD-B 型 22kW 变频器的电路板实物。VFD-B 型 22kW 变频器主要由两块电路板组成,如图 1-7 所示。

可以看到,(白色模块)三相(可控)整流桥电路,与(黑色模块)IGBT 功率模块,直接焊接于电源/驱动板上。电源/驱动板包含:开关电源电路、6 路脉冲信号传输通道的末级电路——6 路驱动 IC 电路。

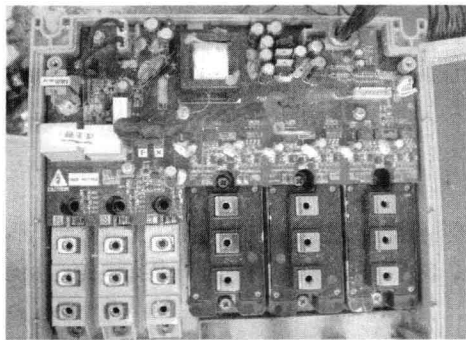


图 1-7 VFD-B 型 22kW 变频器的电源/驱动板

变频器的主电路器件,整流模块(有些机型中的直流接触器)、逆变功率模块、储能电容等,都固定安装于变频器箱体内部,整流模块和逆变功率模块直接安装于铝质散热器上,散热风扇安装于散热器的上端或下端,在工作中以强制风冷方式为模块降温。

变频器的主电路中,如电源输入端子之间的压敏电阻、由电阻、电容元件构成的尖峰电压吸收回路,输出端子串接(或套接)的 3 只电流互感器(图 1-8 中的黑色模块状物体),都安装于一个辅助电路板上(见图 1-8)。操作显示面板由插排和 MCU 主板连接,若用户需机外操作,可用通信电缆实施面板和 MCU 主板的连接,将面板固定于适宜位置(见图 1-9)。

变频器的 MCU 主板电路,含 MCU 基本电路、控制端子电路;电压、电流、模块温度检测的后级信号处理电路,以形成 MCU 芯片所需的模拟输入电压信号和开关量故障报警信号;MCU 输出控制信号电路,如充电接触器的闭合控制信号、散热风扇的运行/停止控制信号等。

操作显示面板由插排和 MCU 主板连接,若用户需机外操作,可用通信电缆实施面板和 MCU 主板的连接,将面板固定于适宜位置。面板也是一块独立的电路板。

1.4.2 达 VFD-B 型 22kW 变频器的整机电路原理图

一、VFD-B 型 22kW 变频器的整机电路原理图

变频器的整机电路由主电路、开关电源电路、电压/电流等检测电路、驱动电路、操作控制电



路和 MCU 基本电路六部分组成。实际电路的构成, 表现为两块主电路板, 即电源/驱动板和 MCU 主板。其中电源/驱动板电路, 包括开关电源电路、驱动电路, 小功率变频器的主电路也一并安装于该电路板上。其中, 电压、电流、温度等检测的前置电路也在这块电路板上; MCU 主板包括操作控制电路、MCU 基本工作条件电路, 以及电压、电流、温度检测电路, 各种故障报警和保护电路。MCU 主板又与操作显示面板直接通信, 受其控制并上传变频器的工作状态。

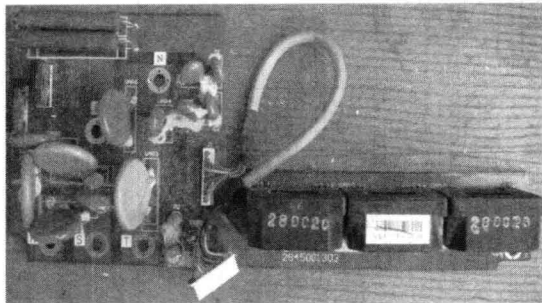


图 1-8 VFD-B 型 22kW 变频器的辅助板

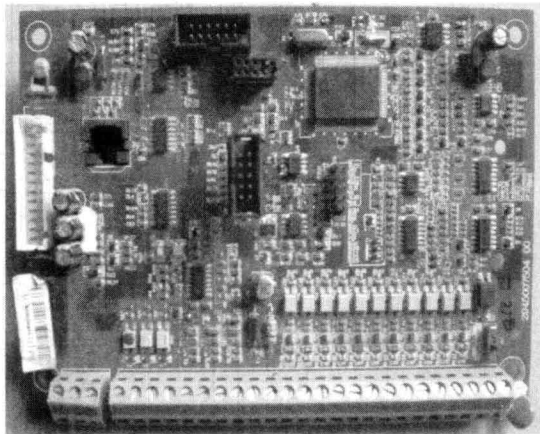


图 1-9 VFD-B 型 22kW 变频器的 MCU 主板

图 1-10~图 1-17 是作者据该型号变频器产品实物, 测绘而成的电路原理图, 是极为难得的维修资料。

图 1-10~图 1-12 是电源/驱动板的电路原理图, 为方便原理(信号流程)分析, 将主电路也一并在图 1-10 中画出。包括晶闸管脉冲形成电路, 开关电源电路, IGBT 驱动电路, 电流、电压、温度检测的前置电路, OC 信号报警电路, 散热风扇控制电路等, 均在这块电路板上。电源/驱动板直接与主电路相联系, 处理高电压、大电流信号, 是故障多发区域, 电源、驱动电路和逆变功率电路, 在故障上有密切的关联性, 同时损坏的可能性较大, 约占整机故障率的 75%以上, 这块电路板是维修中的重点, 维修难度较小, 须掌握电力电子器件的工作特性和检修特点。

图 1-13、图 1-15、图 1-16 为 MCU 主板电路, 包括电流、电压、模块温度等后级检测、故障报警信号形成电路, MCU 基本工作条件电路、控制端子电路等。MCU 主板, 处理各种检测、保护报警、控制信号, 属于低电压、微电流信号板, 故障发生率相对较低, 约占整机故障率的 25%以下。这是以微控制器为核心, 由大量模拟(又称运放电路/运算放大器)IC 和数字 IC 电路构成的电子电路, 维修者须具备一定的电子电路基础及 MCU 工作状态的检测能力。由于电路较为复杂, 电路的精密程度和技术水平较高, 尤其是无电路图纸的情况下, 维修难度较大。

图 1-14 为操作显示面板电路图, 将其排序于图 1-13、图 1-15、图 1-16 之间, 是为了按信号流程进行原理性分析。一般由通信电路、译码电路和显示器驱动电路、数码显示器构成, 故障率较低。作为一个显示与控制部件, 生产厂家往往提供配件, 整体代换的造价一般被用户所接受, 维修量不太大。

图 1-17 为电源/驱动板和 MCU 主板之间的信号连接电缆——排线端子图。整机电源供应、整机各种检测与保护信号、控制信号的来龙去脉, 均集中并标明在端子去向图上, 这为故障检测带来很大的方便。随着维修经验的积累, 必要时可以在信号端子上“动些手脚”, 施加一些“人为信号”甚至变动一下电路的参数, 达到高效检修和应急修复的目的。