

WEIXIU DIANGONG GAOSHOU JINENG YU JIQIAO

维修电工高手

技能与技巧

● 孙雪 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

维修电工高手

技能与技巧

主 编 孙 雪

副主编 刘建辉 胡振波

参 编 施芳雅 陈 晔 刘 鹏

白润峰 张 超 张志伟

郭杨杨 张伯虎



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书讲解了维修电工高手必备的基础知识及复杂电路分析与维修技能。全书共7章,第一章为维修基础部分,主要介绍了仪表及特殊元件与维修方法。第二章至第七章为工控电路原理及工控电器设备电路分析,原理部分收集整理了大量实际设备的电子电路图,大部分都是新型电路;维修部分主要强调实际工业电子电路维修的通用方法,同时对典型单元进行了详细介绍。

本书内容翔实,涉及面广,注重实际应用,图文并茂,可供工矿企事业单位技术人员、技工、电气工程师及电气维修工人、维修电工使用,同时,也可供大中专院校、中高等职业技术学校作为教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工高手技能与技巧/孙雪主编. —北京:中国电力出版社,2015.1

ISBN 978-7-5123-5877-5

I. ①维… II. ①孙… III. ①电工-维修 IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第101909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

*

2015年1月第一版 2015年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14.75印张 396千字

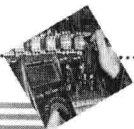
印数0001—3000册 定价38.00元

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

随着电子技术的飞跃发展,传统的低压电器已不能完成工厂设备控制的任务,而是由电力电子元件来实现,有时则需要用 PLC 编程来实现某些复杂的控制任务。作为一名维修电工,必须要提高自己的工作能力和技术水平,尽快掌握新技术,从而适应新形势下工作岗位的要求,为此特编写本书。

本书从实际应用的角度出发,讲解工控设备的电路分析与维修知识。全书共分 7 章,第一章为工业电路的维修基础知识,主要讲解了常用仪器、仪表、工具、材料、元器件、变频器、电路板维修等内容;第二章和第三章讲解了直流、交流调速电路原理及电路分析;第四章为伺服系统控制电路的分析;第五章至第七章详细讲解实际工控整机电路分析。各章节中包含了维修电工高手必备的基础知识及复杂电路分析与维修全部内容。全书结构清晰、层次分明、内容新颖、资料翔实、通俗易懂,具有较强的针对性和实用性。

本书可供工矿企事业单位技术人员、技工、电气工程师及电气维修工人、维修电工使用,也可供大中专院校、中高等职业技术学校作为教学参考书使用。

本书由孙雪任主编,刘建辉、胡振波任副主编,施芳雅、陈晔、刘鹏、白润峰、张超、张志伟、郭杨杨、张伯虎参与了本书的编写工作,本书在编写过程中参考了一些文献资料,在此谨向有关文献资料的作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中有不妥之处在所难免,敬请广大读者谅解。

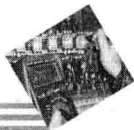
编者

目 录

前言

第一章 工业电路的维修	1
第一节 概论	1
第二节 常用仪器、仪表和工具	2
第三节 功率电子电路大功率元件的检修	4
第四节 变频器维修检测常用方法	7
第五节 晶闸管触发与同步电路调整	18
第六节 重要元器件的检修	19
第七节 电路板维修	22
第二章 直流调速系统	24
第一节 概述	24
第二节 400W 开环直流电动机调速器	32
第三节 小功率闭环直流调速器	34
第四节 X5000 铣床进给调速电路	38
第五节 常见小功率直流调速电路	41
第六节 KLC 系列直流调速器	42
第七节 MAXITRON S-6 系列直流调速器	59
第八节 欧陆 590 系列直流调速器	72
第三章 交流调速系统	81
第一节 概述	81
第二节 电磁调速系统	82
第三节 变频调速原理	84
第四节 DZB60B 变频器	92
第五节 DV707H 变频器	99
第四章 常用伺服系统	108
第一节 概述	108
第二节 40V 4A 步进电动机驱动器	112
第三节 MSD5A3P1E 交流伺服驱动器	115
第五章 感应加热电路	127
第一节 概述	127
第二节 KGPS-100/1-4 中频电源	129
第三节 宝马三吨中频炉中频电源	139

第四节	KGPS 中频炉控制电路	149
第五节	GP100-C3A 高频炉	157
第六节	GP100kW/60kW 高频电源	165
第七节	J-107B 热合机	171
第八节	SDCS16-6-40 薄膜表面处理机	173
第六章	焊接电源	176
第一节	焊接电源概述	176
第二节	ZX5 系列直流焊机	178
第三节	清水系列焊机	180
第四节	其他逆变焊接电源	186
第五节	S0432NT 点焊机	193
第七章	常用控制电路	203
第一节	纠偏控制	203
第二节	电源	207
第三节	PLC	221
第四节	控制检测电路	221



第一章

工业电路的维修

第一节 概 论

设备的修理对设备供应商和设备使用者都是非常重要的。设备供应商一般侧重于设备故障的诊断,然后更换其所能提供的最小配件单元(如计算机内的电路板卡、控制柜内的电路板卡、整个智能仪表、整台变频器、伺服驱动器等)。而使用者则侧重于设备的及时修理或替换,以保证不停机、少停机、少影响生产,然后购买最小的配件单元或直接芯片级维修。和消费类电子产品不同,往往供应商提供的最小单元配件是非常贵重的,如电路控制板、伺服电动机驱动器,少则几千元,多则十几万元,一般用户不会储备这些昂贵配件。一旦某个部件坏了,向设备供应商购买,时间一般较长。有的即使不惜代价也很难买到,有的根本买不到。如果这些最小配件单元已经不再生产无法买到,则供应商一般不予维修,而是建议购买新设备、新控制系统。对于工业生产用的设备,使用者一般追求能用则用,只要能够生产就不更新、不改造,并不追求先进、新奇、高精度、多功能。这和人们对个人计算机、家用电器、手机等民用消费类电子电器产品的追求有很大区别,消费类电子电器产品不断更新、不断增加新功能,和人们对生活的追求相关。而工业控制类电子电气设备,虽然供应商也在不断追求先进,更新换代频繁,这对需要购置新设备的用户是有益的,但作为已经拥有设备的用户,还是能用则用,不会频繁更新。所以有些已经用了几十年的设备还在使用,这些设备对于供应商来说可能已经淘汰几代了,根本没有最小配件单元生产,也不负责维修,甚至有的供应商、生产商已经不存在了。例如,采用 Intel 486 CPU 的计算机在其他领域都很难见到踪迹了,但是这类工业控制计算机还有不少在工作,因此设备使用者只靠供应商是不够的,而且会付出很大的代价。再如,一个伺服电动机控制器出问题,整台设备不能用,整条生产线不能生产,找供应商购买需几千到几万元,而且一般无现货。如果和修理电视机一样检修,不过也是电路板的维修,一般更换损坏的电子元件就可以了,这种维修成本低、速度快。

不用供应商维修,而是找专业维修公司维修或自己维修有一定的优势,可以及时维修、节约时间,可以用功能相近的元器件或单元临时代换而不影响生产,对一些进口设备的最小配件单元进行芯片级维修可以大幅度降低成本、节约费用。不用因买不到最小单元而报废设备更换控制系统,避免重大损失。尤其是目前工业控制系统很多是进口设备,靠供应商维修非常不利。供应商往往也不提供维修,而是更换最小配件单元。

设备维修人员的素质非常重要,除了电子电路的知识外,还应具备机电一体化、自动控制、计算机等方面的知识。在新型系统中软件的作用越来越大,维修人员对软件也要求具备一定的水平。有些设备是高度自动化控制设备,所采用的技术都是国际上较先进的,大部分电路从书上、杂志上都是无法找到的,只有行业圈内才了解相关技术的水平,因此对维修人员的要求也较高。

维修主要是判断故障所在的部位、损坏的元件,然后更换。判断故障无非是从大到小地划



分故障范围,从成套的设备中找到故障单元或连接、从故障单元中找出故障电路板、从故障电路板中找出故障元件。除了硬件故障外,还有一类是软件故障。

第二节 常用仪器、仪表和工具

一、常用仪器和仪表

设备维修常用的仪器和仪表包括电路板诊断仪、双踪示波器、数字存储示波器、指针万用表、数字万用表、指针钳形电流表、稳压电源等。

1. 电路板诊断仪

目前,进口和国产的电路板诊断仪种类很多。这类仪器所采用的测试原理以及主要的技术经济指标有多种等级,需要作出恰当的选择,一般可以实现以下功能。

(1) 阻抗测试法。电路板上的每一点因连接着不同的元件并且元件各自的特性不同,均有其独特的阻抗值,因此可以通过低频的电压输入产生相应的电流变化,如将电压及电流用图形表示出来,就可以得到不同的图像,如圆形、直线和正弦波等。元件的好坏,可以通过图形的对比作出判断。

阻抗测试方法成本低,准备工作较少,无须编程。对严重损坏的电路板如断路及短路等有明显易见的反应。这种方法不适用于数字电路,会因元件参数不一而造成误导。不能做出数字器件的内部功能测试,无法诊断电路板的功能故障。这种方法一般作为辅助工具,只能是测试的一部分,不能独当一面。

(2) 功能比较法。这种方法用户需预先准备一套完好的元件,测试人员逐一把好的元件置于测试仪的工作台上,和被测板上相同的元件作功能比较。测试时同时输入信号,从工作中的被测板上相同的元件上取出输出信号,然后比较两个相同元件的反应是否相同,以判断被测元件的好坏。因为测试要求被测板在工作状态下进行,所以测试中需配一个数字信号发生器作激发用。

功能比较法成本低、前期准备工作少,对简单的数字电路有效。但是修复时间长,需编写激发电路板工作的程序,需具备一套完好的元件。如果用户需维修的电路板复杂程度不高,而且还有一套完好的元件,则此法有效。若元件不足,比较困难。

(3) 在线测试法。测试仪本身产生数字电平及信号相量(Test Vector),按照被测元件真值表所规定的功能送入被测元件,将被测元件的输出同真值表中规定的输出作比较,作出判断。为此,测试人员需为被测元件编程,输入其真值表中的数据以便测试(通常仪器生产厂家提供已编好的常用元件测试程序库)。因为被测元件是焊接在电路板上的,为了测试时排除被测件周围电路对它的干扰,在线测试仪需具备另外两大功能:“反驱动”(Back Driving)及“隔离点”(Guard Point)技术。

在线测试法对元件进行全面的测试,确保操作正常,编程时间短,特别适合复杂的电路板好“混合信号”及元件众多的情况。较难找出电路板的断路及短路问题;无法找出电路板的时序问题和负载问题,缺乏测试新式元件的夹具。在线测试虽有不足之处,但这些问题在维修时均极少碰到,反而在线测试的良好诊断能力,简单的操作方式和极高的可变性,足以弥补其短处。故在线测试一直被大部分生产厂采用,被广泛用于维修领域。但在线测试有一潜在的问题,就是其“反驱动”能力,掌握不好会对周围元件造成损坏或缩短其使用寿命,故用户必须选择有时间控制的在线测试仪,使“反驱动”时间不致过长而造成任何损坏。

(4) 模仿中央处理器的功能测试仪。此类仪器是利用本身的接口来替换被测电路板原有的中央处理器(CPU)或存储器(ROM),直接连于其插座上,使测试仪控制整块电路板的工作,

然后利用探针测试不同点的信号,跟预先记录的信号作比较,找出问题所在。

模仿电路板的真正工作环境,错误覆盖率高;CPU和ROM的时间操作程序已预先记录,无须额外编程,较方便。这种测试只适用于带中央处理器或记忆体的电路板,没有模拟(Analog)测试能力,只能测试连接在总线(BUS)上的元件,其他元件因信号达不到而无法测试,利用探针修复时间长。对拥有CPU或ROM的电路板相当适用,但适应面窄,不能测试其他类型的电路板,对CPU信号达不到的元件也无法测试,故实际应用时需另外购置其他功能测试仪,才能有全面的测试能力。

(5) 边界功能测试仪。其原理与前者相同,但信号是通过电路板的边界接口输入及取出,可测试任何种类的电路板,包括含CPU的电路板。此法同样利用探针找出故障元件,更可利用先进的软件协助,缩短诊断时间。

边界测试适应性极强,可测任何电路板,甚至是数模混合信号的电路板(Mixed-Signal PCB);能完全补偿在线测试的不足,解决时序错误、负载及开短路问题;不需要了解没有编号的元件及专用元件的内部功能也可测试;错误覆盖率比其他所有测试方法都高;特别适合于电路板的筛选工作,只需数秒钟便能断定被测板的好坏,然后作出诊断。投资较大,价格较高;编程较复杂,需高级技术人员进行;利用探针技术,修复时间较长。功能测试为最接近实际工作环境的测试方法,故其错误覆盖率最高,但因被测板各不相同,无法像在线测试那样对通用元件编写测试程序库,故每次均需高级技术人员编写测试程序,较费时间及精力,因此该类仪器最适于维修价格昂贵及质量要求较高的电路板或者是对有限种类的电路板进行维护。

(6) 测试原理总结。根据以上分析,较有效及全面的测试法应为在线测试和功能测试,而这也正是现在市场上大部分测试仪所采用的方法。但因在线测试及功能测试各有不足之处,却刚好可以互相取长补短,所以最好的选择是将两种功能融合到同一台仪器中。

2. 示波器

模拟示波器可以测量电信号的波形、对比波形等,一般没有波形的记忆功能,只能测量稳定不变的周期性信号,对于突发脉冲序列信号不适应。一般用20MHz的双踪示波器就够用了。

数字存储示波器,适用范围广,除了模拟示波器的功能外,还具有记忆功能,可以测量突发脉冲序列信号、非周期信号,如通信数字信号、步进电动机的变速的驱动脉冲等。同等频率级别的要比模拟示波器价格高得多。

还有一种示波表,将万用表和数字存储示波器作成整体,便于携带,一般价格高。

3. 万用表

万用表包括指针万用表和数字万用表,后者精度高优先采用,但是对于非正弦波的电压测量,如变频器的SPWM输出,要用指针万用表。

测量阻值很小的电阻时,表笔的接触电阻影响很大,可以用四端测量法的数字电桥测量。有的台式万用表有有效值测量功能,任意波形的电压电流,都可以显示有效值。

4. 电源

固定电压的电源,采用计算机电源改装即可,功率较大、成本低,具有多种等级的电压,但是没有过电流保护和短路保护。可调电源可以用手机维修专用电源,0~20V可调,1.5A过电流保护,价格也很低。

二、常用工具、材料与资料

(1) 工具。包括50W电烙铁、防静电烙铁、吸锡器、热风焊台、超声波清洗器、放大镜或体视显微镜等。

大功率的电烙铁焊接比较大的元件,对于绝缘栅晶体管(IGBT)等要注意烙铁的地线连



接, 电路板上的小元件一般用小功率防静电烙铁, 对于穿孔焊接的元件在拆焊时需要吸锡器吸除焊锡, 本身不带加热的比较好用。对于表贴元件 (SMD) 用热风焊台拆焊、焊接。体积较小的表贴元件需要用放大镜检查。

(2) 材料。包括焊锡丝、松香、中性焊油、油漆用稀料、酒精、刷子。

焊锡丝选用直径 0.6mm、1mm 的均可, 松香对电子元件和铜是性能很好的助焊剂, 中性焊油用于表贴元件的焊接, 用手机维修用的类型。酒精、稀料和刷子用于清洗电路板、连接器等。

(3) 资料。包括电子元器件的详细资料、常用设备的用户手册、维修手册、电路图。IC 资料或可即时上网查阅有关资料, 一般别指望随机器有各控制板、驱动板等电路原理图、元件分布图, 只能靠自己分析, 画出部分线路图, 对控制电路进行分析, 找出问题。

第三节 功率电子电路大功率元件的检修

大功率电子元件的损坏主要有以下原因: 负载短路、散热不好、模块与散热器紧固的螺钉松动、接线端子接触不良发热、散热器等有毛刺短路。另外还和续流二极管、阻容吸收网络、压敏电阻、浪涌限制器、电感等有关, 还与驱动信号有关系, 如果驱动信号的频率、幅度、波形的上升沿、波形的下降沿、波形的最高正电压、波形的最低负电压、波形的过冲振荡、多路驱动信号的相位关系等不正常也会导致其损坏。功率半导体模块损坏后, 还可能导致驱动电路的损坏。

功率半导体模块在大电流试验时一定要拧紧螺钉装好散热器, 接线螺钉也一定要拧紧, 否则大电流的接线端会发热损坏模块、小电流接线端接触不良造成干扰损坏模块。如果示波器外壳接地, 在测量时会因短路损坏功率模块或控制电路, 所以示波器的外壳不要接地、电源线的三芯插头的地线不要连接。模块接入电源之前最好先串联一个几百欧姆的限流电阻 (可以用一个灯泡代替), 这样即使有短路也不会损坏模块, 正常后再撤掉限流电阻。

一、晶闸管的检测

将连接于门极的触发信号线拆下, 用万用表的电阻挡测量晶闸管的门极和阴极之间的电阻, 如图 1-1 所示, 正常时应为几十欧姆, 一般 $30 \sim 40 \Omega$, 不同功率等级、不同型号的模块会有较大的区别, 这里一般指大功率的, 具体数值可以比较设备上的几个晶闸管。如果大于 100Ω 或断

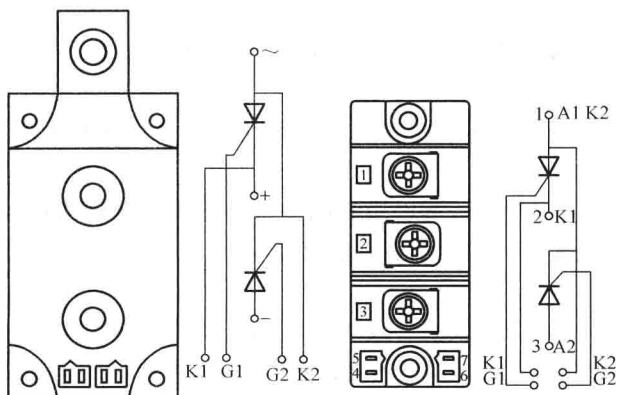


图 1-1 典型晶闸管模块外形与内部电路

路, 说明晶闸管损坏, 这会导致输出电压、电流的过低。拆下接于阳极或阴极的主电缆, 测量阳极和阴极之间的电阻一般约为 $1 M\Omega$, 如图 1-1 所示。成组应用 (如桥式整流、并联等) 最好选用特性参数相同的同批次的产品。当某一晶闸管的门极、阴极击穿时一般会同时造成其阴极、阳极击穿, 这会导致输出电压、电流的过高失控。平板式封装的晶闸管的散热器夹紧螺栓必须按规定顺序和力矩拧紧, 对于水冷的要注意防漏水和短路, 否则会造成损坏。晶闸管的引

线端子接触不良发热向内传热也会损坏元件。

二、功率晶体管 (GTR) 模块的检测

松开接线螺钉移去晶体管的线扎及电缆, 观察晶体管的外观是否有裂纹、变形、变色等损

坏,典型 GTR 模块的结构如图 1-2 所示;用万用表测量时,由于模块内发射结有并联电阻、集电极 C 和发射极 E 之间有续流二极管,测量结果和普通晶体管有很大不同。用指针万用表的 $\times 1\Omega$ 电阻挡或数字万用表的二极管挡,检测模块中的每个晶体管的集电极 C 和发射极 E 之间的导通情况。如果发射极 E 向集电极 C 方向能导通(指针万用表的黑表笔接发射极 E,指针万用表的红表笔接集电极 C,指示较小的电阻;数字万用表的红表笔接发射极 E,数字万用表的黑表笔接集电极 C,指示较小的导通电压),反向测量不通(指针万用表指示的电阻值为无穷大;数字万用表最高位显示“1”而低几位不显示即指示过载)。说明发射极 E 和集电极 C 之间正常,否则表明损坏。再测量晶体管的基极 B 和发射极 E 之间的导通情况。如果发射极 E 向基极 B 方向能导通、反向测量也导通,说明发射极 E 和基极 B 之间正常,否则表明损坏。

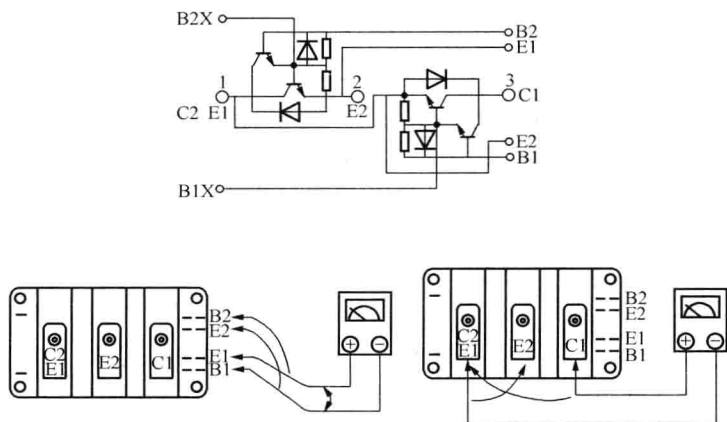


图 1-2 典型 GTR 模块结构

三、功率晶体管 (GTR) 驱动信号的检测

从驱动板到功率晶体管的驱动信号,断开功率晶体管的供电电路(一般移去主整流电路的连接电缆即可)。取下各个晶体管的基极和发射极连线(每个管有两根一组的双绞线)。有的设备有主电路断路检测电路,需要适当短接或断开某些连线,使控制电路部分能够工作。打开电源开关,闭合起动开关,用示波器测量基极 B 和发射极 E 之间的波形(注意示波器的外壳与发射极 E 有同电位,不要短路),如果是变压器耦合的驱动信号,一般要有 $\pm 7V$ 左右的方波,如果是直接耦合正负电压一般不等。单(三)相全桥结构的四(六)个功率晶体管的驱动信号要相同,相位关系要合乎标准,绝不能有短路导通。测完后关闭电源恢复基极信号线和其他电缆。典型 GTR 驱动信号波形如图 1-3 所示。如果是变压器耦合的

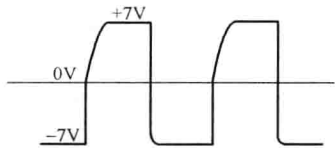


图 1-3 典型 GTR 驱动信号波形

正负电压相等,直接驱动的可能不等。

四、绝缘栅晶体管 (IGBT)、绝缘栅场效应管 (MOSFET) 的检查

典型 IGBT 模块内部电路如图 1-4 所示。检查时松开接线螺钉移去 IGBT 的连线,观察晶体管的外观是否有裂纹、变形、变色等损坏。用万用表测量门极 G 和发射极 E 应双向不通;用 9V 电池给门极 G (+) 和发射极 E (-) 加正向电压 (G 接 +、E 接 -),测量集电极 C 和发射极 E,两个方向都应导通。用 9V 电池给门极 G (+) 和发射极 E (-) 加反向电压 (G 接 -、E 接 +),测量集电极 C 和发射极 E,发射极 E 向集电极 C 应导通,集电极 C 向发射极 E 应不通。否则说明损坏。由于门极与发射极有较大的电容,可以用指针万用表的 $\times 1k$ 电阻挡,测量门极与发射极,和测电容一样应有充放电现象。表 1-1 中所标为数字万用表的测量结果,指针万用表

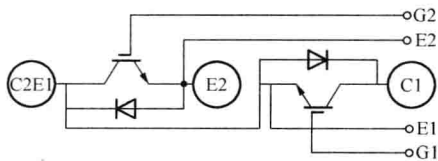


图 1-4 典型 IGBT 模块内部电路图



的电阻挡红笔为低电压、黑笔为高电压，与数字万用表相反。MOSFET 的检查方法类似。

表 1-1

数字万用表的测量结果

数字万用表		9V 电池		状态	数字万用表		9V 电池		状态
＋端（红笔）	－端（黑笔）	＋端	－端		＋端（红笔）	－端（黑笔）	＋端	－端	
G	E			截止	C	E	G	E	导通
E	G			截止	E	C	G	E	导通
C	E			截止	C	E	E	G	截止
E	C			导通	E	C	E	G	导通

五、绝缘栅晶体管（IGBT）和绝缘栅场效应管（MOSFET）驱动信号的检测

参照电路图断开主回路的电源（一般取下主整流电路的电缆即可），不得向 IGBT 施加电压；取下 IGBT 的门极 G 和发射极 E 的线扎（每个管有两根一组的双绞线）；接通电源使控制电路工作，闭合起动开关；用示波器测量门极 G 和发射极 E 之间的波形，如果是变压器耦合一般要有 $\pm 14\text{V}$ 左右的方波，直接耦合时正负峰值电压不等。关闭电源 3min 以后恢复基极信号线和其他电缆。

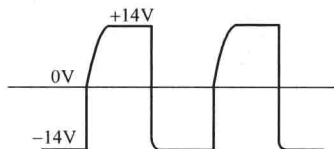


图 1-5 典型 IGBT 驱动信号波形

绝不可以只断开门极和发射极的线扎，而不断开集电极的供电，这样门极的静电感应或门极电容存有的电荷会使其导通短路而烧毁。GTR 模块没有这一特点。所以，IGBT 拔掉触发线后还要将门极与发射极可靠短路，最好断开连接主电源的集电极，然后再加电。典型 IGBT 驱动信号的波形如图 1-5 所示，一般驱动信号电压在 $\pm 15\text{V}$ 范围内。

另外，在同类型的模块中用电容表，测出模块 G—E 或 C—E 结的电容量，电流大的电容量也大，这样可以大致判断模块的功率级别的大小。

注意：①IGBT 的门极、MOSFET 栅极要比晶体管的基极更容易被静电击穿，修理时，拿 IGBT、MOSFET 一定要小心，不要用手随意触摸门极、栅极端子，放置时要将门极与发射极端子、栅极与源极端子用金属片或金属丝短路。②晶体管、IGBT、MOSFET 由来自驱动板的信号驱动，一般距离较远。如果有干扰信号串入干扰了驱动信号，晶体管、IGBT、MOSFET 会工作异常，甚至损坏主功率管。通常驱动信号用双绞线防止干扰，并且要远离主回路等干扰源。③如果取下 IGBT 的门极引线、MOSFET 的栅极引线，向 IGBT 的集电极和发射极、MOSFET 的漏极和源极加电，因为门极电容充有电荷或因静电感应没有完全关断，会因为导通短路损坏 IGBT、MOSFET。④通过向 IGBT 的门极与发射极加电，IGBT 的集电极和发射极一旦导通，将不能恢复到原始的截止状态，若要恢复到原始的截止状态，可以将 9V 电池的正极接到发射极端子，负极接到门极端子，即给门极加反压，并维持 1s 以上的时间。对于 MOSFET 也类似。⑤如果将由于向 IGBT 的门极与发射极加电，导致导通的 IGBT 安装到设备上，IGBT 会在设备电源开关闭合的瞬时因为短路大电流烧毁，所以向设备上安装 IGBT 时，一定要使它处在截止状态。对于 MOSFET 也类似。

六、二极管模块

对于三相整流桥，内有 6 个接成桥式整流电路的二极管，根据内部结构，和二极管检测一样，很容易用万用表判断 6 个二极管的好坏。实际测量时，三个交流端到正极正向导通，反向不通，负极到三个交流端正向不通，反向导通，正极到负极不通，负极到正极导通，导通电压是单二极管的两倍。典型二极管模块外形和内部电路如图 1-6 所示。

七、智能功率模块（IPM）

智能功率模块只能大概测量一下，要确保正常，一般只能接到电路中检验。

典型 IPM 模块外形与内部电路如图 1-7 所示。这是一种七管模块，还有一种六管模块，缺少 B 端内的制动管。因内部有相同的单元，可以用比较的方法检测，从输出端看，有 6 个相同的 IGBT 和续流二极管，可以和测量普通 IGBT 一样测量，6 个 IGBT 的测量参数应当相同，制动管略有不同。从输入端看高边的三部分相同，低边的三部分相同，可以将测量的电阻值对照，应当分组相同。

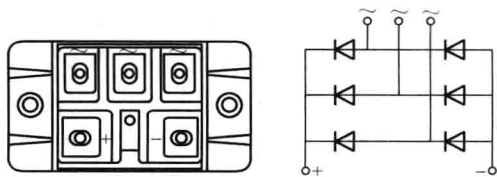


图 1-6 典型二极管模块外形和内部电路

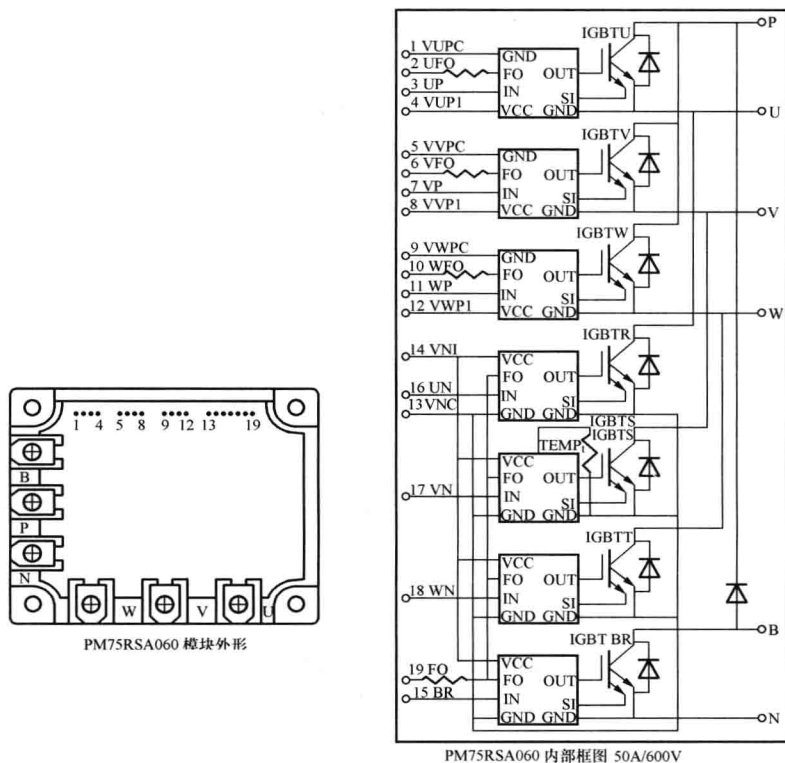


图 1-7 典型 IPM 模块外形与内部电路

第四节 变频器维修检测常用方法

在变频器日常维护过程中，经常遇到各种各样的问题，如外围线路问题，参数设定不良或机械故障。如果是变频器出现故障，如何去判断是哪一部分问题，在这里略作介绍。

了解情况。向客户了解损坏过程、现象，是否更改过参数、使用环境有无高低温、湿度如何、有无振动、负载情况、使用时间、是否修过、程度如何。

外观观察、内部观察。有无模块、压敏电阻、电容等炸裂、裂纹、变形变色、铜箔烧断。

单片机（MCU、MPU）、数字信号处理器（DSP）、可编程逻辑器件（PAL、GAL、PLD、CPLD、EPLD、FPGA）等元件和电可擦只读存储器（EEPROM）内部一般有程序和重要数据存储，损坏后只能从设备生产厂家联系购买，一般提供存好程序和重要数据的元件、控制主板或整机。从元器件厂商购买的空白元件是不能使用的。



单片机电路工作是否正常,要检查各路供电、复位、时钟、软件4个方面。软件一般无法检查,时钟可以用示波器测量石英晶体的两端、单片机的时钟引脚有无振荡信号,复位信号有高压有效和低压有效两种,开机瞬时复位有效,零点几秒后变为无效,这用万用表是无法检查确认的,用示波器观察开机瞬时的变化,通过和电源对比可以看到零点几秒的延时动作,用数字存储示波器更方便。

一、静态测试

1. 测试整流电路

用指针万用表:找到变频器内部直流电源的P端(正端)和N端(负端),将万用表调到电阻 $\times 10$ 挡,红表笔接到P端,黑表笔分别接到R、S、T三相进线,应该有大约几十欧的阻值,且基本平衡。与之相反,将黑表笔接到P端,红表笔分别接到R、S、T三相进线,阻值都接近于无穷大。这说明三个正极的整流二极管完好。将红表笔接到N端,重复以上步骤,都应得到类似结果。这说明三个负极的整流二极管完好。如果有以下结果,可以判定电路已出现异常;阻值三相不平衡,可以说明整流桥故障;红表笔接P端时,电阻无穷大,可以断定整流桥故障或启动电阻出现故障。

用数字万用表:找到变频器直流输出端的“+”与“-”,然后将数字万用表调到测量二极管挡,黑表笔接“+”,红表笔分别接变频器的输入端L1、L2、L3端,整流桥的上半桥若是完好,万用表应显示0.3……的压降,若损坏则万用表显示“1”过量程。相反将红表笔接“-”,黑表笔分别接L1、L2、L3端,应得到上述相同结果,若出现“1”则证明整流桥损坏。

2. 测试逆变电路

将红表棒接到P端,黑表棒分别接U、V、W上,应该有几十欧的阻值,且各相阻值基本相同,反相应该为无穷大。将黑表棒接到N端,重复以上步骤应得到相同的结果,否则可确定逆变模块故障。

详细测量参见元件测量部分。

二、动态测试

在静态测试结果正常以后,才可进行动态测试,即上电试机。在上电前后必须注意以下几点。

(1) 上电之前,须确认输入电压是否有误,将380V电源接入220V的变频器会出现炸机(炸电容、压敏电阻、模块等)。

(2) 检查变频器各连接器是否已正确连接,连接是否有松动,连接异常有时可能导致变频器出现故障,严重时会出现炸机等情况。模块与散热器的螺丝必须拧紧,弹簧垫是防松脱的,必须正确垫好螺钉上的平垫和弹簧垫。这对变频器是致命的。很多变频器当装在有振动的设备上(如工业洗衣机、机床等)运行一段时间后,其主回路的连接螺钉和模块的紧固螺钉容易松动,此时最先损坏一般是模块,如果换了模块后没有紧固其螺钉,则模块很快坏掉。也特别强调不要把变频器装在有振动的设备上。

(3) 接上限流电阻,限流电阻就是用一个几百欧的电阻(电灯泡也可以)串在主回路上,如果有快熔就把它拿掉,装上电阻;没有快熔则可在主回路上任何地方断开,串联上这个电阻。这个电阻起到限流作用,当模块有短路时也不会把模块烧掉,等开机后测量变频器输出正常,才把这个限流电阻撤掉。一般串联电阻的后面只有要保护的主功率模块,即只限制主功率模块的电流,如果把滤波用的电解电容接在后面,电容存有的电量足以损坏功率模块,如果把辅助电源部分、取样检测等接在后面,这些部分被限流供电,会导致整个电路可能无法正常工作、无法检测。

国内外对“N”的不同定义导致不少电工因接错线而烧坏变频器,国内的“N”是指三相电源的零线,有的电工也认为它就是地线,国外变频器则把“N”定义为直流回路的负端,“P”

为直流回路的正端，这使很多太自信（没仔细看说明书）的电工犯错误，如果变频器输入端的空气断路器跳闸不灵敏，变频器通常烧毁严重。

在判断变频器的整流部分与逆变部分完好时，上电测量其直流输出端看是否有大约 530V 高压（三相供电的）或 310V 高压（单相供电的），注意，有时万用表显示几十伏就以为整流电路工作了，其实它并没工作，它正常工作会输出 530V 左右的高压，几十伏的电压是变频器内部感应出来的。若没有 530V 左右高压这时往往是电源部分有问题。这样就可以初步判断出变频器是哪部分出现了故障，然后拆机维修时就可以重点测试可疑的故障部分。

（4）上电后检测故障显示内容，并初步断定故障及原因。

（5）如果未显示故障，首先检查参数是否有异常，并将参数复归后，进行空载（不接电动机）情况下起动变频器，并测试 U、V、W 三相输出电压值。如果出现缺相、三相不平衡等情况，则模块或驱动板等有故障。

现在变频器都趋于智能化，一般的故障它自己都能检测，并在控制面板上显示出其代码，用户只需查一下用户手册就能初步判断其故障原因。但有时，变频器在运行中或起动时或加负载时，突然指示灯不亮，风扇不转，无输出。这时我们初学者就不知该怎么办了。其实是很简单的，我们只要把变频器的电源断了。断电测试一下它的整流部分与逆变部分，大多情况下就能知其故障所在了。这里有一点要千万注意，断电后不能马上测量，因变频器里有大电容存有几百伏的高压，一定要等上十几分钟，内部的指示灯熄灭后再测，测量时要先测量一下主滤波电容的电压，确认放电完毕，如果放电极慢可能是放电电阻损坏，千万不要用短路法给电容放电，要用串联灯泡等电阻放电，这一点千万要注意。

（6）在输出电压正常（无缺相、三相平衡）的情况下，去掉限流电阻，带负载测试。测试时，最好是逐步满负载测试，边加载边观察各部分的状态、模块及散热器的温度。

三、故障判断

1. 通用变频器的维护保养

通用变频器长期运行中，由于温度、湿度、灰尘、振动等使用环境的影响，内部零部件会发生变化或老化，为了确保通用变频器的正常运行，必须进行维护保养，维护保养可分为日常维护和定期维护，定期维护检查周期一般为 1 年，维护保养项目与定期检查的周期标准见表 1-2。从表 1-2 可以看出，对重点部位应重点检查，重点部位是主回路的滤波电容器、控制回路、电源回路、逆变器驱动及保护回路中的电解电容器、冷却风扇等。

表 1-2 通用变频器维护保养与定期检查的周期标准

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期 1 年			
整机	周期环境	确认周围温度、湿度、有毒气体、油雾等	√		注意检查现场情况是否与变频器防护等级相匹配。是否有灰尘水汽、有害气体影响变频器。通风或换气装置是否完好	温度计、湿度计、红外线温度测量仪	温度为 -10 ~ +40℃，湿度在 90% 以下，不凝露。如果有积尘应用压缩空气清扫并考虑改善安装环境
	整机装置	是否有异常振动、温度、声音等	√		观察法和听觉法，振动测量仪	振动测量仪	无异常
	电源电压	主回路电压、控制电源电压是否正常	√		测定变频器电源输入端子排上的相间电压和不平衡度	万用表、数字式多用仪表	根据变频器的不同电压级别，测量线电压、不平衡 ≤ 3%



续表

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期 1 年			
主回路	整机	(1) 检查接线端子与接地端子间电阻		✓	(1) 拆下变频器接线, 将端子 R、S、T、Y、V、W 一齐短路, 用绝缘电阻表测量它们与接地端子间的绝缘电阻。 (2) 加强紧固件。 (3) 观察连接导体、导线。 (4) 清扫各个部位	500V 绝缘电阻表	(1) 接地端子之间的绝缘电阻应大于 5MΩ。 (2)、(3) 没有异常。 (4) 无油污
		(2) 各个接线端子有无松动		✓			
		(3) 各个零件有无过热的迹象		✓			
		(4) 清扫	✓				
	连接导体、电线	(1) 导体有无移位		✓	观察法		(1)、(2) 没有异常
		(2) 电线表皮有无破损、劣化、裂缝、变色等		✓			
	变压器、电抗器	有无异步、异常声音	✓	✓	观察法和听觉法		没有异常
	端子排	有无脱落、损伤和锈蚀		✓	观察法		没有异常。如果有锈蚀应清洁, 并减少湿度
	IGBT 模块整流模块	检查各端子间电阻, 测漏电流		✓	拆下变频器接线, 在端子 R、S、T 与 PN 间, U、V、W 与 PN 间用万用表测量, 0Hz 运行时测量	指针式万用表 整流型电压表	
	滤波电容器	(1) 有无漏液	✓		(1)、(2) 观察法。 (3) 用电容表测量	电容表、LCR 测量仪	(1)、(2) 没有异常。 (3) 额定容量的 85% 以上。与接地端子的绝缘电阻不小于 5MΩ。有异常时及时更换新件。
		(2) 安全阀是否突出、表面是否有膨胀现象	✓				
		(3) 测定电容量和绝缘电阻		✓			
	继电器接触器	(1) 动作时是否有异常声音		✓	观察法、用万用表测量	指针式万用表	没有异常。有异常时及时更换新件
		(2) 触点是否有氧化、粗糙、接触不良等现象		✓			
	电阻器	(1) 电阻的绝缘是否损坏		✓	(1) 观察法。 (2) 对可疑点的电阻拆下一侧连接, 用万用表测量	万用表、数字式多用仪表	(1) 没有异常。 (2) 误差在标称阻值的 ±10% 以内。 有异常应及时更换
		(2) 有无断线	✓	✓			

续表

检查部位	检查项目	检查事项		检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
				日常	定期 1 年			
控制回路、电源、驱动与保护回路	动作检查	(1) 变频器单独运行			√	(1) 测量变频器输出端子 U、V、W 相同电压。各相输出电压是否平衡。 (2) 模拟故障, 观察或测量变频器保护回路输出状态	数字式多用仪表、整流型电压表	(1) 相间电压平衡 200V 级在 4V 以内, 400V 级在 8V 以内。各相之间的差值应在 2% 以内。 (2) 显示正确、动作正确
		(2) 顺序做回路保护动作试验、显示, 判断保护回路是否异常			√			
	零件	全体	(1) 有无异味、变化		√	观察法		没有异常。 如果电容器顶部有凸起, 体部中间有膨胀现象应更换
			(2) 有无明显锈蚀		√			
		铝电解电容器	有无漏液、变形现象		√			
冷却系统	冷却风扇	(1) 有无异常振动、异常声音。 (2) 接线有无松动。 (3) 清扫		√	√	(1) 在不通电时用手拨动旋转。 (2) 加强固定。 (3) 必要时拆下清扫		没有异常。 有异常时及时更换新件, 一般使用 2~3 年应考虑更换
显示	显示	(1) 显示是否缺损或变淡。 (2) 清扫		√	√	(1) LED 的显示是否有断点。 (2) 用棉纱清扫		确认其能发光。 显示异常或变暗时更换新板
	外接仪表	指示值是否正常		√		确认盘面仪表的指示值满足规定值	电压表、电流表等	指示正常
电动机	全部	(1) 是否有异常振动、温度和声音。 (2) 是否有异味。 (3) 清扫		√	√	(1) 听觉、触觉、观察。 (2) 由于过热等产生的异味。 (3) 清扫		(1)、(2) 没有异常。 (3) 无污垢、油污
	绝缘电阻	全部端子与接地端子之间、外壳对地之间		√		拆下 U、V、W 的连接线, 包括电动机接线在内	500V 绝缘电阻表	应在 5MΩ 以上

日常检查和定期检查的主要目的是尽早发现异常现象, 清除尘埃, 紧固检查, 排除事故隐患等。在通用变频器运行过程中, 可以从设备外部目视检查运行状况有无异常, 通过键盘面板转换键查阅变频器的运行参数, 如输出电压、输出电流、输出转矩、电动机转速等, 掌握变频器日常运行值的范围, 以便及时发现变频器及电动机的问题。

(1) 日常检查。日常检查包括不停止通用变频器运行或不拆卸其盖板进行通电和起动试验, 通过目测通用变频器的运行状况, 确认有无异常情况, 通常检查以下内容。

- 1) 键盘面板显示是否正常, 是否缺少字符。仪表指示是否正确、是否有振动、振荡等现象。
- 2) 冷却风扇部分是否运转正常, 是否有异常声音等。