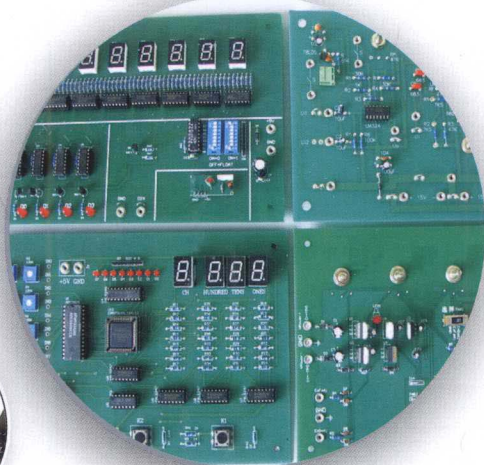
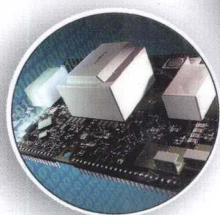
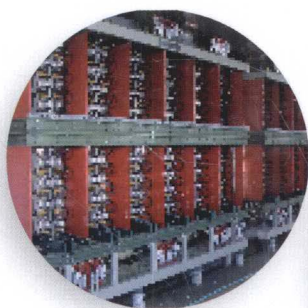


■ 高科实用电力电子技术丛书

常用电力电子变流 设备调试与维修基础

李 宏 著
盛祖权 审



高科实用电力电子技术丛书

常用电力电子变流设备 调试与维修基础

李 宏 著
盛祖权 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是“高科实用电力电子技术丛书”之一,详细介绍常用电力电子变流设备调试的基本问题、电力电子变流设备的调试方法和步骤、电力电子变流设备共用基本单元及其调试,并全面介绍以整流管、晶闸管及全控型电力电子器件为主功率器件的电力电子变流设备的常见电路拓扑结构和典型工作波形。内容丰富,取材面广,富有代表性,图文并茂,通俗易懂。

本书是从事电力电子变流设备及特种电源设计、调试、安装、制造及研究开发的技术人员不可多得的实用参考书,亦适合工科院校电力电子及相近专业的广大师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

常用电力电子变流设备调试与维修基础/李宏著;盛祖权审. —北京:科学出版社,2011

(高科实用电力电子技术丛书)

ISBN 978-7-03-029816-4

I. 常… II. ①李…②盛… III. ①电力电子学-变流器-调试②电力电子学-变流器-维修 IV. TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 251332 号

责任编辑:刘红梅 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:YOLEN'S

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011 年 2 月第一次印刷 印张: 17

印数: 1—4 000 字数: 337 000

定 价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

电力电子技术是电工技术的重要分支,是当今世界各发达国家竞争的一个高技术领域。由于采用电力电子技术可以达到广泛的节能效果,实现生存环境及电网的绿色化,所以在人类日益面临能源危机、环境危机和人口危机等多重危机的时代,电力电子技术已经变得越来越重要,越来越受到各国政府的重视,与人们的日常生活越来越密不可分。

电力电子技术的组成可分为三大部分,即电力电子器件(由于至今已批量使用的电力电子器件几乎都用半导体材料制成,所以这类器件在行业内又称为电力半导体器件)、电力电子变换技术(Power Conversion)和为实现电力电子变换所涉及的控制技术。其中,电力电子变换包括对电能的三大要素(频率、电压、电流)进行量值与类型的变换和对交流电相数的变换。三者中电力电子器件是基础,控制技术是手段,而实现电力电子变换(又称功率的变换)是目的。若用一个人来表示电力电子技术的话,可以把电力电子器件看做人的健康身体,控制技术是人的大脑和四肢,电力电子变换技术则是具有健康身体的人在 大脑指挥下完成各种工作取得的良好效果。

虽然电力电子技术的专业术语对于许多非电力电子专业的人来说有点陌生,但电力电子变换在人类的生活中可以说无处不在,无时不用。1955 年美国通用电气公司(General Electronic Company)发明了人类第一只电力整流二极管,标志着电力电子技术的诞生,1970 年地球上有了电力电子技术的 Newell 定义,经过几十年的发展,已经有 40 多种电力电子器件可供从事电力电子变流设备设计、制造及维护的工程师根据用途、容量及性价比进行选用。各种电力电子变换技术的应用已经深入到工业、农业、交通运输、国防和社会生活的各个方面,其典型的应用领域包括电化学、直流牵引、直传动、交流传动、电机励磁、电火花加工、电镀、电冶、电磁合闸、充电、中频及高频感应加热、交流及直流不间断电源、开关电源、稳压电源、电力电子开关、高压静电除尘、直流输电、无功补偿、风力发电、环境保护、家用电器、储能电站、航空器控制、感应电能传输、空间探测、遥测遥感、交通运输、火灾预防、医疗卫生、防盗报警等。所以,日本一位很有名望的教授早在 20 世纪 80 年代初就称:离开了电力电子技术,人们的生活将黯然失色。尽管电力电子变流技术的应用领域千差万别,但我们可以将其变换从大的方面分为交流到直流、直流到交流、直流到直流、交流到交流四种。应当看到,由于应用电力电子器件在一定的控制手段下实现某一特定功能的电力电子变换是根据最终使用者的应用需求指标,

由从事电力电子变换技术设计及制造的工程师经过设计、装配、调试后交付最终用户使用的,而且在使用单位几乎都是作为设备进行管理和应用的,所以通常我们给某种电力电子变换装置冠以习惯称呼——电力电子设备。如用于有色金属加工行业的直流电弧炉用电力电子设备,用于冶金行业的中频感应加热用电力电子设备,用于电化学行业的电解电力电子设备,用于机械加工行业的电镀电力电子设备等。再则,在这些电力电子设备应用过程中,总有电流(大小、交直流种类)的变化,为实现这种变化,常常称电力电子设备为电力电子变流设备。还应看到,由于这些电力电子变流设备在设计、生产及提交用户时,一般需配套前级设备与后级设备(如电解用整流设备需配套前级降压用整流变压器与后级进行负载隔离的大电流直流刀开关等),故对同一系统多了一种称呼——电力电子成套装置。

在国内从事电力电子变流设备研究和生产的企事业单位有近千家,电力电子变流设备的用户几乎遍布全国各工业及民用企事业单位。鉴于我国电力电子变流设备的研制开发与生产及全民的掌握程度相对于发达国家还比较落后,许多单位的应用与维护调试人员都遇到过在电力电子变流设备的调试和维修中不能很快查出设备运行不正常原因的问题。国内至今还没有解决这些问题的系统参考书,所以我根据多年从事电力电子变流设备研究、设计、调试和维修的经验写下本书,以期给这一领域的下列人员:

- 电力电子设备设计、制造企业的设计人员及现场调试人员;
- 电力电子设备使用单位从事设备运行管理和维护的人员;
- 上述两种单位的操作及装配人员;
- 高等院校的教师、研究生、本科生以及中等专业学校的师生;
- 各种职业培训学校的教师及学员。

提供实用的有价值的参考资料,并能为他们的工作带来一点方便,达到抛砖引玉的效果。

1983年,我从西安交通大学毕业后,到西安电力电子技术研究所(原西安整流器研究所)工作,从此与电力电子技术结下不解之缘。在该所工作的10年中,主要从事电力电子器件的可靠性和电力电子变流设备的研究和开发工作,并有幸参与国家“六五”、“七五”攻关课题,这些经历锻炼了我的工程设计能力,使我终生受益。1992年,我调入西安石油大学工作,是我人生的又一转折,在学校我把所学的知识及工程经验与工作实际进行结合,总结提高,致力于从事电力电子变流装置的开发与设计工作,陕西高科电力电子有限责任公司为我的研究和工作提供了一个良好的工作平台,保证了我的课题组及研究生得到很好的试验条件和经费支持,延续了我的电力电子技术情缘。

大学毕业至今近30年来,我从事过变频器、开关电源、感应加热用中频电源、交流调压、交流调功、电化学、环境保护、有色冶金等类型的电力电子变流设备的科研及设计、调试工作,亲自设计或主持设计的电力电子变流设备种类达几十个品种,已投入国内有色冶金、化工、钢铁、煤矿、核工业、国防、航天、航空等行业使用的

总计有 1000 多台套。其中不乏有用于核聚变研究的中国环流二号(HL-2A)16 套磁场电源系统,有亚洲唯一的用于 4700m 高海拔地区的 30kA 大电流整流系统,有用于某国防重点试验项目中的国内首套 75kW 高精度(0.5%)无刷直流电动机调速系统,以及用于某国防重点试验项目中的 8 相位电源……亦曾有幸主持了近 40 种电力电子变流设备控制板的研制及改进定型工作,这些控制板累计在国内使用达 30 000 多块。不可否认的是,因电力电子变流设备的种类繁多,内部结构千差万别,所用元器件不尽相同,使用领域多种多样,功率容量有大有小,要逐个归纳总结全面系统地介绍其调试与维修技术是十分困难的,也是无法实现的。如何在众多的电力电子变流设备中提炼总结,写出真正可以解决读者工作中实际问题的实用资料,是编写本书的真正困难所在。考虑到在国民经济各部门中使用量的多少,本书力求以国内工农业生产中使用量大、应用面广的电力电子变流设备为主线,而不追求面面俱到,对近几年新出现的电力电子器件及以这些器件为主开关器件的处于研发阶段的电力电子变流设备或在国民经济中使用量较小的电力电子变流设备没有涉猎,热切希望读者能理解我的这一良苦用心!

电力电子变流设备调试及维修的基本问题,是各种电力电子变流设备调试与维修中都会遇到的,具有普遍性,所以作为一部分重要内容在本书的第 1 章进行较全面的讨论。内容包括电力电子变流设备调试的目的和意义、调试前应做的准备工作、调试的一般要求及一般步骤、电力电子变流设备维修的基本问题。

尽管电力电子器件的种类多种多样,不同的电力电子器件有各自的使用技巧,使用不同电力电子器件的电力电子变流设备会有不同的控制技术和不同的电路构成及调试方法,但归纳分析便会发现,各种电力电子变流设备有许多相同的控制单元。本书的第 2 章将阐述电力电子变流设备共用基本单元的调试,包括电力电子变流设备通用的控制电路及其调试、晶闸管类电力电子变流设备的触发器、电力电子变流设备的通用控制电路的调试举例。

电力整流二极管的发明,标志着地球上产生了一个新的边缘学科——电力电子学,使人类可以方便地应用电力电子器件完成从交流到直流的变换,使体积庞大且效率低下的汞弧整流器等器件退出了历史舞台,以整流二极管为主功率器件进行交流到直流变换的电力电子变流设备是最简单的一类电力电子变流设备,也是使用量最多、装机容量最大的电力电子变流设备,因而本书的第 3 章将探讨主功率器件为整流二极管(简称为整流管)的结构、特性、符号和分类,以及常用主电路结构及正常工作波形。

晶闸管的发明在电力电子技术的发展中有着划时代的意义,它的诞生使人们可以利用电力电子器件实现从交流到直流可控整流梦想。如今它仍然占据着可控电力电子器件家族中单只功率容量(额定耐压乘以额定通态电流)最大的霸主地位,在巨型电力电子变换设备(如直流输电、电化学生用直流电力电子变流设备等)中,它仍然是当今不可不用的电力电子器件。主功率器件为晶闸管的电力电子变流设备在我国国民经济各部门中的装机数量及容量仅次于主功率器件为整流二极

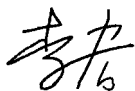
管的设备,这类设备的主电路结构众多,调试也比主功率器件为整流二极管的电力电子变流设备复杂,因而在本书的第4章将分析晶闸管类电力电子变流设备的基本问题。内容包括晶闸管的基本知识,晶闸管电力电子变流设备使用、调试及维修中遇到的几个共性问题,常用晶闸管类电力电子变流设备主电路的基本结构及正常工作波形。

全控型电力电子器件的发明可以看做电力电子器件的第二次飞跃,正因为有了这一良好的基础,变频类电力电子变流设备才进入工业及民用和国防等领域,使更高效和更合理的用电成为可能。第5章介绍变频类电力电子变流设备的分类和几个关键概念及维修的基本问题。

为便于读者直接选用经众多单位使用成熟的电力电子变流设备控制板及电力电子变流设备,在本书的附录中简介了国内研制并已批量使用的电力电子变流设备控制板、驱动板和电力电子变流设备的主要性能和参数。

在本书的写作过程中,陕西高科电力电子有限责任公司提供了许多珍贵的参考资料和实例资料,该公司的工程技术人员根据他们多年来在1000多台套电力电子变流设备设计、制造、调试与可靠运行过程中的经验总结,提供了许多经过实际运行检验并在多台电力电子变流设备中使用、证明鲁棒性和可靠性都很好的可直接应用的原理图及电路参数;西安电力电子技术研究所的盛祖权教授仔细审阅了本书书稿,并提出了许多修改意见;陕西高科电力电子有限责任公司的祝海燕同志参与了书中大量的文稿整理和绘图工作,张瑞平、赵正富、卓党政、张攀峰、马晓平、和肖等对本书的许多电路进行了实用检验并提出了有益的建议;我的研究生冯广义、杭发琴、邢隆、赵栋、李岩、王昆、范柳絮、徐婷、江林、郝浩、岳清涛、董瑾、张仰维、杨宏亮、赵家贝、唐媛芬等参与了部分电路的研究与实验及画图工作,在此一并感谢!在本书付梓之际,我还要感谢我贤惠的妻子梁萍,多年来她一直无怨无悔地支持我的研究及开发工作,并提供了很多帮助,对本书的出版做了间接的、有益的工作。

本书为“高科实用电力电子技术丛书”之一,因资料有限,加之自身的学术修养及技术水平有限,书中定有一些纰漏及不妥之处,恳请读者及国内电力电子行业的专家斧正,并提出宝贵的意见,望阅读本书的专家学者及同仁不吝赐教!指正意见与建议请寄西安市电子二路18号西安石油大学自动化系,李宏收,邮编710065,亦可发电子邮件至 lihong@xsyu.edu.cn 直言相告。对书中介绍的电力电子变流装置实例电路有新的改进方案或更好的建议,亦可与陕西高科电力电子有限责任公司技术部进行交流和探讨(电话:029-81679180,网址: www.sgk.com.cn, Email: sgk@sgk.com.cn)。



目 录

第 1 章 电力电子变流设备调试与维修的基本问题

1.1 概 述	1
1.2 电力电子变流设备调试的基本问题	1
1.2.1 调试的定义	1
1.2.2 调试的分类	2
1.2.3 调试的目的	4
1.2.4 调试前应做的准备工作	4
1.2.5 调试的一般要求	6
1.2.6 调试的一般步骤	7
1.3 电力电子变流设备维修的基本问题	10
1.3.1 基本概念	10
1.3.2 目的和意义	11
1.3.3 维修前的准备	11
1.3.4 维修步骤	11

第 2 章 电力电子变流设备共用基本单元的调试

2.1 概 述	13
2.2 通用的控制电路及其调试	14
2.2.1 控制系统常用的工作电源及调试	14
2.2.2 电压、电流信号的检测与处理电路及调试	24
2.2.3 信号放大器电路及调试	28
2.2.4 保护电路及调试	30
2.2.5 闭环调节器电路及调试	39
2.2.6 给定积分器电路及调试	45
2.2.7 电压(电平)比较器电路及调试	48
2.2.8 逻辑电路单元及调试	52
2.2.9 计算机接口电路及调试	54
2.3 晶闸管类电力电子变流设备的触发器	57
2.3.1 分 类	57

2.3.2	基本结构	58
2.3.3	典型电路	64
2.3.4	常用触发器的调试	69
2.4	主功率器件为全控型电力电子器件的设备中应用的驱动器	70
2.4.1	分 类	70
2.4.2	对驱动器的共性要求	70
2.4.3	典型驱动电路举例	71
2.4.4	全控型电力电子器件驱动电路的调试	110
2.5	通用控制电路的调试举例	122
2.5.1	KCZ6-1T 三相晶闸管类电力电子变流设备通用的单闭环 触发控制板	122
2.5.2	IGC2.7 型 IGBT 斩波器驱动板	127

第 3 章 整流管类电力电子变流设备

3.1	整流管概述	131
3.2	主电路结构	132

第 4 章 晶闸管类电力电子变流设备

4.1	晶闸管的基本知识	152
4.1.1	分 类	152
4.1.2	基本结构与外形	154
4.1.3	工作原理	155
4.2	调试及维修中经常遇到的问题	157
4.2.1	基本概念	157
4.2.2	晶闸管的触发器	160
4.2.3	晶闸管的保护	161
4.2.4	开环与闭环控制	161
4.3	主电路的基本结构与工作波形	162
4.3.1	可控整流类	162
4.3.2	交流调压类	179
4.3.3	有源逆变类	189
4.3.4	利用负载换流的无源逆变类	196
4.3.5	交-交变频类	201
4.3.6	直流传动类	207

第5章 变频类电力电子变流设备

5.1 概 述	217
5.2 变频类电力电子变流设备的分类	217
5.2.1 按主电路获得交流输出是否要经过中间环节来分类	217
5.2.2 按输出交流电压的相数来分类	218
5.2.3 按控制脉冲的产生方式来分类	221
5.2.4 按输出电压的高低来分类	222
5.2.5 按变频器自身输出功率容量的大小来分类	222
5.2.6 按变频器输出电压的基波频率来分类	222
5.2.7 按工作时是单电平还是多电平来分类	223
5.2.8 按输出电压波形是否为正弦来分类	224
5.2.9 按逆变器输出是接负载还是接电源来分类	225
5.2.10 按逆变器是全桥还是半桥来分类	225
5.2.11 按主电路逆变桥所用电力电子器件的种类来分类	226
5.3 变频类电力电子变流设备中的几个关键概念	226
5.3.1 驱 动	226
5.3.2 互锁(死区)时间	227
5.3.3 短 路	228
5.3.4 直 通	229
5.3.5 保 护	230
5.3.6 欠驱动	230
5.3.7 过驱动	230
5.4 变频类电力电子变流设备的维修	231
5.4.1 常见故障及产生原因	231
5.4.2 故障点的查找及故障原因判别方法	233
5.4.3 变频类电力电子变流设备故障的一般维修步骤	234

参考文献	237
------------	-----

附录 电力电子变流设备介绍及选型

附录1 电力电子变流设备举例	239
附录2 电力电子变流设备控制板和电力电子器件驱动板选型指南 ...	247

第1章 电力电子变流设备调试与维修的基本问题

1.1 概述

电力电子变流设备广泛应用于工农业生产、交通运输、国防、航空航天、石油冶炼、核工业及能源工业的各个领域,大到几百兆瓦的直流输电装置,小到日常生活中的家用电器,到处都可以看到它的身影。虽然各种电力电子变流设备的使用领域千差万别,功率大小不尽相同,控制手段各有千秋,但其使用目的都可以归结为进行电能的形式变换。这种变换的目的在于改善供电质量和用电效率,实现最合理用电,提高产品性能,使人们的生活水平更高、生活环境更舒适。另有一个共同点就是各种电力电子变流设备都要经过设计、生产、装配、出厂前的分部分调试、整机调试及在使用现场与负载匹配的调试,以满足用户使用要求,实现最佳的适应负载性能。

电力电子变流设备的调试是其电气性能的试验和电气参数的调整之统称。电力电子变流设备的维修是在对原运行的电力电子变流设备出现故障后进行故障原因查找、排除故障、使其重新正常运行的整个过程的总称。本章先介绍电力电子变流设备调试的定义、分类及目的,然后阐述电力电子变流设备调试前应做的准备工作,电力电子变流设备对调试的一般要求,电力电子变流设备调试的一般步骤等基本问题,然后讨论电力电子变流设备维修的目的和意义,电力电子变流设备维修的基本问题。

1.2 电力电子变流设备调试的基本问题

1.2.1 调试的定义

电力电子变流设备调试是指对某一按设计指标制作完工的电力电子变流设备进行电气性能的试验和部分或全部参数调整的全过程。例如,应用兆欧表(俗称摇表)测试主电路对外壳的绝缘电阻,用专用的耐压设备检测主电路对外壳的耐压水平,负载后测试记录各部件温升,对过载、短路保护进行检验等,这些都是电气性能试验;而按用户要求的指标整定保护动作门槛值(常用的有过流、过压、缺相、过温、欠压、欠流、短路等),整定放大器或调节器的参数(如放大器的放大倍数,闭环调节器的比例、积分、微分系数),则属于部分或全部参数调整。

1.2.2 调试的分类

电力电子变流设备的调试可按不同的方法分为不同的类型,常用的分类方法有以下几种:

1. 按是整套设备调试还是零部件调试来分

可分为零部件调试、部分电路调试、整机调试和系统调试(又称为整套设备调试)。

所谓零部件调试又可以称为零部件检验,即按设计人员提出的电力电子变流设备所用元器件清单,对采购回来的元器件按使用说明书进行复检,检验其是否达到了出厂及说明书所说的指标。应特别注意的是,这里所说的零部件是有着广泛含义的,既可以指一块电表、一个电容、一个变压器、一个控制器,也可以指一台小型的电力电子变流设备。比如恒压供水用电力电子变流设备中所用的变频器,对恒压供水用电力电子变流设备这种电力电子变流系统来讲便是一个零部件了。

在零部件调试结束的基础上,按设计意图把所用零部件按整个电力电子变流设备的总设计进行装配,完成配线后,分部分进行调试的过程称为部分电路调试。主控制板的调试便是这种调试的一个实例,主控制板是把电阻、电容、晶体管、运算放大器、专用控制芯片、稳压电源等电子零部件按电路原理设计加工成印刷电路板并安装完成后的产物,是整个电力电子变流设备的核心。几乎所有的电力电子变流设备调试的第一步都是先调试主控制板,包括检验主控制板是否达到了设计的性能指标、整定保护动作门槛值等。再如继电操作电路的调试,通常是在主电路不带电的情况下,试验合、分闸功能,保护后继电操作电路的动作及指示是否正常。

整机调试是在各部分电路都调试正常无误的基础上,对整个电力电子变流设备总体性能的调试,这种调整实际上是综合考虑各部分电路之间的协调与匹配问题。例如,对带有闭环调节的电力电子变流设备而言,在反馈检测单元与给定积分单元分别调试完成后,要使整个电力电子变流设备达到指标,还要把反馈检测单元与给定积分单元的输出调节相匹配,并综合处理放大倍数、控制精度、动态响应时间与稳定性的矛盾。这种调试是整个电力电子变流设备调试中最关键的,也是最有学问的阶段,它要求从事调试的工程技术人员必须具有良好的系统综合与协调能力、丰富的现场调试经验,以及良好的分析、解决工程问题的能力。经常会听到有的工程师讲自己对电力电子变流设备各部分的电路调试都可以得心应手,但在整个电力电子变流设备调试中却感到力不从心。笔者认识一位在无线电遥控方面很有造诣的高级工程师,曾打破过无线电航模飞行控制世界纪录,退休后受聘于某民营企业从事中频感应加热用晶闸管电力电子变流设备的设计与调试工作,所设计的设备结构及外观都堪称完美,但设计的首批10台设备到用户现场就是调试不出来,后来由一位从事设备维修的技术员把问题解决了。由此可见,整机调试对调试人员现场经验及系统综合能力的要求是很高的。

系统调试是指按用户的要求把整个工程项目中的所有电力电子变流设备协调配合调试的过程。举例来讲,一个年产5万吨电解锌的车间,所用的电力电子变流设备有高压开关柜、整流变压器、整流柜、控制柜、大电流传感器、直流刀开关、冷却水循环装置等,其中每一个环节都是一个单独的电力电子变流设备,这种调试过程包括从高压输入(一般为35kV、10kV、6.3kV或110kV)到用户在电解槽两端获得需要的电压和电流的全过程。可见,系统调试是整个工程中全部电力电子变流设备的调试,所以可以称为整套设备调试,这往往要求各生产厂家相互协调和配合,对调试的总调人员的技术水平和综合协调能力的要求就更高了。

2. 按调试的地点来分

可以分为在生产厂家的调试和用户使用现场的实际负载调试,前者又分为出厂前调试和型式试验。

出厂调试是电力电子变流设备生产家在电力电子变流设备组装检验完工后按产品检验规范和用户供货要求及有关国家标准,对电力电子变流设备的性能逐项进行出厂前的必要调整、试验,以确认产品的电气性能指标是否合格,是否达到了国家标准的要求,是否满足用户供货指标要求,保证产品的质量,严把质量关,方便用户使用。

型式试验一般是指电力电子变流设备生产家在一种新型电力电子变流设备试制完成或在某种电力电子变流设备产品生产数批后,对产品的性能、质量进行全面考核试验,以确认产品的技术性能水平和质量优劣的整个试验过程。实际上电力电子变流设备的设计阶段要做许多试验验证设计思想实施的可能性和一些计算的正确性,但对设计的全面验证还是要通过产品的型式试验完成。

由于电力电子变流设备最终要在工农业生产中实际使用,其设计、制造及出厂调试一般都是按照国家标准中规定的通用技术条件及与用户方签订的技术协议、检验调试规范进行的。尽管出厂调试对这些要求与规范都进行过一遍甚至几遍的检验,但这并不等于该电力电子变流设备完全能满足用户负载的使用要求,即与用户负载性能完全匹配。其原因在于使用现场情况甚为复杂,各种电力电子变流设备同时运行,有的还会相互产生很大的干扰;有些设备的负载特性很难在生产厂家根据实际运行状态进行模拟(如输出几万安[培]电流的电化学用整流类电力电子变流设备),而出厂调试中周围一般没有像使用现场中那样的同时运行的多种较大功率的电力电子变流设备。因此,即使出厂时做了充分的调试,大部分电力电子变流设备仍然必须在用户现场进行与负载适配的调试,如按负载的实际额定值重新整定电力电子变流设备的电流截止值、过电流及过电压的保护动作值;还有很多电气参数,特别是动态参数,必须在实际应用现场根据生产工艺的要求和实际条件进行调试整定。这便是电力电子变流设备制造与使用行业中通常所说的用户现场调试,该调试阶段主要是对已经出厂调试的电力电子变流设备的性能及参数重新进行检验和验证及参数整定,使其更好地与用户负载及现场工作环境相适应,达到最

佳的运行状态。

3. 按是否带负载来分

按这种分类方法可以把电力电子变流设备的调试分为空载调试与负载调试。所谓空载调试是指电力电子变流设备的输出开路或带可使设备正常工作的极小负载(如晶闸管整流类电力电子变流设备带可使晶闸管维持导通的较小负载)时,对该设备的性能进行调试与验证,这种调试往往在出厂调试与用户现场调试中都会遇到,但由于这种调试输出电流未达到用户需要的实际运行电流,更无法超过用户使用的实际电流,所以对有些保护或性能(如过流保护、电流闭环调节性能)是无法进行检验的。负载调试是指在空载调试正常的条件下,使电力电子变流设备的输出电流在用户需求的额定电流与电压下运行来试验或整定其参数的全过程。这种调试一般是为了检验设备的负载能力、长期运行的可靠性、各零部件的发热情况等。

4. 按开环与闭环调试来分

这种分类方法仅适合于工作时为闭环运行的电力电子变流设备,这类设备在调试中一般先进行开环调试,然后进行闭环调试。所谓开环调试是指先把闭环调节器改为跟随器或者放大倍数为1的放大器,并断开反馈通道而调试好电力电子变流设备的各种参数、保护性能,然后接入实际反馈信号,再进行闭环调节器参数的调节与整定,综合考虑与处理动态过程响应时间、输出稳定性、超调量、静态误差、振荡次数之间的矛盾,使整个电力电子变流设备的性能能够更好地满足用户的使用需求。

1.2.3 调试的目的

电力电子变流设备调整试验的主要目的表现在以下几个方面:一是验证电力电子变流设备设计、生产的合理性;二是检查所用元器件的性能是否达到了该电力电子变流设备对它们的要求;三是检查生产厂家的工艺及选用导线等是否达到了该设备必须具备的性能;四是及时发现设计、生产及元器件存在的不足和缺陷,从而针对这些不足和缺陷进行整改,使之达到满意的工作状态;五是通过调试和参数调节使电力电子变流设备与负载特性达到最完美的匹配,实现最佳运行,使设备的运行工作点及运行条件和状态都尽可能达到最佳。

1.2.4 调试前应做的准备工作

尽管电力电子变流设备的复杂程度不同,调试人员的调试水平不同,电力电子变流设备调试过程时间有长有短,但总体来讲在电力电子变流设备调试之前应做充分的准备,只有这样才能使调试过程有章可循、有条不紊,并使调试时间极大缩短,达到事半功倍的效果。电力电子变流设备调试前的准备可分为以下三部分。

1. 人员准备

由于电力电子技术属于电力电子器件、电力电子变换技术及应用电力电子器件实现电力电子变换所用的控制技术三者相结合的边缘学科,所以对电力电子变流设备的调试人员提出了一定的要求,这些要求在调试前就必须做好准备,即调试前的人员准备。

首先,电力电子变流设备的调试人员应当懂得电力电子技术的基本原理,熟练掌握待调试设备所用的电力电子变流电路和工作过程,以及电工仪器、测量仪表、电控元器件及各种电力电子器件的基本结构与工作机理;其次,电力电子变流设备的调试人员还应熟悉所要调试设备的器件及常用控制元器件的参数、引脚功能和使用方法,并具备一定的机电安装与电气安全知识。具有这些基本素质的技术人员是电力电子变流设备调试的人力基础。

2. 技术准备

为了缩短电力电子变流设备的调试时间,保证调试质量,提高调试工作的效率与成功率,除了在调试前做好调试人员的准备外,还需进行充足的技术准备。

1) 阅读相关图纸和资料

调试人员应充分了解要调试的电力电子变流设备的性能特点、工作原理、电路结构、元器件的具体安装位置,认真阅读该电力电子变流设备的所有图纸和使用说明书,一定要看懂其电气原理图,在阅读图纸和资料时要学会比较。一般来说,每一种新的电力电子变流设备都是在原有技术和已有产品的基础上发展起来的,要抓住各类设备的相同点和不同点进行分析,找出要调试的设备与曾经调试过的设备的相同点和不同点;特别是对采用微型计算机或可编程控制器 PLC、工业控制机等控制的电力电子变流设备,要充分熟悉其编程思想与源程序,做到融会贯通,只有这样才会在调试中得心应手。

2) 明确技术条件、技术指标

电力电子变流设备的技术条件是产品设计、调试、使用的基本依据,分为通用、专用两大类。根据技术条件的标准颁布单位又分为国家标准、部颁标准、行业规范标准、地区标准、企业标准等几类。首先,对供需双方针对该台电力电子变流设备的技术协议中无约定的应按国家标准、部颁标准及行业规范标准、企业标准进行设计和调试,有约定的指标应按供需双方签订的技术协议所规定的技术条件进行设计和调试。

电力电子变流设备的调试人员要充分了解与理解要调试的设备的通用技术条件,熟练掌握调试规范,明确设备应达到的技术性能指标,只有这样才能做到有的放矢,提高调试效率,缩短调试时间。

3) 学习或编制调试大纲

电力电子变流设备的调试大纲要以产品的技术条件和技术指标及设计(试制)任务书为依据进行编写,是指导调试的重要文件。一般应由产品设计人员编制,试

制产品的调试大纲常由有经验的调试人员和设计人员共同编制。调试大纲应明确电力电子变流设备调整试验的项目、方法、使用的仪器仪表、试验设备等;还应包括调试中保障人身、设备安全的必要措施。调试大纲是产品鉴定的主要文件,因此,调试人员在调试前必须认真学习调试大纲,熟练掌握与理解调试大纲的内容。

3. 物质准备

电力电子变流设备调试中需对一些元器件的参数进行调整,对个别性能参数不好的还需进行更换,这必然要用到检验电力电子变流设备性能的仪器仪表。在调试现场还需对运输过程中振动或松动的螺丝进行检查和紧固。另外,还需连接用户负载与要调试电力电子变流设备之间的主母线及控制线、信号线。这就决定了电力电子变流设备调试前还需准备必要的工具。一般电力电子变流设备生产厂家的调试人员应自带电子元器件、轻便的仪器仪表和检测设备常用的简单工具。专用的仪器仪表及测量设备,由用户方与生产厂家协商解决,一般来讲应由用户自行解决,若用户没有这些专用仪器、仪表或工具,可由生产厂家协助解决。

电力电子变流设备调试过程中常用的工具有扳手、螺丝刀、压线钳、电烙铁,常用的仪器仪表有摇表、绝缘耐压测试仪、输出电流电压测试仪表、接触式或红外非接触式温度测试仪表、示波器,专用设备如各种专用调试台、电力电子器件均流或均压测试设备,以及各电力电子变流设备制造厂根据本单位产品的特点自行制造的专用调试设备。

1.2.5 调试的一般要求

电力电子变流设备调试的一般要求主要表现在以下几个方面。

1. 根据待调试设备的容量、试验条件及图纸检查校核

在调试时要反复核对与校验待调试电力电子变流设备的容量、保护动作值,核对与相关设备之间的接线及所用试验设备、测量仪器仪表之间的接线是否合理、正确,且要特别注意以下几个方面的问题:

- ① 二次接线在端子上的压接应紧固,在同一接线螺钉上一般不压接 3 个以上的线头。
- ② 所有二次接线不得有不经端子板的中间接头。
- ③ 所有接线应与接地金属部分绝缘隔开。
- ④ 接线螺丝的平垫圈和弹簧垫圈应齐全,线头的绕向及垫圈的大小应符合工艺要求。

2. 调试所用仪器仪表及专用设备应准确无误

为保证所调试的电力电子变流设备的调试效果与电气性能,在调试过程中应保证调试所用的仪器仪表性能良好;其误差应在规定的范围内;选择合适的量程,使其使用在满刻度 20% 以上部分;对于易受外界磁场影响的仪表(如电动式与电磁式仪表),应放置在离大电流导线 1m 以外进行测量;被测量值与温度有关的,必

须准确测量被测物的温度,如被测物温度不易直接测量时,可通过测量环境温度的方法间接测量。

3. 调试中应特别注意人身安全及设备安全

由于电力电子变流设备一般都为弱电控制强电的电能变换产品,一般输入及输出电压相对较高,而且输出电流也相对较大,所以电力电子变流设备的调试过程中应特别注意人身安全与设备安全,特别是进行绝缘和耐压试验应按规范标准进行。操作人员应穿绝缘鞋、戴绝缘手套,地上应铺绝缘橡胶垫块等。

4. 调试中的数据处理

电力电子变流设备的电气性能检验要依据测量与记录数据来判别,所以,数据的处理要采用大家公认的方法。测量读数时一般应取3次或3次以上读数的算术平均值。测绘各种特性曲线时,在变化率较大的工作区段应测定足够的点数以保证描绘成平滑的曲线。

电力电子变流设备的调试中应认真做好原始记录,并随时审核判断,对可疑之处应当复查复调。参数记录应准确,记录必须保证真实性,重要数据的记录应有最少3人签字,即记录、复核、批准3栏的签字应完整无误,要杜绝弄虚作假。数据有更改之处应有更改人的亲笔签字。

5. 调试中元器件的更换、整定与处理

电力电子变流设备调试中若发现所采用的电器元件有损坏,则应及时更换、复调。试验设备不得带病运行,在调试中试验设备、仪器仪表发生故障必须修复或更换后进行复调复测。需要整定的参数如可调电阻、可调电感、可调电容,必须在整定后采取锁紧、加封或给予明显标志等措施。调试完设备后应复查被调试电力电子变流设备各处接线是否良好,确保无误后拆除调试时的临时接线。

1.2.6 调试的一般步骤

电力电子变流设备的类型众多,系列极为繁杂,各种电力电子变流设备按所在大类来分又可分为多个子系列,同一电力电子变流设备的使用领域也会有很大不同。每个品种每个系列设备使用场合的差异决定了不同电力电子变流设备的调试步骤也有很大的不同。即使是同一类别、同一系列的电力电子变流设备,随着使用场合的不同,其调试步骤也有很大的差别。本节仅给出在各种电力电子变流设备调试中都会遇到的调试问题的步骤,而针对具体类别的电力电子变流设备的详细调试步骤将在后续章节中讨论。

1. 检查调试文件的合理性与调试前准备的充分性

在进行外观检查及配线检查之前,应检查调试文件(即调试大纲)编制是否合理,是否满足要求,调试前的准备是否充分,确认无误后再进行调试。

2. 安装质量的检查

由于电力电子变流设备通常输入或输出电流都较大,功率不会太小,运行中在