

工程装备电控系统 故障检测与维修技术

杨小强 李焕良 彭 川 主 编
赵 玮 任焱晞 赵立强 康丽霞 副主编



 冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

工程装备电控系统 故障检测与维修技术

杨小强 李焕良 彭川 主编

赵玮 任焱晞 赵立强 康丽霞 副主编



北京

冶金工业出版社

2018

内 容 简 介

本书针对机电一体化、自动控制等专业本科生、研究生和军地装备电气系统维修人员等读者层次,介绍了常见的工程装备电控系统故障检测与维修的方法与技术。结合具体的装备案例,系统地阐述了工程装备电控系统基本原理、故障模式、检测方法与诊断技术,可读性和实用性强。全书共分8章,主要内容包括:绪论、两栖工程装备电控系统故障检测、新型履带式综合扫雷车电控系统故障检测、重型机械化桥电控系统故障检测、布(扫)雷装备电控系统自动测试、抛撒布雷车布雷控制系统故障检测、基于在线测试的工程装备电控设备电路维修测试系统和两栖工程作业车电控系统维修模拟训练平台等设计与研究内容。

本书可作为高等院校有关专业的本科和研究生课程教学教材,以及军队装备维修人员的训练用实习教材,也可供从事本领域的其他技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程装备电控系统故障检测与维修技术/杨小强,李焕良,
彭川主编. —北京:冶金工业出版社,2018.7

ISBN 978-7-5024-7807-0

I. ①工… II. ①杨… ②李… ③彭… III. ①工程设备—
电子系统—控制系统—故障检测 ②工程设备—电子系统—
控制系统—维修 IV. ①TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 129630 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 程志宏 王梦梦 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7807-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2018 年 7 月第 1 版,2018 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18.75 印张; 453 千字; 289 页

59.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号 (100010) 电话 (010)65289081 (兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

随着现代工程装备保障效能的大幅提高,装备中电子设备的数量迅速增多且日益复杂化、智能化,由此带来电气设备、控制系统相关的器件的故障概率不断升高。为解决此问题,除了尽可能提高工程装备的可靠性与维修性之外,还要求装备电气维修人员在电控系统出现故障时能够快速、高效地发现故障部位、故障原因,进行故障排除与修理。因此,掌握常见工程装备电控系统结构组成、工作原理与故障特点,探索各种各样的电控系统故障检测、诊断与维修技术,开发实用、快捷、高效的电控系统故障检测与维修模拟训练系统,以及提高工程装备管理、使用与维修人员电控方面的专业理论知识、故障分析检测水平和维修技能是极为重要的。

根据《军事工程百科全书》的定义,工程装备专业可分为渡河桥梁装备、路面装备、军用工程机械、伪装装备、爆破装备和工程侦察装备等。本书依照部队和地方在工程装备(含工程机械、建筑机械设备)使用维修过程中电控系统的故障现状调研,分类选取了两栖工程装备(工程作业车、装甲路面、装甲破障车)、新型履带式综合扫雷车、重型机械化桥、布(扫)雷装备、抛撒布雷车、登陆破障艇等工程装备,对其电子设备或电控系统的结构组成、工作原理及故障机理的分析,在此基础上提出对电控系统进行故障检测、诊断与排除的战技术指标及要求,介绍电控系统故障检测系统的硬、软件开发技术及系统总体集成过程。最后以两栖工程作业车为典型案例,结合半实物仿真技术、虚拟仪器技术和系统集成技术,论述了该装备电控系统使用与维修模拟实训平台的指标需求、方案设计与应用概况,为提高工程装备电控系统使用维修人员的专业理论知识、故障检测与排除技能做出一定的贡献。

本书内容翔实、新颖实用、针对性强、重点突出,兼具普及性与专业性两个方面。在编写过程中,参考了相关教材、论文及专业著作,对相关文献的作

者谨表衷心的感谢。本书由杨小强、李焕良、彭川主编，参与编写的人员还有解放军陆军工程大学的何晓军、李峰、任焱晞、韩金华、李沛、赵玮、虞昌君、刘宗凯、张宏、鲁吉林、康丽霞和中国人民解放军 93552 部队的赵立强等。本书具有较高的实用性，适合机电一体化、控制工程等专业在校本科学生，以及部队的工程装备维修技术人员使用。由于笔者学识和经验所限，书中不足之处，恳请广大读者热心指正。

编 者
2018 年 2 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 工程装备电控系统故障检测技术概述	1
1.2 工程装备电子设备故障诊断技术	2
1.2.1 电子元器件的失效机理	2
1.2.2 电子设备故障诊断	4
1.3 工程装备电控系统故障检测技术的研究概况	6
1.3.1 电路测试技术的国内外研究现状	6
1.3.2 自动测试系统的概况	9
1.3.3 虚拟仪器技术对自动测试系统发展的影响	10
1.4 工程装备电控系统故障诊断方法研究概况	11
1.4.1 基于知识的故障诊断方法	11
1.4.2 军用装备故障诊断技术的发展趋势	13
1.4.3 军用 ATS 技术发展现状与存在的问题	13
1.5 习题	15
第2章 两栖工程装备电控系统故障检测	16
2.1 两栖工程装备电控系统结构组成及故障分析	16
2.1.1 电控系统组成与功能解析	16
2.1.2 电控系统故障机理分析	21
2.2 电控系统故障检测资源需求分析	25
2.2.1 两栖装甲路面	25
2.2.2 两栖工程作业车	26
2.2.3 两栖装甲破障系统	27
2.2.4 两栖工程装备电子设备检测资源需求	28
2.3 故障检测系统战技术性能要求	28
2.3.1 功能要求	28
2.3.2 战术性能要求	29
2.4 两栖工程装备电子设备故障检测系统总体方案设计	29
2.4.1 故障检测系统的通用设计流程	29
2.4.2 检测诊断平台	30
2.4.3 适配器	31
2.4.4 连接器	31

2.5 两栖工程装备故障检测系统硬件平台设计	32
2.5.1 便携式检测主控计算机系统选型与设计	32
2.5.2 适配器硬件设计	39
2.5.3 通信协议	45
2.6 两栖工程装备电控系统故障检测系统软件平台开发	47
2.6.1 软件平台的特点与选择	47
2.6.2 软件系统的设计流程	50
2.6.3 故障检测程序模块设计	58
2.6.4 适配器软件设计	62
2.7 习题	69
第3章 新型履带式综合扫雷车电控系统故障检测	70
3.1 新型综合扫雷车电气控制系统故障及检测信号分析	70
3.1.1 综合扫雷车概述	70
3.1.2 综合扫雷车电气控制系统故障分析与模型建立	72
3.1.3 综合扫雷车电气控制系统检测信号及测试需求分析	80
3.2 新型综合扫雷车电气控制系统检测设备硬件研制	82
3.2.1 检测系统硬件总体方案	82
3.2.2 检测系统硬件平台设计	84
3.2.3 检测系统硬件实现	98
3.3 新型综合扫雷车电气控制系统检测设备软件开发	99
3.3.1 软件平台设计原则分析	99
3.3.2 软件平台总体结构设计	101
3.3.3 测试开发平台设计	101
3.3.4 测试运行平台	103
3.3.5 系统自检	104
3.3.6 数据库系统	104
3.3.7 网络远程控制	104
3.3.8 帮助系统	104
3.3.9 用户界面设计	104
3.4 习题	110
第4章 重型机械化桥电控系统故障检测	111
4.1 重型机械化桥电控故障检测系统总体设计	111
4.1.1 重型机械化桥电控系统工作原理与故障分析	111
4.1.2 故障检测系统功能要求	116
4.1.3 主要战技术指标	116
4.1.4 检测系统总体设计	117
4.2 重型机械化桥电控系统故障检测硬件平台研制	119

4.2.1 适配器硬件总体设计	120
4.2.2 电源电路设计	120
4.2.3 C8051F020 微控制器及外围电路设计	122
4.2.4 LCD 液晶显示接口电路设计	125
4.2.5 键盘接口电路设计	126
4.2.6 LED 报警和继电器控制电路设计	126
4.2.7 ADC 处理模块设计	128
4.2.8 开关信号调理电路设计	133
4.2.9 串行通信接口电路设计	135
4.3 重型机械化桥电控系统故障检测系统软件开发	135
4.3.1 系统软件总体结构设计	136
4.3.2 控制计算机软件开发	136
4.3.3 适配器软件开发	141
4.4 习题	145
第5章 布(扫)雷装备电控系统自动测试	146
5.1 布(扫)雷装备电控装置自动测试系统需求分析	146
5.1.1 综合扫雷车的构造及工作原理	146
5.1.2 综扫作业部分电控系统测试方法	148
5.2 布(扫)雷装备电控装置自动测试硬件平台	157
5.2.1 自动测试设备(ATE)系统发展概述	157
5.2.2 自动测试设备(ATE)工作原理	158
5.2.3 自测测试系统 ATE 硬件配置方案	159
5.2.4 信号接口装置设计	162
5.2.5 硬件集成的可靠性与安全性设计	168
5.3 布(扫)雷装备电控装置自动测试软件平台	170
5.3.1 软件平台总体结构设计	170
5.3.2 软件的层次结构	171
5.3.3 测试程序集开发	173
5.3.4 测试通道配置工具开发	183
5.3.5 软件开发示例	186
5.4 习题	187
第6章 抛撒布雷车布雷控制系统故障检测	188
6.1 抛撒布雷车布雷控制系统检测仪总体设计	188
6.1.1 布雷控制系统故障信号分析	188
6.1.2 检测仪主机性能要求	194
6.2 抛撒布雷车布雷控制系统检测装置硬件设计	197
6.2.1 检测仪主机硬件总体设计	198

6.2.2	下位机硬件系统设计	198
6.2.3	上位机硬件系统设计	199
6.2.4	数据传输方案设计	199
6.2.5	CPLD 处理电路设计	200
6.2.6	数据采集与信号调理电路设计	203
6.3	抛撒布雷车布雷控制系统检测仪软件开发	204
6.3.1	下位机软件平台开发	204
6.3.2	基于 LabVIEW 的上位机软件开发	212
6.4	习题	218
第 7 章	基于在线测试的工程装备电控设备电路维修测试系统	219
7.1	工程装备电路维修测试系统总体设计	219
7.1.1	登陆破障艇电控系统故障机理研究	219
7.1.2	测试系统性能需求分析	228
7.1.3	测试系统总体设计思路	229
7.2	测试系统硬件设计与实现	232
7.2.1	测试系统硬件总体设计	232
7.2.2	上位机硬件选型与设计	233
7.2.3	下位机硬件研制与实现	234
7.3	测试系统软件开发与实现	248
7.3.1	下位机软件开发与实现	248
7.3.2	上位机软件开发与实现	256
7.4	习题	270
第 8 章	两栖工程作业车电控系统维修模拟训练平台	271
8.1	两栖工程作业车电控系统故障常用检修方法和步骤	271
8.1.1	电控系统故障排除的一般步骤	271
8.1.2	电控系统故障常用检修方法	273
8.2	电控系统使用与维修模拟训练平台需求分析	273
8.2.1	主要功能需求分析	273
8.2.2	硬件外设需求分析	275
8.2.3	关键技术需求分析	275
8.2.4	软件子系统需求分析	275
8.3	电控系统使用与维修模拟训练平台设计与实现	276
8.3.1	电控系统使用与维修模拟训练平台总体结构设计	276
8.3.2	电控系统使用与维修模拟训练平台操控模拟终端设计	276
8.3.3	控制系统电路模拟装置设计	280
8.3.4	仿真教学考评管理信息系统设计	280
8.4	电控系统使用与维修模拟训练平台集成与实现	281

8.4.1 操控模拟终端模块集成设计	281
8.4.2 电路分析与实时显示系统集成设计	281
8.4.3 教师(管理员)系统软件模块集成设计	282
8.4.4 学生系统软件模块集成设计	283
8.4.5 系统总体集成设计	283
8.5 电控系统使用与维修模拟训练平台使用效果测试分析	283
8.5.1 教师课堂教学应用测试	284
8.5.2 学生课后自学应用测试	286
8.5.3 网络考评管理应用测试	287
8.6 习题	288
参考文献	289

第 1 章 绪 论

1.1 工程装备电控系统故障检测技术概述

随着高新技术在工程装备中的广泛应用,电子系统在我军通用装备中所占的比重越来越大,其原因,一是单体电子装备的品种数量显著增加,二是各类武器装备系统中所包含的电控部分越来越多,电子系统已经成为我军通用工程装备的重要组成部分。随着我军工程装备由机械化、半自动化向信息化转变,电子系统在战争中的作用越来越突出,电子系统必将成为工程装备的灵魂和效能倍增器。因此,加强工程装备电子系统技术保障,已成为军事装备发展的必然趋势。

当前工程装备电控系统故障检测可分为基于在线测试技术的电路器件测试、基于自动测试系统以及虚拟仪器技术的自动测试技术等,其核心均是将测试技术与虚拟仪器技术、计算机技术、人工智能技术等相结合,以提高故障检测的自动化程度、测试准确度、测试精度和测试效率。

通常而言,电控系统基本的测试方法有两大类,即黑盒法和白盒法。黑盒法也称数据驱动法或输入/输出法。测试者将整个电子设备视为一个黑盒子,完全不考虑其内部结构和内部特性,只是检查是否能顺利完成各项功能。采用黑盒法时,测试只是完全根据被测设备的功能说明进行设计。所以黑盒测试法的缺点在于对于复杂设备只能对功能块进行故障定位,不能做到精确故障诊断及定位。

白盒法也称为一般逻辑法。测试者需要了解设备的内部结构,“打开”其内部,然后根据各部分的结构和特性,按一定的测试顺序分别执行测试。与黑盒法相对,白盒法必然能深入被测设备内部,做到精确的故障定位。但其基本要求是对被测组件有深入透彻的了解,充分分析其内部电路板的结构及功能,才能得到正确的测试结果。

在布扫雷装备一类的工程装备中,电控系统的在线检测可采用黑盒法和白盒法相结合的检测方法。对于战场级维修采用黑盒法,将故障定位到可更换单元。对于基地级维修采用白盒法,将用黑盒法检测故障从战场级更换下来的可更换单元做进一步的检测,以详细确定故障位置。

电控系统按航插进行检验的优点是,其每一针脚都有确定的信号,且每一针脚对应特定的功能,通过测试需求分析详细确定其功能,而且可以确定与其相连的所有控制盒内部元器件,按其针脚排序可建立标准值数据库,包括每一针脚的信号类型、信号方向、信号标准值、对应功能、可能产生故障的元器件等。在检测过程中发现某一针脚信号异常,很快能在数据库中确定其功能和可能的故障原因,便于进一步的故障诊断。

对工程装备电控系统的检测主要分为 3 种方式,即电控设备的整机性能测试,电控系统按功能分类检测,故障元器件的搜寻与定位。前两种测试方法为黑盒测试法,第三种测试为白盒测试法,分别介绍如下:

(1) 电控设备整机性能测试。测试方法以每个控制盒为单位, 仿真测试控制盒的全部工作状态, 施加激励信号, 采集输出信号, 与标准值相比较, 判断整个控制盒是否发生了故障, 如果有故障则根据数据库中的记录确定故障功能、可能原因, 然后决定是否需要按功能分类检测或打开控制盒进行故障元器件的搜索和定位。该种检测方法主要适合厂级大修、整体维护和无法判别故障来源的现场维修。

(2) 电控设备按功能分类的性能检测。电控设备主要是完成设备的控制功能, 一个功能的实现可能要涉及多个控制盒的多个元器件, 在使用过程中最直接的故障反应是发现某个功能无法正常使用。按功能进行分类检测可以快速定位故障部位, 提高检测效率。在按功能检测中涉及检测排序的问题, 比如某个功能失效, 其涉及的控制盒有三个, 如果将每个控制盒都检测, 其工作量很大, 检测过程中应该充分运用专家经验, 先检测日常经验判断最可能出现故障的那一个, 如果检测确定故障是出现在这个盒中, 其他两个就可以不必检测。

(3) 电子设备的故障元器件的搜索和定位。这一步需要打开故障盒, 查找与该针脚相关的各电子元器件, 采用故障树定位法逐一排查, 确定故障具体位置。硬件设计中的“独立虚拟仪器模块”可以分别提供各个测试模块的测试面板, 将其作为独立的测试单元用于故障诊断, 操作人员可独立运用各个模块对可疑点进行检测。

1.2 工程装备电子设备故障诊断技术

1.2.1 电子元器件的失效机理

在装备电控系统的控制盒中, 主要分布的电路元器件有开关、电阻、继电器、导线、二极管、行程开关、灯泡、保险丝、PLC 控制器等, 下面介绍其中一些主要元件的原理和失效方式。

1.2.1.1 电阻

电阻在电子设备中使用的数量很多, 而且是一种发热元器件, 在电子设备故障中由电阻器失效导致的占一定的比例。其失效原因与产品的结构、工艺特点、使用条件有密切关系。

电阻器失效可以分为两大类, 即致命失效和参数漂移失效。从现场使用统计来看, 电阻器失效的大多数情况是致命失效, 常见的有断路、机械损伤、接触损坏、短路、击穿等, 只有少数为阻值漂移失效。

电阻器按其构造形式分为线绕电阻器和非线绕电阻器, 按其阻值是否可调分为固定电阻器和可变电阻器(电位器)。从使用的统计结果看, 它们的失效机理是不同的。

(1) 非线绕固定电阻器失效包括: 引线断裂、膜层不均匀、膜材料与引线端接触不良、体缺陷等, 如碳膜电阻器; 此外还会出现电阻膜不均匀、电阻膜破裂、基体破裂、电阻膜分解、电荷作用等, 如金属膜电阻器。

(2) 线绕电阻器失效包括: 接触不良、电流腐蚀、引线不牢、焊点熔解等。

1.2.1.2 接触器件

A 继电器电路工作原理

继电器(Relay)是当输入激励量达到规定要求时, 在电气输出电路中被控参量发生

预定阶跃变化的一种自动电器。是一种自动和远距离操纵用的电器。继电器广泛地应用于自动控制系统、遥控、遥测系统、电力保护系统以及通信系统中，起着控制、检测、保护和调节的作用，是现代电气装置中最基本的器件之一。所有的继电器都满足如图 1-1 所示的继电特性。

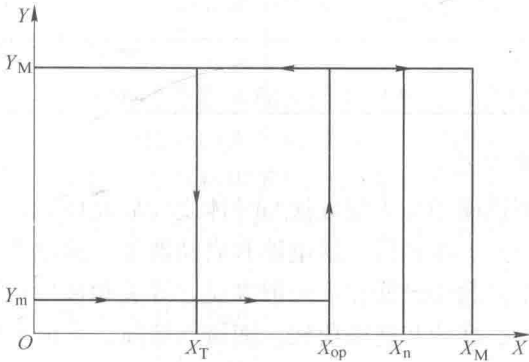


图 1-1 继电特性
 X_n —继电器的输入额定值

当输入量 X 从零开始增加时：

$$X < X_{op}, Y = Y_m \tag{1-1}$$

$$X \geq X_{op}, Y = Y_M \tag{1-2}$$

当 X 逐渐减小时

$$X > X_T, Y = Y_M \tag{1-3}$$

$$X \leq X_T, Y = Y_m \tag{1-4}$$

式中， X_T 为继电器的释放值； X_M 为继电器的最大允许输入值； Y 为输出量。

且有 $X_T < X_{op} \leq X_n < X_M$ ，其中 X_{op} 称为继电器的动作值。

综合扫雷车中所用的继电器均为“有或无”继电器（All-or-Nothing），即在规定条件下，预定由高于动作值或低于释放值的电激励的电气继电器，亦称逻辑运算继电器。图 1-2（a）表示了有一对常开常闭触点的逻辑运算继电器， X 为输入， B 和 C 为输出，其输入输出逻辑见表 1-1。其工作逻辑可以等效为图 1-2（b）所示的三态同门电路，其使能端为 X 。因此，可以用组合逻辑电路诊断的方法对继电器电路进行诊断。

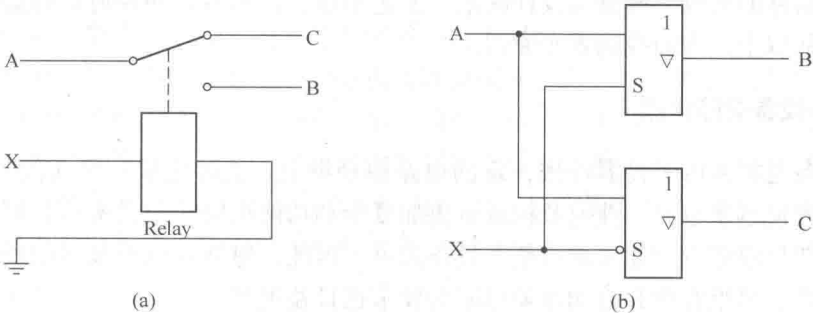


图 1-2 具有常开常闭触点的继电器及其等效逻辑电路
(a) 具有常开常闭触点的继电器；(b) 等效逻辑电路

表 1-1 继电器逻辑

输 入		输 出	
X	A	B	C
1	1	1	高阻
1	0	0	高阻
0	1	高阻	1
0	0	高阻	0

B 接触件电路失效方式

所谓接触件，就是用机械的压力使导体与导体之间彼此接触，并有导通电流的功能元器件的总称。通常包括开关、接插件、继电器和启动器等。接触件的可靠性较差，往往是电子设备或系统可靠性不高的关键所在。一般来说，开关和接插件以机械故障为主，电气失效为次，主要由于磨损、疲劳和腐蚀所致。而接点故障、机械失效等则是继电器等接触件的常见故障模式。

(1) 开关及接插件常见失效机理：

- 1) 接触不良：接触表面污染、插件未压紧到位、接触弹簧片弹力不足或焊剂污染等；
- 2) 绝缘不良：表面有尘埃和焊剂污染、受潮、绝缘材料老化及电晕和电弧烧毁碳化等；
- 3) 机械失效：主要由弹簧失效、零件变形、底座裂缝和推杆断裂等引起；
- 4) 绝缘材料破损：主要原因是绝缘体存在残余应力、绝缘老化和焊接热应力等；
- 5) 弹簧断裂：弹簧材料的疲劳、损坏或脆裂等。

(2) 继电器常见失效机理：

1) 继电器磁性零件去磁或特性恶化：主要原因是磁性材料缺陷或外界电磁应力过大造成的；

2) 接触不良：触点表面污染或存在介质绝缘物、有机吸附膜及碳化膜等，接触弹簧片弹力不足或焊剂污染等；

3) 接点误动作：结构部件在应力下出现谐振；

4) 弹簧断裂：弹簧材料疲劳损坏、裂纹损坏或脆裂、有害气体腐蚀造成断裂等；

5) 线圈断线：潮湿条件下的电解腐蚀和有害气体的腐蚀等；

6) 线圈烧毁：线圈绝缘的热老化、线焊接头绝缘不良引起短路而烧毁等。

电子元器件的失效一般是由设计缺陷、工艺不良、使用不当和环境影响造成的，大多数情况下可从以上几方面找到真正原因。

1.2.2 电子设备故障诊断

电子设备是指由电子元器件按一定的电路原理组成、能够完成一定功能的电子装置。由于设备的规模越来越大，性能及构成也更加复杂和功能更完善，设备中任何一个元器件的故障都可能导致部分功能失效或整个设备失灵。因此，伴随着电子技术的发展，对电子电路的可靠性、可维修性和自动故障诊断的要求也日益迫切。

所谓电子系统故障诊断技术，就是根据对电子系统中电子电路的可及节点或端口及其他信息的测试，推断设备所处的状态，确定故障元器件部位和预测故障的发生，判别电子

产品的好坏并给出必要的维修提示方法。电子系统的故障诊断几乎与电子技术本身同步发展,其主要任务就是对电路的故障检测和隔离,以快速、准确地确定故障点。电子电路分模拟电路和数字电路两种,也有的将其分为模拟电路、数字电路和数模混合电路三种形式,不过大多数数模混合电路是可以看成数字电路与模拟电路的组合。因此电路故障诊断技术可从数字电路故障诊断和模拟电路故障诊断两方面进行研究。

1.2.2.1 数字电路故障诊断

数字系统故障诊断的基本思想是在输入端加载激励信号,在输出端得到响应,根据激励和响应的组合关系以及电路的拓扑关系确定故障点。其关键是测试向量的生成,即在输入端加载什么样的激励信号,才能使电路内部的故障点反映出来。数字电路的故障诊断包括故障检测和故障定位。目前主要诊断方法有穷举测试法和测试码生成法。

A 穷举测试法

指在被测电路的输入端输入所有可能的测试码,观察电路输出是否符合一定的逻辑功能。其基本关系如图 1-3 所示。

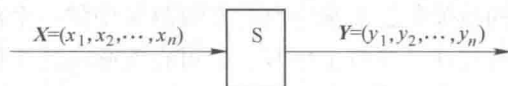


图 1-3 穷举测试法示意图

图中 S 为被测的逻辑电路,输入矢量测试码为 X ,输出矢量为 Y ,设电路所实现的逻辑函数为 S ,则

$$Y = S(X) \quad (1-5)$$

若对任何的 X , 都有

$$S^*(X) = S(X) \quad (1-6)$$

则被测电路 S^* 称为无故障的,若有一组 X^0 使得:

$$S^*(X^0) \neq S(X^0) \quad (1-7)$$

则被测电路 S^* 称为有故障的, X^0 称为诊断该种故障的矢量测试码。穷举测试法的基本思想是在 n 维布尔空间中,有且仅有 2^n 个测试码,通过对其中的每一个测试码检查与被测电路的输出是否符合预先指定的要求,从而判断被测电路是否存在故障。此处所有的故障都考虑到了,故障检测率为 100%。但是随着原始输入维数 n 的增加,测试矢量的总数急剧增加,当原始输入数达到一定大小时,穷举测试法进行故障诊断是不现实的。对此人们提出了伪穷举测试法。

B 伪穷举测试法

在穷举测试法的基础上设法把电路进行划分,使每一个被划分的电路都能够进行穷举测试,从而使测试数大大减少,使其达到实际可行的目的。

值得提出的是伪穷举法的分块需要根据实际情况来进行,为反映输入矢量间的相互关系,应将相互影响的输入量尽量分在一组。伪穷举法继承了穷举法生成测试向量过程简单,故障检测率高等诸多优点,又在比较大的程度上降低了测试的时间复杂度,比较适合于对较小规模的组合逻辑电路进行检测。推而广之,如果某电路可以等效为组合逻辑电路,则该电路也可以用伪穷举法对其进行诊断。

C 测试码生成法

测试码生成法也是为了解决穷举测试法测试矢量过多,测试时间过长的缺点。该方法是针对被测电路可能存在的故障,通过布尔差分法或 D 算法等生成特定的测试码,以达到

故障定位的目的。

1.2.2.2 模拟电路故障诊断

与数字电路诊断技术相比,模拟电路的故障诊断技术研究一直比较缓慢。其原因是模拟系统由于自身的特点,模拟信号量是大小随时间连续变化的信号,任何一个元件的参数超过其容差时就属故障,因此模拟电路的故障状态是无限的。模拟电路本身的特性决定了它的诊断比数字电路要困难和复杂得多。目前,依据电路的仿真是在实际测试之前还是之后,模拟电路的故障诊断方法可以分为:测前模拟法(SBT)和测后模拟法(SAT)诊断。

A 测前模拟法(SBT, Simulation Before Test)

测前模拟法的典型方法是故障字典法,它是目前模拟电路故障诊断中最具有实用价值的方法。它的基本思想与数字电路的诊断相似,即预先根据经验或实际需要,决定所要诊断的故障集,再求电路存在故障集中的一个故障时的响应(即做电路仿真)。求响应的方法既可在计算机上仿真,也可在实际电路上仿真。然后将所得的响应(通常是端口的电压矢量)进行必要的处理(如压缩、编码等),作为对应故障的特征,将它们编成一部故障与特征对应的字典。在实际诊断时,对被测电路施加与测前模拟时完全一样的激励和工作条件,取得相应的特征,最后在故障字典中查找与此特征对应的故障。

B 测后模拟法(SAT, Simulation After Test)

测后模拟法又分为参数识别技术(或任意故障诊断)和故障证实技术(或多故障诊断)。参数识别技术通过电路的方程组把激励、响应与电路元器件参数联系起来,以便计算出元器件参数值,如果元器件参数值的偏移超出允许的容差范围,则判为该元器件发生故障。这种方法要求在对故障电路测试之后,需进行大量的求解计算工作,因此被划分为测后模拟法。其典型方法有转移导纳参数法、参数估计法和多频测量法。故障证实技术是预先猜测电路中故障所在,然后根据所测数据去验证这种猜测是否正确,如果二者吻合,则认为猜测正确,故障定位工作结束。根据猜测故障的范围,分为K故障诊断法、故障定界诊断法和网络撕裂法等。模拟电路故障诊断细致的分类如图1-4所示。

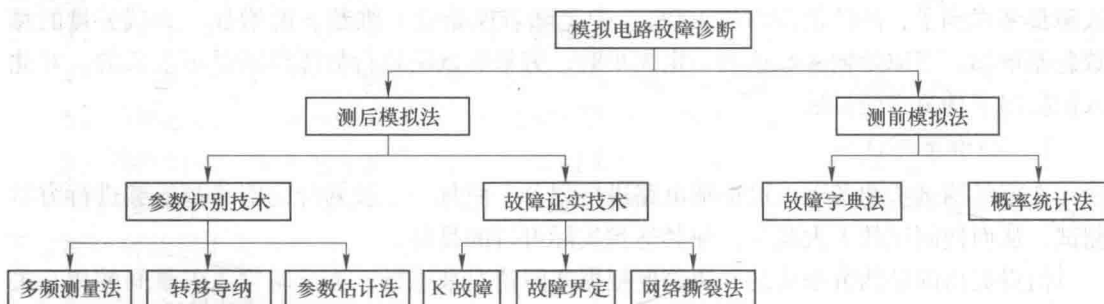


图 1-4 模拟电路的故障诊断方法

1.3 工程装备电控系统故障检测技术的研究概况

1.3.1 电路测试技术的国内外研究现状

电路测试技术最先在工业技术发达的美国兴起,随后在欧洲、亚洲一些国家蓬勃发展

起来。20 世纪 50 年代, 电路测试技术逐渐引起国外相关行业人员的重视, 美国通用公司首次提出了在线测试的概念, 并首创了现今常用的测试方式——针床型测试, 随后美国的许多国家部门如美国宇航局、美国国防部等, 大型企业如惠普、GE、Agilent 等也相继成立故障诊断技术研究中心, 并开发了许多实用的诊断和专家系统应用于军工、航空航天和民用等方面。2000 年美国著名学者 Wright R. Glenn 提出多通道复用方法解决数字激励信号产生路数过多, 单靠增加通道宽度易造成测试设备成本过高的难题, 并应用于军事装备的电路检测。2005 年田纳西大学的 Nourani M. 和 Attarha A. 教授提出将电子设计自动化 (EDA) 技术应用于电路测试, 并研制了具有通用插槽的电路板自动检测设备。2007 年 Agilent 公司推出的 Medalisti5000ICT 系列测试产品, 是电路测试领域具有革命性的成果。2014 年美国 FLIR 公司推出了 SC3000 系列等。欧洲一些国家在故障诊断技术方面也有很大发展, 20 世纪 60 年代末至 70 年代初, 以 R. A. Collacott 为首的英国机器保健中心 (U. K. Mechanical Health Monitoring Center) 率先开展设备故障诊断技术研究工作, 并取得了很好的成效。英国在工业、核电设备的电路故障诊断方面占有一定优势, 欧洲其他国家的电子设备诊断技术研究也有不同程度的进展, 如德国的智能机械电路诊断技术、挪威的船舶电控系统诊断技术等。日本设备工程师协会、电气和机械协会也成立了专门的电路故障诊断技术研究机构, 主要研究民用工业中的电路故障诊断技术。一些大型企业 (如新日铁公司) 也纷纷开始设备电路故障诊断技术的研究工作, 自主开发了商业化的专用电路诊断仪器。

综合国外电路测试设备的发展历程, 其功能由少到多, 测试对象由简单到复杂, 发展过程大致分为以下 4 个阶段:

(1) 模拟仪器测试阶段。这个阶段的测试系统基本是以欧姆定律和电磁感应等基本定律为基础的指针式仪器, 例如指针式的电流表、电压表、万用表、电位表等, 测试功能比较单一、简单, 属于电路测试设备的初始阶段。

(2) 分立元器件测试阶段。20 世纪 60 年代随着电子管和晶体管的产生, 出现了使用电子管和晶体管构建电路组成的第二代测试系统——分立元器件式仪表。

(3) 数字化测试阶段。70 年代, 集成电路的出现和发展, 使得以集成电路为基础的数字化电路测试系统仪器出现。这类仪器如数字万用表、电流表、频率计等, 至今仍在广泛应用。

(4) 自动化、智能化测试阶段。随着微电子技术、计算机技术的迅速发展, 并逐渐应用到电路测试, 自动化、智能化测试系统迅速产生和普及。此类测试系统由计算机软件控制, 可以实现自动测试和数据的分析处理, 也称自动化测试系统 (ATE), 在规模化的封装测试行业被广泛采用。

国内的电路故障检测技术研究起步相对较晚, 走的是引进、消化、吸收, 再创新的路子。20 世纪 80 年代, 随着改革开放步伐的加快和国内电子产业发展对检测设备的需求的不断增加, 陆续从国外引进大量现代化电气设备, 如从新加坡引进的创能 BW4040 型电路测试系统。国内自此便开始了测试系统的仿制过程, 首台在线测试系统在此阶段试制成功。该测试系统主要特征为具有 40 路数字测试通道, 提供测试电源为 +5V。此后通过不断摸索和学习借鉴, 电路测试技术和设备在国内得到迅速发展, 各高校、科研机构和相关企业进行了深入研究。