

直流斩波电路故障诊断专家系统应用研究

尹仕任 韩立燕 青学江

(西南交通大学工程科学研究院·成都, 610031)

摘要: 本文对直流斩波电路故障诊断专家系统方案设计提出了理论根据及解决实际问题的方法, 知识库设计为多元故障树, 诊断数据来源于对象的测试与推理, 依据特征向量实现故障定位, 采用功能级故障诊断模型比依据网络理论建立的数学模型更为简便。

关键词: 直流斩波电路; 故障诊断; 建模方式; 参量; 传递

1 引言

目前对电子电路的故障测试与生成, 主要途径为: 一是研究有效的测试产生与故障模拟算法; 二是进行可测试性设计^[1]。纵观近年来的研究成果, 后者取得了较快的发展, 但局限于未来待设计的功能器件和模块, 而前者, 虽起步较早, 并取得了一定的成果, 达到实际应用的水平, 尤其复杂的系统还有一段距离, 其原因是:

- 1) 激励和响应是模拟信号, 电信号特征表现为无限性和连续性, 其测试生成的规模和复杂性大幅度增加。
- 2) 大量的测试数据, 在现实中难以采集, 甚至无法得到, 使测试生成实际应用受到限制。
- 3) 元件参数的离散性、老化、非线性以及环境干扰, 使理论上很难建立精确的数学模型。

2 直流斩波电路故障诊断专家系统设计

2.1 专家系统设计策略

由于上述原因带来故障诊断的不确定性, 目前仍未出现较好的解决办法。人工智能技术、知识工程在近几年的兴起给故障诊断系统开辟了另一途径^[2]。当基于经验和功能描述反映故障征兆和原因的因果关系很难用数学模型描述时, 采用“浅知识”^[3]的启发式经验对故障诊断不确定性定位往往很有效, 利用适当的似然推理模型, 可合理解决不确定性问题。

2.2 知识的获取

专家系统与传统模拟测试理论相比:

- 1) 所依据的故障特征不局限于激励和响应的单一物理信号, 而是借助于多种测试手段及信息, 增加故障的有效直观辨识信息。
- 2) 对故障判断不仅是根据网络理论进行, 而是从信号传输的路径上实施定位, 这样, 有效地缩小故障搜索范围和测试次数。
- 3) 通过测试对故障源进行肯定或否定, 增加了假设的可信度, 使行为向目标迈进了一步。

2.3 诊断对象

本文所涉及的直流斩波电路见图1。

斩波器工作时A点和B点波形如图2。

2.4 故障诊断专家系统设计分析

FIE-SYS 是一基于规则的专家系统^[4,5], 是一种扩充的产生式系统结构, 有5个组成部分: 知识

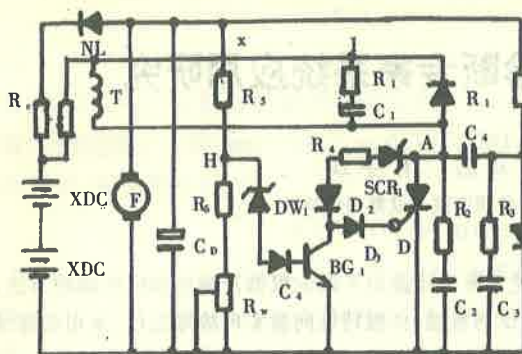
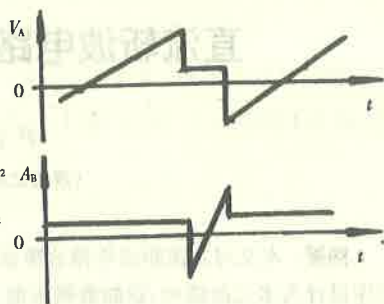


图2 直流斩波器电路图

图3 直流斩波器电压波形图 ($f_0 = 400\text{Hz}$)

库、推理机、综合数据库、人机接口、解释程序等。

2.5 层次结构模型

将电子设备层次结构分解为：设备、部件、单元和组件。针对本文涉及对象的复杂性，仅分解为部件、单元、组件三个层次，从三个层次中找到可能出现故障的因子实现故障定位，如图3。

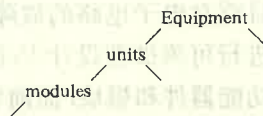


图3 电路的层次结构模型

2.6 故障特征数据库

凡能反映某一故障因子的外部特征，都可作为故障因子 F_i 的故障特征或叫故障测试集 T_i ，这实际是一个测试与优化的问题，因为测试集的生成最终将受限于测试可能和手段，另一方面，对众多测试生成还存在测试代价权衡，亦即过份地追求前提条件的完整和严格推导将导致规则的复杂化，推理的代价剧增使用户心理上难以忍受。

作为定性描述部件、组件功能规则可表示如下：

- 1) 如果发电机转速已达额定值，且输出电压偏高，则励磁电流偏大。
- 2) 如果A点或B点没有斩波波形，则斩波电路有故障。
- 3) 如果A点电压较低($< 1\text{V}$)，则主可控硅电路无法关断。

2.7 故障推理算法

故障搜索算法直接影响故障辨识的快捷与准确。本系统根据测试对象的特点提出功能级搜索和信号源传输通路搜索^[4]，两者没有本质的区别，前者是以功能模块为搜索对象，建立模块特征数据向量和传导函数与上级模块的关系，后者以信号传输通路为搜索寻迹对象，对有故障的通路实行优化分割，逐级查找故障信号源，从而对故障实施定位。这实质上是一种面向对象的策略。

定义1 推理机是一个五元组，即 $P = \langle F, T, C, T_s, F_s \rangle$ ，其中， $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ ，是“测试”的有限集， $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 是“因子”的有限集， $C = F \times T$ 是二元关系， T_s 是诊断处于状态 S 时，搜索到的所有“测试”之集， F_s 是诊断处于状态 S 时，相关“因子”之集。

定义2 $\text{test}(t_i) = \{f_j | \langle f_j, t_j \rangle \in C\}$ ， $\forall f_i \in F$ ， (1)

$\text{cause}(t_i) = \{f_j | \langle f_j, t_j \rangle \in C\}$ ， $\forall t_i \in T$ 。 (2)

其中(1)式表示由 f_i 引起的所有“测试”之集合。(2)式表示引起 t_i 的所有故障候选因子(或者支持 t_i 的正常因子)之集合。

定义3 设 $P = \langle F, T, C, T_s, F_s \rangle$ 是一个诊断问题， $f_i \in F$ ， $t_j \in T$ ， $F_s \subseteq F$ ， $F' \subseteq F$ ， $T_s \subseteq T$ ，

则:

- a) $\text{test}(f_i) \neq \Phi$, a') $\text{causes}(t_j) \neq \Phi$,
- b) $f_i \in \text{causes}[\text{test}(f_i)]$, b') $t_j \in \text{test}[\text{causes}(t_j)]$,
- c) $f_s \subseteq \text{causes}[\text{test}(f_s)]$, c') $T_s \subseteq \text{test}[\text{causes}(T_s)]$,
- d) $F = \text{causes}(T)$, d') $T = \text{test}(F)$,
- e) 当且仅当 $T_j \in \text{test}(f_i)$ 时, $f_i \in \text{causes}(t_j)$,
- f) $\text{test}(F) - \text{test}(F') \subseteq \text{test}(F - F')$.

由上述三个定义得出推理过程如下:

初始时, $T_0 = \Phi$, $F_0 = \Phi$; 设诊断机 P 到达状态 $T_s = T_s^- \cup T_s^0$, $T_s^- \cap T_s^0 = \Phi$; $F_s = F_s^- \cup F_s^0$, $F_s^- \cap F_s^0 = \Phi$.

1) 取 $t_j \in T - T_j$, 判 t_j 是否属正常测试集, 若 t_j 为异常测试, 则将 T_j 并入 T_s^- 生成 $\text{causes}(t_j^-)$ 并修正 T_{s+1} 的每个元素的故障候选因子, 将所有 $f_i^-: \langle f_i^- | \langle f_i^-, t_j^- \rangle \in C_1 \rangle$ 并入 F_s^- ; 若 t_j 属正常测试值, 则将 t_j 并入 T_s^0 生成 $\text{causes}(t_j^0)$, 将所有的 $f_i^0: \langle f_i^0 | \langle f_i^0, t_j^0 \rangle \in C_2 \rangle$ 并入 F_s^0 , 同时修正 T_s^- 的每个故障候选因子.

2) 至此, P 到达状态 T_{s+1} , F_{s+1} , 寻找 T_{s+1} 的解 $\text{sol}(T_{s+1})$.

3) 依据某些判据, 或重复上述过程, 或暂停, 或停止推理.

2.8 可信度的推理传递

由于故障诊断有一种不确定性, 测试验证的过程实际上是一种对推理结论可信赖程度进行修正的过程. 当出现肯定证据时, 结论的可信度增加, 当出现否定证据时, 其可信度减少, 当该推理不是最终结论时, 该推理结论将补为中间结果成为其它推理条件.

2.9 知识库表示

系统诊断的知识库, 设计为多元故障树 (fault-tree), 由推理过程——故障树枝 (fault-branch) 和推理结论——故障树叶 (fault-leaf) 组成, 描述了一种模仿人的诊断规则和过程.

可信度由人主观判断直接指定, 取值区间 $[-1, 1]$, 实际上由可信度 CF 的取值决定整个故障树, 用户可用 ASCII 码在文本状态下按规定格式符号进行修改, 重建在内部由程序自动转换成统一的数据格式.

2.10 推理机 (Reason-Engine)

系统用 C 语言实现, 驱动条件是故障树和测试数据各点的电量关系由传导函数决定, 推理过程中的已知条件, 中间结果, 解释过程, 记录指针由综合数据暂存.

3 结 语

依据似然推理理论建立的故障诊断专家系统经实践证明, 故障复盖率可达到 88%, 与众多模拟电路故障测试手段相比更为灵活.

采用了功能级故障诊断数学模型, 从信号的传输通路入手, 避免利用单纯由网络理论去建立数学模型, 这是一种新的建模途径.

参 考 文 献

- 1 曾文斌. 组成逻辑电路的测试故障模型. 计算机学报, 1990, 13(7): 529-538
- 2 何新贵. 知识处理与专家系统. 北京: 国防工业出版社, 1990, 9

- 3 杨叔子等. 基于知识的诊断推理. 北京:清华大学出版社, 南宁:广西科技出版社, 1993, 12
- 4 李卫华等. 专家系统工具. 北京:气象出版社, 1987, 9
- 5 周东华等. 控制系统的故障检测与诊断技术. 北京:清华大学出版社, 1994, 9
- 6 刘光中. 动态规划. 成都:成都科技大学出版社, 1991, 12
- 7 [美]B. E. 吉勒特著. 运筹学导论. 北京:机械工业出版社, 1982, 12

The Expert System Applying to DC Chopper Circuit Fault Diagnosis

YIN Shiren, HAN Liyan and QING Xuejiang

(Institute of Engineering Science, Southwest Jiaotong University • Chendu, 610031, PRC)

Abstract: The paper presents the basic theory and practical solution method of expert system about DC chopper circuit fault diagnosis. The knowledge base is designed as multi-dimensional tree. The diagnosis data is collected from the object testing and reasoning. Fault positioning is realized by using characteristic vector. Using function gradation fault diagnosis model is much simpler than using network theory one.

Key words: DC chopper circuit; fault diagnosis; producing model method; parameter; transfer

本文作者简介

尹仕任 1954年生. 高级工程师. 1977年毕业于西南交通大学电机系. 主要从事运输自动化系统研究. 目前主要研究列车定位控制及行车指挥自动化系统. 近年发表学术论文15篇, 获省部级科技进步奖数项.

韩立燕 1953年生. 工程师. 1985年毕业于西南交通大学计算机系. 主要从事运输自动化系统研究. 目前主要研究列车定位控制及行车指挥自动化系统. 近年发表学术论文近10篇, 获省部级科技进步奖2项.

青学江 1963年生. 讲师. 1984年研究生毕业于西南交通大学计算机系. 主要从事计算机模拟系统的研究, 发表学术论文数篇.