

# 电子系统、设备的故障诊断与预测\*

朱忠义

(解放军电子技术学院)

**摘 要:** 本文以彩色电视机中常见故障为例,采用故障树分析法,阐述了故障树的建造以及由故障树过渡到可靠性框图的方法。根据可靠性框图求出最小割集和最小路集,进而建立起两种数学模型,最后计算出失效率及可靠度。这种分析方法完全适用于一般电子系统、设备的可靠性试验和预测,以及用于产品的可靠性评估。

**关键词:** 故障树,失效率,最小割集,最小路集

**中图分类号:** TP206

现代电子系统、设备结构的日趋复杂,功能日渐完善,对系统、设备可靠性方面的要求则越来越高;而要达到高可靠性的难度也随之大大增加。也就是说,系统、设备所承担的工作在质的方面的高级化,在量的方面的复杂化,使彼此相关的任一部分失效而导致整个系统发生故障的机会必然增多,以致用户受到威胁,遭到危害,使系统、设备失去生命力。所以近年来,可靠性问题日益受到设计、制造、使用等多方的高度重视。

系统、设备的可靠性,是系统、设备寿命指标的总称,它反映了系统、设备在规定时间内和规定条件下完成规定功能的能力。在对系统、设备进行可靠性分析时,故障树分析法(FTA法)是一种简便而有效的方法。FTA法在系统、设备设计阶段可帮助设计者找出系统潜在的故障危机和关键元器件,以便从可靠性角度出发完善设计方案;在投入使用阶段可帮助人们进行故障诊断和预测。本文以彩色电视接收机无光栅、无伴音故障为例,介绍用FTA法的步骤和技巧。

无光栅、无伴音是彩色电视机的常见故障之一。在深入了解彩电工作原理的基础上,根据维修经验,把“无光栅、无伴音”作为顶端事件,逐级分析引起这一事件的相关事件,分解工作直至元器件为基本事件为止。然后将各基本事件与顶端事件之间的关系联接成图1的形状,即为无光栅、无伴音故障树。为了便于分析,将图1用图2表示。

通过分析事件发生的概率可以看出,基本事件与顶端事件的发生是逻辑“或”的关系时,顶端事件发生的概率随其基本事件数目的增加而增大,对顶端事件来说,是串联结构。而基本事件与顶端事件的发生是逻辑“与”的关系时,则顶端事件发生的概率随其基本事件数目的增加而减小,对顶端事件来说是并联结构。根据这种关系画出的可靠性框图如图3所示。

\* 收稿日期:1991-10-08

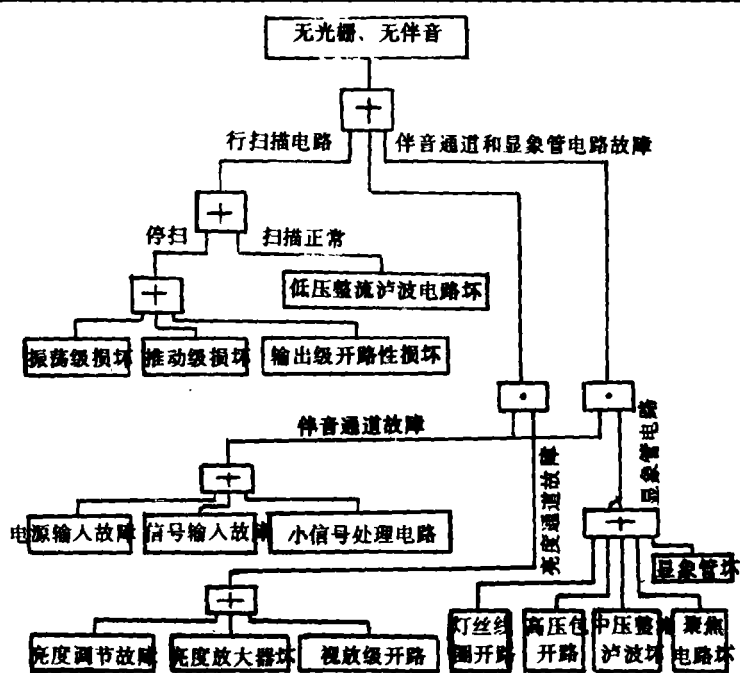


图 1

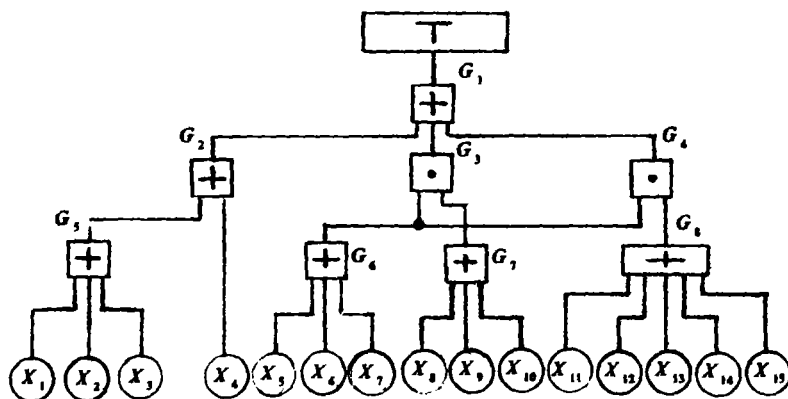


图 2

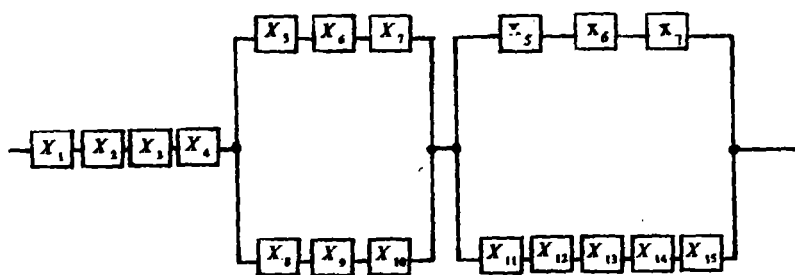


图 3

由于顶端事件  $T$  和各基本事件  $x_i$  均有两种状态

$$T = \begin{cases} 0 & \text{发生故障} \\ 1 & \text{工作正常} \end{cases} \quad x_i = \begin{cases} 0 & \text{失效} \\ 1 & \text{正常} \end{cases}$$

如若把  $x_1, x_2, \dots, x_{14}, x_{15}$  看作二值逻辑变量,  $T(x)$  看作  $n$  变量二值逻辑函数, 则可靠性框图可用下结构函数来描述

$$\begin{aligned} T(x) &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + (x_5 + x_6 + x_7) \cdot (x_8 + x_9 + x_{10}) \\ &\quad + (x_5 + x_6 + x_7) \cdot (x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) \\ &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 x_8 + x_5 x_9 + x_5 x_{10} + x_6 x_8 \\ &\quad + x_6 x_9 + x_6 x_{10} + x_7 x_8 + x_7 x_9 + x_7 x_{10} + x_5 x_{11} \\ &\quad + x_5 x_{12} + x_5 x_{13} + x_5 x_{14} + x_5 x_{15} + x_7 x_{11} + x_6 x_{12} + x_6 x_{13} \\ &\quad + x_6 x_{14} + x_6 x_{15} + x_7 x_{11} + x_7 x_{12} + x_7 x_{13} \\ &\quad + x_7 x_{14} + x_7 x_{15} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中共有 28 个“与”项, 每个“与”项恰好表示图 3 的一个最小割集。若最小割集  $\{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_7, x_{14}\}, \{x_7, x_{15}\}$  分别用  $D_1, D_2, \dots, D_{27}, D_{28}$  表示, 则

$$T(x) = \bigcup_{i=1}^{28} D_i(x) \quad (2)$$

根据最小割集的定义可知, 由  $n$  个基本事件中某几个所组成的集合, 当这一集合中全部事件都发生时, 顶端事件  $T$  必然发生。所以, 当彩电无光栅、无伴音时, 有条不紊地按照最小割集所提示的电路或元器件逐一检查, 可迅速找出发生故障的原因。

根据逻辑代数中的反演规则和最小路集定义, 可求出结构函数的另一种表达式

$$\begin{aligned} \bar{T}(x) &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 \cdot [(\bar{x}_5 \cdot \bar{x}_6 \cdot \bar{x}_7) + (\bar{x}_8 \cdot \bar{x}_9 \cdot \bar{x}_{10})] \cdot \\ &\quad [(\bar{x}_5 \cdot \bar{x}_6 \cdot \bar{x}_7) + \bar{x}_{11} \cdot \bar{x}_{12} \cdot \bar{x}_{13} \cdot \bar{x}_{14} \cdot \bar{x}_{15}] \\ T(x) &= (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7) \cdot (x_1 + x_2 + x_3 \\ &\quad + x_4 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中共有 2 个“或”项, 每个“或”项恰是图 3 的最小路集。

设  $D_1$  表示最小路集  $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}, D_2$  表示最小路集

$\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}\}$ , 则有

$$T(x) = \prod_{j=1}^2 D_j(x) \quad (4)$$

式(4)为结构函数的另一表达式。此表达式说明, 只要  $D_1$  或  $D_2$  中所有基本事件都不发生故障时, 顶端事件必然不发生。

根据有关资料提供的数据, 图 1 中各元器件的失效率如下:

$$\begin{aligned} P(x_1) &= 1.3 \times 10^{-6} & P(x_2) &= 1.3 \times 10^{-6} \\ P(x_3) &= 0.5 \times 10^{-6} & P(x_4) &= 1.5 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$P(x_5) = 1.0 \times 10^{-6}$$

$$P(x_6) = 1.0 \times 10^{-6}$$

$$P(x_7) = 0.2 \times 10^{-6}$$

$$P(x_8) = 2.0 \times 10^{-6}$$

$$P(x_9) = 0.02 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{10}) = 0.5 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{11}) = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{12}) = 9.0 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{13}) = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{14}) = 2.0 \times 10^{-6}$$

$$P(x_{15}) = 19.0 \times 10^{-6}$$

前述各最小割集发生的概率很小, 为了计算顶端事件发生的概率, 利用独立事件和的概率公式作近计算比较方便, 最后求得顶端事件发生的概率为

$$\begin{aligned} P(T) &= 1 - \prod_{i=1}^{28} [1 - P(D_i)] \\ &= 1 - [1 - P(x_1)][1 - P(x_2)][1 - P(x_3)][1 - P(x_4)] \\ &\quad [1 - P(x_5)P(x_8)][1 - P(x_5)P(x_9)][1 - P(x_5)P(x_{10})] \\ &\quad [1 - P(x_6)P(x_8)][1 - P(x_6)P(x_9)][1 - P(x_6)P(x_{10})] \\ &\quad [1 - P(x_7)P(x_8)][1 - P(x_7)P(x_9)][1 - P(x_7)P(x_{10})] \\ &\quad [1 - P(x_5)P(x_{11})][1 - P(x_5)P(x_{12})][1 - P(x_5)P(x_{13})] \\ &\quad [1 - P(x_5)P(x_{14})][1 - P(x_5)P(x_{15})][1 - P(x_6)P(x_{11})] \\ &\quad [1 - P(x_6)P(x_{12})][1 - P(x_6)P(x_{13})][1 - P(x_6)P(x_{14})] \\ &\quad [1 - P(x_6)P(x_{15})][1 - P(x_7)P(x_{11})][1 - P(x_7)P(x_{12})] \\ &\quad [1 - P(x_7)P(x_{13})][1 - P(x_7)P(x_{14})][1 - P(x_7)P(x_{15})] \\ &= 4.5895 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

所以顶端事件的可靠度为

$$R(T) = 1 - P(T) = 0.9999954$$

可以看出, 由于元器件失效引起无光栅、无伴音、有交流声这种故障的概率是很小的, 只要元器件符合性能指标要求, 彩电发生故障的原因主要是由除器件以外其它原因而引起。

上述分析过程, 虽是以彩电的常见故障为例进行探讨, 但是这种分析方法完全适用于所有电子系统、设备的可靠性试验和预测, 以及用于产品的可靠性评估。

### 参 考 文 献

- [1] 唐泳洪编著: 系统可靠性、故障诊断及容错. 重庆大学出版社, 1990
- [2] 梅启智等编著. 系统可靠性工程基础 (附录二). 科学出版社, 1987

## The Failure Diagnosis and Predication of the Electronic System and Equipment

Zhu Zhongyi

(Electronic Technology College of P.L.A.)

**Abstract:** By analysing the normal failures in colour TV, this paper illustrates the methods to construct the fault tree and deduce the reliability block diagram from it. According to the reliability diagram, the minimum cut-set and the minimum Path-set is given, then two kinds of mathematical models are established and the failure rate and the reliability is calculated. The method is entirely applicable to the reliability test and predication of the common electronic system and equipment. It is also suitable for the reliability evaluation and estimation of other products.

**Keywords:** fault tree, failure rate, minimum cut-set, minimum Path-set

---

### ——获奖成果简介——

#### 空间角度新计算方法的研究

由我院机械系孙伯鲁副教授领导的研究小组研究的“空间角度新计算方法的研究”于 91 年 12 月通过河南省科委主持的技术鉴定, 并获 92 年省高教系统第三届科研成果二等奖。

本项目以工程技术界所普及的蒙日画法几何学为依据, 在前人工作的基础上, 经过研究者在理论和研究方法上的创新, 建立了能与计算机技术相结合的通用数学模型, 使繁难的计算实现了高效率和高精度的统一。从而解决了空间角度自动计算问题。