

设备可靠性设计

赵雪梅 徐念曾

(无锡轻工业学院) (机电部五〇所)

摘要 本文论述了在系统可靠性指标要求一定的情况下,如何进行系统各单元的可靠性指标预算与分配。文中给出了可靠性总体设计流程图、系统可靠性模型和计算公式,并在计算中根据实际情况引进了加权系数。最后提供了保证设备可靠性的具体措施和管理方法。

关键词 可靠性;平均无故障时间;平均修复时间;维修率

0 概 述

可靠性就广义来说:一是系统在规定的时间内不发生故障和错误;二是发生了故障能迅速进行维修。故本系统设计就可靠性和可维修性作了设计和指标分配。

系统的可靠性是由固有可靠性和使用可靠性两部分组成^[1]。固有可靠性是该系统在设计阶段就预先确定了的可靠性指标,并在生产的各阶段得以确立。固有可靠性是该系统本身所具有的,由设计生产部门在模拟实际工作条件的标准环境下,进行检测并予以保证的可靠性^[1]。使用可靠性是指系统在现场运行过程中,由环境、技术条件、维修方式等条件的影响而存在的可靠性^[1]。为此必须在整机方案论证过程的开始就介入可靠性设计,并抓好可靠性管理工作。

“二五八”可靠性指标要求:

平均无故障时间 $MTBF \geq 1000h$

平均修复时间 $MTTR \geq 0.5h$

连续工作时间 $CWT \geq 12h$

环境条件:符合国军标机载电子设计要求。

可靠度的定义是指系统在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。因此规定的时间是可靠性的重要特征,以数学形式表示的可靠性的基本参数均与时间有关。对“二五八”机来说在高温条件下 1000h 的 MTBF 是一个要求高的指标^[2]。

1 可靠性总体设计流程图

系统可靠性总体设计流程图如图 1 所示。

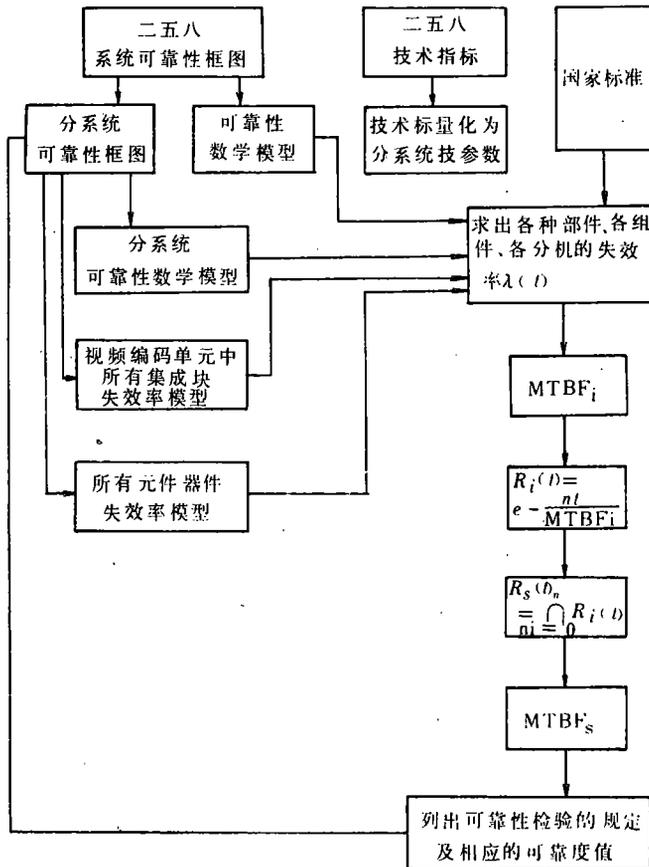


图 1 可靠性总体设计流程图

2 可靠性指标预算及分配

2.1 系统可靠性模型

本系统共有七个模块组成,结构如图 2 所示。其中控制单元在结构中是串、并联结构,考虑到控制单元主要为串联型,大部分电路出现故障即造成整机故障,故在计算可靠性时按串联型计

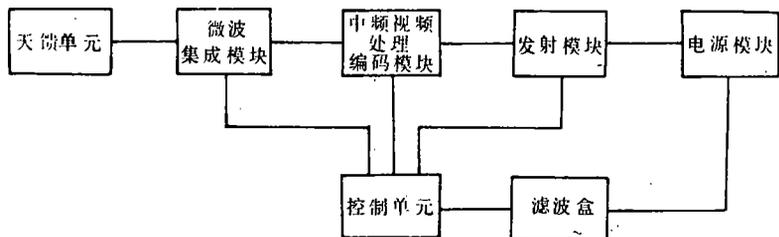


图 2 系统可靠性模型

算。即任何一个部件出现了故障都引起系统不能正常工作,且假定系统的故障是一常数。

2.2 计算公式

2.2.1 对于由具有指数式寿命特性的零部件构成的无多余度的设备来说,故障率是固定不变的^[3,4],通常可靠度:

$$R_s = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

式中, t 为连续工作时间,本系统为 12h, λ 为系统故障率,

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}_s} = 10^{-3}$$

MTBF_s 为系统平均无故障时间,本系统为 1000h.

$$R_s = e^{-\lambda t} = e^{-10^{-3} \times 12} = 0.988$$

各模块是在保证连续工作: $N \cdot T = 7 \times 12 = 84\text{h}$, MTBF = 1000h, 可靠度为 0.988 的条件下进行分配。

2.2.2 单元或模块 MTBF_i 的计算^[1,4]:

$$\text{MTBF}_i = \left(\sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^L k_{ij} / K_i \right) \cdot \text{MTBF}_s \quad (2)$$

MTBF_i—单元或模块的平均无故障时间

N —单元或模块总数,本系统为 7

K_i —单元或模块的综合加权系数

$$K_i = \prod_{j=1}^L k_{ij} \quad (3)$$

($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, L$)

L —加权因子数,本计算 $L = 4$,

MTBF_s—系统平均无故障时间。

2.3 加权系数分配原则^[3,4]

- 考虑设备的复杂程度,即 k_{i1} .
- 考虑设备的现有可靠性水平,即 k_{i2} .
- 考虑设备技术水平和重要性,即 k_{i3} .
- 考虑设备工作环境条件,即 k_{i4} .

综合加权系数分配结果如表 1 所示。

表中各单元的加权系数 k_{ij} 的取值是由专家 and 实际设计人员根据经验共同确定的^[2,4]。根据公式(3)计算 K_i 如下:

$$\sum_{i=1}^N K_i = 192 + 1890 + 1400 + 4800 + 1152 + 432 + 360 = 10226$$

2.4 计算结果

按式(2)计算 MTBF_i 和(1)式计算 $R_i(t)$, 结果如表 2 所示。

表 1 综合加权系数分配结果

单元名称	k_{i1}	k_{i2}	k_{i3}	k_{i4}	K_i
天馈单元	4	2	4	6	192
微波集成模块	6	7	9	5	1890
中放视频编码模块	5	8	7	5	1400
发射模块	8	10	10	6	4800
电源模块	4	8	6	6	1152
控制单元	3	6	4	6	432
滤波盒	3	5	4	6	360

表 2 MTFB_i 与 R_i(t) 结果

名称	加权系数 k _i	MTBF _i (h)	MTBF _i (h)取值	λ _i × 10 ⁻⁴	R _i (+) ↓
天馈单元	192	57250	60000	0.16	0.9997
微滤集成模块	1890	5410	6000	1.66	0.9977
中放视频编码模块	1400	7304	8000	1.25	0.9962
发射机模块	4800	2045	2000	5	0.9941
电源模块	1152	8876	9000	1.1	0.9968
控制单元	432	23671	25000	0.4	0.9994
滤波盒	300	28405	30000	0.3	0.9995

3 平均修复时间 MTTR ≤ 0.5h

维修度是指在规定条件下工作的系统,在规定的时间内按照规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能状态的概率^[1]。修复时间通常是服从指数分布的^[1]。修复时间的平均值称为平均修复时间(MTTR),其倒数称为修复率 μ,

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{0.5h} = 2$$

在时间 t 内修复的概率,即为维修度 M(t),

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \tag{4}$$

考虑各单元采用各种手段的可能性,又考虑各分系统的可靠性,即对失效较高的分系统提出快速修复要求,于是分配给各分系统的 MTTR_i 与 MTTR_s, K_i 成正比,但与各分系统和失效率成反比。设比例系数为 B,则:

$$MTTR_i = B \cdot K_i \cdot MTTR_s / \lambda_i \tag{1}$$

$$B = \frac{\sum \lambda_i}{\sum K_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

所以

$$MTTR_i = \frac{K_i MTTR_s \sum_{i=1}^N \lambda_i}{\lambda \sum_{i=1}^N K_i} \tag{5}$$

计算结果见表 3、表 4。

表 3 计算的 λ 与 K_i 值

单元名称	故障检测与隔离因子	可达性因子	可更换性因子	可调整性因子	λ _i × 10 ⁻⁴	K _i
	K _{i1}	K _{i2}	K _{i3}	K _{i4}		
天馈单元	1	1	4	1	0.16	7
微波集成模块	5	2	3	1	1.66	11
中放视频编码模块	5	2	3	1	1.25	11
发射机模块	5	4	4	2	5	15
电源模块	5	2	2	1	1.1	10
控制单元	2	3	4	1	0.4	10
滤波盒	3	2	4	1	0.3	10

表3中 K_i 的选取是综合各产品结构、故障检测和电路设计师经验的结果^[2,4]。

表4 MTBF_i和MTTR_i值

单元名称	K_i	MTBF _i (h)	MTTR _i (h)
天馈单元	7	60000	0.48
微波集成模块	11	6000	0.49
中放视频编码模块	11	8000	0.5
发射机模块	15	2000	0.358
电源模块	10	9000	0.48
控制单元	10	25000	0.45
滤波盒	10	30000	0.43

为了保证维护性指标,可更换单元均采用快速锁紧装置,可以很方便地从安装架上拆下来。打开收发单元的盖子,发生故障的模块可以方便地从多芯插座上拔下来,更换备份模块。并可快速隔离故障和快速更换模块,以达到把MTTR_i控制在30min之内。

4 提高整机可靠性的措施

a. 对寿命较短的电真空器件,采用预先定期更换的办法,防止超寿命使用而降低系统的可靠性。

b. 对娇嫩的微波混频晶体采用严格的保护措施(高隔离双工器、限幅器和特殊设计的预选器),防止晶体被外来的或发射机的发射泄漏功率所烧毁。

c. 采用微波集成和条带线。

d. 采用先进的高速数字信号处理技术,对外来的周期和非周期干扰进行有效的抑制,以保证系统正常工作。

e. 加强电磁屏蔽防止内部的振荡泄漏干扰自己和其它电子设备的工作。

f. 对温度敏感的接收机固态本振采用稳频技术和温度补偿技术,使固态源在温度变化的环境内正常工作。

g. 特殊结构设计的可更换单元箱体和模块盒,采用加固技术,既保证了结构的强度能经得起冲击振动,又保证体积重量不超过标准。

h. 配置自检装置,便于及时自检发现故障。

i. 特殊设计的测试设备便于快速在外场隔离故障、诊断故障、及时更换模块,恢复正常工作。

j. 元器件、零部件都要求有购置原则^[3,4]:

质量合格检验: 批量检验; 批量生产性; 筛选; 质量合格性抽查检验; 鉴定试验; 试验计划、试验方法、试验程序、试验设备等。

卖主选择: 应该选择故障率最低的有资格的卖主。要求先考虑的是使用单独生产设备生产高可靠性零部件的卖主。要考虑那些具有研制高可靠性部件的专用生产线、生产检验和生产程序等的卖主。

k. 电路设计中不允许采用调整元件,更不用统调程序。

5 可靠性管理措施

- a. 制定“管理标准及制度”和“岗位责任制”。
- b. 贯彻科研程序。
- c. 设置可靠性设计师、建立 QC 小组。制定可靠性试验方法和实施。
- d. 开展失效分析工作。
- e. 加强对关键部件的可靠性监控。
- f. 建立质量信息反馈网。
- g. 加强对各类人员的培训工作和考核工作。
- h. 对各阶段研制产品进行评审,使系统可靠性随着各研制阶段的进行逐步增长。

参 考 文 献

- 1 盐见弘著, 彭乃学等译. 可靠性工程基础. 科学出版社, 1982
- 2 先进的 S 波段应答机研究计划. 电讯技术, 1974, 1
- 3 原四机部五所. 国内几种元器件的失效指标
- 4 Department of Defense U. S. A. MIL-HDBK-217B. Reliability prediction of electronic equipment. 1974

Equipment Reliability Design

Zhao Xuemei

Xu Nianzeng

(Wuxi Inst. of Light Ind.)

(China Mini. of Mach. and Elec.)

Abstract This paper describes how proceed on system reliability specification evaluate and distribute for every unit. under system reliability specification is given. Ensemble system reliability design flow chart, system reliability model and formulae are given. And a weighting coefficient is introduced to the computing by means of practical situation. Actual approach and managment method for ensuring equipment reliability are provided.

key words Reliability; Mean time between failures; Mean time to restore; Repair rate