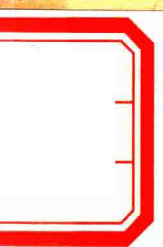


可靠性与环境试验参考资料 (2)

法 国 电 子 元 器 件

可靠性数据手册

會紀科譯 胡朝阳校



可靠性与环境试验编辑部

可靠性与环境试验参考资料(2)

法国电子元器件可靠性数据手册

曾紀科譯 胡朝阳校



可靠性与环境试验编辑部

内 容 简 介

《法国电子元器件可靠性数据手册》是法国1976年出版的一本电子元器件可靠性数据汇编，其内容分简化数据和详细数据两大部分，包括集成电路、晶体管、光电管、二极管与可控硅、阻容、电感、继电器、连接器和开关等各类元器件的可靠性数据，并附有用法举例。本书对我国从事电子产品研制、生产和可靠性试验、质量管理的工程技术人员有参考价值。

RECUEIL DE DONNEES DE FIABILITE DU
CNET

1 9 7 6

*

可靠性与环境试验参考资料(2)

法国电子元器件可靠性数据手册

* * *

可靠性与环境试验编辑部出版

四机部五所印刷厂印刷

1979年9月出版 工本费0.75元

编 者 序

随着现代电子系统的复杂化、高性能化，可靠性工程的地位日趋重要。对于复杂的电子设备，其可靠性的数据就不能象简单的电子设备或元器件那样能通过抽样试验方法来获得；从成本费用考虑，甚至根本不可能进行这样的试验。在这种情况下，可靠性预计技术就越来显示它的重要性。而且正广泛地得到应用。

一个电子系统在工作时能否满意地完成它规定的任务，首先决定于它的设计是否正确；而这种设计，除考虑其电气性能外，还必须充分考虑它的可靠性因素，对产品规定的可靠性指标作出预计。本手册就是为了这个目的而编写的，它是一本工具书，提供了对电子设备进行可靠性预计设计的基本程序和主要数据。

本“手册”是法国电讯科学研究中心（CNET）的可靠性中心等有关部门，在法国电讯协调委员会的指导下，通过对法国电讯设备多年来的故障所进行的分析，并根据美国军用手册 MIL-HDBK-217B 的要求进行了精确的计算，而于 1976 年编制完成的。法国规定以本手册作为电子设备可靠性预计的共同基础。据介绍，手册数据与实用结果基本是一致的。

手册的内容包括引言部分、简化的数据汇编和详细的数据汇编。引言部分主要说明手册的使用条件和使用规则，各种术语和各种系数的定义，各个制造阶段上的质量管理方法，以及计算示例；简化的数据汇编和详细的数据汇编，包括各种类型的集成电路、晶体管、光电管、二极管与可控硅、阻容电感元件、继电器、连接器和开关等的基本失效率、各种因子系数、数学模式和失效类型等。

本书对于我国从事电子产品研制、生产、试验和使用的广大工程技术人员有一定参考价值。

本手册在审校过程中，曾得到沈国良等同志的大力协助，特此致谢！

编 者

一九七九年九月

目 录

编者序

引 言	(1)
可靠性数据的使用条件	(1)
手册的使用	(2)
π 系数表	(2)
定 义	(3)
质量系数 π_Q	(4)
各个制造阶段的质量管理	(5)
计算示例	(6)
简化的数据汇编	(8)
詳細的数据汇编	(19)
一、集成电路	(19)
1. 400个晶体管(或100个门)以下的数字逻辑集成电路及移位寄存器 (2×8位以下)	(19)
2. 400个晶体管(或100个门)以上的数字逻辑集成电路	(21)
3. 可程序只读存储器(ROM)	(24)
4. 随机存取存储器(RAM)、相联存储器(CAM)、移位寄存器 (2×8位以上)	(26)
5. 线性集成电路	(28)
6. 混合集成电路	(30)
二、晶体管	(33)
1. 硅结型晶体管(NPN)	(33)
2. 硅结型晶体管(PNP)	(35)
3. 锗结型晶体管(NPN)	(37)
4. 锗结型晶体管(PNP)	(39)
5. 场效应晶体管	(41)
6. 单结晶体管	(43)
三、光电管	(45)
1. 光电管的失效率	(45)
2. 光电管的寿命	(46)

四、二极管与可控硅..... (48)

1. 硅(信号与整流)二极管与整流器..... (48)
2. 锗(信号与整流)二极管与整流器..... (49)
3. 稳压二极管..... (51)
4. 硅高频检波及混频二极管..... (52)
5. 锗高频检波及混频二极管..... (54)
6. 硅(150℃)高频脉冲功率检波及混频二极管..... (55)
7. 锗高频脉冲功率检波及混频二极管..... (56)
8. 变容二极管、快速时间恢复二极管及隧道二极管..... (57)
9. 可控硅..... (58)

五、电阻器..... (59)

1. 固定实芯电阻器..... (59)
2. 专用高稳定小功率固定薄膜电阻器..... (60)
3. 专用绝缘小功率固定薄膜电阻器..... (61)
4. 大功率固定薄膜电阻器..... (62)
5. 大功率固定线绕电阻器..... (63)
6. 小功率精密固定线绕电阻器..... (64)
7. 带散热片的大功率固定线绕电阻器..... (65)

六、电位器..... (66)

1. 非线绕电位器与非线绕可变电阻器..... (66)
2. 精密非线绕电位器..... (68)
3. 小功率线绕电位器..... (69)
4. 大功率线绕电位器..... (71)
5. 精密线绕电位器..... (72)
6. 微调线绕电位器..... (74)

七、电容器..... (75)

1. 纸介或塑料介质电容器(温度范围为70℃)..... (75)
2. 纸介或塑料介质电容器(温度范围为85℃)..... (77)
3. 纸介或塑料介质电容器(温度范围为125℃)..... (78)
4. 玻璃电容器..... (80)
5. 未定温度系数的陶瓷电容器(Ⅱ型)(温度范围85℃)..... (81)
6. 未定温度系数的陶瓷电容器(Ⅱ型)(温度范围125℃)..... (82)
7. 未定温度系数的陶瓷电容器(Ⅱ型)(温度范围150℃)..... (83)
8. 已定温度系数的陶瓷电容器(Ⅰ型)..... (84)
9. 液体钽电解电容器..... (85)

10. 固体钽电解电容器.....	(86)
11. 液体铝固定电解电容器.....	(87)
12. 固体铝电解电容器.....	(88)
13. 固定云母电容器(模制或浸渍).....	(89)
14. 钮扣形固定云母电容器.....	(90)
15. 园片形微调陶瓷电容器.....	(91)
16. 园柱形固体微调电容器.....	(92)
八、电感元件	(94)
电感器、变压器和功率线圈.....	(94)
九、继电器	(96)
十、开关	(98)
1. 翻转开关或按钮开关.....	(98)
2. 灵敏开关.....	(99)
3. 旋转开关.....	(99)
十一、连接器	(100)
十二、鼓风机	(102)
十三、其 他	(104)

引言

1. 本手册给出了进行电子设备可靠性预计时所需的电子元器件可靠性数据。它与目前使用的最佳估计较为符合。

这些数据来源于专用设备（主要是电话电报设备）的故障统计并按照美国军用手册 MIL-HDBK-217B 进行计算（尤其是关于加速律的数学模式）。

2. 所计算的失效主要是指电子元器件固有的失效。不过，这些数据也包括：

——小量由于漂移引起的失效（一般指引起上述专用设备出故障的元件漂移）；

——由于过载引起的轻度失效。

因此，在进行设备的精心设计（尤其是对过载有保护）或者要求所设计的设备高可靠的条件下，利用本手册进行预计，可望得到良好的结果。

3. 本手册提供了按照元器件质量等级划分的数据。应当指出，单凭购买高质量的元件而不改进设备的制造（包括设计、元件的正确使用、对元件漂移的考虑和过载的保护）来提高设备的可靠性是不现实的。

同时应该指出，对安装了无质量等级的元件的设备，要预计其可靠性也是不现实的（就是说，对元件的质量一无所知，采购又无规范：即经抽样寿命试验后所定的规范）。因为对元件的可靠性等级毫无掌握，其结果必然深受其害。

在法国，电子元件的鉴定依据是电气技术协会（UTE）规范。UTE 规范是质量统一管理的正式规范。质量统一管理是欧洲的统一制度，每个国家都应按此制度鉴定各自所用元器件。

4. 本手册可作为法国可靠性预计的共同基础。这些预计可用来验证设计是否符合任务要求。它明确地指出元件的偶然误用及元件对组装可靠性的相对影响并可确定专门

的措施（贮备、元件筛选）。总之，在顾客要厂方提供有可靠性指标的设备的报价单或签订购买合同以及在研制某种设备时，都可以提出这些预计要求。

5. 本手册将汇集各种设备的使用数据（包括按新工艺或不了解其生产工艺的元件）及实验室研究元器件退化机理的实验数据，予以定期出版。

从这些出版物里可获得更精确的数据（尤其在按新工艺生产的元件方面）以及对各种环境有更好的了解。

6. 本手册是由法国电讯科学研究中心与一些协作单位在电讯协调委员会的领导下组成工作组汇编的。参加工作组的机构有：

（1）军用与民用管理机构：

军兵种联合作战研究中心（CIRO）

通讯和计算机服务中心（SCTI）

原子能委员会（CEA）

国家宇航研究中心（CNES）

欧洲宇航局（ASE）

（2）专业机构（设备制造厂及元器件制造厂）：

无线电电子专用设备工业协会（SPER）

无线电电子元件、附件工业协会（SIPARE）

电子管和半导体器件工业协会（SITE-LESC）

电气电子工业联合会（FIEE）

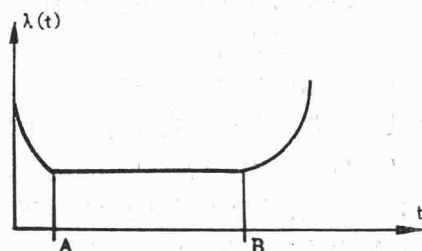
可靠性数据的使用条件

应当指出，本手册的可靠性数据是以失效率（ λ ， 10^{-3} /小时）来表示的。其前提是假定元件遵从指数分布，这时失效率为一常数。因此总失效率 λ_T 可简单地由各元件失效率相加来求得：

$$\lambda_T = \sum_i \lambda_i$$

还应该指出的是，假定元件经过予老

化,剔除了所有早期失效而进入偶然失效,而且也没有老化期(或耗损期),就是说,其失效是处于下图所示的曲线AB两点之间的平坦部分。此曲线图表示以时间为函数的失效率的变化。



然而,本手册也提供了某些元件随使用条件变更而改变的寿命数据。

可靠性预计的实际意义:

可靠性预计不包括对设计误差的修正。从统计分析角度来看,这些预计结果应与设备在试验时、销售后和使用时的情报反馈以及有关标准方面将能达到的实际数据相近似。因此,这些预计结果将使系统的缺陷暴露出来,并使之在生产中得以排除。

手册的使用

1. 简化数据:相当于在环境温度为40℃和70℃及在一般负荷系数下的计算结果。

当请求报价时,这些数据可用作计算有关设备可靠性的依据。

2. 详细计算:在需要更准确的预计时进行。例如,在订可靠性合同时就需要进行详细计算。

对设备内电子元器件有特殊的温度及负荷要求时,也需进行详细计算。作为本手册主要章节的后一部分列出了与温度及负荷系数呈函数关系的基本失效率 λ_b 的数学模式。

通用公式是用修正的基本失效率 λ_b 与

考虑不同工艺特点的系数相乘积的形式来表示的。各种系数均画成表格形式。基本失效率 λ_b 是用图形表示的。这些计算只有在每个元件模式所具有的特性都在规定的范围内才有效。

π 系 数 表

π_A	类型系数
π_B	封装系数
π_C	有源接点数系数(连接器) 接触类型系数(二极管)
π_{CV}	电容量系数
π_D	复杂度系数
π_E	环境系数
π_F	工作类型系数
π_N	电极对数系数(鼓风机)
π_P	电位器抽头数的函数系数
π_Q	质量系数
π_R	阻值系数(欧姆)
π_r	内引线结构系数(混合电路)
π_S	输出端数系数(集成电路) 电压系数(晶体管与二极管)
π_t	与工艺有关的温度加速系数(集成电路)
π_T	工艺系数 结构系数(电位器)
π_V	$\frac{\text{实际电压}}{\text{标称电压}}$ 之比
π_W	$\frac{\text{电位器滑触头负载电阻}}{\text{电位器总阻值}}$ 之比的函数
π_X	鼓风机转速类型与质量的函数
π_Y	平均吸合次数(继电器) 开关次数(开关) 动作次数(电位器)
π_ρ	$\rho = \frac{\text{实际电流}}{\text{标称电流}}$ 以及负荷性质函数 系数(继电器)

定义

有两种定义，但都应能接近于现实：

- a. 环境温度是指装置元件的地方周围的温度（如果这些元件不耗热）。

1. 环境温度定义

环境	定义	参 数						
		振 动	噪 声 (分贝)	灰 尘	气 压 牛顿/米 ²	相 对 湿 度 (%)	冲 击	击
		频 率 (赫)	加 速 度 (g)				11毫 秒 时 (g)	0.5毫 秒 时 (g)
地面良好条件	应力接近于零，使用与维护良好。	0	0	少量	10 ⁵	20~70	0	0
地面固定设备	使用条件没有地面良好条件优越，其原因是： ——维护水平中等； ——可能安装在不受热的建筑物内，装在通风良好的机架上，受振动、冲击影响不大。	2~60	0.5	中等	10 ⁵	20~90	10~15	0
地面移动设备	比地面固定设备条件恶劣，主要原因是振动与冲击。通风条件可能受到限制，维护不正规。	2~300	0.5~5	严重	10 ⁵	20~100	15~50	500
卫星轨道飞行	应力接近于零，但不能维护。	0	0	0	10 ⁻⁶	0	0	0
导弹发射	振动条件恶劣，即指在火箭发射时靠近发动机附近的设备。	5~3000	5~30	中等	10 ⁵ ~ 1×10 ⁻⁶	5~100	45~200	1500
飞机座舱	没有极高的压力、温度、冲击、振动等条件。	5~2000	0.5~10	中等	10 ⁵ ~0.33 ×10 ⁵ *	20~70	10	1500
飞机无人舱	有极高的压力、温度及振动条件，在机舱、机尾及机翼处可反复产生极高压力、温度、振动，还可能由于发动机排出的废油、废料污染而使上述条件加剧恶化。	同上	同上	中等	10 ⁵ ~10 ²	5~100	10	同上
舰船舱内	接近于地面固定设备条件，但可能要承受剧烈的冲击和振动。	2~30	0~5	中等	10 ⁵	20~90	15~50	200
舰船舱外	舰船甲板上的典型条件，经常有剧烈的冲击和振动。	同上	0~20	中等	同上	40~100	15~100	1500

注：所述的环境参数适用于所有设备。对于要适应其他环境的某些元件来说，有时必须计算放大系数、谐振现象或衰减。

* 此处漏印 (5000m)。

b. 是指当元件周围没有温度梯度时元件附近的温度。

注：图中“环境温度”采用摄氏温标。

基本失效率数学模式中的环境温度采用开氏温标。

2. 结温定义

对于半导体器件及微电路，结温等于：

$$T_j = T_A + R_{thj-A} \cdot P$$

$$T_j = T_B + R_{thj-B} \cdot P$$

式中：

T_j ——结温

T_A ——环境温度

T_B ——管壳温度

R_{thj-A} ——结到环境的热阻

R_{thj-B} ——结到管壳的热阻

P ——功率

基本失效率数学模式中的结温采用开氏温标。

3. 负荷系数

负荷系数为实际应用参数值与标称参数值之比。

4. 环境定义及各种机械应力与气候条件等级（参见上表）。

质量系数 π_Q

空间（SCC）A~D 级（由欧洲空间组织按照所需等级而鉴定的）元件

A 级：用于长期工作的卫星；

B 级：用于短期工作的卫星；

C 级：用于发射装置及科学实验设备；

D 级：用于科研试制样机。

符合电报电话设备（PTT）要求的产品

系指由法国电讯科学研究中心认可的，安装在电报电话设备上的元件。这是在质量统一管理的元件中，根据其经过鉴定试验后

的工艺和性能进行优选的元件。

如果这些元件不是经过质量统一管理的，则应对交货批进行定期的质量监督（通过寿命试验或现场应用结果）。

所购买的元件应符合质量统一管理规范要求，如有缺陷，则应按照国家 CNET，UTE 有关规范进行验收试验。

所有这些元件应按照使用说明书进行安装与使用，以便减少由于设计错误、过载以及误用所引起的失效。

质量统一管理的产品

根据电讯协调委员会文件 VII 规定，对元件的试制样品在生产厂就应按质量统一管理规范进行试验。凡经质量统一管理合格的元件清单，每三个月由全国质量管理局颁布一次。

整机厂所订购的元件应是质量统一管理的产品。

产品验收或包装应打上 NF-UTE-CCT 标记。

符合电气技术协会（UTE）要求的产品

系指由全国质量管理局按照电气技术协会* 规范在生产厂里对元件进行抽样鉴定符合要求的产品。

这种产品的质量水平低于质量统一管理的产品，因为其质量不稳定。

无质量等级的产品

不符合上述定义的所有产品，均划为无质量等级产品。由于缺乏鉴定（定期寿命试验、验收试验），装在设备上的这些元件的可靠性通常随批量而异。这里给出的数值是它的平均值。

* 电气技术协会后来出版 CECC 欧洲标准。现在是按照欧洲电子技术标准协调委员会（CENELEC）所定标准对元件进行质量统一管理。

各个制造阶段的质量管理

A. “正常”制造的管理（生产出符合质量统一管理要求的产品）

A—I. 在元件制造厂内：

- 1) 进行生产质量管理；
- 2) 执行固定的抽样程序；
- 3) 选用在同类元件制造中有经验的人员；
- 4) 在封装前进行清洗；
- 5) 对可靠性提出特殊要求。

A—II. 在设备设计时：

- 1) 整机厂元件研究部门必须对购进的元件的应用情况负责；
- 2) 规定宁可使用那些经过考验的元件；
- 3) 坚持性能、成本、体积和重量等指标要求。

A—III. 在设备制造厂内：

- 1) 生产操作中要排除人为因素对产品质量的影响；
- 2) 编制工作程序和制造标准；
- 3) 各个工序要逐步地进行，以符合制造标准；
- 4) 要使用经过校准的仪表进行测量，以便取得有价值的结果和符合制造标准；
- 5) 要对测量结果进行分析，以便确定质量和可靠性等级，揭示隐患部位和断定故障原因；
- 6) 坚持性能、成本和按期交货等指标要求。

B. 进一步的生产管理：（一般用于比质量统一管理的质量等级还好的产品）

B—I. 在元件制造厂内：

- 1) 组装车间应装有连续受监控的吸尘装置；
- 2) 严格的质量检查，从原材料直到元

件验收都要有详细的书面程序，并由非负责生产的同级领导人员来实施；

3) 改进生产中的抽样方法；

4) 生产要由非常熟悉所有元件制造情况的人员来保证；

5) 对在生产过程中不排除而又隐瞒缺陷者要给予惩处（例如扣发奖金）；

6) 在主要装配点要设立清洗台；

7) 清除污染应灵活有效；

8) 每天对污染进行监控；

9) 采用真空技术监控生产；

10) 用质谱仪检查焊接的密封性；

11) 每隔十五天要进行部分复检测；

12) 应进行质量管理的统计记录，以便能保持产品质量，必要时，可改变生产和管理程序；

13) 连续保持所鉴定的可靠性水平；

14) 对元件进行挑选。

B—II. 设备设计时：

1) 按照详细书写的程序进行设计审查并采取纠正措施，且应由厂内权威人士监控；

2) 按照规范要求建立元件制造档案，其中包括失效的元件及其补充的元件；

3) 应对元件进行鉴定，其中包括对同类的元件的鉴定；

4) 要由那些能够在设计师和研制工程师之间建立联系的有资格的人来管理；

5) 为了不断提高可靠性标准，应有投资；

6) 参观生产设备厂并与制造工程师商讨；

7) 宁可使用经过考验的元件，也不要使用新元件和经工艺改进的元件；

8) 管理人员应提出缺陷报告，以便确定和调整工效；

9) 故障分析后，应提出纠正措施；

10) 元件应得到最佳应用；

11) 元件工作点应位于允许的最大工作点以下 (负荷系数 ≤ 1)。

B—Ⅲ. 设备制造时:

- 1) 制造时, 要尽可能排除人为故障;
- 2) 利用书面工作程序和制造标准;
- 3) 按照制造标准要求, 逐步进行操作;
- 4) 用校准过的设备进行测量, 以便取得有效测量值和符合制造标准;

5) 对测量结果进行分析, 以便确定质量和可靠性水平; 找出隐患和故障原因;

6) 由管理人员进行测量, 以排除故障;

7) 由管理人员对作业进行管理, 以排除固有的失效 (系统的故障);

8) 连续保持可靠性要求;

9) 对元件进行挑选。

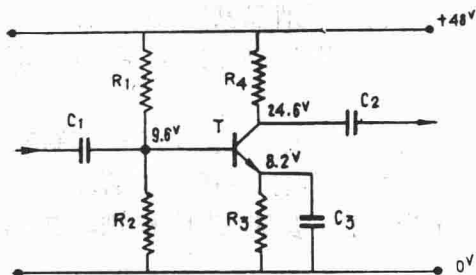
计算示例

下图的失效率是根据以下参数计算的:

I. 简化数据 (环境温度为 40°C)

II. 详细的计算数据

电路图如下:



a) 工作条件

环境温度: 40°C

环境: 地面固定设备

b) 元件参数

$R_1 = 12\text{K}\Omega$

$C_1 = 470\text{ nF}$

$R_2 = 3\text{K}\Omega$

$C_2 = 100\text{ nF}$

$R_3 = 1\text{K}\Omega$

$C_3 = 12\text{ }\mu\text{F}$

$R_4 = 3\text{K}\Omega$

c) 元件特性

1) 电阻器:

R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 是 NFC 93230 RC 型薄膜电阻器。

标称功率:

R_1 、 R_2 、 $R_3 = 1/4$ 瓦

$R_4 = 1/2$ 瓦

2) 电容器

C_1 和 C_2 是 CCTU 0211 A 型, 温度范围为 85°C 的薄膜介质电容器。

标称电压: 63 伏

C_3 是 CCTU 0206A CT 型液体钽电解电容器。

标称电压: 25 伏

3) 晶体管: 2N2222

是 CCTU 1301A 型硅 NPN 结型晶体管。

集电极电压: 24.6 伏

发射极电压: 8.2 伏

25°C 时最大功率 = 500 毫瓦

击穿电压 $V_{\text{BRCEO}} = 30$ 伏

工作类型: 线性放大器

注: 根据 UTE (CECC) 标准选择相应的元件进行计算

注: 从“可靠性”观点出发, 我们采用串联式框图, 这种串联方式是: 任一失效都会引起整个设备故障。因此, 其失效率是由每个元件失效率的不同数值相加而确定的。

I. 用简化数据来计算失效率的方法

a) 电阻器失效率的计算

$\lambda_{R1} = 30 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$\lambda_{R2} = 30 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$\lambda_{R3} = 30 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$\lambda_{R4} = 30 \times 10^{-9} / \text{小时}$

得到 $\lambda_R = 120 \times 10^{-9} / \text{小时}$ 。

b) 电容器失效率的计算

$\lambda_{C1} = 7 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$$\lambda_{C2} = 7 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

$$\lambda_{C3} = 750 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

得到 $\lambda_C = 764 \times 10^{-9} / \text{小时}$

c) 晶体管失效率的计算

$$\lambda_T = 187 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

d) 这个电路的总失效率则为:

$$\lambda = \lambda_R + \lambda_C + \lambda_T$$

$$= 120 + 764 + 187$$

$$= 1071 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

II. 用详细数据计算失效率的方法

a) 电阻器的失效率

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_E \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot 10^{-9} / \text{小时}$$

符 号	ρ	λ_b	π_E	π_R	π_Q	λ
R_1	0.5	$1.2 \times 10^{-9} / \text{小时}$	5	1	5	$30 \times 10^{-9} / \text{小时}$
R_2	0.12	$0.8 \times 10^{-9} / \text{小时}$	5	1	5	$20 \times 10^{-9} / \text{小时}$
R_3	0.25	$0.9 \times 10^{-9} / \text{小时}$	5	1	5	$22.5 \times 10^{-9} / \text{小时}$
R_4	0.4	$1.1 \times 10^{-9} / \text{小时}$	5	1	5	$27.5 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$$\text{总 } \lambda_R = 100 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

b) 电容器失效率 $\lambda = \lambda_b \cdot \pi_B \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot 10^{-9} / \text{小时}$

符 号	ρ	λ_b	π_B	π_E	π_Q	λ
C_1	0.15	$0.7 \times 10^{-9} / \text{小时}$	1	2	5	$7 \times 10^{-9} / \text{小时}$
C_2	0.4	$0.85 \times 10^{-9} / \text{小时}$	1	2	5	$8.5 \times 10^{-9} / \text{小时}$
C_3	0.32	$37 \times 10^{-9} / \text{小时}$	1	2	5	$370 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$$\text{总 } \lambda_C = 386 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

c) 晶体管失效率 $\lambda = \lambda_b \cdot \pi_S \cdot \pi_D \cdot \pi_F \cdot \pi_B \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot 10^{-9} / \text{小时}$

符号	ρ	λ_b	π_S	π_D	π_F	π_B	π_E	π_Q	λ
T	0.24	$7 \times 10^{-9} / \text{小时}$	0.7	1	1.5	1	5	5	$183.75 \times 10^{-9} / \text{小时}$

$$\text{得到 } \lambda_T = 184 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

d) 这个电路的总失效率:

$$\lambda = \lambda_R + \lambda_C + \lambda_T$$

$$= 100 + 386 + 184$$

$$= 660 \times 10^{-9} / \text{小时}$$

注: 两种方法所得结果的明显差异主要是由于从负荷过大的液体铝电容器所取得的数据所致。负荷系数(在上述情况采用0.3而不是一般允许的0.5)对元件的失效率有明显影响。用这两种方式计算其他元件的数值很接近。

简化数据汇编

集成电路

简化计算 应用以温度为依据的通用失效率： $\pi_Q \cdot \lambda_a \cdot 10^{-9}$ /小时。这种计算的假设是： $\pi_B = 1$ （封装） $\pi_S = 1$ （输出端数）

质量等级	π_Q	质量等级	π_Q	质量等级	π_Q
空间 (SCC) A 级	0.1	空间 (SCC) D 级	1	类似 UTE(CECC) 要求的产品	5
空间 (SCC) B 级	0.2	符合 PTT 及 CCQ 要求的产品	1	无质量等级的产品	15
空间 (SCC) C 级	0.4	符合 PTT 或 CCQ 要求的产品	2		

器件名称	λ_a									
	环境					环境				
	环境温度	地面良好条件	地面固定设备	地面移动设备	卫星轨道飞行	导弹发射	飞机座舱	飞机无人舱	舰船舱内	舰船舱外
400 个晶体管 (或 100 个门) 以下的数字逻辑集成电路及移位寄存器 (2×8 位以下) TTL-DTL (20 个晶体管)	40°C	13	65	260	13	650	260	390	260	325
	70°C	27	135	540	27	1350	540	810	540	675
400 个晶体管 (或 100 个门) 以下的数字逻辑集成电路及移位寄存器 (2×8 位以下) ECL-MOS (20 个晶体管)	40°C	17	85	340	17	850	340	510	340	425
	70°C	90	450	1800	90	4500	1800	2700	1800	2250
400 个晶体管 (或 100 个门) 以上的数字逻辑集成电路 TTL-DTL (2000 个晶体管)	40°C	385	1925	7700	385	19250	7700	11550	7700	9620
	70°C	1100	5500	22000	1100	55000	22000	33000	22000	27500
400 个晶体管 (或 100 个门) 以上的数字逻辑集成电路 ECL-MOS (2000 个晶体管)	40°C	565	2825	11300	565	28250	11300	16950	11300	14120
	70°C	4330	21650	86600	4330	216500	86600	130000	86600	108000

可编程序只读存储器 (ROM)	40°C	130	650	2600	130	6500	2600	3900	2600	3250
	70°C	400	2000	8000	400	20000	8000	12000	8000	10000
TTL-DTL (1024位)	40°C	200	1000	4000	200	10000	4000	6000	4000	5000
	70°C	1650	8250	33000	1650	82500	33000	49500	33000	41000
可编程序只读存储器 ECL-MOS (1024位)	40°C	225	1125	4500	225	11250	4500	6750	4500	5600
	70°C	700	3500	14000	700	35000	14000	21000	14000	17500
随机存取存储器 (RAM) 相联存储器 (CAM) 移位寄存器 (2×8位以上) TTL-DTL (1024位)	40°C	350	1750	7000	350	17500	7000	10500	7000	8700
	70°C	2800	14000	56000	2800	140000	56000	84000	56000	70000
随机存取存储器 相联存储器 移位寄存器 (2×8位以上) ECL-MOS (1024位)	40°C	28	140	560	28	1400	560	840	560	700
	70°C	135	675	2700	135	6750	2700	4050	2700	3400

晶体管与光电管

简化计算 应用以温度为依据的通用失效率： $\pi_Q \cdot \lambda_a \cdot 10^{-9}$ /小时。这种计算的假设是：
 $\pi_F = 1$ (工作类型) $\pi_D = 1$ (复杂度系数) $\pi_B = 1$ (封装系数) $\pi_S = 1$ (电压系数)

质 量 等 级	π_Q	质 量 等 级	π_Q	质 量 等 级	π_Q
空间 (SCC) A 级	0.1	空间 (SCC) D 级	1	类似UTE (CECC) 要求的产品	5
空间 (SCC) B 级	0.2	符合PTT及CCQ要求的产品	1	无质量等级的产品	15
空间 (SCC) C 级	0.4	符合PTT或CCQ要求的产品	2		

器 件 名 称	负 荷 系 数	环 境 温 度	λ_a									
			环 境					境				
			地面良 好条件	地面固 定设备	地面移 动设备	卫星轨 道飞行	导弹 发射	飞机 座舱	飞机无 人 舱	舰船 舱内	舰船 舱外	
硅结型晶体管 (NPN)	0.3	40℃	7.5	37	187	7.5	300	187	300	187	187	
	同上	70℃	10	50	250	10	400	250	400	250	250	
硅结型晶体管 (PNP)	同上	40℃	11	55	275	11	440	275	440	275	275	
	同上	70℃	16	80	400	16	640	400	640	400	400	
锗结型晶体管 (NPN)	同上	40℃	32	160	800	32	1280	800	1280	800	800	
	同上	70℃	95	475	2370	95	3800	2370	3800	2370	2370	
锗结型晶体管 (PNP)	同上	40℃	12	60	300	12	480	300	480	300	300	
	同上	70℃	35	175	875	35	1400	875	1400	875	875	
场 效 应 晶 体 管	0.1	40℃	15	75	375	15	600	375	600	375	375	
	同上	70℃	21	105	525	21	840	525	840	525	525	
单 结 晶 体 管	同上	40℃	13	65	325	13	525	325	520	325	325	
	同上	70℃	22	110	550	22	880	550	880	550	550	
光 电 管 (工作时温升10℃)		40℃	120	600	3000	120	4800	3000	4800	3000	3000	
		70℃	235	1170	5870	235	9400	5870	9400	5870	5870	