

元器件可靠性与质量保证

Chapter 1: 电子元器件可靠性概述

- 1.1 电子元器件可靠性的基本概念
- 1.2 电子元器件标准体系和质量等级

Chapter 2: 电子元器件的分类

- 2.1 分类标准
- 2.2 分类方法
- 2.3 各类常用电子器件功能简介
 - 2.3.1 电阻器
 - 2.3.2 电容器
 - 2.3.3 敏感元器件和传感器
 - 2.3.4 开关
 - 2.3.5 电连接器
 - 2.3.6 电感器
 - 2.3.7 变压器
 - 2.3.8 继电器
 - 2.3.9 二极管
 - 2.3.10 晶体管
 - 2.3.11 闸流晶体管
 - 2.3.12 微电路
 - 2.3.13 光电子器件

Chapter 7: 元器件降额设计

- 7.1 概述
- 7.2 降额设计的过程
- 7.3 降额设计的基本原则
- 7.4 元器件结温的计算

Chapter 8: 热设计

- 8.1 热设计的目的与作用
- 8.2 温度对元器件可靠性的影响
- 8.3 热设计理论基础
- 8.4 元器件热设计的主要方法
- 8.5 热分析

Chapter 10: 电子元器件筛选

- 10.1 筛选的定义与目的

Chapter 11: 电子元器件破坏性物理分析

Chapter 12: 电子元器件失效分析技术

附录

元器件可靠性与质量保证

Chapter 1: 电子元器件可靠性概述

1.1 电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件】：

- 元器件：电子电路、系统的基础部件，是能够完成预定功能且不能再分割的基本单元

- 电子元器件：根据GJB 8118-2013《军用电子元器件分类与代码》，定义为：在电子线路或电子设备中执行电气、电子、电磁、机电和光电功能的基本单元
- 军用电子元器件：用于武器装备中的电子元器件

【电子元器件分类及代码】

XXXX XX XX XX XX

- 一共分为五层
- 第一层为四位数，与GJB 7000-2010中的代码保持一致
- 其余每层均为两位数

【电子元器件可靠性】

电子元器件可靠性=固有可靠性+使用可靠性

- 固有可靠性是针对构成电子元器件的原材料性能及制成后在运行中所受应力情况，在**设计阶段**所赋予，在**制造过程**加以保证得到的；是**设计赋予、制造保证**的
- 使用可靠性是指电子元器件在实际使用中表现出的可靠性。包括电子元器件使用单位合理选用电子元器件、正确使用电子元器件等方面。

【电子元器件可靠性的影响因素】：

- **设计过程**
- **制造过程**：制造过程工艺因素、人员因素、机器因素、材料因素、技术与方法、环境因素
- **检验过程**：目的为发现早期失效，主要设计入厂检验、测试、筛选、DPA
- **使用过程**：合理选用，正确使用

1.2 电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

按标准**级别**分类：

- 国家级标准：国家标准（GB）、国家军用标准（GJB）
- 行业级标准
- 企业级标准

按标准**类型**分类

- 规范

包括元器件的**总规范**和**详细规范**，统称产品规范。元器件的总规范对某一类元器件的质量控制规定了共性的要求；详细规范是对某一类元器件中的一个或一系列型号规定的具体性能和质量控制要求。

总规范：

国军标/国标编号	国军标/国标名称
GJB 33A-1997	半导体分立器件总规范
GJB 597A-1996	半导体集成电路总规范
GJB 2438B-2017	混合集成电路通用规范
GJB 63B-2001	有可靠性指标的固体电解质钽电容总规范
GJB 65B-1999	有可靠性指标的电磁继电器总规范
GB/T 4589.1-2006	半导体器件、分立器件和集成电路总规范
GB/T 8976-1996	膜集成电路和混合膜集成电路总规范

详细规范：

国军标/国标编号	国军标/国标名称
GJB 33A/12-2003	半导体分立器件 2CK36 型硅大电流开关二极管详细规范
GJB 9147-2017	半导体集成电路运算放大器测试方法
GJB 2438/1-2001	混合集成电路 HB系列DC/DC变换器详细规范
GJB 63A/1A-1991	有可靠性指标的JCAK型固体电解质钽电容器详细规范
GJB 65/26-2017	JRW-130M型有失效率等级的微型电磁继电器详细规范

- 标准

涉及可靠性试验方法、测量检验规范、失效分析方法和生 产线认证标准等

- **指导性技术文件（标红）**

如指导正确选择和使用元器件的指南、用于电子设备可靠 性预计的手册等

标编号	国军标/国标名称
GJB/Z 299C	电子设备可靠性预计手册
GJB/Z 35	元器件降额准则
GJB/Z27	电子设备可靠性热设计手册

【电子元器件质量等级】：

- 元器件的可靠性一般由**失效率或质量等级**来表征（**主要是质量等级**）

- **元器件的质量**是指元器件在设计、制造、筛选过程中形成的品质特征，可通过质量认证试验确定。**元器件的质量等级**则是指元器件装机使用前，按产品执行标准或供需双方的技术协议，在制造、检验及筛选过程中质量的控制等级，用于表示元器件的**固有可靠性**（引自GJB 299C）。**具有相同物理结构、功能和技术指标的元器件可能具有不同的质量等级**
- **不同标准体系中规定的质量等级不同**
- 在元器件预计标准体系中，GJB 299C-2006《电子设备可靠性预计手册》（参考美军标MIL-HDBK-217F）和GJB/Z 108A《电子设备非工作状态可靠性预计手册》所规定的质量等级用**质量系数（ πQ ）**表征，反映了同类元器件不同质量等级的相对质量差异。

Chapter 2：电子元器件的分类

2.1 分类标准

GJB 8118-2013《军用电子元器件分类与代码》

2.2 分类方法

XXXX XX XX XX XX

2.3 各类常用电子器件功能简介

2.3.1 电阻器

【定义】：

电阻器简称电阻，在电路中起限流、分压、负载、阻抗匹配等作用，也可与电容配合构成滤波器。电阻是最普通、最廉价的电路元件，自身可靠性相对较高

【分类】：

- 阻值可调：
 - 固定电阻器
 - 电位器
- 封装形式：
 - 插装电阻
 - 表贴电阻
- 电阻材料
 - 金属膜电阻；玻璃釉电阻器
 - 碳膜电阻器；

【特殊电阻器】

-
- 包括**熔断电阻器**和**敏感电阻器**
 - 熔断电阻器又称为**保险丝电阻器**，超过其额定功率，可以熔断，使电路开路，从而保护贵重元件，防止故障扩大
 - 敏感电阻器也称为**半导体电阻器**。常见的有热敏、光敏、磁敏、气敏、力敏等电阻器。

2.3.2 电容器

【贴片式电容器结构】:陶瓷介质、陶瓷外壳、金属内电极、金属外电极

【分类】

- 按电容材料:
 - 纸介、薄膜、瓷介、云母、玻璃釉和电解质电容器等
- 按结构容量:
 - 固定电容器
 - 有机介质（如涤纶、聚碳酸酯等）
 - 无机介质（如云母、瓷介等）
 - 电解介质（如铝、钽、氧化铌、真空等）
 - 可变电容器
 - 电容网络
 - 其他电容器

2.3.3 敏感元器件和传感器

【敏感电阻器】：热敏电阻、压敏电阻、光敏电阻

2.3.4 开关

【定义】

开关是一种在电路中起接通、断开、转换和连接等作用的元件，可将电力信号从一个电路转移到另一个电路

【分类】

- 按工作范围:
 - 电流电路转换器开关
 - 电源电路转换开关
- 按结构操作形式:
 - 按钮开关
 - 扭子开关
 - 旋转开关
 - 微动开关

2.3.5 电连接器

【定义】

电连接器是将一个电路或传输单元的导线与另一个电路或传输单元的导线相连接的元件。在各类电子系统中，电连接器在器件与器件、组件与组件、系统与系统之间进行电气连接和信号传递，是构成一个完整系统所必须的基础元件

【分类】

- 射频连接器
- 低频连接器
 - 圆形电连接器
 - 矩形电连接器
 - 印制电路板电连接器
- 组合连接器
- 特种连接器等

2.3.6 电感器

【定义】

电感器(电感线圈)是用绝缘导线绕制成的电磁感应元件。电感器根据线圈的自感作用原理工作，其主要作用是对交流信号进行隔离，或与电容器、电阻器组成谐振电路或滤波电路

【分类】

- 按磁芯类型：空芯、磁芯、铁芯、铜芯
- 按容量：固定、可调、微调
- 按安装方式：立式、卧式、贴片

2.3.7 变压器

【定义】

变压器是一种传递电能的静止电器，它能把某一电压或电流的交流电转换成同频率的另一电压或电流的交流电。在电子线路中，变压器经常被用来作为阻抗变换或隔离元件

【分类】

- 按相数：三相变压器、单相变压器
- 按铁芯形状：有芯式变压器（绕组包围铁心柱）、壳式变压器（铁心包围绕组）

2.3.8 继电器

【定义】

继电器是利用电磁原理、机电原理使接点闭合或断开来驱动或控制相关电路的

【分类】

- 电磁继电器、固体继电器、真空继电器、簧管式继电器

2.3.9 二极管

【定义】

半导体二极管使用半导体单晶材料制成的，具有两个电极的器件。几乎所有的电子电路中，都要用到半导体二极管，应用也非常广泛，包括整流、稳压、限幅、检波、温度补偿、电子开关等

【分类】

- 按材料：锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管、磷化镓二极管
- 按封装形式：塑料封装、玻璃封装、金属封装
- 用途功能：稳压二极管、整流极管、开关二极管、变容二极管、检波二极管、阻尼二极管、雪崩二极管、微波二极管

2.3.10 晶体管

【分类】

- 按照材料：锗管、硅管、砷化镓晶体管
- 按照极性：NPN型和PNP型
- 按照用途和功能：开关晶体管、达林顿管、高反压功率管、微波功率管等
- 按照封装材料形式：塑料封装、玻璃封装、金属封装、陶瓷封装

2.3.11 闸流晶体管

【定义】：闸流晶体管简称为晶闸管，又可称做可控硅整流器，以前被简称为可控硅

【分类】：普通、双向、逆导和门极关断晶闸管等种类

2.3.12 微电路

【定义】

微电路（也称集成电路）是采用半导体工艺，在一块较小的单晶硅片上制作出许多晶体管及电阻器、电容器等元器件，并按照多层布线或隧道布线的方法将元器件组合成完整的电子电路。

【分类】

- 按器件类型：双极型（BJT）集成电路、单极型（MOS）集成电路、Bi-CMOS型集成电路
- 按制造工艺：半导体集成电路、厚薄膜混合集成电路；
- 按规模：小规模集成电路；中规模集成电路；大规模集成电路；超大规模集成电路；特大规模集成电路
- 按用途：接口电路；电源电路；射频电路；专用电路；霍尔电路；存储器；微处理器；微波集成电路
- 按处理信号：模拟集成电路；数字集成电路；数模混合集成电路

2.3.13 光电子器件

【定义】

- **光敏二极管**又称光电二极管，是通过它把光信号转换成电信号，用于对光信号的探测
- **发光二极管**
- **光电耦合器**是以光为媒介，用来传输电信号的器件

Chapter 7: 元器件降额设计

7.1 概述

【降额设计的定义】：降额设计就是将元器件在使用中所承受的应力(电、热、机械应力等)低于其设计的额定值

【降额设计的目的】：

- 通过限制元器件所承受的应力大小，降低元器件的失效率，提高使用可靠性
- 若元器件一直在额定应力下工作，其性能退化速率较快，降额设计能延缓其参数退化，增加工作寿命
- 使设计有一定的安全余量

7.2 降额设计的过程

【降额设计的过程】：

1. 确定降额准则
2. 确定降额等级
3. 确定降额参数
4. 确定降额因子
5. 降额计算及分析

【关键降额参数】：

模拟电路：电源电压、输入电压、输出电流、功率、最高结温

7.3 降额设计的基本原则

- 关键元器件应保证满足规定的降额因子。一般元器件的降额因子允许做适量调整
- 有些元器件参数不能降额
- 降额到一定程度后，可靠性的提高是很微小的，过度降额反而有害
- 不应采用过度的降额来弥补选用低于要求质量等级的元器件；同样，也不能由于采用了高质量等级的元器件，而不进行降额设计

7.4 元器件结温的计算

【热阻值】：

$$R = (T_{j(max)} - T_S) / P_{j(max)}$$

$T_{j(max)}$ ：器件的允许最大额定结温， $^{\circ}\text{C}$

T_S ：最大额定功率的设计环境温度上限，通常为 25°C

$P_{j(max)}$ ：器件的最大额定功率， W

【小功率器件的结温】：

$$T_j = T_A + RP_j$$

T_j : 结温, $^{\circ}\text{C}$

T_A : 环境温度, $^{\circ}\text{C}$

R : 结与管壳间的热阻, $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

P_j : 平均耗散功率, W

T_C : 管壳温度

【结温的近似计算】

- 晶体管和二极管

小功率: 晶体管 $T_j = T_A + 30$, 二极管 $T_j = T_A + 20$

中功率: 晶体管 $T_j = T_C + 30$, 二极管 $T_j = T_C + 20$

- 集成电路

集成电路门数不大于30个或晶体管数不大于120个(不包括存储器): $T_j = T_A + 10$

集成电路门数大于30个或晶体管数大于120个, 以及所有存储器: $T_j = T_A + 25$

- 低功耗TTL及MOS电路:

门数不大于30个或晶体管数不大于120个: $T_j = T_A + 5$

门数大于30个或晶体管数大于120个: $T_j = T_A + 13$

Chapter 8: 热设计

8.1 热设计的目的与作用

- 控制电子设备内部所有元器件的温度, 使其在设备所处的工作环境条件下尽可能的低于规定的最高允许温度
- 防止电子元器件因过热而失效
- 热设计一般分为系统级、电路板级和元器件级, 主要介绍元器件级的热设计

8.2 温度对元器件可靠性的影响

- 元器件的失效率随着温度的升高而升高
- 元器件的工作寿命随温度的升高而降低

8.3 热设计理论基础

【传热的基本原则】:

- 基本原则: 凡是温差的地方就有热量的传递
- 基本规律:

热量从高温区流向低温区、高温区发出的热量必定等于低温区吸收的热量

- 传热的基本公式:

$$\phi = KA\Delta t$$

- 三种基本方式：导热、对流和辐射

【热阻及热阻网络】

- 热阻：热流在流动过程中遇到的阻力
 - 内热阻：元器件内部发热部位与表面某部位之间的热阻
 - 外热阻：元器件表面与最终散热器之间的热阻
 - 接触热阻：两种物体接触处的热阻
 - 安装热阻：元器件与安装表面之间的热阻
- 热阻网络：热阻的串联、并联或混联形成的热流路径图

8.4 元器件热设计的主要方法

- 降低功耗（设计、制造阶段）
 - 减少电子元器件自身热量的产生
- 热匹配设计（设计、制造阶段）
 - 选用结构完好和物理化学性能稳定的材料
 - 各部分材料的热膨胀系数尽量接近
- 降低热阻（设计、制造阶段）
 - 尽量采用易于散热的封装技术和封装形式
- 利用各种散热方式（使用阶段）
 - 利用热传导、热辐射、热对流技术增强散热功能
 - 安装散热器、强迫空气冷却、液体冷却等手段
- 热分布要合理（使用阶段）
 - 如功率电子元器件要分散、要处于易于散热的位置
 - 远离电路中热敏性元器件等

【热匹配设计的内容】

- 目的：尽可能减少元器件内部相连材料间热膨胀系数的差别，以减少热应力对元器件性能与可靠性的影响
- 关注重点：管芯的热设计、封装键合的热匹配设计、管壳的热匹配设计
- 管芯的热设计主要通过版图的合理布局使芯片表面温度尽可能分布均匀，防止出现局部过热点
- 封装的热匹配设计主要通过合理选择封装、键合和烧结材料，尽可能降低材料的热阻以及材料之间的热不匹配性，防止出现过大的热应力
- 管壳的热设计主要应考虑降低热阻，即对于特定耗散功率的器件，它应具有足够大的散热能力

【元器件使用中的热设计】

- 元器件的自然冷却设计
 - 半导体器件：半导体器件的面积较小，自然对流及其本身的辐射换热不起主要作用，而导热是这类器件最有效的传热方法
 - 电阻器

- 电阻器常采用自然冷却设计，对大功率是靠电阻器本身与金属底座或散热器之间的金属导热
 - 用金属导热夹是一种很好的安装方法，但应保证紧密接触
- 无源器件
 - 无源元件包括电容器、开关、连接器、熔断器和结构元件等。它们本身不产生热，但受高温影响将变质而失效
 - 设计中应采用热屏蔽和热隔离的措施，尽量避免有源器件对其的热影响。保证它们的失效率低于可靠性设计所要求的值
- 元器件的强迫空气冷却散热：半导体器件、电阻器、大功率器件
- 元器件的液体冷却设计
 - 直接液体冷却
 - 间接液体冷却
- 元器件的安装与布局
 - 元器件的安装位置应保证元器件工作在允许的工作温度范围内，应得到最佳的自然对流
 - 元器件应牢靠地安装在底座、底板上，以保证得到最佳的传导散热
 - 产生热量较大的元器件应接近机箱安装，与机箱有良好的热传导
 - 元器件、部件的引线腿的横截面应大，长度应短
 - 温度敏感元件应放置在低温处。若邻近有发热量大的元件，则需对温度敏感元件进行热防护，可在发热元件与温度敏感元件之间放置较为光泽的金属片来实现
 - 元器件的安装板应垂直放置，利于散热
- 元器件在印刷板上的安装与布局
 - 安装在印制电路板上的元器件的冷却，主要依靠导热提供一条从元器件到印制板及机箱侧壁的低热阻路径
 - 元器件在电路板上安装，需要采用一定的安装布局方法
- 减少元器件热应变的安装方法

【功率器件热设计方法】

- 在生产工艺阶段，就要充分考虑器件内部、封装和管壳的热设计，尽量减少器件自身热量的产生
- 为防止元器件由于过热而引起失效，在使用阶段还需对大功率的元器件进行有效的热设计
 - 目前普遍采用在大功率元器件上加散热器进行自然冷却的方法，当热流密度比较大的情况下，也可采用散热器加风冷技术。

8.5 热分析

【热分析的目的】：利用仿真手段，在电子产品设计阶段（即在产品制造前）获得其温度分布的有效方法

【热分析方法】：

- 解析法
- 数值法
 - 有限元法

- 有限差分法
- 边界元法
- 有限体积法

Chapter 10：电子元器件筛选

10.1 筛选的定义与目的

Chapter 11：电子元器件破坏性物理分析

密封型单片集成电路DPA和塑封型单片集成电路DPA有什么区别？

Chapter 12：电子元器件失效分析技术

破坏性物理分析与失效分析的主要相同点和不同点是什么？

附录

军标代码	全称
GJB 8118-2013	《军用电子元器件分类与代码》
GJB/Z 299C	电子设备可靠性预计手册
GJB/Z 35	元器件降额准则
GJB/Z27	电子设备可靠性热设计手册
GJB/Z62.1	《军用电连接器系列型谱-低频电连接器》

军标代码	全称
GJB/Z35-93	《元器件降额准则》