



中华人民共和国国家军用标准

FL 0111

GJB/Z 35—93

元器件降额准则

**Derating criteria for electrical, electronic
and electromechanical parts**

1993—09—30 发布

1994—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

目 次

1 范围	(1)
1.1 主题内容	(1)
1.2 适用范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 定义	(1)
3.1 术语	(1)
4 一般要求	(1)
4.1 降额等级的划分	(1)
4.2 不同应用推荐的降额等级	(2)
4.3 降额的限度	(2)
4.4 降额量值的调整	(3)
4.5 确定降额量值的工作基础	(3)
4.6 元器件的质量水平	(3)
5 详细要求	(3)
5.1 集成电路降额准则	(3)
5.2 晶体管降额准则	(6)
5.3 二极管降额准则	(8)
5.4 可控硅降额准则	(10)
5.5 半导体光电器件降额准则	(11)
5.6 电阻器降额准则	(12)
5.7 电位器降额准则	(14)
5.8 电容器降额准则	(16)
5.9 电感元件降额准则	(20)
5.10 继电器降额准则	(20)
5.11 开关降额准则	(21)
5.12 连接器降额准则	(22)
5.13 导线与电缆降额准则	(23)
5.14 旋转电器降额准则	(24)
5.15 灯泡降额准则	(24)
5.16 电路断路器降额准则	(25)
5.17 保险丝降额准则	(25)
5.18 晶体降额准则	(26)
5.19 电真空器件降额准则	(26)
5.20 声表面波器件降额准则	(27)
5.21 激光器件降额准则	(27)

5.22 纤维光学器件降额准则	(28)
6 说明事项.....	(30)
附录 A 失效率模型与降额准则的确定(参考件)	(31)
附录 B 降额准则应用示例(参考件)	(33)
B1 集成电路降额准则应用示例	(33)
B2 晶体管降额准则应用示例	(34)
B3 二极管降额准则应用示例	(35)
B4 可控硅降额准则应用示例	(42)
B5 电阻器降额准则应用示例	(42)
B6 电容器降额准则应用示例	(42)
附录 C 集成电路、晶体管、二极管结温与环境温度的关系(参考件)	(45)
附录 D 功率线绕电阻器脉冲额定曲线及应用(参考件)	(47)
附录 E 功率线绕电阻器功率—散热面积曲线的应用(参考件)	(49)
附录 F 电感元件热点温度的确定(参考件)	(50)
附录 G 元器件降额准则一览表(参考件)	(51)

中华人民共和国国家军用标准

元器件可靠性降额准则

GJB/Z 35—93

Derating criteria for electrical, electronic and electromechanical parts

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了电子、电气和机电元器件(以下简称元器件)在不同应用情况下应降额的参数及其量值;同时提供了若干与降额使用有关的应用指南。

1.2 适用范围

本标准适用于军用电子设备的设计。其它电子设备亦可参照使用。

2 引用文件

GJB 450—88 装备研制与生产的可靠性通用大纲

GJB 451—90 可靠性维修性术语

GJB/Z 299A—91 电子设备可靠性预计手册

3 定义

除下列术语外,本标准所用的其他术语及其定义见 GJB 451。

3.1 降额 derating

元器件使用中承受的应力低于其额定值,以达到延缓其参数退化,提高使用可靠性的目的。通常用应力比和环境温度来表示。

3.2 额定值 rating

元器件允许的最大使用应力值。

3.3 应力 stress

影响元器件失效率的电、热、机械等负载。

3.4 应力比 stress ratio

元器件工作应力与额定应力之比。应力比又称降额因子。

4 一般要求

4.1 降额等级的划分

通常元器件有一个最佳降额范围。在此范围内,元器件工作应力的降低对其失效率的下降有显著的改善,设备的设计易于实现,且不必在设备的重量、体积、成本方面付出大的代价。

应按设备可靠性要求、设计的成熟性、维修费用和难易程度、安全性要求,以及对设备重量

和尺寸的限制等因素,综合权衡确定其降额等级。在最佳降额范围内推荐采用三个降额等级。

a. I级降额

I级降额是最大的降额,对元器件使用可靠性的改善最大。超过它的更大降额,通常对元器件可靠性的提高有限,且可能使设备设计难以实现。

I级降额适用于下述情况:设备的失效将导致人员伤亡或装备与保障设施的严重破坏;对设备有高可靠性要求,且采用新技术、新工艺的设计;由于费用和技术原因,设备失效后无法或不宜维修;系统对设备的尺寸、重量有苛刻的限制。

b. II级降额

II级降额是中等降额,对元器件使用可靠性有明显改善。II级降额在设计上较I级降额易于实现。

II级降额适用于下述情况:设备的失效将可能引起装备与保障设施的损坏;有高可靠性要求,且采用了某些专门的设计;需支付较高的维修费用。

c. III级降额

III级降额是最小的降额,对元器件使用可靠性改善的相对效益最大,但可靠性改善的绝对效果不如I级和II级降额。III级降额在设计上最易实现。

III级降额适用于下述情况:设备的失效不会造成人员和设施的伤亡和破坏;设备采用成熟的标准设计;故障设备可迅速、经济地加以修复;对设备的尺寸、重量无大的限制。

4.2 不同应用推荐的降额等级

根据4.1条的规定,对不同应用推荐的降额等级见表1。

表1 不同应用的降额等级

应用范围	降额等级	
	最高	最低
航天器与运载火箭	I	I
战略导弹	I	II
战术导弹系统	I	III
飞机与舰船系统	I	III
通信电子系统	I	III
武器与车辆系统	I	III
地面保障设备	II	III

4.3 降额的限度

降额可以有效地提高元器件的使用可靠性,但降额是有限度的。通常,超过最佳范围的更大降额,元器件可靠性改善的相对效益下降,见附录A(参考件)。而设备的重量、体积和成本却

会有较快的增加。有时过度的降额会使元器件的正常特性发生变化,甚至有可能找不到满足设备或电路功能要求的元器件;过度的降额还可能引入元器件新的失效机理,或导致元器件数量不必要的增加,结果反而会使设备的可靠性下降。

4.4 降额量值的调整

不应将本标准所推荐的降额量值绝对化。降额是多方面因素综合分析的结果。本标准规定的降额值考虑了设计的可行性和与可靠性要求相吻合的设计限制。在实际使用中由于条件的限制,允许降额值作一些变动,即某降额参数可与另一参数彼此综合调整,但不应轻易改变降额等级(如从 I 级降额变到 II 级降额)。某些情况下,超过本标准所提出的降额量值的选择可能是合理的,但也应在认真权衡的基础上作出。还应指出,与本标准规定的降额量值间的小的偏差,通常对元器件预计的失效率不会有大的影响。

4.5 确定降额量值的工作基础

降额量值的工作基础可分为以下三种情况,在应用中应予以注意:

a. 对大量使用数据进行过分析,并对元器件的应力与可靠性关系有很好的认识(表 2 中的 A 类);

b. 供分析的使用数据有限,或结构较复杂。但对元器件的应力与可靠性关系有一定的认识(表 2 中的 B 类);

c. 由于技术较新,或受到器件所在设备中组合方式的限制,至今尚无降额的应用数据可供参考。但研究了它们的结构和材料,作出降额的工程判断(表 2 中的 C 类)。

表 2 降额量值确定的基础

降额工作基础分类	元 器 件 类 别
A	集成电路,半导体分立器件,电阻器,电位器,电容器
B	电感元件,继电器,开关,旋转电器,电连接器,线缆,灯泡,电路断路器,保险丝
C	电真空器件,晶体,声表面波器件,激光器件,纤维光学器件

4.6 元器件的质量水平

必须根据产品可靠性要求选用适合质量等级的元器件。不能用降额补偿的方法解决低质量元器件的使用问题。

5 详细要求

5.1 集成电路降额准则

5.1.1 概述

集成电路分模拟电路和数字电路两类。根据其制造工艺的不同,可按双极型和 MOS (CMOS)型,以及混合集成电路分类。

集成电路芯片的电路单元很小,在导体断面上的电流密度很大,因此在有源结点上可能有

很高的温度。高结温是对集成电路破坏性最大的应力。集成电路降额的主要目的在于降低高温集中部分的温度,降低由于器件的缺陷而可能诱发失效的工作应力,延长器件的工作寿命。

中、小规模集成电路降温的主要参数是电压、电流或功率,以及结温。大规模集成电路主要是降低结温。

5.1.2 应用指南

5.1.2.1 所有为维持最低结温的措施都应考虑。可采取以下措施:

- a. 器件应在尽可能小的实用功率下工作;
- b. 为减少瞬态电流冲击应采用去耦电路;
- c. 当工作频率接近器件的额定频率时,功耗将会迅速增加,因此器件的实际工作频率应低于器件的额定频率;
- d. 应实施最有效的热传递,保证与封装底座间的低热阻,避免选用高热阻底座的器件。

5.1.2.2 双极型数字电路电源电压须稳定,其容差范围如下:

- a. I级降额: $\pm 3\%$;
- b. II级降额: $\pm 5\%$;
- c. III级降额:按相关详细规范要求。

5.1.2.3 主要参数的设计容差

为保证设备长期可靠的工作,设计应允许集成电路参数容差为:

模拟电路:

电压增益: -25% (运算放大器)
 -20% (其他)

输入失调电压: $+50\%$ (低失调器件可达 300%)

输入失调电流: $+50\%$ 或 $+5\text{nA}$

输入偏置电压: $\pm 1\text{mV}$ (运算放大器和比较器)

输出电压: $\pm 0.25\%$ (电压调整器)

负载调整率: $\pm 0.20\%$ (电压调整器)

数字电路:

输入反向漏电流: $+100\%$

扇出: -20%

频率: -10%

5.1.3 降额准则

5.1.3.1 模拟电路

模拟电路降额准则见表3。其中:

- a. 电源电压从额定值降额;
- b. 输入电压从额定值降额;
- c. 输出电流从额定值降额;
- d. 功率从最大允许值降额;
- e. 结温降额给出了最高允许结温。

表3 模拟电路降额准则

降额参数	放大器			比较器			电压调整器			模拟开关		
	降额等级			降额等级			降额等级			降额等级		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
电源电压 ¹⁾	0.70	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.70	0.80	0.85
输入电压 ²⁾	0.60	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.80	0.85	0.90
输入输出电压差 ³⁾	—	—	—	—	—	—	0.70	0.80	0.85	—	—	—
输出电流	0.70	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.70	0.75	0.80	0.75	0.80	0.85
功率	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80
最高结温 ℃	80	95	105	80	95	105	80	95	105	80	95	105

注:1)电源电压降额后不应小于推荐的正常工作电压。

2)输入电压在任何情况下不得超过电源电压。

3)电压调整器的输入电压在一般情况下即为电源电压。

5.1.3.2 数字电路

5.1.3.2.1 双极型数字电路

双极型数字电路降额准则见表4。其中:

- 电源电压给出了额定值的容差(见5.1.2.2条);
- 频率从额定值降额;
- 输出电流从额定值降额;
- 结温降额给出了最高允许结温。

表4 双极型数字电路降额准则

降额参数	降额等级		
	I	II	III
频率	0.80	0.90	0.90
输出电流 ¹⁾	0.80	0.90	0.90
最高结温 ℃	85	100	115

注:1)输出电流降额将使扇出减少,可能导致使用器件的数量增加,反而使设备的预计可靠性下降。降额时应防止这种情况发生。

5.1.3.2.2 MOS型数字电路

MOS型数字电路降额准则见表5。其中:

- 电源电压从额定值降额;
- 输出电流从额定值降额;
- 频率从额定值降额;
- 结温降额给出了最高允许结温。

表 5 MOS 型数字电路降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电源电压 ¹⁾	0.70	0.80	0.80
输出电流 ²⁾	0.80	0.90	0.90
频 率	0.80	0.80	0.9
最高结温 ℃	85	100	115

注:1)电源电压降额后不应小于推荐的正常工作电压;输入电压在任何情况下不得超过电源电压。

2)仅适用于缓冲器和触发器,从 I_{OL} 的最大值降额;工作于粒子辐射环境的器件需要进一步降额。

5.1.3.3 混合集成电路

组成混合集成电路的器件均应按本标准有关规定实施降额。混合集成电路基体上的互连线,根据采用工艺的不同,其功率密度及最高结温应满足表 6 的规定。

表 6 混合集成电路降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
厚膜功率密率 W/cm^2	7.5		
薄膜功率密度 W/cm^2	6		
最高结温 ℃	85	100	115

5.1.3.4 大规模集成电路

大规模集成电路由于其功能和结构的特点,内部参数通常允许的变化范围很小。因此其降额应着重于改进封装散热方式,以降低器件的结温。

使用大规模集成电路时,在保证功能正常的前提下,应尽可能降低其输入电平、输出电流和工作频率。

5.1.4 降额准则的应用

表 3~6 给出了各种集成电路的降额因子及允许的最高结温。除另有说明外,一般仅需以电参数的额定值乘以相应的降额因子,即得到了降额后的电参数值。得到降额参数值后,还需计算相应电参数降额后的结温,见附录 C(参考件)。如结温不能满足表中所示的最高结温降额要求,在可能的情况下电参数需进一步降额,以尽可能满足结温的降额要求。

线性集成电路及数字集成电路的降额计算示例见附录 B(参考件)中 B1 条。

5.2 晶体管降额准则

5.2.1 概述

晶体管按结构可分为双极型晶体管、场效应晶体管、单结晶体管等类型;按工作频率可分

为低频晶体管、高频晶体管和微波晶体管；按耗散功率可分为小功率晶体管和大功率晶体管（简称功率晶体管）。所有晶体管的降额参数是基本相同的，它们是电压、电流和功率。但对 MOS 型场效应晶体管、功率晶体管和微波晶体管的降额又有特殊的要求。

高温是对晶体管破坏性最强的应力，因此晶体管的功耗和结温须进行降额；电压击穿是导致晶体管失效的另一主要因素，所以其电压须降额。功率晶体管有二次击穿的现象，因此要对它的安全工作区进行降额。

5.2.2 应用指南

5.2.2.1 功率晶体管在遭受由于多次开关过程所致的温度变化冲击后会产生“热疲劳”失效。使用时要根据功率晶体管的相关详细规范要求限制壳温的最大变化值。

5.2.2.2 预计的瞬间电压峰值和工作电压峰值之和不得超过降额电压的限定值。

5.2.2.3 为保证电路长期可靠的工作，设计应允许晶体管主要参数的设计容差为：

电流放大系数：±15%（适用于已经筛选的晶体管）

±30%（适用于未经筛选的晶体管）

漏电流：+200%

开关时间：+20%

饱和压降：+15%

5.2.3 降额准则

5.2.3.1 晶体管反向电压、电流、功耗的降额

晶体管反向电压、电流、功耗的降额准则见表 7。其中：

- a. 反向电压从额定反向电压降额；
- b. 电流从额定值降额；
- c. 功率从额定功率降额。

表 7 晶体管反向电压、电流、功率降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
反向电压 ¹⁾	0.60	0.70	0.80
	0.50 ²⁾	0.60 ²⁾	0.70 ²⁾
电流 ²⁾	0.60	0.70	0.80
功率	0.50	0.65	0.75

注：1) 直流、交流和瞬态电压或电流的最坏组合不得大于降额后的极限值（包括感性负载）。

2) 适用于功率 MOSFET 的栅—源电压降额。

5.2.3.2 晶体管最高结温的降额。

晶体管最高结温的降额，根据晶体管相关详细规范给出的最高结温 T_{jm} 而定，降额后的最高结温见表 8。

表 8 晶体管最高结温降额准则

℃

最高结温 T_{jm}	降 额 等 级		
	I	II	III
200	115	140	160
175	100	125	145
不大于 150	$T_{jm} - 65$	$T_{jm} - 40$	$T_{jm} - 20$

5.2.3.3 功率晶体管安全工作区的降额

功率晶体管安全工作区的降额见表 9。

表 9 晶体管安全工作区降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
集电极—发射极电压	0.70	0.80	0.90
集电极最大允许电流	0.60	0.70	0.80

5.2.3.4 微波晶体管的降额

由于分布参数的影响,微波晶体管不能按独立变量来考虑降额,但应按表 8 的规定进行结温降额。

5.2.4 降额准则的应用

表 7、表 8 给出了晶体管的降额因子及允许的最高结温。以参数的最大允许值乘以表 7 的降额因子即得到了降额后允许的电压、电流和功率。得到这些参数后,还需计算结温,见附录 C(参考件)。如结温不能满足最高结温的降额要求,在可能的情况下需将参数进一步降额,以尽可能满足结温降额要求。

为了防止二次击穿,对功率晶体管还应进行安全工作区降额。根据晶体管最大安全工作区的特性曲线及表 9 的降额因子,可用作图法求得功率晶体管降额后的安全工作区。

晶体管的降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B2 条。

5.3 二极管降额准则

5.3.1 概述

二极管按功能可分为普通、开关、稳压等类型二极管;按工作频率可分为低频、高频和微波二极管;按耗散功率(或电流)可分为小功率(小电流)和大功率(大电流)二极管。所有二极管需要降额的参数是基本相同的。

高温是对二极管破坏性最强的应力,所以对二极管的功率和结温必须进行降额;电压击穿是导致二极管失效的另一主要因素,所以二极管的电压也需降额。

5.3.2 应用指南

5.3.2.1 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许二极管主要参数的设计容差为:

正向电压: $\pm 10\%$

稳定电压: $\pm 2\%$ (适用于稳压二极管)

反向漏电流: $+200\%$

恢复和开关时间: $+20\%$

5.3.3 降额准则

5.3.3.1 二极管反向电压、电流、功率的降额

二极管反向电压、电流、功率的降额准则见表 10。其中:

- 反向电压从反向峰值工作电压降额;
- 电流从最大正向平均电流降额;
- 功率从最大允许功率降额。

表 10 二极管反向电压、电流、功率降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
反向电压	0.60	0.70	0.80
电流	0.50	0.65	0.80
功率	0.50	0.65	0.80

注:①反向电压降额不适用于稳压管和基准管。

②瞬态峰值浪涌电压和瞬态峰值浪涌电流也应按本表进行降额。

③本表不适用于基准管,只作结温降额。

5.3.3.2 二极管最高结温的降额

二极管最高结温的降额,根据二极管相关详细规范给出的最高结温 T_{jm} 而定,降额后的最高结温见表 11。

表 11 二极管最高结温降额准则

°C

最高结温(T_{jm})	降 额 等 级		
	I	II	III
200	115	140	160
175	100	125	145
不大于 150	$T_{jm} - 60$	$T_{jm} - 40$	$T_{jm} - 20$

5.3.3.3 微波二极管降额

微波二极管降额的限制与微波晶体管相同,见 5.2.3.4 条。

5.3.5 降额准则的应用

表 10、表 11 给出了的二极管的降额因子及允许的最高结温。以参数的最大允许值乘以表 10 的降额因子即得到了降额后允许的电压、电流和功率。得到这些参数后,还需计算结温,见

附录 C(参考件)。如结温不能满足最高结温降额要求,在可能的情况下需将参数进一步降额,以尽可能满足结温降额要求。

二极管的降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B3 条。

5.4 可控硅降额准则

5.4.1 概述

可控硅又称闸流管,是以硅单晶为主要材料制成的包括三个 P-N 结的双稳态半导体器件。

高温是对可控硅破坏性最强的应力,所以对可控硅的额定平均通态电流和结温必须进行降额;电压击穿是导致可控硅失效的另一主要因素,所以可控硅的电压也需降额。

5.4.2 应用指南

5.4.2.1 不允许控制极—阳极间电位低于额定值。

5.4.2.2 超过正向最大电压或反向阻断电压,可使器件突发不应有的导通。应保证“断态”电压与瞬态电压最大值之和不超过额定的阻断电压。

5.4.2.3 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许可控硅主要参数的设计参数容差为:

控制极正向电压降: $\pm 10\%$

漏电流: $+200\%$

开关时间: $+20\%$

5.4.3 降额准则

可控硅电压、电流和最高结温的降额准则见表 12 和表 13。其中:

- 电压从额定值降额;
- 电流从额定平均通态电流降额;
- 最高结温降额根据可控硅相关详细规范给出的最高结温 T_{jm} 而定。

表 12 可控硅电压、电流降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电 压	0.60	0.70	0.80
电 流	0.50	0.65	0.80

表 13 可控硅最高结温降额准则

℃

最高结温(T_{jm})	降 额 等 级		
	I	II	III
200	115	140	160
175	100	125	145
不大于 150	$T_{jm} - 60$	$T_{jm} - 40$	$T_{jm} - 20$

5.4.4 降额准则的应用

表 12、表 13 给出了可控硅的降额因子及允许的最高结温。以参数的最大允许值乘以表 12 的降额因子即得到了降额后允许的电压、电流值。得到这些参数值后,还需计算结温,见附录 C (参考件)。如结温不能满足最高结温的降额要求,在可能的情况下需将参数进一步降额,以尽可能满足结温降额要求。

可控硅降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B4 条。

5.5 半导体光电器件降额准则

5.5.1 概述

半导体光电器件主要有三类:发光、光敏器件或两者的组合。发光类器件主要有发光二极管、发光数码管;光敏类器件有光敏二极管、光敏三极管;常用的光电组合器件是光电耦合器,它由发光二极管和光敏三极管组成。

高结温和结点高电压是半导体光电器件主要的破坏性应力,结温受结点电流或功率的影响,所以对半导体光电器件的结温、电流或功率均需进行降额。

5.5.2 应用指南

5.5.2.1 发光二极管驱动电路必须限制电流,通常用一个串联的电阻来实现。

5.5.2.2 一般不应采用经半波或全波整流的交流正弦波电流作为发光二极管的驱动电流。如果确要使用,则不允许其电流峰值超过发光二极管的最大直流允许值。

5.5.2.3 在整个寿命期内,驱动电路应允许光电耦合器电流传输比在降低 15%的情况下仍能正常工作。

5.5.3 降额准则

半导体光电器件电压、电流和最高结温降额准则见表 14 和表 15。其中:

- a. 电压从额定值降额;
- b. 电流从额定值降额;
- c. 最高结温降额根据光电器件相关详细规范给出的最高结温 T_m 而定。

表 14 光电器件电压、电流降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电 压	0.60	0.70	0.80
电 流	0.50	0.65	0.80

表 15 光电器件最高结温降额准则

最高结温(T_m)	降 额 等 级		
	I	II	III
200	115	140	160
175	100	125	145
不大于 150	$T_m - 60$	$T_m - 40$	$T_m - 20$

C

5.5.4 降额准则的应用

表 14、表 15 给出了光电器件的降额因子及允许的最高结温。以参数的最大允许值乘以表 14 的降额因子即得到了降额后允许的电压、电流值。得到这些参数后,还需计算最高结温,见附录 C(参考件)。如结温不能满足最高结温的降额要求,在可能的情况下需将参数进一步降额,以尽可能满足结温降额要求。

5.6 电阻器降额准则

5.6.1 合成型电阻器

5.6.1.1 概述

合成型电阻器体积小,过负荷能力强,但它们的阻值稳定性差,热和电流噪声大,电压与温度系数较大。

合成型电阻器的主要降额参数是环境温度、功率和电压。

5.6.1.2 应用指南

5.6.1.2.1 合成型电阻器为负温度和负电压系数,易于烧坏。因此限制其电压是必须的。

5.6.1.2.2 在潮湿环境下使用的合成型电阻器,不宜过度降额。否则潮气不能挥发将可能使电阻器变质失效。

5.6.1.2.3 热点温度过高可能导致合成型电阻器内部的电阻材料永久性损伤。

5.6.1.2.4 为保证电路长期工作的可靠性,电路设计应允许合成型电阻器有 $\pm 15\%$ 的阻值容差。

5.6.1.3 降额准则

合成型电阻器的降额准则见表 16。降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B5 条。

表 16 合成型电阻器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电 压	0.75	0.75	0.75
功 率	0.5	0.6	0.7
环境温度	按元件负荷特性曲线降额		

5.6.2 薄膜型电阻器

5.6.2.1 概述

薄膜型电阻器按其结构,主要有金属氧化膜电阻器和金属膜电阻器两种。

薄膜型电阻器的高频特性好,电流噪声和非线性较小,阻值范围宽,温度系数小,性能稳定,是使用最广泛的一类电阻器。

薄膜型电阻器降额的主要参数是电压、功率和环境温度。

5.6.2.2 应用指南

5.6.2.2.1 各种金属氧化膜和金属膜电阻器在高频工作情况下,阻值均会下降(见元件相关详细规范)。

5.6.2.2.2 金属膜电阻器在低气压条件下工作时,应按元件相关详细规范的要求进一步降额

使用。

5.6.2.2.3 为保证电路长期工作的可靠性,设计应允许薄膜型电阻器有一定的阻值容差:金属膜电阻器为 $\pm 2\%$,金属氧化膜电阻器为 $\pm 4\%$,碳膜电阻器为 $\pm 15\%$ 。

5.6.2.3 降额准则

薄膜型电阻器的降额准则见表 17。降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B5 条。

表 17 薄膜型电阻器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电 压	0.75	0.75	0.75
功 率	0.5	0.6	0.7
环境温度	按元件负荷特性曲线降额		

5.6.3 电阻网络

5.6.3.1 概述

电阻网络装配密度高,各元件间的匹配性能和跟踪温度系数好,对时间、湿度的稳定性好。电阻网络降额的主要参数是功率、电压和环境温度。

5.6.3.2 应用指南

为保证电路长期工作的可靠性,设计中应允许电阻网络有 $\pm 2\%$ 的阻值容差。

5.6.3.3 降额准则

电阻网络降额准则见表 18。降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B5 条。

表 18 电阻网络降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
电 压	0.75	0.75	0.75
功 率	0.5	0.6	0.7
环境温度	按元件负荷特性曲线降额		

5.6.4 线绕电阻器

5.6.4.1 概述

线绕电阻器分精密型与功率型。线绕电阻器具有可靠性高、稳定性好、无非线性,以及电流噪声、温度和电压系数小的优点。

线绕电阻器降额的主要参数是功率、电压和环境温度。

5.6.4.2 应用指南

5.6.4.2.1 在 I、II 级降额应用条件下,不采用绕线直径小于 0.025mm 的电阻器。

5.6.4.2.2 线绕电阻器在低气压条件下工作时,应按元件相关详细规范的要求进一步降额使用。

5.6.4.2.3 功率型线绕电阻器可以经受比稳态工作电压高得多的脉冲电压,但在使用中应作相应的降额。见附录 D(参考件)。

5.6.4.2.4 功率型线绕电阻器的额定功率与电阻器底部散热面积有关,在降额设计中应考虑此因素。见附录 E(参考件)。

5.6.4.2.5 为保证电路长期工作的可靠性,设计应允许线绕电阻器有一定的阻值容差:精密型线绕电阻器为 $\pm 0.4\%$;功率型线绕电阻器为 $\pm 1.5\%$ 。

5.6.4.3 降额准则

线绕电阻器降额准则见表 19。降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B5 条。

表 19 线绕电阻器降额准则

降 额 参 数		降 额 等 级		
		I	II	III
电 压		0.75	0.75	0.75
功 率	精密型	0.25	0.45	0.6
	功率型	0.5	0.6	0.7
环境温度		按元件负荷特性曲线降额		

5.6.5 热敏电阻器

5.6.5.1 概述

热敏电阻器具有很高的电阻—温度系数(正或负的)。

热敏电阻器降额的主要参数是额定功率和环境温度。

5.6.5.2 应用指南

5.6.5.2.1 负温度系数型热敏电阻器,应采用限流电阻器,防止元件热失控。

5.6.5.2.2 任何情况下,即使是短时间也不允许超过电阻器额定最大电流和功率。

5.6.5.2.3 为保证电路长期可靠性的工作,设计应允许热敏电阻器阻值有 $\pm 5\%$ 的容差。

5.6.5.3 降额准则

热敏电阻器降额准则见表 20。

表 20 热敏电阻器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
功 率	0.50	0.50	0.50
环境温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_{AM}^D - 15$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM}^D 由元件相关详细规范确定。

5.7 电位器降额准则

5.7.1 非线绕电位器

5.7.1.1 概述

非线性绕电位器包括合成型电位器和薄膜型电位器。合成型电位器包括实心电位器、合成碳膜电位器、金属玻璃釉电位器和导电塑料电位器。薄膜型电位器主要有金属膜电位器和金属氧化膜电位器。

非线性绕电位器降额的主要参数是电压、功率和环境温度。

由于非线性绕电位器是部分接入负载,其功率的额定值应根据使用阻值按比例作相应的降额。

5.7.1.2 应用指南

5.7.1.2.1 随大气压力的减小,电位器可承受的最高工作电压也减小,使用时应按元件相关详细规范的要求作进一步降额。

5.7.1.2.2 在电位器重迭使用时,其使用功率应减小,以防温度过高。

5.7.1.2.3 为保证电路长期工作的可靠性,设计应允许电位器阻值有 $\pm 10\%$ 的漂移。

5.7.1.3 降额准则

非线性绕电位器降额准则见表 21。降额准则应用示例见附录 B(参考件)中 B5 条。

表 21 非线性绕电位器降额准则

降 额 参 数		降 额 等 级		
		I	II	III
电 压		0.75	0.75	0.75
功 率	合成、薄膜型	0.30	0.45	0.60
	精密塑料型	不采用 ¹⁾	0.50	0.50
环境 温度		按负荷特性曲线降额		

注:1)失效率高,接触电阻变大,在 I 级降额情况下不应采用,代之以固定电阻器。

5.7.2 线绕电位器

5.7.2.1 概述

按线绕电位器的结构和功率额定值,可将其分为功率电位器、普通电位器和精密微调电位器。

线绕电位器降额的主要参数是电压、功率和环境温度。

由于线绕电位器是部分接入负载,其功率额定值应根据使用阻值按比例作相应的降额。

5.7.2.2 应用指南

5.7.2.2.1 随大气压力的减小,电位器可承受的最高工作电压也减小,使用时应按元件相关详细规范要求作进一步降额。

5.7.2.2.2 线绕电位器额定功率值的确定均已考虑一定的工作温度和散热面积,对不同的应用,应考虑其安装技术。

5.7.2.2.3 线绕电位器在实际使用中与“地”间电位差大于额定值时,应考虑附加的绝缘措施。

5.7.2.2.4 不推荐使用电阻合金线直径小于 0.025mm 的电位器。

5.7.2.2.5 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许线绕电位器有一定的阻值容差:精密线

绕电位器为±0.4%，功率型线绕电位器为±1.5%。

5.7.2.3 降额准则

线绕电位器的降额准则见表22。降额准则应用示例见附录B(参考件)中B5条。

表22 线绕电位器降额准则

降额参数		降额等级		
		I	II	III
电 压		0.75	0.75	0.75
功 率	普 通 型	0.30	0.45	0.50
	非密封功率型 ¹⁾	—	—	0.70
	微调线绕型	0.30	0.45	0.50
环境温度		按负荷特性曲线降额		

注:1)I、II级降额不使用非密封功率电位器。

5.8 电容器降额准则

5.8.1 固定纸/塑料薄膜电容器

5.8.1.1 概述

固定纸/塑料薄膜电容器包括纸介、金属化纸、金属化塑料、穿心等薄膜电容器。薄膜电容器的绝缘电阻高,介质吸收低,但易老化,耐热性差。

固定纸/塑料薄膜电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.1.2 应用指南

5.8.1.2.1 使用中电容器的直流电压与交流峰值电压之和不得超过降额后的直流工作电压。

5.8.1.2.2 使用中交流峰值电压与直流额定电压之比不得超过元件技术规范规定的限值。

5.8.1.2.3 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.1.2.4 金属化纸介电容器直流工作电压的过度降额将使电容器的自愈能力下降。

5.8.1.2.5 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许电容器电容有±2%的容差和50%的绝缘电阻下降。

5.8.1.3 降额准则

固定纸/塑料薄膜电容器的降额准则见表23,降额曲线示例及说明见附录B(参考件)中B6条。

表23 固定纸/塑料薄膜电容器降额准则

降额参数	降额等级		
	I	II	III
直流工作电压	0.50	0.60	0.70
环境温度 ℃	$T_{AM}^{1)} - 10$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.8.2 固定玻璃釉电容器

5.8.2.1 概述

玻璃釉电容器具有损耗因子低,温度稳定性好,绝缘电阻高的特点。

固定玻璃釉电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.2.2 应用指南

5.8.2.2.1 使用中电容器直流电压与交流峰值之和不得超过降额后的直流工作电压。

5.8.2.2.2 在交流电路中工作时,电容器交流电压最大值不应超过元件相关详细规范规定的限值。

5.8.2.2.3 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.2.2.4 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许电容器电容有 $\pm 0.2\%$ 或 0.5pF 的容差(取其较大值)。

5.8.2.3 降额准则

固定玻璃釉电容器的降额准则见表 24。降额曲线示例及说明见附录 B(参考件)的 B6 条。

表 24 固定玻璃釉电容器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
直流工作电压	0.50	0.60	0.70
环境温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{AM}} - 10$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.8.3 固定云母电容器

5.8.3.1 概述

云母电容器具有损耗因子小,绝缘电阻大,温度、频率稳定性、耐热性好的特点。但非密封云母电容器耐潮性差。

云母电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.3.2 应用指南

5.8.3.2.1 使用中云母电容器的直流电压与交流峰值电压之和不得超过降额后的直流工作电压。

5.8.3.2.2 在交流电路工作时,交流电压最大值不应超过元件相关详细规范的规定。

5.8.3.2.3 电容器在脉冲电路中工作时,脉冲电压峰值不应超过元件的额定直流工作电压。

5.8.3.2.4 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.3.2.5 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许电容器电容有 $\pm 0.5\%$ 的容差。

5.8.3.2.6 在高频电路中,通过电容器的电流不应超过公式 1 的计算值:

$$I = K / (\sqrt{f}) \dots\dots\dots (1)$$

式中: I ——电流,A;

f ——频率,Hz;

K ——系数,通常 $K=2$ 。

5.8.3.3 降额准则

固定云母电容器的降额准则见表 25。降额曲线示例及说明见附录 B(参考件)中 B6 条。

表 25 固定云母电容器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
直流工作电压	0.50	0.60	0.70
环境温度 °C	$T_{AM}^D - 10$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.8.4 固定陶瓷电容器

5.8.4.1 概述

固定陶瓷电容器绝缘电阻高,对温度、频率稳定性较好。

固定陶瓷电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.4.2 应用指南

5.8.4.2.1 使用中电容器的直流电压与交流峰值电压之和不得超过降额后的直流工作电压。

5.8.4.2.2 陶瓷电容器耐热性能较差。焊接温度过高可能损伤密封或使电极与引出线连接变差,温度突变也可能使密封与介质破损。

5.8.4.2.3 穿心电容器电流应限制在内电极额定电流(与内电极直径有关)的 80%。

5.8.4.2.4 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.4.2.5 为保证电路长期可靠的工作,设计应允许瓷介电容器有 $\pm 0.2\%$ 或 0.5pF (取较大值)的电容容差;普通陶瓷电容器有 $\pm 25\%$ 的电容容差;温度补偿陶瓷电容器有 $\pm 1.5\%$ 的电容容差。

5.8.4.3 降额准则

固定陶瓷电容器的降额准则见表 26。降额曲线示例及说明见附录 B(参考件)中 B6 条。

表 26 固定陶瓷电容器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
直流工作电压	0.50	0.60	0.70
环境温度 °C	$T_{AM}^D - 10$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.8.5 电解电容器

5.8.5.1 概述

电解电容器按极性可分为有极性、无极性电容器,按正极所用金属可分为铝、钽、钛、钽银合金型电解电容器。

电解电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.5.2 应用指南

5.8.5.2.1 铝电解电容器不能承受低温和低气压,因此只限于地面使用。

5.8.5.2.2 使用中电解电容器的直流电压与交流峰值电压之和不得超过降额后的直流工作电压。对有极性的电容器,交流峰值电压应小于直流电压分量。

5.8.5.2.3 固体钽电容器的漏电流将随着电压和温度的增高而加大。这种情况有可能导致漏电流“雪崩现象”，而使电容器失效。为防止这种现象，在电路设计中应有不小于每伏 3Ω 的等效串联阻抗。固体钽电容器不能在反向波动电流条件下工作。可承受的反向电压见相关详细规范。

5.8.5.2.4 非固体钽电容器在有极性的条件下不允许加反向电压。

5.8.5.2.5 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.5.2.6 为保证电路长期可靠的工作，设计应允许固体钽电容器有 $\pm 10\%$ 的电容容差和 100% 的漏电流增量，非固体钽电容器有 $\pm 15\%$ 的电容容差和 50% 的漏电流增量， 100% 的损耗系数增加。

5.8.5.3 降额准则

电解电容器降额准则见表 27。降额曲线示例及说明见附录 B(参考件)中 B6 条。

表 27 电解电容器降额准则

降 额 参 数		降 额 等 级		
		I	II	III
铝电解	直流工作电压	—	—	0.75
	环境温度 $^{\circ}\text{C}$	—	—	$T_{AM}^{1)} - 20$
钽电解	直流工作电压	0.50	0.60	0.70
	环境温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_{AM}^{1)} - 20$		

注:1)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.8.6 可变电容器

5.8.6.1 概述

可变电容器可分为活塞式管状微调可变电容器和气体或真空介质、陶瓷和玻璃外壳可变电容器。

可变电容器降额的主要参数是工作电压和环境温度。

5.8.6.2 应用指南

5.8.6.2.1 使用中电容器直流电压与交流峰值电压之和不得超过电容器降额后的直流工作电压。

5.8.6.2.2 电容器温度为环境温度与交流负载引起的外壳温升之和。

5.8.6.2.3 为保证电路长期可靠地工作，设计应允许电容器有 $\pm 5\%$ 的电容容差。

5.8.6.3 降额准则

可变电容器降额准则见表 28。降额曲线示例及说明见附录 B(参考件)中 B6 条。

表 28 微调电容器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
直流工作电压	$0.30 - 0.40^{1)}$	0.50	0.50
环境温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_{AM}^{2)} - 10$		

注:1)活塞式可变电容器取值 0.30,圆筒式可变电容器取值 0.40。

2)最高额定环境温度 T_{AM} 由元件相关详细规范确定。

5.9 电感元件降额准则

5.9.1 概述

电感元件包括各种线圈和变压器。电感元件降额的主要参数是热点温度。

5.9.2 应用指南

5.9.2.1 为防止绝缘击穿,线圈的绕组电压应维持在额定值。

5.9.2.2 工作在低于其设计频率范围的电感元件会产生过热和可能的磁饱和,使元件的工作寿命缩短,甚至导致线圈绝缘破坏。

5.9.3 降额准则

电感元件的热点温度额定值与线圈绕组的绝缘性能、工作电流、瞬态初始电流及介质耐压有关。热点温度确定方法见附录 F(参考件)。绕组电压和工作频率是固定的,不能降额。

电感元件的降额准则见表 29。

表 29 电感元件降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
热点温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_{HS}^{1)} - (40 \sim 25)$	$T_{HS} - (25 \sim 10)$	$T_{HS} - (15 \sim 0)$
工作电流	0.6~0.7	0.6~0.7	0.6~0.7
瞬态电压/电流	0.9	0.9	0.9
介质耐压	0.5~0.6	0.5~0.6	0.5~0.6
电 压 ²⁾	0.70	0.70	0.70

注:1) T_{HS} 为额定热点温度。

2)只适用于扼流圈。

5.10 继电器降额准则

5.10.1 概述

继电器品种繁多,但就其内部结构而言,主要有衔铁式和舌簧式两种。

继电器降额的主要参数是连续触点电流、线圈工作电压、线圈吸合/释放电压、振动和温度。

5.10.2 应用指南

5.10.2.1 切忌用触点并联方式来增加电流量。因为触点在吸合或释放瞬间并不同时通断,这样有可能在一个触点上通过全部负载电流,使触点损坏。

5.10.2.2 电感、电容和白炽灯泡负载的开/关瞬间,其瞬态脉冲电流可比稳态电流大十倍。这种瞬态脉冲电流超过继电器的额定电流时,将严重损伤触点,大大降低继电器的工作寿命。因此应采取相应的防范措施。

5.10.2.3 继电器吸合/释放瞬时的触点电弧会引起金属迁移和氧化,使触点表面变得粗糙,进而出现接触不良或释放不开的问题。使用中应有消弧电路。

5.10.2.4 环境温度的升高,将使线圈电阻加大。为使继电器正常工作,需有更大的线圈驱动

功率。

5.10.2.5 继电器触点吸合最小维持电压(电流或交流有效值)为额定值的 0.9,最小线圈电压(有启动特性要求)为额定短时启动电压的 1.1。

5.10.3 降额准则

继电器降额准则见表 30。

表 30 继电器降额准则

降 额 参 数		降 额 等 级			说 明
		I	II	III	
连续 触点 电 流	小功率负载(<100mW)	—	—	—	不降额
	电阻负载	0.5	0.75	0.90	
	电容负载(最大浪涌电流)	0.5	0.75	0.90	
	电感负载	0.5	0.75	0.90	电感额定电流的 电阻额定电流的
		0.35	0.40	0.75	
	电机负载	0.50	0.75	0.90	电机额定电流的 电阻额定电流的
0.15		0.20	0.75		
灯丝负载	0.50	0.75	0.90	灯泡额定电流的 电阻额定电流的	
	0.07~0.08	0.10	0.30		
触点功率		0.40	0.50	0.70	用于舌簧水银继电器 (伏安)
线圈释 放电压	最大允许值	1.10			
	最小允许值	0.90			
温度		额定值减 20℃			
振动限值		额定值的 60%			
工作寿命(循环次数)		0.50	—	—	

5.11 开关降额准则

5.11.1 概述

开关主要有拨动式、旋转式、揿压式和敏感式四种类型。

开关降额的主要参数是触点电流、电压和功率。

5.11.2 应用指南

5.11.2.1 开关触点可并联使用,但不允许用这种方式达到增加触点电流量的目的。

5.11.2.2 在高阻抗电路中使用的开关,须有足够的绝缘电阻(大于 1000MΩ)。

5.11.2.3 低温引起的湿气冷凝可能使开关触点污染或短路,应注意开关使用所在高度(气

压)的变化对温度和湿度的影响。

5.11.3 降额准则

开关降额准则见表 31。

5.12 电连接器降额准则

5.12.1 概述

电连接器包括普通、印制线路板和同轴电连接器。影响电连接器可靠性的主要因素有插针/孔材料、接点电流、有源接点数目、插拔次数和工作环境。

电连接器降额的主要参数是工作电压、工作电流和温度。

5.12.2 应用指南

5.12.2.1 电连接器有源接点数目过大(如大于 100),应采用接点总数相同的两个电连接器,这样可以增加可靠性。

表 31 开关降额准则

降 额 参 数		降 额 等 级			说 明
		I	II	III	
连 续 触 点 电 流	小功率负载(小于 100mW)	—	—	—	不降额
	电阻负载	0.50	0.75	0.90	
	电容负载	0.50	0.75	0.90	电阻额定电流的
	电感负载	0.50	0.75	0.90	电感额定电流的
		0.35	0.40	0.50	电阻额定电流的
	电机负载	0.50	0.75	0.90	电机额定电流的
		0.15	0.20	0.35	电阻额定电流的
	灯泡负载	0.50	0.75	0.90	灯泡额定电流的
	0.07~0.08	0.10	0.15	电阻额定电流的	
触点额定电压		0.40	0.50	0.70	
触点额定功率		0.40	0.50	0.70	舌簧或水银开关

5.12.2.2 为增加接点电流,可将电连接器的接触对并联使用。每个接触对应按规定对电流降额,由于每个接触对的接触电阻不同,电流也不相同,因此在正常降额的基础上需再增加 25% 余量的接触对数。(例如连接 2A 的电流,采用额定电流 1A 的接触对,在 I 级降额的情况下,需要 5 个接触对并联)。

5.12.2.3 在较低气压下使用的电连接器应进一步降额,防止电弧对电连接器的损伤。

5.12.3 降额准则

电连接器降额准则见表 32。

表 32 电连接器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
工作电压(DC 或 AC) ¹⁾	0.50	0.70	0.80
工作电流	0.50	0.70	0.85
温度 °C	T _M ²⁾ -50	T _M -25	T _M -20

注:1)电连接器工作电压的最大值将随其工作高度的增加而下降。它们的关系应见产品的相关详细规范。电压降额的最终取值应为表 32 和相关详细规范限值中较小的值。

2)最高接触对额定温度 T_M 由电连接器相关详细规范确定,它应包括环境温度和功耗热效应引起的温升的组合。

5.13 导线与电缆降额准则

5.13.1 概述

导线与电缆主要有三种类型:同轴(射频)电缆、多股电缆和导线。影响导线与电缆可靠性的主要因素是导线间的绝缘和电流所引起的温升。

导线与电缆降额的主要参数是应用电压和应用电流。

5.13.2 应用指南

5.13.2.1 导线的截面尺寸、韧度和挠性应能提供足够安全的电流负载能力和强度。一般情况下不宜选用过细的导线。

5.13.2.2 聚氯乙烯绝缘的电缆不得用于航空、航海和航天产品上。

5.13.3 降额准则

5.13.3.1 导线与电缆的电流降额要求与其单根导线截面积、绝缘层的额定温度和线缆捆扎导线数有关。导线与电缆电流的降额准则见表 33。

5.13.3.2 当导线成束时,每一根导线设计最大电流按公式 2 或公式 3 降额:

$$I_{bw} = I_{sw} \times (29 - N)/28 \quad (\text{当 } 1 < N \leq 15) \quad \dots\dots\dots (2)$$

或
$$I_{bw} = 1/2 I_{sw} \quad (\text{当 } N > 15) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: I_{bw} ——一束导线中每根导线的最大电流, A;

I_{sw} ——单独一根导线的最大电流, A;

N ——一束导线的导线数。

5.13.3.3 表 33 降额准则仅适用于绝缘导线的额定温度为 200℃的情况,对绝缘导线额定温度为 150℃,135℃和 105℃的情况,应在表 33 所示降额值的基础上再分别降额 0.8,0.7,0.5。

表 33 导线、电缆降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级														
	I					II					III				
最大应用电压	最大绝缘电压规定值的 50%														
最大应用 电流 A	导线线规 (A _{wc})	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
	单根导线 电流(I _{sw})	1.3	1.8	2.5	3.3	4.5	6.5	9.2	13.0	17.0	23.0	33.0	44.0	60.0	81.0

5.14 旋转电器降额准则

5.14.1 概述

旋转电器包括电机、自整角机、分解器和计时器等。电机包括交流电机和直流电机。其中交流电机又分同步电机和异步电机。

旋转电器降额的主要参数是温度和负载。

5.14.2 应用指南

5.14.2.1 温度是影响旋转电器寿命的最主要因素。温度过高会使绕组绝缘失效；温度过低可能使轴承失效。合适的工作环境温度范围为 $0\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

5.14.2.2 应保持额定的电压值，以保证电机、自整角机/分解器最高的效率和可靠性。

5.14.2.3 潮湿和污染易使绕组绝缘性能下降，产生低阻电泄漏。

5.14.2.4 电机负载和转速影响它们的效率和工作寿命。过载或低速运转可能在绕组中产生高温和轴承过载。

5.14.2.5 自整角机/分解器属低速部件，转速过快是有害的。

5.14.3 降额准则

旋转电器的降额准则见表 34。

表 34 电机降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级			说 明
	I	II	III	
工作温度 $^{\circ}\text{C}$	$T_M^D - 40$	$T_M - 20$	$T_M - 15$	
低温极限 ²⁾ $^{\circ}\text{C}$	0			
轴承负载	0.75	0.90	0.90	

注：1)最高额定工作温度 T_M 因电机绕组绝缘等级的不同而异，可见电机相关详细规范。

2)低于 0°C 的情况下一般应采用加热或预防保护措施。

5.15 灯泡降额准则

5.15.1 白炽灯泡

5.15.1.1 概述

白炽灯灯丝的工作温度可达 $1600\sim 6500\text{K}$ 。

影响白炽灯工作寿命的主要因素是灯丝电压。

5.15.1.2 应用指南

5.15.1.2.1 工作环境温度超过 117°C ，灯丝根部焊点可能变软损坏。工作环境温度超过 260°C ，灯泡内的惰性气体分子运动加剧，会对灯丝发生撞击，甚至使玻璃罩变软、破裂。

5.15.1.2.2 灯丝电压对灯泡的亮度和寿命会有影响；开关次数也会影响灯泡的寿命。

5.15.1.2.3 温度交变对灯丝寿命有显著的影响。

5.15.1.3 降额准则

在功能允许情况下推荐的白炽灯电压的 I、II、III 级降额为额定电压的 0.94（对应灯泡亮度下降约 16%，寿命延长约 1 倍）。

5.15.2 氖/氩灯泡

5.15.2.1 概述

氩/氙灯是冷阴极气体放电型灯泡,在一个充满气体的玻璃罩内,当两个彼此间隔很近的电极间施加足够高的电压时,气体发生电离并发光。

影响氩/氙灯预期寿命的主要因素是灯泡电流和启动电压,电流过大或启动电压过高均会使灯泡的使用寿命缩短。

5.15.2.2 应用指南

5.15.2.2.1 氩/氙灯可在振动、冲击环境下工作,但环境温度不应超过 150℃。

5.15.2.2.2 灯泡的亮度与工作电流成正比,但工作电流的增加对灯泡工作寿命有显著影响。

5.15.2.2.3 为防止瞬态大电流对灯泡的损坏,须串联一个电阻器。

5.15.2.3 降额准则

在功能允许的情况下,推荐的氩/氙灯工作电流的 I、II、III 级降额为额定电流的 0.94(对应灯泡亮度下降约 16%,工作寿命延长约 1 倍)。

氩/氙灯的启动电压与工作电压不能降额。

5.16 电路断路器降额准则

5.16.1 概述

电路断路器主要有热、磁和热补偿三种类型。断路器种类的选用取决于导线的防护、负载要求、断路性能要求和环境条件。

电路断路器降额的主要参数是通过触点的电流和环境温度。

5.16.2 应用指南

5.16.2.1 正常负载出现大脉冲电流时,应具有延时中断性能。

5.16.2.2 长期工作的断路器,其最大断路电流会增加(约 10%),最小断路电流会下降(约 10%)。

5.16.3 降额准则

电路断路器的降额准则见表 35。

表 35 电路断路器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级			说 明
	I	II	III	
断路器电流	0.75		0.90	阻性负载
	0.75		0.90	容性负载
	0.40		0.50	感性负载
	0.20		0.35	电机负载
	0.10		0.15	灯丝负载
环境温度 ℃	$T_{AM}^0 - 20$			

注:1)断路器最高额定环境温度 T_{AM} 由相关详细规范确定。

5.17 保险丝降额准则

5.17.1 概述

保险丝主要有正常响应、延时、快动作和电流限制四种类型。

保险丝降额的主要参数是电流。

5.17.2 应用指南

5.17.2.1 电路电压不得超过保险丝的额定工作电压,以防断路时产生电弧。

5.17.2.2 环境温度的变化会使保险丝的额定电流值变化,通常随着温度的增高,保险丝的额定电流值降低(见保险丝相关详细规范)。

5.17.2.3 强振动和冲击可能使保险丝断路。

5.17.2.4 在空间环境中保险丝的特性可能发生变化,因此在航天器中使用保险丝应当慎重;尽可能避免使用保险丝。

5.17.3 降额准则

保险丝降额准则见表 36。

表 36 保险丝降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级			说 明
	I	II	III	
电流大于 0.5A	0.45~0.5			环境温度不大于 25℃ ¹⁾
电流小于等于 0.5A	0.20~0.40			

注:1)在环境温度超过 25℃时,保险丝电流需按 0.005/℃作附加降额。

5.18 晶体降额准则

5.18.1 概述

晶体的尺寸与它的工作频率有关。为了保持温度的稳定,有时晶体备有恒温槽。

晶体降额的主要参数是驱动功率和工作温度。

5.18.2 应用指南

5.18.2.1 高温、高湿环境易影响晶体的频率及其稳定性。

5.18.2.2 冲击和振动环境可能使易碎的晶体破损,尺寸较大的晶体工作频率亦可能因此而下降。

5.18.2.3 驱动电压过高可能使晶体承受的机械力超过它的弹性限而破碎。

5.18.3 降额准则

通常,晶体的驱动功率不能降额,因为它直接影响晶体的额定频率。

晶体的工作温度须保持在规定的限值范围内,以保证达到额定的工作频率。具体工作温度范围为:比最低额定温度高 10℃,比最高额定温度低 10℃。

5.19 电真空器件降额准则

5.19.1 概述

电真空器件包括阴极射线管和微波管。其中微波管又包括行波管、磁控管和速调管等。

5.19.2 应用指南

5.19.2.1 阴极射线管的大部分失效是热效应引起的阴极损坏,或振动、冲击引起的电子枪组件损坏。

5.19.2.2 管壳和阴极温度对阴极射线管的可靠性有重要影响。

5.19.2.3 设计应考虑保持阴极射线管不工作期间其阴极处于有电降温状态,以减少冷启动电流和热循环的影响。

5.19.3 降额准则

微波管降额准则见表 37。

表 37 微波管降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
温度 ℃	$T_{AM}^{11} - 20$		
输出功率	0.80		
反射功率	0.50		
占空比	0.75		

注:1) T_{AM}^{11} 为微波管最高额定环境温度,由相关详细规范确定。

5.20 声表面波器件降额准则

5.20.1 概述

声表面波器件有各种类型,其中应用最多的是瑞利波。声表面波激励方法应用最多的是叉指换能器法。

声表面波器件降额的主要参数是输入功率。

5.20.2 应用指南

5.20.2.1 长期过高的温度将使声表面波器件的晶体性能严重退化。

5.20.2.2 振动、冲击和温度交变循环数不应超过声表面波器件规定的额定值。

5.20.3 降额准则

声表面波器件的降额准则见表 38。

表 38 声表面波器件降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
输入功率	工作频率大于 100MHz		
	降低 +10dBm		
工作频率小于 100MHz		降低 +20dBm	

5.21 激光器件降额准则

5.21.1 概述

常用的激光器主要有六种类型:氮/氦、砷离子、CO₂ 密封、CO₂ 流、固态钕钇铝石榴石棒、固态红宝石棒。

5.21.2 降额准则

各种类型的激光器有独特的工作参数,并且这些参数是相互关连的。因此难以采用常规的降额方法对参数值加以限定。然而,在条件允许的情况下,设计应留出尽可能大的应力余量。

5.22 纤维光学器件降额准则

5.22.1 概述

纤维光学器件主要有四种类型:光纤光源、光纤探测器、光纤/光缆和光纤连接器。

光纤光源主要有两种类型:光发射二极管(LED)和注入式光激励二极管(ILD)。

光纤光源降额的主要参数是温度和功率。

光纤探测器目前使用的主要有两种类型:PIN 结构的硅二极管和 APD(雪崩光敏)结构的硅二极管。

光纤探测器降额的主要参数是温度和反向电压。

光纤/光缆就其结构形式可分为两种主要的类型:单纤光缆和多纤光缆。

光纤/光缆降额的主要参数是温度、张力、弯曲半径和核辐射剂量。

光纤连接器目前多用的是单接点的。

光纤连接器降额的主要参数是温度和插拔次数。

5.22.2 应用指南

5.22.2.1 注入式光激励二极管(ILD)光源须精心设计,以完全消除致使器件完全失效的过电流脉冲。

5.22.2.2 应考虑到器件的缓慢退化,光源输出功率应留有必要的设计余量。

5.22.2.3 应降低器件的温度,以延缓光源器件性能的退化。

5.22.2.4 降低和消除热和机械冲击,以及振动应力,以防止器件晶体缺陷的增大,使可用输出功率下降。

5.22.2.5 注入式光激励二极管(ILD)的过大的光输出功率可能使器件受损或失效。

5.22.2.6 APD(雪崩光敏)结构的硅二极管增益应留有必要的设计余量,以控制器件效率的下降和工作点的漂移。

5.22.2.7 光缆的主要失效模式是折断和性能衰退。主要原因是温度、核辐射和机械应力。其中温度变化可能在光纤上产生机械应力(光纤与光纤外罩热膨胀系数不同所致)。温度变化还会改变光纤外罩的折射系数,使光纤性能退化甚至失效。

5.22.2.8 光缆弯曲半径引起的张力可能会导致其折断,设计中应予以注意。

5.22.3 降额准则

5.22.3.1 光纤光源

光纤光源降额的主要参数是温度和光发射二极管(LED)的功率耗散(电压、电流),注入式光激励二极管(ILD)的光功率耗散。光纤光源降额准则见表 40。

表 40 光纤光源降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级			说 明
	I	II	III	
峰值光输出功率	0.50			适用于 ILD
电 流	0.50			适用于 LED
结 温	设法降低			结温与失效率成指数关系

5.22.3.2 光纤探测器

光纤探测器功率不需降额(内部功耗很小)。光纤探测器降额准则见表 41。

表 41 光纤探测器降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级			说 明
	I	II	III	
PIN 反向压降	0.60			
APD 反向压降	不降额			用于器件增益调节略低于击穿电压
结 温	设法降低			结温与失效率成指数关系

5.22.3.3 光纤/光缆

光纤/光缆降额准则见表 42。

表 42 光纤/光缆降额准则

降 额 参 数	降 额 等 级		
	I	II	III
温 度 ℃	上限额定值下降 20 下限额定值上升 20		
张 力	光 纤	耐拉试验规定值的 20%	
	光 缆	拉伸额定值的 50%	
弯曲半径	最小允许值的 200%		
核辐射	在产品相关详细规范基础上降额或加固		

5.22.3.4 光纤连接器

光纤连接器降额的主要参数是环境温度。光纤连接器环境温度的降额见本标准 5.12 条电

连接器降额准则中表 32。

6 说明事项

本标准是实施 GJB 450《装备研制与生产的可靠性通用大纲》和 GJB/Z 299A《电子设备可靠性预计手册》的配套标准。

元器件降额准则一览表见附录 G(参考件)。

附录 A

失效率模型与降额准则的确定

(参考件)

除了大量经验数据外,可以通过元器件失效率模型(见 GJB/Z 299A)分析推导出降额要求。以常用的硅 NPN 晶体管为例。

A1 晶体管的失效率模型

晶体管基本失效率 λ_b 模型如下式:

$$\lambda_b = A \cdot e^{(N_T/(T+273+\Delta T \cdot S))} \cdot e^{((T+273+\Delta T \cdot S)/T_{jm} \cdot P)} \dots\dots\dots (A1)$$

式中: A —— 失效率换算系数;

e —— 自然对数底, 2.718;

N_T, P —— 器件中的形状参数;

T_{jm} —— 最高允许结温(0 功率点), $^{\circ}\text{C}$;

T —— 工作温度(环境或壳温), $^{\circ}\text{C}$;

ΔT —— T_{jm} 与额定功率点最高允许温度之差, $^{\circ}\text{C}$;

S —— 应力比或降额因子。

A1 式中的参数除工作温度 T 和应力比 S 外,均为与晶体管型号、规格有关的常数。即基本失效率 λ_b 仅与工作温度 T 和应力比 S 有关。某型号硅 NPN 晶体管 λ_b 与 T 和 S 的关系曲线见图 A1。

A2 失效率随应力比的变化

图 A1 曲线表明应力比 S 从 0.9 变化到 0.1 时,对相同的工作环境温度 T ,基本失效率 λ_b 是连续下降的,曲线还表明对相同的应力比 S ,工作环境温度的下降也可以使基本失效率 λ_b 降下来。这就是应力和环境温度降额使用的机理。

由图 A1 曲线,对应某一确定的工作温度(例如 $T=25^{\circ}\text{C}$),可由图 A1 曲线的结果,绘出基本失效率变化 $\Delta\lambda_b$ 与应力比的关系曲线,见图 A2。

由图 A2 曲线可知当应力比 S 等于 0.9 时,基本失效率 λ_b 比应力比 S 等于 1.0(全负荷)时下降约 34%。曲线上部呈平坦趋势,表明过度的降额,失效率下降变化缓慢。确定晶体管降额的最大值为 0.5(I 级降额)是适宜的。

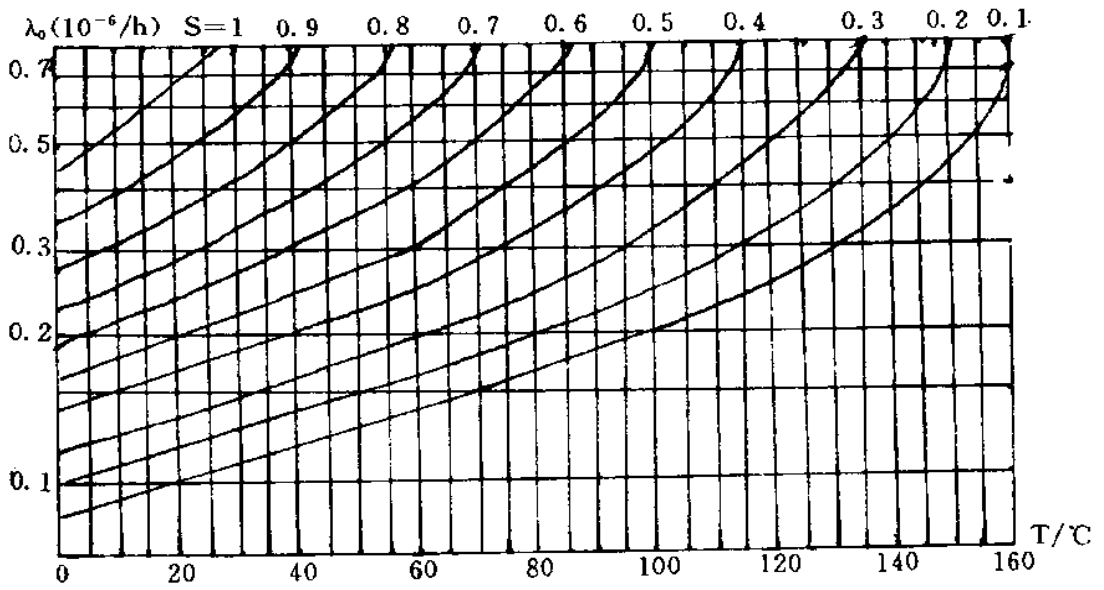


图 A1 某型号硅 NPN 晶体管基本失效率曲线

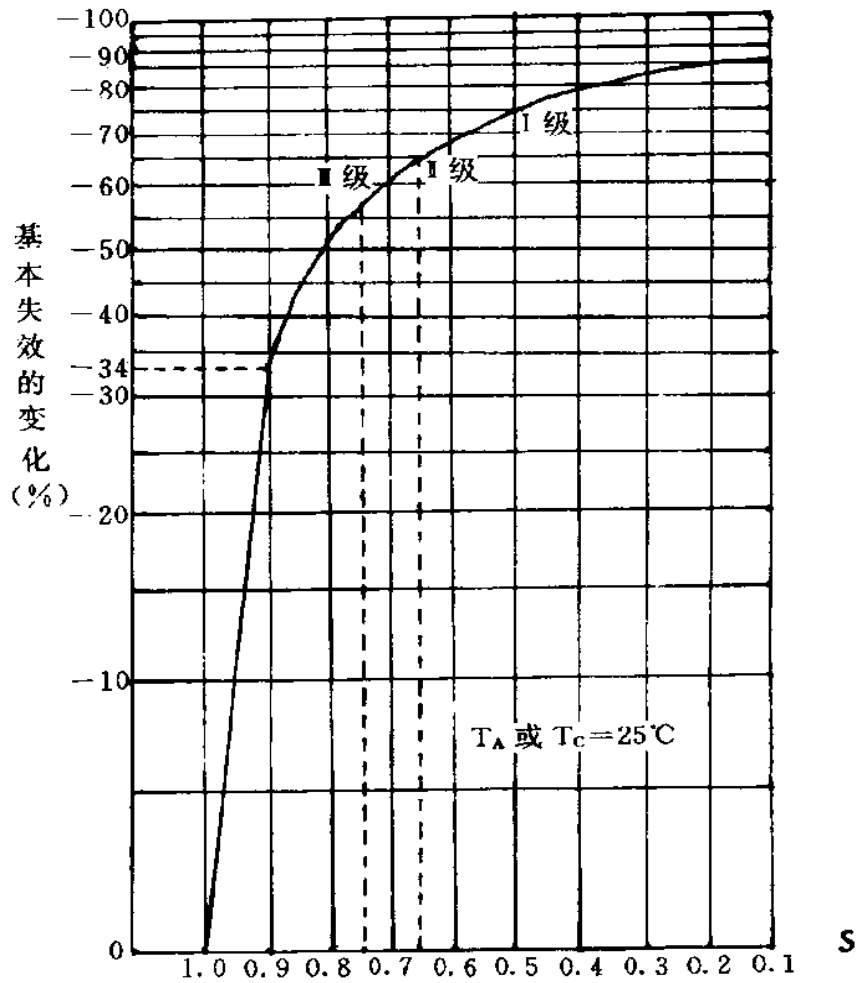


图 A2 某晶体管失效率变化与应力比关系曲线

附录 B

降额准则应用示例

(参考件)

B1 集成电路降额准则应用示例

B1.1 运算放大器降额准则应用示例

从数据手册上查得某型号运算放大器的额定值如下:

正电源电压 $V_{CC} = +22V$; 负电源电压 $V_{EE} = -22V$

输入差动电压 $V_{ID} = \pm 20V$; 输出短路电流 $I_{OS} = 20mA$

最高结温 $T_{jm} = 150^{\circ}C$

总功率 $P_{tot} = 500mW$; 热阻 $\theta_{JC} = 160^{\circ}C/W$

在 $70^{\circ}C$ 以上, 按 $-6.25mW/^{\circ}C$ 降额。

根据表 3 以 I 级降额为例计算得出:

正电源电压 $V_{CC} = +15.4V$; 负电源电压 $V_{EE} = -15.4V$

输入差动电压 $V_{ID} = \pm 12V$; 输出短路电流 $I_{OS} = 14mA$

总功率 $P_{tot} = 350mW$; 最高结温 $T_{jm} = 80^{\circ}C$

根据“输入电压在任何情况下不得超过电源电压”的原则, 输入差动电压 V_{ID} 应不大于 $\pm 15V$ 。II 级和 III 级降额的计算可依此类推。

为了使结温和功率同时满足表 3 的要求, 放大器必须根据不同的降额等级工作在图 B1 所示降额曲线的范围内。

B1.2 TTL 数字电路降额准则应用示例

从数据手册上查得某型号 TTL 门电路的额定值如下:

电源电压 $V_{CC} = 5.0 \pm 5\%V$; 电源电流 $I_{CC} = 27mA$ (不带负载)

输入高电平 $V_{IH} = 2.0V$; 输入低电平 $V_{IL} = 0.8V$

输出高电平 $V_{OH} = 2.4V$; 输出低电平 $V_{OL} = 0.4V$

扇出 $N_O = 20$; 热阻 $\theta_{JC} = 28^{\circ}C/W$

根据 5.1.2.3 条及表 4 可得降额后的扇出 N_O 及最高结温:

$N_O = 20 \times 0.8 = 16$;

I、II、III 级降额的最高结温分别为: $85^{\circ}C$ 、 $100^{\circ}C$ 、 $115^{\circ}C$ 。

最坏情况的静态功率 P_D ;

I 级 $P_{DI} = 5.15 \times 27 = 139.05mW$;

II、III 级 $P_{DII} = P_{DIII} = 5.25 \times 27 = 141.75mW$;

每个典型 TTL 门的 $V_{OL} = 0.4V$ 、 $I_{OL} = 1.6mA$, 当 $N_O = 16$ 时, 该电路所带的最大负载功率 $P_L = 16 \times 0.4 \times 1.6 = 10.24mW$

I 级总功率 $P_{tot} = 139.05 + 10.24 = 149.29mW \approx 0.149W$

II级、III级总功率 $P_{tot} = 141.75 + 10.24 = 151.99\text{mW} \approx 0.152\text{W}$

壳温 $T_c = T_m - P_{tot} \times \theta_{jc}$

对于I级 $T_{CI} = 85 - 0.149 \times 28 = 80.83^\circ\text{C}$;

II级 $T_{CII} = 100 - 0.152 \times 28 = 95.74^\circ\text{C}$;

III级 $T_{CIII} = 115 - 0.153 \times 28 = 110.74^\circ\text{C}$ 。

当电路的壳温超过上述范围时,功率(输出电流)必须减小,以保持结温在表4规定的范围之内。

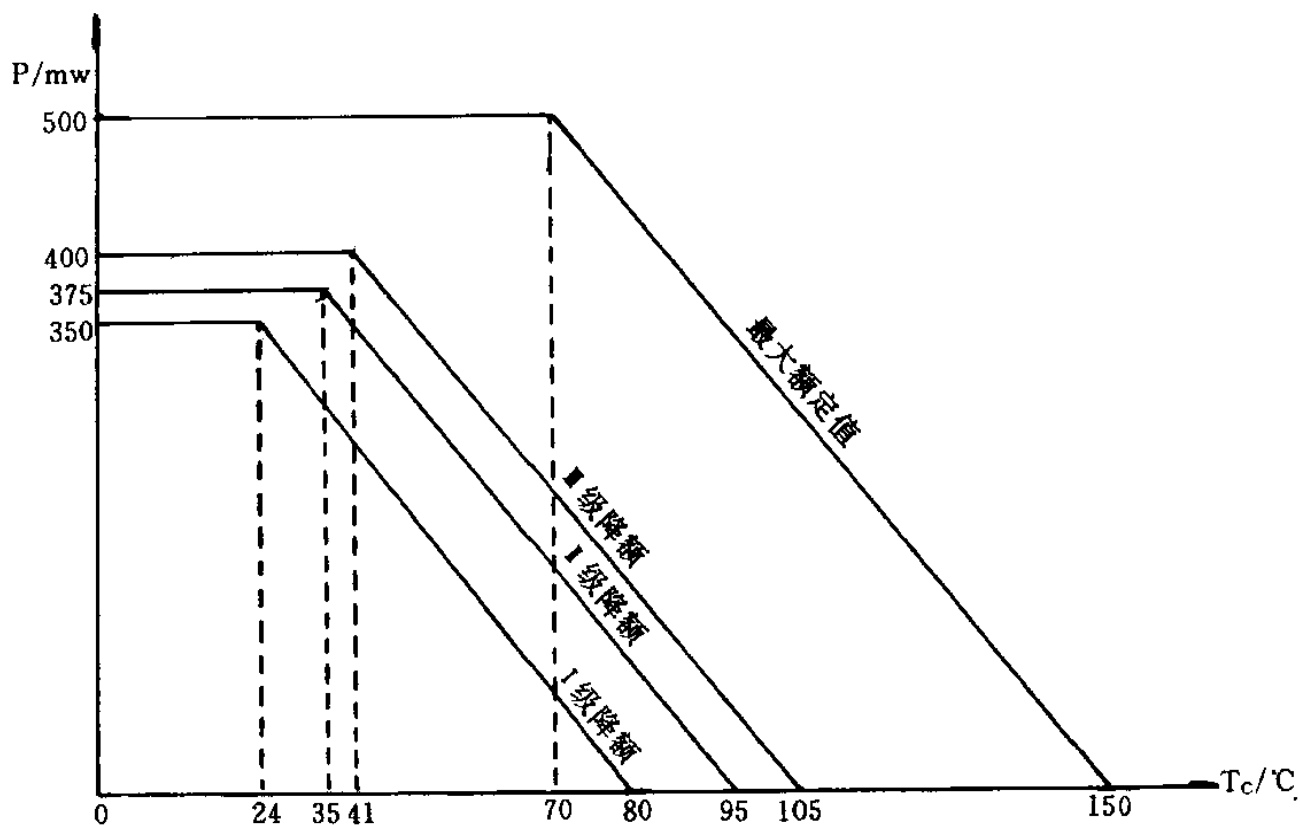


图 B1 运算放大器降额曲线

B2 晶体管降额准则应用示例

B2.1 功率降额

晶体管允许的总耗散功率与环境温度(或壳温)的关系可用图 B2 的“功率—温度负荷特性曲线”来表示。

小功率晶体管最大额定功率对应的环境温度通常在 $-55^\circ\text{C} \sim +25^\circ\text{C}$ 之间,当超过了温度上限后,其允许的总耗散功率值线性下降,直至下降到 0,此时的环境温度(或壳温)对应于晶体管的最高结温。曲线斜线部分的斜率约等于热阻的倒数,它与器件的物理常数有关。

图 B2(a)、(b)、(c)阴影部分分别为 I、II、III 级降额的允许工作区。降额的曲线均与额定值曲线平行。晶体管功率与环境温度(或壳温)的降额曲线示例见图 B3 和图 B4。

功率晶体管降额应同时考虑满足功率和温度的降额准则要求,其降额曲线见图 B5 所示。

B2.2 安全工作区降额

大功率晶体管的数据手册中通常给出一个确定的安全工作区(SOA),当器件在安全工作区内工作时,应保证不发生二次击穿现象。

图 B6 是大功率晶体管典型的直流工作安全工作区曲线。安全工作区降额应按表 9 对最大额定集电极电流和集电极—发射极电压进行降额。再对功率限值和二次击穿限值进行降额。安全工作区降额应用示例见图 B6。

B3 二极管降额准则应用示例

二极管允许的总耗散功率(或电流)与环境温度(或壳温)的关系可用“功率(或电流)—温度负荷曲线”表示(见图 B7)。

小电流或小功率二极管最大额定电流或功率对应的环境温度范围通常在 $-55^{\circ}\text{C}\sim+25^{\circ}\text{C}$ 之间,当超过了温度上限后,其允许的电流或功率将线性下降,直至下降到 0,此时的环境温度(或壳温)对应于二极管的最高结温。曲线斜线部分的斜率约等于热阻的倒数,它与器件的物理常数有关。

图 B7(a)、(b)、(c)阴影部分分别为 I、II、III 级降额的允许工作区。降额的曲线均与额定值曲线平行。

图 B8 和图 B9 分别为整流二极管和电压基准二极管降额曲线示例。

大电流整流管按电流和结温降额的示例见图 B10。

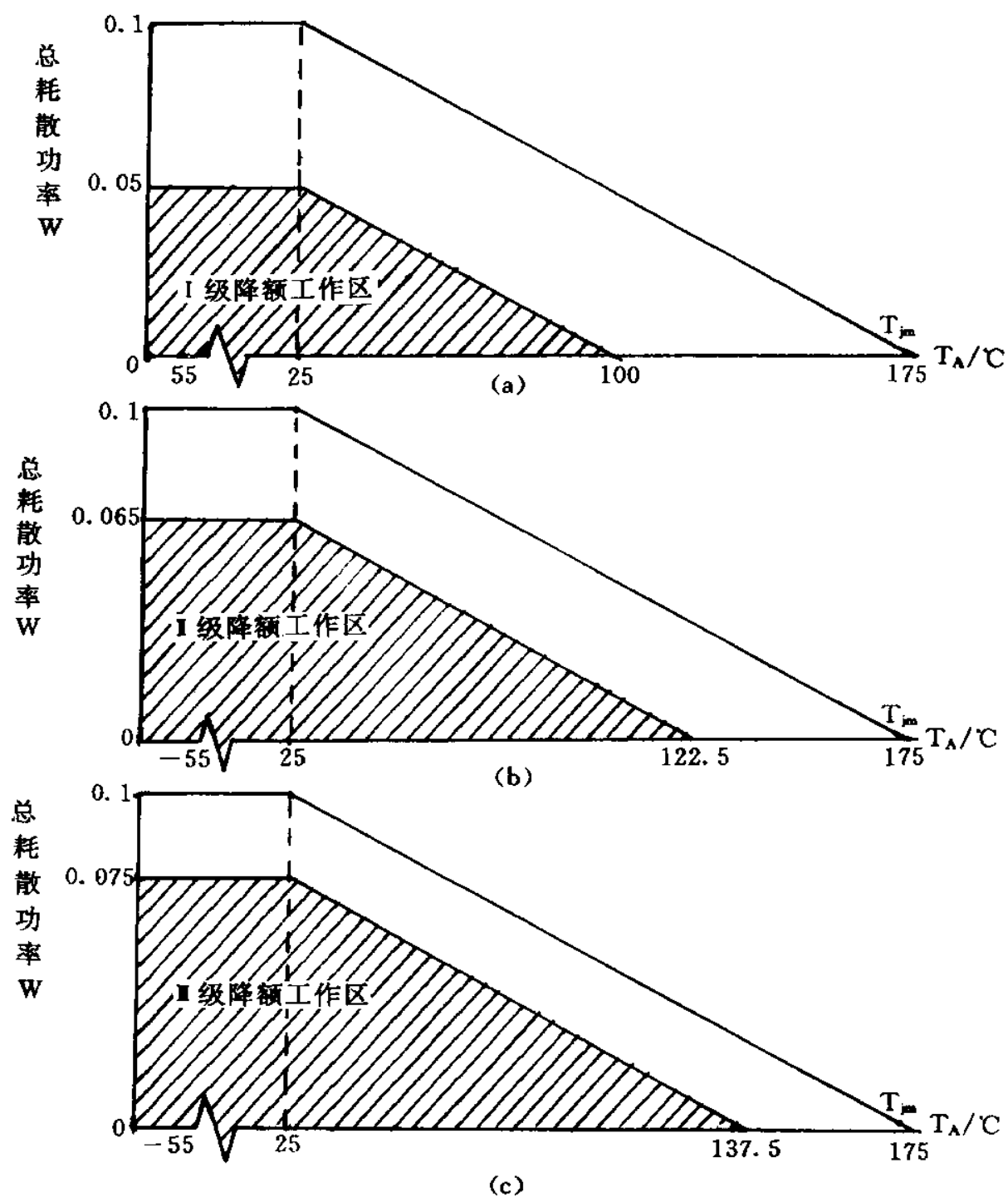


图 B2 晶体管功率降额曲线

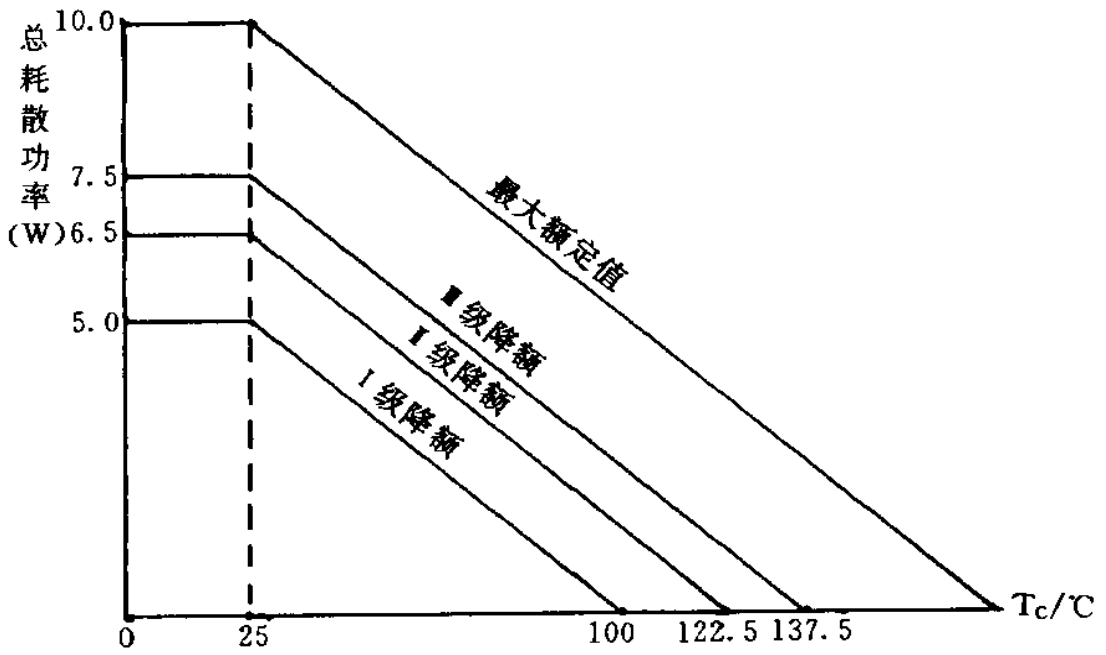


图 B3 开关晶体管功率—壳温降额曲线

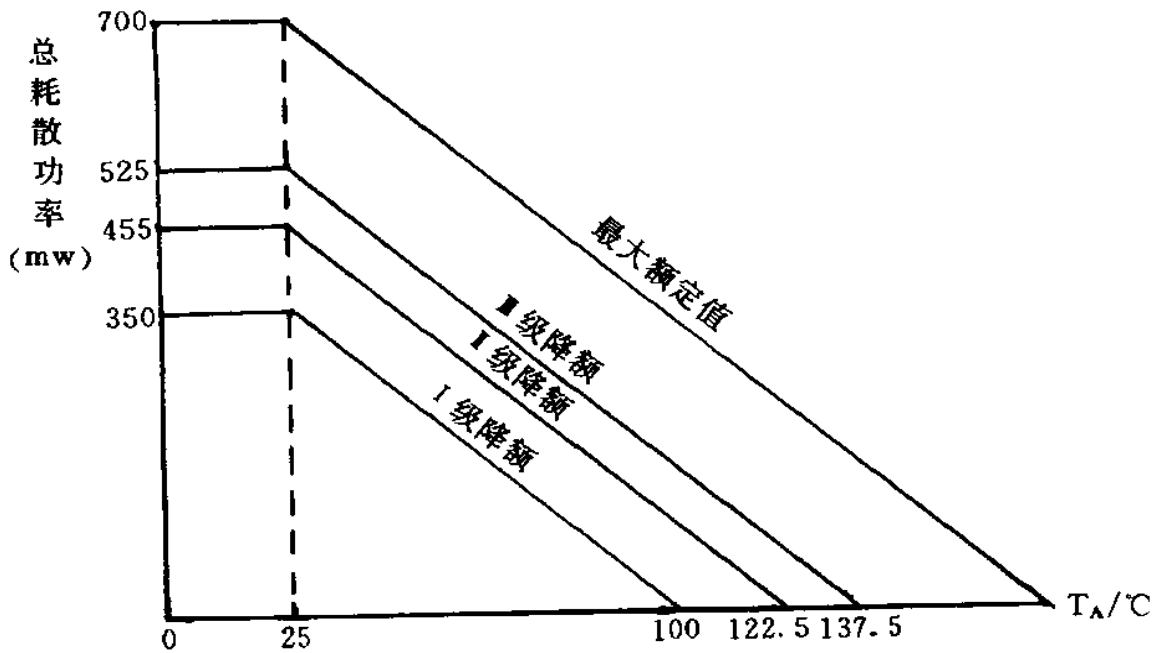


图 B4 高频晶体管功率—环境温度降额曲线

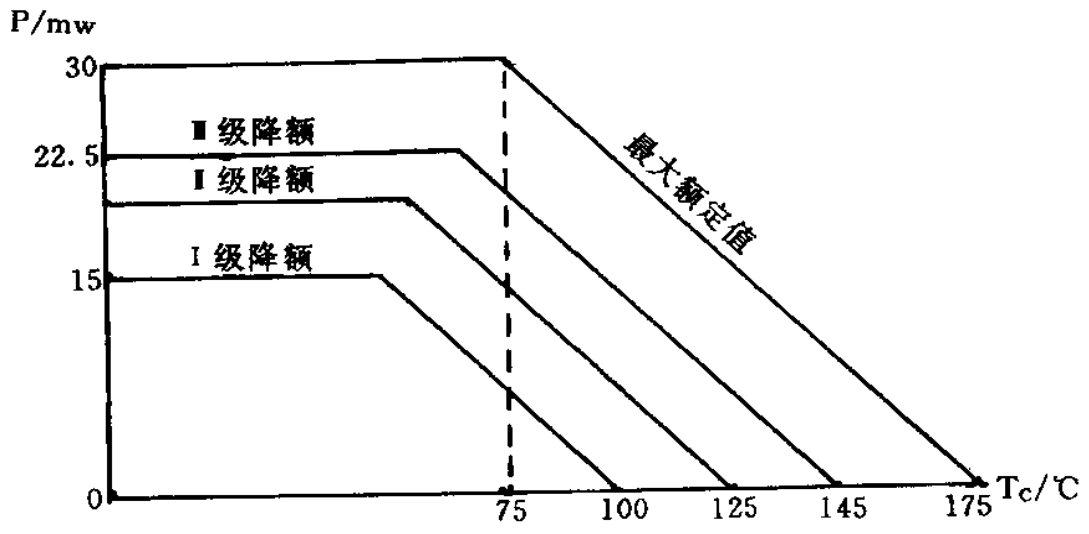


图 B5 功率晶体管降额曲线

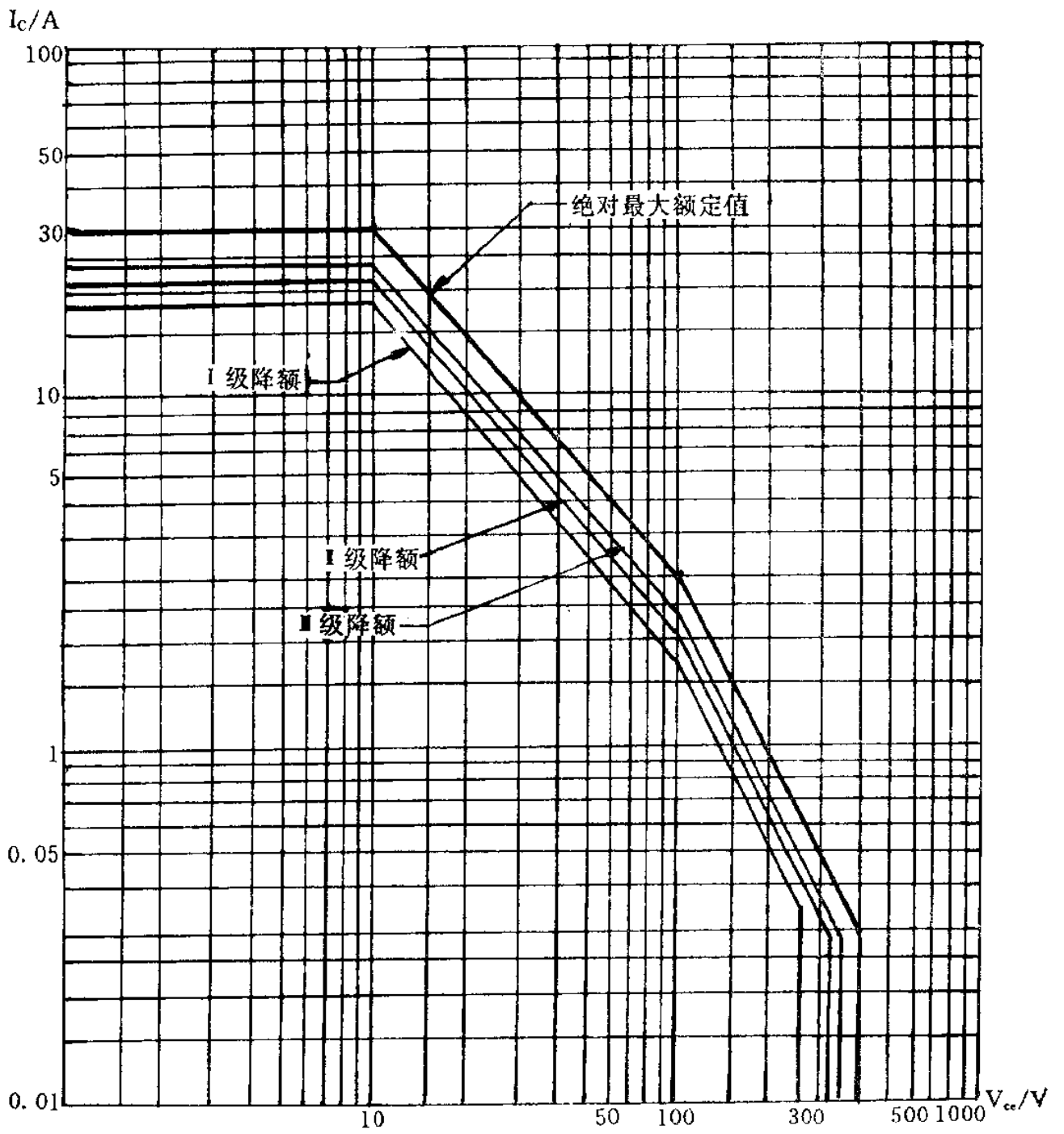


图 B6 大功率晶体管安全工作区降额

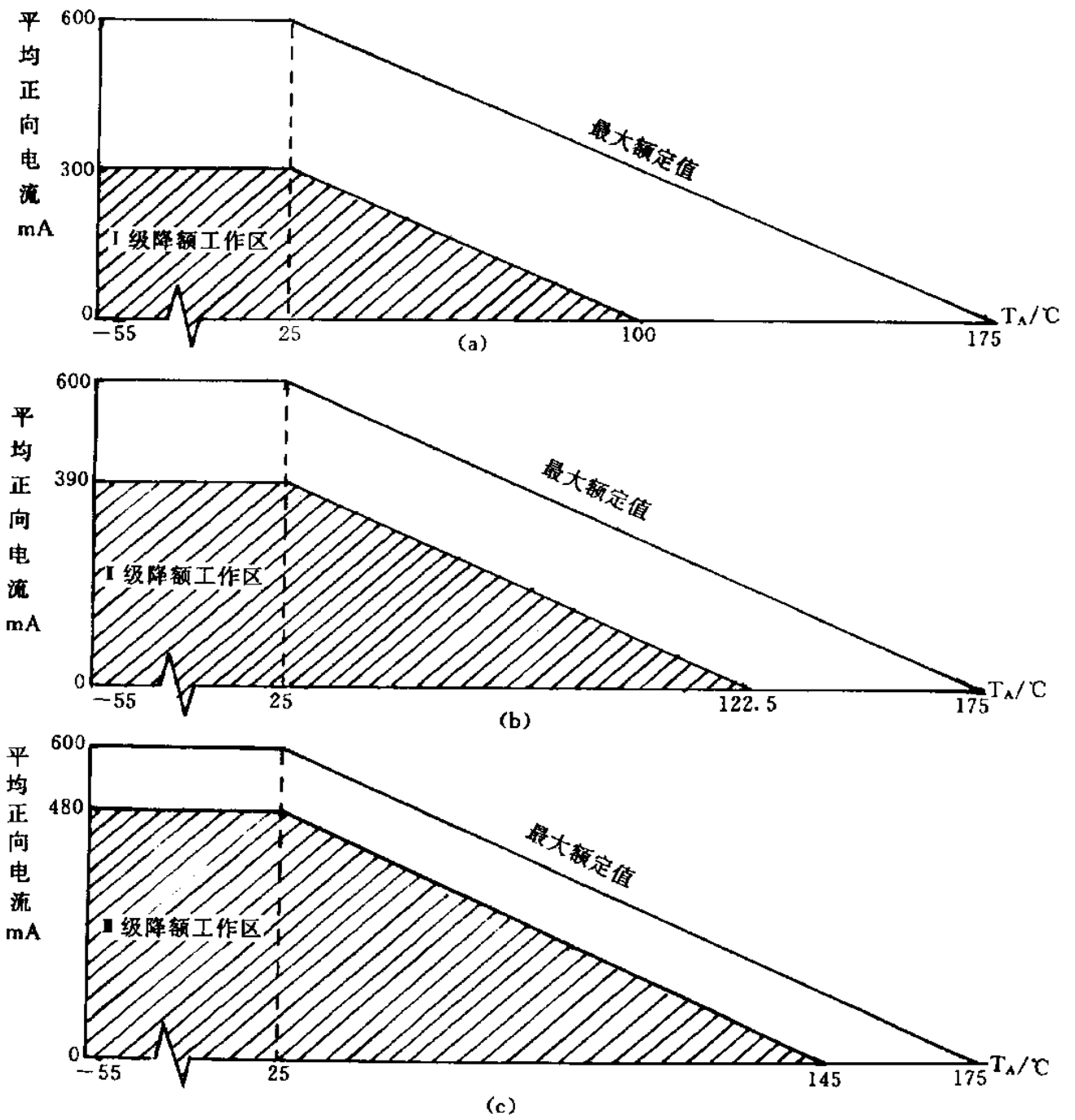


图 B7 开关二极管电流—环境温度降额

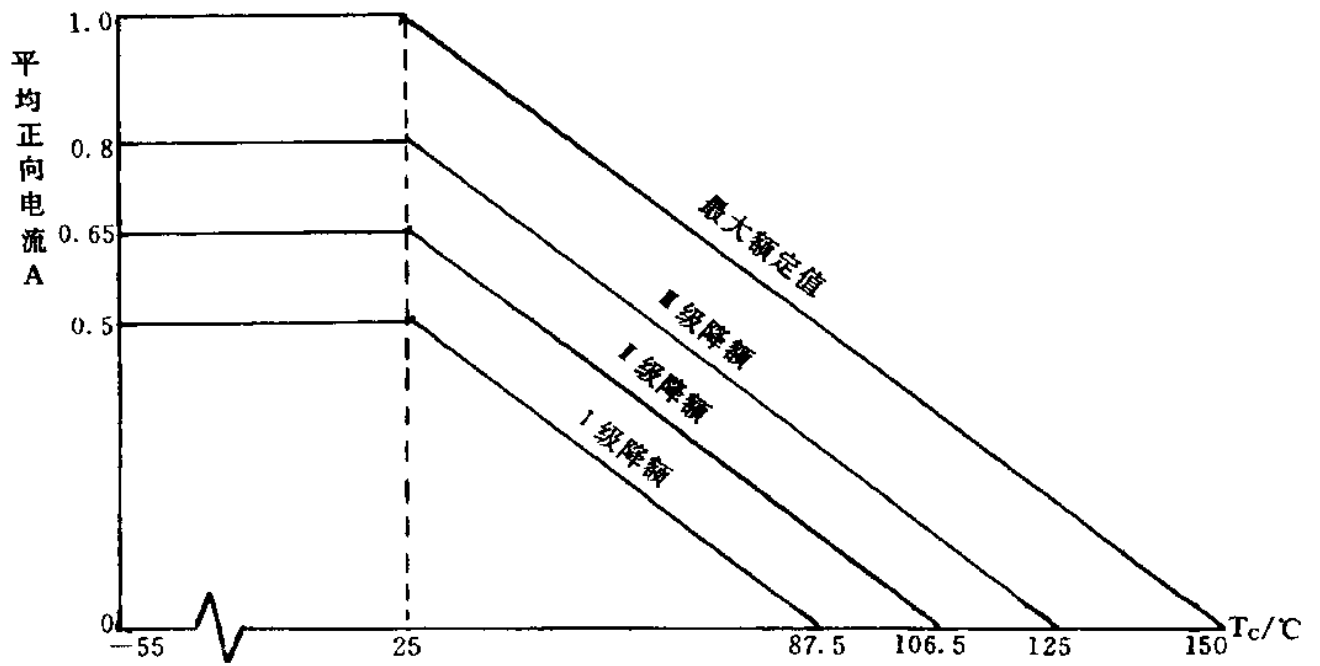


图 B8 整流二极管电流—环境温度降额

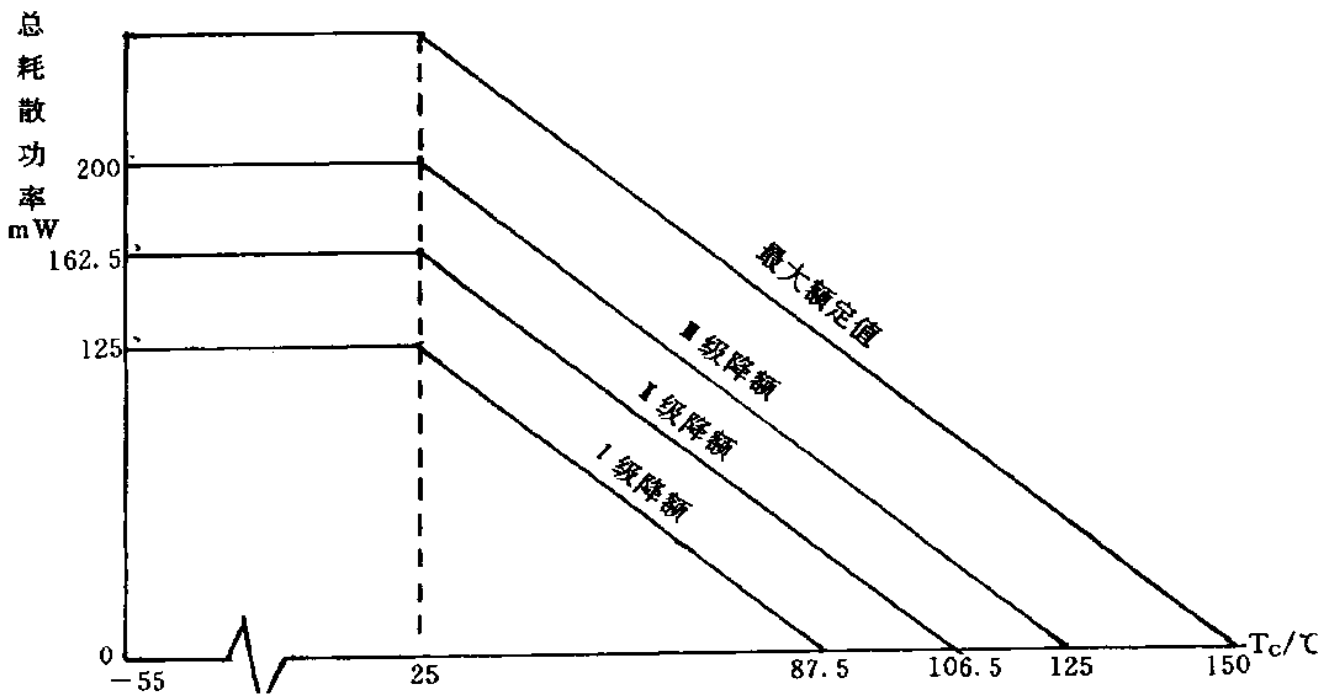


图 B9 稳压二极管功率—环境温度降额

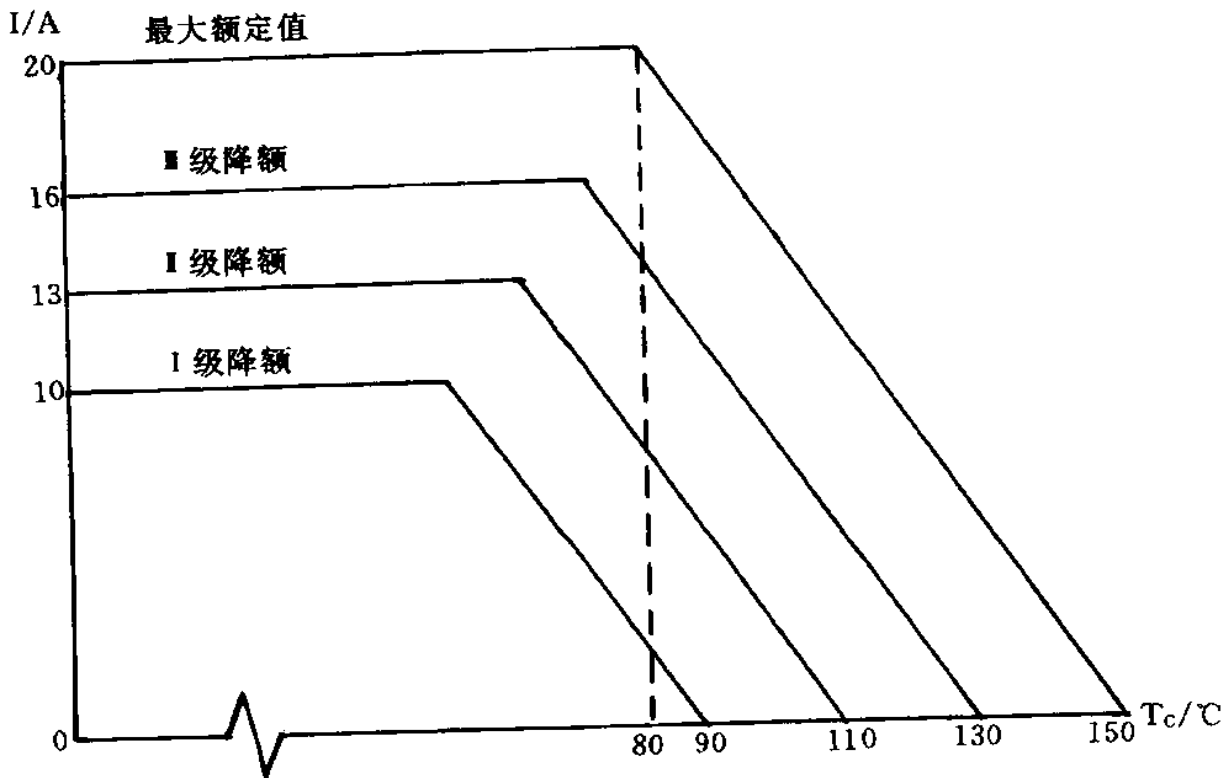


图 B10 大电流整流二极管降额曲线

B4 可控硅降额准则应用示例

可控硅降额准则应用与 B3 二极管降额准则应用示例相同。降额曲线示例见图 B11。

B5 电阻器降额准则应用示例**B5.1 合成型、薄膜型电阻器、电阻网络、线绕电阻器、电位器降额准则应用示例**

对应不同的电阻器,由额定电功率值,额定环境温度(见元件相关详细规范,图 B12 示例为 70°C)及电阻器零功率点的最高环境温度(图 B12 示例为 130°C),可直接作出电阻器负荷特性曲线。进而由功率降额要求画出与负荷特性曲线的平行线。由图 B12 可见,在环境温度不大于 70°C(元件额定功率允许的最高环境温度见相关详细规范)时,功率降额可以满足要求;在环境温度大于 70°C时,功率必须作进一步降额,以满足元件热点温度降额的要求。

B6 电容器降额准则应用示例

典型的电容器(包括固定和可变)的降额曲线示例如图 B13 所示。图中所示的某电容器的额定最高环境温度为 70°C,降额至 60°C,对应 I、II、III 级降额的工作直流电压与额定直流电压之比分别为 0.5、0.6 和 0.7。

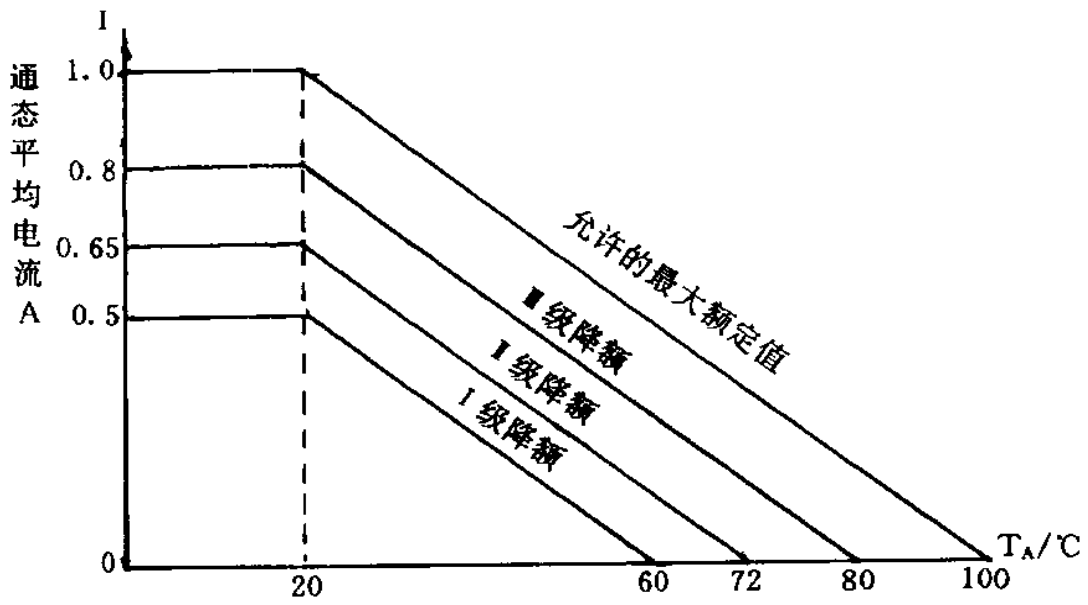


图 B11 可控硅降额曲线

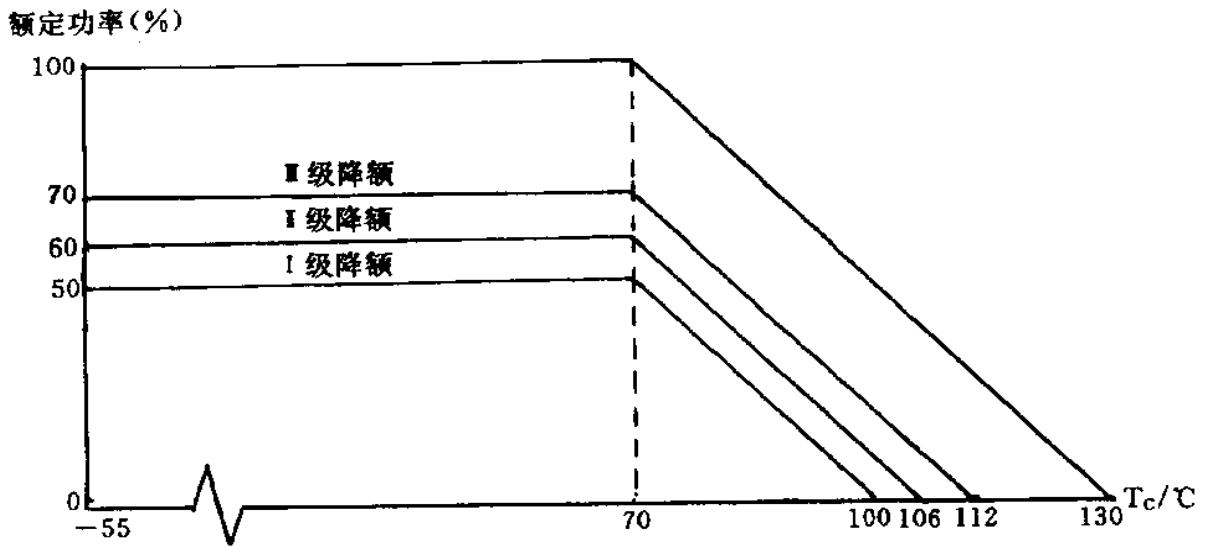


图 B12 某合成型电阻器降额曲线

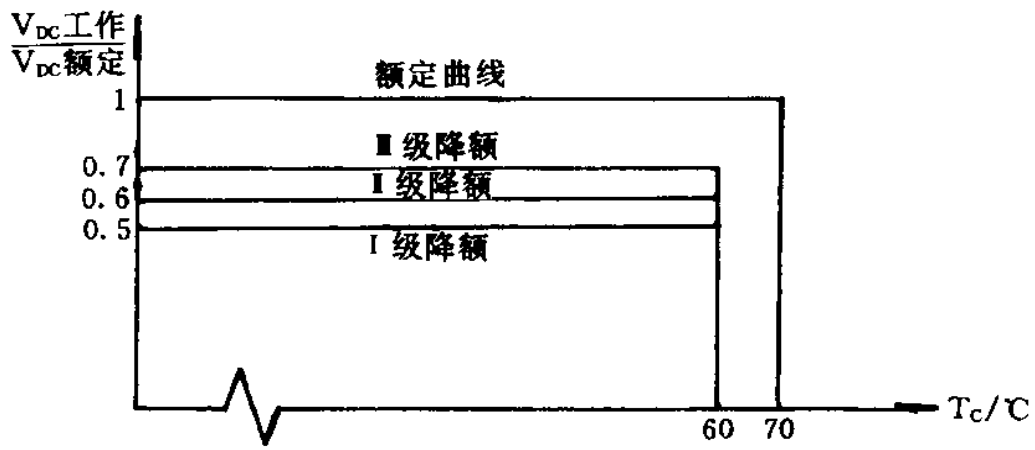


图 B13 电容器降额曲线

附录 C

集成电路、晶体管、二极管结温与环境温度的关系

(参考件)

C1 集成电路

集成电路可用下述近似公式计算结温。

C1.1 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):

$$T_j = T_A + 10 \dots\dots\dots (C1)$$

式中: T_A —— 环境温度, $^{\circ}\text{C}$; T_j —— 结温, $^{\circ}\text{C}$ 。

C1.2 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:

$$T_j = T_A + 25 \dots\dots\dots (C2)$$

C1.3 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:

$$T_j = T_A + 5 \dots\dots\dots (C3)$$

门数大于 30 个或晶体管数大于 120 个:

$$T_j = T_A + 13 \dots\dots\dots (C4)$$

C2 晶体管、二极管

设计中需要确定晶体管、二极管的实际结温, 而实际可以测到的只是晶体管、二极管的最高工作环境温度或壳温。二者关系如下:

C2.1 结温近似计算公式

当热阻未知时可按下述公式近似计算结温。

$$\text{小功率: 晶体管 } T_j = T_A + 30 \dots\dots\dots (C5)$$

$$\text{二极管 } T_j = T_A + 20 \dots\dots\dots (C6)$$

$$\text{中功率: 晶体管 } T_j = T_c + 30 \dots\dots\dots (C7)$$

$$\text{二极管 } T_j = T_c + 20 \dots\dots\dots (C8)$$

式中: T_j —— 晶体管或二极管结温, $^{\circ}\text{C}$; T_A —— 环境温度, $^{\circ}\text{C}$; T_c —— 管壳温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

C2.2 热阻计算法

C2.2.1 小功率器件

可用公式 C9 计算结温:

$$T_j = T_A + Q_{jA} \cdot P_j \dots\dots\dots (C9)$$

式中: T_j —— 结温, $^{\circ}\text{C}$; T_A —— 环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

Q_{jA} —— 结与环境间热阻, $^{\circ}\text{C}/\text{W}$;

P_j —— 平均耗散功率, W 。

$$Q_{jA} = (T_j(\max) - T_s) / (P_j(\max)) \dots\dots\dots (\text{C10})$$

式中: $T_j(\max)$ —— 器件额定结温, $^{\circ}\text{C}$;

T_s —— 器件最大额定功率允许的环境温度上限, $^{\circ}\text{C}$;

$P_j(\max)$ —— 器件的最大额定功率, W 。

例如 2DG711 二极管的详细规范确定其 $P_j(\max) = 500\text{mW}$, $T_j(\max) = 175^{\circ}\text{C}$

$T_s = 25^{\circ}\text{C}$ 则热阻 $Q_{jA} = 300^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

C2.2.2 功率器件

可用下式计算结温:

$$T_j = T_c + Q_{jK} \cdot P_j \dots\dots\dots (\text{C11})$$

式中: T_j —— 结温, $^{\circ}\text{C}$;

T_c —— 管壳温度, $^{\circ}\text{C}$;

Q_{jK} —— 结与管壳间的热阻, $^{\circ}\text{C}/\text{W}$;可按与 C10 式相同的表达式求出。

附录 D
功率线绕电阻器脉冲功率与脉冲宽度曲线及应用
(参考件)

功率型线绕电阻器可以经受比稳态工作电压高得多的脉冲电压。但在使用中应作相应的降额。图 D1 绘出某功率型支架安装线绕电阻器的脉冲功率和脉冲宽度关系曲线。现举例说明曲线的应用：

对工作环境 $T_a = 55^\circ\text{C}$ ，50V 非重复脉冲，脉宽 $T_w = 100\text{ms}$ ，阻值 46.4Ω ，如何选用满足 I 级降额要求的电阻器？

求脉冲功率 P

$$P = V^2/R = 50^2/46.4 = 54(W)$$

式中： P —— 脉冲功率，W；

V —— 脉冲电压，V；

R —— 电阻器电阻值， Ω 。

在图 D1 中确定脉宽为 0.1s，脉冲功率为 54W 的对应点 A；则图 D1 中最下一条曲线 ($P = 5\text{W}$) 似可以满足脉冲要求，但由于电阻器功率对应 I 级降额允许的应力比为 0.5，因此应选用额定功率 10W 的电阻器。

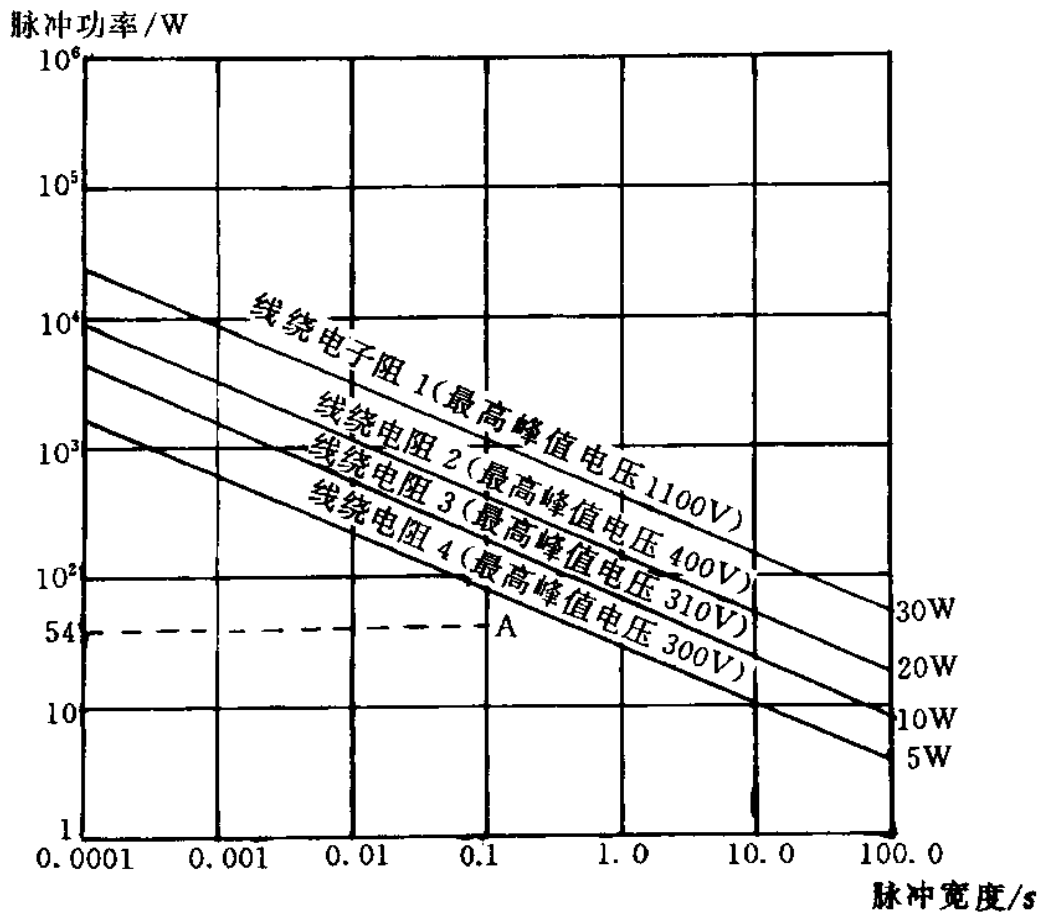


图 D1 线绕电阻器脉冲额定曲线

附录 E
功率型线绕电阻器功率—散热面积曲线的应用
 (参考件)

图 E1 是线绕电阻器额定功率与散热面积的关系曲线示例。由曲线可知某功率型线绕电阻器(图 E1 电阻器 2)底部散热区面积大于或等于 7.44cm^2 时,其额定功率为 10W ,在无散热面时的额定功率为 6W 。若散热面积为 1.55cm^2 ,其额定功率应为 8.2W ,对应 I 级降额 $S=0.5$ 的情况,应选用大于 16.4W 的功率线绕电阻器。

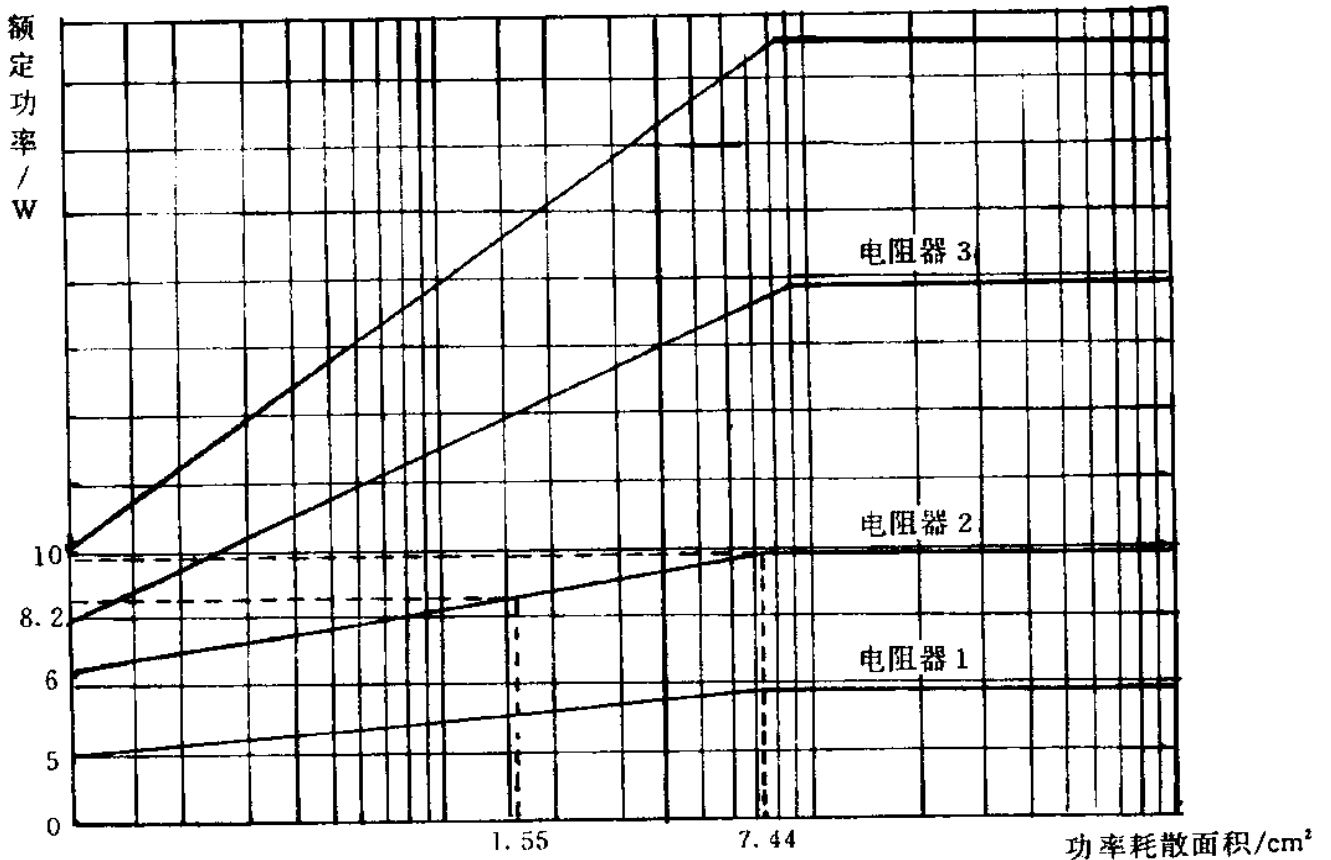


图 E1 功率线绕电阻器散热面积曲线

附录 F
电感元件热点温度的确定
(参考件)

电感元件的热点温度可用下述近似公式 F1 确定:

$$T_{HS} = T_A + 1.1 \cdot \Delta T \quad \text{..... (F1)}$$

式中: T_{HS} —— 热点温度, °C;

T_A —— 环境温度, °C;

ΔT —— 温升, °C。

ΔT 可用直接测量法或电阻变化测定法得到。电阻变化测定法可用下述公式 F2:

$$\Delta T = ((R - r)/r)(t + 234.5) - (T_{AM} - t) \quad \text{..... (F2)}$$

式中: ΔT —— 温升, °C;

R —— 温度为 $(t + \Delta T)$ 时的线圈电阻, Ω ;

r —— 温度为 t 时的线圈电阻, Ω ;

t —— 规定的初始环境温度, °C;

T_{AM} —— 切断电源时的最高环境温度。

其中要求 T 与 t 的差值不应大于 5°C。

测量状态:

- a. 变压器初级加额定电压, 次级加额定负载。
- b. 线圈绕组加额定直流和交流电流。

附录 G
元器件降额准则一览表
(参考件)

表 G1 元器件降额准则一览表

元器件种类		降额参数	降额等级			
			I	II	II ₁	
集成电路	模拟	放大器	电源电压	0.70	0.80	0.80
			输入电压	0.60	0.70	0.70
			输出电流	0.70	0.80	0.80
			功率	0.70	0.75	0.80
			最高结温 ℃	80	95	105
	模拟	比较器	电源电压	0.70	0.80	0.80
			输入电压	0.70	0.80	0.80
			输出电流	0.70	0.80	0.80
			功率	0.70	0.75	0.80
			最高结温 ℃	80	95	105
	电路	电压调整器	电源电压	0.70	0.80	0.80
			输入电压	0.70	0.80	0.80
			输入输出电压差	0.70	0.80	0.85
			输出电流	0.70	0.75	0.80
			功率	0.70	0.75	0.80
			最高结温 ℃	80	95	105
	路	模拟开关	电源电压	0.70	0.80	0.85
			输入电压	0.80	0.85	0.90
			输出电流	0.75	0.80	0.85
			功率	0.70	0.75	0.80
最高结温 ℃			80	95	105	
数字电路	双极型电路	频率	0.80	0.90	0.90	
		输出电流	0.80	0.90	0.90	
		最高结温 ℃	85	100	115	

续表 G1

元器件种类		降 额 参 数		降 额 等 级		
				I	II	III
集 成 电 路	数 字 电 路	MOS 型 电 路	电源电压	0.70	0.80	0.80
			输出电流	0.80	0.90	0.90
			频 率	0.80	0.80	0.90
			最高结温 $^{\circ}\text{C}$	85	100	115
	混 合 集 成 电 路	厚膜功率密度 W/cm^2	7.5			
		薄膜功率密度 W/cm^2	6.0			
		最高结温 $^{\circ}\text{C}$	85	100	115	
大 规 模 集 成 电 路	最高结温 $^{\circ}\text{C}$	改进散热方式以降低结温				
分 立 半 导 体 器 件	晶 体 管	反 向 电 压	一般晶体管	0.60	0.70	0.80
			功率 MOSFET 的栅源电压	0.50	0.60	0.70
		电 流	0.60	0.70	0.80	
		功 率	0.50	0.65	0.75	
		功率管安 全工作区	集电极—发射极电压	0.70	0.80	0.90
			集电极最大允许电流	0.60	0.70	0.80
		最高结温 (T_{jm}) $^{\circ}\text{C}$	200	115	140	160
			175	100	125	145
			≤ 150	$T_{jm}-65$	$T_{jm}-40$	$T_{jm}-20$
	微 波 晶 体 管	最 高 结 温	同晶体管			
	二 极 管 (基准管除外)	电压(不适用于稳压管)	0.60	0.70	0.80	
		电 流	0.50	0.65	0.80	
		功 率	0.50	0.65	0.80	
		最高结温 (T_{jm}) $^{\circ}\text{C}$	200	115	140	160
175			100	125	145	
≤ 150	$T_{jm}-60$		$T_{jm}-40$	$T_{jm}-20$		
微 波 二 极 管	最 高 结 温	同二级管				
基 准 二 极 管						

续表 G1

元器件种类		降 额 参 数		降 额 等 级			
				I	II	III	
分立 半导 体器 件	可控硅	电 压		0.60	0.70	0.80	
		电 流		0.50	0.65	0.80	
		最高结温(T_{jm}) ℃	200	115	140	160	
			175	100	125	145	
	≤ 150		$T_{jm}-60$	$T_{jm}-40$	$T_{jm}-20$		
	半导体 光电器件	电 压		0.60	0.70	0.80	
		电 流		0.50	0.65	0.80	
		最高结温(T_{jm}) ℃	200	115	140	160	
			175	100	125	145	
			≤ 150	$T_{jm}-60$	$T_{jm}-40$	$T_{jm}-20$	
固定 电 阻 器	合成型 电阻器	电 压		0.75	0.75	0.75	
		功 率		0.50	0.60	0.70	
		环境温度		按元件负荷特性曲线降额			
	薄膜型 电阻器	电 压		0.75	0.75	0.75	
		功 率		0.50	0.60	0.70	
		环境温度		按元件负荷特性曲线降额			
	电阻网络	电 压		0.75	0.75	0.75	
		功 率		0.50	0.60	0.70	
		环境温度		按元件负荷特性曲线降额			
	线绕电阻	电 压		0.75	0.75	0.75	
		功 率	精密型	0.25	0.45	0.60	
			功率型	0.50	0.60	0.70	
		环境温度		按元件负荷特性曲线降额			
	电 位 器	非线绕 电位器	电 压		0.75	0.75	0.75
			功 率	合成、薄膜微调	0.30	0.45	0.60
精密塑料型				不采用	0.50	0.50	
环境温度		按元件负荷特性曲线降额					

续表 G1

元器件种数		降 额 参 数		降 额 等 级			
				I	II	III	
电 位 器	线绕电位器	电 压		0.75	0.75	0.75	
		功 率	普通型	0.30	0.45	0.50	
			非密封功率型	—	—	0.70	
			微调线绕型	0.30	0.45	0.50	
环境温度		按负荷特性曲线降额					
热敏电阻器		功 率		0.50	0.50	0.50	
		最高环境温度 $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-15$	$T_{AM}-15$	$T_{AM}-15$	
电 容 器	固定玻璃釉型	直流工作电压		0.50	0.60	0.70	
		最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	
	固定云母型	直流工作电压		0.50	0.60	0.70	
		最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	
	固定陶瓷型	直流工作电压		0.50	0.60	0.70	
		最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	
	固定纸/塑料 薄 膜	直流工作电压		0.50	0.60	0.70	
		最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	
	电 解 电 容 器	铝电解	直流工作电压		—	—	0.75
			最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		—	—	$T_{AM}-20$
		钽电解	直流工作电压		0.50	0.60	0.70
			最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$
微调电容器		直流工作电压		0.30~0.40	0.50	0.50	
		最高额定环境温度 T_{AM} $^{\circ}\text{C}$		$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	$T_{AM}-10$	

续表 G1

元器件种类	降 额 参 数		降 额 等 级				
			I	II	III		
电感元件	热点温度(T_{HS}) °C		$T_{HS}-$ (40~25)	$T_{HS}-$ (25~10)	$T_{HS}-$ (15~0)		
	工作电流		0.6~0.7	0.6~0.7	0.6~0.7		
	瞬态电压/电流		0.90	0.90	0.90		
	介质耐压		0.5~0.6	0.5~0.6	0.5~0.6		
	扼流圈工作电压		0.70	0.70	0.70		
继电器	连续 触点 电 流	小功率负荷(<100mW)		不降额			
		电阻负载		0.50	0.75	0.90	
		电容负载(最大浪涌电流)		0.50	0.75	0.90	
		电感 负载	电感额定电流的		0.50	0.75	0.90
			电阻额定电流的		0.35	0.40	0.75
		电机 负载	电机额定电流的		0.50	0.75	0.90
			电阻额定电流的		0.15	0.20	0.75
		灯丝 负载	灯泡额定电流的		0.50	0.75	0.90
			电阻额定电流的		0.07—0.08	0.10	0.30
		触点功率(用于舌簧水银式)		0.40	0.50	0.70	
	线圈吸合 电 压	最小维持电压		0.90	0.90	0.90	
		最小线圈电压		1.10	1.10	1.10	
	线圈释放 电 压	最大允许值		1.10	1.10	1.10	
		最小允许值		0.90	0.90	0.90	
	最高额定环境温度(T_{AM}) °C		$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$		
振动限值		0.60	0.60	0.60			
工作寿命(循环次数)		0.50					

续表 G1

元器件种类		降 额 参 数		降 额 等 级		
				I	II	III
开 关	连续 触点 电 流	小功率负载(<100mW)		不降额		
		电阻负载		0.50	0.75	0.90
		电容负载(电阻额定电流的)		0.50	0.75	0.90
		电感负载	电感额定电流	0.50	0.75	0.90
			电阻额定电流	0.35	0.40	0.50
		电机负载	电机额定电流	0.50	0.75	0.90
			电阻额定电流	0.15	0.20	0.35
		灯泡负载	灯泡额定电流	0.50	0.75	0.90
	电阻额定电流		0.07—0.08	0.10	0.15	
	触 点 电 压		0.40	0.50	0.70	
触 点 功 率		0.40	0.50	0.70		
连接器		工作电压	0.50	0.70	0.80	
		工作电流	0.50	0.70	0.85	
		最高接触对额定温度 T_M °C	$T_M - 50$	$T_M - 25$	$T_M - 20$	
电 机		最高工作温度 °C	$T - 40$	$T - 20$	$T - 15$	
		低温极限 °C	0	0	0	
		轴承载荷额定值	0.75	0.90	0.90	
灯泡	白炽灯	工作电压(如可行)	0.94	0.94	0.94	
	氖/氩灯	工作电压(如可行)	0.94	0.94	0.94	
电路断路器		电 流	阻性负载	0.75	0.75	0.9
			容性负载	0.75	0.75	0.9
			感性负载	0.40	0.40	0.50
			电机负载	0.20	0.20	0.35
			灯丝负载	0.10	0.10	0.15
		最高额定环境温度 T_{AM} °C	$T_{AM} - 20$			
保险丝		电流额定值	$>0.5A$	0.45~0.5	0.45~0.5	0.45~0.5
			$\leq 0.5A$	0.20~0.4	0.2~0.4	0.2~0.4
		$T > 25^\circ C$ 时,增加降额 1/°C		0.005	0.005	0.005
晶 体		最低温度 °C	$T_L + 10$	$T_L + 10$	$T_L + 10$	
		最高温度 °C	$T_U - 10$	$T_U - 10$	$T_U - 10$	

续表 G1

元器件种类		降 额 参 数		降 额 等 级			
				I	II	III	
微波管		最高额定环境温度 ℃		$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$	$T_{AM}-20$	
		输出功率		0.80	0.80	0.80	
		反射功率		0.50	0.50	0.50	
		占空比		0.75	0.75	0.75	
声表面波器件		输入功率($f > 100\text{MHz}$)		降低+10dBm			
		输入功率($f < 100\text{MHz}$)		降低+20dBm			
纤维光学器件	光纤光源		峰值光输出功率		0.50(适用于ILD)		
			电 流		0.50(适用于LED)		
			结 温		设法降低		
	光纤探测器		PIN 反向压降		0.60		
			结 温		设法降低		
	光纤与光缆		温度 ℃		上限额定值-20;下限额定值+20		
			张 力	光 纤		耐拉试验的 0.20	
				光 缆		拉伸额定值的 0.50	
			弯曲半径		最小允许值的 2.0		
	核辐射		按产品详细规范降额或加固				
导线与电缆		最大应用电压		最大绝缘电压规定值的 0.50			
		最大应用 电流 A	线规(A_{VG})		30,28,26,24,22,20,18,16,		
			单根导线电流 (I_{SV})		1.3,1.8,2.5,3.3,4.5,6.5,9.2, 13.0		
			线规(A_{VG})		14 12 10 8 6 4		
单根导线电流 (I_{SV})			17.0,23.0,33.0,44.0,60.0,81.0,				

附加说明:

本标准由航空航天工业部提出。

本标准由航空航天工业部第七〇八所归口。

本标准由航空航天工业部第五研究院负责起草。

本标准主要起草人:徐雷、廖炯生、余振醒、马景立、管长才。

计划项目代号:90083