

第六章 电子系统可靠性设计

内容提要



§ 6-3 电子设备的热设计

- 一、电子设备的热设计概述
- 二、电子设备的热设计程序

§ 6-4 三次设计

- 一、三次设计的内容：
- 二、三次设计的有关概念
- 三、三次设计的示例

习题六 答案

§ 6-3 电子设备的热设计

一、电子设备的热设计概述

1. 对电子设备进行热设计的原因

电子设备在工作过程中 →
消耗各种形式的能量 → 这些能耗 →
变为热 → 可靠性 ↓。

功耗转换成热能的计算式为：

$$Q = 3.6P \quad (6-3)$$

式中 Q — 热能，单位为KJ/h；

P — 功耗，单位为W。

电子设备由大量电子元器件组成的，而其工作温度影响可靠性，见图5-12所示。

粗略地估计，
温度 $\uparrow 10^{\circ}\text{C}$
 $\rightarrow \lambda \uparrow$ 一倍。

电子设备
进行热设计
十分必要。

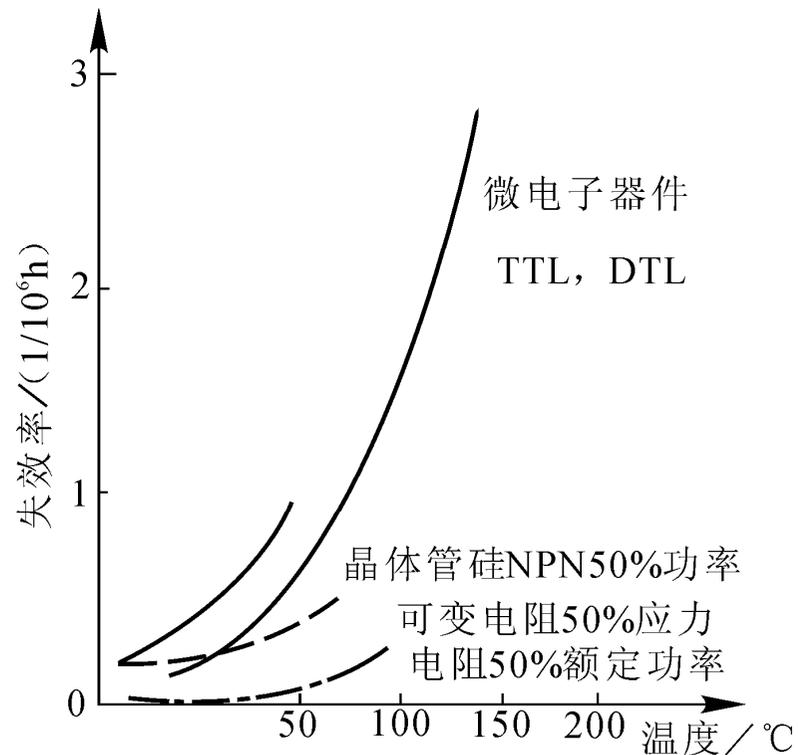


图 6-12 元器件的 λ 与温度关系

2. 对电子设备进行热设计的要求

- (1) 通过热设计在满足性能要求下尽可能减少设备内部的热量;
- (2) 通过热设计设法减少热阻;
- (3) 通过热设计能保证设备在较低温度条件下工作,以便减少参数漂移,保持电性能稳定,从而提高可靠性。

3. 对电子设备进行热设计的基本方法

- (1) 提高元件,材料的允许温度;
- (2) 减少设备的发热量;
- (3) 用冷却的方法改变环境温度并加快散热速度。

二、电子设备热设计程序

1. 明确设计条件：设备功耗；发热量；设备的允温升；设备外形尺寸的限制；设备放置的环境等。

2. 决定设备的冷却方式，可采用图6-13所示的流程（见下页图）。

3. 在决定冷却方式以后，分别对元件、线路、印刷电路板和机箱进行热设计。

电子设备热设计检查一览表见表6-5所示。

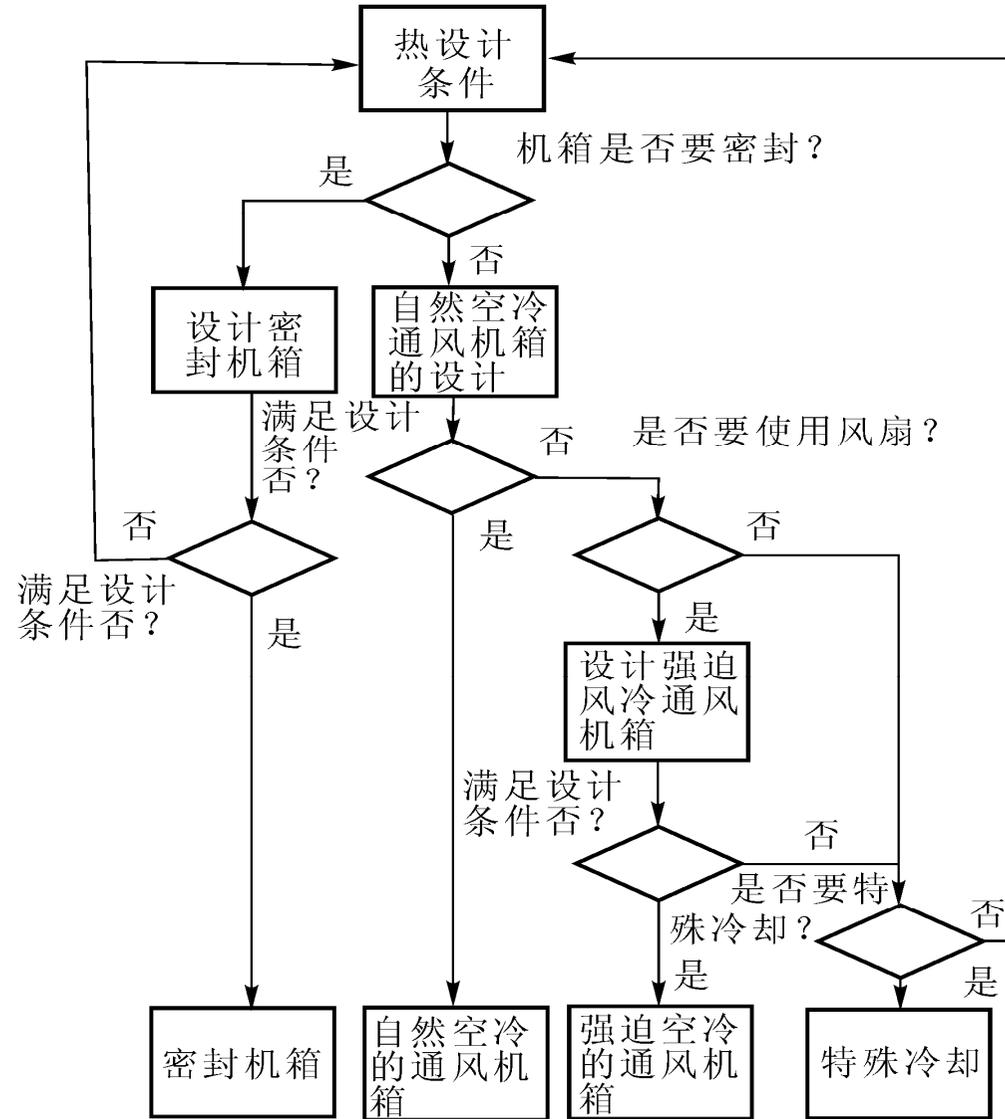


图 6-13 冷却方式设计流程框图

表6-5 电子设备热设计检查一览表

	密封机箱	通风机箱		强制空冷	
		印制板	机箱	印制板	机箱
元件的排列安装	<p>是否分清热敏感的元件，发热量多的元件。它们的排列，安装是否适当。（发热元件不能密集安装，对热敏感的元件要远离发热元件安装。）</p> <p>发热元件的引线应尽量缩短，印制线应加宽。</p> <p>接近发热元件的树脂、线材等的耐热是否充分。</p> <p>由于热而引起的尺寸变化是否做了考虑。</p>				
	<p>发热元件应尽量靠紧机架、机箱安装。</p> <p>是否有可能将发热量大的元件安装在机箱外侧。</p> <p>是否需在印制板上敷设金属导热网条。</p>	<p>印制板的排列是否考虑了发热（发热量多的印制板不能紧挨放置）。</p>	<p>机箱的设计是否考虑了发热。</p>	<p>发热量大的元件应放在出风口处，对热敏感的元件应放在进风口处。</p>	
流路的设置	<p>机箱内是否有引起对立的空间。</p> <p>空气循环的流通是否充分。</p>	<p>印制板是否垂直安装，排列距离是否合适。</p>	<p>通风口大小是否充分。</p> <p>通风口位置是否合适（是否有进出口）。</p> <p>面积是否充分。</p>	<p>空气流路大小是否充分（不能由于元件而使流路阻塞）。</p> <p>空气不能有阻滞的地方。</p> <p>是否有空气不通过发热元件，而产生旁路。</p> <p>保证进出口有一定的高</p>	

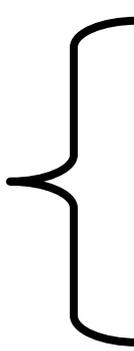
续表6-5

立			度差，出口处不能有障碍物。 合理地控制和分配气流，使所有元件都得到好处。
散 热 措 施	对热量大的元件是否利用了散热器和热管等散热元件？（又利用安全否）		
	对发热体到机箱的传热路径是否确保。 机箱是否使用了导热好的材料。机箱的表面积是否充分。 提高设备的黑度，在机箱内外涂粗糙黑漆。	是否积极利用了烟囱效应。	风扇的容积是否充分，种类是否合适。 风扇能否耐住设备的升降。 风扇发生故障时是否有保护措施。
其 他	是否要考虑日照、防寒、防露		
			要考虑安装滤波器（安装是否正确，更换是否方便）。 对风扇的噪音采取措施。 防止风扇触手的危险。 风扇更换方便。

§ 6-4 三次设计

三次设计是提高产品质量的一种优化设计方法。其核心是找到合理的参数组合，使成本降低，稳定性提高，从而提高了产品的可靠性。

一、三次设计的内容：



- 系统设计
- 参数设计
- 容差设计

1. 系统设计

由专业技术人员按照产品性能指标要求，运用专业技术知识进行**初步设计**，提出设计方案，并建立产品（系统）性能指标和所用元器件之间的函数关系。

2. 参数设计

在系统设计完成后，为使产品性能指标尽可能好或尽可能稳定，通过运用正交表选优的方法，根据设计计算或试验结果来确定系统**诸因素的最优参数组合**。

3. 容差设计

在系统设计和参数设计的基础上使产品**满足容许差要求**，并规划产品质量和成本，使产品在社会的总经济效益最优。

二、三次设计的有关概念

1. 质量损失函数

很多情况下，随着产品指标值 y 而变化的质量费用函数为 $Q(y)$ 的曲线如图6-14所示。

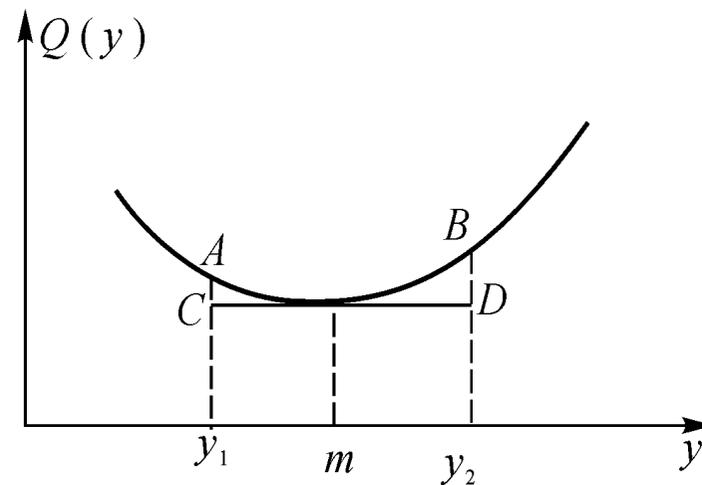


图 6-14质量费用函数曲线

设 $Q(y)$ 在 $y = m$ 处存在二阶导数，
则按台劳公式有：

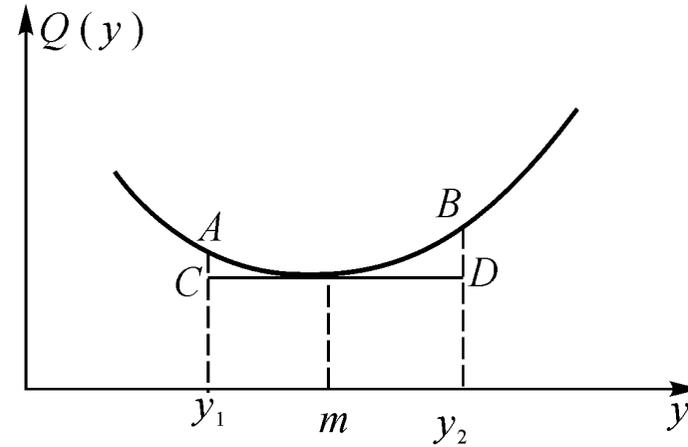


图 6-14 质量费用函数曲线

$$Q(y) = Q(m) + \frac{Q'(m)}{1!}(y - m) + \frac{Q''(m)}{2!}(y - m)^2 + \dots$$

由于 $Q(y)$ 在 $y = m$ 为最小值，有

$$Q'(m) = 0$$

由于考虑质量费用最小，选取的产品指标值 y 尽量靠近 m ，故 $y - m$ 很小，故有：

$$Q(y) \approx Q(m) + \frac{Q''(m)}{2!} (y - m)^2$$

$$\text{令 } K = \frac{Q''(m)}{2!}$$

$$\text{则 } Q(y) \approx Q(m) + K(y - m)^2$$

令质量损失函数 $L(y) = Q(y) - Q(m)$

则质量损失函数为：

$$L(y) \approx K(y - m)^2 \quad (6-4)$$

2. 功能界限与允许差

(1) 含义与代号

① **功能界限**是指产品性能指标偏离其中心值直到使产品功能完全丧失的范围，它是产品失效的判据，一般用 Δ 表示之。

② **允许差**是产品出厂公差的 $1/2$ ，是产品合格与否的判据，一般用 δ 表示。当性能指标 y 符合 $m - \delta \leq y \leq m + \delta$ 时，产品合格，否则不合格。应注意不合格产品未必就不能用，还可以降级，返修处理。

(2) 有关数学表达式



$$L(y) = \frac{D}{\Delta^2} (y - m)^2 \quad (6 - 5)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{A}{D}} \cdot \Delta \quad (6 - 6)$$

式中： D ——当产品的性能指标中心值为 m 、功能界限为 Δ 时的质量损失，即

$$D = L(m \pm \Delta);$$

A ——使之达到标称中心值 m 的成本产品质量损失，即 $A = L(y)$ 。

(3) 产品功能界限与允许差计算分析示例

例 6-5 电视机的电源电路直流输出电压的标称中心值为 $m = 115\text{V}$ ，功能界限 $\Delta = 25\text{V}$ ，当电源的输出电压恰好在功能界限时，设此时的损失 $D = 300$ 元。设某工厂生产的该电视机，输出电压为 111V ，

试问：**该电视机是否可以使用**；判断在下列情况下该电视机**能否作为合格品出厂**，并说明不能作为合格品出厂的理由。

- ① 该工厂对这台电视机进行返修，使之达到标称中心值所需的成本费 $A = 3$ 元；
- ② 该工厂进行上述返修需要成本费 $A = 8$ 元。

解：(1)判断电视机是否可以正常使用

因为该电视机输出电压为111V偏离标称中心值115V仅为 $(115-111=) 4(\text{V})$ ，远未超过 $\Delta=25\text{V}$ ，故该电视完全可以使用。

(2) 判断电视机能否作为合格品出厂：

① 当 $A=3$ 元时

由式(6-6)得

$$\delta = \sqrt{\frac{A}{D}} \cdot \Delta = \sqrt{\frac{3}{300}} \times 25 = 2.5(\text{V})$$

$$\text{由于 } m + \delta = 115 + 2.5 = 117.5(\text{V})$$

$$m - \delta = 115 - 2.5 = 112.5(\text{V})$$

因为**111V**不在**112.5V~117.5V**之间，故此电视机**不能做为合格品**出厂。

② 当A=8元时

由式(6-6)得：

$$\delta = \sqrt{\frac{A}{D}} \cdot \Delta = \sqrt{\frac{8}{300}} \times 25 = 4.08 (\text{V})$$

由于 $m + \delta = 115 + 4.08 = 119.08(\text{V})$

$$m - \delta = 115 - 4.08 = 110.92(\text{V})$$

因为**111V**在**110.92V~119.08V**之间，所以该电视机可做为**合格品**出厂。

(3) A = 3元钱不愿进行返修又会出现什么结果？

由已知条件和式 (6-4) 可有：

$$K = \frac{L(y)}{(y - m)^2} = \frac{300}{25^2} = 0.48 \left(\frac{\text{元}}{\text{V}^2} \right)$$

$$\therefore L(y) = K(y - m)^2 = 0.48(y - m)^2$$

因此，由于工厂将输出电压111V的电视卖给用户，给用户带来的损失可由下式求得：

$$\therefore L(111) = 0.48 \times (111 - 115)^2 = 7.68 \text{元}$$

也就是**社会总损失**将为：

$$7.68 - 3.00 = 4.68 \text{(元)}。$$

日本人称这个工厂的做法比小偷还要坏，因为小偷的“得”与被偷人的“失”正好相等，社会总损失为0，远远小于4.68元。

三、三次设计的示例

例 6-6 需要测量电阻 Y ，请使用三次设计方法设计一个惠斯登电桥。

解：(1) 进行系统设计（第一次设计）。

惠斯登电桥是用来测量电阻的仪器，利用电学知识进行系统设计，得到如图6-15所示的惠斯登电桥。

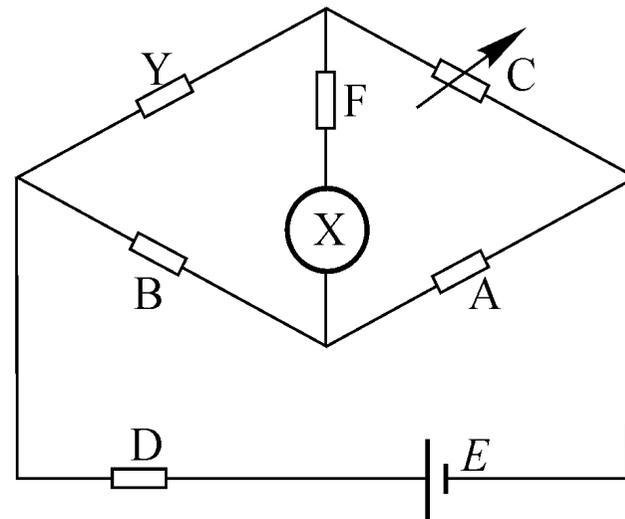
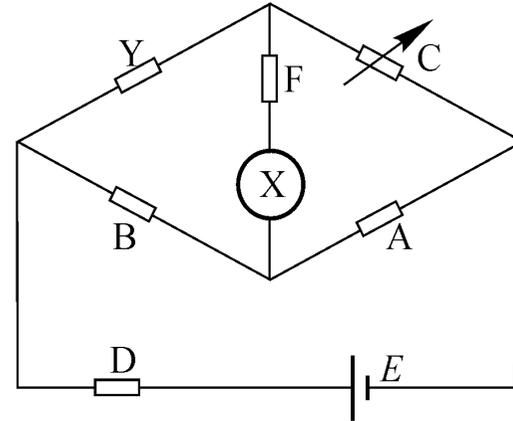


图 6-15 惠斯登电桥

其中Y是被测的未知电阻，A、B、D、F是已知电阻，调整可调电阻C，使安培计X的读数为零。于是由下式(见图):

$$Y = \frac{B C}{A}$$

确定电阻 Y。



但是，由于安培计及其读数有误差，因此，当安培计读数为零时，仍有少量电流流过安培计。设此时流过安培计的实际电流为X安(A)。

则上式修改为：

$$Y = \frac{BC}{A} - \frac{X}{A^2 E} \left[F(A+B) + B(A+C) \right] \\ \left[C(A+B) + D(A+C) \right]$$

式中电阻单位为欧姆（ Ω ），电源电动势单位为伏（V），电流单位为安（A）。

以上就是系统设计要解决的基本问题，它是由专业人员利用专业知识来完成的。

(2) 进行参数设计（第二次设计）

仍以惠斯登电桥为例，当安培计读数为零时，流过安培计的**实际电流有波动，电阻与电源电动势有误差，诸参数各取何值？**才能使测 Y 最佳，这就是参数设计问题。从根本上讲，也就是**参数优化问题。**

在惠斯登电桥中，影响测 Y 的精度有**两种因素**：一种是**系统性因素**，如 A 、 B 、 D 、 E 、 F 各取何值；另一种是**随机因素**，如各参数取值误差。

系统性因素是可控制的，**随机因素**是不可控制的。

对于可控的**系统性因素**优选设计称为**内设计**，相应的正交表称为**内表**；

对于不可控的**随机因素**优选设计称为**外观设计**，相应的正交表称为**外表**。设计过程通常要几经反复，进行多轮设计。

下面将一般设计步骤简介如下：

① 内设计

内设计是对各参数**中心值**进行选优。

内设计思路：

首先根据各参数取值范围由初始参数组合（中心位级）出发；

→ 按等比或等差数列或其它原则确定其它位级的值；

→ 制定参数位级表（又称因素位级表）。

例如对惠斯登电桥可制定参数位级表6-4。

表 6—4

有关惠斯登电桥的参数位级表

因 素 位 级	R_A / Ω	R_B / Ω	R_D / Ω	E / V	R_F / Ω
位级 1	R_{A_0} / K_1	R_{B_0} / K_1	R_{D_0} / K_1	E_0 / K_1	R_{F_0} / K_1
位级 2	R_{A_0}	R_{B_0}	R_{D_0}	E_0	R_{F_0}
位级 3	$R_{A_0} K_1$	$R_{B_0} K_1$	$R_{D_0} K_1$	$E_0 K_1$	$R_{F_0} K_1$

由上述位级表可知，这是五因素三位级的优选问题，我们选正交表 $L_{18}(3^7)$ 。将参数位级表代入正交表中，相应位级对号入座，从而得到内表。

② 外设计

在上述内表的**18个组合**中，哪一个组合较优？这需要根据考核指标（即 Y_i 相对于目标值 Y^* 的波动）来比较各组合的优劣，从而要把各号组合诸参数误差因素考虑进去，即要进行不可控因素的优选设计——外设计，配制内表的各号组合的外表。

配制外表的步骤与配制内表的步骤类似。首先制定内表中各号组合的误差因素位级表，如6-5。

表 6—5 内表各号组合的误差因素位级表

因 素 位 级	R_A / Ω	R_B / Ω	R_C / Ω	R_D / Ω	E / V	R_F / Ω	I_X / A
位级 1	$(1 - \alpha)R_A$	$(1 - \alpha)R_B$	$(1 - \alpha)R_C$	$(1 - \alpha)R_D$	$(1 - \beta)E_i$	$(1 - \alpha)R_F$	$-\gamma$
位级 2	R_A	R_B	R_C	R_D	E_i	R_F	0
位级 3	$(1 + \alpha)R_A$	$(1 + \alpha)R_B$	$(1 + \alpha)R_C$	$(1 + \alpha)R_D$	$(1 + \beta)E_i$	$(1 + \alpha)R_F$	γ

表中 α 、 β 分别为电阻与电动势的相对误差， γ 为电流波动值。

将上表代入正交表 $L_{18}(8^7)$ 中，即得内表第 i 个组合的外表，这样的外表共计18张。据此按系统特性与各参数之间函数关系公式计算每一张外表各号组合的 Y_i 。内表某号组合的优劣应该用该号组合的外表计算的18个 y_i 与目标值 Y^* 的接近程度来衡量，故应以均方偏差：

$$V = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} (Y_i - Y^*)^2$$

作为考核指标， V 值越小越好。 V 值填入内表的最右栏，各因素各位级 V 值之和I、II、III以及极差 R 填入内表下方。

③ 变更位级，重复计算

在内设计中因素位级表中的 K 除了取 K_1 以外，还可以取 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 重复计算，这样可得 5 张内表、90 张外表。

怎样取 K ？没有严格规定，主要是为了便于编程序上机运算。

④ 选择最后设计结果

在 5 张内表中共有 90 种组合，根据各种组合的 V 值最小原则确定第一轮设计直观的好组合。

直观的好组合是粗略设计结果，为了得到更好的结果，还要通过计算找出第一轮的最好组合。为此需求算对应于5个K值的每种因素的各个位组的V值之和I、II、III。为了便于比较，可以第二位级为基准，对5个K值分别求出相应的各因素各位级V值之和与该因素的第二位级V值之和的比值：

$$\frac{R_{A_I}}{R_{A_{II}}}, \frac{R_{A_{III}}}{R_{A_{II}}}, \frac{R_{B_I}}{R_{B_{II}}}, \frac{R_{B_{III}}}{R_{B_{II}}}, \frac{R_{D_I}}{R_{D_{II}}}, \frac{R_{D_{III}}}{R_{D_{II}}},$$

$$\frac{E_I}{E_{II}}, \frac{E_{III}}{E_{II}}, \frac{R_{F_I}}{R_{F_{II}}}, \frac{R_{F_{III}}}{R_{F_{II}}},$$

按照**比值最小原则**确定第一轮设计计算的好组合。

对于直观的好组合与计算的好组合，分别配制外表并计算 V 值，**以 V 值较小的作为第一轮设计的最好组合**。

为了求得更好的结果，在第一轮基础上重复第一轮设计步骤，进行第二轮、第三轮设计。

第二轮初始组合是第一轮设计的最好组合。

第三轮初始组合是第二轮设计的最好组合，**直到进一步降低 V 值的潜力已经不大时为止**。

最后根据多轮设计发展趋势把最后设计结果即参数的最优组合整数化，参数设计即告完成。

(3) 进行容许差设计（第三次设计）

在用参数设计方法找到了最优参数组合以后，还要进一步考虑 **选取哪种精度的元器件最好**，这就是容许差设计工作。

为此要回答两个基本问题：

① **每个因素**（如 R_A 、 R_B 、 R_D 、 E 、 R_F 等）对于结果（如 R_Y ）**的影响**大小如何？

② 当改变某元器件精度时，质量损失函数的变化与成本的关系怎样？

为便于叙述，我们先从最优组合配制外表为 L_{18} (3^7) 的情形谈起。根据外表计算18个 y_i ，然后对每列因素计算各位级6个 y_i 之和 I' ， II' 、 III' ，则18个 y_i 的平均值 \bar{Y} 可表示为：

$$\bar{Y} = \frac{I' + II' + III'}{18}$$

每个因素对于 y 的影响可用 $\frac{I'}{6}, \frac{II'}{6}, \frac{III'}{6}$
对于 \bar{y} 偏离大小即列平方和来衡量

$$\begin{aligned}
S &= 6 \left[\left(\frac{I'}{6} - \bar{y} \right)^2 + \left(\frac{II'}{6} - \bar{y} \right)^2 + \left(\frac{III'}{6} - \bar{y} \right)^2 \right] \\
&= 6 \left[\frac{1}{36} (I'^2 + II'^2 + III'^2) - \frac{1}{3} \bar{y} (I' + II' + III') + 3\bar{y}^2 \right] \\
&= \frac{1}{6} (I'^2 + II'^2 + III'^2) - \frac{1}{18} (I' + II' + III')^2
\end{aligned}$$

可以证明：
$$S = S_i + S_q$$

其中
$$S_i = \frac{1}{12} (I' - II')^2$$

称为线性平方和；

$$S_q = \frac{1}{36} (I' + III' - 2II')^2$$

称为二次平方和。

一般地，若用正交表 L_{3n} 作为外表时，则根据各因素列平方和 S 的大小可以确定对于 R_Y 影响的主要因素。

$$S = \frac{1}{n} (I'^2 + II'^2 + III'^2) - \frac{1}{3n} (I' + II' + III')^2$$

$$S_i = \frac{1}{2n} (I' - III')^2$$

$$S_q = \frac{1}{6n} (I' + III' - 2II')^2$$

(6-7)

接着，我们要确定用哪一种精度的元器件为最好。根据（6-4）式，质量损失函数



$$L(y) \approx K(y - m)^2$$

若用 L_{3n} 正交表作为外表时，相当于取 $3n$ 个样品，上式中 $(y - m)^2$ 用 $E[(y - m)^2]$ 代替，即

$$E[(y - m)^2] = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} (y_i - m)^2 = V$$

$$L(y) \approx KV$$

(6-8)

如果原来采用波动为 ε 的元器件，质量损失为 $L(\varepsilon)$ ，均方偏差为 $V(\varepsilon)$ ；现改用波动为 $\omega \varepsilon$ 的元器件，质量损失为 $L(\omega \varepsilon)$ ，均方偏差为 $V(\omega \varepsilon)$ ，其中 $\omega < 1$ ，质量损失变化为：

$$\begin{aligned}\Delta L &= L(\varepsilon) - L(\omega \varepsilon) \\ &= K[V(\varepsilon) - V(\omega \varepsilon)] \\ &= K\Delta V\end{aligned}$$

为了计算 ΔL ，需要找出 ΔV 与 $\Delta S = S(\varepsilon) - S(\omega \varepsilon)$ 的关系。

由式(6-8):

$$V = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} (y_i - m)^2$$

经适当变换可得

$$3nV = \sum_{i=1}^{3n} (y_i - \bar{y})^2 + 3n(\bar{y} - m)^2$$

故总平方和

$$S_T = \sum_{i=1}^{3n} (y_i - \bar{y})^2 = 3n[V - (\bar{y} - m)^2]$$

由于元器件中心值不变，也可认为 \bar{y} 不变

$$\text{故} \quad \Delta V = \frac{1}{3n} \Delta S_T$$

设仅改变一个因素的精度，其它因素的精度不变，因此可以认为这个因素的列平方和的改变量 ΔS 与总平方和的改变量 ΔS_T 近似相等，于是有：

$$\Delta V \approx \frac{1}{3n} \Delta S$$

为了计算 ΔS ，需要找出 $S(\varepsilon)$ 与 $S(\omega \varepsilon)$ 之间的关系。设 I' 、 II' 、 III' 分别为原波动 ε 下位级 1,2,3 的 y_i 之和； X 、 Y 、 Z 分别为新波动 $\omega \varepsilon$ 下位级 1,2,3 的 y_i 之和。

由于现在处于最优参数组合，且波动 ε 与 $\omega \varepsilon$ 都较小，因此可以认为当波动缩小 ω 倍时， I' ， II' ， III' 两两之差也缩小 ω 倍，故有：

$$X - Y = \omega (I' - II')$$

$$Z - Y = \omega (III' - II')$$

$$X - Z = \omega (I' - III')$$

由此可推出

$$S_i(\omega\varepsilon) = \frac{1}{2n}(X - Z)^2 = \frac{\omega^2}{2n}(\text{I}' - \text{II}')^2 = \omega^2 S_i(\varepsilon)$$

$$S_q(\omega\varepsilon) = \frac{1}{6n}(X + Z - 2Y)^2 = \frac{\omega^2}{6n}(\text{I}' + \text{III}' - 2\text{II}')^2 = \omega^2 S_q(\varepsilon)$$

$$S(\omega\varepsilon) = S_i(\omega\varepsilon) + S_q(\omega\varepsilon) = \omega^2 [S_i(\varepsilon) + S_q(\varepsilon)] = \omega^2 S(\varepsilon)$$

$$\Delta S = S(\varepsilon) - S(\omega\varepsilon) = (1 - \omega^2)S(\varepsilon)$$

$$\Delta L = \frac{K}{3n}(1 - \omega^2)S(\varepsilon)$$

(6-9)

利用以上公式可以确定是否要用精度高的高档级元器件去替换精度低的低档级元器件，只有当经济效益（质量损失减少 ΔL ）高于元器件成本差价时，才应该采用。不要轻易地采用高档级元器件！当 V 值很小时，采用高档级替换低档级往往是不合算的。

习题六 答案

$$\begin{aligned} 2. \quad \sigma_1 &= 20/3 \quad (\Omega), \quad \sigma_2 = 40/3 \quad (\Omega), \\ \sigma_3 &= 60/3 \quad (\Omega), \quad \sigma_4 = 80/3 \quad (\Omega), \\ \sigma_5 &= 100/3 \quad (\Omega), \quad \sigma_6 = 120/3 \quad (\Omega), \\ \sigma_s &= 63.6 \quad (\Omega) \\ R_s &= 12000 \pm 190.8 \quad (\Omega) \end{aligned}$$

用%表示: $\frac{3\sigma_s}{R_s} = \frac{190.8}{12000} = 1.59\%$

$$3. \quad \sigma_{I_p} = 0.013\dot{I}_p, \quad \sigma_{R_e} = 0.026\dot{R}_e$$

$$\sigma_w = 0.018856I_p^2 R_e$$

总输出功率的容差为：

$$\frac{3\sigma_w}{W} = 0.113 = 11.3\%$$

5. (1)判断稳压器能否使用

$$\because 220\text{v}+10\text{v} > 225\text{v} > 220\text{v}-10\text{v}$$

\therefore 该稳压器可以使用。

(2) 判断稳压器能否作为合格品出厂？

$$\therefore \delta = \sqrt{\frac{A}{D}} \Delta = 3.16 (\text{V})$$

$$m + \delta = 223.16 (\text{V})$$

$$m - \delta = 216.84 (\text{V})$$

由于225V不在216.84~223.16(V)之间，
 \therefore 不能作为合格品出厂。

(3) 不合格品出厂给社会带来的损失

$$\therefore D = L(220+10) = K(220+10-220)^2 = 100$$

$$\therefore K = 1$$

用户损失为：

$$L(225) = 1 \times (225 - 220)^2 = 25 \text{ (元)}$$

社会损失为：

$$25 - A = 25 - 10 = 15 \text{ (元)}$$



中国可靠性网

<http://www.kekaoxing.com>

感谢 [kingdodoo](#) 分享