

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

受微电子技术影响，无源器件诸如分立电阻器似乎退出了电子器件领域。然而，还没有电路不需要用到电阻器。现代的电路板视觉上却很难看见它们的存在。

### 概要

依据所使用材料，线性固定电阻器可以分为薄膜电阻器、薄式平面电阻器、组合电阻器、功率合金电阻器以及线绕电阻器。薄膜电阻器可以进一步细分为碳质电阻器、金属电阻器

元器件	工艺技术	电阻材料
电阻器	薄膜	碳质
		金属
		印膏
	功率合金®	金属
	薄式平面	金属
	线绕	金属
	组合	碳质

图 1 - 线性固定电阻器工艺技术

销售数据显示金属薄膜与厚膜电阻器是使用范围最广的类型。除大量作为商品使用的标准碳质薄膜电阻器外，特殊碳质薄膜电阻器应用在要求高脉冲稳定性的地方。薄膜电阻器的一般特性是在陶瓷衬底上有一层电阻层。金属薄膜电阻器使用喷镀工艺生产，厚膜电阻器使用丝网印刷工艺生产。

一旦连接好了端子，电阻将标上最终阻值。先要做研磨或喷砂处理，但是时下频繁使用激光处理。最后涂上一层清漆保护元器件抵御机械或气候压力。通常阻值用色环标注或以纯文本压印。包装之前，要对电阻器做一系列质量控制测试。

实质上薄膜电阻可以用在很多方面。金属薄膜电阻噪声特性好，非线性度低。诸如容差、温度系数以及稳定性等参数极其优越。另一方面，对于低噪声、低温度系数以及低偏移为非优选时的应用，厚膜电阻有足够的用质量，并且生产成本更低。

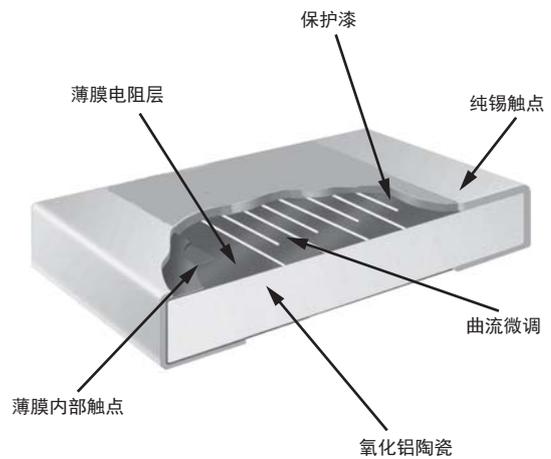


图 2 - 金属薄膜芯片电阻

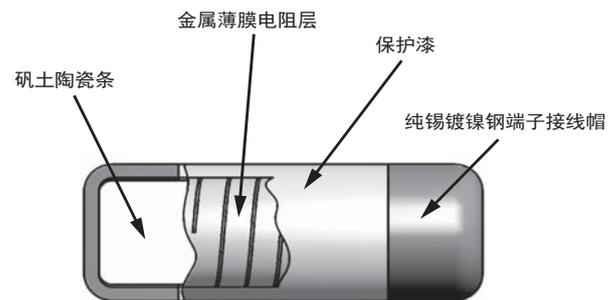


图 3 - MELF 电阻

组合电阻器，电阻器整体作用为电阻元件。电阻构成与端子压紧在一起硬化。由于没有加工更细，交付容差相对较高（±10%，±20%）。组合电阻器的优点在于极佳的高频特性与相同元件大小较高的超负荷能力。这些因素意味着这些相对昂贵的电阻器可用于电源，焊接控制，以及“虚载荷”。

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

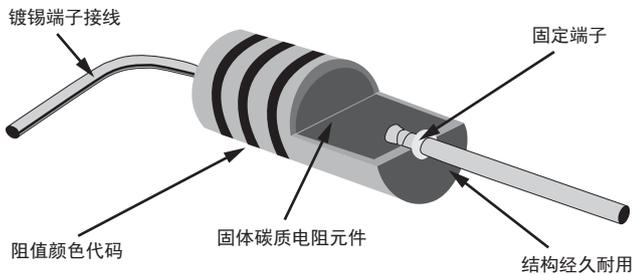


图 4 - 组合电阻器

线绕电阻器内部由电阻丝缠绕在陶瓷或玻纤衬底上所构成，达到其理想的阻值。接线端与接线帽压紧或焊接在一起。这种类型电阻器的突出特性是它能引起非常高的表面温度，高达 + 450 °C，使得它的应用比较困难。它们的应用领域可以媲美那些组合电阻器，除了线绕电阻器的高频特性要差很多之外。

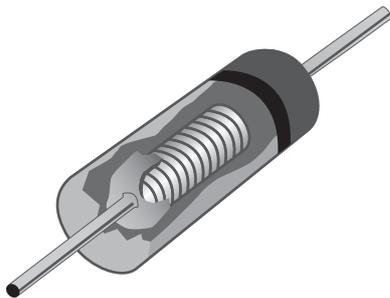


图 5 - 线绕电阻器

功率合金电阻器由固态、电阻元件焊接到铜接线端子而构成。电阻元件通过增加电流路径微调至理想的阻值。最后封装电阻器并对接线端子电镀操作适合锡焊联接。功率合金电阻器的特点是超低阻值 (1 Ω 至 100 μΩ)，低阻值容差 (± 1 % 标准型, ± 0.5 % 可选)，低温度系数 (TCR 低于 75 ppm/K)，以及低热电磁场 (EMF 低于 μV/K)。功率合金电阻器通常用于分流电阻器。应用领域包括直流电 / 直流转换器、锂离子电池管理、电源、自动控制、动力传动与安全。

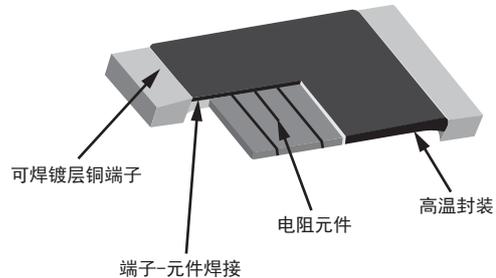


图 6 - 功率合金电阻

薄式平面电阻器构成为电子绝缘蚀刻金属箔安装在高导热材料上。薄式平面电阻器如今已大量应用于低阻值电流测量电阻器（分流器），以及测量用精密电阻器。对于这些应用至关重要是低的温度系数，低的温差电位差（参照铜），和高的长期稳定性要求。

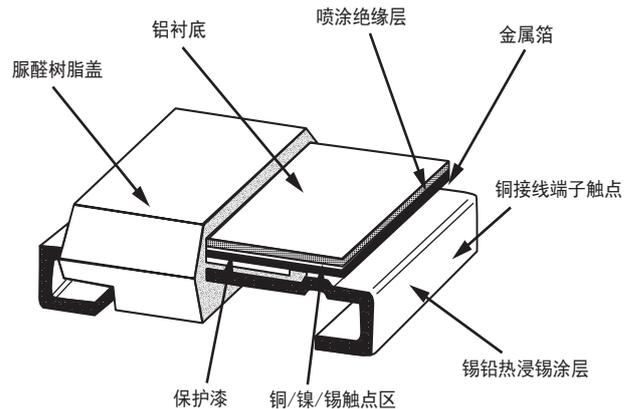


图 7 - 薄式平面电阻器

使用蚀刻技术与锰ceranin合金制造的金属箔电阻器完全能够满足这些要求。其他技术优势有超低电感值以及极佳脉冲载荷能力。金属箔技术尤其适合阻值范围 2 mΩ 至 150 kΩ 的电阻器。

除了目前讨论的基本类型外，还有几种特殊类型的电阻器：

- 安装应用后，通过激光微调至标称阻值的微调电阻器
- 微波应用优化高频电阻器
- 超出特定电流值变为高阻值的保险丝电阻器
- 客户特定阻值陈列构造

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

### 特性

线性电阻器的本质特征为电压与电流的恒商值，或者有所不同。

$$R = \frac{U}{I} = \text{恒定值}$$

理想电阻器从不偏离额定值，不受温度影响，可以适应任何电力负荷，整个使用寿命期间规格值不变。

然而，现实生活中，理想状态总是受到各种影响。因此，即使乍看起来简单如电阻器的一些东西，也有开发工程师应该考虑的属性，无论用于模拟电路还是数字电路。如果想要确保一定的电路行为，比如高脉冲稳定性或良好的信噪比，只有参阅规格表。下文将一项一项讨论所有的相关特性。

**标称值：**为电阻 20 °C 时的设计阻值。尽管理论上可以生产任何类型的电阻器，实质上库存简化的需要导致行业选定符合 IEC60063 标准的 E 系列。基于恒定容差与阻值（1 Ω, 10 Ω, 100 Ω 与 1 kΩ）的原则，形成以下等比公式：

$$k = (\sqrt[n]{10})^m$$

(n: 十进位数值数量; n = 6, 12, 24, 48, 96, 192; m: 元件计数器; m = 0, ..., n-1; 数字四舍五入为 2 或 3 位有效数字)

**容差：**交付容差为交付时阻值偏离的百分比范围。操作时可能发生进一步的偏差，比如偏移与温度系数。E 系列阻值综合考虑容差值，所以两个连续标定的范围在阻值上略有重叠。

例如： E24/5 %      E96/1 %      E192/0.5 %

**电阻温度系数 (TCR)：**不幸的是，阻值随温度变化略有非线性方式。温度系数  $\alpha$  是既定温度区间内的阻值相对变化值。

$$\alpha = \frac{R_{\vartheta} - R_{20}}{R_{20}(\vartheta - 20\text{ °C})}$$

$\vartheta$ : 操作温度的单位: °C

$R_{\vartheta}$ :  $\vartheta$  温度时阻值

$R_{20}$ : + 20 °C 阻值

TCR 为温度电阻曲线的平均增加值，仅在特定温度范围内有效。通常情况下，标准使用的推荐温度范围（气候类别），例如 - 55 °C ≤  $\vartheta$  ≤ + 125 °C，TCR = ± 50 ppm/K<sup>(1)</sup>。ΔR =  $R_{\vartheta} - R_{20}$ ，Δ $\vartheta$  =  $\vartheta - 20$  °C，此范围内任何温度变化的最大阻值变化都可计算：

$$\frac{\Delta R}{R_{20}} = \Delta \vartheta \cdot \alpha$$

ΔR = 阻值变化

Δ $\vartheta$  = 温度增量 (K)

把阻值偏离转换为百分比，TCR 在阻值变化范围内确定允许使用温度范围。

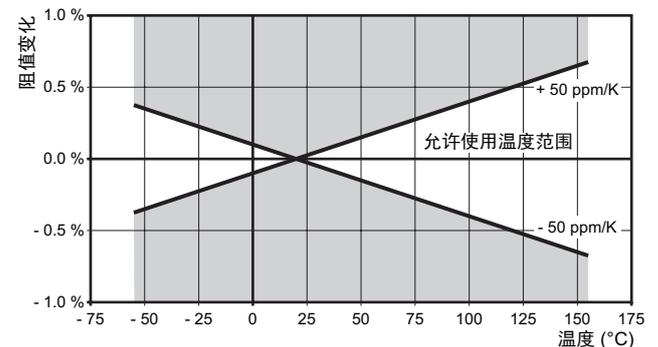


图 8 - TCR 可能引起的阻值相对变化

**稳定性：**受热、电或机械因素影响，阻值会发生变化。稳定性等级表征最大允许使用温度范围。通过标准中定义的程序测试稳定性。短期测试包括过载、端子的机械稳固性、抗焊接热、快速温度变化，以及振动。长期测试包含的标准诸如气候序列、潮湿热、长期暴露在最高允许使用温度中，周期性电气负载（载荷寿命）下长期暴露在 70 °C 环境温度中。

### 备注

(1) ppm/K = 每开尔文的百万个单位，1 ppm = 1 · 10<sup>-6</sup>

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

此表格显示稳定等级对应的允许阻值变化。

稳定等级	长期测试	短期测试
2	$\pm (2 \% \cdot R + 0.1 \Omega)$	$\pm (0.5 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$
1	$\pm (1 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.25 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$
0.50	$\pm (0.50 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.10 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.25	$\pm (0.25 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.10	$\pm (0.10 \% \cdot R + 0.02 \Omega)$	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.05	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$	$\pm (0.025 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$

**额定耗散:** 为温度达到所定义环境温度 (额定温度, 通常为 +70 °C) 时, 电阻器所能处理的最大耗散值。符合下, 元件温度不超过最大限值。高于此温度, 电阻器只能利用较少的功率。它被描述为降额曲线。

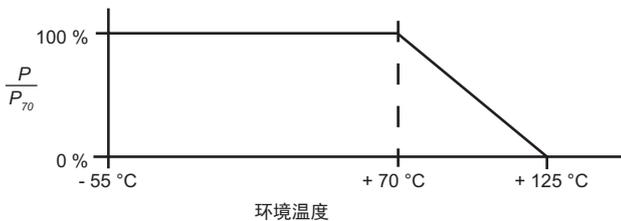


图 9 - 典型降额曲线

**工作电压:** 为最高直流电压或可以连续应用到电阻器上的有效正弦交流电压。

**非线性:** 由于电阻材料或衬底材料的不均匀性以及 / 或端子与电阻材料之间过渡不好, 即使线性电阻器也不完全是线性的, 例如电流 - 电压特性不是准确的线性关系。通过测量 10 kHz 正弦振荡的第 3 个谐波确定为非线性。电压比为电阻器的质量评判之一。

$$A_3 = 20 \cdot \lg \frac{U_{10 \text{ kHz}}}{U_{30 \text{ kHz}}}$$

通过过低的  $A_3$  值可识别故障电阻器。测量程序在 IEC/TR 60440 有所定义。

**噪声:** 有两种噪声, 热噪声和外加电压的电流噪声。在很广的频率范围内 (白噪声) 热噪声保持恒定时, 电流噪声随着频率增加而减小。IEC60195 制定了测量设备与程序以确保噪声电压指标具有可比性。此标准也包含单个电阻器的噪声代码, 电流噪声指标。

**脉冲稳定性:** 如果电阻器经受脉冲而非恒定负载, 短期内它可以承受额定值数倍的负载, 不影响它的长期稳定性。

为了使测量具有可比性, 符合 IEC600115-1, 4.27, 使用两种标准化的脉冲即 1.2/50  $\mu\text{s}$  与 10/700  $\mu\text{s}$ 。第 1 个数字表示增加倍数, 第 2 个数字表示脉冲持续时间 (脉冲电压跌至 50%)。1.2/50 由间隔至少 12S 做 5 个脉冲测量而得。10/700 由间隔至少 60S 做 10 个脉冲测量而得。这些脉冲负载能力是建立在适宜标准基础上的, 如脉冲负载后允许电阻变化值。我们更喜欢为产品的长期稳定性建立此类标准, 如  $\pm 0.5 \%$ 。

要保持足够的脉冲适合特定的应用, 必须满足以下标准:

- 平均负载不得大于所要求环境温度下的额定负载。
- 脉冲持续期间, 不得超过允许的脉冲负载。
- 电阻器脉冲电压必须低于允许的脉冲峰值电压。

**热敏电阻:** 热敏电阻消除了电阻器中产生的热耗散。由于热敏电阻很大程度上依赖于装配条件, 产品目录的已知数值来自于标准化的试验装配。

针对特定应用, 以下公式用于确定超过环境温度的热增量:

$$\Delta_g = P \cdot R_{th}$$

$P =$  电阻器功率负载 (W)

$R_{th} =$  实际热敏阻值 (K/W)

**高频特性:** 除却阻值, 随着频率增加, 附加特性也变得更加显著。这包括圆柱形电阻器绕线的电感以及元件端子之间的电容。当频率范围涉及的附加因素可以忽视时, 可以说该电阻器具有很好的高频特性。

电阻器也应可以仿制, 例如能使用简单等效电路描述。在系列产品中, 高频特性必须得以重现。

薄膜电阻器的特殊微调工艺与线绕电阻器的线绕工艺大大提高了这些元件的高频特性。

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

### 数字特征

下表汇集了一些典型数据。忽略一些特制品，如超精密金属薄膜电阻器 ( $\pm 0.01\%$  容差,  $TCR = \pm 2 \text{ ppm/K}$ ) 或应用于温度高于  $155^\circ\text{C}$  的金属薄膜电阻器。

电阻器	碳质薄膜	金属薄膜	厚膜	金属箔	碳质组合	线绕	功率合金
电阻值	10 $\Omega$ 至 22 M $\Omega$	0.22 $\Omega$ 至 22 M $\Omega$	1 $\Omega$ 至 100 M $\Omega$	2 m $\Omega$ 至 1 M $\Omega$	1 $\Omega$ 至 20 M $\Omega$	0.1 $\Omega$ 至 300 k $\Omega$	0.1 m $\Omega$ 至 1.0 $\Omega$
容差 [%]	$\pm 2$ 至 $\pm 10$	$\pm 0.1$ 至 $\pm 2$	$\pm 1$ 至 $\pm 5$	$\pm 0.005$ 至 $\pm 5$	$\pm 5$ 至 $\pm 20$	$\pm 0.1$ 至 $\pm 10$	$\pm 0.5$ 至 $\pm 1$
温度系数 [ppm/K]	-200 至 -1500	$\pm 5$ 至 $\pm 50$	$\pm 50$ 至 $\pm 200$	$\pm 2$ 至 $\pm 50$	-200 至 -1500	$\pm 1$ 至 $\pm 200$	$\pm 30$ 至 $\pm 250$
最大工作温度 [ $^\circ\text{C}$ ]	+155	+155	+155	+150	+150	+400	+275
额定耗散 $P_{70}$ [W]	0.25 至 2	0.063 至 1	0.063 至 0.25	0.25 至 10	0.25 至 1	0.25 至 100	0.1 至 5
$P_{70}$ (1000 h) 稳定性 $\Delta R/R$ [%]	$\pm 0.8$ 至 $\pm 3$	$\pm 0.15$ 至 $\pm 0.5$	$\pm 1$ 至 $\pm 3$	$\pm 0.05$	+4/-6 (typical -3)	$\pm 1$ 至 $\pm 10$	$\pm 1$ 至 $\pm 2$
最大工作电压 $U_{\text{最大}}$ [V]	200 至 1000	50 至 500	50 至 200	200 至 500	150 至 350	25 至 1000	$\sqrt{P_{70} \times R}$
电流噪声 [ $\mu\text{V/V}$ ]	< 1	< 0.1	< 10	< 0.025	2 至 6	可忽略	可忽略
非线性度 $A_3$ [dB]	> 100	> 110	> 50	可忽略	~ 60	可忽略	可忽略

### 外形与尺寸

最本质的区别在于引线产品与表面贴装产品的不同<sup>(2)</sup>。高功率电阻器也可以适用端子夹。

表面贴装电阻器进一步细分为圆柱形 MELF<sup>(3)</sup> 与矩形芯片产品。

以下表格译解指定的尺寸大小。对普通的薄膜电阻器适用。生产商通常对线绕电阻器，组合电阻器以及薄式平面电阻器使用专用尺寸。

形状	依据标准	范例	描述
圆柱形 (MELF)	DIN <sup>(4)</sup>	0204	尺寸规格: 四舍五入至 mm 序列: 直径 - 长度 直径 = 2 mm; 长度 = 4 mm
	EN <sup>(5)</sup>	RC 3715 M	尺寸规格: 精度 1/10 mm 序列: 长度 - 直径 电阻器, 圆柱形 长度 = 3.7 mm; 直径 = 1.5 mm
矩形 (芯片)	EIAJ <sup>(6)</sup>	3216	尺寸规格: 精度 1/10 mm 序列: 长度 - 宽度 长度 = 3.2 mm; 宽度 = 1.6 mm
	EN	RR 3216 M	长度 = 3.2 mm; 宽度 = 1.6 mm
	尺寸大小 (英寸)	1206	尺寸规格: 精度 1/100" 序列: 长度 - 宽度 电阻器, 矩形 长度 = 0.12"; 宽度 = 0.06"

### 备注

- (2) SMD - 表面贴装装置  
 (3) MELF - 金属电极表面粘结, 通过元件的金属表面 (端子表面) 固定到电路板上。  
 (4) DIN - 德国标准协会  
 (5) EN - 欧洲标准  
 (6) EIAJ - 日本电子工业协会

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors



图 10. 常规形状与尺寸

### 发展趋势

电阻器在世界上的发展从未结束。数年内仍将朝小型化发展。0402 甚至 0201 规格将越来越多使用于以平方毫米计的应用领域，如手机。单个电阻器将被组合成阵列，以获得空间以及功能方面的性能。

另一个发展趋势反向进行。对于可以处理 0.25W 以上的耗散功能并且使用电源电压能稳定运行的 SMD 电阻器的需求量日益增长。

特别是对于分压和反馈电路，厚膜芯片电阻器阵列成为首选方案。这种芯片在一个陶瓷衬底上组合两个或两个以上电阻器，在稳定性、容差匹配以及 TCR 处理方面有独特优势。

随着阻值朝更大以及更小数值范围的拓展，高频性能以及脉冲稳定性得到增强。

它们特有的专长也渐渐形成。例如，（元件用户）微调电阻器化解了对那些昂贵的机械微调电位器的需要，那种微调既昂贵又耗时。

电阻器在传感器、汽车、工业和移动电话方面的应用越来越多，进一步稳固了其作为需求最大的电子元件地位。

### 标准化

生产商规格表中所描述的电阻器特性全面、广泛，甚或专业术语化。几乎不用说，测试与应用要求鲜有匹配。

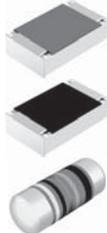
幸运的是某些技术文化支撑了此类描述、定义、方法以及要求的统一，统一为广泛接受的标准。各相关利益方的参与和共识铺就了此道路。始于很久之前的国内环境（如 DIN、JIS、EIA），而成熟于国际标准（如 CECC、CENELEC 以及最终的 IEC）。如今国家委员会作为 IEC(7) 成员起草并维护元件标准，然后重新吸纳为国家标准。在欧洲共同体，CENELEC (8) 起中间批准的作用，然后这些标准由国家标准机构（如 DIN、BSI、UTE）推行。元件标准通常以通用规范、分规范、详细规范的层次结构出现。通用规范涉及术语、定义以及适用测试方法的预选。例如，对于一切固定电阻器，分规范为通用产品（如表面贴装电阻器）提供更详细的标准。贴近单个产品或产品系列的最低层次是详细规范，提供具体的细节与要求，包括详细的测试大纲。

### 备注

(7) IEC - 国际电工委员会；www.iec.ch

(8) CENELEC - 欧洲电工委员会；www.cenelec.eu

## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

国际电阻器标准			
	层次结构	标准	编写机构
	通用规范	IEC 60115-1	IEC
		EN 60115-1	CENELEC
	分规范	IEC 60115-2 <sup>(9)</sup>	IEC
		EN 140100 <sup>(10)</sup>	CENELEC
	详细规范	EN 140101-806	CENELEC
	分规范	IEC 60115-8 <sup>(9)</sup>	IEC
		EN 140400 <sup>(11)</sup>	CENELEC
	详细规范	EN 140401-801	CENELEC
		EN 140401-802	CENELEC
		EN 140401-803	CENELEC

### 备注

<sup>(9)</sup> 过时文件，目前正在修订

<sup>(10)</sup> 继之以 EN 60115-2

<sup>(11)</sup> 继之以 EN 60115-8

元件用户首先获益于此标准的产品描述，能清楚的知道所有详情，其次在建立自己公司内部元件规格表时能够节省精力。

### 质量评定

如今元件标准或规范不仅支持产品描述的统一，也成为可靠性质量评定的一项重要先决条件。当然每个供应商认为有权利评估自己产品的质量，但是这些个体的自我评估如何比较？CECC<sup>(12)</sup> 已经制定了电子元件质量评定协调体系，由有资质的国家监督检查机构负责审核与认证。2003年 IECQ 接管了 CECC 的质量评定职责。此体系提供各种认证。

- 获得资格认证需要对成品元件的质量进行批量评定，对比详细规范作定期检查，不论已确立的质量管理体系如何作用于此标准。

- 能力认证评定公司在规定的技术范围内生产符合要求的各种产品的一般能力，通过对专用合格样品进行评估，类似于资格认证。
- 最高级为技术认证，在做好资格认证之外，为保障符合标准的元器件的生产，对其确立的整个质量管理体系的效率进行评定。

以证书的形式表示授予认可，生产商都乐意提供其副本。可以随时在 IECQ<sup>(13)</sup> 网站证书数据库中核实此认证情况。证明元件符合标准不需要单个证书，只需要表示参考标准，并且应用 CECC 标志在包装标签上。



图 11 - CECC 标志

### 备注

<sup>(12)</sup> CECC = CENELEC 电子元件委员会

<sup>(13)</sup> IECQ = IEC 电子元器件质量评定体系；www.iecq.org



## 线性固定电阻器基础系列 Basics of Linear Fixed Resistors

一旦授予认证，元件用户再次受益。可以在复杂的来料检验以及供应商审核方面节省精力，只要依赖独立的审查部门监管生产并在紧密的周期时间表内验证其要求的符合情况。

### 参考文献

津凯，奥；赛泽，H；《电阻电容电感器材料》，施普林格出版社，柏林

霍夫曼斯特，乔治：《用户电阻 - 固定电阻器计算和应用》，PRB 袖珍图书 1/6，弗兰西斯出版社，慕尼黑 1978

《小型、微型 MELF 应用指南》，贝士拉革公司 1993

《精密金属薄膜电阻器》，贝士拉革公司 1993