

电容器与开关电源

陈永真

辽宁省锦州市士英街169号

121001

0416chenyongzhen@163.com

开关电源中的电容器

- 开关电源中大量应用电容器：
 - 第一类：电解电容器
 - 主要用于输入整流滤波、输出整流滤波、辅助电源的旁路等
 - 第二类：薄膜电容器
 - 主要用于耦合、缓冲、电源旁路、定时、电源滤波器
 - 第三类：陶瓷电容器
 - 与薄膜电容器作用相似

电解电容器的分类

- 1. 铝电解电容器
 - 主要用于工频整流滤波、开关电源输出整流滤波、辅助电源的旁路。
- 2. 钽电解电容器
 - 主要用于DC/DC变换器的电源输入旁路、DC/DC变换器或高可靠电源的输出整流滤波、辅助电源的旁路。
- 3. 聚合物电解电容器
 - 高频开关电源的输出整流滤波、高电流变化率负载的电源旁路

输入整流滤波电路对滤波电容器的要求

- 1. 平滑整流输出电压（整流滤波）；
- 2. 吸收工频纹波电流和逆变器的开关成份电流；
- 3. 工频整流滤波需要滤波电容器具有很大的电容量，在50Hz/220V输入电压时只能选用铝电解电容器。

一、铝电解电容器

- 铝电解电容器是最早的电解电容器：**1921**年出现液体铝电解电容器，**1938**年前后改进为由多孔纸浸渍电糊的干式铝电解电容器。

(一) 铝电解电容器参数

铝电解电容器电压参数

- **1、额定DC电压 V_R**
- 额定DC电压 V_R 是电容器在额定温度范围内所允许的连续工作电压，它包括在电容器两电极间的直流电压和脉动电压或连续脉冲电压之和。
- **2、反向电压**
- 绝大多数电解电容器不允许施加反向电压，铝电解电容器的反向电压短时间内不得超过**1.5V**，一般允许不超过**0.8V**。

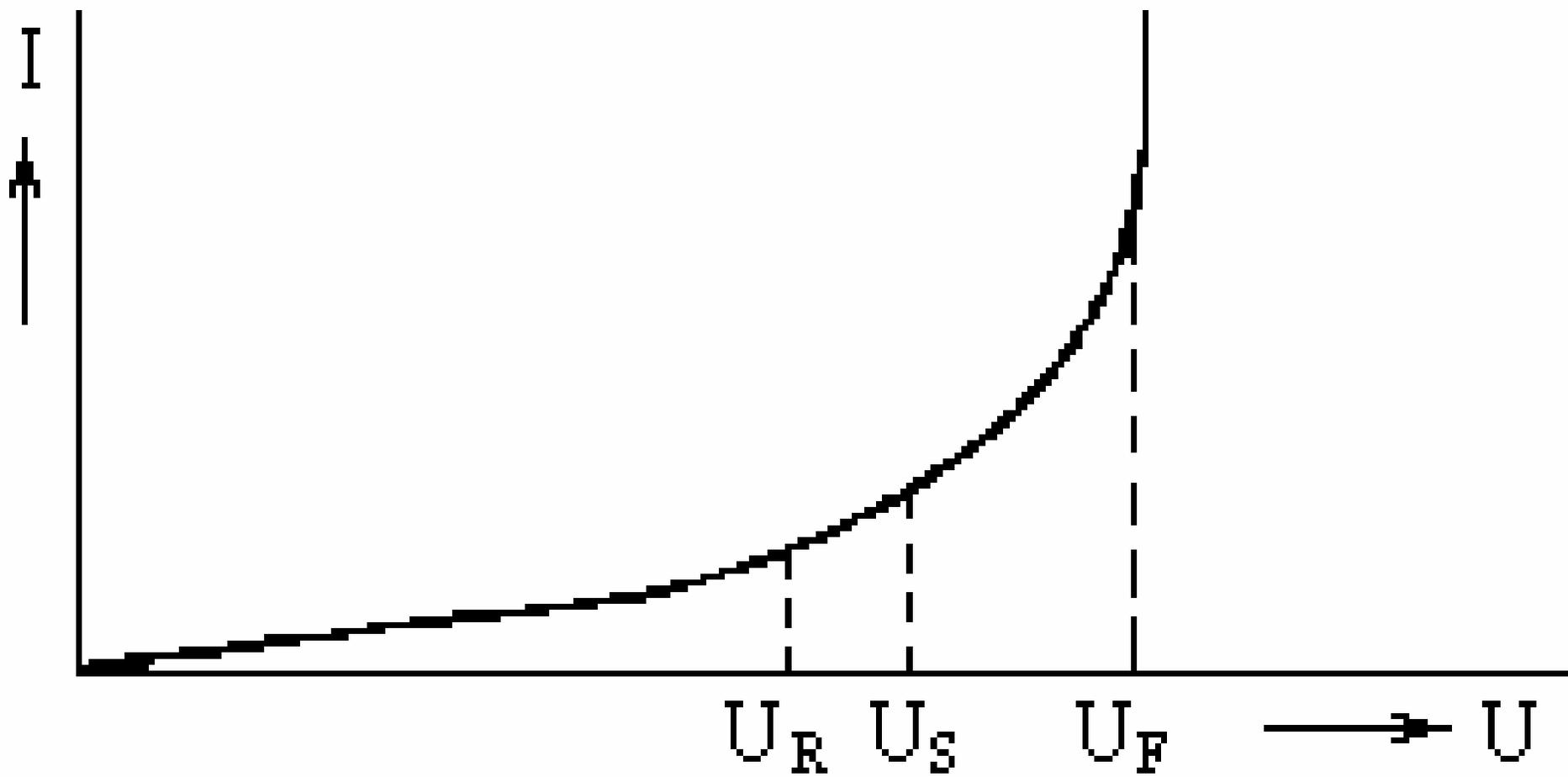
铝电解电容器电压参数

- 额定浪涌电压 V_S
- 额定浪涌电压 V_S 是铝电解电容器在短时间内能承受的电压值，其测试条件是：电容器工作在 **25C**，在不超过 **30秒**，两次间隔不小于 **5分**。**IEC 384-4**中规定的浪涌电压与额定电压的关系如下：
 - $U_R < 315V$ 时： $U_S = 1.15U_R$
 - $U_R > 315V$ 时： $U_S = 1.1U_R$
- 有些铝电解电容器（主要是大型铝电解电容器）在外壳上也标注浪涌电压。一般的标注方法为：
 $\times \times \times V_S$,

铝电解电容器电压参数

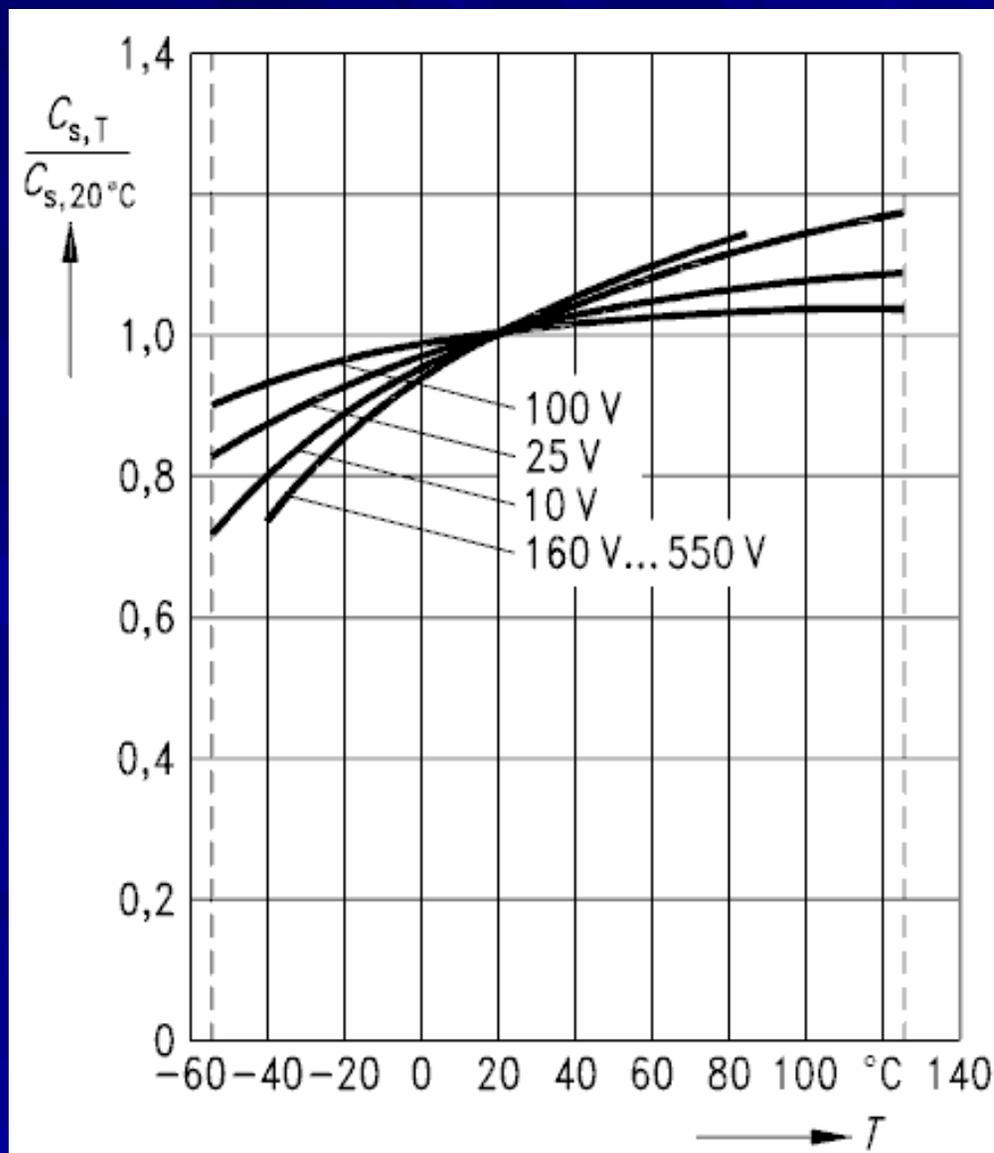
- 瞬间过电压：
- 铝电解电容器一般能瞬间承受的极限过电压。
- 接近于铝电解电容器的击穿电压

铝电解电容器的电压与漏电流特性



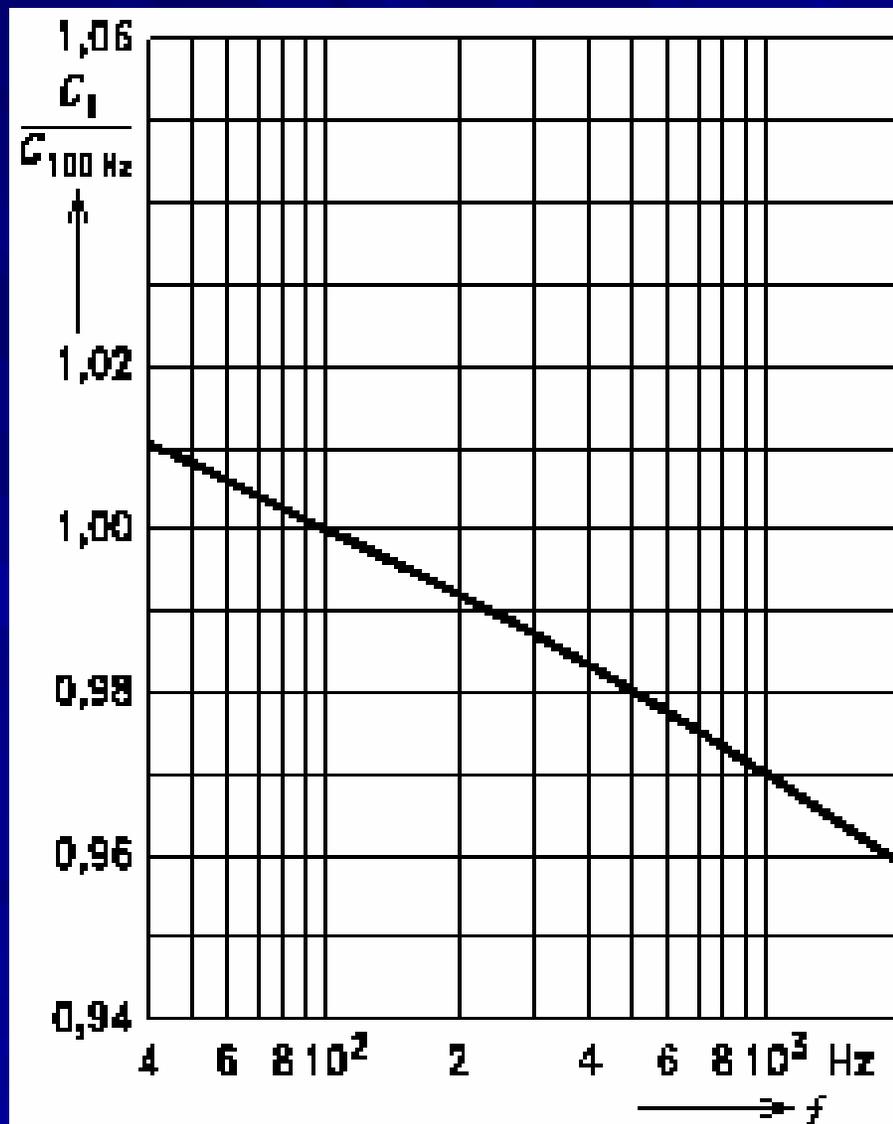
铝电解电容器的电容量

■ 电容量的温度特性



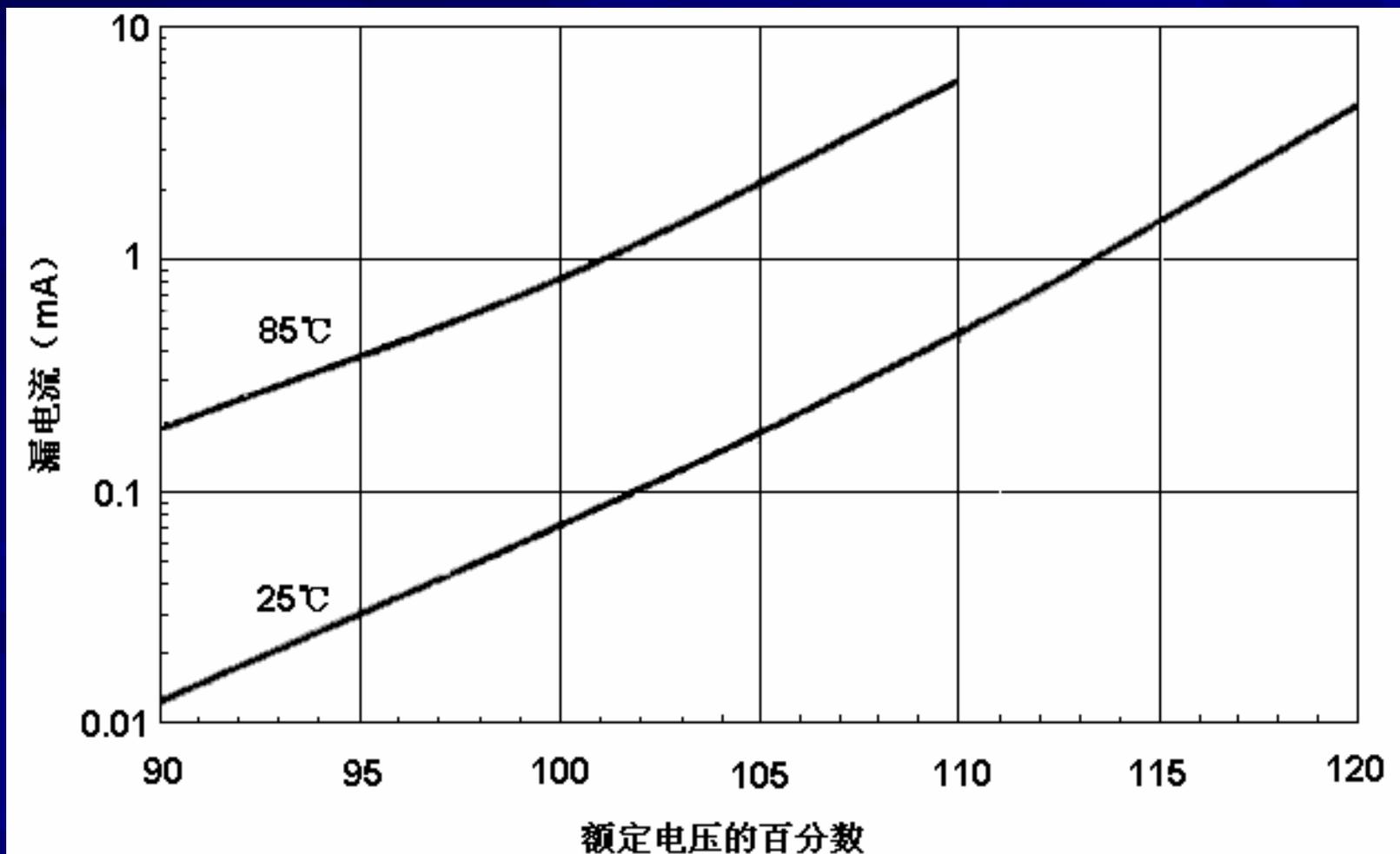
铝电解电容器的电容量

■ 电容量的频率特性



漏电流特性随温度增加

- 漏电流、CDE生产的450V/4700 μ F/85 $^{\circ}$ C铝电解电容器的漏电流与施加电压的关系

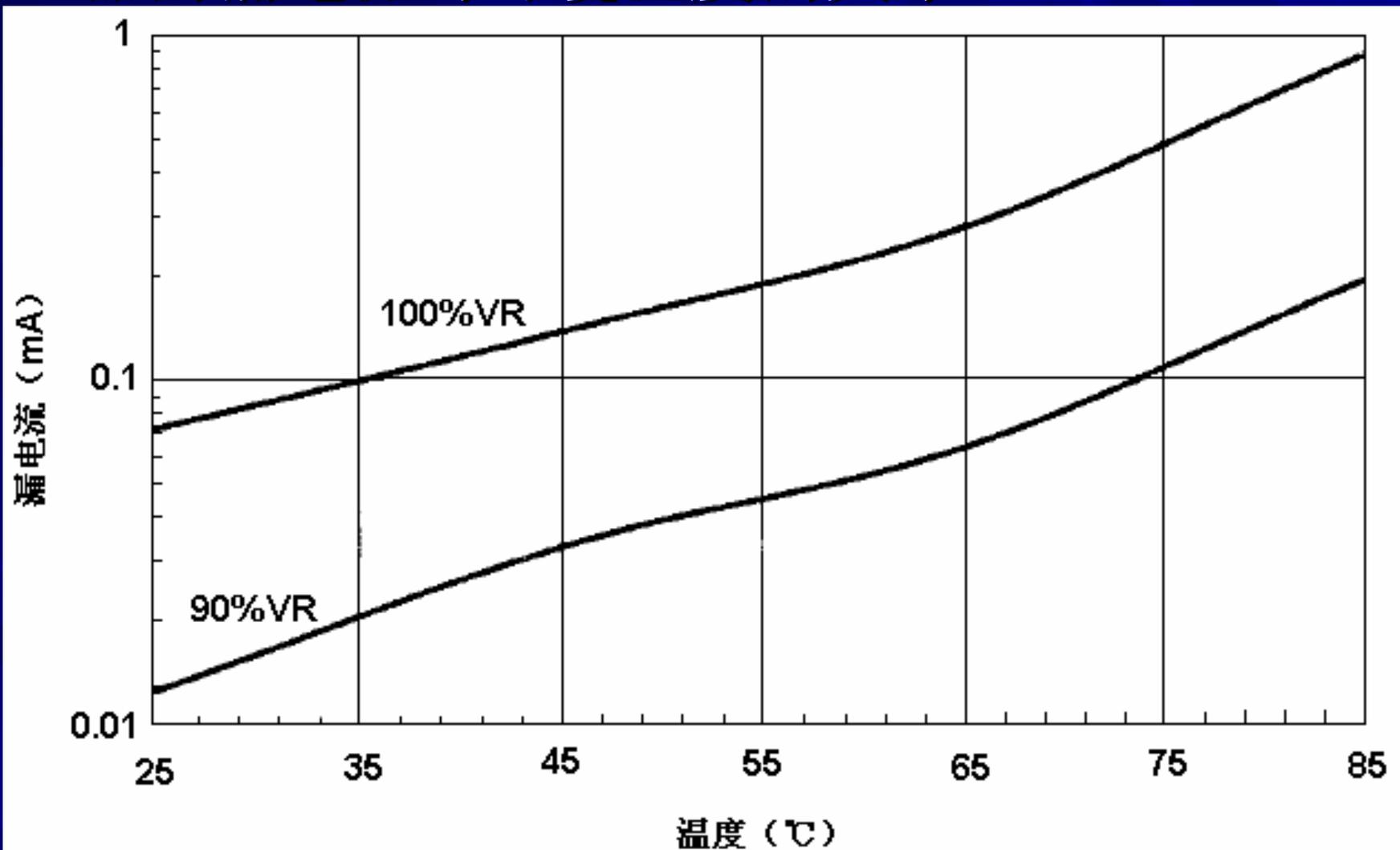


漏电流的电压、温度特性

- 25°C时漏电流仅仅是85°C时漏电流的不到十分之一
- 额定电压下的漏电流大约是90%额定电压下的漏电流的5倍。

漏电流特性随电压增加

- CDE生产的450V/4700 μ F/85 $^{\circ}$ C铝电解电容器的漏电流与环境温度的关系



铝电解电容器的老炼

■ 由于作为绝缘层的氧化铝介质的特殊性：氧化铝介质在铝箔切割、铆接过程中受到的损伤或受电解液中的氯离子的腐蚀而产生缺陷而产生的漏电流，需要通过施加直流电压的（阳极氧化）方式加以修补，因此，即使已经施加很长一段直流电压，仍会有一小的修补电流流过。这个电流成为漏电流。

■ 漏电流低意味着电解液中的氯离子极少，可以得到良好的修补结果，也表明作为绝缘层的氧化铝介质是良好的。电解液和铝箔中的铁、铜离子在铝电解电容器的电极上施加电压后会产生原电池效应电流，需要较多的电荷将其消耗掉，这就是一些铝电解电容器在初次加电后需要较长时间“漏电流”才能降到正常值的原因。这种现象也说明了铝电解电容器出厂前需要“老炼的必要性”。

铝电解电容器的赋能

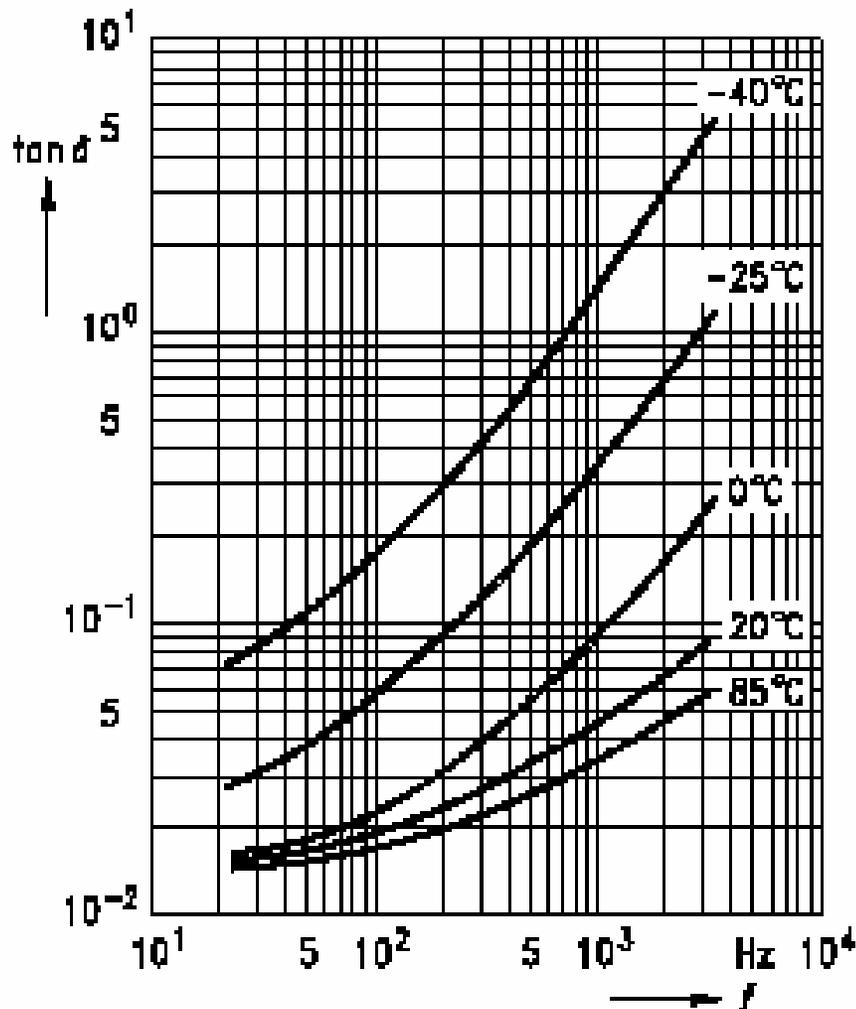
■ 铝电解电容器经过长时间无电压状态的存储后而没有任何的应用时其电解液中的氯离子对氧化铝介质膜的损伤最大，尤其温度很高的条件下进行存储时，在这种情况下从氧化层到阳极没有漏电流流过，氧化层就不能重新产生。结果就是当延长存储后接入电压时，会产生一个高于正常值的漏电流。然而，随着使用过程中氧化层的重新产生，漏电流会逐渐降低至正常值。同时由于铁、铜离子的原电池效应也逐渐恢复，这使得铝电解电容器的漏电流将需要一个长时间的施加电压加以恢复。这个过程称为老化或成为赋能。通常在铝电解电容器使用前最好进行赋能。

损耗因数

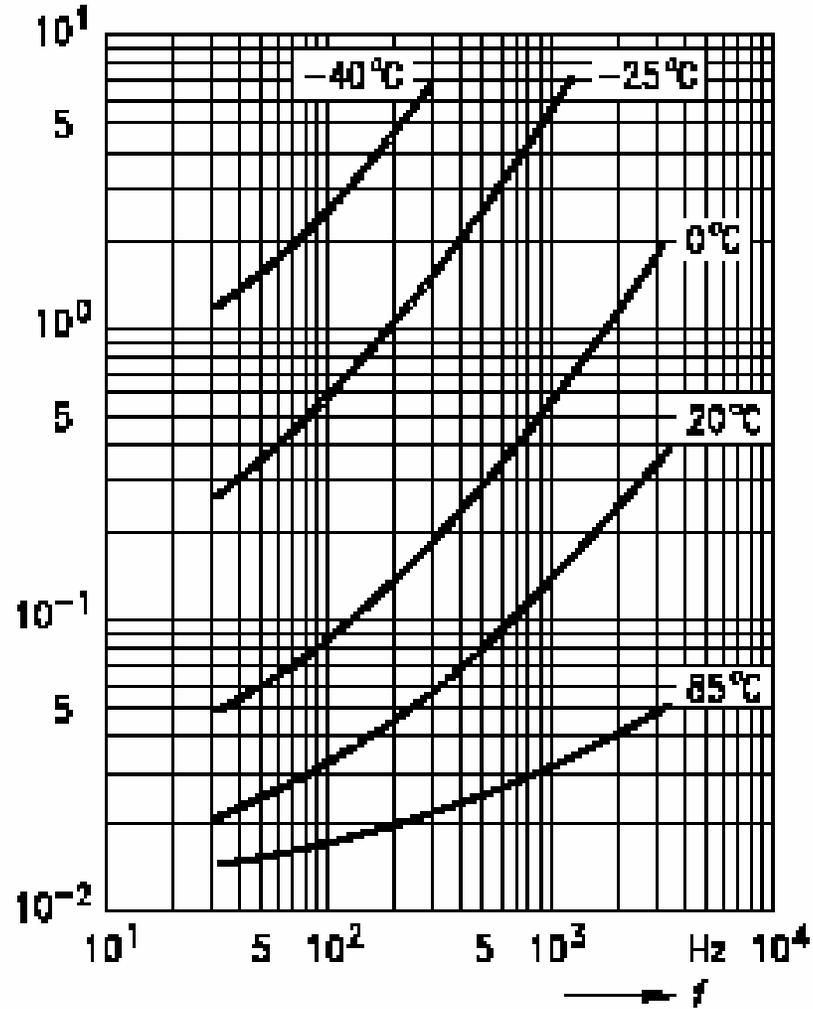
- 电解电容器的损耗因数（Dissipation Factor，英文缩写：DF）可以理解为在交流电流激励下，电解电容器的无功功率和等效串联电阻（ESR）的有功功率分别为：

$$I^2 \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{I^2}{\omega C}$$

铝电解电容器的损耗因数与温度、频率的关系



(a) 某 100 $\mu\text{F}/63\text{V}$ 铝电解电容器



(b) 某 47 $\mu\text{F}/350\text{V}$ 铝电解电容器

工作温度范围

- 由于铝电解电容器是电解液负极，随着温度的升高将会达到电解液的沸点。因此，电解液的沸点将是铝电解电容器不可逾越的最高工作与存储温度。在实际应用中，最高工作温度要比电解液的沸点低**10~20K**；同样，也是由于铝电解电容器的负极是电解液，在温度过低时，电解液将变得粘稠甚至凝固时铝电解电容器不能应用。因此，铝电解电容器也有工作与存储温度的下限。在工作/存储温度上限与下限之间的整个温度范围就是铝电解电容器的工作温度范围。

工作温度范围

- 对于比较低级的商业应用，铝电解电容器的最高工作/存储温度和最低工作/存储温度为**+85°C/-20°C**。如果对低温有特殊要求时，最低工作温度可以达到**-40°C**；如果铝电解电容器的工作/存储温度比较高，则需要**105°C**最高工作/存储温度的铝电解电容器；当遇到更高的工作温度，如节能灯或汽车发动机舱内的应用时，要求铝电解电容器的最高工作/存储温度要达到**125°C**甚至是**150°C**。
- 通过上述分析可以看到，铝电解电容器的最高工作/存储温度可以分为：一般应用的**+85°C**，比较高工作/存储温度的**+105°C**和非常高工作温度的**125°C**甚至是**140°C**、**150°C**的五个最高工作/存储温度。

寿命

- 同样是由于铝电解电容器的负极是电解液，随着时间的推移，电解液会渐渐的干涸，当电解液干涸到一定程度后，铝电解电容器的实际的负极板有效面积将明显的变小，电容量将开始明显降低；同时伴随着**ESR**的明显升高，当电容量的减小，**ESR**的上升达到一定程度，铝电解电容器将失去应用意义。这标志着铝电解电容器寿命終了。

铝电解电容器的额定温度与寿命的 额定参数

- 综上所述，铝电解电容器的额定温度是该铝电解电容器允许工作和存储的最高温度，根据工作环境温度要求通常可分为**85℃**、**105℃**、**125℃**和**140℃**四个温度等级。并且在各温度等级下的寿命小时数，如**1000小时**、**2000小时**、**3000小时**、**4000小时**、**5000小时**、**8000小时**、**10000小时**甚至更高。

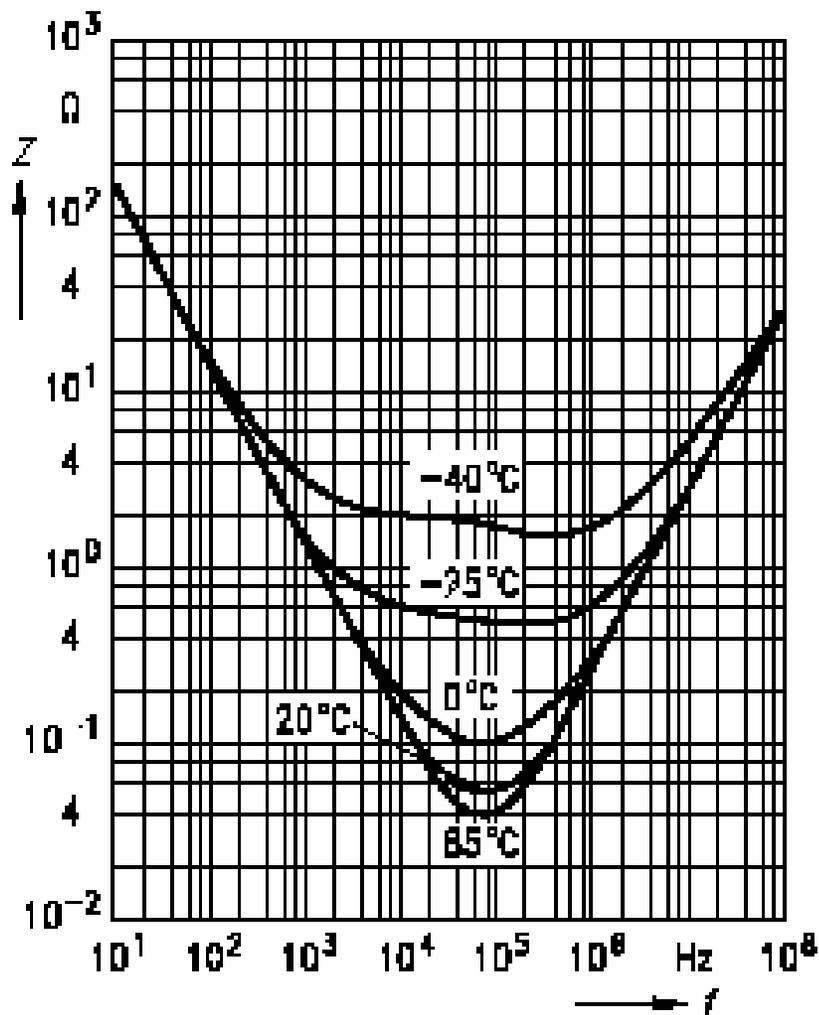
等效串联电阻

- 电解电容器的等效串联电阻（**ESR**）。其中，电解液的电阻是铝电解电容器等效串联电阻（**ESR**）的主要部分。
- 对于一般应用的铝电解电容器，多数铝电解电容器生产厂商是不给出**ESR**数据的，对于开关电源用的低**ESR**铝电解电容器或容量比较大的插脚式铝电解电容器则给出这个数据。

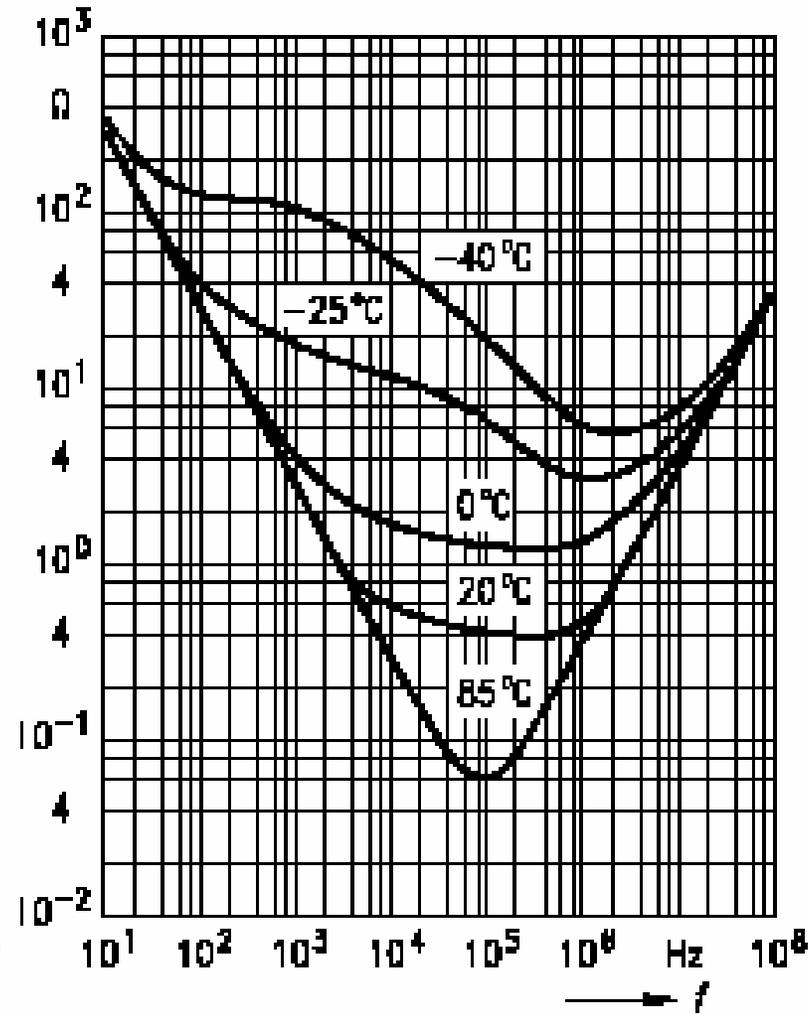
等效串联电阻

- 多数铝电解电容器生产厂商是不给出**ESR**数据的主要原因主要是：相对于其它介质的电容器，铝电解电容器的**ESR**显得太大。如**1 μ F/16V**的普通铝电解电容器，其**ESR**一般在**20 Ω** 左右；**100 μ F**的铝电解电容器，其**ESR**也是在**1.5~2 Ω** 之间。
- 试想，这样的数据写在数据手册里肯定会影响应用者的应用铝电解电容器的信心。因此，在某种意义上说，应用铝电解电容器是一种无奈的选择。会影响铝电解电容器的应用。

铝电解电容器的阻抗频率特性



(a) 某 100µF/63V 铝电解电容器的阻抗频率特性



(b) 某 47µF/350V 铝电解电容器的阻抗频率特性

铝电解电容器的阻抗频率特性

- 图中的每一条曲线的最低值即可认为是**ESR**值，从图中可以看出，**100 μ F/63V**铝电解电容器在**-40 $^{\circ}$ C**时的**ESR**接近**1.5 Ω** ，**-25 $^{\circ}$ C**时下降到**0.5 Ω** ，**0 $^{\circ}$ C**时下降到**0.1 Ω** ，室温**+25 $^{\circ}$ C**时为**0.05 Ω** 而在**+85 $^{\circ}$ C**的最高工作温度下的**ESR**最低，为**0.04 Ω** ；**47 μ F/350V**铝电解电容器在**-40 $^{\circ}$ C**时的**ESR**接近**6 Ω** ，**-25 $^{\circ}$ C**时下降到**3 Ω** ，**0 $^{\circ}$ C**时下降到**1.2 Ω** ，室温**+20 $^{\circ}$ C**时为**0.4 Ω** 而在**+85 $^{\circ}$ C**的最高工作温度下的**ESR**最低，为**0.06 Ω** 。可以看到，**ESR**从**25 $^{\circ}$ C**到高温限下降**35%到50%**，但在低温时**ESR**增加非常明显，从**0 $^{\circ}$ C**到**-40 $^{\circ}$ C****ESR**增加约一个数量级。如果从最高工作温度到最低工作温度，则**ESR**增加**50~100**倍。

ESR的热效应与铝电解电容器的热阻

- 纹波电流流过铝电解电容器的**ESR**将产生 $p=i^2*RESR$ 的功率损耗而导致铝电解电容器的发热。相对电力半导体器件，铝电解电容器的散热能力非常差。所以，稍有功耗铝电解电容器内部温度将明显升高，从而降低了铝电解电容器的使用寿命。因此，除了要清楚铝电解电容器的**ESR**在电路运行中的影响外，还要关注铝电解电容器的散热能力问题，即热阻。

插脚式铝电解电容器的热阻实例

D×L	外壳代码	风速0.5m/s °C/W		风速1.0m/s °C/W		风速2.0m/s °C/W		风速3.0m/s °C/W		风速4.0m/s °C/W		风速5.0m/s °C/W	
		壳到环境 R_{thca}	芯包到环境 R_{th}										
22×25	AB	24.3	25.1	19.1	20.0	14.8	15.7	13.2	14.1	11.4	12.3	10.3	11.1
22×30	AC	21.3	22.5	16.8	18.0	13.2	14.4	11.7	12.9	10.2	11.4	9.2	10.4
22×35	AD	19.1	20.5	15.1	16.6	11.9	13.4	10.7	12.1	9.4	10.8	8.5	9.9
22×40	AE	17.4	19.0	13.9	15.5	11.0	12.7	9.9	11.5	8.7	10.4	7.9	9.5
22×45	AF	16.1	17.6	12.9	14.4	10.4	11.8	9.3	10.8	8.3	9.7	7.5	9.0
22×50	AG	15.1	16.8	12.2	14.0	9.8	11.6	8.9	10.5	7.9	9.7	7.2	9.0
25×25	BB	21.9	22.8	17.2	18.1	13.4	14.3	11.8	12.6	10.2	11.1	9.2	10.0
25×30	BC	19.3	20.2	15.3	16.1	12.0	12.8	10.5	11.3	9.2	10.0	8.2	9.1
25×35	BD	17.2	18.2	13.7	14.7	10.8	11.8	9.6	10.6	8.4	9.4	7.6	8.6
25×40	BE	15.8	16.9	12.6	13.7	10.0	11.2	8.9	10.0	7.8	8.9	7.1	8.2
25×45	BF	14.7	16.2	11.8	13.3	9.4	10.9	8.4	9.9	7.4	8.9	6.8	8.3
25×50	CG	13.7	15.2	11.1	12.6	8.9	10.5	8.0	9.5	7.1	8.6	6.5	8.0

铝电解电容器热阻

- 从上面分析可以看到不同的铝电解电容器厂商生产的产品，外形相同或相近的外壳的外壳到环境的热阻基本相同，而芯包到外壳的热阻则大相径庭。如果仅仅从品质角度考虑，铝电解电容器的芯包到外壳的热阻反映了铝电解电容器的应用品质。
- 全球众多铝电解电容器生产厂商中，能过给出其生产的铝电解电容器的热阻很少。有的是没有这方面的数据（如国内众多铝电解电容器生产厂家），而有的则是技术保密的需要，当然也有感到自己生产的铝电解电容器的热阻值太大，过于羞涩，公布出去有伤大雅。

额定纹波电流

- 交流纹波电流流过铝电解电容器，将在其**ESR**上产生损耗而使铝电解电容器发热，这个发热的限度对纹波电流的限制就是额定纹波电流值。其定义为在最高工作温度下可以确保铝电解电容器额定寿命时间的最大纹波电流值。对于一般应用的铝电解电容器，多数铝电解电容器生产厂商是不给出额定纹波电流数据的，对于开关电源用的低**ESR**铝电解电容器或容量比较大的插脚式铝电解电容器则给出这个数据。
- 实际上铝电解电容器可以承受的纹波电流也是比较低的，对于普通用途的铝电解电容器可以承受的纹波电流值的第一感觉就是太低了。

表4.16.1 国产CD110型铝电解电容器的ESR、纹波电流

额定电压 (V)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160	200	250	315	350	400	450
C μF	mA														
1						21	21	21	22	22	22	22	22	22	25
2.2						31	31	30	32	32	32	38	38	38	43
3.3						38	38	40	40	40	48	53	53	54	59
4.7				38		45	45	45	48	56	56	65	65	71	76
10			50	55	40	66	66	75	81	94	101	115	115	123	123
22			75	82	59	98	100	130	151	170	182	182	197	197	226
33			92	100	87	126	140	180	202	223	243	277	277	277	304
47		99	110	118	107	155	170	230	260	265	295	330	330	361	380
100		146	160	199	130	260	300	370	422	483	528	567	507		

额定电压
(V)

6.3 10 16 25 35 50 63 100 160 200

C
μ F **mA** **mA** **mA** **mA** **mA** **mA** **mA** **mA** **mA**

220 200 240 264 349 214 443 470 620 783 882

330 270 290 383 510 443 595 710 760 1080

470 332 417 457 545 542 887 900 1000

1000 546 650 791 996 664 1400 1300 1380

2200 1010 1080 1350 1660 1210 2340

3300 1230 1430 1690 2030 2510 2810

4700 1710 1780 2100 2650 2990

6800 1930 2220 2580 3290

10000 2450 2700 3130

15000 2860 3100

22000 3340

国产低阻抗、高纹波电流引线式铝电解电容器的ESR与纹波电流

C μ F	6.3 (V)		10 (V)		16 (V)		25 (V)	
	ESR(Ω)	(mA)	ESR(Ω)	(mA)	ESR (Ω)	(mA)	ESR(Ω)	(mA)
33	2.5	105	1.9	105	1.5	120	1.5	120
47	1.5	120	1.5	120	1.2	130	1.2	130
100	1.2	130	1.2	130	0.58	220	0.58	220
220	0.87	180	0.58	220	0.47	290	0.39	315
330	0.58	220	0.47	265	0.39	315	0.23	500
470	0.39	315	0.39	315	0.23	500	0.18	615
1000	0.23	500	0.18	615	0.12	825	0.090	1050
2200	0.095	1000	0.090	1050	0.068	1300	0.056	1740
3300	0.090	1050	0.068	1300	0.056	1740	0.045	2110
4700	0.061	1670	0.056	1740	0.045	2110	0.036	2580
6800	0.056	1740	0.045	2110	0.036	2580		
10000	0.045	2110	0.036	2580				
15000	0.036	2580						

C	35 (V)		50 (V)		63 (V)		100 (V)	
	ESR(Ω)	(mA)	ESR(Ω)	(mA)	ESR(Ω)	(mA)	ESR(Ω)	(mA)
10	1.8	105	2.7	100	3.6	95	3.3	110
22	1.5	120	1.9	125	2.1	130	1.4	165
33	1.5	130	1.1	195	1.7	160	0.94	305
47	0.58	220	0.90	245	1.2	305	0.68	320
100	0.39	315	0.50	385	0.65	395	0.28	585
220	0.23	500	0.27	505	0.32	505	0.16	1120
330	0.18	615	0.18	675	0.22	660	0.13	1290
470	0.12	825	0.12	895	0.16	850	0.11	1350
1000	0.068	1300	0.076	1495	0.098	1430		
2200	0.045	2110	0.050	2190				
3300	0.036	2580						

某型号国产插脚式铝电解电容器

额定电压 (V)	160	200	250	315	350	400	450
电容量	A	A	A	A	A	A	A
33 (μf)							0.25
39						0.27	0.28
47					0.28	0.31	0.31
56					0.32	0.34	0.36
68			0.39	0.32	0.34	0.38	0.38
82			0.45		0.40	0.46	0.44
100		0.51	0.48	0.38	0.45	0.53	0.50
120	0.53	0.53	0.52	0.48	0.52	0.55	0.58
150	0.57	0.55	0.56	0.56	0.59	0.63	0.66
180	0.60	0.57	0.64	0.63	0.68	0.72	0.74
220	0.63	0.70	0.76	0.72	0.78	0.79	0.88

额定电压 (V)	35	50	63	80	100	160	200	250	315	350	400	450
电容量	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A
270 μ F						0.76	0.83	0.88	0.81	0.94	0.98	0.99
330					0.60	0.84	0.96	1.01	0.92	1.05	1.12	1.15
390					0.71	0.97	1.06	1.13	1.04	1.18	1.27	1.28
470				0.65	0.78	1.14	1.17	1.29	1.15	1.26	1.33	
560				0.80	1.01	1.26	1.39	1.45	1.34	1.39		
680			0.83	0.84	1.19	1.44	1.58	1.71				
820			0.99	1.09	1.33	1.63	1.85	1.94				
1000		0.87	1.10	1.29	1.56	1.89	2.11	2.20				
1200		1.02	1.20	1.48	1.76	2.16	2.38					
1500	0.80	1.21	1.41	1.70	2.00	2.61	2.76					
1800	0.94	1.34	1.62	1.91	2.29	2.97						

额定电压 (V)	10	16	25	35	50	63	80	100
电容量	A	A	A	A	A	A	A	
2200 μ F			0.98	1.04	1.52	1.85	2.22	2.52
2700			1.08	1.29	1.77	2.10	2.50	2.68
3300		1.06	1.29	1.54	2.02	2.33	2.69	2.87
3900		1.25	1.31	1.77	2.27	2.58	2.94	32.5
4700	0.98	1.38	1.55	2.01	2.43	2.82	3.44	3.56
5600	1.16	1.44	1.77	2.25	2.72	3.22	3.72	
6800	1.31	1.66	2.02	2.49	3.01	3.61		
8200	1.36	1.67	2.27	2.80	3.36	3.94		
10000	1.65	2.08	2.56	3.04	3.79			
12000	1.85	2.36	2.79	3.38	4.06			
15000	2.12	2.69	3.13	3.88				

额定电压 (V)	10	16	25	35
电容量 μF	A	A	A	A
18000	2.40	3.06	3.52	4.40
22000	2.59	3.46	3.92	
27000	3.01	3.38	4.72	
33000	3.43	4.33		
39000	3.78	4.96		
47000	4.58	5.49		
56000	5.06			

铝电解电容器失效模式及其失效因素

- 铝电解电容器正极、负极引出电极和外壳都是高纯铝，铝电解电容器的介质是在正极表面形成的三氧化二铝膜，真正的负极是电解液，工作时相当一个电解槽，只不过正极表面的阳极氧化层已经形成，不再发生电化学反应，理论上电流为零，由于电极与电解液杂质的存在，会引起微小的漏电流。从现象上看，铝电解电容器常见的失效现象与失效模式有：电解液干涸、压力释放装置动作、短路、开路（无电容量）、漏电流过大等。

铝电解电容器应用环境

- 如果铝电解电容器在质量上没有问题，失效问题的出现就是出现在应用环境中。铝电解电容器设计应用环境主要有：环境温度、散热方式、电压、电流参数等。对电容器的应用者而言，短路、开路属于“灾难性的失效”，或曰“致命的失效”，使其完全丧失了电容器的功能。其他几类失效模式（即由第二类因素造成的失效），一般归为“劣化失效”，或曰“耗尽失效”。

耗尽失效（1）

- 通常电解电容器寿命的终了评判依据是电容量下降到额定（初始值）的**80%**以下。由于早期铝电解电容器的电解液充盈，铝电解电容器的电容量在工作早期缓慢下降。随着负荷过程中工作电解液不断修补倍杂质损伤的阳极氧化膜所致电解液逐渐减少。到使用后期，由于电解液挥发而减少，粘稠度增大的电解液就难于充分接触经腐蚀处理的粗糙的铝箔表面上的氧化膜层，这样就使铝电解电容器的极板有效面积减小，即阳极、阴极铝箔容量减少，引起电容量急剧下降。因此，可以认为铝电解电容器的容量降低是由于电解液挥发造成。而造成电解液的挥发的最主要的原因就是高温环境或发热。

耗尽失效 (2)

- 由于应用条件使铝电解电容器发热的原因是铝电解电容器在工作在整流滤波（包括开关电源输出纹波（或称脉动）电流流过铝电解电容器，在铝电解电容器的ESR产生损耗并转变成热使其发热。
- 当铝电解电容器电解液蒸发较多、溶液变稠时，电阻率因粘稠度增大而上升，使工作电解质的等效串联电阻增大，导致电容器损耗明显上升，损耗角增大。例如对于105度工作温度的电解电容器，其最大芯包温度高于125度时，电解液粘稠度骤增，电解液的ESR增加近十倍。增大的等效串联电阻会产生更大热量，造成电解液的更大挥发。如此循环往复，铝电解电容器容量急剧下降，甚至会造成爆炸。

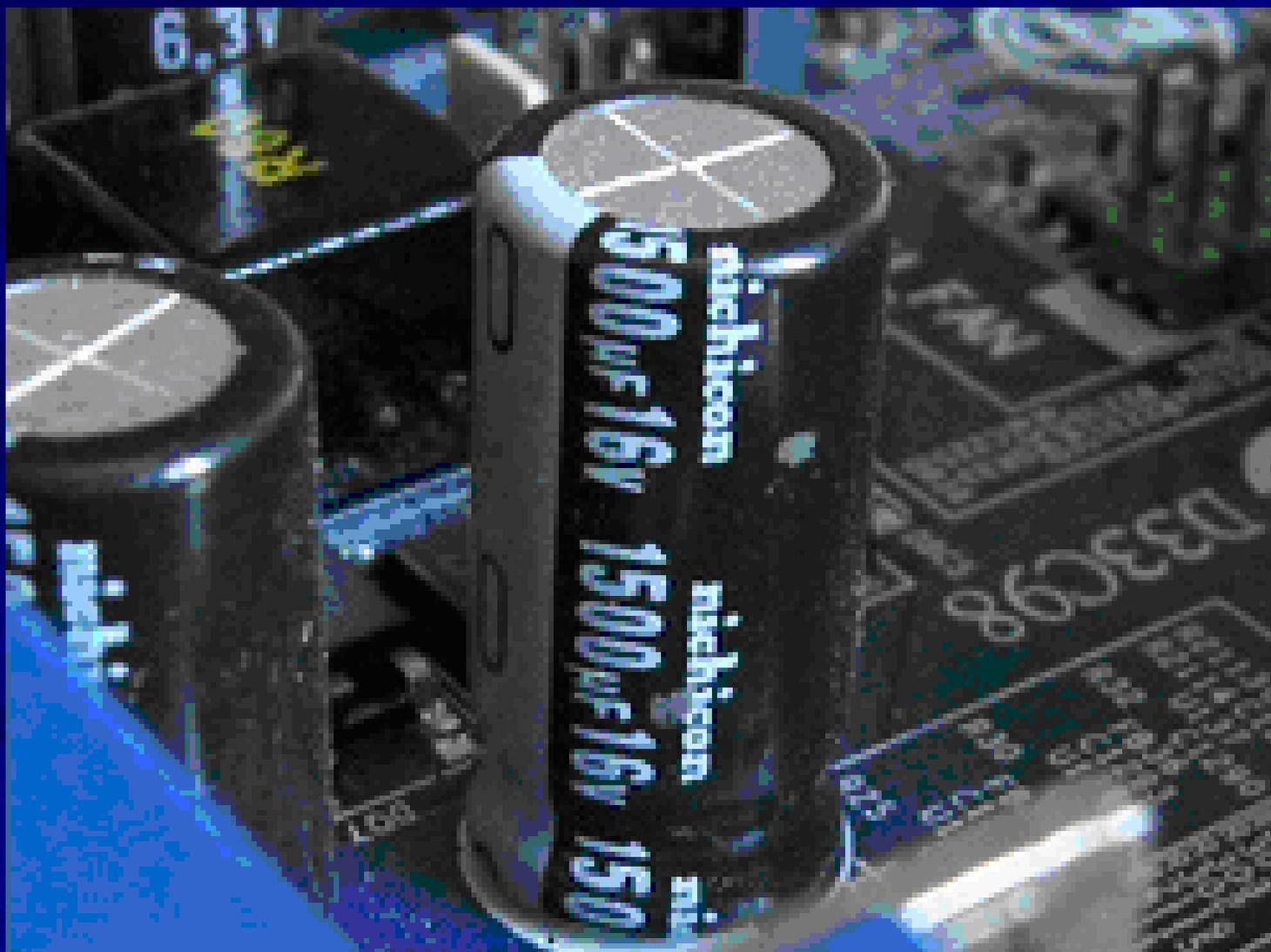
耗尽失效 (3)

- 漏电流增加往往导致铝电解电容器失效。
- 应用电压过高和温度过高都会引起漏电流的增加

压力释放装置动作

- 为了防止铝电解电容器中电解液由于内部高温沸腾的气体或电化学反应而产生的气体而引起内部高压造成铝电解电容器的爆炸。为了消除铝电解电容器的爆炸，直径8毫米以上的铝电解电容器均设置了压力释放装置，这些压力释放装置在铝电解电容器内部的气压达到尚未使铝电解电容器爆炸的危险压力前动作，泄放出气体。随着铝电解电容器的压力释放装置的动作，铝电解电容器即宣告失效。

铝电解电容器压力释放装置



电化学过程导致压力释放装置动作

- 铝电解电容器的漏电流就是电化学过程，前面已经详尽论述，不再赘述。电化学过程将产生气体，这些气体的聚积将造成铝电解电容器的内部气压上升，最终达到压力释放装置动作泄压。

温度过高导致压力释放装置动作

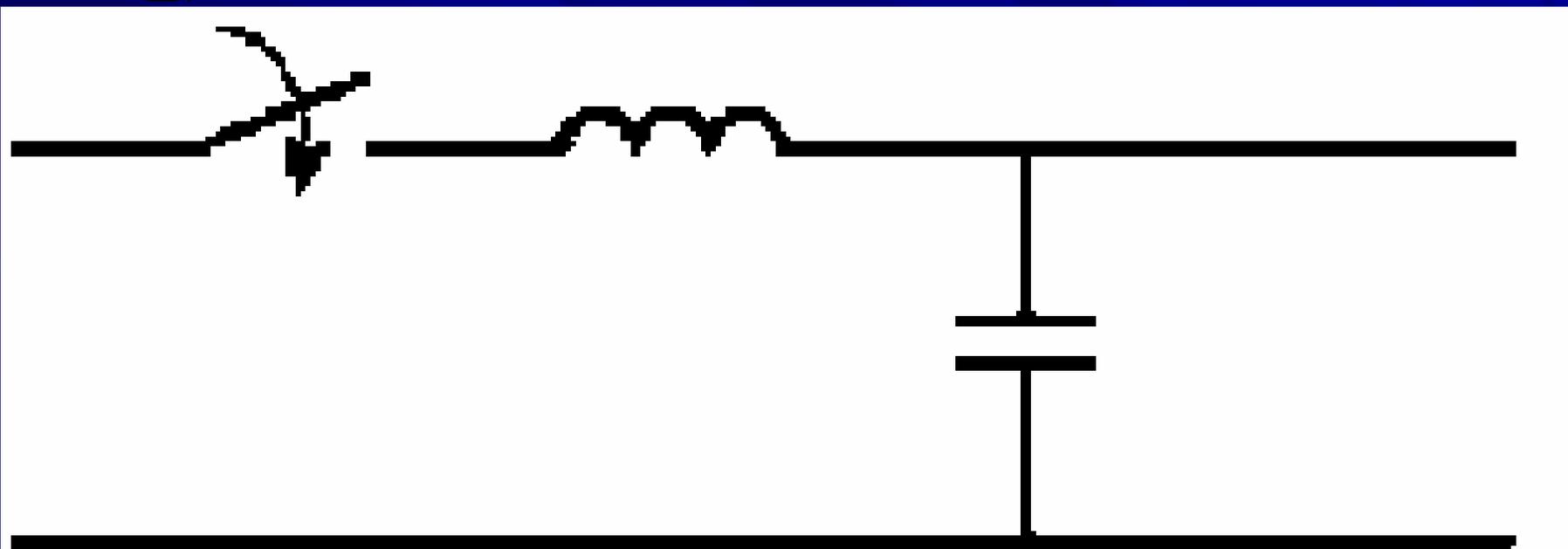
- 铝电解电容器温度过高可能是环境温度过高，如铝电解电容器附近有发热元件或整个电子装置就出在高温环境；
- 铝电解电容器温度过高的第二个原因是芯包温度过高。铝电解电容器芯包温度过高的根本原因是铝电解电容器流过过高的纹波电流。过高的纹波电流在铝电解电容器的**ESR**中产生过度的损耗而产生过度的发热使电解液沸腾产生大量气体使铝电解电容器内部压力及急剧升高时压力释放装置动作。

瞬时超温

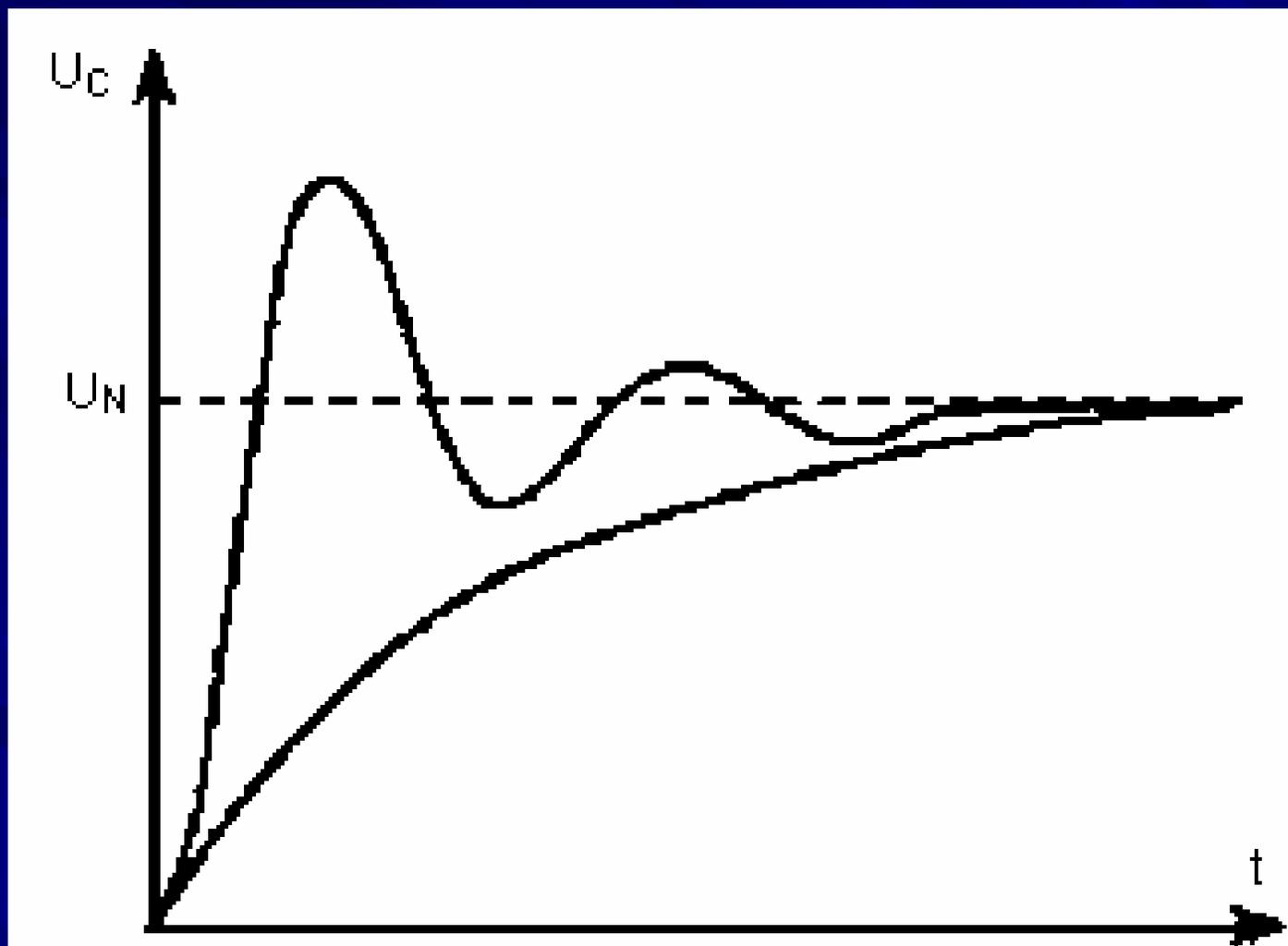
- 通常铝电解电容器的芯包核心温度每降低 10°C ，其寿命将增大到原来的一倍。这个核心大致位于电容器的中心，是电容器内部最热的点。可是，当电容器升温接近其最大允许温度时，对于大多数型号电容器在 125°C 时，其电解液要受到电容器芯包的排挤（**driven**），导致电容器的**ESR**增大到原来的**10**倍。在这种作用下，瞬间超温或过电流可以使**ESR**永久性的增大，从而造成电容器失效。在高温和大纹波电流的应用中特别要警惕瞬时超温发生的可能，还要额外注意铝电解电容器的冷却。

瞬时过电压的产生

- 上电冲击
- 上电过程中，由于滤波电感释放储能到滤波电容器中，导致滤波电容器的过瞬时过电压。

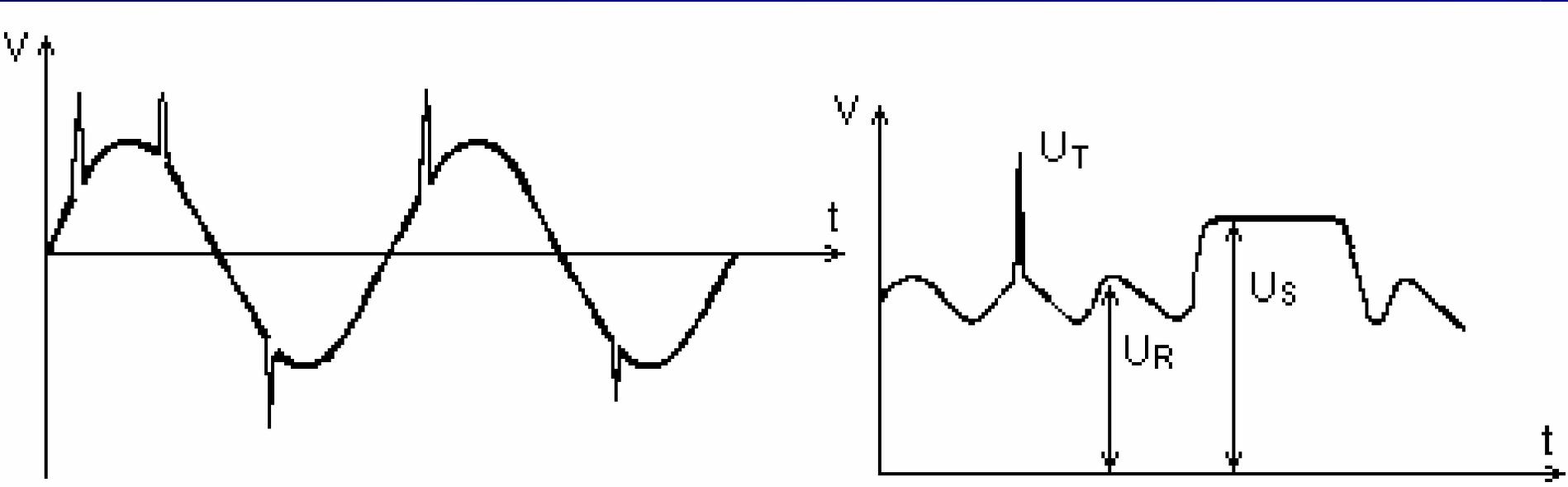


上电过电压示意



电容过电压失效的防范

- 电容器在过压状态下容易被击穿，而实际应用中的瞬时高电压是经常出现的。
- 选择承受瞬时过电压性能好的铝电解电容器，RIFA有的铝电解电容器就给出了瞬时过电压值得参数。



RIFA铝电解电容器

可承受的瞬时过电压

ARTICLE TABLE PEH 200 (85°C)

C_R	D x L	Case code	I_{RAC}^* 85°C 100 Hz	I_{RAC}^* 50°C ** 10 kHz	I_{RAC}^* 40°C 10 kHz	ESR* 20°C 100 Hz	ESR* 20°C 100kHz	L_{ESL} Approx.	U_T^{***}	Article code
μF	mm		A	A	A	mΩ	mΩ	nH	V	U2 = Plain can B2 = Stud can
400 VDC (U_R), ($U_{SURGE} = 460V$)										
220	35 x 51	A	2.1	12.3	7.7	400	230	12	720	PEH200VA322TM--
330	35 x 75	C	2.7	14.3	9.9	270	150	12	710	PEH200VC333TM--
470	50 x 49	G	3.6	18.7	11.2	200	120	16	700	PEH200VG347TM--
560	35 x 95	D	3.6	18.0	12.9	160	91	12	700	PEH200VD356TM--
820	50 x 75	H	5.2	25.2	16.7	110	65	16	680	PEH200VH382TM--
1500	50 x 105	K	7.2	31.0	22.0	63	37	16	660	PEH200VK415TM--
2200	65 x 105	O	9.7	36.8	25.8	46	29	16	640	PEH200VO422TM--
2200	75 x 78	L	10.0	41.1	27.2	45	28	17	640	PEH200VL422TM--
2700	90 x 78	M	12.6	52.0	35.0	36	22	16	640	PEH200VM427TM--
3300	75 x 105	T	12.7	48.4	33.6	31	19	17	630	PEH200VT433TM--
4700	75 x 145	V	15.3	55.7	41.6	21	13	17	630	PEH200VV447TM--
4700	90 x 98	N	16.7	60.9	42.5	22	14	16	630	PEH200VN447TM--
8200	75 x 220	X	18.7	59.1	46.5	13	9	17	630	PEH200VX482TM--
8200	90 x 145	Y	22.5	73.6	54.9	13	9	16	630	PEH200VY482TM--
12000	90 x 220	Z	26.3	78.3	62.4	10	6	16	630	PEH200VZ512TM--

ARTICLE TABLE PEH 200 (85°C)

C_R	D x L	Case code	I_{RAC}^* 85°C 100 Hz A	I_{RAC}^* 50°C ** 10 kHz A	I_{RAC}^* 40°C 10 kHz A	ESR* 20°C 100 Hz mΩ	ESR* 20°C 100kHz mΩ	L_{ESL} Approx. nH	U_T^{***} V	Article code U2 = Plain can B2 = Stud can
420 VDC (U_R), ($U_{SURGE} = 480V$)										
150	35 x 51	A	1.8	10.6	6.7	490	260	12	740	PEH200OA315TM--
270	35 x 75	C	2.6	13.6	9.4	280	140	12	730	PEH200OC327TM--
330	50 x 49	G	3.2	18.5	11.1	230	120	16	720	PEH200OG333TM--
390	35 x 95	D	3.1	15.4	11.2	190	100	12	720	PEH200OD339TM--
680	50 x 75	H	5.0	26.0	17.2	110	60	16	700	PEH200OH368TM--
1000	50 x 105	K	6.3	30.2	21.1	77	41	16	680	PEH200OK410TM--
1500	75 x 78	L	9.0	41.1	27.2	53	29	17	660	PEH200OL415TM--
1800	65 x 105	O	9.4	38.2	26.9	46	26	16	660	PEH200OO418TM--
2200	90 x 78	M	12.0	51.5	34.6	37	21	16	650	PEH200OM422TM--
2700	75 x 105	T	12.3	50.3	35.1	31	17	17	650	PEH200OT427TM--
3300	90 x 98	N	15.3	61.1	42.7	25	14	16	650	PEH200ON433TM--
3900	75 x 145	V	14.9	56.7	42.1	21	12	17	650	PEH200OV439TM--
5600	75 x 220	X	17.0	59.1	46.2	15	9	17	650	PEH200OX456TM--
5600	90 x 145	Y	18.8	60.9	45.6	19	12	16	650	PEH200OY456TM--
8200	90 x 220	Z	23.9	77.9	62.2	11	7	16	650	PEH200OZ482TM--
450 VDC (U_R), ($U_{SURGE} = 515V$)										
150	35 x 51	A	1.8	10.2	6.5	500	280	12	770	PEH200YA315TM--
270	35 x 75	C	2.6	13.1	9.1	280	160	12	760	PEH200YC327TM--
330	50 x 49	G	3.3	18.1	10.8	230	130	16	750	PEH200YG333TM--
390	35 x 95	D	3.2	15.1	11.1	190	100	12	750	PEH200YD339TM--
680	50 x 75	H	5.1	25.3	16.8	110	64	16	730	PEH200YH368TM--
1000	50 x 105	K	6.4	29.3	20.7	78	45	16	710	PEH200YK410TM--
1500	75 x 78	L	9.2	40.8	27.3	54	31	17	700	PEH200YL415TM--

RIFA铝电解电容器 可承受的瞬时过电压

PEH 200

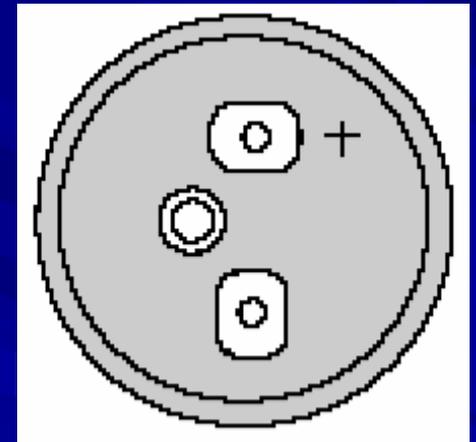
ARTICLE TABLE PEH 200 (85°C)

C_R	D x L	Case code	I_{RAC}^* 85°C 100 Hz A	I_{RAC}^* 50°C ** 10 kHz A	I_{RAC}^* 40°C 10 kHz A	ESR* 20°C 100 Hz mΩ	ESR* 20°C 100kHz mΩ	L_{ESL} Approx. nH	U_T^{***} V	Article code
μF	mm									U2 = Plain can B2 = Stud can
450 VDC (U_R), ($U_{SURGE} = 515V$)										
1800	65 x 105	O	9.6	36.8	25.8	47	29	16	690	PEH200YO418TM--
2200	90 x 78	M	12.4	52.0	34.9	37	22	16	690	PEH200YM422TM--
2700	75 x 105	T	12.6	50.0	35.2	31	19	17	680	PEH200YT427TM--
3300	90 x 98	N	15.6	61.2	42.9	25	15	16	680	PEH200YN433TM--
3900	75 x 145	V	15.1	55.8	41.7	22	13	17	680	PEH200YV439TM--
5600	90 x 145	Y	20.7	72.7	55.0	15	10	16	680	PEH200YY456TM--
6800	75 x 220	X	18.6	59.9	46.7	14	9	17	680	PEH200YX468TM--
10000	90 x 220	Z	25.9	78.0	62.5	9	6	16	680	PEH200YZ510TM--

- 电容量比较小的铝电解电容器可以承受的瞬间过电压比电容量比较大的高，主要原因是体积小，散热能力比较好。

铝电解电容器的正负极连接错误

- 如果铝电解电容器的正负极连接错误，只需很短的时间就会造成电容器的损坏。因此为避免类似的连接错误，电容器的正极端子的方向会旋转 90° 。即与两螺栓端子轴线垂直方向的是正极，顺着两螺栓端子轴线方向的为负极。



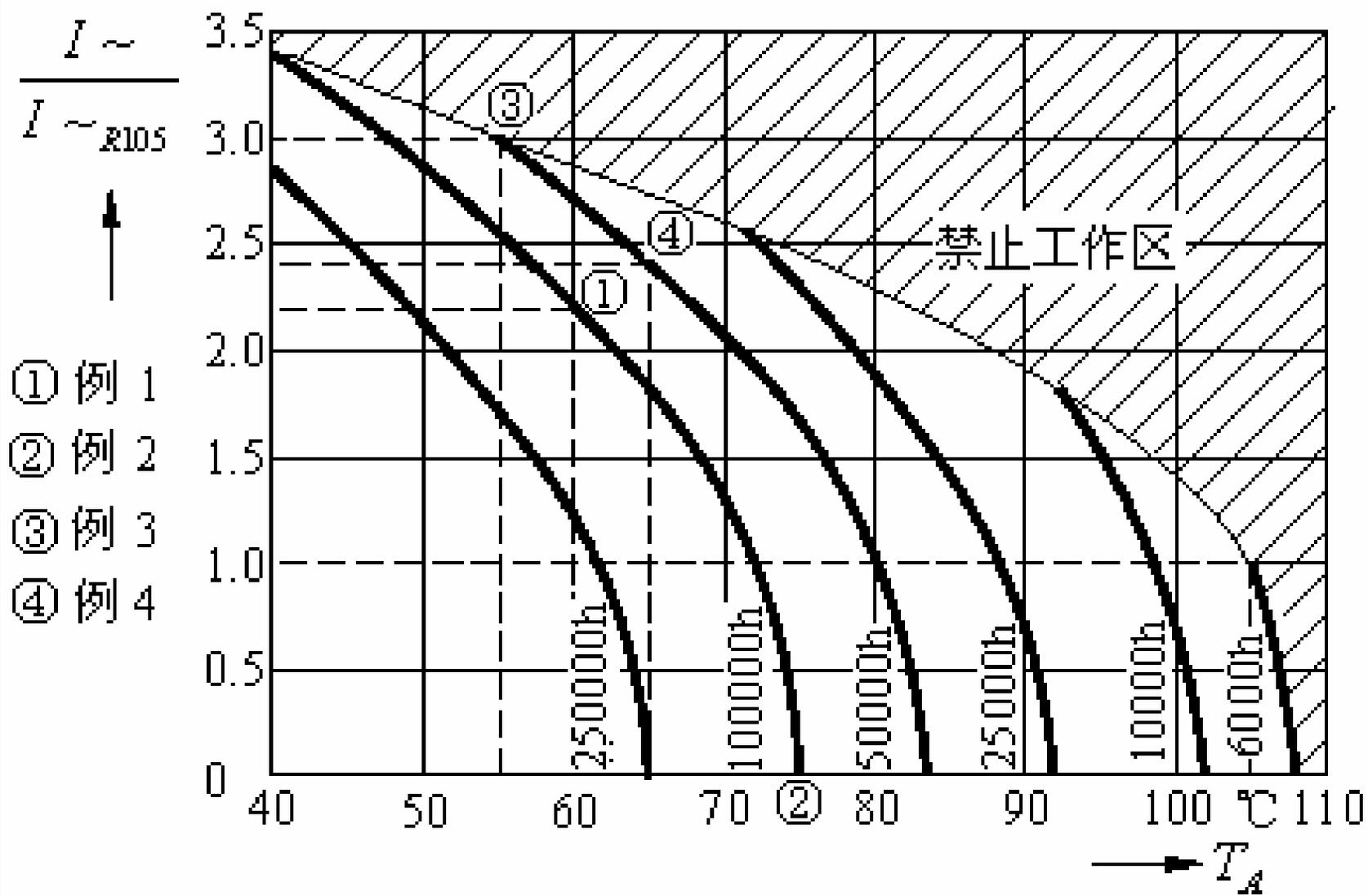
铝电解电容器的寿命问题

寿命问题是铝电解电容器的最
致命的硬伤！

应用环境对铝电解电容器寿命的影响

- 温度
- 纹波电流

铝电解电容器的寿命与温度、纹波电流的关系



不同频率下的可承受的纹波电流折算

- 不同频率下，铝电解电容器所承受的纹波电流值不同

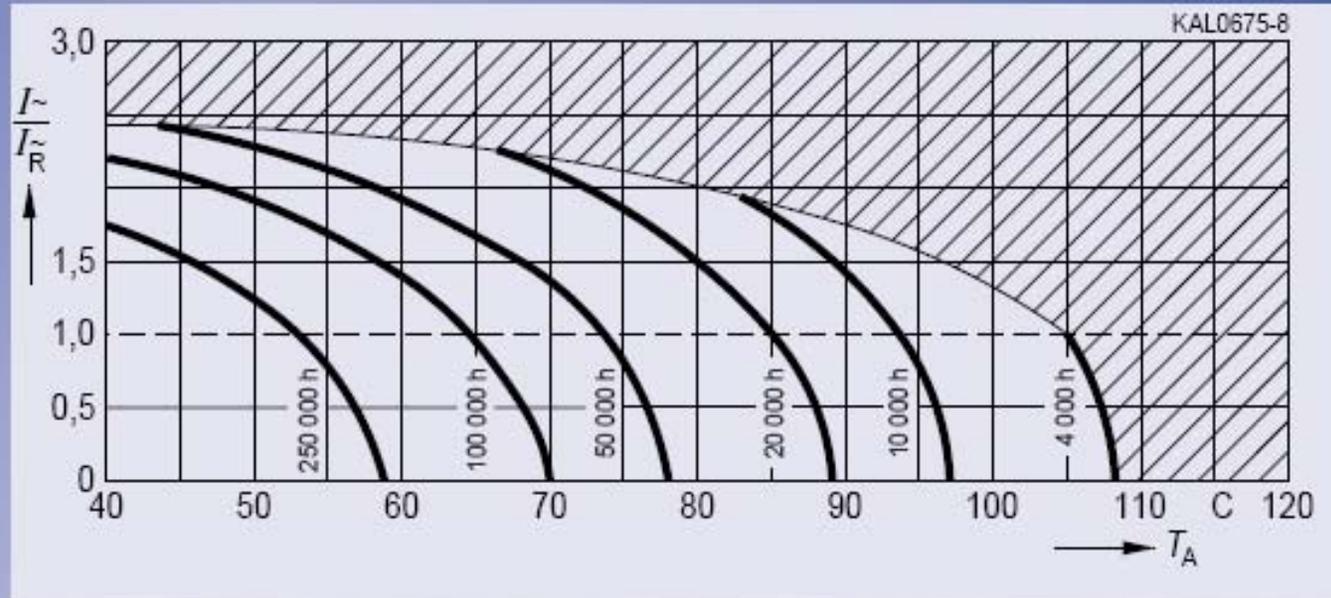
频率 (Hz)	50	100	400	800	1000	≥ 2000
折算系数	0.8	1.0	1.21	1.3	1.35	1.4

施加电压对寿命的影响

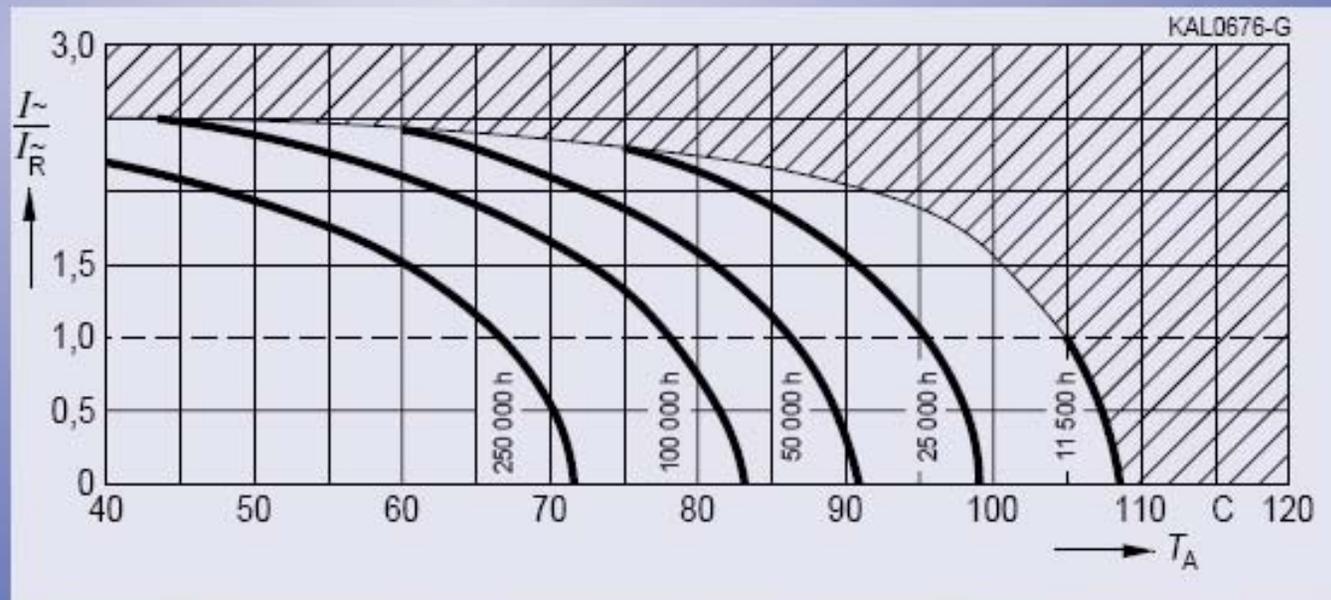
- 以EPCOS的B43697电子镇流器用铝电解电容器为例。
- 在不同的电压与温度条件下的铝电解电容器寿命不同

Useful life*	$t_{LD(CO)}$	450 V	420 V	
40 °C, U_R		200 000 (1.85 $I_{\sim R, 105\text{ °C}}$)	200 000 (2.3 $I_{\sim R, 105\text{ °C}}$)	h
85 °C, $U_R, I_{\sim R}$		20 000	58 000	
85 °C, $U_R, I_{\sim R \max}$		9 000	17 500	
105 °C, $U_R, I_{\sim R}$		4 000	11 500	
Voltage endurance test		3 000, 105 °C, U_R	5 000, 105 °C, U_R	

- Useful life depending on ambient temperature T_A under ripple current operating conditions
- Rated voltage U_R applied



- Useful life depending on ambient temperature T_A under ripple current operating conditions
- Operating voltage $U_{op} = 420 V$



施加电压对寿命的影响

- 在+105℃温度条件下，在额定电压450V时的寿命为40 000小时，而在420V（93%额定电压）时寿命则为11 500小时，相当于在同等纹波电流条件下温度降低13℃！

铝电解电容器的应用及注意事项

不要应用来路不明的铝电解电容器 (1)

- 为什么不要应用来路不明的铝电解电容器？最根本的原因是我国的电子元件市场曾经历过拆机件、水货、假货充斥市场情况。随着时代的发展，这种现象越来越少。
- 但是需要注意的是，半导体器件尚可用拆机件，而铝电解电容器绝不能应用拆机件！原因是铝电解电容器的寿命在各类电子元件中寿命是最短的。国外报废的电子产品的拆机件中，铝电解电容器的剩余寿命是最少的。如果仅仅是做实验还能勉强，如果试作产品，其结果是可想而知。

不要应用来路不明的铝电解电容器（2）

- 套膜是伪劣铝电解电容器“翻新”的常用手法。通常将买来的铝电解电容器套上升两档标注额定电压的新套膜热缩管，其印刷水平可以以假乱真。

铝电解电容器的“偷电压”

- 由于铝电解电容器的浪涌电压是额定电压的**1.15倍**，对于**350V**耐压的铝电解电容器的浪涌电压为**402V**，高于**220V+20%**对应的整流峰值电压**370V**；而对于**300V**额定电压的铝电解电容器的浪涌电压为**345V**，可以满足**243V**交流有效值输入电压。如果用额定电压为**300V**的阳极箔替代额定电压**400V**的阳极箔将会大大降低铝电解电容器的成本。有的铝电解电容器生产厂商就是采用这种“偷电压”的方法降低生产成本。

偷“电压”的后果

- 在一般的应用中，为了避免过大的漏电流，延长铝电解电容器的寿命，通常要降低铝电解电容器的使用电压，一般取0.9以下。
- 如果选用了偷“电压”的铝电解电容器就将已经留出的电压富裕量丧失殆尽，甚至可能使工作电压超过额定电压，这就使漏电流大大增加，从而大大的减少了铝电解电容器的寿命。

拆机件

- 拆机件通常是国外报废的电子设备上的元件，如果拆的精心，多数器件经过筛选在一般性能上看还是可以用的。唯有铝电解电容器是绝对不能用的。
- 其原因是，铝电解电容器的寿命相对而言太短了，在额定温度下仅1000~4000小时尽管大多数铝电解电容器生产厂商宣称在40℃可以用10年甚至几十年，但是应用环境是不可预知的，如显示器的内部温度远远不止45℃！因此，几年下来，铝电解电容器所剩下的有效寿命一般很低，不能用于电子产品。

翻新件

- 翻新铝电解电容器也比较恶劣，通常是收集国外下线铝电解电容器，重新浸电解液后封装。尽管国外著名铝电解电容器检测比国内严格，有些下线的铝电解电容器性能还是接近于国内正品率电解电容器。但是，其性能还是不如国内正牌铝电解电容器。

下线电容器（一）

- 在国内电子市场上可以看到下线铝电解电容器，通常是一些不负责任的销售商为了获得市场竞争力，到铝电解电容器生产厂收购下线铝电解电容器，剔除没有电容量和击穿的后拿到市场上销售。
- 下线铝电解电容器的特点是，用万用表测试电容量是正常的。但是如果测试漏电流则会看到下线的铝电解电容器的漏电流和损耗因数高于正品铝电解电容器。而漏电流和损耗因数用户一般是不测试的。

下线电容器（二）

- 这种下线的铝电解电容器作为耦合电容器时会导致后极的偏置电压偏移，但是又找不出原因；如果用于延迟应用时，会出现延迟时间明显小于设定值或延迟时间不稳定的现象，这是因为铝电解电容器在施加直流电压后漏电流回见效的原因。
- 由于下线铝电解电容器的漏电流大，实际寿命明显短于预期寿命，例如预期寿命为5年，实际上只有2~3年。这在电子产品的使用初期是根本看不到的。从这里也会看到9000系列质量认证的重要性。
- 如果下线铝电解电容器用在大纹波电流或高温的应用是极其危险的，其原因是过高的漏电流会导致铝电解电容器在大纹波电流或高温应用时的温度更高，轻者寿命缩短，严重时会导致铝电解电容器“爆浆”而失效。

套膜电容器

- 套膜是伪劣铝电解电容器“翻新”的常用手法。通常将买来的铝电解电容器套上升两档标注额定电压的新套膜热缩管，其印刷水平可以以假乱真。例如将额定电压250V的铝电解电容器换上额定电压400V的铝电解电容器，这样的铝电解电容器的“价值”将翻番甚至更高。套膜铝电解电容之制造这就是钻了应用时通常要电压降额的习惯，在电压降额后可能正好是套膜铝电解电容器的浪涌电压值，在这个电压下，套膜铝电解电容器还是能用一段时间的。

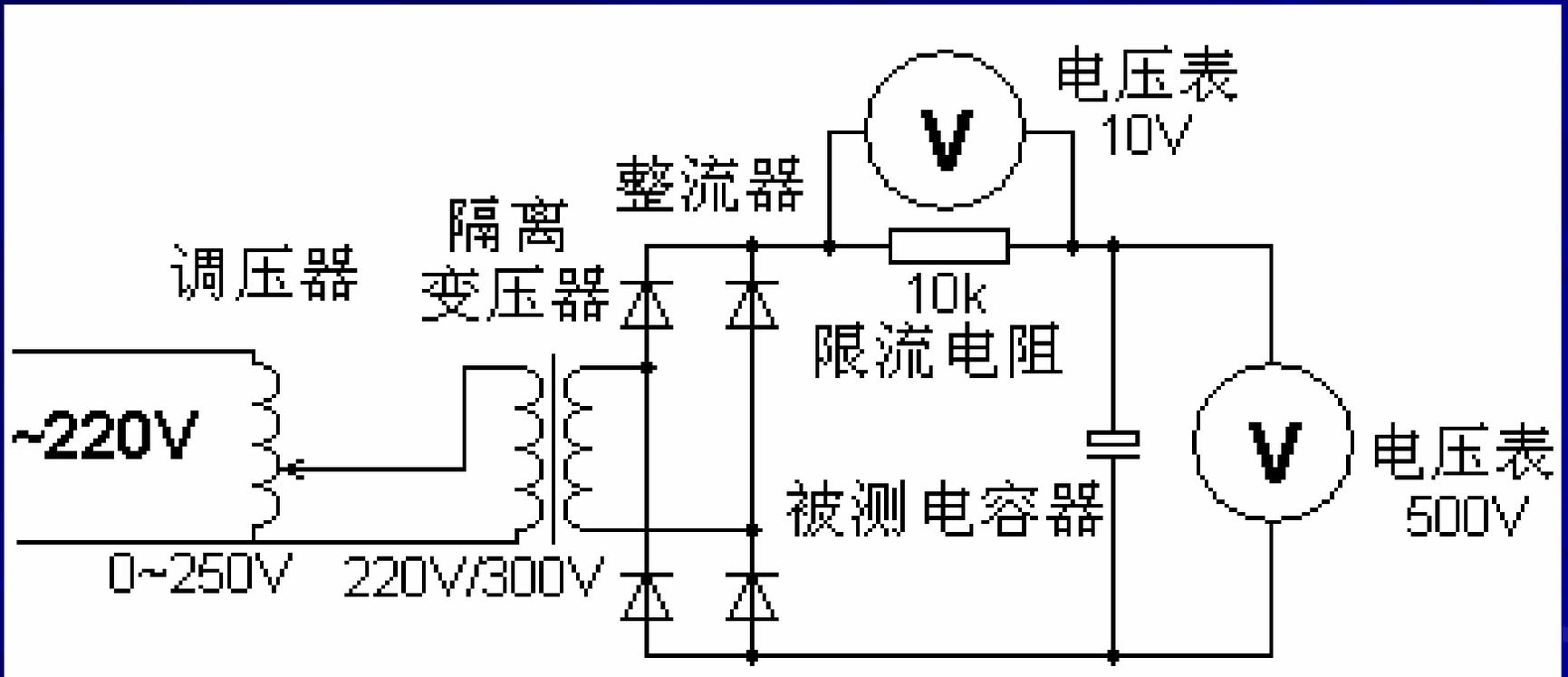
国外电解电容器厂商的猫腻

- 有的国外铝电解电容器制造商在为发达国家供货时时优质电解电容器。
- 而为我国供货时的电容量总是负偏差，其质量不如为发达国家供货的品质。
- 其原因除了有歧视我国外，最主要的是在我国，他们的铝电解电容器买不出价格，只能在偷电容量上补偿。
- 为了降低在我国市场的售价，国外铝电解电容器生产厂商往往推出的是寿命相对短的“经济型”铝电解电容器，如CDE就转为我国推出2000小时的铝电解电容器，这是在欧美市场上看不到的，因此，不要以为国外的铝电解电容器寿命都长。

测试铝电解电容器耐压的简单方法

- 可能性：铝电解电容器的介质膜是通过阳极氧化方式获得，因此，短时间的小电流“击穿”不会损坏铝电解电容器
- 基本方法：将铝电解电容器串联一10k电阻；缓缓增加所施加的电压，保持充电电流在1mA以下（对应电阻上的电压低于10V），直到即使不继续增加所施加的电压电流仍不降低时对应的电压就是电解电容器的击穿电压；这个电压的90%就是电解电容器的额定电压
- 这种方法只适用于铝电解电容器

测试电路



购买铝电解电容器的准则

- 到具有信誉的铝电解电容器生产厂商处或到有信誉的著名铝电解电容器制造商的代理机构购买。
- 尽量不要到电子市场或信誉不足的代理机构处购买。

(二) 220V工频输入电压的 整流滤波电容器的选择

从整流滤波角度考虑滤波电容器

- 整流滤波所需要的电容量；
- 对于一般的开关电源对整流输出电压纹波电压要求考虑：
- 220V交流输入条件下，需要滤波电容器为 $1 \mu\text{F}/\text{W}$ ；
- 85~264V交流输入条件下，需要滤波电容器为 $3 \mu\text{F}/\text{W}$ 。

滤波电容器吸收的纹波电流

- 对于电容输入式滤波，滤波电容器吸收的纹波电流有效值大约为整流输出电流平均值的2~3倍！大约为15~20mA/W。
- 不同的电路拓扑所产生的开关频率的纹波电流是不一样的。
- 反激式开关电源约为12mA/W；单管正激式开关电源约为10mA/W；桥式、推挽式开关电源约为7mA/W。

电解电容器能够承受的纹波电流

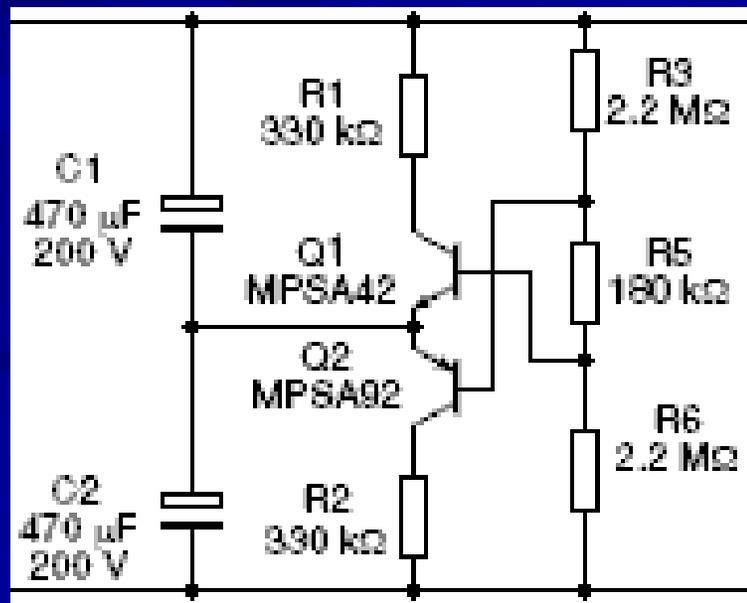
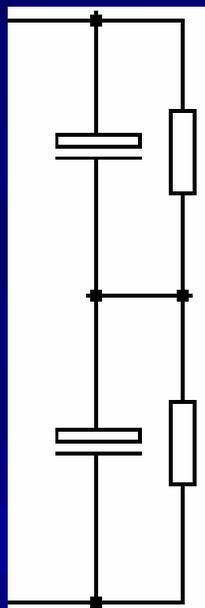
- 一个400V/100 μ F爪式引脚电解电容器允许流过的纹波电流在0.5~0.7A左右，其额定纹波电流承受值仅能满足60W以下的开关电源的滤波要求；
- 一个400V/470 μ F爪式引脚电解电容器允许流过的纹波电流在1.7A左右，仅能满足150W以下的开关电源的滤波要求；
- 对于220V输入电压等级，按1 μ F/W的选择将不能满足电容器所能承受的纹波电流要求，至少要达到3 μ F/W。
- 也可以采用多只小电容量电容器并联来满足纹波电流要求。例如3只400V/100 μ F爪式引脚电解电容器的纹波电流承受能力将比400V/470 μ F爪式引脚电解电容器大。

电解电容器损耗的减小

- 电解电容器的电容量增长速度高于ESR下降速度，因此多只电解电容器并联有利于ESR的减小；
- 采用电感输入式滤波方式可以大大降低整流滤波的纹波电流；
- 选用开关纹波电流低的开关电源电路拓扑可以有效地降低开关电源所产生的纹波电流。

电解电容器串联时需要采取均压措施

- 半桥变换器可以使串联的电容器自动均压；
- 单端变换器、全桥变换器、推挽变换器中的串联电容器必须采用均压措施



温度对电解电容器的影响

- 电解电容器的纹波电流随温度上升而降低
- 电解电容器的ESR随温度的上升而降低，零下20摄氏度时的ESR是常温的10倍或更高
- 电解电容器的漏电流随温度的上升而增加
- 电解电容器的寿命虽随温度的上升而减少，即使在无加电或存储状态

纹波电流对电解电容器的影响

- 额定电流以下的纹波电流对电解电容器的影响比较小
- 过大的纹波电流将导致电解电容器寿命急剧缩短

电解电容器的赋能

- 电解电容器出厂前或存储时间过长需要赋能，以修复电解电容器的氧化铝介质膜
- 简单的方法是：电解电容器串联一个适当的电阻，逐渐增加施加的电压，在施加电压达到额定电压一半时，维持数小时。在逐渐加到额定电压，维持数小时至两天

五、输出整流滤波电容器

- 对输出滤波电容器的基本要求：
 - 1. 在不太高的开关频率时，为了滤除开关频率下的纹波电压/纹波电流，需要考虑足够的电容量，这时只能选择电解电容器；
 - 2. 为了滤除更高频率的纹波电压/纹波电流，要求输出整流滤波电容器应具有尽可能地的ESR、ESL。

常规电解电容器存在的问题

- 低ESR铝电解电容器的提出：
- 常规铝电解电容器的ESR太高，以1000 μ F/16V铝电解电容器为例，其ESR大约为0.25 Ω ，在50kHz时的容抗为3.18m Ω ，远低于ESR值，从滤除交流成分角度考虑，电解电容器已经成为“电阻”，决定滤波效果将不再是电容量而是ESR！
- 针对上面问题，低ESR铝电解电容器和钽电解电容器问世。

低ESR铝电解电容器

- 低ESR铝电解电容器的ESR可以比常规铝电解电容器低一个数量级，因而滤波效果可以改善一个数量级；
- 低ESR铝电解电容器同样存在寿命问题特别是高温条件下寿命更短的问题。

铝电解电容器小结

- 作为开关电源的输出整流滤波电容器，电容量往往是首要的选择，铝电解电容器的电容量完全可以满足要求，而ESR则相对比较高。可以通过多只并联的方法降低ESR。也可以选择更大的电容量来降低ESR。
- 对于开关电源的输出整流滤波来说，铝电解电容器的应用实在是无奈的选择！

钽电解电容器

- 电解电容器中的另外一种钽电解电容器。
- 由于二氧化锰的电导率比电解液高一个数量级左右，钽电解电容器的ESR明显低于铝电解电容器；
- 钽电解电容器的低温特性远远优于铝电解电容器。

多阳极钽电解电容器具有更低的ESR

- 多阳极钽电解电容器的ESR可以是单阳极的钽电解电容器的1/3。

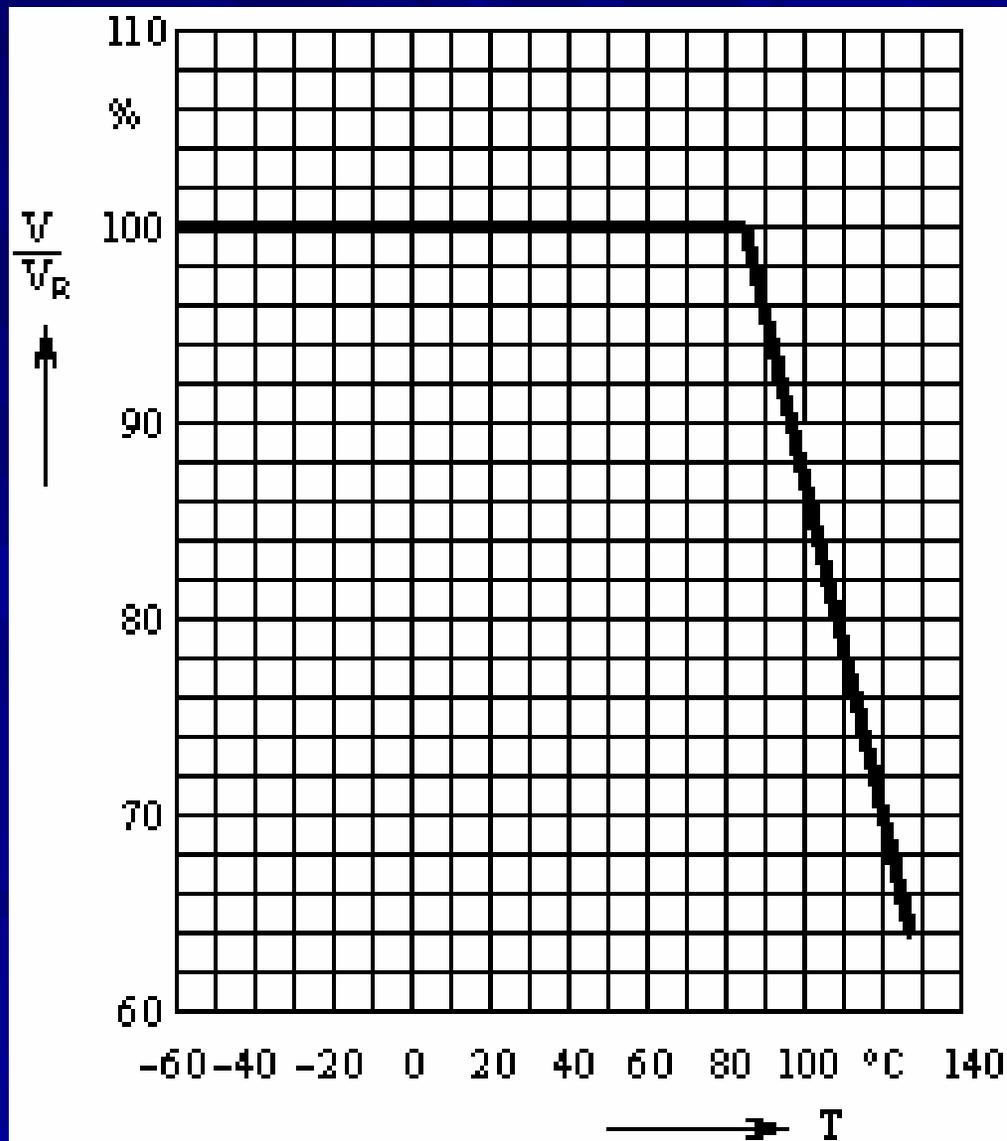
应用钽电解电容器时 需要注意的问题

严禁过电压

- 钽电解电容器的介质遭遇过电压时将被击穿，这一点是不同于铝电解电容器的。

高温时工作电压必须降额

- 钽电解电容器的耐压随温度上升而降低。

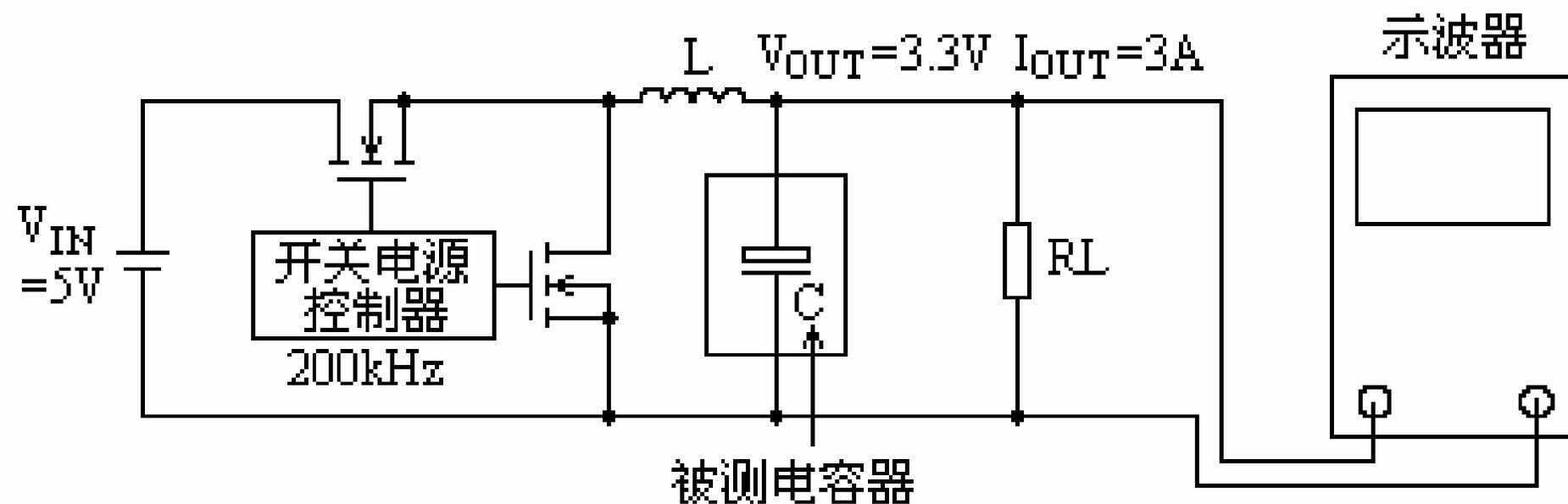


注意事项

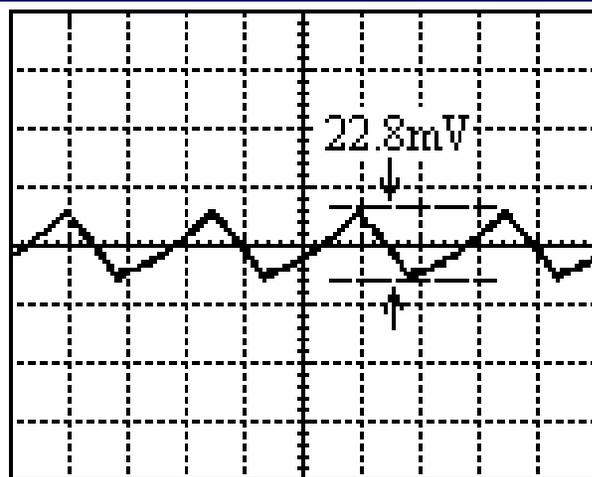
- 严禁撞击
- 严禁反极性

不同电解电容器滤波效果的比较

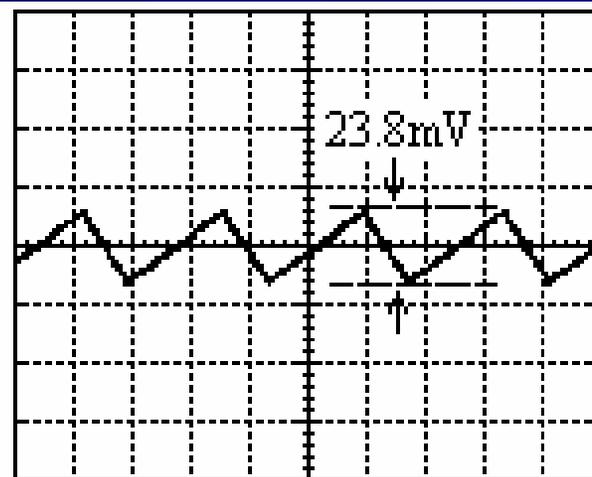
■ 测试电路



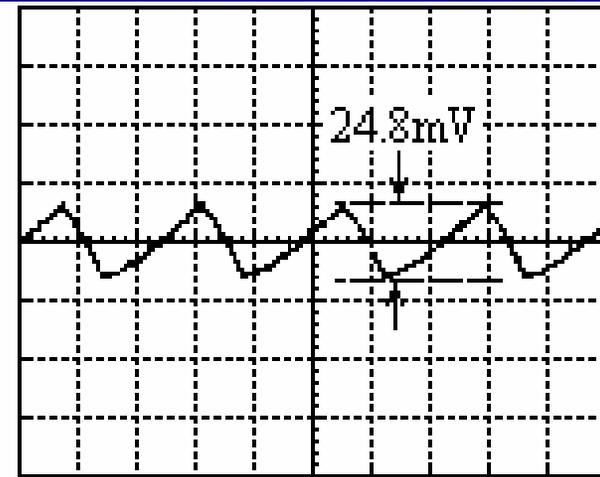
测试结果 (1)



一只100 μ F
铝聚合物电解电容器



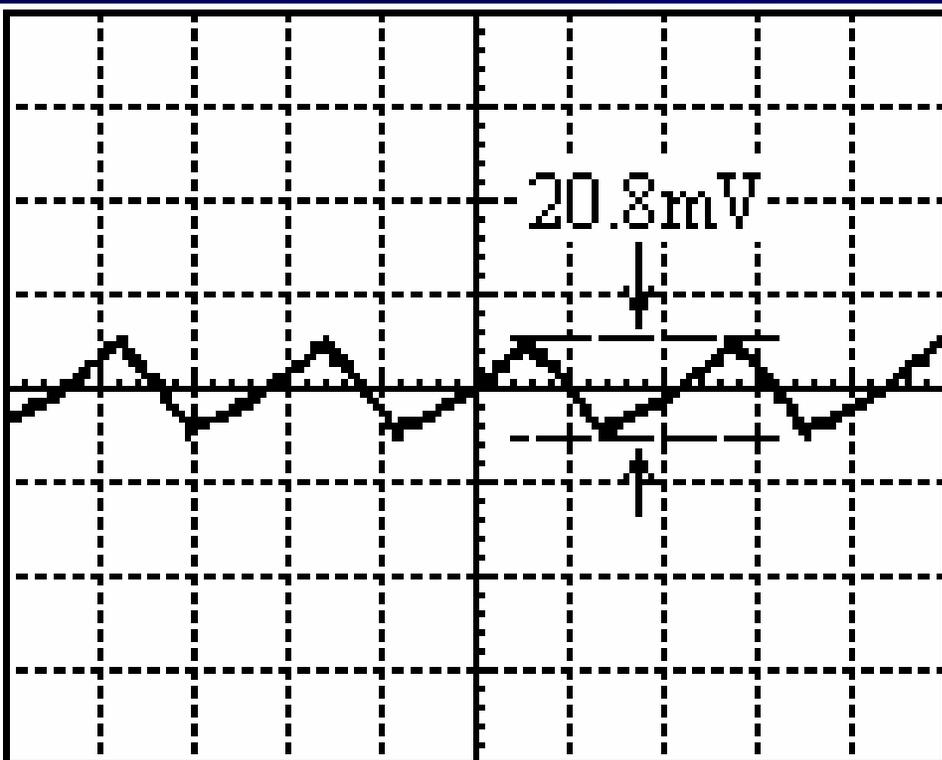
三只680 μ F并联
低ESR铝电解电容器



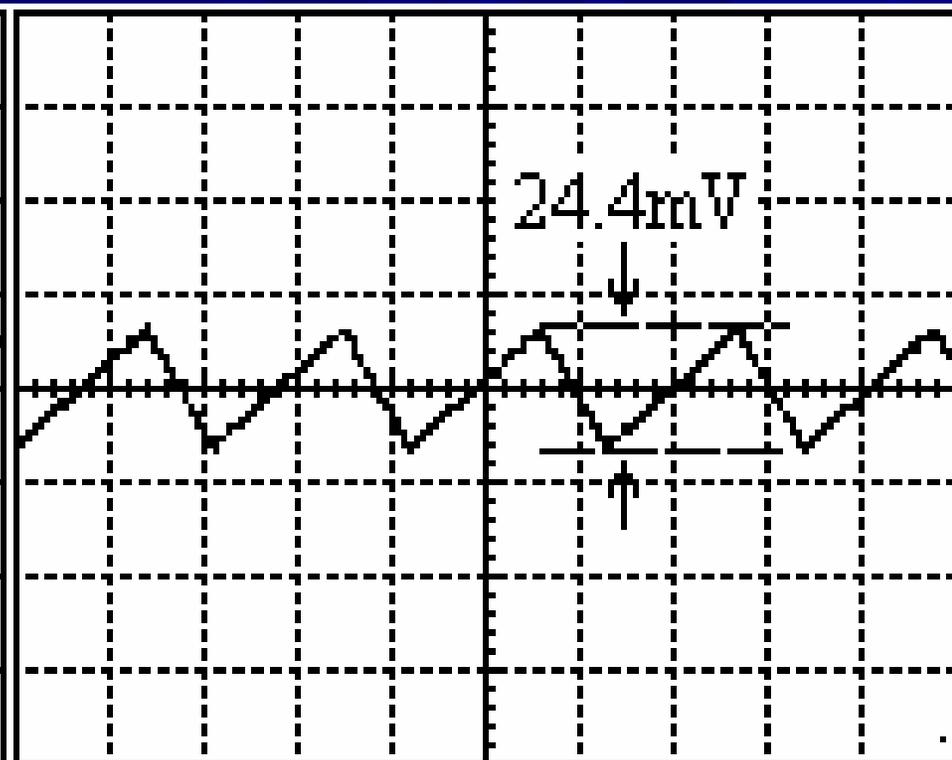
两只220 μ F并联
低ESR钽电解电容器

+25 $^{\circ}$ C环境下的各种电解电容器的测试结果

-20摄氏度的测试结果 (1)

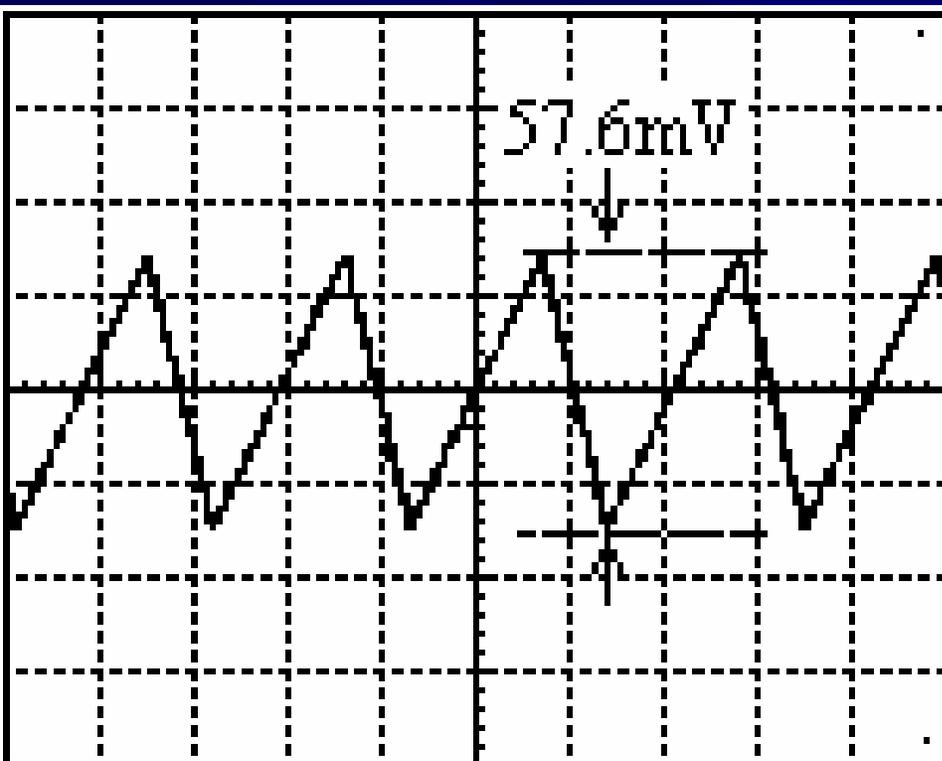


一只100 μ F
铝聚合物电解电容器

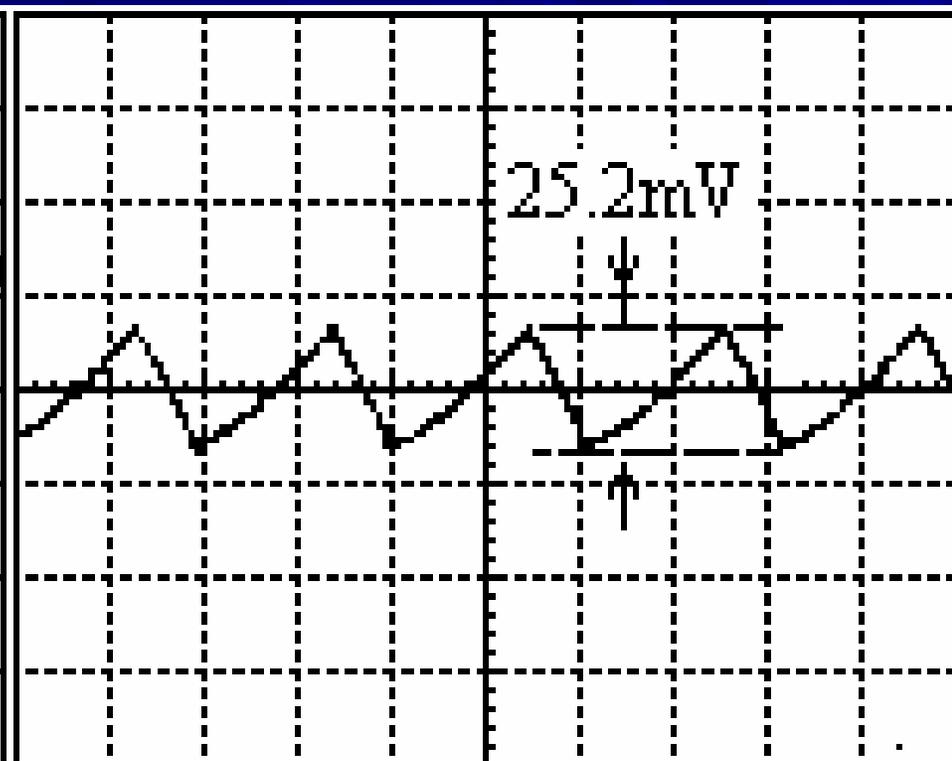


七只680 μ F并联
低ESR铝电解电容器

-20摄氏度的测试结果 (2)

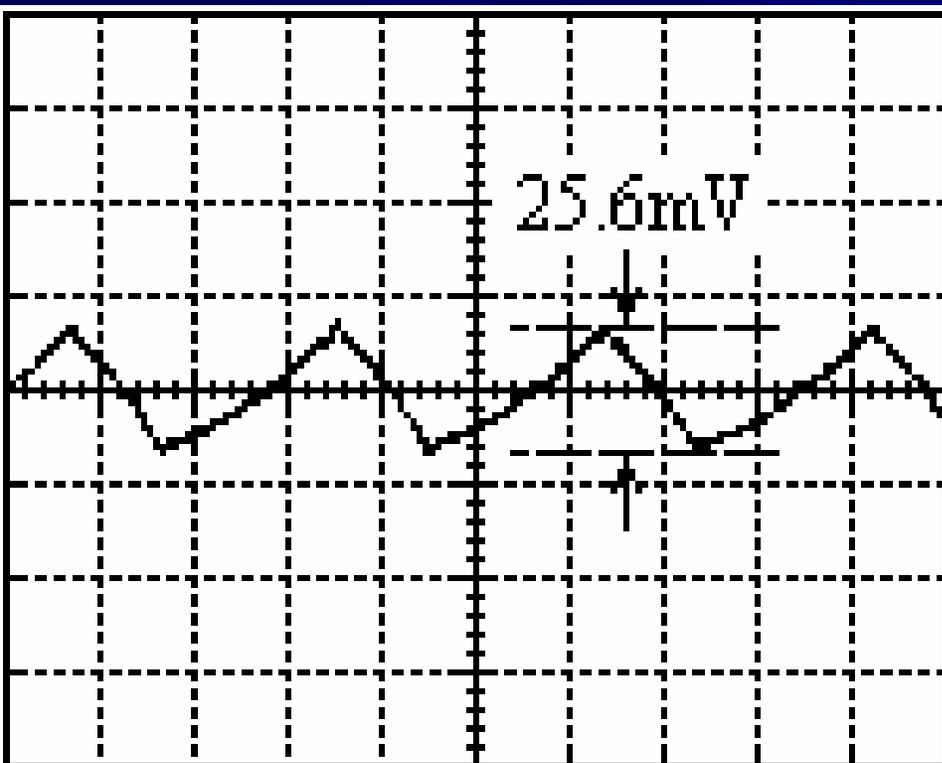


三只 680 μ F 并联
低ESR铝电解电容器

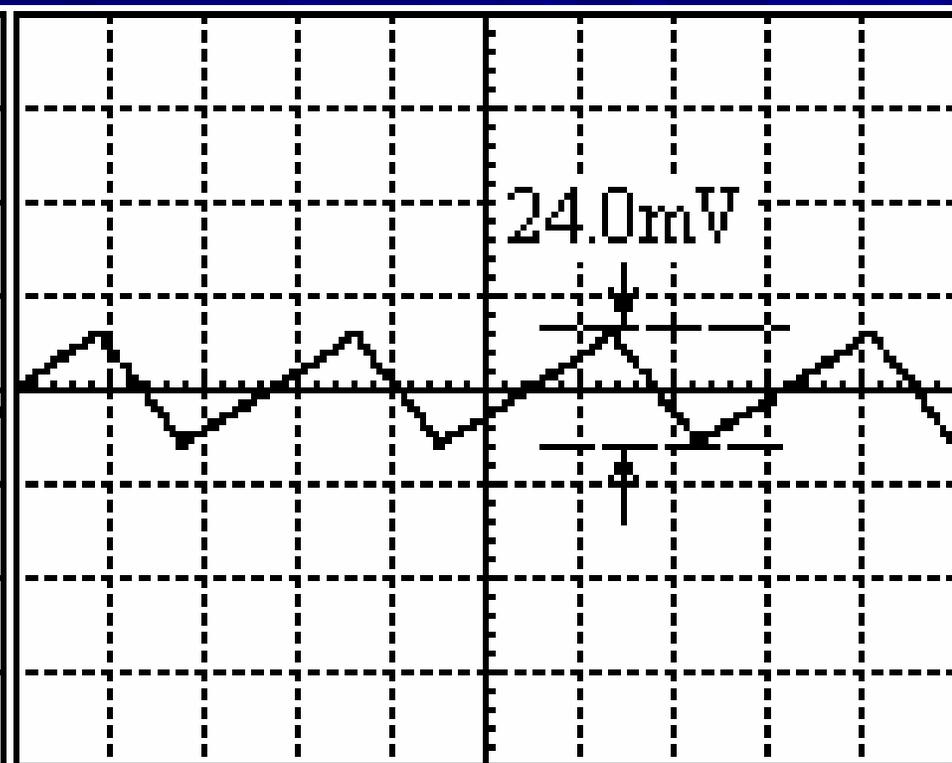


两只 220 μ F 并联
低ESR钽电解电容器

+70摄氏度的测试结果 (1)

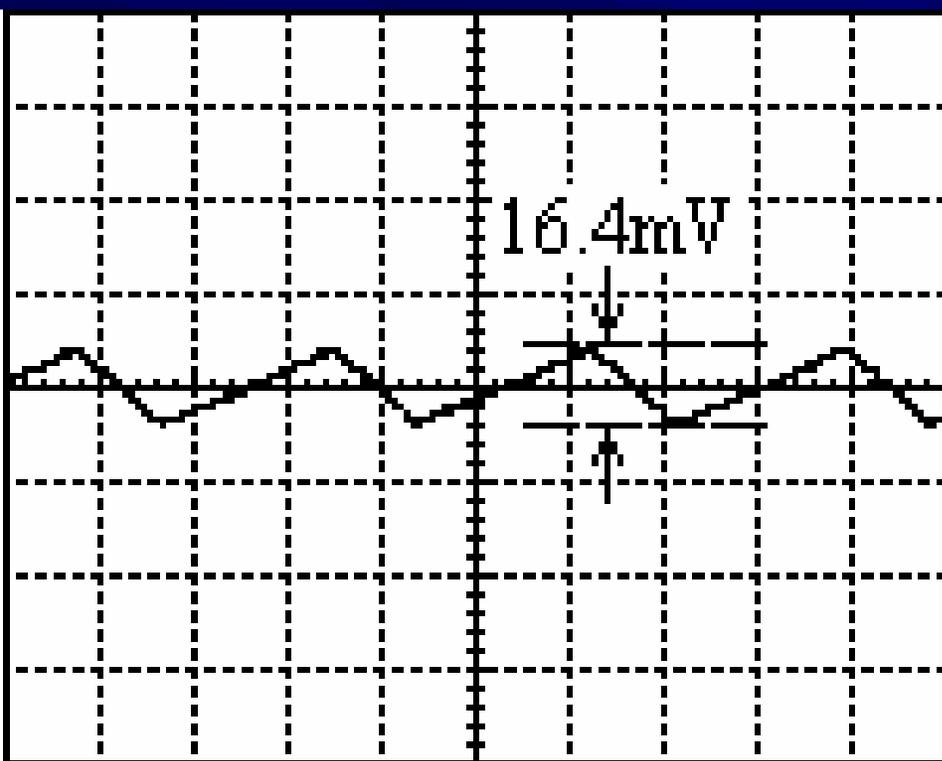


一只100 μ F
铝聚合物电解电容器

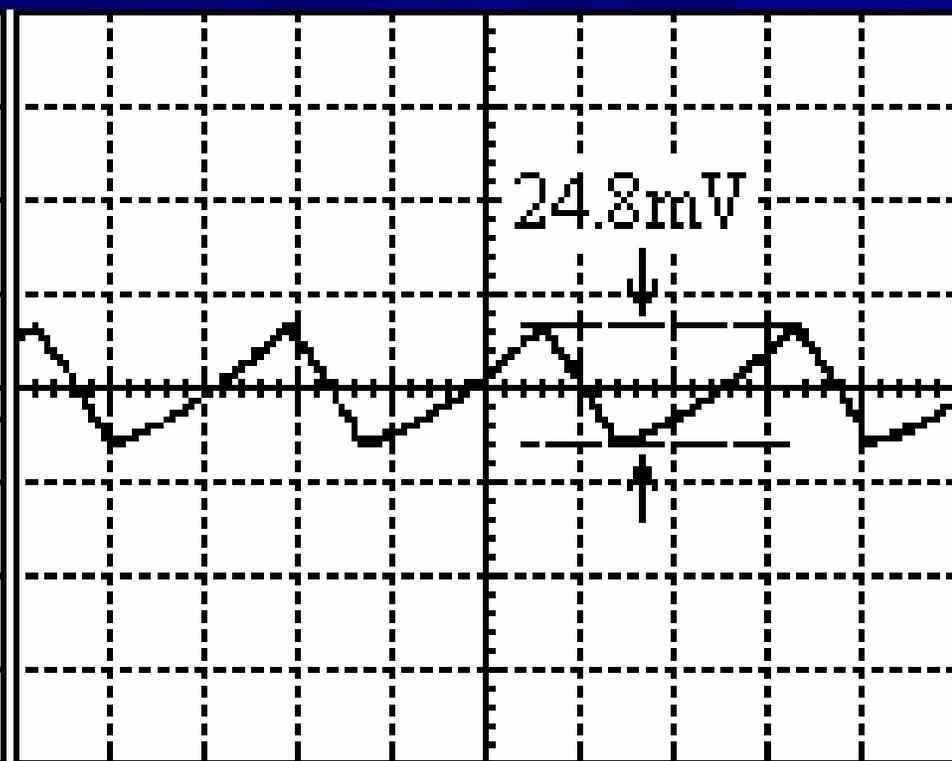


两只680 μ F并联
低ESR铝电解电容器

+70摄氏度的测试结果 (2)

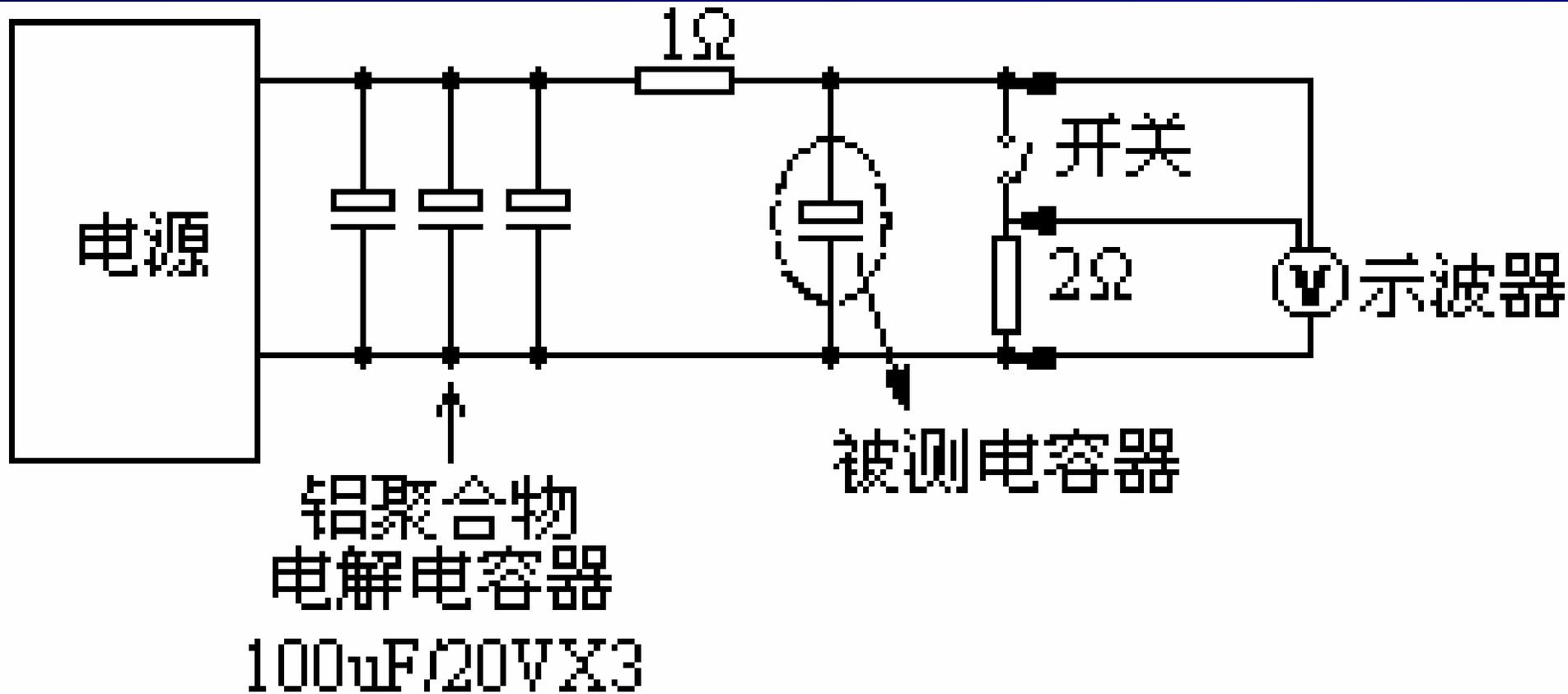


三只 680 μ F 并联
低ESR铝电解电容器

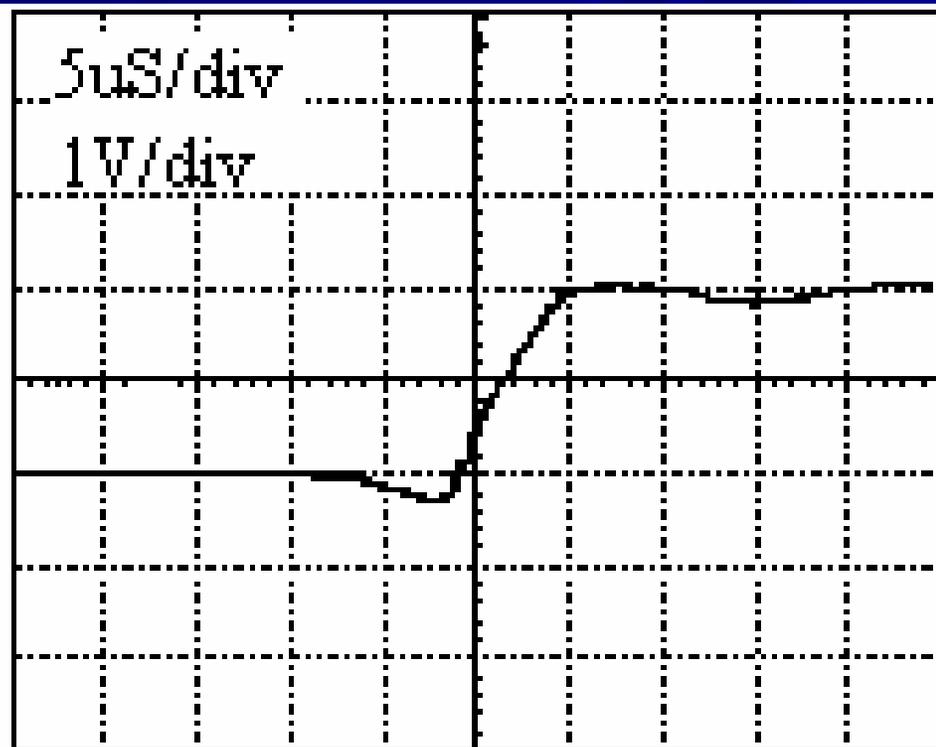
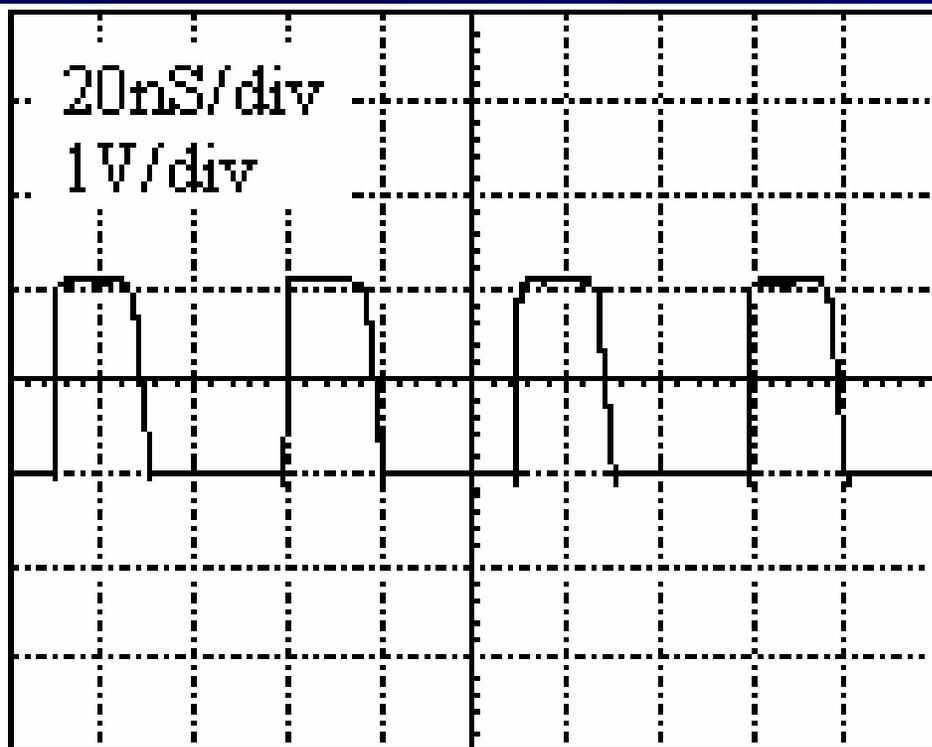


两只 220 μ F 并联
低ESR钽电解电容器

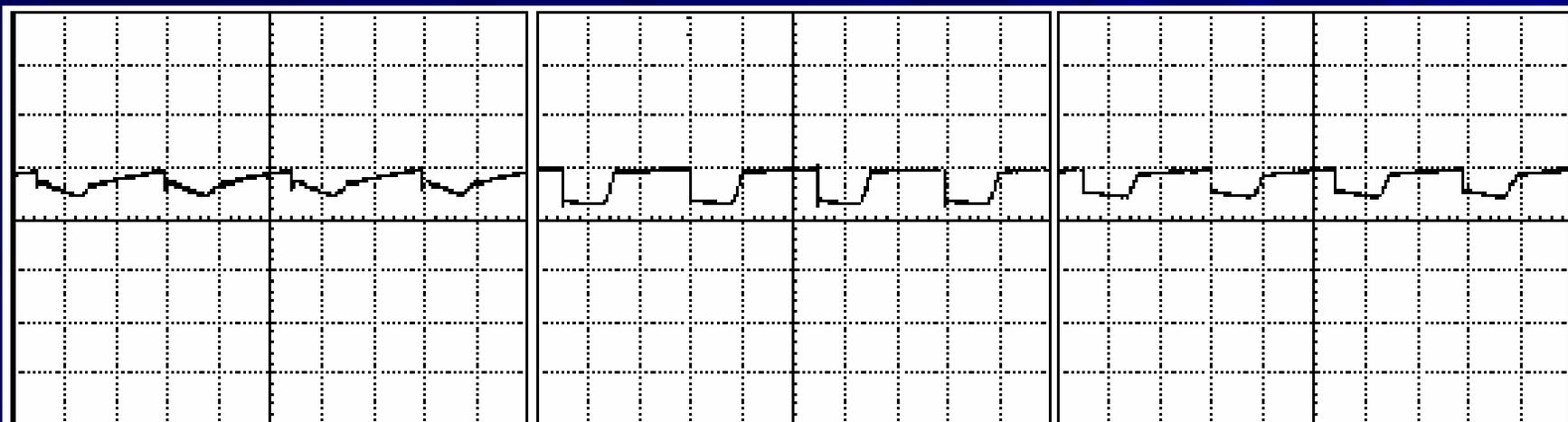
直流输入的旁路效果测试电路



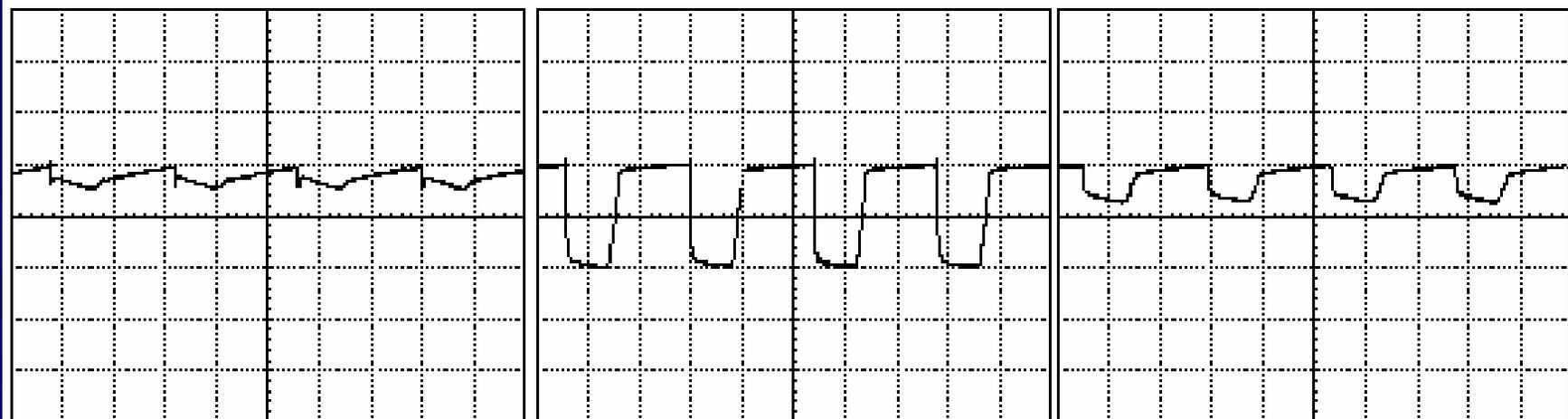
无旁路电容器的测试结果



不同电容器在不同温度下的测试结果



100µF铝聚合物电解电容器 1500µF低ESR铝电解电容器 两只220µF低ESR钽电解电容器
常温环境下获得相近的瞬变电压抑制效果的不同种电解电容器的电压波形



100µF铝聚合物电解电容器 1500µF低ESR铝电解电容器 两只220µF低ESR钽电解电容器
-20℃时与图4.14.4相同电容器参数的测试结果

二、薄膜电容器

- 薄膜电容器主要应用于电源滤波器
- 缓冲电路
- 定时电路
- 旁路
- 输出整流滤波

（一）电源滤波器中的电容器

- 电源滤波器中的电容器的技术要求：
- 安全性
- 浪涌电压的耐受程度
- 介电强度
- **ESR**

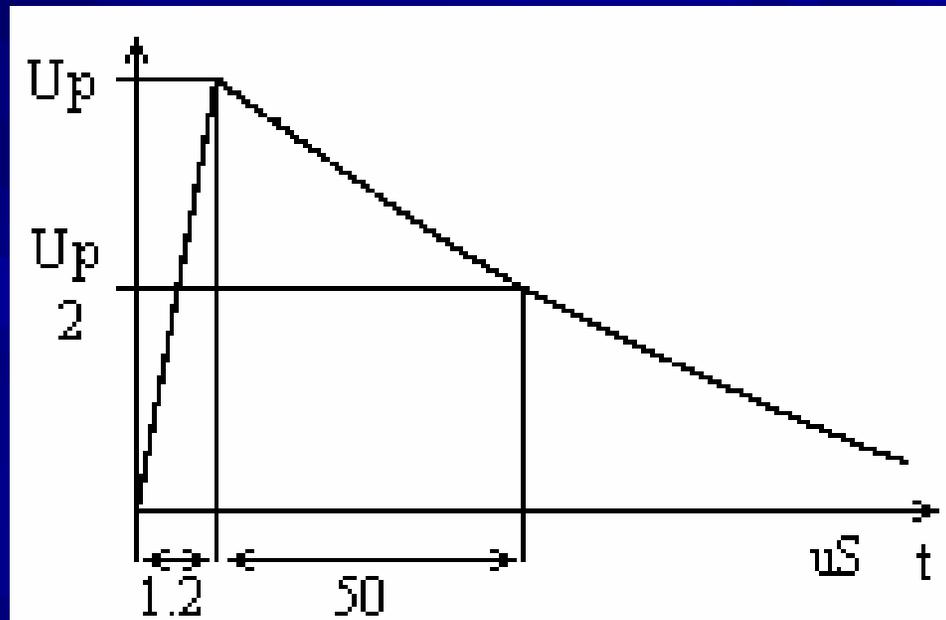
电源滤波器中的电容器

- 电源滤波器中的电容器应能有效的滤除开关电源对电网的电磁干扰；
- 用能承受来自电网的各种电压冲击；
- 电容器自身的安全性；
- 电路的电气隔离的安全性。

浪涌电压的耐受程度

- Y1、Y2电容器要承受8kV、5kV的峰值脉冲电压冲击；
- X1、X2 电容器分别要承受4kV、2.5kV的峰值脉冲电压冲击；

- 峰值脉冲电压测试波形



耐电压测试

X1、X2、X3;

额定电压: $\leq 500V$;

直流试验 $4.3 UR (dc)$;

交流试验 $2UR+1500 V(ac)$ 最小值为 $2000V(ac)$;

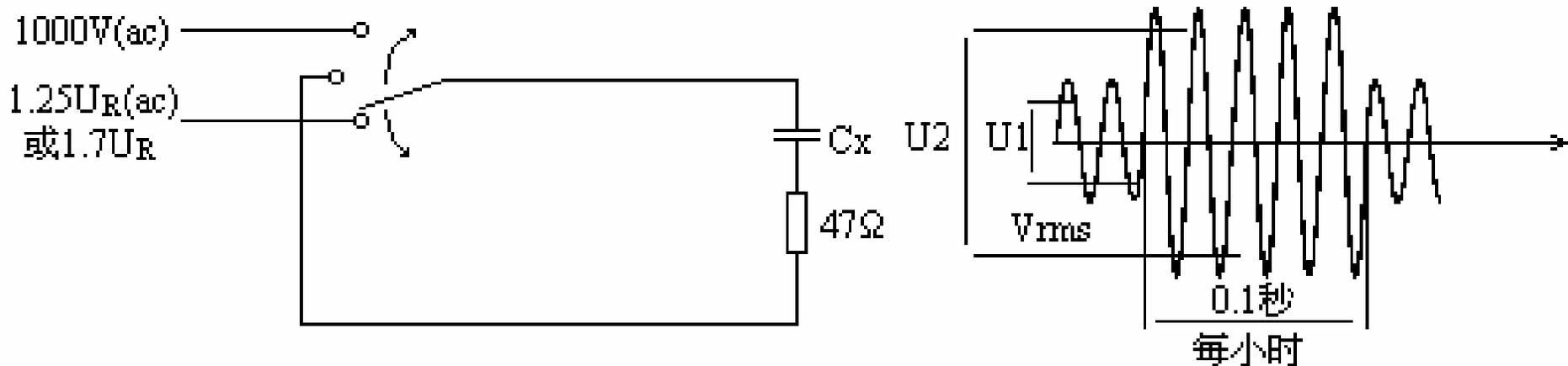
Y1、Y2、Y3 ;

额定电压: ≤ 250 、 $\geq 150V \leq 250V$ 、 $< 150V$

直流试验电压: $4000V(dc)$ 、 $1500V(dc)$ 、 $900V(dc)$;

**交流试验: $4000 V(ac)$ 、 $2UR+1500 V(ac)$ 或最小值为
 $2000V(ac)$ 、 $4900 V(ac)$**

测试波形



耐久性实验电路和电压波形

几种典型的X2、Y2电容器的dv/dt能力

X2抑制电源电磁干扰电容器电容量

0.47 μF ; dv/dt: 400 V/ μs ;

0.22 μF ; dv/dt: 600 V/ μs ;

Y2抑制电源电磁干扰电容器电容量

0.047 μF ; dv/dt: 1000 V/ μs ;

0.022 μF ; dv/dt: 1400 V/ μs ;

0.01 μF ; dv/dt: 1400 V/ μs 。

**X电容器、Y电容器
是性能极好的电容器！**

普通电容器是否可以替代安规电容器？

- 不可以！
- 理由？
- 耐电压测试不可能通过！
- 普通电容器的耐电压仅仅是额定电压的1.5~2倍。

(二) 缓冲电容器与谐振电容器

- 特点:
- 可能承受很高的 dv/dt ，如每秒数百伏的电压变化率；
- 可能承受很高的峰值电流或均方根值电流；
- **ESR**应尽可能的低；
- 频率可能很高；
- 其中的电压和电流均为有效值。

(三) 一般电容器的参数

- 一般的薄膜电容器的额定 dv/dt 约为 $5V/\mu s$;
- 为尽可能的减小体积，一般的薄膜电容器可以承受的峰值电流和均方根值电流比较小;
- 一般的薄膜电容器的ESR不是很低。
- 以上特性主要表现在用于缓冲、谐振作用时的发热现象。

一般的解决方法

- 采用聚丙烯电容器；
- 聚丙烯介质薄膜电容器的金属膜比较厚，可以承受比较大的电流；
- 采用金属箔电容器；
- 选用高 dv/dt 和高均方根值电流的电容器，即缓冲或谐振专用电容器。

(四) 耦合电容器

- 足够的耐压
- 尽可能低的漏电流
- 稳定的电容量
- 低的损耗因数

定时电容器

- 主要是开关电源控制芯片振荡器部分的定时电容器。
- 基本要求：比较低的温度系数；
- 符合要求的电容量；
- 比较低的损耗因数。
- 一般可以选用价格低廉、容易买到的聚酯电容器（涤纶电容器）

三、陶瓷电容器

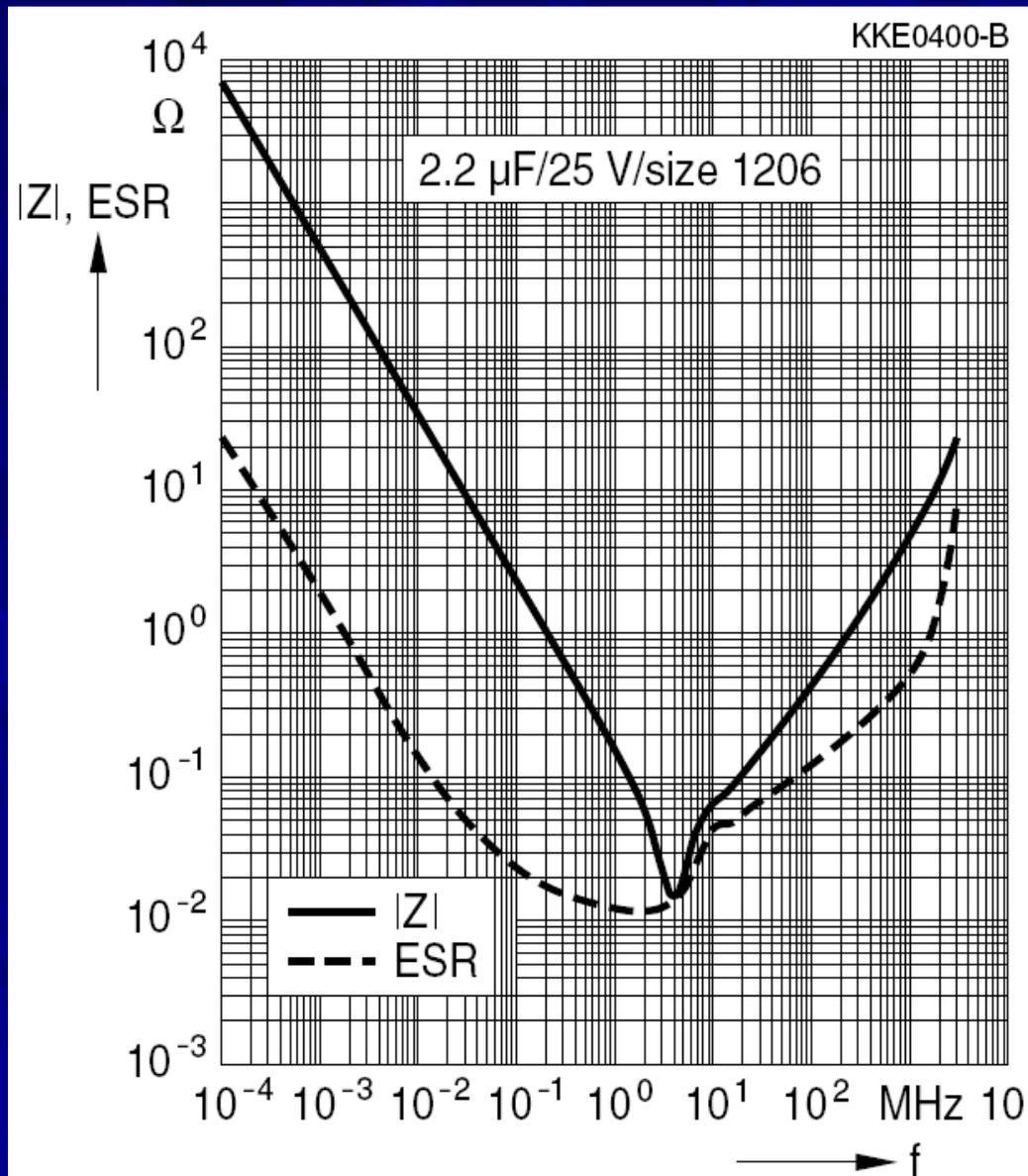
多层陶瓷电容器的问世 改变了输出整流滤波的效果

陶瓷电容器的特点

- 体积小，电容量大，可以在1206的封装中得到 $100\ \mu\text{F}$ 的电容量；
- 具有极低的ESR，可以低达 $10\text{m}\ \Omega$ 以下；
- 允许比较高的纹波电流；
- RSL低。

陶瓷电容器的ESR

- 以1206封装的X7R介质 $2.2\mu\text{F}$ 陶瓷电容器为例：
- ESR不高于 $30\text{m}\Omega$ ；
- 在温升 40 摄氏度的条件下，允许流过 2.23^{A} 纹波电流。
- RSL约为 3nH 。
- 多只并联可以得到更低的ESR。



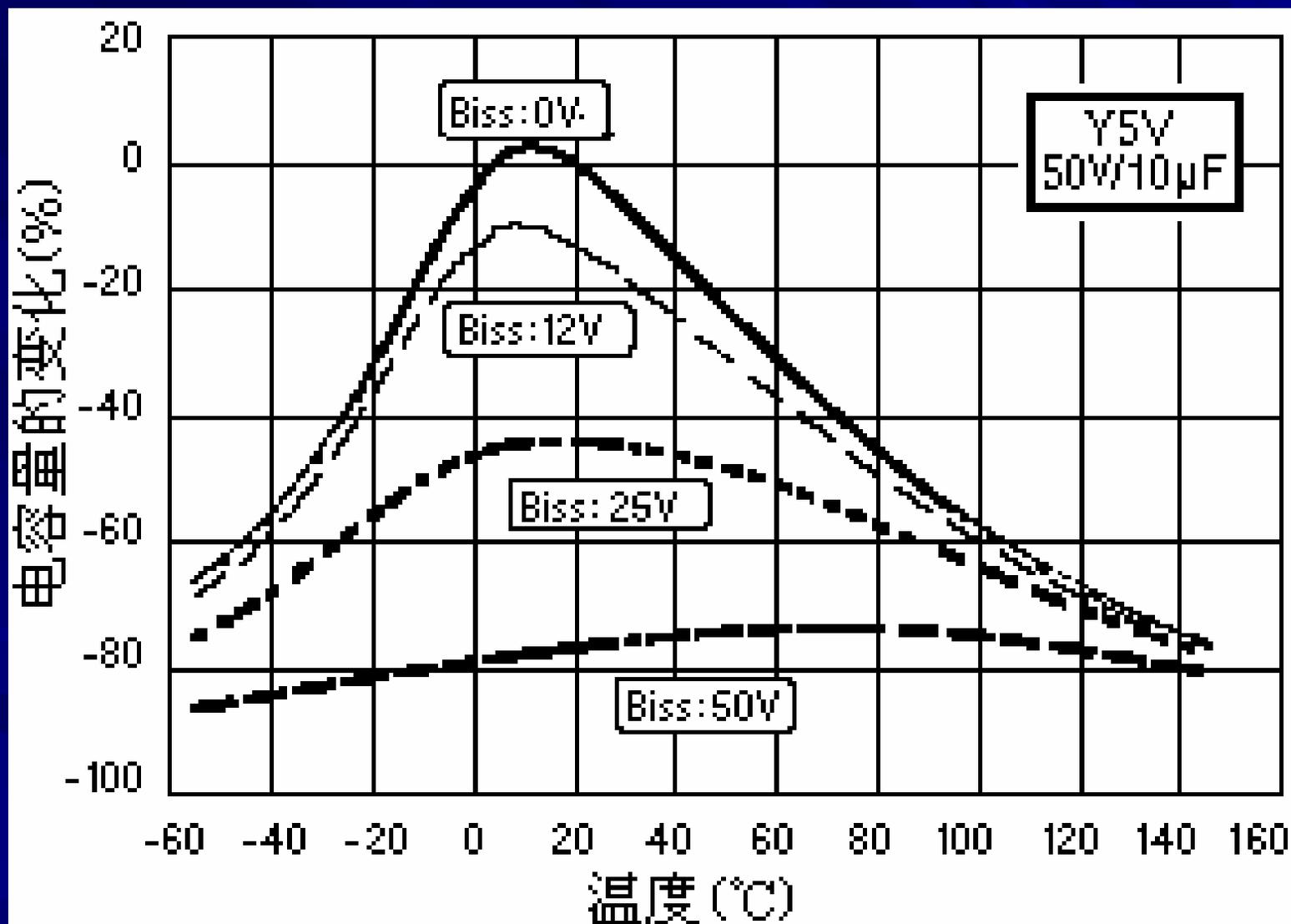
陶瓷电容器需要注意的问题

- 介质材料对性能的影响
- 电容量与温度的关系
- 电容量与电压的关系
- 电容量的衰减

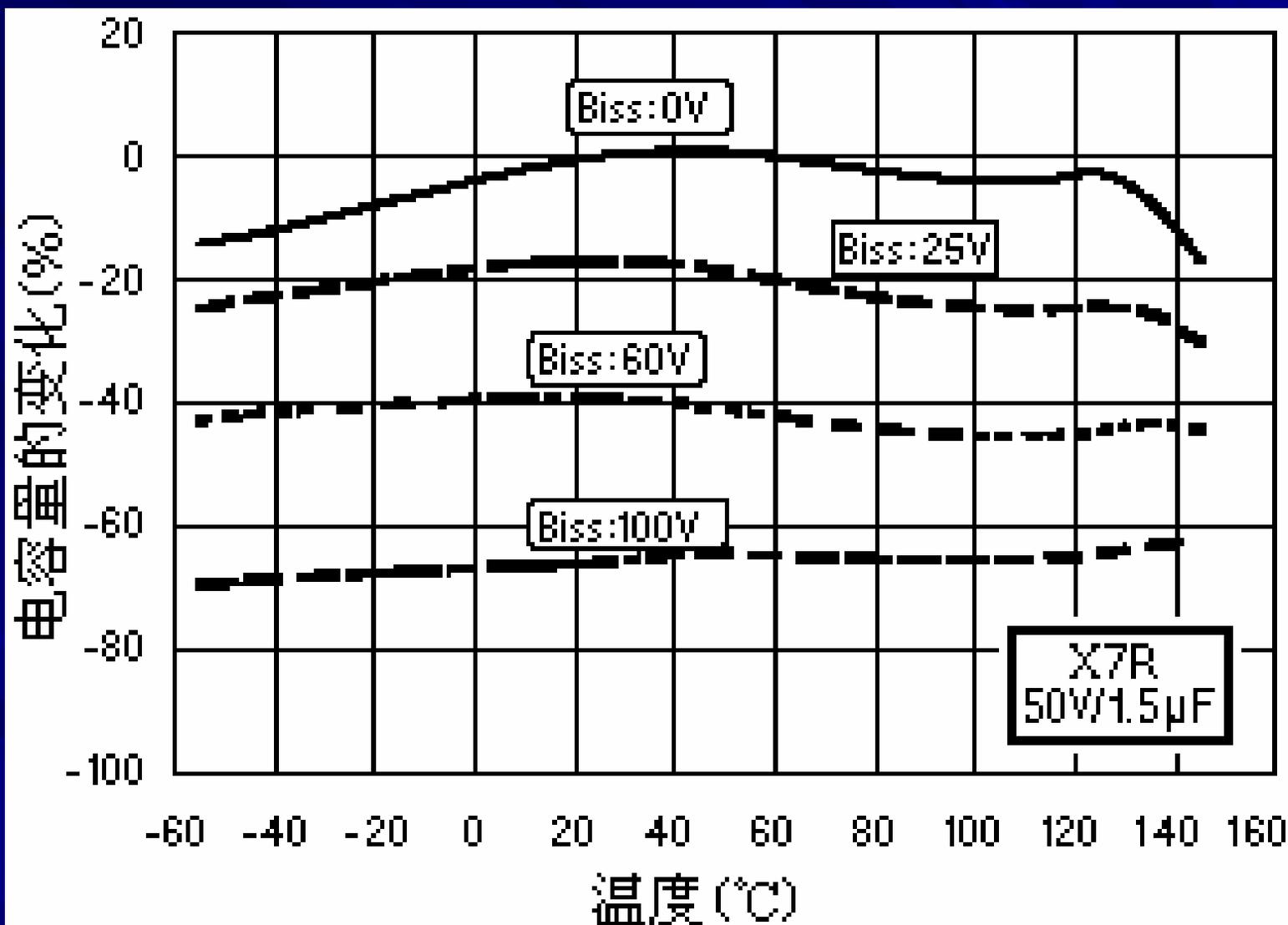
Y5V介质材料的性能

- Y5V介质材料的陶瓷电容器电容量最高，但是受温度、直流偏置电压影响最大、电容量的衰减也最大。

Y5V介质材料陶瓷电容器的温度偏差电压与电容量的关系

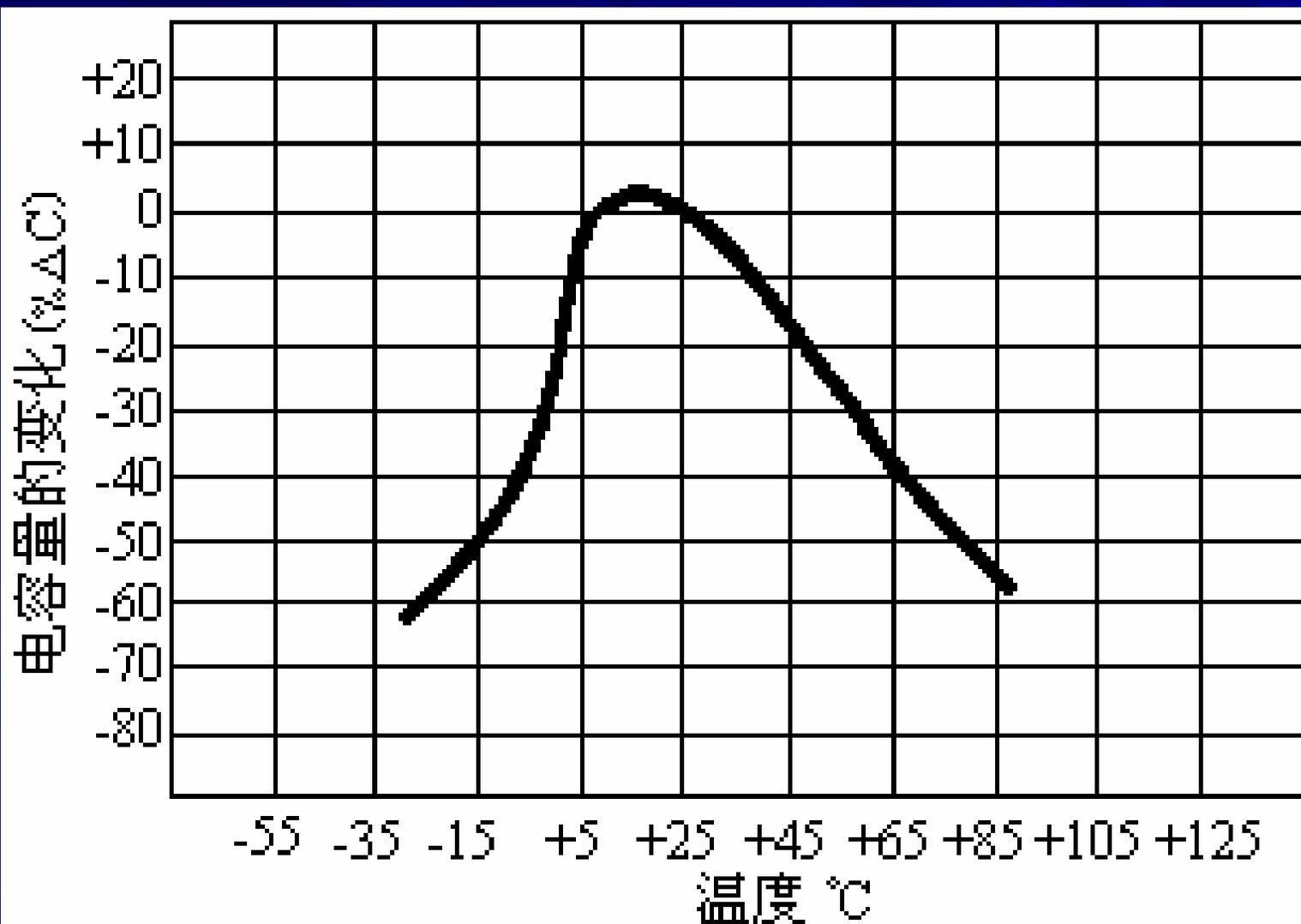


X7R介质材料陶瓷电容器的温度偏置电压与电容量的关系



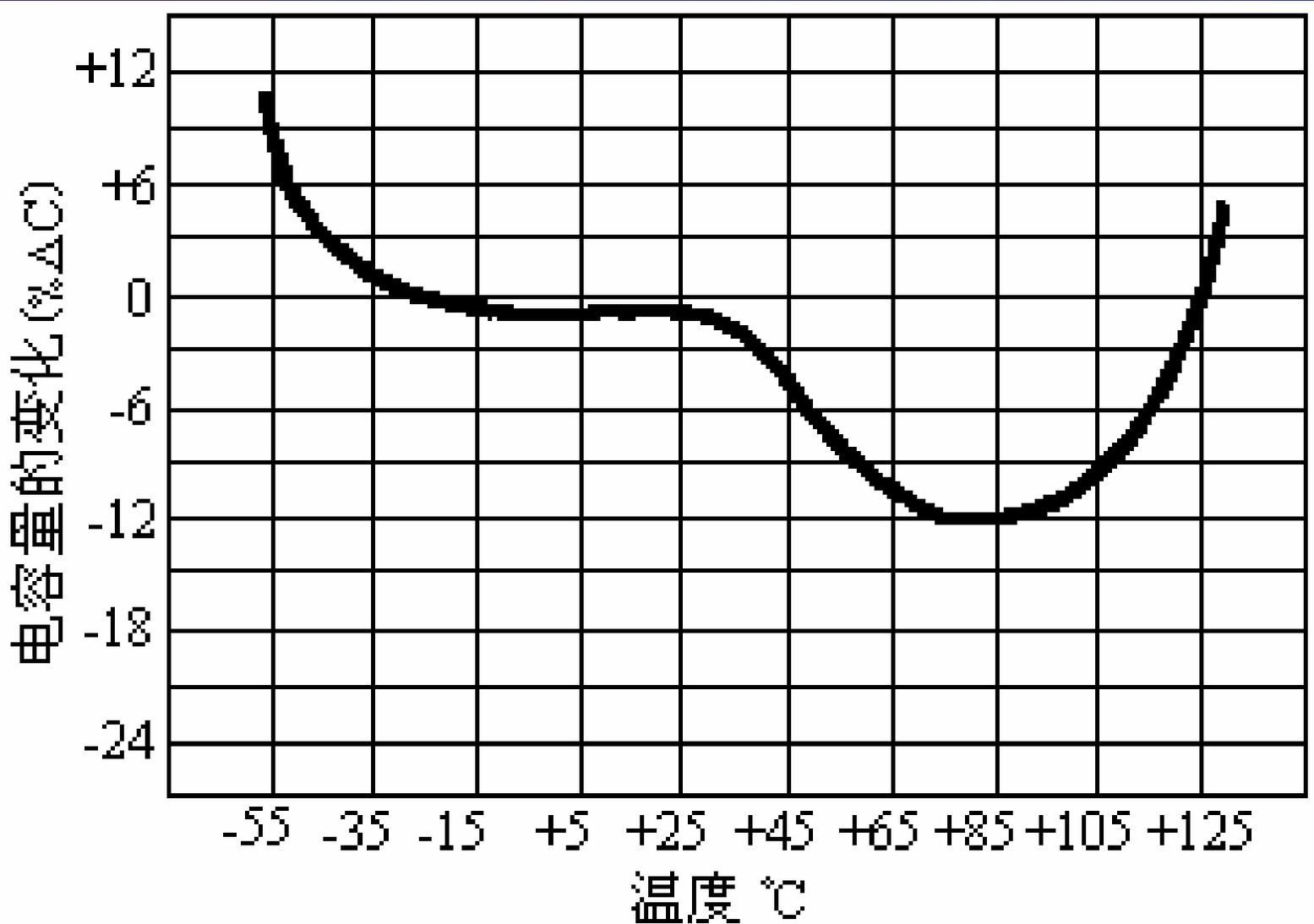
Y5V介质电容器的电容量与温度的关系

■ Y5V介质电容器的电容量的温度很差



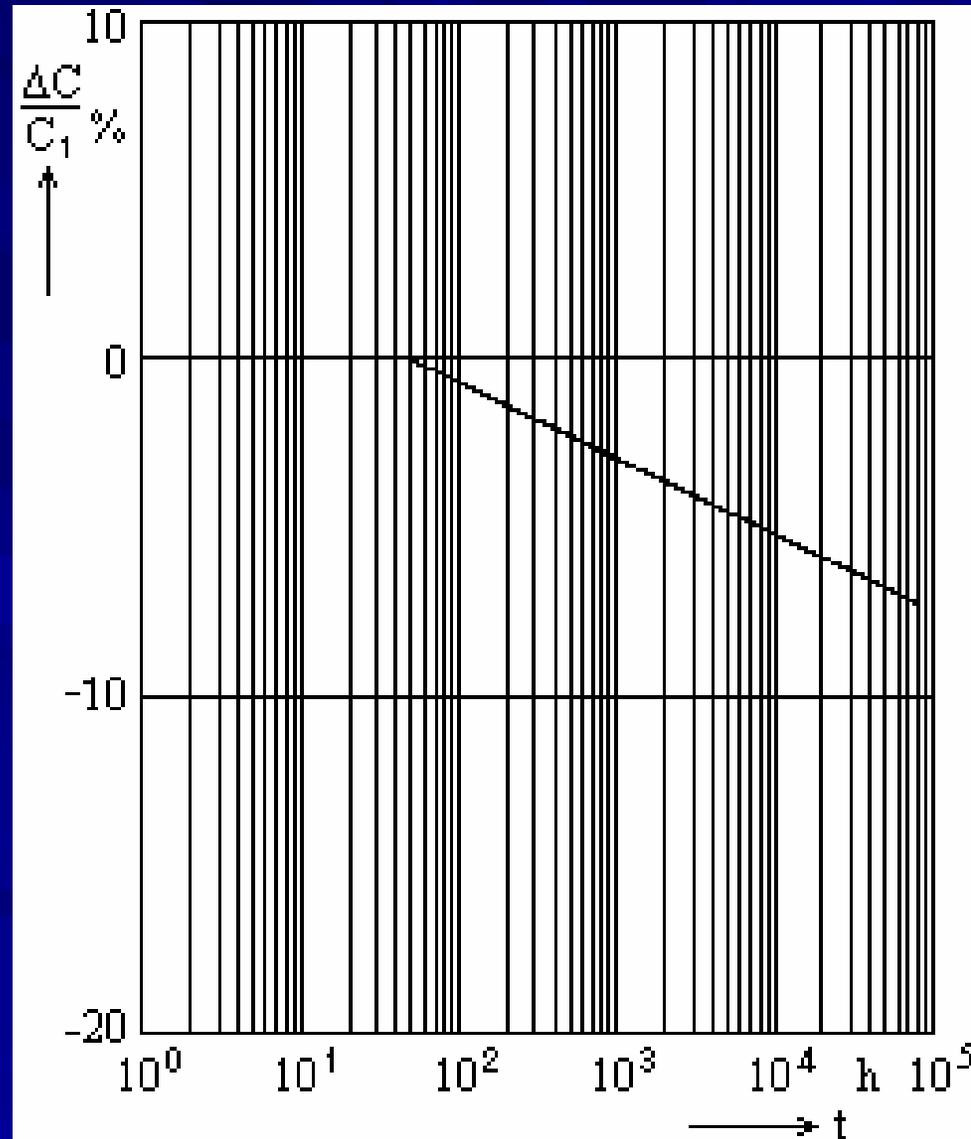
X7R介质电容器的电容量与温度的关系

■ X7R介质电容器的电容量的温度特性相对好一些



X7R陶瓷电容器电容量的衰减

- 高k值陶瓷电容器的电容量随置放时间的增长有所下降；
- 经过高温后（介质的居里温度以上，如用电烙铁重新焊一下），电容量可以恢复



旁路电容器

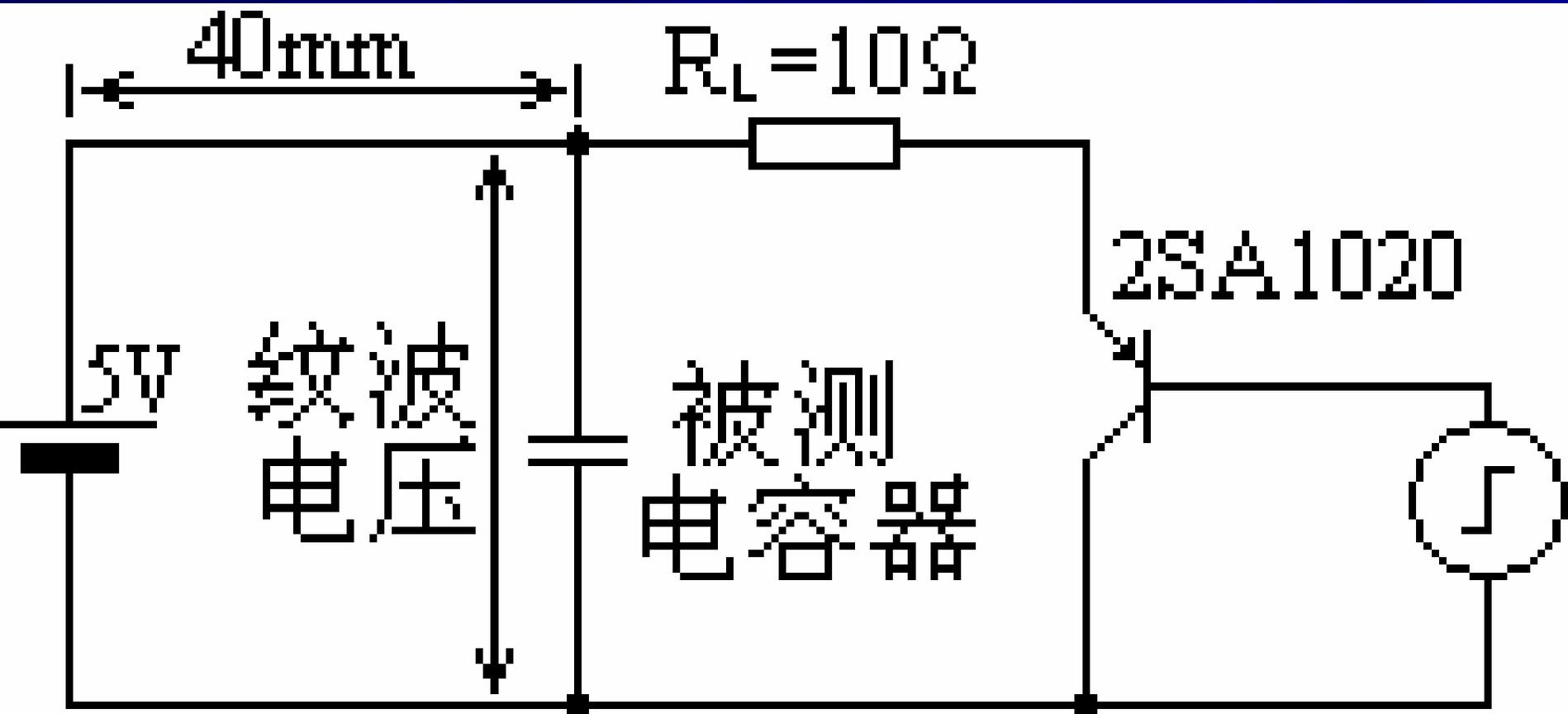
- 旁路电容器的作用：
- 降低直流母线阻抗，如DC/DC变换器的电源输入旁路电容器。特点：需要有效的吸收由变换器产生的纹波电流，以稳定直流母线电压。
- 辅助滤波电容器，克服滤波电容器在ESR方面的不足，降低直流母线阻抗
- 降低芯片电源端对GND的阻抗。

直流母线旁路电容器的要求

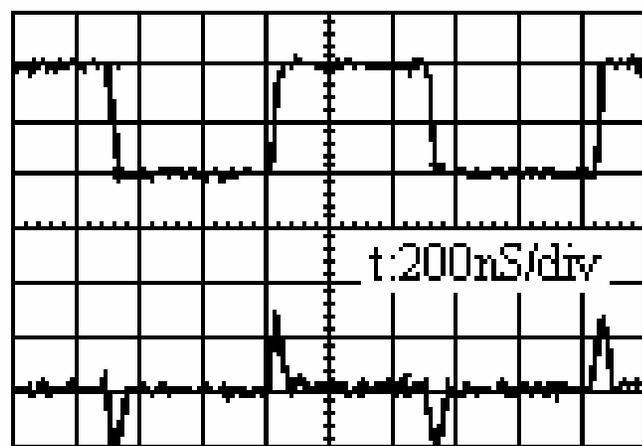
- 在具有足够电容量的基础上，应具有尽可能低的**ESR**、**ESL**；
- 能够承受比较大的纹波电流。

不同规格的直流母线旁路电容器的旁路效果

■ 测试电路

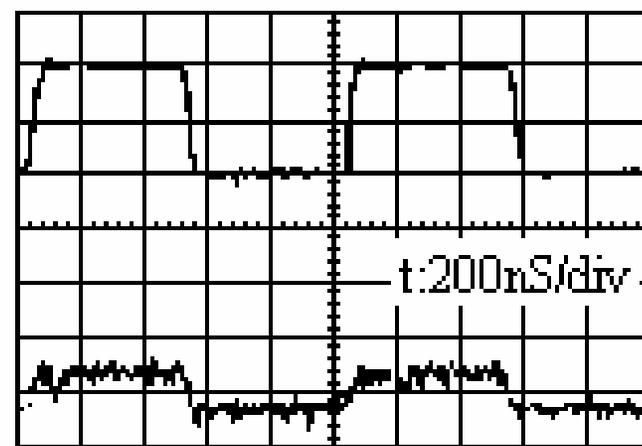


不同规格的直流母线旁路电容器的旁路效果



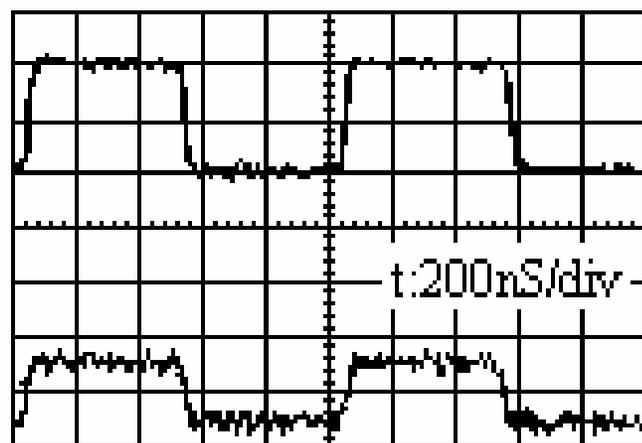
CH1:2V/div CH2:1V/div

无电容器



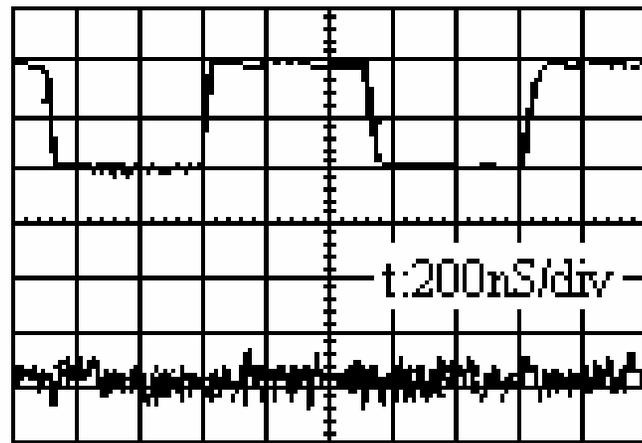
CH1:2V/div CH2:20mV

10 μ F钽电解电容器



CH1:2V/div CH2:20mV/div

47 μ F铝电解电容器



CH1:2V/div CH2:20mV/div

4.7 μ F陶瓷电容器

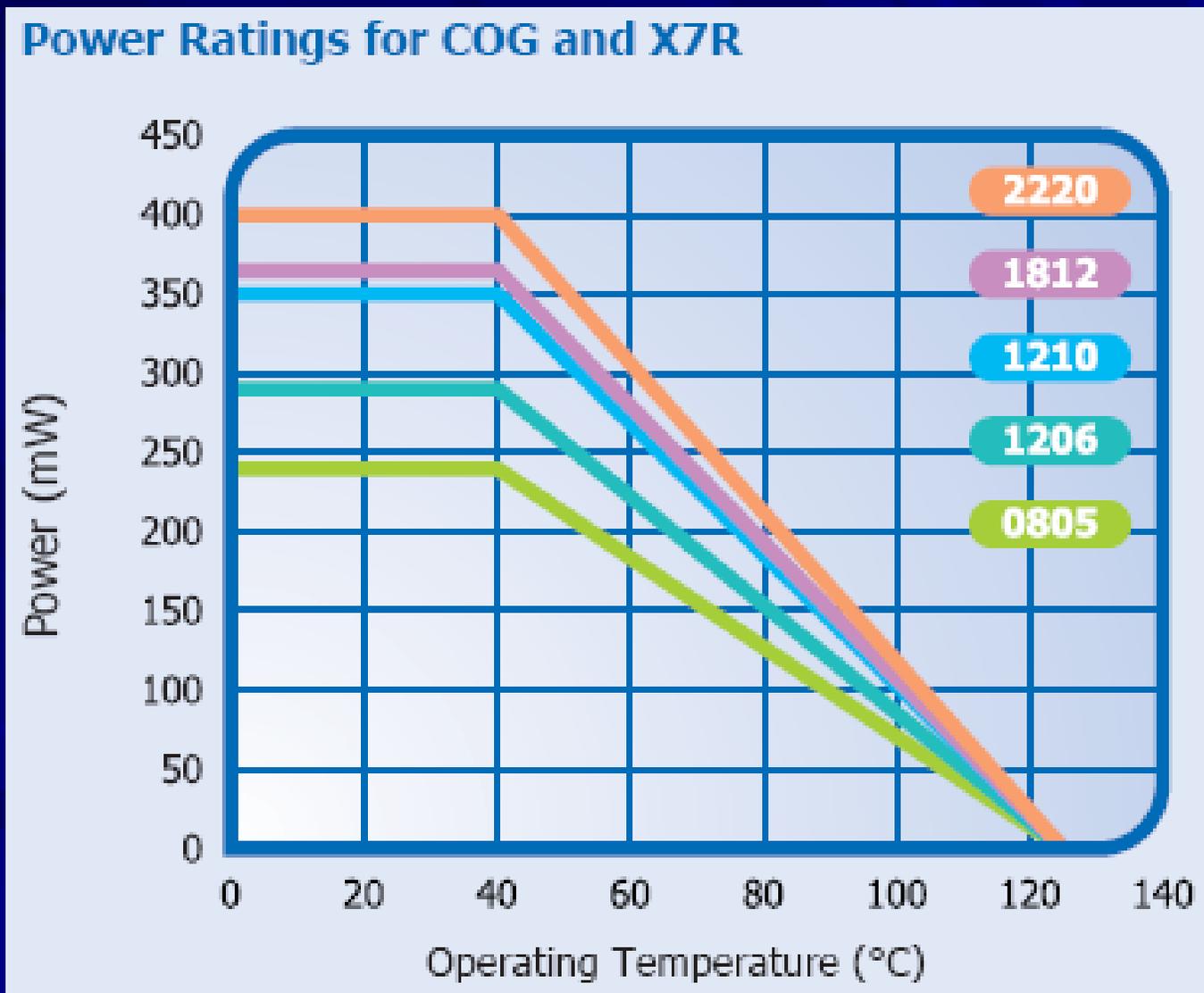
定时电容器

- 要求具有稳定的电容量。如COG介质的陶瓷电容器、薄膜电容器等。

陶瓷电容器的失效

- 断裂：
- 产生的原因主要：
- 碰撞，如跌落；
- 外界应力，焊在电路板上的陶瓷电容器在电路板弯曲时可能会断裂；电路板的膨胀系数与陶瓷电容器的膨胀系数相差很大时，可能会因为温度变换太大而断裂，这种现象在大尺寸陶瓷电容器中尤为明显。

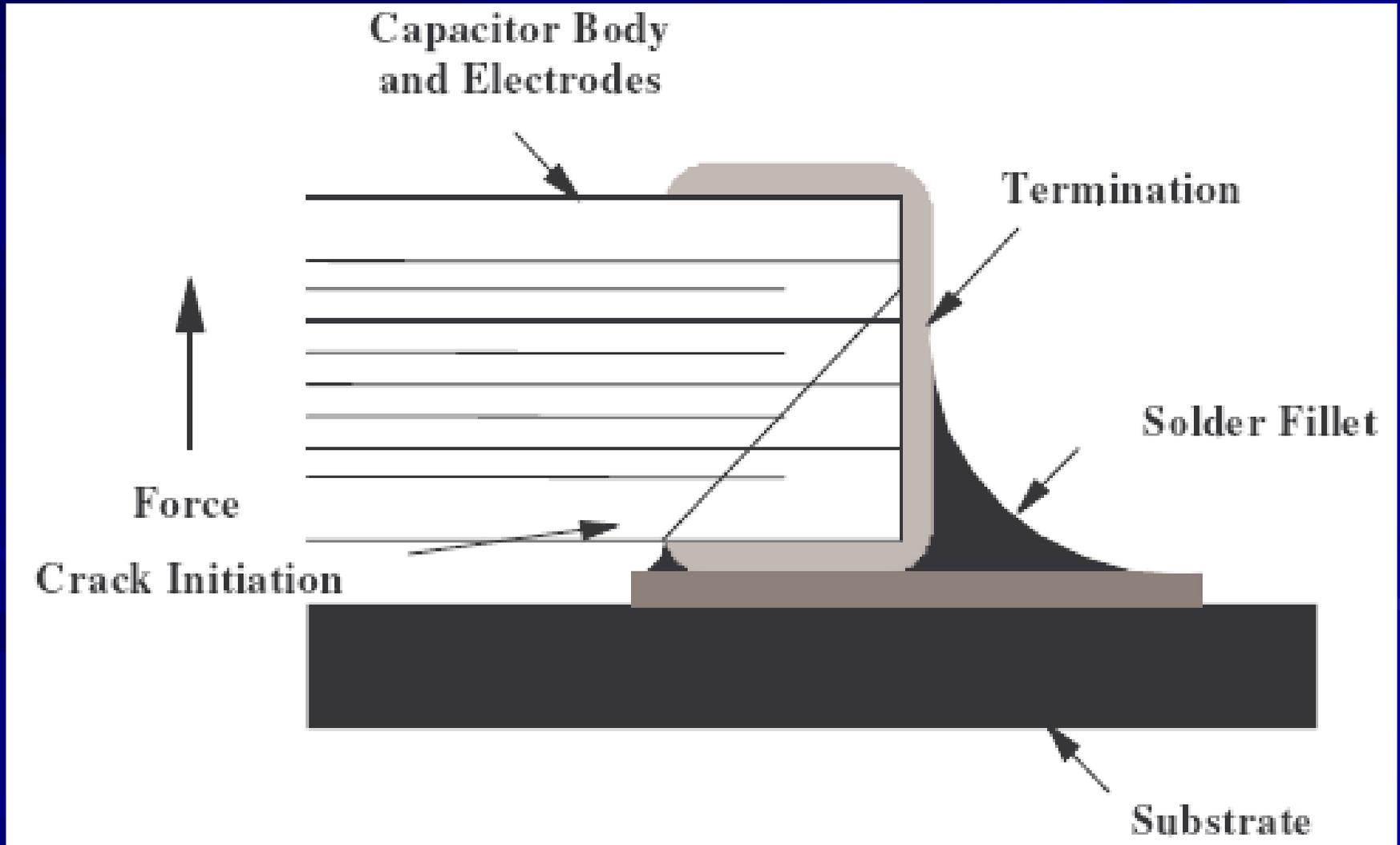
贴片陶瓷电容器的尺寸与耗散功率



陶瓷电容器的失效

- 潮湿对电参数恶化的影响
- 银离子迁移的后果
- 电容器断裂
- 焊接时端头被焊锡熔淋

陶瓷电容器的断裂



陶瓷电容器的断裂

Yellow potting compound

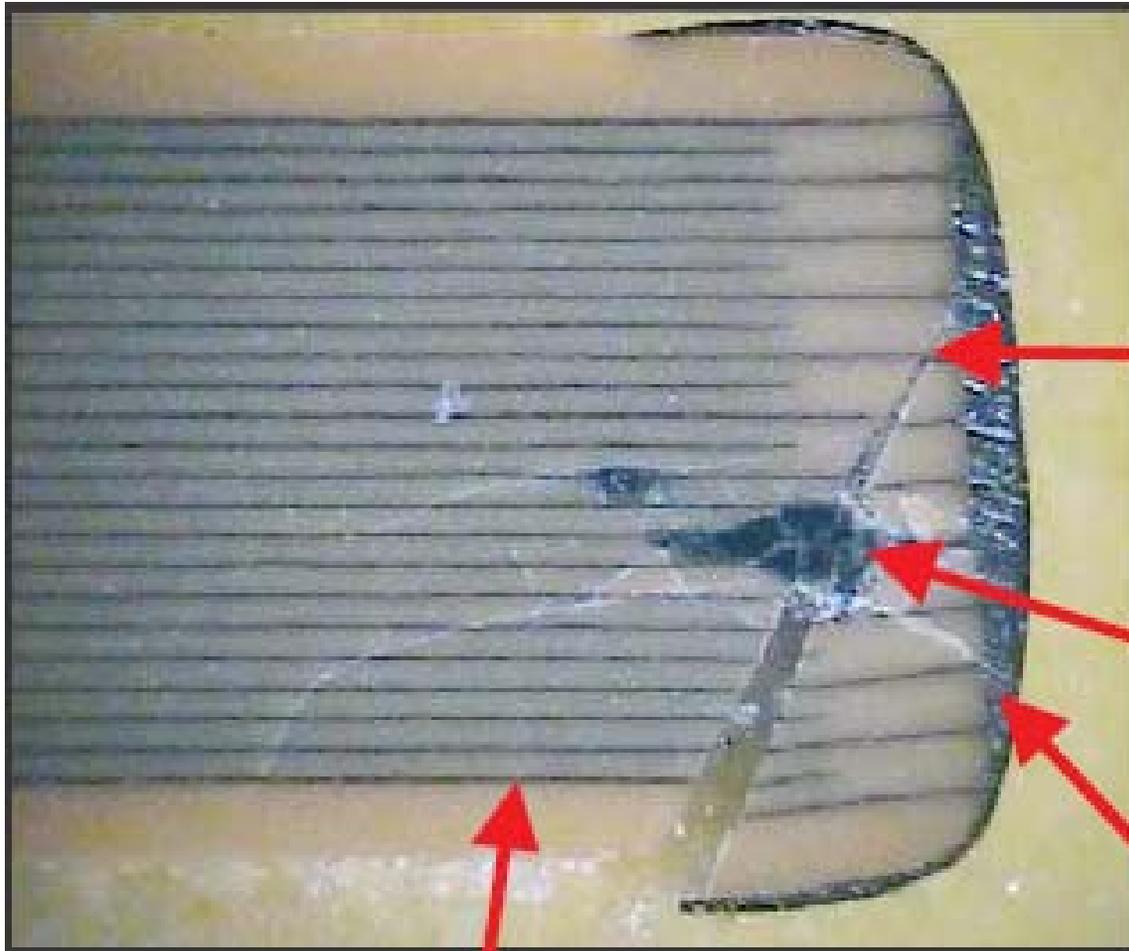
Electrodes

Standard termination
material (not FlexiCap™)

Mechanical crack (caused
capacitor failure)



电路板弯曲时陶瓷电容器折断



**Mechanical
Crack**

**Electrical
failure site**

**Termination
Material**

Electrodes

陶瓷电容器弯曲对电容器的影响

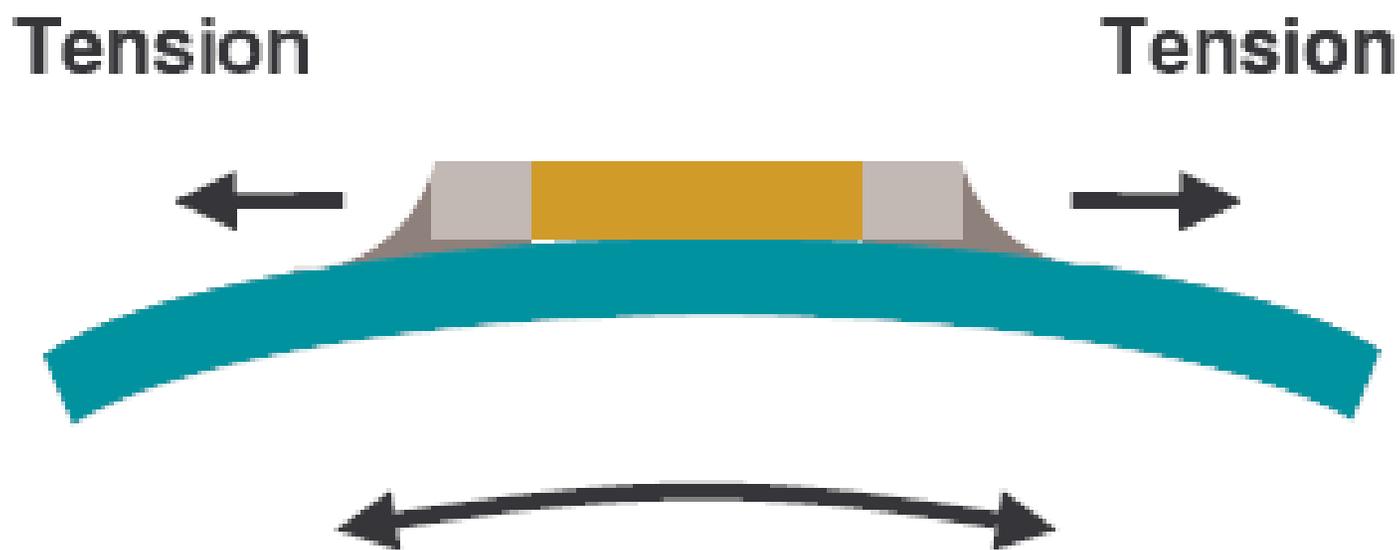
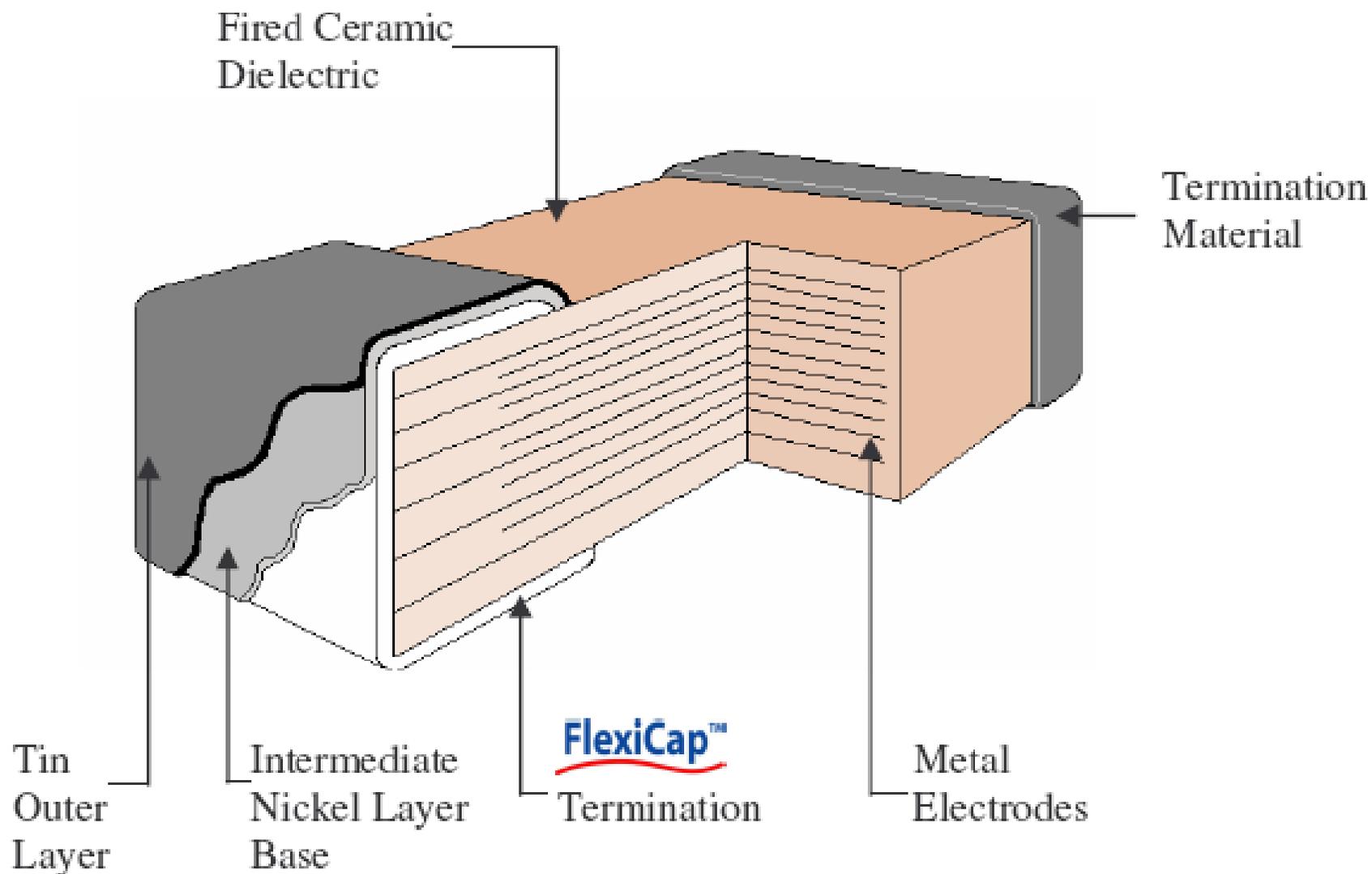
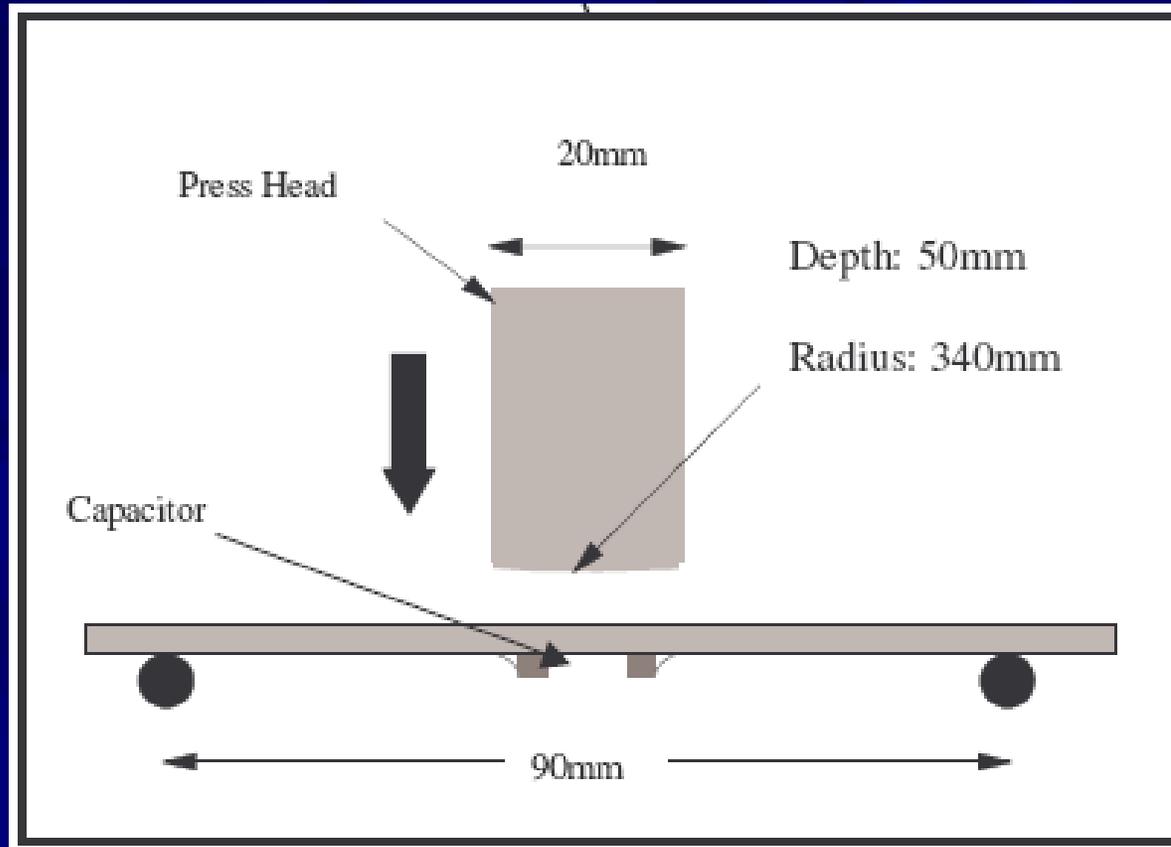


Figure 2 Board Bending May Break Chip Capacitors

柔性端头的陶瓷电容器



陶瓷电容器的弯曲试验与测试结果

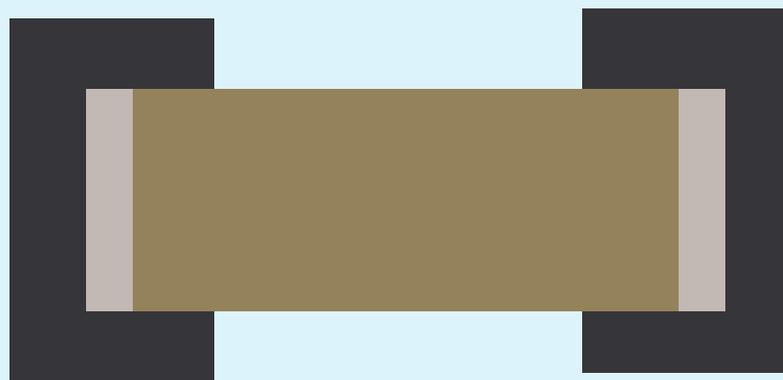


Product	Mean Bend (mm) Sintered Termination	Mean Bend (mm) FlexiCap TM Termination
0805 X7R	3.6	6.3
1206 X7R	3.4	6.4
1812 X7R	3.2	6.0
2220 X7R	3.2	6.1

陶瓷电容器焊盘与与可靠性

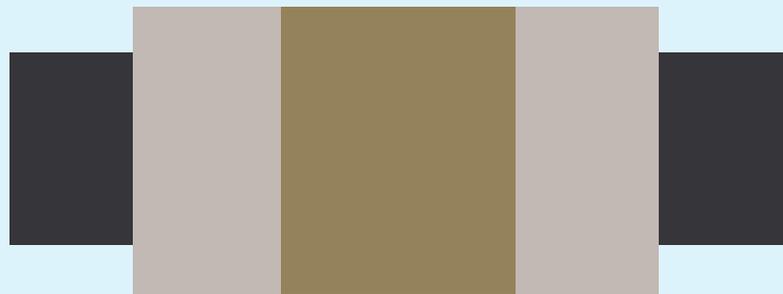
Conflicting Geometries Best & Worst - Chip & Pad

Worst



1206

Best



大尺寸片式陶瓷电容器端头应力的改善

- 大尺寸、大容量陶瓷电容器多采用多个片式单体叠在一起，以增加电容量、减小ESR。
- 为了减小陶瓷电容器端头的应力，通常采用在陶瓷电容器两端加焊片或并列引脚方式，使陶瓷电容器通过引脚焊在电路板上，通过引脚吸收应力。

多引脚陶瓷电容器

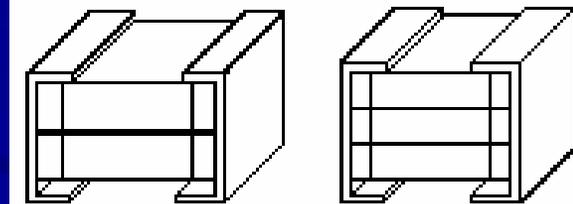
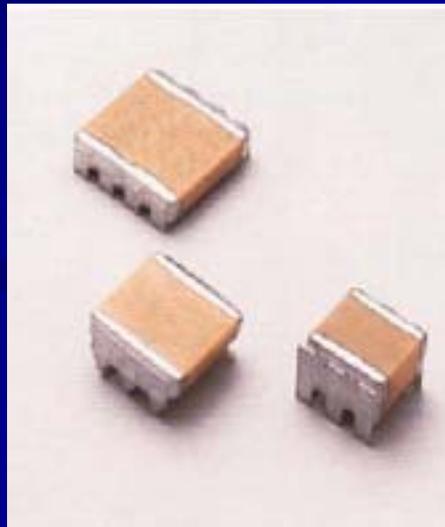
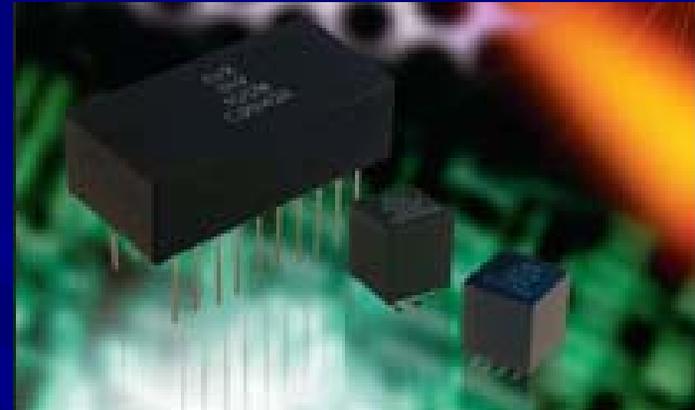
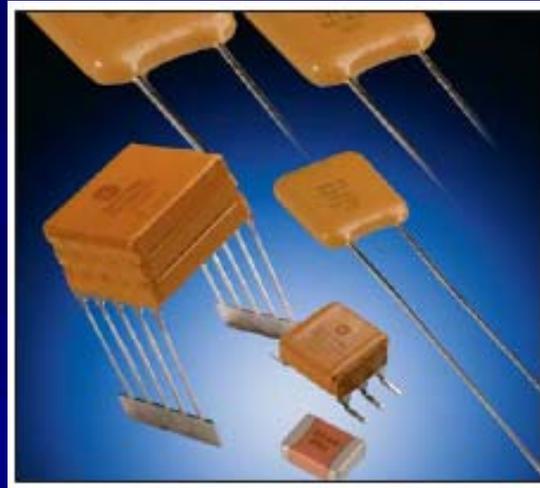
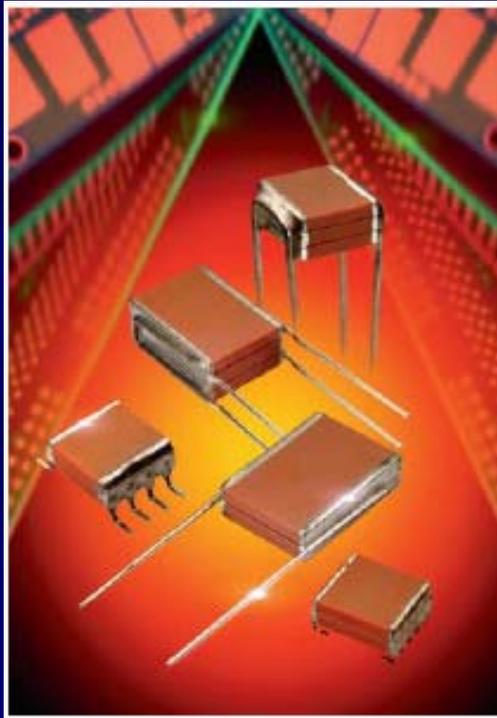


图3.6.7 多个陶瓷贴片电容器的并联

焊接时端头被焊锡熔淋

- 原因：陶瓷贴片电容器的焊接端头类型分为回流焊合波峰焊两种。
- 回流焊的陶瓷贴片电容器如果用于波峰焊或手工焊时，就可能出现电容器焊接端头被熔淋掉的现象。

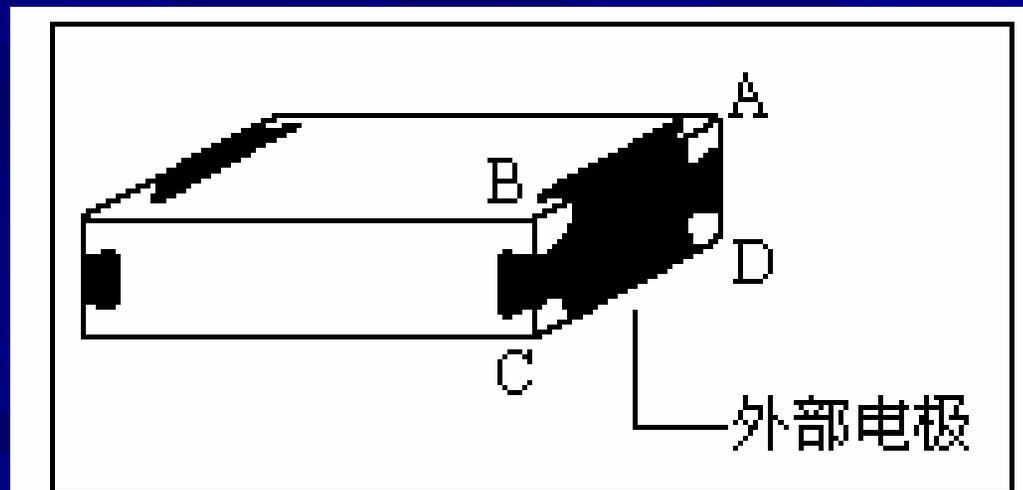


图 3.4.23 外电极失掉的示意图

村田电容器在不同焊接工艺与产生熔淋的时间

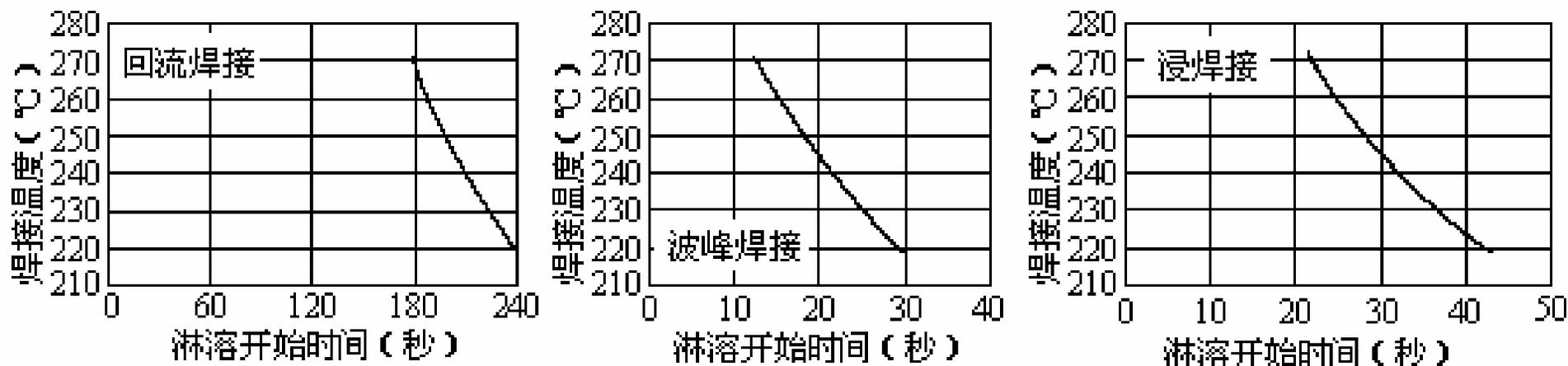
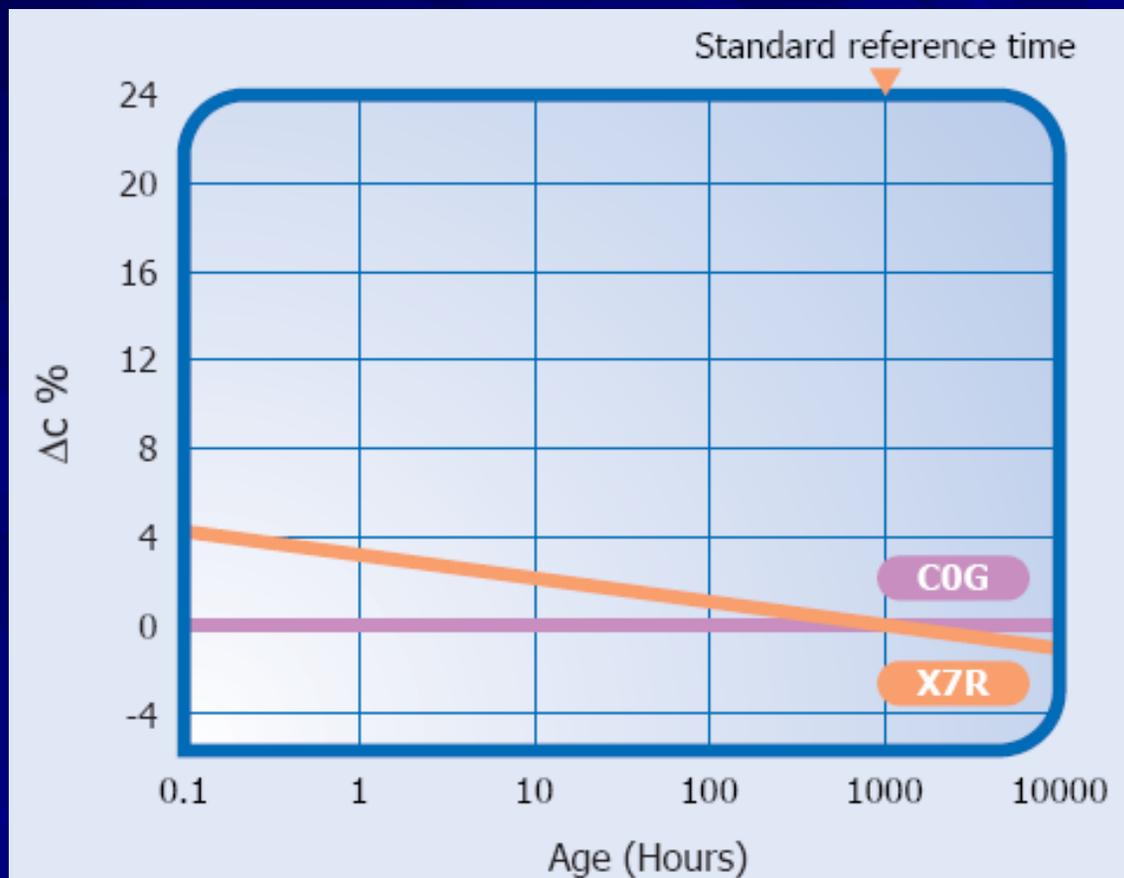


图 3.4.24 不同的焊接方式的焊锡淋溶电极的开始时间与焊接温度的关系

解决方法

- 陶瓷贴片电容器用于波峰焊时应选用使用波峰焊的规格，而不能随便的选用。否则可能会出现榕淋现象；
- 尽量避免采用浸焊工艺；
- 手工焊接或补焊时应尽可能的缩短焊接时间

陶瓷电容器的老化



陶瓷电容器的应用

- 在工频整流滤波的应用中，铝电解电容器应该是不可替代的，其原因是，工频整流滤波需要大电容量的滤波电容器，使陶瓷电容器很难应用
- 大容量陶瓷电容器非常适合在旁路、高频整流滤波中的应用

陶瓷贴片电容器在高频开关电源输出整流滤波的优势

- 对于**100kHz**或**100kHz**以上的开关功率变换时的高频整流滤波时，电容器的容抗就已经很小了。
- 如**100 μ F**的电容量在**100kHz**时的容抗为**15.9m Ω** ，
- 而低**ESR**的**100 μ F**铝电解电容器的最低的**ESR**约**400m Ω**
- **1000 μ F**的低**ESR**铝电解电容器的**ESR**为**70 m Ω**
- **100 μ F**的标准钽电解电容器的最低的**ESR**约**250 m Ω**
- 即使是超低**ESR**钽电解电容器的最低的**ESR**也约为**0.06 Ω**
- 铝聚合物电解电容器的最低的**ESR**也至少在**20m Ω** 以上，都比**15.9m Ω** 高。这时，对于电解电容器来说，在这样高的频率下与其说是电容器不如说更像一个电阻。

陶瓷贴片电容器在高频开关电源输出整流滤波的优势

- 而一只**10 μ F**的陶瓷电容器的**ESR**仅为**0.003 Ω** （即**3m Ω** ）明显低于**100 μ F**（**159m Ω** ）的容抗，这时电容器的作用还是起绝对主导作用。而对于**100kHz**的方波中的**3次、5次7次.....**等其容抗相应的降低到**53 m Ω** 、**32 m Ω** 、**23 m Ω** ，还是容性特性。如果降低**ESR**电解电容器于大电容量陶瓷电容器相并联可以获得在**20kHz**以上**5MHz**以下的频带内的低阻抗。

陶瓷贴片电容器在高频开关电源输出整流滤波的优势

- 比较科学的选择高频整流滤波电容器是根据滤波电容器所允许的纹波电流，而纹波电流允许值在绝大多数情况下由其**ESR**决定（ $p=i^2 \cdot r_{ESR}$ ），对于相同尺寸的封装在允许的温升相同时，**ESR**越小允许的纹波电流值越大，如标准钽电解电容器的最小**ESR**为**250 mΩ**，而大容量的陶瓷电容器的**ESR**一般在**10~30 mΩ**，这样陶瓷电容器的允许的纹波电流将是 **$10^{1/2} \sim 30^{1/2}$** 倍，即**3.16~5.47**倍。标准钽电解电容器的允许纹波电流为**0.66A**，则陶瓷电容器允许的纹波电流将可以达到其对应的倍数**2.08A**和**3.6A**。

对比测试

- 一DC/DC变换器：5V输入、12V输出、开关频率450kHz、输入电流0.34A、输出电流0.12A。

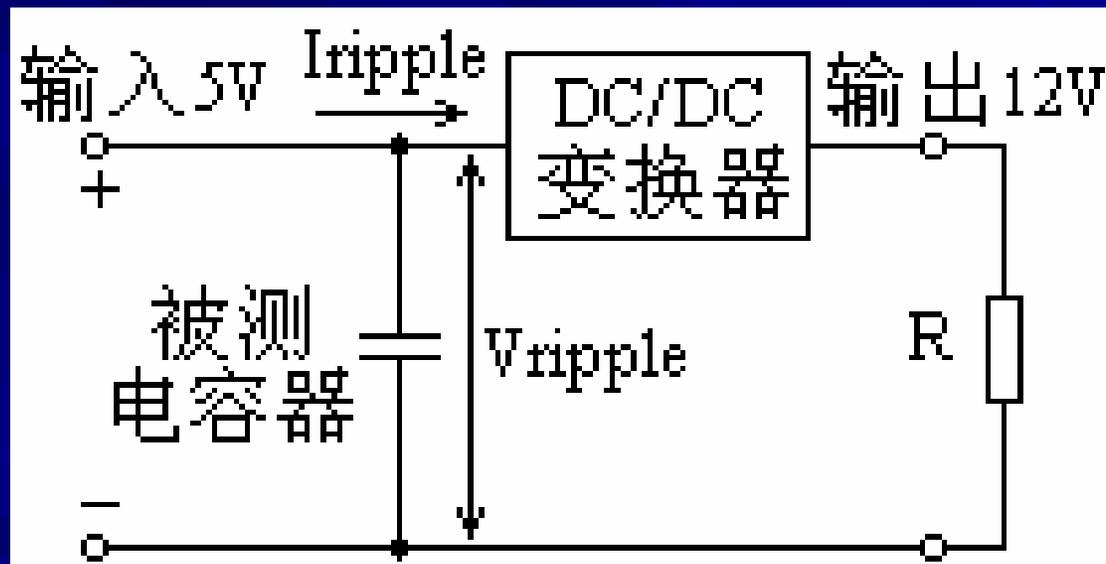


图3.6.4 电容器滤波效果测试电路

在DC/DC变换器的电源输入端分别并联100 μ F铝电解电容器、33 μ F钽电解电容器和2.2 μ F陶瓷电容器。在DC/DC变换器的输入端测试纹波电压与纹波电流，其结果为：

电容器种类	电容量/额定电压	纹波电压峰-峰值 $\text{mV}_{\text{P-P}}$	纹波电流峰-峰值 $\text{mA}_{\text{P-P}}$	纹波电流有效值 mA_{rms}	封装
铝电解电容器	100 μ F/25 V	106	486	154	D
钽电解电容器	33 μ F/16V	96	486	144	$\Phi 6.3 \times L15$
陶瓷电容器	2.2 μ F/16 V	104	486	146	1206

大电容量的陶瓷电容器对瞬变负载所造成的电源电压瞬变有很好的抑制作用

■ 测试电路

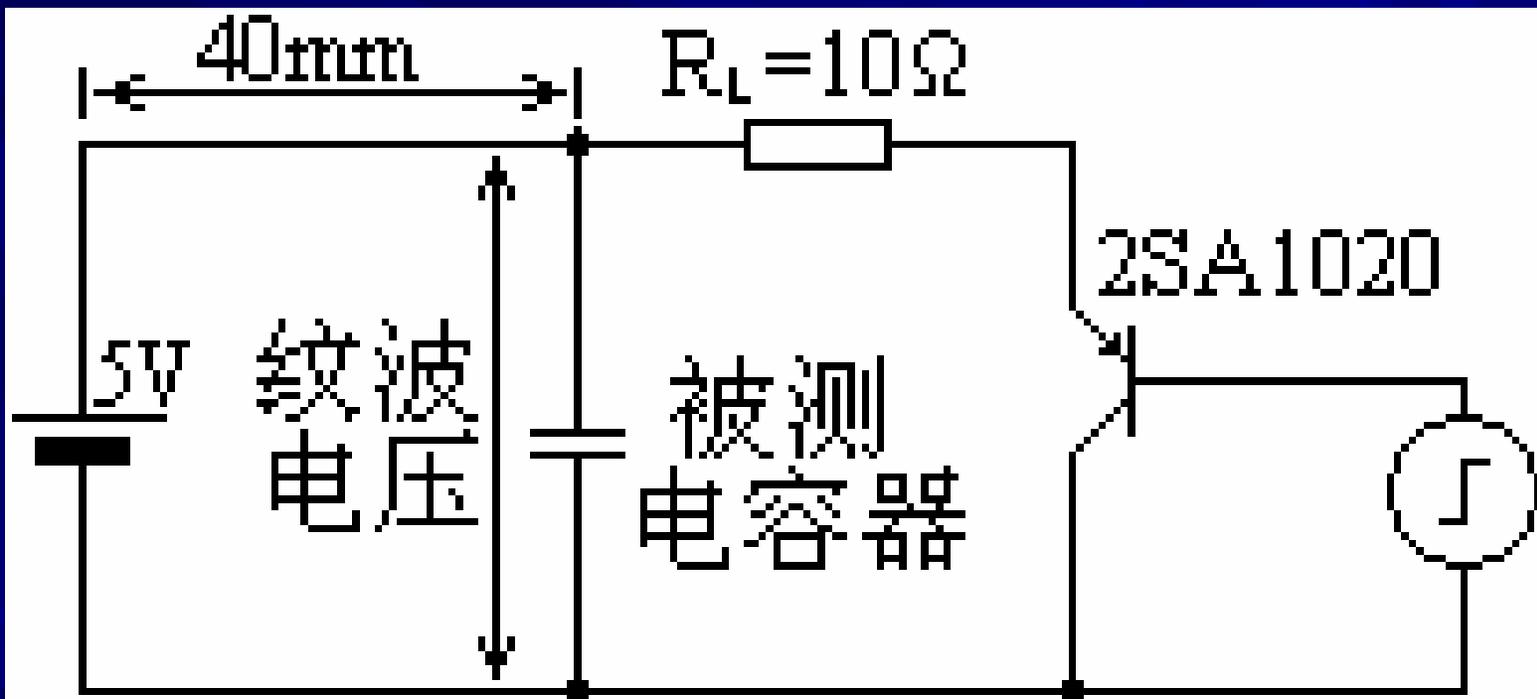


图3.6.5 电容器抑制瞬变负载对电源电压影响的测试电路

结论

- 在开关电源电路中，选用不同的电容器会得到不同的电路性能结果，为了使开关电源电路在成本和性能上达到最佳，应选择合适的电容器或电容器的组合。

更详尽的叙述见08年低科学出版社出版的“电容器手册”

谢谢！

让我们继续努力！

0416chenyongzhen@163.com

13841685729