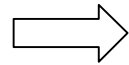
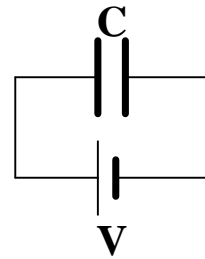
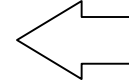


Introducción



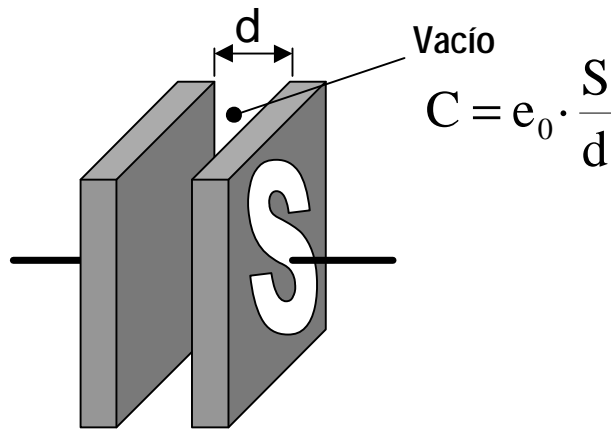
$$Q(t) = C \cdot V(t)$$



Capacidad

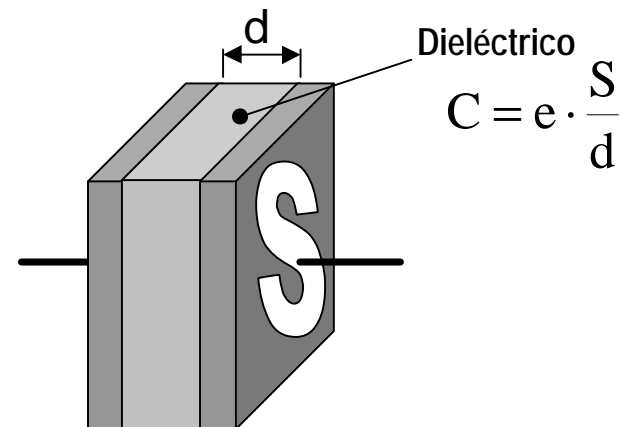
Proporcionalidad entre
carga almacenada y
diferencia de potencial

Estructura (simple)



Constante dieléctrica del vacío:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$



Constante dieléctrica del medio:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

Constante dieléctrica relativa
(permitividad): ϵ_r

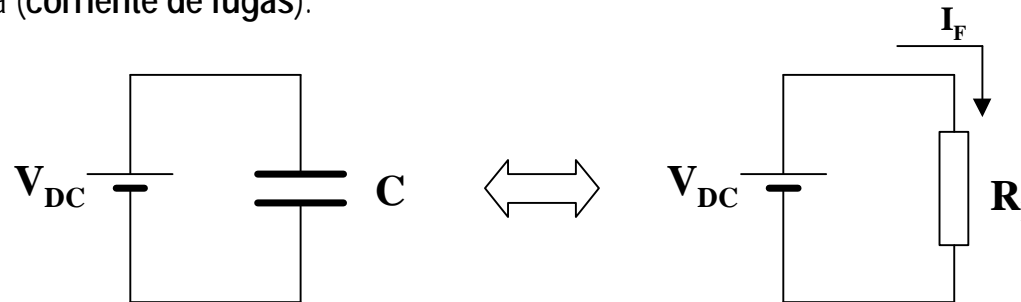
Las variaciones de la capacidad del condensador en función de la temperatura, frecuencia, tensión, etc... vienen determinadas fundamentalmente por las variaciones de la permitividad.

Las propiedades del condensador están íntimamente relacionadas con las propiedades del dieléctrico

Dieléctricos - Características estáticas

Resistencia de aislamiento - Corriente de fugas

Idealmente un dieléctrico debería presentar resistividad infinita, sin embargo, al aplicar una tensión continua y una vez alcanzado el régimen estacionario, circula una corriente constante no nula (**corriente de fugas**).



Rigidez dieléctrica - Campo de ruptura

Todo dieléctrico es capaz de soportar hasta un determinado valor de campo eléctrico ($E=V/d$) comportándose como aislante, a partir del cual pasa a comportarse como un conductor. El paso de corriente elevada produce el deterioro del dieléctrico.

Dieléctricos - Características dinámicas

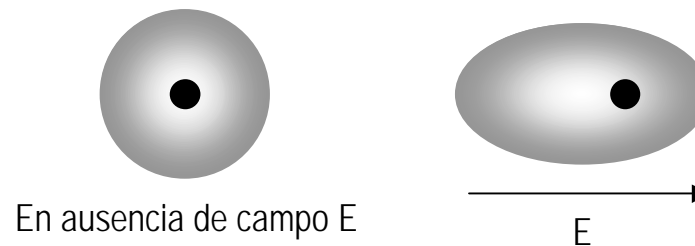
Polarización dieléctrica - Definición

Desplazamiento "finito" de las cargas fijas o la orientación dipolar por la acción de un campo eléctrico. Estos fenómenos implican pérdida de energía (potencia)

$$P = \epsilon_0 (\epsilon - 1) E$$

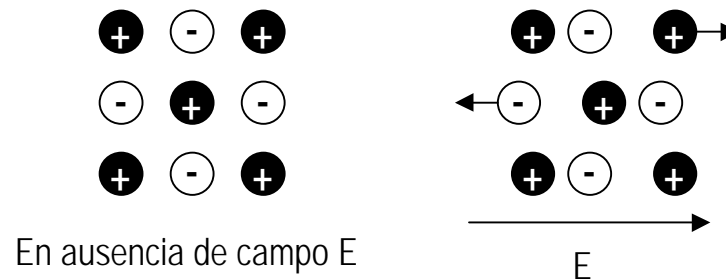
Polarización electrónica ($10^{14} - 10^{16}$ Hz)

Desplazamiento y deformación de las órbitas electrónicas debido a la presencia de un campo eléctrico.



Polarización iónica ($10^{13} - 10^{14}$ Hz)

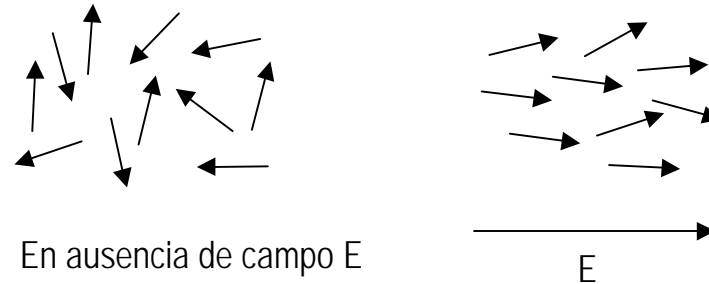
Desplazamiento de los iones. Se presenta en sólidos con estructura iónica.



Dieléctricos - Características dinámicas

Polariz. por orientación de dipolos ($10^8 - 10^{13}$ Hz)

Orientación de las moléculas dipolares que forman en dieléctrico. Debido a la agitación térmica, la orientación dipolar nunca es total (no se llega a la saturación)



Polariz. por orientación de iones ($10^8 - 10^{10}$ Hz)

Deformación de moléculas originalmente neutras. La presencia de un campo eléctrico provoca la aparición de un momento dipolar debido a iones débilmente ligados.

Polarización por orientación electrónica

Orientación de huecos o electrones excitados térmicamente.

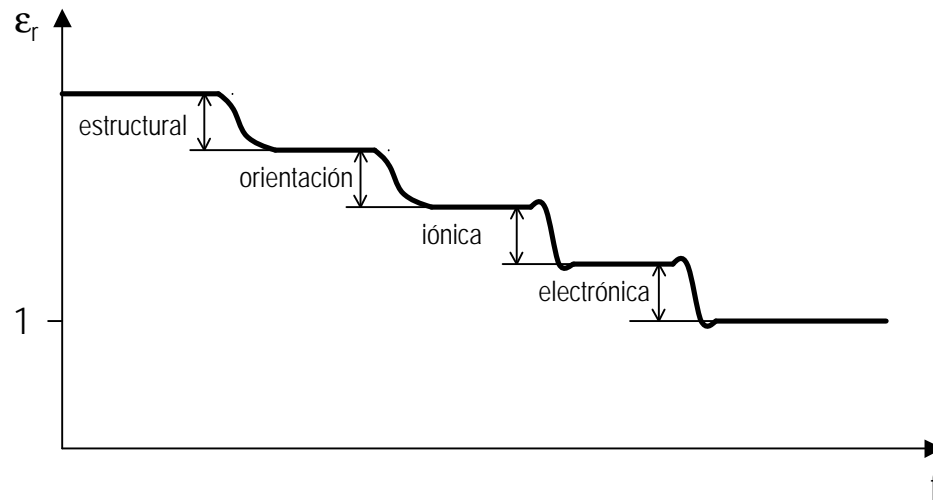
Polarización estructural

Desplazamiento de los electrones libres dentro de un material no homogéneo

Dieléctricos - Características dinámicas

Variación de la constante dieléctrica

Los fenómenos de polarización descritos son los responsables de la disminución de la constante dieléctrica en función de la frecuencia de variación del campo eléctrico.



Dan lugar a una pérdida de energía que se traduce en una disipación de potencia.

Valores típicos de ϵ_r

Dieléctrico	permitividad
Vacío	1 (por definición)
Aire	1.0006
Vidrio	10
Titanato de bario (II)	200 – 12000
Poliestireno	2.6
Policarbonato	3.1
Óxido de Aluminio	8.4
Pentóxido de tántalo	2.4

Características de los condensadores

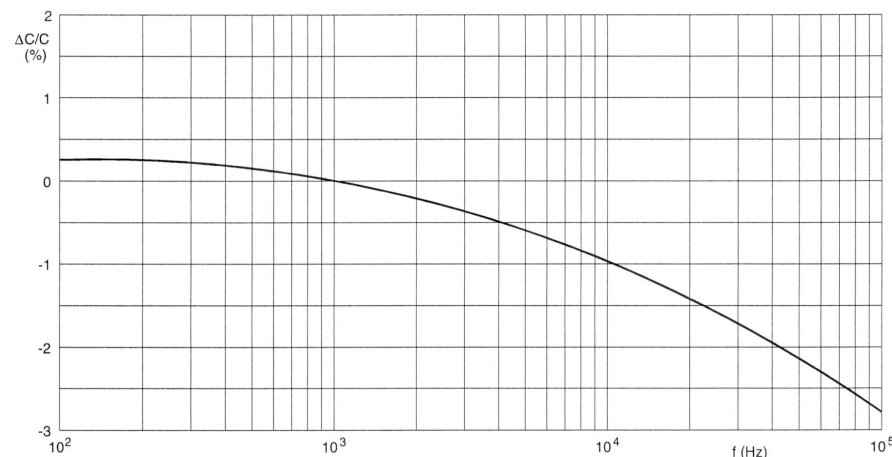
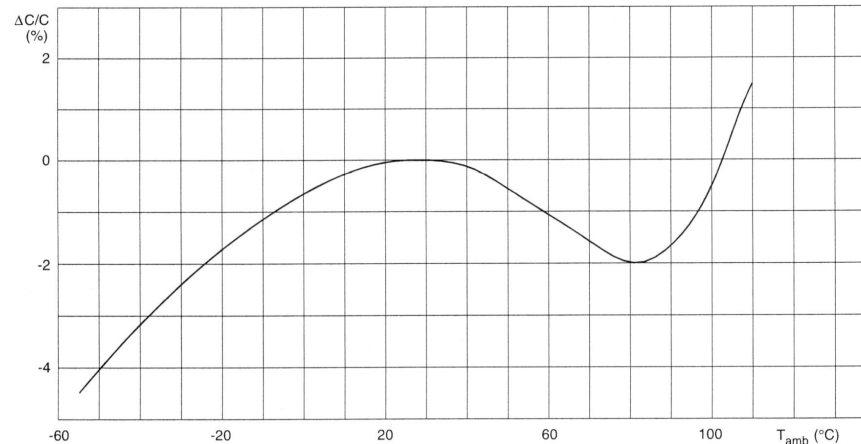
Dependencia de la capacidad con la temperatura y la frecuencia y la frecuencia

Dado que los coeficientes de variación de la capacidad con la temperatura y la frecuencia no son constantes, se suelen representar la variación relativa de la capacidad en forma gráfica.

$$C(T_1) = C_0 \left(1 + \left. \frac{\Delta C}{C_0} \right|_{T=T_1} \right)$$

Las variaciones relativas de la capacidad son debidas, fundamentalmente, a las variaciones de la permitividad del dieléctrico utilizado.

$$C(f_1) = C_0 \left(1 + \left. \frac{\Delta C}{C_0} \right|_{f=f_1} \right)$$

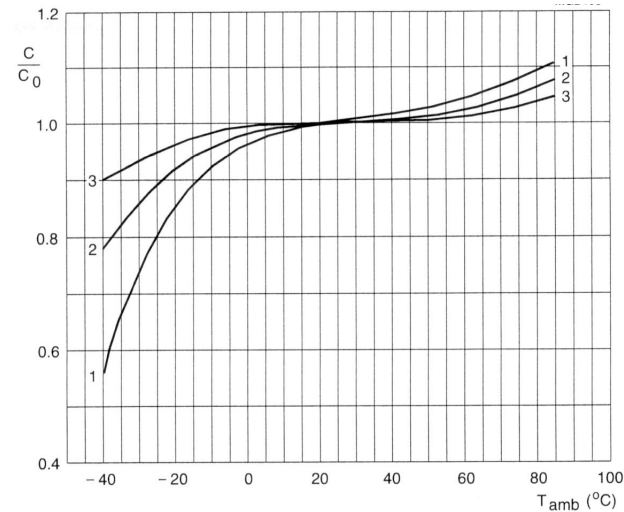


Características de los condensadores

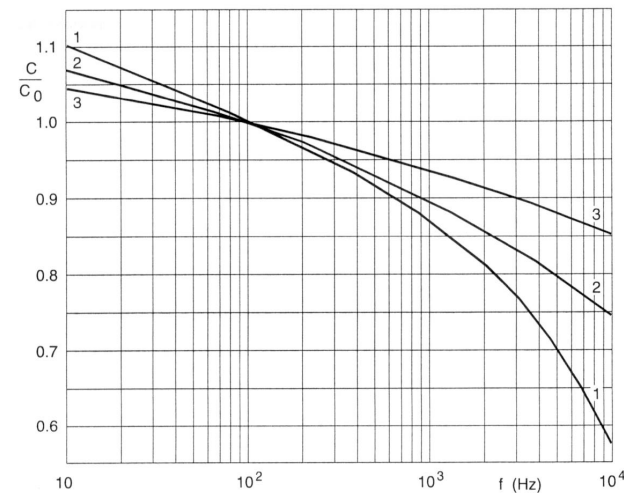
Dependencia de la capacidad con la temperatura y la frecuencia (2)

Otra forma de representar la variación de la capacidad es dando el factor multiplicador de la capacidad nominal

$$C(T_1) = C_0 \cdot \left(\frac{C}{C_0} \right)_{T=T_1}$$



$$C(f_1) = C_0 \cdot \left(\frac{C}{C_0} \right)_{f=f_1}$$



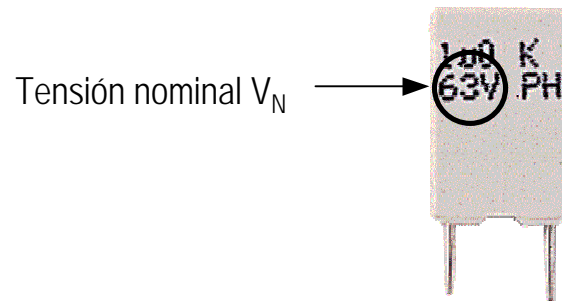
Características de los condensadores

Categoría climática

Es un código de la forma (T_{\min} / T_{\max} / N) mediante el cual el fabricante indica la mínima temperatura ambiente de funcionamiento, la máxima temperatura de funcionamiento y el número de días que el condensador soporta funcionando en unas determinadas condiciones adversas (por ejemplo: 50 / 100 / 56) .

Tensión nominal (V_N , U_R)

Es el valor máximo de tensión continua que puede aplicarse al condensador de forma continuada. Normalmente, este valor no debe sobrepasarse en ningún instante de tiempo, salvo que lo indique expresamente el fabricante.



$$V_N \geq V_{DC} + V_{AC-pico}$$

Tensión límite

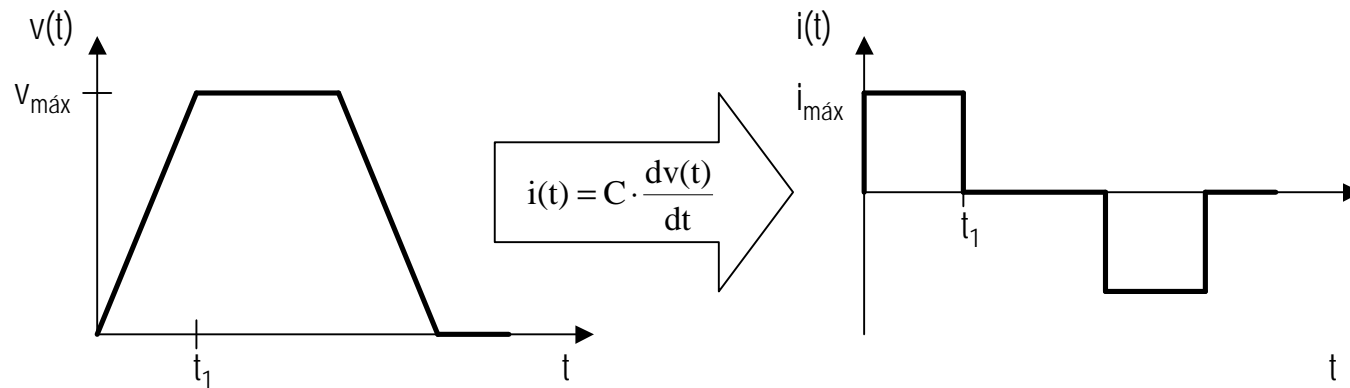
Máxima tensión instantánea que puede aplicarse al condensador sin que se produzca ruptura dieléctrica. Viene dada, por tanto, por la rigidez dieléctrica del material utilizado como dieléctrico. Este parámetro rara vez viene especificado por el fabricante y de hacerlo, es en términos de la tensión nominal como: $1.2 \times V_N$.

Características de los condensadores

Máxima pendiente de la tensión (dV/dt)

Al aplicar un pulso de amplitud igual a la tensión nominal, indica la máxima pendiente de subida (o bajada) de dicho pulso.

Está relacionada con la máxima corriente instantánea y duración de la misma que puede soportar el condensador.



Si la amplitud del pulso es V_1 (inferior a la tensión nominal), el valor de la máxima pendiente de dicho pulso sería superior, cumpliéndose que:

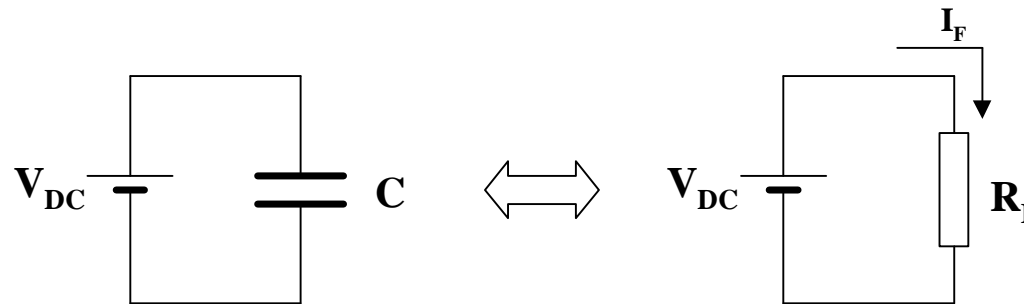
$$\left. \frac{dV}{dt} \right|_{\text{máx}(V_1)} = \frac{V_N}{V_1} \cdot \left. \frac{dV}{dt} \right|_{\text{máx}(V_N)}$$

Lo que implica que el condensador puede soportar un paso de corriente mayor, ya que la duración t_1 sería menor.

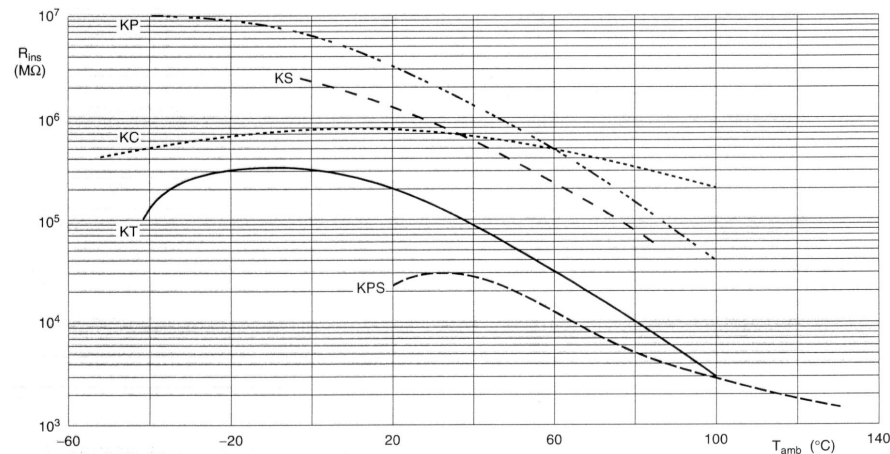
Características de los condensadores

Fugas - Resistencia de aislamiento

Los dieléctricos no son aislantes perfectos, sino que permiten la circulación de una corriente continua no nula. Esto se traduce en que el condensador en continua se comporta como una resistencia, denominada resistencia de aislamiento.



Al aumentar la temperatura, la conductividad del dieléctrico aumenta, por lo que la resistencia de aislamiento del condensador disminuye



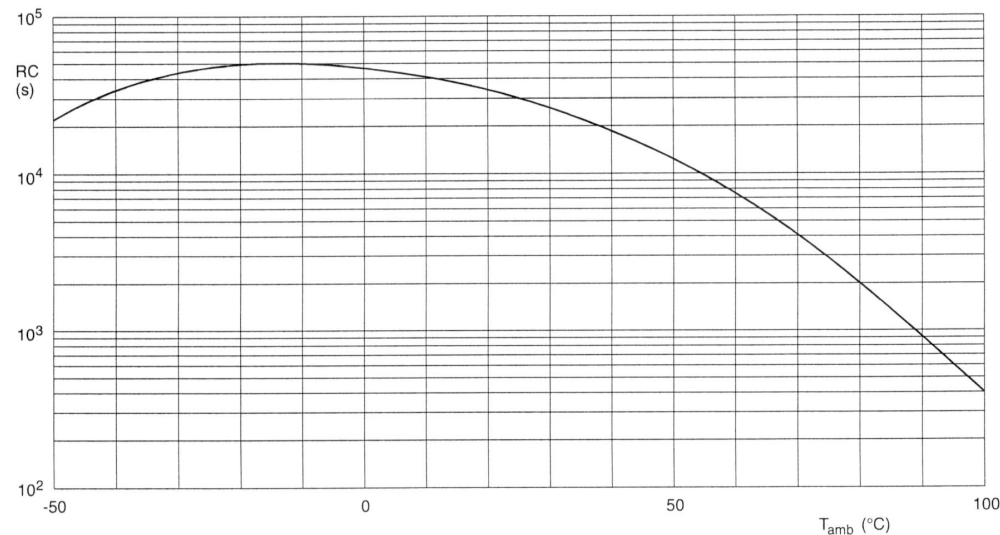
Características de los condensadores

Fugas - Constante de tiempo de autodescarga

Una forma de obtener capacidades C mayores utilizando un mismo dieléctrico es aumentar la sección de las placas (y del dieléctrico). Esto hace que la resistencia de aislamiento R_i disminuya.

Una figura de mérito para determinar la “bondad” de un dieléctrico en lo que a fugas se refiere es el producto $C \cdot R_i$ (con unidades de $M\Omega \cdot \mu F = \text{segundos}$)

La disminución de la constante de tiempo de autodescarga con la temperatura viene dada por la fuerte disminución de la resistencia de aislamiento.

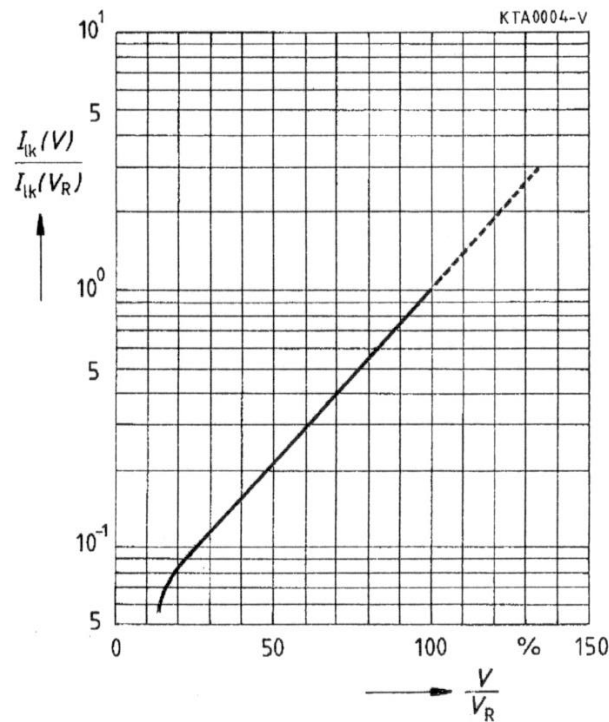


La constante de tiempo de autodescarga da idea acerca del tiempo que tarda en descargarse un condensador cuando, una vez cargado, se deja en circuito abierto.

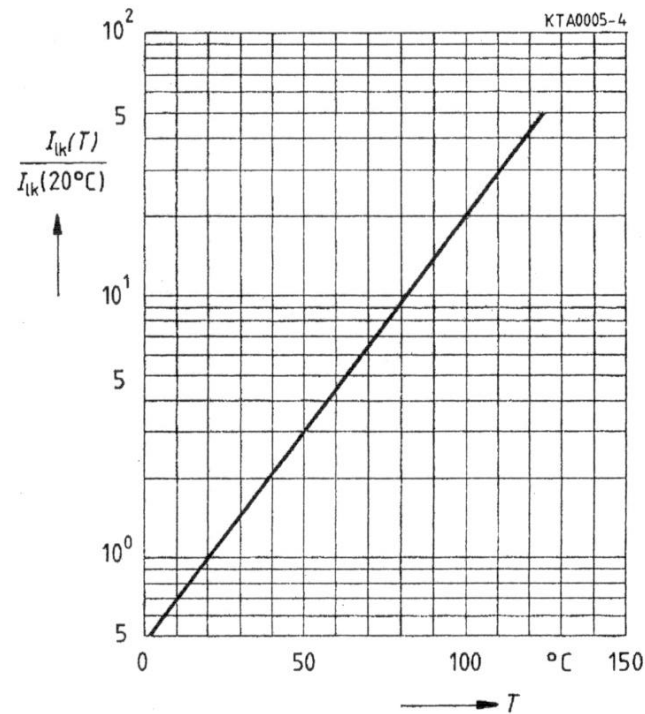
Características de los condensadores

Fugas - Corriente de fugas

Es la corriente continua que circula a través del condensador al aplicarle una determinada tensión continua. Al ser la resistencia de aislamiento dependiente de la tensión y de la temperatura, la corriente de fugas depende también de estos dos parámetros.



$$I_f(V_1) = I_f(V_N) \cdot \left(\frac{I_f(V)}{I_f(V_N)} \right)_{V=V_1}$$

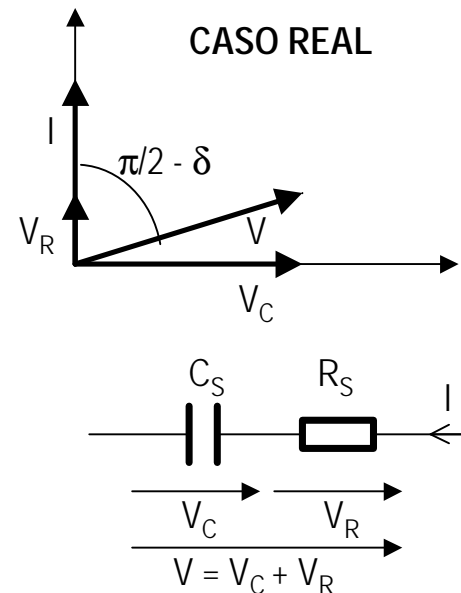
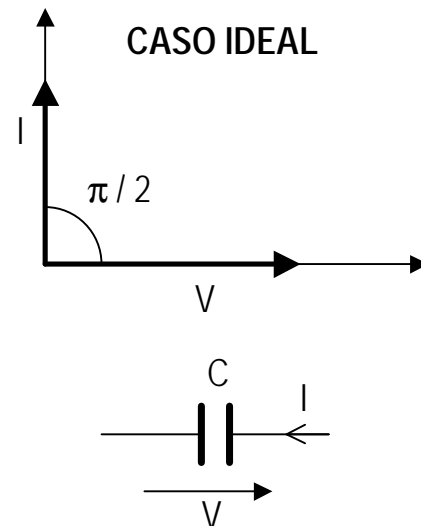


$$I_f(T_1) = I_f(T_N) \cdot \left(\frac{I_f(T)}{I_f(T_N)} \right)_{T=T_1}$$

Características de los condensadores

Pérdidas - Factor de pérdidas (D , $\text{tg}\delta$)

Están relacionadas con la disipación de potencia en AC a una determinada frecuencia. Idealmente la potencia disipada en AC es nula, sin embargo, debido a los fenómenos de polarización, no es así (tensión y corriente no están desfasadas $\pi / 2$).



Factor de disipación o factor de pérdidas

$$D = \text{tg}\delta = \frac{|V_R|}{|V_C|} = \frac{|I| \cdot R_s}{|I| \cdot \frac{1}{C_s}} = R_s C_s$$

Factor de calidad

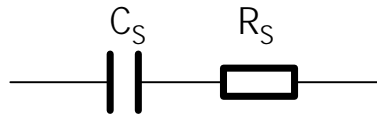
$$Q = \frac{1}{D}$$

Si se cumple que: $\text{tg}\delta \ll 1$, se comporta como un "buen condensador"

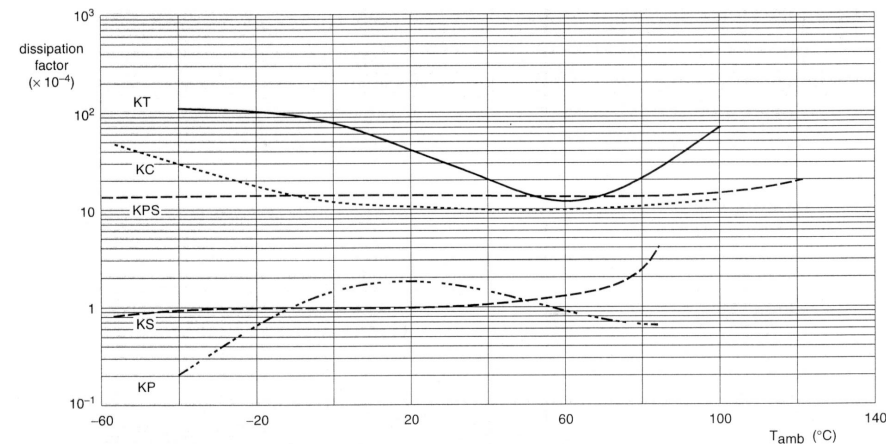
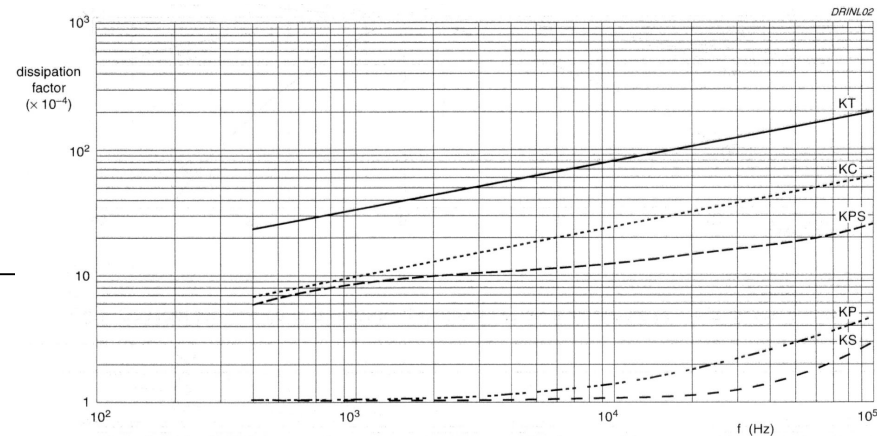
Características de los condensadores

Pérdidas - $\text{tg}\delta$ y Resistencia serie equivalente

A una determinada frecuencia y temperatura, la resistencia R_s del circuito equivalente serie "modela" las pérdidas del condensador (consigue que el desfase entre la tensión y la corriente sea inferior a $\pi/2$) y por tanto la disipación de potencia en el mismo.



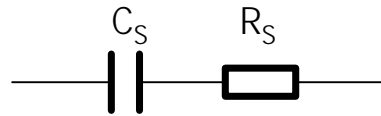
$$\text{tg}\delta = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$



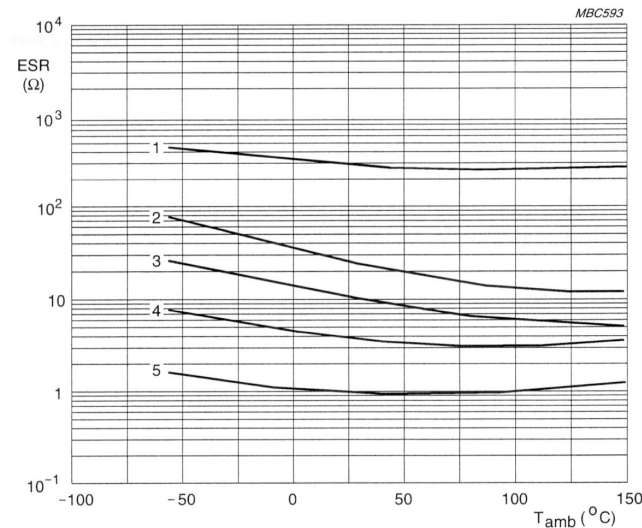
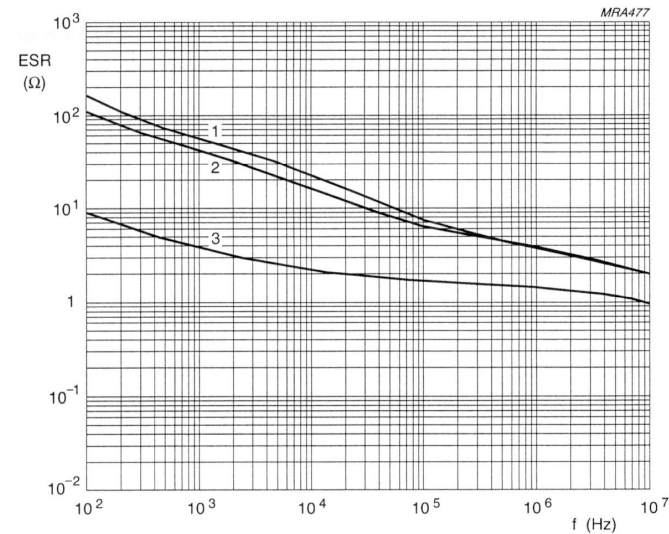
Características de los condensadores

Pérdidas - $\text{tg}\delta$ y Resistencia serie equivalente (2)

En el caso de los condensadores electrolíticos, el fabricante suele especificar el valor de R_s (resistencia serie equivalente = E.S.R.), en lugar de las pérdidas.



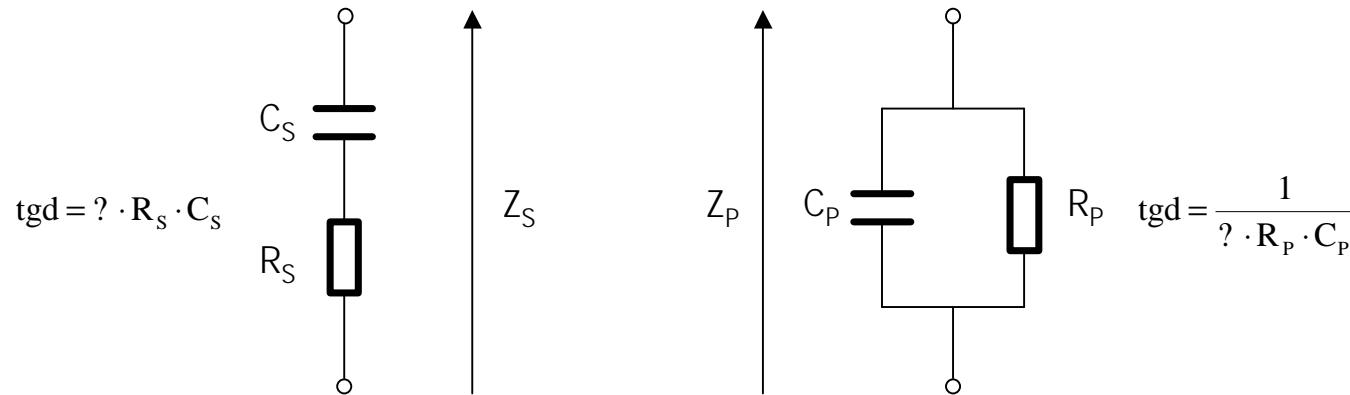
$$\text{tg}\delta = ? \cdot R_s \cdot C_s$$



Características de los condensadores

Pérdidas - Circuito equivalente serie y paralelo

De la misma forma que se ha utilizado una resistencia R_S en serie con la capacidad C_S para modelar las pérdidas $\text{tg}\delta$, podríamos pensar en una resistencia R_P en paralelo con una capacidad C_P para modelar el mismo fenómeno.



En unas determinadas condiciones de frecuencia y temperatura, ambos circuitos equivalentes deben modelar las mismas pérdidas y la misma impedancia Z .

$$R_P = R_S \frac{1 + (\text{tg}\delta)^2}{(\text{tg}\delta)^2} \quad C_P = C_S \frac{1}{1 + (\text{tg}\delta)^2}$$

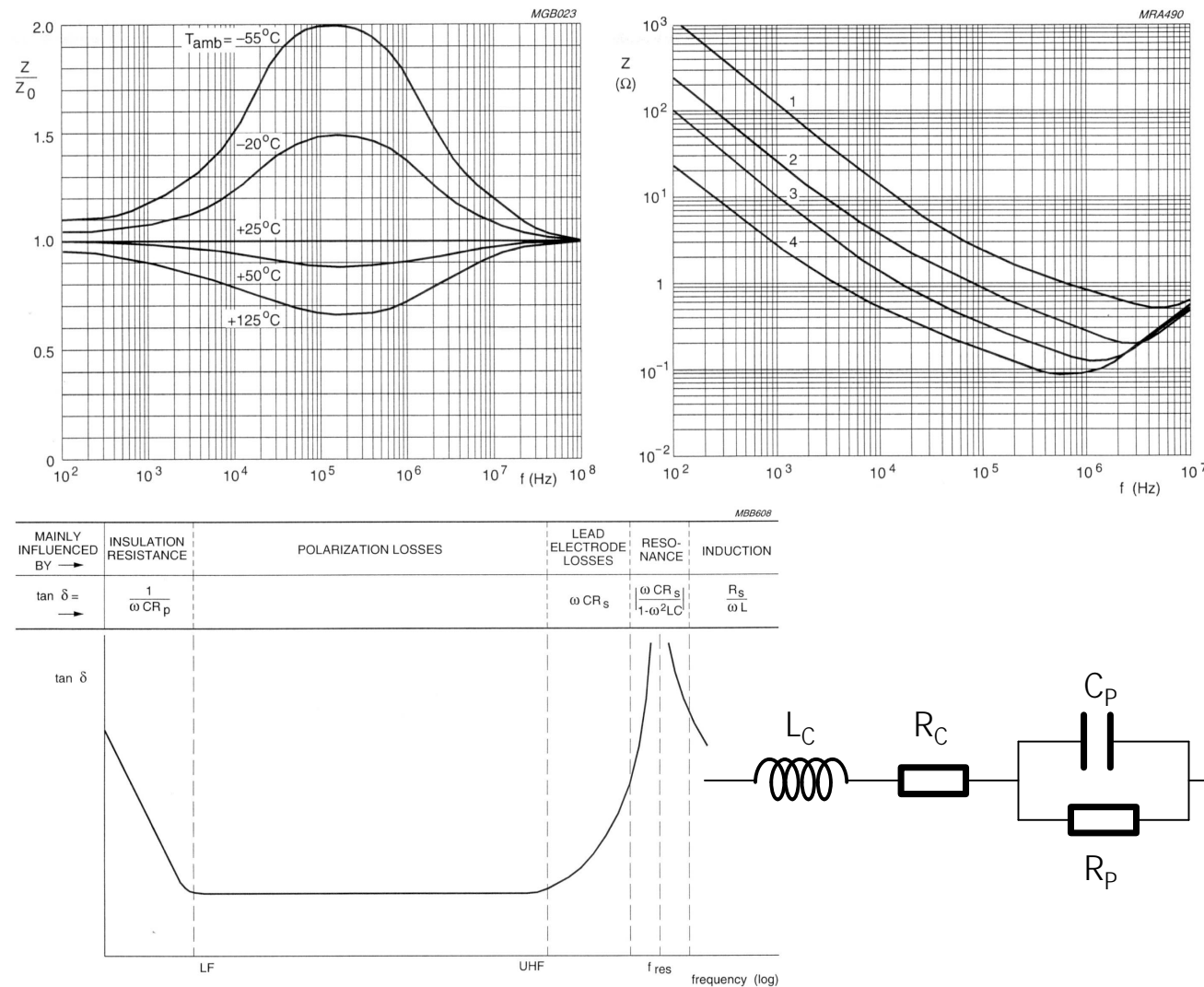
En un buen condensador (con bajas pérdidas) se cumple que: $\text{tg}\delta \ll 1$, por tanto, en este caso

$$R_P \approx R_S \frac{1}{(\text{tg}\delta)^2} \Rightarrow R_P \gg R_S \quad C_P \approx C_S$$

Características de los condensadores

Circuito equivalente completo

Un modelo más completo incluye además los efectos de la autoinducción L_C de los contactos y su resistencia eléctrica R_C .



Características de los condensadores

Disipación de potencia

La potencia disipada en AC en un condensador viene modelada por la resistencia serie equivalente R_s (o su equivalente paralelo).

Para una onda senoidal de pulsación ω , el valor de la ESR viene dado por el factor de disipación a esa pulsación.

$$ESR = R_s = \frac{\text{tg}\delta}{\omega \cdot C_s} \Rightarrow P_{AC}(\omega) = I_{ef}^2 \cdot R_s$$

El valor eficaz de la corriente alterna que atraviesa el condensador depende de la impedancia que presenta el condensador a la frecuencia de trabajo.

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{|Z|} = \frac{V_{ef}}{\sqrt{R_s^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C_s}\right)^2}}$$

En el caso de condensadores con bajas pérdidas: $\text{tg}\delta \ll 1$

$$R_s \ll \frac{1}{\omega \cdot C_s} \Rightarrow |Z| \approx \frac{1}{\omega \cdot C_s}$$

Características de los condensadores

Disipación de potencia (2)

Desde el punto de vista de continua ($f=0$), al aplicarle una tensión circulará la corriente de fugas, por lo que la potencia disipada dependerá del valor de la resistencia de aislamiento R_I .

$$P_{DC} = V_{DC} \cdot I_F = \frac{V_{DC}^2}{R_I} = I_F^2 \cdot R_I$$

Para una señal alterna con componente continua, la potencia total disipada por el condensador será:

$$P_{TOTAL} = P_{DC} + \sum_{?} P_{AC}(?)$$

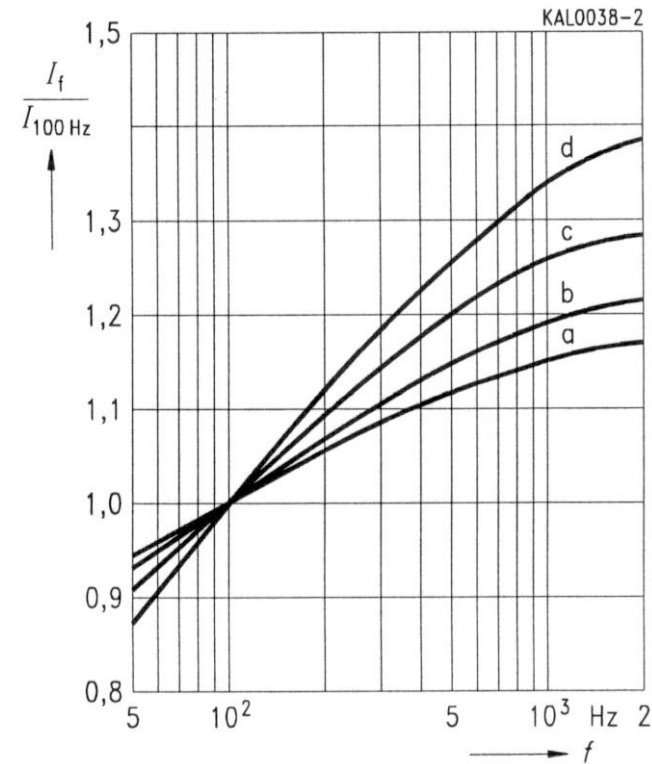
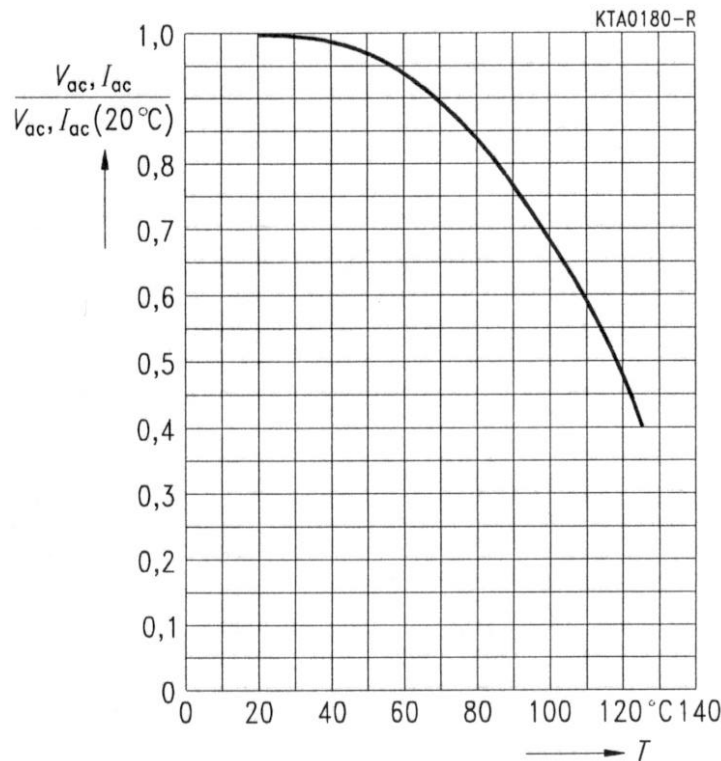
es decir, la suma de la potencia disipada en continua más la potencia disipada a cada una de las pulsaciones en las que se descompone la señal alterna. (descomposición en serie de Fourier)

Generalmente, dado el bajo valor de la corriente de fugas, el término de mayor "peso" será la potencia disipada en alterna.

Características de los condensadores

Disipación de potencia (3)

Como en todo componente, la máxima potencia disipable se puede especificar en términos de la potencia nominal y la correspondiente curva de desvataje, aunque es más habitual encontrar información a cerca de la máxima tensión o corriente de rizado (valor eficaz) en función de la temperatura ambiente y la frecuencia.

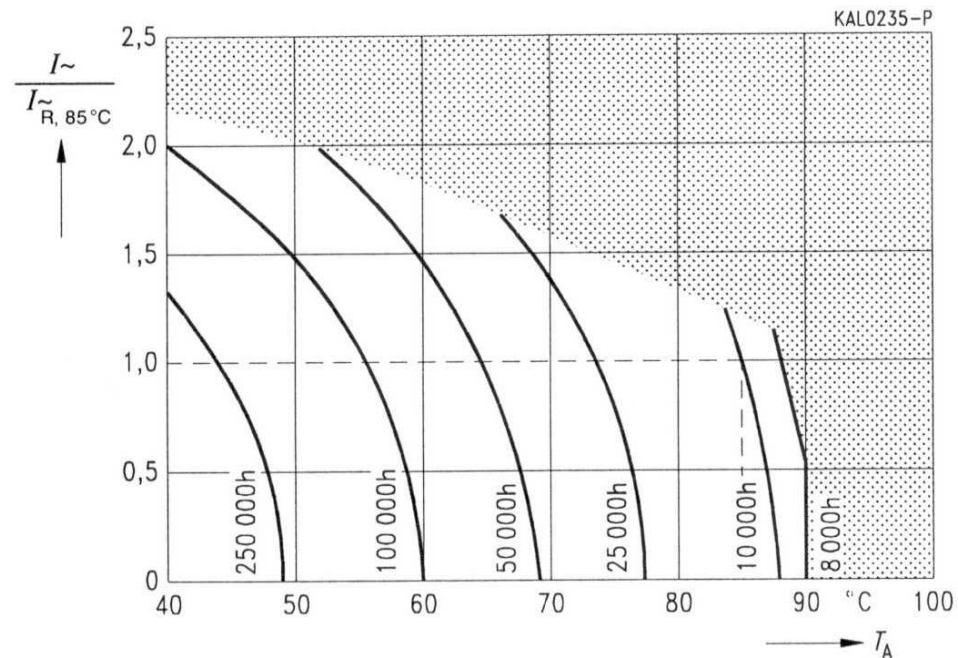


$$P_{AC-MAX} = I_{ef-MAX}^2 \cdot R_s$$

Características de los condensadores

Tiempo de vida útil

Generalmente, la especificación de máxima corriente de rizado suele ir acompañada de información acerca del tiempo que puede soportar el condensador esas condiciones de trabajo.



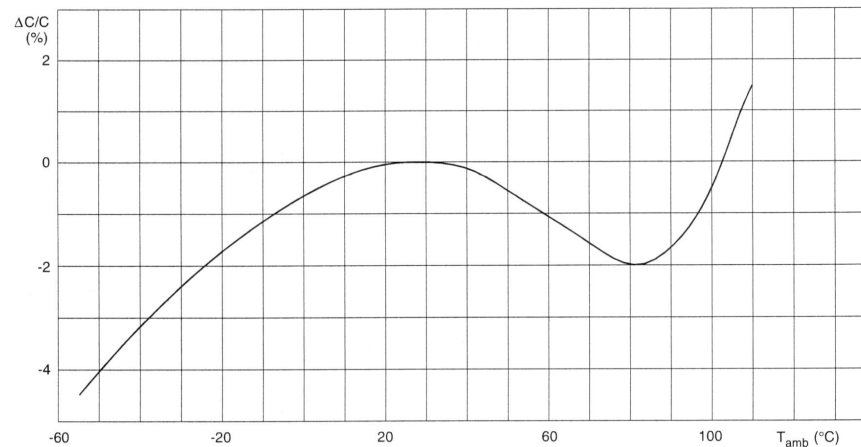
Características de los condensadores

Interpretación de los datos

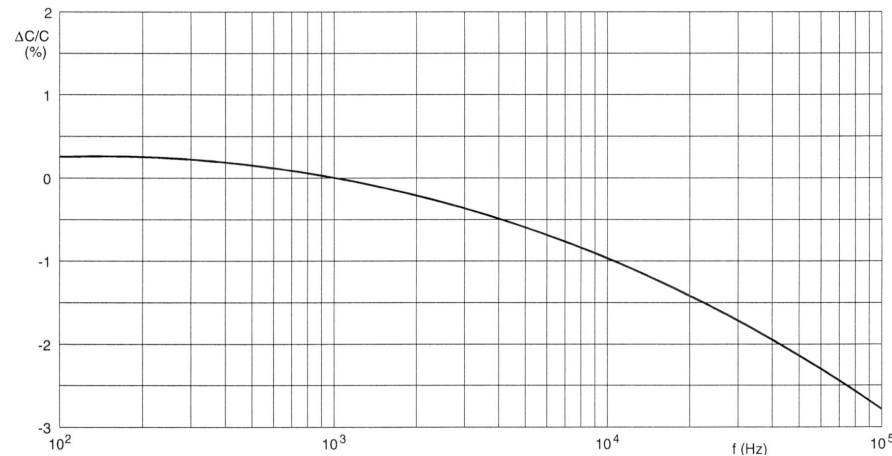
Para obtener el valor de un parámetro fuera de las condiciones nominales, supondremos que las variables (temperatura, frecuencia, ...) son independientes.

$$C(T_1, f_1) = C_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta C}{C_0} \Big|_{T=T_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta C}{C_0} \Big|_{f=f_1} \right)$$

$$C(T_1, f_0) = C_0 \left(1 + \frac{\Delta C}{C_0} \Big|_{T=T_1} \right)$$



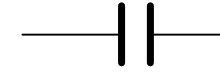
$$C(T_0, f_1) = C_0 \left(1 + \frac{\Delta C}{C_0} \Big|_{f=f_1} \right)$$



Tipos de condensadores

Condensadores no polarizados

No es necesario respetar la polaridad de la tensión en sus bornas.



Cerámicos

El dieléctrico es un material cerámico (inorgánico policristalino)

de Película

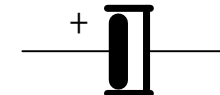
Generalmente el dieléctrico es un material plástico, los de papel comienzan a quedar en desuso y restringidos a aplicaciones de potencia como supresores de interferencias.

Otros

Condensadores de vidrio, variables (trimmers), ...

Condensadores polarizados

Es necesario respetar la polaridad de la tensión en sus bornas.



Generalmente se les denomina electrolíticos, aunque existen condensadores electrolíticos para los que no es necesario respetar la polaridad.

Condensadores cerámicos

Clasificación

Dependiendo de la composición química del dieléctrico cerámico se distinguen dos tipos:

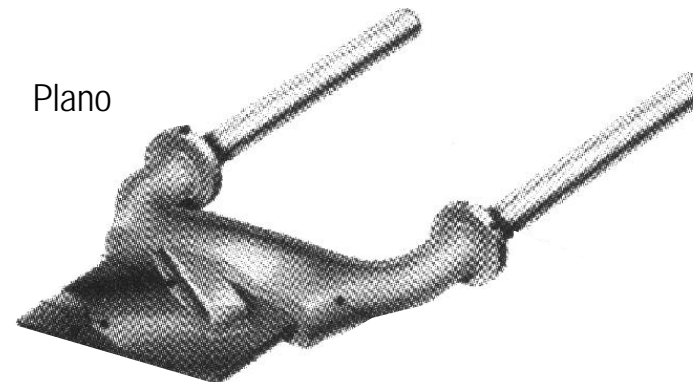
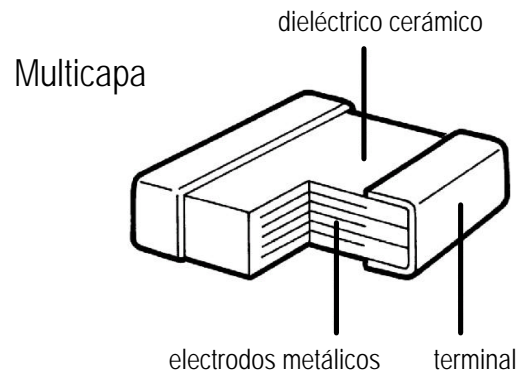
Clase 1 - (estables)

- $\epsilon < 500$ (mezcla de óxidos metálicos y titanatos)
- coeficiente de temperatura lineal
- coeficiente de tensión nulo
- bajas pérdidas hasta frecuencias en el rango de UHF
- alta resistencia de aislamiento
- Aplicación: circuitos osciladores, filtros sintonizados, ...

Clase 2 - (inestables)

- $1000 < \epsilon < 10000$ (titanatos y circonatos)
- coeficientes de temperatura y de tensión no lineales
- mayores pérdidas y menor resistencia de aislamiento que los de Clase 1
- su capacidad disminuye con el tiempo (envejecimiento)
- valores altos de capacidad por unidad de volumen
- Aplicación: acoplo y desacoplo, filtros, ...

Construcción



Condensadores de película

Clasificación

Dependiendo de la composición química del dieléctrico cerámico se distinguen dos tipos:

PARÁMETRO	DIELÉCTRICO						UNIDADES
	P	KT	KC	KPS	KS	KP	
ϵ (1kHz)	3.0	3.3	2.8	3.0	2.4	2.2	
$\tan\delta$ ($\times 10^{-4}$)							
a 1kHz	50	50	12	3	2	1	
a 1MHz	300	200	110	18	4	4	
ρ	10^{16}	10^{17}	10^{17}	10^{17}	10^{18}	10^{18}	$\Omega \cdot \text{cm}$
rigidez dieléctrica	100	400	300	250	500	600	V/ μm
$T_{\text{máx}}$	100	125	125	150	85	100	$^{\circ}\text{C}$
densidad de potencia	67	50	21	2.5	0.67	0.6	W/cm ³

P (papel) - supresión de interferencias en equipos de potencia

KT (poliéster) - propósito general en baja tensión y baja frecuencia. Alta capacidad.

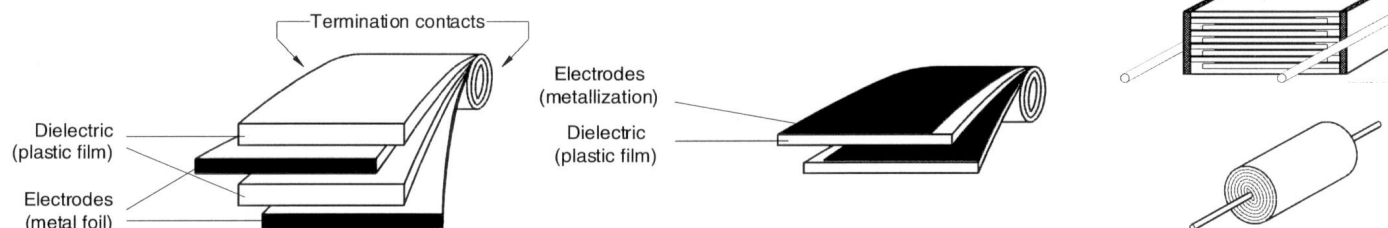
KC (policarbonato) - propósito general en baja tensión y baja frecuencia. Estable con la temp.

KPS (sulfuro de polifenileno) - Alta estabilidad, alta temperatura.

KS (poliestireno) - aplicaciones de alta frecuencia y alta tensión

KP (polipropileno) - similar al poliestireno (soporta mayor temperatura)

Construcción



Condensadores electrolíticos

Clasificación

Dependiendo del dieléctrico se pueden dividir en:

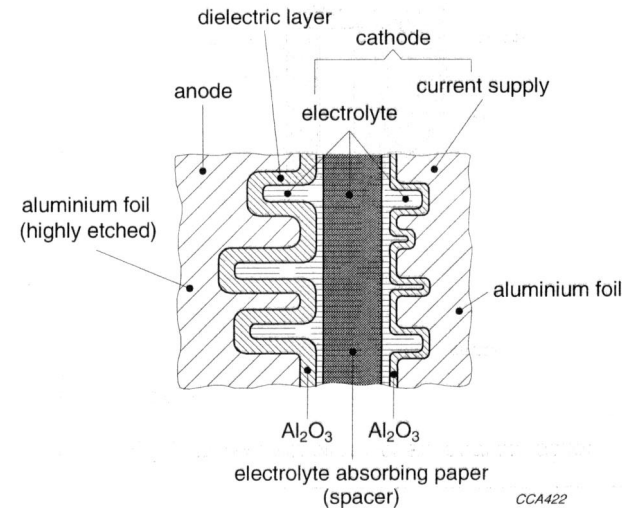
ELECTROLÍTICOS DE ALUMINIO (Al_2O_3)

ELECTROLÍTICOS DE TÁNTALO (Ta_2O_5)

Dependiendo del tipo de electrolito:

SECOS

HÚMEDOS



Principales características

- Componentes polarizados (existe especificación de máxima tensión inversa: $V_R < 1.5V$)
- Valores de capacidad muy elevados (hasta 1F)
- Tolerancias, corriente de fugas y pérdidas elevadas
- Altos coeficientes de temperatura (no lineales)
- Soportan elevadas corrientes de rizado

