

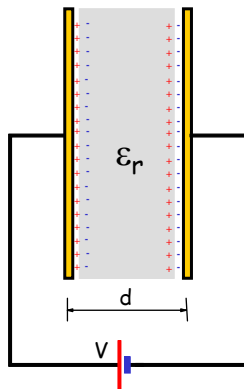


25. Condensadores



Existen diferentes tipos de condensadores para cubrir la multiplicidad de aplicaciones en que se usan.

Todos se basan, sin embargo, en estructuras similares basadas en dos placas conductoras separadas por un material dieléctrico.



$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\epsilon_r (\text{agua}) = 81 \quad \epsilon_r (\text{aceite}) = 5$$

Comportamiento eléctrico

$$q = C \cdot V \Rightarrow dq = C \cdot dV \Rightarrow \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

$$i = C \cdot \frac{dV}{dt}$$



25. Condensadores



Características de un condensador

- Valor capacitivo (F)
- Tolerancia
- Tensión nominal
- Intervalo de temperaturas
- Coeficiente de pérdidas
- Forma constructiva



Valor capacitivo

Cada tipo de condensador se fabrica dentro de un intervalo determinado de capacidades.

Valores normalizados según las series aplicables a las resistencias.

Tolerancia de la capacidad

Son valores típicos: $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, etc.



25. Condensadores



Tensión nominal (U_N)

Máxima tensión de trabajo del condensador.

Riesgo de explosión en caso de no respetarla

Se distinguen dos valores:

Tensión límite permanente (U_g)

Máxima tensión continua que puede soportar en rég. pte.

Tensión de pico (U_p)

Máxima tensión instantánea que puede tolerar.

Depende de la rigidez eléctrica (V/m) del dieléctrico.

Intervalo de temperaturas

Rango de temperaturas de trabajo en el que se garantizan las propiedades indicadas por el fabricante.

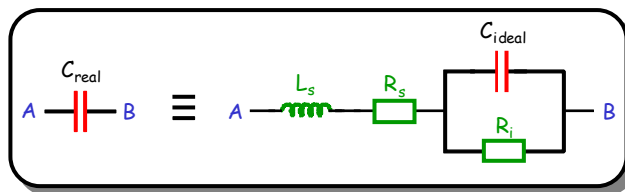


25. Condensadores



Coefficiente de pérdidas

Se define la $\text{tg } \delta$ a partir del circuito equivalente del condensador.



L_s y R_s se deben principalmente a los contactos.

R_i es consecuencia del dieléctrico

El coeficiente de pérdidas es la relación entre la potencia activa y la potencia reactiva en el circuito equivalente con excitación senoidal.

Despreciando la influencia de L_s .

$$\text{tg } \delta = \frac{P}{Q} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot R_i} + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot R_s$$

Trabajando a baja frecuencia, el efecto predominante es el de R_i , mientras que a frecuencias elevadas es R_s la que domina.

$\text{tg } \delta = f(C, f, \text{Temp.})$



25. Condensadores



Forma constructiva

Fabricar condensadores que permitan obtener valores de capacidad lo más elevados posible.

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

Aumentando ϵ_r .

Depende exclusivamente del dieléctrico.

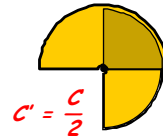
Disminuyendo d .

Limitado por el proceso de fabricación.

Aumentando S .

Maximizar S sin penalizar mucho el volumen.

Condensadores variables.



Tendencia a ser sustituidos por diodos VARICAP.

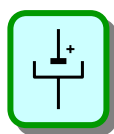


25. Condensadores

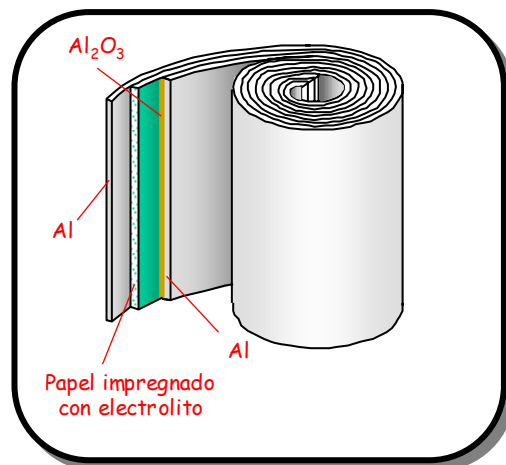
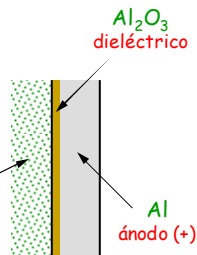


Condensadores electrolíticos de aluminio

Una de las armaduras está constituida por un líquido conductor o electrolito. La otra armadura es una lámina de aluminio sobre cuya superficie se crea una capa de Al_2O_3 que constituye el dieléctrico.



Electrolito
cátodo (-)





25. Condensadores



Los condensadores electrolíticos son los que presentan la mayor relación capacidad/volumen. Varios factores contribuyen a ello:

La permitividad relativa del Al_2O_3 es $\epsilon_r = 10$.

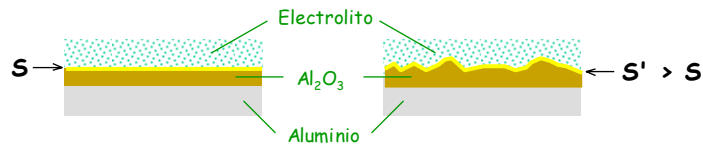
En los dieléctricos de papel, por ejemplo, se tiene $\epsilon_r = 5$.

El Al_2O_3 tiene una alta rigidez eléctrica ($\approx 800 \cdot 10^6$ V/m).

Permite usar espesores más finos para soportar la misma tensión.
($1,2\text{nm/V}$ con Al_2O_3 y $>6\mu\text{m/V}$ con papel)

El electrolito se adapta a la rugosidad de la superficie del dieléctrico.

De este modo, la superficie efectiva es mayor (aumenta C).



25. Condensadores



Características de condensadores electrolítico de aluminio

• **POLARIDAD**

La lámina de aluminio con la capa de óxido debe conectarse al polo positivo y la otra, al negativo.

Si se invierte la polaridad, se produce un proceso electrolítico que da lugar a un calentamiento y a un desprendimiento de gases que pueden destruir el condensador.

• **TENSIÓN NOMINAL (U_N)**

Tensión continua para la que se ha construido el condensador.

Valores normalizados:

6,3 - 10 - 16 - 25 - 40 - 63 - 100 - 160 - 250 - 350 - 385 - 450.

• **TENSIÓN DE PICO (U_p)**

Máxima tensión que puede soportar puntualmente.

Según IEC 3844:

$U_p = 1,15 \cdot U_N$ si $U_N \leq 315\text{V}$ y $U_p = 1,10 \cdot U_N$ si $U_N > 315\text{V}$

*Durante 1 minuto
(5 veces por hora
como máximo)*



25. Condensadores



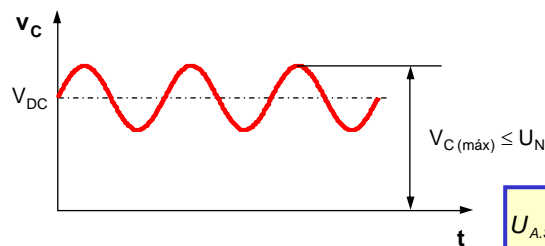
Características de condensadores electrolítico de aluminio (cont.)

• TENSIÓN ALTERNA SUPERPUESTA

Valor eficaz de la tensión alterna adicional a la componente continua con la que se puede cargar el condensador.

El valor de cresta de la tensión resultante no debe superar el valor de la tensión nominal.

No debe aparecer ninguna polaridad inversa de más de 2V.



$$U_{A.S.} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int (v_C(t) - V_{DC})^2 dt}$$



25. Condensadores



Características de condensadores electrolítico de aluminio (cont.)

• INTENSIDAD ALTERNA SUPERPUESTA

Valor eficaz de la corriente alterna con la que se puede cargar el condensador.

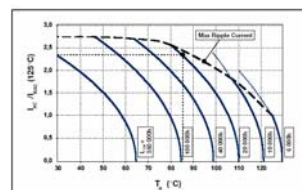
$$I_{A.S.} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int i_C^2(t) dt}$$

Este valor depende de varios parámetros: $\tan \delta$, frecuencia, temperatura, superficie de refrigeración, ...

Determina el tiempo de vida del condensador.

La vida del condensador depende mucho de la temperatura a que está sometido, y ésta depende a su vez de la potencia que disipa, cuyo valor es $.ESR \cdot I_{A.S.}^2$.

El fabricante suministra gráficas que dan idea del tiempo de vida de un condensador.





25. Condensadores

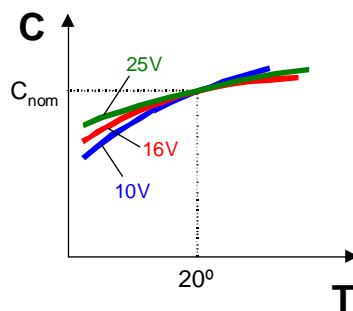


Características de condensadores electrolítico de aluminio (cont.)

• VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD CON LA TEMPERATURA

La capacidad de un condensador electrolítico de aluminio aumenta ligeramente al subir la temperatura.

En principio, cuanto menor es la tensión nominal del condensador, mayor pendiente presentan las curvas.



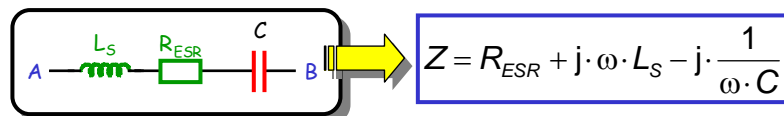
25. Condensadores



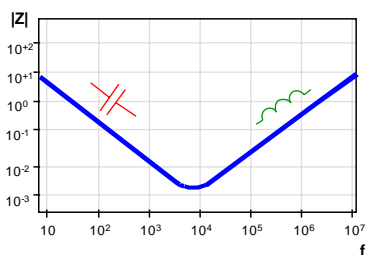
Características de condensadores electrolítico de aluminio (cont.)

• IMPEDANCIA

Se considera el siguiente circuito equivalente:



Se distinguen tres zonas de comportamiento:



- * A bajas frecuencias el comportamiento es esencialmente capacitivo.
- * A altas frecuencias, el comportamiento inductivo es el que predomina.
- * A frecuencias próximas a la frecuencia de resonancia, la impedancia es R_{ESR} .



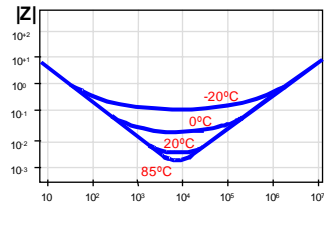
25. Condensadores



Características de condensadores electrolítico de aluminio (cont.)

Las curvas de impedancia presentan su mínimo tanto más bajo cuanto mayor sea la temperatura.

Debido a que la resistencia del electrolito disminuye al subir la temperatura.



Estas curvas se obtienen usando equipos de medida denominados **analizadores de impedancia**.



25. Condensadores

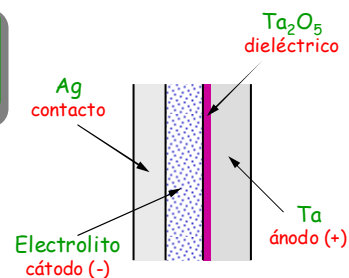
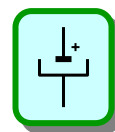


Condensadores electrolíticos de tántalo

Estructura similar a la de los condensadores electrolíticos de aluminio.

Usan tántalo para el ánodo en lugar de aluminio.

- **Armadura ánodo**
Lámina de tántalo.
- **Dieléctrico**
 Ta_2O_5 generado por oxidación.
- **Armadura cátodo**
Electrolito (sólido, como MnO_2 , o líquido en forma de ácido muy conductor).
- **Contacto con el cátodo**
En general, Ag.





25. Condensadores



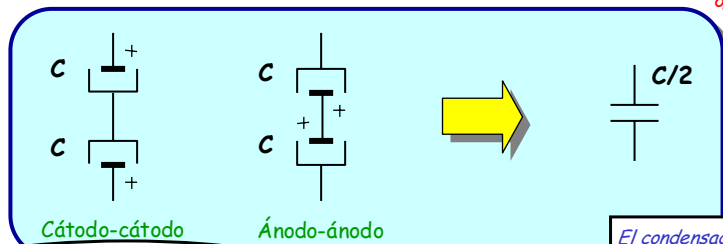
Características de condensadores electrolítico de tántalo

• **POLARIDAD**

La lámina de aluminio con la capa de óxido debe conectarse al polo positivo y la otra, al negativo.

Los condensadores de electrolito sólido pueden soportar cierta tensión inversa indicada por el fabricante.

Admiten conexión *back to back*.



Condensadores del mismo valor y de la misma tensión inversa.

No aplicable a condensadores de tántalo de electrolito líquido

El condensador resultante carece de polaridad

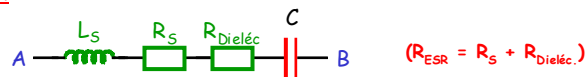


25. Condensadores



Características de condensadores electrolítico de tántalo (cont.)

• **IMPEDANCIA**

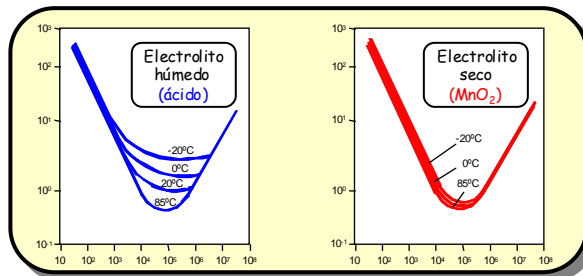


Emplean electrolitos de alta conductividad.

Presentan baja resistencia serie.

Los electrolitos secos presentan mejor comportamiento.

El MnO_2 tiene una conductividad muy alta y poca dependencia de la temperatura.



Los condensadores electrolíticos de tántalo sólido son los condensadores electrolíticos de menor resistencia serie.

Además, su curva de impedancia no se ve muy modificada ante cambios de temperatura.

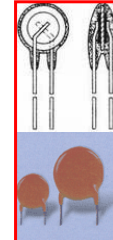


25. Condensadores



Condensadores cerámicos

Materiales cerámicos con elevada constante dieléctrica.



Hay dos tipos de materiales cerámicos:

Cerámica NDK (Clase 1)

$$\epsilon_r = 13 \div 470$$

$$\Delta C = \alpha_c \cdot \Delta T \quad (\alpha_c = \text{cte})$$

$$\text{tg } \delta = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

Cerámica HDK (Clase 2)

$$\epsilon_r = 700 \div 50.000$$

$$\text{tg } \delta = (5,0 \div 7,5) \cdot 10^{-3}$$

Dependencia no lineal de la capacidad con la temperatura



Los materiales cerámicos de Clase 1 presentan menos pérdidas.

Al tener mayor ϵ_r , los materiales cerámicos de Clase 2 permiten obtener la misma capacidad en menos volumen.



25. Condensadores



Características de condensadores cerámicos

Los valores más relevantes son α_c y $\text{tg } \delta$.

➤ Cerámica NDK (Clase 1)

Condensadores COG (NPO)

$$\alpha_c = (0 \pm 30) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad (-55^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C})$$

Muy estables y con pocas pérdidas.

➤ Cerámica HDK (Clase 2)

Condensadores X7R

$$\Delta C = 15\% \text{ en el rango } -55^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C}.$$

Envejecimiento: disminución del 2% por década temporal.

$$\text{tg } \delta < 25 \cdot 10^{-3}$$

Alta densidad de encapsulado.

Condensadores Z5U

$$\Delta C = 22\% \div 56\% \text{ en el rango } 10^\circ\text{C} \div 85^\circ\text{C}.$$

Envejecimiento: disminución del 5% por década temporal.

$$\text{tg } \delta < 30 \cdot 10^{-3}$$

Máxima densidad de encapsulado.

Se usan en circuitos en los que no se imponen especificaciones exigentes a la estabilidad y a las pérdidas (acoplamiento y filtrado, por ejemplo)

Variación despreciable de C con la tensión y la frecuencia. Para circuitos donde se requiere pérdidas mínimas y estabilidad.



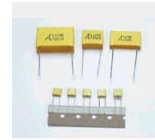
25. Condensadores



Condensadores de plástico metalizado

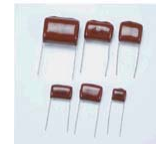
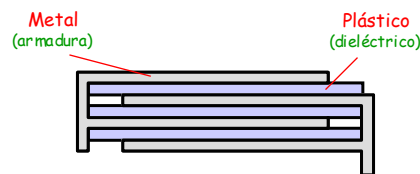
Hay varios tipos. Se designan como sigue:

MKT	⇒	Tereftalato de polietileno
MKP	⇒	Polipropileno
MKC	⇒	Policarbonato
MK	⇒	Acetato de celulosa (laca)



Formados por capas de plástico sobre las que se depositan, por evaporación al vacío, capas metálicas que sirven de armadura.

Capas metálicas muy finas ($0,02$ a $0,05\mu\text{m}$) comparadas con el espesor del dieléctrico ($3\mu\text{m}$ para 100V , $8\mu\text{m}$ para 400V , ...).



25. Condensadores



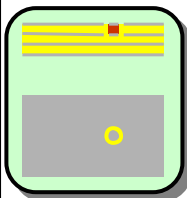
Características de condensadores de plástico metalizado

• FACULTAD AUTORREGENERATIVA

Si se perfora el dieléctrico en un punto con elevado gradiente de potencial, aparece un arco eléctrico que genera una energía térmica capaz de vaporizar el metal existente en torno al arco. De esta forma, además de extinguir el arco, se aísla el punto deteriorado del dieléctrico (y el condensador sigue operativo).

La superficie metálica implicada en el proceso de autorregeneración es tan pequeña que la variación de capacidad es prácticamente despreciable.

Sólo una pequeña fracción de la energía almacenada en el condensador es disipada durante este proceso, que dura únicamente unos $10\mu\text{s}$



La facultad autorregenerativa (self-healing) es exclusiva de los condensadores de plástico metalizado.

Hay condensadores de plástico (film/foil capacitors) cuyas armaduras son láminas de aluminio de unas $6\mu\text{m}$, demasiado gruesas para ser vaporizadas puntualmente ante un arco.



25. Condensadores

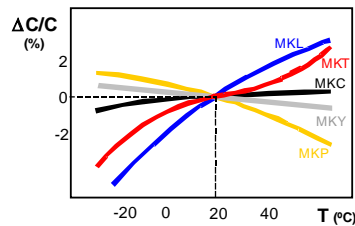


Características de condensadores de plástico metalizado (cont.)

• VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD CON LA TEMPERATURA

Esta variación no es lineal, aunque entre 20°C y 70°C se puede considerar que sí lo es.

En cualquier caso, la variación de la capacidad con la temperatura depende mucho del tipo de dieléctrico empleado.



• IMPEDANCIA

Determinada a partir del circuito equivalente genérico.

L_s es bastante pequeña debido a cómo se hacen los contactos.



25. Condensadores



Condensadores de bajas pérdidas

Condensadores de plástico (no metalizado) con poliestireno como dieléctrico y Al o Sn como armadura. Serie KS.



En Europa se conocen como condensadores *styroflex*.

Tratamiento térmico durante fabricación que hace encoger la lámina de plástico.

Esto les confiere estanqueidad \Rightarrow protección frente a humedad.

Tienen un coeficiente de temperatura constante y negativo.

Aplicación típica en circuitos oscilantes junto con bobinas de ferrita (que tienen un coeficiente de temperatura negativo) para conseguir una frecuencia de resonancia prácticamente constante.



$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Circuito equivalente: } L \text{ y } C \\
 f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \\
 \Delta C = -\alpha_1 \cdot \Delta T \quad ; \quad \Delta L = +\alpha_2 \cdot \Delta T
 \end{array} \right\} \Rightarrow f_R \approx \text{cte}$$



25. Condensadores



Selección de condensadores

La elección del tipo de condensador depende de la aplicación.

Condensadores electrolíticos

Sólo soportan tensión continua.

Debido a su polaridad.



Valores de $<1\mu\text{F}$ hasta $>1\text{F}$ con tensiones de hasta 450 ó 600V (aluminio). Los de tántalo ofrecen cientos de μF hasta 100V y varios miles de μF con bajas tensiones (6 - 10V).

Se usan en circuitos en los que se necesita un valor de capacidad elevado y que trabajan a baja frecuencia ($f < 100\text{Hz}$).

Son los que presentan la mayor relación capacidad/volumen, pero presentan una elevada resistencia serie.



Los de tántalo son mejores que los de aluminio, pero tienen valores más bajos y suelen cortocircuitarse en caso de fallo.



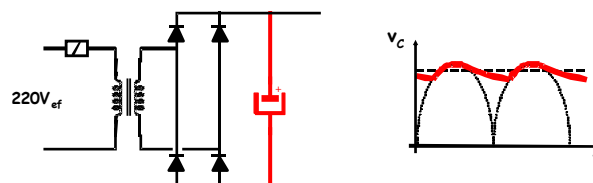
25. Condensadores



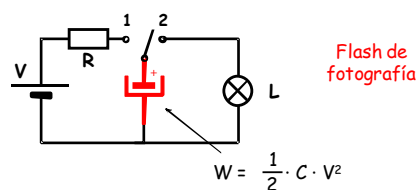
Condensadores electrolíticos (cont.)

Aplicaciones típicas.

➤ Filtros de baja frecuencia.



➤ Circuitos de almacenamiento de energía.





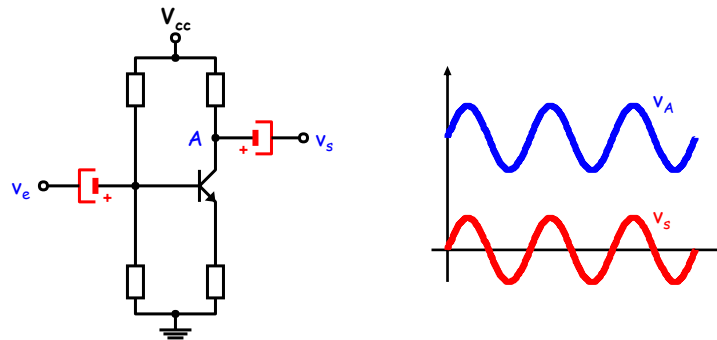
25. Condensadores



Condensadores electrolíticos (cont.)

Aplicaciones típicas (cont.).

- Acoplamiento de señales.



- Otros circuitos de medida y regulación.

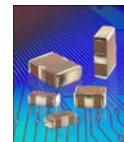


25. Condensadores



Condensadores cerámicos

Son buenos aislantes térmicos y eléctricos.



Se usan en circuitos en los que se necesita alta estabilidad y bajas pérdidas en alta frecuencia.



- Circuitos osciladores. *Por su estabilidad con la temperatura.*
- Filtros pasivos y activos de frecuencias medias y altas.

Aprovechando su baja ESR y buena respuesta en frecuencia.

Bajos valores de capacidad.

De 1pF a 1nF en Clase 1 y de 1pF a 470nF en Clase 2 con tensiones comprendidas entre 3V y 10kV.

Se pueden conseguir valores más elevadas acudiendo a condensadores cerámicos multicapa (MLCC).



25. Condensadores



Condensadores de plástico metalizado

Los **MKT** no destacan en nada, pero son suficientemente buenos en muchas cosas (bajo coste, pequeño tamaño, ...) como para que constituyan una buena elección en aplicaciones no críticas.



Los valores de los condensadores MKT van desde los 10nF hasta valores superiores a los 10 μ F.



Preferiblemente usados en aplicaciones de CC o de CA con poca corriente y frecuencia relativamente baja.

Debido a su elevado factor de disipación.



Se puede decir que, en general, se usarán los condensadores MKT en aquellas aplicaciones en las que se necesiten valores más elevados que los que ofrecen los condensadores cerámicos de Clase 1 pero con mejores propiedades que los condensadores cerámicos de Clase 2.



25. Condensadores

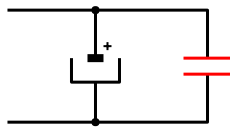


Condensadores de plástico metalizado (cont.)

Los **MKP** tienen un factor de disipación bajo en todo el rango de temperatura y en un elevado rango de frecuencias.

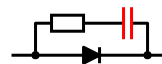
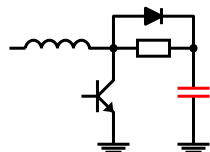
Esto les hace muy utilizados en aplicaciones de alta frecuencia y alta corriente (como fuentes conmutadas, por ejemplo).

➤ Filtrado a alta frecuencia.



Suele colocarse en paralelo con un condensador electrolítico para que éste filtre la componente de baja frecuencia.

➤ Redes de protección de semiconductores.



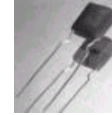


25. Condensadores



Condensadores de plástico metalizado (cont.)

Los condensadores MKP también suelen utilizarse en integradores y en circuitos de captura y retención (*sample and hold*).



Los valores de los condensadores MKP cubren el rango que va desde los 100pF a los 10 μ F aproximadamente.

En general, los MKP tienen mejores características que los MKT salvo en lo que se refiere a la deriva térmica y a la resistencia al calor.




Los MKP aguantan hasta 105°C, mientras que los MKT llegan a alcanzar los 125°C.



25. Condensadores



Resumen (I)



Clase y tg δ	Capacidad	U_N (V)	Aplicación
<u>Electrolíticos de Al</u> $tg \delta = (60 \div 150) \cdot 10^{-3}$ @ $f=100\text{Hz}$	470nF \div 390mF 	6,3 \div 100 160 \div 450	Filtro, acoplamiento, bloqueo, aplanamiento de ondulaciones, almacenamiento de energía.
<u>Electrolíticos de Ta</u> $tg \delta < (50 \div 80) \cdot 10^{-3}$ @ $f=120\text{Hz}$	100nF \div 1,2mF 	4 \div 125	Comunicaciones, medida y regulación. Aplanamiento y acoplamiento. Condensador en pastilla para circuitos híbridos.
<u>Cerámicos Clase 1</u> $tg \delta < 1,5 \cdot 10^{-3}$ @ $C > 50\text{pF}$	1pF \div 47nF 	50 \div 100	Oscilador estabilizado en frecuencia para compensación de temperatura. Filtro, alta tensión, impulsos, pastilla.



25. Condensadores



Resumen (II)



Clase y tg δ	Capacidad	U_N (V)	Aplicación
<p>Cerámicos Clase 2</p> <p>tg $\delta = (25\div 30)\cdot 10^{-3}$</p>	<p>220pF \div 2,2μF</p> 	50 \div 100	Filtrado, acoplamiento; condensador de alta tensión, impulsos, en pastilla.
<p>MKL</p> <p>tg $\delta = (12\div 15)\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	33nF \div 100 μ F	25 \div 630	Para corriente continua y para aplicaciones de alterna superpuesta. Aplanamiento, desacoplo y acoplamiento. Muchas formas constructivas. 
<p>MKT</p> <p>tg $\delta = (5\div 7)\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	680pF \div 10 μ F	63 \div 12,5k	
<p>MKC</p> <p>tg $\delta = (1\div 3)\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	1nF \div 1 μ F	100 \div 250	



25. Condensadores

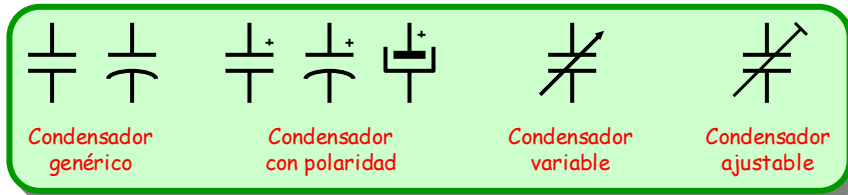


Resumen (y III)

Clase y tg δ	Capacidad	U_N (V)	Aplicación
<p>MKP</p> <p>tg $\delta = 0,25\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	1,5nF \div 4,7 μ F	250 \div 40k	Etapas de deflexión en televisores, fuentes conmutadas. 
<p>MKY</p> <p>tg $\delta = 0,5\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	100nF \div 10 μ F	250	
<p>KS (styroflex) y KP</p> <p>tg $\delta = (0,1\div 0,5)\cdot 10^{-3}$ @ f=1kHz</p>	<p>2pF \div 100nF</p> 	63 \div 630	Condensadores para circuitos oscilantes en circuitos de sintonía de frecuencias, acoplo y desacoplo de alto aislamiento, técnica de miniaturización. Condensadores de bloqueo.



Simbología normalizada



Lectura del valor de un condensador

Los electrolíticos tienen escrito su valor claramente.

Cuando el tamaño es menor, se recurre a una notación de tres dígitos (dos cifras significativas y un multiplicador).

Las unidades son pF o μ F.

El sentido común indicará si son pF o μ F (según tamaño)

Las letras que acompañan a este valor indican la tolerancia.

¡¡OJO!! **K** indica $\pm 10\%$ (no 10^3) y **M** indica $\pm 20\%$ (no 10^6).