

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL MENDOZA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

CÁTEDRA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

CAPACITORES PARTE II

PROFESOR TITULAR:

ING. ADOLFO F. GONZÁLEZ

PROFESOR ADJUNTO:

ING. RICARDO M. CESARI

AYUDANTE TRABAJOS PRÁCTICOS:

ING. RUBÉN O. VICIOLI

2004

ÍNDICE

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS	4
Polarización de los capacitores	5
Capacitores polarizados:	5
Capacitores semi polarizados:	5
Capacitores No polarizados:	5
Electrolitos secos y húmedos	5
Tensión Nominal	7
Riple	8
Corriente nominal	8
Corriente de pérdida o fuga	9
Efecto Térmico	9
Pérdidas	10
Condiciones de prueba	10
CAPACITORES ELECTROLÍTICOS DE ALUMINIO	11
Calificación de los capacitores de Al	13
Algunas consideraciones publicadas por FAPESA sobre los capacitores de Al	15
Elección de un capacitor electrolítico de Al	17
Síntesis de la serie 122 de Philips	18
Condiciones de prueba:	19
Mediciones:	19
Corrientes de Fuga:	24
CAPACITORES ELECTROLÍTICOS DE TANTALIO	26
Capacitores de Tantalio de láminas	26
Capacitores de tantalio húmedos de ánodo sinterizado	30
Capacitores de tantalio sólido de ánodo sinterizado	34
Transitorios de alta corriente en sólidos de tantalio:	38
Aplicaciones de sólidos de Tantalio espalda a espalda:	38
Código de colores para capacitores de Tantalio	39
Código de colores para capacitores miniatura de tantalio:	40
CONSIDERACIONES DE POTENCIA EN ALTERNA PARA LA SELECCIÓN DE CAPACITORES	40
CONSIDERACIONES DE FRECUENCIA Y TEMPERATURA EN LA ELECCIÓN DE CAPACITORES	43
CAPACITORES FIJOS DE PRECISIÓN	45
Capacitores de aire	45
Capacitores de vacío y de Gas	45
CAPACITORES ESPECIALES	45
CAPACITORES INTEGRADOS	45
CAPACITORES AJUSTABLES: LOS TRIMMER	46
De aire	46
Trimmer cerámicos	47
Trimmer de vidrio	47
Trimmer de plástico	47

Trimmer de mica _____	47
COMPONENTES ACTIVOS QUE TIENEN CAPACIDAD _____	48
Diodos _____	48
Diodo Gunn _____	48
Diodo Pin _____	48
Diodo sintonizador varactor _____	49
Diodo de capacidad variable (Varicap) _____	49
EFFECTO DE LA RADIACIÓN EN CAPACITORES _____	50

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS

Muchos filtros de baja frecuencia, temporizadores de tiempos grandes, acoplamiento y desacoplamiento, de by pass (circuitos auto polarizados) requieren de grandes capacidades y pequeño volumen.

El capacitor electrolítico cumple con estos requisitos, por ser los capacitores de más alto rendimiento volumétrico, y de menor costo por microfaradio. Se puede agregar que en algunos casos especiales se reemplaza en forma directa a un capacitor de este tipo por uno del tipo electrostático.

En la actualidad, se están construyendo capacitores electrolíticos con vida útil de alrededor de 20 años.

Los capacitores electrolíticos se caracterizan por las diferentes construcciones.

El material dieléctrico de un capacitor electrolítico consiste en la formación de un óxido de material anódico (siendo el anodizado un proceso electrolítico), con lo cual es el electrodo positivo del capacitor.

Los metales más empleados son el Aluminio y el Tantalio pero, además, se está usando el Titanio, el Niobio, el Zirconio y otros que son anodizados para formar la película de dieléctrico de valores limitados. Un esquema simplificado se muestra en la figura siguiente:

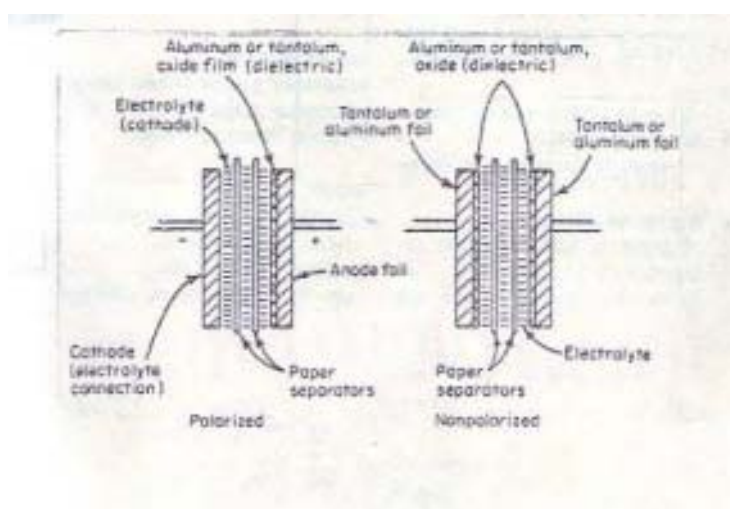


Figura 1

Cuando se usa el Aluminio, el dieléctrico es un óxido de combinación cristalina y amorfa (gamma) cuya fórmula básica es Al_2O_3 . Cuando se usa Tantalio, el óxido es Ta_2O_5 (pentóxido). En el siguiente dibujo se describe un capacitor electrolítico miniatura perteneciente a la serie C426 AR/ de FAPESA. Sus dimensiones son 6, 7 mm de diámetro y 18,5 mm de longitud.

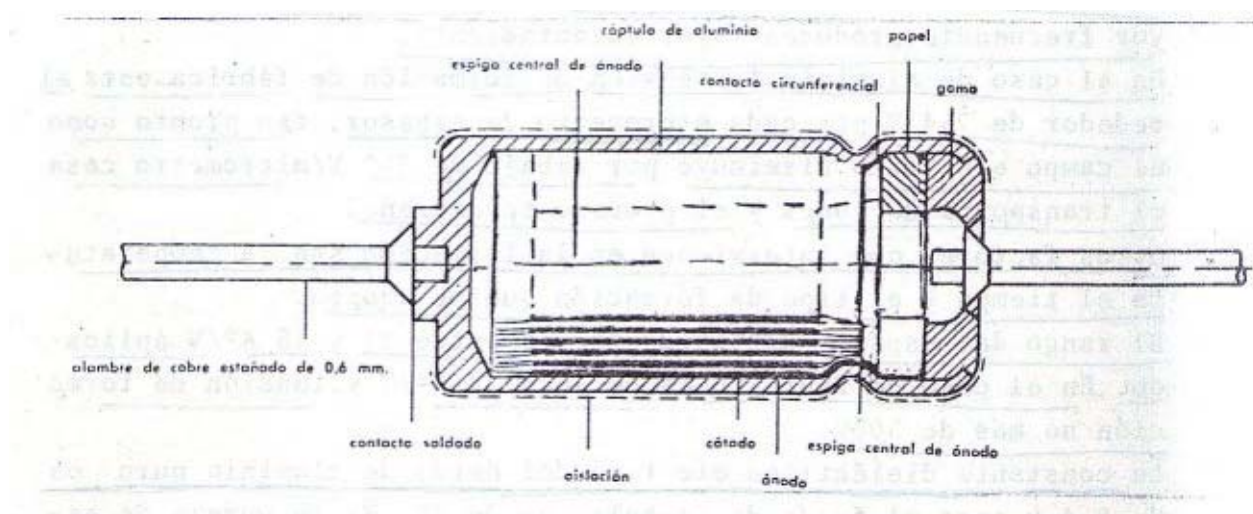


Figura 2

Estos óxidos pueden ser "formados" por la conexión del material de ánodo como electrodo positivo en una celda electrolítica que contenga una solución de fosfato o borato. El electrodo catódico, usado en el

proceso de formación, normalmente es cobre o níquel. Algunas fábricas utilizan de cátodo aluminio, estaño o acero inoxidable.

La tensión continua aplicada al sistema oxida al ánodo de aluminio o Tantalio, lo cual produce una "capa de bloqueo" con las características requeridas. Esa película de óxido es porosa.

La capacidad por unidad de superficie resultante depende del espesor de la película y es proporcional a la tensión aplicada para formarla.

En resumen: la corriente de polarización "directa" de una película de óxido es caracterizada por una alta resistencia de aislación y la corriente "inversa" de polarización se caracteriza por una baja resistencia de aislación (fenómeno equivalente e inverso a la de un diodo semiconductor).

La corriente "inversa" puede no dañar al capacitor, siempre y cuando no se produzcan excesos de calentamiento interno. Esto es probable que ocurra con ánodo sintetizado húmedo de Tantalio, que provoca una migración de moléculas desde el cátodo al ánodo. La corriente inversa de señales alternas. Las señales alternas de mayor frecuencia producen mayor calentamiento.

En el caso de aluminio, la tensión de formación de fábrica está alrededor de 754 V por cada micrómetro de espesor, tan pronto como el campo eléctrico disminuye por debajo de 700 V/ micrómetro, cesa el transporte de iones y el proceso se detiene.

Otros factores que intervienen en la formación son: la temperatura, el tiempo y el tipo de formación que se adopta.

El rango del espesor del óxido oscila entre 11 y 15 \AA / V aplicado. En el caso del Tantalio es de 16 y 20 \AA / V y tensión de formación no más de 500V.

La constante dieléctrica efectiva del óxido de aluminio puro es de 8,4 y para el óxido de Tantalio es de 28. Si la pureza de estos materiales es baja, la constante dieléctrica disminuye enormemente.

En el caso de FAPESA, el aluminio es de un grado de pureza de 99,998 %.

Polarización de los capacitores

Los capacitores electrolíticos de Al y Ta, en la actualidad, se fabrican polarizados, semi polarizados y no polarizados.

Capacitores polarizados:

Esta es la configuración más común y tiene una película de óxido formada solamente en una de las placas llamada ánodo o terminal positivo.

Si a este tipo de capacitor se lo trabaja en continua adecuadamente con alterna superpuesta, no sucede nada, siempre y cuando la tensión alterna en los picos negativos supere al valor de continua y lo deje polarizado en forma inversa de manera de poner a cátodo del capacitor positivo con respecto a ánodo. En estas condiciones se trata de formar también la placa de cátodo y como resultado disminuye el valor de la capacidad (como si se fabricara un nuevo capacitor en serie).

Por lo comentado, se deduce que las aplicaciones para este tipo de capacitor es en circuitos de continua (potencial unidireccional), con un máximo de ripple especificado.

Capacitores semi polarizados:

Este tipo es similar al anterior, excepto que en el cátodo se le ha formado una película delgada para minimizar el efecto de la tensión inversa.

Estos capacitores se usan en circuitos donde se especifica un potencial de continua que puede cambiar de polaridad por ciertos periodos de tiempo.

Capacitores No polarizados:

El diseño de este tipo tiene igual espesor de película de óxido en ánodo y cátodo, lo que lo hace útil en alterna. Pero teniendo en cuenta que la frecuencia sea baja ya que caso contrario hace aumentar la temperatura debido al factor de potencia y la corriente de fuga.

Aquí también el valor de alterna debe ser menor al de continua, con excepción de ciertos tipos de hoja de Tantalio.

Hay algunos no polarizados que son diseñados para minimizar el factor de potencia, mientras que otros son fabricados para minimizar la corriente fuga.

Electrolitos secos y húmedos

Los capacitores electrolíticos se producen en dos estilos básicos.

El ánodo sinterizado o estilo esferoide con electrolito húmedo o seco se usa exclusivamente en los Tantalio.

El estilo lámina también incluye a los de Aluminio con electrolito húmedo, seco o en pasta.

Los de lámina tienen mayores características de capacidad, temperatura, pero tienen una significativa disminución del rendimiento volumétrico.

Los de Tantalio esferoide y los de Aluminio de láminas húmedos son fabricados con alta capacidad por unidad de volumen y se caracterizan por su baja resistencia equivalente serie (ESR). El encapsulado de este tipo termina en un extremo con un elastómero, a efectos de protegerlos del sobrecalentamiento que desprende gases y ejerce presión interna.

Los capacitores electrolíticos secos se caracterizan por una elevada resistencia equivalente serie (ESR) pero admiten ser sellados herméticamente y su aplicación es óptima para equipos militares, donde el peligro de fuga del electrolito no puede ser tolerado. Además, tienen mayor período de vida que los húmedos. El circuito equivalente de un capacitor con electrolito húmedo es el siguiente de la serie FAPESA.

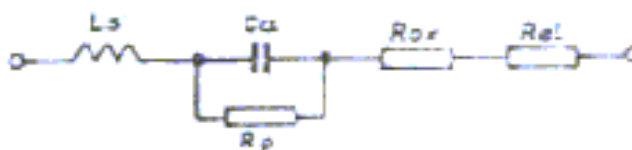


Figura 3

Ca: es la capacidad del ánodo.

Rp: es la resistencia de aislación.

Rox: es la resistencia serie de la capa de óxido.

Rel: es la resistencia serie del electrolito y papel.

Ls: es la inductancia serie total.

Llamaremos además Rs a la resistencia serie total. O sea, $R_{ox} + R_{el}$.

Para el usuario son de fundamental importancia las siguientes propiedades:

1. La capacidad Ca (medida a 50Hz).
2. El factor de pérdidas ($\tan \delta = 2 \pi \cdot f \cdot R_s \cdot C_a$ para 50 Hz).
3. La impedancia Z.

El significado de las propiedades 1 y 2 es obvio. En el caso de capacitores utilizados para el filtrado de fuentes de alimentación con corrientes de "ripple" de baja frecuencia, la capacidad, las pérdidas son parámetros muy importantes.

Sin embargo, en la actualidad se utilizan, además, los capacitores electrolíticos para desacoplamiento en un rango de frecuencias. En estos casos es la impedancia, más que la capacidad, la que decide un buen o mal comportamiento del capacitor. Debe recordarse que la impedancia varía con la frecuencia. Para el circuito serie indicado, la impedancia z está dada por:

$$Z = \sqrt{R_s^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L \right)^2}$$

Esta expresión puede simplificarse para algunas frecuencias determinadas, en efecto:

Para 50 Hz;	$Z \cong 1 / \omega C$
Para 100 KHz;	$Z \cong R_{el}$
Para 10 MHz;	$Z \cong L_s$

Esto demuestra que un rango de frecuencias de importancia práctica, la impedancia, presenta un valor mínimo que está principalmente determinado por la resistencia serie del electrolito líquido (Rel).

En la figura siguiente se muestran curvas típicas de impedancia en función de la frecuencia para capacitores de distintas dimensiones, por ejemplo la curva 4 corresponde a un capacitor de 12,5 mm de diámetro por 30 mm de longitud.

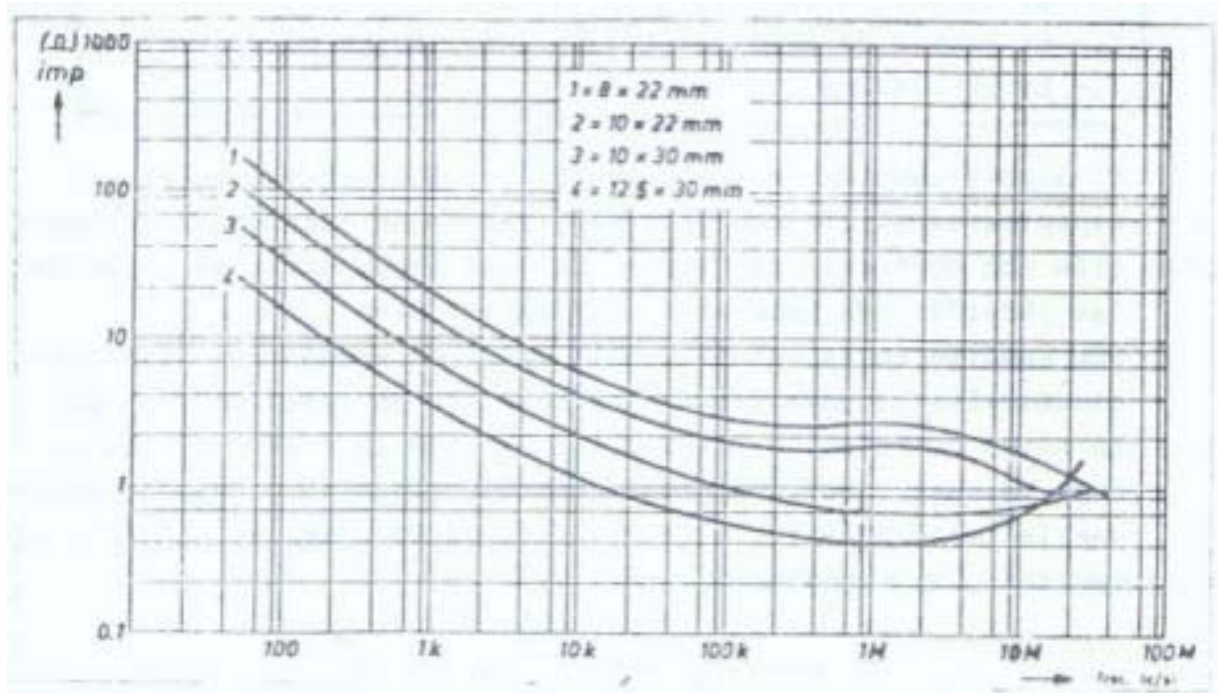


Figura 4

Una consideración práctica para obtener un capacitor electrolítico no polarizado es colocar dos capacitores electrolíticos polarizados en serie y espalda a espalda (back to back) con valor doble de capacidad al deseado.

$$C_{eq} = \frac{C}{2}$$

Este nuevo capacitor varía su valor con la tensión aplicada. Lo aconsejable son los de tantalio para minimizar la corriente de fuga.

Tensión Nominal

El espesor de la lámina de óxido determina la máxima sobre tensión y la tensión continua nominal que puede aplicarse.

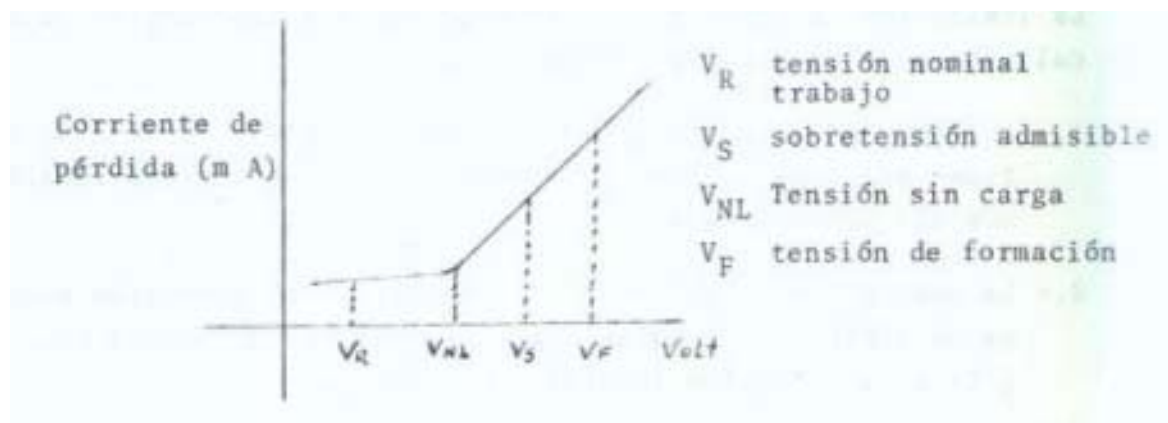


Figura 5

Cada capacitor tiene una sobre tensión nominal que es mayor que la tensión de continua nominal. Esta sobre tensión es la máxima tensión que puede soportar el capacitor bajo cualquier condición, la cual no debe ser aplicada en forma continua. Esto incluye los territorios y los picos de riple. Es la tensión que se puede aplicar al capacitor, en serie con un resistor especificado para limitar la corriente durante un máximo de 30 segundos u otro tiempo especificado antes de aplicar de nuevo esta sobre tensión.

Una tensión excesiva o combinación de tensión y sobrecalentamiento puede provocar la ruptura de la capa de óxido. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, al aplicarle una nueva tensión, el electrolito formará una nueva capa de óxido sobre los electrodos haciendo que la película se regenere.

Esto, en muchos casos, es indeseable dado lo difícil que resulta en este caso encontrar esta falla intermitente.

Riple

Los factores que afectan al riple que puede superponerse a la tensión continua son los niveles de tensión, de corriente, de frecuencia y de temperatura.

La limitación de tensión especificada por los fabricantes puede calcularse de la siguiente forma:

1. La suma de la tensión pico alterna de riple y la tensión continua aplicada no debe exceder el límite de tensión continua nominal especificada.
2. La suma del pico del hemiciclo negativo de la tensión alterna de riple y la tensión continua aplicada no deberá exceder a la máxima tensión inversa especificada.
3. El valor eficaz a 120 Hz de la tensión suma de los ítem 1 y 2 debe ser igual o menor que el valor eficaz obtenido de multiplicar la máxima corriente de riple especificada por la resistencia equivalente serie especificada.

La máxima corriente de riple está limitada por la capacidad del condensador de disipar el calor generado debido a la corriente de pérdida de continua y al valor eficaz de corriente alterna.

La corriente de riple es especificada por la mayoría de los fabricantes a 120Hz y al máximo de temperatura de trabajo y de allí hacer las consideraciones para cada caso en particular.

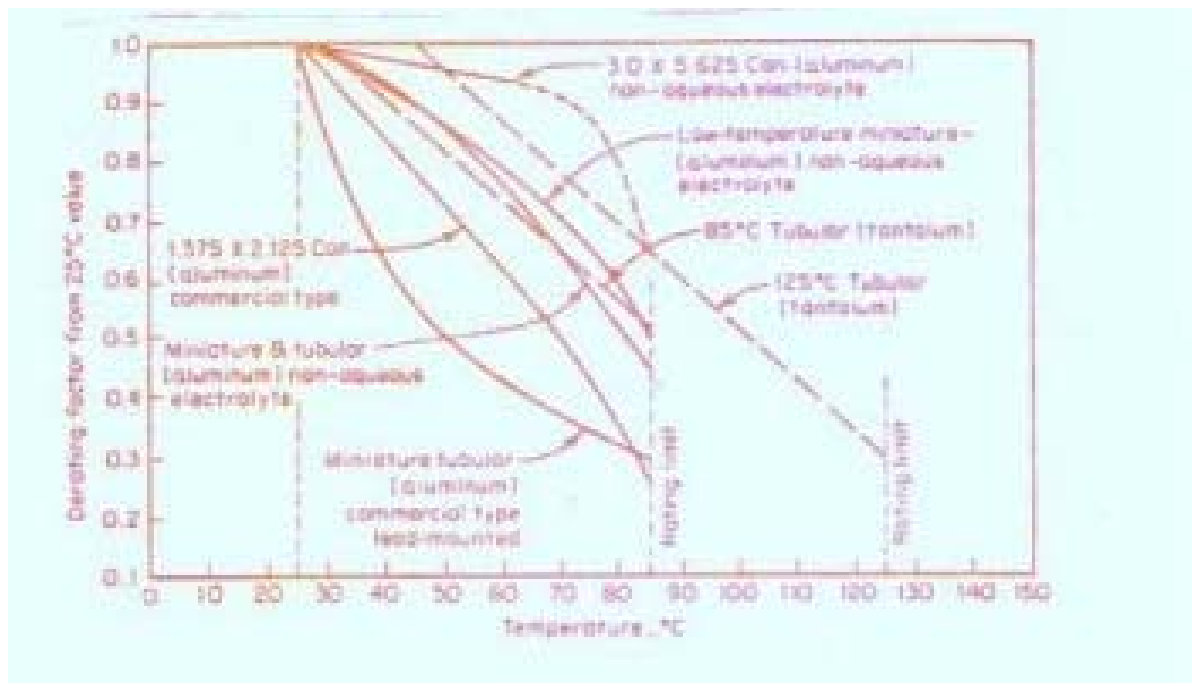


Figura 6

Corriente nominal

Los capacitores electrolíticos, además de la corriente nominal de riple, tienen un máximo admisible de carga y descarga de corriente nominal. Excesiva corriente puede causar quemaduras internas de las placas o posible rotura. En general, deben hacerse pruebas cuando la corriente pico de carga excede 1 A.

Los capacitores electrolíticos no polarizados, usados para arranque de motores, se diseñan para 20 maniobras de arranque por hora. Con cada encendido de máxima duración de 3 segundos o 60 de 1 segundo cada uno. En aplicaciones que se requiere larga vida útil, la temperatura de cápsula del capacitor no debe exceder de 60°C.

Corriente de pérdida o fuga

La corriente de pérdidas es la corriente continua que circula a través del condensador, siendo la magnitud de esta corriente función de los materiales usados y de su pureza, del espesor de la película de óxido, de la resistividad del electrolito, de la tensión aplicada, del área de las láminas y de la temperatura de trabajo. En general, los capacitores electrolíticos poseen una pobre característica de temperatura. Al aumentar la temperatura, aumenta la corriente de fuga o pérdidas, dando por resultado una disminución de la tensión de ruptura. Esto es debido a que un aumento de la temperatura produce un aumento de la corriente de fuga, lo cual, produce una realimentación positiva llamada escape o fuga térmica.

Esta da como resultado una destrucción de la película de óxido. La corriente de pérdida aumenta con la capacitancia, la tensión y la temperatura.

Los fabricantes especifican la máxima corriente de fuga a la máxima temperatura de trabajo.

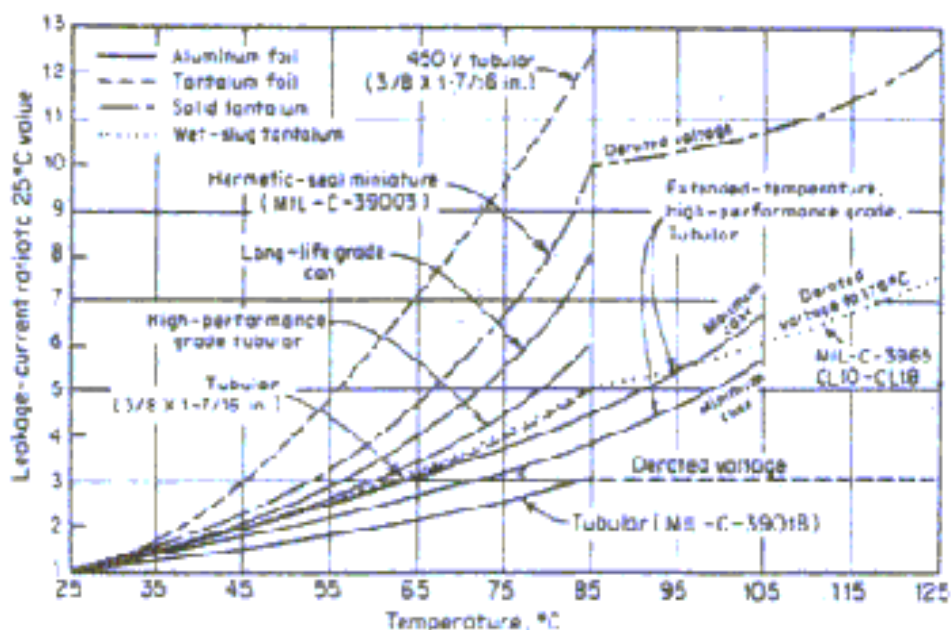


Figura 7

Efecto Térmico

Los capacitores electrolíticos varían en forma apreciable con la temperatura su valor capacitivo. La característica de variación de la capacidad con temperatura, mientras que los de Tantalio, en el rango de temperaturas de trabajo, tienen una variación del 20% de valor capacitivo de -55°C. A estas temperaturas, los electrolitos presentan un factor de potencia alto por lo cual puede producirse por efecto de corrientes de pérdidas un sobrecalentamiento interno del capacitor que da por resultado una variación de la capacidad y, por lo tanto, del funcionamiento del circuito del cual forma parte. Por lo tanto, cuando se trabaja a estas temperaturas, es necesario encender el equipo y dejar un tiempo en funcionamiento para que se logre la estabilización de la temperatura.

En la región de bajas temperaturas, las altas frecuencias producen una variación de la capacidad con la temperatura mayor que a bajas frecuencias.

A bajas temperaturas, las características de capacidad- temperatura hay que tenerlas en cuenta en los capacitores de Al debido a que, al aumentar hasta 25°C, la capacidad aumenta disminuyendo el factor potencia. A temperaturas aún mayores, el factor de potencia puede de nuevo aumentar, produciendo inestabilidad térmica con el riesgo de destrucción del capacitor por escape térmico.

A altas temperaturas, el efecto de la frecuencia sobre la variación de la capacidad no es tan apreciable como en bajas temperaturas. La capacidad, en este caso, decrece y el factor de potencia aumenta al aumentar la frecuencia.

Los capacitores de Al se desarrollan para una operación adecuada a una tensión reducida hasta 150°C durante 2000 horas. Pero para larga vida se recomienda como temperatura máxima los 85°C y, para propósitos generales, se recomienda no superar los 65°C.

Los capacitores de tantalio se desarrollan para trabajar a una tensión reducida y hasta una temperatura de 175°C siendo el límite inferior los -55°C.

Pérdidas

En los capacitores electrolíticos, la resistencia serie equivalente (ESR) es normalmente especificada como una definición de pérdida en el capacitor.

La pérdida es el producto de ESR por la corriente al cuadrado que circula por el capacitor, expresada en vatios.

Esto incluye las pérdidas en el dieléctrico: pérdida en la película de óxido: resistencia de contacto y resistencia de las hojas conductoras (placas).

Esta ESR dividida la impedancia Z nos da el Factor de Potencia.

El incremento de la temperatura de la carcasa del capacitor debido a la potencia a disipar en vatios por pulgada cuadrada lo muestra la figura siguiente.

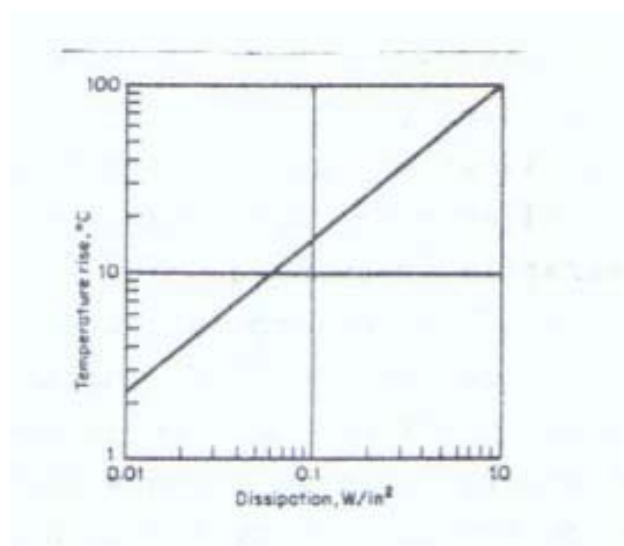


Figura 8

En aplicaciones donde está presente una tensión alterna con la continua de polarización, la potencia total a disipar por el capacitor es la suma de la potencia debido a la corriente c. C. de fuga y los volt - amper debido a la corriente alterna. Debe tenerse precaución en esta medida, debido a que la tensión de polarización afecta el resultado del Factor de Potencia.

La figura de mérito que se utiliza para evaluar las pérdidas en el capacitor electrolítico es el PM, que es la relación de X_c / ESR .

Normalmente los capacitores se miden polarizados en un puente de alterna a 120 Hz. Sin suficiente tensión continua de polarización, el potencial de alterna debe ser pequeño para prevenir la formación de óxido en el cátodo y de esta manera modificar el valor de la capacidad.

Condiciones de prueba

Medición de la corriente de pérdidas: para medir la corriente de pérdidas se debe acondicionar primeramente el capacitor aplicándole la tensión de continua nominal a través de una resistencia en serie de 1 Kohm durante 30 minutos a 24 horas y no más de 48 horas para los de Al y de 5 minutos para los de tantalio antes de medir la corriente de pérdidas.

Después del pre acondicionamiento, se aplica la tensión nominal de continua al capacitor con una resistencia serie limitadora y un miliamperímetro. La formación de la película de dieléctrico se produce dentro de los 60 segundos. La corriente de pérdida se mide al cabo de 5 minutos con una precisión de $\pm 5\%$ para los de Al y del $\pm 2\%$ para los de Ta. La corriente media en ningún caso debe superar a la especificada por el fabricante.

Medición de la capacidad: El valor de la capacidad se mide a 120 Hz por medio de puentes.

Medición del factor de disipación: se mide con puentes en iguales condiciones que la medición de la capacidad.

Medición de la impedancia: Esta medición debe hacerse a bajas temperaturas o a la de trabajo. Se debe medir a 120 Hz usando cualquier método que de una exactitud de por lo menos $\pm 2.5\%$. La tensión alterna aplicada debe ser tan pequeña como sea posible y debe aplicarse durante intervalos cortos a fin de evitar tensiones inversas excesivas y sobrecalentamiento del capacitor. Antes de hacer la medición debe dejarse que el capacitor alcance la estabilidad térmica, la cual se alcanza cuando no se observa variación de la impedancia entre dos mediciones tomadas a intervalos de 15 minutos.

Las características de la película dieléctrica son:

(PRIVATIZADO) Metal	Densidad	Oxido principal	Cte. dieléctrica	Espesor A° / V
Al	2.7	Al ₂ O ₃	8	13.5
Ta	16.7	Ta ₂ O ₅	27.6	17

Tabla 1

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS DE ALUMINIO

El electrolito usado comúnmente es ácido bórico disuelto en glicol para formar una masa pastosa de resistividad media. Este electrolito empapa una lámina separadora de algún material absorbente como gasa, celulosa no fibrosa o papel de alta pureza como el Kraft. Este separador sirve para mantener el electrolito en el espacio inter. electrodico y para evitar el contacto físico entre las placas positiva y negativa.

Electrolitos no acuosos son agregados al glicol- borato para obtener de 20 a 30 veces menos valor de resistencia serie (ESR).

Otros tipos de electrolitos se deben usar para aumentar el rango normal de trabajo y disminuir la impedancia a altas frecuencias. Las placas positivas (ánodo) usadas son láminas planas normales o láminas estampadas dependiendo del valor de capacidad deseada. Estas se someten a un proceso especial de formación electroquímica que la cubre completamente con una película de óxido extremadamente delgada. La naturaleza y el espesor de esta película dependen de su tensión nominal y de la capacidad deseada.

Las placas grabadas se obtienen mediante un proceso que pone áspera la superficie de la lámina (etched) y aumenta su área efectiva y, por lo tanto, su capacidad. Así pueden obtenerse grandes capacidades para muy bajas tensiones, llegándose a obtener capacitores de 1F a 5V. Este tipo de capacitor es popular en el diseño en baja tensión de fuentes estables de altas corrientes para computadoras.

El material usado en placas positivas es de alta pureza utilizándose material del 99,99% de Al puro.

En el electrodo negativo se usa Al de pureza comparable o ligeramente menor al del ánodo, siendo simplemente el electrodo negativo ya que el verdadero K del capacitor es el electrolito.

El conjunto de ánodo separador y placa negativa se enrolla en espiral y es encerrado en un cilindro de Al que actúa a la vez de blindaje.

En general, los capacitores electrolíticos de Al presentan un rendimiento volumétrico 6 veces mayor a los de papel para igual valor capacitivo e igual tensión.

Para tensiones menores a 100 V el rendimiento es mucho mayor.

En el caso de colocarse en serie para filtrar alta tensión es necesario colocar resistencias en paralelo con ellos a fin de hacer que la tensión aplicada a cada uno de ellos sea igual. De otro modo, la caída de tensión puede que no sea igual, debido a que presentan impedancias distintas por su gran tolerancia y, en consecuencia, algún capacitor soportaría una tensión mayor a la máxima tensión nominal y, por lo tanto, puede ocurrir la destrucción del capacitor.

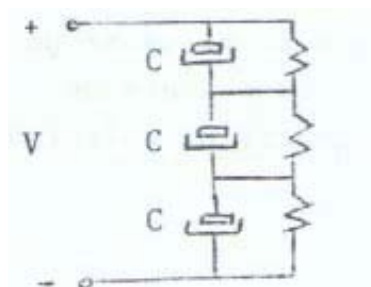


Figura 9

$$V \text{ nominal} \quad V / n; \quad n = n^{\circ} \text{ de capacitores}$$

Además, en caso de que uno de ellos se destruya, evita que la tensión se distribuya entre los restantes.

Los capacitores de Al para propósitos generales presentan un tiempo de almacenamiento máximo de 6 meses durante el cual se va degradando la película dieléctrica por lo cual hay que formarla antes de colocar al capacitor en el circuito.

Esto se debe hacer aplicándole la tensión continua nominal al capacitor en serie con una resistencia limitadora. Esta resistencia debe ser de 1 K 2 para capacitores con una tensión nominal mayor a 100 V. Esta tensión debe aplicarse durante una hora alcanzando el valor capacitivo nominal con una

tolerancia de $\pm 3\%$. El capacitor debe ser descargado luego a través de una resistencia de 1 ohm por cada volt aplicado.

Para usar como filtros, los fabricantes proveen capacitores electrolíticos múltiples con electrodo común, siendo generalmente el terminal negativo.

En definitiva, los capacitores de Al presentan un gran rendimiento volumétrico obteniéndose grandes capacidades pero presentan grandes pérdidas, factor de potencia variable con la temperatura y presentan polaridad.

Su capacidad es muy afectada por la temperatura y presentan grandes tolerancias de -20 a $+100\%$. Al aumentar la frecuencia la capacidad disminuye y el factor de potencia aumenta. A temperaturas bajo cero la resistencia serie equivalente (ESR) aumenta bruscamente. La temperatura de congelación y la de ebullición del electrolito determinan los límites absolutos de uso.

Una cosa a tener en cuenta es el calor generado internamente. La R_p (representa la imperfección del dieléctrico) es mucho mayor que la R_s (ESR). Cuando se aplica una V_{oc} , la R_p es causa de calentamiento interno. Cuando hay presente una componente de ca, la corriente de carga que pasa a través de R_s genera un calentamiento adicional. La tolerancia de calor y la disipación (esta última es función del tamaño) determinan los límites de la corriente alterna.

Característica impedancia - frecuencia

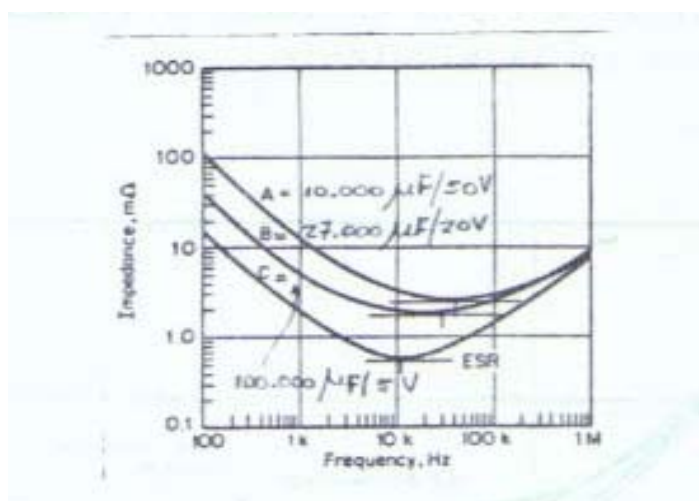


Figura 10

La gráfica siguiente da una idea de la variación de la impedancia en Mohm en función de la frecuencia para capacitores de 150.000 MF de 5V y de distintos tipos de fabricación.

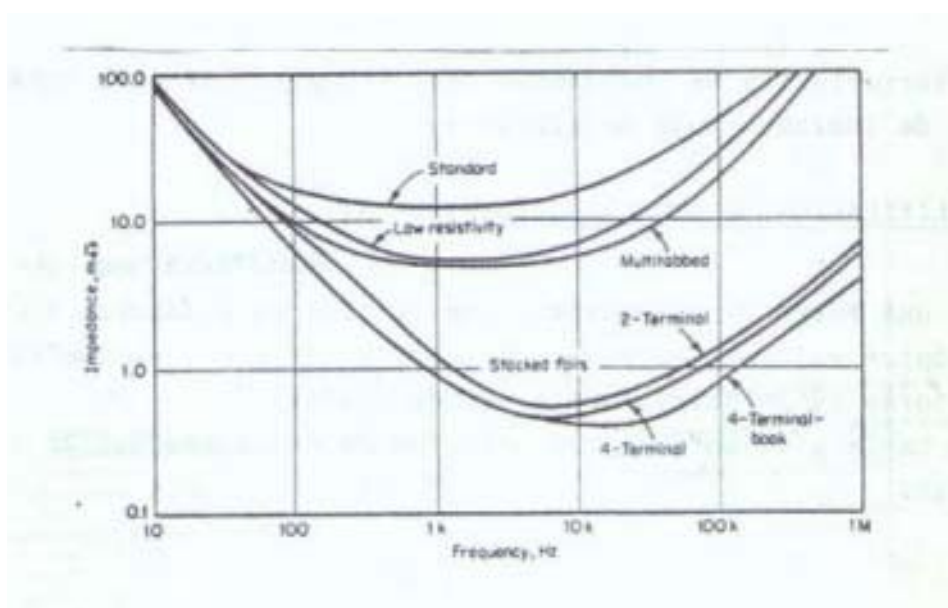


Figura 11

Para aplicaciones donde se requieren bajas impedancias, altas velocidades de computación (caso de un encendido electrónico, disparo de un flash, etc.) o bien como filtro de un regulador se usan los de lámina apiladas. La comparación de los de láminas apiladas de 4 terminales y los de láminas comunes se muestran en la figura anterior y en la siguiente.

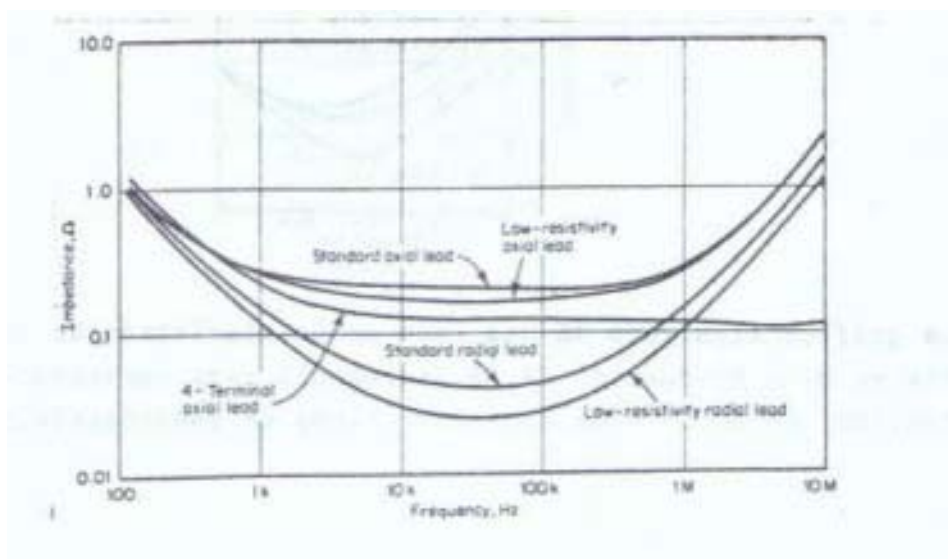


Figura 12

Característica de impedancia de 1.000 MF/7, 5V para capacitor de Al de lámina (hoja de aluminio).

Calificación de los capacitores de Al

Es una forma de agruparlos que, si bien cada fábrica tiene sus propios valores, se pueden ordenar en 4 grupos ya que estos capacitores están parcialmente estandarizados.

La tabla siguiente es una descripción de la graduación que le asigna.

Tipo y Característica	Norma		Vida			Aplicaciones
	EIA	MIL	Propia (años)	Servicio (años)	Test (horas)	
Propósito General: Bajo Costo. Multisección. Mezcla de voltajes. Estilos "plug in".	RS 395 (polarizado)	--	1	3 - 5	500 - 1.000	Productos de consumo masivo. Equipos de entretenimiento. Rango de temperatura limitado.
Larga Vida: Costo moderado. Estilo "plug in". Laminas de alta ganancia.	RS 395 (polarizado)	--	2 - 3	Sup. A 10	1.000 - 2.000	Equipamiento industrial y telecomunicaciones. Aviónica. Máquinas para negocios. Equipamiento de control.
Vida Extendida: Construcción soldada. Laminas de alta ganancia. Estilos "plug in". Baja ESR.	--	MIL-C-62D (polarizado) CB11,CB13 CB34,CB35 CB36,CB44 CB45,CB56 CB57,CB58 CB71	3	>10	1.000 - 2.500	Amplio rango de temperatura. Instrumentación. Aviónica. Vida estable. Normas militares. Comunicaciones de RF. Equipamiento de computadoras. Equipamiento sin atención. Automotores.
Alta performance: Alto costo. Construcción soldada. Resistente a las altas vibraciones. Electrolitos de primera. El más bajo ESR.	--	MIL-C-39018 (polarizado) CU13 CU16,CU17 CU71,CU81 CU74,CU15	3 - 5	>10	2.000 - 3.000	Equipamiento militar e industrial de tiempo real. Bajas y Altas temperaturas de operación. Requerimiento de impacto y alta vibración. Fuentes conmutables de alta velocidad. Aplicaciones aeroespaciales.

Tabla 2

Esta otra tabla hace referencia a las comparaciones de rango de tensión, temperatura y comportamiento, como guía para evaluar una decisión a adoptar.

Feature	Grade				Grading factor*
	General-purpose	Long-life	Extended-life	High-performance	
Voltage limits, V	500	450	450	500	Highest
Volume efficiency	1.8	1	1.5	1.2	
High temp, °C	65/85	85	85/105	85/125	
Low temp, °C	-20/-30	-40	-40	-55	Lowest
Leakage current	2.0	1.8	1.2	1	
Equivalent series resistance	1.4	1.5	2	1	
Capacitance change with temperature	3	2	2	1	Least change
Capacitance change with time	3	2	2	1	Least change
Ripple	1.5	1.5	1.2	1	Best handling capability
Surge voltage	1.5	1.2	1.2	1	Best safety factor
Reliability	4	2	2	1	Highest
Normal life, years	5-5	5-10	10-20	10-20	Lowest
Cost	1	1.5	2	4	

* Lowest number is highest rating.

Tabla 3

La tabla que a continuación se da corresponde a los valores normalizados de capacitores de Al. No obstante, las diferencias fábricas ofrecen otros valores de capacidad.

Capacitance Values†					
1	8	50	100	600	1,500
2	10	60	200	700	2,000
3	20	70	300	800	3,000
4	30	80	400	900	4,000
5	40	90	500	1,000	5,000

Capacitance Tolerances‡		
Rated dc voltage, V	Single-section tolerance, %	Multi-section tolerance, %
3 through 100	-10, +100	-10, +150
101 through 500	-10, +75	-10, +100
501 through 450	-10, +50	-10, +50

† Values above 5,000 μf should be in 5,000 μf steps.

Tabla 4

Las gráficas siguientes dan el comportamiento de la capacidad a 120 Hz con respecto a la temperatura de la fábrica sprague.

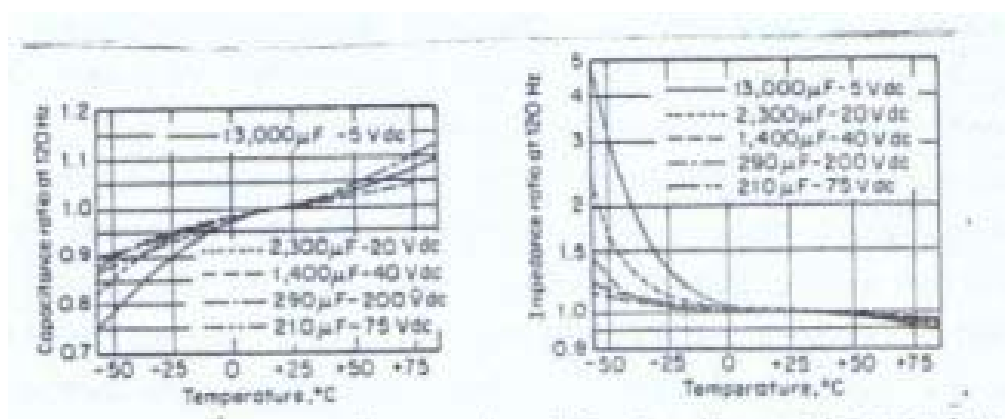


Figura 13

Y para dichos capacitores, la variación de la resistencia equivalente serie, variación de la impedancia con la temperatura respectivamente.

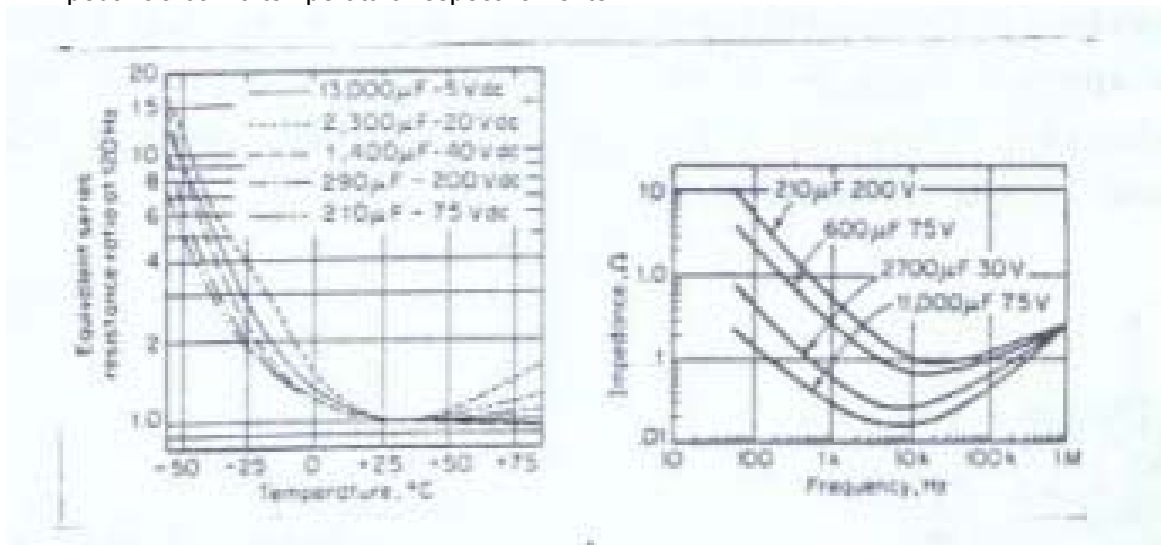


Figura 14

Algunas consideraciones publicadas por FAPESA sobre los capacitores de Al

Cuando se aplica una tensión continua al capacitor, circula una pequeña corriente de fuga cuyo valor depende de la tensión aplicada y de la resistencia paralelo R_p . El dieléctrico del capacitor (capa de óxido) que es atacado por el electrolito, se renueva permanentemente debido al proceso electrolítico que provoca dicha corriente, con lo que mantiene el espesor requerido.

Los gases desprendidos se difunden hacia el exterior a través del sello del capacitor.

Obviamente, el electrolítico se agota como resultado de este proceso. Tal agotamiento se manifiesta como un aumento de la resistencia del líquido R_s (ESR).

Este proceso determina la vida del capacitor ya que, como se indicó anteriormente, la ESR es un factor determinante de la utilidad del capacitor como elemento de desacople.

La capacidad se verá, además, adversamente afectada al aumentar la impedancia y el ángulo de pérdidas, debido al aumento de ESR.

Aunque esto no es muy evidente a primera vista, puede explicarse si se considera el efecto de la superficie mordentada del ánodo en la capacidad total. La figura 15 muestra un corte de dicha superficie. Puede observarse que la capacidad total está constituida por varias capacidades parciales, de las cuales las que están en los poros poseen mayor resistencia serie que las que están en la superficie. El circuito de la figura 16 muestra una buena aproximación de esta situación. Si aumenta la resistencia del líquido, algunas de las capacidades parciales pierden efecto, con lo que disminuye la capacidad total.

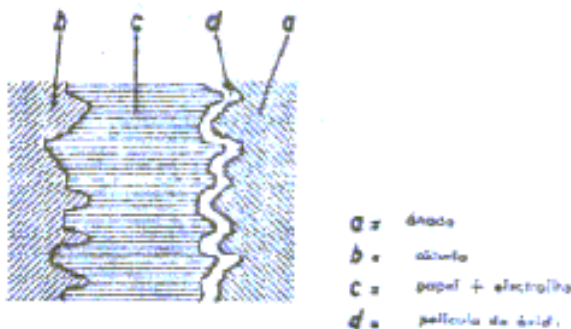


Figura 15

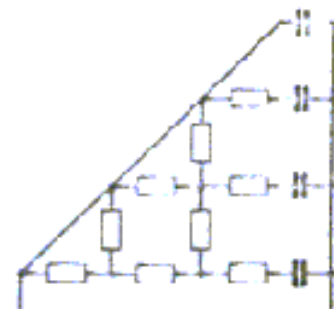


Figura 16

Resumiendo, puede decirse que el agotamiento de un capacitor en servicio puede apreciarse por:

1. Un decrecimiento gradual de la capacidad. (aumento de la impedancia a 50Hz)
2. Un aumento de las pérdidas. (tg d)
3. Un aumento de la impedancia a 100 KHz.

FAPESA aconseja, para formar a sus capacitores, después de un prolongado período de uso, además de las resistencias en serie como se ha mencionado en otro párrafo, ir aumentando gradualmente la tensión hasta la nominal para evitar la ruptura de la película de óxido o excesivo calentamiento.

En las figuras 17 y 18 pueden observarse algunas curvas típicas en función del tiempo de los capacitores de Al de FAPESA.

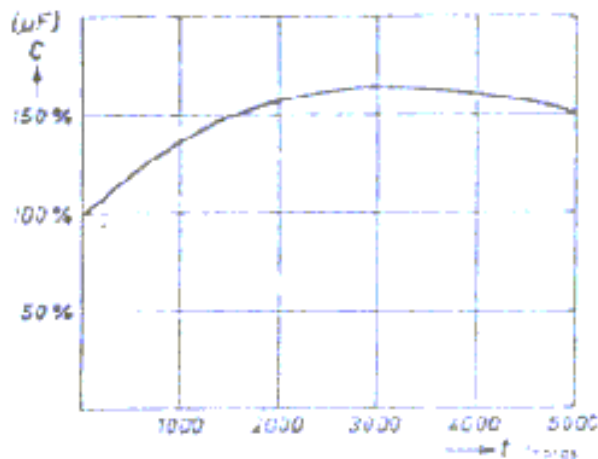


Figura 17

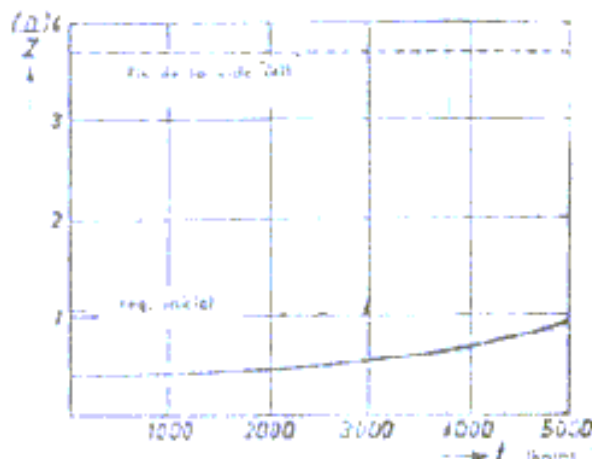


Figura 18

Y las variaciones de impedancia, en función de la temperatura en figura 19.

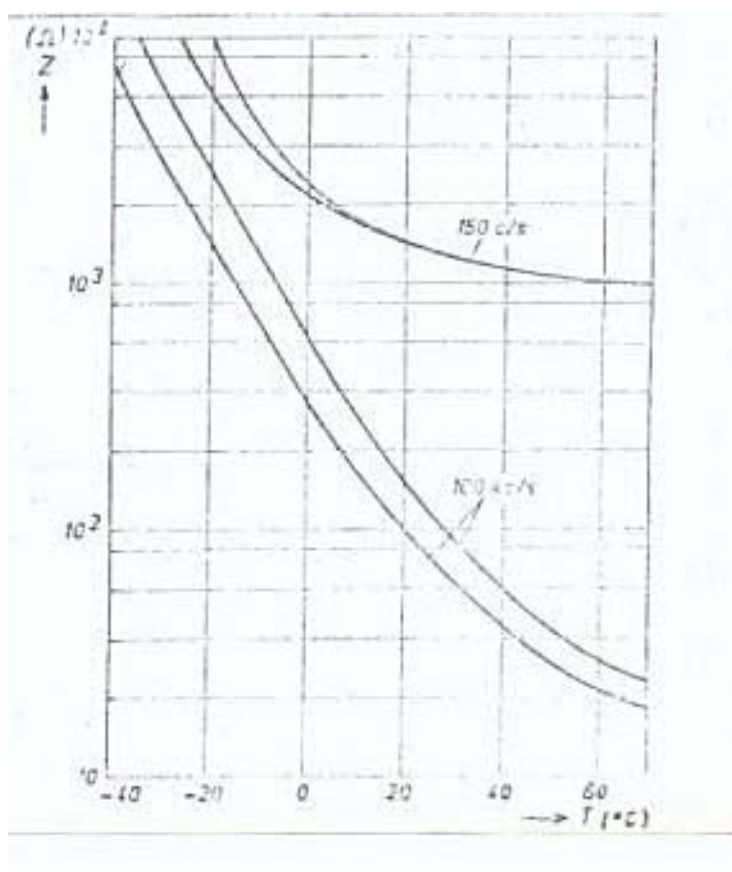


Figura 19

Vida Útil: De los análisis en los párrafos previos, así como del ensayo de numerosas unidades surge que:

Los capacitores electrolíticos de Al sometidos a temperaturas, apenas por debajo de la máxima permisible, presentan una más larga vida útil y el cambio en la capacidad es muy pequeña.

Los capacitores sometidos a tensiones inferiores a la normal presentan también una mayor vida útil pero la capacidad aumenta.

Puede obtenerse una larga vida útil y capacidad constante operando el capacitor con tensiones y temperaturas ligeramente por debajo de los valores máximos de trabajo permisibles.

Elección de un capacitor electrolítico de Al

Se presentan dos alternativas:

Seleccionar un capacitor con una capacidad mayor de la requerida y, aproximadamente, la tensión de trabajo necesaria.

Seleccionar un capacitor que posea, aproximadamente, la capacidad y una tensión de trabajo mayor.

El método b posee considerables ventajas.

De la figura 20 a la 23 se presentan varias de las propiedades de nuestros capacitores en función del tamaño de la cápsula (números crecientes corresponden a tamaños crecientes).

La figura 20 muestra la corriente de fuga en función del tamaño de la cápsula.

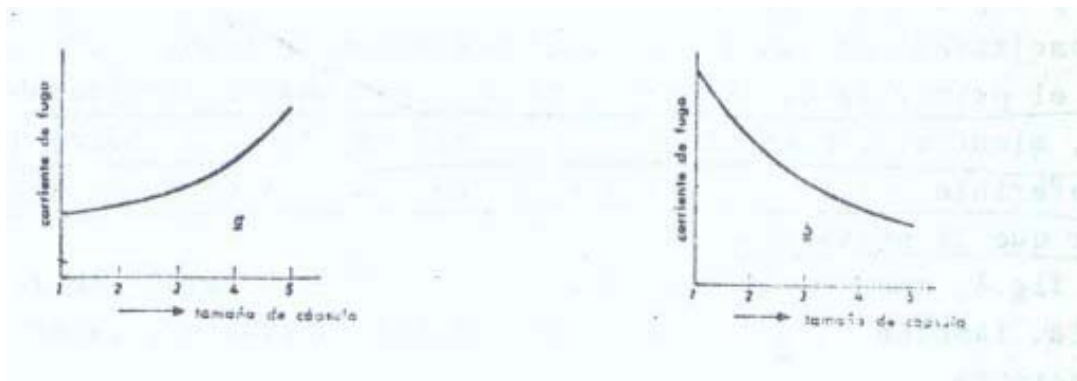


Figura 20: Corriente de fuga en función del tamaño de cápsula.

- a. Tensión constante, capacidad creciente.
- b. Capacidad constante, tensión creciente.



Figura 21: Vida útil en función del tamaño de cápsula

- a. Tensión constante, capacidad creciente.
- b. Capacidad constante, tensión creciente.

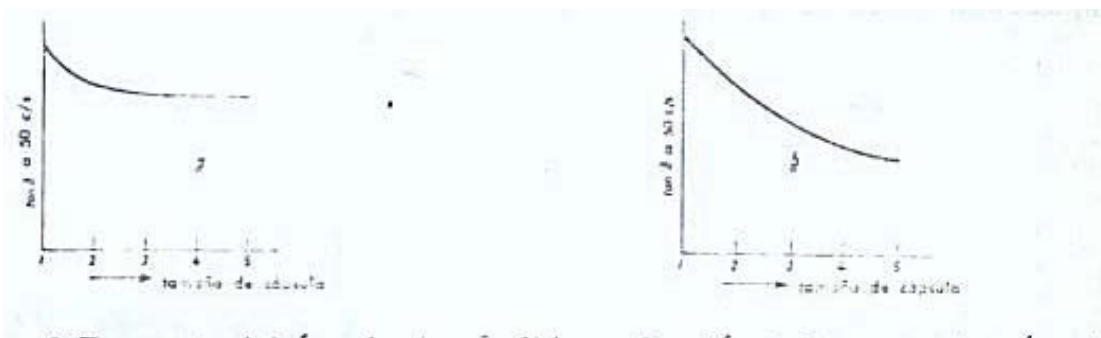


Figura 22: Tangente del ángulo de pérdida en función del tamaño de cápsula.

- a. Tensión constante, capacidad creciente.
- b. Capacidad constante, tensión creciente.

La figura 20 a corresponde a capacitores con igual tensión de trabajo y capacidad creciente mientras que la figura 20 b corresponde a capacitores con igual capacidad y tensión de trabajo creciente.

En el primer caso, la corriente de fuga aumenta considerablemente, mientras que en el segundo disminuye, lo que indica que es preferible utilizar un capacitor con una tensión de trabajo mayor que la necesaria.

La figura 21 muestra la vida útil en función del tamaño de la cápsula. Para el caso de capacidad constante y aumento de tensión al afecto es mucho más pronunciado.

Se observa que sigue siendo ventajoso, seleccionar un capacitor con tensión mayor que la requerida.

Lo mismo ocurre con respecto a las pérdidas dieléctricas. La figura 22 muestra que la tangente del ángulo de pérdidas es mucho más pronunciada en el caso en que se mantiene constante la capacidad y se aumenta la tensión de trabajo.

La figura 23 muestra la variación de la impedancia medida a 100 KHz, dado que la impedancia está principalmente determinada por volumen de la cápsula, esta figura es válida para ambos casos: capacidad constante o tensión constante.

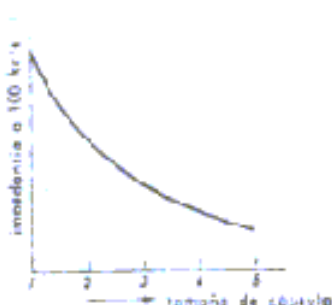


Figura 23: Impedancia a 100 Mc / s en función del tamaño de la cápsula.

Se ha comprobado que los capacitores con mayor tensión nominal soportan temperaturas más elevadas. De esta manera, si se usa un capacitor con una tensión menor a la nominal especificada por el fabricante, se logra una seguridad extra respecto a la temperatura.

Síntesis de la serie 122 de Philips

Es un capacitor electrolítico sólido de Al y miniatura encapsulado en epoxi para aplicaciones industriales y de duración de 4 años en requerimientos rigurosos de telefonía.

En los controles hechos en fábrica, después de medir 11 millones por hora, se han encontrado 5 excedidos en la corriente de fuga.

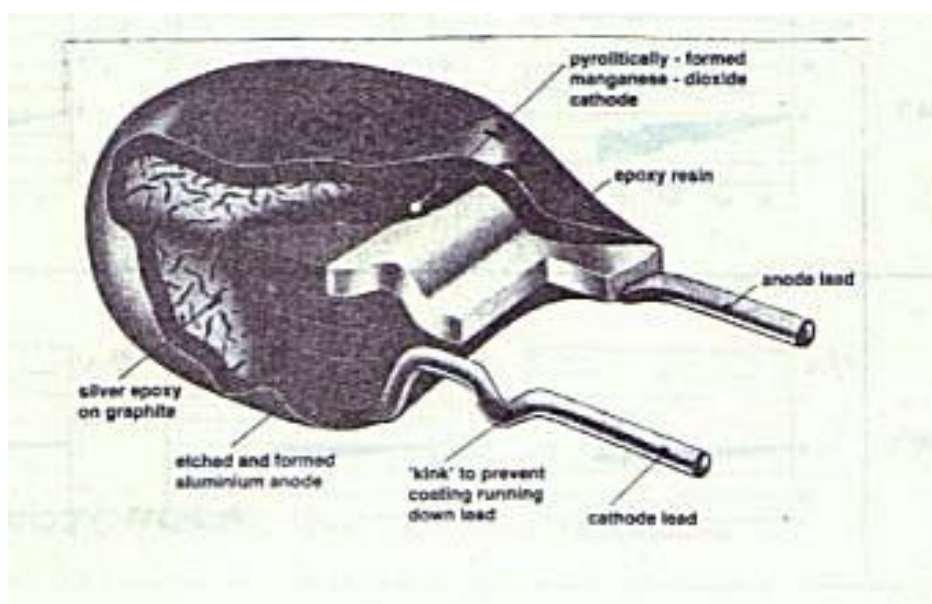


Figura 24

Condiciones de prueba:

Con temperaturas ambientes de 70°C y 85°C, con tensiones de 0V; 0,75 Ur y 1,1 Ur. Siendo "Ur la tensión nominal".

Mediciones:

Todos los capacitores antes del comienzo de las mediciones se los somete 1.000, 10.000, 21.488 y 37.240 horas respectivamente de prueba y se logra medir:

- Capacidad a 100 Hz.
- Impedancia a 100 KHz.
- Corriente de fuga después de 1 minuto de Ur. Los resultados logrados lo indican las figuras siguientes.

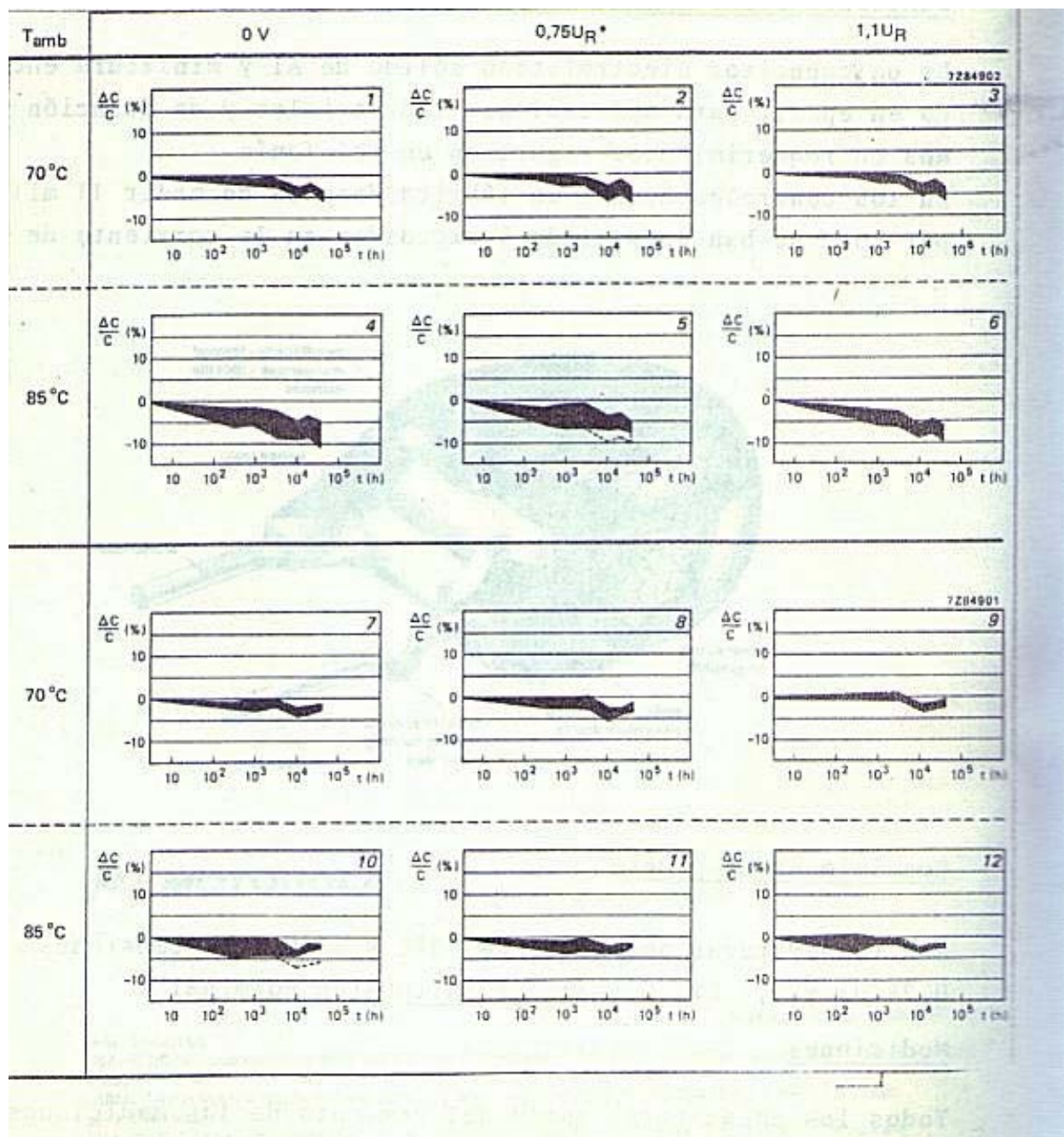


Figura 25

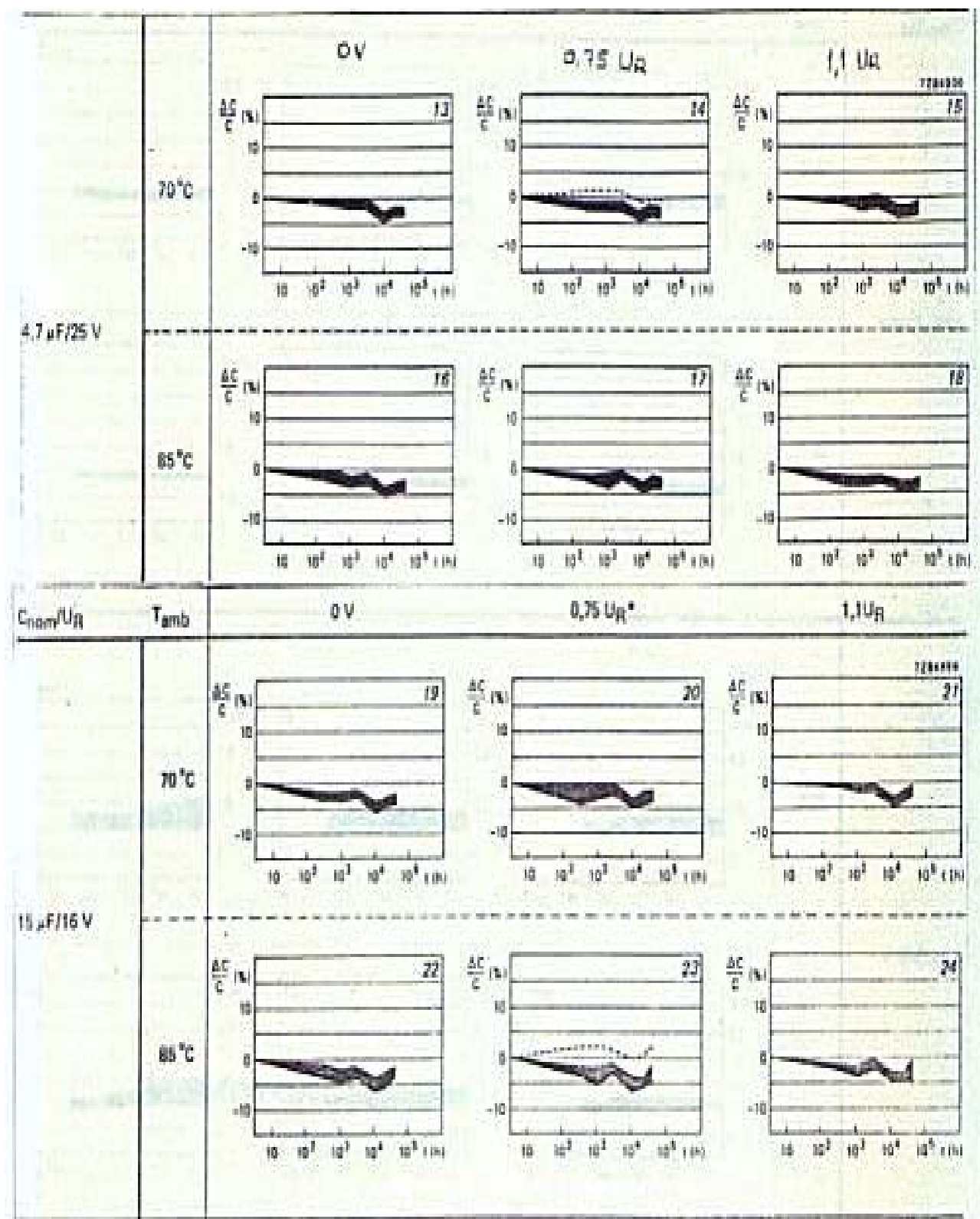


Figura 26

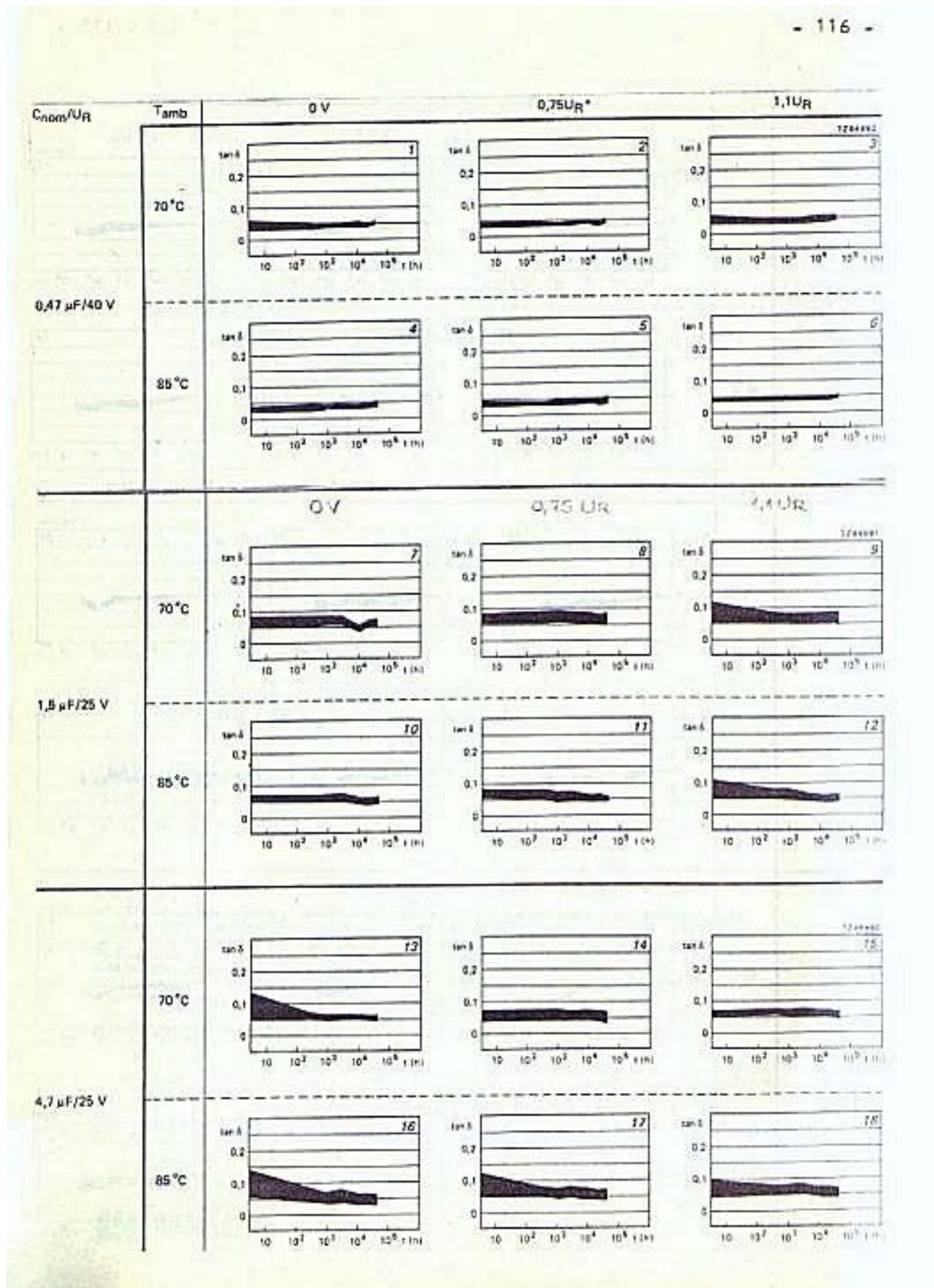


Figura 27

- 117 -

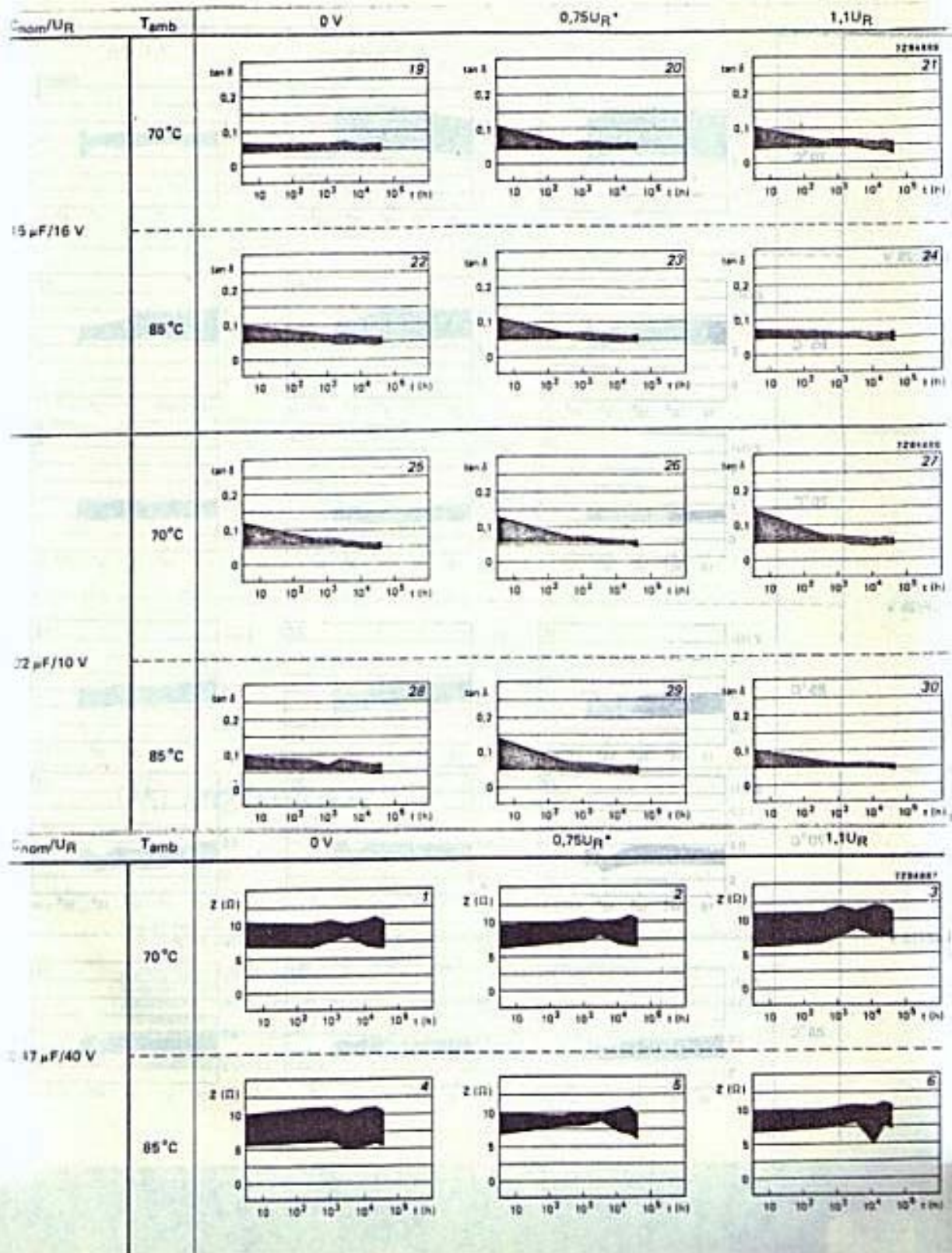


Figura 28

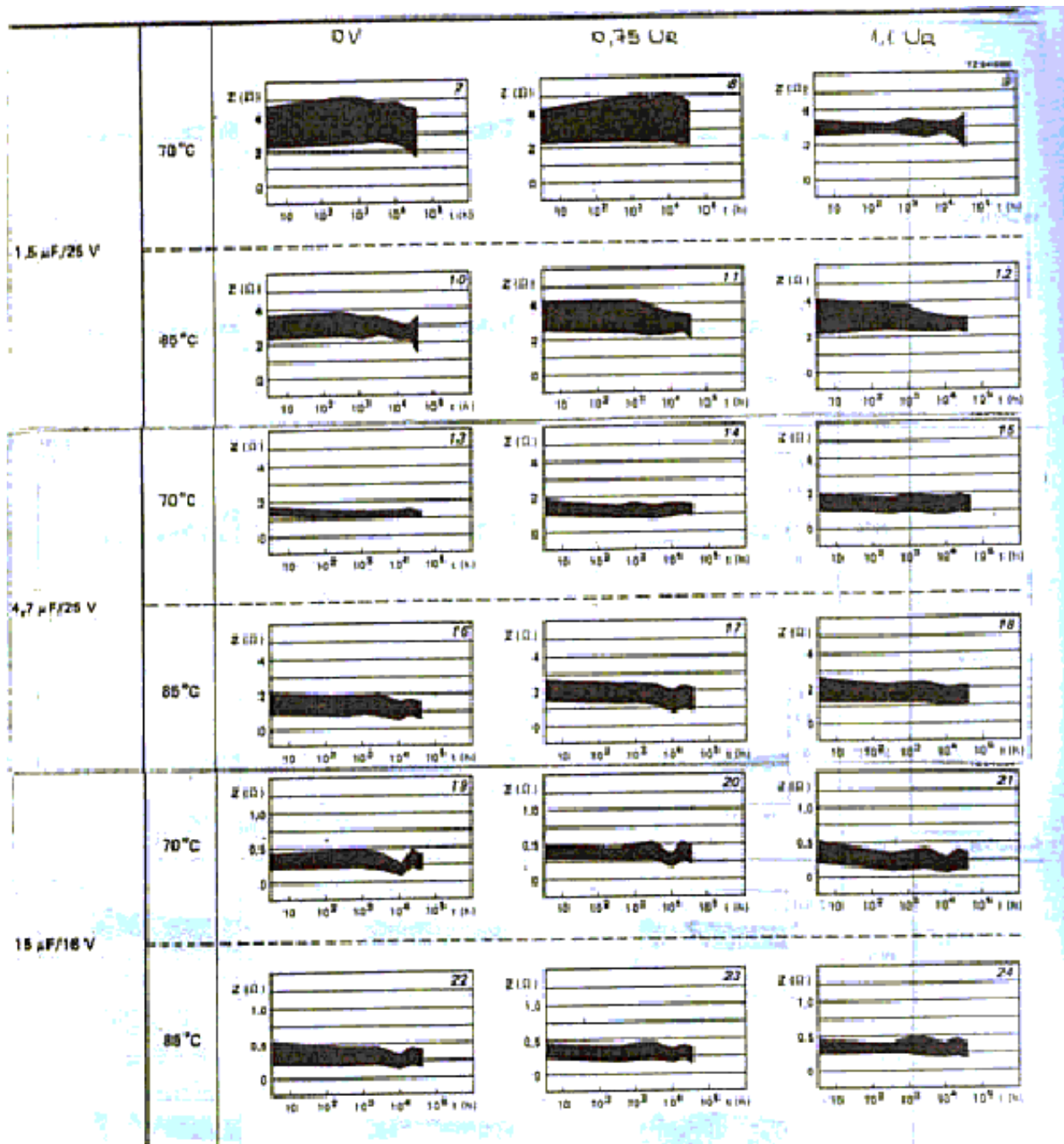


Figura 29

TABLE 2 Details of capacitors showing increased leakage current.

test group	test voltage	leakage current measured at U_R (μA)						specification
		0 h	1000 h	3000 h	10 000 h	21 488 h	37 240 h	
18	1,1 U_R	0,16	0,49	15	33,8	16,1	67,2	≤ 6
3		0,03	0,27	0,22	3,5 mA*	—	—	≤ 2
9		0,03	0,02	0	0,02	30,79	63,06	≤ 2
26	0,75 U_R or 0 V	1,4	0,21	400	70,8	61,16	27,23	≤ 11
25		0,20	0,20	0,16	0,09	68,34	77,39	≤ 11

* This capacitor removed from test after 10 000 h. Analysis showed that the high leakage current was due to damage during handling of the capacitor.

Tabla 5

Corrientes de Fuga:

La corriente de fuga de muchos capacitores son bajas y estables. La tabla siguiente da resumen después de diferentes horas de funcionamiento. El del grupo 3 que da 3,5 mA a 10.000 horas es el manipuleo incorrecto.

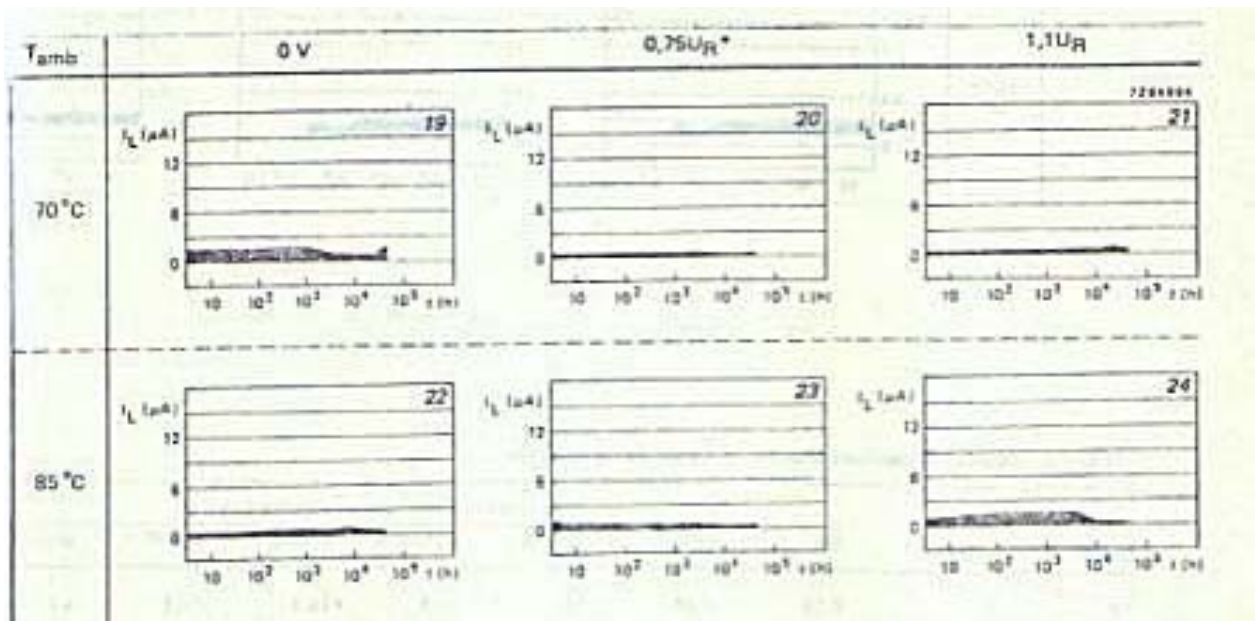


Figura 30

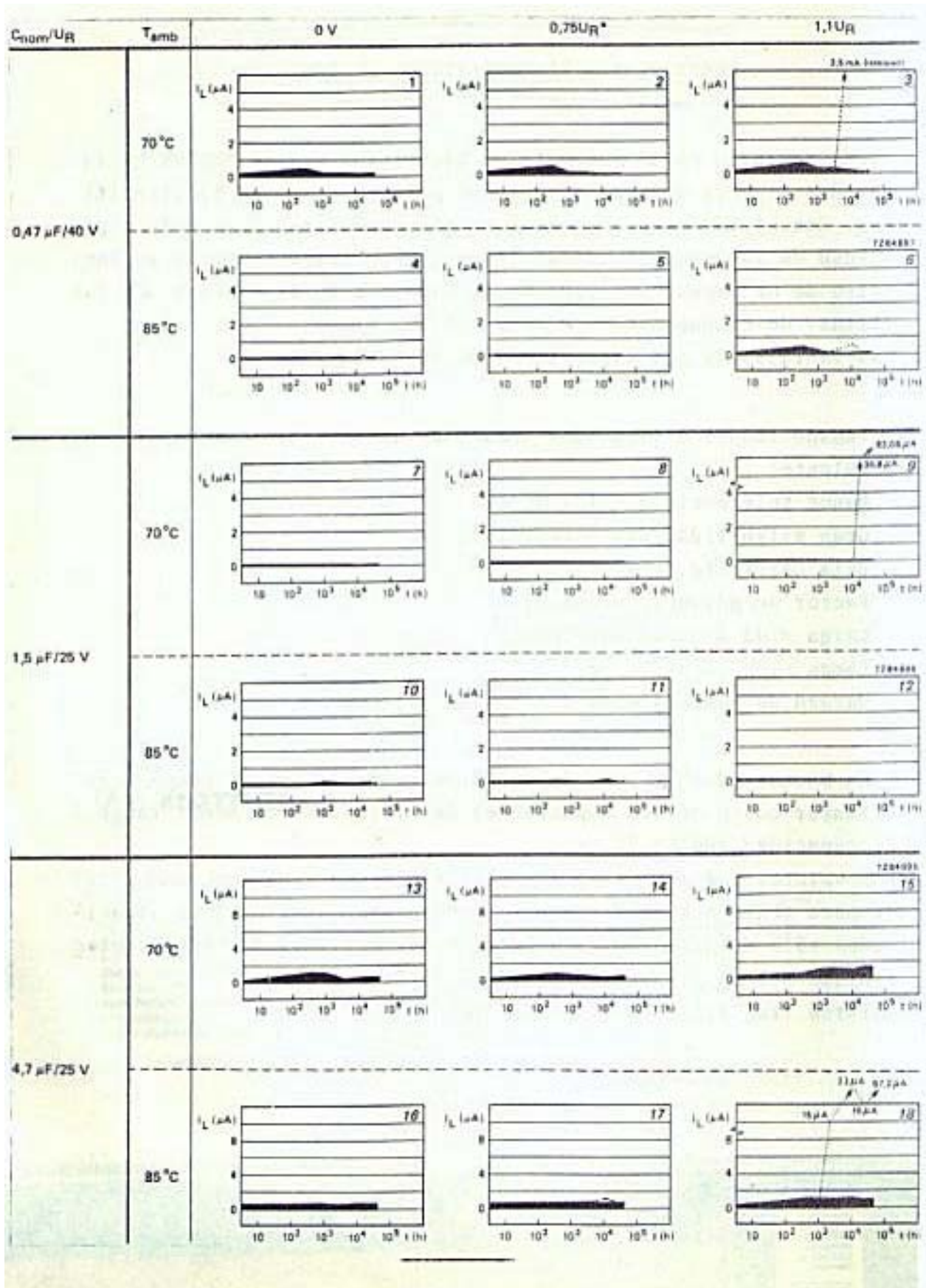


Figura 31

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS DE TANTALIO

El tantalio es un elemento de transición que se emplea en lugar del Al para obtener electrodos para capacitores electrolíticos. Con el Tantalio se consiguen más micro faradios por voltio por unidad de volumen que con el Al ya que se logran láminas de Tantalio de un espesor de 0,03 mm en comparación con el espesor de las láminas de Al que son de 0.05 a 0,3 mm.

Las ventajas de los capacitores de Tantalio son:

- Tamaño reducido. (1/20 del tamaño de un capacitor de papel equivalente)
- Menor tolerancia que los de Al.
- Gran estabilidad de la capacidad.
- Baja corriente de fuga.
- Factor de potencia pequeño.
- Larga vida de almacenamiento.
- Larga vida en servicio.
- Margen de temperaturas de -55 a $+125^{\circ}\text{C}$.

En muchos casos, una o más de estas ventajas pueden compensar el mayor costo de los capacitores de Tantalio y el menor rango de capacidad que el de Al.

Los valores que se pueden producir van desde 0,002 μF hasta 1.000 μF para tensiones de 3 a 600 V. Generalmente, las mayores capacidades sólo se disponen para bajas tensiones. Los de tipo de electrolito sólido presentan tensiones desde 6 a 100 V.

Existen tres tipos de condensadores:

Tipo lámina de Tantalio:

Con láminas planas o grabadas se fabrica como los electrolíticos de aluminio con la configuración polar o no polar y en carcasa hermética y no hermética.

Tipo ánodo poroso sintetizado:

Se fabrica tanto en electrolito sólido o húmedo. El tipo de electrolito húmedo se conoce a nivel internacional como wet - slug type. Es el que tiene mejores características y rendimiento volumétrico.

El electrolito sólido posee una muy larga vida y se producen en tamaño subminiatura y estilo chip.

Tipo de alambre grabado:

Son similares a los de ánodos poroso, se hacen bajos valores de capacidad y tensión para uso en circuitos miniatura como amplificador- audífono para ayuda a sordos.

Los electrolíticos de Tantalio son mejores a los de Aluminio porque el óxido de Tantalio tiene una extremada estabilidad química y resistencia a la corrosión.

Electrolitos fuertes y de baja resistividad pueden emplearse con seguridad en capacitores de Tantalio.

Capacitores de Tantalio de láminas

Este tipo de capacitor se construye de alambre de Tantalio soldado cada dos láminas de Tantalio. Los alambres se extienden a través de la carcasa sellada y terminan externamente con cobre que es soldable como muestra la figura siguiente.

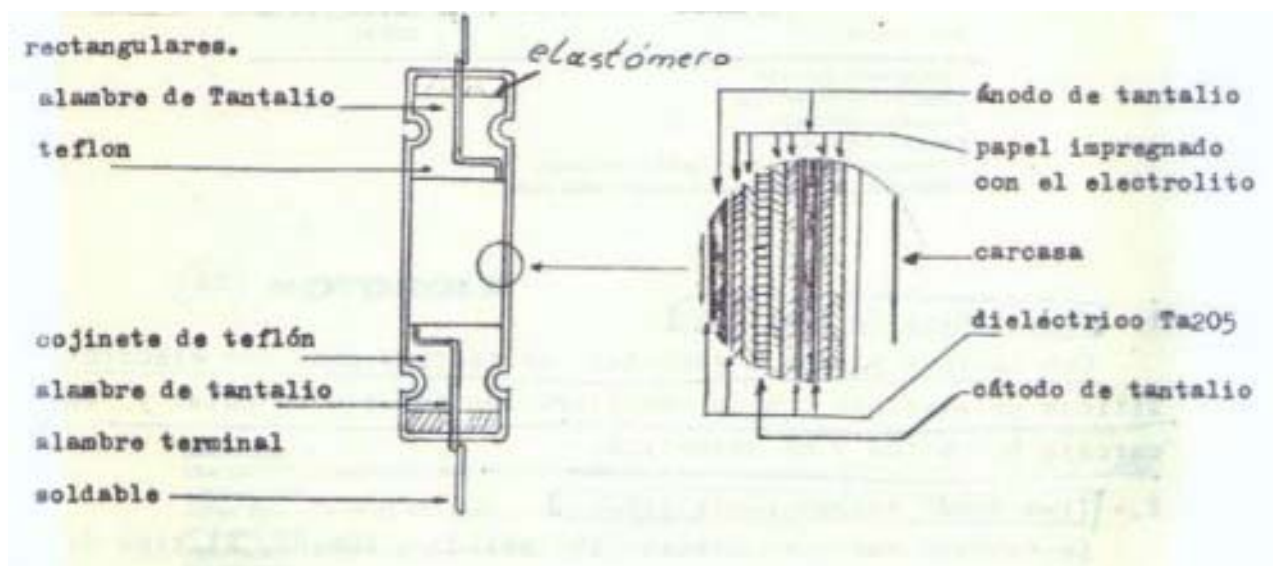


Figura 32

Los capacitores de Tantalio de láminas se fabrican cilíndricos y rectangulares. En el sistema electrolítico se usan inorgánicas disueltas en dimetil formamida o compuestos neutros como el litio clorado o el glicol borato. Como separador del electrolito se usa papel o fibra de vidrio. En los polarizados, una lámina es formada como ánodo, la otra lámina plana es el cátodo. En los no polarizados, ambas láminas son formadas. La particularidad, tanto para los capacitores de lámina de aluminio o tantalio, es que se secan por emanaciones de vapor a través del sellado del elastómero de la carcasa. Estos capacitores no polarizados son útiles cuando pueden aparecer tensiones inversas entre sus extremos, en circuitos de alterna de baja frecuencia. La tabla, al final del capítulo, expresa el comportamiento y características de los capacitores de Tantalio tipo comercial y tipo militar. Cuando se examina la construcción de un capacitor de lámina de Tantalio, se observa que el sellado está hecho con teflón y luego con un elastómero.

El teflón se usa porque es inerte prácticamente a todos los materiales y el elastómero admite ciertas deformaciones por variaciones de temperatura sin destruir el sellado hermético.

El alambre mencionado que rodea a la lámina es para, luego de sacarlo a los extremos donde se le sueldan los terminales de otro metal, que permita soldabilidad con el estaño para su uso.

Además, en el montaje en un circuito hay que tomar las precauciones de no doblar sus terminales cerca de la carcasa porque puede ejercer esfuerzo sobre el teflón y provocar fugas.

Los capacitores de láminas de Tantalio son los únicos capacitores electrolíticos, capaces de operar en límite de continua sin alterna polarización presente. La capacidad de ripple se muestra en las figuras siguientes:

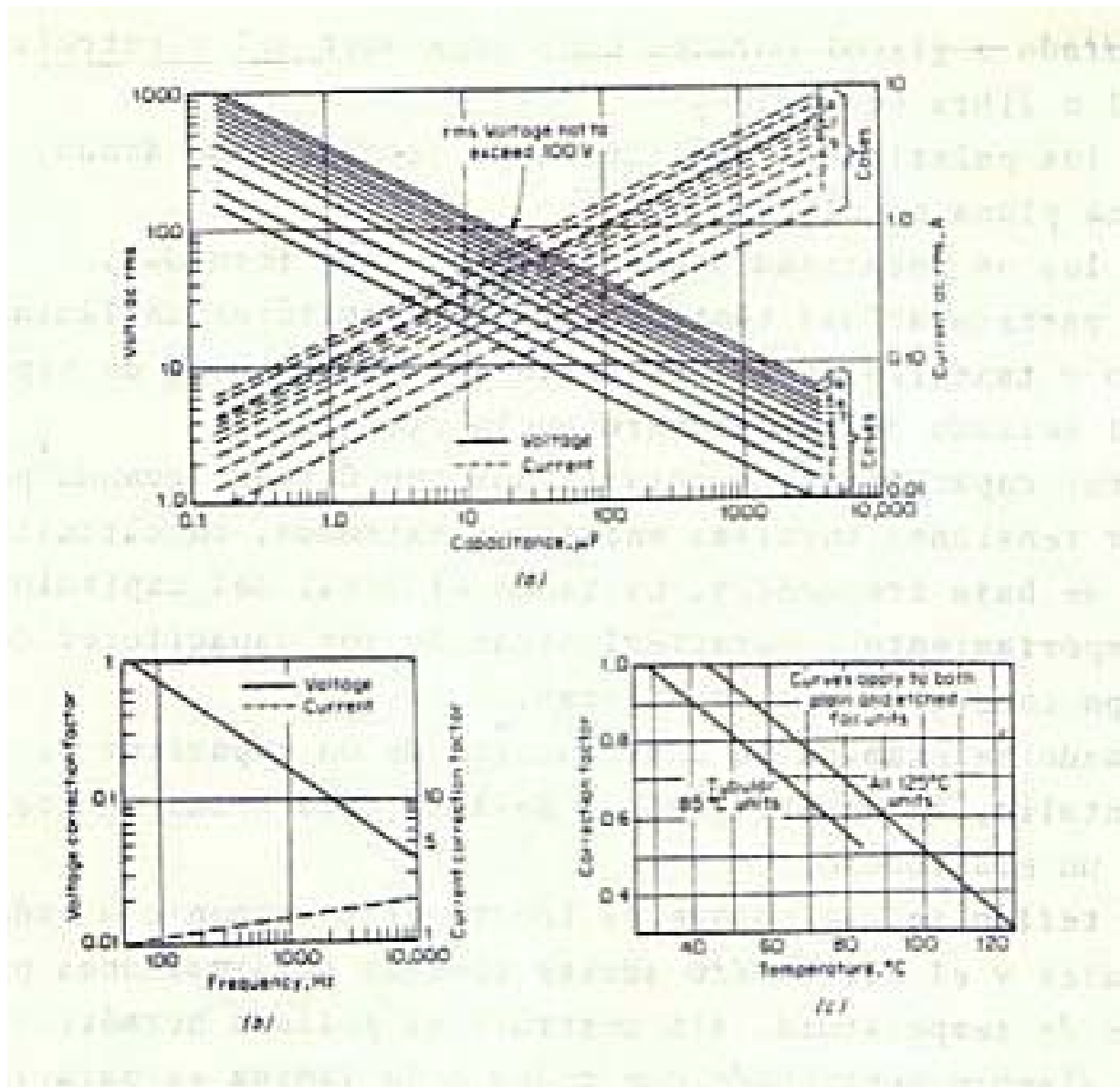


Figura 33

Son curvas de ripple, a 60 Hz y 25 $^{\circ}\text{C}$, de capacitores de láminas de Tantalio. En la gráfica (a) se puede leer el valor de tensión o corriente eficaz permisible directamente. La gráfica (b) determina la corrección para otras frecuencias obtenidas en (a), o sea que hay que multiplicar lo leído en (b) por lo leído en (a).

La gráfica (c) es el factor de corrección para otras temperaturas. Se hace la misma operación (a) por (c) o bien (a) por (b) y por (c).

Lo mencionado es aplicable para la ausencia de polarización de alterna para los tipos no polares y polarizados con alterna para los tipos polares.

Picos de alterna de 150V pueden permitirse si el valor nominal de continua no se excede. La única limitación es $I^2 R^*$ por efecto de calentamiento.

Los de láminas grabadas (con ácido para dar mayor superficie equivalente) tienen mayor ESR y tienen como capacidad de manejo de alterna, la mitad a los de láminas planas.

La curva característica de variación de la impedancia con la frecuencia.

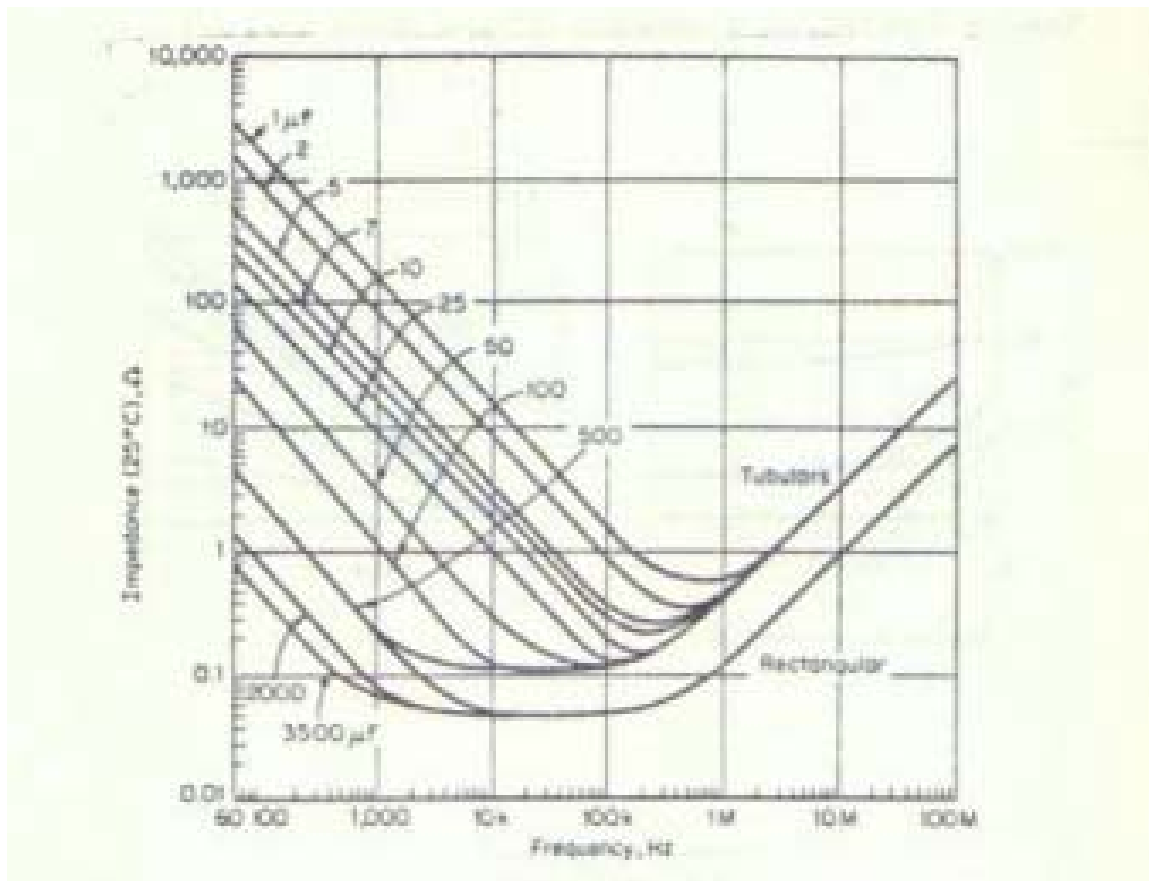


Figura 34

El factor de corrección para la impedancia a diferentes temperaturas es el siguiente:

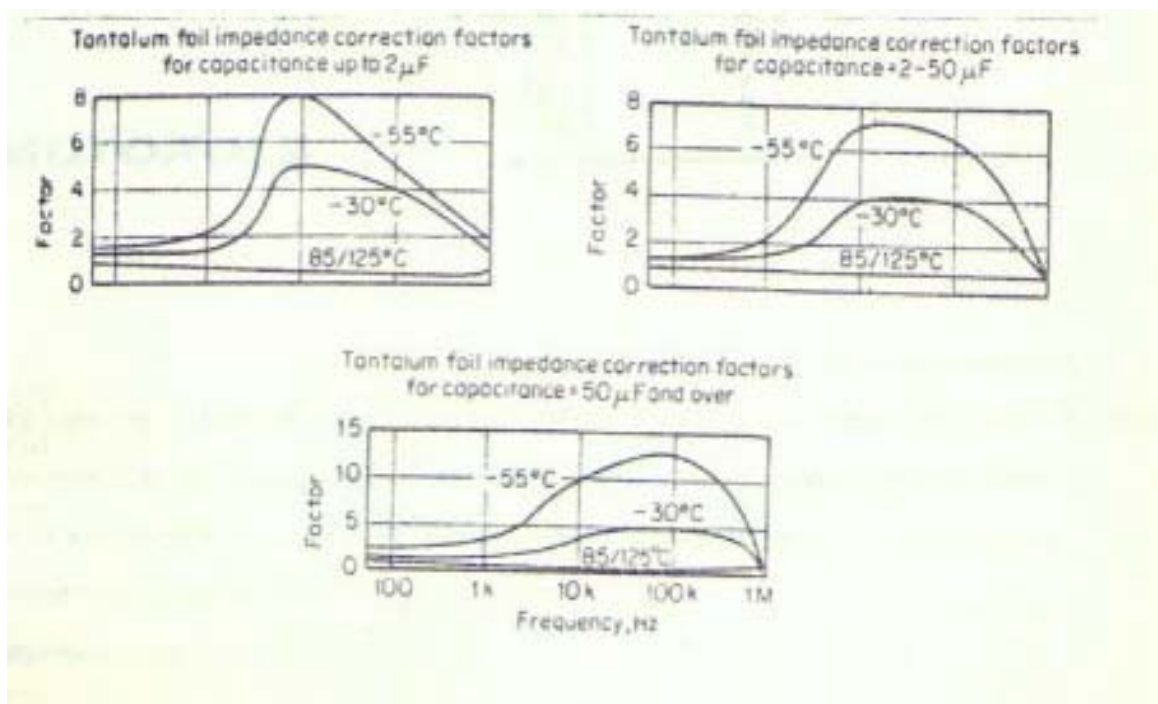


Figura 35

Valores típicos de ESR para diferentes encapsulados normalizados, temperaturas, frecuencias y tensiones se ven a continuación de la fábrica General Electric.

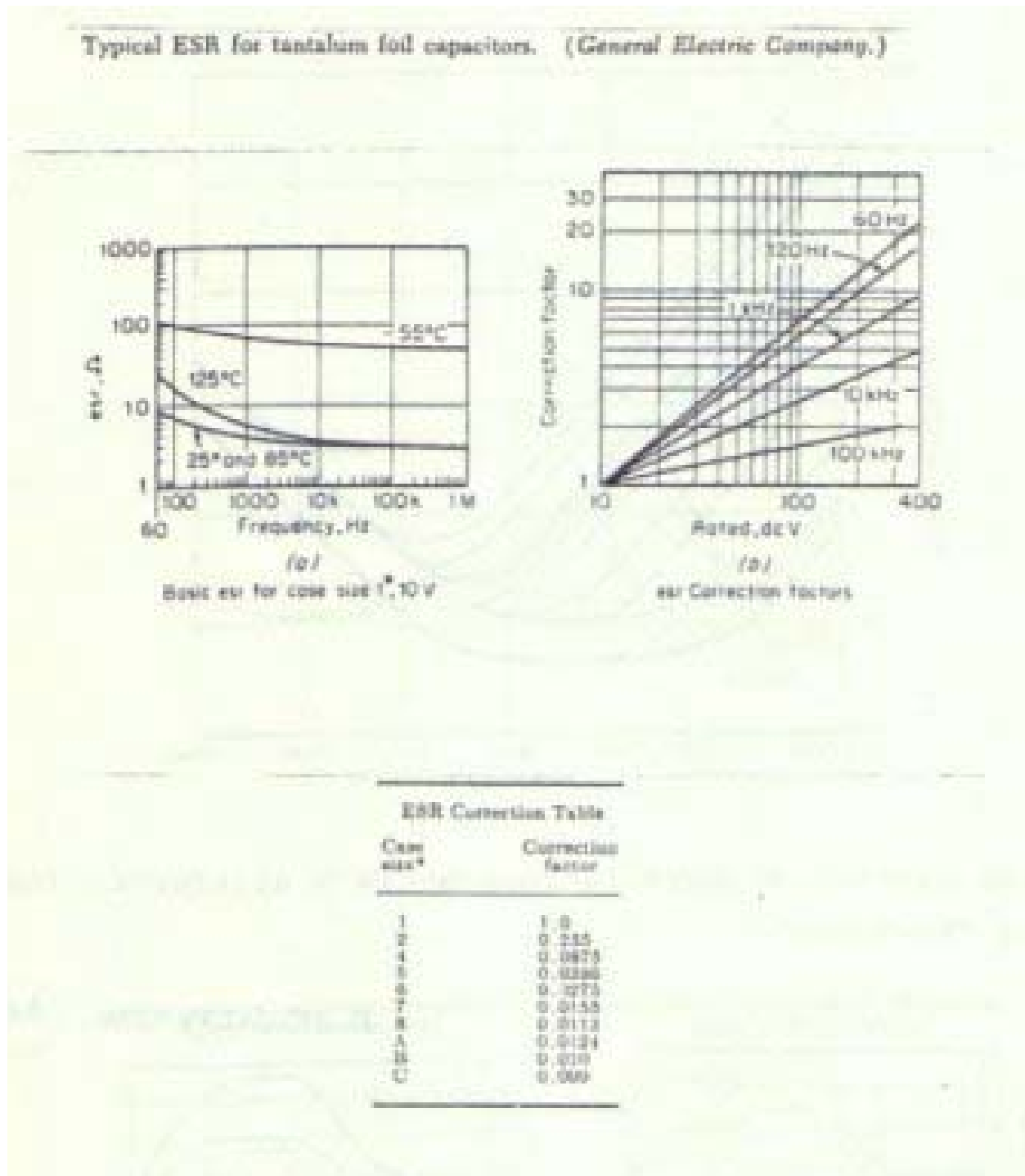


Figura 36

- El valor de ESR expresado en ohmios para encapsulado pequeño a 10V se lee directamente de la curva (a).
- Para obtener el ESR para otras tensiones nominales, multiplicar el valor del paso A por el factor de corrección de la curva (b).
- Para obtener el ESR para otros tamaños de encapsulado, multiplicar el valor por el paso A o B, por un factor de corrección desde la tabla.

Capacitores de tantalio húmedos de ánodo sinterizado

Los electrolíticos húmedos de ánodo sinterizados y los de electrolito sólido son similares en su construcción. El ánodo sinterizado y los de electrolito sólido son similares en su construcción.

El ánodo consiste de polvo de Tantalio alto grado de sinterización alrededor del alambre o configuración de lingote y formados a la tensión requerida.

El ánodo sinterizado es impregnado con ácido sulfúrico o litio clorado líquido y encapsulado en un sólido de plata o cápsula plateada con un sellado hermético con un elastómero.

Nuevo capacitor de tantalio de ánodo sinterizado húmedo se fija mecánicamente dentro de la carcasa para que tenga resistencia a las vibraciones.

Además del elastómero se coloca fibra de vidrio para garantizar que no se produzcan fugas del electrolito.

Algunos tipos comerciales llevan el elastómero y un sellado con epoxi.

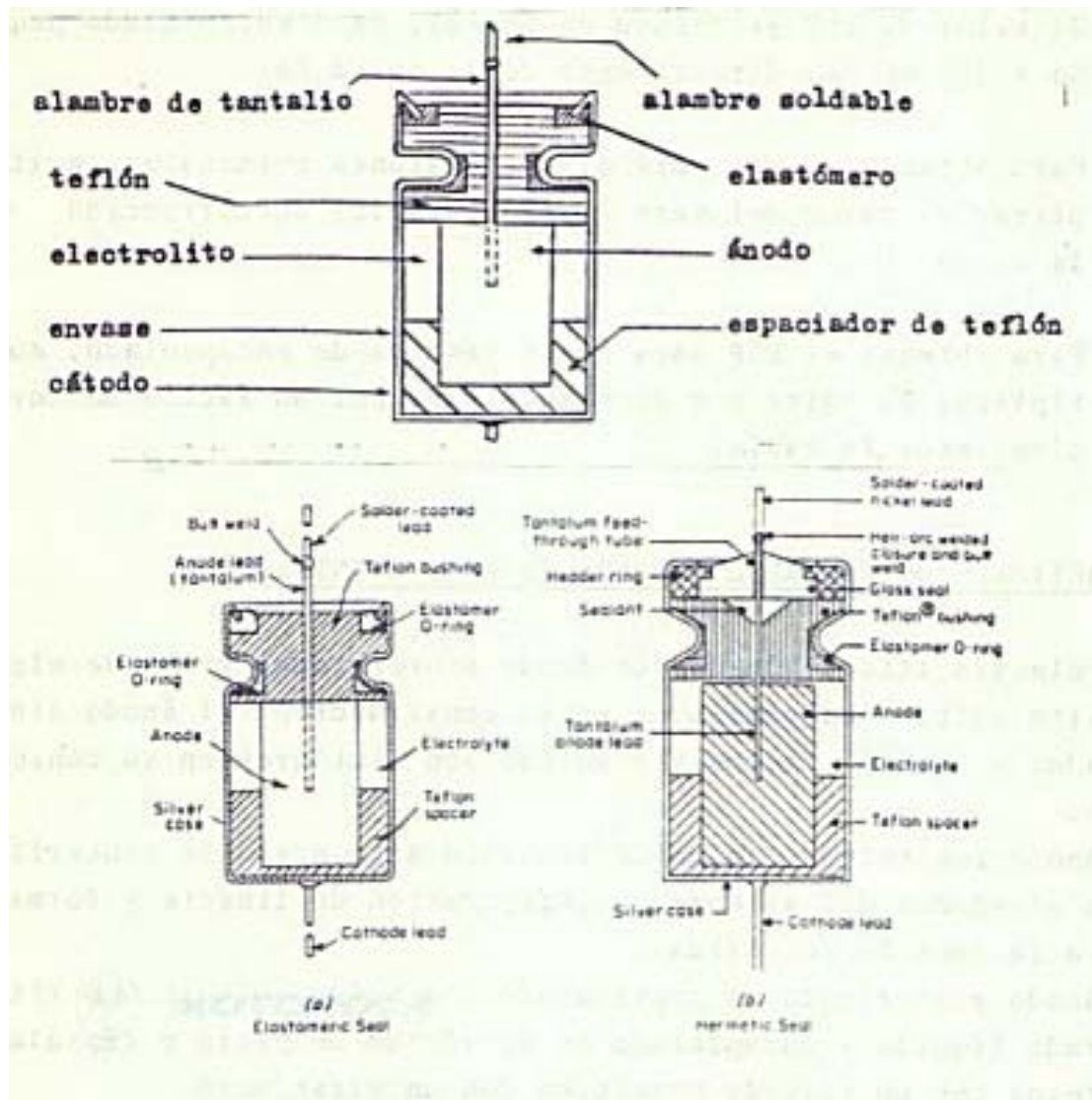


Figura 37

Las figuras anteriores muestran las construcciones típicas de los capacitores de tantalio húmedos con ánodo sinterizados.

Cabe señalar que los de carcasa de tantalio, tienen más aptitud para soportar el riple, pero también su costo es mayor.

Estos capacitores no admiten polarización inversa de tensión continua y en alterna deben operar en la conexión de dos espaldas a espaldas (back to back) o de lo contrario con adecuada polarización de continua.

La figura siguiente da las condiciones límites de riple.

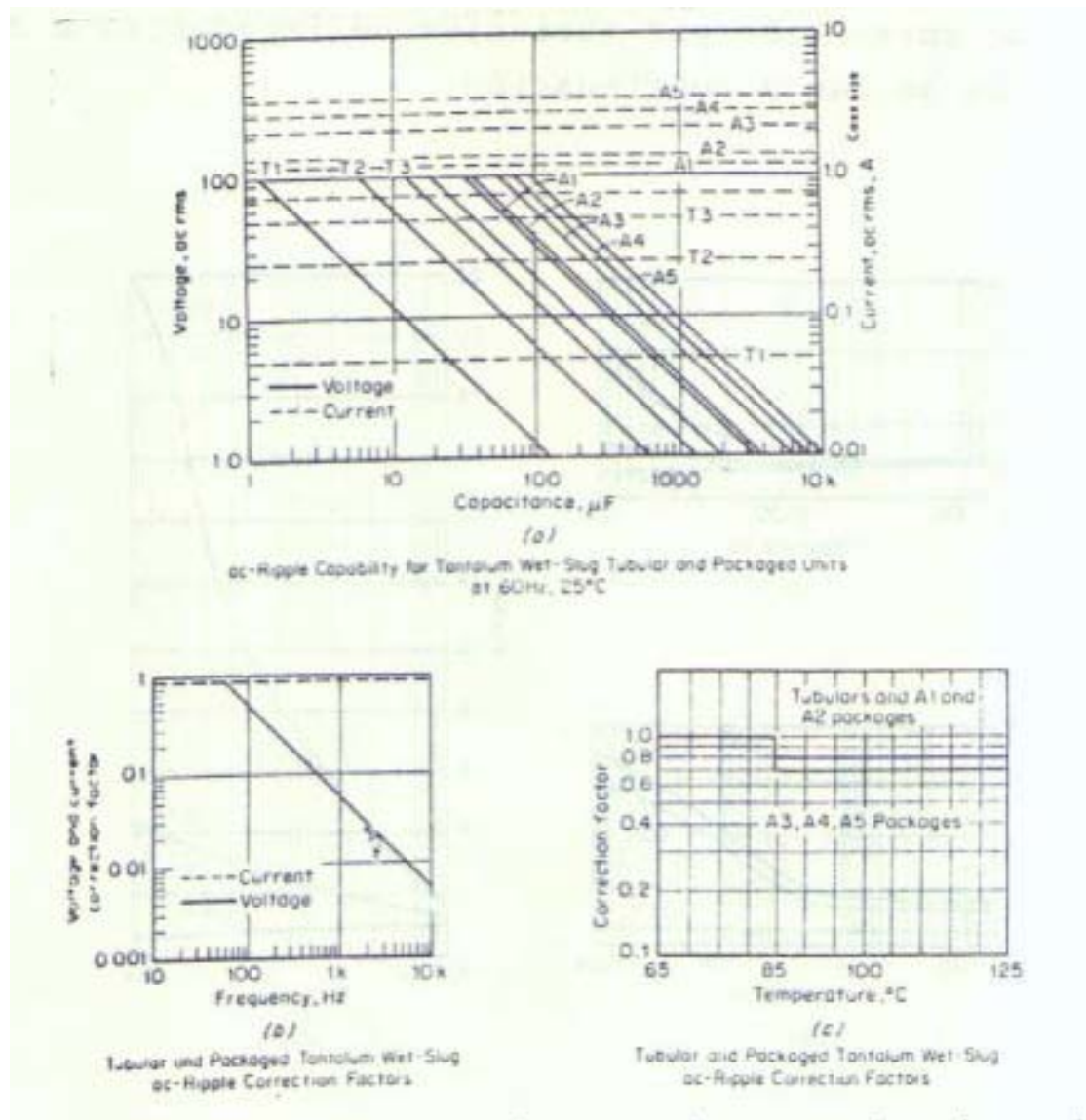


Figura 38

La falla común para este tipo de capacitor es la migración de planta o compuesto de plata junto al encapsulado con el consecuente cortocircuito del ánodo. Esta falla se reduce enormemente con un controlado proceso de fabricación y un adecuado uso en los circuitos con riple.

La figura siguiente muestra la variación típica de la impedancia con la frecuencia.

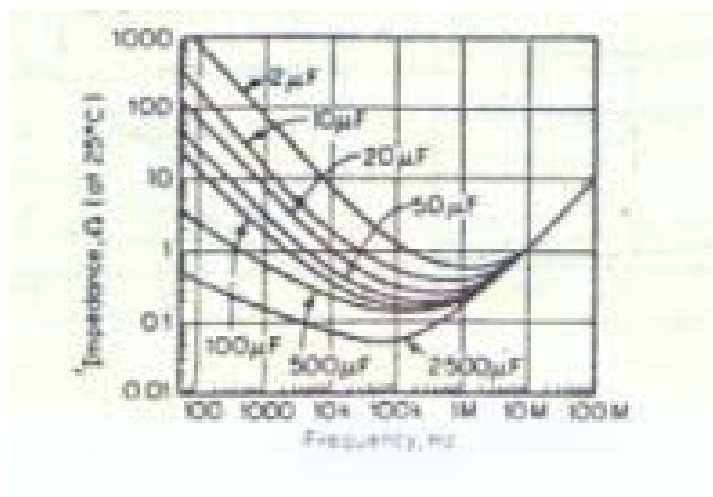


Figura 39

Los factores de corrección por variación de impedancia a diferentes temperaturas se dan a continuación.

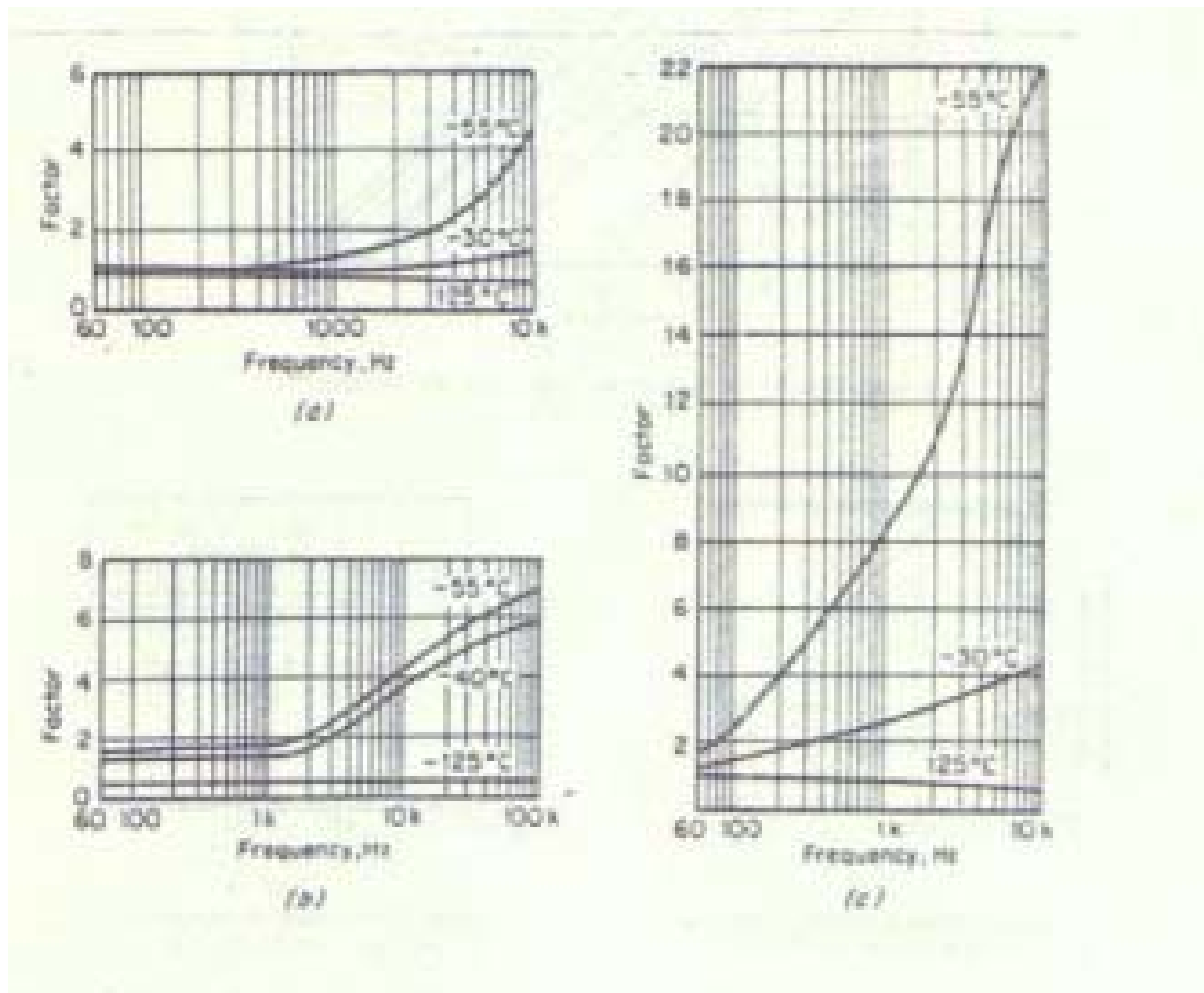


Figura 40

Las variaciones del ESR para diferentes encapsulados, temperaturas, frecuencias y tensiones.

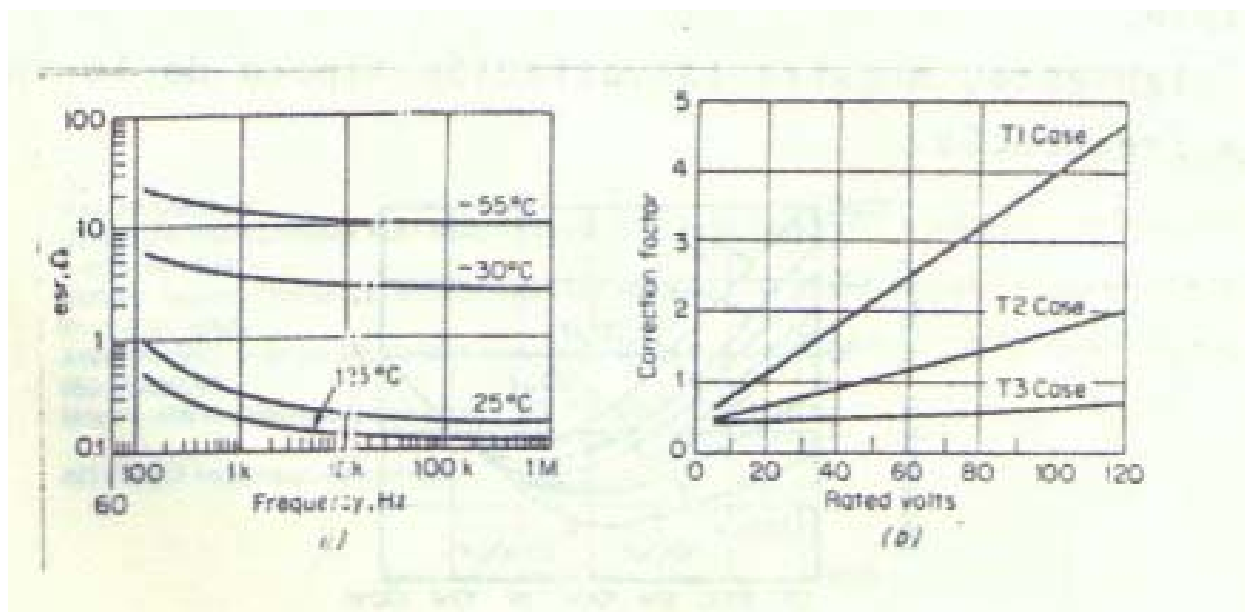


Figura 41

Capacitores de tantalio sólido de ánodo sinterizado

Es un capacitor miniatura de desarrollo tecnológico superior al anterior. Son de muy larga vida de duración. La degradación de la capacidad con los años y los problemas de corrosión son virtualmente eliminados.

La figura siguiente muestra que la construcción

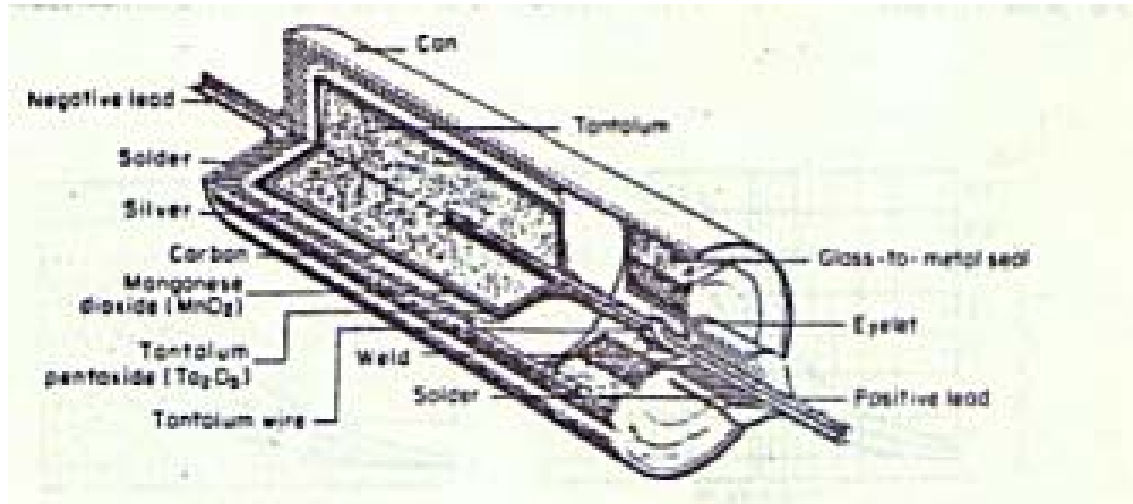


Figura 42

Emplea un sólido semiconductor como el dióxido de manganeso o peróxido para conducir la corriente desde la película de dieléctrico (Ta_2O_5) al cátodo que es la carcasa. La barra es formada a la tensión requerida y formando una región de pentóxido de Tantalio (Ta_2O_5) como se muestra a continuación.



Figura 43

El ánodo normalmente cubierto con una hoja de carbón y luego plateada con plata o platino-plata para aumentar el contacto con la estructura del cátodo.

La estructura del cátodo consiste en muchas cavidades donde se suelda la barra.

Curvas típicas del Factor de Disipación en función de la temperatura se muestran.

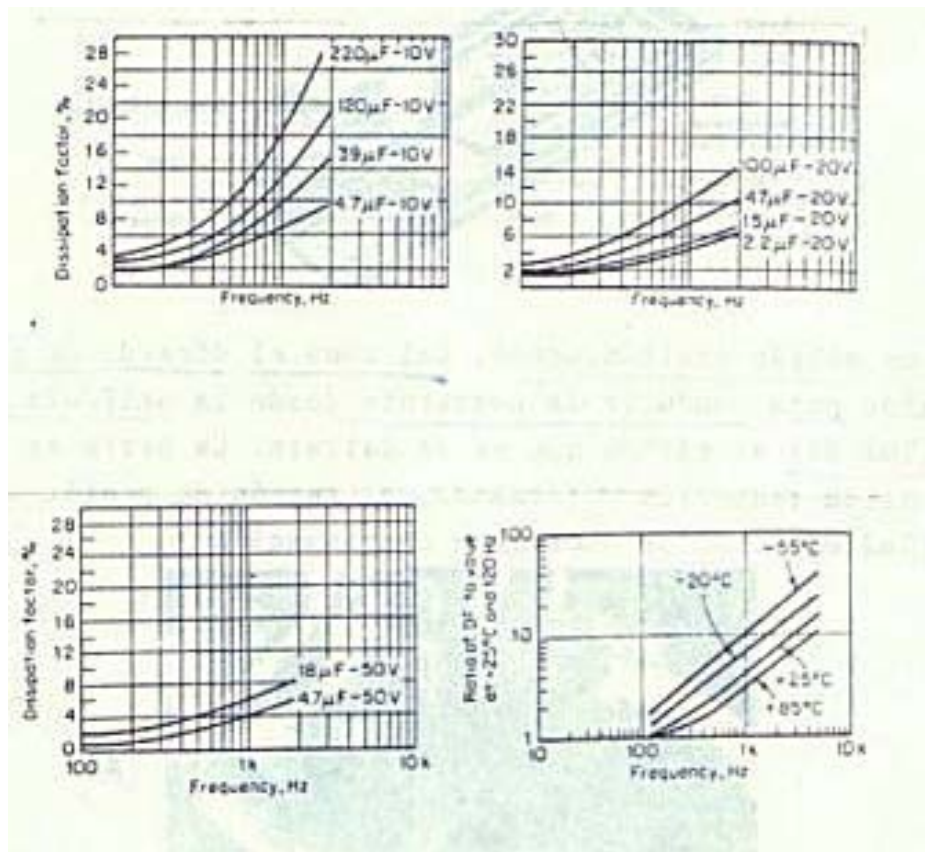


Figura 44

Las curvas típicas de variación de la capacidad con la frecuencia.

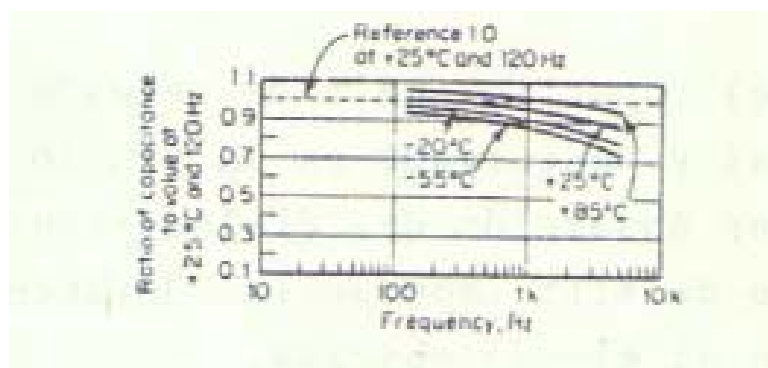


Figura 45

La variación de la resistencia equivalente serie con la frecuencia.

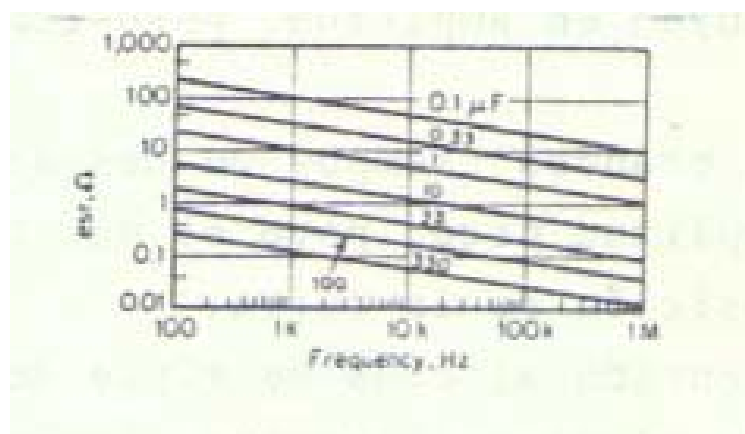


Figura 46

El Factor de corriente de fuga cuya variación es debido a la tensión aplicada y a distintas temperaturas.

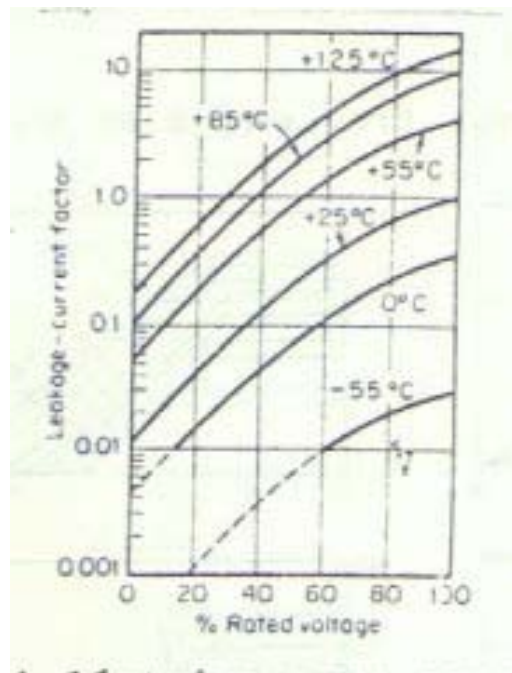


Figura 47

La absorción del dieléctrico para capacitores sólidos de Tantalio de ánodo sinterizado a 25°C.

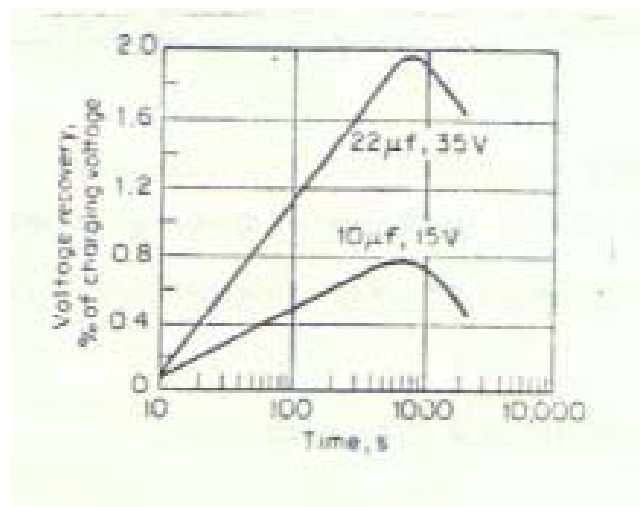


Figura 48

Para dar estas curvas, el capacitor ha sido cargado durante una hora a la tensión nominal y descargado en un minuto.

La tensión recuperada por absorción del dieléctrico ha sido medida con un electrómetro de alta impedancia, durante el intervalo de tiempo indicado en el eje de abscisa.

El incremento de la temperatura ambiente desplaza a las curvas hacia la izquierda, disminuyen en amplitud pero conservan la forma.

Breves tiempos de carga, grandes tiempos de descarga, resultan una disminución de la amplitud pico pero es muy pequeña la variación de la forma y la posición de la curva.

Las limitaciones de la tensión alterna de ripple de los sólidos de tantalio en aplicación de alterna solamente son, generalmente, un 15% de la tensión nominal a 25°C.

Las tensiones de ripple deben disminuirse por factores de 0,7 a 50°C, 0,5 a 85°C y 0,3 a 125°C.

El decrecimiento de tensión por frecuencia se muestra a continuación.

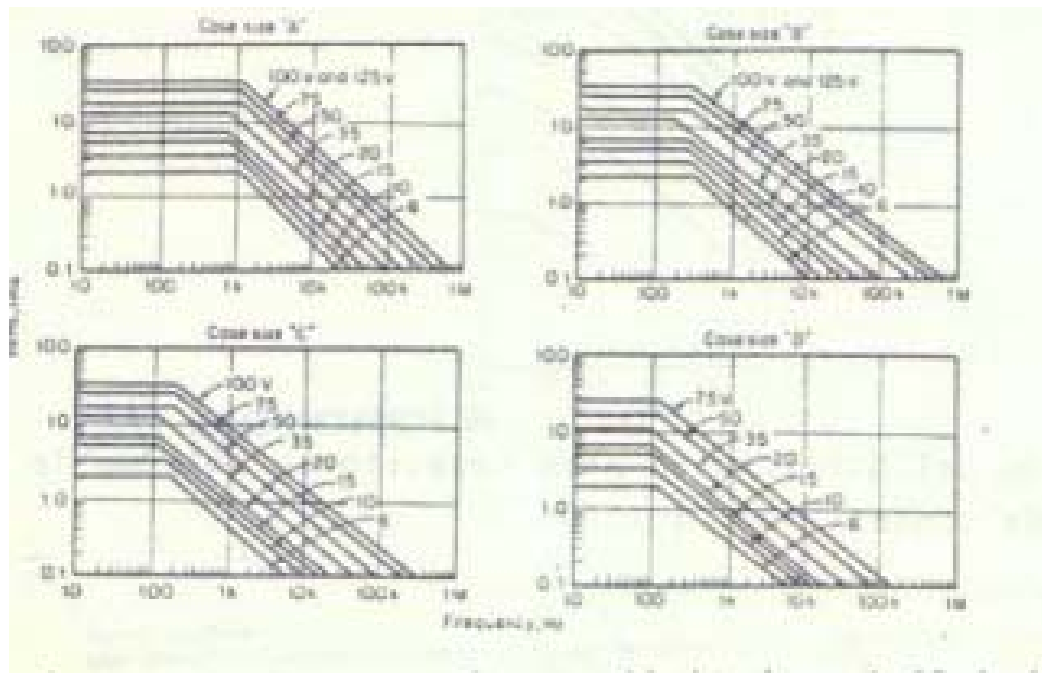


Figura 49

La tensión inversa está, generalmente, limitada al 15% del valor nominal de continua a 25°C; 10% a 55°C; 5% a 85°C y 1% a 125°C. La impedancia varía con la temperatura desde un factor de 1,1 a -55°C a 0,95 a 85°C.

Variación típica con la frecuencia se muestra.

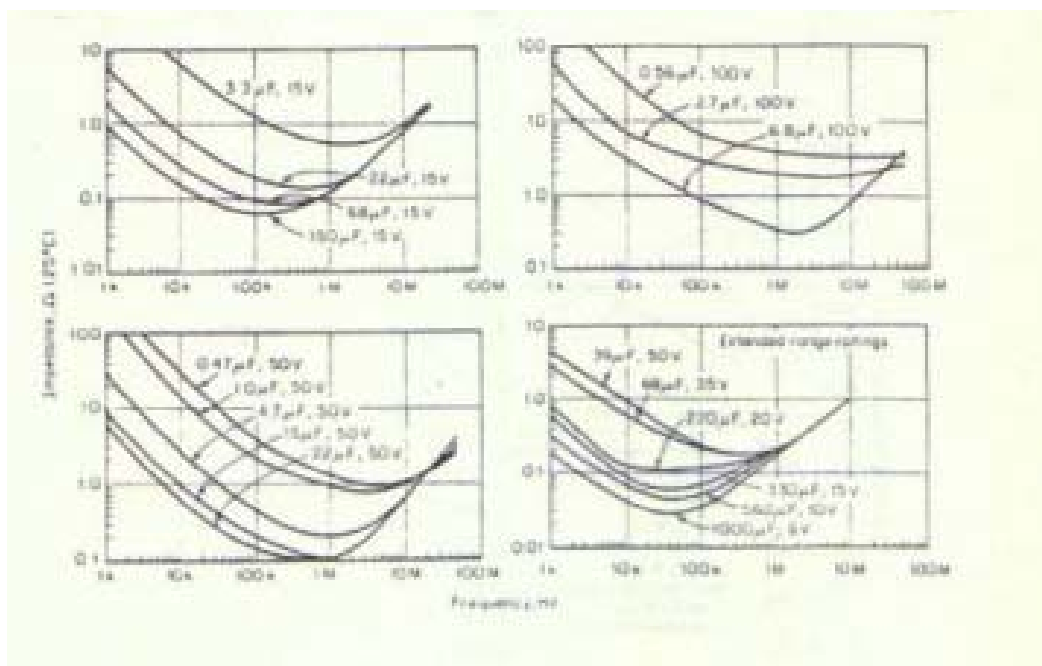


Figura 50

El decrecimiento de la tensión nominal de los capacitores sólidos de tantalio: pueden operar continuamente cualquier tensión desde cero a su valor nominal y a máxima temperatura.

Trabajando a tensiones menores a la nominal, mejora la confiabilidad. Como consecuencia de esto no se degradan las características del dieléctrico si, después de un prolongado tiempo de uso en estas condiciones, se retorna al trabajo de su tensión nominal.

Como regla general, para disminuir la probabilidad de falla y aumentar más de tres veces su vida útil, conviene usarlo a la mitad de su tensión nominal a este tipo de capacitor.

A continuación se da un nomograma para obtener el factor de confiabilidad en diversas tensiones y temperaturas.

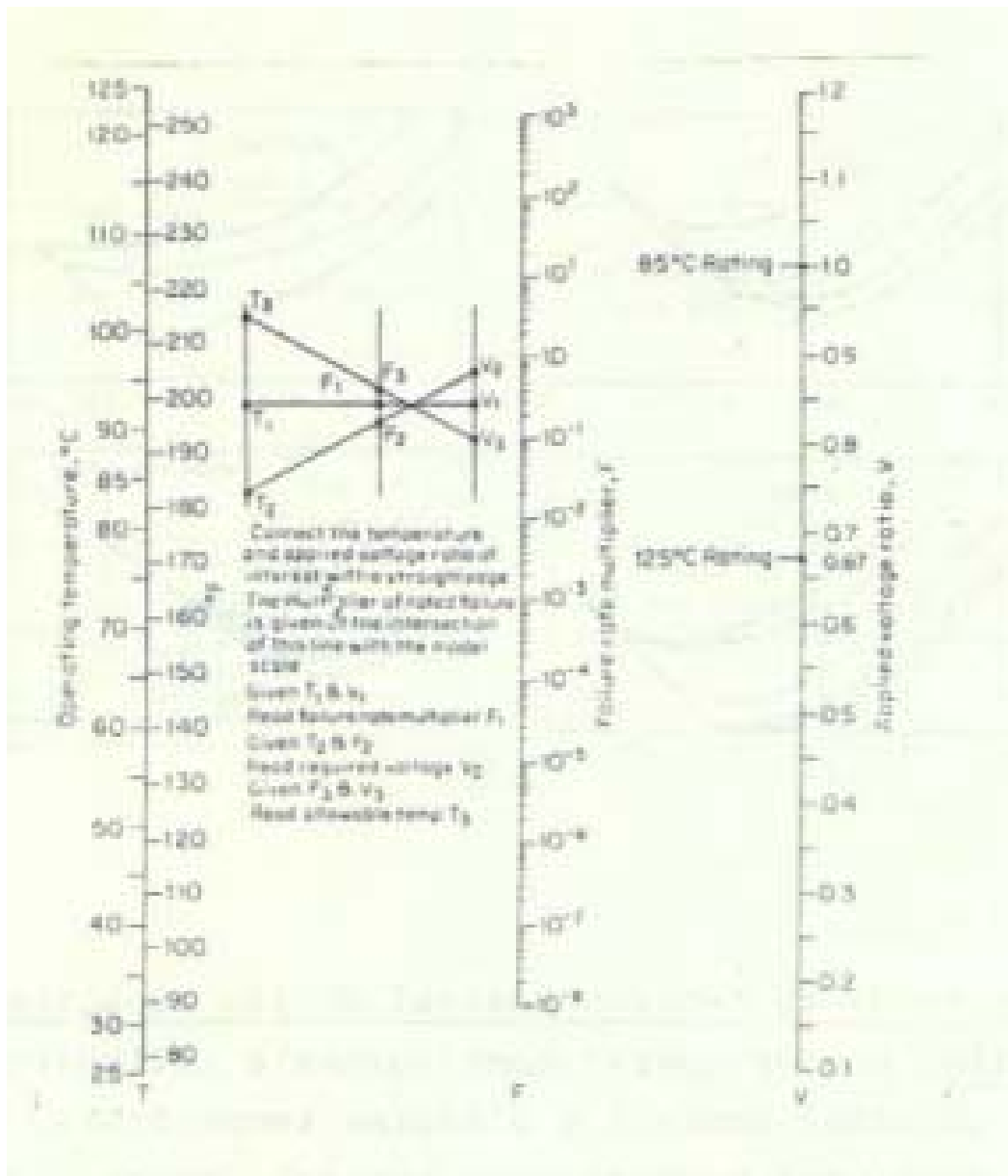


Figura 51

Transitorios de alta corriente en sólidos de tantalio:

Algunas aplicaciones producen transitorios de altas corrientes que las mediciones estáticas con instrumentos no alcanzan a predecir el comportamiento bajo estas condiciones.

Los transitorios altos ocurren por cambios abruptos de la tensión entre bornes.

El electrodo positivo del capacitor sólido de Ta consiste solamente del metal Ta y no presenta ningún factor de complicación. Peor el electrodo negativo es un material de una estructura compleja y heterogénea, esto permite razonar que existen puntos resistivos distintos y una gran carga y descarga del capacitor, genera puntos o manchas calientes (hot spots), por encima de la temperatura ambiente. Como normalmente el dieléctrico Ta₂O₅ es amorfo, puede cristalizar por estas altas temperaturas, perdiendo la rigidez dieléctrica del proceso de fabricación.

Aplicaciones de sólidos de Tantalio espalda a espalda:

Es un tema que merece un estudio en particular, el conectar back dos capacitores iguales para obtener una de un valor igual a la mitad y no polarizado que es tratado en un libro por Joseph F. Rhodas.

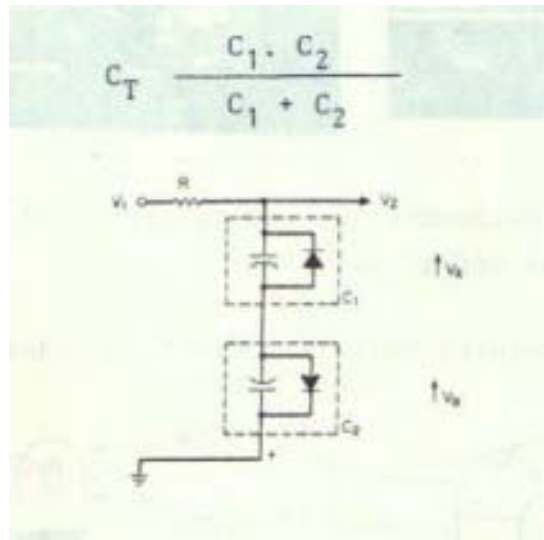


Figura 52

De acuerdo a la figura podemos sintetizar diciendo que V_2 va a depender de la tensión aplicada V_1 y de la historia reciente en el tiempo de dicha tensión porque los capacitores reales tienen una corriente de fuga en polarización directa que es mayor que cero. Y la polarización inversa va a depender la corriente de fuga que circula de la tensión aplicada.

El análisis se comienza por ver a cada capacitor real con un diodo en oposición, ya que es ese el comportamiento de un capacitor polarizado.

Código de colores para capacitores de Tantalio

Los capacitores de tantalio sólido pueden encapsularse en envases cilíndricos, cuadrados o encapsulado con resina epoxy (moldeados con terminales tipo DIP).

Generalmente, en los capacitores viene impreso el valor capacitivo, la tolerancia (mediante una letra según el código ya visto) y la tensión nominal así como el terminal positivo.

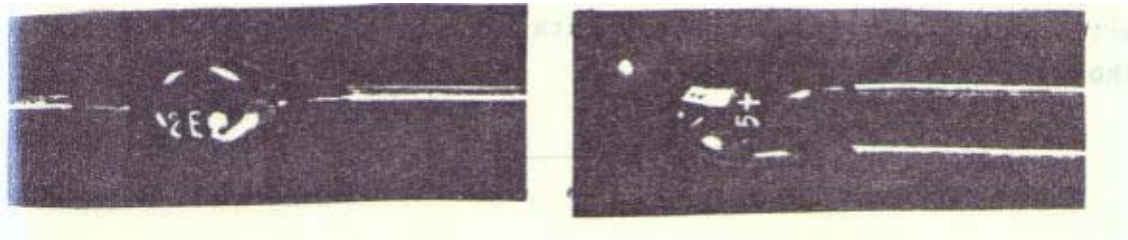


Figura 53

En algunos casos los moldeados con resina epoxy del tipo DIP vienen codificados con un código de color.

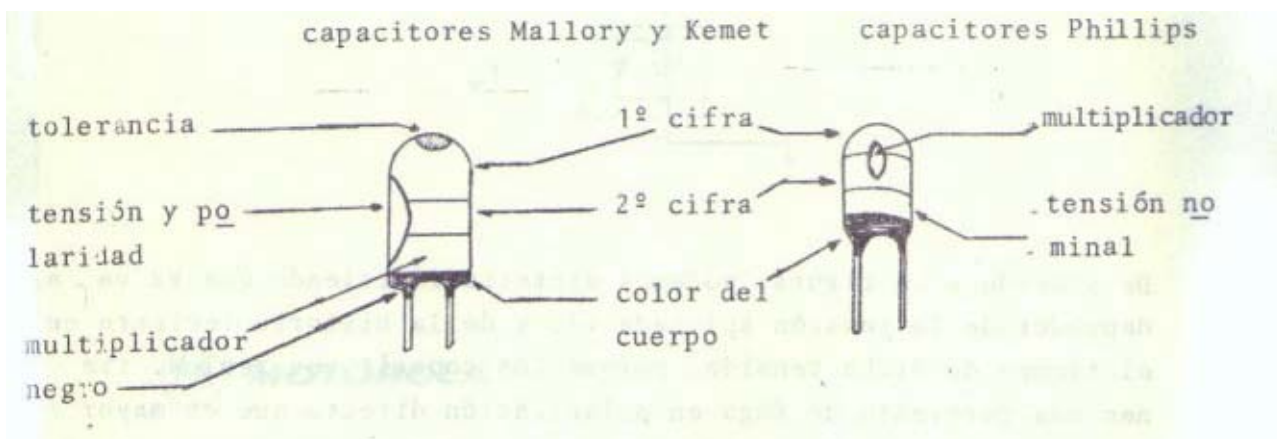


Figura 54

Phillips de los valores en uF y Mallory en pf.

Las tolerancias en los capacitores Mallory son: sin círculo + - 20% círculo plateado +- 10% y círculo dorado +- 5%.

COLOR	MULTIPLICADOR		TENSION NOMINAL	
	MALLORY	PHILLIPS	MALLORY (a 85 °C)	PHILLIPS
negro		1	4	10
marrón	10		6	1,6
rojo	10^2		10	4
naranja	10^3		15	
amarillo	10^4		20	6,3
verde	10^5		25	16
azul	10^6		35	
violeta	10^7	10^{-3}		
gris		10^{-2}		25
blanco		10^{-1}		2,5

Tabla 6

En cuanto a los valores capacitivos disponibles van 0,0047 a 330 uF con tensiones de 6 a 125 Vcc. Las tolerancias varían de +- 5% a +- 20%. El rango de temperatura se extiende de -80°C a +125°C. En algunos casos (Kemet, por ejemplo) se obtienen valores de 1000 MF.

En consecuencia, se tiene que los capacitores de tantalio son los que presentan mayor rendimiento volumétrico pero se obtienen valores no muy altos de capacidad y tensiones relativamente bajas. Otra de las ventajas de los capacitores de tantalio es la no necesidad de reactivar la película de dieléctrico después de un período de almacenamiento, pudiendo ser este de 10 años.

Código de colores para capacitores miniatura de tantalio:

En estos componentes la capacitancia se da en microfarad. Para el primero y segundo anillo se aplica el código normal de colores. El punto polaridad /multiplicador está codificado de la siguiente manera: negro X1; marrón X10; gris X0.01; blanco X0.1. El código de colores para el régimen de tensión es el siguiente: -3V blanco, 6.3V amarillo, 10V negro, 16V verde, 20V azul, 25V gris, 35V rosa. La tolerancia es de +-20%. La polaridad se determina colocando el punto polaridad /multiplicador frente a sus ojos, con los terminales hacia la derecha. El conductor de arriba será el positivo.

CONSIDERACIONES DE POTENCIA EN ALTERNA PARA LA SELECCIÓN DE CAPACITORES

Generalmente se desprecia el efecto producido por las componentes alternas, éstas producen una degradación de las características por efecto térmico.

En los capacitores de película se suministran los productos $R_s \cdot C$ en función de la frecuencia. Así, una onda de cualquier forma puede descomponerse en sus armónicos y la disipación para cada armónico puede calcularse en forma separada y sumada aritméticamente para obtener la disipación de potencia total estimada.

Para los capacitores cerámicos se suministra el Q o su inversa de donde se puede obtener el producto $R_s \cdot C$. La resistencia equivalente serie de los electrolíticos se obtiene de igual forma, pero raramente es necesaria porque especifica la corriente de ripple.

El límite de potencia de disipación es, por supuesto, a la máxima que el capacitor puede tolerar. Esta es una función de la estructura interna y del tamaño del envase, lo cual determina el área disponible para disipar la potencia.

La relación aproximada (suponiendo que hay libre convección de aire) entre el área y el aumento de temperatura por sobre la ambiente es:

$$T_{\text{alcanzada}} = 133 (P / A) ^\circ\text{C}$$

Donde P = disipación en vatios y A = área de la carcasa en pulgadas cuadradas.

Se muestran las curvas características de R_s , C en función de la frecuencia para capacitores de plástico, del Q en función de la frecuencia para los cerámicos y del Factor de disipación en función de la frecuencia para los electrolíticos.

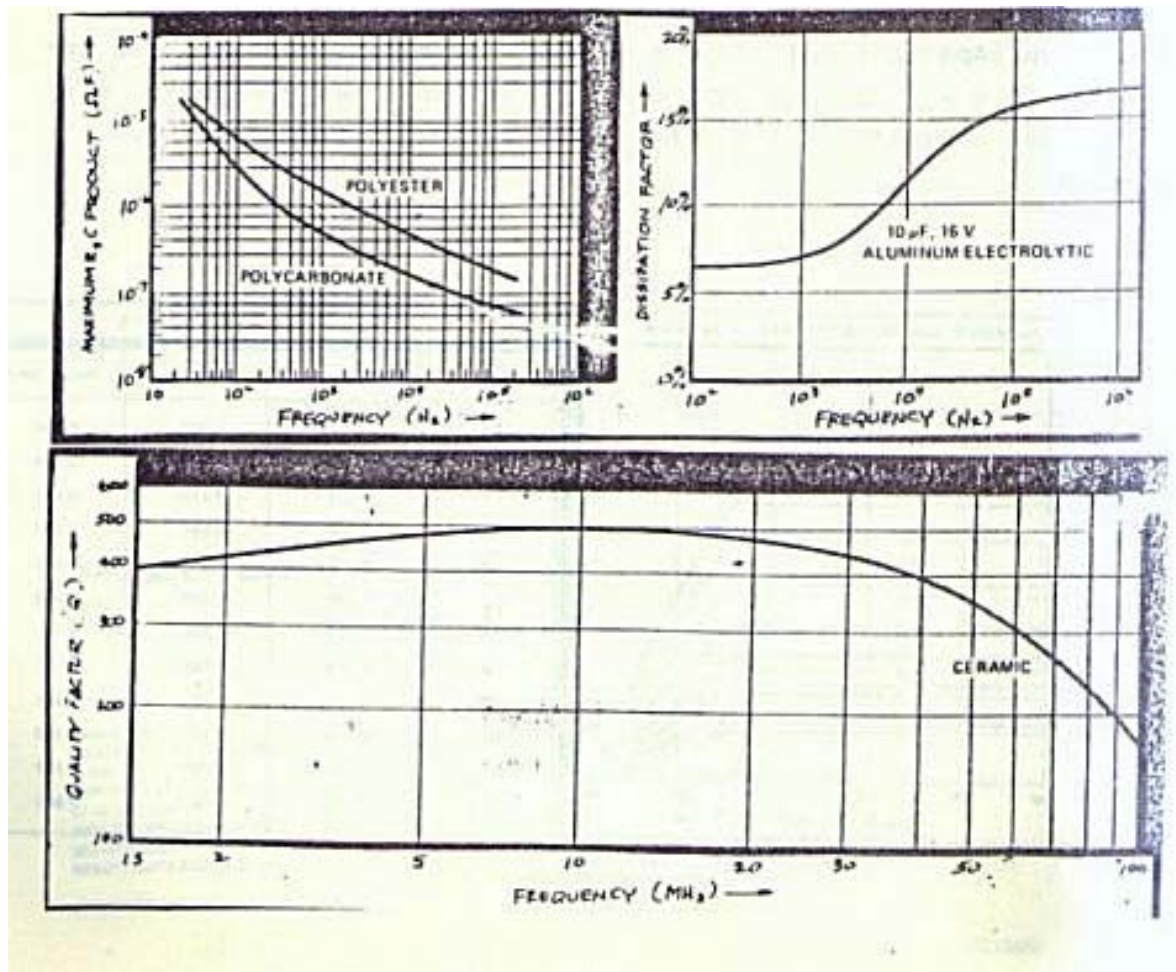


Figura 55

Como ejemplo para el cálculo de la disipación de potencia tomemos por ejemplo a capacitores de policarbonato y poliéster de Mepco/Electra y tomemos las curvas que dan la máxima disipación de potencia en función de la temperatura. Supongamos un capacitor de 0,33 microfaradios que debe manejar una tensión alterna de 180 V a una frecuencia de 1 KHz con una temperatura ambiente de 50°C.

$$P = (I^2)R_s \quad I = V_{ca} \cdot \omega \cdot C \text{ por lo tanto } P = R_s \cdot (V_{ca}^2) \cdot (C^2) \cdot (\omega^2)$$

o también
$$P = (R_s \cdot C) (V_{ca}^2) \cdot (\omega^2) \cdot C$$

Para un KHz la curva de $R_s C = 5 \cdot 10^{-7}$ ohm - faradio. Sustituyendo los valores resulta:

$$P = 0,214 \text{ vatios}$$

Si un capacitor del grupo A de Mepco se elige, aquellos con curvas de 8 a 12 pueden usarse a 50°C debiendo ser el tamaño mínimo del capacitor 0,374 por 0,8666 por 0,571 pulgadas.

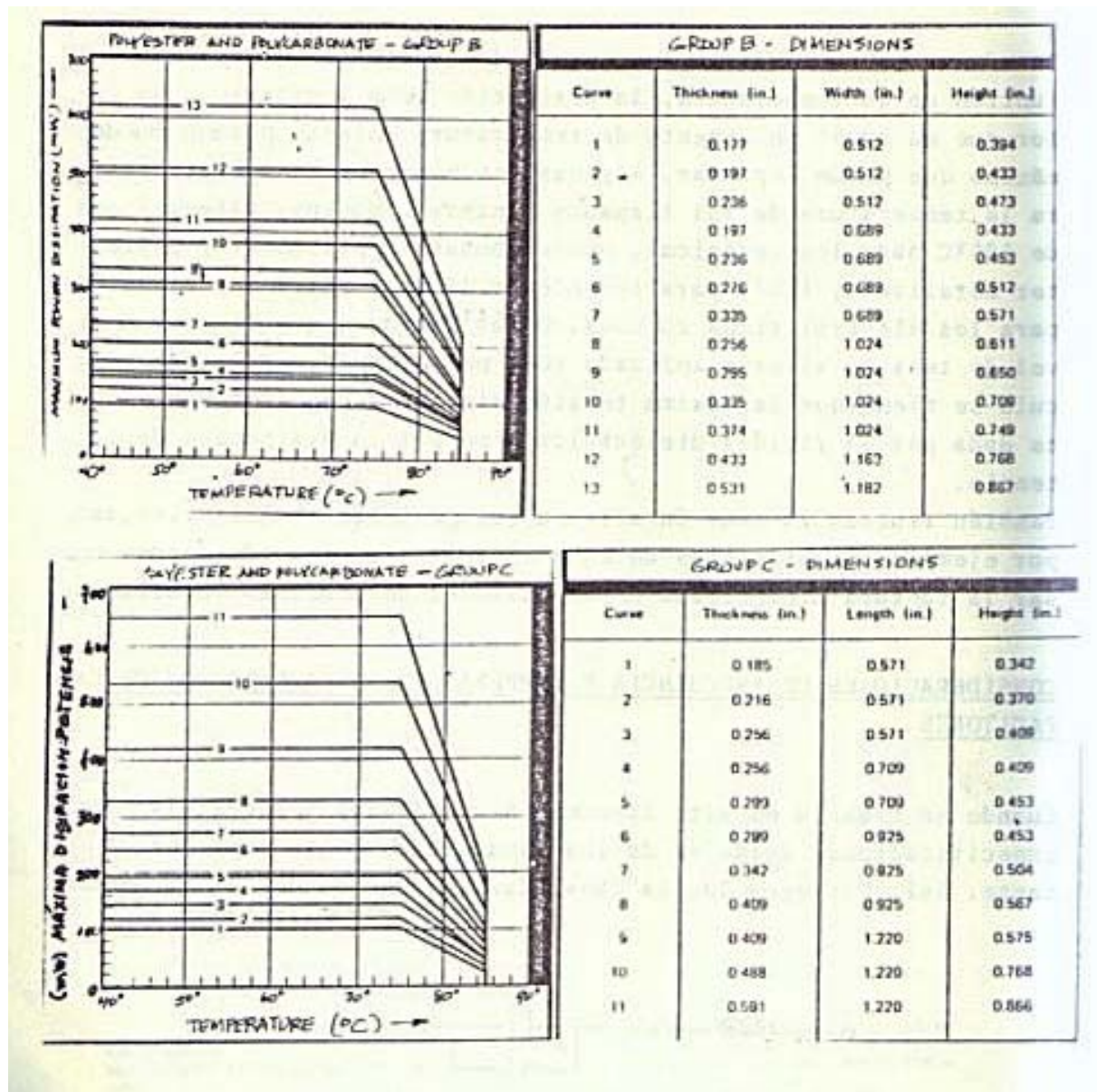


Figura 56

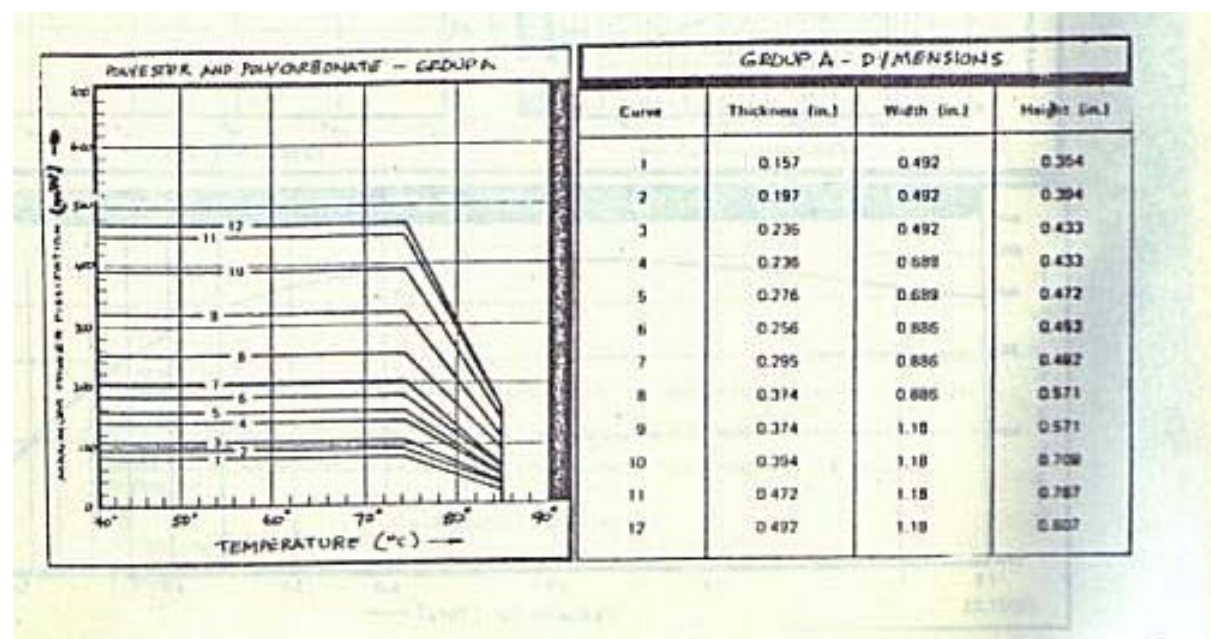


Figura 57

Cuando no se suministran las curvas del factor de disipación en función de la temperatura, la disipación debe limitarse a un valor que no cause un aumento de temperatura interno por encima del máximo que puede soportar. Algunas estimaciones conservativas para la temperatura de los llamados manchas o puntos calientes es de 100°C para los cerámicos, policarbonatos, poliéster y poliéster metalizado; 125°C para los electrolíticos sólidos y de 90°C para los electrolíticos comunes. Otros factores que limitan al nivel de tensión alterna aplicada son, por ejemplo, en los de película se tiene la máxima tensión alterna a una frecuencia que está dada por la rigidez dieléctrica y no por la disipación de potencia.

También limitan la tensión alterna los posibles transitorios, así, por ejemplo, transitorios de 20 a 50 volt / microsegundo pueden causar la ruptura dieléctrica en capacitores de película metalizada.

CONSIDERACIONES DE FRECUENCIA Y TEMPERATURA EN LA ELECCIÓN DE CAPACITORES

Cuando se trabaja en alta frecuencia o con alta temperatura, las especificaciones normales de los capacitores no se mantienen constante. Así, por ejemplo, la capacidad es función de la frecuencia.

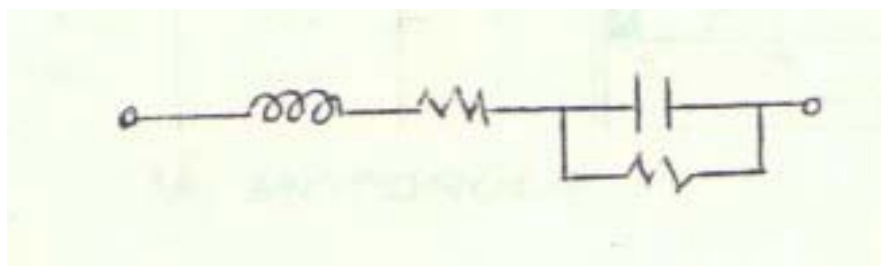


Figura 58

Circuito equivalente en altas frecuencias considerados como parámetros concentrados.

Este es adecuado para los capacitores electrolíticos hasta los 2° MHz, para los de película hasta los 30 MHz y para los cerámicos hasta los 200 MHz. Por encima de estas frecuencias, al capacitor hay que considerarlo como una línea de transmisión con parámetros distribuidos.

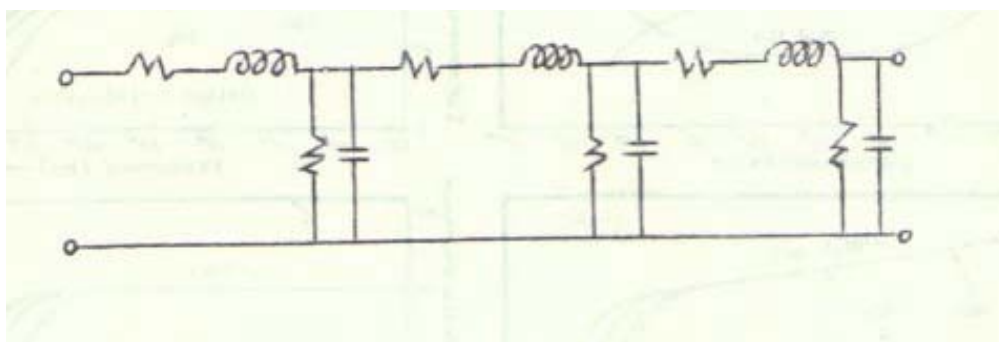


Figura 59

Hay que tener en cuenta que en una línea de transmisión, la velocidad de propagación de la señal a lo largo de la línea es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del material que separa los conductores del capacitor. Por lo tanto, en capacitores con constante dieléctrica alta, la longitud de onda a una frecuencia dada puede ser 100 veces más corta que un capacitor de aire y la frecuencia a la cual los efectos de los parámetros distribuidos se hacen notar puede ser 100 veces más baja que en un capacitor de aire.

La inductancia en serie causa una reducción de la capacidad efectiva al aumentar la frecuencia. Para capacitores cerámicos la disminución de la capacidad es despreciable hasta los 50 MHz. Por encima de ella, la capacidad disminuye gradualmente hasta alcanzar el rango de frecuencia a la cual, debido a las dimensiones del capacitor y a su constante dieléctrica, se manifiestan los efectos de los parámetros distribuidos. Por encima de esta frecuencia, la capacidad cae a cero bruscamente.

Las curvas muestran la variación de la capacidad con la frecuencia para distintos tipos de capacitores.

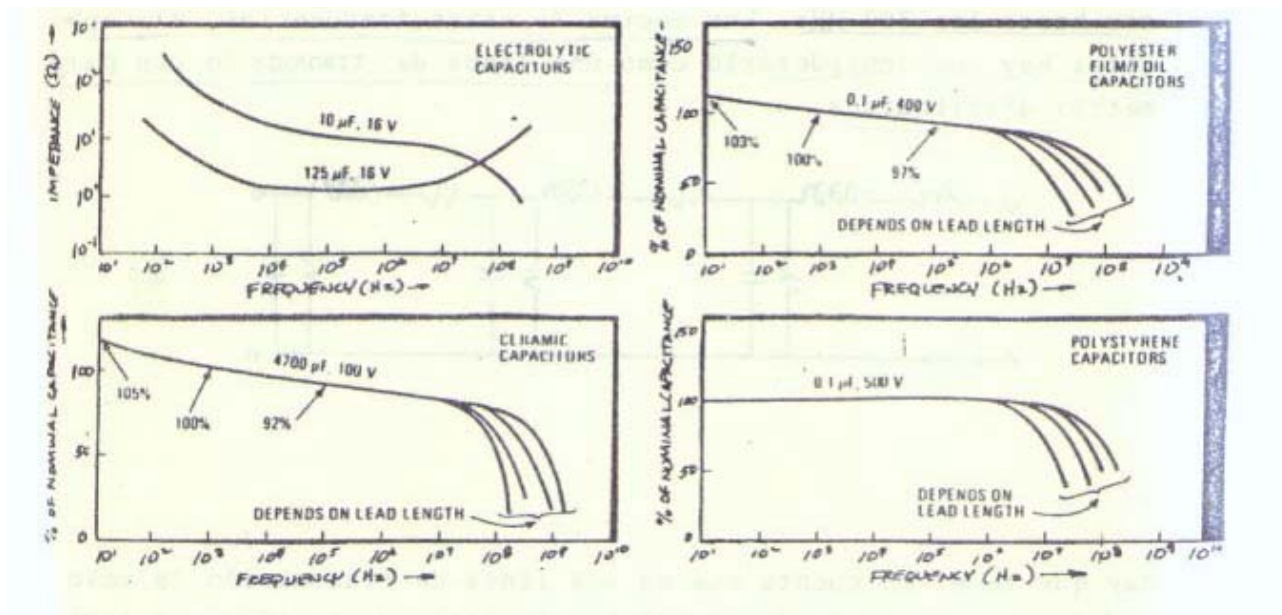


Figura 60

Algunos capacitores, debido a su elevada inductancia, alcanzan la auto resonancia antes de alcanzar las frecuencias a las cuales se manifiestan los parámetros distribuidos.

Otro elemento a tener en cuenta es el efecto de la temperatura sobre la resistencia de aislación y sobre el factor de disipación. Este es la relación de la resistencia equivalente serie a la reactancia equivalente serie a la reactancia capacitiva a una frecuencia y temperatura especificada.

La resistencia de aislación es "a menudo confundida con la resistencia de un capacitor" (R_p). Ambas son iguales sólo en continua.

Para operación en alterna, la resistencia R_p es menor.

La resistencia de aislación es la relación de una tensión continua especificada aplicada al capacitor a la corriente que circula por él a una temperatura especificada. La corriente se mide después de que el capacitor se ha cargado a la tensión de prueba. En los capacitores de película se debe medir la corriente después de 2 minutos.

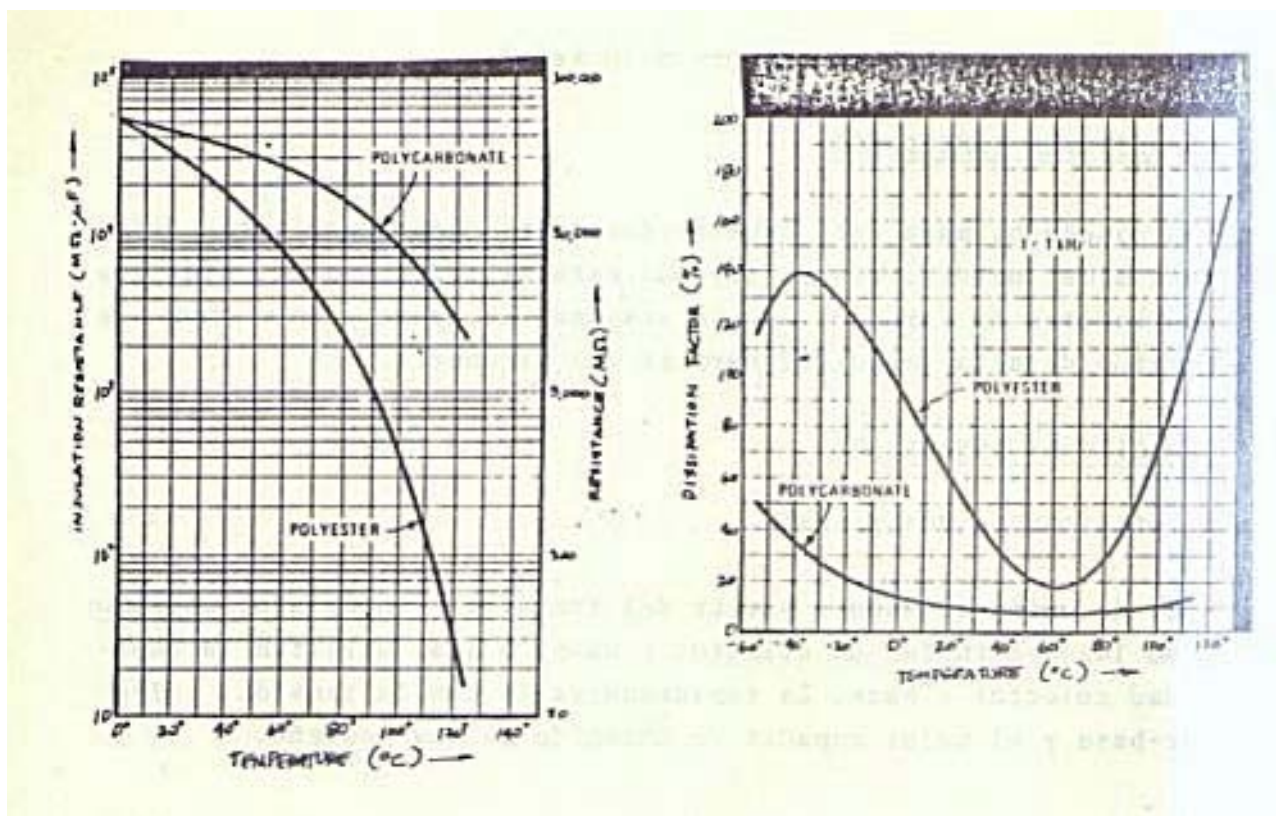


Figura 61

CAPACITORES FIJOS DE PRECISIÓN

Capacitores de aire

Se utilizan como patrones. Los condensadores de aire variables son de uso general y para transmisión. Los patrones de buena calidad poseen una estabilidad de $C = 0,01\%$ durante varios años. Responden a distintas leyes de variación y se obtienen valores hasta 5.000 pF cuadrática o lineal. La inmersión en aceite aumenta la capacidad y la tensión de trabajo de 2 a 5 veces.

Capacitores de vacío y de Gas

Son, generalmente, para elevadas tensiones, utilizándose en transmisores de avión, equipos industriales, etc. Se fabrican hasta 500 pF y con tensiones mayores a 12.000 volt pico.

Los de gas alcanzan los 250KV y los de nitrógeno puro pueden emplearse a presiones superiores a 10 Kg / m².

CAPACITORES ESPECIALES

Son diseñados para usos específicos tales como capacitores diferenciales, desviadores de fase de estator fraccionario, etc. Los desviadores de fase se usan en sistemas de radar y en sistemas de barrido de alta velocidad mayores del giga hertz.

CAPACITORES INTEGRADOS

Se utilizan de dos tipos:

El de unión formado a partir del transistor integrado, utilizando los terminales de colector y base. O sea que utilizan la capacidad colector- base. La capacidad varía con la tensión colector- base y el valor capacitivo obtenido es muy pequeño.

El capacitor de película delgada. Este tipo permite capacidades mayores que el anterior y sin que sea función de la tensión aplicada, pero su construcción es más costosa y necesita mayor superficie de sustrato.

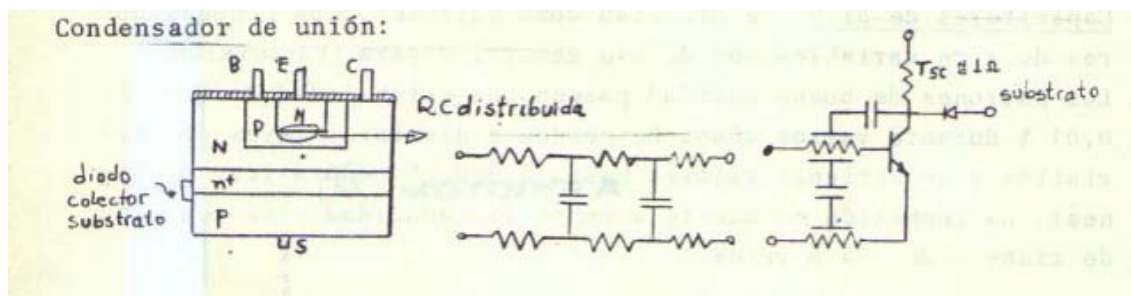


Figura 62

La región n⁺ es para disminuir la r_{sc} siendo una región muy dopada por el agregado de Arsénico. Un circuito más simplificado es:

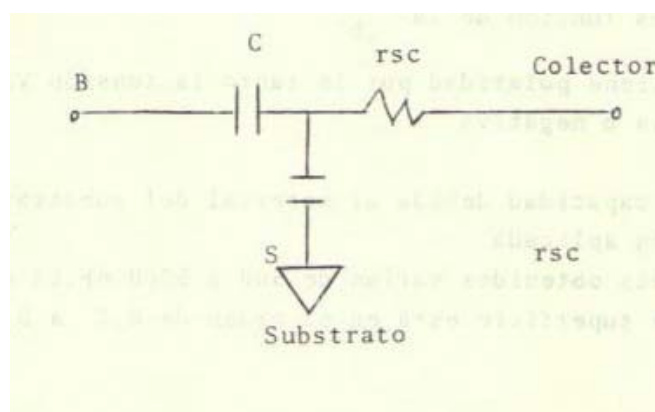


Figura 63

Capacitor de película. Se logra difundiendo una región n y luego una n+. Para el n+ se aplica una capa delgada de material dieléctrico (SiO_2). Finalmente se aplica una película delgada de Al que actúa como segunda armadura del capacitor.

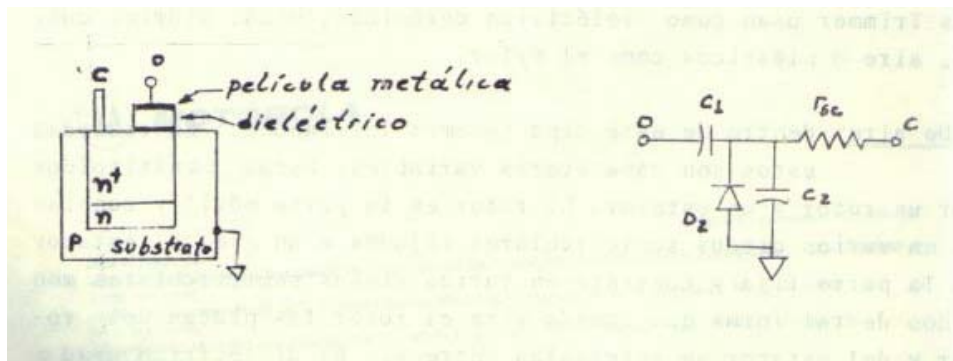


Figura 64

Este tipo de capacitor tiene 2 ventajas principales:

1. C_1 es fijo y no es función de la C_{cb} .
2. El capacitor no tiene polaridad por lo tanto la versión V_{co} puede ser positiva o negativa.

La capacidad C_2 es la capacidad debida al material del sustrato y varía con la tensión aplicada.

Los valores capacitivos obtenidos varían de 500 a 5000 pF. La capacidad por unidad de superficie está en el orden de 0,2 a 0,5 pF /mil².

CAPACITORES AJUSTABLES: LOS TRIMMER

Los trimmer son capacitores ajustables utilizados especialmente para sintonía de circuitos. Se los encuentra en diversas formas y tamaños.

Existen tres formas de variar la capacidad: cambiando de dieléctrico, variando la superficie de las placas o variando la distancia entre ellas. La primera posibilidad no resulta práctica.

Los Trimmer usan como dieléctrico cerámicas, mica, vidrio, cuarzo, aire o plásticos como el Mylar.

De aire

Dentro de este tipo tenemos los Tandem. En realidad éstos son capacitores variables. Están constituidos por un rotor y un estator. El rotor es la parte móvil y consiste en varios discos semicirculares fijados a un eje. El estator es la parte fija y consiste en varios discos semicirculares montados de tal forma que cuando gira el rotor las placas del mismo y del estator se intercalan entre sí. El dieléctrico usado es, por supuesto, el aire y debido a su constante dieléctrica- 1,00- es de gran tamaño. Exhibe, además, la mejor característica, capacidad- temperatura, debido a su relativo valor constante de K en un amplio rango de temperatura.

El valor que caracteriza a estos trimmer es la máxima capacidad obtenible cuando el rotor está totalmente cerrado. En los tandem este valor va de 250 a 500 pF.

En los trimmer de aires va de 2 a 150 pF con coeficientes térmicos de 30+- 150 ppm/°C y con Q mayores a 2.000 a 150 MHz.

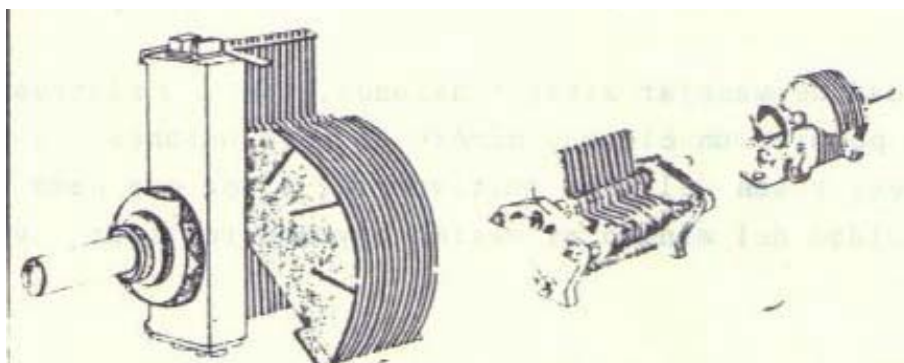


Figura 65

Trimmer cerámicos

Constan de tres partes: el rotor, el estator y el dieléctrico.

El rotor consiste en un semicírculo metálico unido a un eje. El estator consiste en una lámina metálica sobre el cual se deposita una cerámica clase I de bajas pérdidas. Para asegurar buena estabilidad eléctrica los tres elementos deben estar en contacto estrecho. Poseen coeficiente térmica predecible, baja inductancia y bajo costo. El rango de capacidad máxima obtenible va de 1 a 40 pF.



Figura 66

Trimmer de vidrio

Consiste de un cilindro hueco con su cara externa recubierta con un material conductor. O sea que este cilindro es equivalente al estator en los anteriores Trimmers. El rotor equivalente es un pistón, el cual se introduce en el cilindro. Este cilindro es de vidrio. Al variar la posición del pistón en el interior del cilindro se varía la capacidad. Presenta un rango de variación de capacidad muy pequeño por lo cual sólo se usan donde se necesita un ajuste muy preciso.

Posee capacidad de manejar altas tensiones relativamente grandes pero permite un elevado número de revoluciones (hasta 10.000 ajustes) y son del tipo multivuelta, o sea que para variar la capacidad del mínimo al máximo hay que realizar varias vueltas.

Trimmer de plástico

Son similares a los trimmer de aire, o sea, placas semicirculares separadas por un plástico en lugar del aire permiten una menor separación entre las placas por lo cual se obtienen mayores valores capacitivos por unidad de volumen y pueden soportar mayores tensiones.

Trimmer de mica

Este trimmer, a diferencia de los anteriores, produce una variación de la capacidad por variación de la distancia interelectródica. Es, en consecuencia, un trimmer de compresión. Está constituido por una delgada película de mica entre dos placas metálicas de material no ferroso, colocado el conjunto sobre un soporte cerámico. Mediante un tornillo se varía la separación de las placas.

Este trimmer es de bajo costo, tiene buena estabilidad, bajo coeficiente térmico, baja inductancia, bajo factor de disipación y los valores van de 1 a 3000 pF.

Tabla comparativa de los trimmer

{PRIVATE}D ieléctrico	Rango de C (pf)	Q min. a 20Mhz	Tensión (v)	Rango Temp. (°C)	Tempco
aire	1,3 - 6,0 a 9,0-143	1.500 2.000	700 250	-55 a +85 -55 a +185	45+15 ppm/°C ±50ppm/°C
cerámico	1-3 a 7-40	500	100	-55 a +125	a -55°C:-4,5+14% a +125°C:-14+3,4%
vidrio	0,6-1,8 a 1-120	250- 1.500	1.500	-55 a +150	+50 a ±150ppm/°C
plástico	1-5 a 5-1 150	1.500	1.000	-55 a +85	45 ±15ppm/°C
mica	1-15 a 1.400- 3.000	150	500	-30 a +85	+(2,5%+0,5pf) -(2,0%+0,5pf)

Tabla 7

COMPONENTES ACTIVOS QUE TIENEN CAPACIDAD

Componentes activos involucran el uso de semiconductores, como término actual, por supuesto, en el pasado, se incluían a las diferentes válvulas en los circuitos electrónicos.

Diodos

El punto de contacto de dos superficies semiconductoras probablemente es el diodo más básico. Las propiedades eléctricas del diodo son determinadas por la forma y la presión de la unión.

Diodo Gunn

Es un diodo para microondas que usa el efecto bulk (recinto, cavidad) que opera en modo de recinto o espacio de cargas limitadas.

El diodo Gunn está basado en el descubrimiento de que cuando al Arseniuro de Galio se lo excita con una tensión continua, genera frecuencias en el espectro de las microondas sin el uso de contactos ohmicos. Tiene una ventaja con respecto al diodo de avalancha porque requiere menor tensión para operar.

Para generar una oscilación es necesario colocar al diodo en una cavidad de frecuencia adecuada.

La figura siguiente muestra las capas que configuran al diodo Gunn en su fabricación.

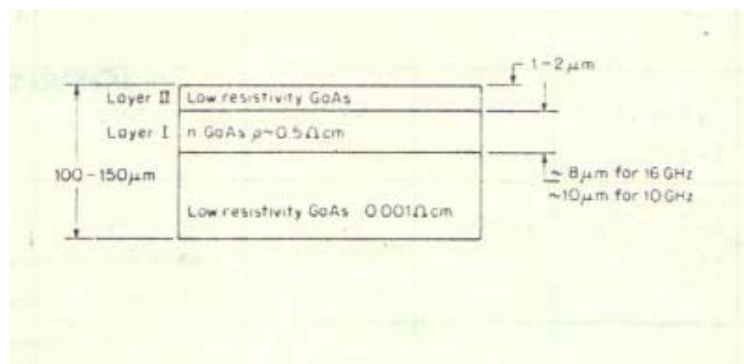


Figura 67

Diodo Pin

Es una clase de diodo usado para el control de dispositivos tales como atenuadores y llaves.

Básicamente, consiste de una región fuertemente dopada P y una región N separada por una región intrínseca. El material base no tiene ningún tipo de dopado.

Cuando se lo polariza en forma inversa no existe corriente y entonces se comporta como un capacitor. En polarización directa actúa como una resistencia ohmica de muy bajo valor.

La polarización en aplicaciones de microondas se logra por la incidencia de energía en ese espectro de frecuencias, o bien por una polarización externa de continua.

La figura siguiente muestra el circuito equivalente de un diodo PIN.

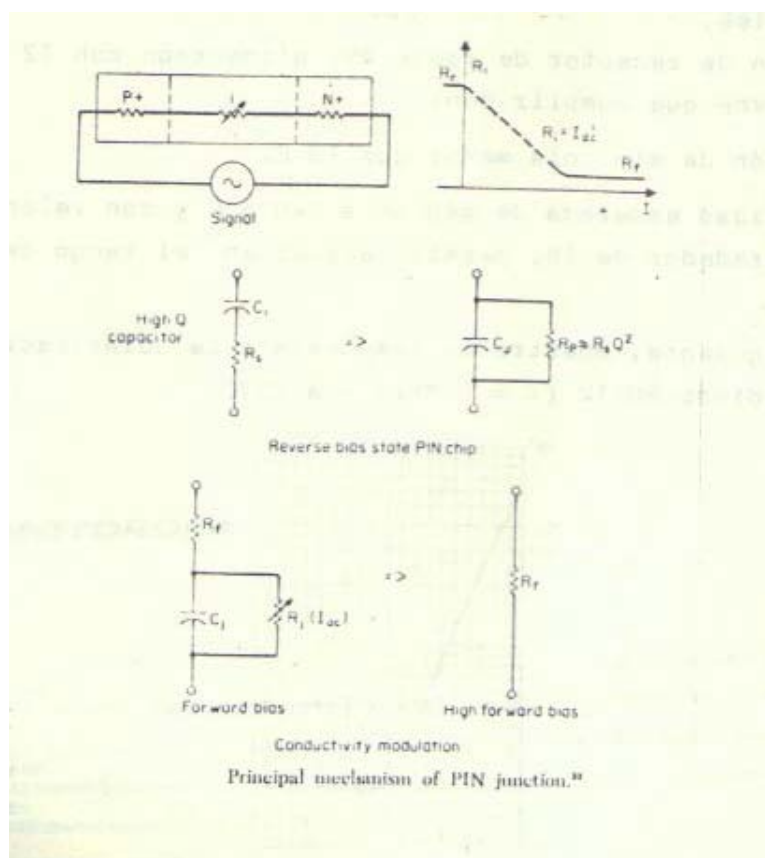


Figura 68

Diodo sintonizador varactor

El sintonizador varactor es un dispositivo útil para las aplicaciones de oscilaciones por cuanto puede cambiar la capacidad de una cavidad de microondas.

En las regiones de bajas y medias frecuencias de RF está el diodo de capacidad variable que se trata a continuación.

Diodo de capacidad variable (Varicap)

En esencia, es la misma función que el Varactor. Se polariza en forma inversa, nunca en forma directa y, en lugar de actuar en el orden de las microondas, lo hace en media y bajas frecuencias de Rf, 510 KHz a 1610 KHz y 150 KHz a 300 KHz, respectivamente.

A título de ejemplo, se toma el BB 112 de Siemens con un rango de alimentación de 1 a 9 V de polarización inversa, que lo hace adecuado para equipos portátiles.

En la aplicación de receptor de radio AM, alimentado con 12 V o un poco menos, donde tiene que cumplir con:

- Máxima tensión de sintonía menor que 10 V.
- Máxima capacidad esperada de 440 pF a 540 pF y con relación máxima /mínima de alrededor 18, permite actuar en el rango de frecuencias requeridas.
- La figura siguiente, muestra la respuesta a la polarización inversa aplicada al diodo BB112 ($f = 1$ MHz) y a 25°C.

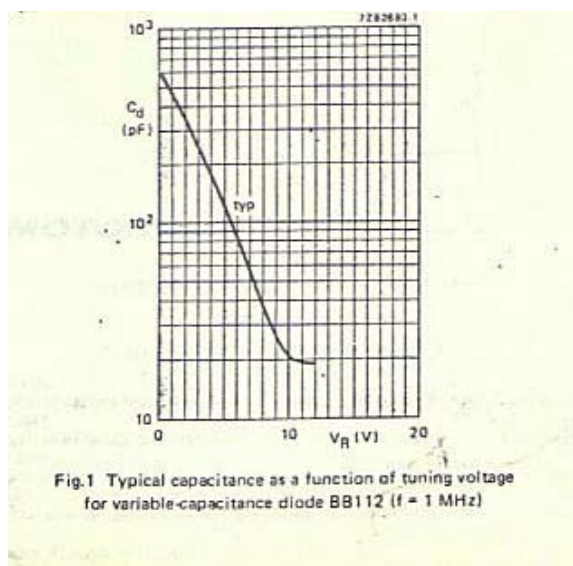


Figura 69

El diodo mencionado ofrece:

- Coeficiente de variación de la capacidad por temperatura 0,05%/ °C.
- Corriente de fuga a máxima tensión de sintonía (tensión inversa/ aplicada) a 12 V es menor que 50 nA a 85°C.
- Resistencia serie es menor que 1,5 ohmios cuando se encuentra sintonizado a 1 V causando un mínimo de pérdida de energía del circuito sintonizado. Requerimientos prácticos se deben tener en cuenta para un normal uso del BB112.
- La tensión de sintonía debe ser estable y de pocas variaciones por temperatura. Requerimiento típico exige + - 0,1% para una estabilidad en la Sintonía + - KHz en la banda media.
- La distorsión no lineal causada por este diodo se ve incrementado por un nivel alto de la señal con baja tensión de sintonía. Se aconseja colocar un control de ganancia para prevenir este efecto.
- También para minimizar la distorsión no lineal y la radiación, el oscilador local debe tener un nivel de alrededor de 150 mV y mantenerlo constante a través del rango de sintonía.
- Las capacidades parásitas, debido a otros componentes, y la conexión en paralelo con el diodo de sintonía deben minimizarse.
- Las tensiones de sintonía deben desacoplarse adecuadamente de las frecuencias en juego.
- El resistor de alisado en serie con la tensión de sintonía aplicada al diodo debe ser correctamente elegida en cuanto a la corriente de fuga y la caída de tensión aceptable.

EFFECTO DE LA RADIACIÓN EN CAPACITORES

Este último tema que se menciona en los Apuntes tiene el objeto de alertar al usuario de capacitores y considerar un estudio en particular para su uso en presencia de ambientes con radiaciones.

Ellos son:

- Radiación de reactores nucleares.
- Radiación de armas nucleares.
- Provenientes de máquinas simuladoras de radiación, tal como el ciclotrón, acelerador lineal, fuentes de rayos X, a generador de neutrones.

Estos factores afectan el componente y, por supuesto, sus características nominales se ven modificadas por la acción de las partículas (protón, neutrón, electrón) o radiaciones electromagnéticas (fotón).

Generalmente, los restos de los productos de la radiación tal como isótopos radioactivos y partículas cargadas, tienen un efecto pequeño o nada sobre los componentes electrónicos.