

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA DE INGENIERIA

8 2
Ejemplos



TESIS CON
FALLA LE ORIGEN

**EL CALENTAMIENTO POR PERDIDAS DIELECTRICAS
Y SUS APLICACIONES.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA

PRESENTA

ALBERTO GONZALEZ PEREZ

GUADALAJARA, JALISCO, 1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
El principio del calentamiento por pérdidas dieléctricas	9
- Exposición teórica	10
- Potencia disipada en un condensador plano	12
- Interés práctico y ventajas del calentamiento por pérdidas dieléctricas	15
CAPITULO II	
Establecimiento de un proyecto de calefacción	18
a) Datos	18
b) Potencia térmica a producir en la carga	19
c) Cálculo de la tensión eficaz U a aplicar en los electrodos	21
d) Condiciones del trabajo del generador de alimentación	23
e) Anexo	27
- Ejemplos de cálculo	30

CAPITULO III

Aplicaciones Industriales	45
- Secado de materiales	45
- Ensamble de elementos distintos	46
- Tratamientos térmicos	47
- Alimentación	54

CAPITULO IV

El Oscilador	56
- Principio	56
- Montajes prácticos	59
- Determinación de los elementos de un oscilador de calentamiento electrónico	63
- Características del Circuito Oscilante de Carga	70
- Adaptación del tubo oscilador al circuito oscilante de carga	73
- Adaptación del circuito oscilante a regímenes de funcionamiento variables	75

CAPITULO V

Rectificadores de corriente alterna	78
- Rectificadores con fanotrones	80
- Rectificadores con thyratrones	82

CAPITULO VI

Realización práctica de un generador
de calentamiento eléctrico

88

- Disposición general

88

- Comando de las operaciones de calentamiento

89

- Seguridad

94

CONCLUSIONES

99

BIBLIOGRAFIA

102

I N T R O D U C C I O N

A continuación se expone un breve estudio sobre el condensador y sobre el campo eléctrico, lo cual considero una buena base para comprender los principios en que se fundamenta el calentamiento por pérdidas dieléctricas.

¿Qué es un condensador? Un condensador es un dispositivo electrónico que consta de dos placas o conductores paralelos y de un dieléctrico colocado entre dichas placas. Al aplicársele voltaje al condensador tendremos un campo eléctrico entre sus placas. Un parámetro muy importante del condensador es su capacitancia. La capacitancia depende de la forma geométrica de las placas, de la relación espacial entre éstas y del dieléctrico. Es una constante de proporcionalidad. Se define matemáticamente de la siguiente manera: Capacitancia=Carga/Voltaje. Es decir: $C=q/v$.

Su unidad es el faradio. Ha recibido este nombre en honor a Michael Faraday, quien desarrolló el concepto de capacitancia. La edad electrónica no podría existir sin los condensadores. Se usan junto con otros aparatos para reducir fluctuaciones de voltaje en fuentes de poder electrónicas para transmitir señales pulsantes, para generar oscilaciones electromagnéticas en radiofrecuencias y para lograr retardos de tiempo.

En la mayoría de estas aplicaciones la diferencia de potencial entre las placas no es constante sino que varía con respecto al tiempo.

Para calcular la capacitancia de un condensador de placas paralelas se hace uso de la ley de Gauss, esta ley establece que el flujo eléctrico que pasa a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga total encerrada por

esa superficie.

Si el campo eléctrico es constante entonces el flujo eléctrico será EA. La ley de Gauss da lo siguiente:

$$\epsilon_0 \Phi_e = \epsilon_0 EA = q$$

en donde: ϵ_0 =constante de permitividad.

Φ_e =flujo eléctrico.

E=campo eléctrico.

A=área de una placa.

q=carga inducida en cualquiera de las placas.

La expresión del voltaje en este caso particular es: $V=Ed$.- En donde d es la distancia entre las placas. Ahora, tomando en cuenta la expresión de la Capacitancia encontrada anteriormente ($C=q/v$) sustituyendo los resultados obtenidos llegamos a la siguiente expresión: $C=(\epsilon_0 A)/d$. Expresión que sólo es válida para condensadores de placas paralelas.

Si se coloca un dieléctrico, es decir, un material no conductor, dentro de un campo eléctrico aparecen cargas superficiales inducidas cuyo efecto es debilitar al campo original y debemos considerar los siguientes hechos:

1 Si se conectan dos condensadores en paralelo a una fuente, uno de ellos sin dieléctrico, el condensador que tenga el dieléctrico almacena más carga.

2 Para una misma carga en dos condensadores con y sin dieléctrico. Una lectura de voltaje en terminales del condensador sin dieléctrico arrojará un valor más alto que una lectura hecha a un condensador con dieléctrico. Se llega a la conclusión de que al introducir un dieléctrico a un condensador se aumenta la capacitancia del mismo en un factor

k =constante dieléctrica. Podemos escribir entonces una expresión para condensadores de placas paralelas con dieléctrico. $C=k(\epsilon_0 A)/d$.

A continuación se dará una breve explicación de lo que ocurre en el dieléctrico en términos atómicos, al aplicársele un campo eléctrico, este hecho es de importancia capital para nuestro estudio y constituye el fundamento del "calentamiento por pérdidas dieléctricas", el cual será explicado en detalle más tarde..

Cuando se aplica voltaje a un condensador o dicho de otro modo, cuando existe un campo eléctrico entre las placas de un condensador en el dieléctrico pueden presentarse dos casos, dependiendo de su naturaleza.

1) En las moléculas de algunos dieléctricos como el agua, existe un momento de dipolo eléctrico permanente. En materiales de esta clase, a los que se les llama polares, los momentos de dipolo eléctrico tienden a alinearse bajo la acción de un campo eléctrico externo, es decir, las moléculas tienden a polarizarse, existe movimiento entre ellas, hay fricción y por lo tanto calor. Debido a que las moléculas están en constante agitación térmica el grado de alineamiento no será completo y aumentará al aumentar el campo eléctrico o al disminuir la temperatura.

2 Los materiales que no son polares pueden adquirir el momento de dipolo eléctrico por inducción cuando se colocan en un campo eléctrico. Un campo eléctrico externo tiende a separar la carga negativa de la positiva en el átomo o en la molécula.

Se puede aplicar nuevamente la ley de Gauss para anali-

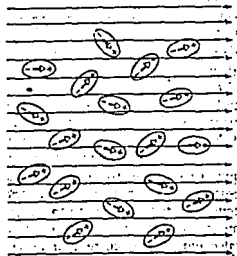
zar el comportamiento de un condensador cuando se le aplica un voltaje en sus terminales. Se aplicará esta ley a un condensador de placas paralelas con un dieléctrico de constante k . Entonces tenemos lo siguiente: $\oint E \cdot ds = e_0 EA = q - q''$, donde e_0 es la constante de permitividad, q es la carga libre en cualquiera de las placas, q'' es la carga inducida en el dieléctrico, ordenando tenemos, $q'' = e_0 A - q / e_0 A$, tomando en cuenta que $E = E_0 / k$, donde E_0 es el campo eléctrico del mismo condensador pero sin dieléctrico, llegamos a: $q'' / k e_0 A = q / e_0 A - q'' / e_0 A$, o sea $q'' = q(1 - 1/k)$.

Esta expresión muestra correctamente que la carga superficial inducida q'' es siempre de menor magnitud que la carga principal q y que es igual a cero si no hay dieléctrico, $k=1$.

La expresión de la ley de Gauss para cualquier tipo de condensador que utilice cualquier dieléctrico de constante k es la siguiente: $e_0 \oint E \cdot ds = q - q'' = \text{carga neta del condensador}$, sustituyendo q'' y haciendo operaciones llegamos a: $k e_0 \oint E \cdot ds = q$. Esta ecuación nos da a conocer la relación que existe entre todas las variables del condensador.



(a)



(b)

(a) Moléculas con un momento de dipolo permanente, mostrando su orientación irregular cuando no hay un campo eléctrico externo. (b) Al aplicar un campo eléctrico se produce un alineamiento parcial de los dipolos. La agitación térmica impide un alineamiento completo.

Un condensador puede almacenar energía. Un condensador cargado tiene almacenada dentro de él una energía potencial eléctrica que es igual al trabajo W que se requiere para cargarlo.

La expresión para la energía almacenada en un condensador de placas paralelas es la siguiente: $W=0.5CV^2$, en donde C es la capacitancia del condensador y V el voltaje aplicado. La energía está expresada en watts.

El Campo eléctrico.

El espacio que rodea a una varilla cargada parece estar afectado por la varilla y a este espacio se le designará con el nombre de campo eléctrico, de la misma forma que hablamos de un campo magnético al espacio que rodea a un imán recto. Antes de Faraday, a la fuerza que existía entre partículas cargadas se le consideraba como una interacción directa e instantánea entre dichas partículas. Este mismo concepto de acción a distancia se aplicaba también a las fuerzas magnéticas y a las gravitacionales. Actualmente se piensa en función de campos de la siguiente manera:

1 Una carga cualquiera produce un campo eléctrico en el espacio que la rodea, dicho campo ejerce una fuerza sobre una carga que se vea afectado por el mismo.

2 El campo juega un papel intermedio en las fuerzas que obran entre las cargas.

Si el único problema en el electromagnetismo fuera el de las fuerzas entre cargas estacionarias los puntos de vista de campo y de acción a distancia serían equivalentes. Pero, supongamos que una de las cargas mencionadas anteriormente se acelera para cualquier lado, ¿que tan pronto se informa la otra carga de que la primera carga se ha movido?. La teoría electromagnética pronostica que la carga número 2, (si así podemos llamarla) tiene conocimiento del movimiento de la carga número 1 por una perturbación del campo que emana ésta última y que avanza con la velocidad de la luz. El punto de vista de acción a distancia requiere que la información relativa a la aceleración de la carga número 1 se comunique instantáneamente a la carga número 2, lo cual no puede ser cierto. Como un buen ejemplo ilustrativo por experiencia se sabe que los electrones acelerados en la antena de un emisor de radio influyen sobre los electrones de una antena receptora distante sólo hasta después de un tiempo l/c donde l es la distancia entre las antenas y c es la velocidad de la luz.

Para hacer una medición del campo eléctrico se procede de la siguiente manera: se coloca un objeto de prueba que tenga una carga cualquiera positiva en el punto del espacio que se va a examinar y medimos la fuerza (si es que acaso la hay) que obra sobre dicho cuerpo. La intensidad de campo eléctrico E en el punto se define así: $E=F/q$, donde F es la fuerza que obra sobre la carga y q es la magnitud de dicha carga. La dirección de E es la dirección de F , esto es, la dirección en la cual tendería a moverse la carga colocada en

dicho punto.

Las líneas de fuerza son una forma muy conveniente de representar los campos eléctricos, no se emplean cuantitativamente. Para hacer uso de las líneas de fuerza se deben tomar en cuenta las siguientes reglas:

-----1 La tangente de una línea de fuerza en un punto cualquiera da la dirección de E en ese punto.

2 Las líneas de fuerza se dibujan de modo que el número de líneas por unidad de área de sección transversal sea proporcional a la magnitud del campo eléctrico.

Para encontrar la magnitud de un campo eléctrico cualquiera E, en función de las cargas que lo producen, se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

1 Tenemos una carga de prueba que colocada a una distancia r de una carga dada q, la magnitud de la fuerza que obra sobre la carga que está dada por la ley de Coulomb del inverso del cuadrado de la distancia que las separa, o sea:

$$F = 1/4\pi \epsilon_0 \cdot qq'/r^2$$

La intensidad del campo eléctrico E como se vió anteriormente está dada por la siguiente expresión:

$E = F/q'$ sustituyendo el valor de F encontrado arriba en esta expresión, tenemos:

$E = 1/4\pi \epsilon_0 \cdot q/r^2$ lo cual es la expresión para la intensidad del campo eléctrico en función de la carga. La dirección de E es una línea radial que pasa por q, apuntando hacia afuera si q es positiva y hacia adentro si q es negati-

va.

Para encontrar a E para un grupo de cargas punto, se calcula la E debida a cada carga en el punto dado como si fuera la única carga que existiera y se suman vectorialmente esos campos calculados separadamente para encontrar el campo resultante E en el punto escogido.

Si la distribución de cargas es continua el campo que se produce en un punto cualquiera P se puede calcular dividiendo la carga en elementos infinitesimales dq, entonces se calcula el campo dE que produce cada elemento diferencial de carga. Entonces claramente, $E = \int dE$.

C A P I T U L O I

EL PRINCIPIO DEL CALENTAMIENTO POR PERDIDAS DIELECTRICAS

Los materiales aislantes eléctricos sometidos a la acción de un campo eléctrico variable, se comportan como un medio viscoso en donde las fuerzas de frotamiento absorben energía. Utilizando un modelo electrónico lo anterior podría quedar determinado como un condensador al cual se le aplica una fuente de energía y el efecto de las fuerzas de frotamiento de que son objeto las partículas del dieléctrico pueden quedar representadas por una resistencia en serie con el condensador antedicho (representaría a las pérdidas por calentamiento del condensador). Este frotamiento de partículas tiende a elevar la temperatura del dieléctrico.

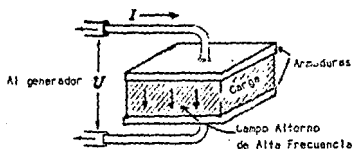
Este fenómeno constituye la base del calentamiento por pérdidas dieléctricas. El material a calentar sería el dieléctrico el cual se colocaría entre dos placas metálicas que estarían sujetas a una tensión alterna sinusoidal. El calor generado en el dieléctrico será proporcional a:

- 1 La frecuencia de la tensión aplicada.
- 2 La intensidad del campo eléctrico entre las placas.
- 3 La constante dieléctrica K del material.

A la inversa del calentamiento por inducción, el calentamiento por pérdidas dieléctricas produce una elevación de temperatura uniforme. Con la condición de que el material a calentar sea homogéneo.

Permite calentar bajo grandes espesores cuerpos cuya conductibilidad térmica es generalmente mala, lo que es

inaccesible a los otros procedimientos de calefacción. Considerando los factores que participan en la producción de pérdidas podemos notar que la constante dieléctrica impone el material. Los dieléctricos muy imperfectos son de esta forma favorecidos en comparación a los aislantes con pequeñas pérdidas. La magnitud del campo eléctrico está limitada por el riesgo de desgarrar el material a calentar, esto también depende del material así como de las condiciones en que se efectúa la calefacción. La frecuencia constituye a priori, el único factor independiente de las condiciones de calefacción. Esto basta para explicar que el calentamiento por pérdidas dieléctricas se lleve a cabo a frecuencias muy altas. Se deben de utilizar frecuencias por el orden de 5 a 50 megaciclos por segundo. Excepcionalmente se pueden alcanzar 100 megaciclos.

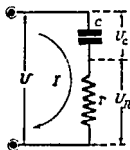


EXPOSICION TEORICA.

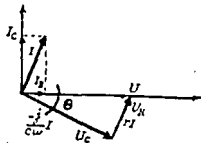
En régimen alterno sinusoidal un condensador real no constituye una reactancia pura. Es decir que el desfasiemien-

to real entre la corriente del condensador y su voltaje no es exactamente 90° y la razón en esto es que la corriente presenta una pequeña componente activa que está en fase con el voltaje aplicado al condensador.

Esto es una manera matemática de representar el comportamiento eléctrico en el condensador. El calor disipado en el condensador, es producido por su resistencia inherente y está representada matemáticamente por la componente activa antedicha. Entonces al hecho de que a un condensador se le aplique un voltaje queda representado de la siguiente manera:



Donde U es el voltaje aplicado al condensador, I es la corriente que pasa a través del condensador, esto es $I = I_c + I_r$, donde I_r es la potencia activa disipada en el condensador y es la que produce calor. El diagrama fasorial queda determinado de la siguiente manera:



Donde I es la corriente que circula por el condensador, U es el voltaje aplicado al condensador, I_r es la potencia activa disipada en el condensador, U_c es el voltaje en la reactancia capacitiva y U_r es el voltaje de la resistencia inherente al condensador.

Del diagrama fasorial se pueden deducir las siguientes relaciones:

$$U_r + U_c = U$$

$$U_r = I r$$

$$U_c = I / C \omega \quad \text{donde } \omega = 2 \pi f.$$

Llamando θ al ángulo entre U_c y U llegamos a:

$$U_r = U \sin \theta$$

$$U_c = U \cos \theta$$

$$\text{Como } P = U_r I = U \sin \theta I$$

$$\text{Además } I / C \omega = U \cos \theta \text{ entonces } I = C U \cos \theta \omega$$

$$\text{Llegamos a } P = U \sin \theta C U \cos \theta \omega = U^2 C \omega \sin \theta \cos \theta.$$

Como θ siempre va a ser un ángulo muy pequeño, entonces $\cos \theta = 1$.

Y llegamos a la expresión práctica para la potencia disipada en el dieléctrico de un condensador de capacidad C , esto es:

$$P = U^2 C \omega \sin \theta \quad \text{donde: } P \text{ viene dado en watts.}$$

$$U \quad " \quad " \quad " \text{ voltios.}$$

$$C \quad " \quad " \quad " \text{ faradios.}$$

POTENCIA DISIPADA EN UN CONDENSADOR PLANO.

En el calentamiento por pérdidas dieléctricas las armaduras son dos placas planas y paralelas. Podemos por lo tanto substituir C por su expresión del caso del condensador plano, lo que permite poner en evidencia las constantes fisi-

cas del material que constituye el dieléctrico. En el sistema de unidades Giorgi la capacidad de un condensador plano está dada por:

$$C = (\epsilon_0 \epsilon S)/d \text{ en faradios.}$$

Donde ϵ_0 = constante de permitividad $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$

ϵ = constante dieléctrica del material.

S = superficie de una de las placas.

d = distancia entre las placas.

La expresión para la potencia disipada viene a ser:

$$P = U^2 s/d w \epsilon_0 \epsilon \text{ sene en watts.}$$

La potencia por unidad de volúmen o potencia específica viene a ser:

$$P_s = P/v = U^2/d^2 w \epsilon_0 \epsilon \text{ sene} \quad \text{donde } v = Sd.$$

Reemplazando los valores de w y ϵ_0 a unidades prácticas tenemos:

$$P_s = 0.555 \times 10^{-12} U^2/d^2 f \epsilon \text{ sene} \quad \text{donde:}$$

P_s = Potencia específica disipada en watts/cm³.

U = Tensión eficaz entre las placas en voltios.

d = Distancia entre las placas en cms.

f = Frecuencia en ciclos por segundo.

ϵ , sene son constantes características del material dieléctrico.

Considerando que para un condensador de placas planas paralelas $E = U/d$ se obtiene esta otra expresión para la potencia específica:

$$P_s = 0.555 \times 10^{-12} E^2 f \text{ e sene}$$

Al producto $F_p = e \text{ sene}$ que depende de las características propias del material dieléctrico se le denomina factor de pérdidas dieléctricas.

El producto $E^2 f = U^2/d^2 f$ reúne los datos con los cuales es posible contar para resolver un problema de calefacción por pérdidas dieléctricas. Sin embargo nos veremos limitados en valores superiores por las siguientes consideraciones:

1 El campo eléctrico E debe de ser inferior a la rigidez dieléctrica del material para evitar el riesgo de rompimiento.

2 La tensión eléctrica U no debe ocasionar la producción de efluvios en el trayecto aéreo entre las armaduras. Por esto se le limita a 15,000 voltios.

3 La frecuencia f debe favorecer una repartición uniforme del campo eléctrico dentro del material. Esta condición implica que las fórmulas precedentes no son válidas cuando la longitud de onda λ que corresponde a la frecuencia f y el espesor del material guarden una estrecha relación entre sus dimensiones. En este caso el campo eléctrico se distribuye sinusoidalmente entre las armaduras. Lo que puede ocasionar un régimen de ondas estacionarias cuando el espesor del material es un múltiplo de $\lambda/4$.

Admitiendo que las condiciones de validez de las fórmulas son satisfechas cuando la longitud de onda es al menos igual a $16d$. (d = distancia entre las armaduras o placas). Podemos entonces considerar la distribución del campo eléctrico como constante a lo largo del espesor del material. Se

deduce entonces la frecuencia máxima admisible por las siguientes relaciones:

$$f = c/\lambda v$$

donde C = Velocidad de la luz en el vacío,

λv = longitud de onda en el vacío en centímetros

donde λ = longitud de onda en el material.

e = constante dieléctrica del material.

λ mayor o igual a $16e$ esto es el límite de validez de las fórmulas.

Además:

$$F_{max.} = 1875/\sqrt{d}$$

donde Fmax. = frecuencia máxima en megacilos.

d = espesor del material.

INTERES PRACTICO Y VENTAJAS DEL CALENTAMIENTO POR PERDIDAS DIELECTRICAS.

1 El calor se produce en la misma masa del material a calentar. El rendimiento térmico es por lo tanto excelente, ya que sólo existen por lo general pérdidas por radiación que son débiles en las bajas temperaturas (100°C) practicadas con este modo de calefacción.

2 El calentamiento es totalmente uniforme, no se presenta acumulación de calor en determinadas zonas del material a calentar como sucede con el calentamiento por inducción.

Estas propiedades permiten:

a) Calentar materiales de grandes espesores estando seguros que siempre hay igualación de temperatura entre el centro y la superficie del material a calentar. La calefacción por pérdidas dieléctricas realiza exclusivamente calefacciones "de centro".

b) Calentar eficazmente cuerpos cuya mala conductibilidad térmica constituyen un gran obstáculo para los demás procedimientos de calefacción. El encolado de la madera (pegar madera), se vuelve, entre otras cosas una técnica rápida que dá total seguridad, gracias a la calefacción por pérdidas dieléctricas.

3 Toda la potencia absorbida por la carga está empleada en elevar la temperatura, así el calentamiento gana en rapidez. Al tomar densidades de potencia altas, es posible lograr progresos considerables en un campo en donde todos los demás procedimientos de calefacción dan resultados mediocres. (Calefacción de los aislantes, de los textiles, de la madera, del hule y por lo general de todos los cuerpos malos conductores del calor.)

4 El rendimiento eléctrico, debido a la simplicidad del circuito eléctrico es prácticamente del 100%.

El rendimiento térmico es también excelente. El rendimiento global del calentamiento por pérdidas dieléctricas, es de lejos, el más interesante de todos los procedimientos de calefacción.

En fin, lo mismo que en el caso del calentamiento por inducción, es muy fácil de controlar este tipo de calentamiento (Variando U ó F) y esto permite integrar este tipo de calentamiento una línea de producción en serie donde la

automatización es necesaria.

En resumen, el calentamiento por pérdidas dieléctricas proporciona un calentamiento: rápido, uniforme, económico y es un dispositivo que se puede integrar fácilmente a una línea de producción automatizada.

C A P I T U L O I I

ESTABLECIMIENTO DE UN PROYECTO DE CALEFACCION

Tenemos que tomar en cuenta los datos del problema de calefacción por resolver relativos a el material a calentar y los incrementos de temperaturas o la temperatura que se quiera manejar. Nuestro objetivo es encontrar las condiciones de trabajo del generador electrónico de alimentación. La disposición y la superficie de las armaduras se deducen inmediatamente del volúmen del material a calentar. Las armaduras deben de estar construídas de un metal que sea buen conductor de la electricidad puede ser cobre o aluminio.

a) Datos.

Los datos de un problema de calentamiento por pérdidas dieléctricas son los siguientes:

Las constantes físicas del material a calentar.

- Densidad d en gramos por cm^3 .
- Calor específico c
- Constante dieléctrica ϵ
- Factor de pérdidas $F_p = \epsilon \tan \delta$

Las características de la aplicación del calefactor, es decir:

- Dimensiones del volúmen a calentar (cm^3).
- Tiempos de trabajo (en segundos). Esto viene determinado por el tonelaje que se quiere calentar por unidad de tiempo.
- Incremento de temperatura $T_2 - T_1$ (en grados centígrados).

T_1 es la temperatura inicial de la carga.

T_2 " " " final " " "

b) Potencia térmica a producir en la carga Pt.

1) La energía térmica a desarrollar para elevar la temperatura del material se define de la siguiente manera:

$W_1 = 4.18 M_c (T_2 - T_1)$ M = masa del material en gramos.
 W_1 en joules.

W_1 constituye la energía térmica global cuando el material a tratar está seco. Si éste contiene agua hay que añadir a W_1 la energía térmica necesaria para la elevación de la temperatura del agua.

2) Energía térmica a desarrollar para elevar la temperatura del agua contenida en el material W_2 .

a) Si T_2 es inferior a 100°C

$W_2 = 4.18 M_1(T_2 - T_1)$ M_1 es la masa de agua contenida en el material.
 Generalmente se da en porcentaje con respecto a M.
 W_2 en joules.

b) Si T_2 es superior o igual a 100°C .

Hay que añadir a W_2 la energía necesaria para la vaporización de M_1 gramos de agua, es decir:

$W_3 = 4.18 M_1 L$.

Siendo L el calor latente de vaporización del agua igual

a 537 calorías por gramo.

Entonces:

$W_3 = 2250 M_1$ expresado en joules.

3) Pérdidas caloríficas.

Estas comprenden las pérdidas por radiación, las cuales son despreciables debido a las bajas temperaturas a las que trabaja el calentamiento por pérdidas dieléctricas.

4) Energía térmica global.

Esto equivale a la suma de $W_1 + W_2 + W_3$ y la denotaremos mediante la letra W .

5) Potencia térmica global P_t .

El trabajo demandado entre la unidad de tiempo escogida t nos dará la potencia térmica global, es decir:

$P_t = W/t$ expresado en watts.

6) Potencia específica: P_s .

Aquí tenemos que tomar en cuenta el volumen del material a calentar, entonces,

$P_s = P_t/v$ expresado en watts por cm^3 .

En la práctica el valor de P_s debe ser inferior a 100 watts/ cm^3 a fin de que los valores de E , U , y f no sobrepasen los valores máximos admisibles.

- C) Cálculo de la tensión eficaz U a aplicar en los electrodos.

La densidad de potencia P_s es un dato conocido. En la fórmula deducida en la página 13 para P_s tenemos:

$$P_s = 0.555 \times 10^{-12} U^2 / d^2 f F_p \quad \text{donde } F_p = \text{esene.}$$

Sin embargo F_p y d nos son impuestos en los datos. Reuniendo todos los factores conocidos deducimos el valor del producto $U^2 f$:

$$U^2 f = (1.8 \times 10^{12} P_s d^2) / F_p$$

- 1) Frecuencia a utilizar.

Una pequeña cantidad de valores posibles de f son utilizables, y estas frecuencias escalonadas están comprendidas entre los 5 y los 30 megaciclos por segundo.

Por otra parte, debemos obtener según la fórmula anterior:

$$f \leq F_{\max.} = 1875 / (d \sqrt{e})$$

De ahora en adelante consideraremos que el valor de f siempre está dado en megaciclos por segundo.

Escogeremos entre las frecuencias disponibles la más alta de las que comprueban la relación antes mencionadas, lo que permite reducir U al máximo.

- 2) Cálculo de U .

Esto se puede obtener despejando U de la relación de

arriba en esta misma página:

$$U = \sqrt{(1.8 \times 10^{12} \text{ Ps } d^2) / (Fp \cdot xf)}$$

donde f aquí está dada en ciclos por segundo.

Despejando la fórmula de una forma más practica tenemos:

$$U = 1342 \sqrt{(Ps d^2) / (Fp \cdot xf)} \text{ en voltios.}$$

aquí f está expresada en megaciclos por segundo.

U debe de satisfaer las condiciones siguientes:

- 1) U debe ser menor de 15 000 voltios.
- 2) U/d debe ser inferior a la rigidez dieléctrica del material.

La segunda condición es difícil de verificar en razón de la poca información de la que disponemos en general sobre el valor de la rigidez dieléctrica. Sin embargo, si el espesor del material es superior o igual a 1 centímetro, se admite que la primera condición es suficiente para la mayoría de los casos.

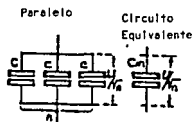
Si dichas condiciones no se respetan, se deberá reducir U disminuyendo la potencia específica Ps, es decir, aumentando el tiempo de calefacción t, puesto que Ps es inversamente proporcional a t.

Si se multiplica el tiempo de calentamiento t por n número de cargas, se puede conservar la misma producción en grupos de n cargas idénticas colocadas ya sea en serie o en paralelo.

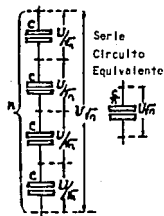
C = Capacitancia de cada carga

n = Número de cargas

U = Voltaje aplicado



a) Grupo en paralelo



b) Grupo en serie

Ps está dividida entre n, la tensión por carga elemental está dividida entre \sqrt{n} y la capacidad total está modificada para conservar constante la potencia total.

De esta manera, si elaboramos el cuadro de valores de los elementos en cada caso, obtenemos lo siguiente:

Número de cargas a calentar simultáneamente.	Agrupamiento	Capacidad total.	Tensión por carga.	Tensión total.
1	-	C	U	U
n	paralelo	$C \times n$	U/\sqrt{n}	$U\sqrt{n}$
n	serie	C/n	$U\sqrt{n}$	U/\sqrt{n}

D) Condiciones de trabajo del generador de alimentación.

A frecuencias elevadas, como es el caso del calentamiento por pérdidas dieléctricas, la frecuencia del generador no es del todo independiente de la impedancia de la carga. Esto se debe a que el circuito oscilante de salida tiene como capacidad de ajuste, la capacidad del condensador formado por los electrodos de trabajo y la carga. Este circuito debe estar ajustado a la frecuencia nominal del generador para cada

valor de la capacidad de la carga, si no, habrá desviación de frecuencia, modificación de las condiciones de calefacción y una baja en el rendimiento del generador.

1) Capacidad de la carga.

La capacidad que presenta la carga, en el caso de un condensador plano con dieléctrico homogéneo viene dada por:

$$C = (\epsilon_0 \epsilon S)/d$$

En la práctica se utiliza más la siguiente fórmula:

$$C = 0.884 \times 10^{-4} (\epsilon S)/d \text{ en milimicrofaradios.}$$

Si el espacio entre los electrodos está ocupado por materiales de constante dieléctrica diferente entonces se descompone en elementos de condensador con dieléctrico homogéneo, y cuya capacidad se calcula por separado. La capacidad total es entonces función de las capacidades elementales cuyo conjunto da una capacidad equivalente cuyo factor de pérdidas depende de los factores de pérdidas elementales.

A continuación nos limitaremos al caso de un sólo dieléctrico o más bien, de un dieléctrico asociado a un intervalo de aire. En este último caso, si la capacidad de la carga es C_1 y la del intervalo de aire C_2 , la capacidad total C es la que corresponde a la de C_1 en serie con C_2 , es decir:

$$C = (C_1 C_2)/(C_1 + C_2)$$

2) Condición de ajuste.

Conociendo la capacidad C de la carga, la condición de ajuste del circuito oscilante de salida del generador lo determina el valor de L de la bobina integrada al generador, la

cual debe entrar en resonancia con C a la frecuencia f.

Debemos obtener:

$$LC\omega^2 = 1 \quad (\text{Fórmula de Thomson})$$

De lo cual deducimos:

$$L = 10^3 / (C4\pi^2 f^2)$$

Donde L está dada en microhenrys.

f " " megaciclos.

C " " milimicrofaradios.

En algunos casos estos valores están sujetos a un rango de variación de la bobina autoajutable que utiliza el generador de alta frecuencia. Se modifica entonces la capacidad de la carga hasta obtener un valor de L que sea aplicable, esto se puede obtener mediante la adición de cargas en serie o en paralelo. En la página 23 nos da la capacidad resultante que se puede obtener mediante la agrupación de cargas idénticas. Sin embargo, no rebasaremos de $n = 3$ debido a que el aumento en la longitud de las conexiones, lo cual, en frecuencia alta es el origen de muchas perturbaciones. (Oscilaciones parásitas).

Puede ser que el constructor dé los límites inferior y superior de la capacidad de la carga y así podremos, según el caso, calcular el valor de L.

3) Impedancia de la carga.

Tomando en cuenta que el circuito equivalente de la carga comprende la capacidad C del condensador formado por las armaduras y una resistencia r que es donde se disipa el calor.

Según la fórmula:

$$C = 0.884 \times 10^{-4} \text{ eS/d}$$

Por otro lado encontramos que en la página 12 tenemos:

$$U_r/U_c = \text{sene/cose} = \text{tano} = rC\omega.$$

Llegamos a la siguiente expresión:

$$r = \text{tano}/(2\pi fC) \text{ en ohms.}$$

Y la impedancia de la carga es la siguiente:

$$Z = \text{tano}/C\omega - j/C\omega \text{ en ohms.}$$

- 4) Corriente absorbida por la carga.

La corriente eficaz absorbida por la carga está dada por:

$$I_{\text{eff}} =$$

Como $\text{tano} = \text{sene/coso}$, y debido a que el ángulo θ es muy pequeño, podemos asumir que $\text{coso} = 1$. Entonces $\text{tano} = \text{sene}$ - en estas condiciones podemos escribir con $\text{sene} = F_p/e$ que:

$$I_{\text{eff}} = U(2\pi fC)/\sqrt{(1 + (F_p/e)^2)} \text{ en amperes.}$$

En el caso de agrupamiento serie o en paralelo de n cargas idénticas la impedancia total es igual a Z/n en el caso de cargas paralelas y Zn en el caso de cargas en serie. La corriente total es I_{eff}/\sqrt{n} en el agrupamiento en paralelo y $I_{\text{eff}}\sqrt{n}$ para el agrupamiento en serie.

5) Características del generador de alimentación de los electrodos.

En resumen el generador electrónico a utilizar deberá de reunir las siguientes características.

- Intensidad de la corriente eficaz que absorbe la carga: I_{eff} en amperes.
- Tensión eficaz a aplicar en los electrodos: U_{eff} en voltios.
- Potencia activa absorbida por la carga: P_t en watts.
- Inductancia de ajuste L teniendo en cuenta la capacidad C de la carga a la frecuencia de trabajo f .

E) Anexo.

Lista de los principales símbolos empleados en un proyecto de diseño de un sistema de calefacción que utiliza el principio de calentamiento por pérdidas dieléctricas.

a) Características de la carga.

d-densidad g/cm^3

c-calor específico.

e-constante dieléctrica.

F_p -factor de pérdidas.

S-superficie de la carga cm^2

d- espesor de la carga cm

v-volumen de la carga cm^3

Ps-densidad de potencia de la carga W/cm^3

C-capacidad de la carga expresada en milimicrofaradios.

r-resistencia equivalente de la carga expresada en ohms.

b) Características del generador.

I_{eff}-corriente aplicada en amperes eficases.

U-tensión en los bornes en voltios eficases.

P_t-potencia activa en watts.

L-Inductancia de ajuste en microhenrys.

Tabla de las constantes físicas de los principales materiales dieléctricos.

Material	Densidad d g/cm ³	Calor Específico c	Const. Dieléctrica e		Factor de pérdidas Fp	
			a 1 Mhz	a 30 Mhz	a 1 Mhz	a 30 Mhz
Ambar	1.05		2.9	2.9	0.02	
Baquelita	1.27	0.32	4.5	4	0.13	0.12
Madera (seca)						
Fresno	0.635	0.42	2.6			
Balso	0.194		1.4		0.02	
Abedul	0.65	0.40	5.2		0.32	
Arce	0.61		4.4		0.15	
Caoba	0.66		2.1	2.1	0.06	0.08
Roble	0.69		3.3		0.09	
Caucho						
Goma natural	1.13	0.33	2.4	2.4	0.005	0.01
Duro	1.13		3	2.5	0.15	0.08
Sintético	1.75		5	5	0.01	
Celuloide	1.355		6.4		0.33	
Celulosa	1.3	0.35	4	3.5	0.17	0.13
Alvayalde	0.94		2.3		0.0025	
Cera de abejas	0.967		2.4	2.3	0.025	0.02
Fibra	1.05	0.25	5		0.25	
Laca	1.19		3.5		0.1	
Mica	2.6	0.206	5.5	5.5	0.0016	0.0016
Nylon	0.387	0.55	3	3	0.06	0.06
Papel	1.08	0.4	3.5	3	0.14	0.18
Parafina	0.86	0.5	2.1	2.1	0.0006	0.0006
Porcelana	2.3	0.26	7.5		0.04	0.06
Poliestireno	1.05	0.32	2.6	2.6	0.0003	0.0005
Quartz	2.21	0.18	3.8	3.8	0.0008	0.0004
Azufre	2.02	0.14	4		0.006	
Esteatita	2.54		5.9		0.015	
Vidrio						
Plano	2.46		6.8	6.6	0.07	0.06
Flint glass	2.9		6.4		0.03	
Pyrex	2.13	0.2	4	4	0.003	0.004
Vinilyte.	1.41		2.9		0.044	

EJEMPLOS DE CALCULO.

Ejemplo 1

Calentamiento de hojas de madera (triply).
Para pegado.

a) Datos:

Material (Madera seca).

$$d = 0.65 \text{ g/cm}^3.$$

$$d' = 0.4 \text{ cms. (espesor).}$$

$$e = 5.2 \text{ (Constante dieléctrica).}$$

$$F_p = 0.32$$

Producción (Carga).

$$\text{Superficie } S = 50 \times 50 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Espesor } d' = 5 \text{ cms.}$$

$$\text{Tiempo de calentamiento } t = 60 \text{ segundos.}$$

Calentamiento:

$$\text{Temperatura inicial } T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura final } T_2 = 100^\circ\text{C}$$

b) Potencia térmica Pt:

$$W_2 = W_3 = 0 \quad (\text{Madera seca})$$

Entonces

Potencia térmica global

$$Pt = W_1/t = \frac{4.18 \times 50 \times 50 \times 5 \times 0.65 \times 0.4 \times 80}{60}$$

$$P_t = 18\ 100 \text{ watts.}$$

Potencia específica P_s

$$P_s = \frac{18100}{50 \times 50 \times 5} = 1.45 \text{ W/cm}^3.$$

c) Tensión eficaz U a aplicar en los electrodos.

Elección de la frecuencia f

$$f_{\text{mcs}} \leq F_{\text{máx}} = 1875/5\sqrt{5.2} = 164.5 \text{ Mc/s}$$

adoptaremos la frecuencia media $f = 15 \text{ Mhz.}$

Cálculo de la tensión U

$$U = 1342 \sqrt{\frac{1.45 \times 5^2}{0.32 \times 15}} = 3700 \text{ volts.}$$

Que es perfectamete aceptable desde el punto de vista - de la tensión U (inferior a 15 000 volts) y del campo E (espe sor 5 cms.).

D) Condiciones de trabajo del generador.

Capacidad de la carga C en milimicrofaradios.

$$C = 0.884 \times 10^{-4} \times \frac{5.2 \times 50 \times 50}{5} = 0.23 \text{ milimicrofara dios}$$

Valor de la inductancia L de acoplamiento (Resonancia)

$$L = \frac{10^3}{0.213 \times 4\pi \times 15^2} = 0.492 \text{ microhenrys.}$$

Valor perfectamente realizable. Por lo tanto no hay necesidad de los agrupamientos de impedancias.

Impedancia de la carga.

Está dada por: $z = r - j/Cw$

donde $1/Cw = 1/(0.23 \times 10^{-9} \times 2 \pi \times 15 \times 10^6) = 46.2$ ohms.

$$r = \frac{1}{Cw} \tan \theta = \frac{1}{Cw} \frac{Fp}{e} = 2.84 \text{ ohms}$$

Corriente I_{eff} absorbida por la carga

$$I_{eff} = \frac{3700 \times 2 \pi \times 15 \times 10^6 \times 0.23 \times 10^{-9}}{\sqrt{1 + \left(\frac{0.32}{5.2}\right)^2}} = 80 \text{ amperes}$$

Por lo tanto, las características del generador deben ser las siguientes:

$I_{eff} = 80$ amperes

$U_{eff} = 3700$ volts

Pactiva = 18.1 kilowatts

Se utilizará un generador de 20 kilowatts a la frecuencia de 15 Mhz.

Nota. En lo que concierne a las operaciones del pegado de la madera se tiene la ventaja de utilizar un pegamento donde el factor de pérdidas es superior al de la madera. El calor se concentra entonces sobre la superficie del ensamble y la operación es más económica. Voluntariamente se despreñó esta influencia en el ejemplo 1.

Ejemplo 2

Secado de piezas textiles artificiales.

a) Datos:

Material d = 0.387
 c = 0.55
 e = 3
 Fp = 0.06

Producción (Carga).

Superficie S = 20x80 cms²
 Espesor d' = 10 cms.
 Porcentaje de humedad
 70% antes del tratamiento.
 10% después del tratamiento.

Tiempo de calentamiento: 10 minutos.
 Calentamiento
 T1 = 20°C
 T2 = 100°C

b) Potencia térmica Pt.

Energía térmica demandada por el textil

$$W1 = 4.18 \times 20 \times 80 \times 10 \times 0.387 \times 0.55 \times 80$$

$$= 1\ 140\ 000\ \text{joules.}$$

Energía térmica demandada para la evaporación del agua.

Antes de llevar la humedad de 70% a 10% del peso del material debemos considerar la vaporización de una masa de agua
 $M1 = 60\% \times M.$

Calentamiento del agua hasta 100°C

$$W_2 = 4.18 \times 20 \times 80 \times 10 \times 0.387 \times 0.6 \times 80 \\ = 1\,242\,000 \text{ joules.}$$

Energía térmica global

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 10\,732\,000 \text{ joules.}$$

Donde $W_3 = 2250 \times 20 \times 80 \times 10 \times 0.387 \times 0.6 = 8\,350\,000$ joules, -
que es la energía necesaria para la vaporización del agua.

Potencia térmica global

$$P_t = \frac{10\,732\,000}{10 \times 60} = 17\,900 \text{ watts}$$

Potencia específica

$$P_s = \frac{17\,900}{10 \times 20 \times 80} = 1.12 \text{ W/cm}^3$$

Tensión eficaz U a aplicar en los electrodos

Elección de la frecuencia

$$f \leq F_{\max} = \frac{1875}{10^3} = 108 \text{ Mhz}$$

Nosotros adoptaremos la frecuencia media $f = 15$ Mhz.

Cálculo de U

$$U = 1342 \sqrt{\frac{1.12 \times 10^2}{0.06 \times 15}} = 15\,000 \text{ volts.}$$

Condiciones de trabajo del generador

Capacidad de la carga

$$C = 0.884 \times 10^{-4} \times \frac{(3 \times 20 \times 80)}{10} = 0.042 \text{ milimicrofara dios.}$$

Cálculo de L para la condición de resonancia.

$$L = 10^3 / (0.042 \times 4\pi^2 \times 15^2) = 2.67 \text{ microhenrys;}$$

El cual es un valor perfectamente posible.

Corriente absorbida por la carga

$$I_{\text{eff}} = \frac{15\,000 \times 2\pi \times 15 \times 10^6 \times 0.042 \times 10^{-9}}{\sqrt{1 + (0.06/3)^2}} = 60 \text{ amperes}$$

Impedancia de la carga

$$1/C\omega = 1 / (0.042 \times 10^{-9} \times 2\pi \times 15 \times 10^6) = 250 \text{ ohms.}$$

$$r = 250 \times (0.06/3) = 5 \text{ ohms.}$$

Por lo tanto las características del generador deben ser las siguientes:

$$\begin{aligned} I_{\text{eff}} &= 60 \text{ amperes} \\ U_{\text{eff}} &= 15\,000 \text{ voltios} \\ P_t &= 17\,900 \text{ watts} \end{aligned}$$

Se utilizará un generador de 20 kw a 15 Mhz.

Ejemplo 3

Calentamiento continuo de ligas de plástico.

Datos: $d = 1.3$
 $c = 0.35$
 $e = 3.7$
 $F_p = 0.14$

Producción (Carga)

Sección de las ligas: $3 \times 0.2 \text{ cm}^2$

Velocidad de desplazamiento: 20 cm/seg.

Ciclo de calentamiento

$T_1 = 20^\circ\text{C}$

$T_2 = 120^\circ\text{C}$

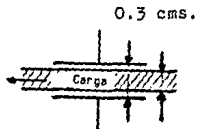
Potencia térmica global P_t

$P_t = 4.18 \times 3 \times 0.2 \times 20 \times 1.3 \times 0.35 \times 100 = 2290 \text{ watts}$

Potencia específica

Utilizaremos dos armaduras de $50 \times 3 \text{ cm}^2$ distantes - una de la otra 0.3 cms.

$P_s = 2290 / (50 \times 3 \times 0.2) = 76.3 \text{ watts/cm}^3$



0.2 cms.

Este valor elevado de Ps es debido a la pequeña sección de la carga.

Tensión eficaz U a aplicar a la carga.

Elección de la frecuencia

$$f \leq F_{\max} = 1875 / (0.2 \times \sqrt{3.7}) = 4880 \text{ Mhz.}$$

Utilizaremos $f = 30$ Mhz.

Cálculo de U

$$U = 1342 \sqrt{\frac{76.3 \times 0.2^2}{0.14 \times 30}} = 1145 \text{ volts.}$$

Admitiremos que esta tensión no crea un campo eléctrico superior a la rigidez dieléctrica del material.

Condiciones de trabajo del generador

Capacidad de la carga.

Esta capacidad corresponde a un material de espesor 0.2 cms.

$$C_1 = 0.884 \times 10^{-4} \times \frac{(3.7 \times 3 \times 50)}{0.2} = 0.245 \text{ milimicrofaradios.}$$

Para un espesor de material igual a 0.2 cms. la distancia entre los electrodos es de 0.3 cms. para permitir el desplazamiento longitudinal de la carga. Existe por lo tanto, - un intervalo de aire donde la capacidad es:

$$C_2 = 0.884 \times 10^{-4} \times \frac{(1 \times 3 \times 50)}{0.1} = 0.132 \text{ milimicrofaradios.}$$

La capacidad total, es decir de C1 en serie con C2 es:

$$C_{\text{tot.}} = \frac{0.245 \times 0.132}{0.245 + 0.132} = 0.086 \text{ milimicrofaradios.}$$

La tensión a aplicar en las armaduras es por lo tanto:

$$U_{\text{total}} = 1145 \times \frac{0.245}{0.086} = 3260 \text{ volts.}$$

- 2) Condiciones de acoplamiento de impedancias:

$$L = \frac{10^3}{0.086 \times 4\pi^2 \times 30^2} = 0.328 \text{ microhenrys.}$$

donde la frecuencia f será 30 MHz.

- 3) Impedancia de la carga.

$$1/C_w = \frac{1}{0.086 \times 10^{-9} \times 2\pi \times 30 \times 10^6} = 61.7 \text{ ohms.}$$

$$r = \frac{61.7 \times 0.14}{3.7} = 2.34 \text{ Ohms.}$$

- 4) Corriente I_{eff} absorbida:

$$I_{\text{eff}} = \frac{1145 \times 2\pi \times 30 \times 10^6 \times 0.245 \times 10^{-9}}{\sqrt{1 + (0.14/3.7)^2}} = 52.8 \text{ amp.}$$

- 5) Características del generador a utilizar:

$$I_{\text{eff}} = 52.8 \text{ amperes.}$$

$$U_{\text{eff}} = 3260 \text{ volts.}$$

$$P_t = 2290 \text{ watts.}$$

Se utilizará un generador de 5 kw a 30 Mhz.

Ejemplo 4

Calentamiento de piezas cilíndricas de caucho.

Datos: $d = 1.13$

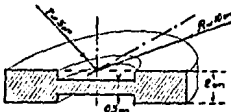
$$c = 0.33$$

$$e = 2.4$$

$$F_p = 0.01$$

Producción. Dimensiones geométricas de la carga.

Ver la siguiente figura.



Pieza de revolución
en perspectiva cortada
por un eje

Tiempo de calentamiento $t = 40$ segundos.

Ciclo de calentamiento $T_1 = 20^\circ\text{C}$

$T_2 = 200^\circ\text{C}$

Potencia térmica.

Cálculo del porcentaje de humedad dentro del material, -
donde:

1 Potencia térmica global.

--masa a tratar: $\pi(5^2 \times 0.5 + (10^2 - 5^2)2) \times 1.13 = 575$ gramos.

$$pt = \frac{4.18 \times 575 \times 0.33 \times 180}{40} = 3570 \text{ watts.}$$

2 Potencia específica.

$$Ps = \frac{3570}{\pi(5^2 \times 0.5 + (10^2 - 5^2) 2)} = 7 \text{ watts/cm}^3$$

Tensión eficaz U a aplicar a la carga.

Elección de la frecuencia.

En el espesor más ancho e = 2 cms.

$$f \leq F_{max.} = 1875/2 \sqrt{2.4} = 606 \text{ Mhz.}$$

Adoptaremos f = 30 Mhz.

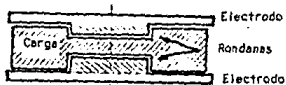
Cálculo de U.

La pieza anterior tiene un espesor variable, en estas condiciones, para obtener una temperatura uniforme en el material, se pueden adoptar las dos soluciones siguientes:

a) Se rellena el centro de la rondana con el mismo material de éstas y estas piezas de relleno se mantienen solidarias a las dos armaduras. De esta manera la carga puede ser considerada como un condensador plano con dieléctrico homogé-

neo y con campo eléctrico uniforme.

Ver la siguiente figura:



De esta manera, la energía disipada en las rondanas lleva a una reducción del rendimiento en función del volumen de la carga.

$$\text{Rendimiento } N = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia total}} = \frac{\text{volumen de la carga}}{\text{vol. carga} + \text{vol. rondanas}}$$

$$= \frac{1}{1 + (\text{volumen rondanas/volumen carga})}$$

Para la pieza considerada, el volumen útil es igual a 510 cms^3 , de este volumen el de las rondanas es 118 cms^3 .

Por lo tanto en este caso particular el rendimiento $N = 81\%$.

b) Separar la pieza en dos partes de espesor constante, las cuales serán excitadas por dos electrodos independientes, de forma que se conserve siempre la misma densidad de potencia. - La tensión entre electrodos es proporcional al factor $\sqrt{P_s} e^2$, es decir es una tensión proporcional al espesor del material. El ensamble constituye dos condensadores separados que se pueden alimentar por un mismo generador, que va conectado a los electrodos por medio de un condensador auxiliar.

Adoptaremos esta segunda solución la cual conserva el rendimiento óptimo. Ver la siguiente figura:



Llamaremos zona 1 a la central de espesor 0.5 cms. y zona 2 a la periférica de espesor 2 cms.

$$\text{Tensión en la zona 1, } U_1 = 1342 \sqrt{\frac{7 \times 0,5^2}{0,01 \times 30}} = 3240 \text{ volts.}$$

$$\text{Tensión en la zona 2, } U_2 = 1342 \sqrt{\frac{7 \times 4}{0,01 \times 30}} = 12980 \text{ volts;}$$

Lo cual es perfectamente aceptable.

Condiciones de trabajo del generador.

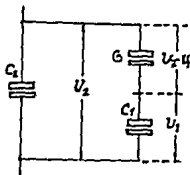
1) Capacidad de la carga.

$$\text{Capacidad en la zona 1: } C_1 = 0,894 \times 10^{-4} \times \frac{2,4 \times \pi \times 25}{0,5} = 0,333 \text{ millicapacitancias.}$$

$$\text{Capacidad en la zona 2: } C_2 = 0,894 \times 10^{-4} \times \frac{2,4 \times \pi \times (100-25)}{2} = 0,025 \text{ millicapacitancias.}$$

Para poder alimentar estos dos condensadores por el mismo generador haremos uso de un reductor capacitivo. C1 soporta la tensión más débil U_1 y está conectado a C2, el cual so-

porta la tensión U_2 por medio de un condensador G (Reductor - capacitivo) el cual absorbe la diferencia de tensiones U_2-U_1 . Ver la siguiente figura:



En estas condiciones el valor de G está dado por la siguiente expresión: $G = C_1(U_1/U_2-U_1)$

Por lo tanto $G = 0.0111$ milimicrofaradios.

La capacidad total C de un circuito comprendido por las capacitancias C_1 , C_2 y G , está dada por:

$$C = C_2 + C_1 \times G / C_1 + G = 0.0333 \text{ milimicrofaradios.}$$

Acoplamiento.

$$L = 10^3 / 0.0333 \times 4\pi \times 30^2 = 0.848 \text{ microhenrys.}$$

Valor realizable a 30 megahertz.

Impedancia de la carga.

$$\text{Zona 1 } 1/C_1\omega = 159 \text{ ohms.}$$

$$r_1 = 159 \times 0.01 / 2.4 = 0.664 \text{ ohms.}$$

$$\text{Zona 2 } 1/c_2\omega = 212 \text{ ohms.}$$

$$r_2 = 212 \times 0.01 / 2.4 = 0.884 \text{ ohms.}$$

Corriente I_{eff} absorbida.

$$I_{eff} = U/Z = UC_w = 81.2 \text{ amperes.}$$

Características del generador.

$$I_{eff} = 81.2 \text{ amperes.}$$

$$U_{eff} = 12980 \text{ volts.}$$

$$P_t = 3570 \text{ watts.}$$

Se utilizará un generador de 5 Kw a 30 Mhz.

C A P I T U L O I I IAPLICACIONES INDUSTRIALES DEL CALENTAMIENTO
POR PERDIDAS DIELECTRICAS

El calentamiento por pérdidas dieléctricas se aplica exclusivamente a aislantes eléctricos. Las aplicaciones del calentamiento por pérdidas dieléctricas se pueden clasificar en 4 categorías principales:

- Secado de materiales.
- Ensamble de elementos distintos pegándolos o soldándolos.
- Tratamientos térmicos.
- Industria alimentaria.

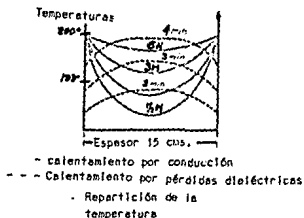
1) Secado de materiales.

Un gran número de materiales contienen un cierto porcentaje de humedad. Este fenómeno afecta particularmente a los materiales de gran espesor con mala conductividad térmica donde la evaporación es prácticamente nula.

Sean cuales fueren las constantes físicas del material y su espesor el calentamiento por pérdidas dieléctricas permite reducir el porcentaje de humedad en proporciones importantes. La evaporación afecta uniformemente el volumen del material lo que lleva a una mejora en la calidad de los productos. El secado por pérdidas dieléctricas se aplica con éxito en el secado de textiles, papel, tabaco, el heno, Etc.

2) Ensamble de elementos distintos.

a) Por collage. El collage es un método reservado exclusivamente a la fabricación de ensamblados en madera. Antes de la introducción del calentamiento por pérdidas dieléctricas la construcción de estos ensamblados implicaba que después de haberles puesto la capa de goma, se les tenía que colocar bajo una prensa durante un período que podía durar hasta 24 horas. Se calentaban las piezas a ensamblar colocándolas entre dos planchas calientes. Lo que resultaba en un mediocre rendimiento y en una repartición del calor en una forma masiva. Ver la siguiente gráfica:



La aplicación del calentamiento por pérdidas dieléctricas al collage de la madera conduce a un calentamiento rápido, uniforme y realmente eficaz. Allí donde se necesitaban 24 horas para realizar un ensamble rígido, el calentamiento por pérdidas dieléctricas demanda ahora unos cuantos minutos. La ganancia en tiempo es todavía mayor si el factor de pérdidas

de la goma utilizada es superior al de la madera porque el calor se concentra a la altura de las superficies que se van a ensamblar.

Las piezas de madera se colocan entre los electrodos de trabajo de un generador de alta frecuencia. Estos electrodos están preparados para recibir una presión por parte de la madera a calentar debido a que el volúmen de ésta aumenta al incrementarse la temperatura.

b) Por soldadura. La soldadura por acercamiento o por recubrimiento se practica en las industrias del caucho, del vidrio y de las materias plásticas. El calentamiento por pérdidas dieléctricas el cual procura un calentamiento uniforme permite la soldadura a cualquier profundidad.

Es de interés desde el punto de vista del rendimiento del proceso, localizar el calentamiento a la altura del punto de soldadura, y esto se logra con el empleo de los electrodos en forma adecuada.

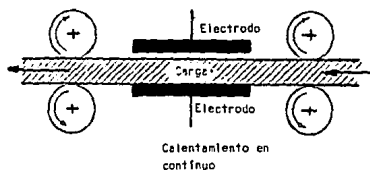
En la confección de textiles artificiales y en la fabricación de objetos de materiales plásticos se utilizan actualmente máquinas automáticas de soldar por puntos o con dispositivos que realizan verdaderas costuras, sólidas y de aspecto bonito.

3) Tratamientos térmicos.

En la elaboración de trabajos a altas temperaturas de materiales aislantes, se recurre en gran medida al calentamiento por pérdidas dieléctricas. A excepción de la industria del vidrio, las temperaturas que hay que alcanzar no sobrepasan los 300°C (vulcanización del caucho, moldeado de

materias plásticas, torsión de las fibras textiles, Etc...)y la aplicación de este modo de calentamiento no necesita de ninguna precaución particular y se presta para la fabricación en serie por la sencillez de las herramientas asociadas con la carga. (Dos electrodos).

El calentamiento puede ser con boca fija o en continuo, este último caso presenta menos dificultades que el calentamiento por inducción, porque no tiene importancia si la pieza tratada está en contacto con uno u otro electrodo. Ver la siguiente figura.



Estas diferentes formas de aplicación del calentamiento por pérdidas dieléctricas son aplicadas con éxito en las siguientes industrias:

A) Industria textil.

--- Secado-- Todos los textiles contienen un porcentaje de humedad que puede alcanzar 100% en peso. Este fenómeno afec-

ta principalmente a las fibras sintéticas. El empleo del calentamiento por pérdidas dieléctricas permite reducir proporcionalmente y uniformemente la cantidad de agua.

El peso por hora a tratar varía de 50 a 100 kilogramos con un generador de 20 kilowatts.

--- Tratamiento de fibras textiles-- Para darle la resistencia necesaria a un hilo de textil cualquiera, las fibras que lo componen deben ser torcidas antes de devanarlas. En ciertos casos las fibras son demasiado flexibles para conservar la torsión y regresan a su posición inicial en detrimento de las propiedades mecánicas del hilo. Si las fibras son secadas inmediatamente después de la torsión se vuelven tiesas y se mantienen en esta nueva posición.

El secado que da los mejores resultados desde el punto de vista de la calidad del hilo es el calentamiento por pérdidas dieléctricas aplicado al hilo inmediatamente después de la colocación de las fibras.

--- Confección de textiles sintéticos-- Una gran cantidad de artículos y ropa de textil sintético se fabrican mediante la unión de láminas u hojas separadas. La operación es delicada, los modelos (láminas) son "cosidos" eléctricamente, introduciendo las partes que hay que ensamblar en una máquina de coser electrónica que crea sobre la línea de soldadura un campo eléctrico de frecuencia elevada.

Estas máquinas de coser operan ya sea por puntos de manera análoga a la soldadura. Por línea, en este caso las superficies de contacto se encuentran apretadas entre dos electrodos largos y estrechos que realizan de un sólo golpe una soldadura continua de gran longitud.

Con rueda dentada. En este caso, las superficies de contacto pasan entre dos ruedas entre las cuales se establece un campo eléctrico de alta frecuencia. Esta máquina permite la soldadura continua de contornos accidentados de la misma manera que cualquier máquina de coser ordinaria.

La presión entre los electrodos es un factor importante del éxito de la soldadura. Esta se puede regular por medio de resortes. Los tiempos de aplicación de los electrodos juegan también un papel muy importante y éstos están regulados mediante un interruptor eléctrico. En estas máquinas, la potencia producida en los electrodos varía de 150 a 500 watts a una frecuencia de 30 megaciclos.

B) Industria del caucho.

-- Coagulación del latex-- La coagulación del latex se efectúa en caliente. Debido a la mala conductibilidad térmica del latex, el calentamiento por pérdidas dieléctricas es el indicado para este tratamiento, especialmente en la fabricación de ligas de caucho.

-- Vulcanización del caucho-- El problema es análogo al de la coagulación del latex, la vulcanización se efectúa por añadidura de azufre en caliente. El calentamiento por pérdidas dieléctricas mejora el rendimiento al permitir que se procesen grandes masas de caucho.

-- Moldeado del caucho-- La fabricación de artículos en caucho moldeado comprende las tres fases siguientes:

-Precaentamiento, antes de pasar a la prensa para así facilitar el trabajo de ésta.

- Calentamiento durante el moldeado a una temperatura sufi-

ciente para que el caucho pueda penetrar bien en todos los detalles gravados del molde.

- Secado por medio de una circulación de aire caliente después del moldeado.

Para estas tres operaciones, la aplicación del calentamiento por pérdidas dieléctricas permite obtener una ganancia de temperatura del orden del 75 al 90% que los procedimientos de calentamiento corrientes. Esto facilita además la técnica del molido del caucho que demanda simplemente un molde de material aislante eléctrico colocado entre los dos electrodos del generador.

C) Industria de los materiales plásticos.

-Moldeado de materiales plásticos-- Este comprende lo siguiente:

-Un calentamiento previo antes del moldeado que le dá al material la elasticidad necesaria para inyectarlo rápidamente en los moldes. Permite colocar y cerrar los moldes rápidamente y reduce el desgaste de éstos.

-Un calentamiento durante el moldeado para llenar correctamente los gravados que puedan tener formas muy desiguales.

Para los plásticos que se endurecen con el calor, esta operación provoca además un endurecimiento por polimerización.

La aplicación de los procesos de calentamiento ordinarios no permite procesar grandes masas de plástico porque la temperatura de trabajo sería entonces difícil de alcanzar en

el centro de la carga. Aumentar el calor conduciría a la formación de desechos por sobrecalentamiento y descomposición de la superficie del material. Por consecuencia, el moldeado de los plásticos se realiza casi exclusivamente por medio del calentamiento por pérdidas dieléctricas que por su rapidez y uniformidad presenta la solución más económica.

D) Industria de la madera.

-Fabricación de ensamblados de madera por collage en caliente- El collage de madera por medio de calentamiento electrónico se aplica principalmente en:

- La fabricación de pacas de grandes espesores para lograr un ensamble eficaz.

- La fabricación de aislantes eléctricos para múltiples aplicaciones en electrotecnia y radio: madera comprimida, madera impregnada de barniz aislante.

- La fabricación de ensamblados para la ebanistería.

- La fabricación de moldes de fundición.

- La fabricación de ensamblados de alta resistencia mecánica para la aviación, tales como: nervaduras, piezas del fuselaje, Etc.

-Secado de troncos- El secado de esta madera comprende una larga serie de calentamientos en hornos alternados con períodos de almacenaje al aire libre. La obtención de una madera lo suficientemente seca para ser utilizada industrialmente necesita de esta manera de tratamientos escalonados a lo largo de varios años.

En el caso del calentamiento por pérdidas dieléctricas sólo permite reducir el tiempo de la horneada, los períodos de secado al aire libre son indispensables para mantener la calidad de la madera. Una deshidratación bastante rápida tendría como consecuencia la aparición de tensiones internas dentro de la madera que provocarían la ruptura de sus fibras. La economía en tiempo que resulta de la aplicación de calentamiento a alta frecuencia es sin embargo apreciable. Los materiales así tratados tienen su aplicación en la ebanistería y la aeronáutica.

E) Industria del vidrio.

-Fusión del vidrio- Ensayos de fusión del vidrio por calentamiento dieléctrico ya han sido realizados con éxito. La temperatura que hay que alcanzar, poco común comparada con las demás aplicaciones de este método de calentamiento, se limita generalmente entre los 100°C a 200°C lo que crea ciertas dificultades, principalmente por el enfriamiento de las placas que se encuentran directamente expuestas a la carga. Pero estos obstáculos pueden ser superados y nada se opone a que la fusión eléctrica del vidrio cobre una importancia industrial en un futuro cercano.

F) Industria de los aislantes empleados en electrotecnia.

-Secado de aislantes- La utilización industrial de los aislantes electrónicos y eléctricos necesita la reducción casi total de humedad la cual es perjudicial para sus características de rigidez dieléctrica. para esto, la horneada es reemplazada cada vez más por el calentamiento por pérdidas dieléctricas que puede ser utilizado para cualquier espesor y es más rápido.

Se procesan de esta manera: el papel, las telas, la se-

da, la tela baquelizada y otros aislantes complejos, según las necesidades y demanda.

G) Aplicaciones diversas.

-Secado de materiales.

Este secado permite:

Una mejor conservación de los productos, una reducción en su peso. Cualidades necesarias tanto para el almacenamiento como para el transporte de materiales. El calentamiento por pérdidas dieléctricas es empleado con este objetivo para el secado del papel, del heno, del tabaco, del café, Etc.

En el caso de productos destinados a la exportación, la reducción del peso, debido al secado trae como consecuencia una reducción importante de los impuestos aduanales.

4) Alimentación

La industria de las conservas alimentarias saca un gran provecho del calentamiento de alta frecuencia por:

-La deshidratación de los productos antes de enlatarlos.

- El recalentamiento de productos congelados antes de consumirlos.

- La esterilización. (Operación realizada racionalmente debido a que no debe haber contacto entre el producto y los electrodos).

-Medicina-

Ciertos tratamientos de biología: destrucción de micro-

bios y bacilos.

Concentración de soluciones delicadas.

La esterilización bajo todas sus formas.

En fin, entre las más recientes aplicaciones del calentamiento por pérdidas dieléctricas podemos citar el secado de los módulos empleados en la confección de los moldes de fundición.

C A P I T U L O I V

EL OSCILADOR

1.- Principio.

El principio de funcionamiento del oscilador electrónico está basado en las propiedades del circuito oscilante bobina-condensador, el cual se puede resumir de la siguiente manera:

-Toda energía eléctrica del circuito, pasa alternativamente del condensador (en su forma electrostática o potencial) a la bobina (en su forma electromagnética o cinética).

- La frecuencia de la oscilación está determinada por la fórmula de Thomson:

$$f = 1/2\pi \sqrt{LC} \quad \text{en Hertz.}$$

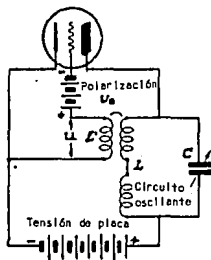
En función de los valores de los elementos del circuito: capacidad C en faradios y la bobina L en Henrys.

- Hay amortiguamiento de las oscilaciones debido a la degradación de la energía producida, en las resistencias del circuito (resistencia de la bobina y de las conexiones).

Para engendrar oscilaciones continuas en un circuito oscilante se deben compensar las pérdidas por medio de un regulador. Se utilizará un tubo electrónico el cual carga periódicamente al condensador de un circuito a partir de una fuente de tensión continua.

La siguiente figura representa el circuito de un tubo oscilador. Se trata de un triodo.

- La placa está conectada al borne positivo de una fuente de tensión continua por intermedio de un circuito oscilante bobina-condensador en paralelo.



- Circuito de un oscilador utilizando un triodo

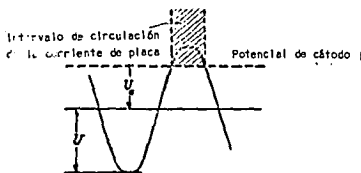
- El cátodo está conectado al borne negativo de la fuente de tensión continua.
- El gatillo está conectado al cátodo por medio de una batería de polarización (donde el polo negativo está conectado al gatillo), y a una bobina L' que está acoplada magnéticamente a la bobina L del circuito oscilante.

Según las propiedades del triodo, el espacio placa-cátodo es recorrido por una corriente solamente cuando la tensión gatillo-cátodo es suficiente para que los electrones sean emitidos por el cátodo. Para simplificar, supongamos que la corriente no pasa a menos que la tensión gatillo-cátodo sea positiva. La tensión instantánea gatillo-cátodo es la suma de:

- La tensión continua de polarización U_0 .
- La tensión u inducida en la bobina L' de acoplamiento magnético con L ($u = U \sin \omega t$).

El triodo no va a conducir a menos que la tensión instantánea $U_0 + u$ sea positiva. Así el triodo pasa periódicamente por intervalos de conducción y de no conducción a la frecuencia del circuito oscilante y cierra el circuito de la batería en sincronismo con los cambios de energía entre la bobina y el condensador.

La siguiente figura muestra el intervalo de tiempo en el cual el triodo conduce.



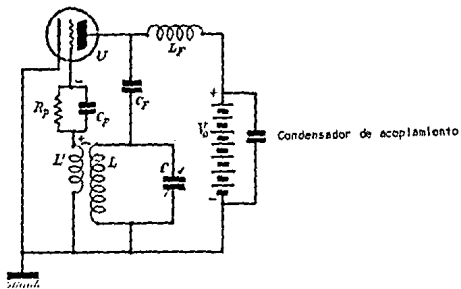
Un estudio a profundidad del oscilador nos muestra que el acoplamiento LL' debe ser negativo para que haya un aporte de energía para cargar el condensador con la polaridad necesaria. Por otro lado, el acoplamiento debe estar lo suficientemente cerrado para que la cantidad de energía sea por lo menos igual a la suma de las pérdidas del circuito oscilante.

En un generador de calentamiento electrónico, la energía de alta frecuencia disponible está sacada directamente del oscilador. Las pérdidas del circuito se deben añadir a la potencia activa P_r necesaria para el calentamiento.

2 Montajes Prácticos.

En la práctica, los diferentes tipos de osciladores pueden emplear:

1) Un circuito de filtrado (Un condensador C_f y una bobina L_f) que evita el paso de corrientes de alta frecuencia a la fuente continua de tensión de placa. La eficacia de este montaje puede ser aumentada por una conexión particular a la tensión de placa y se le denomina "alimentación en paralelo" (Ver la siguiente figura)



- Oscilador con alimentación paralela

2) Un circuito R_p y C_p de polarización automática de gatillo. Con la puesta en servicio del tubo oscilador, la polarización es nula, lo que facilita el amortiguamiento de las oscilaciones. Por otra parte, en funcionamiento normal esta polarización ejerce una función reguladora de la amplitud de las oscilaciones.

3) Conexiones especiales de circuito oscilante al tubo oscilador para obtener mayor regulación de la frecuencia para potencias de salida mas altas.

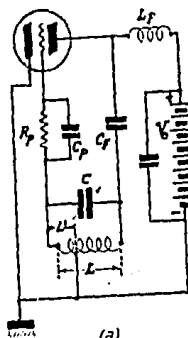
- El Montaje Hartley se compone de una bobina que juega el rol de bobina de acoplamiento de circuito oscilante y de una bobina conectada al gatillo.

- El montaje Colpitts utiliza un acoplamiento capacitivo de dos condensadores conectados en serie al circuito oscilante, la tensión total se reparte entre estos dos condensadores.

Este montaje permite mantener oscilaciones de frecuencia elevada de 2 a 30 Mhz.

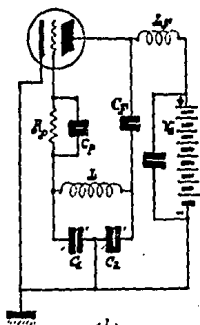
- El montaje simétrico utiliza dos ramas en "push-pull" lo que permite obtener una potencia todavía mucho más alta.

En la siguiente figura se muestran los circuitos de los tres tipos de montajes.

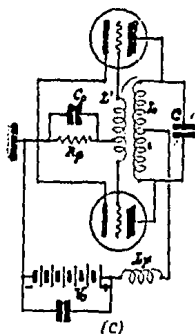


(a)

Montaje Hartley



(b)
Montaje Colpitts.



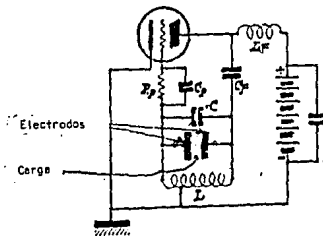
(c)
Montaje simétrico

Aplicación del generador de calentamiento electrónico.

- Calentamiento por pérdidas dieléctricas. El ensamble: electrodos de trabajo-carga constituye un condensador que montado en paralelo a una bobina forma el circuito oscilante de carga.

En razón de las frecuencias elevadas utilizadas en el calentamiento por pérdidas dieléctricas, adoptaremos ya sea el montaje Hartley o el montaje Colpitts.

El acoplamiento del circuito a la frecuencia de trabajo se realiza por medio de un condensador ajustable conectado en paralelo a los electrodos de trabajo. Ver la siguiente figura.



Determinación de los elementos de un oscilador de calentamiento electrónico.

El establecimiento práctico de un oscilador para este tipo de aplicación comprende:

- 1) El estudio del funcionamiento del tubo empleado de acuerdo a sus curvas características.
- 2) El cálculo de los elementos del circuito oscilante.
- 3) La adaptación del tubo al circuito oscilante de acuerdo a las condiciones de trabajo impuestas.

a) Régimen de funcionamiento del tubo oscilador (tríodo).

- Condiciones límites de funcionamiento. El funcionamiento de un tubo debe verificar, en todo instante, las condiciones siguientes:

- La tensión de placa V_p debe siempre ser superior a la tensión de gatillo U_g para prevenir un calentamiento anormal del gatillo: V_p mínima \geq U_g máxima.

- La corriente de cátodo I_k que es la suma de la corriente de placa y la corriente de gatillo, debe ser inferior a la corriente máxima admisible.

- La potencia disipada P_d en la placa no debe provocar un calentamiento exagerado de la misma.

- La tensión de placa debe ser inferior a la tensión máxima impuesta por el fabricante en función de la distancia interelectródica.

Según el cuadro de consideraciones arriba mencionadas,

el estudio del funcionamiento de un tubo tiene por objeto la determinación de la potencia útil disponible en el circuito oscilante.

Por esto hay que conocer la curva de variación, en función del tiempo, de los voltajes y corrientes relativas a la placa y gatillo del tubo.

Se procede del modo siguiente:

- Las tensiones instantáneas son fijadas a priori en función de las condiciones arriba descritas.

- Las corrientes son determinadas gráficamente en función de las tensiones correspondientes, según la gráfica de características del tubo.

b) Expresión general de las tensiones instantáneas de placa y gatillo.

Las tensiones alternas de placa y gatillo son opuestas debido a la existencia de un acoplamiento magnético negativo entre gatillo y placa.

Las tensiones continuas presentes cuando no hay oscilación son las siguientes:

- Para la placa, la tensión de alimentación V_0 .
- Para el gatillo, la polarización negativa U_0 .
- La tensión instantánea de placa: $V_p = V_0 - V_{senwt}$.
- La tensión instantánea de gatillo: $V_g = U_0 + U_{senwt}$.

V y U son las amplitudes máximas de tensiones alternas de placa y de gatillo.

c) Elección de los parámetros.

-Vo máxima está impuesto por el constructor. Se fija arbitrariamente en función de la potencia útil que se desea obtener.

-V no debe sobrepasar el valor $0.8V_o$ para evitar que la tensión de placa sea inferior a la tensión del gatillo.

Examinaremos ahora la curva característica del bulbo.

En el punto de abscisa V_o llega la característica de la polarización U_b de corte de corriente de placa por la tensión V_o .

La polarización negativa U_o de gatillo debe ser igual a 2 o 3 veces U_b para mantener el ritmo de las oscilaciones.

Las condiciones límites 1-2-3-4 definen una región en cuyo interior debe de encontrarse el punto de funcionamiento. El punto de unión de la curva V_p mínimo = U_g máxima corresponde a la condición 1, donde la recta $v=V_e-0.8V_o$ corresponde a la elección de V, se tiene el punto de funcionamiento de la cresta del tubo.

La tensión U_g máxima del gatillo está determinada por la característica que pasa por dicho punto, con respecto a la polarización U_o , la amplitud U de la tensión alterna de gatillo es: $U=U_{gmax}+U_o$.

conocemos entonces los parámetros V_o , V, U_o y U. Y las tensiones V_p y U_g se pueden calcular ahora para cualquier

instante..

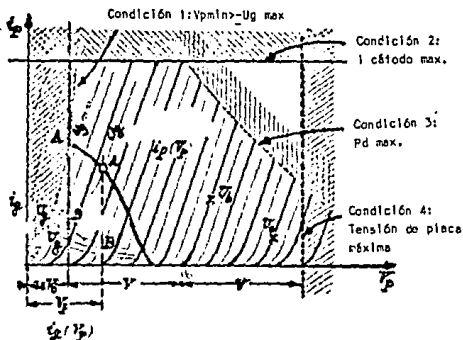


Fig. B2.- Construcción de las curvas corriente de placas y corriente de gatillo en función de V_p y U_g .

d) Construcción gráfica de las corrientes de placa y de gatillo.

Para cada valor del ángulo ωt se puede calcular:

$$V_p = V_e - V_{sen\omega t}$$

$$U_g = U_e + U_{sen\omega t}$$

Deducimos punto por punto la curva de la corriente de

placa i_p y la del gatillo i_g en función de V_p y U_g .

Estas curvas se establecen en función del ángulo ωt y así conoceremos la forma como varían las corrientes de placa y gatillo para cualquier tiempo t .

Las curvas $i_p(V_p)$ e $i_g(V_p)$ son parte de la figura 82* y la forma como varían dichas corrientes en función del tiempo está representada en la figura 81*.

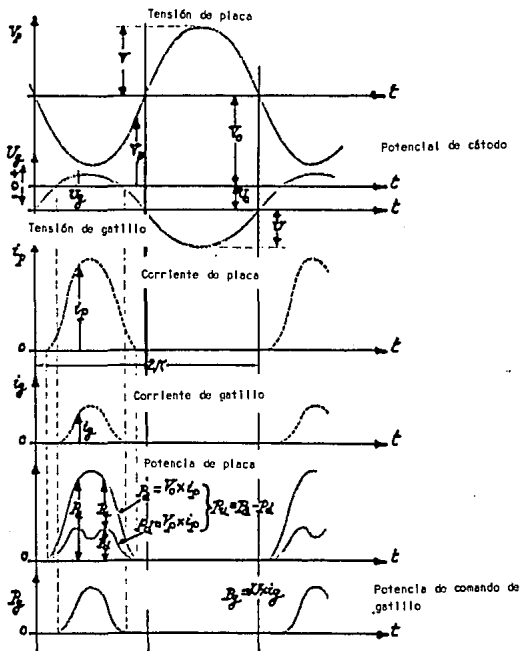


Figura 81

e) Potencias instantáneas.

Considerando la repartición de las tensiones en el circuito de un tubo oscilador, podemos deducir las potencias instantáneas siguientes:

- Potencia absorbida en la fuente:

$$p_a = V. \times i_p \quad (2)$$

- Potencia producida en el circuito oscilante:

$$p_u = V_{senwt} \times i_p \quad (3)$$

- Potencia disipada en la placa del tubo:

$$p_d = V_p \times i_p \quad (4)$$

Lo mismo para la corriente de gatillo i_g .

- Potencia disipada en el gatillo:

$$p_g = U_{senwt} \times i_g$$

Multiplicando las ordenadas de las corrientes i_p e i_g con sus tensiones correspondientes, se obtiene la representación gráfica de las diversas potencias en función del tiempo según la figura anterior.

La expresión de la potencia que nos interesa es el valor medio de la potencia instantánea en el período de un ciclo. Está representada por la superficie comprendida entre una curva de potencia instantánea y el eje que representa al tiempo. (A excepción de la potencia producida en el circuito oscilante P_u la cual está representada por la diferencia $P_a - P_d$).

Las condiciones de trabajo del tubo oscilador están completamente definidas y llegan a la determinación de:

- La potencia útil disponible en el circuito oscilante: P_u .
- La potencia absorbida por la fuente de alimentación: P_a .
- La potencia del gatillo: P_g .

B) Características del circuito oscilante de carga.

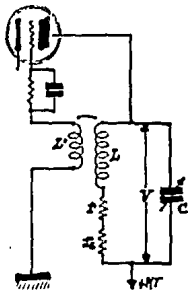
a) Análisis de elementos.

La representación general de un circuito oscilador se compone de:

- Un condensador C .
- Una bobina L acoplada a la bobina de gatillo L' .
- Una resistencia r' igual a la suma de la resistencia propia de la bobina L y de las conexiones.
- Una resistencia r que corresponde a la potencia disipada en la carga, P_t se determina según el proyecto. L, r' y r están paralelos a C .

La tensión V , aparece en los bornes del condensador C .

VER LA SIGUIENTE FIGURA



b) Repartición de la potencia P_u .

La potencia útil producida en el circuito oscilador se reparte entre:

- La carga que absorbe la potencia P_t .
- La potencia consumida en el gatillo P_g la cual mantiene las oscilaciones.
- Las resistencias propias del circuito las cuales disipan la potencia por pérdidas de efecto joule P_{cu} .

$$\text{Por lo tanto } P_u = P_t + P_g + P_{cu}. \quad (6)$$

c) Cálculo de los elementos del circuito oscilante.

Está dictado por las consideraciones generales siguientes:

- Condición de resonancia del circuito a la frecuencia de trabajo.

$$LC = 1/4 \pi^2 f^2$$

- La acumulación de energía en el circuito deberá ser importante para reducir los efectos del amortiguamiento de la potencia disipada en la carga y en las pérdidas del cobre. Esto implica que:

- El embobinado L deberá ser de muy buena calidad y de resistencia muy baja, en otras palabras, debe tener un factor de calidad:

$$Q = Lw/r_1 \quad \text{muy elevado.}$$

- La capacitancia C debe ser de un alto valor.

En la práctica tenemos un factor de calidad Q del orden de 200.

En la carga se observa un factor de calidad $Q_{\text{carga}} = Lw/\Sigma r$ comprendido entre 20 y 50 lo cual permite una acumulación de energía suficiente para un buen rendimiento. En esta expresión Σr representa la suma de las resistencias en serie, en la cual podemos añadir r_2 que corresponde a la potencia disipada en el gatillo P_g , entonces:

$$\Sigma r = r + r_1 + r_2$$

Sabemos la corriente I_{eff} , que pasará a través de los electrodos de carga y el valor de la resistencia de carga r .

La resistencia r es muy pequeña comparada con $1/C\omega$ así podemos suponer que en la resonancia, la corriente I_{eff} recorre igualmente a la bobina L y a las resistencias r_1 y r_2 .

- La resistencia r se escoge según sea el caso del proyecto.

- r_2 se determina mediante la siguiente ecuación:

$$r_2 = P_g / I_{eff}^2$$

La capacidad de los electrodos será la que satisfaga la condición de resonancia $LC = 1/4\pi^2 f^2$ con una bobina L de valor aceptable. (Ya estudiada en el proyecto con anticipación Capítulo 2.)

- El factor de sobretensión en la carga $Q_{carga} = L\omega / \sum r = 1/C\omega \sum r$ debe ser del orden de 50.

La bobina L debe ser de buena calidad, así podemos suponer que r_1 se puede despreciar en comparación con $r + r_2$, entonces $\sum r = r + r_2$ y así podemos verificar que $1/C\omega \sum r \geq 50$.

En general encontramos que la capacidad de la carga constituye una capacidad de resonancia de valor aceptable. Además tenemos que tomar en cuenta que le debemos de añadir una capacidad ajustable de pequeño valor que permita hacer más constante la frecuencia de las oscilaciones y aminorar el factor de sobretensión.

C) Adaptación del tubo oscilador al circuito oscilante de carga.

En resumen, el establecimiento de un oscilador se efectúa enteramente a partir de :

- La potencia activa a producir en la carga.
- La impedancia de la carga.

Estos datos pueden ser impuestos por las conclusiones de un proyecto particular de calentamiento.

Son fijados a priori según los valores promedio.

La determinación de los diversos elementos deberá seguir la marcha siguiente:

1 Cálculo de los constantes L , C y de Σr del circuito oscilante (la potencia de comando de gatillo será estimada según los valores promedio de los catálogos de los tubos). Así podremos calcular un valor aproximado de la potencia útil P_u a producir en el circuito oscilante y de la tensión V_{eff} en los bornes.

2 Elección del tubo de acuerdo con las características de potencia útil P_u y de la tensión de alimentación V_o .

En general la amplitud máxima de la tensión alterna $V = 0.8V_o$ no concordará con la tensión en los polos del circuito oscilante, como se deduce de la impedancia de carga.

3 Adaptación del régimen de funcionamiento del tubo a las condiciones impuestas por el desplazamiento de la tensión en reposo V_o de la placa y de la variación consecutiva de la amplitud de la tensión alterna V .

Convendrá efectuar una o varias construcciones gráficas en la curva de características para obtener el régimen de funcionamiento correcto (Establecimiento definitivo de los parámetros V_o , V , U_o , U y el de la potencia P_g).

D) Adaptación del circuito oscilante a regímenes de funcionamiento variables.

Los cálculos precedentes conducen a un establecimiento correcto del oscilador para un régimen de funcionamiento bien definido. Ahora, para un caso general el G.A.F. debe responder a diversas aplicaciones y el proyecto de calentamiento hace aparecer condiciones de trabajo distintas dependiendo de la aplicación. El diseñador debe adaptar el oscilador al régimen impuesto.

Esas adaptaciones requieren:

1) La igualdad de la potencia absorbida y la producida.

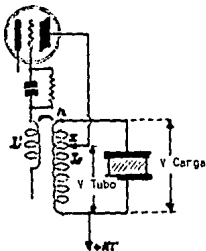
Para esto se procede como para el establecimiento inicial del oscilador. Se hace variar la tensión de alimentación de la placa V_0 de la cual depende la potencia producida en el circuito oscilante P_u . Esta operación se podrá hacer en buenas condiciones de rendimiento solamente si la fuente de alimentación da una tensión de salida regulada.

2) La igualdad de la tensión en los bornes de la carga y en el circuito oscilante.

Si la tensión en los bornes de la carga no concuerda con la tensión normal en los bornes del circuito oscilante entonces, es posible de alimentar la carga en la tensión requerida sin cambiar nada el circuito oscilante realizando un montaje autotransformador.

Si la tensión en los bornes de la carga es superior a la tensión alterna de placa admisible, la placa del tubo será conectada a un punto auxiliar de la bobina L. (Ver la si-

guiente figura)



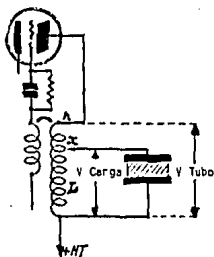
Si la bobina L tiene N espiras se conectará el tubo a la espira X tal que:

$$X/N = V_{\text{tubo}}/V_{\text{carga}} \quad (\text{Voltage en valor eficaz})$$

donde: $X = N V_{\text{tubo}}/V_{\text{carga}}$

Si la tensión en los bornes de la carga es inferior a la tensión de la placa, la placa será conectada directamente a la bobina del circuito oscilante. Usando las mismas notaciones anteriores tenemos lo siguiente:

$$X = N V_{\text{carga}}/V_{\text{tubo}} \quad (\text{Ver la siguiente figura})$$



3) Acoplamiento entre el circuito oscilante y la frecuencia de trabajo.

La variación de la impedancia de la carga puede afectar a la frecuencia de resonancia del circuito oscilante. Esta influencia se hace sentir más a frecuencias elevadas. En todos los casos, el circuito oscilante posee un elemento variable que mantiene la resonancia de la frecuencia de trabajo, en el calentamiento por pérdidas dieléctricas este elemento ajustable es un condensador que se coloca en paralelo a los bornes de los electrodos de trabajo.

C A P I T U L O VRECTIFICADORES DE CORRIENTE ALTERNA

Para la alimentación de la placa del oscilador es necesaria una fuente de tensión continua V_0 que responda a las condiciones siguientes:

- 1 - Tensión elevada -de 5000 V a 20 000 V- en razón de las características de los tubos osciladores empleados que conducen a una importante diferencia de potencial entre el cátodo y la placa.
- 2 - Potencia de salida elevada; puede rebasar los 200 kilowatts para los H.F.G. (generadores de alta frecuencia) de gran capacidad.
- 3 - Posibilidad de regulación de tensión a fin de resolver los problemas que imponen los regímenes de carga variables (desplazamiento de la tensión V_0 de reposo de la placa del oscilador).

La condición 1 implica el empleo de rectificadores de tubos electrónicos que son los únicos que permiten la obtención de tensiones continuas superiores a 1 500 Volts. La condición 2 implica que haya corrientes importantes a pesar de las tensiones continuas elevadas. Un flujo medio de 10 amperes es normal. De ahí que los rectificadores estén constituidos forzosamente por tubos de gas (fanotrones y thiratrones) para los cuales la ionización asegura un fuerte flujo.

La condición 3 lleva al empleo de tubos con rejilla de comando, que permite la regulación del flujo y de la tensión rectificadas.

Prácticamente no se busca satisfacerla sino para poten-

cias superiores a 5 kilowatts en razón del poco interés que presentaría la regulación de tensión para bajas potencias.

Los rectificadores son utilizados con mayor frecuencia:

- Para potencias inferiores a 5 KW con tubos del tipo Fano trón. (Tubo diodo con gas).
- Para potencias superiores o iguales a 5KW, con tubos del tipo thyatrón (triodo a gas con rejilla de comando).

De manera general un rectificador comprende:

- Un transformador elevador alimentado por el sector alternativo.
- Un grupo de tubos rectificadores de acuerdo al montaje, que adapte lo mejor posible las condiciones de trabajo de un sólo tubo a las características de salida del rectificador, (potencia y voltaje rectificadas).
- Circuitos de comando del flujo de los tubos rectificadores para la regulación de la tensión de salida (si la hay).
- Un filtro para la reducción de la onda residual. Este filtro ha de ser de auto-inductancia de entrada en razón de los flujos importantes que lo atraviesan.

Designaremos:

Ueff: La tensión alternativa eficaz simple.

Ur: La tensión de salida del rectificador.

La tensión de salida del filtro:

$V_o = U_r$ -Caída de tensión en el filtro.

en la práctica $V_o = 0.7$ a $0.9 U_r$.

I_r : Corriente rectificadora total.

I_f : Corriente eficaz simple (por tubo).

La tensión de salida U_r es igual a la tensión rectificadora teórica multiplicada por un coeficiente que toma en cuenta la caída de tensión interna en los tubos. Este coeficiente es del orden de 0.9.

La potencia de salida del rectificador es igual a:

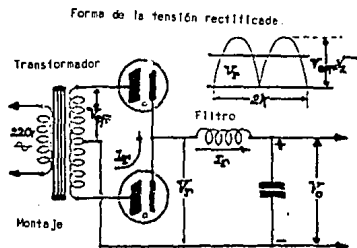
$$P_{salida} = V_o \times I_r.$$

A) Rectificadores con fanotrones.

- 1) -Montaje monofásico de doble alternancia
Potencias inferiores a 2 KW.

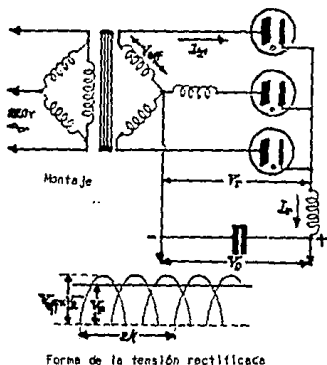
Características: $U_r = 0.81 U_{eff}$.

$$I_f = 0.78 I_r$$



2) Montaje trifásico de 1 alternancia.

Potencias de 2 a 5 Kw.



Características = $U_r = 1.05 U_{eff}$

$I_f = 0.585 I_r$.

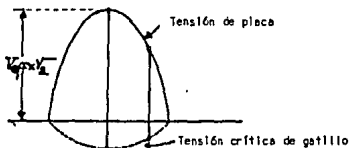
B) Rectificadores con thyratrones (de 5 kw a 50 kw).

Estos rectificadores tienen una tensión regulable gracias al empleo de thyratrones cuyo tiempo de conducción es regulable (mientras en el fanatron éste es fijo e igual a $1/2$ período).

En el thyatrón, la corriente atraviesa el espacio placa cátodo durante las alternancias positivas de tensión placa sólo si la tensión de rejilla es superior a un determinado potencial de referencia llamado tensión crítica (se dice entonces que el tubo está polarizado). La tensión crítica es generalmente negativa y varía en función de la tensión de

placa siguiendo una ley aproximadamente de proporcionalidad.

De ahí se sigue que para cada valor de la tensión de placa - la cual es sinusoidal - exista una tensión crítica diferente que sigue la misma ley de variación en función del tiempo.



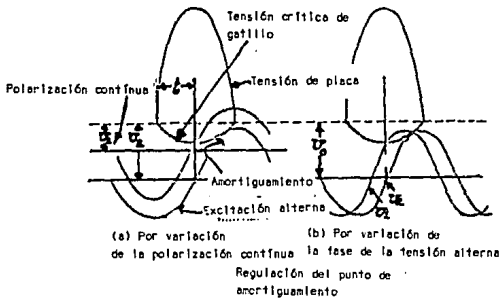
Si se quiere regular el tiempo de conducción, basta con retardar la polarización en un cierto tiempo t , excitando la rejilla por medio de una tensión periódica que venga a cortar la curva de tensión crítica después del inicio de un medio ciclo positivo.

El método más frecuentemente utilizado consiste en someter la rejilla a la suma de una tensión negativa de polarización y de una tensión alternativa desfasada unos 90° con relación a la tensión de placa. La regulación del punto de

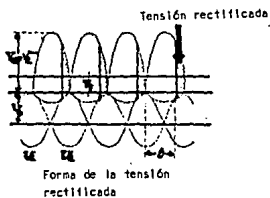
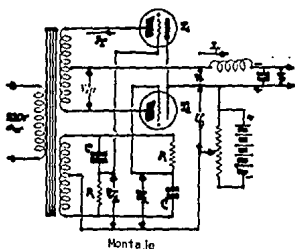
polarización se hace entonces:

- Sea por variación de la tensión continua de polarización.
- Sea por variación de la fase de la tensión alternativa.

El resultado es una variación del flujo en los tubos, directamente ligada al retardo de la polarización de la cual depende la amplitud de la tensión rectificada.



- 1) Montaje monofásico de doble alternancia.



Potencias de 5 a 10 kw.

Montaje a excitación alterna fija y polarización continua regulable.

Desfasamiento de la tensión alterna por un circuito resistivo-capacitivo.

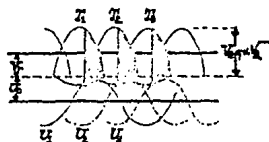
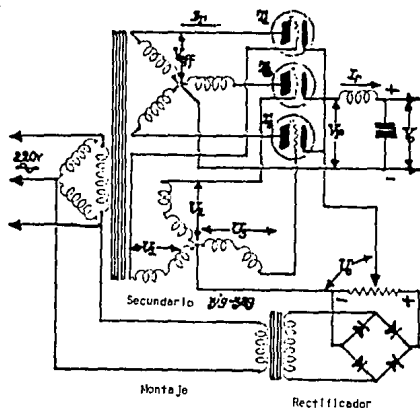
Características:

$$U_r = 0.81 U_{eff}$$

a conducción plena

$$I_f = .78 I_r$$

2) Montaje trifásico de una alternancia.

Forma de la tensión
rectificada

Potencias de 5 a 20 kW.

Montaje a excitación alterna fija y polarización continua obtenida por rectificador sec.

Desfasamiento de la tensión alterna de comando por secundario especial (montaje en zig-zag que proporciona un desfasamiento de 90°).

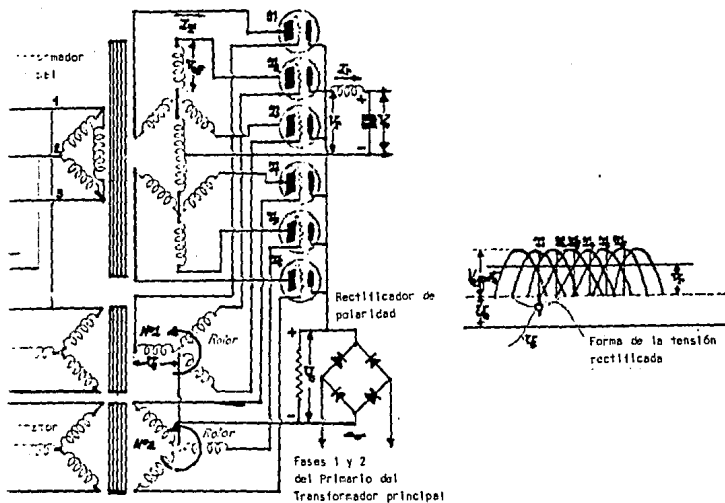
Características:

$$U_r = 1.05 U_{eff}$$

a conducción plena

$$I_f = 0.585 I_r$$

3) Montaje trifásico de doble alternancia.



Potencias de 10 a 50 KW.

Montaje a polarización continua fija y excitación alterna de fase regulable por regulador de inducción.

Una auto-inductancia de equilibrio separa los dos puntos neutros para que exista flujo en cada tubo durante $1/3$ de período.

Características:

$$I_r = 1.05 U_{eff}$$

a conducción plena

$$I_f = 0.289 I_r.$$

C A P I T U L O V I

REALIZACION PRACTICA DE UN GENERADOR DE CALENTAMIENTO ELECTRICO

La realización práctica de un generador electrónico de calor en vista de tres objetivos principales:

- La utilización racional del material (que conduce al mejoramiento del rendimiento general de la instalación).
- La simplificación de las maniobras (tanto desde el punto de vista regulación como del comportamiento del generador).
- La previsión de accidentes y la protección del material contra los incidentes del funcionamiento.

Con este fin los constructores se han visto en la necesidad de incluir en sus aparatos un cierto número de circuitos y dispositivos anexos de los cuales presento aquí lo esencial.

A) Disposición general

Los generadores de alta frecuencia son siempre construidos en forma sellada, a fin de evitar que el personal se encuentre en contacto con partes bajo tensión. Las cabinas así constituidas son ventiladas para la evacuación rápida de las pérdidas caloríficas (transformador-embobinadas-disipación placa).

El constructor coloca alrededor de las cabinas, planchas removibles que permitan y faciliten el mantenimiento y la supervisión de diversos elementos.

La fijación de estas planchas debe incluir un sistema que coloque el interruptor de alimentación general de la instalación en posición "abierto" al momento de la abertura de las mismas, a fin de prevenir cualquier peligro de electrocutación durante las operaciones de mantenimiento.

El oscilador está separado del resto de la instalación por un blindaje de metal muy buen conductor (cobre-latón-aluminio) que elimina el riesgo de interferencias y de parásitas radioeléctricas en las cercanías del generador.

El circuito oscilante puede formar un todo removible intercambiable con otros arreglos, siguiendo toda una gama de frecuencias. La adaptación del generador a diversos regímenes puede así efectuarse muy rápidamente.

Para la construcción o el montaje de tubos osciladores y rectificadores habrá que reportarse a obras consagradas a la radioelectricidad general y a la emisión.

Los bornes de salida del generador deben ser fácilmente accesibles para el enchufe de la carga.

En calentamiento por pérdidas dieléctricas, éstas se sitúan generalmente en la parte superior del generador de alta frecuencia, en el interior de una caja metálica que protege al personal y reduce las parásitas radioeléctricas.

En calentamiento por inducción, éstas están asociadas a una circulación de agua para el enfriamiento de la bobina inductora.

B) Comando de las operaciones de calentamiento

Una operación de calentamiento comprende:

- La puesta en marcha del generador alta frecuencia (G.A.F.)
 - El establecimiento del calentamiento en la carga.
 - El cese general de operación del generador alta frecuencia (G.A.F.)
- a) La puesta en marcha del G.A.F. se realiza en dos tiempos

-1- Calentamiento de los filamentos de los tubos osciladores y rectificadores.

-2- Aplicación de la alta tensión a las placas de los tubos rectificadores.

Un retardo aproximado de 30 segundos a 2 minutos separa la segunda operación de la primera. Esta forma de proceder tiene por objetivo el evitar la aplicación de una alta tensión al tubo frío, lo que podría producir condensaciones en el espacio interelectrodos.

Cuando el G.A.F. ha sufrido un paro prolongado se recomienda también el calentamiento de los tubos rectificadores durante un tiempo bastante prolongado (de 1/2 a 1 hora) a fin de eliminar toda condensación en el espacio interelectrodos. Esta precaución es indispensable para todos los tubos a vapor de mercurio.

El generador está entonces listo para funcionar, pero si el rectificador está compuesto por thyratrones, no habrá ningún flujo en la carga, porque las rejillas de comando estarán sometidas a la polarización máxima e impedirán todo paso de

corriente en los tubos.

La tensión rectificadora V_0 será nula. Se dice que el G.A. F. está en posición de "vigilia"...

b) Establecimiento del calentamiento en la carga.

Una vez colocada una carga, en los electrodos de trabajo, el calentamiento se establece desde la puesta en marcha para los generadores con rectificadores de fanotrones.

En los generadores con regulación de potencia, la energía alta frecuencia está comunicada con la carga en el horno y en la medida de la reducción de la polarización de bloqueo de los thyratrones. La tensión V_0 aumenta de la misma manera que la amplitud de las oscilaciones del circuito oscilante y el calentamiento se establece progresivamente en la carga.

La potencia necesaria es entonces regular al valor deseado:

- Sea manualmente por un operador que supervise las indicaciones de los aparatos de control (- Ueff para calentamiento por pérdidas dieléctricas).
- Sea por un regulador de potencia al cual está conectada mediante un servo la polarización de las rejillas de los thyratrones.
- Sea por la maniobra de un inversor de doble posición que aplica a las rejillas de los thyratrones.
- En posición "vigilia", la polarización máxima de bloqueo.
- En posición "carga", la polarización reducida del fun-

cionamiento a plena carga.

Estos dos últimos métodos permiten la utilización del G.A.F. por personal no calificado.

El circuito de rejilla comprende un sistema resistivo-capacitivo en paralelo, conectado a una toma variable a partir del secundario, colocado entre los puntos conectados a Ir y a r.

El circuito de placa comprende un relay S que es excitado cuando el thyatrón es polarizado.

Inicialmente, el thyatrón estando extinto, el funcionamiento es el siguiente:

- Interruptor Ir abierto - Los potenciales de placa V y de rejilla U en relación al cátodo están en oposición y la amplitud de la tensión de rejilla es superior a la tensión crítica de polarización: el thyatrón no puede ser polarizado.

Durante las alternancias positivas de la tensión de rejilla, el circuito de rejilla es recorrido por una débil corriente que carga el condensador C en un sentido tal que crea una polarización negativa de amplitud U en la rejilla (carga de C a la tensión U).

Mientras el thyatrón siga continuamente apagado, el relay S no será exitado.

Interruptor Ir cerrado - Los potenciales de placa V' y de rejilla U' están ahora en fase.

La polarización del thyatrón no es impedida más que por la existencia de la tensión negativa de polarización en los

bornes de C.

Pero como ninguna corriente circula ya por el circuito de rejilla, por el hecho de ser la placa positiva al igual que la rejilla y de descargarse el condensador C sobre la resistencia R, se produce entonces la reducción progresiva de la polarización de bloqueo del thyatrón.

Al momento en que la tensión residual en los bornes de C iguala a la tensión crítica de polarización, el thyatrón se polariza, excitando el relay S.

El tiempo de descarga del condensador C está regulado sea por variación de la amplitud de U de la polarización de bloqueo (conexión de rejilla regulable), sea por variación de los valores relativos de C y de R y es posible también provocar la excitación del relay S con un retardo variable en relación al cierre del interruptor Ir. El retardo puede tomar todos los valores entre 10 segundos y 3 minutos.

La apertura de Ir lleva al thyatrón al estado inicial.

Aplicados al comando de tiempo de calentamiento de un G.A.F., estos minutereros pueden ser montados de tal manera que la polarización de bloqueo de los tubos rectificadores correspondiente a la posición "vigilia" sea:

- Eliminada al momento del cierre de Ir (por un contacto auxiliar ligado a Ir).
- Postergada al momento de la polarización del thyatrón del minuterero (por el contacto móvil del relay S).

Es posible llevar más allá el automatismo empleando dos minutereros de los cuales uno controle el tiempo de calenta-

miento y el otro el tiempo de puesta en vigilia del G.A.F. para el desplazamiento de una carga y el emplazamiento de la siguiente.

Mediante el juego de contactos del relay S de cada minuterero se podrá obtener a voluntad una marcha de ciclo en ciclo o repetitiva.

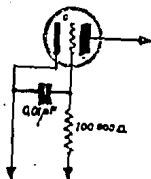
Es obvio el interés de tales dispositivos para la fabricación en serie.

C) SEGURIDAD

Se han tomado todas las disposiciones útiles para preservar la instalación contra las sobrecargas y las falsas maniobras.

Protección de los tubos:

- La alimentación alta tensión de placa no puede efectuarse sino después del calentamiento de los filamentos. Un relay cronométrico impide la puesta en marcha intempestiva antes de que los filamentos hayan alcanzado la temperatura normal de funcionamiento.
- La intensidad en el filamento es mantenida constante mediante una lámpara fierro-hidrógeno de regulación.
- Los tubos rectificadores son protegidos contra las sobrecargas por medio de fusibles que cortan el circuito de placa de la lámpara al presentarse dicho defecto.
- El circuito de rejilla de los thyatrones comprende:



- Una resistencia en serie de gran valor (100 000 Ω) que protege la rejilla contra la aplicación accidental de una polarización positiva demasiado elevada.
- Un capacitor ligado al cátodo, el cual impide toda polarización inoportuna de los tubos por efecto de la capacitancia rejilla - placa. El valor está comprendido entre 0.1 y 0.01 microfaradios. Por otra parte, la polarización automática de la rejilla de los tubos osciladores ejerce un efecto regulador sobre la amplitud de la tensión placa de los osciladores y sobre el flujo medio de

la corriente de placa.

Protección general:

- El interruptor de alimentación de los circuitos principales no puede ser cerrado sino después de la puesta en servicio de los circuitos de enfriamiento (placa del tubo oscilador-) y de la ventilación.
- La existencia de una sobrecarga en el circuito alta tensión provoca la aparición de una polarización negativa de bloqueo en la rejilla de los thyatrones del rectificador (G.A.F. de potencia superior a 5 kw).

La frecuencia es susceptible de una regulación de $\pm 10\%$.

En calentamiento por pérdidas dieléctricas un mismo generador puede funcionar para varias frecuencias gracias a la utilización de bloques de acoplamiento removibles.

Alimentación	Sector	Tensión	Potencia
-Primario	monofásico	220V	1 a 5 KW
	trifásico	220V-380V	5 a 100 KW
	"	5 000 V	50 a 200 KW
-secundario	tensión de 5000 a 20 000 V.		

CIRCUITOS DE SALIDA

Están concebidos para proporcionar la potencia de alta frecuencia disponible, sobre una impedancia de carga media.

Según Bendz (1) los circuitos de salida presentan las características máximas siguientes:

Potencia activa disponible Pr en KW.	Intensidad I _{eff} en amperes.	Potencia aparente Pa en KVA.
5	110	165
10	135	400
20	175	525
50	300	1 350
100	425	2 150
200	600	3 600

(1)-W.I. BENDZ Electronics for industry, pag. 346. Ver bibliografía.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El calentamiento por pérdidas dieléctricas es un método muy eficiente para secar o deshidratar cualquier tipo de material no conductor de la electricidad, como: madera, aislantes para electrotecnia, textiles, tabaco, heno, chile, sal y café.

Al hablar de materiales no conductores de la electricidad, hablamos también de materiales no conductores del calor, donde para elementos de grandes espesores la evaporación es prácticamente nula en el centro; este tipo de calentamiento sí la logra y además es uniforme y mucho más rápido que cualquier otro tipo de calefacción (como calentamiento por conducción o por inducción).

Por dar un ejemplo, tenemos que el calentamiento por el método de conducción logra en 6 horas un incremento de temperatura de 180°C, mientras que el calentamiento por pérdidas dieléctricas lo realiza en 4 minutos.

Además, el calentamiento por pérdidas dieléctricas también es aplicable para pegar grandes piezas de madera, para la vulcanización del caucho, moldeado de materias plásticas, torsión de fibras textiles.

En la industria alimentaria, quizá donde mayor aplicación podría tener en México, se utilizaría para secar café, tabaco, chile, sal y frutas secas, los cuales se secan actualmente, exponiéndolas directamente al sol; con la consecuente pérdida de tiempo y también económica si se presentara alguna lluvia inesperada, la cual estropearía toda la cosecha en exposición al sol.

Según datos del Banco de Crédito Rural (BANRURAL), se tienen pérdidas del 15% de la producción total de ajo y chile por este concepto, en el Estado de Jalisco. El método de secado usado actualmente, es por medio de chorros de aire caliente.

Este sistema de calefacción se presta para el secado en serie por la sencillez de las herramientas asociadas con la carga, o sea, dos placas (o electrodos).

Dichas placas se conectan a un oscilador de alta frecuencia, siguiendo, claro está, todas las restricciones técnicas que esto implica y se produce así, un campo eléctrico variable, el cual hace cambiar de posición alternativamente a los dipolos de las moléculas del agua, produciéndose fricción entre éstas y al mismo tiempo, la presencia del calor y la consiguiente evaporación del agua.

Los principios técnicos están claramente definidos y no son muy complejos.

Para lograr la fabricación de este dispositivo se requiere del diseño del oscilador, dependiendo de la aplicación que se le quiera dar, el costo de su fabricación es elevado, debido a que las potencias que se quieren manejar son por el orden de 20 a 30 kilowatts. Esto implica que se tengan que usar bulbos (como los citados en el capítulo del oscilador) que son muy caros y no compensarían la inversión. Sin embargo, actualmente se están fabricando transistores de potencia (Motorola) que manejan corrientes altas, que se podrían utilizar para fabricar dicho oscilador a un costo mucho más bajo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- | | | |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| HALLIDAY,
RESNICK | FISICA | John Wiley and Sons.
1966 |
| A. MAITRE | TEORIA DEL CALENTAMIENTO
A ALTA FRECUENCIA | 1950 |
| W.I. BENDZ | ELECTRONICA INDUSTRIAL
CAP. 14 CALENTAMIENTO A ALTA
FRECUENCIA | JOHN WILEY AND SONS
1949 |
| G.M. CHUTE | APLICACIONES INDUSTRIALES
DE LA ELECTRONICA | 1948 |
| W.D. COCKRELL | CONTROL EN ELECTRONICA
INDUSTRIAL | MC GRAW HILL
1944 |