Ing. electricista, J. Hinrichsen

Las ondas decimétricas [1]

(Conclusión)

EL OSCILADOR DE BARKHAUSEN-KURZ, O A «CAMPO DE FRENAJE»

Ya habíamos visto las dificultades existentes en la generación de ondas decimétricas mediante el triodo a reacción. La dificultad en construir válvulas de electrodos de tamaño reducido, el hecho de que con ellas sólo se puedan obtener potencias útiles pequeñas junto con un reducido rendimiento, han motivado investigaciones en otros campos tendientes a otros métodos de generación de oscilaciones. El oscilador de Barkhausen-Kurz, inventado hace aproximadamente 20 años por los dos investigadores alemanes, cuyo nombre lleva, es una de las soluciones obtenidas. Su empleo ha sido concretado exclusivamente a las ondas muy cortas, por cuyo motivo no se le conoce en el campo de las ondas cortas y largas, en donde domina ampliamente el por todos conocido oscilador a reacción. Ha sido empleado en muchos casos de la práctica, por ejemplo, la comunicación entre Dover y Calais que funciona desde hace años en onda de 18 centímetros, por haces dirigidos. Actualmente, al parecer, el magnetrón le está quitando campo y se impone en aquellos casos en que el oscilador a reacción no puede ser usado. No obstante, tiene este oscilador un gran interés, por cuyo motivo lo trataremos con la debida extensión que permita este examen general del ya tan vasto campo de las ondas decimétricas.

El oscilador de Barkhausen-Kurz es un triodo en que la grilla tiene potencial altamente positivo y la placa está a potencial cero o ligeramente negativo. ¿Qué le sucede a un electrón que se desprende del catodo en estas condiciones? Es acelerado fuertemente por la grilla; pero en su movimiento pasa más allá de ésta llegando al espacio que queda entre la grilla y la placa. En ese momento es frenado en su movimiento ya que la propia grilla trata de volverlo hacia atrás y por otra parte, en caso de placa negativa, esta última lo repele. Todo esto sucede, naturalmente, sólo si el electrón no choca a la primera vez con la grilla y puede seguir así por espacio de un tiempo «bailando» alrededor de ella hasta chocar definitivamente. El electrón en su movimiento, figura 4, actuará por influencia sobre los electrodos, induciendo en ellos potenciales alternativos que debidamente captados podrán ser conducidos a un sistema irradiante, por ejemplo. Es éste, por cierto en forma idealizada, el mecanismo

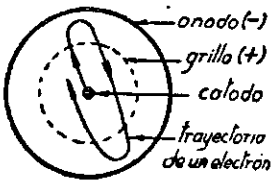

Fig. 4

(1) La primera parte de este trabajo se publicó en el número de Octubre-Noviembre.

de la generación de oscilaciones por el método de Barkhausen-Kurz. Decimos «idealizado» porque hasta ahora no hemos hecho mención del necesario compás que han de tener los electrones en juego, sólo nos hemos referido al movimiento de uno solo. Lo cierto es, que hay una infinidad de electrones moviéndose al interior del tubo y a primera vista no hay razón de suponer que todos marchan al mismo ritmo. Los electrones se desprenden en forma desordenada del catodo; pero, para que haya una corriente influenciada en los electrodos es, necesario que haya algo como una nube de electrones en constante penduleo alrededor de la grilla; es preciso que los electrones se muevan en fase. Si todos se movieran desordenadamente; sus influencias en los electrodos quedarían anuladas recíprocamente. En realidad existe tal ordenación, y es éste el punto más difícil de explicar y por consiguiente el punto débil de la teoría del funcionamiento de este oscilador. Para darnos cuenta del mecanismo, supongamos por un momento que la ordenación aludida exista y que en los electrodos haya potenciales alternativos inducidos y veamos si esta situación se puede mantener permanentemente. Haremos, pues, lo mismo que en el caso de la teoría del oscilador a reacción en que se supone que por alguna perturbación inicial, por ejemplo, la conexión repentina de algún potencial, se forma una corriente variable que es rápidamente aumentada, a causa de la reacción, hasta establecerse el estado de oscilación permanente. La corriente alternativa sobre los electrodos, que suponemos existente, influye a su vez sobre los electrones en movimiento, frenando unos y acelerando otros de fase contraria a los primeros. En el primero de los casos hay cesión de energía y en el segundo, absorción de energía hacia el circuito exterior. Para que el circuito tenga interés práctico evidentemente es necesarioo que lo último, el frenaje, se efectúe en forma preponderante, vale decir, es preciso eliminar todos los electrones que no estén en fase con aquellos que resultan frenados. Este proceso tiene lugar en caso de placa ligeramente negativa, en estas condiciones no pueden llegar electrones a ella si no fuera por las tensiones alternativas en cuestión y precisamente son los electrones que han de eliminarse los que chocan con la placa ya que los que son de por sí frenados por el potencial alternativo son más frenados todavía, mientras que los acelerados chocan con el anodo. De manera que hay una selección continua de electrones, los que se mueven fuera de fase son eliminados constantemente. Ahora bien, no trabajándose con anodo negativo no puede verificarse esta «selección de electrones». Hay, sin embargo, otro medio que consigue lo mismo y es la «selección de fase»: los electrones acelerados por las tensiones alternativas tienen un período de oscilación mayor que aquellos que son frenados; pero estos últimos son los que determinan la frecuencia; los primeros cambian poco a poco su fase hasta quedar en fase con los electrones frenados. Es así, pues, como se mantiene la ordenación de los electrones y por lo tanto la mantención del estado oscilatorio.

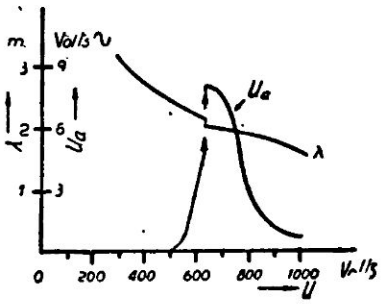

Fig. 5.—Longitud de onda y potencial alterno en placa (intensidad de las oscilaciones) función de la tensión en grilla.

Veamos ahora cuáles son los factores que determinan la frecuencia de oscilación.

El examen hecho hasta aquí ya nos ha permitido ver que para la frecuencia no influye en nada el circuito exterior, todo se realiza al interior de la válvula; la frecuencia queda determinada por el movimiento de los electrones. El período de oscilación es el tiempo que demora el electrón para ejecutar una oscilación mecánica completa alrededor de la grilla. Determinará este período, por consiguiente, la distancia entre electrodos y la velocidad del electrón y como esta última dependerá de la tensión en grilla serán en definitiva esta tensión y la distancia entre electrodos los determinantes de la frecuencia. Es fácil hacer un cálculo teórico, sobre todo al tratarse de electrodos planos, para determinar la frecuencia. Se aplicarán las leyes de la caída libre para calcular el tiempo que demora el electrón en «caer» desde el filamento hasta la grilla y se le suma el tiempo que demora en «subir» hasta la placa. El doble de esa suma será el período de oscilación. Si la válvula tiene electrodos cilíndricos, como en la mayoría de los casos, la fórmula se complica un tanto debido a la estructura del campo eléctrico. Se puede, sin embargo, usar la siguiente fórmula aproximada para cálculos previos:

$$\lambda = 100\, r_a / \sqrt{U}$$

en que r_a es el radio de la placa y U_g la tensión positiva de rejilla. En este oscilador debemos pues, variar la tensión de rejilla para variar la onda. Evidentemente, no podremos quedarnos sin el empleo de un circuito sintonizado que irá conectado a los electrodos, sea placa y grilla, también placa y catodo o grilla y catodo. Mediante este sistema oscilante no sólo será posible acoplar, por ejemplo, un sistema irradiante a la válvula sino que viene a constituir un medio de controlar el rendimiento de la válvula. Se ha constatado que cuando el circuito oscilante exterior está sintonizado a la frecuencia propia de oscilación del tubo entonces se obtiene el máximo de rendi-

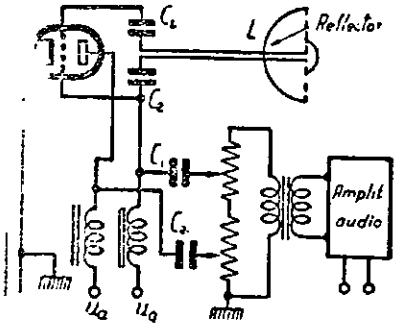

Fig. 6.—El transmisor Dover-Calais.

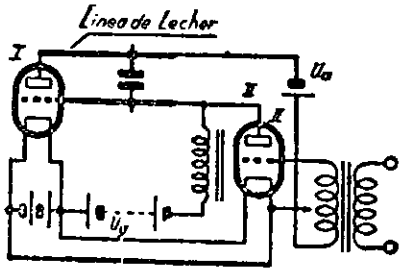

Fig. 7.—Modulación Heising.

miento. En cuanto al rendimiento mismo del oscilador de Barkhausen-Kurz, es pequeño y la causa reside en el mecanismo mismo del oscilador. Se explica el pequeño rendimiento de la siguiente manera: La gran mayoría de los electrones caen sobre la grilla y esto a gran velocidad, es decir, poseyendo gran energía cinética, energía que forzosamente ha de convertirse en calor que se pierde. No hay hasta ahora un medio de conseguir que los electrones caigan sobre la grilla a poca velocidad, por lo que parece va a ser poco probable una mejora del rendimiento. A excepción del Resotank

(7) casi todos los demás osciladores de Barkhausen-Kurz tienen un rendimiento que oscila alrededor del 5%. En el Resotank alcanza el valor de 20%, es este un tipo especial en que el circuito sintonizado está construído dentro del mismo tuvo.

La figura 5 nos permite reconocer el comportamiento del oscilador en cuanto a las variaciones de potencial. Las curvas han sido tomadas para una determinada sintonía del circuito exterior. Vemos claramente la variación de la onda con respecto al potencial en rejilla, ésta tiene un punto de variación brusca precisamente al pasar por la sintonía del circuito exterior. No menos interesante es la curva intensidad de oscilación función del potencial de rejilla en idénticas condiciones, la intensidad de oscilación es máxima al pasarse por el punto de sintonía del circuito exterior, tal como quedó dicho más arriba. Esta dependencia tan sensible de la frecuencia con respecto a las variaciones de potencial en los electrodos trae consigo naturalmente una gran inestabilidad de frecuencia del oscilador, ya que cualquier variación de los potenciales hace variar la frecuencia inmediatamente. Este oscilador deberá, pues, funcionar únicamente con fuentes de tensión cuidadosamente estabilizadas para poder trabajar en condiciones aceptables de estabilidad de frecuencia. Por otra parte, y esto es más grave aún, la modulación por simple variación de los potenciales aplicados no será ya posible si se quiere evitar la modulación de frecuencia que irremediablemente sobrevendría junto con la de amplitudes. Para ello se cuenta con un medio sencillo. La compensación del desajuste provocado por la variación de la tensión de grilla mediante una variación en sentido contrario de la tensión en placa, en forma tal, que la llamada tensión de «control» quede igual. La figura 6 muestra el circuito del transmisor de la comunicación entre Dover y Calais en onda de 18 centímetros, en donde se ha empleado la compensación de frecuencia para la modulación. Asimismo, la figura 7 muestra otro circuito, en donde se emplea la modulación Heising, y que también está provisto de compensación de frecuencia.

Para conseguir aumento de potencia para una salida determinada es posible, si no se quiere construir el tubo de la potencia requerida, acoplar varios en paralelo o también usar la disposición push-pull. Ya que con los alambres de Lecher se puede conseguir una alta impedancia, y como vimos en el artículo anterior es esto lo que se busca para el elemento de acoplamiento, se usará de preferencia alambres de Lecher para acoplar las válvulas entre sí. Los tubos mismos irán, pues, construídos de manera de facilitar la conexión de los alambres de Lecher. La figura 8 muestra una disposición de esta clase tal como se emplean en los tubos Telefunken RS 295 y RS 296 (osciladores de Barkhausen-Kurz), y en donde los electrodos tienen dos salidas al exterior. En el circuito indicado la válvula trabaja sola pero con un sistema de Lecher a cada lado, siendo la disposición mecánica prevista de tal modo que en los puntos en que los contactos pasan por el vidrio haya un nodo de tensión. Con esta última medida se evitan las pérdidas en

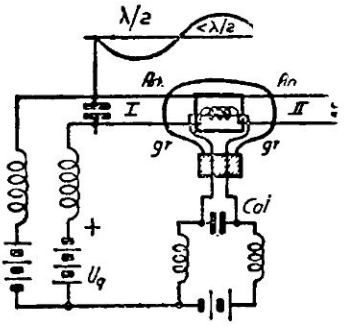

Fig. 8.

el vidrio, las que a frecuencias tan elevadas pueden ser de consideración. Estos tubos pueden fácilmente acoplarse en paralelo o push-pull.

EL OSCILADOR A MAGNETRÓN

En el oscilador Barkhausen Kurz, se obtiene un movimiento de electrones en el interior del tubo mediante la acción de un campo eléctrico, o mejor dicho: de dos. El primero, provocado por la grilla altamente positiva, atraía los electrones provenientes del catodo y el segundo, provocado por la placa, a potencial cero o ligeramente negativo, venía a constituir como un «campo de frenaje» que hace volver al electrón hacia la grilla, originándose así un constante vaivén. Vimos que los electrones se «ordenaban» automáticamente en su movimiento, lo que viene a ser una característica muy importante por cierto, esencial para hacer posible la inducción de potenciales alternativos correspondientes en los electrodos del tubo. Pues bien, el magnetrón es un dispositivo similar; también se genera en el interior de él un «baile electrónico ordenado» que induce potenciales alternativos correspondientes en los electrodos, permitiendo la captación de energía de alta frecuencia desde el interior del tubo y su conducción hacia el circuito exterior para su utilización.

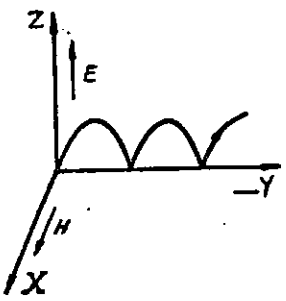

Fig. 9.

Antes de describir el magnetrón mismo recordemos primeramente lo más fundamental del movimiento de un electrón dentro de un campo electromagnético. Sea, figura 9, un campo eléctrico de intensidad E en dirección del eje de coordenadas y un campo magnético de intensidad H en dirección del eje de coordenadas X, o sea perpendicular al primero. Según las leyes del electromagnetismo, un electrón que se mueva paralelo a la coordenada Z, impelido por el campo eléctrico E, será desviado de esta ruta en dirección a la coordenada Y por causa del campo magnético. El resultado es un movimiento cicloidal tal como lo indica la figura, caso que corresponde a velocidad inicial cero del electrón. Si esta velocidad inicial no es cero la cicloide tiene tan sólo otra forma. El cálculo permite reconocer que a menor velocidad del electrón tanto mayor es la curvatura de la trayectoria, lo mismo viene a dar baja intensidad del campo eléctrico evidentemente ya que es éste el que origina el movimiento del electrón. Por otra parte la curvatura es mayor a mayor intensidad del campo magnético.

En la práctica, figura 10, el campo electromagnético citado se realiza en el magnetrón de la siguiente manera: El campo eléctrico viene a ser constituído por el catodo y la placa positiva generalmente de forma cilíndrica. El anodo produce pues un campo eléctrico radial en el espacio entre catodo y anodo. El campo magnético, como lo indica la figura, va en dirección del catodo. Haciendo pues un corte por el tubo, según un plano perpendicular al filamento obtendríamos la figura 11 en que E denota el campo eléctrico radial y en donde el campo magnético va perpendicular al plano del dibujo. La cicloide ya no es la misma del caso anterior, su círculo de rodadura se mueve ahora sobre otro círculo, concéntrico al catodo, y no sobre una recta como

en el caso primitivo. El caso representado es el de un electrón en libre movimiento en el interior del espacio interelectródico. Veamos ahora lo que le sucede al electrón que abandona el filamento incandescente del tubo: existen dos posibilidades, ambas representadas en la figura 12. La primera, que el campo magnético sea poco intenso, o lo que es lo mismo que el eléctrico sea muy fuerte, en cuyo caso el electrón sigue una trayectoria más o menos curva desde el catodo hacia el anodo chocando finalmente contra éste. El segundo caso: el campo magnético es fuerte, tan fuerte que ocasiona la vuelta del electrón hacia el catodo sin que pueda chocar contra la placa. Vemos de esta consideración de que ha de existir un momento bien preciso, mejor dicho: un campo magnético bien determinado para una tensión dada en placa para el cual el electrón choque justamente en forma tangencial contra la placa. Un pequeño aumento del campo magnético o una pequeña disminución del campo eléctrico evitaría el choque. En otras palabras: habrá un límite bien determinado a partir del cual habrá corriente de placa. La experiencia confirma esta deducción, tal como lo indica la figura 13. Vemos que muy pequeñas variaciones del campo magnético alrededor del valor crítico descrito pueden provocar grandes variaciones de la corriente anódica. Puede usarse pues el magnetrón como amplificador (fig. 14) y aun como oscilador a reacción empleando la necesaria realimentación, como lo hizo Hull. Este método ya no se usa sin embargo, debido a la alta potencia reactiva que exige el campo magnético para obtener el control necesario del mecanismo. Se usa hoy día más bien el control eléctrico, debido a Habann, y que consiste en variar el potencial de anodo para obtener los mismos fines.

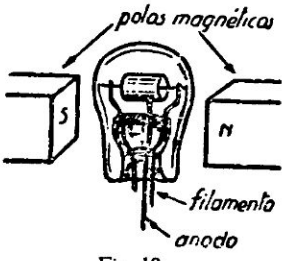

Fig. 10.

En el mecanismo del magnetrón influyen los siguientes campos: 1) el eléctrico, constante, formado por la caída de potencial catodo-placa; 2) el eléctrico alternativo formado por el potencial alterno superpuesto al primero; 3) el campo magnético constante a lo largo del catodo formado por ejemplo, por un imán permanente y 4) el campo magnético alterno superpuesto al anterior. Estos dos campos alternativos son producidos por el movimiento de los electrones y por lo tanto no los podemos suponer existentes desde el primer momento. Se producen recién después de haberse «excitado» el oscilador de manera de garantizar el estado de oscilación permanente. Y aquí habríamos llegado nuevamente al punto débil de la teoría al igual que en el caso del oscilador de Barkhausen Kurz y es pues el explicar por qué entra en oscilación el magnetrón y más precisamente: por qué se ordenan los electrones automáticamente en orden a efectuar un movimiento en fase que haga posible la inducción de potenciales alternativos en los electrodos del tubo, produciendo los dos campos alternativos recién nombrados. Haremos uso, para salvar este inconveniente, del mismo «truco» empleado al explicar la teoría del oscilador de Barkhausen-Kurz, supondremos existente el estado de oscilación y veremos si puede mantenerse por sí solo. En

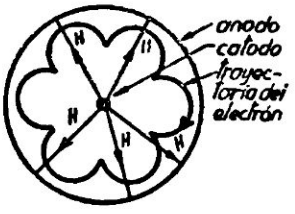

Fig. 11.

efecto: los electrones que estén adelantados a la fase preponderante chocarán contra la placa siendo eliminados del proceso, los otros, que van retrasados, son frenados hasta entrar en fase. Como se ve, también en este caso es posible la ordenación automática de los electrones, condición fundamental para la mantención de las oscilaciones.

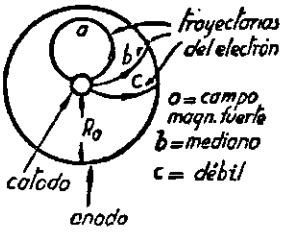

Fig. 12.

Además del tipo de la figura 10, de anodo cilíndrico continuo, que es por lo demás el caso menos frecuente, existen magnetrones con anodos partidos en segmentos. Así los hay con dos, tres, cuatro, seis segmentos, conociéndoselos generalmente por el número de pares de segmentos. Para el magnetrón de figura 10, el circuito usado viene a ser el de figura 15 *a*, en donde el circuito oscilante va entre el catodo y la placa. La figura 15*b* y 15*c* muestran magnetrones con placas de dos y cuatro rendijas longitudinales respectivamente conectados en circuito monofásico; el circuito oscilante va entre segmentos del anodo. Finalmente la figura 15*d*, nos muestra el caso de un magnetrón de tres placas conectado en circuito trifásico. Antes de continuar veamos cómo funciona el magnetrón de placa partida en segmentos, por ejemplo, el de

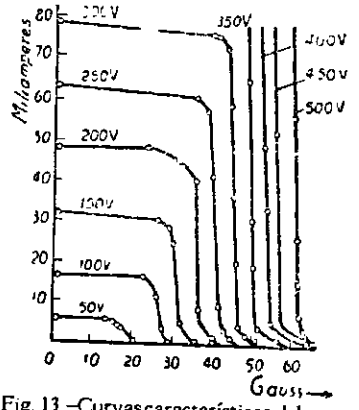

Fig. 13.–Curvas características del magnetrón. Intensidad de anodo en función de la intensidad del campo magnético.

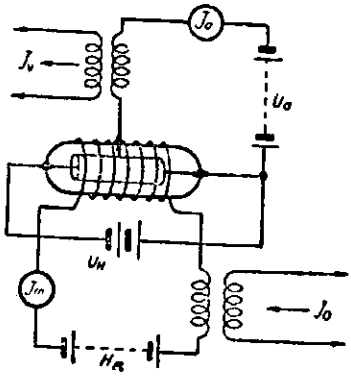

Fig. 14.—El magnetrón conectado según el circuito usado en un comienzo de su técnica.

figura 15 *b*. Para ello observaremos el diagrama de figura 8 que nos representa un momento dado de la oscilación en que el potencial alterno en el circuito oscilante es tal que la diferencia de tensión en ambas placas sea igual a 0,4 veces el potencial estático. Además, el campo magnético tiene un valor igual al doble del valor crítico de que hablamos al tratar el magnetrón primitivo. Las líneas dibujadas en el interior del tubo son las líneas equipotenciales del campo eléctrico, que como se ve, tiene deformaciones características debido a los espacios libres entre los segmentos de la placa: las rendijas longitudinales. La trayectoria dibujada, calculada matemáticamente y comprobada en la práctica, es la que recorre el electrón en estas condiciones. Vemos, y esto es lo más importante, que no cae sobre la placa de más ele-

vado potencial sino al contrario sobre la de potencial menor. Estudios análogos han hecho ver que a menos intensidad del campo magnético la trayectoria va a dar contra la placa de mayor potencial y que a intensidad mucho mayor que la crítica el electrón no choca con ninguna de las dos placas. Vemos pues, que la introducción de los dos segmentos hace variar las cosas; entre otras, la intensidad magnética crítica ya no tiene el mismo significado que en el caso del magnetrón simple primitivo de una sola placa. Sin embargo el hecho más resaltante es de que podamos hacer chocar el electrón contra la placa de menor potencial, vale decir: la placa negativa en cuanto al proceso alternativo se refiere. Esto es como hablar de una característica negativa de corriente-tensión, condición que como sabemos basta para la generación de oscilaciones, v. gr. el dinatrón.

Llegados a este punto podemos formular la pregunta de cuál es la frecuencia generada por el magnetrón. Habíamos dicho ya que el potencial alternativo inducido en los electrodos por los electrones en movimiento es correspondiente a estos movimientos. Debe existir, pues, una estrecha relación entre la frecuencia eléctrica inducida y la frecuencia de las oscilaciones de los electrones. Así, es, efectivamente, por ejemplo, en la figura 12 hay relación directa entre ambos valores, no así en figura 11, en donde la frecuencia mecánica es mayor que la eléctrica inducida. En este último caso debemos distinguir, en efecto, la frecuencia llamada de «círculo de rodadura de la cicloide» producida por las oscilaciones del electrón a lo largo de su trayectoria y además la frecuencia llamada de la «trayectoria directriz de la cicloide» que corresponde a las vueltas completas del electrón. La primera de éstas es la que se usa como referencia para caracterizar la frecuencia útil aprovechada en los electrodos, o sea la frecuencia de servicio. Se usa el índice n, llamado orden de la frecuencia:

$$n = \frac{\text{frecuencia propia del electrón}}{\text{frecuencia de servicio}} = \frac{W_e}{W}$$

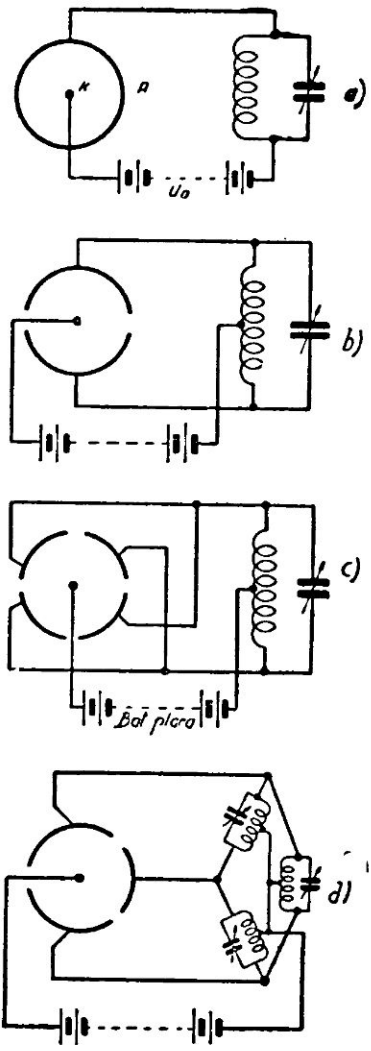

Fig. 15 a.—Circuito del magnetrón con placa no segmentada.
Fig. 15 b.—Circuito monofásico de magnetrón con un par de placas.
Fig. 15 c.—Circuito monofásico de magnetrón con dos pares de placas.
Fig. 15 d.—Circuito trifásico de magnetrón de tres placas.

Así se habla de oscilaciones de orden *Uno* cuando hay correspondencia exacta entre la frecuencia mecánica del electrón y la frecuencia eléctrica cedida por el tubo hacia el exterior. Analicemos los distintos casos a base de esta clasificación.

I) Oscilaciones de orden *uno* (n = 1). Se pueden obtener en magnetrones con anodos segmentados o sin segmentar, no influyendo para nada ni el número ni la disposición de los segmentos. Las tensiones alternativas obtenidas son alrededor de un 5% de la tensión continua en placa; el rendimiento raras veces es superior a un 10%. La sintonización del circuito exterior no tiene influencia en la frecuencia generada, sólo determina el rendimiento obteniéndose el máximo de éste en el punto de concordancia de la sintonía exterior con la frecuencia propia de los electrones. Esta clase de oscilaciones sólo pueden excitarse mediante una pequeña inclinación del campo magnético con respecto al catodo o también mediante el uso de placas laterales especiales, disposiciones ambas tendientes a eliminar los electrones «molestos», recursos especiales que no son necesarios en los demás tipos de oscilaciones. Al trabajar el tubo con el campo magnético de intensidad crítica (véase lo dicho anteriormente) resulta la onda generada:

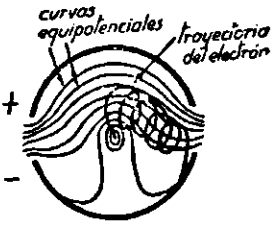

Fig. 16.—Trayectoria del electrón en magnetrón de placa birregimentada

$\Delta U_a = 0.4\, U_a$
$H = 2\, H_{crítico}$

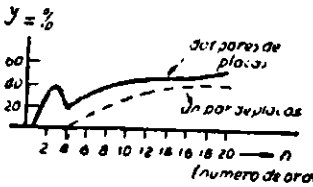

Fig. 17.—El rendimiento en función del número de orden de las oscilaciones en magnetrones de uno y dos pares de placas.

$$\lambda = \frac{1590 \cdot r_a}{\sqrt{U_a}} \text{ (cm)}$$

en donde r_a es el radio del anodo y U_a su tensión. Las ondas más cortas obtenidas con magnetrones son a base de oscilaciones de orden *uno* y están alrededor de un centímetro de longitud. Aun ha sido posible constatar oscilaciones de orden menor que *uno*, obteniéndose menores longitudes de onda, como to demuestran los trabajos de Groos hechos en el Insituto de Investigación Científica de los Correos del Reich.

II) Oscilaciones de orden superior (n = 10). Sólo se presentan en magnetrones con placas segmentadas. Las tensiones de alta frecuencia inducidas en los electrodos varían de 10 a 20% de la tensión continua en placa. El rendimiento es muy superior al de las oscilaciones de orden *uno*, alcanzando el 50% y más. La onda generada depende del circuito exterior, obteniéndose el máximo de rendimiento al haber concordancia entre la sintonía del circuito exterior y la frecuencia de la «trayectoria total de los electrones». De esta manera es posible llegar a una fórmula que indique el largo de onda más conveniente:

$$\lambda = \frac{3160 \cdot r_a n \sqrt{\frac{1}{n \cdot p - 1}}}{\sqrt{U_a}}$$

en donde p es el número de pares de polos del anodo. Esta fórmula, similar a la anterior, nos indica que para conseguir ondas más cortas es necesario alta tensión en placa, dimensiones reducidas de los electrodos y oscilaciones de bajo orden. Las oscilaciones de orden superior son más fáciles de excitar y la estabilidad es mayor.

III) La zona de transición ($1 < n < 10$). Al disminuir el número de orden disminuye también el rendimiento del magnetrón, explicable a causa de la siempre menor influencia de la frecuencia debida a las «vueltas completas» del electrón y la preponderancia que va en aumento de la frecuencia llamada de «círculo de rodadura» y que nosotros habíamos convenido en llamar frecuencia propia del electrón. Bajando aun más el número de orden de las oscilaciones llega un momento en que esta última frecuencia participa también del intercambio de energía notándose en ese momento un súbito aumento del rendimiento. Hay, pues, intercambio simultáneo de energía por ambas frecuencias, con el exterior. La teoría dice que esto sólo es posible en magnetrones de dos o más pares de rendijas en el anodo. Así la curva para anodos partidos según un par de rendijas de figura 9 no denota el aumento de rendimiento en referencia. La teoría permite establecer el número de orden, dado el número de pares de rendijas del anodo y el número de pares de polos de éste, para el cual existe el intercambio simultáneo de energía y por consiguiente buen rendimiento. Para el magnetrón de dos pares de rendijas en el anodo el número de orden n ha de ser igual a 2 y para 3 pares de rendijas ha de ser igual a 3 para que se cumpla la condición estipulada. De todo lo anterior se desprende una conclusión: la importancia de las oscilaciones de orden $n=2$; en efecto, mediante ellas es posible generar las ondas más cortas a alto rendimiento. De ahí la preponderancia de los magnetrones de placas de cuatro y mayor número de rendijas en el anodo.

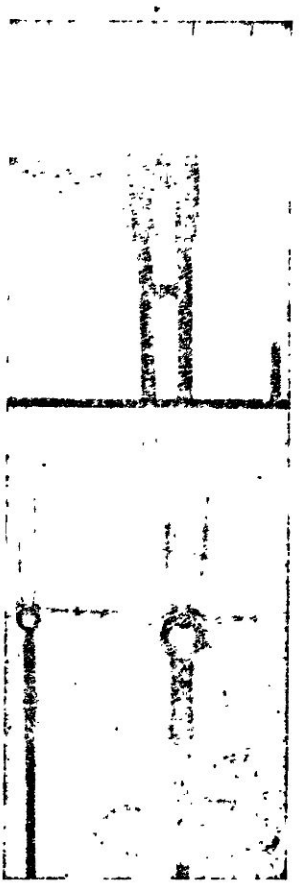

Fig. 18.—Magnetrones refrigerados por agua construídos por Pfetscher-Puhlmann:
a) Para 100 cm. de onda, 850 watts. b) Para 46 cm. de onda, 450 watts. c) Para 19 cm. de onda, 80 watts.

Para terminar, una revisión general a los distintos tipos de magnetrones construídos hasta la fecha. Las ondas más cortas obtenibles vimos que eran a base de oscilaciones de orden uno. Es así como Cleeton y Williams (8) produjeron ondas de un centímetro, con un pequeño magnetrón de placa no segmentada. Para este rango de ondas el tubo no segmentado ofrece además, la ventaja de su fácil construcción en vista de su sencillez, otra ventaja es la de no exigir campos magnéticos tan elevados. Muy interesante es un magnetrón de $n=1$ construído por Rice (9) para ondas de 4 a 5 cm. y que lleva refrigeración a agua. La disipación en placa es de 350 watts siendo la potencia útil de 3 watts, o sea rendimiento apenas

1%, que concuerda con lo dicho anteriormente para oscilaciones de este orden. En cuanto a magnetrones para ondas no tan extremadamente bajas y siempre que se quiera obtener grandes potencias se prefiere el magnetrón de un par de placas por ser el que le sigue en sencillez de construcción al tipo de anodo lleno, sobre todo

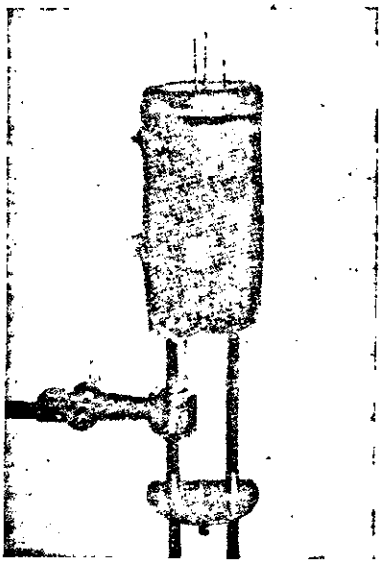

Fig. 19.—Magnetrón refrigerado a agua para onda de 50 cm., 120 watts, construído en el Instituto de Investigación Científica de los Correos del Reich.

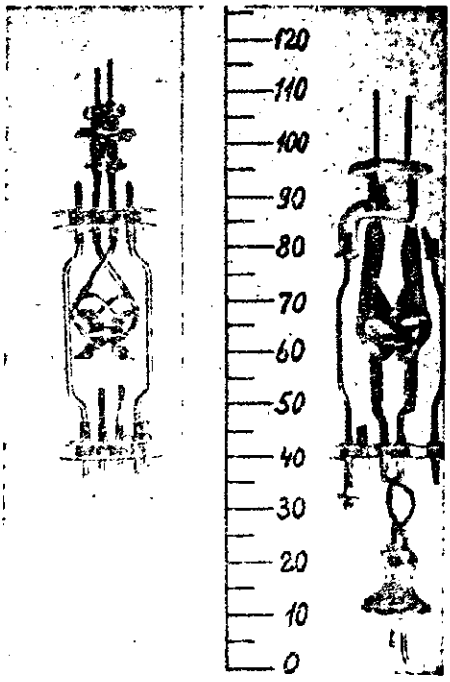

Fig. 20.—Magnetrones a refrigeración de aire, para onda de 50 cm., fuera de su bulbo de vidrio. Nótese las aletas refrigerantes en los segmentos del anodo.

empleándose la refrigeración por agua. Pfetscher y Puhlmann (10) construyeron magnetrones refrigerados a agua (fig. 18) para potencias útiles de hasta 850 watts. En los tipos de ondas más cortas acondicionaron los circuitos de sintonía al interior del tubo, figura 10*b* y *c*; Groos (11), del Instituto de Investigación Científica de los Correos del Reich construyó un tubo refrigerado a agua para ondas de 50 cm. obteniendo hasta 120 watts útiles (figura 19). Ahrens (12), construyó en el Instituto de Física de la Universidad de Jena, un magnetrón refrigerado por agua también, de diseño singularmente feliz, obteniendo 110 watts útiles a una longitud de onda de 25 cm., con 27% de rendimiento. El mismo tubo rinde 600 watts a 45% de rendimiento y a 60 cm. de onda.

Una dificultad apreciable para la obtención de grandes potencias por medio del magnetrón es la que constituye el efecto de realimentación del filamento provocado por el bombardeo de los electrones que en su movimiento vuelven a caer sobre él. Investigadores como Helbig (13) en Alemania y Okabe (14) en el Japón, se han ocu-

pado de este asunto y han construído magnetrones especiales «sentrones» con dispositivos adecuados para aminorar el efecto perjudicial citado.

Y con esto terminaremos estas breves consideraciones acerca del magnetrón, elemento que en el campo de las ondas decimétricas posiblemente llegue a obtener la preponderancia. En realidad queda aún mucho por decir sobre el tema, v. gr., la modulación, la recepción, etc. No obstante, concluiremos en virtud de que lo más importante ha sido tratado y tan sólo ese fué el motivo que nos indujo a hilvanar estas líneas: dar una introducción a la técnica de las ondas decimétricas. Todo lo cual no impide que en alguna ocasión volvamos sobre el particular tratando algún tópico especial a medida que el interés lo justifique.

BIBLIOGRAFIA

(1) Electrical Communication, Okt, 1937.
(2) Hollmann, Technick der Ultrakurzen Wellen.
(3) Anales del Instituto de Ingenieros, «La radio al servicio de la aviación», del autor.
(4) Proceedings Institute of Radio Engineers, Abril 1938.
(5) Id., octubre 1937.
(6) «Revista Telegráfica», noviembre 1938, artículo del autor.
(7) Zeitschrift für Hochfrequenztechnick und Elektroakustik, marzo, 1938.
(8) Williams y Cleeton, Phys. Review 1933-34.
(9) Rice, Gen. Electric Review 39, 363, (1936).
(10) Pfetscher y Puhlmann, Zeitschrift f. Hochfrequenztechnick 47, 105, (1936).
(11) Groos, Elektr. Nachrichten Technick 14, (1937).
(12) Ahrens, Zeitschrift f. Hochfr. u. Elektroakustik, Dez 1937.
(13) Helbig, id. 1937.
(14) Okabe, Electrot. Journal, Tokyo, 1937.

Además:

Kammerloher, Hochfrequenztechnick, Tomo 2.
Groos, Einführung in Theorie u. Technick der Dezimeterwellen, Tomo I.
Hollmann, Theorie u. Technick der Ultrakurzen Wellen, Tomos 1 y 2.
Barkhausen, Die Elektronenröhre.