

Equipo portátil de HF de banda lateral única, tipo TR-TM 4

J. J. MULLER

J. LISIMAQUE

Le Matériel Téléphonique, Paris

1. Introducción

El equipo de radio TR-TM 4 es una estación militar de HF. y baja potencia (10 á 15 W.), enteramente equipada con semiconductores, destinada a la infantería, como sucesora de las antiguas estaciones clásicas de HF. con modulación de amplitud.

Permite realizar enlaces tácticos de corto y medio alcance (20 á 50 Km.), incluso cuando los obstáculos geográficos impiden la utilización de las estaciones VHF de modulación de frecuencia; las propiedades especiales de las ondas cortas le permiten, además, efectuar enlaces a grandes distancias (1000-2000 Km.), cuando las condiciones de propagación son favorables.

Se ha elegido para este equipo la modulación en banda lateral única (BLU ó A3J) en razón de las múltiples ventajas que presenta sobre la modulación en doble banda A3 y que recordamos brevemente a continuación:

- economía espectral (anchura de banda reducida a la mitad),
- consumo pequeño en emisión (potencia media emitida igual a 1/6 de la potencia media en A3, para un mismo alcance),
- mayor protección contra la descentración y contra las distorsiones de propagación en onda de espacio,
- mejora de la relación señal/ruido,
- dificultad de localización por radiogoniometría y mejor silencio de radio (emisión nula durante los silencios y nivel de HF fluctuante con la modulación).

Como contrapartida, la modulación BLU, sin portadora, requiere de los osciladores utilizados en la emisión y en la recepción una muy alta estabilidad de frecuencia, puesto que es esencial que el manejo del aparato sea muy sencillo y que el operador pueda realizar instantáneamente sus enlaces, incluso con sitios distintos. Esta exigencia queda satisfecha por el sintetizador del equipo TR-TM 4 que entrega, sobre cada uno de los 10.000 canales elegidos por el operador mediante conmutadores decimales, una señal de gran pureza y cuya estabilidad corresponde a una desviación de frecuencia 10 veces más pequeña que la separación límite de 20 á 30 Hz., admitida para enlaces en telefonía BLU.

La separación de algunos ciclos entre los osciladores de las dos estaciones TR-TM 4, obtenida sin regulación alguna manual, les permite asegurar enlaces directos en telegrafía a frecuencias vocales (sistema Coquelet), con muy buen rendimiento.

Resumiendo, las cualidades que se exigen a una estación destinada a ser utilizada por personal no especializado, son fundamentalmente:

- facilidad de operación,
- robustez mecánica — confiabilidad y capacidad de soportar condiciones de operación extremas,
- estabilidad y precisión de frecuencia,
- peso y volumen reducidos,
- facilidad de desmontaje y de mantenimiento,

- facilidades operacionales múltiples y calidad eléctrica excepcional,
- compatibilidad con los equipos de la precedente generación.

El estudio, comenzado en 1955, tenía por objeto realizar un compromiso entre estas exigencias, que están en contradicción con la experiencia obtenida por la compañía en el campo de los enlaces de banda lateral única, utilizando las técnicas y componentes más modernos, como transistores de potencia, ferritas, circuitos impresos, osciladores de cuarzo de alta estabilidad. Al primer contrato de prototipos obtenido en 1960, siguieron 7 años de experimentación sobre 36 prototipos de los cuales 8 se entregaron al U.S. Signal Corps y 23 (de éstos 7 en versión aerotransportada) al Ejército francés para el cual se está ahora fabricando en serie el equipo.

La evolución rápida de las técnicas durante estos siete años ha conducido a efectuar numerosas modificaciones tecnológicas durante su desarrollo que han sido, sin embargo, facilitadas por la construcción modular del emisor-receptor.

La exposición que se hace a continuación se dedicará, después de una breve descripción de las características generales del equipo, a detallar las particularidades técnicas del emisor-receptor.

2. Características generales

2.1 Diferentes versiones del equipo

a) *Versión portátil* — Se compone de:

- emisor-receptor ER-94 portátil en un simple paquete para ser llevado en las espaldas de un soldado,
- su fuente de alimentación (batería 12 AH o generador de manivela con batería tampón 3 AH),
- los accesorios clásicos de explotación (microteléfono, antena portátil de 5 m., manipulador, etc.).

La fuente de alimentación y los accesorios forman una segunda carga.

La figura 1 muestra el conjunto del equipo portátil con generador y batería tampón.

b) *Versión vehículo* — Se compone de:

- emisor-receptor ER-94,
- un soporte amortiguador,
- una caja de conexión para vehículos,
- accesorios de antena (antena, cable de enlace) y de operación (manipulador, microteléfono, casco, altavoz, etc.).

La figura 2 muestra el conjunto de esta versión vehículo. La figura 3 muestra la cara frontal del equipo.

c) *Otras versiones* — En el estado de prototipo se han estudiado otras versiones del equipo:

- una versión especial para la Marina, con alimentación de 115 V. c.a.,
- una versión con control remoto y amplificador de 100 W. para utilización en helicóptero, dentro de las normas aplicables a los equipos montados a bordo.

El emisor-receptor de esta última versión utiliza todos los elementos del ER-94, salvo en el panel frontal que aquí se sustituye por otro especial que lleva el control remoto.

El amplificador de 100 W. lleva un tubo de vacío y está conectado a una unidad de acoplamiento de antena de inductancia variable, con control remoto.

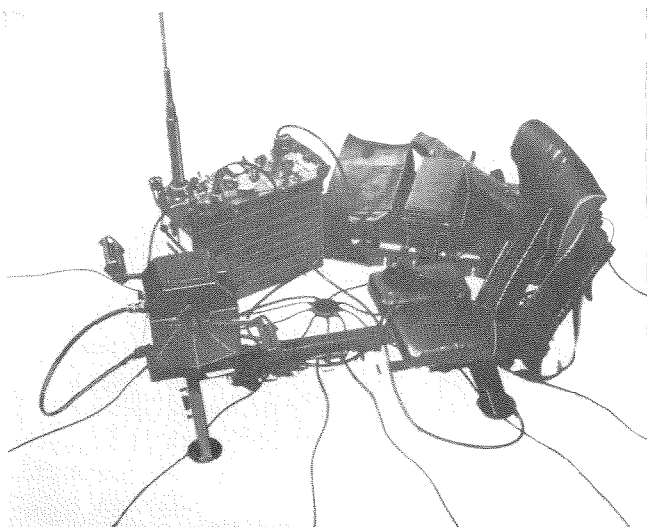


Fig. 1 Equipo portátil con generador y batería tampón.

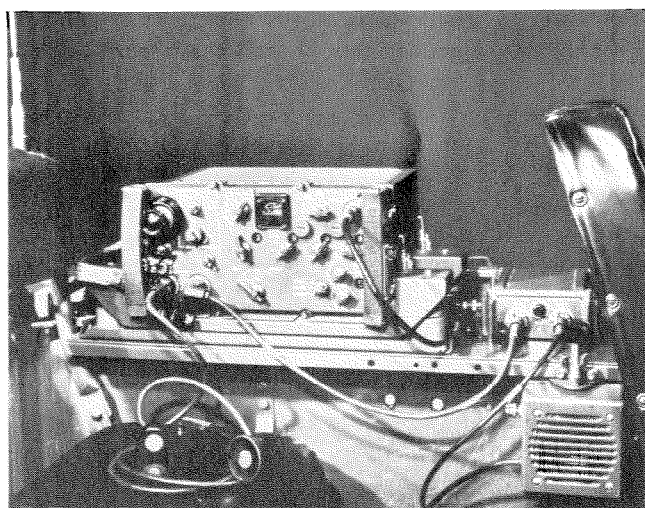


Fig. 2 Versión vehículo.

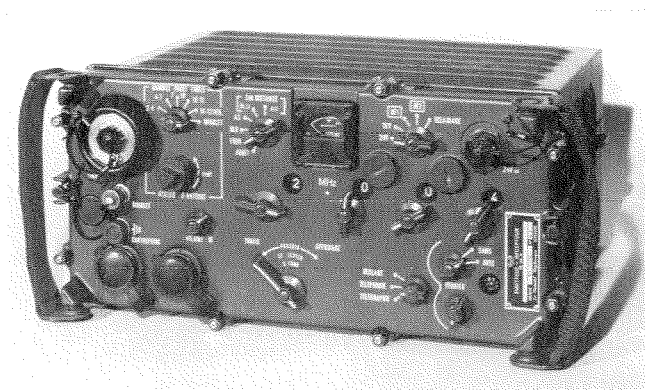


Fig. 3 Cara frontal.

2.2 Características principales técnicas

Gama de frecuencias:	2-12 MHz. - 10.000 canales, uno por KHz.
Modos de explotación:	A3J (banda lateral superior), A3H (emisión BLU de portadora restituida), A3 (recepción), A1 banda ancha y banda estrecha, F1 (con adaptador), Escucha intergrupo en A1 banda estrecha.
Estabilidad de frecuencia:	$\pm 5 \cdot 10^{-7}$ a corto plazo, entre -40 a $+55$ °C y para tensiones de alimentación comprendidas entre 20 y 30 V.
Potencia de salida:	10 a 15 W. en cresta de modulación o en régimen continuo sobre 50 ohmios. Distorsión de intermodulación: 25 db. máx. (Prueba CCIR de dos señales), atenuación de la portadora en A3J, 40 db.
Banda de paso en BF:	400-3000 Hz. emisión en A3J por encima de la frecuencia portadora suprimida.
Nivel de salida de BF:	50 mW. (versión portátil), 500 mW. (versión vehículo).
Sensibilidad del receptor:	En A3J $1 \mu V$ de f. e. m. para $\frac{S+R}{R} > 10$ db. En A1 con banda estrecha $1 \mu V$ de f. e. m. para $\frac{S+R}{R} > 20$ db.
Selectividad del receptor:	Atenuación de la frecuencia imagen 70 db. Desensibilización de 3 db. para una señal parásita de 3 V. separada $8\% \pm 30$ KHz. de la portadora. Transmodulación que produce una distorsión del 10% para una señal parásita de 3 V. separada $4\% + 20$ KHz. de la portadora.
Características mecánicas:	Volumen del emisor receptor: 15 dm ³ Peso del emisor receptor: 13,5 Kg.
Autonomía:	La autonomía de la versión portátil es de 20 horas para 10% de emisión y 90% de recepción (con la batería de 12 AH.).
Características ambientales:	Funcionamiento de -40° a $+55^{\circ}$ C humedad 95% a 55° C, con la caja abierta, vibraciones 6 g. a 55 Hz. sin soporte amortiguador, 6 caídas de 1,20 m. sobre las 6 caras sin deterioro en sus características. Estanqueidad (2 h bajo 1 m. de agua). Resistente al viento con arena y a la niebla salina.

3. Descripción de los circuitos

3.1 Sintonía de los circuitos de RF (Radiofrecuencia) (Generalidades)

La extensa gama de frecuencias, con una relación de 6 entre las frecuencias extremas, ha constituido una de las primeras dificultades encontradas en el estudio de esta estación. En efecto, cualquiera que sea el principio de sintonía adoptado (inductancias, condensadores variables o diodos de capacidad variable) ha sido necesario prever la conmutación de los circuitos sobre cuatro o cinco subgamas ya que los elementos de sintonía no podían, en ningún caso, cubrir una relación 6 de frecuencias en una sola gama.

Esta conmutación de subgamas no siempre puede hacerse mediante circuitos puerta con diodos, en particular para los circuitos de entrada del receptor donde tal modo de conmutación llevaría consigo una intermodulación importante debida a las perturbaciones de alto nivel, próximas a la señal útil.

Por estas razones, la conmutación de las subgamas se realiza mediante conmutadores rotatorios accionados manualmente por el sólo botón de prefijación de los MHz., correspondiendo las subgamas a números enteros de megaciclos según la tabla siguiente.

Cifra de MHz	Emisor y receptor		Oscilador	
	Sub-banda	Relación	Sub-banda	Relación
2	2 – 3 MHz	1,55	3 – 4 MHz	1,33
3	3 – 4 MHz	1,33	4 – 6 MHz	1,5
4	4 – 6 MHz	1,5		
5			6 – 9 MHz	1,5
6	6 – 8 MHz	1,33		
7			8 –12 MHz	1,5
8	9 –13 MHz	1,44		
9				
10				
11				

El oscilador está 1 MHz. desplazado con relación a la frecuencia prefijada. Este desplazamiento corresponde al valor de la frecuencia intermedia única.

Puede observarse que la relación de frecuencias extremas, en el interior de las subgamas, es como máximo de 1,5. Tal relación puede realizarse mediante variómetros que utilizan bobinas con núcleo deslizante y que se han elegido con preferencia a los condensadores variables a causa de que su tamaño y peso son reducidos.

En el interior de estas subgamas podía haberse previsto igualmente una sintonía enteramente electrónica, por diodos de capacidad variable (varactores). Este procedimiento, muy atractivo a causa del pequeño tamaño de estos elementos, no se ha seguido por las razones siguientes:

1) Los varactores no pueden utilizarse en la cadena de emisión, donde las señales de alta frecuencia son de elevado nivel.

2) La sintonía electrónica del oscilador sobre una amplia gama de frecuencias habría conducido a una pureza menos buena de la señal, la que originaría una degradación de la relación señal/ruido, especialmente sensible en telegrafía.

Por estas razones, la sintonía de todos los circuitos se hace mecánicamente por desplazamiento de los núcleos deslizantes de ferrita en las bobinas de paso variable, según una ley tal, que el desplazamiento de estos núcleos produce una variación lineal en la frecuencia de sintonía.

El principio utilizado es el mismo que el del equipo SEM-25 de SEL, descrito en "Electrical Communication", Vol. 42, N° 1, 1967. Hay que subrayar, sin embargo, que en el receptor de la estación TR-TM4, debido a la banda estrecha del filtro preselector, el ajuste de los circuitos debe hacerse con una precisión extraordinaria, del orden de 0,7 % en frecuencia, incluida la variación por temperatura.

Este grado de precisión se consigue exigiendo una linealidad de las bobinas de ajuste del orden de 0,1% $\left(\frac{\Delta F}{F}\right)$ y una tolerancia de error en frecuencia de aproxi-

madamente 0,26 % debido a las tolerancias en la posición mecánica de los núcleos deslizantes, es decir, $\pm 0,05$ mm. de error absoluto, teniendo en cuenta el recorrido total de los núcleos (19 mm.).

Estas dos últimas condiciones dejan entrever los problemas técnicos que ha sido necesario superar para alcanzar tal precisión en el pequeño volumen disponible y teniendo en cuenta las duras condiciones circundantes que la estación debe soportar.

Para que la estación pueda utilizarse prácticamente en forma permanente con resultados satisfactorios, incluso por operadores no especializados, es preciso reducir al mínimo los procedimientos operativos. Para evitar toda sintonía manual de los circuitos muy precisos (oscilador y receptor) se ha convenido que la simple operación de prefijar la frecuencia de trabajo (nominalmente la de portadora suprimida) realice directamente la sintonía.

En lugar de utilizar un servomecanismo, órgano que hubiera resultado bastante complicado, voluminoso, pesado y lento, teniendo en cuenta la precisión que se le hubiera exigido, se ha preferido realizar directamente el acoplamiento de los botones de fijación de frecuencia a los niveles deslizantes por medio de un mecanismo original que se comporta como un convertidor digital-analógico, cuyo principio se describe más adelante.

3.2 Mecanismo de sintonía (ver Fig. 4)

Inicialmente, se actúan los botones de las centenas y de las decenas de KHz. con cuya acción se posiciona levas cuyos radios varían secuencialmente por incrementos respectivamente iguales a $\frac{1}{10}$ (leva de los 100 KHz.) y a $\frac{1}{100}$ (leva de 10 KHz.) del camino total a recorrer (19 mm.). Se obtiene por adición de los radios de estas dos levas, un primer movimiento de una corredera, que corresponde exactamente al desplazamiento de los núcleos deslizantes del emisor y del receptor en la 1ª subgama de 2 á 3 MHz. (carro n° 2).

En las otras subgamas, para una variación de frecuencia de 1 MHz. el desplazamiento de los núcleos se reduce en una cierta relación dependiente de la subgama: por ejemplo, en la última subgama (8—12 MHz.), con el mismo recorrido, cada salto de 1 MHz. corres-

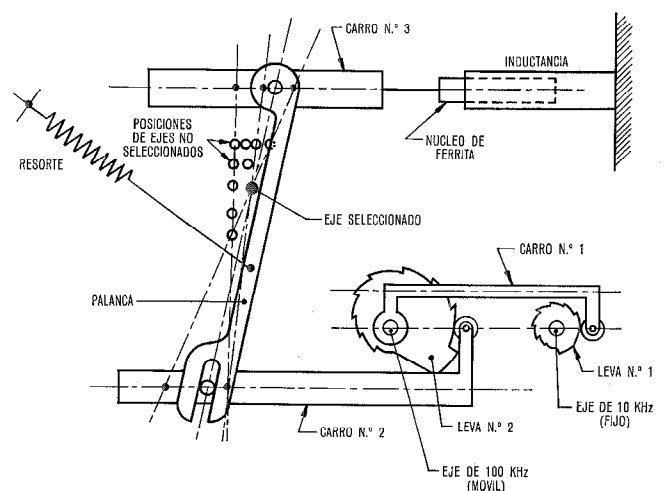


Fig. 4 Principio del mecanismo de colocación de los núcleos deslizantes.

ponde a $\frac{1}{4}$ del camino total, o sea 4,75 mm. Para cada banda de frecuencias se cambia la relación entre los movimientos de control y los elementos controlados y dentro de una banda dada, la relación se conserva constante pero se desplaza el punto de partida a cada paso de 1 MHz. La división y la traslación se obtienen por el juego de una palanca que gira alrededor de un eje que cambia de posición según la cifra de MHz. prefijada. Hay un total de 10 ejes que se seleccionan automáticamente mediante la fijación de los MHz. La palanca está articulada al carro n° 2 y al n° 3 que gobiernan los núcleos deslizantes. En el momento de la fijación de los MHz. un dispositivo especial, temporizado por un moderador mecánico, libera la palanca de los ejes y las retenciones de las ruedas dentadas para que la conmutación se haga libremente. En posición de tráfico, los botones de mando se desembragan para evitar falsas maniobras.

La figura 4 muestra los elementos principales de este mecanismo y la figura 5 el detalle de la palanca y de los ejes selectores. En esencia, el conjunto lleva, a partir del carro n° 2 que es común, dos juegos de 10 ejes conmutables y dos carros n° 3.

Se ve que los elementos utilizados para efectuar la transformación mecánica son sencillos y poco numerosos si se exceptúan las correderas de los carros n° 3 y el chasis rígido que habrían sido igualmente necesarios para un mando por servomecanismo.

Los tres subensambles gobernados por el mecanismo se fijan directamente sobre éste; en cada subensamble se sintonizan simultáneamente 2 ó 3 circuitos con una operación de mando único por el mismo movimiento del mecanismo.

3.3 Oscilador local y bucle de control

El oscilador 3—13 MHz. del que se ha hablado en la sección 3.1 es un auto-oscilador L-C controlado en fase por una señal de referencia salida de un sintonizador cuyo esquema de principio puede verse en la figura 6.

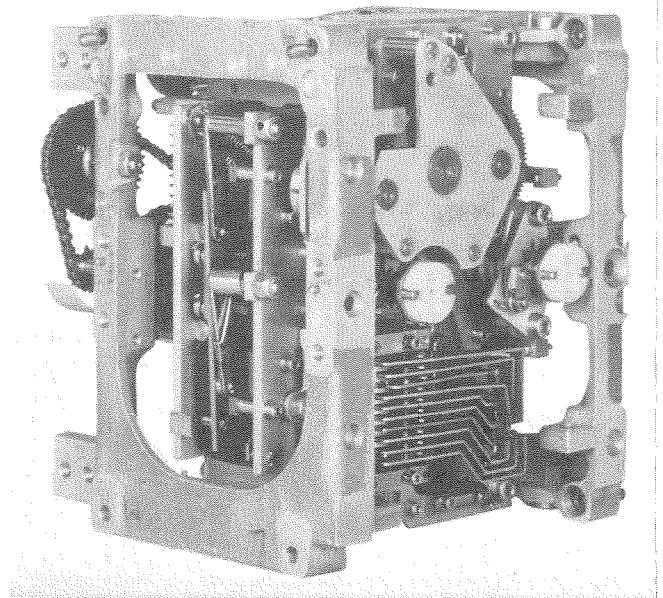


Fig. 5 Mecanismo de sintonía de los circuitos de HF.

La señal salida del oscilador se analiza por mezclas y filtrados sucesivos a partir de los armónicos y subarmónicos de señales de 1 MHz. obtenidas por división de la frecuencia de referencia de 5 MHz.

Se llega así, a partir del 3º análisis, a una señal comprendida entre 70 y 80 KHz., en la cual no hay más que introducir la información de los KHz. antes de aplicarla al discriminador de fase. La solución más simple para realizar esta operación habría sido continuar el análisis por un 4º cambio de frecuencia a fin de obtener una señal de 1.000 Hz. sobre la que se habría realizado el control de fase.

Esta solución sencilla ha tenido que desecharse, sin embargo, por las razones principales siguientes:

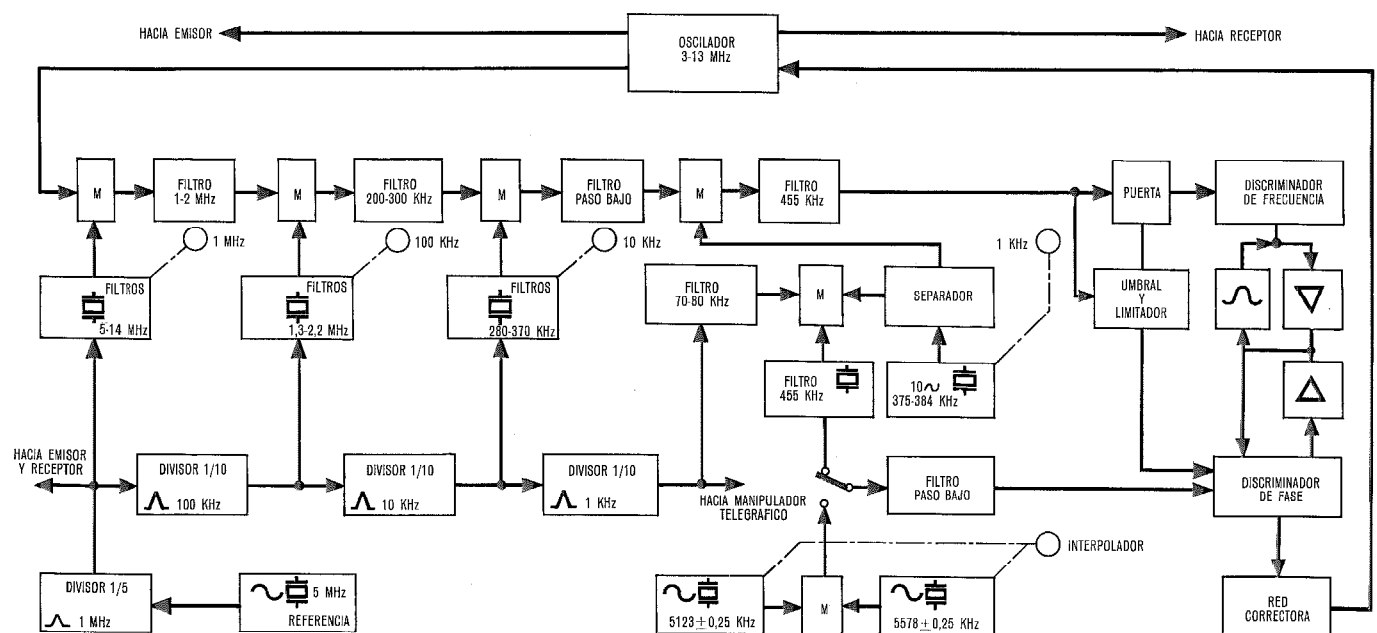


Fig. 6 Esquema del oscilador sintetizador.

1º. Habría conducido a circuitos de muy baja frecuencia, por lo tanto, pesados y voluminosos.

2º. El residuo de 1 KHz. que aparecía en el discriminador de fase habría sido muy difícil de eliminar.

3º. La frecuencia de corte del bucle de control habría sido muy baja y no hubiera permitido corregir los parpadeos de fase producidos especialmente por las vibraciones.

Se ha preferido realizar la comparación de fase a una frecuencia más elevada (455 KHz.) y el discriminador recibe, por una parte, una señal de 455 KHz. salida del análisis obtenido por modulación de la señal precedente (en 70—80 KHz.) con señales de 375 á 384 KHz., procedentes de un oscilador con 10 cuarzos conmutables, y por otra parte, una señal de 455 KHz. procedente de la modulación de un espectro de rayas con 1 KHz. de separación, extendidas sobre una banda de frecuencias de 70 á 80 KHz., con las señales del mismo oscilador de cuarzo.

Por este procedimiento, la desviación propia de este oscilador auxiliar queda totalmente eliminada y la información de los KHz. se introduce por conmutación electrónica de los 10 cuarzos.

La interpolación continua entre los valores enteros de los KHz. ha sido exigida por los usuarios sin que sea necesario para el tráfico normal entre dos equipos del tipo TR-TM4 y, principalmente a título provisional, para asegurar la compatibilidad de empleo en enlaces con las antiguas estaciones de banda lateral única de mediana estabilidad y cuya utilización exige un nonio.

Esta interpolación se realiza fácilmente reemplazando los 455 KHz. de síntesis por una señal variable en $\pm 0,5$ KHz. alrededor de 455 KHz., obtenida por batido de dos osciladores de cuarzo de 5.123 y 5.578 KHz., cuyas frecuencias se desplazan en sentido inverso $\pm 0,25$ KHz. mediante varactores. La desviación absoluta de la señal de batido es suficientemente pequeña si las variaciones individuales debidas a temperatura de los 2 cuarzos (en corte AT) se hacen según leyes parecidas. Esta desviación aparece, sin embargo, sobre la señal de salida, como ocurre con la del oscilador de 10 cuarzos de 375 á 384 KHz., que en este caso no está compensada, y la señal de salida de interpolación puede presentar después de cierto tiempo del ajuste inicial, un error de algunas decenas de ciclos que es todavía muy aceptable puesto que el tráfico se hace en este caso con estaciones de estabilidad mediocre. El reajuste de frecuencia se hace, de vez en cuando, sobre la emisión recibida.

En el empleo normal del equipo, con el interpolador fuera de servicio, la desviación de frecuencia de la señal de salida, controlada en fase, se mantiene con aproximación de algunos ciclos respecto a la frecuencia seleccionada (error máximo garantizado 6 Hz. a 12 MHz., en todas las condiciones).

3.4 Control de fase

El proceso de captura y de mantenimiento del control de fase se efectúa:

1º. por barrido en frecuencia,

2º. discriminador de frecuencia,

3º. discriminador de fase.

A pesar de la precisión obtenida en la posición de los núcleos del oscilador de 3—13 MHz. la desviación de éste puede alcanzar cerca de 120 KHz. en la parte superior de la gama con relación a la frecuencia seleccionada, cuando no se ha establecido el control de fase. En este caso extremo, la cadena del análisis de frecuencia no entrega señal alguna a los discriminadores, por la acción de los filtros selectivos interpuestos. Es preciso, pues, hacer el barrido de la frecuencia del oscilador en una extensión correspondiente a las desviaciones máximas de la frecuencia natural para que ésta pase, en un instante dado, por el valor de la frecuencia exacta seleccionada. Este barrido se realiza por relajación del amplificador de corriente continua que sigue al discriminador de frecuencia. Cuando se establece el control de fase, la fuerte contra-reacción debida al control, reprime esta relajación y suprime el barrido.

El discriminador de frecuencia está unido en permanencia al discriminador de fase y su acción se suma a la de éste aumentando la zona de actuación del control.

El discriminador de fase entrega dos señales de error. Una de éstas se amplifica fuertemente en un amplificador de corriente continua de gran constante de tiempo. Esta, después de amplificada, sirve para corregir las desviaciones lentas e importantes del oscilador.

La segunda señal no sufre amplificación y sirve para corregir las desviaciones rápidas pero de pequeña amplitud del oscilador.

La señal de control de fase aplicada al oscilador es, finalmente, la suma:

- de la señal amplificada procedente del discriminador de frecuencia,
- de la señal de error de fase, fuertemente amplificada y de gran constante de tiempo,
- de la señal de error de fase no amplificada y de pequeña constante de tiempo.

La señal de control de fase se aplica al oscilador después de pasar por una red correctora que modifica la ganancia y la fase de las señales en función de la frecuencia de trabajo para que el control sea estable.

La curva ganancia-frecuencia del control está, finalmente, de acuerdo con el diagrama de Nyquist representado en la figura 7, se ve en esta figura que la frecuencia de corte correspondiente a la ganancia unitaria es de 35 KHz.

El discriminador de frecuencia no interviene, en el régimen normal establecido, más que por una tensión teóricamente nula y prácticamente muy pequeña, debida solamente a la falta de sintonía o desviación de sus circuitos. Por el contrario, la tensión importante que suministra cuando la frecuencia del oscilador de 3—13 MHz. está aún más lejos del valor asignado, conduce rápidamente a éste a la zona de captura del discriminador de fase. La misma emisión de captura es desempeñada por el discriminador de frecuencia, cuando un choque provoca una excursión de frecuencia fuera de la zona de control del discriminador de fase. De esta manera, se lleva rápidamente al oscilador hasta el control de fase

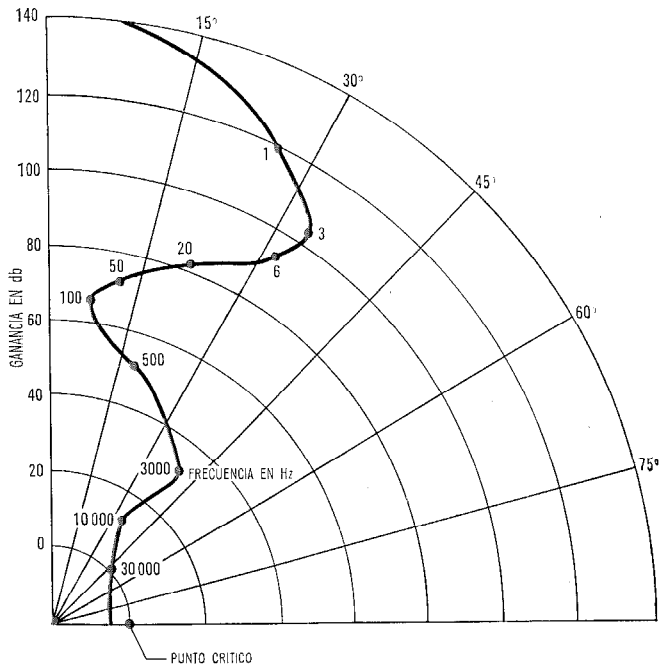


Fig. 7 Diagrama de Nyquist.

sin que la oscilación lenta de barrido tenga que intervenir y el operador no se da cuenta del corte más que por un ligero impulso de ruido.

Esta función es eficaz especialmente cuando el equipo está expuesto a choques violentos tales como los debidos a sacudidas.

Finalmente, puede verse también en el esquema del oscilador (Fig. 6) un circuito puerta, un amplificador de umbral y el limitador que precede a los discriminadores. La función de estos órganos es evitar la captura por las señales parásitas de bajo nivel producidas en los moduladores. Además de las precauciones tomadas durante el análisis, asegura esto que la sincronización no pueda hacerse más que sobre la señal principal, cuyo nivel es muy superior. Las frecuencias imágenes se atenúan fuertemente por los filtros de banda de la cadena de análisis.

Las precauciones tomadas en la realización de este control, que acaban de describirse, permiten obtener una señal del oscilador con un parpadeo de fase inferior a 0,012 radianes (0,7 grados) para todas las frecuencias de la gama.

3.5 Referencia de frecuencia

El oscilador de referencia está controlado termostáticamente a 85 °C en un horno de control proporcional y cuyo aislamiento térmico se realiza mediante un frasco Dewar. El cuarzo utilizado es un cristal de corte AT que oscila a 5 MHz. en el 3^{er} parcial y de fuerte sobretensión ($> 10^6$), (ver Fig. 8).

Este oscilador que forma un subensamblé independiente fácilmente accesible, podrá sustituirse por un oscilador compensado, sin termostato, cuando esta técnica permita alcanzar industrialmente las mismas características de funcionamiento que las del oscilador actual.

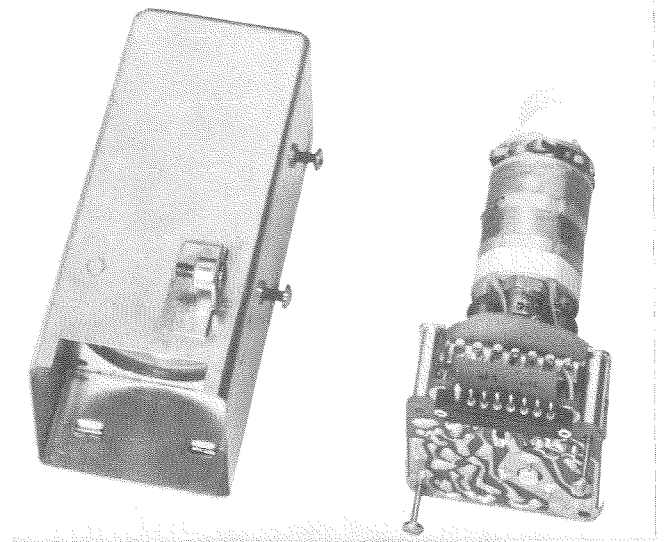


Fig. 8 Oscilador de referencia.

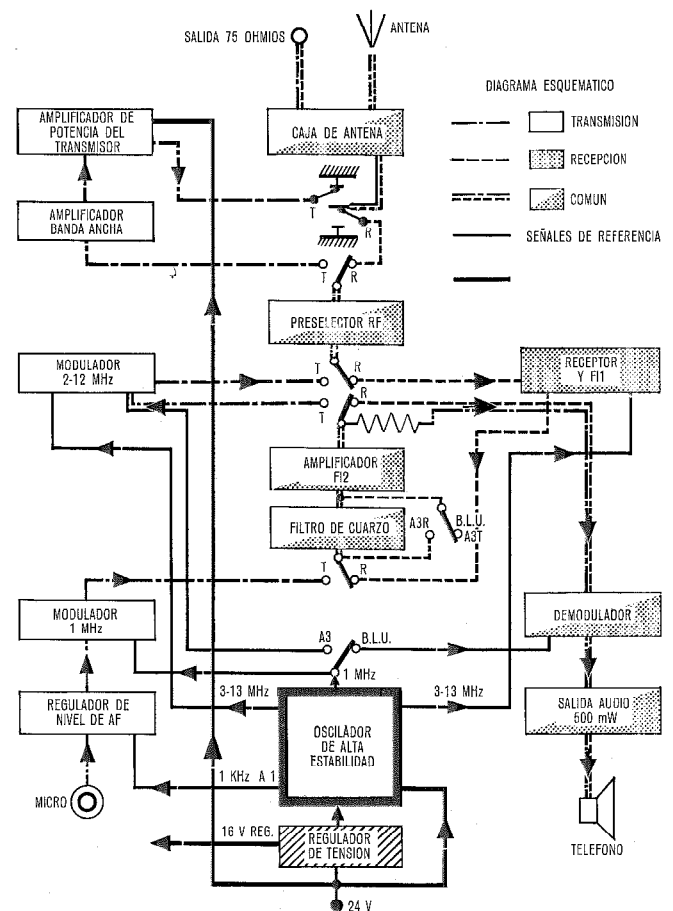


Fig. 9 Esquema de principio del TR-TM 4-B.

De esta manera se evitarán los minutos de espera necesarios para el calentamiento del horno, aunque en la explotación normal estos minutos se aprovechan para la instalación de la antena y de los diversos accesorios, con lo que resulta menor perjuicio.

La estabilidad de frecuencia obtenida a corto plazo es mejor que 10^{-7} . A largo plazo, el envejecimiento medido ha sido del orden de 3×10^{-7} por año.

Un sencillo dispositivo incorporado en el aparato permite al usuario reajustar, en caso de necesidad, el oscilador de referencia recibiendo las emisiones de frecuencia patrón internacionales en 2,5, 5 ó 10 MHz.

3.6 Circuitos de emisión y de recepción

Una parte de los circuitos se utiliza en emisión y en recepción para simplificar el emisor-receptor, que únicamente se utiliza en simplex. Los circuitos comunes son el oscilador (anteriormente descrito), el amplificador de frecuencia intermedia, el filtro de cuarzo, el filtro de RF del preselector, así como el demodulador y el amplificador de baja frecuencia (para la escucha entre señales de telegrafía).

En la figura 9 se representa el esquema de interconexión de los diversos subensambles.

En la figura 10 se da una vista por debajo, con la caja abierta, de la disposición de los subensambles en el interior de la estación.

Los circuitos que necesitan un ajuste preciso o una selección mecánica de subgamas se disponen todos alrededor del mecanismo. En la figura 10 se ven, frente a frente, el emisor y el receptor. Están unidos al resto del equipo por conectores enchufables.

Los demás circuitos se disponen en tarjetas impresas enchufables (señaladas con letras de A a T) protegidas

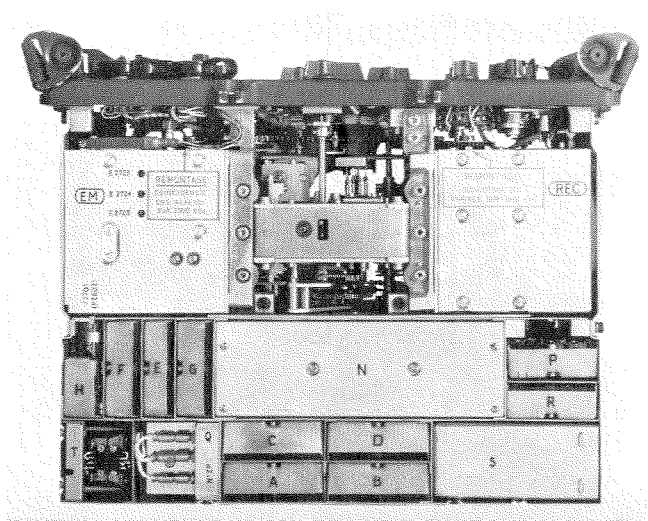


Fig. 10 Vista por debajo, caja abierta.

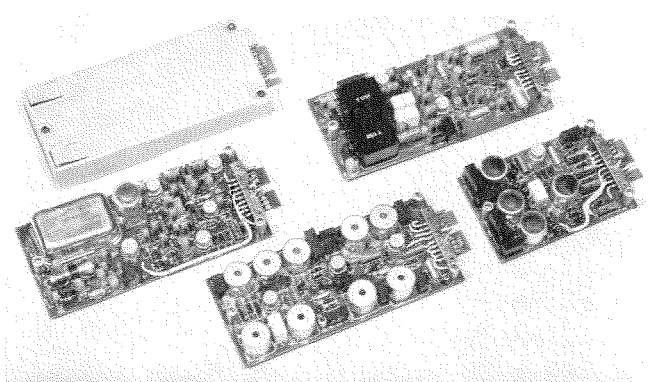


Fig. 11 Vista de 5 tarjetas impresas de las que se han quitado 4 cubiertas.

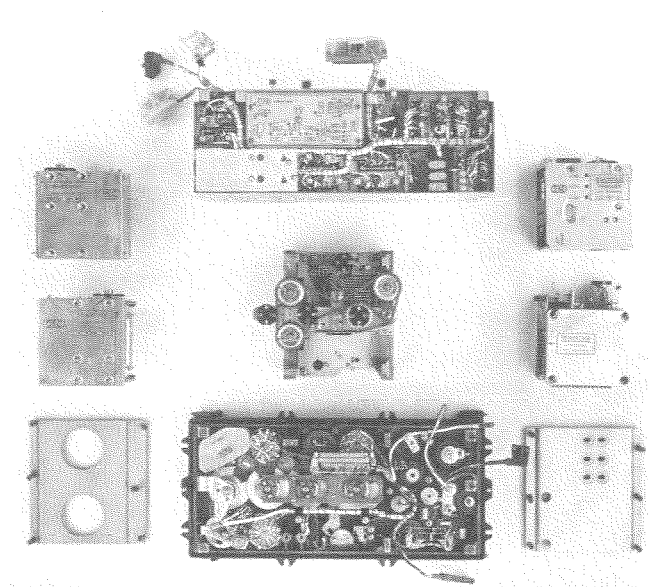


Fig. 12 Vista del equipo despiezado.

por cubiertas aislantes de vidrio — políester estratificado. Estas tarjetas, después de inspección y ajuste, se recubren de un barniz especial que conserva sólidamente los componentes y protege los circuitos de la humedad (ver Fig. 11).

Las tarjetas tienen puntos de prueba, y rotulaciones útiles para mantenimiento.

Están alojadas en alvéolos de la infraestructura que les sirve de blindaje.

Los circuitos del oscilador de alta estabilidad están repartidos en las tarjetas impresas A, B, C, D, I, J (debajo de S), M, N, P, R, el filtro K, los filtros de armónicos (debajo de N) y el oscilador (debajo del receptor). Se ve que representan, aproximadamente, la mitad del volumen total del equipo.

La construcción modular puede verse en la figura 12 que representa el equipo desmembrado en subensambles.

3.7 Receptor

El receptor propiamente dicho está precedido de una etapa de preselección formada por dos circuitos sintonizados acoplados, que componen un filtro muy selectivo que protege la etapa de entrada contra la intermodulación creada por fuertes perturbaciones que puedan encontrarse en las proximidades de la señal, así como de la frecuencia imagen (atenuada más de 70 db.). Este preselector se utiliza igualmente en la transmisión, realizándose la conmutación transmisión-recepción por relés miniatura para evitar la intermodulación en recepción.

En recepción, a la frecuencia más elevada de la gama (11,999 KHz.), una señal parásita, al nivel de 1 V. en los terminales de entrada de la estación, no contribuye más que con una débil intermodulación a la señal útil siempre que se halle separada más de 200 KHz. de ésta. A niveles más débiles de la perturbadora (10 mV.), esta separación se reduce a 10 KHz. Las características de desensibilización y de intermodulación se dan en las figuras 13a y 13b, (medidas hechas de acuerdo con los indicaciones de la sección 2.2).

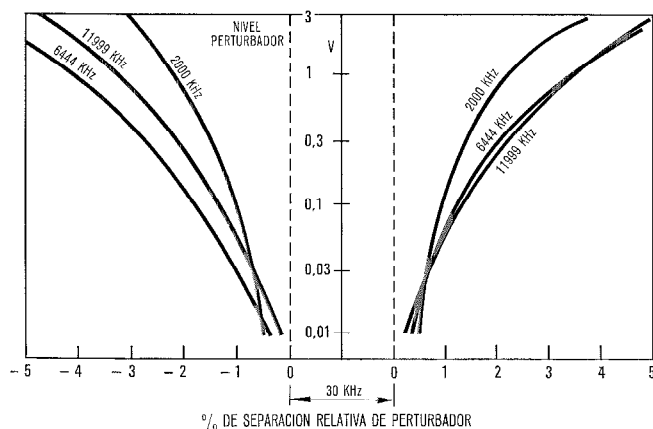


Fig. 13a Características de desensibilización.

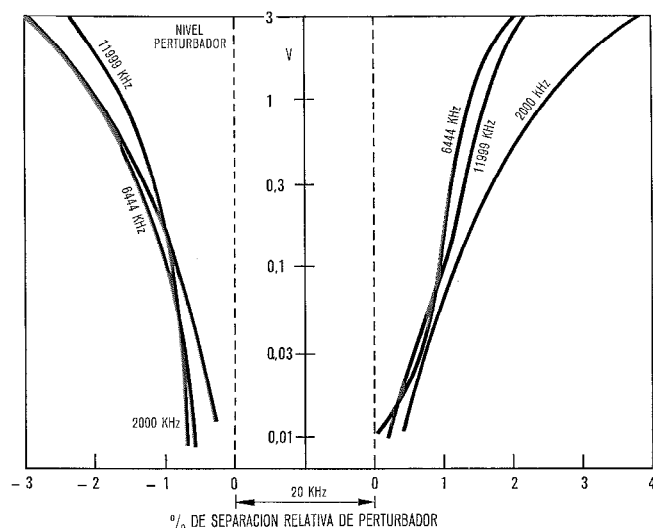


Fig. 13b Características de transmodulación.

La etapa de entrada del receptor, que utiliza un transistor con poco ruido, tiene un 3º circuito sintonizado y va seguido de una etapa cambiadora de frecuencia sintonizada a 1 MHz. mediante un filtro formado por dos circuitos acoplados, después tiene un amplificador de dos etapas del que se obtiene el control automático de ganancia para la etapa de entrada.

Este primer amplificador de FI se utiliza como filtro en telefonía compatible. Va seguido, en el caso de funcionamiento en telefonía de simple banda lateral (BLU) o en telegrafía, por un filtro de cuarzo que tiene dos células Jaumann con 4 cuarzos cada una. A este filtro están asociadas las conmutaciones electrónicas correspondientes a los diferentes modos de operación (emisión, recepción, A3, BLU, AI).

Debido a la fuerte ganancia concentrada en la única frecuencia intermedia de 1 MHz. ha sido necesario repartirla en dos amplificadores de FI que están separados por el filtro de cuarzo.

El control automático de ganancia del primer amplificador (situado en el bloque del receptor), es común con el de la etapa de entrada de RF. Actúa sobre la polarización de los transistores.

El segundo amplificador tiene su propio control de ganancia obtenido en la etapa de salida, que actúa

sobre un atenuador de diodos situado en la entrada del amplificador.

Por este procedimiento, puede asegurarse la recepción correcta de señales en el margen entre 1 μ V. y 100.000 μ V.

La amplificación total del receptor, desde la señal de entrada de RF a la señal de salida de audio, después de demodulación, es de 170 db., aproximadamente, de los cuales 50 db. compensan las pérdidas en los filtros y de la demodulación, lo que deja una ganancia útil de 120 db.

3.8 Amplificador de transmisión

Este amplificador recibe las señales filtradas de bajo nivel después de la 2ª modulación. Un amplificador de banda ancha que ocupa una sola tarjeta impresa convierte este nivel a su salida en 1 V., aproximadamente, sobre 100 ohmios. La tensión de salida excita directamente al bloque emisor compuesto por dos etapas de amplificación con circuitos sintonizados, a la salida de los cuales el nivel alcanza 24 á 32 V. sobre 50 ohmios (12 á 20 W.).

La etapa de salida se estudió primitivamente para utilizar el transistor 2N 1899 que tiene cualidades innegables de robustez, pero que presenta limitaciones, falta de linealidad con niveles altos, capacidad colector elevada y gran variación con I_c , débil F_r , etc. La técnica ha evolucionado en este campo y este transistor podrá sustituirse por un modelo más ventajoso cuando pueda verificarse la fiabilidad de los transistores de mejores características. La figura 14 muestra la tasa de intermodulación típica en función de la potencia de salida (2N 1899 y BLY 40).

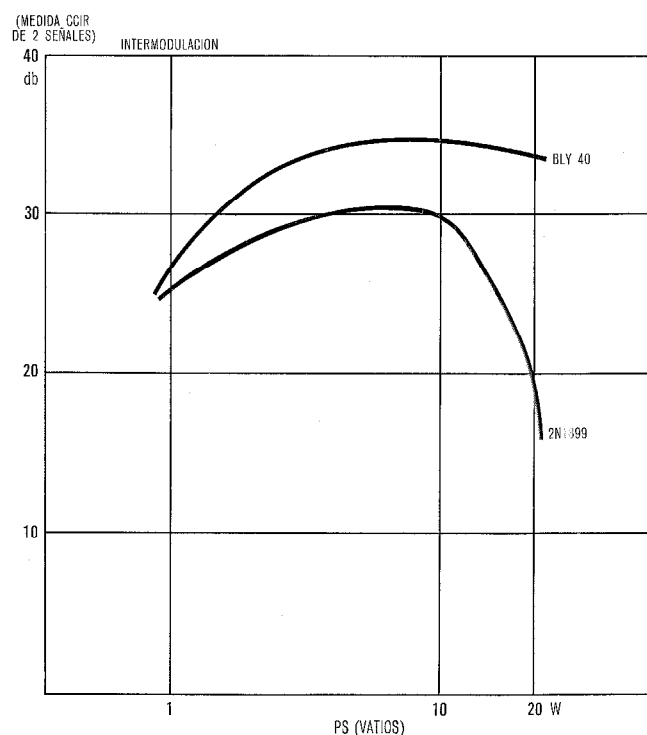


Fig. 14 Curvas típicas de intermodulación.

3.9 Circuitos de adaptación de las antenas

La estación, en su versión portátil, o de vehículos, utiliza antenas tipo látigo de 3 á 5 m. para cuya adaptación se han previsto circuitos en un subensamble que contiene también el relé RF de cambio; la sintonía se hace sencillamente por medio de un botón de ajuste y de un aparato de medida.

La adaptación de las antenas, siempre capacitivas en la gama 2—12 MHz., se hace por un circuito en L que contiene, por subgamas, la conmutación simultánea de una capacidad en derivación sobre la salida de 50 ohmios, de la etapa de potencia y de una inductancia variable en serie con la antena. El rendimiento de este circuito varía del 25 al 95 %, según las frecuencias.

La pequeña altura efectiva de las antenas a las frecuencias bajas de la gama conduce a utilizar, para la adaptación, inductancias de gran valor donde las pérdidas son inevitables. Además, las tensiones obtenidas a estas frecuencias, después de la transformación de impedancia, alcanzan 1.200 V. en los terminales de salida. Refiriéndonos a los valores citados en la sección 3.8 se ve que a 2 MHz. la ganancia en tensión total entre la entrada del amplificador de banda ancha y el terminal de la antena, alcanza 240.000. Se han tomado, pues, precauciones muy especiales para asegurar la continuidad de las masas y evitar las realimentaciones de alta frecuencia por los accesorios situados en el campo directo de la antena (microteléfono, manipulador, etc.).

La adaptación sobre antenas largas y dobles, para la emisión por onda espacial, se hace a partir de la salida de 50 ohmios por medio de una caja de adaptación especial que no se utiliza más que en instalaciones semifijas.

3.10 Filtrado y conmutaciones

El filtrado de banda ancha de la cadena de análisis de frecuencia (ver párrafo 3.3), se realiza mediante filtros L—C, salvo el filtro de cuarzo de 455 KHz.

La selección de armónicos y subarmónicos de la frecuencia de referencia se hace mediante filtros escalonados de banda estrecha que utilizan de 2 á 3 cuarzos. Todos estos filtros no exigen ajuste particular alguno y presentan una gran estabilidad de características en el tiempo y en función de la temperatura.

La separación de la banda lateral útil se hace a 1 MHz. por medio de un filtro Jaumann de 8 cuarzos.

Los distintos modos de operación (A3, A3H, A1 Banda estrecha, A3J) que se han previsto en esta estación para asegurar la compatibilidad con las estaciones de la antigua generación, han necesitado conmutaciones suplementarias de los diferentes circuitos. Siempre que la señal a conmutar ha sido de bajo nivel y que no es de esperar intermodulación, se ha hecho la conmutación mediante puertas de diodos. En otros casos, se han utilizado relés (preselector, relé RF de cambio etc.).

4. Tecnología

El equipo se compone de cerca de 2.000 componentes eléctricos para cuyo conjunto, un cálculo de fiabilidad ha hecho prever un MTBF (tiempo medio entre fallos)

comprendido entre 760 y 1.700 horas según la violencia que se aplique al equipo y el número de maniobras por hora. La fiabilidad garantizada corresponde a un MTBF mínimo nominal de 400 horas.

El mecanismo de selección de la frecuencia sufrió 50.000 maniobras de selección sin degradación sensible en su precisión.

Los componentes utilizados en el equipo se han seleccionado entre los homologados a finales de 1966 por las administraciones o entre componentes más modernos que hayan experimentado durante un año ensayos completos de homologación (se han hecho durante el año 1967, 70 ensayos completos de componentes nuevos).

Los circuitos impresos, equipados con sus componentes, experimentan, antes de su ajuste y pruebas, ciclos de envejecimiento que permiten reducir la proporción de fallos que suelen producirse en los equipos de reciente fabricación. A todos los subensambles se les somete después del ajuste a ensayos completos individuales de temperatura.

Este conjunto de precauciones, destinadas a obtener la confiabilidad necesaria en un equipo en el que las consideraciones de peso y volumen impiden introducir muchos circuitos redundantes, ha conducido a descartar de plano soluciones atrayentes, pero aun demasiado recientes para haberlas experimentado. No se puede, en efecto, correr el riesgo de la confiabilidad de un material de amplia difusión destinado a operadores no especializados y que ha de estar sometido a un duro trato.

5. Accesorios

La estación utiliza los accesorios clásicos ya en servicio en los diversos ejércitos (micrófono, receptor de cabeza, antenas, etc.). Para esta estación se han estudiado baterías especiales de Cadmio-Niquel, con posibilidad de carga rápida (3 y 12 AH, 24 V.), así como sus dispositivos de carga automática. La autonomía obtenida con la batería de 12 AH es de una jornada, aproximadamente. En la versión vehículo la alimentación se hace con la batería de 24 V. del vehículo por intermedio de una caja de conexión que lleva un dispositivo de protección contra los transitorios de alimentación y un amplificador de BF de 0,5 W. que permite alimentar un altavoz.

Finalmente, para obtener una autonomía prácticamente ilimitada, incluso para un operador alejado de toda base de mantenimiento y que no pueda recargar sus baterías, se dispone de un generador de pedales que utiliza una batería de 3 AH en tampón y permite alimentar la estación durante su funcionamiento en emisión o en recepción. Este generador lo fabrica la Fábrica Nacional de armas de Tulle.

Conclusión

La estación TR-TM4 es un material de comunicación que reúne a la vez las características de una estación móvil destinada a vehículos y de una estación portátil destinada a la tropa.

La principal preocupación referente a la simplicidad de utilización ha conducido a reducir al mínimo el número

de las operaciones de ajuste manual, mediante una solución mecánica que ha resultado satisfactoria para obtener la precisión necesaria en la gama RF.

La excelente estabilidad de frecuencia de esta estación asegura una explotación sencilla en red y permite utilizaciones particulares en telegrafía.

El alcance de 50 Km. por onda terrestre que supera la de los equipos de VHF portátiles o móviles, puede aumentarse en la versión vehículo por la adición de un amplificador de 100 W. para cubrir zonas inaccesibles a las comunicaciones de VHF.

Agradecimiento

La estación TR-TM4, como todo material moderno, es el fruto de un trabajo en equipo.

Los autores tienen la satisfacción de encontrar aquí la ocasión de mostrar su agradecimiento a todos los que han colaborado, tanto en los Servicios del Ejército francés y del U.S. Signal Corps, como a los servicios técnicos y de fabricación de LMT, coordinados por Mr. Loeffler.

J. J. Muller nació en 1910 en Basilea, Suiza. Se graduó en 1934 en la "Ecole Central des Arts et Manufactures" de París, Francia. En 1936 obtuvo el grado de Doctor en "Technical

Science" en el "Polytechnicum" de Zurich, Suiza, donde se ocupó en la investigación sobre magnetrones y en el desarrollo de un primitivo sistema de circuito cerrado de TV.

Se incorporó a Le Matériel Téléphonique en 1940 y fue designado Ingeniero Jefe de Radio en 1947 y Director Técnico en 1957. Además del estudio de teorías avanzadas sobre klystron y distorsión de alimentadores, ha llevado la responsabilidad del diseño de transmisores B.L.U. de alta potencia, radioenlaces PTM, equipos de radio militares tácticos y diversos sistemas de telecomunicación. Ha publicado artículos en Suiza, Francia, Alemania y Reino Unido.

Es miembro de la Société Française des Electroniciens et Radioélectriciens y es también "Senior Member" del IEEE.

J. Lisimaque nació en París en 1921. Estudió en la Ecole Supérieure de Physique et de Chimie de París, donde obtuvo el diploma de Ingenieur Physicien en 1942.

Entre 1943 y 1945 estuvo como ingeniero en la Compañía Lorenz AG en Berlín, en la división de tubos electrónicos y en 1945 pasó al departamento de emisión en el Laboratoire Central de Télécommunications y posteriormente a Le Matériel Téléphonique en Boulogne donde se especializó en fabricación de emisores de banda lateral única y receptores asociados para radiotelegrafía a gran distancia, utilizados por los PTT y el ejército francés.

Comenzó en 1955 los trabajos técnicos sobre sintetizadores y equipos de banda lateral única para ondas cortas, siendo actualmente responsable del estudio de equipos portátiles y electrotransportados en banda lateral única.

Mr. Lisimaque es miembro de la Société française des Electroniciens et Radio Electriciens.