

Nº28: SINTETIZADORES DE 5 A 5,5 MHz (I)

Joan Borniquel Ignacio, EA3-EIS, 30-03-04.
Sant Cugat del Vallés (Barcelona) ea3eis@hotmail.com

INTRODUCCION

Después de muchas experiencias en el tiempo con osciladores VFO analógicos, de no conseguir una estabilidad óptima en la frecuencia / tiempo y tener que aceptar finalmente, que esta eventualidad muy a pesar mío, siempre acababa formando parte del propio sistema; me decidí quizá de manera un poco tardía, a experimentar con sintetizadores o divisores de frecuencia en disposición PLL (phase-locked loop) . La idea de principio, era conseguir un VFO de 5 a 5,5 MHz para transceptores de HF con una FI de 9 MHz, con sintonía por saltos mínimos de 1 KHz, ajuste fino o RIT de 2 KHz, con una buena estabilidad de frecuencia por supuesto y señal de salida senoidal. Esta solución, podría ser válida y aplicable a equipos antiguos del mercado, del tipo analógico con frecuencímetro incorporado (FT-101, FT-277, TS-530, TS-830, etc), con entrada para VFO exterior y también, para equipos QRP de construcción casera, de características similares y simple conversión en todos los casos. Añadir, que sería una manera de poder actualizar estos equipos y hacerlos más aptos, para las técnicas de transmisión y recepción digital.

CARACTERISTICAS

Las características más importantes de este primer VFO sintetizado de 5 a 5,5 MHz, son las que se indican a continuación:

Margen de frecuencia	: de 5 a 5,5 MHz.
Sistema de sintonía	: por combinación y salto, mediante interruptores.
Salto mínimo	: 1 KHz.
Ajuste fino (RIT)	: 2,2 KHz.
Deriva en la frecuencia	: 5 HZ después de 30 minutos.
Señal de salida	: máximo 2 Vpp, senoidal.
Impedancia de salida	: 50 Ohms.
Alimentación	: tensión de red 220 Volts AC.
Dimensiones y peso	: 140x180x65 m/m y 1,5 Kg.

DESCRIPCION

La base de este sintetizador, es un CI CMOS de Motorola MC145151, que está fuera de catálogo pero que todavía se puede conseguir en el mercado. Este integrado, dispone de una entrada paralela binaria de 14 bits (N0 a N13) programables manualmente, en este caso mediante interruptores lo cual, nos permite variar la frecuencia de trabajo dentro del margen establecido; también este CI, incorpora un oscilador de referencia a cristal que es el que proporciona la estabilidad además de, un divisor de referencia de tres bits (RA0 a RA2) programable a fin de obtener, la magnitud del salto y además la comparación de las frecuencias resultantes, la del VCO (voltage-controlled oscillator) dividida por N y la del oscilador de referencia dividida por RA; el comparador o detector de fase, lo lleva consigo el propio chip. Como puede verse, este CI cumple bien las funciones en este tipo de circuitos PLL. Ver Diagrama de bloques, Figura Nº1.

En cuanto a la circuiteria de este sintetizador, decir que comprende cuatro módulos de cuya filosofía y principio de funcionamiento, haré una descripción por separado. Estos módulos, son los siguientes: PLL, VCO, oscilador de referencia y fuente de alimentación. El esquema eléctrico general, puede verse en las Figuras: N°2 y N°3.

PLL: El funcionamiento de este circuito ya ha sido definido en parte, solamente añadir, que dado que no podía contar con el cristal de cuarzo adecuado de 1024 KHz para el oscilador de referencia, opté por prescindir de la parte interna de U1 (MC145151) que corresponde a dicho oscilador referencial y montarlo aparte, aplicando la señal exterior de 1024 KHz a la patilla 27 de U1. Si que aproveché, el detector de fase interno a cuya salida por la patilla 4 de U1, intercalé un filtro pasivo RC de 1 KHz a fin de obtener una componente continua variable con la cual, controlar el diodo varicap de sintonía del VCO. El transistor Q1 (BC238), es el que activa el led verde, indicador de la situación de enganche (LOCK) del PLL. Los interruptores N0 a N10, son los que permiten activar (1) o desactivar (0) a masa, cada entrada binaria con el fin de programar manualmente y por combinación, la frecuencia de salida útil en el VCO. La alimentación del módulo, se hace a +8V estabilizados por U2 (78L08), es muy importante, el poder separar por esta vía, las diferentes funciones.

VCO: El VCO es un circuito Colpitts cuyo elemento activo, es un transistor Q2 (BF494) con salida por emisor, la señal de RF (2 Vpp) se aplica a la patilla 1 de U1 para efectuar el proceso de división y comparación con la señal de referencia. La salida útil de RF, se hace partiendo del devanado de acoplamiento del transformador sintonizable L1 hacia el transistor Q3 (BC546), la salida por emisor, se aplica a un filtro LPF con el fin, de obtener una señal senoidal, de amplitud máxima de 2,2 Vpp regulable y exenta de productos de orden superior. La sintonía de L1, corre a cargo del varicap D1 (BB112) cuya capacidad varia en función de la tensión continua filtrada y proveniente de U1 de tal manera, que a la frecuencia de 5 MHz correspondería una tensión sobre D1 de + 4V y a 5,5 MHz seria de + 5,6V. La separación por la vía de alimentación de + 8V, se hace por un regulador U3 (78L08) y electrostática mediante un blindaje de Zinc.

Oscilador de referencia: El oscilador de referencia como se ha indicado, ha sido necesario por no disponer de un cristal de 1024 KHz y para ello, se ha partido de un oscilador TTL muy simple U4 (7400) con un cristal de 10240 KHz y a continuación, una década contadora TTL U5 (7490) que divide por diez obteniéndose a su salida los 1024 KHz necesarios que se aplican a la patilla 27 de U1, esta solución permite el salto mínimo de 1 KHz al programar la sintonía. Para conseguir el ajuste fino de frecuencia o RIT (Receiver incremental tuning), tanto en recepción como en transmisión, se ha dispuesto en serie con el cristal de cuarzo de 10240 KHz, un condensador variable de 2x15 pF con las dos secciones, conectadas también en serie y el cual, permite una variación en la frecuencia útil resultante de salida de 2,2 KHz. Estos detalles son importantes, al considerar las prestaciones de este sintetizador el cual, ha de poder suplir con ventaja a cualquier VFO del tipo analógico, que en la mayoría de casos, presentan inestabilidad de frecuencia. El cristal de 10240 KHz, se ha seleccionado de manera previa, en el sentido de escoger el que tuviera un comportamiento más estable en cuanto a frecuencia La alimentación se hace a + 5V por un regulador de tensión U6 (78L05).

Fuente de alimentación: La fuente de alimentación, se hace a partir de la red por transformador primario a 220 V y secundario de 24 V y 0,2 A, un rectificador puente, filtro de aplanamiento y regulador de + 12V U7 (7812), interruptor POWER y led rojo indicador. Esta fuente está pensada, para dar una mayor versatilidad de aplicación al sintetizador cuando este se adapta a un transceptor ajeno. Por motivos de dispersión electromagnética, fue necesario el disponer una espira en cortocircuito en el exterior del trafo, siguiendo la tónica de los bobinados y con tal de minimizar el campo magnético disperso indeseable, también con la misma finalidad, se ha añadido un doble blindaje separador de Fe y Al entre el transformador de alimentación y el resto de circuiteria como se puede apreciar en la foto interior, ver Figura N° 4

CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA

El montaje de todo el conjunto, queda ubicado dentro de una caja del mercado Retex según las medidas que ya se han indicado y los distintos módulos, se han confeccionado con placa Repro Circuit donde se han dispuesto todos y cada uno de los componentes tanto pasivos como activos, estos últimos y en lo que respecta a CI, van con zócalos del tipo contacto torneado y cada módulo queda sujeto a la base de la caja, por separadores exagonales M3. Al principio, la programación o cambio de frecuencia, se venia haciendo con microrruptores “DIP” y posteriormente por comodidad operativa, se han utilizado conmutadores miniatura tipo C232 en el panel frontal. La salida de señal útil de RF se hace por conector BNC en la parte posterior. Todos los detalles constructivos y de acabado exterior, pueden verse en las fotos o Figuras: N°4 y N°5.

En cuanto a la puesta en marcha, solamente hay que tener en cuenta de manera previa, el funcionamiento correcto del VCO y oscilador de referencia. En el VCO, se ajustará la frecuencia de de trabajo, dentro del margen de captura o enganche del PLL; para ello es necesario, alimentar provisionalmente el diodo varicap D1 con una tensión de +5V a fin de tener la capacidad asociada de sintonía y proceder al ajuste del núcleo y trimer del circuito L-C, controlando al mismo tiempo, además de la frecuencia, las amplitudes de señal en las dos salidas de RF útil y control del PLL que deben de ser, de unos 2 Vpp. El oscilador de referencia, no debe de presentar ningún problema pues su funcionamiento no es nada crítico, su frecuencia y estabilidad, vienen impuestas por el propio cristal de cuarzo de 10240 KHz el cual, queda en serie con un condensador variable de pequeña capacidad 2x15 pF con las dos secciones en serie también, obsérvese que en paralelo con dicha capacidad variable, hay un pequeño condensador de 3,3 pF cuyo objeto es evitar que deje de oscilar cuando el mando de ajuste de frecuencia queda a mínima capacidad; la señal de 1024 KHz a la salida del divisor por diez, tiene una amplitud de unos 2 Vpp y la variación voluntaria de frecuencia en este punto, es de unos 450 Hz que se convierten, una vez pasados por el PLL y a la salida útil de RF, en 2,2 KHz siendo este, el margen de ajuste manual resultante. Una vez disponemos de los dos osciladores funcionando correctamente, ya se pueden interconectar con el PLL y proceder a la programación del salto mínimo y para ello, es cuestión de disponer los tres dígitos divisores del oscilador de referencia: RA0, RA1 y RA2 según los estados de la tabla I que en nuestro caso, serán los de la división por 1024 que coincide con la frecuencia del oscilador de referencia de 1024 KHz, con el resultado de 1 KHz. La programación manual de la frecuencia útil, se hace a partir de la activación (1) o desactivación (0) de cada uno de los once dígitos: N0 a N10, esto da una cifra decimal que automáticamente U1 divide por la frecuencia del VCO y cuyo cociente o resultado también será de 1 KHz con el fin, de poder hacer la comparación dentro del mismo CI y esta es la base del sistema. Con tal de agilizar esta operación manual de programación, se ha confeccionado la tabla II en la cual, se indican unas determinadas frecuencias con la combinación correspondiente de los mencionados dígitos; de manera permanente y en el propio circuito, N11 (2048) y N13 (8192) están desactivados y N12 (4096) está activado, esta tabla queda dentro del margen de 5000 a 5500 KHz, para las frecuencias intermedias, es cuestión de operar con los dígitos menos significativos, hasta que sumen un total en código decimal y en correspondencia con la frecuencia deseada; esta operación se simplifica bastante, con el salto mínimo de 1 KHz. Ver ejemplo, para 5225 KHz seria: $4096+1024+64+32+8+1=5225$. Este resultado, es el factor de división para esta frecuencia.

COMENTARIOS FINALES

Una cuestión importante a tener en cuenta, es el ruido de fase que puede generarse dentro del propio sistema y del cual, no se ha hecho mención en este reportaje. Este parámetro que es significativo, no me ha sido posible evaluarlo al no disponer de medios adecuados como seria, el poder contar con un analizador de espectros el cual, me habría permitido, hacer un análisis cuantitativo de comportamiento de forma óptima, no obstante, si que he podido hacer una prueba

comparativa con otro VFO analógico de calidad y características similares en el modo PSK, con este método de apreciación visual del espectro y en la pantalla del monitor de TV, no se aprecia diferencia entre los dos generadores de RF salvo en la estabilidad, en el VFO hay que andar corrigiendo la frecuencia para mantener la sintonía, en cambio el sintetizador, se muestra muy estable en esta aplicación concreta. Esta prueba bastante orientativa en lo que respecta al ruido, me hizo pensar, que tanto el comparador de fase que ya lleva incorporado U1, como el filtro exterior de 1 KHz y el filtro LPF de 5 MHz a la salida útil de RF, resultan eficaces en lo que concierne a la señal de RF de salida y por lo tanto, el parámetro de ruido inherente de dicho sintetizador, se podría considerar aceptable siempre de manera relativa.

El montaje de este primer sintetizador cuya operatividad, es un tanto precaria, obedece no solamente a su condición de buena estabilidad, señal senoidal, salto mínimo de 1 KHz y ajuste de frecuencia o RIT de 2,2 KHz si no también, a conseguir un mayor conocimiento y familiaridad con los sintetizadores a fin, de poder aplicar en un futuro, estos mismos principios de funcionamiento y prestaciones, pero con un sistema de sintonía mucho más ágil y acorde con los equipos actuales. Espero en próximos artículos, presentar dos sintetizadores de idénticas características, uno con sintonía por decodificador óptico rotativo y otro, accionado por pulsadores Up – Down mediante contadores síncronos. Entre tanto, saludos de Joan, EA3EIS.

BIBLIOGRAFIA

A high Speedy CMOS synthesizer, Radio Electronics World, March 1982.
OFV sintetizado de 5,0 a 5,5 MHz, QU-R-PE, Junio 98, Lluís Terres, EA3-WX.
PLL Frequency Synthesizer CMOS, MOTOROLA, technical data, 1995.

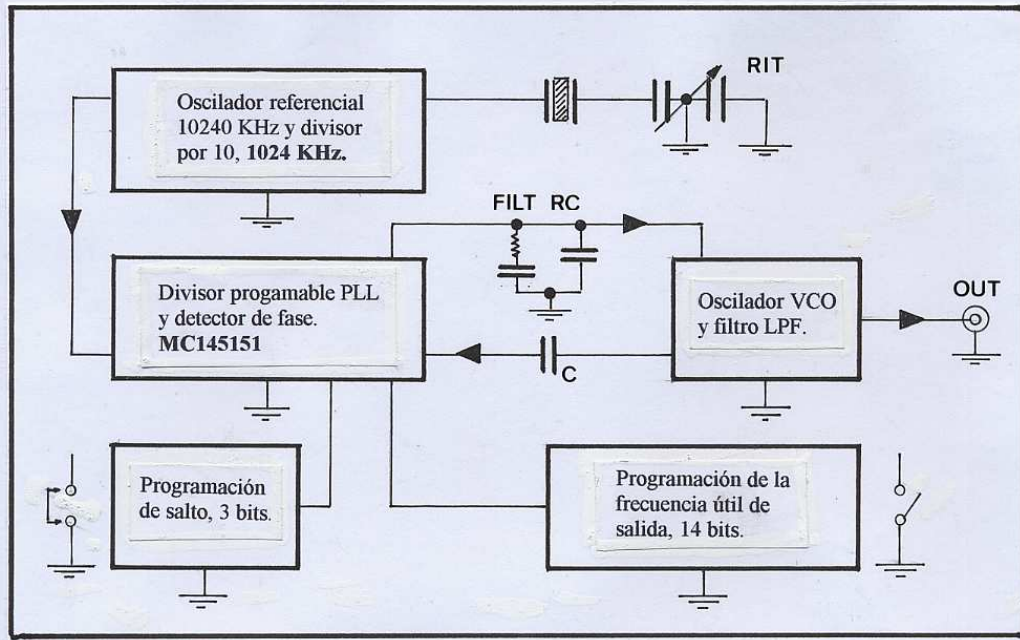
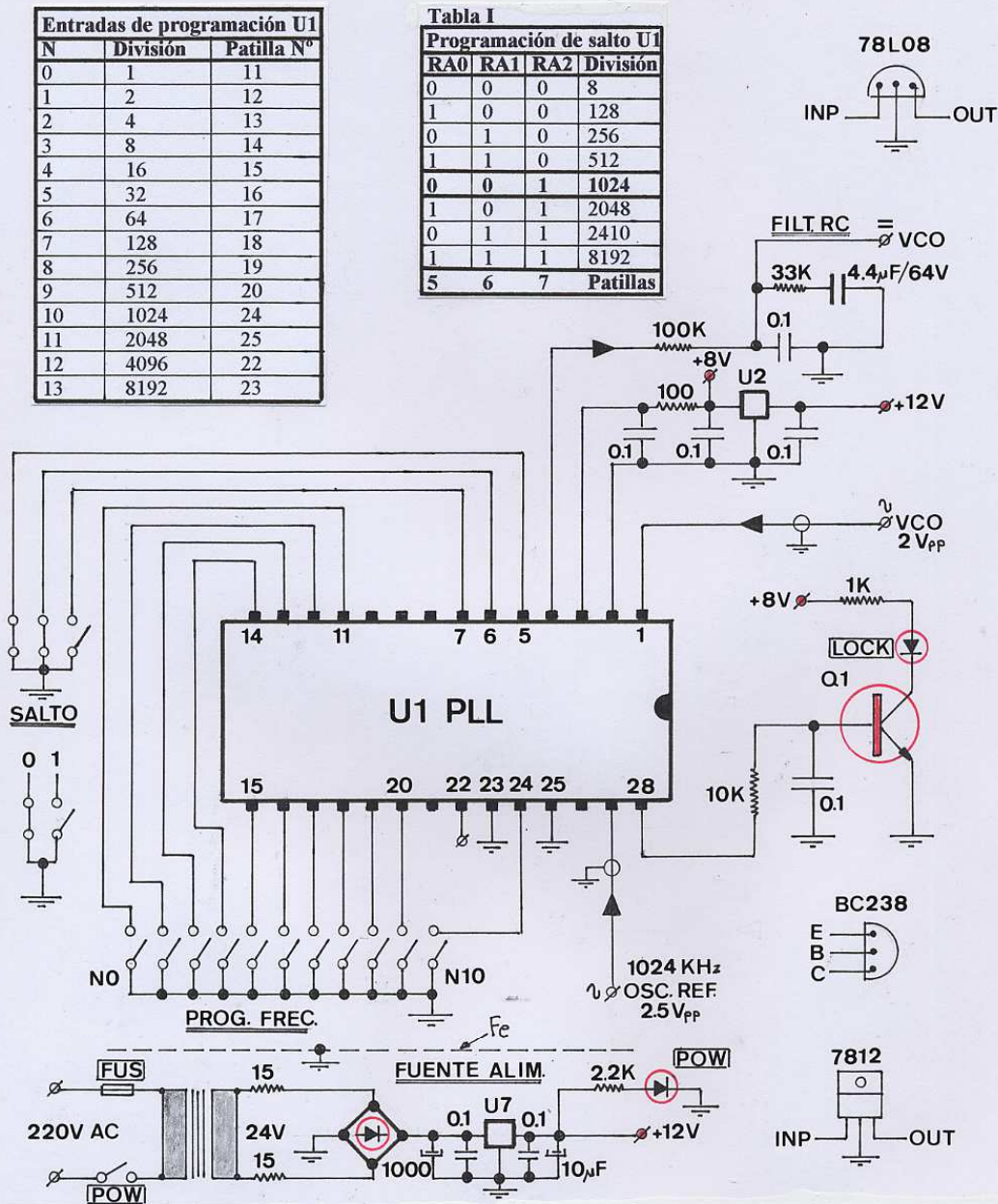


Figura N° 1: Diagrama en bloques del Sintetizador de 5,0 a 5,5 MHz, con salto mínimo de 1 KHz. Puede verse desde la parte superior, el oscilador a cristal de referencia, que parte de un cristal de cuarzo de 10240 KHz, con ajuste de la frecuencia RIT de 2,2 KHz, este bloque TTL, integra un divisor por 10 dejando la frecuencia de comparación en 1024 KHz hacia el divisor programable PLL. Este divisor programable CMOS de 14 bits, mediante interruptores, permite el poder variar la frecuencia útil de salida del VCO y también, mediante un selector interno de 3 bits, la frecuencia de comparación o de salto mínimo la cual, se ha programado en 1 KHz, esta última función de comparación, corre a cargo de un detector de fase que ya comprende dicho circuito integrado. Un filtro pasivo RC exterior de 1 KHz, se encarga de convertir los impulsos a la salida del comparador, en una componente continua variable hacia el VCO, este oscilador incorpora un filtro LPF a su salida útil de RF. El lazo de acoplamiento entre el VCO y el divisor programable PLL, se hace mediante una pequeña capacidad C.



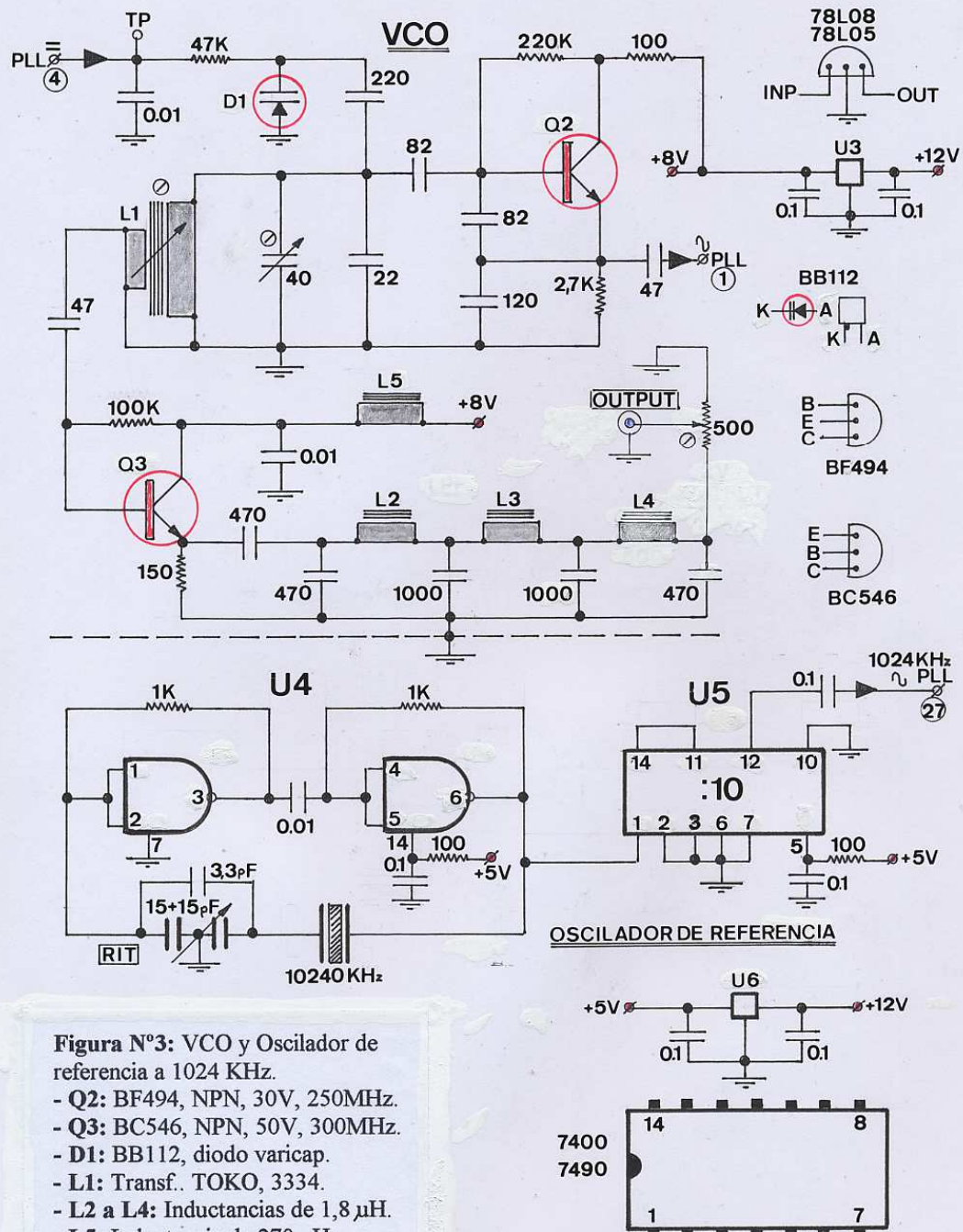


Figura N°3: VCO y Oscilador de referencia a 1024 KHz.

- Q2: BF494, NPN, 30V, 250MHz.
 - Q3: BC546, NPN, 50V, 300MHz.
 - D1: BB112, diodo varicap.
 - L1: Transf. TOKO, 3334.
 - L2 a L4: Inductancias de 1,8 μ H.
 - L5: Inductancia de 270 μ H.
 - U3: 78L08, regulador +8V/0,1 A.
 - U4: 7400, quad, 2 entradas.
 - U5: 7490, década contadora.
 - U6: 78L05, regulador +5V/0,1 A.
- Nota:** La tensión del varicap en TP, es 4V a 5,0MHz y 5,6V a 5,5MHz.

SINTETIZADOR DE 5 A 5,5 MHz (I) VCO Y OSCILADOR DE REFERENCIA A 1024 KHz.

EA3-EIS, 30-03-04.

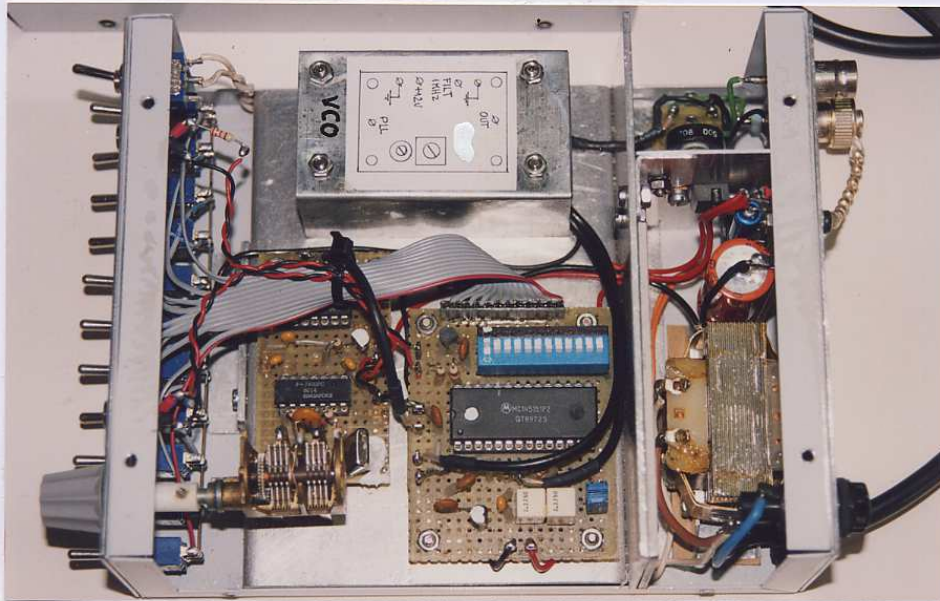


Figura N° 4: Vista interior del sintetizador de 5 a 5,5 MHz (I). En la parte superior, el VCO con su blindaje, más abajo por la izquierda; el oscilador de referencia de 1024 KHz, con el condensador variable que permite el ajuste de frecuencia de 2,2 KHz RIT y a continuación, el divisor programable MC145151, obsérvense los microinterruptores “DIP” de programación que después fueron substituidos por conmutadores en el panel frontal. A la derecha la fuente de alimentación separada por un blindaje de Al y Fe; en el panel posterior, el conector BNC de salida de señal RF.

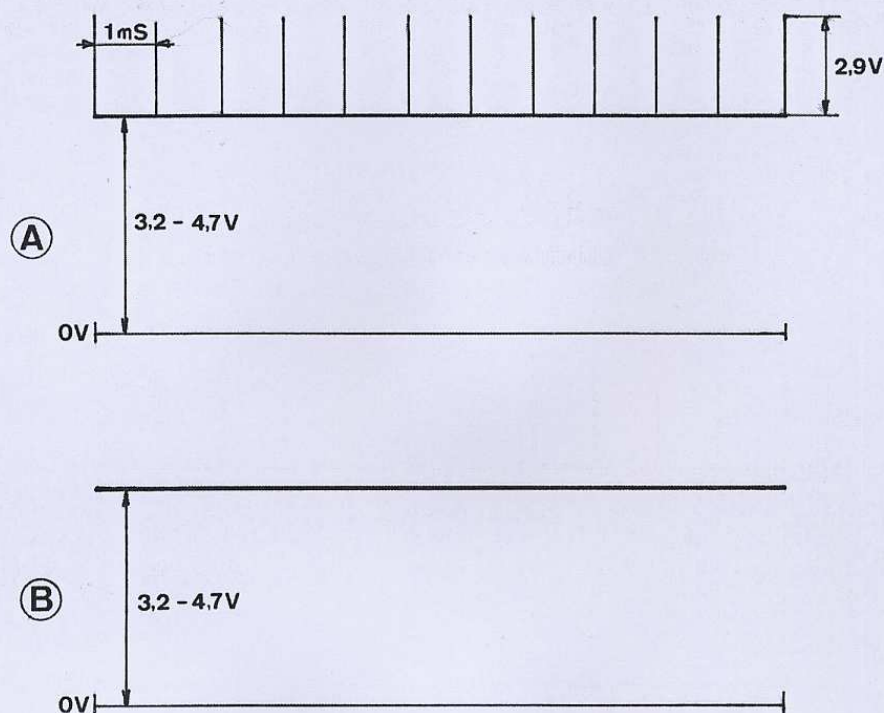


Figura N° 5: Vista exterior del sintetizador. Destacan, el conmutador y led rojo POWER; el led verde LOCK, testimonio de enganche del PLL; el mando de ajuste de frecuencia de 2,2 KHz RIT y debajo, los once conmutadores en línea que permiten programar manualmente, la frecuencia útil de salida de RF. El sistema no es muy operativo, pero como experiencia es recomendable.

Tabla II, programación del VFO Sintetizado de 5000 a 5500 KHz											
VFO KHz	N10 1024	N9 512	N8 256	N7 128	N6 64	N5 32	N4 16	N3 8	N2 4	N1 2	N0 1
5000	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
5025	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
5050	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
5075	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
5100	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
5125	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
5150	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
5175	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
5200	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
5225	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
5250	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
5275	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
5300	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
5325	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
5350	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
5375	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5400	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
5425	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
5450	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
5475	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
5500	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Notas: En esta tabla, aparecen 11 de los 14 dígitos o bits que incorpora el divisor programable MC145151 y que son, N0 a N10, cada uno de ellos, divide por una potencia de 2, permitiendo por suma de combinación programada, establecer el divisor de frecuencia del VCO de los cuales, N0 es el menos significativo y N10 es el mayor. El dígito N12 que corresponde a 4096, está activado (1) a permanencia y en cuanto a N11 y N13 que corresponden a 2048 y 8192 respectivamente, están desactivados (0) también a permanencia. Aquí están representadas como ejemplo, solamente 21 de las 501 posibles combinaciones, programables manualmente de todas las frecuencias que puede generar el VFO, con un salto mínimo de 1 KHz. Ejemplo, para programar una frecuencia de 5500 KHz, deberíamos activar (1), los siguientes dígitos: $4096 + 1024 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 = 5500$. Este factor de división o resultado, se corresponde con el de la frecuencia en KHz, por darse la situación de salto mínimo y de comparación en 1 KHz a nivel de PLL.

SINTETIZADOR DE 5 A 5,5 MHz PLL Señales a la salida del detector de fase



Sintetizador de 5 a 5,5 MHz PLL (MC145151): Representación gráfica demostrativa de señales, tal como se verían en la pantalla de un osciloscopio las cuales, estarían presentes a la salida patilla Nº4 del detector de fase integrado dentro del mismo elemento (MC145151). La figura (A) de la parte superior y partiendo del nivel cero, nos indica una tensión continua que es producto de la detección de fase cuya amplitud, varía en función de la frecuencia de salida del VCO de tal manera, que a 5,000 MHz tenemos 3,2 V y a 5,500 MHz 4,7 V; las espículas que aparecen sobre dicho nivel, corresponden a la frecuencia de comparación de fase o de salto de 1 KHz con un espacio de 1 mS y una amplitud de 2,9 Vp . En la Figura (B) se puede apreciar el resultado y es que la señal precedente, no es aplicable al VCO para controlar la sintonía mediante el diodo varicap (BB112) y por lo tanto es necesario, el proceder a un filtrado mediante la intercalación de un filtro pasivo RC paso bajos, con una frecuencia de corte F_c muy baja (1 a 15 Hz), con tal de eliminar totalmente, la presencia de los picos de comparación sobre el nivel de señal continua variable la cual, presenta la misma amplitud indicada en función de la frecuencia del VCO. El comportamiento del sintetizador como generador de RF, en cuanto a ruido de fase se ha verificado de manera unitaria, mediante un receptor de comunicaciones de forma auditiva en la modalidad CW, el resultado ha sido aceptable al ser una comprobación de tipo subjetivo que no es posible cuantificar. También hay que añadir que uno de estos sintetizadores, desde hace tiempo ha entrado a formar parte externa, de un transceptor multibanda, todo modo, QRP de construcción propia, con buenos resultados en comunicados casi a diario en la banda de 80 metros LSB.