

# TRANSPONDEDOR LINEAL

Desde luego el título se las trae, intentaremos descifrarlo, estudiar sus aplicaciones actuales y buscarle posibles adaptaciones para su uso en instalaciones terrestres.

Un transponedor no es mas que un repetidor, en realidad es un dispositivo que convierte una frecuencia, o conjunto de ellas (generalmente de una banda) en otra frecuencia o conjunto de ellas (a una banda diferente).

## FRECUENCIAS, TIPOS Y “MODOS”

Cuando se habla de satélites, que repito no son mas que repetidores situados fuera de la atmósfera, nos encontramos con muchos problemas que todos entendemos, la energía para su funcionamiento, los acumuladores, el peso, dispositivos de control, etc. Pero hay un problema de RF, y es que en un espacio tan reducido si quisiéramos instalar un repetidor cuyas frecuencias suban y bajen un una única banda, por ejemplo VHF, se necesitarían unas cavidades de ajuste crítico y de gran tamaño, como consecuencia del margen de frecuencias tan estrecho del que disponemos en VHF. Estas circunstancias no nos las podemos permitir allí arriba.

Sin embargo es mucho mas sencilla la construcción de duplexores para bandas diferentes, evitando así la insensibilización de nuestro receptor como consecuencia de nuestra propia emisión.

Según las bandas de subida y bajada que utilice un satélite, así se denomina el “modo” en el que operamos. Así en los primeros satélites que se lanzaron se definieron una serie de modos, de los cuales solo os indico algunos a continuación:

| Modo | Subida | Bajada | Denominación<br>Actual |
|------|--------|--------|------------------------|
| B    | 70 cm. | 2 m.   | U/V                    |
| J    | 2 m.   | 70 cm. | V/U                    |
| L    | 23 cm. | 70 cm. | L/U                    |
| S    | 70 cm. | 13 cm. | U/S                    |
| Etc. |        |        |                        |

Como podéis comprender esta forma de definir el modo en el que trabajamos es poco intuitiva y nada amigable. Hoy en día se denominan los modos por dos letras, la primera indica la banda de subida, y la segunda la banda de bajada, como podemos ver en la cuarta columna.

También se pueden clasificar los transponedores en analógicos y digitales. Los analógicos son en tiempo real, esto quiere decir que la señal de subida pasa directamente a la bajada. Sin embargo los digitales, como todos conocemos en APRS o

digipeters de packet, la información de subida se trata y posteriormente se envía a la bajada según diferentes condiciones de software. Los transpondedores digitales que trabajan en la misma banda, al no funcionar en tiempo real no necesitan funcionar en full-duplex, por lo tanto suelen trabajar en Split o en Simplex. Por ejemplo la Estación Espacial Internacional tiene un transpondedor digital de packet/APRS en modo V/V.

Sin embargo también hay transpondedores digitales que trabajan en full-duplex en dos bandas simultáneamente, para ello emplean otros protocolos menos conocidos en comunicaciones terrestres como el PACSAT.

## ARQUITECTURA DE UN TRANSPONDEDOR

En el caso de los transpondedores analógicos de un solo canal y dos bandas suelen funcionar en FM (que son la mayoría), su diseño es similar al de un repetidor. Constan de un receptor y un transmisor, haciendo el intercambio de la información entre la subida y la bajada a nivel de frecuencia de audio, para que nos entendamos y salvando las diferencias, como si conectáramos el altavoz del receptor al micrófono del transmisor.

Hasta hace poco este tipo de transpondedores estaban continuamente emitiendo lo que recibían, a squelch abierto, con el consiguiente gasto de energía incluso cuando ninguna estación lo estaba utilizando. En la actualidad el satélite SO-50 tiene instalada una unidad de subtono de 67 Hz. en su receptor, con el consiguiente ahorro al no transmitir cuando las señales de subida no cumplen esta condición.

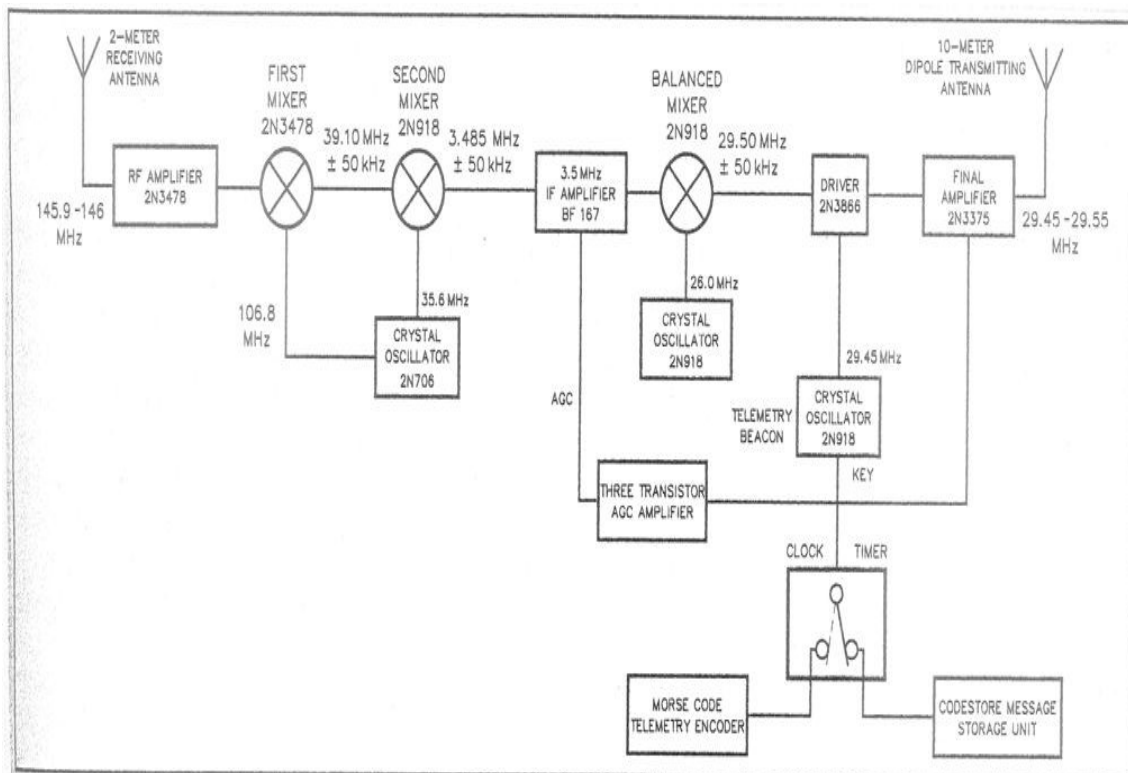


Figura 1: Diagrama de bloques de un transpondedor lineal

Los transpondedores digitales suelen aprovechar el ancho de banda que nos brinda la FM de nuestros transceptores en fonía para transmitir datos hasta 9.600 Bd. Sin embargo hay satélites que trabajan hasta 56.000 Bd., como se puede entender se utilizan un receptor y un emisor con el ancho de banda requerido, que pasan las señales a un modem de la velocidad adecuada que se comunica con un ordenador (TNC). Una vez tratada la información mediante software esta sigue el sentido contrario hasta ser emitida por el transmisor.

Sin embargo los transpondedores analógicos que reciben un conjunto de frecuencias de una banda y son retransmitidas en otra banda, tienen una arquitectura bastante mas compleja. Como este tipo es el mas difundido y apreciado entre la comunidad de radioaficionados que trabajamos satélites, vamos a profundizar un poco mas. Quizás no me haya explicado bien hasta ahora, vamos a poner el ejemplo del satélite FO-29 que está dotado de un transpondedor lineal invertido analógico en modo V/U.

- Subida: 145.900 – 146.000 en LSB, centro pasabanda: 145.950
- Bajada: 435.800 – 435.900 en USB, centro pasabanda: 435.850

Esto nos indica que si subimos en el centro del pasabanda 145.950 MHz recibiríamos nuestra señal en el centro del pasabanda de la bajada 435.850 MHz.

Llegados a este punto tenemos que hacer dos consideraciones, la primera es que existen transpondedores directos e invertidos, y la segunda es el efecto Doppler.

Los transpondedores directos son aquellos en los cuales si se sube en una frecuencia de “X” Khz. por encima o debajo del centro del pasabanda, la frecuencia de bajada conserva la magnitud de “X” Khz. y el signo. Si subimos en 145.960 MHz, la frecuencia de bajada sería 435.960 MHz. Muchos libros lo expresan mediante una ecuación cuya constante “K” es la diferencia de las frecuencias centrales:

$$(1) \text{ Frecuencia de bajada} = K + \text{Frecuencia de subida}$$

Los transpondedores invertidos o inversos son aquellos en los cuales si se sube en una frecuencia de “X” Khz. por encima o por debajo del pasabanda, la frecuencia de bajada conserva la magnitud, pero invierte el signo. Si subimos en 145.960 MHz, la frecuencia de bajada sería 435.940 MHz. La constante “K” es la suma de las frecuencias centrales y la ecuación sería la siguiente:

$$(2) \text{ Frecuencia de bajada} = K - \text{Frecuencia de subida}$$

No importa la regla que utilicemos, mientras seamos capaces de encontrar la frecuencia de bajada. En los satélites siempre se usan los transpondedores invertidos para minimizar el efecto Doppler, como ahora entenderemos.

La segunda consideración es el efecto Doppler, se trata de un efecto fisico del que seguro la mayoría habéis oído hablar, y para el cual siempre se pone el siguiente ejemplo: Si estamos en una estación de tren, en la cual va a pasar un tren con una

bocina activada a gran velocidad y sin pararse, la bocina del tren se oirá mas aguda cuando se acerca y al alejarse se oye mas grave.

Se trata de un efecto que es mas notable cuanto mayor alta es la velocidad y mas alta es la frecuencia. En la práctica los satélites de radioaficionado, por su tamaño y distancia a la tierra, se suelen mover a una velocidad tal que el efecto Doppler es como máximo en VHF de +/-2.5 Khz. y en UHF de +/- 10 Khz.

Esto quiere decir que si tenemos un satélite que está apareciendo por el horizonte en una órbita tal que pasara por nuestra cabeza (elevación cerca de 90°), y le enviamos una portadora en 145.950 MHz, el la recibiría en 145.952,5 MHz. Y si el satélite nos emite una portadora en 435.950, nosotros la escucharíamos en 435.960Mhz.

Por esta razón vamos a calcular en el momento que aparece el satélite, y subimos con una portadora en la frecuencia de 145.950 MHz, la frecuencia de bajada según el tipo de transpondedor, teniendo en cuenta el efecto Doppler:

Transpondedor directo:

- Nosotros emitimos en 145.950
- El satélite nos escucha en 145.952,5 (Efecto Doppler)
- El satélite da la frecuencia de bajada en 435.952,5 MHz (ver ecuación (1))
- Nosotros escuchamos en 435.962,5 MHz (Efecto Doppler)

Transpondedor invertido:

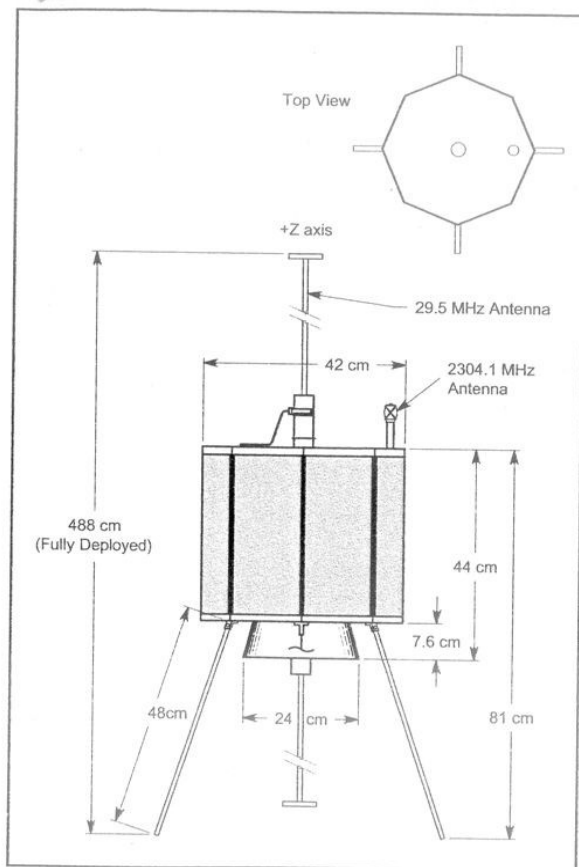
- Nosotros emitimos en 145.950
- El satélite nos escucha en 145.952,5 (Efecto Doppler)
- El satélite da la frecuencia de bajada en 435.947,5 MHz (ver ecuación (2))
- Nosotros escuchamos en 435.957,5 MHz (Efecto Doppler)

Como podemos ver los transpondedores invertidos minimizan el efecto Doppler al contrarrestarse el de subida con el de bajada, existiendo menos diferencia entre ambas frecuencias, por esta razón todos los satélites utilizan este tipo.

Se entiende que la arquitectura de este tipo de transpondedor es mas compleja al tener el receptor y el emisor que soportar un pasobanda que suele oscilar entre 50/100 Khz. en los satélites LEO, y hasta 250 Khz. en los satélites de tipo Fase 3 como el AO40.

El intercambio entre el receptor y el emisor ya no se hace a nivel de frecuencia de audio, si no que se emplean frecuencias intermedias mas altas que permiten el pasobanda. El sistema se complica cuando una señal detectada en el receptor pasa al emisor que la repite con una potencia proporcional a la subida, o sea las estaciones recibidas débiles se repiten débiles y las recibidas fuertes se repiten fuertes. Por lo tanto en la frecuencia intermedia se han de instalar unos mecanismos del tipo AGC (Control Automático de Ganancia), para limitar aquellas estaciones que llegan demasiado fuertes, evitando escuchar a las débiles.

Por ejemplo, el FO29, transmite con 1 Watio, que ha de distribuirse entre todas las estaciones, sin contar el batido de las portadoras de FM que emiten indebidamente en el espacio reservado a satélites.



*Figura 2:  
Dimensiones satélite AO-07*

Para minimizar este efecto se diseñó un sistema de distribución de potencia que divide el pasobanda en varios segmentos, de forma que la potencia se reparte en partes iguales en cada segmento. Si una estación llega muy fuerte no absorbe la potencia de todo el transpondedor, si no solo la de su segmento. Parece que nunca se llegó a utilizar.

El último sistema ideado por nuestros compañeros alemanes en el AO40 se denomina LEILA, se ha instalado un ordenador en la frecuencia intermedia, que en este satélite es de 10.7 MHz, que monitoriza las señales que llegan al

receptor. Cuando una señal en la subida excede un valor predeterminado, envía una “sirena” en la frecuencia de bajada correspondiente haciendo inteligible el audio, avisando así de que estamos sobrepasando la potencia necesaria. Este sistema es capaz de enviar varias sirenas simultáneamente a varias estaciones. Hay ocasiones en las que he tenido que reducir mi potencia en 435 MHz a menos de 10 Watios, ha sido un gran adelanto que nos obliga a ser generosos al permitir que estaciones débiles puedan trabajar.

En una de las figuras podéis ver el diagrama de bloques característico de un transpondedor lineal, en este caso es el que está instalado en el AO-07. En la segunda figura se aprecian las dimensiones de este satélite. Estos esquemas están obtenidos del Satellite Handbook publicado por la ARRL.

Por curiosidad os comento que este satélite se puso en órbita a mediados de 1.981 y cesó su actividad 6 años después, previsiblemente por un cortocircuito en los acumuladores. En Junio de 2.002 (16 años más tarde de dejar de escucharse), Pat Gowen G3IOR escuchó su baliza en CW. Después de estudiar la telemetría se ha llegado a la conclusión de que los acumuladores se han abierto, quedando solo con la alimentación procedente de los paneles solares. De esta forma solo funciona cuando está iluminado por el Sol, pero aún así he hecho varios contactos a través de él, entre ellos 3 estaciones de EEUU, W4MVB Jess, W3JUZ Russell y nuestro amigo Jeff KB2M, muy activo a través de los satélites.

## ALGUNAS REFLEXIONES

Como apreciáis el tema de los satélites es apasionante y necesita mucho esfuerzo por parte de todos para que podamos disfrutar de ellos. Por lo tanto la primera invitación que os hago es a respetar el espectro destinado a estos, según el plan de bandas a partir de 1-1-2004 es el siguiente:

### VHF:

- 145.200 y 145.800 en FM para comunicaciones con naves espaciales. Por ejemplo la Estación Espacial Internacional (ISS)
- Desde 145.806 a 146.000 en todos los modos en exclusiva para satélites, ya sean transpondedores o balizas.

### UHF:

- Desde 435.000 a 438.000 en todos los modos, a compartir entre ATV y satélites, teniendo preferencia estos segundos ante posibles interferencias.

### SHF:

- Desde 1260 a 1270 en todos los modos en exclusiva para satélites

Cualquier emisión que se haga dentro de estos márgenes de frecuencias, que no tenga la pretensión de una comunicación vía satélite, estará violando los planes de bandas y creará interferencias a las estaciones que trabajan estas modalidades. No solo nos impiden escuchar las débiles señales de estos, si no que en muchas ocasiones (sobre todo en los satélites de FM), se les escucha a través de estos en toda la huella. Sin saberlo ni desearlo sus emisiones repetidas en un satélite LEO se escuchan en toda Europa, Rusia y parte de EEUU. En Méjico se impusieron este año pasado enormes sanciones a asociaciones de taxistas que utilizaban estas frecuencias.

La segunda invitación que hago a la URE en primera instancia y a aquellos que posean conocimientos suficientes es a hacer el uso de los siguientes segmentos reservados a transpondedores lineales de uso terrestre:

### VHF:

- Desde 144.630 a 144.660 en todos los modos salida transpondedor lineal.
- Desde 144.660 a 144.690 en todos los modos entrada transpondedor lineal.

### UHF:

- Desde 432.500 a 432.600 en todos los modos entrada transpondedor lineal.
- Desde 432.600 a 432.800 en todos los modos salida transpondedor lineal.

Desconozco si la reglamentación actual permite los transpondedores lineales entre bandas, entiendo que sí, pues si no es así no tendría sentido que las frecuencias de entrada y salida de los transpondedores en una misma banda estén tan cerca, y por otro lado, en los satélites se utilizan a nivel mundial.

Mi propuesta es construir un transpondedor lineal directo y un ancho de banda de 30 Khz., con la entrada en LSB en UHF y salida en USB en VHF, o viceversa. La instalación sería en un punto céntrico de la península de gran altura, podría ser la sierra

de Madrid. De esta forma las estaciones que utilizan para comunicaciones terrestres la banda lateral en VHF y UHF, y las estaciones que tienen instalación de satélite, podrían casi desde cualquier punto de la península acceder a este transpondedor, garantizando la comunicación en VHF y UHF casi en la totalidad de la península en fonía, PSK31, RTTY, CW, etc.

Las antenas de emisión pueden ser del tipo omnidireccional de polarización horizontal, como la Eggbeater 2 de VHF y unos 50 Watios de potencia, las antenas de recepción pueden ser 6 yaguis de UHF enfasadas, dirigidas con un ángulo de 60 grados para cubrir toda la geografía.

Espero haber conseguido explicarme y que tanto los que trabajamos los satélites de radioaficionados, como todos los demás entendamos esta parte tan técnica de nuestro hobby del que todos nos podemos aprovechar.

Juan Antonio Fernández Montaña  
EA4CYQ

Nota: Este artículo fue publicado en la Revista mensual de Unión de Radioaficionados Españoles en Abril de 2004.