

300617

UNIVERSIDAD LA SALLE 17



ESCUELA DE INGENIERIA  
Incorporada a la U.N.A.M.

2ej

"METODOLOGIA BASICA DE DISEÑO DE UN TRANSMISOR  
INALAMBRCO DE AUDIO Y VIDEO"

TESIS PROFESIONAL  
Que para obtener el Titulo de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
Con Especialidad en Ingeniería Electrónica  
p r e s e n t a  
CARLOS IGNACIO CONTRERAS DOMINGUEZ

Asesor de Tesis:  
ING. GUILLERMO ARANDA PEREZ

México, D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAPITULO I. PRINCIPIOS BASICOS DE TELEVISION</b>	
Antecedentes .....	2
Generación de imagen .....	2
Barrido horizontal y vertical .....	2
Movimiento en la imagen .....	5
Señal de color .....	10
Calidad de la imagen .....	11
Brillos .....	11
Contraste .....	12
Detalle .....	13
Nivel de color .....	13
Tono .....	14
Relación de tamaño .....	14
Distancia de observación .....	14
Definición de términos usados en transmisión .....	15
Transmisión de línea de vista .....	15
Distancia horizontal .....	15
Transmisores de televisión .....	16
Reflexiones .....	17
Zonas sombreadas .....	18
<b>CAPITULO II. DISEÑO DEL GENERADOR DE PORTADORA</b>	
Antecedentes .....	20
El canal de transmisión .....	20
Canales asignados .....	21
Frecuencias portadoras .....	22
Generador de la señal portadora .....	23
Puntos a considerar para el cálculo del proyecto .....	26
Cálculos del circuito .....	29
<b>CAPITULO III. DISEÑO DEL MODULADOR DE AUDIO Y VIDEO</b>	
Antecedentes .....	39
Modulación de video .....	39
El sonido de FM .....	40
Transmisión negativa .....	41
Transmisión de banda lateral residual .....	42
Modulación en amplitud .....	42

Frecuencias de portadora lateral .....	44
Bandas laterales .....	45
Banda base .....	46
Bandas laterales residuales .....	47
Canal estándar .....	49
Ventajas de la banda lateral residual .....	52
Compensación para la transmisión de banda lateral residual .....	53
Circuito modulador .....	54
Alimentación de video .....	54
Alimentación de audio .....	55
Pasos en el diseño del amplificador .....	56
Consideraciones para construir el VCO .....	61
Amplificador de video .....	68
Acoplamiento de señal portadora con el mensaje .....	70
<b>CAPITULO IV. DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION Y LA ANTENA</b>	
Antecedentes .....	77
Líneas de transmisión .....	77
Pérdidas en líneas de transmisión .....	79
Impedancia característica .....	80
Características físicas de la línea .....	81
Líneas resonantes y no resonantes .....	82
Secciones de líneas de transmisión .....	82
como circuitos resonantes .....	82
Acoplamiento de impedancias .....	85
Sección de acoplamiento de un cuarto de onda .....	85
Diseño de la línea de transmisión .....	87
Antenas .....	89
Longitud de una antena resonante .....	90
Terminología usada para antenas .....	92
Microvolts por metro .....	93
Patrones de directividad .....	93
Impedancia de antena .....	94
Ancho de banda de la antena .....	95
Ganancia de la antena .....	95
Dipolo recto .....	96

Carga capacitiva de una antena .....	97
Dipolos de recepción amplia .....	98
Arreglos de antenas .....	98
Diseño de antena de dipolo simple .....	99
<b>CAPITULO V. PUEBRAS FINALES Y CIRCUITO COMPLETO</b>	
Antecedentes .....	104
Pruebas finales para distintas etapas .....	104
Generador de portadora .....	105
Amplificador de audio .....	106
Modulador de audio .....	107
Entrada y amplificador de video .....	107
Modulador de frecuencia .....	108
Línea de transmisión y antena .....	109
Diagrama final .....	109
CONCLUSIONES .....	112
BIBLIOGRAFIA .....	115

# INTRODUCCION

## INTRODUCCION

En los últimos años el sistema de comunicación conocido con el nombre de televisión ha tenido un gran auge en las comunicaciones, es un medio bastante completo que permite la comunicación visual y auditiva a aquella persona que recibe el mensaje. Esto se logra convirtiendo la información visual y sonora de una escena a una señal eléctrica para transmitirla a un receptor.

La televisión utiliza varios principios de transmisión utilizados en el radio (AM y FM), aunque el sistema de televisión no solo se puede transmitir en forma remota sino también por cable. El gran paso en el desarrollo de la televisión fue el establecer un protocolo para convertir o codificar la información en forma de una señal eléctrica.

Originalmente el sistema de televisión fue desarrollado para transmisiones comerciales que se iniciaron en el año de 1941.

Los canales estándar para transmitir televisión fueron fijados en el año de 1945 por la comisión federal de comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos, donde se les asignaron los números del 2 al 13 ahora usados en América para la televisión comercial y que se encuentran en la denominada banda VHF (Very High Frequency), existen además otra banda de canales menos utilizados para la transmisión de televisión (14 a 83), a esta banda se le conoce como la banda UHF (Ultra High Frequency).

El sistema de transmisión de televisión adoptado desde 1953 para los televisores que se usan actualmente en la mayoría de los países Americanos es conocido como NTSC (National Televisión Systems Committee) comité que también

desarrolló los estándares usados en la televisión de blanco y negro, su sistema fue adoptado por la FCC en 1943.

El uso de un sistema de transmisión de Televisión puede llegar a tener varias aplicaciones tanto de tipo educativo, así como industrial y en negocios.

La presente tesis muestra un procedimiento sistemático para el diseño de un sistema de transmisión de televisión de baja potencia que pueda ser recibida en un televisor ordinario, en uno de los canales no ocupados. En cada uno de los capítulos se va describiendo cada uno de los pasos seguidos en el diseño de el transmisor cuyos elementos se ilustran en el siguiente diagrama de bloques.

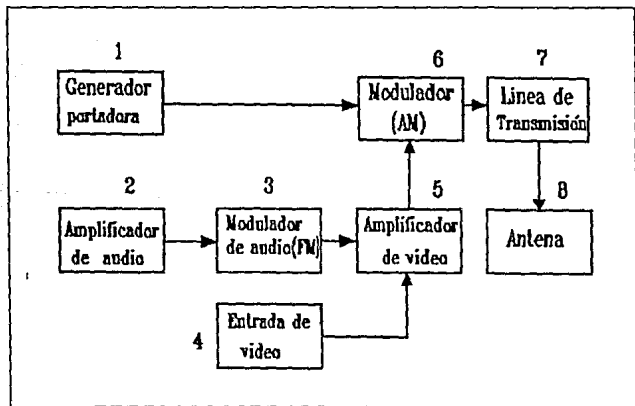


Diagrama de bloques del diseño



En este diagrama se ilustran todas las partes que van a formar el transmisor a diseñar, y sus bloques se irán tratando respectivamente a lo largo de la presente tesis. Explicando brevemente este diagrama de bloques se puede notar que es similar al de un transmisor de radio, ya que cuenta con un generador de portadora que será propiamente la frecuencia de transmisión representada en el bloque 1. La otra parte importante de este diagrama comienza en el bloque 2, en este se alimenta la señal de audio que producirá posteriormente una señal de frecuencia modulada en el bloque 3 que es un oscilador controlado por voltaje. En el bloque 4 se toma la entrada de video que llega hasta nuestro amplificador de video donde se amplifican la señal de video y audio en el bloque 5 (ya modulado en frecuencia) y pasan ambos a la etapa de modulación en amplitud (bloque 6) en la que audio y video modulan a nuestra señal portadora que queda lista para llevarla a nuestra línea de transmisión (bloque 7) que alimentará a nuestra señal a la antena en el bloque 8 que se encargará de radiarla al espacio.

La secuencia para comprensión y diseño de este circuito a lo largo de los siguientes capítulos será la siguiente:

En el primer capítulo se describe el sistema 'NTSC' utilizado para formar las imágenes de televisión así como para simular el movimiento, esto a forma de introducción al diseño del sistema, así como los términos más utilizados en televisión.

El capítulo dos constituye la primera etapa de diseño del circuito, específicamente el bloque 1. Se describe la forma en que se diseña un oscilador controlado por cristal, así como todas las consideraciones para la construcción de los elementos utilizados en el mismo.

En el capítulo tres se habla de el proceso de modulación, la transmisión de banda lateral residual usada en televisión, y por último se explica el diseño de un amplificador de audio (bloque 2), modulador de frecuencia (bloque 3), la entrada y amplificación de video (bloques 4 y 5), modulador en amplitud de este con la portadora, así como el cálculo de la red de acoplamiento para conectarse con la línea de transmisión (bloque 6).

En el capítulo cuatro se habla de las líneas de transmisión y antenas, y posteriormente se hacen las consideraciones para la elección de la línea de transmisión apropiada (bloque 7), así como los cálculos de las dimensiones de la antena (bloque 8).

Por último en el capítulo cinco se discuten en forma breve algunas de las pruebas que es conveniente hacerle a cada uno de los elementos del diseño a fin de lograr corregir errores antes de conectar todas las etapas y se muestra un diagrama que ilustra la forma en que se conjuntan todas las etapas calculadas.

Un aspecto importante que se debe mencionar es el hecho de que esta metodología no pretende plantear un diseño fijo que sea inflexible a cambios que se deseen hacer en el, sino por el contrario se trata de plantear el método de cálculo en forma teórica a fin de que se puedan aplicar los parámetros que en determinado momento se requieran para alguna aplicación específica, por lo que los parámetros utilizados sirven a manera de ejemplo numérico para de ahí partir a modificaciones que en cierto momento alguien necesite realizar, naturalmente esto no quiere decir que el diseño planteado sea impráctico, por el contrario a lo largo de los siguientes capítulos se plantean ciertas necesidades particulares que llevan a la obtención de los componentes apropiados para que funcione el diseño y cubra estas mismas, pero en determinado momento estas necesidades se pueden

cambiar por otras diferentes y siguiendo la misma metodología llegar a calcular los componentes que cubran las nuevas necesidades del diseño. Por esto mismo no está contemplada la elección de componentes específicos, ni se propone una forma definida de armar un prototipo, el propósito principal de la presente tesis es el de servir como una guía para realizar un diseño que sirva como base en teórica y que una vez calculado se pueda construir basandose en los cálculos para que en caso de ser necesario sea posteriormente modificado para lograr su funcionamiento adecuado.

# CAPITULO 1

## PRINCIPIOS BASICOS EN TELEVISION

## Antecedentes

En el presente capítulo se discuten los principios básicos para adentrarnos al funcionamiento del sistema de televisión comercial en lo referente a la formación de imágenes, tratando al principio como se forman estas en la pantalla de televisión, la técnica usada para simular el movimiento, en forma básica como se da color a las imágenes, características como son el contraste, brillo. Por último se habla de algunos de los términos utilizados en la transmisión de televisión, como son la línea de vista, reflexiones, y zonas sombreadas.

## Generación de imagen

El sistema de televisión funciona en forma análoga a una cinta de una película de cine, el sistema es lo suficiente rápido como para crear la ilusión de movimiento proyectando varios cuadros fijos en periodos de tiempo muy pequeños. Una imagen esta conformada por un grupo de pequeñas áreas de luz y sombra. Esto se puede apreciar mejor si observamos con detenimiento la pantalla de un televisor o utilizamos una lente para observar la imagen y así apreciar los puntos individuales que la forman. Estos puntos se les conoce como pixels (PICTure ELeMentS, elementos de imagen), y contienen la información visual de la escena que se observa, si estos son transmitidos y reproducidos en el mismo grado de intensidad de luz o sombra en su posición adecuada, la imagen será reproducida.

## Barrido horizontal y vertical

Sabiendo que la información de la pantalla de televisión se manda en forma de puntos ahora sigue entender como se van formando las imágenes en el receptor de T.V.

La pantalla del televisor es recorrida por un haz de electrones que se emite desde el cañón del cinescopio del mismo y barre la pantalla. En su camino el haz de electrones va mandando la información visual dependiendo de la posición en que se encuentre.

La formación de imágenes en la pantalla de una televisión es diferente a la manera en que se forma la imagen en una fotografía, en la última esta se forma toda de una sola vez al entrar la luz y grabar la escena en la película, en cambio en el televisor la imagen es reconstruida una línea tras otra y cuadro sobre cuadro.

La forma en que se realiza este barrido de la pantalla es similar a la forma en que se leen las palabras en un texto escrito, comenzando de la esquina superior izquierda y terminando en la esquina inferior derecha. Este mismo sistema de barrido es utilizado en la cámara del transmisor para efectuar el muestreo de la imagen tomada.

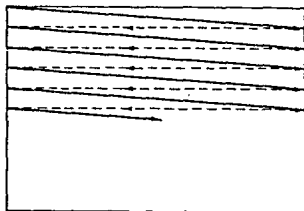
La secuencia que se emplea para el muestreo de la imagen es el siguiente:

a) El haz de electrones hace un barrido a lo largo de una línea horizontal de la pantalla, cubriendo en su camino todos los puntos de esta línea.

b) Al final de cada línea el haz de electrones regresa rápidamente al extremo izquierdo de la pantalla y vuelve a comenzar a recorrer la siguiente línea horizontal. A este retorno del haz de electrones al otro extremo de la pantalla se le llama retraso. Ninguna información de la imagen es enviada durante este periodo de tiempo, por esta razón los retrasos deben de ser muy rápidos por que de otra manera se perdería información de la imagen.

c) Cuando el haz es regresado al extremo izquierdo de la pantalla es movido ligeramente hacia abajo, de tal manera que al comenzar a mandar la información no se encime en la línea anterior, esto se efectúa con el sistema de barrido vertical.

Podemos apreciar mejor esto en la figura 1.1, donde se muestra como se realiza este barrido de la pantalla.



**Figura 1.1**  
**Barrido en la pantalla del televisor**

El número de líneas barridas en una imagen completa debe ser grande, de tal forma que se puedan incluir la mayor cantidad de pixeles en la pantalla del televisor. El estándar que se utiliza en el sistema de televisión actual es de 525 líneas por cada cuadro de una imagen.

El haz de electrones que barre la pantalla va bajando lentamente mientras realiza el barrido de la imagen; este movimiento vertical es necesario para que no se encimen una línea de la imagen sobre otra. Por esta razón la frecuencia de barrido vertical es mucho menor que la del barrido horizontal. En este caso la velocidad de barrido vertical es de 30 Hz, es decir la mitad de la frecuencia de la línea de alimentación (60 Hz).

## Movimiento en la imagen

Así como es necesario transmitir todos los puntos de la imagen en la pantalla del televisor por medio del barrido, es también necesario presentar la imagen al ojo humano en tal forma que cualquier movimiento en la escena aparezca como un cambio suave y continuo. El sistema de la televisión es muy parecido en este aspecto al de una película de cine.

En el sistema de cine se muestran aproximadamente 24 cuadros por segundo. La impresión de una imagen vista por el ojo humano persiste por una fracción de tiempo después de que esta ha sido removida. Por esta razón, si muchas imágenes se presentan durante este intervalo de tiempo el ojo las integrará y entonces tendrá la impresión de ver las imágenes al mismo tiempo. Como los elementos son desplegados en la pantalla en rápida sucesión aparecen al ojo como una imagen completa.

Para crear la ilusión de movimiento un número suficiente de imágenes deben de ser mostradas durante cada segundo. Este efecto se puede lograr teniendo más de 16 imágenes por segundo.

En el caso del cinematógrafo no es suficiente la velocidad de 24 cuadros por segundo para permitir una brillantez de la imagen y cambiar en forma suave al siguiente cuadro durante el tiempo que la pantalla se encuentre oscura. El resultado es una especie de parpadeo. Este parpadeo se vuelve más crítico a grandes niveles de brillantez. En las películas este problema de parpadeo es resuelto corriendo el film en un proyector a una velocidad de 24 cuadros por segundo pero mostrando cada cuadro de película dos veces, de modo que 48 imágenes son proyectadas en la pantalla durante cada segundo. Así solo se muestran 24 cuadros en realidad pero dos veces cada uno de ellos e interrumpiendo la luz del proyector también 48 veces, el resultado es que se elimina el parpadeo.



Un proceso similar se utiliza en la televisión para reproducir el movimiento en una escena, no solamente descomponiendo la imagen en muchos puntos individuales sino que la escena es barrida en forma tan rápida que nos da la ilusión de movimiento. En vez de una velocidad de 24 cuadros por segundo como en el cine, la velocidad utilizada en T.V. es de 30 por segundo. Esta velocidad nos da una continuidad en el movimiento bastante apropiada.

Sin embargo la velocidad de repetición de 30 imágenes por segundo no es lo suficientemente rápida para evitar el problema del parpadeo a los niveles de luz encontrados. La solución es similar a la que se emplea en el cinematógrafo, cada cuadro de la pantalla es dividido en dos partes, de tal modo que 60 imágenes son presentadas al ojo durante cada segundo. Para poder obtener este efecto se interlazan las líneas horizontales en dos grupos, uno formado por las líneas nones y otro por las líneas pares, cada uno de estos grupos de líneas pares o nones se denominan campos.

La velocidad de repetición de estos campos es de 60 por segundo, debido a que dos campos son barridos en 1/30 de segundo. De este modo 60 imágenes son mostradas en un segundo. Esta velocidad de repetición es lo suficientemente rápida como para eliminar el parpadeo. Esta velocidad de repetición se adecúa con la frecuencia de la línea de 60 Hz. En países Europeos donde la frecuencia de la línea es de 50 Hz, se usan 25 cuadros por campo.

A partir de lo anterior se puede saber que la frecuencia de barrido vertical cubriendo los dos campos de la pantalla del televisor es de 60 Hz, esta es la frecuencia con la que completa el haz de electrones el ciclo de barrido, tanto los circuitos de deflexión del aparato como los de la cámara lo realizan a la misma frecuencia. El número de líneas barridas en un solo campo es de 262 1/2

líneas horizontales. Ya que el tiempo para un solo campo es de 1/60 de segundo y ya que contiene 262 1/2 líneas el número de líneas por segundo es:

$$262 \frac{1}{2} \times 60 = 15,750$$

o considerandolo como 512 líneas sucesivas a una frecuencia de 30 Hz, tenemos:

$$512 \times 30 = 15,360$$

Es decir que 15,750 líneas son barridas en 1 segundo, por lo tanto la frecuencia de 15,750 Hz es la velocidad a la cual el haz completa su ciclo de movimiento de derecha a izquierda y de nuevo hasta la derecha, el tiempo de barrido de una sola línea es:

$$1/15,750 = 63.5 \text{ uS}$$

Este que está en microsegundos nos indica que las frecuencias que puede contener la imagen pueden llegar a estar en el orden de megahertz, si en la imagen existieran mayor número de líneas el barrido debería de hacerse más rápido de modo que se mantuviera la cantidad de cuadros por segundo necesarios. En el sistema utilizado actualmente solamente se emplean las 525 líneas mencionadas lo que nos da una frecuencia máxima dentro de la imagen de aproximadamente 4 MHz, si se incluyeran más líneas el ancho de banda del canal de televisión aumentaría a más de 6 MHz, sin embargo hoy en día ha comenzado la introducción de la televisión de alta definición que tiene mayor cantidad de líneas y mucha mejor resolución, aunque también emplea un mayor ancho de banda que los canales normales.

El siguiente problema es mantener una correcta sincronización entre el transmisor y el receptor de T.V., si

no fuera así podríamos estar observando que una línea en una determinada posición de la pantalla nos muestra información enviada por la cámara que no corresponde a la posición de esta.

Por esta razón cuando el haz de electrones barre la pantalla este barrido debe de estar correctamente sincronizado con el de la cámara a fin de que corresponda la posición tomada con la mostrada en el televisor, para mantener al transmisor y al receptor sincronizados deben ser enviados una serie de pulsos de sincronización. Los pulsos de sincronización deben de ser transmitidos como parte de la señal enviada al receptor, sin embargo esta se manda en el momento que se hace el pulso de retraso, durante el cuál no se envía información alguna de la imagen. Se envía un pulso de sincronía horizontal al final de cada línea horizontal, y un pulso de sincronía vertical al terminar de barrerse un campo y comenzar el retraso vertical, como resultado de esto, el barrido del transmisor y el receptor se encuentran sincronizados.

Sin la sincronización vertical en los campos, la imagen reproducida en el receptor no se mantendría verticalmente, y se vería la imagen moverse hacia arriba o abajo en forma continua, por otra parte si no existiera buena sincronía horizontal se vería que la imagen se inclina hacia la derecha o izquierda dividiéndose en segmentos diagonales. De esto se tiene que los pulsos de sincronía deben de tener una frecuencia igual que el barrido horizontal, es decir, 15,750 Hz. La cantidad de cuadros mostrados en la pantalla es de 30 por segundo pero la frecuencia de barrido vertical es de 60 Hz y la frecuencia de los pulsos de sincronización es por tanto la misma.

En televisión el término "blanking" (borrado) significa ir hasta color negro en la pantalla. Como parte de la señal

de video, el voltaje de borrado es color negro. Este voltaje corta la corriente del haz de electrones en el tubo de la imagen para quitar todo el brillo de la pantalla. El propósito de los pulsos de borrado es hacer invisible los retrasos que se requieren durante el barrido de la imagen, los pulsos de borrado horizontal tienen una frecuencia de 15,750 Hz y los de borrado vertical 60 Hz.

El periodo de tiempo para borrado horizontal es aproximadamente el 16 % de cada línea Horizontal. El tiempo total de una línea H (Horizontal), es 63.5 uS, incluyendo trazo y retraso. El tiempo de borrado para cada línea será entonces :

$$63.5 \times 0.16 = 10.2 \text{ uS}$$

Este tiempo de borrado H significa que el tiempo de retraso de derecha a izquierda debe ser completado dentro de un tiempo de 10.2 uS, antes de que comience a enviarse la información visual de la siguiente línea.

Por otra parte el tiempo de borrado vertical es aproximadamente el 8 % de cada campo vertical. El tiempo total para V (vertical) es de 1/60 incluyendo el trazo descendente y el retraso ascendente. El tiempo de borrado para cada campo es por lo tanto:

$$1/60 \times 0.08 = 0.0013 \text{ s}$$

El tiempo de borrado debe ser igual al del tiempo de retraso para que no se pierda información del siguiente campo. Los retrasos ocurren durante el tiempo de borrado debido a los pulsos de sincronización. Primero viene el pulso de borrado y después el pulso de sincronización.

## señal de color

El sistema que se utiliza en la televisión a color es análogo al de la televisión en blanco y negro, la diferencia es que se le agrega la información del color a la imagen en cantidades de rojo, verde y azul. Cuando la imagen es barrida en el tubo de la cámara, se producen señales separadas de verde, azul y rojo de la escena. Los filtros ópticos de color separan los colores dentro de la cámara. Sin embargo para transmitir en un canal estándar de 6 MHz las señales roja, azul y verde se combinan en una sola señal en conjunto con la de brillo. Específicamente las dos señales transmitidas son:

1. Señal de brillo: Contiene únicamente variaciones de brillo de la información de la imagen, incluyendo detalles como una señal monocromática. La señal de brillo se utiliza para reproducir la imagen en blanco y negro. Esta señal se le conoce como señal Y.

2. Señal de croma: Contiene la información de color. Esta señal es transmitida como modulación en una subportadora a 3.58 MHz para todas las estaciones. Por tanto 3.58 MHz es la frecuencia de color. Esta generalmente se le conoce como la señal C.

En el receptor de color la señal de brillo se combina con la del color para recobrar los tonos originales de rojo, verde y azul de la señal de video. La pantalla del receptor de televisión tiene fósforos que producen fluorescencia roja, verde y azul. Todos los colores pueden ser producidos con mezclas de estos tres colores.

El los receptores monocromáticos, la señal Y reproduce la imagen en blanco y negro. La señal de 3.58 MHz no se utiliza. En este caso, los 3.58 MHz son filtrados fuera de

la señal de video, para prevenir interferencia con la imagen monocromática. Esto permite que los sistemas monocromáticos y de color sean totalmente compatibles. Cuando un programa es televisado en color, la imagen es reproducida en color por los receptores de color, mientras que los receptores monocromáticos muestran la imagen en blanco y negro. Lo que es más, los programas televisados en blanco y negro son reproducidos en blanco y negro por ambos receptores, color y monocromático. El tubo de imagen de colores puede también reproducir blanco combinando rojo, verde y azul.

### Calidad de la imagen

Suponiendo que la imagen está sincronizada para permanecer quieta, la imagen reproducida deberá tener alto brillo, fuerte contraste, finos detalles y las proporciones correctas de altura y ancho. Esto se aplica tanto a los monitores monocromáticos como a los de color. Además la imagen en color deberá tener una saturación fuerte de color, con los tintes correctos o tonos.

A continuación se definen varios términos utilizados para describir las características de un imagen en la televisión.

### Brillos

Esto es el brillo o intensidad promedio de la imagen. La cantidad de brillantez en la pantalla depende del nivel de alto voltaje en el tubo de imagen y su polarización de corriente directa en la rejilla del circuito del cátodo. En los receptores de televisión, el control de brillo varía la polarización de corriente directa.

La pantalla fluorescente del tubo de imagen se va iluminando punto por punto de modo que el brillo completo de la imagen es mucho menor que la de el brillo de un solo punto. A una imagen más grande, más luz se requiere en el punto para producir el brillo suficiente en la imagen.

### Contraste

Por contraste se entiende la diferencia de intensidad entre las partes blancas y negras de una imagen, que es una forma de distinguirlo del brillo. El rango de contraste debe de ser lo suficientemente grande como para producir una imagen fuerte, con brillos de blanco y negro con intensidades extremas. La cantidad de corriente alterna de video determina que tan intenso es el blanco en comparación con el negro. En los receptores de televisión, el control de contraste varia la amplitud de pico a pico de la señal de corriente alterna de la imagen.

Hay que tener en mente que el negro en la imagen es el mismo nivel de luz que se ve en la pantalla cuando el aparato se encuentra apagado. Con una imagen, este nivel se ve en negro en contraste con el blanco fluorescente. Sin embargo, el negro no puede ser más negro que aquel que refleje el mismo monitor de la luz exterior. Por esta razón la iluminación debe ser lo suficientemente baja para hacer al negro verse oscuro. Por esta razón la imagen se ve con poco contraste cuando es vista en un lugar donde entra la luz del sol, debido a que con la cantidad de luz reflejada de la pantalla no es posible tener un negro lo suficientemente oscuro.

## Detalle

La cantidad de detalle, que también se le conoce como resolución o definición, depende de la cantidad de número de elementos en la imagen (pixels) que puedan ser reproducidos. Con muchos elementos de imagen, el detalle es mucho mejor evidentemente. Por esta razón a más elementos de una imagen se tengan, es mejor la definición de la imagen. Esto hace a la imagen mucho más clara, los detalles pequeños pueden ser apreciados y los objetos mostrados se perfilan claramente. La buena definición en la imagen también da la apariencia de profundidad en esta permitiendo observar los detalles en el fondo.

En el sistema comercial de televisión, la imagen reproducida en la pantalla esta limitada a un máximo de 150,000 elementos de imagen, contando todos los detalles horizontales y verticales. Tal nivel de definición permite el mismo detalle que en un film de 16 mm. Este máximo se aplica a cualquier tamaño de cuadro de imagen. La razón es que la máxima definición en la imagen de televisión depende de las líneas barridas y el ancho de banda del canal de transmisión.

## Nivel de color

La información de color es superpuesta en una imagen monocromática. Que tanto color es añadido, depende de la amplitud de la señal de croma de 3.58 MHz. La cantidad de color, o nivel de color es controlado por el nivel de ganancia para la señal C. En los receptores de televisión este control es llamado, color, croma o saturación. El control de color deberá variar la imagen desde nada de color en esta, pasando por intensidades de colores intermedios, hasta colores intensos y vívidos.



## Tono

Lo que conocemos como color de un objeto es específicamente un tono o un tinte. Por ejemplo el pasto tiene un tono de verde. En la imagen de la televisión a color el tono o el tinte se varía con el control de tinte o tono. Se puede de ajustar así el tono correcto de un color conocido en una escena, tal como el azul del cielo, el pasto verde, o el tono rosado de la piel de las personas. Así todos los demás tonos estarán correctos, mientras que la sincronización de color se mantenga en su fase apropiada.

## Relación de tamaño

Esto es la relación de ancho y altura que debe tener la pantalla del televisor. El tamaño estándar es de 4:3, esta relación hace a la imagen más ancha que alta por un factor de 1.33. Aproximadamente la relación de tamaño es utilizada en los cuadros de película. Haciendo el cuadro de la pantalla más ancho que alto permite apreciar mejor el movimiento que generalmente es en dirección horizontal.

En realidad el tamaño del cuadro de la pantalla puede ser cualquiera, desde unas cuantas pulgadas cuadradas hasta una pantalla mucho mayor, mientras se mantenga la proporción de 4:3. Si el tubo de imagen no reproduce la imagen con esta proporción de ancho y altura, la gente en la escena puede verse o demasiado delgada o demasiado ancha.

## Distancia de observación

Cerca a la pantalla podemos ver todos los detalles. Sin embargo demasiado cerca, las líneas de barrido individual

son visibles. La mejor distancia para observar la pantalla es un importante, una buena distancia que se recomienda es de 4 a 8 veces la altura de la pantalla.

### Definición de términos usados en transmisión

#### Transmisión de línea de vista

La propagación de ondas de radio en las bandas de VHF y UHF son producidas principalmente por los efectos de las ondas terrestres, más que por las ondas celestes de la ionosfera. La onda terrestre es la parte de la señal que es afectada por la presencia de la tierra, y puede ser considerada como una onda que se propaga a lo largo de la superficie de la tierra desde la antena transmisora. Ya que la transmisión de canales de televisión son bandas VHF y UHF, la transmisión de la portadora de imagen y sonido es determinada principalmente por la propagación de las ondas terrestres.

#### Distancia horizontal

La distancia de transmisión que puede ser obtenida para una señal de onda terrestre está limitada por la distancia a lo largo de la superficie de la tierra hasta el horizonte como es visto desde la antena transmisora. A esto se le llama transmisión en línea de vista, la distancia de línea de vista hasta el horizonte es la distancia de horizonte. La distancia de horizonte para la onda de radio transmitida es, sin embargo, aproximadamente de un 15 % más larga que la

distancia al horizonte óptico debido a que en el camino que siguen las ondas terrestres estas se curvan ligeramente en la misma dirección de la curvatura de la tierra. Esta flexión de las ondas de radio debida a la atmósfera terrestre se denomina refracción. La figura 1.2 ilustra la distancia de horizonte de radio de antenas de hasta 10,000 ft de altura.

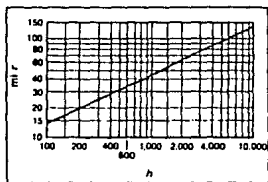


Figura 1.2

#### Relación altura a distancia de horizonte

Considerando la línea de vista del transmisor al receptor, la distancia al horizonte de cada antena debe ser añadida. Como un ejemplo una antena transmisora a una altura de 1,100 ft tiene una distancia al horizonte de 55 mi. Para una antena receptora de 150 ft de altura su distancia es 17 mi. Por lo tanto la distancia de línea de vista entre estas dos antenas es  $55 + 17 = 72$  mi.

#### Transmisores de televisión

La potencia pico de una señal típica de imagen o sonido en VHF va de 1 a 50 kW. Sin embargo la potencia radiada efectiva puede ser más grande por que incluye la ganancia de la antena transmisora. La mínima potencia radiada efectiva especificada por la FCC para una población de 1 millón o más

es de 50 kW, con una antena transmisora de 500 ft de altura. Para poblaciones con menos de 50,000 la mínima potencia radiada efectiva es de 1 kW con una antena de 300 ft.

La potencia radiada efectiva de una señal portadora de sonido no es menos de 50 % o más de 150 % de la potencia radiada para la portadora de la imagen en transmisión monocromática. En transmisión a color, la potencia de sonido está limitada a un 50 o 70 % de la potencia de la imagen para una mínima interferencia entre el sonido de la imagen.

La tolerancia de frecuencia para la portadora de imagen o sonido es de  $\pm 0.002$  %. Sin embargo las frecuencias exactas de portadoras para diferentes estaciones en el mismo canal están desplazadas por +10 kHz o -10 kHz para reducir la interferencia entre estaciones que usen el mismo canal.

### Reflexiones

Conforme la onda terrestre viaja a lo largo de la superficie de la tierra, la señal de radio va encontrando edificios, torres, puentes, lomas, y otros obstáculos. Cuando el objeto encontrado por las ondas es un buen conductor y su tamaño es una parte bastante apreciable con respecto a la longitud de onda, el obstáculo reflejara la onda de radio, en forma similar a la reflexión de luz en un espejo o alguna otra superficie reflejante. Lo que sucede es que el conductor intercepta las ondas de radio, se induce una corriente que fluye en el como una antena, y el conductor re-radia la señal. La reflexión de las ondas de radio ocurre a cualquier frecuencia pero mucho más fácilmente a altas frecuencias debido a sus longitudes de onda mucho menores.

Para un canal de televisión las frecuencias entre 54 y 890 MHz las longitudes de onda se encuentran entre 17 y 1 ft, dependiendo de la frecuencia. Los objetos de tamaño comparable a la longitud de onda o más grandes pueden

reflejar las ondas portadoras de la señal de televisión. Cuando la imagen de la señal reflejada llega a la antena receptora junto con la onda directa o junto con otras reflexiones, las señales producen múltiples imágenes llamadas fantasmas en la imagen reproducida.

### Zonas sombreadas

Cuando un objeto reflejante se encuentra en el camino de la onda terrestre, el área tras el obstáculo se encuentra en una zona sombreada, por tanto la señal tienen menor potencia. El efecto de sombra es más definitivo a altas frecuencias que a longitudes más cortas. La recepción de la señal de televisión en zonas sombreadas tras un obstáculo como un edificio alto se hace utilizando las ondas reflejadas de otros edificios a los alrededores.

En algunas zonas con obstáculos como montañas o demasiado lejos del transmisor para entregar una transmisión de televisión lo suficientemente satisfactoria se utiliza una estación de refuerzo en un lugar apropiado para la recepción y retransmisión de el programa a los receptores en un área local. Algunas estaciones retransmisoras convierten la señal de VHF a UHF en un canal no utilizado para minimizar problemas de interferencia.

# CAPITULO 2

## DISEÑO DEL GENERADOR DE PORTADORA

## Antecedentes

Siempre que se desea trabajar en transmisión por radio de cualquier tipo de información ya sea audio, video, pulsos, etc. debemos fijar una frecuencia a la cual será transmitida esta información a fin de que no existan problemas de interferencia con otras estaciones que utilicen la misma frecuencia y además con el fin de que aquella persona que va a recibir el mensaje sepa a que frecuencia debe de sintonizarse para que pueda recibir nuestra señal.

En este capítulo se discuten los canales de televisión existentes y en que frecuencias operan y se propone una frecuencia apropiada para la operación de nuestro transmisor. Posteriormente se discute el diseño de un generador de portadora (oscilador) que nos permita operar a la frecuencia elegida con sus respectivas consideraciones y cálculos.

### El canal de transmisión

El grupo de frecuencias asignadas para transmitir se le denomina canal. Cada estación de televisión tiene 6 MHz colocado dentro de una de las siguientes bandas de transmisión:

54 a 88 MHz para canales de banda baja de VHF del 2 al 6  
174 a 216 MHz para canales de banda alta de VHF del 7 al 13  
470 a 890 MHz para canales de UHF del 14 al 83

En todas estas bandas cada canal de televisión es de 6 MHz de ancho. Por ejemplo el canal 3 de televisión va desde 60 MHz a 66 MHz.

## Canales asignados

Ya que la frecuencia de la portadora de imagen debe ser mucho mayor que la frecuencia de modulación de video de 4 MHz, los canales de televisión son asignados en la banda de VHF MHz 30 a 300 MHz y la banda de UHF entre la banda de 300 a 3,000 MHz. Los canales de televisión pueden considerarse dentro de tres grupos: los cinco canales de banda baja de VHF (2-6), siete canales de banda alta (7-13) y 70 canales de UHF (14-83). Las frecuencias entre estas bandas de transmisión de televisión son usadas por otros servicios de radio.

El número de canales disponibles para transmisión de televisión en una localidad depende de su población, variando desde un canal en una ciudad pequeña hasta 12 estaciones para ciudades grandes, incluyendo canales de VHF y UHF. La mayoría de las ciudades tienen al menos un canal reservado para televisión educativa no comercial.

Un canal puede ser utilizado por muchas estaciones, pero deben estar lo suficientemente distantes para minimizar la interferencia entre ellos. Deben de estar separadas por 272 a 352 kilómetros para canales de VHF o 248 a 328 kilómetros para canales de UHF. Aquellas estaciones que usan canales adyacentes en frecuencia, como los canales 3 y 4, se llaman estaciones adyacentes. Para minimizar la interferencia entre estas, las estaciones de canales adyacentes deben tener entre ellas al menos 96 kilómetros para canales de VHF u 88 kilómetros para estaciones de UHF. Sin embargo, canales consecutivos en número pero no adyacentes en frecuencia, tal como los canales 4 y 5, 6 y 7, o canales 13 y 14 pueden ser asignados en una misma área.



## Frecuencias portadoras

En la figura 2-1 se puede apreciar como las diferentes señales portadoras encajan dentro de el canal de 6 MHz.

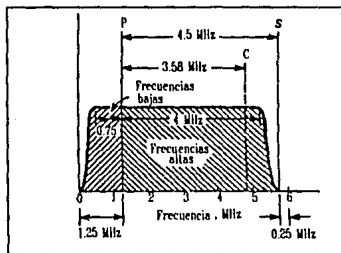


Figura 2.1

### Señales de un canal de televisión

La frecuencia portadora de video siempre se le identifica como P, y está a 1.25 MHz sobre la frecuencia inferior del canal. En el extremo opuesto, el sonido de la señal portadora de sonido está marcada como S y se encuentra 0.25 MHz debajo del extremo de frecuencia más alta del canal. Este espacio entre frecuencias portadoras se aplica en todos los canales de TV tanto en banda VHF como en banda UHF, sin importar sea de color o monocromático.

Para aplicar el espaciamiento estándar a portadoras dentro de un canal real, por ejemplo consideremos al canal 3 como ejemplo. Este canal va de 60 a 66 MHz, que es la banda de 6 MHz. La frecuencia portadora de imagen es de  $60 + 1.25 = 61.25$  MHz. La frecuencia portadora de sonido es de  $66 - 0.25 = 65.75$  MHz.

La portadora de sonido puede ser también considerada como 4.5 MHz arriba de la portadora de imagen ya que estas dos frecuencias están separadas exactamente 4.5 MHz. La señal de 4.5 MHz es llamada señal de sonido interportadora (intercarrier sound signal). La señal de sonido se hace que este a esta frecuencia para producir la diferencia de frecuencia siempre igual a exactamente 4.5 MHz. Esto permite que el receptor sintonice mucho más fácilmente el sonido asociado con la imagen, especialmente para canales de UHF. Debe notarse que el sonido a 4.5 MHz es todavía una señal de FM con su modulación original de audio.

#### Generador de la señal portadora

Para producir la señal correspondiente a la portadora de la señal de audio y video es necesario construir un circuito oscilador con las características de frecuencia y potencia requeridas para un funcionamiento adecuado. El problema principal de el diseño de un oscilador es que el transistor oscile a la frecuencia deseada y que produzca el voltaje y potencia deseados. Un punto importante es la clase de operación del transistor. Si el transistor se encuentra polarizado en clase A (polarización directa de emisor-base todo el tiempo) la onda de salida se encontrará libre de distorsión, sin embargo el circuito no sera eficiente.

Los osciladores con polarización de clase A tienen una eficiencia aproximada del 30%. Para fines de cálculo se puede considerar que la potencia de entrada en un oscilador es el producto del voltaje de colector por la corriente. Los cálculos de disipación de calor se hacen tomando en cuenta como base la potencia de entrada.

Esta es una de las razones por qué los osciladores de la clase A generalmente no se usan para radio frecuencia

(RF) y la aplicación de este tipo de polarización solo se aplica cuando lo más importante es obtener una buena forma de onda. Los osciladores de la clase C (en aquellos que el emisor base tienen, excepto en señal de retroalimentación) es mucho más eficiente (por lo general un 70%).

En radiofrecuencias, la forma de la onda no es crítica, de manera que el uso de polarización en clase C es común en los circuitos de RF.

Todos los osciladores de radiofrecuencia requieren circuitos resonantes para su funcionamiento. Por esta razón todas las consideraciones para el proyecto de un oscilador se basa en los cálculos de los circuitos tanque de tipo LC (inductancia - capacitancia).

En el caso de un circuito para generar una portadora de una señal de televisión donde una variación de frecuencia por mínima que sea afecta a los canales vecinos es necesario construir un oscilador controlado por cristal para mantener la frecuencia de operación estable.

Aunque existen varios tipos de osciladores es necesario realizar una comparación entre estos para seleccionar el tipo más apropiado para nuestro proyecto. Existen osciladores Colpitts, Hartley, Armstrong, osciladores de tipo RC y algunos otros que son variaciones de los mencionados.

Como ya se había mencionado todos los osciladores de radiofrecuencia utilizan circuitos tipo tanque L-C para producir la frecuencia de oscilación. Por esta razón los osciladores de tipo RC (resistencia-capacitancia) se descartan debido a que presentan problemas a altas frecuencias. Los osciladores tipo L-C mantienen las oscilaciones retroalimentando una pequeña cantidad de energía a un amplificador tomado del mismo circuito resonante.

En el caso del oscilador Colpitts esta retroalimentación es tomada de una rama donde se encuentran dos capacitores, por lo que solo es necesario dar los

valores requeridos a los capacitores y tomar la retroalimentación entre ellos.

El oscilador Hartley es similar por que usa un circuito L-C para producir la frecuencia deseada, sin embargo en el caso de este oscilador la retroalimentación se toma de la bobina que forma el circuito tanque, lo que implica obtener una derivación de la bobina y calcular las inductancias respectivas antes y después de la derivación además de factores como la inductancia mutua lo que definitivamente lo hace más impráctico por la cantidad de cálculos que involucra.

Nuestro último oscilador a considerar es el Armstrong, que funciona igualmente con un circuito tanque y cuya retroalimentación se toma a través de una bobina de acoplamiento en forma similar a la de un transformador, lo que implica calcular este pequeño transformador para que nos dé el nivel de retroalimentación apropiado y permita que oscile nuestro circuito.

Por lo tanto si consideramos que el diseño de bobinas es ya algo complicado para un circuito resonante, el realizar cálculos para además obtener niveles de retroalimentación correctos en nuestro circuito complica el diseño, por lo tanto la opción más práctica es elegir el oscilador Colpitts que de hecho es uno de los más populares precisamente por su relativa 'simplicidad' de diseño a comparación con otros.

El circuito básico utilizado es una combinación del circuito Colpitts con cristal con un circuito tanque sintonizado a la frecuencia de este, por lo general la bobina que forma parte del circuito resonante se le coloca un núcleo de metal que se puede mover dentro de la bobina para un ajuste exacto de la frecuencia.

Con el fin de desarrollar el circuito es necesario fijar los parámetros para el funcionamiento adecuado del circuito.

Para este caso en particular se requiere que la señal de televisión opere en un canal no utilizado con el fin de no interferir con canales comerciales de T.V., por tanto se utilizará el canal 3 de la banda baja comercial de televisión.

Sin embargo la frecuencia de la portadora no se encuentra al principio del canal de T.V. debido a que como se explicaba en el capítulo anterior esto requeriría que la banda lateral inferior fuera cortada totalmente abajo de la frecuencia de 60 MHz, por esta razón nuestro oscilador deberá de generar la frecuencia de oscilación 1.25 MHz arriba de la frecuencia más baja del canal, como se observó en la figura 2.1

Por esta razón la frecuencia de la señal portadora de el canal de televisión se encuentra en 61.25 MHz, por lo que la frecuencia de el cristal deberá ser esta misma.

#### Puntos a considerar para el cálculo del proyecto

A continuación se muestra la configuración de un oscilador controlado con cristal en la figura 2.2

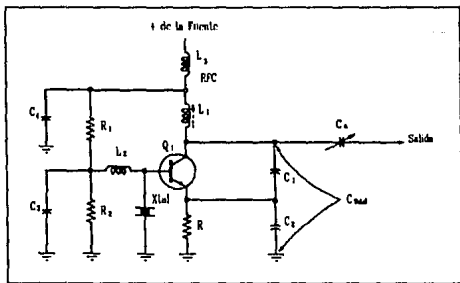


Figura 2.2  
Oscilador Controlado por cristal

a) Potencia de salida: La potencia disponible será aproximadamente del 70% de la potencia de entrada, cuando el circuito resonante se encuentra a la frecuencia del cristal. Para fines de proyecto el producto de voltaje del colector por su corriente, se considera como la potencia de entrada.

La salida para la etapa siguiente se puede tomar de dos maneras, ya sea por medio de una bobina captadora o de un capacitor de acoplamiento. Por lo general es conveniente que el capacitor de acoplamiento denominado en la figura anterior C5 sea variable, ya que esto permite que se pueda acoplar el oscilador en su salida con una carga variable.

b) Frecuencia: La frecuencia del circuito la determina la frecuencia resonante de la bobina L1, C1 y C2 y la frecuencia del cristal. C1 y C2 se encuentran en serie por lo tanto la capacitancia total debe determinarse con la ecuación convencional de capacitancias en serie. Un factor importante que debe considerarse es la capacitancia de salida del transistor que debe de sumarse a la capacitancia C1. A bajas frecuencias esta puede ignorarse debido a que su valor es bajo en relación a la capacitancia C1. Con frecuencias elevadas el valor de C1 disminuye de tal manera que la capacitancia de salida del transistor sea importante. Si no se conoce exactamente la capacitancia de salida del transistor se puede hacer variable C1 con el fin de hacer los ajustes necesarios, aunque es más práctico hacer a L1 variable ya que la amplitud de sintonización es muy pequeña. Para este diseño el capacitor C2 es de aproximadamente 3 veces el valor de C1 (o los valores combinados de C1 y la capacitancia de salida del transistor cuando esto resulte aplicable). Así el voltaje de la señal ( que retroalimenta al emisor) es de aproximadamente 0.25 del voltaje de la señal de salida.

c) Circuito resonante: Se puede utilizar cualquier combinación de L y C para producir la frecuencia deseada. Por ejemplo se puede elegir una inductancia muy alta o pequeña, dando a los capacitores los valores correspondientes según el caso.

Lo más apropiado es establecer limitaciones prácticas como por ejemplo utilizando las partes que se tengan disponibles. Otro punto de partida para obtener los valores del circuito resonante, es que la reactancia inductiva de  $L_1$  a la frecuencia inferior de operación sea de aproximadamente el 10% de el cuadrado de el voltaje de salida entre dos veces la potencia de salida, donde el voltaje de salida es el doble de la potencia de salida entre la corriente de la señal del colector, y donde la corriente de la señal del colector es 1.7 veces la corriente continua en el punto de operación para calcular la entrada.

d) Circuito de polarización: Los componentes del circuito de polarización  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  deberán de elegirse de tal manera que la polarización inversa sea aproximadamente la mitad de la señal de retroalimentación disponible. Si por ejemplo la señal de retroalimentación disponible en  $C_2$  es de 6 volts, el emisor-base debe tener polarización inversa de aproximadamente 3 volts. Además el voltaje de polarización desarrollado en la resistencia de el emisor debe ser de cuando menos el doble del voltaje de retroalimentación disponible de la señal.

e) Cristal: El cristal debe de resonar a la frecuencia de operación deseada (o a un submúltiplo de la frecuencia deseada en caso de funcionar como multiplicador). El cristal debe ser también capaz de soportar los voltajes combinados de corriente continua y de la señal en la base del transistor.

f) Capacitores de paso y de acoplamiento: Los capacitores de paso deben de ser de tal valor que su reactancia sea de 5 ohms o menor a la frecuencia de operación del cristal. Puede tolerarse una reactancia de hasta 200 ohms.

El valor de C5 debe ser aproximadamente de igual a la combinación de capacitancias en paralelo del transistor y C1. Se le puede dar un valor medio de amplitud de variación a C5, si este es variable.

g) Reactores de radiofrecuencia: Los valores de los reactores de radiofrecuencia L2 y L3 deberán ser tales que su reactancia este comprendida entre 1,000 y 3,000 ohms a la frecuencia de operación.

### Cálculos del circuito

Basandose en los puntos anteriores comenzamos a fijar los parámetros de cálculo del circuito.

Pero antes de comenzar a fijar los parámetros de diseño y realizar los cálculos apropiados creo que es importante hacer notar de que muchos de los parámetros fijados para este diseño se realizan en forma arbitraria, como son la fuente de alimentación, la potencia a la que se pretende opere el transmisor y algunas otras características del diseño, esto debido a que no se está tratando de cumplir con especificaciones demasiado estrictas para el mismo. Sin embargo si es el caso en el que se requieran parámetros determinados como el caso de una frecuencia diferente a la planteada en este diseño u otra potencia mayor o menor, la metodología se encuentra explicada de tal modo que nos permitirá cambiar el parámetro requerido y recalcular el circuito para que este se adapte a los requerimientos que necesitemos, de cualquier forma, siempre que es posible, se trata de justificar las decisiones tomadas para fijar determinados valores dentro del circuito.



El circuito que se realizará tendrá una potencia de salida de 0.3 Watts; aunque no se contempla en este trabajo, la potencia tiene una relación bastante estrecha con la distancia a la que se puede recibir una señal y esto se relaciona principalmente con el patrón de radiación de la antena utilizada, la atenuación existente en el medio, así como las características de recepción de la antena de nuestro receptor, por esta razón ya que este diseño se da en forma muy generalizada y no para un tipo especial de receptor o antena o sin considerar la atenuación del medio, puede ser apropiado para aquella persona que pretenda utilizarlo en alguna situación muy especial modificar esta potencia a fin de cubrir requerimientos particulares, ya sea aumentandola para lograr mayor alcance o disminuyendola para ahorrar energía utilizando una fuente de menor voltaje. El propósito de fijar un valor es simplemente para ejemplificar el procedimiento que debe seguirse una vez que se conoce la potencia a la que se desea funcione el transmisor. Lo mismo sucede con la frecuencia de 61.25 MHz fijada en este valor por motivos explicados anteriormente que también puede cambiarse a conveniencia de otra persona unicamente sustituyendo este nuevo dato donde se requiere el valor de frecuencia. Para este diseño consideraremos que se cuenta con una fuente de alimentación de 15 Volts. La capacitancia de salida del transistor es de 2 pF.

Con una salida de 0.3 Watts la potencia de entrada deberá de ser de:

$$\frac{0.3}{0.7} = 0.428 \text{ Watts}$$

Por tanto el transistor deberá ser capaz de soportar como mínimo esta potencia. Con el colector a 15 Volts (ignorando la caída a través de L3 y L1) y considerando la

potencia de entrada calculada anteriormente la corriente de operación del colector:

$$\frac{0.428}{15} = 28.5\text{mA}$$

Con una corriente de operación en el punto de operación de 28.5 mA, la corriente de la señal del colector deberá de ser:

$$1.7 \times 28.5 = 48.5 \text{ mA}$$

Con una corriente de señal en el colector de 48.5 mA y una potencia de salida de 300 mW, el voltaje de salida de la señal será de:

$$\frac{2 \times 0.3}{0.0485} = 4.12$$

Con un voltaje de salida de 12.35 volts y una potencia de salida de 300 mW, la reactancia inductiva de L1 (a la frecuencia de operación) deberá de ser :

$$\frac{12.35^2}{2 \times 0.3} = 254.2$$

$$XL1 = 254.2 \times 0.1 = 25.42$$

Con esta reactancia inductiva a la frecuencia de operación de 61.25 MHz, la inductancia total de L1 debe de ser:

$$L1 = \frac{25.42}{2\pi \times 61.25\text{MHz}} = 0.066 \mu\text{H}$$

O aproximadamente 0.07 $\mu$ H, con este valor de inductancia y la frecuencia de operación a 61.25 MHz, la capacitancia total debe de ser:

$$C_{TOTAL} = \frac{1}{61.25 \text{MHz}^2 \times 4\mu^2 \times 0.07 \mu\text{H}} = 96.45 \text{ pF}$$

El voltaje de retroalimentación de la señal C2 debe de ser del 25% del voltaje total de la señal, es decir:

$$0.25 \times 12.35 = 3.08 \text{ Volts}$$

Redondeando este valor a 3 volts aproximadamente y con un voltaje de salida de 12.35 volts, el valor de C1 debe de ser:

$$C1 = \frac{96.45 \text{ pF} \times (3.00 + 12.35)}{12.35} = 119.87 \text{ pF}$$

Como la capacitancia del transistor es de 2 pF, el valor de C1 debe de ser :

$$C1 = 119.87 \text{ pF} - 2\text{pF} = 117.87$$

El valor de C2 se calcula como:

$$C2 = 119.87 \times 3 = 359.63 \text{ pF}$$

Teniendo 3 volts como voltaje de retroalimentación, el emisor base debe tener una polarización inversa de aproximadamente 1.54 Volts (la mitad de este voltaje en el punto de operación). De la misma manera, la caída en el resistor del emisor R3 debe ser cuando menos de 6 volts. Suponiendo que todos los 28.5 mA pasen por R3, el valor de este resistor debe de ser :

$$R3 = \frac{6 \text{ Volts}}{28.5 \text{mA}} = 210 \text{ ohms}$$

El resistor de 220 es el valor comercial más aproximado, que produciría una caída de 6.27 Volts. Con 6.27 volts en el emisor la base se encontraría aproximadamente a 4.77 Volts para producir una polarización inversa de 1.54 volts aproximadamente (el transistor n-p-n).

Con un valor de 220 ohms para R3, eligiendo R2 como el triple de R3, tenemos entonces:

$$R2 = 220 \times 3 = 660$$

Eligiendo el valor estándar de 680 ohms, y con una caída de 5 volts (aproximando 4.77 a 5 volts) en esta resistencia, la corriente que pasa a través de este es 7.35 mA. Esta corriente se suma a la de la base que se fija arbitrariamente como .7 mA (la decima parte) y se tiene:

$$7.35 \text{ mA} + 0.7 \text{ mA} = 8.05 \text{ mA}$$

Con la caída que se requiere de 15 volts hasta un voltaje de 5 volts, y conociendo la corriente total que circula por esta rama tenemos:

$$R1 = \frac{10 \text{ Volts}}{8.05 \text{ mA}} = 1242 \text{ ohms}$$

Aproximandolo al valor comercial de 1,200 ohms. Si necesitamos una reactancia de 5 ohms, a la frecuencia de operación para C3 y C4 entonces haciendo los siguientes cálculos:

$$C3 = C4 = \frac{1}{2\pi \times 5 \times 61.25 \text{ MHz}} = 519.6$$

El valor del capacitor de acoplamiento se calcula sumando la capacitancia de salida del transistor y la capacitancia C1 es decir:

$$\begin{aligned}C5 &= 117.87 + 2 \\ &= 119.87\end{aligned}$$

Los valores de los inductores L2 y L3 deben ser tales que a la frecuencia de operación presenten una reactancia de aproximadamente 2,000 ohms, utilizando la ecuación:

$$L2 = L3 = \frac{2000}{2\pi \times 61.25 \text{ MHz}} = 5.19\mu\text{H}$$

La mejor manera de comprobar que el reactor de radiofrecuencia tiene un valor correcto es comprobando que no exista alta frecuencia del lado de la fuente de alimentación. También se debe de comprobar que la caída de voltaje de corriente directa sea menor que un volt.

El siguiente paso consiste en buscar los valores comerciales más aproximados de los componentes calculados y los valores comerciales sugeridos.

Componente	Valor	Valor	Unidades
	calculado	sugerido	
C1	117.87	120	pF
C2	359.63	390	pF
C3	519.6	560	pF
C4	519.6	560	pF
C5	119.87	120	pF
R1	1242	1200	pF
R2	660	680	ohms
R3	210	220	ohms
L1	0.066	0.07	$\mu$ H
L2	5.19	5.19	$\mu$ H
L3	5.19	5.19	$\mu$ H

La elección de valores comerciales produce ciertas variaciones en el punto de operación del circuito que pueden ser compensadas haciendo variables algunos componentes y ajustandolos para que el circuito opere en forma apropiada, en el caso de los componentes del oscilador a la bobina L1 se le coloca un núcleo que se puede mover dentro de esta para que se pueda variar el valor de la inductancia y de este modo el circuito pueda oscilar a la frecuencia deseada a pesar de que los capacitores no tengan el valor exacto.

Todos los componentes pueden conseguirse en el mercado en tanto sean valores comerciales, sin embargo para el caso de las bobinas, existe tanto el problema de conseguir las bobinas y conocer sus características así como obtener un valor específico. Aunque las características de una bobina se pueden determinar por varios procedimientos, como un puente de inductancias, un medidor de inductancias etc., si se requiere de un valor específico como en el caso de nuestro circuito lo más conveniente es diseñar la bobina.

La ecuación para calcular la inductancia de la bobina mostrada en la figura 3 es:

$$L = \mu_0 n^2 l A$$

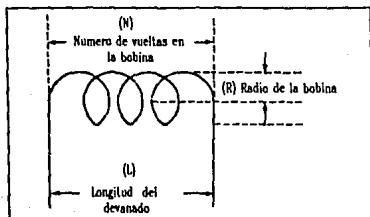
donde:

$\mu_0$  = constante de permitividad magnética del aire  
=  $4\pi \times 10^{-7}$

$n$  = Número de vueltas por unidad de longitud

$l$  = Longitud de la bobina

$A$  = Area transversal de la bobina



**Figura 2.3**  
**Dimensiones de una bobina**

Como se puede apreciar en la ecuación anterior, la inductancia de una bobina depende principalmente de sus características geométricas. Por tanto es necesario fijar las dimensiones de la bobina, la inductancia y despejar el número de vueltas requeridas para tal inductancia.

Para la bobina  $L_1=0.07 \mu\text{H}$ , fijando la longitud en 1 cm y el radio de esta en 0.5 cm tenemos:

$$n = \frac{0.07 \mu\text{H}}{4\pi \times 10^{-7} \sqrt{0.02 \times 0.005^2} \times \pi}$$

$$n = 266.31 \text{ vueltas / m}$$

Para obtener el número de vueltas en la bobina, n se multiplica por la longitud de la bobina misma:

$$\text{Vueltas} = (266.31 \times 0.01) = 2.66 \text{ vueltas}$$

La bobina L2 y L3 se calculan del mismo modo, en un núcleo de 2 cm. de longitud con 0.5 cm de radio, haciendo las operaciones correspondientes:

$$n = \frac{5.19 \mu\text{H}}{4\pi \times 10^{-7} \sqrt{0.02 \times 0.005^2} \times \pi}$$

$$n = 1621.508 \text{ vueltas / m}$$

$$\text{vueltas} = (1621.508 \times 0.02) = 32.43 \text{ vueltas}$$

Los ajustes finales se realizan moviendo el núcleo de la bobina L1 para obtener oscilaciones estables en el circuito, el acoplamiento a la siguiente etapa se ajusta con el capacitor variable C5, el cuál permite que se logre una máxima transferencia de potencia al circuito modulador.



# CAPITULO 3

## DISEÑO DEL MODULADOR DE AUDIO Y VIDEO

## Antecedentes

En este capítulo se trata uno de los aspectos más importantes de el diseño, la etapa de modulación, y el cálculo de las etapas de entrada para audio y video (amplificadores) con el fin de poder conectar nuestro diseño a salida de una cámara de video y salida de una fuente de audio como un amplificador o micrófono. Al principio del capítulo, como se ha hecho en los anteriores, se explican los puntos teóricos más importantes de modulación usada en televisión y posteriormente se involucran la metodología y cálculos que deberán de realizarse. Este capítulo es mucho más largo que los anteriores debido a que en el se realizarán otras etapas que se encuentran relacionadas estrechamente con la etapa de modulación, como son las etapas de entrada de audio y video que se mencionan anteriormente, la etapa moduladora de audio en FM ( mediante un VCO ), el circuito de modulación, y el cálculo de una etapa de acoplamiento a la salida de este último con el fin de conectarlo con una línea de transmisión apropiada.

## Modulación de video

Dentro de el ancho de banda del canal de 6 MHz se encuentra la portadora de la señal de imagen. La portadora es modulada en amplitud por la señal de video con un amplio rango de frecuencias de hasta aproximadamente 4 MHz, correspondientes a los detalles más pequeños en la pantalla.

Para transmisiones en color, la señal de croma de 3.58 MHz contiene la información de color. Esta señal se combina con la de brillo para formar una sola señal de video que module la portadora de imagen para transmitir al receptor.

## El sonido de FM

También incluido dentro de el canal de 6 MHz se encuentra la portadora de la señal de sonido de la imagen, a esta se le conoce como sonido asociado. La portadora de sonido es una señal de FM modulada por las frecuencias de audio en un rango de 50 hasta 15,000 Hz. Este rango de frecuencias de audio es el mismo para todas las estaciones comerciales de FM en la banda de 88 a 108 MHz. En la señal de sonido de la TV la máxima variación de frecuencia de la portadora es de  $\pm 25$  MHz para una modulación del 100 % . Esta variación es menor que la de  $\pm 75$  MHz para modulación del 100 % en la banda comercial de FM. Sin embargo el sonido en la televisión, tiene todas las ventajas del FM comparado con el AM, incluyendo menos ruido e interferencia.

Debe notarse que el AM es mejor para la señal de imagen por que los "fantasmas" que aparecen en la pantalla de el televisor resultado de recepción multiple de varias direcciones es menos obvia. Con AM los "fantasmas" aparecen fijos pero con FM estos se moverían en la pantalla.

El método para transmitir la señal de imagen en amplitud modulada (AM) es similar al método de transmisión de las estaciones de AM. En ambos casos la amplitud de la portadora de radio frecuencia se hace variar con el voltaje de modulación. La modulación es necesaria para que cada estación tenga su propia portadora de radiofrecuencia (rf). De este modo la sección de recepción de radio frecuencia se puede sintonizar a diferentes estaciones. En transmisión de televisión, la señal compuesta de video modula una onda portadora de mayor frecuencia para producir la señal correspondiente de imagen figura 3.1

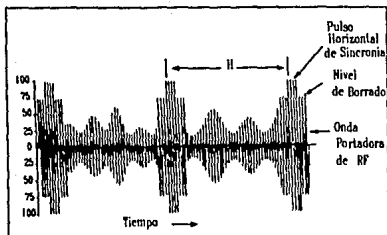


Figura 3.1  
Portadora modulada

### Transmisión negativa

La portadora de imagen transmitida mostrada en la figura 3.1 se encuentra con polaridad negativa de la modulación estándar fijada por la FCC (Comité federal de comunicaciones). Transmisión negativa significa que los cambios hacia el blanco se dan por una disminución de amplitud en la señal de AM.

En la figura 3.1 las puntas de los pulsos de sincronía se dan en los picos de la amplitud de la señal de rf de la portadora. Esta amplitud pico se encuentra a un nivel del 100 %. El nivel de borrado en la señal compuesta de video se transmite a un nivel constante de 75 % de la amplitud pico de la señal portadora.

Amplitudes más pequeñas en la portadora de rf modulada corresponde a la información de la imagen que varía entre negro y un máximo de blanco. Las partes más blancas de la imagen producen una amplitud de portadora del 10 al 15 % del valor pico. Todas estas amplitudes relativas son las mismas tanto para la parte más baja de la envolvente debido a que la

portadora modulada de rf tiene envolvente simétrica en las variaciones de voltaje.

Una ventaja de la transmisión negativa es que los pulsos de ruido transmitidos en la señal de rf incrementan la amplitud de portadora hacia el negro, lo cual hace al ruido mucho menos obvio en la imagen. También el transmisor utiliza menor potencia con amplitudes de portadora más bajas para imágenes que son blancas en la mayoría de los casos.

### Transmisión de banda lateral residual

La señal de imagen de AM no es transmitida como una señal normal de doble banda lateral. En lugar de esto, algunas de las frecuencias de banda lateral son filtradas antes de la transmisión de modo que se reduzca el ancho de banda del canal necesario para la señal modulada de imagen. Para comprender mejor como se realiza esta transmisión de banda lateral residual, es necesario ver como la modulación produce frecuencias de banda lateral.

### Modulación en amplitud

En la figura 3.2 una portadora de rf es modulada en amplitud por una onda sinusoidal de audio. Para mayor simplicidad la frecuencia de la portadora de audio se considerará de 100 kHz y el audio como de 5000 Hz. Tomemos el caso de un modulador del tipo de arreglo de placa. El voltaje en la terminal B+ para el amplificador de potencia de rf es de 600 V, y el valor de pico de la señal senoide de audio es también de 600 V, lo que permite un porcentaje de modulación del 100 %. Hay que notar que el voltaje de audio a través de el secundario del transformador está en serie con el la fuente B+ y la placa del circuito. Por lo tanto la

modulación de audio varía el voltaje de placa del amplificador de rf al mismo grado de variación del audio.

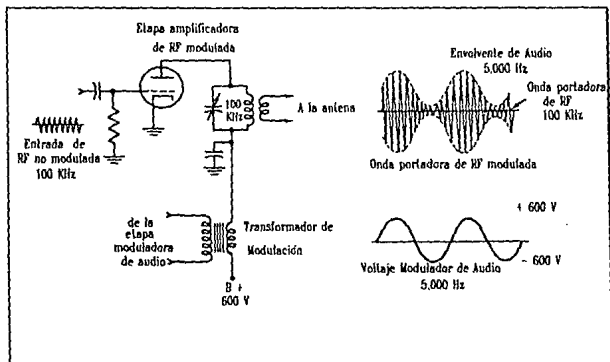


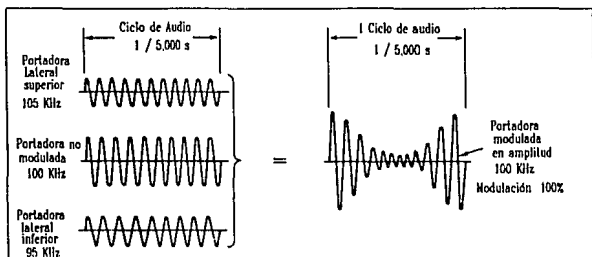
Figura 3.2  
Circuito modulador de placa común

La variación de las amplitudes de la portadora de rf provee de una especie de envolvente que corresponde al voltaje de modulación de audio. Ambos picos tanto positivos como negativos son simétricos arriba y bajo el eje del centro y tienen exactamente la misma variación en amplitud. La envolvente es simétrica por que los cambios en la amplitud de negativo a positivo de los medios ciclos de la señal de radio frecuencia son iguales, mientras que la amplitud de la portadora varía según las variaciones en el audio que es mucho más lento que las variaciones de radiofrecuencia. Cualquier punto en la onda de audio incluye muchos ciclos de la onda portadora. El resultado de la modulación en este caso, es producir una portadora de radio frecuencia de 100 KHz con una amplitud que varíe a una razón de 5,000 Hz. Ya sea la parte superior o inferior de la

envolvente de la portadora de amplitud modulada corresponde a una señal moduladora de 5,000 Hz.

### Frecuencias de portadora lateral

Refiriendose a la figura 3.3 la onda de AM es igual a la suma de una portadora de frecuencia no modulada de rf y dos frecuencias laterales. Se debe notar que la portadora y sus frecuencias laterales equivalentes tienen un nivel constante. La amplitud de las portadoras laterales es igual a la mitad de la portadora no modulada, esto para un porcentaje de modulación del 100 %. Cada frecuencia lateral difiere de la portadora en frecuencia con una diferencia igual a la de la frecuencia moduladora. La frecuencia lateral superior es en nuestro ejemplo de 105 kHz, y la banda lateral inferior es de 95 kHz en este caso.



**Figura 3.3**  
**Componentes de una señal modulada**

En este punto podríamos preguntar si es que la señal transmitida es una portadora de amplitud que varía o una portadora de amplitud constante con dos portadoras laterales sin significado, debido a que los dos conceptos expresan lo mismo. Las portadoras laterales de nivel constante más la portadora no modulada son lo mismo que la

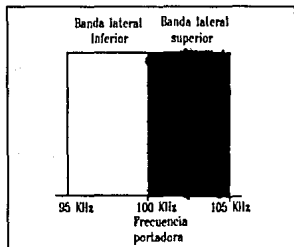
señal portadora de AM. La portadora de AM es igual a la portadora no modulada más dos portadoras laterales de la amplitud, fase y frecuencias apropiadas. La equivalencia entre estas dos señales se debe al hecho de que la onda portadora modulada es distorsionada ligeramente por la forma sinusoidal de las variaciones de amplitud produciendo nuevas componentes de frecuencia, que son las bandas laterales.

La envolvente no es una frecuencia lateral. Las frecuencias laterales no deben ser confundidas con la envolvente de audio. La envolvente es una audio frecuencia. Las portadoras de laterales son radiofrecuencias cercanas a la frecuencia de la portadora. Para este caso, la envolvente es la señal moduladora de audio de 5,000 Hz, mientras que las frecuencias de banda lateral son de 105 kHz y 95 kHz. Si la frecuencia moduladora de audio fuera de 1,000 Hz la frecuencia de bandas laterales serían de 101 kHz y 99 kHz. Entonces la portadora modulada tendría una envolvente de audio de 1,000 Hz.

### Bandas laterales

Cuando la portadora es modulada por un voltaje que incluye muchos componentes de frecuencia, cada frecuencia moduladora produce un par de bandas laterales. En cada par, una frecuencia lateral es más alta que la de la portadora y otra es más baja. Todas las frecuencias de la parte superior se denomina banda lateral superior de la portadora y las de frecuencia inferior se denominan frecuencias de banda lateral inferior de la portadora. Esto se puede apreciar en la figura 3.4.





**Figura 3.4**

**Frecuencias componentes de una moduladora con frecuencias continuas**

Para el caso de modulación con una banda continua de audio desde 0 a 5,000 Hz. La gráfica aquí nos muestra las frecuencias laterales correspondientes para una portadora de 100 kHz. La banda lateral superior incluye frecuencias laterales de la frecuencia portadora de hasta 100 a 105 kHz; la banda lateral inferior incluye las frecuencias hasta 95 kHz. El ancho de banda requerido para las dos bandas en este caso es de  $\pm 5$  kHz centrados alrededor de la frecuencia de la portadora de 100 kHz o un ancho de banda total de 10 kHz. Notese que el ancho de banda requerido por la portadora de AM con dos bandas laterales es el doble de la frecuencia moduladora más alta.

El hecho de que diferentes frecuencias moduladoras de audio produzcan diferentes frecuencias de banda lateral en AM no debe ser confundido la frecuencia modulada. En FM la portadora de radiofrecuencia varía de acuerdo con el nivel de voltaje de modulación, y en AM las frecuencias laterales dependen de la frecuencia de la moduladora.

**Banda base**

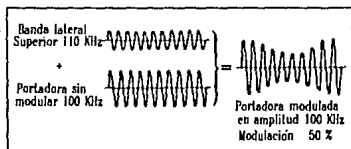
Esta es la banda de frecuencias moduladas tanto para AM como para FM. En el ejemplo anterior las frecuencias de

modulación de audio son de hasta 5,000 Hz. La banda base es 0 a 5 kHz. En transmisión de televisión la banda base es de 50 a 15,000 Hz para la señal de sonido en FM y de 0 a 4 MHz, aproximadamente para la señal de AM de la imagen.

### Bandas laterales residuales

La información de la señal moduladora está en las bandas laterales de la portadora de radiofrecuencia de amplitud modulada. La frecuencia de la modulación está indicada porque tanto las bandas laterales difieren de la frecuencia de la portadora, el voltaje de modulación está indicado por la amplitud de las dos portadoras laterales. Para el caso de modulación del 100 %, cada portadora de banda lateral tiene un medio de amplitud de la portadora no modulada. Lo que es más las frecuencias laterales superior e inferior tienen la misma información ya que son de la misma amplitud y cada una difiere de la frecuencia de la portadora en la misma proporción. La señal de modulación deseada se puede transmitir por una banda lateral, por tanto no importa si la banda superior o inferior es utilizada. Con solo un lado de la banda utilizada la señal transmitida tiene la ventaja de que solo es la mitad de las dos bandas laterales. La modulación de amplitud normalmente produce dos bandas laterales, pero una banda puede ser filtrada si se desea.

La figura 3.5 ilustra como solo una frecuencia lateral es transmitida con la portadora. Notese que la onda modulada resultante tiene variaciones de amplitud de solo un 50 % en lugar de una de 100 % con ambas bandas laterales.



**Figura 3.5**  
**Portadora con banda lateral superior**

En la figura 3.5 la onda modulada varía en amplitud en un 50 % sobre y por debajo de la amplitud de la portadora no modulada, y con 100 % de modulación la amplitud pico de la portadora dobla el nivel de la no modulada y llega hasta cero. Por lo tanto una señal transmitida con una sola banda lateral tiene efectivamente la mitad del porcentaje de modulación, comparado con la transmisión de doble banda lateral. El mismo factor de reducción de 1/2 se aplica cuando el voltaje de variación de la modulación produce diferentes niveles de modulación menores al 100 %.

A excepción por el nivel de amplitud de oscilación, la envolvente de la portadora más una banda lateral se puede considerar esencialmente la misma que la transmisión de doble banda lateral, aunque hay una ligera distorsión para altos porcentajes de modulación. Notese que la envolvente de la figura 3.5 corresponde al voltaje modulador de audio. Lo que es más, la envolvente no es cortada en la parte superior o inferior de la onda de AM.

El método descrito se puede considerar como transmisión de banda lateral simple con la portadora. En muchas aplicaciones de transmisión de banda lateral sencilla, la portadora misma no se transmite, ahorrando de este modo mayor potencia. Únicamente una banda lateral se transmite.

En esta situación, la portadora debe ser reinsertada en el receptor para detectar la señal.

Un compromiso entre la transmisión de banda lateral doble y el método de banda lateral simple es utilizado para mandar la señal de imagen en AM. En este sistema, llamado transmisión de banda lateral residual, una de las bandas laterales es transmitida y una parte residual o vestigio de la otra. Más específicamente, toda la banda lateral superior de la señal de imagen de AM es transmitida, para incluir todas las frecuencias de video de hasta 4 MHz. La banda lateral baja, sin embargo, incluye solo frecuencias de modulación de video de hasta 0.75 MHz aproximadamente, para conservar el ancho de banda del canal transmitido.

### Canal estándar

La estructura de un canal de televisión se ilustra en la figura 3.6.

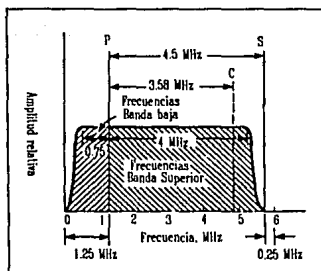


Figura 3.6

Estructura de un canal de televisión

El ancho del canal es de 6 MHz incluyendo la portadora de imagen y de sonido con sus frecuencias de banda lateral. La portadora de imagen se encuentra espaciada 1.25 MHz de la parte inferior de el canal, y la portadora de sonido esta 0.25 MHz por debajo del extremo superior de el canal. Como resultado, siempre existe un espacio fijo de 4.5 MHz entre frecuencia portadora de la imagen y la de sonido.

Las características de un canal mostradas en la figura 3.6 no deben de ser interpretadas como una ilustración de la señal de la imagen. La figura unicamente define las frecuencias de una señal que pueden ser transmitidas en un canal de televisión, con sus amplitudes relativas. La portadora de imagen se muestra con el doble de amplitud de las frecuencias de las bandas laterales, que son sus amplitudes relativas para modulación del 100%.

Ya que la señal de sonido está modulada en frecuencia, sus frecuencias de banda lateral no tienen el mismo tipo de características de amplitud que en la señal de imagen, y estas no son mostradas. La portadora de la señal del sonido es una señal convencional de FM, con un ancho de banda de aproximadamente 50 kHz para un oscilación de frecuencia de  $\pm 25$  kHz con modulación del 100 %.

En la señal de imagen, todas las bandas laterales superiores a 4 MHz son transmitidas con su amplitud normal. La subportadora en 3.58 MHz de color puede ser considerada como otra señal de video de alta frecuencia que modula la portadora de imagen con la información de color deseada. Para información monocromática, las frecuencias altas de video representan solo los detalles de las orillas. Para un programa transmitido en color, 3.58 MHz representa la señal de color requerida para la información del color.

Las frecuencias laterales que difieren de la portadora de video por más de 0.75 MHz pero menos de 1.25 MHz son gradualmente atenuadas. Las frecuencias portadora de banda lateral inferior por debajo de la portadora de video de 1.25 MHz o más, se encuentran fuera del canal. Estas frecuencias

deben de ser completamente filtradas en el transmisor de modo que no sean radiadas e interfieran con el canal adyacente inferior. Notese que para la portadora superior de frecuencia arriba de 4MHz se filtran las frecuencias para evitar interferencia con la señal de sonido asociado.

Por ejemplo los valores numéricos para el canal 3 de la televisión convencional van de 60 a 66 MHz. La señal portadora de la imagen está 1.25 MHz arriba de la frecuencia inferior, es decir en 61.25 MHz para este canal. La portadora de sonido en 65.75 MHz está 4.5 MHz arriba de la frecuencia portadora de imagen.

Con transmisión de banda lateral residual todas las frecuencias de la banda superior de hasta 65.25 MHz son transmitidas. Sin embargo solo la parte de la banda lateral inferior menores a 60.5 MHz aproximadamente, son transmitidas sin atenuación. Como un ejemplo, cuando el voltaje de modulación de video tiene una frecuencia de 0.75 MHz, tanto las frecuencias de 62 y 60.5 MHz son transmitidas. Para este caso la portadora de imagen es una señal de doble banda lateral. Lo mismo es cierto para cualquier señal de modulación que tenga una frecuencia menor que 0.75 MHz.

Sin embargo para componentes de modulación de video con frecuencias mayores que 0.75 MHz, solo la parte superior de la portadora es transmitida con amplitud normal. Para una moduladora de 2 MHz, la frecuencia lateral superior es de 63.25 y está dentro del canal. La frecuencia lateral inferior es de 59.25 MHz, la cual se encuentra fuera del canal 3 y por lo tanto debe de ser filtrada. En este caso, solo la frecuencia superior es transmitida con la portadora de imagen resultando en una transmisión de banda lateral simple. El resultado es una transmisión de banda lateral residual por que el sistema en transmisión de doble banda lateral se utilizaría para frecuencias menores que 0.75 MHz

ya que transmisión de banda lateral sencilla se utiliza para frecuencias mayores de video, hasta 4 MHz aproximadamente.

La señal de color del video de 3.58 MHz se encuentra a 64.83 MHz como una frecuencia lateral superior de la portadora de imagen en el canal 3. Esta frecuencia se calcula como  $61.25 + 3.58 = 64.83$  MHz. Si el receptor no pasa 64.83 MHz en la antena y en los circuitos de radio frecuencia para el canal 3, no habrá color.

### Ventajas de la banda lateral residual

Esta ventaja se puede apreciar en el hecho de que la portadora de imagen está 1.25 MHz debajo de la frecuencia más alta del canal, permitiendo que frecuencias de modulación de video de hasta 4 MHz sean transmitidas en un canal de 6 MHz. Si se utilizara transmisión de doble banda lateral se tendría que limitar la frecuencia de video a aproximadamente 2.5 MHz, con la portadora al centro del canal. Esta representaría una gran pérdida en los detalles horizontales, ya que las componentes de alta frecuencia de modulación de video, determinan la cantidad de detalle horizontal en la imagen.

Podría parecer conveniente colocar la portadora de video en la parte inferior del canal y usar transmisión de banda lateral simple completamente. Este método permitiría usar las frecuencias de modulación mayores a 5 MHz e incrementar el detalle horizontal. Sin embargo esto no es tan práctico. La eliminación de frecuencias portadoras laterales indeseables se realiza con circuitos filtros en el transmisor, los cuales no pueden tener características ideales de corte. Por tanto no sería posible remover las portadoras laterales que se encuentren demasiado cerca a la

frecuencia de la portadora sin introducir distorsión de fase para las frecuencias más bajas de video, lo que causa una imagen borrosa. Las frecuencias bajas de video contienen la información más importante para la imagen.

El compromiso práctico de la banda lateral residual es que nos permite remover completamente la banda lateral inferior solo donde las frecuencias de las bandas laterales pueden ser removidas lo suficiente para evitar distorsión de fase. La portadora de imagen misma y las frecuencias laterales cercanas a esta no son atenuadas. El resultado es una transmisión normal de doble banda lateral para las bajas frecuencias de video correspondientes a el cuerpo principal de la información de la imagen para grandes areas en la imagen. La transmisión de banda lateral sencilla es utilizada solo para las frecuencias más altas de video que representan detalles en las orillas o contornos de la imagen.

#### Compensación para la transmisión de banda lateral residual

Debe notarse que la señal de la imagen es distorsionada en términos de amplitud relativa para diferentes frecuencias. Se debe recordar que la señal transmitida con solo una banda lateral y la portadora representa el 50 % de la modulación en comparación con una señal de doble banda lateral normal con un 100 % de modulación. Por lo tanto las frecuencias más altas de video proveen señales con un medio de la modulación efectiva de la portadora, en comparación con las bajas frecuencias de video que se transmiten en ambas bandas. Esto es en efecto un refuerzo en las bajas frecuencias de la señal de video. Sin embargo esto se corrige desacentuando las frecuencias bajas de video en la misma proporción en el amplificador de frecuencia intermedia del receptor de televisión.



## Circuito modulador

Una vez discutidos los puntos más importantes sobre la modulación en amplitud y en frecuencia así como la transmisión por banda lateral residual usado en televisión se propone el circuito que realizará la modulación de la señal portadora generada con el circuito calculado en el capítulo anterior.

El principio que utiliza este modulador es semejante al discutido en modulador de tipo de arreglo de placa discutido en el principio de este capítulo, se analizará su funcionamiento por etapas, ilustrando cada etapa en forma correspondiente.

## Alimentación de video

La primera etapa es la de entrada de video, capaz de recibir transmisión del tipo negativa y con capacidad de recibir un voltaje de entrada de 1 Volt pico a pico. La entrada de video se alimenta a través de C1 (220 uF) a un diodo recortador D1. El diodo D1 fija el nivel máximo negativo de entrada a  $-0.7$  V, y evita sobremodulación en los picos de los pulsos de sincronía (figura 3.7).

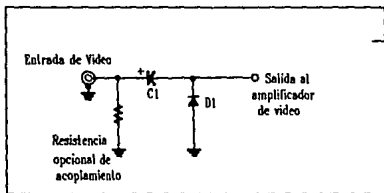


Figura 3.7  
Entrada de video

## Alimentación de audio

La siguiente etapa a discutir se encarga de producir la frecuencia modulada a partir de la entrada de audio.

La entrada de audio se conecta a través de un potenciómetro. Considerando el nivel de entrada entre 10 mV y 1 volt, se permite un acoplamiento a micrófonos u otras fuentes de audio. Después de el potenciómetro, el audio se acopla a través de un capacitor de 1  $\mu\text{F}$ , que a la frecuencia de entrada se puede considerar como un corto circuito.

Para las frecuencias de 20 Hz existe una reactancia de 8 ohms, y para frecuencias de hasta 20,000 Hz hay una impedancia de entrada de aproximadamente 8,000 ohms en el rango de frecuencias audibles, por tanto el circuito no será muy eficiente a altas frecuencias, lo cual puede compensarse ajustando el potenciómetro de entrada, sin embargo podemos considerar que la reactancia para corriente alterna es prácticamente un corto circuito.

El circuito básico de polarización del amplificador de audio se ilustra en la figura 3.8 a continuación.

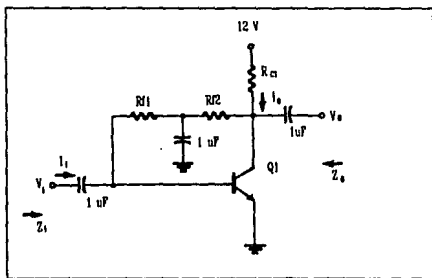


Figura 3.8

Amplificador de audio

## Pasos en el diseño del amplificador

Uno de los primeros pasos es realizar el análisis para señal del circuito mostrado en la figura anterior. Utilizando el equivalente del transistor en forma simplificada tenemos en la figura 3.9:

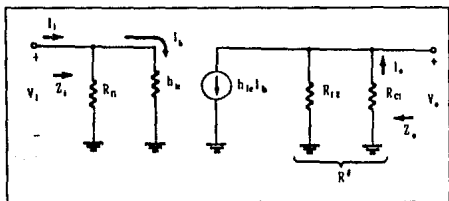


figura 3.9  
Modelo híbrido

Las ecuaciones que nos permiten determinar las características para corriente alterna del siguiente circuito son las siguientes:

$$3.1 \quad Z_i = R_{f1} \parallel h_{ie} \quad (\text{Impedancia de entrada})$$

$$3.2 \quad Z_o = R_{c1} \parallel R_{f2} \quad (\text{Impedancia de salida})$$

$$3.3 \quad A_v = \frac{-h_{fe} Z_o}{h_{ie}} \quad \text{Ganancia de voltaje}$$

$$3.4 \quad A_i = \frac{h_{fe} R_{f1} R_{f2}}{(R_{f1} + h_{ie})(R_{f2} + R_{c1})} \quad \text{Ganancia de corriente}$$

Donde:

- hfe = ganancia del transistor ó  $\beta$
- Rc1 = Resistencia de colector
- Rf1 = Resistencia conectada a base

Rf2 = Resistencia conectada a colector

hie = Impedancia de entrada del transistor

La  $\beta$  (beta) del transistor se obtiene de la hoja de datos, y hie se puede aproximar con la corriente de emisor, que en este caso podemos considerar  $I_e = I_c$ ; con la expresión:

$$3.5 \quad r_e = \frac{27 \text{ mV}}{I_e}$$

$$3.6 \quad h_{ie} = \beta r_e$$

La corriente depende de la red de polarización del transistor, que en este caso es determinada por nosotros. En este caso el transistor elegido cuenta con una beta ( $\beta$ ) de 300, si deseamos una ganancia de aproximadamente 300, tomando en cuenta que la entrada mínima es de 10 mV, que aumentado 300 veces nos da una salida de 3 Volts que son apropiados para manejar la siguiente etapa ( Oscilador controlado por voltaje ); fijando una corriente de 2 mA para el transistor, de la expresión 3.1 tenemos:

$$A_v = 300; \beta = 300;$$

De la expresión 3.5 y 3.6:

$$r_e = \frac{27 \text{ mV}}{2 \text{ mA}}$$

$$= 13.5 \text{ ohms}$$

$$h_{ie} = 300 ( 13.5 )$$

$$= 4050 \text{ ohms}$$

Despejando de la expresión 3.3  $Z_o$ , tenemos:

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{A_v (-h_{ie})}{h_{fe}} \\ &= \frac{-300(-4050)}{300} \\ &= 4050 \text{ ohms} \end{aligned}$$

En la expresión 3.2 podemos ver que esta impedancia es resultado del paralelo de las resistencias  $R_{c1}$  y  $R_{f2}$ , por tanto se deben de elegir una combinación en paralelo de la resistencia de colector y la de retroalimentación para obtener este valor y además que se cumpla la condición de corriente de colector que ya fijamos anteriormente (2 mA).

Para calcular la corriente de base, dividimos la corriente de base entre la beta del transistor, es decir:

$$I_b = \frac{2 \text{ mA}}{300}$$

$$I_b = 6.6 \text{ uA}$$

Para calcular las resistencias necesarias para cumplir estas condiciones es necesario analizar los voltajes a lo largo del circuito, que nos da la siguiente expresión:

$$V_{cc} - I_b (R_f + (\beta+1)R_{c1}) - 0.7 = 0$$

De esta expresión tenemos como incógnitas  $R_{f_{total}}$  y  $R_{c1}$ , por tanto tenemos que fijar uno de estos valores para poder despejar el otro, para este caso, es conveniente fijar  $R_{c1}$ , a un valor aproximado al calculado en la impedancia de entrada, para este caso, ya que la impedancia es de 4050 ohms, podemos fijar el valor de colector a un valor

ligeramente mayor (4.7K) para que en combinación con la resistencia en paralelo  $R_{f\text{total}}$  obtengamos un valor aproximado a  $Z_o$  para lograr la ganancia deseada.

Por tanto tenemos despejando  $R_{f\text{total}}$ :

$$R_{f\text{total}} = \frac{(V_{cc} - 0.7 - I_b (R_{c1}) (\beta + 1))}{I_b}$$

$$R_{f\text{total}} = \frac{(12 - 0.7 - 6.7\mu\text{A} (4700) (301))}{6.7\mu\text{A}}$$

$$= 271,867.16 \text{ ohms}$$

Esta resistencia total debe de dividirse en dos partes para lograr la configuración mostrada anteriormente, en corriente alterna la impedancia de entrada es la combinación de el paralelo de  $R_{c1}$  con una parte de la resistencia calculada, por lo tanto, de la impedancia de salida previamente calculada ( $Z_o$ ), calculamos que resistencia en paralelo con  $R_{c1}$  cumple con  $Z_o = 4050$ .

La expresión para calcular este paralelo, es:

$$R_p = Z_o = \frac{1}{\frac{1}{4700} + \frac{1}{R_{f1}}}$$

Despejando  $R_{f1}$  tenemos:

$$R_{f1} = \frac{(Z_o \cdot 4.7K)}{(4.7K - Z_o)}$$

$$= 29,284 \text{ ohms}$$

Se puede seleccionar en este caso una resistencia comercial de 33K, la otra resistencia será la diferencia de la  $R_{f\text{total}}$ , menos la resistencia calculada anteriormente:

$$\begin{aligned} Rf2 &= 271,867 - 29,284 \\ &= 242,583 \text{ ohms} \end{aligned}$$

Eligiendo para este caso un valor de 220K. Con estos valores ya establecidos, podemos continuar los cálculos de ganancia de corriente e impedancia de entrada; así de la ecuación 3.1

$$\begin{aligned} Zi &= 4050 \parallel 30K \\ &= 3568 = 3.6K \end{aligned}$$

Y de la expresión 3.4 para la ganancia de corriente:

$$\begin{aligned} Ai &= \frac{(hfe Rf1 Rf2)}{(Rf1 + hie)(Rf2 + Rc1)} \\ &= \frac{(300)(33K)(220K)}{(33K + 4050)(220K + 4.7K)} \\ &= 261.61 \end{aligned}$$

Tenemos por lo tanto los siguientes parámetros para nuestra etapa de amplificación de la entrada de audio:

Ganancia de voltaje, 300  
 Ganancia de corriente, 261.6  
 Impedancia de entrada, 4.0K ohms  
 Impedancia de salida, 3.6K ohms

Una vez realizado el amplificador se debe conectar la salida por medio de un capacitor de acoplamiento a la etapa que de encarga de realizar el modulador en frecuencia, el VCO (Oscilador controlado por voltaje).

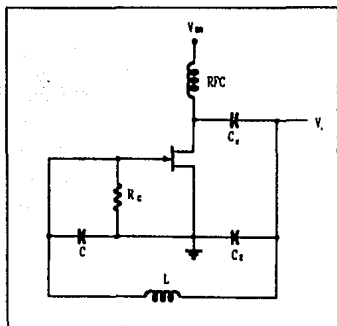
## Consideraciones para construir el VCO

Como se discutió anteriormente la modulación de frecuencia, se logra variando la frecuencia de un oscilador según el nivel de la entrada de audio; en el receptor cada frecuencia distinta representa un nivel determinado. La frecuencia a la cual debe encontrarse la portadora de audio dentro del canal de televisión es de 4.5 MHz arriba de la frecuencia de la portadora, por tanto el oscilador debe de oscilar a esta frecuencia base, y variar en un determinado rango, dependiendo de la entrada de audio.

Por tanto es necesario construir un oscilador que trabaje en esta frecuencia y acoplarlo a nuestra etapa de amplificación de audio a fin de que varíe la frecuencia del oscilador. Existen en el mercado varios circuitos que funcionan como VCO, se ha vuelto muy popular el uso de VCO del tipo de circuito integrado, aunque por lo general los encontramos combinados con circuitos detectores de fase, conocidos como PLL (en inglés 'Phase Lock Loop'), la principal aplicación para este tipo de circuitos es como sintetizadores ( circuitos que generan frecuencias a partir de otra de entrada ) y se usan en combinación con divisores de frecuencia para funcionar apropiadamente. A pesar de la existencia de este tipo de circuitos en el mercado, desafortunadamente la disponibilidad de estos circuitos con las características de frecuencia y potencia requeridas, los hace difíciles de obtener, por lo que el VCO que se ha elegido está compuesto por elementos discretos que no son mucho más costosos que una versión de VCO integrado pero que a diferencia con este último sí son mucho más fáciles de obtener y lo único que se requiere a cambio es de unos cálculos sencillos. La configuración propuesta de oscilador es la Colpitts usado por las mismas razones explicadas en el capítulo 2, que consiste en un circuito tanque (inductancia-capacitancia) en paralelo, con retroalimentación desde el capacitor.



En la figura 3.10 se ilustra la configuración básica de este tipo de oscilador:



**Figura 3.10**  
**Oscilador Colpitts**

La frecuencia está dada por la frecuencia de resonancia del circuito tanque L/C (combinación en paralelo de los dos capacitores de donde se toma la retroalimentación). Sin embargo esta configuración oscila solamente a la frecuencia resonante y no varía. Para lograr la variación que necesitamos se utiliza una configuración muy similar a la del oscilador colpitts solo que con unas modificaciones mostradas en la figura 3.11:

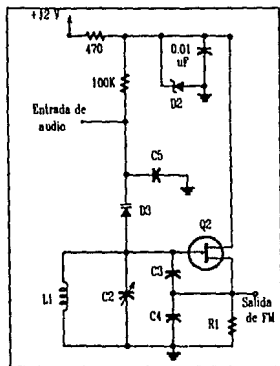


Figura 3.11

Oscilador controlado por voltaje (VCO)

La diferencia en este circuito es que se incluye un diodo varactor que tiene la característica de variar su capacitancia de acuerdo al nivel de voltaje en su cátodo, de este modo se conecta la entrada de audio a este y debido a la variación de capacitancia en el diodo, se afecta la frecuencia resonante del circuito tanque permitiendo que la frecuencia de oscilación varíe dependiendo de la amplitud de entrada de la señal de audio.

Lo más importante para el diseño del circuito es calcular la inductancia y capacitancia que darán en combinación la frecuencia resonante base requerida para producir una oscilación en este caso de 4.5 MHz

La frecuencia resonante del circuito va estar dada por la expresión:

3.7 
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

En este caso uno de los elementos más críticos resulta el diseño de la bobina, pero refiriendonos a la sección del capítulo 2, en donde se da la expresión para el cálculo de bobinas, procedemos a fijar un valor de inductancia prácticamente realizable, a fin de calcular los capacitores del circuito de la configuración.

Para este caso las bobinas que se han estado utilizando tienen valores alrededor de microhenrys, en el oscilador calculado para generar la portadora se utiliza una bobina de aproximadamente 5 uH, por esta razón para evitar el cálculo de otras inductancias, construimos otra bobina idéntica a la utilizada en el oscilador de 5uH y con la expresión 3.7 solo se calcula la capacitancia requerida para dar esta frecuencia resonante.

Por tanto despejando la expresión 3.7 para calcular la capacitancia tenemos:

$$C = \frac{1}{4(fr)^2 \times L1}$$

Sustituyendo tenemos:

$$C = \frac{1}{4(1 \times 4.5\text{MHz})^2 \times 5.5\mu\text{H}}$$

$$= 227.43 \text{ pF}$$

Esta capacitancia es resultado de el paralelo de varias capacitancias conectadas, C2 (en paralelo) || C3-C4 (en serie) || C5-D3, por tanto para obtener los valores apropiados de estas, es necesario fijar una de ellas a fin de poder despejar las otras. Una consideración importante que se debe hacer es el de dividir las capacitancias a fin de lograr un nivel de retroalimentación apropiado, en este caso la retroalimentación se fija a dos terceras partes del

voltaje que se genera, por tanto en los capacitores de retroalimentación (C3, C4) un capacitor tendrá el doble que el otro a fin de que funcionen como un divisor de voltaje.

Tomando en cuenta la consideración anterior, ahora analicemos el capacitor variable (C2), sirve para ajustar la capacitancia en caso de que el valor de la bobina no sea muy preciso, de esta manera se puede realizar un ajuste para que el oscilador trabaje a una frecuencia bastante exacta.

Además se debe de considerar el paralelo del diodo varactor y el capacitor C5 que combinados en serie se suman a la capacitancia total de las otras ramas.

Los capacitores en serie (C3, C4) se deben de calcular de forma que en paralelo con la capacitancia variable y el varactor D3 con C5 den el valor de capacitancia requerida, en este caso de 227 pF, por tanto al capacitor variable le daremos un rango amplio para poder manejar un gran margen de error en la frecuencia resonante, el valor de 3 a 40 pF se considera apropiado tomando un valor promedio de 25 pF, por lo que resta calcular para las otras dos ramas aproximadamente 200 pF. Consultando las características de capacitancia del varactor su capacitancia entre 4 V y 9 V oscila entre 56 pF y 33 pF. Para este caso se considerará un valor promedio de 45 pF en el diodo que se conecta en paralelo con un capacitor aproximadamente del doble de su valor a fin de aumentar el rango de oscilación de la capacitancia del diodo, C5 será de 100 pF. La resultante del paralelo del capacitor y el diodo varactor es:

$$50 \text{ pF} \parallel 100 \text{ pF} = 33.33 \text{ pF}$$

Sumando esta capacitancia al valor promedio del capacitor variable C2(3-40 pF) considerando 25 pF, se tiene en total:

$$25 \text{ pF} + 33 \text{ pF} = 58 \text{ pF}$$

Se necesita que los capacitores en serie C3 y C4 sumen:

$$227 \text{ pF} - 58 \text{ pF} = 174 \text{ pF}$$

Con la condición de retroalimentación que se discutió y con la expresión para calcular capacitancias en serie determinamos dos ecuaciones con dos incógnitas que son:

$$C4 = 2 \times C3$$

$$C3 \parallel C4 = 174$$

Combinando las dos ecuaciones tenemos:

$$\frac{2 \times C3 \times C3}{3 \times C3} = \frac{2 \times C3}{3} = 174$$

$$174 = \frac{2 \times C3 \text{pF}}{3}$$

$$C3 = 261 \text{ pF} \quad \text{y} \quad C4 = 520 \text{ pF}$$

Utilizando los valores comerciales se tiene  $C3 = 220 \text{ pF}$  y  $C4 = 470 \text{ pF}$ .

El siguiente paso es fijar la polarización del FET, de tal modo que pueda oscilar. Uno de los parámetros más importantes en el FET que podría compararse a la beta de un transistor es la corriente de drenaje a voltaje de compuerta cero ó  $I_{dss}$ , y el voltaje de corte compuerta fuente  $V_{gs(off)}$ . Para el FET elegido en este circuito tenemos los siguientes parámetros:

$$I_{dss} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{gs(off)} = -8 \text{ Volts}$$

Para determinar la polarización del FET, es necesario utilizar las siguientes ecuaciones:

$$3.8 \quad I_d = I_{dss} \frac{1 - V_{gs}}{V_{gs}(\text{off})}$$

$$3.9 \quad V_{gs} = -I_d R_s$$

Donde:

$V_{gs}$  = Voltaje de compuerta a fuente

$I_d$  = Corriente de drenaje

$R_s = R_1$  = Resistencia de fuente

En este caso a base de pruebas se elige un valor de  $R_s$  y con los demás parámetros se calcula el punto de operación del FET, podemos considerar que un nivel de voltaje en la fuente de aproximadamente la mitad del voltaje de alimentación es apropiado para un buen funcionamiento del oscilador, se pueden utilizar varias resistencias realizando los cálculos para cada una de ellas de manera similar a la que se calcula gráficamente una polarización de un transistor determinando la línea de carga correspondiente, de este modo se encuentra que un valor de 2K es apropiado para lograr el nivel que se requiere.

A continuación se usan las ecuaciones para confirmar los niveles de voltaje del FET con la resistencia elegida.

Utilizando los parámetros descritos del FET y sustituyendo la ecuación 3.9 en 3.8 tenemos:

$$3.8 \quad I_d = \frac{I_{dss}}{1 - \frac{(I_{dss} \times R_s)}{V_{gs}(\text{off})}}$$

$$= \frac{10 \text{ mA}}{1 - \frac{(10 \text{ mA} \times 2K)}{-8}}$$

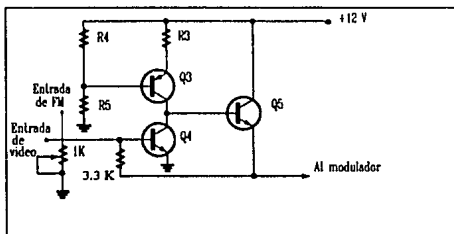
$$= 2.857 \text{ mA}$$

por tanto:

$$V_s = 5.7$$

### Amplificador de video

Teniendo el circuito anterior ya calculado podemos continuar con la etapa de amplificación de video. La configuración de transistores para amplificar la señal de video es la mostrada en la figura 3.12:



**Figura 3.12**  
**Amplificador de video**

El amplificador se encuentra alimentado por una fuente de corriente (Q3) la cual se utiliza en vez de conectar directamente el colector de Q4 a la alimentación a través de una resistencia, ya que esto disminuiría la ganancia de este. La fuente de corriente presenta una alta impedancia por lo que la amplificación es mayor y puede alcanzar un nivel de voltaje casi tan grande como el de la fuente. Por otra parte Q5 sirve como un emisor seguidor que se encarga

de amplificar la corriente de Q4, que alimentará la etapa de modulación con una salida de baja impedancia. Además el amplificador Q4 está retroalimentado por medio de la salida de Q5, para lograr mayor estabilidad en esta etapa.

La corriente de colector que debe suplir la fuente de corriente debe de ser de aproximadamente 50 mA, por lo que debemos fijar los valores de resistencia apropiados para que se cumplan estas condiciones. Suponiendo un valor aproximado al voltaje de alimentación de 11.5 volts en el emisor de Q3, se requiere de una resistencia de:

$$12 - 11.5 = 0.5$$

$$R3 = \frac{0.5V}{0.05 \text{ mA}}$$

$$= 10 \text{ ohms}$$

Debido a que el transistor es del tipo PNP, el voltaje en la base debe de ser menor que en el emisor por 0.7 volts aproximadamente, por lo que:

$$V_{\text{base}} = 11.5 - 0.7$$

$$= 10.8 \text{ volts}$$

Por tanto las resistencias R4 y R5, forman un divisor de voltaje que debe alimentar a la base con 10.8 volts, las resistencias que se eligen para formar al divisor deben de tener un valor pequeño, a fin de que no afecten la corriente que circula hacia la base. El voltaje que debe caerse en la resistencia R4 es de:

$$12 - 10.8 = 1.2$$



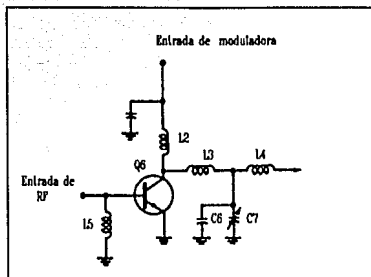
Que és aproximadamente la décima parte del voltaje de alimentación, por lo tanto la resistencia R4 debe ser de un décimo de la resistencia R5. Se eligen por tanto valores de 100 ohms para R4 y 1Kohm para R5. Por último queda agregar, que se utiliza una resistencia de retroalimentación la salida del emisor de Q5 (R6) de 3Komhs, con el fin de mantener la estabilidad en el circuito y evitar que se saturé el amplificador de video Q4.

### Acoplamiento de señal portadora con el mensaje

Una de las etapas más importante así como crítica es la de la modulación en amplitud. Hasta ahora solo hemos manejado por separado el generador de la portadora y por otra parte la moduladora o mensaje, que consiste en el video y audio ya combinados y amplificados en las etapas anteriores.

En la etapa de modulación se realiza la multiplicación de las dos señales en el tiempo, ya que una de las señales es una onda senoidal, esto equivale a correr a la frecuencia de la portadora las frecuencias del espectro de la señal que lleva el mensaje. Al principio de este capítulo se muestra en uno de los ejemplos el modulador de tipo placa que es una configuración utilizada para producir modulación en amplitud.

Otra configuración bastante conocida que se utilizará en este caso es la de modulación de colector, que trabaja en forma similar a un amplificador de radiofrecuencia del cual se muestra la figura 3.13.



**Figura 3.13**  
**Amplificación de radiofrecuencia**

En este caso el amplificador se alimenta con la señal de la portadora en la base del circuito, y con la señal del mensaje por el colector, de aquí el nombre de esta configuración.

Lo más importante a diseñar en este circuito es la red resonante que se conecta al transistor, ya que con esta red se acoplan las impedancias a la salida del circuito, tanto como la etapa del transistor. Otra cosa importante es que la red de salida se encuentre sintonizada a la frecuencia de salida del amplificador, en este caso a la frecuencia de la portadora.

Existen varios tipos de redes como la "T" o la red tipo "π", en este caso se usará una red del tipo "T" como la que se muestra en la figura 3.14 para acoplar la señal a una antena que tendrá una impedancia de 75 ohms aproximadamente.

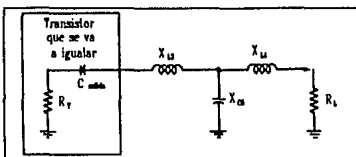


Figura 3.14

**Red tipo "T" para acoplamiento de impedancias**

Para el calculo de la red es necesario conocer ciertos parámetros del transistor. Para el caso de acoplamiento de salida necesitamos conocer la capacitancia de salida del transistor el cuál se puede consultar en las hojas de datos con el parámetro de  $C_{obo}$ .

Conociendo este parámetro se aplica el siguiente procedimiento para obtener los valores:

1) La capacitancia de salida del transistor a la frecuencia de operación. Para este caso la frecuencia de la señal portadora es de 61.25 MHz. En este caso la hoja de datos del transistor que se elige muestra que el parámetro  $C_{obo} = 2$  pF. Se calcula un modelo que representa al transistor como una combinación de resistencia capacitancia.

La resistencia de salida del transistor dependerá de el voltaje de alimentación en el colector y la potencia que se vaya a obtener del transistor. Se puede calcular con expresión:

$$R \text{ salida paralela} = \frac{\text{Voltaje del colector}^2}{2 \times \text{Salida de Potencia}}$$

Por lo que si tenemos un voltaje de alimentación de 12 volts, y se desea una salida de aproximadamente 1/4 de Watt, tenemos:

$$R = \frac{12^2}{2 \times 0.3}$$

$$= 240 \text{ ohms}$$

2) Con la capacitancia de salida de 2 pF a una frecuencia de 61.25 MHz, la reactancia del transistor será:

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 61.25 \text{ MHz} \times 2 \text{ pF}}$$

$$= 1300$$

3) La combinación de los valores anteriores en una impedancia de salida en paralelo es de 240 - 2300j. Estos valores representan el valor de resistencia junto con una impedancia compleja debido a la reactancia capacitiva de salida del transistor. Para realizar los cálculos de la red que se encargará de acoplar las impedancias entre la línea de transmisión y la salida del transistor hay que convertir los valores obtenidos a su equivalente en paralelo.

Para esto se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$R_s = \frac{R_p}{1 + \left(\frac{R_p}{X_p}\right)^2}$$

$$X_s = R_s \left(\frac{R_p}{X_p}\right)$$

Donde:

$R_p$  = Resistencia de salida en paralelo

$X_p$  = Reactancia de salida en paralelo

$R_s$  = Resistencia en serie

$X_s$  = Resistencia en paralelo

$$R_s = \frac{240}{1 + \left(\frac{240}{1300}\right)^2}$$

$$= 232.0$$

$$X_s = 232 \left(\frac{240}{1300}\right)$$

$$= 42.84 \text{ ohms}$$

La combinación de estos valores da por resultado una impedancia en serie de 232 - 42.84j.

4) Una vez convertida la impedancia de salida en serie considerando una Q de 10, los valores de reactancia para la red se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$X_{L3} = Q \times R_T + X_{C_{\text{salida}}}$$

$$X_{L4} = B \times R_L$$

$$X_{C6} = \frac{A}{(Q+B)}$$

$$A = (R_T (1+Q^2))$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{R_L} - 1}$$

donde:

Q = Ancho de banda deseado

R<sub>T</sub> = Resistencia de salida

C<sub>sal</sub> = Capacitancia de salida

y para los cálculos de la bobina y capacitancia se utilizan las expresiones:

$$L = \frac{XL}{6.28 f}$$

$$C = \frac{1}{6.28 f X_C}$$

Por tanto sustituyendo los valores obtenidos en el punto anterior:

$$XL3 = 10 \times (232) + 42.84$$

$$= 2362.84$$

$$L3 = \frac{2362}{6.28 \times 61.25 \text{MHz}}$$

$$= 6.139 \mu\text{H}$$

$$A = 232 (1 + 10^2)$$

$$= 23432.0$$

$$B = \sqrt{\frac{23432}{75} - 1}$$

$$= 17.647$$

$$XL4 = 75 (17.647) = 1323.52$$

$$L4 = \frac{1323.52}{6.28 \times 61.25 \text{MHz}} = 3.43 \mu\text{H}$$

$$XC6 = \frac{23432}{(10 + 21.624)} = 740.9$$

$$C6 = \frac{1}{6.28 \times 61.25 \text{ MHz} \times 740.9}$$

$$= 3.5 \text{ pF}$$

Una vez conocidos los valores del circuito se procede a la realización de las bobinas en la misma forma que se explicó en el capítulo 2, y el capacitor de la red C6, puede conectarse en paralelo con otro capacitor variable (C7) con el fin de poder realizar los ajustes necesarios para la máxima transferencia de potencia a la línea de transmisión de 75 ohms misma que se calculará en el siguiente capítulo a tratar.

# CAPITULO 4

## DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION Y LA ANTENA



## Antecedentes

Una de los puntos no menos importantes, pero que muchas veces se toman a la ligera en el diseño de transmisores es el cálculo de la línea de transmisión, y el de una antena apropiada para la transmisión de nuestro mensaje. Realmente las consideraciones que se requieren para su elección son bastantes simples, sin embargo si se ignoran, esto puede llevar a tener pérdidas causadas por mal acoplamiento que reducen la efíicnecia del circuito y por tanto la potencia de transmisión.

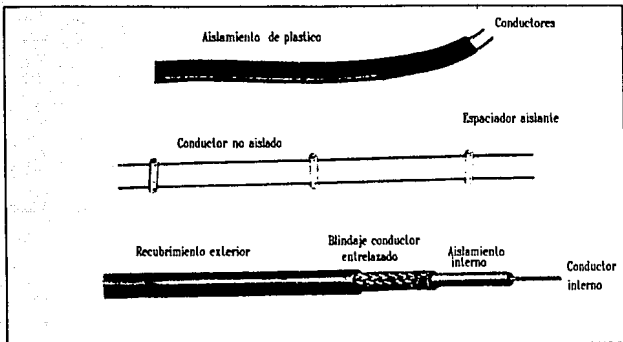
En el presente capítulo se explica la función y características de una línea de transmisión y posteriormente en base a los parámetros de diseño ya asignados se elige el tipo de conductor más apropiado.

Igualmente con respecto a antenas se explican las características más importantes en una antena y las consideraciones para el cálculo de las dimensiones de esta, y finalmente se aplican estas para fijar las medidas necesarias para el presente diseño.

## Líneas de transmisión

Los tipos principales de conductores utilizados como líneas de transmisión se muestran en la siguiente figura

4.1



**Figura 4.1**

### **Varios tipos de líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión consisten únicamente en un conductor que tiene la función de entregar la señal del transmisor a la antena. Tres requerimientos importantes de la línea son:

- 1) Pérdidas mínimas
- 2) Que no existan reflexiones de señal en la línea
- 3) No recibir señales dispersas a lo largo de la línea.

Para prevenir la recepción de señal la línea debe de estar balanceada o blindada o ambas. Una línea se encuentra balanceada cuando cada uno de los dos conductores tiene la misma capacitancia con respecto a tierra. El equilibrio corresponde a la antena de dipolo, la cual tiene señales balanceadas de fases opuestas en sus brazos. Una línea con blindaje se encuentra completamente envuelta con un material metálico que está aterrizado y que sirve como un escudo para el conductor interno. Este blindaje evita que señales dispersas induzcan corrientes en el centro del conductor.

## Pérdidas en líneas de transmisión

La atenuación de la línea es causada principalmente por pérdidas  $I^2R$  en resistencia de corriente alterna del cable conductor. Estas pérdidas reducen la cantidad de señal que se entrega a la antena. A más larga sea la línea de transmisión y a mayor sea la frecuencia, mayor será la atenuación.

Para largas distancias, la línea puede tener pérdidas apreciables. Por ejemplo para un cable de 200 pies de longitud con cable de tipo RG-59U se tendría una pérdida de 6 dB a 100 MHz, lo cual significa una pérdida de la mitad de la señal. Las pérdidas son aún mayores en bandas de UHF. A 500 MHz, con el mismo tipo de cable se tiene una atenuación de 8.3 dB por cada 100 pies, comparado con 3.7 a 100 MHz.

La impedancia característica de la línea ( $Z_0$ ) depende del tamaño de los conductores y su espaciamento. Un espaciamento uniforme de conductores, es lo que hace una línea con características de impedancia  $Z_0$ . Un espaciamento más amplio hace que aumente la  $Z_0$ . En términos prácticos,  $Z_0$  es la impedancia requerida para terminar la línea y prever reflexiones en su extremo. Dos factores importantes acerca de la impedancia son:

- a)  $Z_0$  es un valor de corriente alterna que no puede ser medido con un ohmetro
- b)  $Z_0$  es una característica que no varía para una línea de cualquier longitud.

Una línea de 1 metro de largo tiene la misma impedancia  $Z_0$  que una de 100 metros del mismo tipo. Sin embargo a mayor longitud de la línea, existen más pérdidas de atenuación.

Dentro de los tipos de líneas de transmisión tenemos varios tipos, que se explican a continuación. El cable plano polarizado es usualmente utilizado en receptores de televisión por que tiene pocas pérdidas, esta disponible con una impedancia  $Z_0$  de 300 ohms, es barato y es bastante flexible lo que lo hace fácil de manejar. El plástico es un dieléctrico tal como el polietileno, con los conductores cubiertos por este. Para una  $Z_0$  de 300 ohms, el espaciamiento es de aproximadamente  $3/8$  de pulgada entre los conductores aproximadamente de calibre 20 a 22. El cable plano de 75 y 150 ohms tiene un espaciamiento menor entre los cables.

La atenuación en este cable plano se incrementa cuando la línea esta mojada.

Otro tipo de cable utilizado por lo general es el cable coaxial, este consiste en un conductor central rodeado por un dieléctrico que esta rodeado por un blindaje metálico. Una cubierta plástica sirve para cubrir la línea completa con el propósito de protegerla. Este tipo de línea es prácticamente inmune a cualquier recepción de señales dispersas ya que el conductor externo actúa como un blindaje aterrizado. El conductor interno es un lado de la línea y el conductor con blindaje es el otro extremo de la línea.

El cable coaxial se utiliza en lugares donde existe mucho ruido o donde existen múltiples líneas que se pueden interferir mutuamente. En los sistemas de distribución de señal por cable, el cable coaxial es necesario a pesar de sus pérdidas. Los tipos usados para televisión son el RG-11U, con un diámetro exterior de 0.4 pulgadas para una impedancia  $Z_0$  de 75 ohms, y el RG-59U con un diámetro de 0.24 pulgadas para  $Z_0$  de 73 ohms.

#### Impedancia característica

Cuando la línea de transmisión tiene una longitud comparable con la longitud de onda de la frecuencia de la

señal llevada por la línea, la línea tiene propiedades que son aún más importantes que su sola resistencia. La pequeña cantidad de inductancia de el conductor y la capacitancia entre los conductores se encuentran distribuidos a lo largo de la línea. El resultado es una inductancia y capacitancia distribuida que puede hacer a la línea una carga reactiva. El espaciamiento uniforme entre conductores da una inductancia y capacitancia constantes por unidad de longitud. Por tanto la impedancia característica puede ser definida como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$Z_0$  se encuentra en ohms,  $L$  es la inductancia por unidad de longitud en henrios, y  $C$  es la capacitancia en paralelo por unidad de longitud en faradios.

Entre más cercano se encuentren los conductores, mas grande será la capacitancia y más pequeña la  $Z_0$  de la línea.

#### Características físicas de la línea

En términos de construcción física,  $Z_0$  depende de los conductores y su espaciamiento. Para líneas con conductores paralelos con aire como dieléctrico,

$$Z_0 = 276 \log\left(\frac{s}{r}\right)$$

donde  $s$  es la distancia entre los centros y  $r$  es el radio de cada conductor, con  $s$  y  $r$  ambos en las mismas unidades. Por ejemplo para una línea de cables libres con calibre del número 12 con un radio de 0.04 pulgadas con una pulgada de espaciamiento, la relación de  $s/r$  es  $1/0.04$ , o 25. El logaritmo de 25 es 1.398. Por lo tanto,  $Z_0$  es  $276 \times 1.398$ , lo cual es 386 ohms.

## Líneas resonantes y no resonantes

Cuando la línea tiene una carga resistiva igual a la  $Z_0$  conectada a su extremo, toda la energía que viaja a lo largo de la línea será usada en la carga. El resultado de esto es una transferencia de potencia máxima y nada de la energía se refleja de nuevo hacia la línea. Esta terminación de la línea en su impedancia característica la hace ver como una línea infinitamente larga. La razón es que la línea no tiene discontinuidad en la carga cuando esta es igual a  $Z_0$ . El efecto es el mismo que si la línea no tuviera final, tal línea terminada en impedancia  $Z_0$  es una línea no resonante ya que no hay reflexiones, por tanto la longitud de la línea no es crítica.

Cuando la línea de transmisión no tiene terminación igual a su  $Z_0$ , la corriente sera reflejada desde el extremo de esta.

La relación en un punto máximo de voltaje a un punto mínimo se define como la relación de voltaje de onda estacionaria, y se abrevia como VSWR (voltage standing-wave ratio). Para una línea no resonante terminada en impedancia  $Z_0$ , la VSWR es de 1. Para una línea resonante no terminada en  $Z_0$ , la VSWR es más de 1. A mayor desacoplamiento de la carga a la  $Z_0$  de la línea, más grande será la VSWR de la línea. El caso extremo es cuando una línea resonante con un alto VSWR se encuentra abierta o en corto en uno de sus extremos.

## Secciones de líneas de transmisión

### como circuitos resonantes

Cuando la línea de transmisión no termina con su impedancia característica, los valores de voltaje y corriente cambian a lo largo de la línea, las magnitudes varían con el movimiento de las ondas que es el mismo que

para la antena. Por lo tanto la impedancia para diferentes puntos en la línea varía de un máximo en el punto de voltaje más alto en la línea a un mínimo en el punto de corriente más grande, ya que la impedancia en cualquier punto es la relación voltaje entre corriente.

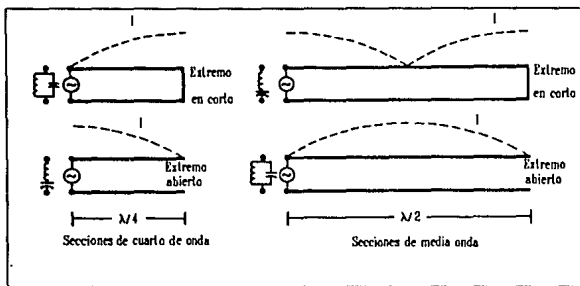


Figura 4.2

#### Distribución de corrientes en líneas de transmisión

La figura 4.2 muestra las líneas de transmisión que se usan como circuitos resonantes. Ya que la acción de la línea en esta forma depende de la existencia de reflexiones, las líneas no tienen terminación en su impedancia característica si no que son cortocircuitadas o abiertas en uno de sus extremos de modo que se produzca la máxima relación de onda estacionaria y la más alta Q para el circuito resonante equivalente. Analizando la acción de las secciones de las líneas de transmisión, podrá notarse que un extremo abierto debe ser un punto de voltaje máximo, corriente mínima e impedancia máxima. Para el caso opuesto, un extremo cortocircuitado debe ser un punto de corriente máxima, voltaje mínimo, e impedancia mínima. Por cada segmento de un cuarto de longitud de la onda desde el extremo del final hacia el principio de la línea, los valores de voltaje y

corriente se van alternando de máximo a mínimo o viceversa. Valores de impedancia intermedios se obtienen para puntos entre los puntos de máximos y mínimos.

En la figura 4.2 se muestra que una sección de un cuarto de onda con un extremo en corto es equivalente a un circuito paralelo sintonizado en el lado del generador debido a que hay una alta impedancia a través de las terminales a la frecuencia resonante. Para una longitud de onda más corta que un cuarto de onda la línea es equivalente a una inductancia.

La sección de un cuarto de onda abierta provee una impedancia muy baja en el lado del generador. Una longitud menor que un cuarto de onda hace a la línea parecer como una capacitancia.

La sección de media onda, sin embargo, repite la impedancia al final de la línea para igualar la misma impedancia del lado del generador. Una media onda corresponde a un medio ciclo de la señal con fases opuestas entre el voltaje y la corriente. Las características principales de las secciones  $1/2$  y  $1/4$  se dan en la siguiente tabla.

Longitud	Terminación	Impedancia de entrada	Angulo de fase
Cuarto de onda	Cortocircuito	Abierta	90
Cuarto de onda	Abierta	Cortocircuito	90
Media onda	Cortocircuito	Cortocircuito	180
Media onda	Abierta	Abierta	180

Las secciones de líneas de transmisión pueden ser utilizadas para:

1. Acoplamiento de impedancia
2. Un circuito equivalente resonante para disminuir una señal de radiofrecuencia que este interfiriendo.



### 3. Mandar la fase correcta en antenas.

Para secciones de fases, una línea de un cuarto de longitud produce un cambio de 90 grados en el ángulo de fase entre la señal de entrada y la de salida. Una sección de media onda recorre la fase 180 grados.

Para reducir la interferencia, una línea de  $1/4$  puede ser utilizada. Un lado es conectado a través de las terminales de la antena en las terminales del receptor, el extremo abierto ocasiona que haya un corto circuito en las terminales de entrada en el receptor para esta frecuencia. El mismo resultado se obtendría si se utilizara una línea de media onda corto circuitada en su extremo.

#### Acoplamiento de impedancias

Consiste en igualar la impedancia de una carga a la impedancia del generador o de la fuente, para lograr una máxima transferencia de potencia. En un circuito de transmisión, la línea de transmisión es la carga para el transmisor y la antena es la carga para línea de transmisión. Un acoplamiento que no sea el apropiado entre estos producirá pérdidas en la señal. Además pueden existir reflexiones en la línea que se producen debido a que la energía no es totalmente absorbida por la carga.

#### Sección de acoplamiento de un cuarto de onda

Cuando una sección de un cuarto de onda en la línea de transmisión con una impedancia característica de  $Z_0$  no se encuentra ni cortocircuitada o abierta en uno de sus extremos sino que tienen conectada una impedancia  $Z_1$  a través de uno de sus extremos, la impedancia en el otro extremo esta dado por la expresión:

$$Z_2 = \frac{Z_0^2}{Z_1} \quad \text{o} \quad Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2}$$

$Z_0$  es la media geométrica de  $Z_1$  y  $Z_2$ . Por lo tanto si una sección de un cuarto de onda es igual  $\sqrt{Z_1 Z_2}$  se utiliza para acoplar dos impedancias distintas  $Z_1$  y  $Z_2$ , la sección provera un acoplamiento de impedancias en ambos extremos.

Este transformador de impedancias de acoplamiento se le conoce como una sección Q. La longitud de la sección de cuarto de onda se calcula para la frecuencia deseada con la fórmula:

$$\frac{1}{4}(\text{ft}) = v \times \frac{246}{f(\text{MHz})}$$

donde  $v$  es el factor de velocidad, del cual depende la velocidad de propagación a lo largo de la línea. Esta es menor que la de la velocidad de la luz debido a su disminución de velocidad en medios sólidos, en la siguiente tabla se muestran algunos factores  $v$  para ciertos conductores.

Tipo	Impedancia característica	Atenuación a 100 MHz dB/100 Ft	Factor de velocidad $v$
Cable plano	300	1.2	0.8
Línea abierta	300-600	0.2	0.98
Coaxial RG-11	75	1.9	0.66
Coaxial RG-59	73	3.7	0.66

Este tipo de sección de acoplamiento tiene la ventaja de producir un acoplamiento de impedancia con muy poca atenuación de la señal, pero esta sección solo produce un acoplamiento adecuado para frecuencias a las cuales es aproximadamente resonante.

#### Diseño de la línea de transmisión

El diseño de la línea debe tener en cuenta varios de los puntos mencionados anteriormente. Lo primero será minimizar las pérdidas en la línea, para esto es necesario consultar las características de los diversos tipos de conductores mostrados a continuación:

Tipo de línea	Zo (Ohms)	Vel $\beta$	Atenuación en dB /100 ft (50 MHz)
RG58/A-AU	53	66	3.1
RG59/A-AU	73	66	2.4
RG11/A-AU	75	66	1.55
RG8/A-AU	52	66	1.35
Cable abierto tipo TV 1/2"	400	95	0.30
Cable de 1"	450	95	0.3

Como se discutió antes, las pérdidas en una línea pueden ser debido a varias causas como son su longitud, su impedancia característica, y la frecuencia a la que opera la línea.

Sabemos de los capítulos anteriores que la frecuencia a la que se pretende transmitir es de 61.25 MHz, por tanto las pérdidas se consideran a esta frecuencia.

Otra característica importante es que la impedancia de salida del circuito transmisor es de 75 ohms, por tanto la relación de VSWR debe ser lo más cercana a la unidad para lograr la máxima transferencia de potencia evitando las reflexiones en la línea, esto se logra seleccionando una línea con impedancia característica lo más cercano posible a 75 ohms que es la impedancia de salida del transmisor, por tanto podemos ver en la tabla anterior que existen varios tipos de cables que cumplen con la impedancia característica de 75 ohms. Sin embargo se desea que la línea sea inmune al ruido, lo que nos deja como opción cable coaxial; si

consideramos que la longitud que se pretende utilizar del transmisor a la antena será menor a 30 m. (100 ft), entonces será conveniente utilizar cable del tipo RG-59, este cable no es el que tiene la menor pérdida por unidad de longitud en la tabla anterior, pero tiene características satisfactorias para la distancia de transmisión que se pretende utilizar.

Suponiendo por ejemplo que se pretendan usar 15 m. de cable desde el transmisor a la antena, de la tabla anterior con una potencia de salida de 0.3 Watts, la pérdida en decibeles de una línea con tales características será de:

RG-59:

50 MHz, pérdida = 2.4 dB en 100 ft

15 m. x 0.3048 = 50 ft

$$\begin{aligned} \text{Pérdida} &= 2.4 \text{ dB} \times \frac{50}{100} \\ &= 1.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

Convirtiendo la potencia de salida a dBWatts

$$P_{\text{transmisor}} = 10 \log (0.3)$$

$$= -5.228 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{antena}} = -5.228 - 1.2$$

$$= -6.428$$

$$P_{\text{antena}} = 10 ( -6.428 / 10 )$$

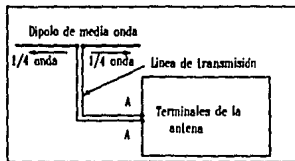
$$= 0.227 \text{ Watts}$$

Para este caso en que seleccionamos la línea de transmisión con las características de impedancia apropiadas para lograr un acoplamiento en el que hay una transferencia de potencia máxima no existen reflexiones en la línea ni defasamiento por resonancia, por lo tanto no es necesario calcular secciones de acoplamiento de impedancias ni de fases por medio de segmentos resonantes. El único problema que existe en forma mínima es que debido a que se usa una línea coaxial existe un pequeño desbalanceo en la línea de transmisión a causa de que no son iguales los dos conductores que llevan la energía a la antena (uno es un conductor de blindaje y el otro es un conductor de cobre en el centro de un aislante), esto causa una pequeña variación en el VSWR que puede ignorarse en este caso.

### Antenas

Una antena puede estar constituida simplemente por un fragmento de cable o alambre o cualquier conductor que pueda tener una corriente inducida en el para transmitir ondas electromagnéticas. Sin embargo para lograr suficiente potencia la antena deberá ser o muy larga, o tener una longitud que sea resonante a una frecuencia particular. El efecto de resonancia por la longitud, esta relacionado con la frecuencia y longitud de onda de la señal de corriente en el conductor.

Para los canales de televisión de VHF y UHF, un medio de la longitud de onda es un tamaño práctico, sus rangos se encuentran entre aproximadamente 8.5 ft para las frecuencias más bajas a 0.5 ft para la frecuencia más alta. Por tanto la antena básica para televisión puede ser un dipolo (figura 4.3) de longitud de media onda.



**Figura 4.3**  
**Dipolo de media onda**

Este dipolo puede radiar o recibir ondas electromagnéticas. La señal que transmite o recibe según el caso, son la señal de imagen y sonido. Para que un receptor de televisión funcione apropiadamente la señal que este requiere es de aproximadamente 100 a 2000 uV. En el caso de los sistemas de televisión por cable los sistemas se diseñan a fin de que tengan 1mV en la antena del receptor.

#### Longitud de una antena resonante

La longitud de onda y frecuencia de una onda electromagnética radiada son inversamente proporcionales. A más alta la frecuencia, más pequeña es la longitud de onda correspondiente. En concreto la longitud de onda depende de la velocidad de propagación, la cual es la velocidad de la luz para las ondas de radio en el espacio libre. Específicamente:

$$l = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}}$$

$$l = \frac{3 \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\text{frecuencia}}$$

donde l es la longitud de onda y f es la frecuencia en Hz.

Cuando la longitud física de la antena es cortada a la mitad o a una cuarta parte de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de la señal, la antena es resonante a esa frecuencia. El resultado es un aumento en resonancia de la corriente. Múltiplos de esta longitud se consideran resonancias armónicas. La razón por la cual la antena puede ser considerada resonante es por que la longitud determina que tanto tiempo le toma a la corriente fluir hasta el final de esta.

Dos tipos básicos de antena son la de un cuarto de longitud de onda llamada Marconi y la de media longitud de onda. La antena de media onda esta constituida por dos elementos de un cuarto de la longitud de la onda aislados entre ellos, que forman la media longitud de onda. Esto se le conoce como un dipolo. Debido a esto, y debido a la longitud física de una media onda, es un tamaño práctico a altas frecuencias, por tanto se utiliza mucho en televisión. Algunos tipos de antenas más elaboradas son generalmente combinaciones de dipolos.

La expresión para calcular la longitud de una antena de media onda en pies es:

$$L = \frac{492}{f}$$

Donde  $f$  es la frecuencia en MHz y  $L$  nos da la longitud de la antena. Sin embargo la longitud de la antena resonante de conductor de media onda es ligeramente menor que la media onda en el espacio libre debido a que la antena posee capacitancia que altera la distribución de corriente en los extremos de la antena. Este efecto requiere que se acorte la longitud del conductor para producir una distribución de corriente que corresponda a la longitud de media onda en el espacio libre. Conductores más gruesos a más altas

frecuencias requieren de mas acortamiento, que puede ser considerado como un 6% para antenas de televisión.

### Terminología usada para antenas

Polarización de ondas. El campo electromagnético en movimiento, el cual es la señal de radio, esta formado por dos componentes: un campo magnético asociado con la corriente en la antena transmisora y un campo eléctrico asociado con el potencial de la misma. Los dos campos son perpendiculares entre sí y ambos son perpendiculares a la dirección en que viaja la onda. Cuando la onda electromagnética llega a la antena receptora, esta induce una corriente con las mismas variaciones que la transmitida en la señal de radio.

La polarización se encuentra arbitrariamente definida como la dirección del campo eléctrico. Este se encuentra determinado por la posición física de la antena en el espacio. Un dipolo horizontal se encuentra horizontalmente polarizado. Por tanto las líneas de flujo magnético se encuentran en un plano vertical alrededor de los conductores y el campo eléctrico es horizontal entre los conductores. Una antena vertical con respecto a la tierra, esta verticalmente polarizada. La polarización horizontal se utiliza principalmente para la transmisión de televisión y de radio FM, según normas ya establecidas. Por lo tanto una antena receptora deberá estar montada horizontalmente para máxima recepción de ondas polarizadas horizontalmente. La polarización horizontal se eligió debido a que estudios experimentales muestran que hay más fuerza en la señal y menor reflexión para frecuencias en el espectro de VHF y UHF. También la directividad horizontal del dipolo receptor ayuda a reducir los "fantasmas" en la imagen.



### Microvolts por metro

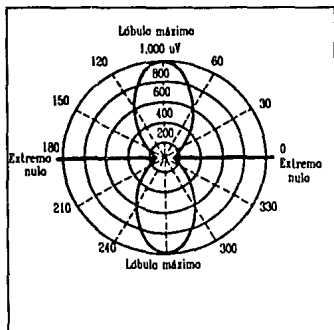
Son las unidades para medir la fuerza de un campo. Como ejemplo, cuando un dipolo resonante de media onda de un metro de longitud nos da 300 uV de señal a la línea de transmisión, la fuerza del campo es de 300 uV/m.

Se debe apreciar que la misma fuerza de un campo produce más señal en una antena más larga, que es resonante a frecuencias más bajas. Como ejemplo supóngase que un campo de 800 uV de fuerza llega a un dipolo de media onda de 4.62 pies de largo diseñado para una frecuencia resonante de 100 MHz. La señal de antena sera 1,120 uV debido a que la longitud es de 1.4 veces mayor que un metro. Una antena de 2.31 pies para una frecuencia resonante de 200 MHz en el mismo campo entregará la mitad de la señal de la antena anterior, es decir 560 uV, ya que esta antena es de la mitad de longitud que la anterior.

La fuerza del campo de la portadora de radiofrecuencia en la antena receptora depende de la potencia radiada y de las características de propagación de la frecuencia portadora. Aún cuando varias estaciones puedan transmitir para una sola localidad, la fuerza de campo en un receptor no es la misma para diferentes canales. Lo que es más, las características de la antena receptora pueden variar a diferentes frecuencias.

### Patrones de directividad

Como se muestra en la figura 4.4 la fuerza de la señal se gráfica en coordenadas polares para mostrar su magnitud y dirección.



**Figura 4.4**

**Patrón de radiación**

Los ángulos dan la dirección para la cual la fuerza de la señal es graficada, mientras la longitud del radio determina su magnitud. El diagrama polar muestra el patrón de directividad horizontal de la antena, determinada por la distribución de corriente del conductor de la antena. Para una antena transmisora el patrón muestra en que dirección la antena radia la mayoría de la señal para una antena receptora, el patrón muestra de que dirección la antena intercepta la mayoría de la señal. Por esta razón el rotar la antena de un receptor permite mejorar la recepción.

Una antena de dipolo de media onda y su frecuencia resonante fundamental tiene un patrón de directividad en forma de un ocho. La antena transmite o recibe mejor del frente y en su parte posterior, a un costado de los conductores de la antena, con poca señal en dirección de las terminaciones.

**Impedancia de antena**

Esta impedancia  $Z_a$  varía con los valores de corriente a diferentes puntos a lo largo de la antena. Para un dipolo

resonante de media onda,  $Z_a$  es de aproximadamente 72 ohms en el centro como se muestra en la figura 4.5:

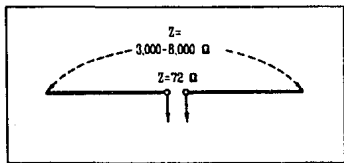


Figura 4.5

#### Impedancia en los extremos de un dipolo

En los extremos es de varios miles de ohms. Los puntos intermedios tienen valores medios. Aún el valor de  $Z_a$  en el centro de la antena puede ser mucho más grande que 72 ohms para frecuencias que no son de resonancia. Estos valores son impedancias de corriente alterna que corresponden a la relación  $E/I$ , la cual no puede ser medida con un ohmetro.

#### Ancho de banda de la antena

La antena de media onda es equivalente a un circuito resonante con resistencia y reactancia. Por tanto la antena se le puede considerar con un valor de  $Q$ , el cual determina su ancho de banda. A más largo el diámetro de los conductores de la antena decrece la reactancia, permitiendo tener una  $Q$  más baja y una respuesta a mayor número de frecuencias. Por esta razón se utiliza tubo de metal de 1/4 a 1/2 de pulgada de diámetro en antenas receptoras.

#### Ganancia de la antena

Este término nos ayuda a expresar el incremento de señal para una antena sobre otra antena estándar, generalmente un dipolo de media onda teniendo la misma

polarización. La ganancia se mide comunmente en decibeles. Por ejemplo una antena con 3 dB de ganancia tiene una ganancia de potencia de 2 o ganancia de voltaje de 1.4. El doble de la ganancia de voltaje es una ganancia de 6 dB.

### Dipolo recto

La antena ilustrada en la figura 4.5 es un dipolo de media onda. Su distribución de corriente y voltaje para resonancia de media onda es ilustra en la figura 4.6.

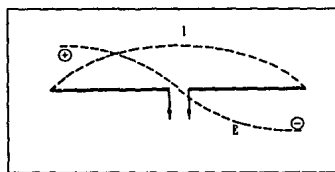


Figura 4.6

### Distribución de voltaje y corriente en un dipolo

Con excitación de radiofrecuencia se induce en la antena las variaciones ilustradas. Las líneas punteadas indican los valores picos para E e I de la señal de corriente alterna. El flujo del campo eléctrico en la antena no es instantáneo por que viaja aproximadamente a la velocidad que la de la luz. Cuando los electrones alcanzan el final de el cable, la acumulación resultante de carga en el extremo provee un potencial para mover la carga en la dirección opuesta, invirtiendo la dirección del flujo de corriente. La corriente resultante es cero en los extremos, con dos corrientes de igual amplitud fluyendo en direcciones opuestas.

En otras partes del cable, las corrientes de ida y regreso no son las mismas, debido a que las cargas que producen las corrientes son provistas a la antena en

diferentes partes del ciclo de radiofrecuencia. La corriente máxima se encuentra en el centro, donde la corriente reflejada de los extremos se añade a la corriente original.

Los extremos de la antena en el espacio libre son puntos de voltaje máximo y corriente nula. Pero debido a la capacitancia de los extremos, la corriente no es normalmente cero sino que tiene un valor definido. Por esta razón la antena debe de ser acortada para dar la misma distribución de corriente que se obtendría con un dipolo de media onda en el espacio libre.

El voltaje y la distribución de corriente ilustran por que la longitud física de la antena la hacen resonante a una frecuencia particular. Cuando las cargas de electrones viajan por los conductores de la antena del centro a los extremos y regresan al centro en el tiempo de una mitad de ciclo, la corriente y voltaje son máximos. A otras frecuencias existe una cancelación parcial, esto reduce la cantidad de señal de antena.

#### Carga capacitiva de una antena

La distribución de corriente de antena y su patrón direccional puede ser alterado insertando inductancias en serie o capacitancias derivadas. Esta carga a la antena la hace electricamente más larga. La razón es debido a que la corriente le toma más tiempo alcanzar los extremos de la antena. Para antenas de VHF, una técnica usada algunas veces es montar pequeñas varillas de metal en forma de alas en el dipolo, o usar discos circulares, este método es equivalente a añadir más capacitancia en derivación, de manera que se requiera de mayor tiempo para cargar los extremos de la antena.

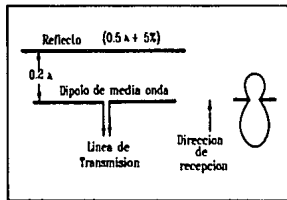
### Dipolos de recepción amplia

Una antena de dipolo grueso se considera a aquel que tiene una sección transversal de aproximadamente 0.1 la longitud de onda o de espesor mayor. Este puede dar una mayor respuesta sobre una banda más amplia de frecuencias, comparadas con un dipolo delgado que tenga un diámetro despreciable. El incrementar el espesor de un dipolo tiene tres efectos principales en las características de un dipolo.

1. La resistencia de la antena disminuye y la reactancia decrece aún más, resultando en una antena con bajo Q. La antena tiene una impedancia más uniforme sobre un rango más amplio de frecuencias.
2. La respuesta del patrón direccional de costado de la antena se mantiene en un rango más amplio de frecuencias, antes de volverse de lóbulos múltiples.
3. Se requiere de mayor acortamiento para obtener la longitud física equivalente a la longitud de onda eléctrica.

### Arreglos de antenas

Cuando la corriente fluye a través de una antena, radia parte de la señal interceptada, como una antena transmisora. Si un conductor aproximadamente de un medio de longitud se coloca en forma paralela a esta, pero no se conecta, como se ilustra en la figura 4.7, El cable libre interceptará parte de la señal radiada por la antena.



**Figura 4.7**

**Antena con elemento reflector**

Esta señal será reradiada por el cable libre para combinarse con la señal de la antena. Como resultado tenemos que parte de la señal transmitida que es aparentemente perdida se vuelve a radiar con este cable en el espacio libre, dando mayor directividad y ganancia a la antena. A este cable se le llama elemento parásito por que no se encuentra conectado a la antena de dipolo. Un elemento parásito colocado atrás de la antena se le llama reflector; y un elemento parásito al frente de esta se le conoce como director.

**Diseño de antena de dipolo simple**

Este tipo de antena es una de las más simples y fáciles de construir, sólo consta de dos conductores con las dimensiones apropiadas. Una de las ventajas es que es de construcción sencilla y funciona bastante bien si sólo se utiliza para transmitir en una sola frecuencia. Por tanto utilizando la ecuación:

$$L = \frac{492}{f}$$

y conociendo que la frecuencia de operación es de 61.25 MHz la longitud de la antena es de:

$$L = \frac{492}{61.25}$$

$$= 8.03 \text{ ft}$$

Ya que la impedancia de este tipo de dipolo en su parte central es de aproximadamente 70 ohms, ofrece un buen acoplamiento a líneas de transmisión de 75 ohms, por tanto se puede conectar sin que existan graves problemas de desacoplamiento a la línea de transmisión elegida al principio de este capítulo. Una forma apropiada de conectar la línea de transmisión es en la forma que se ilustra en la figura 4.8

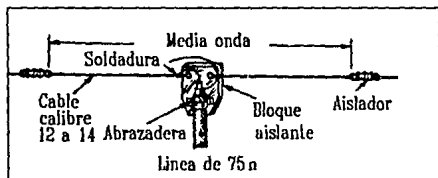


Figura 4.8

#### Antena de dipolo simple

La línea de transmisión deberá de estar en ángulo recto con respecto a la antena por lo menos una distancia de un cuarto de longitud de onda si es posible, para evitar que la línea se encuentre desbalanceada por corrientes que se induzcan en la antena debido a la misma línea de transmisión. Para la construcción de este tipo de antena se puede utilizar alambre calibre 12 o 14, y su longitud se toma desde cada uno de los aisladores de los extremos (como se aprecia en la figura 4.8).



Una forma alternativa de conectar la antena se ilustra en la figura 4.9

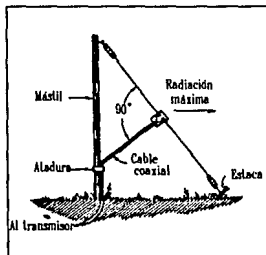


Figura 4.9

#### Dipolo de media onda en mástil vertical

En esta forma se puede instalar la antena en un mástil vertical. Teniendo su máxima directividad en la dirección de la flecha, se puede variar la orientación del punto fijado a tierra a fin de cambiar la orientación del patrón de radiación para favorecer la transmisión en una dirección determinada.

# CAPITULO 5

## PRUEBAS FINALES Y CIRCUITO COMPLETO

## Antecedentes

A lo largo de esta tesis se ha planteado capítulo por capítulo los cálculos para el diseño de cada uno de los bloques planteados en la introducción, ahora en este último capítulo se pretende explicar en forma breve un procedimiento para probar los bloques por separado así como su conexión en conjunto mostrando esto en un diagrama final. Es importante señalar que para las pruebas en algunos de los bloques se requiere de equipo de laboratorio tal como osciloscopio, generador de funciones, contador de frecuencia, multímetro, etc. Este se irá mencionando conforme se requiera dependiendo de la etapa y prueba que se este realizando. Otro aspecto importante es que el capítulo solo se limita a mencionar la forma de conexión de los bloques del circuito diseñado mediante un diagrama electrónico. El presente capítulo no pretende sugerir un modo de construcción del circuito en particular (circuito impreso, alambrado en baquelita, etc.) esto se deja a libertad de quien realice el diseño, sin embargo a modo de sugerencia empírica a más alta sea la frecuencia que se maneja, más crítica será la colocación de los componentes (debido a efectos de capacitancias parásitas) por tanto el realizar un diseño de muy alta frecuencia implica ciertas pruebas experimentales en la colocación y utilización de determinados tipos de componentes (como los capacitores de superficie, o resistencias de superficie) cuya presente tesis no contempla.

## Pruebas finales para distintas etapas

Uno de los procedimientos más lógicos para la prueba de un diseño, es el de probar todas sus diferentes etapas a fin de determinar fallas en un bloque determinado en lugar de

tratar de localizar la falla una vez armado todo el circuito. De este modo podemos aislar el problema y resolverlo antes de conectarlo a otra etapa que nos produzca problemas debido a la etapa anterior. Para comprender esto mejor, supongamos que la etapa del generador de señales produce una senoidal deformada o de poca amplitud, si conectamos esta etapa a la de modulación es probable que no obtengamos una salida del modulador muy satisfactoria, si no supiéramos que la señal del generador de portadora esta produciendo una señal defectuosa podríamos muy bien culpar al modulador, o bien pensar que la entrada de audio o video no están amplificando adecuadamente. Por lo anterior nos damos cuenta de la importancia de probar las distintas etapas por separado a fin de que no provoquen confusión al momento de encontrar una falla estando todas conectadas.

Cada etapa deberá ser probada de distinta manera según lo que se requiera de esta, aunque hay etapas que pueden tener pruebas similares. Por tanto a continuación brevemente se describen una serie de pruebas a realizar en los bloques del diseño.

### Generador de portadora

Las prueba más importante en el generador de la señal portadora es el que el circuito oscile a la frecuencia deseada. Sin embargo si no conseguimos oscilación alguna de el circuito será conveniente realizar una revisión de los voltajes de polarización calculados con un multímetro para asegurarse de que no hay malas conexiones ni cortos circuitos, otro punto importante es el verificar que las conexiones a las terminales del transistor estén hechas en forma correcta, ya que de lo contrario no oscilara. Si nuestro oscilador continua sin funcionar a pesar de haber verificado que lo anterior esta correcto puede ser que necesitemos realizar ajustes en la bobina calculada en el

oscilador, esto se hace desplazando el núcleo que se colocó en dicha bobina a fin de cambiar su inductancia y el oscilador pueda arrancar. Para la construcción de este diseño siempre es buena sugerencia el utilizar componentes de calidad confiable ya que componentes de baja calidad que se encuentren dañados producirán muchos problemas para localizarlos. Una vez que el circuito este oscilando se checa que su frecuencia de oscilación sea aproximadamente la calculada. Aunque es posible ajustar ligeramente la frecuencia de oscilación mediante la bobina o cambio en los valores de los capacitores, esta frecuencia dependerá principalmente de las características y calidad de nuestro cristal, por lo que si el circuito oscila a una frecuencia muy distinta de la calculada se debe principalmente al cristal y por tanto este deberá cambiarse ya que si tratamos de modificar la frecuencia con cambios en la bobina o capacitores solo lograremos que el circuito deje de oscilar. Otro aspecto importante es la amplitud de la señal de salida, si la salida es demasiado pequeña entonces pueden existir problemas de sobremodulación por lo que es importante que se aproxime al valor calculado en el diseño.

### Amplificador de audio

La segunda etapa a probar es la del amplificador de audio, lo más importante para confirmar que este circuito funciona adecuadamente es que los voltajes de polarización sean similares a los calculados ya que de otro modo las señales amplificadas sufrirán de distorsión lo que le dará mala calidad al sonido transmitido.

Una vez verificados los voltajes de polarización pueden realizarse pruebas al circuito con un generador de funciones y un osciloscopio. Se inyecta una señal senoidal al amplificador de una frecuencia de aproximadamente 20,000 Hz a fin de comprobar las características de ganancia a la

frecuencia máxima, es probable que exista una ganancia ligeramente menor a la calculada pero puede ser tolerable, ya que frecuencias de 20,000 Hz son poco comunes, quizá un rango más apropiado es probar con un valor menor, pero siempre considerando que una variación muy grande (mayor al 10%) puede indicar algún problema en el circuito.

### Modulador de audio

Esta etapa es importante debido a que producirá la salida en frecuencia modulada de audio requerida para combinarse con el video. Como en las etapas anteriores lo primero es verificar los puntos de polarización elegidos para el FET, posteriormente otro aspecto importante es verificar la frecuencia de oscilación con un contador de frecuencia, sin aplicar entrada de ningún tipo, para que la frecuencia central de la modulación sea de 4.5 MHz. Debido a que este oscilador no está controlado por cristal su ajuste depende del circuito L-C en el mismo, razón por la que se coloca un capacitor variable para poder realizar este ajuste. Una vez realizado tal ajuste se puede inyectar una señal de prueba a fin de observar la variación de la frecuencia a la salida del FET, hay que recordar que esta variación es del orden de KHz, por lo que en un osciloscopio no será apreciable, se debe usar un contador de frecuencia en esta prueba para verificar los cambios en frecuencia.

### Entrada y amplificador de video

Esta etapa funciona en forma semejante a la de amplificación de audio por lo que no repetiré las recomendaciones que son las mismas para esta etapa, la única diferencia en realidad es que se manejan frecuencias más altas y complejas que las que se utilizan en el audio, para

el caso de este amplificador se puede usar el generador de funciones en el rango de hasta 4 MHz (que es aproximadamente la frecuencia más alta de video usada en el sistema) para simular una señal de video, aunque resultaría preferible utilizar un generador de patrones a fin de probar con un osciloscopio si no existe distorsión y la ganancia es apropiada.

### Modulador de frecuencia

Esta etapa es donde se mezclan la portadora con la moduladora, y la forma en que funciona es bastante simple, ya que en realidad esta etapa es una especie de amplificador que funciona en clase 'C' y se encuentra alimentado por la señal moduladora en su colector y la portadora en la base, esto permite que los cambios en la moduladora se reflejen en la portadora ya amplificada, obteniéndose la modulación en amplitud (AM) ya que este circuito no se encuentra realmente polarizado como en el caso de uno que funciona en clase 'A', la forma más apropiada de probarlo es utilizando dos generadores de funciones para aplicarla una alta frecuencia en la base (para simular la portadora) y una frecuencia mucho más baja en su colector (del orden de KHz para simular la moduladora) utilizando el osciloscopio para verificar que la salida sea de AM. En caso contrario lo principal sería checar las conexiones o considerar utilizar otro transistor con características de conmutación más altas (en el manejo de altas frecuencias los transistores juegan un papel muy importante ya que sus mismos parámetros intrínsecos como capacitancias parásitas pueden afectar el buen funcionamiento del circuito). Al mismo tiempo en la red de acoplamiento calculada deben verificarse los valores de inductancias y capacitancias para evitar malos acoplamientos.

## Línea de transmisión y antena

Por último uno de los aspectos no menos importantes pero que en varias ocasiones no se les da la importancia merecida es la elección de una línea de transmisión y sus conexiones a la antena. Para probar la línea de transmisión basta utilizar un multímetro y realizar prueba de continuidad. Nótese que esta no es una prueba de la impedancia característica discutida en el capítulo cuatro sino solamente nos comprueba si la línea no se encuentra abierta en algún punto entre el transmisor y la antena. La línea deberá de ser conectada a la antena en la forma indicada en el capítulo cuatro, las conexiones deben encontrarse bien aisladas y protegidas ya que estas se encuentran a la intemperie por lo general, lo que las hace más susceptibles a fallas. En la antena se deberá verificar que tenga las dimensiones correctas así como también verificar que no exista ningún cortocircuito entre sus terminales, esto asegura su buen funcionamiento y claro esta fijarla lo mejor posible para evitar que sea derribada por el viento. La orientación de la antena dependerá de donde se encuentren situados los receptores, por lo que se debe recordar que los lóbulos de radiación mayores de la antena se encuentran a los costados de los conductores del dipolo, como se ilustra en la figura de patrón de radiación, utilizando este criterio se orienta la antena para tener una mayor ganancia.

## Diagrama final

Para finalizar con este capítulo a continuación se muestra un diagrama esquemático de todos los componentes que conforman al diseño discutido, en este diagrama no se anotan los valores de los componentes debido a que estos se determinan a lo largo de los capítulos anteriores y para el



caso en el que se deseen cambiar los parámetros se use este diagrama para anotar los nuevos valores calculados.

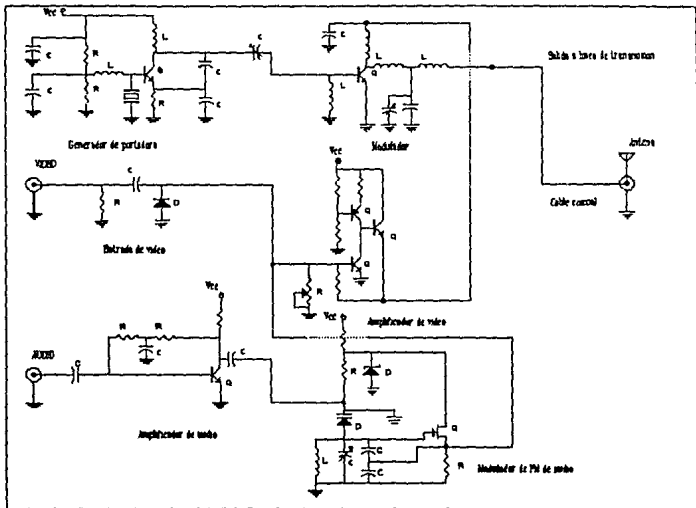


Figura 5-1

## CONCLUSIONES

## Conclusiones

En el presente trabajo se realizó el diseño de un sistema de transmisión de audio y video en forma inalámbrica. La construcción de este sistema pretende sustituir a varios de los sistemas de televisión por cable. Una de las principales razones para remplazar este tipo de sistema es el alto costo del cable coaxial en la transmisión de audio y video así como la instalación necesaria de estaciones repetidoras cada determinada distancia a fin de compensar las pérdidas. El sistema propuesto en este trabajo utiliza uno de los canales de televisión comercial no ocupado, aprovechando los receptores de televisión convencionales para captar la señal de este tipo de transmisor, de esta manera se permite la recepción simultanea en varios receptores a distancia, y debido a que el canal ocupado no es utilizado por un canal comercial y el transmisor no es de alta potencia se evitan posibles interferencias con estos canales. Un sistema de este tipo puede tener varias aplicaciones como son:

1. Instalaciones de Video donde la instalación de cableado no sea posible, como en robótica.
2. Seguridad y uso industrial.
3. Recepción simultanea en varios receptores.
4. Aplicaciones para monitoreo remoto como para observación de pacientes en hospitales etc.
5. Cámara inalámbrica para enlace de una Videocasetera con varios receptores.

Uno de los aspectos más importantes de este trabajo es que el procedimiento de diseño que se ha realizado a lo largo de cada capítulo permite que los parámetros de diseño puedan ser modificados para aplicaciones específicas. Por ejemplo se puede modificar la frecuencia de operación del transmisor, la sensibilidad de las señales de entrada que recibe este para que se acople con equipo variado. Las ecuaciones y consideraciones que se presentan permiten esto lo cual es una gran ventaja, y se pueden lograr mejoras al circuito según las necesidades particulares.

Algunas de las mejoras posibles son el aumento de potencia en el sistema de transmisión, para casos en los cuales no existan problemas de interferencia con otros canales como en zonas rurales o zonas despobladas. O se pueden realizar modificaciones en el sistema de entrada de audio y video con el fin de aumentar la sensibilidad del circuito para casos en los que la señal moduladora sea muy pequeña, también se puede diseñar el circuito en base a una fuente de alimentación de baterías con el fin de volver a la unidad portátil.

Otro aspecto importante es el hecho de que en el mercado existen diseños que pueden funcionar en forma similar, sin embargo las desventajas de estos son la utilización de circuitos de aplicación específica que no son tan fáciles de conseguir en el mercado así como las limitaciones que tienen los mismos en cuanto a los límites de potencia y frecuencia que estos manejen.

La ventaja de utilizar componentes discretos en este tipo de circuitos es que se pueden alcanzar frecuencias más altas así como el manejo de mayor potencia, que en conjunto con la metodología de el diseño lo hace más flexible.

## BIBLIOGRAFIA

## Bibliografía

Boylestad, Robert; NASHELSKY, Louis  
Electrónica Teoría de Circuitos  
Prentice Hall  
México, 1988

Lenk, John E.  
Manual Simplificado para el  
Proyecto de Circuitos de Estado Sólido  
Diana  
México, 1974

Grob, Bernard  
Basic Television Principles and Servicing  
McGraw-Hill  
USA, 1975

Resnick, Robert  
Física  
Continental  
México, 1980

ARRL (American Radio Relay League)  
The Radio Amateur's Handbook  
Estados Unidos, Anuario 1976