

Amplificadores con mosfet de potencia

Existen varios diseños en la web que demuestran que es posible construir amplificadores lineales con mosfet de potencia, utilizados en conmutación, que tienen la ventaja de ser mucho más baratos que los de radiofrecuencia. La experimentación con estos mosfet de bajo costo hacen que, si se transforman en “humo”, no sea tan dramático como los de radiofrecuencia. Uno de los mosfet mas populares, el MRF150, cotiza en USA en los 50 dólares, mientras que un IRF840 cuesta unos 7 pesos, y se consigue en todas las casas de componentes electrónicos, por lo que la experimentación esta al alcance de todos.

Lo que sigue trata de ser una guía de que debe tenerse en cuenta para construir un amplificador lineal con mosfet de bajo costo, y no una receta tipo “kit” que asegura que mediante determinada construcción se obtienen determinados resultados.

Un material muy interesante sobre amplificadores lineales con mosfet de bajo costo se encuentra en el link <http://www.mosfetpower.de/> donde se encuentra el artículo de DL9AH publicado en la revista CQ de Alemania, en alemán, lamentablemente. Pese al idioma, algunas ideas interesantes se pueden tomar de su artículo, de las cuales la más importante es la de usar una resistencia en el drenaje de cada mosfet, con las siguientes ventajas:

- a) permitir el uso de muchos mosfet en paralelo. Eso que es simple de hacer en modo conmutación, en modo lineal plantea algunas dificultades, que se solucionan con una resistencia en el drenaje. Si la resistencia es lo suficientemente grande, no importa que los mosfet estén desajustados, todos tomarán la misma corriente.
- b) Mejora la linealidad del mosfet. Al usar realimentación, su comportamiento será mucho más lineal, pero tendrá menos ganancia como contrapartida.
- c) Aumentar la impedancia que presenta cada compuerta a la red de entrada. El efecto sobre la entrada equivale a colocar una resistencia en serie con la compuerta, que es igual al la del drenaje multiplicado por la ganancia del mosfet.
- d) Permite aplicar compensaciones para que la ganancia sea más plana.
- e) Simplifica la transferencia de calor hacia el disipador.
- f) Funciona como atenuador para que la potencia de entrada al amplificador sea de 100 Watts, y permitir el uso con cualquier transceptor.

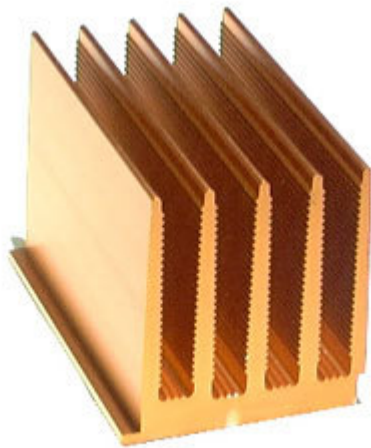
Si se combina este aumento de impedancia con la resistencia serie que se coloca en la compuerta para evitar auto-oscilaciones, se puede por ejemplo hacer que cada uno de los mosfet presente una impedancia de 50 Ohms a la red de entrada. No es necesario que sea un valor determinado, pero los transformadores tipo líneas de transmisión multiplican por valores enteros, como 4 a 1, 9 a 1, etc. Como ejemplo, 4 mosfet cuya impedancia sea de 50 Ohms puestos en paralelo y a través de un transformador 1 a 4, se verán nuevamente como 50 Ohms, por lo que tendremos adaptada la entrada para nuestro transceptor.

¿Cuan difícil puede ser construir un amplificador lineal de potencia? Puede ser fácil para pocos Watts, pero en general, a mayor potencia, mayores dificultades. Para comprenderlo mediante algunas cuentas simples: Un amplificador de 1 KW de potencia de entrada podrá rendir unos 600 W de salida, que es un valor inicial interesante para la mayoría de los radioaficionados. Como fuente de alimentación, se necesitan al menos

un transformador de 1KW, un puente de diodos con su disipador y electrolíticos de valores elevados, tanto de tensión como de capacidad. Podríamos imaginar por ejemplo 50V y 20 Amp de continua, o 100V y 10 Amp, en cualquiera de los casos si se deben adquirir los elementos, será un valor importante. Por ser SSB, estas corrientes serán siempre las máximas, y no las promedios, que pueden ser del 50% del las máximas.

Para los que no desean gastar, existe la opción de conseguir algún rezago que pueda ser útil a este propósito. En este caso se “adapta” el diseño del amplificador al de la fuente disponible. En general, cuanto más alta la tensión de salida mejor se comportará el amplificador, y entregara mayor salida. La tensión de la fuente de rezago disponible puede estar entre 50 a 100 Volts, y la corriente de salida dirá cuanta potencia puede obtenerse. En mi caso obtuve una fuente de 90 Volts, con capacidad de entregar 6 Amperes en forma continua, por lo que puede soportar picos de 9 Amperes en forma intermitente, como es el caso de SSB. En resumen, la fuente constituye la parte más cara del amplificador.

Otra parte importante del amplificador es el disipador. Con las cuentas anteriores, si tenemos 1000W de potencia de entrada, y 600 Watts van hacia la antena, los 400W que faltan, se disipan en forma de calor, a través del disipador. Si se permite un aumento de temperatura de por ejemplo 50 grados centígrados, el disipador debe tener una resistencia térmica de 0.25 °C/W, que es un disipador muy, pero muy grande.



Como ejemplo, veamos los datos del modelo ZD-33, que se muestra en la Figura 1:

Dimensiones:

Base 64mm

Altura 69mm

Espesor núcleo central 12mm

Resistencia térmica: 0.95° C/W
para 75mm

Superficie: 1730 mm²/mm

Peso por Metro: 4,860 Kg.

Figura 1: Disipador ZD-33

Como necesitamos 0.25 °C/W, hacen falta 28.5 cms de disipador, con un peso de 1.385Kgrs.

Si se usa convección forzada, con 10 cms de disipador es suficiente para este modelo, por lo que es una opción muy conveniente.

De todos modos, el disipador es otra de las partes costosas del amplificador, después de la fuente.

Otro elemento difícil de conseguir son los toroides o ferrites para los transformadores de entrada y de salida. La única manera de estar seguros de que tipo de material estamos usando, es comprándolo en las casas especializadas en USA. Esto generalmente no es fácil o posible, por lo que para simplificar el amplificador, se usan transformadores 1 a 4 o 4 a 1 solamente, es decir de 12.5 Ohms a 50 Ohms en el circuito de entrada, y de 50 Ohms a 12.5 Ohms en el circuito de salida. Este tipo de transformadores siempre funcionan como se espera, y pueden manejar potencias considerables sin saturarse.

Un material muy interesante es el “Transmission Line Transformers Handbook” de Jerry Sevick, W2FMI. Del mismo, se ha extraído uno de los diseños como ejemplo, un transformador tipo “unun” es decir desbalanceado a desbalanceado, de 12,5 a 50 Ohms, construido sobre una varilla de ferrite de antena de 0,5 pulgadas (1.25cms) de diámetro y 4 pulgadas (10 cms) de largo. Puede manejar 1KW desde 1MHz hasta 40 MHz, y esta hecho con un devanado bifilar de 12 vueltas de alambre de 1.6mm de diámetro.

W2FMI-4:1-HRU50

A) Description

The W2FMI-4:1-HRU50 is a high-power unun (unbalanced-to-unbalanced) transmission line transformer designed to match 50 ohms to 12.5 ohms. It uses a tight bifilar winding on a rod core resulting in a characteristic impedance of 25 ohms (which is optimum). This cannot be accomplished on a toroid! The impedance transformation ratio of 4:1 is constant from 1.5MHz to 40MHz. The power rating is 1KW of continuous power and 2KW of peak power. The efficiency is 99 percent.

B) Schematic Diagram

Figure 1 shows the schematic diagram of this highly efficient and broadband transformer. It is the Ruthroff 4:1 unun which uses a single transmission line in the "boot-strap" configuration. There are 12 bifilar turns of No. 14 Formvar SF wire on an Amidon PN R61-050-400.

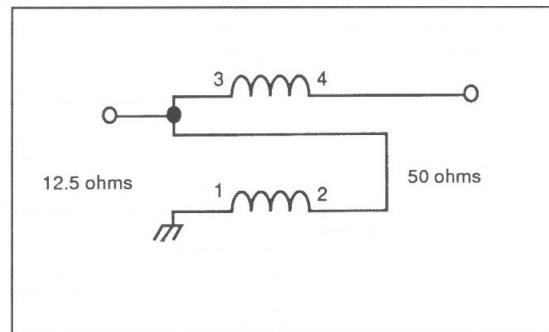


Figure 1. Schematic diagram of the Ruthroff 4:1 UNUN transformer designed to match 50 ohms to 12.5 ohms

C) Photograph

The bottom-view of the transformer (before mounting) is shown in Figure 2. The photograph attempts to show the various connections. The connector is on the low-impedance side.

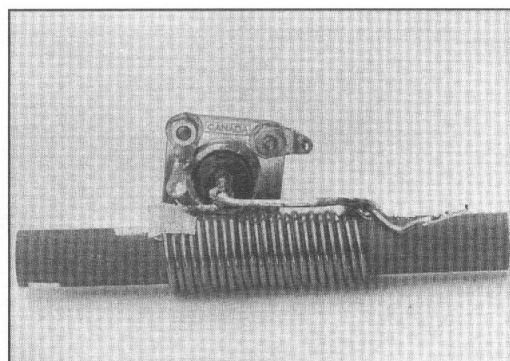


Figure 2 - Bottom-view of the highly efficient and broadband W2FMI-4:1-HRU50 transformer.

Figura 2: Transformador 4 a 1 HRU50

El resto de los componentes son de fácil obtención, en cualquier casa de componentes electrónicos.

Elección del mosfet a utilizar

Podemos imaginar a los mosfet como generadores de corriente constante, que se controlan con la tensión entre compuerta y drenaje (V_{gs}). Por ejemplo, si en su hoja de datos figura un valor de transconductancia de 4 Siemens, significa que por cada Volt

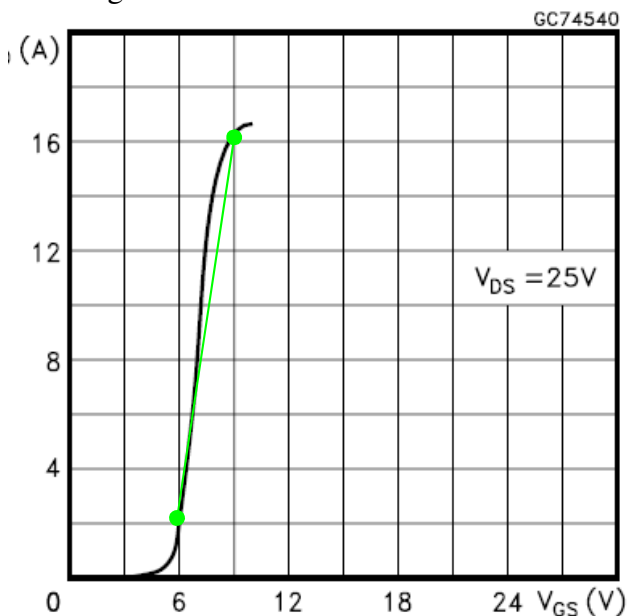


Figura 3: Transferencia del mosfet

aplicado entre compuerta y surtidor, circularán 4 Amperes entre drenaje y fuente (I_{ds}). En el caso de la figura, desde 6 V a 9 V en V_{gs} , la corriente I_{ds} cambia desde 2 A hasta 16 Amp, como muestra la línea verde. También podemos observar que por debajo de un valor de tensión V_{gs} , no hay corriente entre drenaje y surtidor. Esta tensión es la tensión de umbral, y debemos asegurarnos de superar esta tensión para que el mosfet conduzca. Para ello, se usa una polarización, entre compuerta y surtidor de aproximadamente 3,5 a 4 Volts, y que varía de un

mosfet a otro, para que funcione en clase B, es decir que conduzca en los semiciclos positivos. Esta tensión cambia con la temperatura, por lo que si se lo ajusta a temperatura ambiente, una vez en funcionamiento la temperatura de los mosfet aumentará, y por lo tanto la corriente de reposo también aumentará. La resistencia de surtidor limita estos cambios a un valor seguro, si no es muy pequeña.

En general, cuanto más corriente I_{ds} pueden manejar, deben disipar mayor potencia, por lo que ambos parámetros están muy ligados en las hojas de datos. Lamentablemente, a mayor corriente, mayor capacidad presenta el mosfet entre compuerta y surtidor, que es la principal dificultad que este tipo de dispositivos presenta. Como referencia el IRF840 presenta 1300 pF entre compuerta y surtidor, para una corriente I_{ds} de 8 Amp, mientras que un IRF510 solo tiene 180 pF y con 5,6 Amp. Esto explica porque es tan popular en los amplificadores QRP.

Cuanto mayor sea la capacidad, más difícil será adaptar la entrada, pues será una impedancia muy baja, y mas angosta la banda de trabajo. Conviene elegir el mosfet que tenga menor capacidad de compuerta.

En cuanto a la tensión de drenaje, a mayor tensión de alimentación, mayor potencia de salida, por lo que conviene la mayor posible, sin superar la mitad de la tensión máxima admisible. Para el caso de que la ROE en la salida aumente la tensión en el drenaje, conviene usar tensiones admisibles lo mas alta posible, como protección.

Por ultimo, la disipación es otro parámetro a tener en cuenta. Si la tensión de alimentación es de 100 Volts, y la corriente en el mosfet es de 1 Amp, tendremos 100W de entrada, y con un rendimiento promedio del 60%, unos 40 W se deben disipar en el mosfet. La disipación debe ser como mínimo 3 veces este valor, para que el disipador no resulte muy grande, o elegir la cantidad suficiente de mosfet en paralelo para cumplir

con este requisito. Por ejemplo, el MRF150 tiene una resistencia térmica de $0.6\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, mientras que el IRF840 tienen una resistencia térmica de $1\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, por lo que desde el punto de vista de la disipación dos IRF840 en paralelo equivalen a un MRF150.

Para mejorar la transferencia de calor conviene que la potencia a disipar se distribuya entre varios mosfet, en lugar de que sea uno solo, porque no es crítica la distribución, que a veces implica usar placas de cobre para poder distribuir el calor.

Resumiendo, conviene el mosfet que tenga la menor capacidad de compuerta, la mayor disipación y tensión posibles para esa capacidad. El valor de resistencia que se usa habitualmente no es útil para este caso, solo el valor de corriente que pueden soportar. La cantidad a usar dependerá de la potencia total que se desee obtener.

Circuito de entrada

Se muestra uno solo de los mosfet, pues el resto es idéntico, simplemente se debe duplicar el circuito para cada uno de ellos.

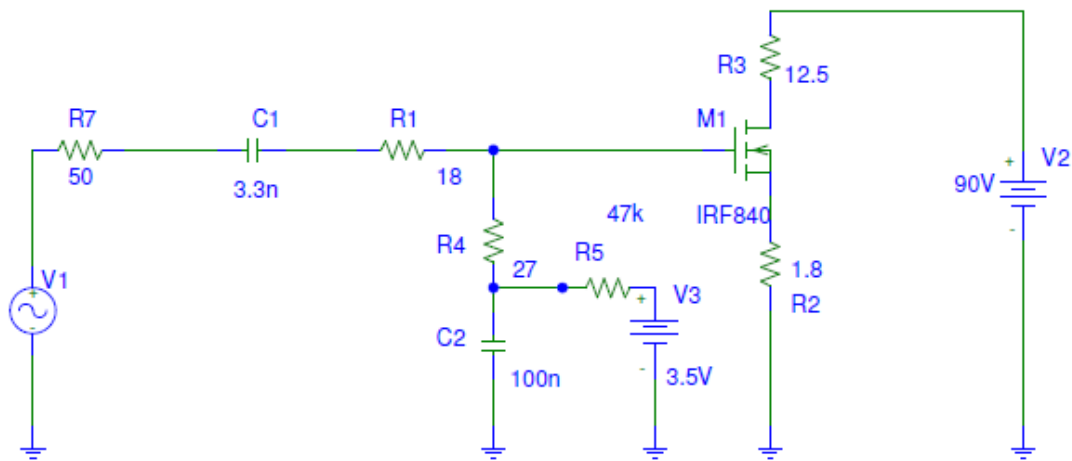


Figura 4: Circuito de entrada del mosfet

En paralelo con la capacidad del mosfet se encuentra R4, de 27 Ohms, para reducir las variaciones de impedancia que se producen con la frecuencia. Otra resistencia que enmascara las variaciones de impedancia es R1, de 18 Ohms. Por último, y no menos importante R2, que es la resistencia de realimentación, también aumenta la resistencia de entrada. Todas deben ser de 3 Watts, pues gran parte de la potencia de entrada se disipa en estas resistencias.

Con estos valores, la impedancia de entrada es de unos 32 Ohms en 7.1MHz, y sube en 1.8MHz ya que C1 está reducido para que la ganancia en 1.8MHz no sea tan alta.

R3 es simplemente para ilustrar el funcionamiento del circuito entre fuente y drenaje, pero no es el circuito de salida que se utilizará.

V3 es la tensión de polarización para que el mosfet funcione con una corriente de reposo, del orden del 10% de la corriente pico.

Si se conectan 5 entradas en paralelo como la del circuito, la entrada tendrá unos 6.4 Ohms, que se pueden adaptar con un transformador 9 a 1. Si en cambio se conectan 3 entradas en paralelo como la del circuito, la entrada tendrá unos 10.7 Ohms, que se pueden adaptar con un transformador 4 a 1.

Variando ligeramente los valores de los componentes se puede lograr una adaptación perfecta, pero siempre la entrada de tensión al mosfet disminuirá a medida que aumenta la frecuencia. Se puede intentar compensar este efecto mediante una o más redes. Una

primera opción es colocar una capacidad en paralelo con R1. Similar efecto se obtiene colocando una capacidad en paralelo con R2. En ambos casos, el valor a colocar deberá presentar una reactancia capacitiva aproximadamente igual al valor de la resistencia en por ejemplo, 10MHz.

Un esquema del funcionamiento tomado de DL9AH, muestra como se puede armar el amplificador. En la entrada, un transformador del tipo líneas de transmisión, transforma los 50 Ohms desbalanceados del coaxil de entrada en dos resistencias en serie de 2.77 Ohms.

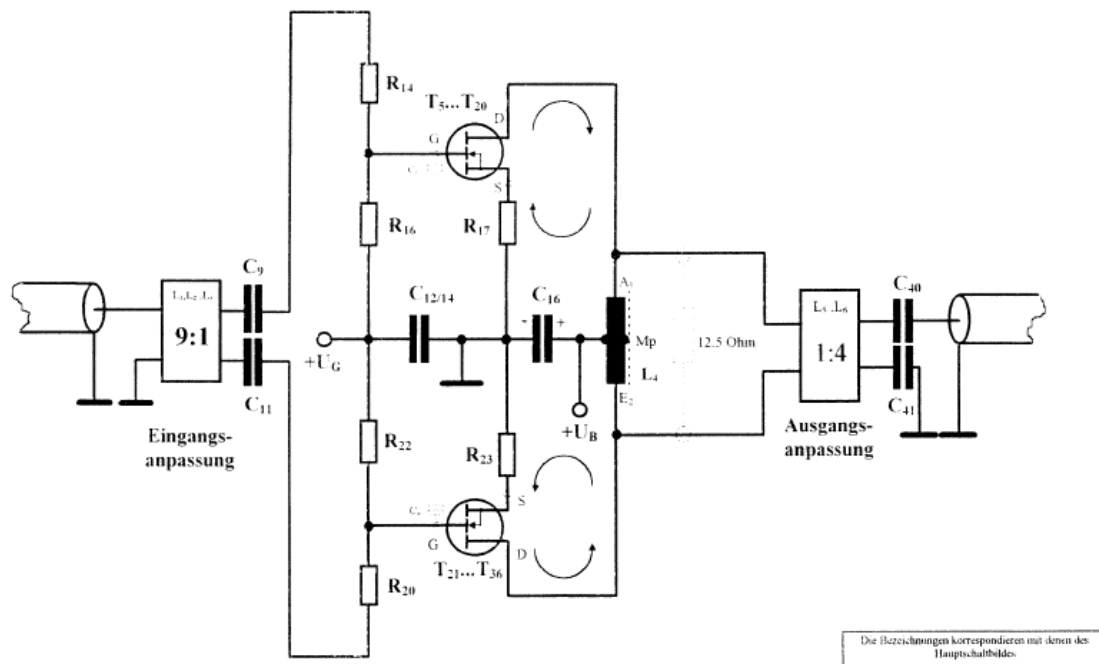


Figura 5: Esquema del amplificador con mosfet

Si por ejemplo, cada rama del push-pull tiene 5 mosfet, cada una de entrada debe presentar una impedancia de 13.88 Ohms, pues al usar un transformador 9 a 1 en el secundario debe haber 50/9 Ohms, que son 5.55 Ohms. La rama superior del push-pull y la rama inferior están en serie, por lo que cada una debe ser de 5.55/2 Ohms. Como hay en cada rama 5 mosfets, cada uno debe tener 5.55/2*5 que son los 13.88 Ohms indicados anteriormente.

Otra posible configuración, por ejemplo, es con un transformador 4 a 1 en la entrada. Cada rama deberá presentar una impedancia de 6.25 Ohms, de modo que puestas en serie y multiplicadas por 4 se obtienen los 50 Ohms necesarios para la adaptación.

En este caso, como se desea utilizar 4 mosfet en cada rama, cada uno debe presentar 6.25*4=25 Ohms. Utilizando R1=4.7 y R4=22 Ohms en la Figura 4, cada uno presentará 25 Ohms.