

Diseño de amplificadores de potencia aplicados a comunicaciones móviles inalámbricas

Catarino Alor Aguilar, David H. Covarrubias Rosales*

Abstract

This work deals with the use of bipolar transistors (BJT) in the design of power amplifiers for mobile communication systems. The linearity and low DC power consumption requirements of amplifiers are analysed in function of the carrier/interference ratio (C/I).

Keywords: Design, power amplifiers, mobile communication systems, BJT.

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de comunicaciones móviles inalámbricas, el parámetro de calidad más importante es la relación Portadora a Interferencia (C/I), en donde el enfoque fundamental en dichos sistemas ha sido controlar el factor de interferencia (ruido térmico más interferencia co-canal y canal adyacente), para cumplir con el valor límite impuesto de 9dB en sistemas digitales. Para el caso del nivel de portadora, que depende del nivel de energía isotrópica radiada de potencia (EIRP), de las ganancias de las antenas (del terminal móvil y de la estación base), y de las pérdidas por propagación, el parámetro a controlar es precisamente el nivel de potencia, buscando desde luego disminuir el nivel de interferencia con otros usuarios, pero fundamentalmente evitar la aparición de los tan temidos productos de intermodulación. En este trabajo nos enfocamos al diseño de la sección de radio frecuencia (RF), de los transreceptores del terminal móvil y estación base con el objetivo de optimizar el funcionamiento global de los sistemas de comunicaciones móviles, a partir del diseño óptimo (mínimo producto de intermodulación de segundo y tercer orden) de la sección de RF más la antena de los transreceptores mencionados tal y como se muestra en la figura 1:

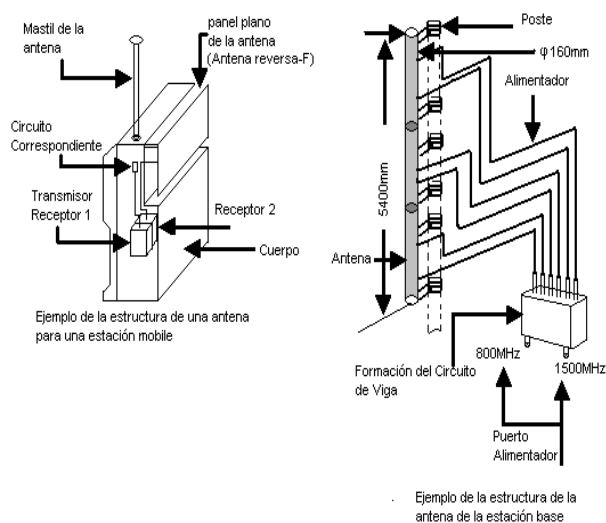


Fig. 1. Diagrama de la sección de RF más la antena en comunicaciones móviles inalámbricas según DoCoMo.

En cualquier sistema de comunicaciones el principal parámetro de calidad es la relación (Portadora /Ruido) C/N en el receptor. Este parámetro define que tanta potencia de la señal se compara con la potencia de ruido presente en el canal. Por lo tanto, C/N se puede considerar como un factor de mérito del sistema de comunicaciones cuya ecuación es la siguiente:

$$\frac{C}{N} = \frac{(ERP)L_p G_r}{N} \quad (1)$$

*

Grupo de Comunicaciones Inalámbricas. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. CICESE. Km.107 CARR. TIJUANA-ENSENADA, B.C. C.P. 22860, México. Teléfono: (6)175-05-55, Fax:(6) 175-05-54. e-mail: (calor, dacoro)@cicese.mx.

Donde: ERP es la potencia radiada efectiva, L_p son las pérdidas por propagación en el canal, G_r es la ganancia de la antena receptora, y N es la potencia efectiva de ruido.

Normalmente el tipo de ruido que se considera es el ruido térmico, el cuál viene dado por:

$$N = kTW \quad (2)$$

Donde: k es la constante de Boltzman, T es la temperatura de ruido del receptor y W es el ancho de banda del sistema.¹

De acuerdo a las expresiones anteriores, se puede determinar que la calidad del enlace es dependiente de los parámetros: ganancias de las antenas Tx y Rx, potencia de transmisión y temperatura de ruido, parámetros todo bajo control de diseño.

El único parámetro fuera de control es el parámetro de propagación o pérdidas por trayectoria. Esta pérdida se refiere a la atenuación que sufre la señal en su ruta entre el Tx y Rx.¹

Tomando en cuenta lo anterior, en este trabajo nos enfocaremos al diseño de la sección de RF de los transreceptores del terminal móvil, con el objetivo de optimizar el funcionamiento global de los sistemas de comunicaciones móviles, a partir del diseño óptimo (mínimo producto de intermodulación de segundo y tercer orden) de la sección de RF más la antena de los transreceptores mencionados.²

2. REQUERIMIENTOS DE LOS DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS DE RF EN EL ESCENARIO DE MÓVILES CELULARES

Las transmisiones de las señales de la etapa de RF a través de los puertos de una antena, ya sea ésta de un teléfono inalámbrico, ó de una estación base, están fundamentalmente limitadas por la distorsión

generada por el amplificador de potencia y la potencia consumida en señal continua (DC). En muchos casos la distorsión puede ser reducida, esto a expensas de incrementar la disipación de potencia en DC. La distorsión en los amplificadores de potencia resulta por lo tanto en una señal espectral muy grande de salida.³

Por lo cual, dentro de los requerimientos para mejorar los sistemas de comunicaciones inalámbricas proponemos hacer una investigación en los siguientes aspectos:

- Reducción en el consumo de potencia de DC para los amplificadores de potencia: Se desarrollarán mejoras en el manejo de la potencia, dándole un enfoque en la linealización de los amplificadores de potencia para las aplicaciones en la telefonía móvil. En esta área de investigación buscaremos mejorar el diseño de los amplificadores de potencia. Específicamente será nuestro propósito desarrollar una alta eficiencia en los amplificadores de potencia, esto es manteniendo siempre una alta linealidad en la caída de la fuente de voltaje de la potencia del móvil, minimizando el consumo de la batería.⁴
- Técnicas de mejoras de linealización: Las comunicaciones móviles celulares, requieren del empleo de técnicas de desarrollo y mejoramiento en la linealización, para el caso de altas potencias, y/o amplificadores de potencias de alta frecuencia. Mediante el empleo de dichas técnicas, se busca mejorar las prestaciones de los amplificadores de potencia en cuanto a la linealidad, del parámetro interferencias, especialmente crítico en ambientes celulares del tipo CDMA, en donde la principal limitación del sistema se debe a las interferencias. El parámetro de

linealidad está muy relacionado con el nivel de potencia de cada usuario móvil.

El estado del arte en los aspectos de nivel portadora a interferencia, como un parámetro de calidad en los sistemas móviles celulares, marca como un punto relevante la importancia que tiene la aplicación de los amplificadores de potencia, medidos en términos de la eficiencia y linealidad. Basándose en los aspectos anteriores buscaremos en nuestros diseños del transceptor móvil tener una mejor linealidad en el amplificador de potencia y una reducción en el consumo de potencia en DC.

Una influencia adicional en la linealidad del amplificador se presenta en la antena del móvil, ya que se crean lóbulos laterales inaceptables y que degradan en gran medida las prestaciones de los transreceptores empleados en las comunicaciones móviles, por lo cual, es necesario minimizar la distorsión de la fase en los amplificadores de potencia.⁴

Las características de los transreceptores de la estación base y terminal móvil se muestran en la figura 2.

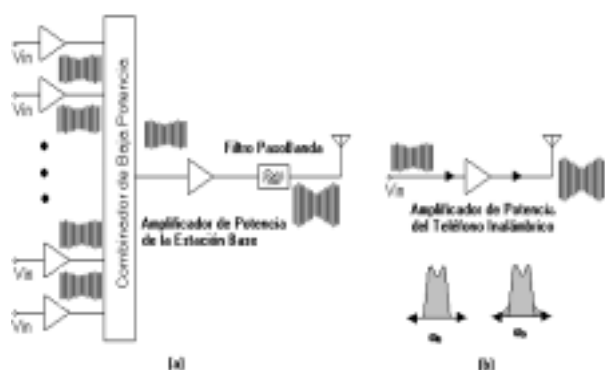


Fig. 2. Amplificadores de potencia para comunicaciones inalámbricas (a) amplificador de potencia de la estación base y (b) amplificador de potencia del teléfono móvil.

De la figura anterior, se puede mencionar que los amplificadores de potencia se caracterizan por tener requerimientos de potencia de salida típicamente de 1w ó menos, pero idealmente requieren una eficiencia de conversión de DC-RF muy alta.⁴

Cuando se considera la potencia de DC, el amplificador de potencia típicamente ocupa entre el 20 y 40% del sistema total, así que obviamente, existe una oportunidad de mejorar el tiempo de vida de la batería, si el consumo del amplificador de potencia puede ser reducido.

La mayoría de los amplificadores de potencia mantienen una disipación de potencia de DC constante, cuando la potencia de salida del amplificador es reducida. De aquí que la eficiencia en promedio en DC del amplificador se vea afectada.

Como se mencionó anteriormente, hay dos parámetros de diseño y desarrollo principales de mucha importancia en los amplificadores de potencia en comunicaciones móviles y estas son: "Mejoras en la linealidad y mejoras en el consumo de potencia de DC".

3. REQUERIMIENTOS DE LINEALIDAD Y DISIPACIÓN DE POTENCIA EN AMPLIFICADORES DE POTENCIA.

Las transmisiones de las señales de RF a través del sistema móvil, están fundamentalmente limitadas por la distorsión generada por el amplificador de potencia y por la potencia de DC consumida por el amplificador. En la mayoría de los casos, la distorsión puede ser reducida, pero solo a expensas de la disipación de la potencia incrementada.³

La distorsión en el amplificador de potencia resulta en una modificación espectral de la señal de

salida y en un incremento en el ancho de banda de la señal. Esto se ilustra en la figura 3.

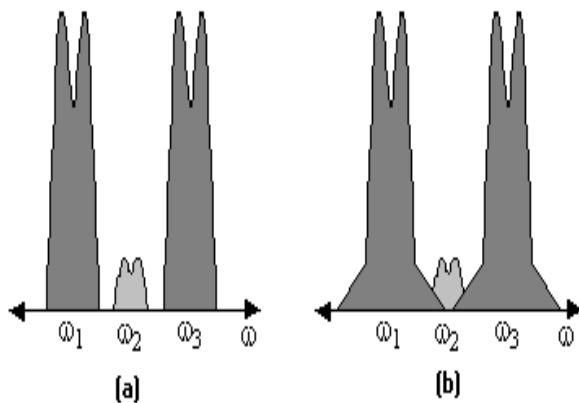


Fig. 3. Modificación de la señal en los amplificadores de potencia inalámbricos (a) caso ideal, y (b) con distorsión.

Este recrecimiento espectral resulta del hecho de que cualquier operación no lineal en una forma de onda conteniendo frecuencias múltiples, crea nuevas frecuencias de las frecuencias originales. Algunos de estas nuevas señales están a frecuencias adyacentes a la señal original, y pueden crear una descomposición significativa de la señal deseada a estas frecuencias llamados productos de intermodulación.⁴

Aunque los amplificadores de potencia crean problemas de distorsión para todos los sistemas de comunicaciones, ésta resulta especialmente crítica en los sistemas de comunicaciones móviles celulares. Esto es debido al hecho de que la potencia recibida por el sistema móvil celular varía sustancialmente en tiempo y frecuencia, debido a la presencia de multitrayectorias, y otras variaciones de efectos de tiempo del orden de milisegundo y del nivel de la señal recibida de 60dB.

Como un resultado, el recrecimiento espectral de una amplitud grande de canal puede alterar la señal deseada en una amplitud en una banda pequeña de una frecuencia adyacente, como se muestra en la figura 4.

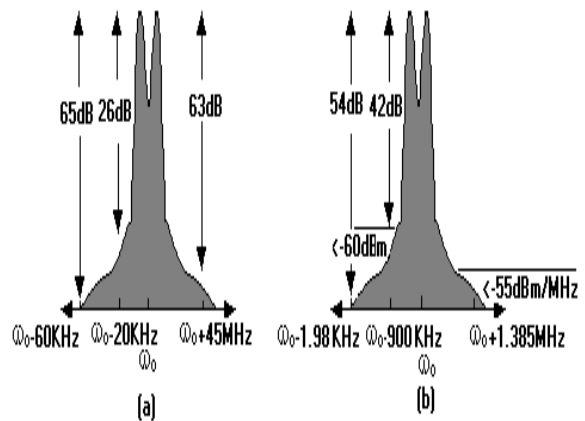


Fig. 4. ACPR para diferentes requerimientos de los estándares de sistemas de comunicaciones inalámbricos (a) AMPS y (b) CDMA IS-95.

El espacio del recrecimiento espectral varía según los estándares de las comunicaciones inalámbricas y es una función compleja del formato del espaciamiento de la modulación del canal del entorno del medio ambiente. Como un ejemplo, los requerimientos de Ajuste de Potencia de Rechazo de Canal (ACPR), son medidos en el recrecimiento espectral, esto es mostrado en la figura 4 para varios estándares de comunicaciones inalámbricas. Por ejemplo el estándar doméstico análogo (AMPS) en los Estados Unidos utilizan un esquema de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), con una única frecuencia alojada en cada usuario durante periodos activos. El espaciamiento entre los canales es de 30KHz, así el amplificador de

potencia tiene que tener suficiente espectros pequeños, esto con una portadora de frecuencia de aproximadamente de 850MHz. En particular, el estándar AMPS especifica que el recrecimiento espectral, debe de ser menos de 26dBc a frecuencia de solo 20KHz aislado de la frecuencia deseada. Para obtener esto el amplificador de potencia tiene que ser muy lineal.⁴

Similarmente, el estándar digital CDMA IS-95 CDMA multicanaliza a muchos usuarios diferentes en una sola señal de ancho de banda de 1.25MHZ, pero esta señal debe co-existir con portadores adyacentes analógicos así como con otras señales CDMA pero a diferentes frecuencias de portadoras.

En este caso, los requerimientos de la linealidad deben de ser más rígidos, como se muestra en la figura 4(b), dado que el espacio del ancho de banda de la señal modulada lleva los productos de distorsión, aunque espacios remanentes de los canales son casi mínimos en el espacio del ancho de banda.

En este caso, la especificación requiere que el recrecimiento espectral debe de ser menos de 42dB por debajo de la portadora de la frecuencia más grande que está entre 900KHz y 1.98MHz lejos de la frecuencia portadora, y menos de 54dB por debajo de la frecuencia portadora más grande que es de 1.98MHz.

Al mismo tiempo que el amplificador de potencia debe de mantener un alto grado de linealidad, también debe de haber una reducción en la magnitud del consumo de la energía. Un factor importante en esto es la reducción en el voltaje de la batería, desde 7V a 3V.⁴

4.-DISEÑO DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.

El objetivo de mejorar las prestaciones en el amplificador de potencia, se refleja directamente en una mejora en nuestra relación C/I. Particularmente en el parámetro de la portadora.

De allí la importancia de obtener un buen diseño del amplificador de potencia y de la antena para el terminal móvil.⁴

Nuestro diseño del amplificador de potencia para el sistema CDMA consideró las siguientes especificaciones:

- Tipo de amplificador.- Amplificador de potencia. (Clase AB).
- Nivel de Portadora máxima.-9dB.
- Intervalo de frecuencia.- de 900MHZ a 1900MHZ.
- Linealidad.-ACPR<-42dBc a 900KHz offset y ACPR<-54dBc a 1980MHZ.
- Frecuencia Portadora.-1.25MHZ.
- Tipo de Transistor.- BJT.
- Ganancia de Potencia.- >20dB.
- Potencia de Eficiencia Agregada.- 30% a la máxima potencia de salida.
- Máxima Potencia de Salida.- 28dB.
- Potencia de Ajuste (Limite de distorsión).- (-42dBc) al nivel de compresión de 1dB.

Con las especificaciones anteriores y como parte del diseño del amplificador de potencia, se utilizó el programa MMICAD para obtener la respuesta de linealidad, factor de ruido, ROE, entre otros parámetros del amplificador en todo el ancho de banda; tal y como se muestra en la figura 5.

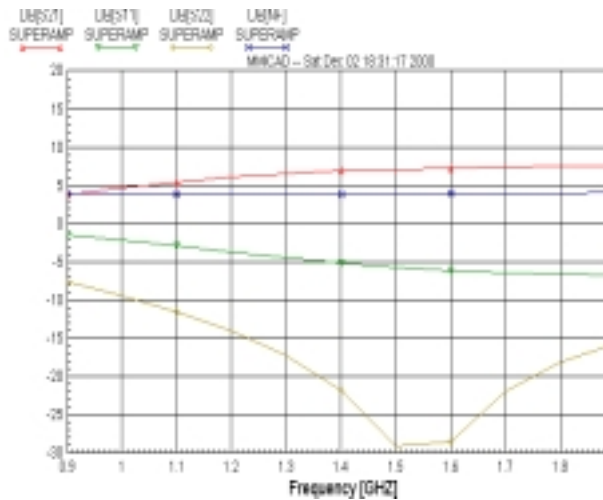


Fig. 5. Resultados del diseño del amplificador de Potencia utilizando MMICAD.

De la figura anterior podemos concluir que el diseño del amplificador de potencia para un sistema CDMA cumple adecuadamente las especificaciones de linealidad en todo el ancho de banda de 800 a 1900MHz, así como otros parámetros importantes del dispositivo tales como ROE, factor de ruido entre otros (tabla I).

! MMICAD VERSION 2 Sat Dec 02 18:31:55 2000 ! FRAME: GRAPH1

! TITLE: :9-1.9 GHz ideal Amplifier Design

! Freq	DB[S21]	DB[S11]	DB[S22]	DB[NF]
! GHz	SUPERAMP	SUPERAMP	SUPERAMP	SUPERAMP
0.900	3.76438	-1.49351	-7.55391	3.94975
1.000	4.63982	-2.13162	-9.39118	3.92466
1.100	5.42854	-2.87045	-11.5070	3.89683
1.200	6.06806	-3.66257	-14.0330	3.87861
1.300	6.55429	-4.44475	-17.2422	3.87406
1.400	6.90716	-5.15258	-21.7795	3.88354
1.500	7.15356	-5.73630	-29.1344	3.90586
1.600	7.31917	-6.17132	-28.4368	3.93929
1.700	7.42532	-6.45923	-21.9661	3.98204
1.800	7.48838	-6.62034	-18.1696	4.03241
1.900	7.52043	-6.68309	-15.6189	4.08888

Tabla I.- Resultados del diseño del amplificador de potencia empleando el programa MMICAD.

Finalmente, y como resultado del proceso de diseño, la figura 6 muestra el arreglo topológico del amplificador de potencia para el terminal móvil en un sistema CDMA.

El procedimiento seguido en el caso anterior viene a confirmar nuestra premisa de proponer una metodología simple de diseño de amplificadores de potencia aplicados a sistemas móviles celulares desde el punto de vista del terminal móvil, o bien de la estación base.

Este procedimiento lo podemos aplicar a sistemas analógicos, sistemas digitales de banda estrecha o de banda ancha, en cualquiera de los casos, posterior al diseño del amplificador se efectúa una etapa de optimización de los parámetros del mismo con la idea de cumplir los requerimientos del nivel de C/I establecidos.

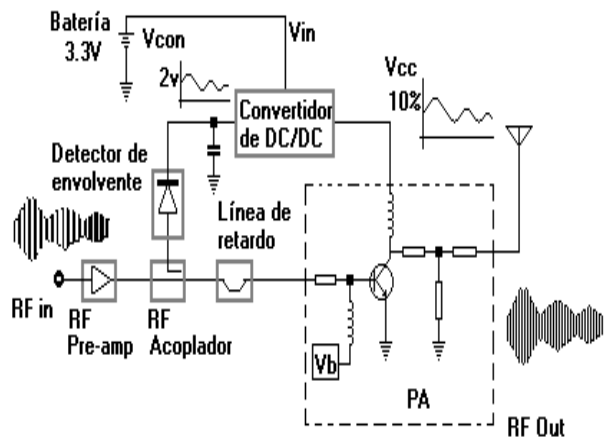


Fig. 6. Arquitectura del amplificador de potencia del terminal móvil para un sistema CDMA.

5.-CONCLUSIONES.

En este trabajo nos hemos enfocado al diseño de la sección de RF de los transreceptores del terminal móvil, con el objetivo de optimizar el funcionamiento global de los sistemas de comunicaciones móviles, a partir del diseño óptimo (mínimo producto de intermodulación de segundo y tercer orden) de la sección de RF más la antena de los transreceptores mencionados.

Hemos presentado una metodología de diseño aplicada a amplificadores de potencia utilizados en los sistemas de segunda, segunda plus y tercera generación de sistemas de comunicaciones móviles celulares.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

1. David H Covarrubias. Notas del curso de maestría Comunicaciones Móviles Celulares. CICESE. Octubre del 2000.
2. Jakes William. Microwave Mobile Communications, IEEE Press-IEEE Communications Society, first edition, U.S.A. 1994, pp. 79-131.
3. Rappaport Theodore S. Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall PTR, first edition, U.S.A. 1996, pp. 116-119.
4. Peter Asbeck. Linear Power Amplifiers, Press-IEEE Press, U.S.A. UCSD. 1999.