Estudio y Diseño de Moduladores y Demoduladores Integrados para Comunicaciones Inalámbricas en la Tecnología SiGe 0.35µm de AMS

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

Titulación: Sistemas de Telecomunicación
Tutores: Francisco Javier del Pino Suárez
Amaya Goñi Iturri

Autor: Cristóbal Guedes Suárez
Fecha: Diciembre 2004

Introducción

Revolución Inalámbrica

Tecnología

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Objetivos

- Estudiar las modulaciones digitales con sus respectivos moduladores y demoduladores
- Diseñar un modulador y demodulador teniendo en cuenta un modelo de referencia del *software* ADS
- Verificar el funcionamiento conjunto de ambos dispositivos en el sistema de comunicaciones QPSK

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Modulaciones Digitales

- Modulación/Demodulación

  Traslación espectral de una señal con una frecuencia determinada a otra distinta

  - Señal en Banda Base
  - Señal Paso Banda

¿Por qué? Dimensiones de la antena

Canalización de las señales

Modulaciones Digitales

- Parámetros de la señal digital modulada
  - Probailidad de Error (Pe ó BER)

$$P_e = BER = \frac{n^o \text{ de bits erróneos}}{n^o \text{ de bits emitidos}}$$

Modulaciones Digitales

- Diagrama de ojo

Modulaciones Digitales

- Clasificación de las modulaciones
  - Amplitud
    - ASK

  - Fase
    - BPSK
    - DBPSK
    - QPSK
    - OQPSK
    - PSK
    - MPSK

  - Frecuencia
    - FSK
    - MSK
    - GMSK
    - π/4-DQPSK
    - FQPSK

  - Mixtas
    - QAM
    - APSK

Modulaciones Digitales

- **Modulación QPSK**

La señal queda descrita por:

$$S(t) = A \cdot \cos\left[\omega_{RF} t + \varphi_i(t)\right]$$

donde $\varphi_i(t) = \frac{\pi}{4}(2i+1)$ i=0,1,2,3.

- **Constelación**

$$S(t) = \frac{1}{2}\left[\underbrace{(I+jQ)}_{\sqrt{I^2+Q^2}e^{j\varphi}} e^{j\omega_{RF}t} + \underbrace{(I+jQ)}_{\sqrt{I^2+Q^2}e^{-j\varphi}} e^{-j\omega_{RF}t}\right]$$

Arreglando un poco

$$S(t) = \underbrace{\sqrt{I^2+Q^2}}_{A} \cdot \left[\frac{e^{j(\omega_{RF}t+\varphi)} - e^{-j(\omega_{RF}t+\varphi)}}{j2}\right]$$

donde $\varphi = tg^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right)$

Modulaciones Digitales

- Señal QPSK

Crecimiento Espectral

- Demodulador

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Manejo de ADS

- ***Software* ADS (*Advanced Design System*)**

Simuladores	Descripción
Ruido	Estima la NF de redes lineales y no lineales
Simulación Envolvente	Mide la respuesta de redes no lineales con entrada moduladas
Análisis en modo mixto	Simulación de componentes analógicos y digitales
Rendimiento	Calcula el rendimiento del circuito a partir de las tolerancias de los componentes

Manejo de ADS

- Balance Armónico
  - Estudios de estabilidad
  - Análisis de circuitos no lineales (mezcladores)

Eficiencia

Papel del diseñador

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Estudio Sistema QPSK

- Descripción del Sistema QPSK

Señal filtrada y amplificada

Estudio Sistema QPSK

- **Filtros**

Sin Filtro

Con Filtro

Estudio Sistema QPSK

- Filtros

Estudio Sistema QPSK

- **Filtros**

Estudio Sistema QPSK

- Amplificadores

Lineal

No Lineal → Crecimiento Espectral

Estudio Sistema QPSK

- Modulad

Estudio Sistema QPSK

- Demodul

Estudio Sistema QPSK

- **Desfasador**

Red RC-CR

Pérdidas

$$\omega = 2\pi f = \frac{1}{RC} \quad \left\{ \begin{array}{c} fijando\ R = 100\Omega \\ \Downarrow \\ C = 0.8\,pF \end{array} \right.$$

Estudio Sistema QPSK

Acoplador Wilkinson

$$R_1 = R_2 = Z_0 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow R_1 = R_2 = 70.7\Omega$$

$$R_3 = 2 \cdot Z_0 \Rightarrow R_3 = 100\Omega$$

Parámetros S

Parámetros acoplador Wilkinson	
Parámetros	*Valor*
S_{13} y S_{31}	0.453
S_{23} y S_{32}	0.453
S_{11}	0.143
S_{22}	0.143
S_{33}	0.094

Circuito simétrico y recíproco

Estudio Sistema QPSK

- Balance del Sistema QPSK

Estudio de potencias del sistema (dBm)

Estudio Sistema QPSK

- Balance de potencias del *up-converter*

Ganancia del Mezclador

$$P_{Salida\ Modulador} - G_{Wilkinson} - P_{Canal\ I}$$

$$-47\ dBm\ -(-6.87\ dB) - (-52\ dBm)$$

$$= 11.87\ dB$$

Estudio Sistema QPSK

- Balance de potencias del *down-converter*

Ganancia del Mezclador

$$P_{Salida\ mezclador} - P_{Entrada\ mezclador}$$

$$-39\ dBm \quad -53.87\ dBm$$

$$= 14.87\ dB$$

Estudio Sistema QPSK

Especificaciones de los mezcladores

Especificaciones de los Mezcladores				
Parámetro		*Up-converter*	*Down-converter*	*Unidades*
Ganancia de conversión		**11.87**	**14.87**	**dB**
IP3 referido a la entrada de RF		**-21.26**	**-10**	**dBm**
Figura de ruido SSB		**19**	**19**	**dB**
Potencia consumida		**21**	**32**	**mW**
Tensión de alimentación		**5**	**5**	**V**
Frecuencias	**RF**	**32**	**2.032**	**GHz**
	OL	**2**	**2**	**GHz**
	FI	**2.032**	**32**	**MHz**

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Estudio del Mezclador

- La función del mezclador es trasladar espectralmente una señal en una banda a otra sin introducir cambios en la señal

Estudio del Mezclador

- Parámetros del mezclador
  - Ganancia de conversión
  - Figura de ruido
  - Aislamiento
  - Rango Dinámico
  - Punto de intercepción de tercer orden

Estudio del Mezclador

- Tipos de mezcladores
  - Pasivos (Gc<1)

    Introducen Pérdidas

    Presentan buena linealidad

Estudio del Mezclador

- Activos (Gc>1)

Introducen Ganancia

Linealidad aceptable

Doblemente Balanceado

Estudio del Mezclador

- Funcionamiento de la Célula de Gilbert

$$V_{RF}(t)\times V_{OL}(t)=\cos(\omega_{RF}t)\times\frac{1}{2}+\frac{2}{\pi}\left[\cos(\omega_{OL}t)+\frac{1}{3}\cos(3\omega_{OL}t)+\frac{1}{3}\cos(5\omega_{OL}t)+\ldots\right]$$

$$=\frac{1}{2}\cos(\omega_{RF}t)+\frac{2}{\pi}\{\underbrace{\cos[\omega_{OL}-\omega_{RF}](t)}_{\textit{Down-conversion}}+\underbrace{\cos[\omega_{OL}+\omega_{RF}](t)}_{\textit{Up-conversion}}+\ldots\}$$

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Diseño de los Mezcladores

- Esquema de diseño

Cálculos Teóricos

Simulaciones a nivel esquemático ADS

- Polarización
- Adaptación de Impedancias
- Ganancia de Conversión
- Linealidad
- Figura de Ruido
- Dimensionado de los transistores

Diseño de los Mezcladores

- **Polarización**

  Análisis de continua o DC

  - **Estudio del Transistor**

Diseño de los Mezcladores

- Polarización de las entradas

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{C(1-4)}}{I_{EE}} = \frac{5V - 3.8V}{600\mu A} = 2k\Omega$$

Diseño de los Mezcladores

- **Espejo de corriente**

  Formado por MOSFETs

  Regulación de la corriente mediante las dimensiones

$$I_{\text{Ref}} = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R_{fuente}} = \frac{5 - 2.58}{20k\Omega} = 121\mu A$$

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = \frac{(W/L)_1}{(W/L)_2} = N$$

Espejo de corriente		
Transistor	*W*	*L*
Q_1	0.4µm	0.4µm
Q_2, Q_3	3µm	0.4µm
Q_4, Q_5	2.6µm	0.4µm

Diseño de los Mezcladores

- **Adaptación**

  El objetivo conseguir máxima transferencia de energía

  Se consigue insertando una red adaptadora a la Z_0 (50Ω)

  Se mide mediante los parámetros S

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

$$S_{11}(dB) = 20 \cdot \log|S_{11}|$$

La entrada queda adaptada si $Z_{in}=Z_0=50\Omega \Rightarrow S_{11}=0$

Diseño de los Mezcladores

- Adaptación de las entradas

Diseño de los Mezcladores

- **Adaptación de la salida**

  Buffer con configuración en seguidor de emisor

  Elección por sus características de impedancia

Diseño de los Mezcladores

- Coeficientes de onda estacionaria (VSWR)
  - Salidas

Diseño de los Mezcladores

- Diseño del mezclador de *up conversion*

R_C

Diseño de los Mezcladores

- Linealidad

Aumento de la linealidad

Disminución de la ganancia

$$\frac{V_{od}}{V_{id}} = -\frac{R_C}{R_E}$$

Diseño de los Mezcladores

- Aumento de la linealidad con la R_E R_E

Diseño de los Mezcladores

- Figura de ruido

  Dos tipos de ruido

  - Ruido Térmico o Johnson. Agitación térmica de los portadores de un conductor o semiconductor, está presente en todo componente que afrezca una resistencia a la corriente

  - Ruido Shot. Asociado al mecanismo físico de salto de una barrera potencial

Ambos tienen dependencia con el BW

Diseño de los Mezcladores

- Figura de ruido frente a I_{EE} y R_E

Diseño de los Mezcladores

- Reducción de la NF mediante degeneración inductiva

Diseño de los Mezcladores

- Comparación de especificaciones

Especificaciones up-converter			
Parámetro	*Requeridas*	*Obtenidas*	*Unidades*
Ganancia de conversión	**11.87**	**12.5**	**dB**
IIP3	**-21.26**	**-15**	**dBm**
Figura de ruido	**19**	**15.2**	**dB**
Potencia consumida	**21**	**16.65**	**mW**

Optim… …ores

IP3input
AreaVar
AreaDif=1.000
AreaDif=3.000
AreaDif=5.000
AreaDif=7.000
AreaDif=9.000
AreaDif=11.000
AreaDif=13.000

Diseño de los Mezcladores

- Diseño del mezclador de *Down-conversion*

  La estructura es la misma

  Diferencia en la distribución de frecuencias

Diseño de los Mezcladores

- Comparación de especificaciones

Especificaciones down-converter			
Parámetro	*Requeridas*	*Obtenidas*	*Unidades*
Ganancia de conversión	**14.87**	**15.71**	**dB**
IIP3	**-10**	**-4.2**	**dBm**
Figura de ruido	**19**	**15.6**	**dB**
Potencia consumida	**32**	**16.5**	**mW**

Diseño de los Mezcladores

Simulación de esquinas

Up-converter

Parámetros	Gummel-Poon			VBIC		
	Tm	Hs	Hb	Tm	Hs	Hb
Ganancia(dB)	12.5	14.9	9.5	14.2	16.2	11.5
IIP3 (dBm)	-15.3	-17.5	-12.3	-16.5	-18.4	-13.8
NF SSB (dB)	15.2	13.9	16.2	15.1	14.1	16.1

Down-converter

Parámetros	Gummel-Poon			VBIC		
	Tm	Hs	Hb	Tm	Hs	Hb
Ganancia(dB)	15.71	14	12.2	13	13.56	11.8
IIP3 (dBm)	-4.2	-5.2	-4.1	-4.4	-5.1	-3.2
NF SSB (dB)	15.55	14.5	16.6	15.5	14.5	16.5

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Simulaciones del Sistema Diseñado

Introducimos el modulador y demodulador diseñados en el sistema de comunicación, para obtener la curva de la BER y los diagramas de ojo

1. Configuración del modelo de sistema de comunicaciones
2. Modelado del ruido del sistema
3. Configuración de las simulaciones de la BER
4. Evaluación de los resultados

Simulaciones del Sistema Diseñado

- Configuración del sistema de comuncicación

Simulaciones del Sistema Diseñado

- Modelado del ruido en el sistema

Simulaciones del Sistema Diseñado

- Ruido Gausiano

- Señal más ruido Gausiano

Simulaciones del Sistema Diseñado

- **Densidades espectrales de ruido**

$$Noise_Power_Total_{dBm} = 10\log\left(\int_{-35}^{29} NoisePowerSpecDens(x)\,dx\right) + 30$$

$$Noise_Power_Total_{dBm} = -82.74\,dBm$$

Simulaciones del Sistema Diseñado

- Evaluación de los resultados
  - BER

  - Diagrama de ojo

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Conclusiones

- Comparación con otros mezcladores

Down-converter				
Parámetro	*Este Proyecto SiGe 0.35µm*	*[38] 0.35µm CMOS*	*[39] 0.35µm CMOS*	*Unidades*
Ganancia de conversión	**15.71**	**13**	**10.4**	**dB**
IIP3	**-4.85**	**-10.6**	**-6**	**dBm**
Figura de ruido SSB	**15.6**	**-**	**-**	**dB**
Potencia consumida	**16.65**	**5.67**	**15.6**	**mW**
Tensión de alimentación	**5**	**3.3**	**3.0**	**V**

Conclusiones

- Comparación de la BER

Sistema Diseñado

Sistema Original

Conclusiones

- La tecnología SiGe 0.35 μm es válida para el diseño de moduladores y demoduladores
- Los objetivos planteados inicialmente se han logrado de forma satisfactoria
- Este trabajo tiene continuidad en aspectos como:
  - La realización del Layout
  - Integración de baluns (con elementos pasivos como activos)
  - Estudio de otras alternativas de mezclador

Índice

BLOQUE I
- Introducción
- Objetivos
- Modulaciones Digitales
- Manejo de ADS

BLOQUE II
- Estudio del Sistema QPSK
- Mezclador de frecuencias
- Diseño de los mezcladores
- Simulaciones del sistema diseñado

BLOQUE III
- Conclusiones
- Presupuesto

Presupuesto

Costes	Total (euros)
Costes de herramientas software	34.83
Costes de equipos informáticos	142.19
Costes de recursos humanos	48587.50
Otros costes	372.50
Subtotal	49137.02
IGIC(5%)	2456.85
PRESUPUESTO TOTAL	51593.87 €

Estudio y Diseño de Moduladores y Demoduladores Integrados para Comunicaciones Inalámbricas en la Tecnología SiGe 0.35μm de AMS

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

Titulación: Sistemas de Telecomunicación
Tutores: Francisco Javier del Pino Suárez
Amaya Goñi Iturri

Autor: Cristóbal Guedes Suárez
Fecha: Noviembre 2004