

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/38183269>

Diseño de un filtro polifásico activo en tecnología SiGe 0.35 μm para un receptor basado en el estándar IEEE 802.11a

Article · November 2006

Source: OAI

CITATIONS

0

READS

166

3 authors, including:



Javier Del Pino

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

159 PUBLICATIONS 128 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



S. L. Khemchandani

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

91 PUBLICATIONS 65 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Project Diseño de circuitos de COMunicaciones para alta RADiación ambiental (ComRad) [View project](#)



Project Medición de la oxigenación en tejidos in vivo mediante reflexión óptica difusa [View project](#)

DISEÑO DE UN FILTRO POLIFÁSICO
ACTIVO EN TECNOLOGÍA SiGe 0.35 μ m
PARA UN RECEPTOR BASADO EN EL
ESTÁNDAR IEEE 802.11a

Autor: D. Tamara Delgado Alemán

Titulación: Sistemas Electrónicos

Tutores: Francisco Javier del Pino Suárez

Sunil Lalchand Khemchandani



Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

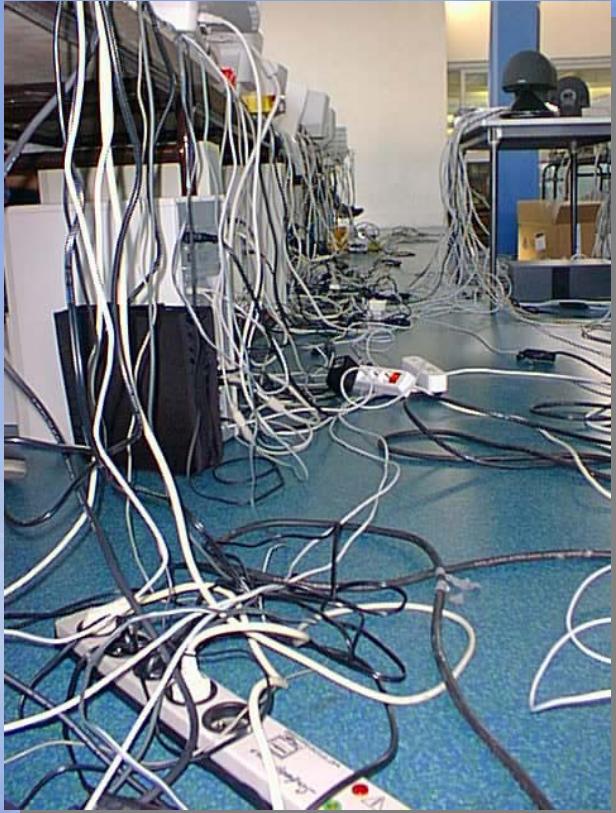
Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Introducción



Ventajas {

- Movilidad**
- Instalación rápida y sencilla**
- Coste reducido**
- Escalabilidad**

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

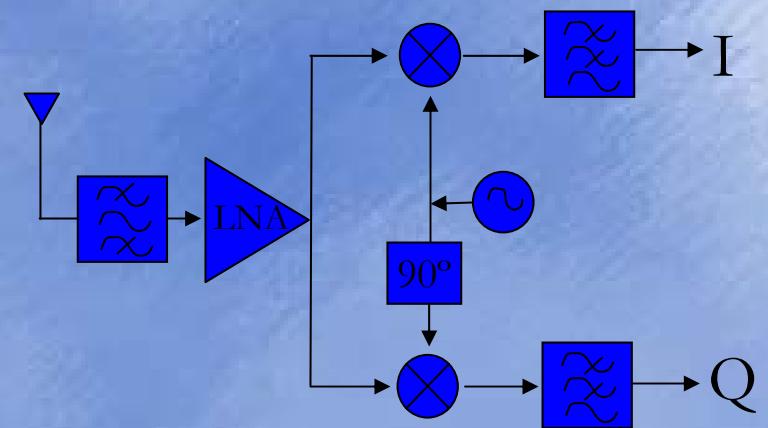
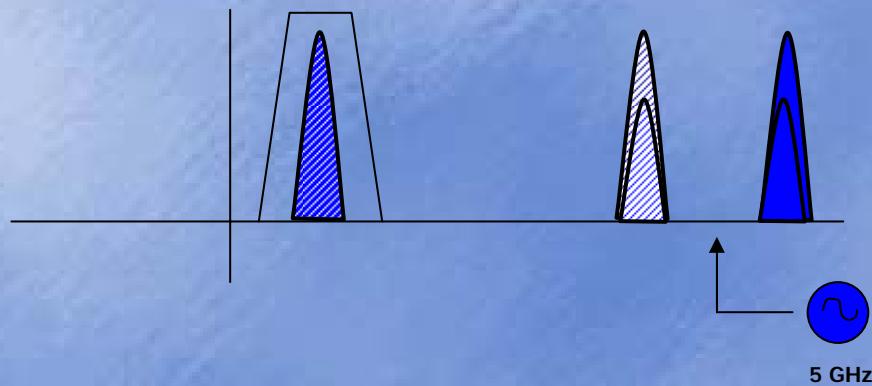
Conclusiones

Presupuesto

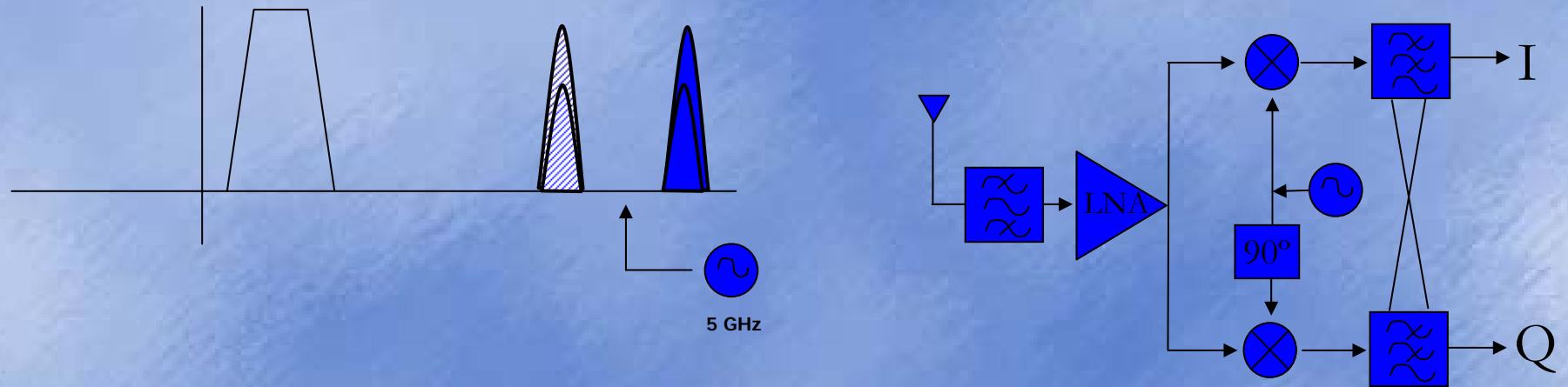
Receptor de WLAN

Estándar 802.11a

Velocidad máxima: 54Mbps
Modulación: OFDM
Ancho de banda del canal: 20MHz
Frecuencia: 5GHz



Receptor de WLAN



Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Objetivos

Especificaciones del filtro polifásico integrado paso banda

Parámetros	Especificaciones
Tipo de filtro	Butterworth
Frecuencia central	20MHz
Ancho de banda	20MHz
Rechazo de banda	-30dB

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

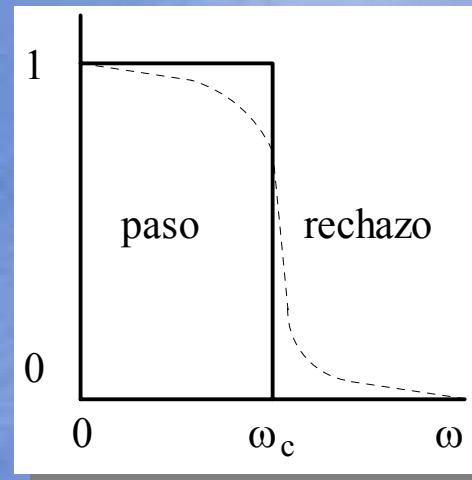
BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Teoría general sobre filtros

¿Qué es un filtro?



Clasificación de los filtros

- Según la función que desempeñan
- Según los componentes que lo forman

Teoría general sobre filtros

- Según la función que desempeñan pueden ser del tipo:

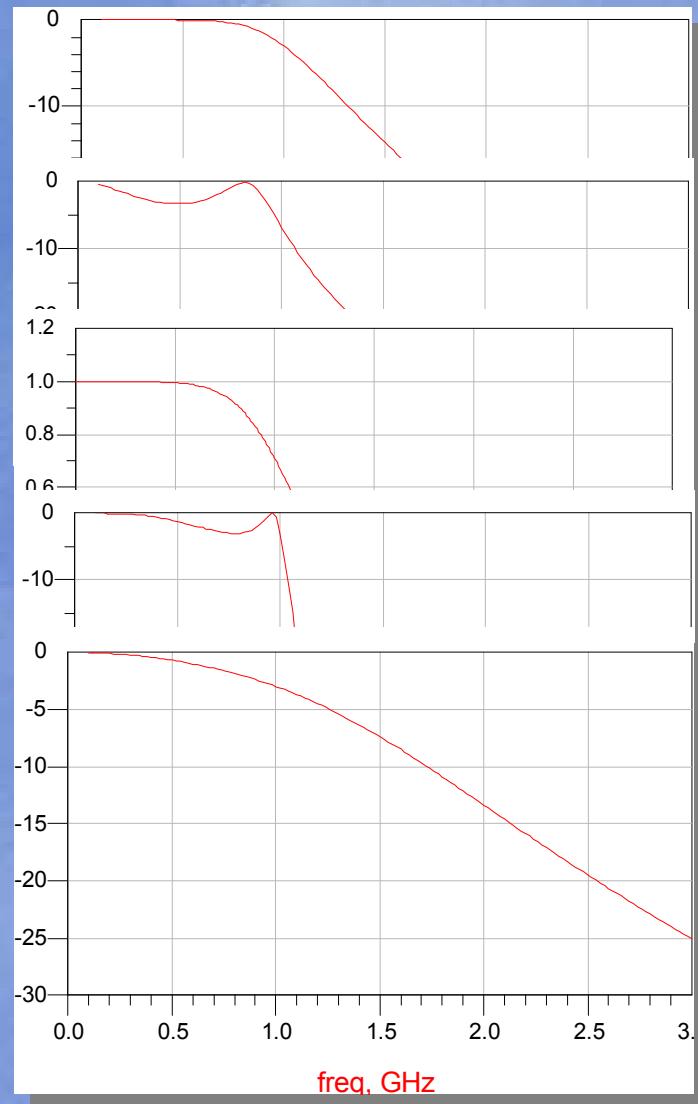
Butterworth

Chebyshev

Chebyshev inverso

Elíptico o de Cauer

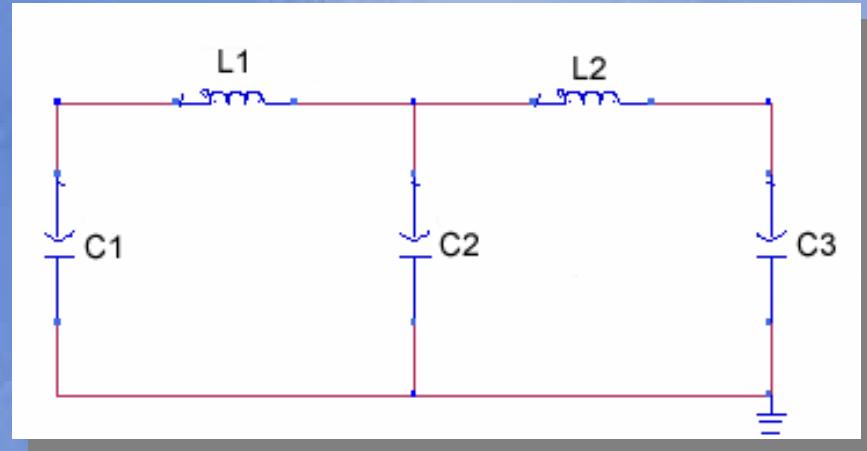
Bessel-Thomson



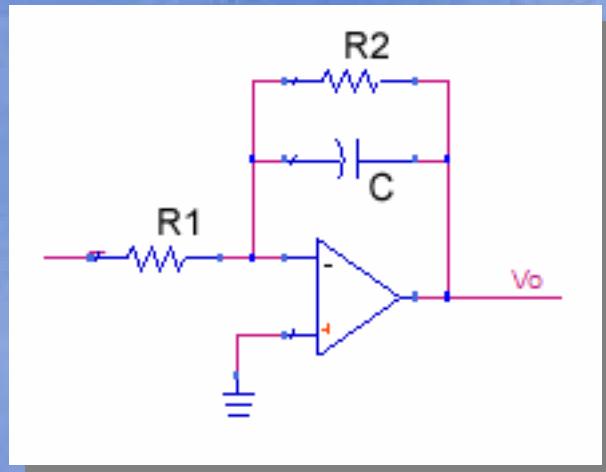
Teoría general sobre filtros

- Según los componentes que lo forman:

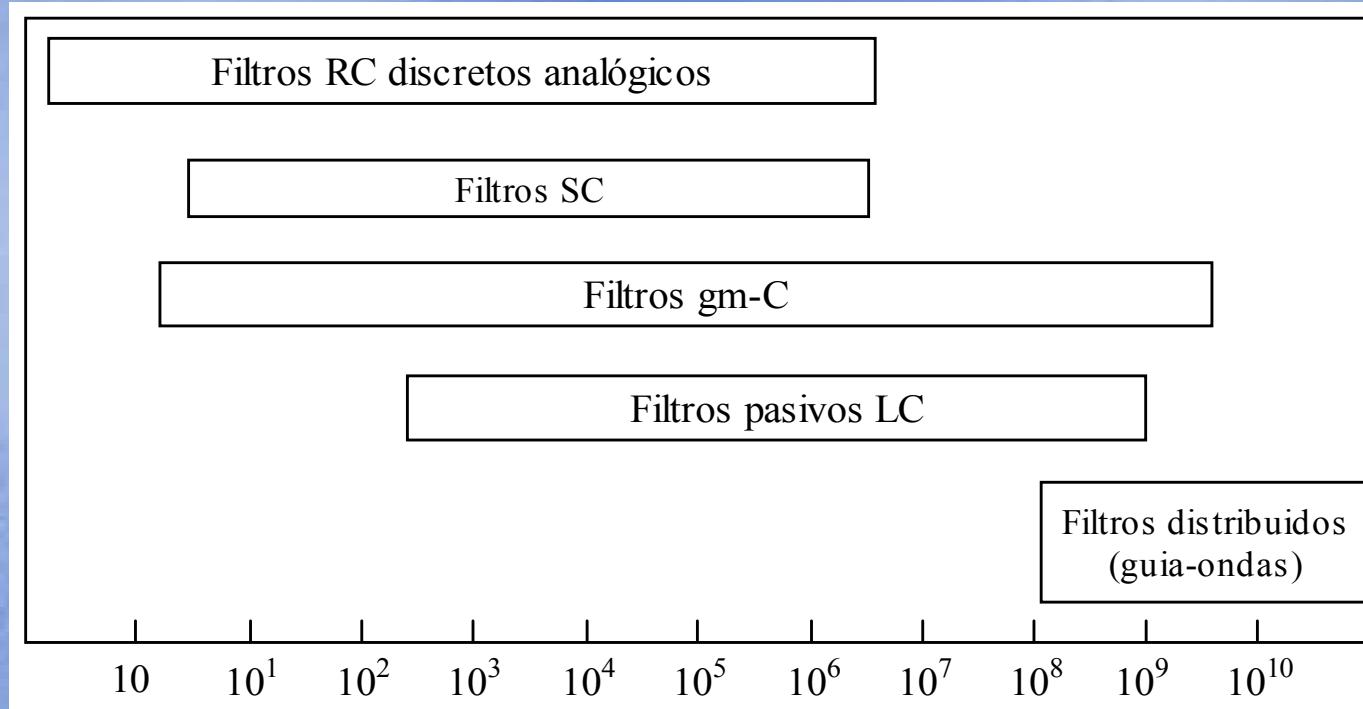
Pasivos (Ladder): Formado por componentes pasivos (R, L, C)



Activos: Uno o más componentes que lo forman son activos (OA, OTA)



Teoría general sobre filtros



Los filtros gm-C son el método más conveniente para el diseño de filtros de frecuencias intermedias (FI)

Teoría general sobre filtros

- Efectos de segundo orden

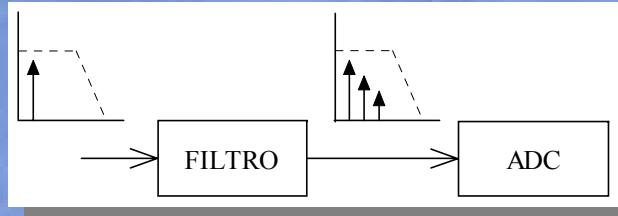
• **DC-Offset:** Puede corromper las señales y saturar las etapas siguientes. Se puede compensar en caso necesario y afecta más a los filtros paso bajo.

• **Ruido:** Es introducido por los circuitos semiconductores. Generalmente se aloja en la banda de paso de un filtro activo, aunque no suele ser significativo (pW)

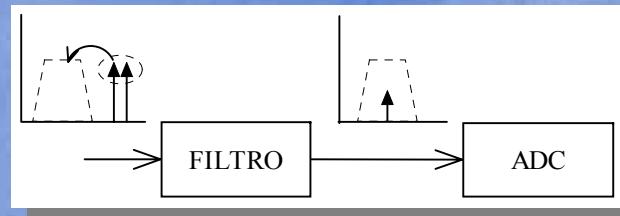
Teoría general sobre filtros

- Efectos de segundo orden

- **Distorsión:** Si los filtros presentan no linealidades, a la salida aparecerán componentes armónicas no deseadas que se convierten en señal:
 - Para los filtros paso bajo se medirá mediante el parámetro THD:



- Para los filtros paso banda con el IP3:



Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor de Nauta

Filtros polifásicos

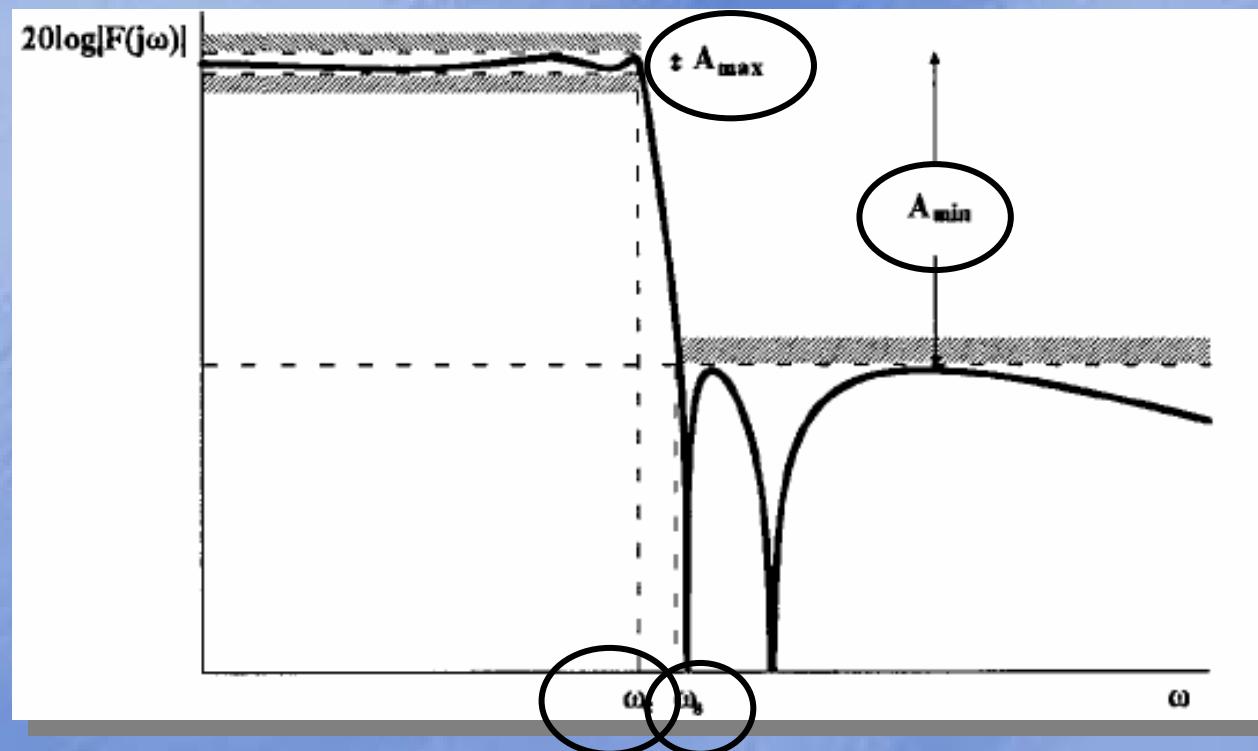
BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

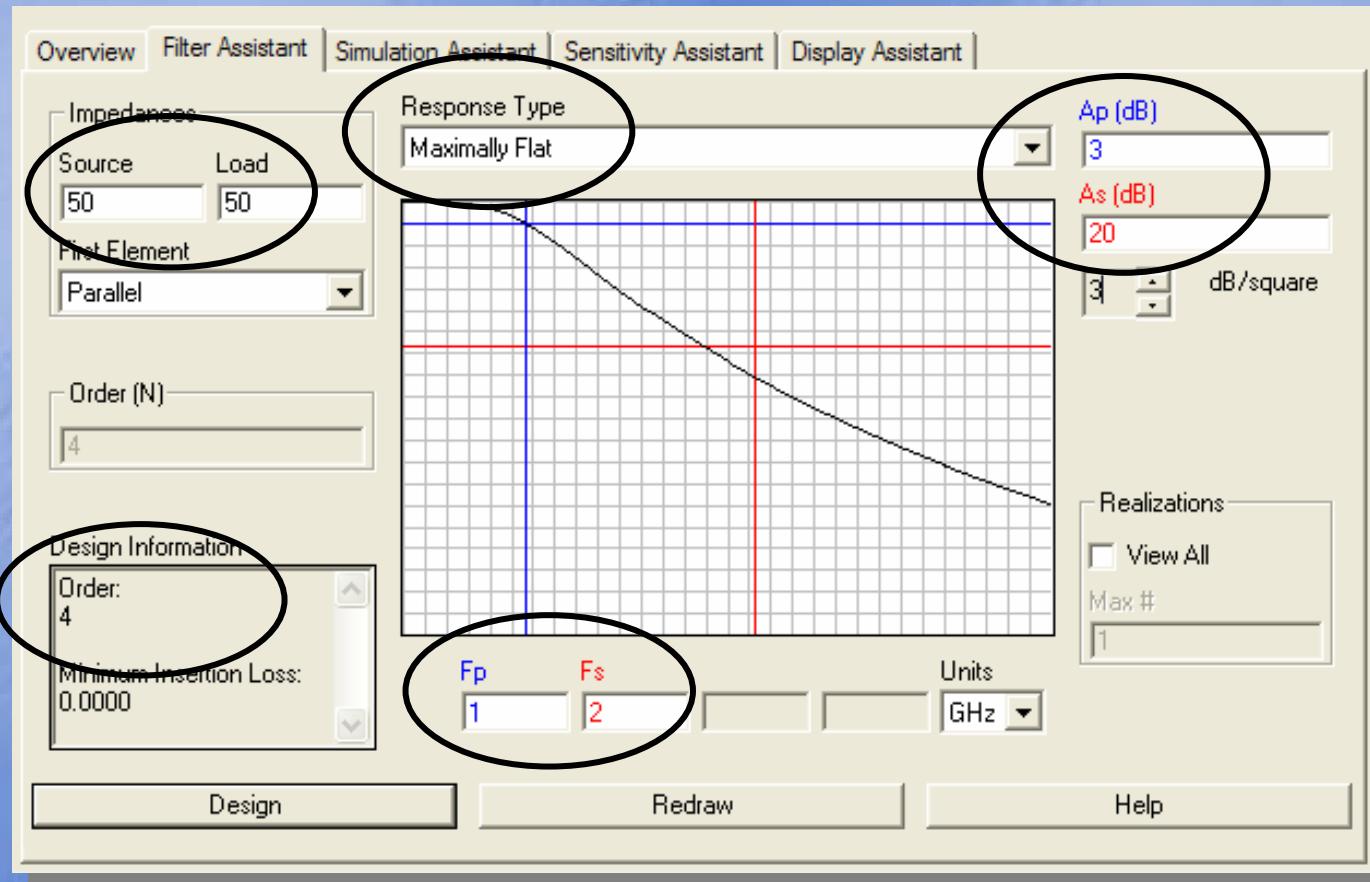
Diseño de filtros pasivos

- Es necesario conocer las especificaciones del filtro:



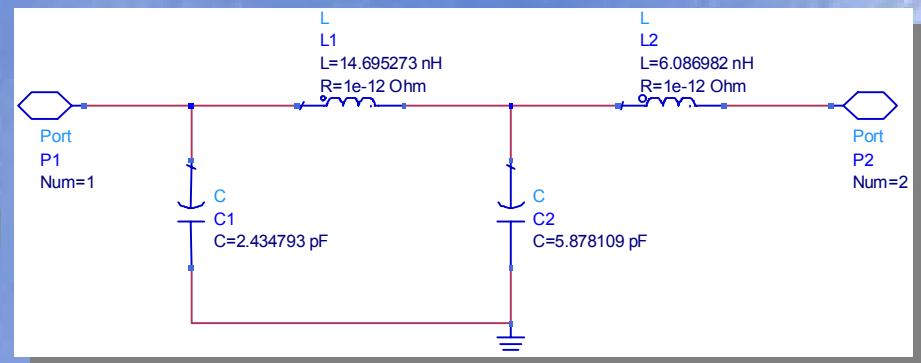
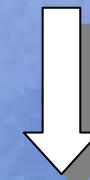
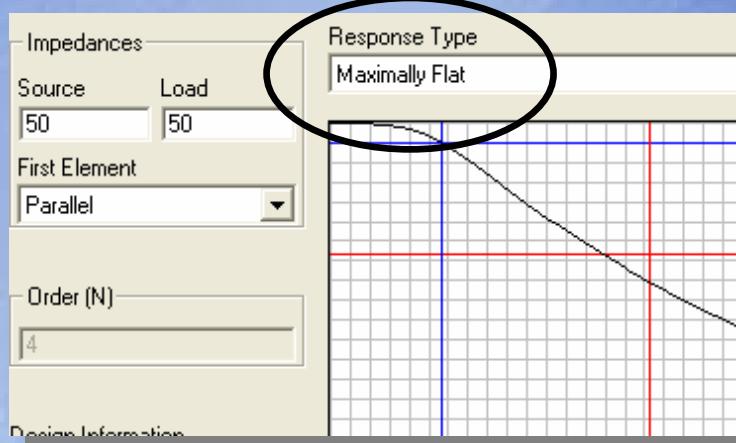
Diseño de filtros pasivos

- Herramienta de diseño software ADS:



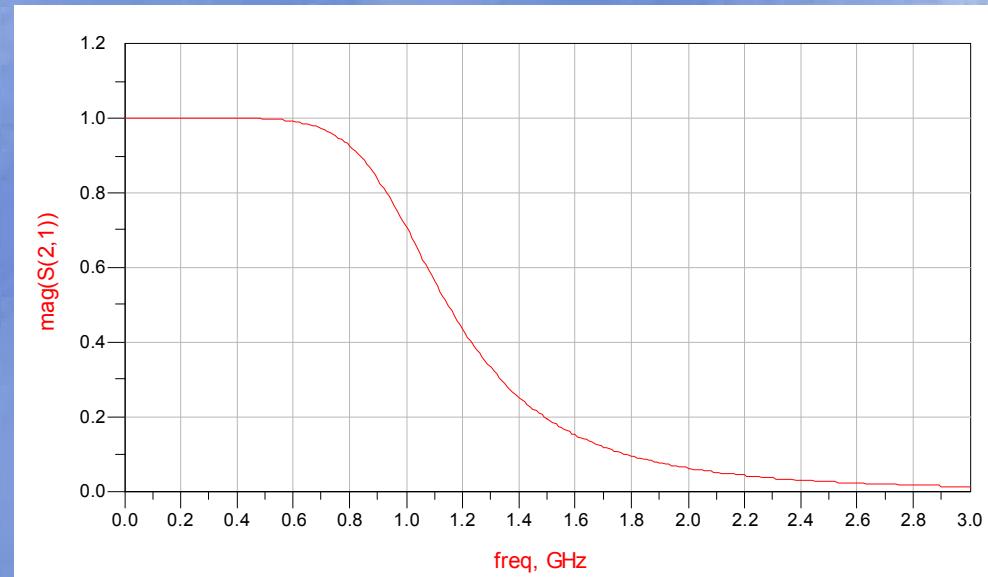
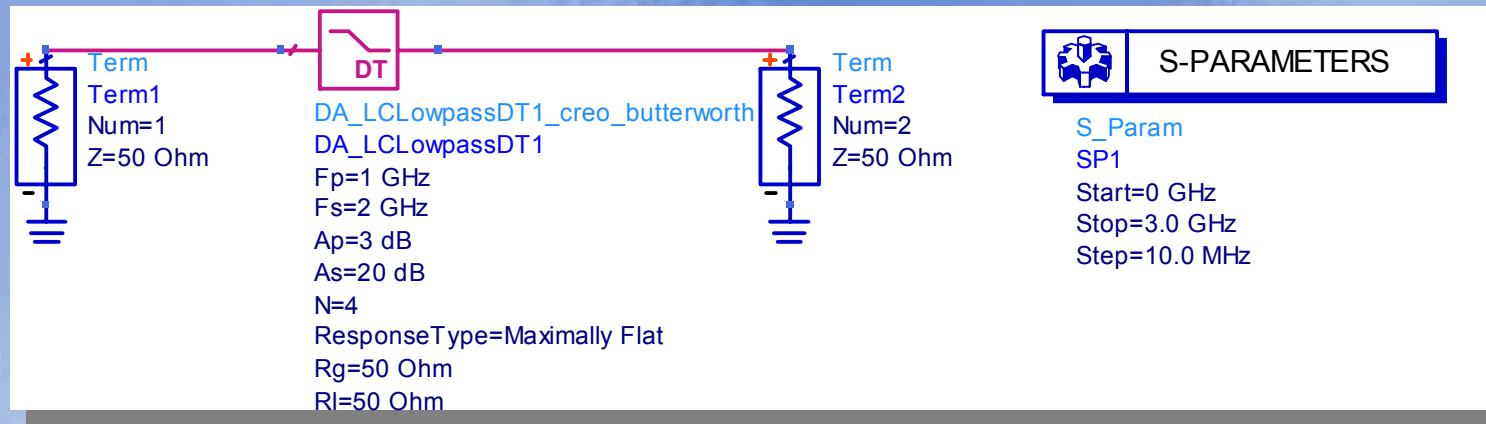
Diseño de filtros pasivos

- Aproximación por el método de Butterworth:

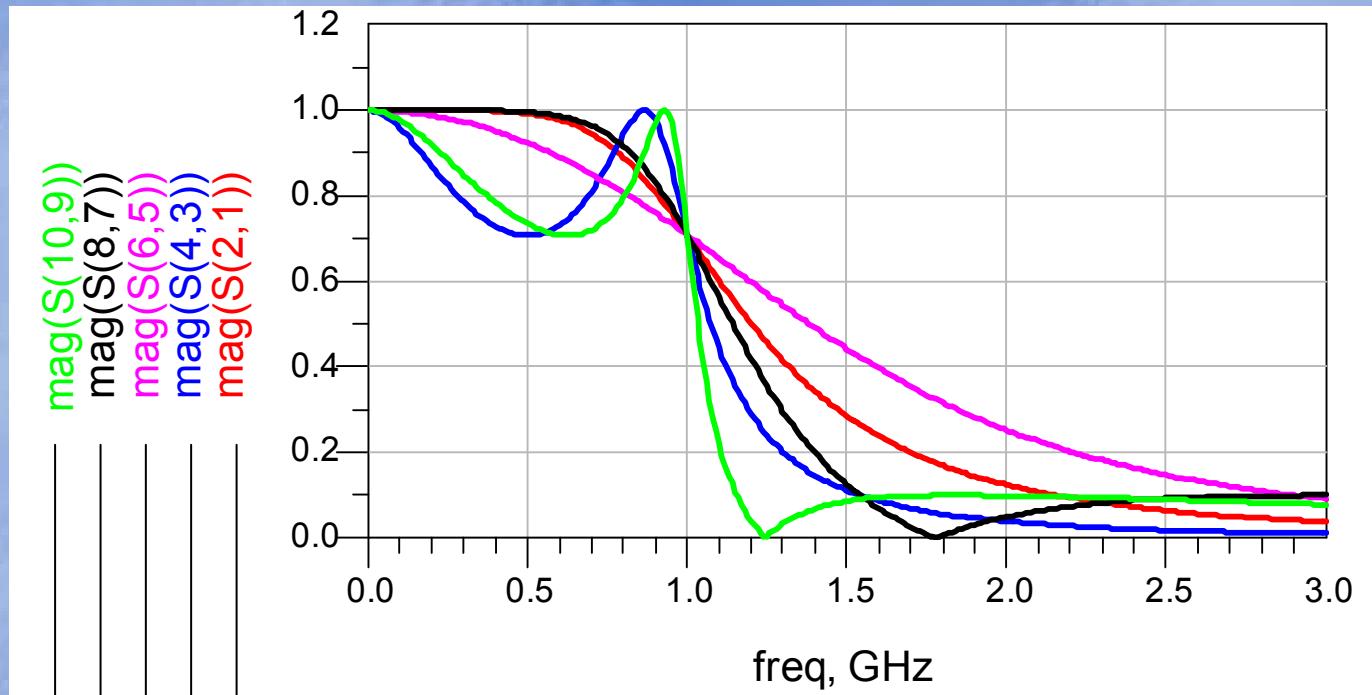


DA_LClowpassDT1_creo_butterworth
DA_LClowpassDT1
Fp=1 GHz
Fs=2 GHz
Ap=3 dB
As=20 dB
N=4
ResponseType=Maximally Flat
Rg=50 Ohm
Rl=50 Ohm

Diseño de filtros pasivos



Diseño de filtros pasivos



- Butterworth
- Chebyshev
- Bessel-Thomson
- Chebyshev inverso
- Elíptico

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

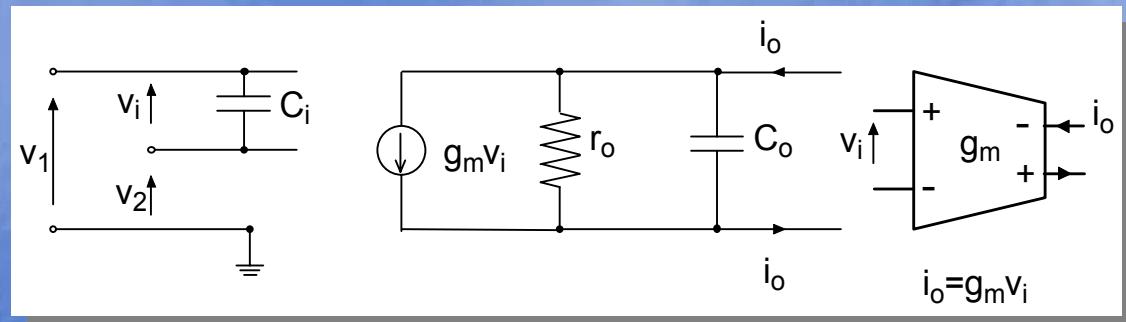
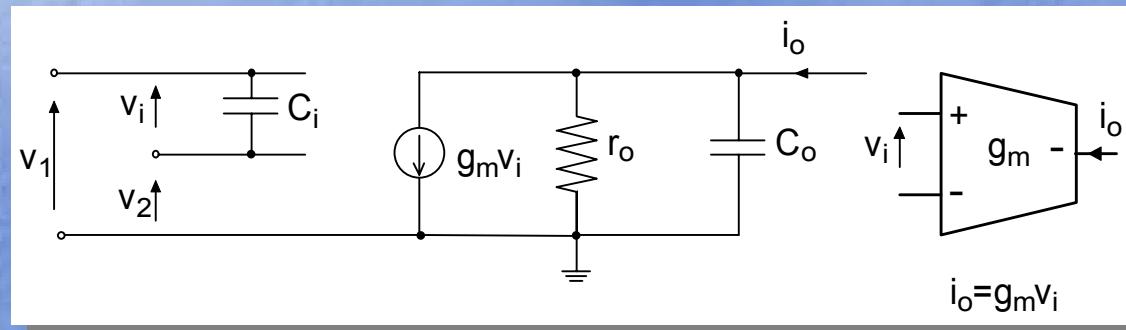
BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Filtros Gm-C

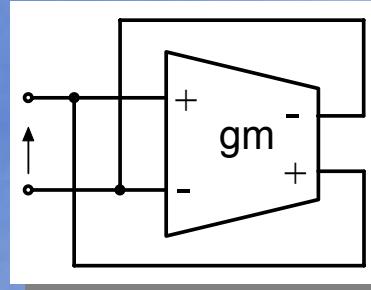
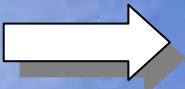
- Formados por amplificadores de transconductancia (OTAs) y condensadores
- OTA ideal: fuente de corriente controlada por tensión, BW, Z_i y Z_o infinitas
- Circuito equivalente en pequeña señal:



Filtros Gm-C

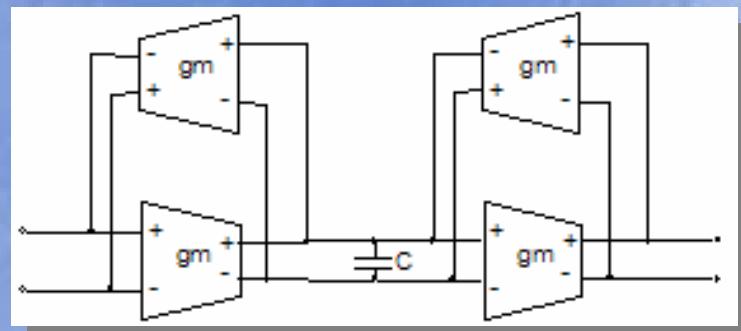
- Circuitos básicos con OTAs:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{gm \cdot V} = \frac{1}{gm}$$



Resistencia
diferencial y
negativa

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{s \cdot C}{gm^2} \rightarrow L = \frac{C}{gm^2}$$



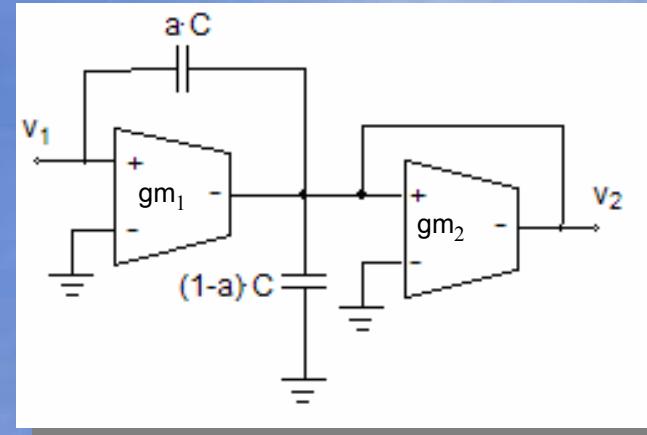
Bobina flotante

Filtros Gm-C

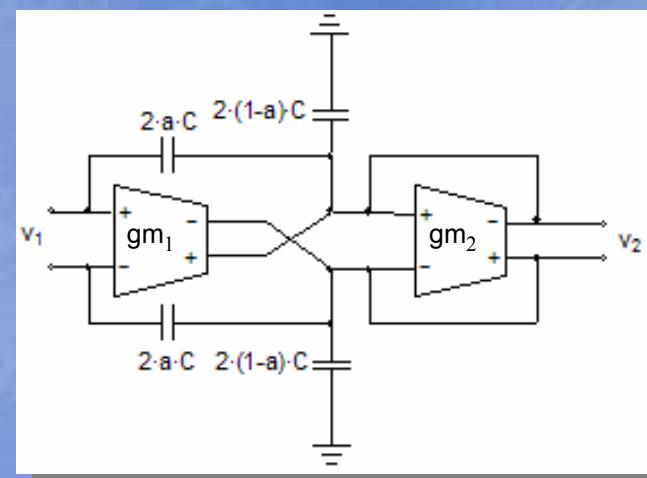
- Filtros de primer orden (*biquads*):

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{a \cdot s \cdot C + gm_1}{s \cdot C + gm_2}$$

Asimétrica



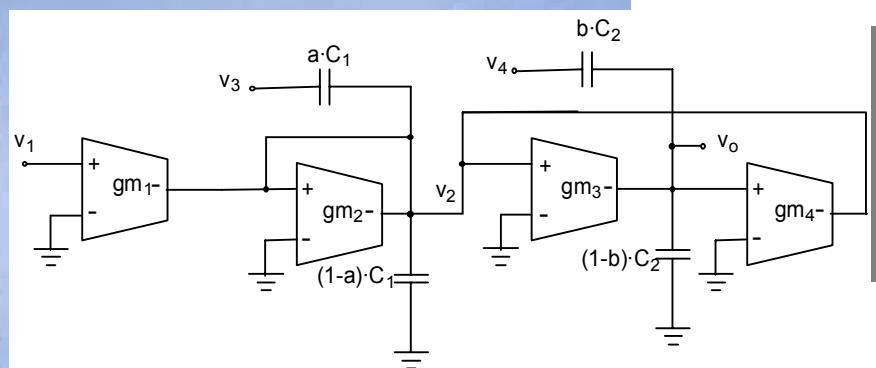
Diferencial



Filtros Gm-C

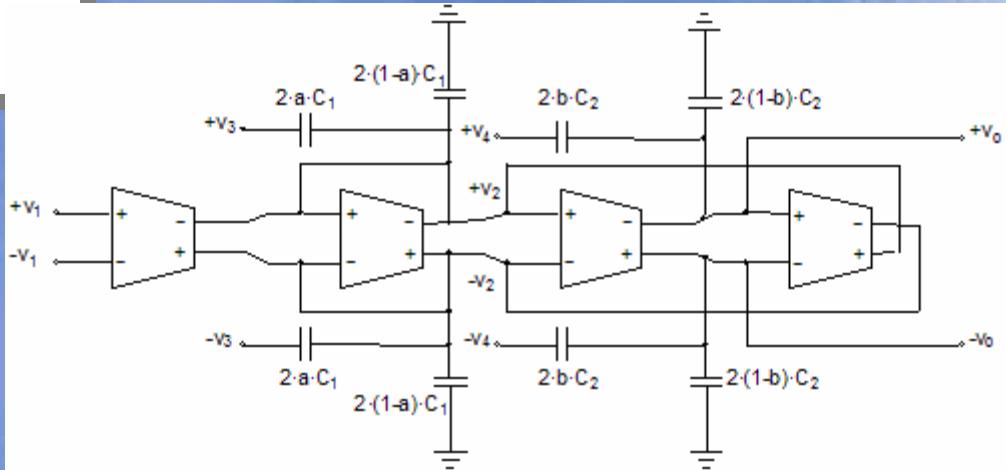
- Filtros de segundo orden (*biquads*):

$$T(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{s^2 \cdot \left(b \cdot \frac{V_4}{V_i} \right) + s \cdot \left(b \cdot \frac{gm}{C_1} \cdot \frac{V_4}{V_i} - a \cdot \frac{gm}{C_2} \cdot \frac{V_3}{V_i} \right) + \left(\frac{gm_1}{gm} \cdot \frac{V_1}{V_i} \right) \cdot \frac{gm_2}{C_1 \cdot C_2}}{s^2 + s \frac{gm}{C_1} + \frac{gm^2}{C_1 \cdot C_2}} = \frac{\alpha \cdot s^2 + \beta \cdot s + \omega_z^2}{s^2 + s \cdot \omega_0/Q + \omega_0^2}$$



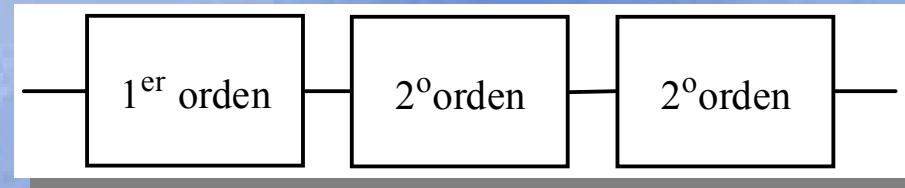
Asimétrica

Diferencial

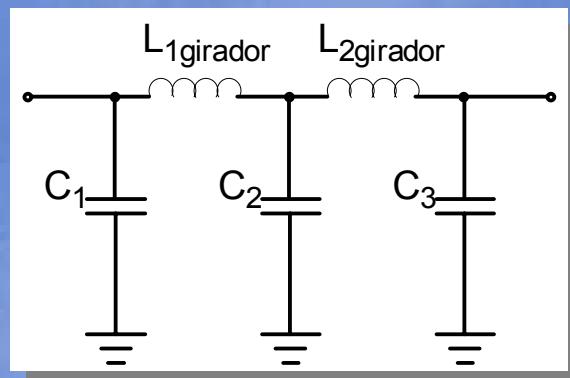


Filtros Gm-C

- Filtros de orden superior:
 - Conectar varias estructuras (*biquads*) de 1^{er} y 2^o orden en cascada:

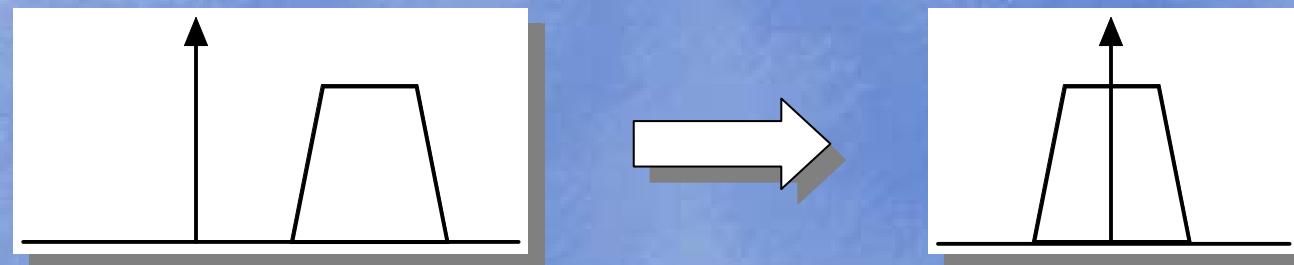


- Simulación de filtros pasivos en escalera (*ladder*):



Filtros Gm-C

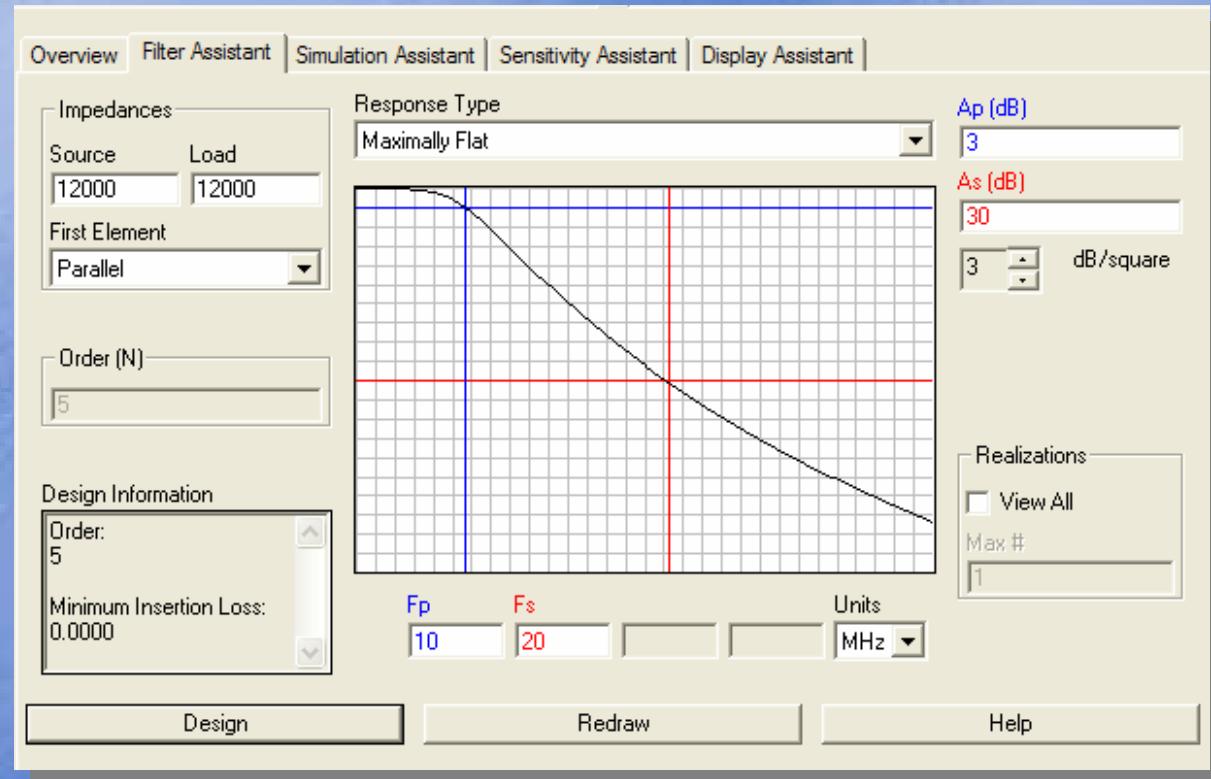
- Implementación:
 - Objetivo: Filtro polifásico paso banda
 - Ancho de banda: 20MHz
 - Frecuencia central: 20MHz
 - Rechazo de banda: -30dB a 40MHz



- Ancho de banda: 10MHz
- Rechazo de banda: -30dB a 20MHz

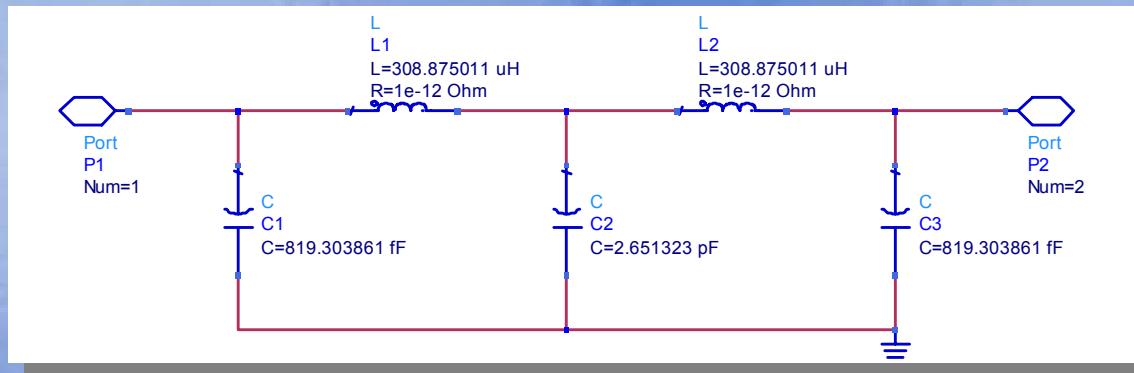
Filtros Gm-C

- ADS → 1) Filter Design Guide



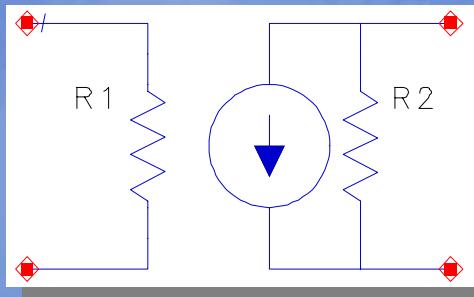
Filtros Gm-C

2) Crear el *ladder*:

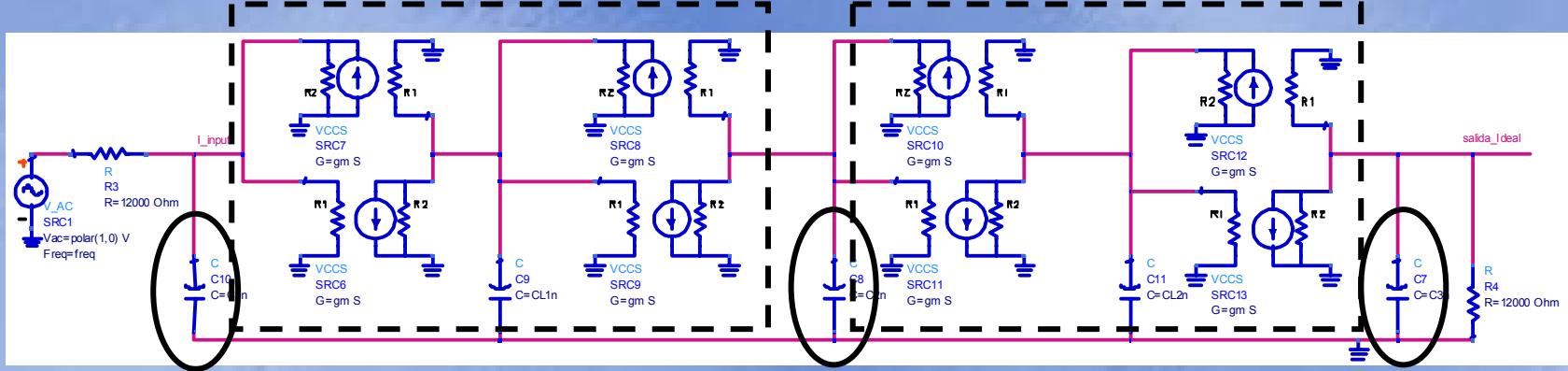


3) Sustituir las bobinas por giradores:

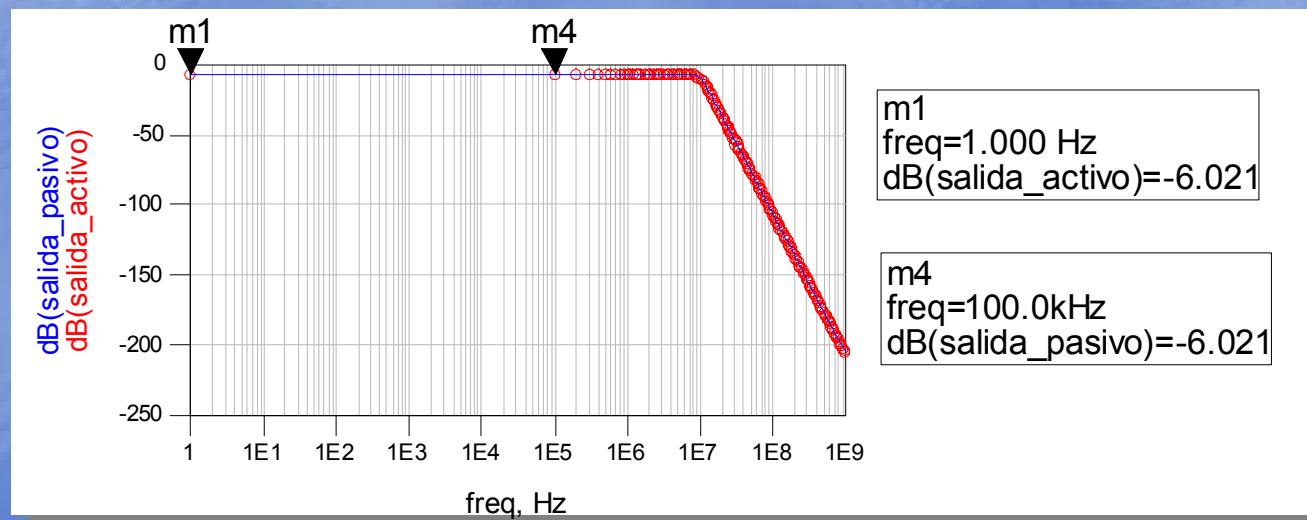
OTAs



Filtros Gm-C



4) Simular resultados:



Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Transconductores

◆ OTA:

- Bloque más importante de los filtros gm-C
- Prestaciones adecuadas: ganancia mínima de 40dB y BW idóneo
- Valor mínimo de gm dependerá de la tecnología y de la inductancia:

$$gm \geq \sqrt{\frac{C}{L}}$$

- r_o vendrá dada por:

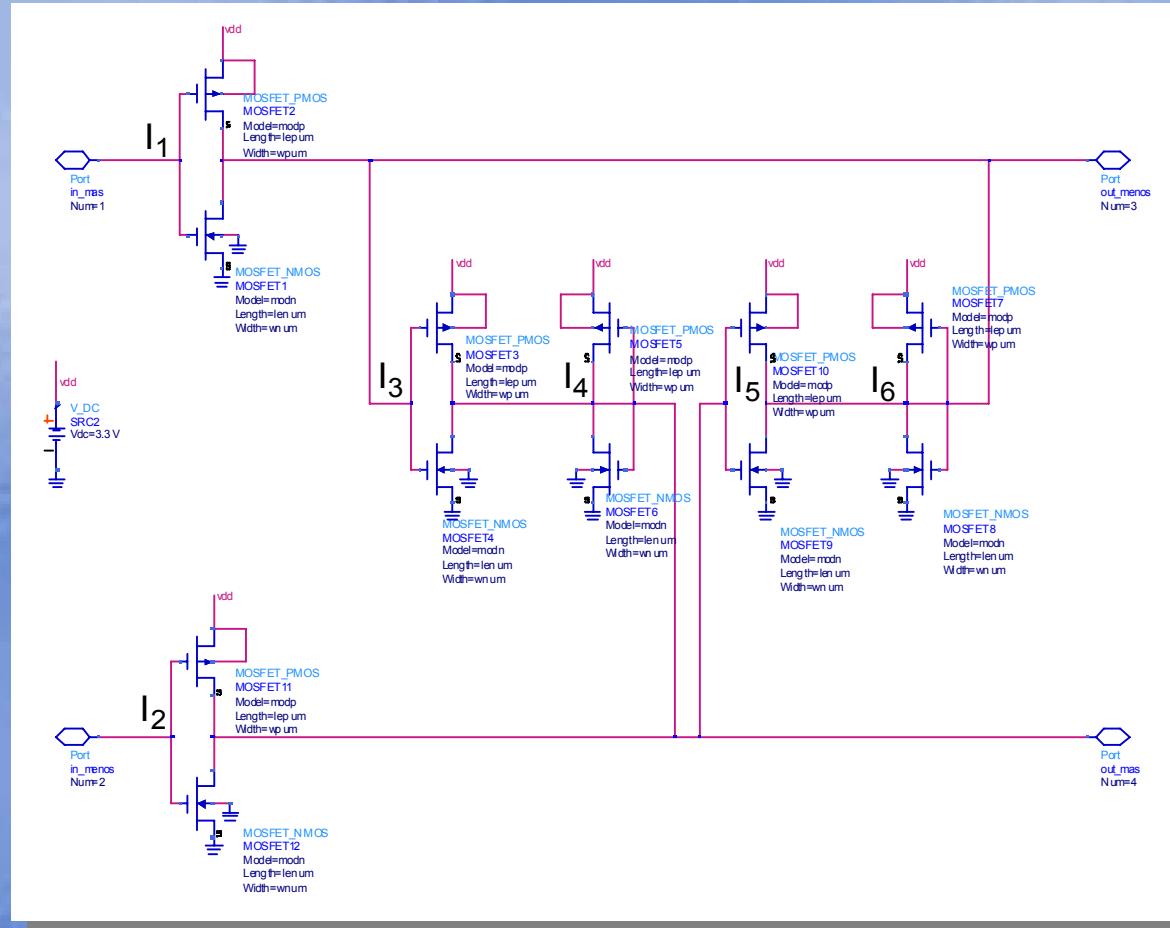
$$r_o \geq \frac{AV_{DC}}{gm}$$

◆ OTA de Nauta:

- Basado en inversores CMOS
- Área reducida
- Idóneo para aplicaciones de baja tensión

Transconductor de Nauta

◆ OTA de Nauta:



Transconductor de Nauta

- Características principales:
 - Carece de nodos internos
 - R_o en modo común será:

Combinar capacidades con el filtro
Filtros a frecuencias altas
Filtros de orden alto a frecuencias bajas

$$R_{cm} = \frac{1}{gd_1 + gd_5 + gd_6 + gm_5 + gm_6} \rightarrow \downarrow\downarrow$$

- R_o en modo diferencial será:

$$R_{dm} = \frac{1}{gd_1 + gd_5 + gd_6 + gm_6 - gm_5} \rightarrow \uparrow\uparrow$$

Transconductor de Nauta

- Si las gm_i son iguales a gm y gd_i a gd , la ganancia será:

➤ en modo común:

$$A_{cm} = \frac{gm}{3 \cdot gd + 2 \cdot gm}$$

Como A_{cm} es menor que 1 es estable

➤ en modo diferencial:

$$A_o = \frac{gm}{3 \cdot gd}$$

A_o dependerá de gm y gd .

A frecuencias altas → longitudes de canal pequeñas → A_o pequeña → aumentar gm subiendo la corriente:

$$gm_6 \approx gm_5 - (gd_1 + gd_5 + gd_6)$$

Transconductor de Nauta

- Los transistores trabajan en saturación, por lo que el circuito será lineal si se satisface $\Delta V \leq V_T/2$ y $\Delta V \leq (V_{dd}/2) - V_T$
- La restricción obliga a que $V_{dd} > 3 \cdot V_T$ como mínimo

-Los inversores de salida
pueden disminuir su
tamaño.

(Proporcionan $\uparrow R_{dm}$,
estabilidad y $\downarrow R_{cm}$)

- $gm_{out} = gm_{in} \times 0,5$
- gm_{out} baja
- Se reduce un 27% el consumo de potencia
- Disminuye el área de los transistores
- $(S/N)_{out}$ mejora
- \downarrow Corriente de salida y el ruido
- La linealidad mejora ligeramente

Transconductor de Nauta

- Diseño del transconductor:
 - Los transistores se diseñarán atendiendo a criterios de consumo de potencia
 - Ecuación en saturación de un MOSFET tipo n:

$$I_D = \frac{1}{2} K_n \frac{W_n}{L_n} (V_{sat})^2$$

- Pasos a seguir:
 - Datos conocidos: I_D , L , V_{sat} y el factor de ganancia ($\mu_n C_{ox} = K_n$)
 - W_n y W_p
 - Calculamos la gm: $gm = K_n \frac{W_n}{L_n} V_{sat}$

Transconductor de Nauta

- Diseño del transconductor:

- Definimos los valores para la ecuación de saturación:

- $I_D = 36,5 \mu A$

- $L = 2 \mu m$

- $V_{CM} = \frac{Vdd}{2} = 1,65V \rightarrow V_{sat} = 0,825V$

- $K_n = 150 \mu A/V^2$ y $K_p = 45 \mu A/V^2$

- Despejamos y sustituimos en la ecuación tipo n primero y en la tipo p después:

$$W_n = \frac{2 \cdot 36,5 \mu \cdot 2 \mu}{150 \mu \cdot (0,825)^2} = 1,43 \mu m$$

$$W_p = \frac{2 \cdot 36,5 \mu \cdot 2 \mu}{45 \mu \cdot (0,825)^2} = 4,77 \mu m$$

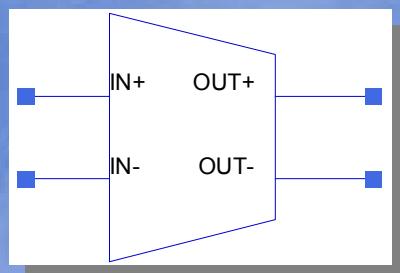
Transconductor de Nauta

- La transconductancia:

➤ tipo n: $gm = 150\mu \frac{1,43\mu}{2\mu} (0,825) = 88,48\mu S$

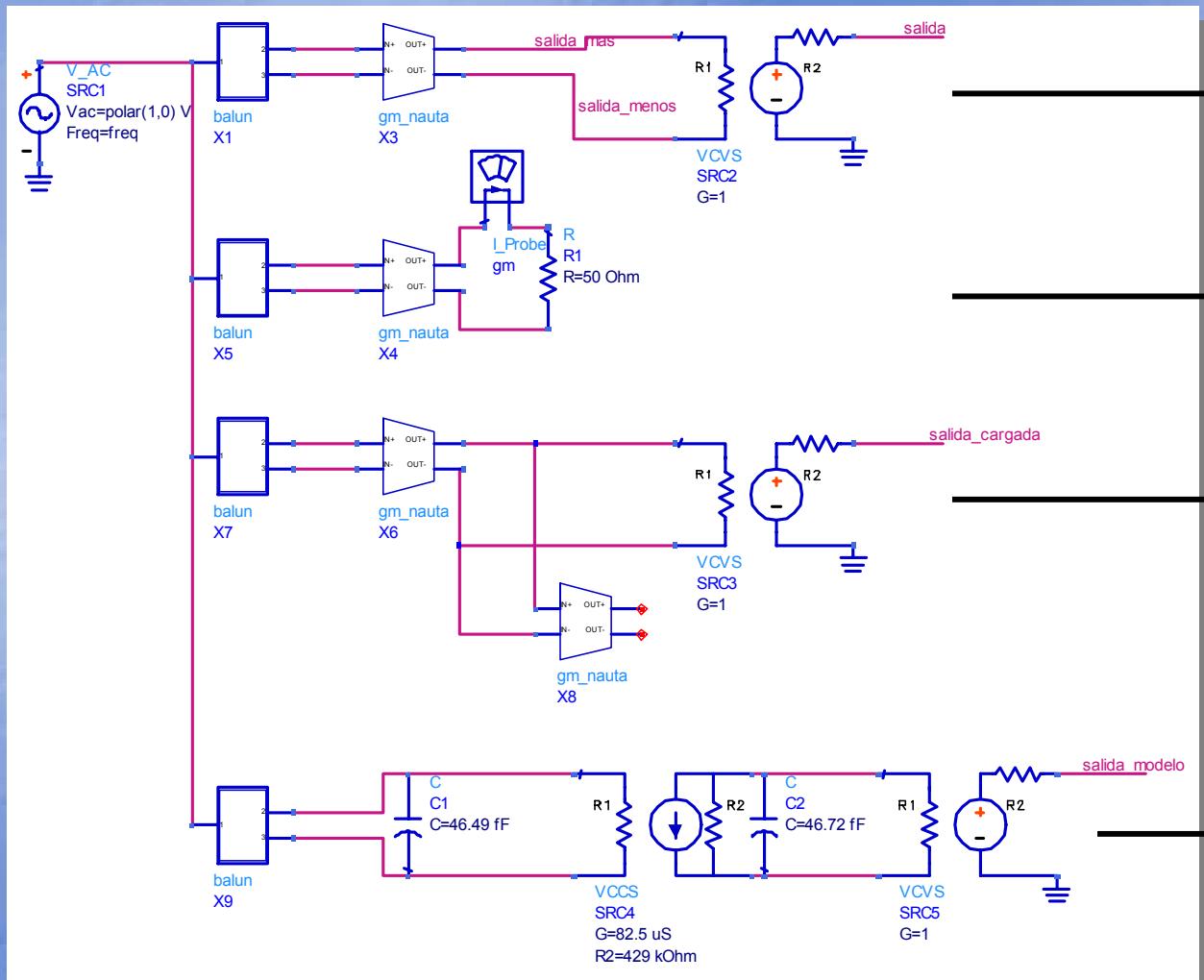
➤ tipo p: $gm = 45\mu \frac{4,77\mu}{2\mu} (0,825) = 88,54\mu S$

- Simulación del transconductor mediante el ADS:



Transconductor de Nauta

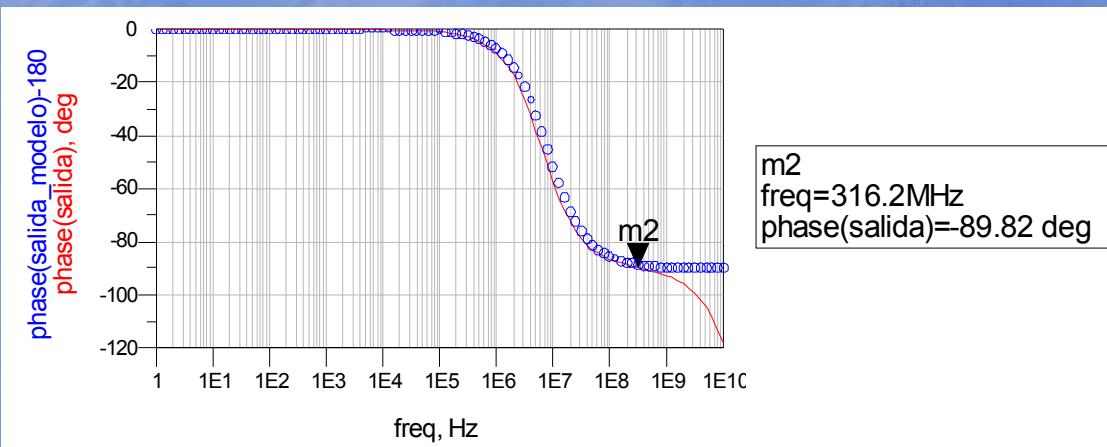
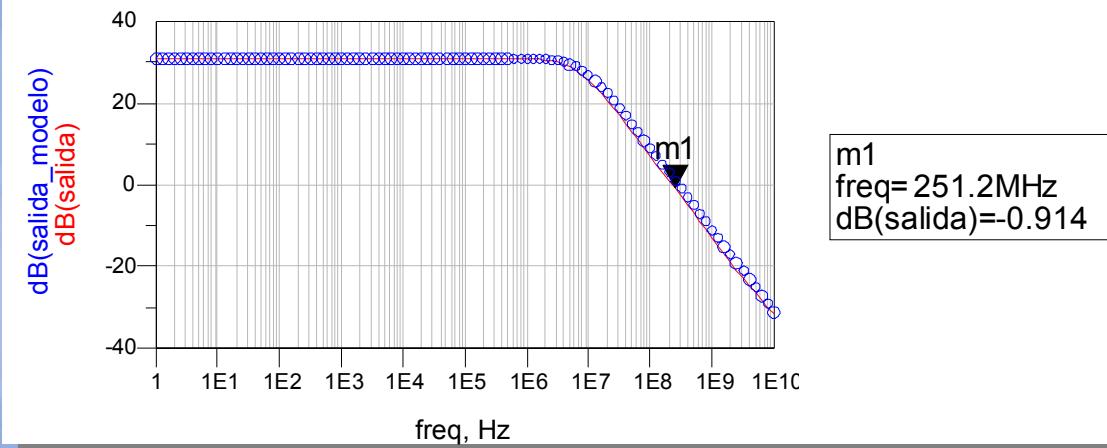
- Simulación del transconductor mediante el ADS:



- Respuesta en mag.
 - Ganancia en continua
 - Frecuencia a 3dB I_{out}
 - Cálculo de $gm = \frac{V_{in}}{V_{out}}$
 - El margen de fase $r_o = \frac{\text{ganancia}}{gm}$
 y $C_o = \frac{1}{(2\pi r_o f_{3dB})}$
 La capacidad de salida
 $C_i = \frac{1}{(2\pi r_o \cdot f_{3dB_cargada})} - C_o$

Modelo del transconductor de Nauta con componentes ideales

Transconductor de Nauta

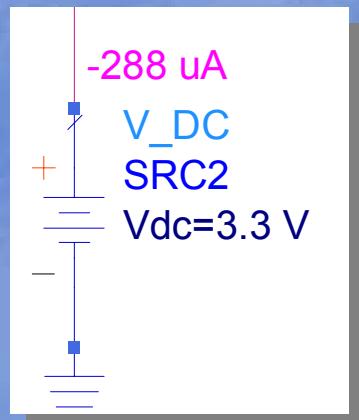


Transconductor de Nauta

- Parámetros del transconductor obtenidos por ADS:

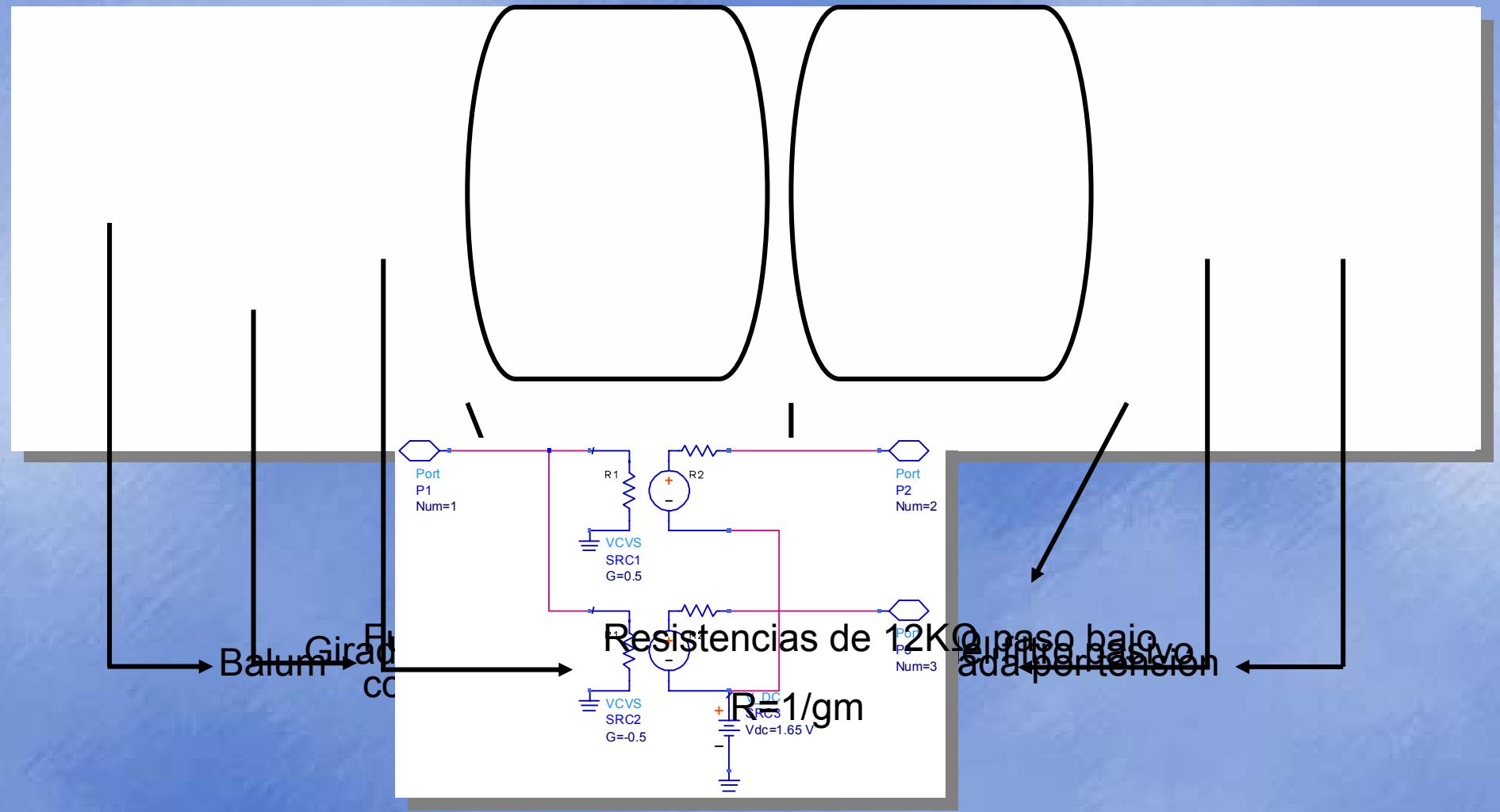
AV_{DC}	f_{3dB}	Margen de Fase	gm	r_o	C_o	C_i
35.38 dB	7.94MHz	89.82°	82.5 μ S	429k Ω	0.467pF	0.464pF

- Corriente del transconductor calculada con ADS:



Transconductor de Nauta

- Realización del filtro activo paso bajo:

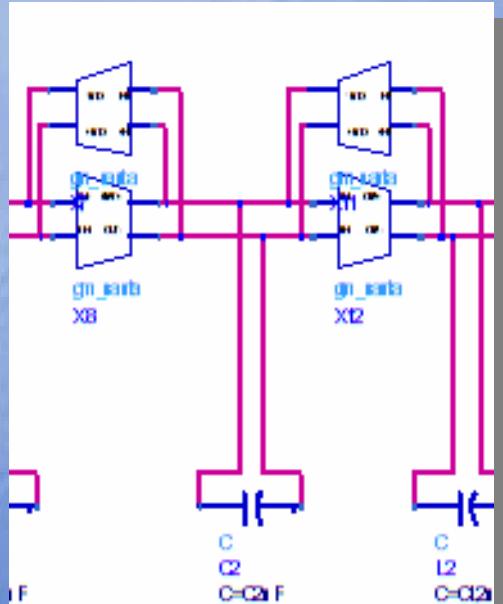


Transductor de Nauta

- Los condensadores que simulan las inductancias vienen dados por:

$$C_1 = L \cdot g_m^2$$

- Las capacidades parásitas del transductor:



$$C_{2n} \leq C_{2n} - 2C_i - 2C_o$$

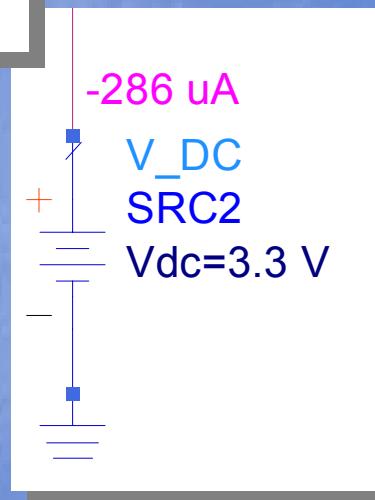
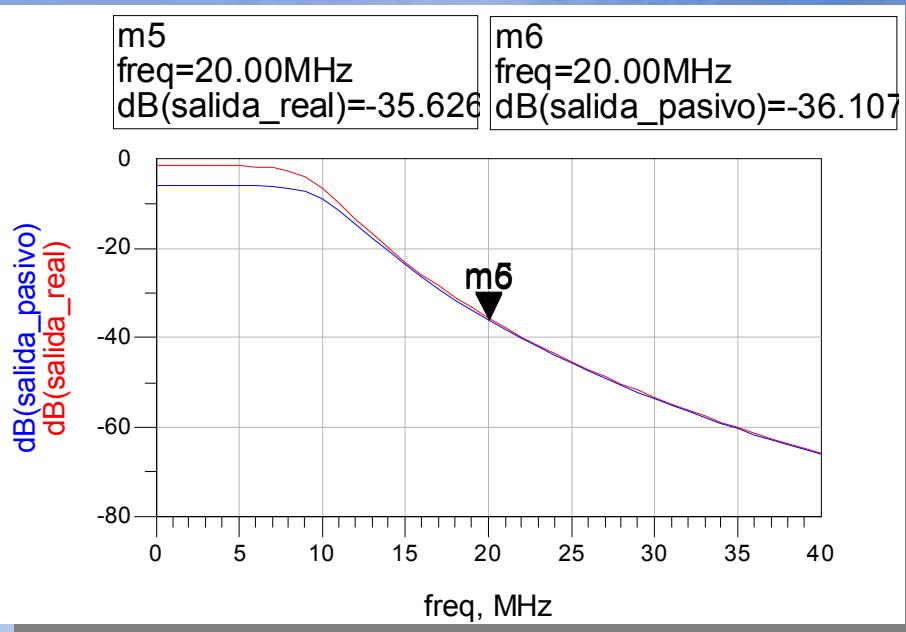
$$CL_{1n} \leq CL_{1n} - 2C_i - 2C_o$$

$$CL_{2n} \leq CL_{2n} - 2C_i - 2C_o$$

$$C_{1n} \leq C_{1n} - C_i - 2C_o$$

$$C_{3n} \leq C_{3n} - 2C_i - C_o$$

Transconductor de Nauta



$$286\mu\text{A} \times 12 = 3,432\text{mA}$$

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

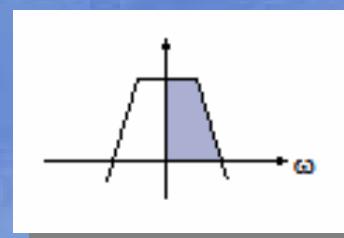
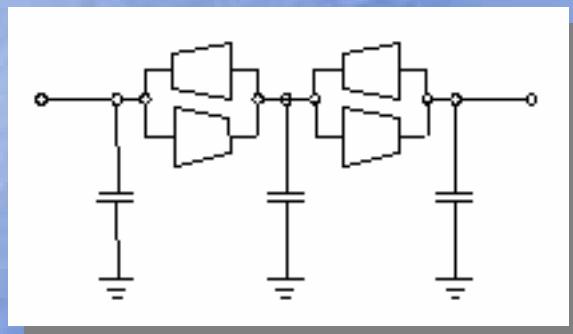
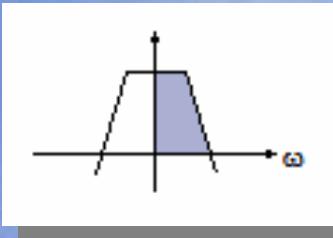
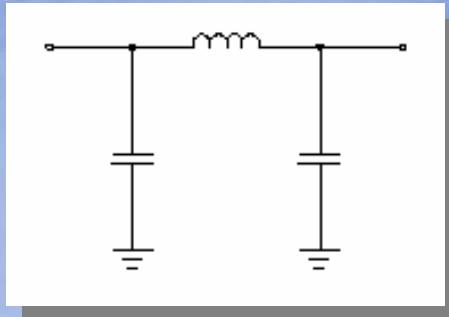
Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

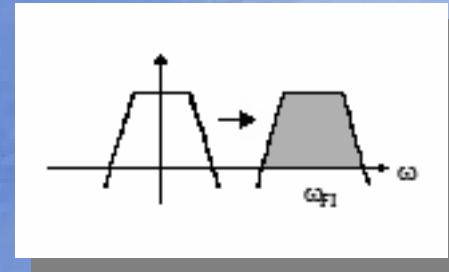
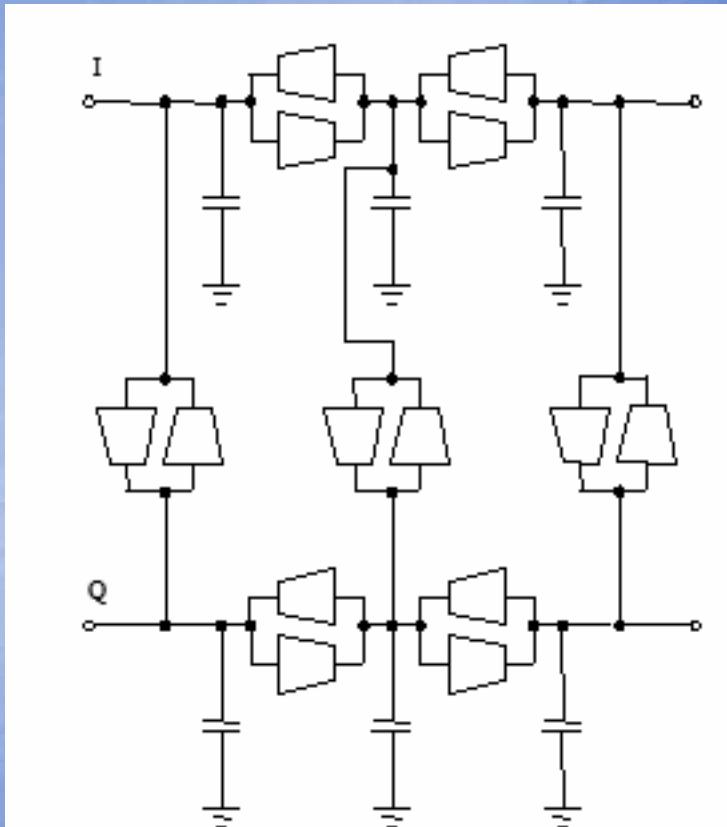
Conclusiones

Presupuesto

Filtro polifásico



Filtro polifásico

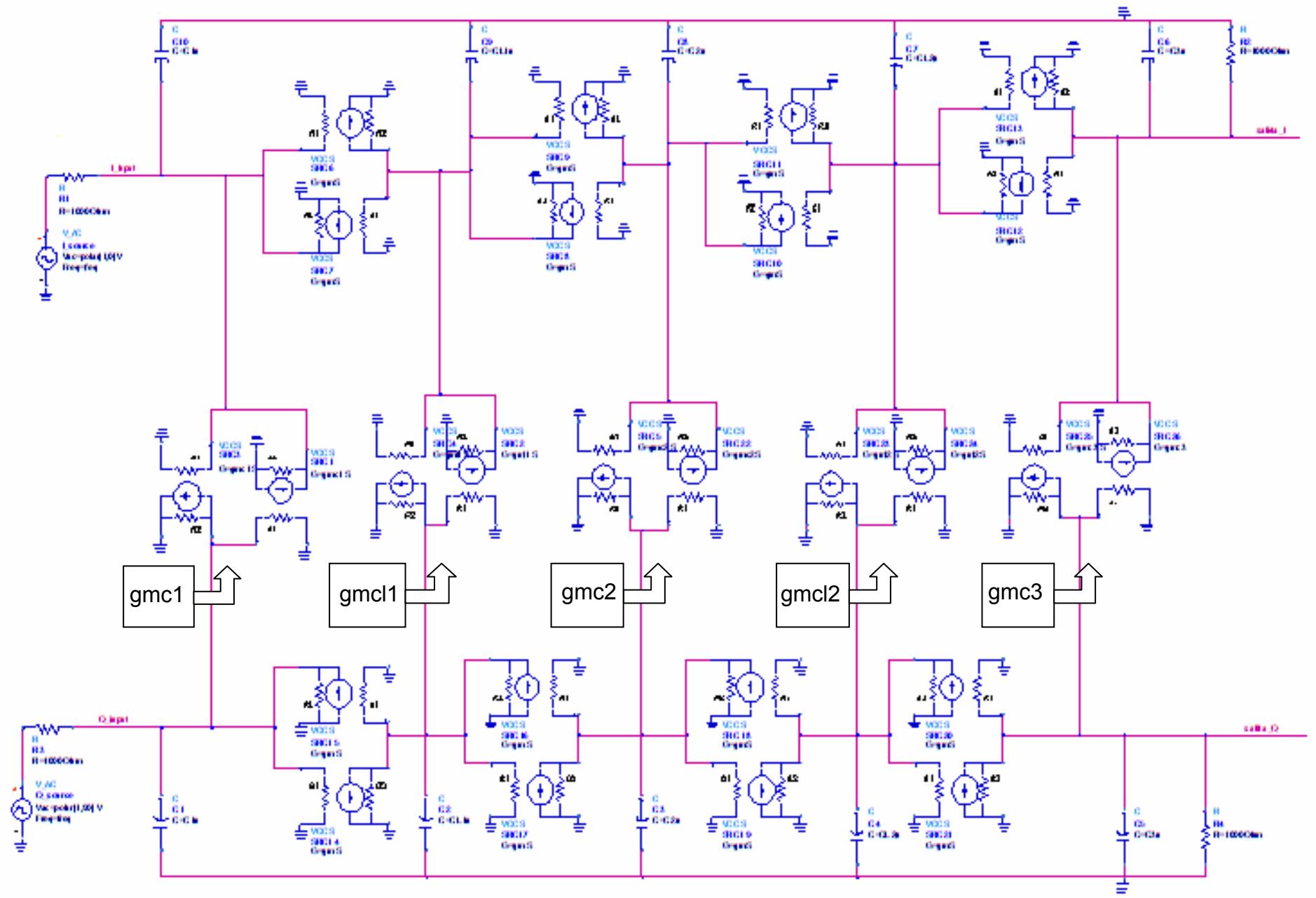


$$H(s) \rightarrow H(s - j \cdot \omega_{FI})$$

- Sea C un condensador cualquiera:

$$j \cdot \omega \cdot C \rightarrow j(\omega - \omega_{FI}) \cdot C = j \cdot \omega \cdot C - j \cdot \omega_{FI} \cdot C$$

es una conductancia de valor independiente
de la frecuencia



Filtro polifásico

- Cálculo de los transconductores trasladadores de frecuencia:

$$gm_i = 2 \cdot \pi \cdot fc \cdot C_i \quad \left\{ \begin{array}{l} gm_i \rightarrow \text{la transconductancia necesaria} \\ fc \rightarrow \text{la frecuencia central del filtro (20MHz)} \\ C_i \rightarrow \text{valor de cada condensador del filtro paso bajo} \end{array} \right.$$

- “gmc1” o “gmc3”:

$$gmc1 = gmc3 = 2 \cdot \pi \cdot 20M \cdot 819,303861 f = 102,95 \mu S$$

- “gmc2”:

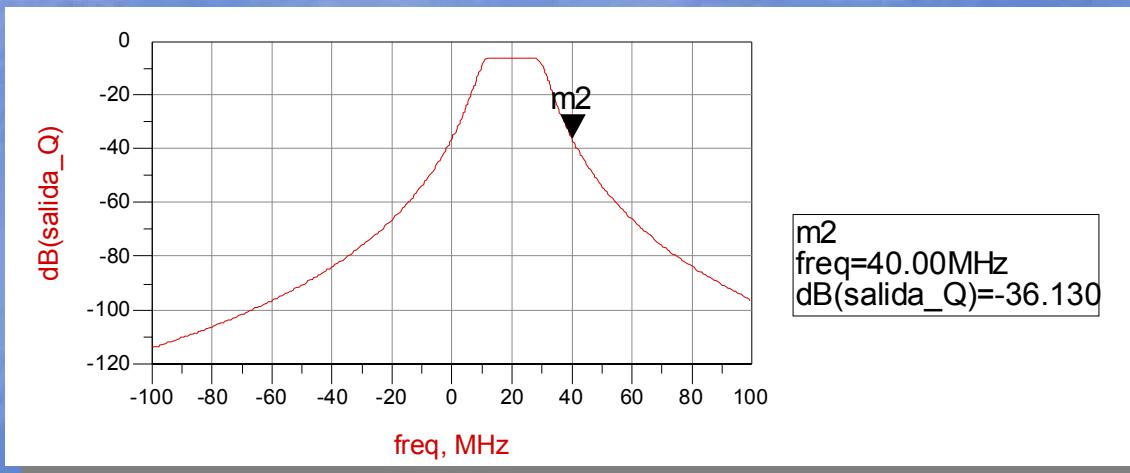
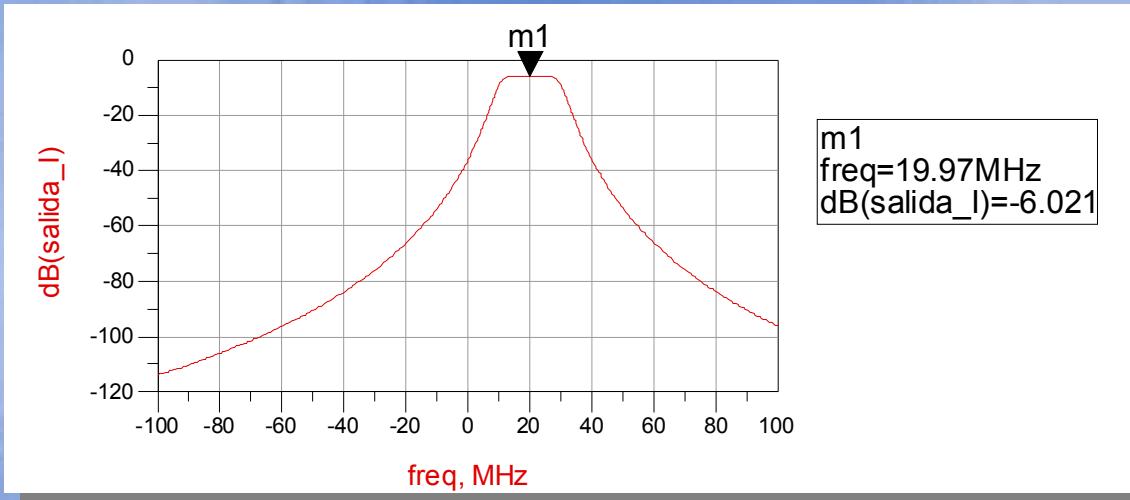
$$gmc2 = 2 \cdot \pi \cdot 20M \cdot 2,651323 p = 333,17 \mu S$$

- “gmcl1” o “gmcl2”:

$$Cl1 = Cl2 = L_1 \cdot gm^2 = 308,875011 \mu H \cdot (82,5)^2$$

$$gmcl1 = gmcl2 = 2 \cdot \pi \cdot 20M \cdot [308,875011 \mu \cdot (82,5)^2] = 264,18 \mu S$$

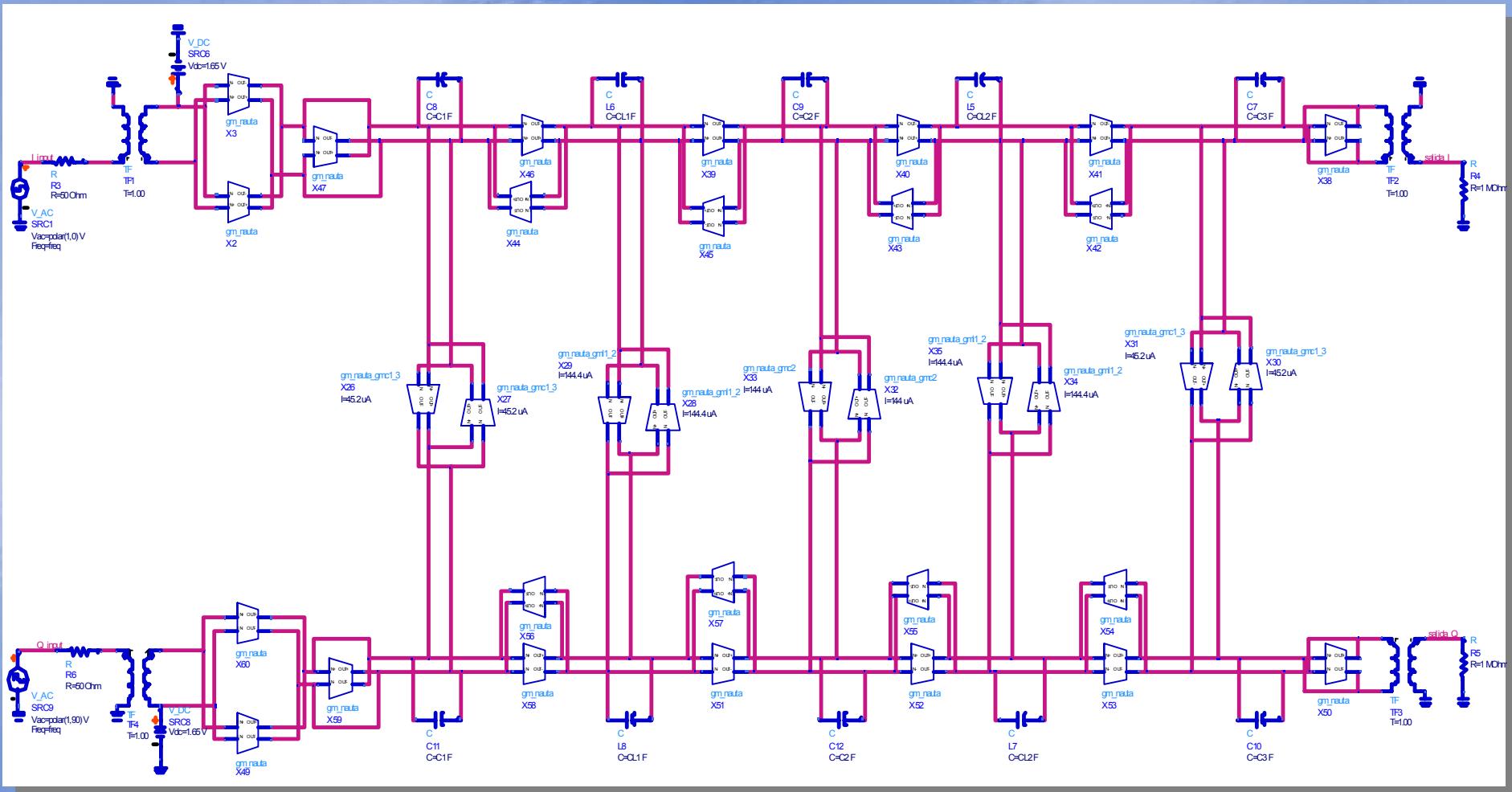
Filtro polifásico



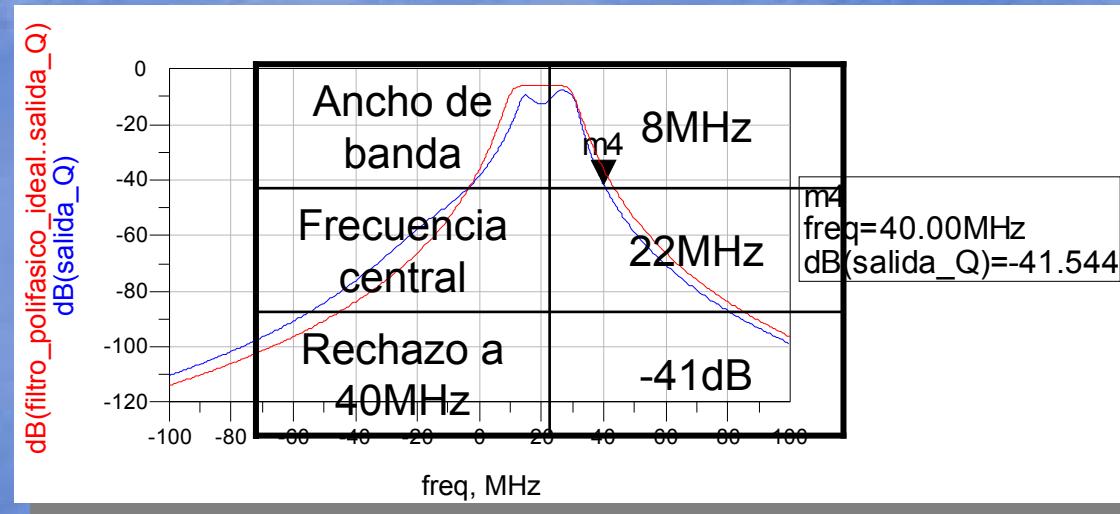
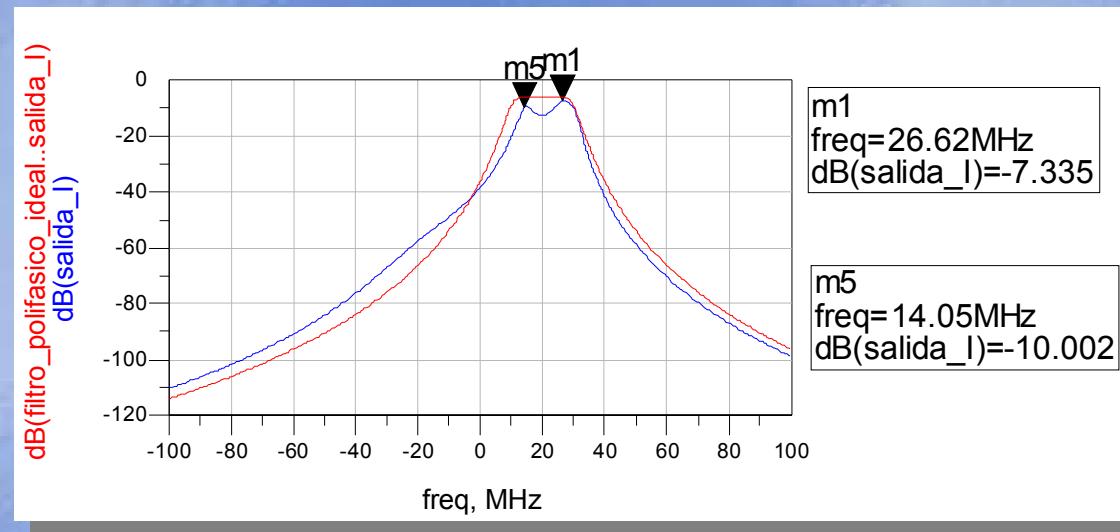
Filtro polifásico

- Implementación del filtro polifásico con transconductores de Nauta:
 - Convertimos el polifásico asimétrico (ideal) en diferencial (Nauta)
 - Diseñamos los transconductores responsables del desplazamiento en frecuencia (“gmc1”, “gmcl1”, “gmc2”, “gmcl2”, “gmc3”):
 - “gmc1” o “gmc3” → $gm = 102,95\mu S$ e $I_D = 59,67\mu A$
 - “gmc2” → $gm = 333,17 \mu S$ e $I_D = 193,33 \mu A$
 - “gmcl1” o “gmcl2” → $gm = 264,18 \mu S$ e $I_D = 153,5 \mu A$

Filtro polifásico



Filtro polifásico

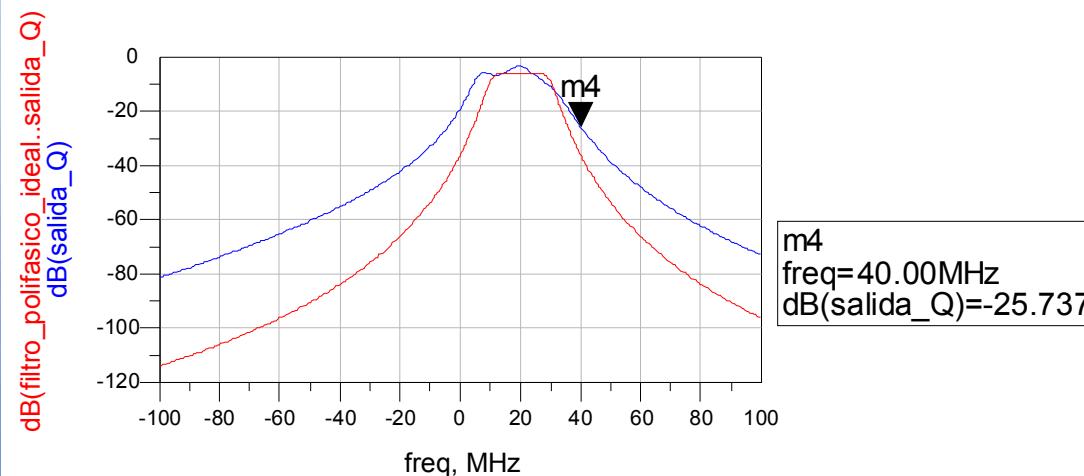


Filtro polifásico

C1=819.303 f
C2=2.6513 p
C3=C1
L1=308.875 u
L2=L1
 $CL_1=L_1 \cdot gm^2$
 $CL_2=L_2 \cdot gm^2$



C1=300 f
C2=2 p
C3=C1
L1=300 u
L2=L1
 $CL_1=L_1 \cdot gm^2$
 $CL_2=L_2 \cdot gm^2$



Ancho de banda	23MHz
Frecuencia central	18MHz
Rechazo a 40MHz	-25dB
Consumo	14,348mA

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Conclusiones

- Comparativa del filtro polifásico con otros trabajos similares:

Filtro polifásico	Nuestro proyecto	Pietro Andreani
Tecnología	0,35µm SiGe CMOS	0,35µm CMOS
Vdd (V)	3,3	2,3
Corriente (mA)	14,348	3,2
Frecuencia central	18MHz	3MHz
Ancho de banda	23MHz	1MHz
Tipo de filtro	Butterworth	Butterworth
Orden del filtro paso bajo	5	5+2 (etapa notch)

- Receptor de Bluetooth de corto alcance
- Etapa notch (\uparrow atenuación en la banda de rechazo, 53dB)
- Transconductores de Nauta ($L=7\mu m$ y $gm_{out}=0,6 \cdot gm_{in}$)
- Explica que el consumo \uparrow a medida que \uparrow su f_c

Conclusiones

- Comparativa del filtro polifásico con otros trabajos similares (continuación):

Filtro polifásico	Nuestro proyecto	Edgar Sánchez-Sinencio
Tecnología	0,35µm SiGe CMOS	0,35µm CMOS
Vdd (V)	3,3	2,7
Corriente (mA)	14,348	4,7
Frecuencia central	18MHz	2MHz
Ancho de banda	23MHz	1MHz
Tipo de filtro	Butterworth	Butterworth
Orden del filtro paso bajo	5	6

- Receptor de Bluetooth con frecuencia variable
- Implementado con 3 filtros gm-C de 2º orden
- Transconductores específicos para este proyecto

Conclusiones

- Comparativa del filtro polifásico con otros trabajos similares (continuación):

Filtro polifásico	Nuestro proyecto	Chung-Yun Chou
Tecnología	0,35µm SiGe CMOS	0,25µm CMOS
Vdd (V)	3,3	2,5
Corriente (mA)	14,348	4,4
Frecuencia central	18MHz	18MHz
Ancho de banda	23MHz	24MHz
Tipo de filtro	Butterworth	-----
Orden del filtro paso bajo	5	-----

- Filtro rechazo de banda para un receptor de WLAN
- Implementado por 4 etapas polifásicas de banda estrecha a frecuencias diferentes (2 LPF y 2 HPF)
- Transconductores específicos para el diseño

Conclusiones

- Este proyecto se encuentra dentro de una línea de investigación más amplia y puede tener continuidad en trabajos como:
 - Desarrollo del *layout* y simulaciones *post-layout*
 - Fabricación y toma de medias del filtro
 - Integración en la cadena de recepción completa
 - Mejora de las prestaciones del diseño:
 - Variar el orden del filtro
 - Añadirle una etapa notch
 - Diseñar un nuevo filtro conociendo de antemano las carencias del filtro polifásico (después de crear el *layout*)

Índice

BLOQUE I: Introducción

Introducción

Receptor de WLAN

Objetivos

BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros paso bajo

Teoría general sobre filtros integrados

Diseño de filtros pasivos

Filtros Gm-C

BLOQUE III: Desarrollo del proyecto

Transductor real de Nauta

Filtros polifásicos

BLOQUE IV: Conclusión

Conclusiones

Presupuesto

Presupuesto

- A continuación se muestra el coste total del proyecto desglosado en sus diferentes partes:

Costes	Total (€)
Costes de recursos humanos	35.100
Costes de herramientas software	106,21
Costes de equipos informáticos	288,12
Otros costes	331
Subtotal	35.494,33
Presupuesto total (IGIC 5%)	37.269,05

DISEÑO DE UN FILTRO POLIFÁSICO
ACTIVO EN TECNOLOGÍA SiGe 0.35 μ m
PARA UN RECEPTOR BASADO EN EL
ESTÁNDAR IEEE 802.11a

Autor: D. Tamara Delgado Alemán

Titulación: Sistemas Electrónicos

Tutores: Francisco Javier del Pino Suárez

Sunil Lalchand Khemchandani

