

# Diseño de un Filtro Integrado Sintonizable en Tecnología CMOS 0.35 $\mu\text{m}$

**Autor: Javier Cáceres Ruiz**

**Tutor: Francisco Javier Del Pino Suárez**

**Cotutor: Sunil Lalchand Khemchandani**

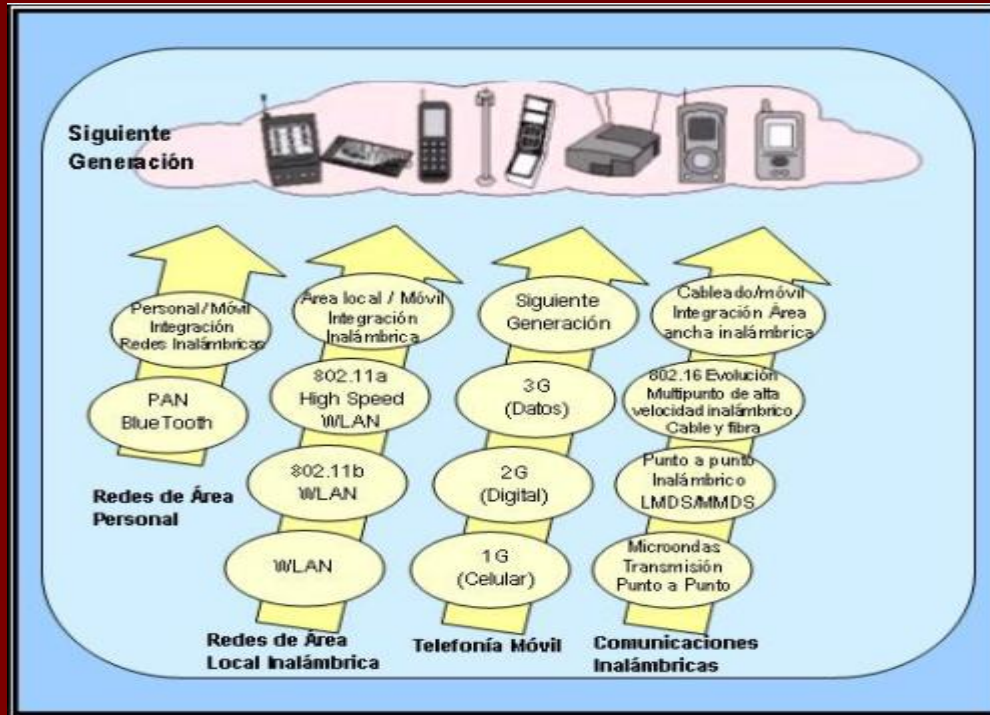
# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

# Introducción

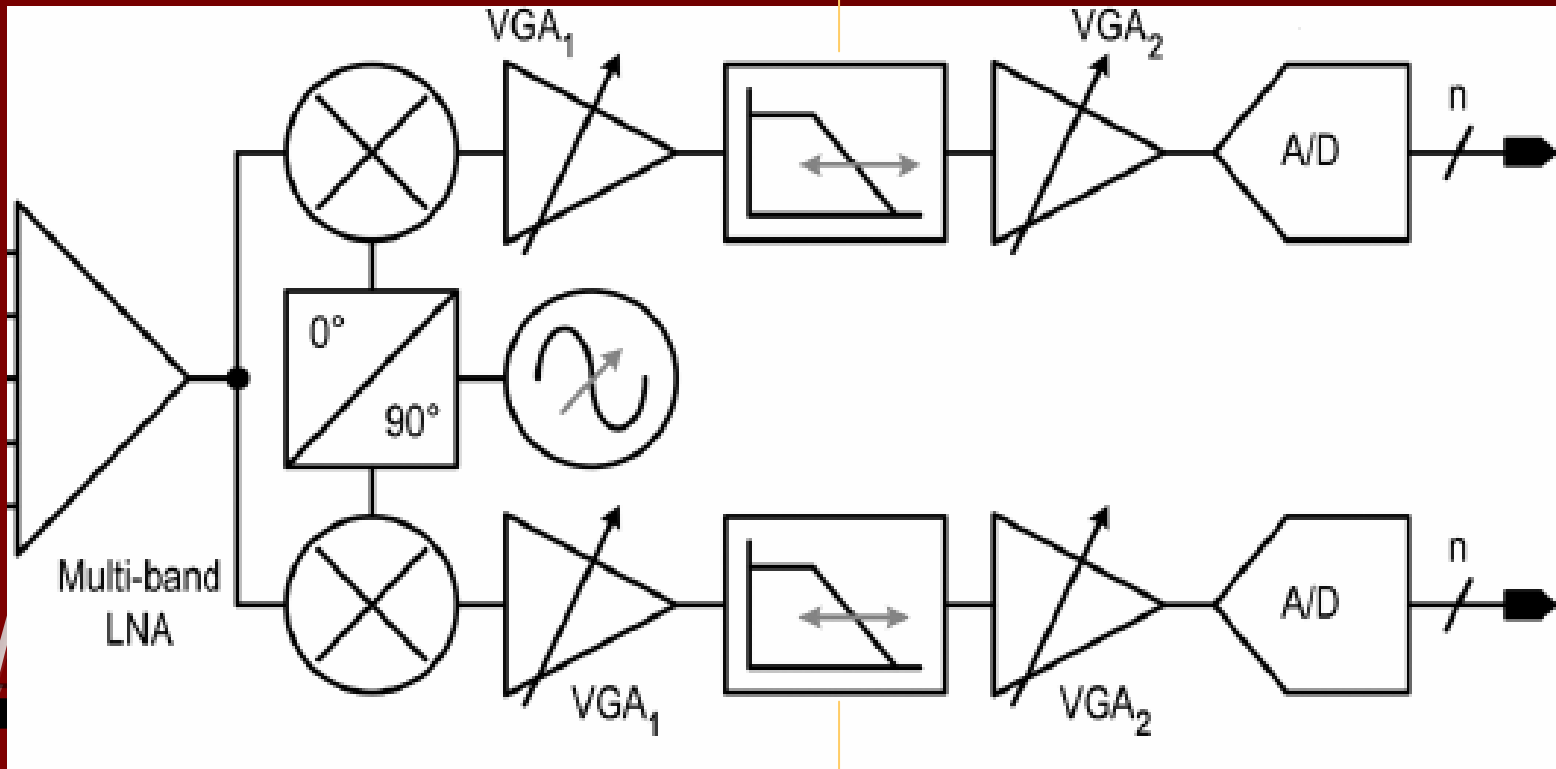


Ventajas

- Coste reducido
- Movilidad
- Instalación rápida

# Introducción

Filtro Integrado Sintonizable



Filtro Integrado Sintonizable

# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto



# Objetivos

Diseño de un Filtro Integrado Sintonizable en Tecnología CMOS 0.35 $\mu$ m. Estudiar la viabilidad de usar varactores para el diseño de filtros sintonizables

Parámetros	Especificaciones
Tipo de filtro	Paso-Bajo
Ancho de banda variable	2~10MHz (aprox.)



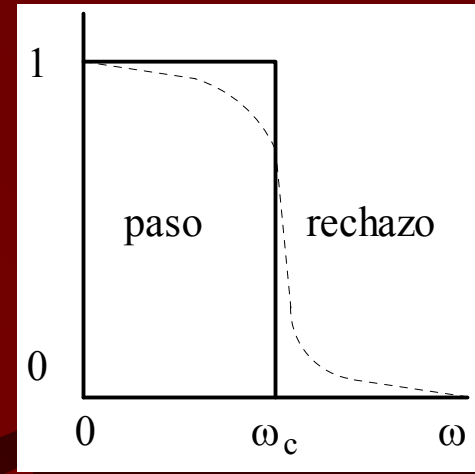
# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto



# Teoría general de los filtros

¿Qué es un filtro?



Clasificación de los filtros

- Según la función que desempeñen
- Según la aproximación
- Según los componentes que lo forman

# Teoría general de los filtros

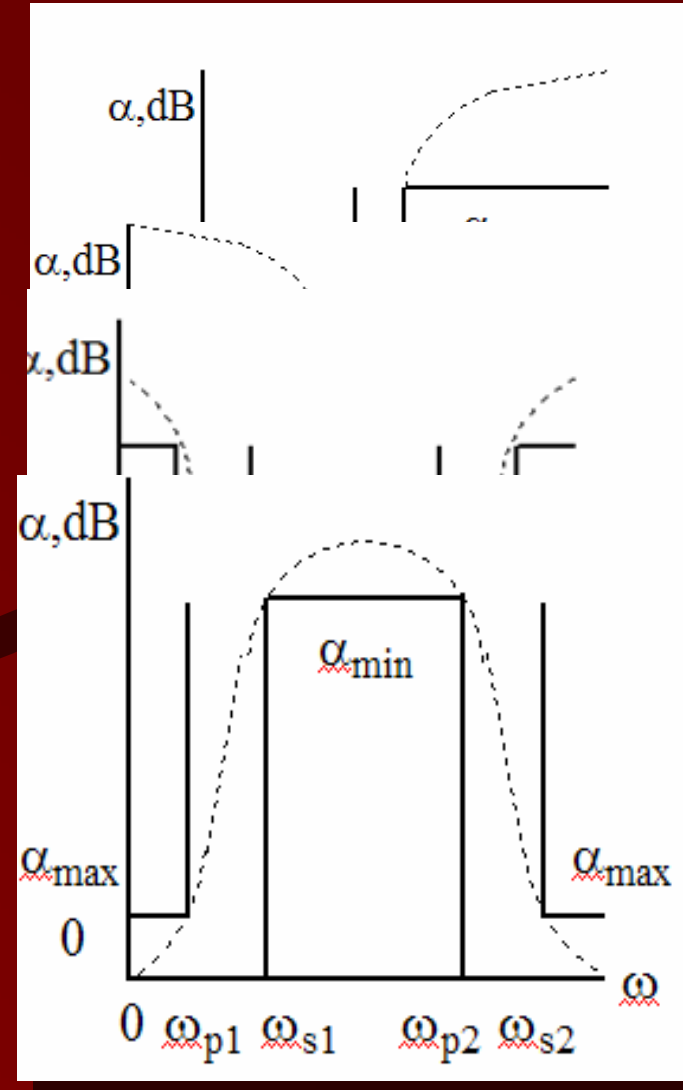
- Según la función que desempeñen

Paso Bajo (LPF)

Paso Alto (HPF)

Paso Banda (BPF)

Rechazo banda (SBF)



# Teoría general de los filtros

- Según la aproximación

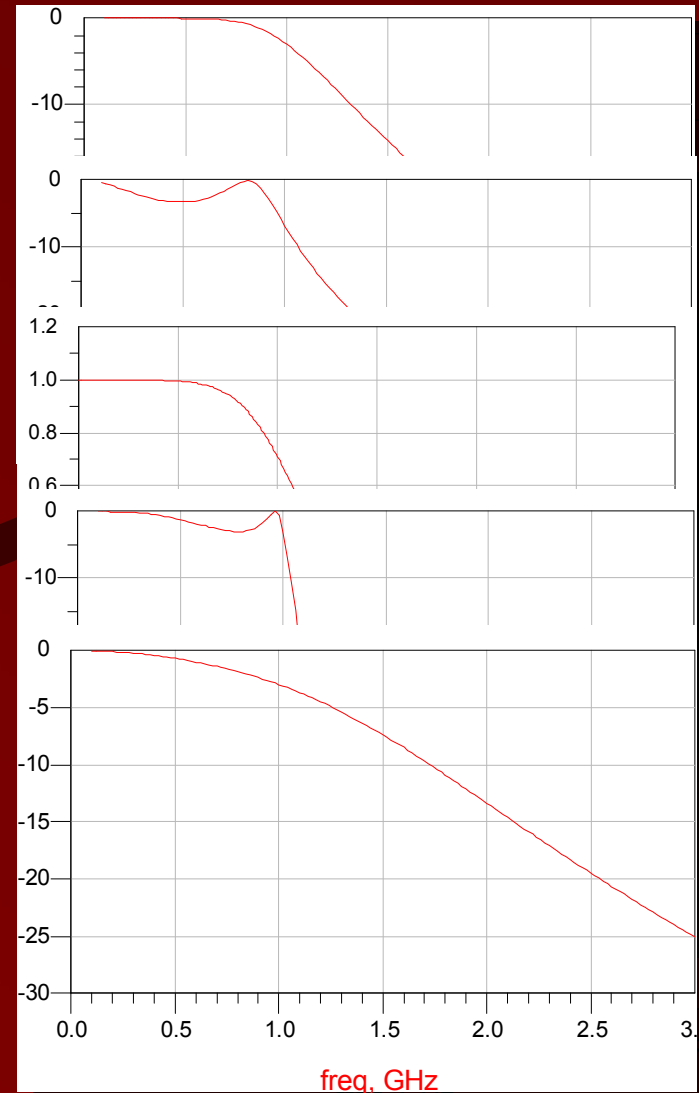
Butterworth

Chebyshev

Chebyshev inverso

Elíptico o de Cauer

Bessel-Thomson

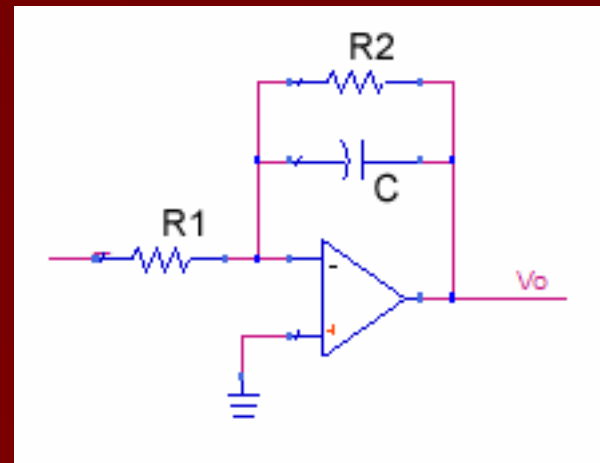
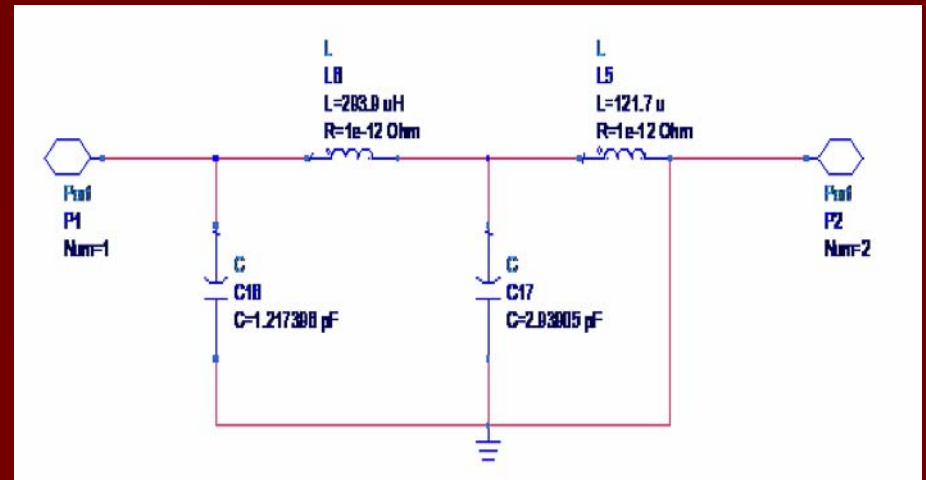


# Teoría general de los filtros

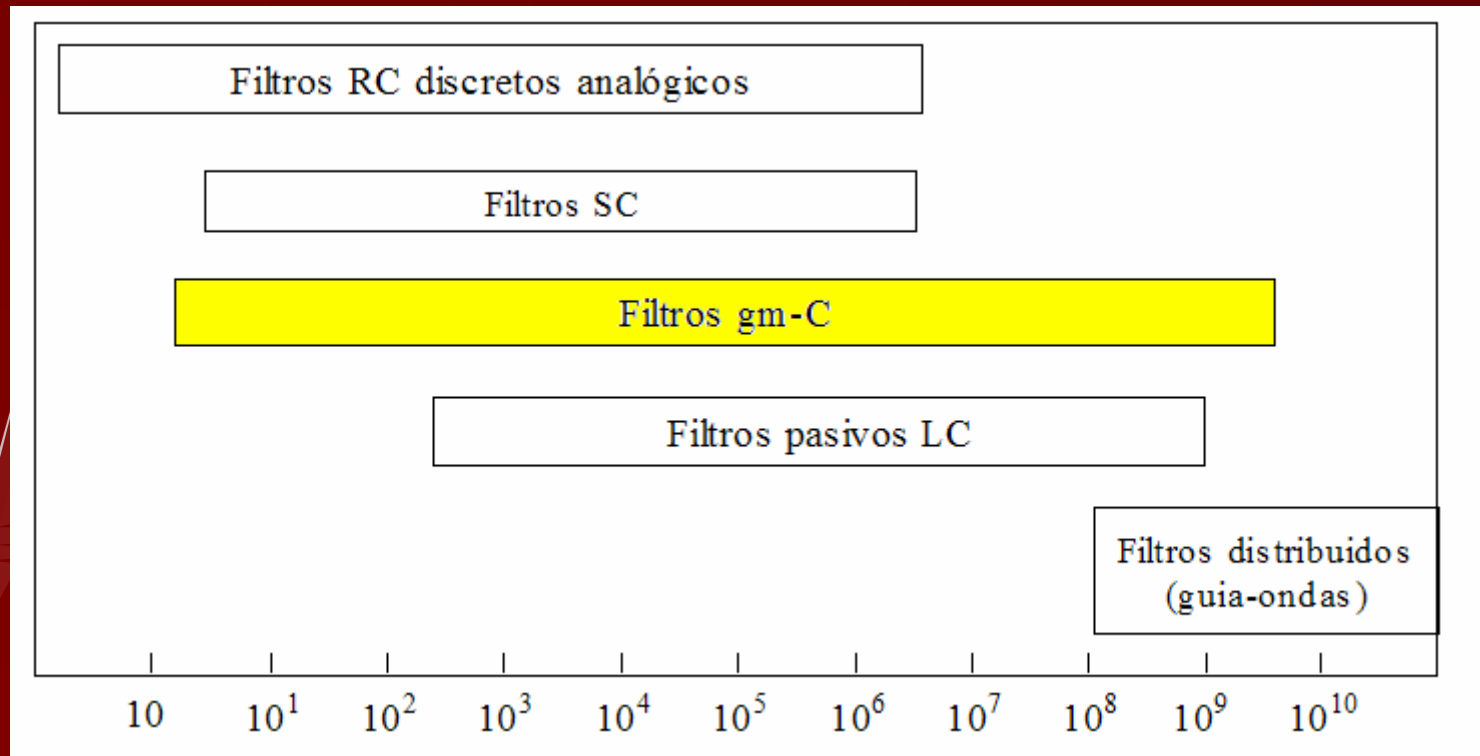
- Según los componentes que lo forman

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

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



# Teoría general de los filtros



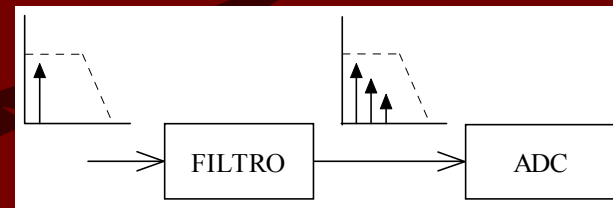
**Los filtros gm-C son el método más conveniente para el diseño de filtros de frecuencias intermedias (FI)**

# Teoría general de los filtros

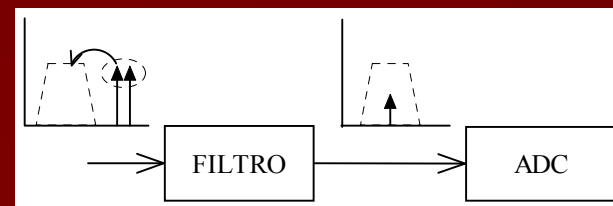
- Efectos de segundo orden

- **Distorsión:** Si los filtros no presentan 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:



# Teoría general de los 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)



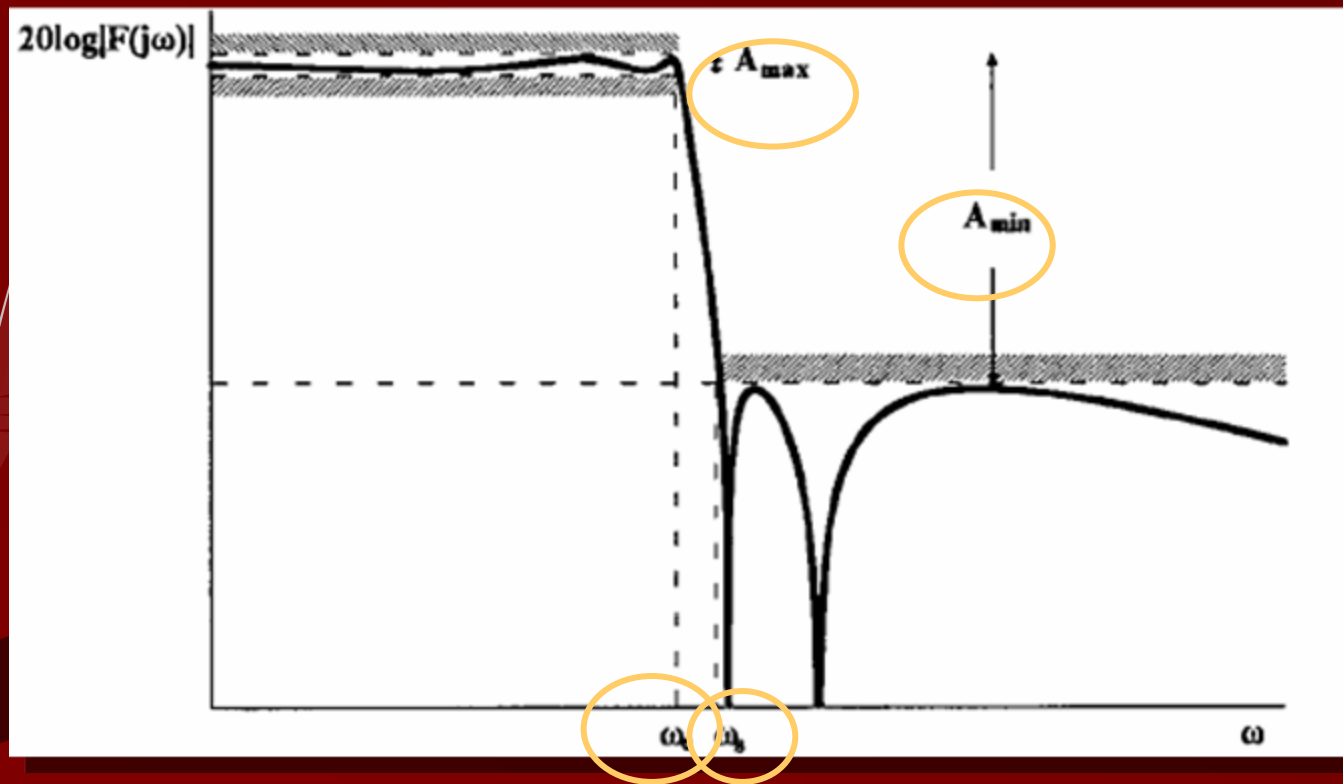


# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- 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:

The screenshot displays the ADS Filter Assistant interface with several key parameters highlighted by yellow circles:

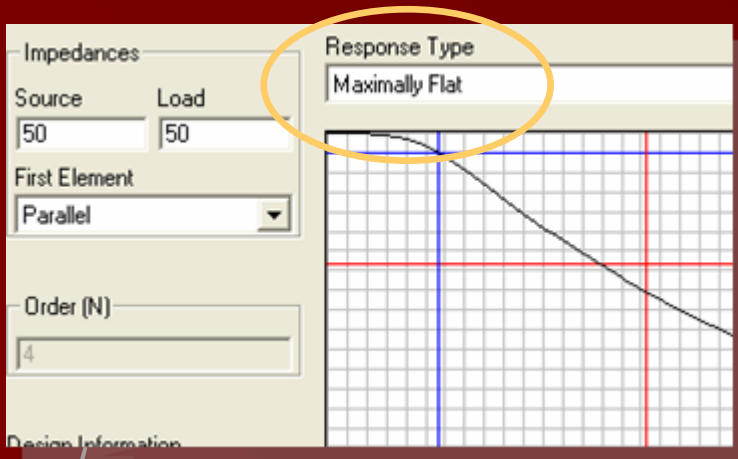
- Impedances:** Source and Load are both set to 50.
- Response Type:** Maximally Flat.
- Ap (dB):** 3.
- As (dB):** 20.
- dB/square:** 3.
- Design Information:** Order is 4, Minimum Insertion Loss is 0.0000.
- Fp (GHz):** 1.
- Fs (GHz):** 2.
- Units:** GHz.

The central graph shows a passband filter response with a flat top and a roll-off. The passband is bounded by vertical lines at 1 GHz (Fp) and 2 GHz (Fs). The stopband attenuation is 20 dB, and the passband ripple is 3 dB. The roll-off rate is 3 dB/square.

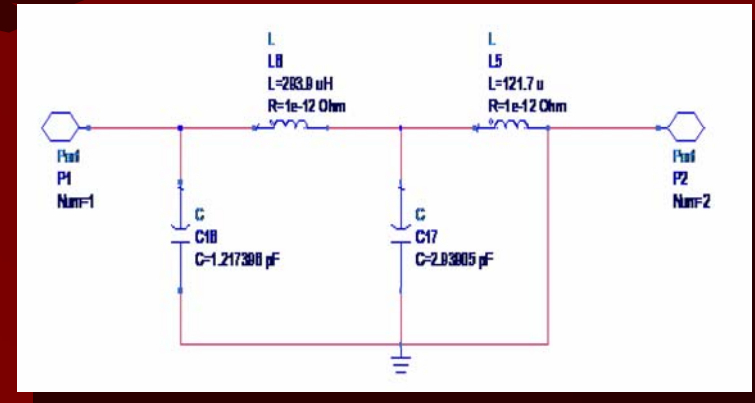
Buttons at the bottom include Design, Redraw, and Help.

# Diseño de filtros pasivos

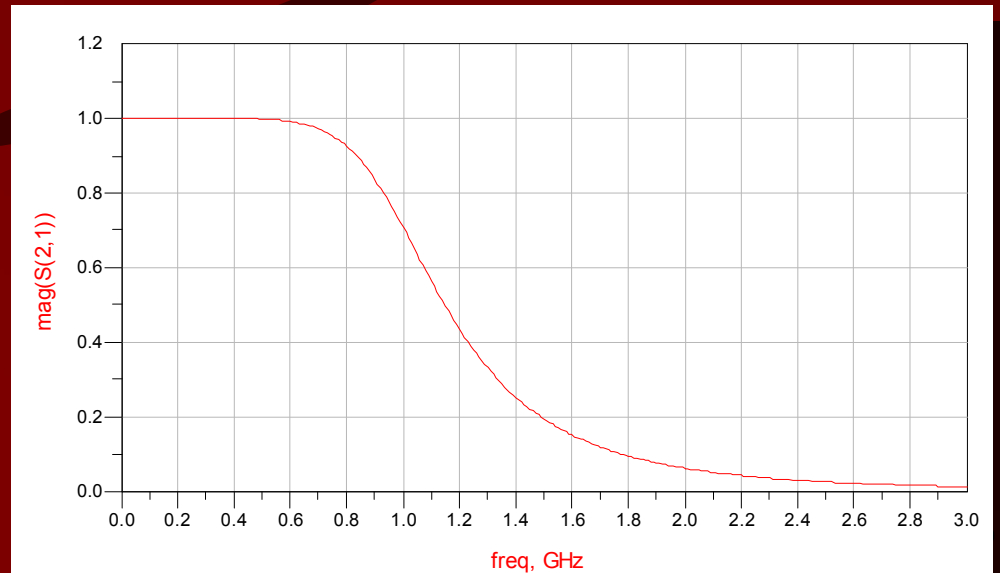
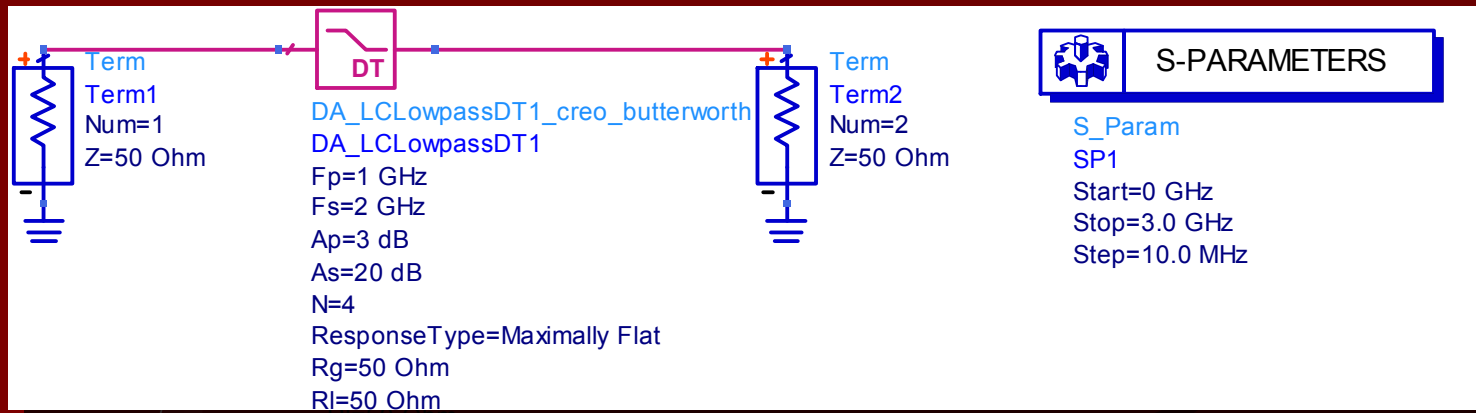
- Aproximación por el método de Butterworth

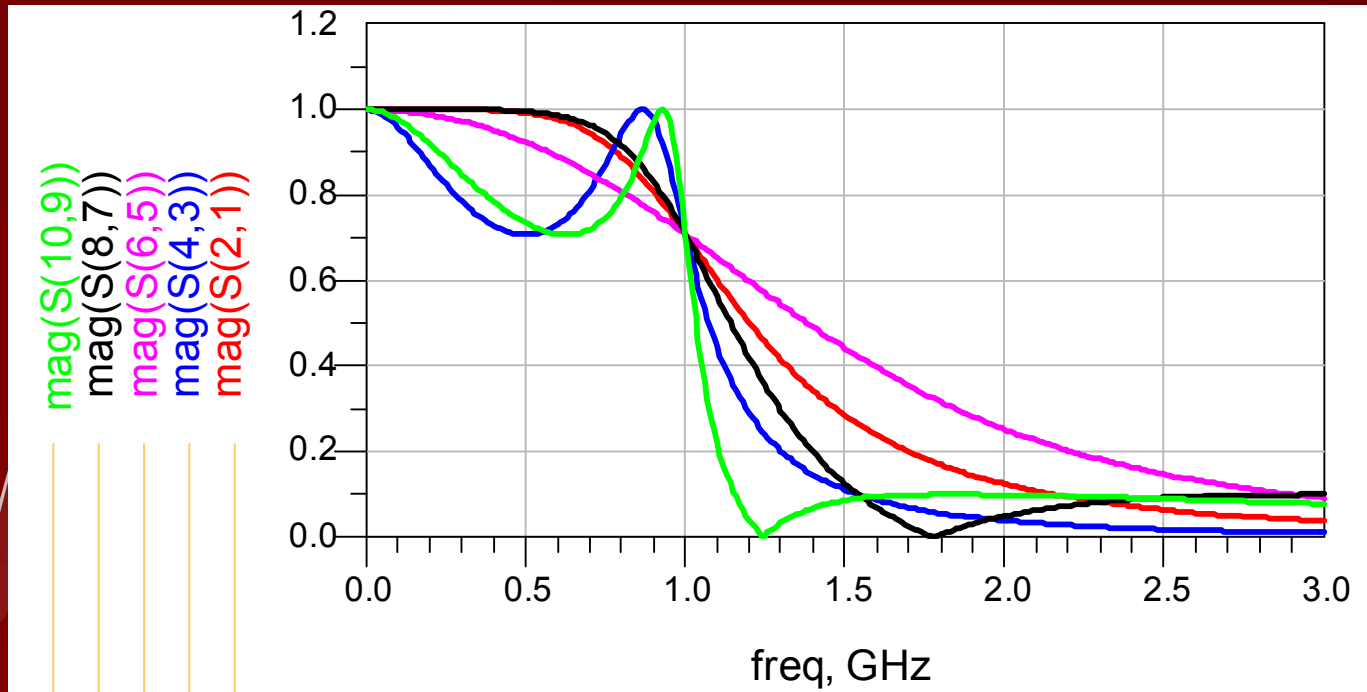


**DT**  
DA\_LCLowpassDT1\_creo\_butterworth  
DA\_LCLowpassDT1  
Fp=1 GHz  
Fs=2 GHz  
Ap=3 dB  
As=20 dB  
N=4  
ResponseType=Maximally Flat  
Rg=50 Ohm  
RI=50 Ohm



# Diseño de filtros pasivos





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

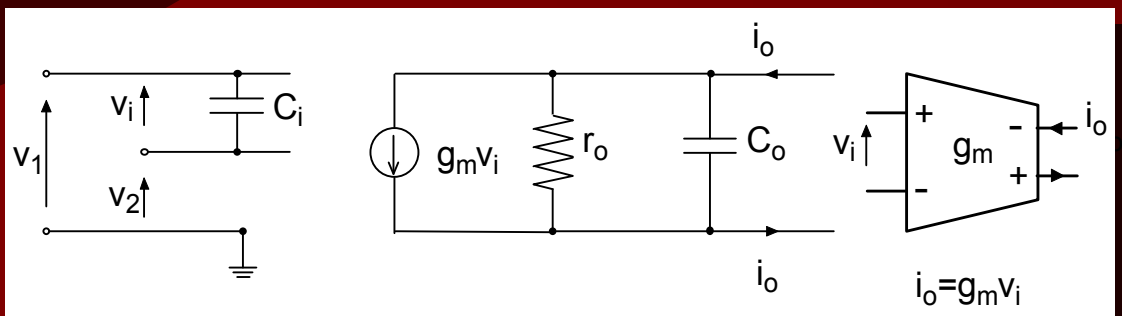
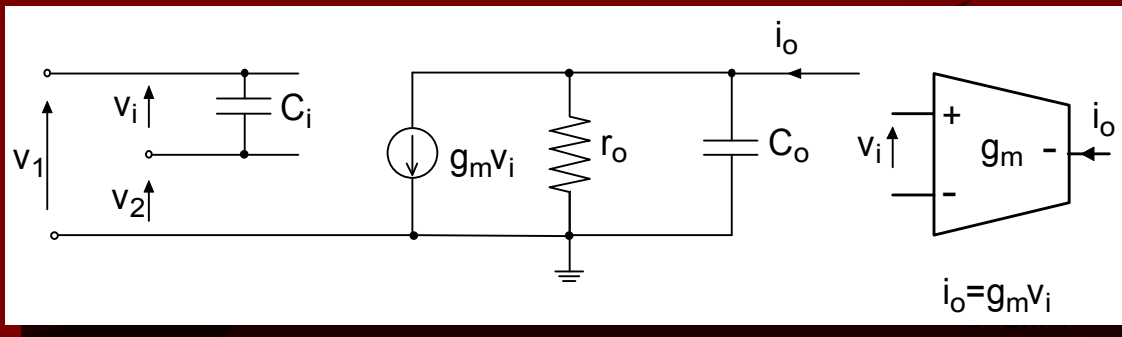
# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto



# Filtros Gm-C

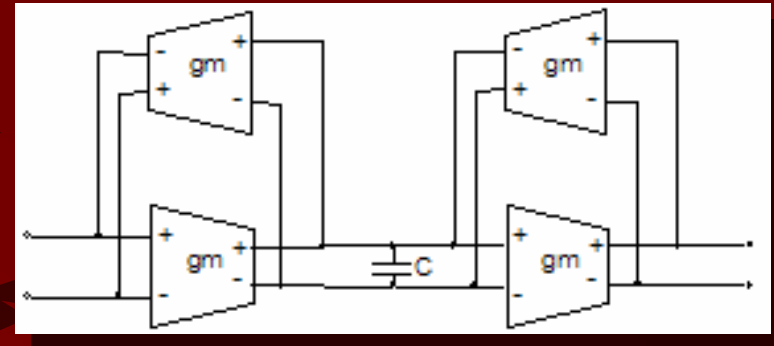
- Formados por amplificadores de transconductancia (OTAs) y condensadores
- OTA ideal: fuente de corriente controlada por tensión, BW, Zi y Zo infinitas
- Circuito equivalente en pequeña señal



# Filtros Gm-C

- Realización de inductores mediante giradores

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

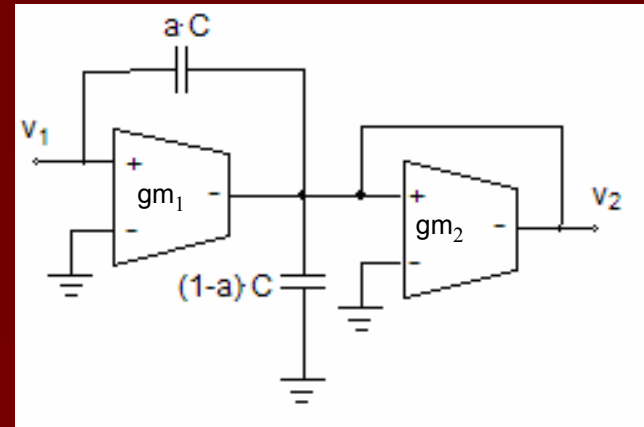


Bobina flotante

# Filtros Gm-C

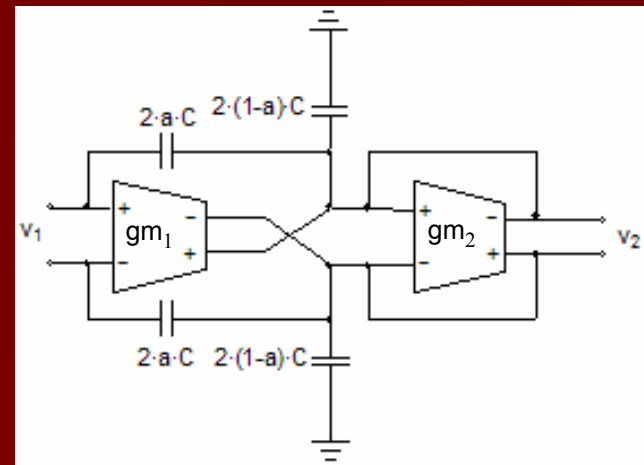
- Filtros de primer orden (biquads):

Asimétrica



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

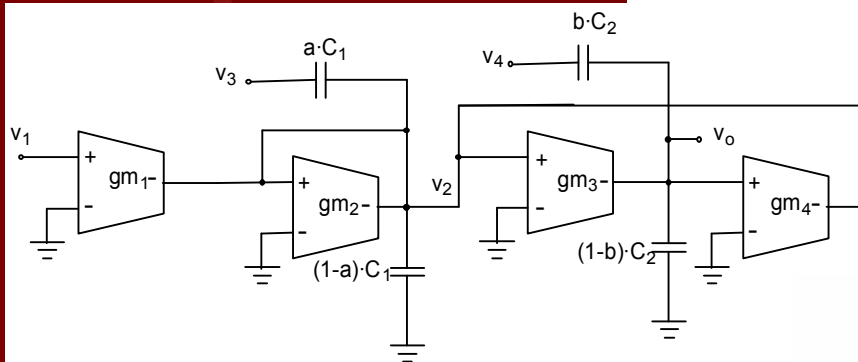
Diferencial



# Filtros Gm-C

- Filtros de segundo orden (biquads):

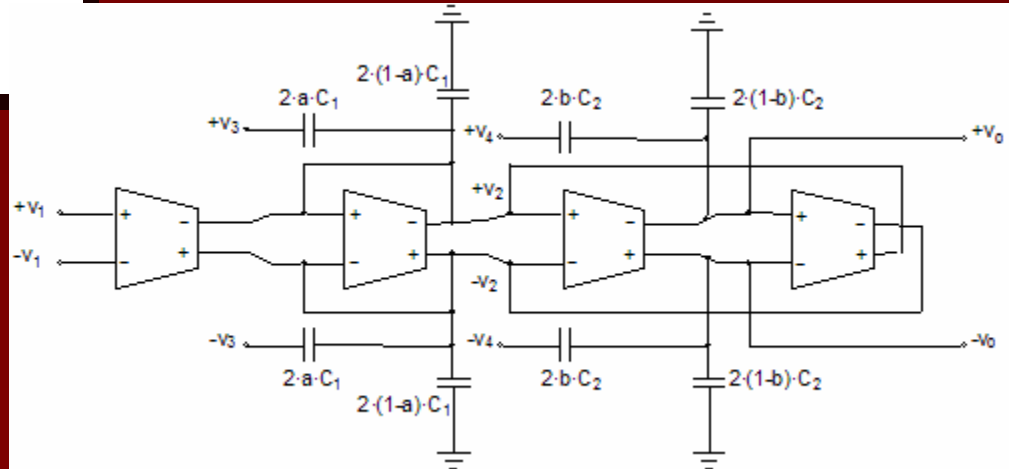
$$T(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{s^2 \cdot \left( b \cdot \frac{V_4}{V_i} \right) + s \cdot \left( b \cdot \frac{gm}{C_1} \cdot \frac{V_4}{V_i} - a \cdot \frac{gm}{C_2} \cdot \frac{V_3}{V_i} \right) + \left( \frac{gm_1}{gm} \cdot \frac{V_1}{V_i} \right) \cdot \frac{gm_2}{C_1 \cdot C_2}}{s^2 + s \frac{gm}{C_1}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



Asimétrica



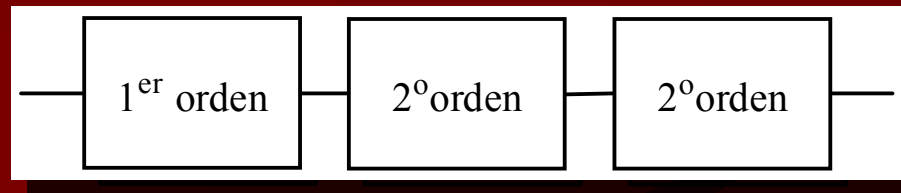
Diferencial



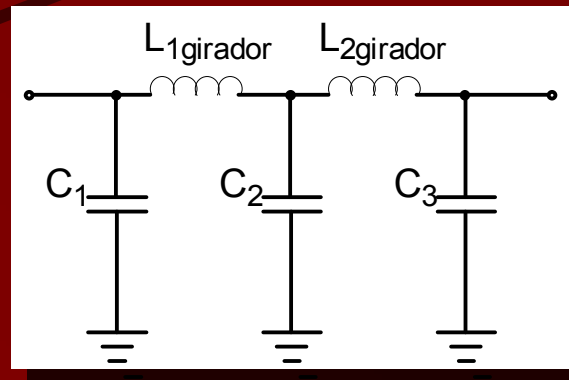
# Filtros Gm-C

- Filtros de orden superior:

- Conectar varias estructuras (*biquads*) de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> orden en cascada:

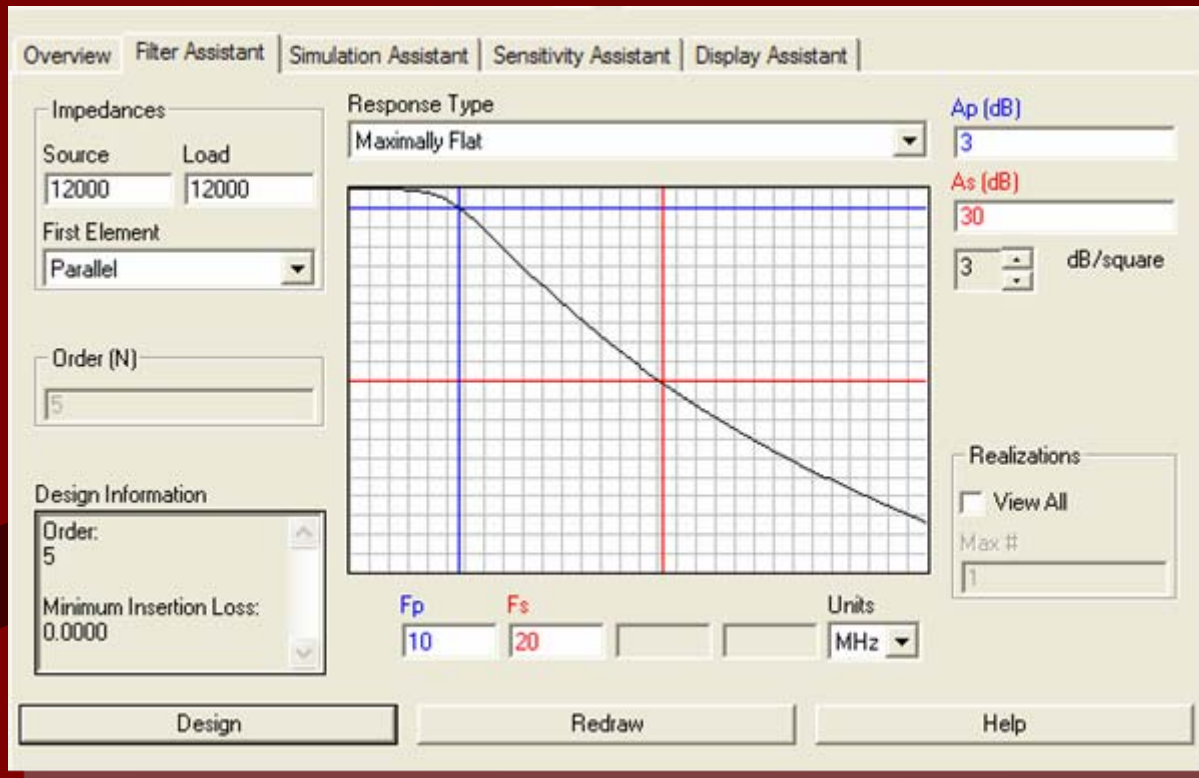


- Simulación de filtros pasivos en escalera (*ladder*):



# Filtros Gm-C

- ADS → 1) Filter Design Guide

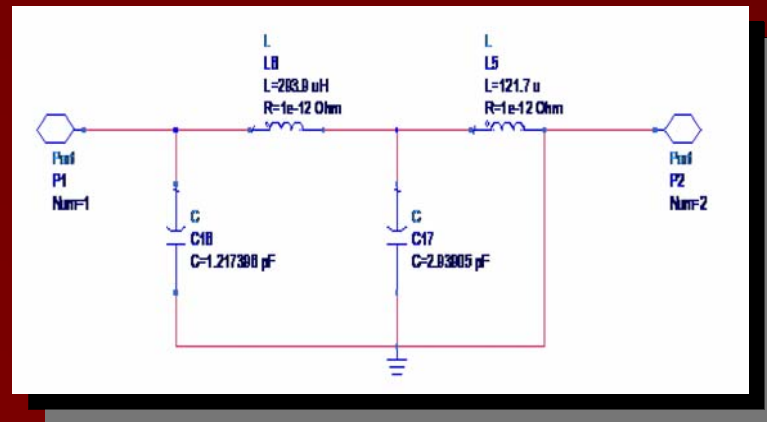


The screenshot displays the ADS Filter Assistant interface, which is used for designing filters. The interface is divided into several sections:

- Overview:** Filter Assistant, Simulation Assistant, Sensitivity Assistant, Display Assistant.
- Impedances:** Source and Load are both set to 12000. The First Element is set to Parallel.
- Order (N):** Set to 5.
- Design Information:** Order is 5, and Minimum Insertion Loss is 0.0000.
- Response Type:** Maximally Flat.
- Ap (dB):** Set to 3.
- As (dB):** Set to 30.
- dB/square:** Set to 3.
- Realizations:** View All is unchecked, and Max # is set to 1.
- Plot:** A magnitude response plot showing a passband edge. The passband frequency (Fp) is 10 MHz, and the stopband frequency (Fs) is 20 MHz. The plot shows a sharp roll-off from the passband to the stopband.
- Units:** Set to MHz.
- Buttons:** Design, Redraw, and Help.

# Filtros Gm-C

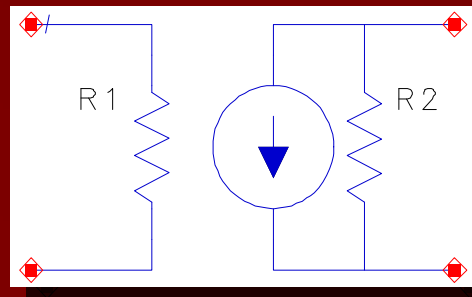
2) Crear el *ladder*:



3) Sustituir las bobinas por giradores:

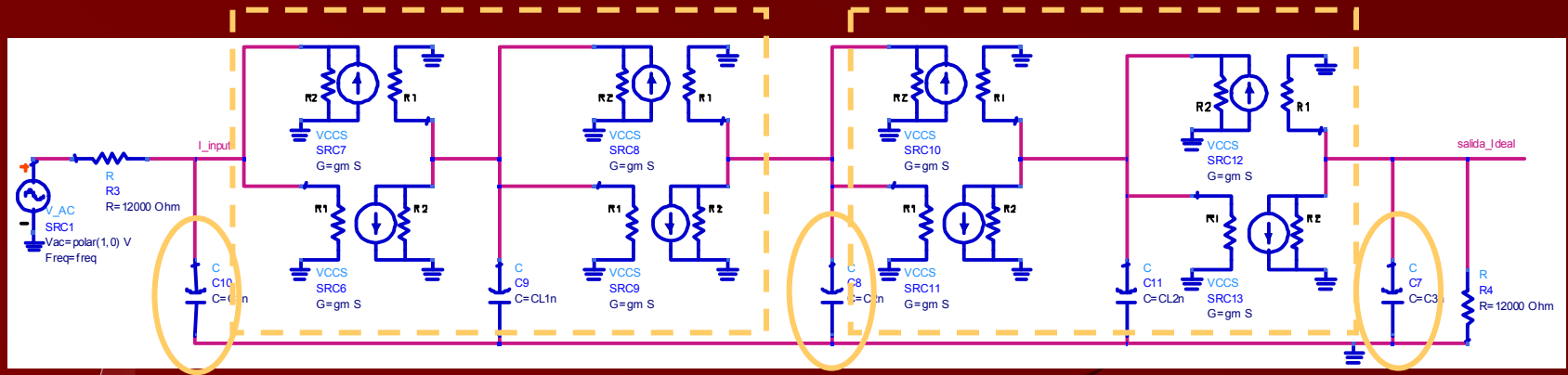


OTAs

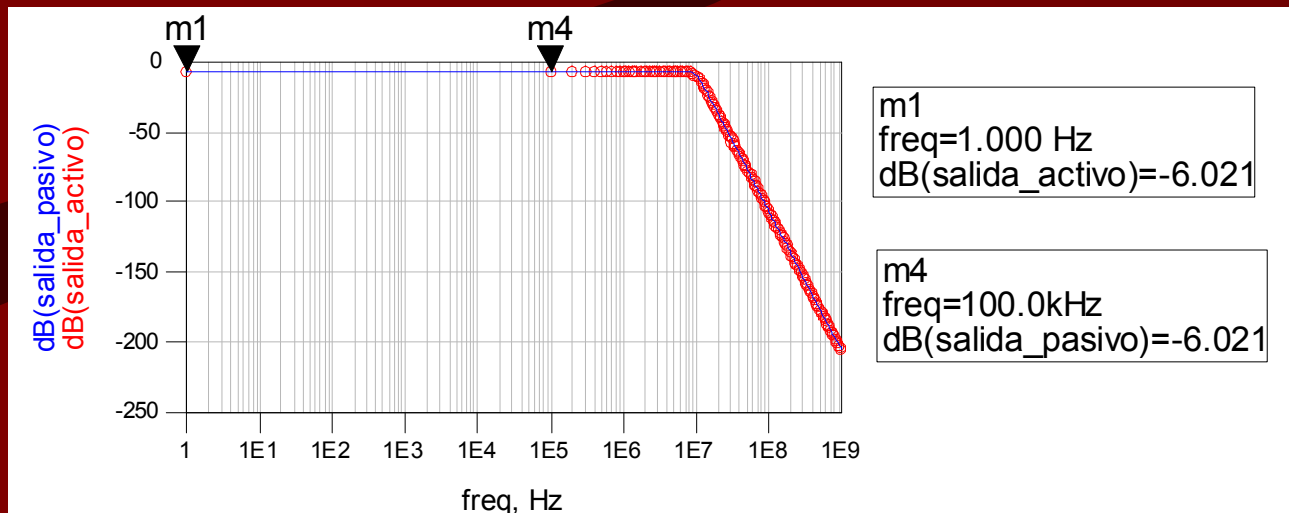




# Filtros Gm-C



## 4) Simular resultados:

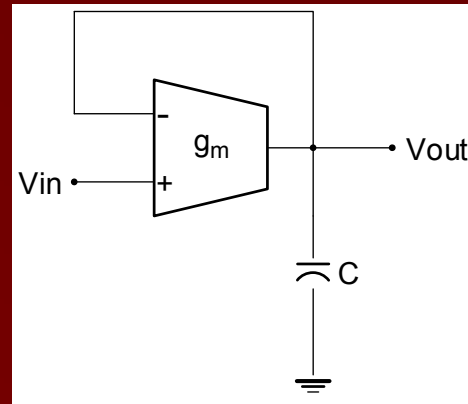


# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables**
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

# Filtros Integrados Sintonizables

Filtro básico

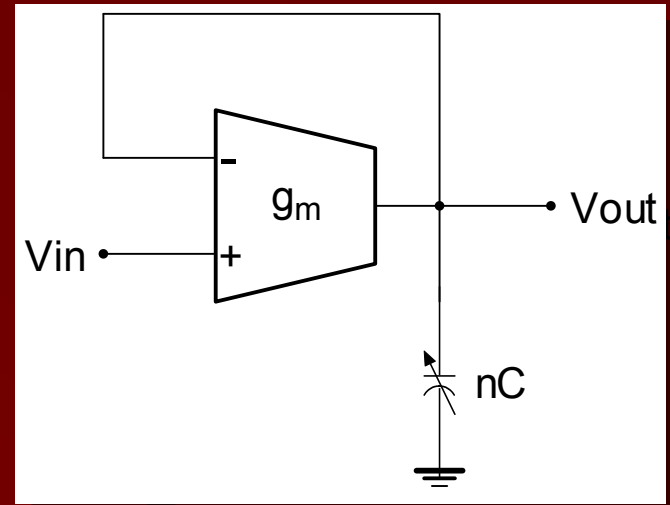


A partir del filtro básico hay dos maneras de hacer sintonizable la frecuencia de corte ( $f_c$ )

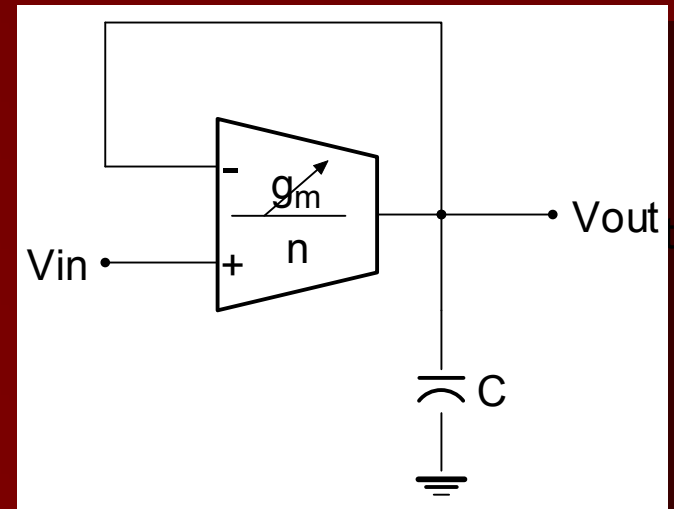
- Filtro sintonizable con capacidad constante
- Filtro sintonizable con transconductancia ( $g_m$ ) constante

# Filtros Integrados Sintonizables

Filtro integrado sintonizable  
de  $g_m$  constante

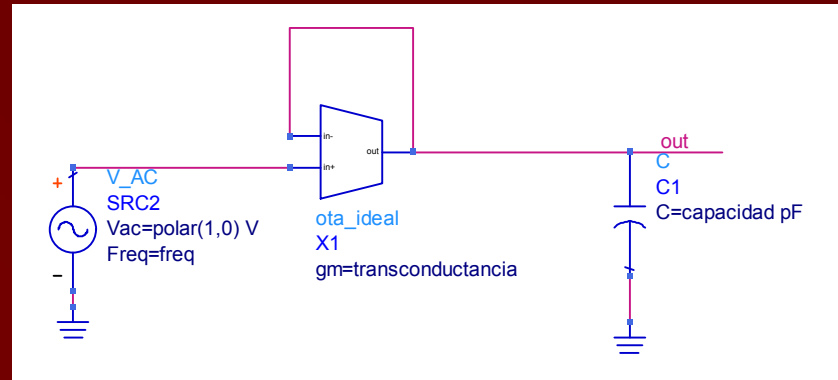


Filtro integrado sintonizable  
de capacidad constante



# Filtros Integrados Sintonizables

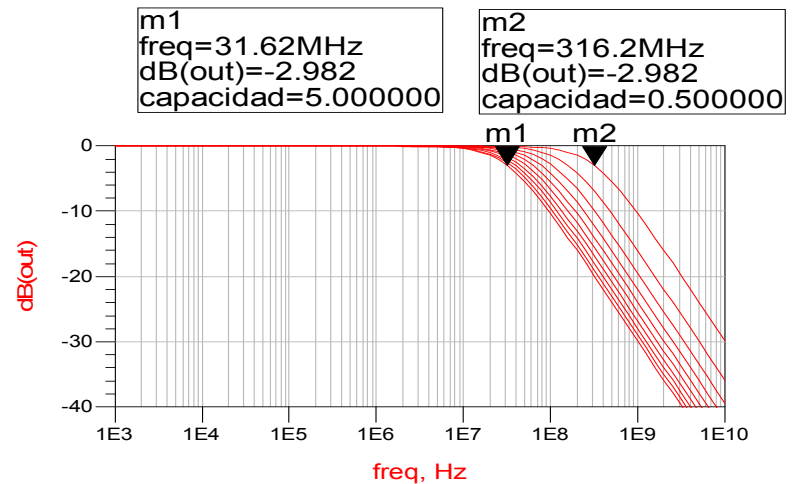
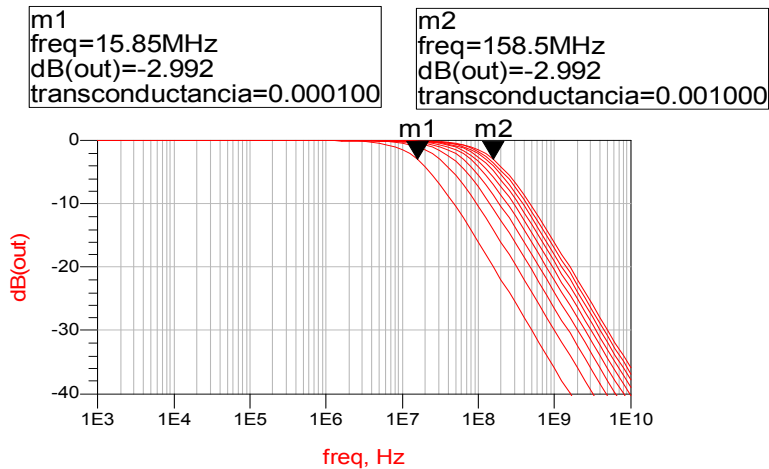
Diseño de un filtro



Respuesta filtro sintonizable de capacidad cte

Respuesta filtro básico

Respuesta filtro sintonizable de gm cte



# Filtros Integrados Sintonizables

¿Qué es un varactor?



Los varactores son condensadores cuya capacidad se puede modificar mediante la aplicación de una tensión de polarización determinada (tensión de sintonía)

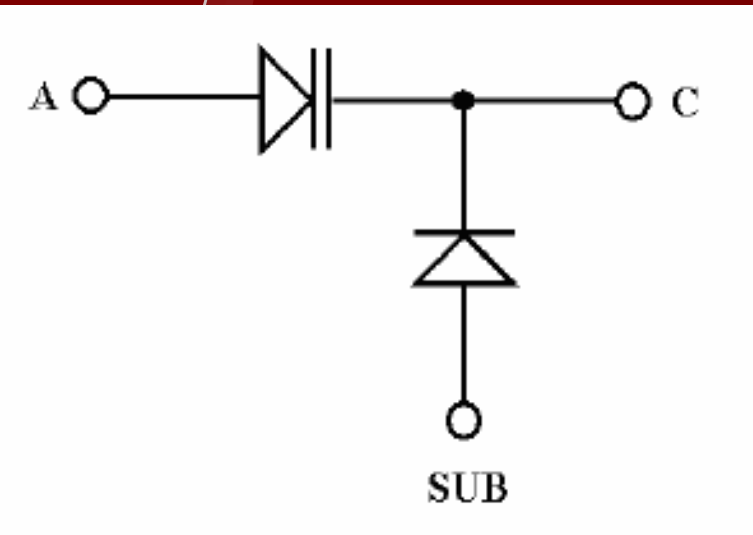
Tipos de varactores:

- Varactor de unión PN (*jvar*)
- Varactor MOS (*cvar*)



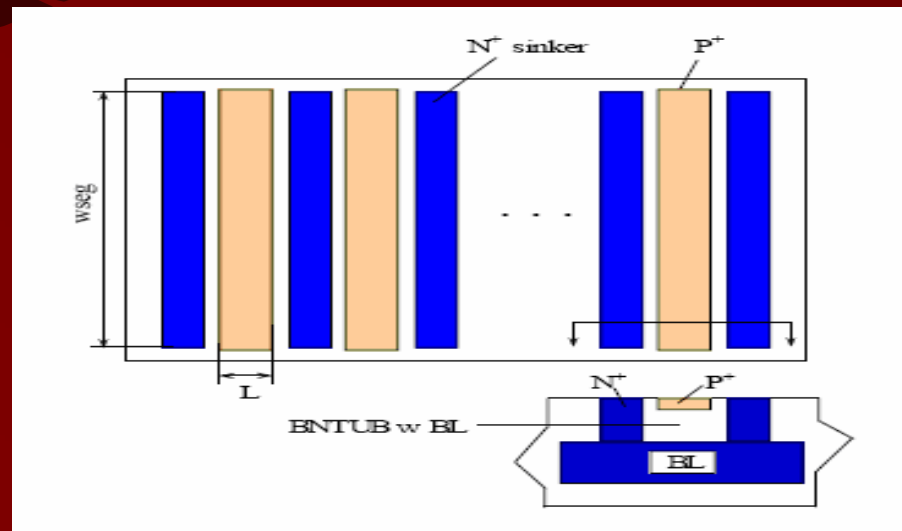
# Filtros Integrados Sintonzables

El varactor de unión PN ( $jvar$ ) se comporta como un dispositivo de tres terminales



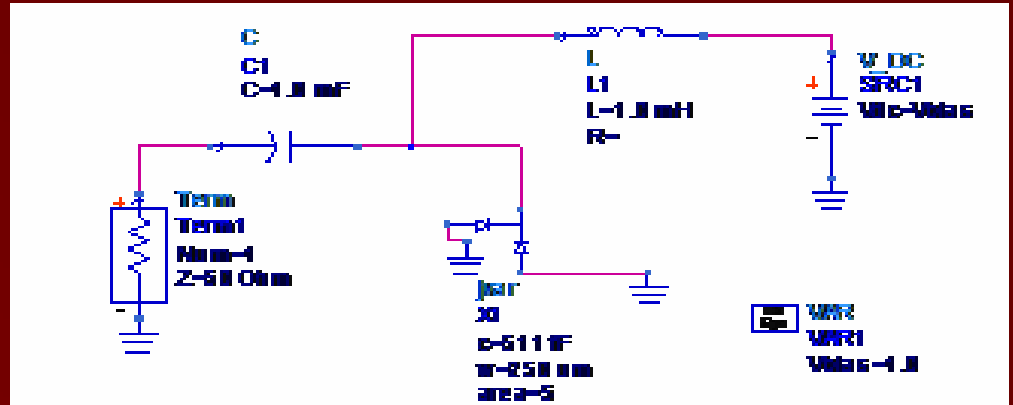
El modelo es válido para:

- Rango de frecuencias: pocos kHz - 6 GHz
- Anchura total: 250  $\mu\text{m}$  - 1000  $\mu\text{m}$
- *Layout*: el *layout* se compone de franjas paralelas conectadas en cascada

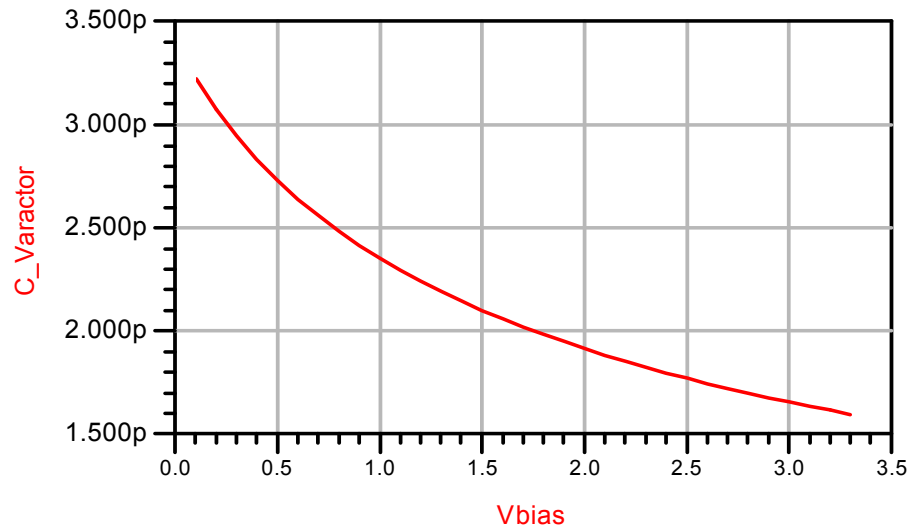


# Filtros Integrados Sintonizables

Setup de simulación del varactor unión PN (*jvar*)



Varactor capacitance versus Bias Voltage



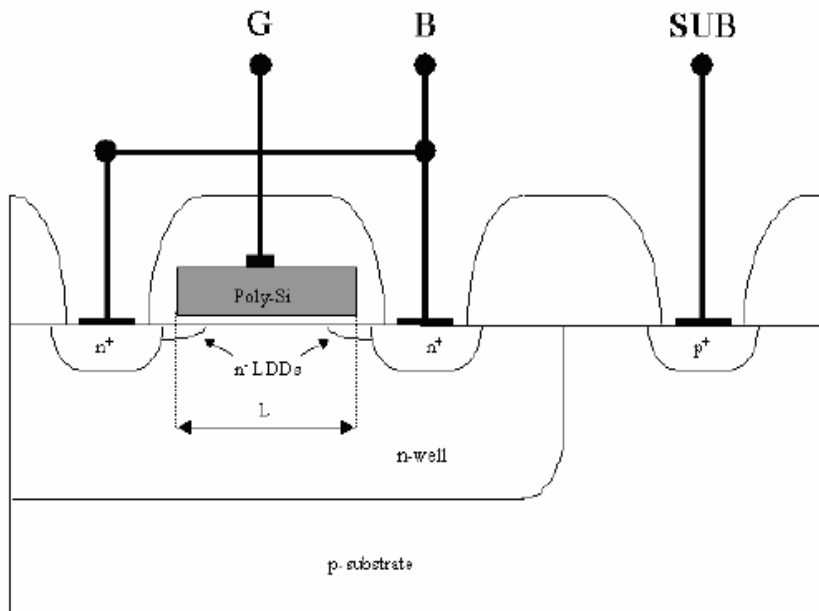
dimensiones geométricas y valores n

$W[\mu m]$	$N_{stripes}$	$L[\mu m]$
250	5	1.4
500	10	1.4
1000	20	1.4



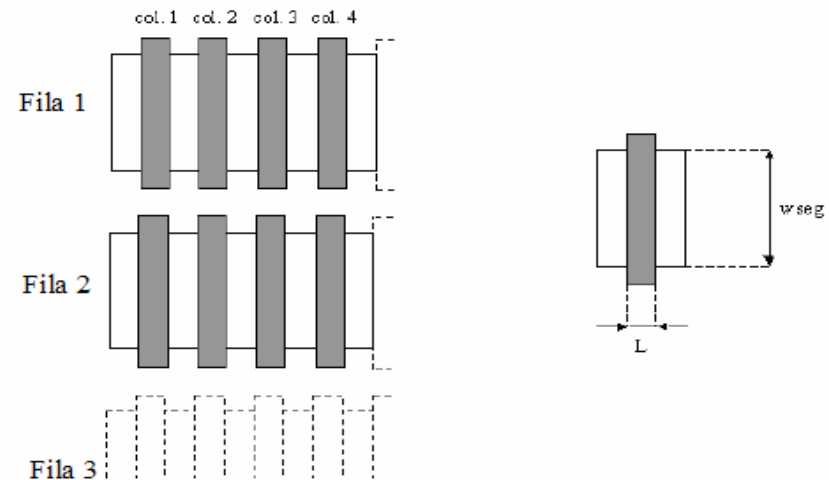
# Filtros Integrados Sintonzables

El varactor MOS (*cvar*) se comporta como un condensador de tres terminales



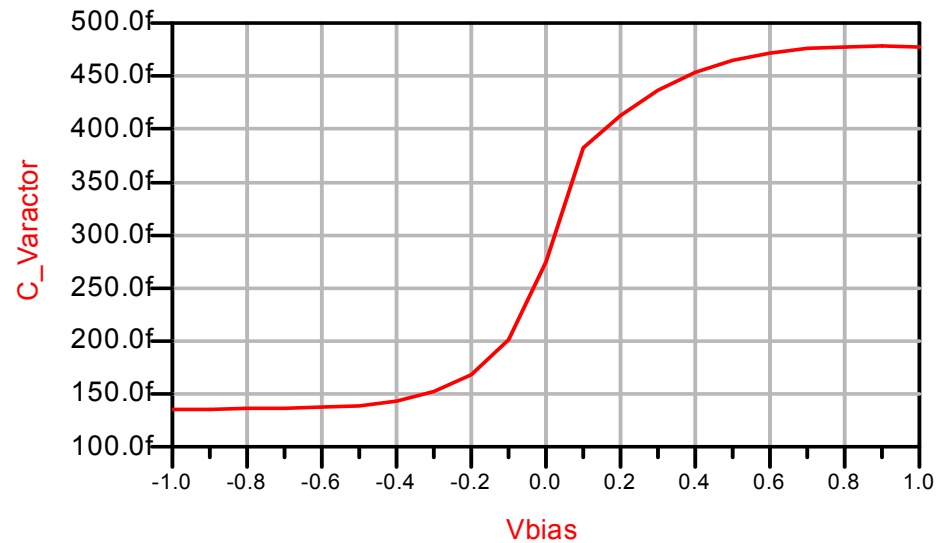
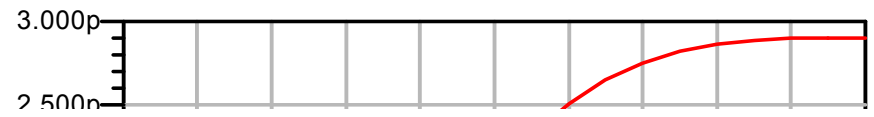
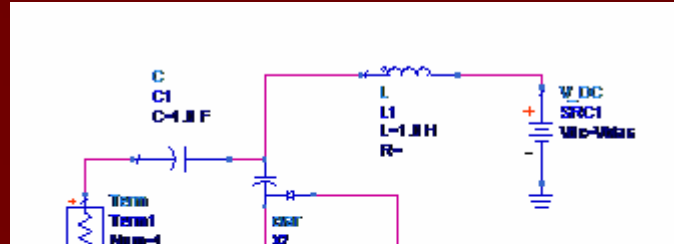
El modelo es válido para:

- Rango de frecuencias: pocos kHz - 6 GHz
- Anchura total: 100  $\mu\text{m}$  - 1000  $\mu\text{m}$
- *Layout*: el *layout* esta formado por una matriz que contiene filas y columnas, la relación de las columnas y filas son de 1-5



# Filtros Integrados Sintonzables

Setup de simulación del varactor MOS (*cvar*)

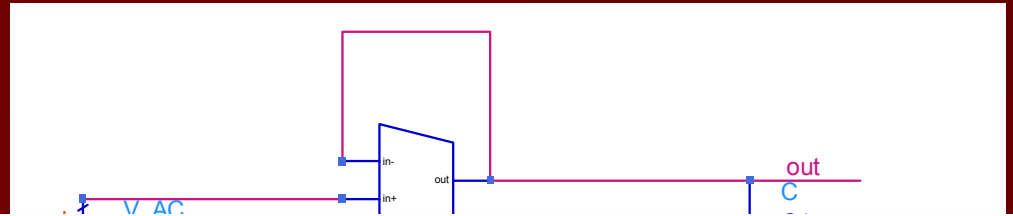


dimensiones geométricas y v

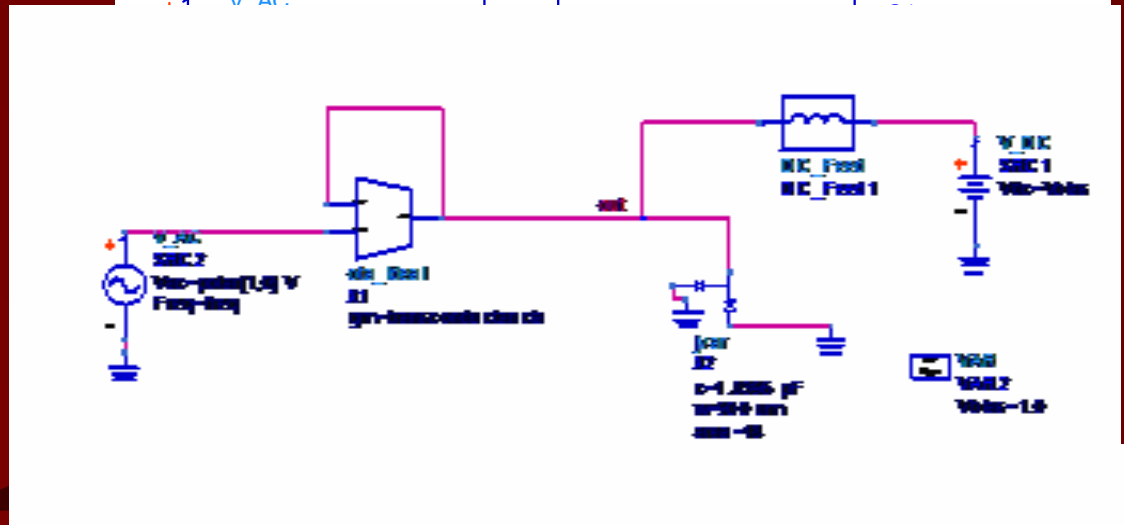
$W[\mu m]$	Row	Col
950.4	9	16
633.6	6	16
316.8	3	16
158.4	3	8

# Filtros Integrados Sintonzables

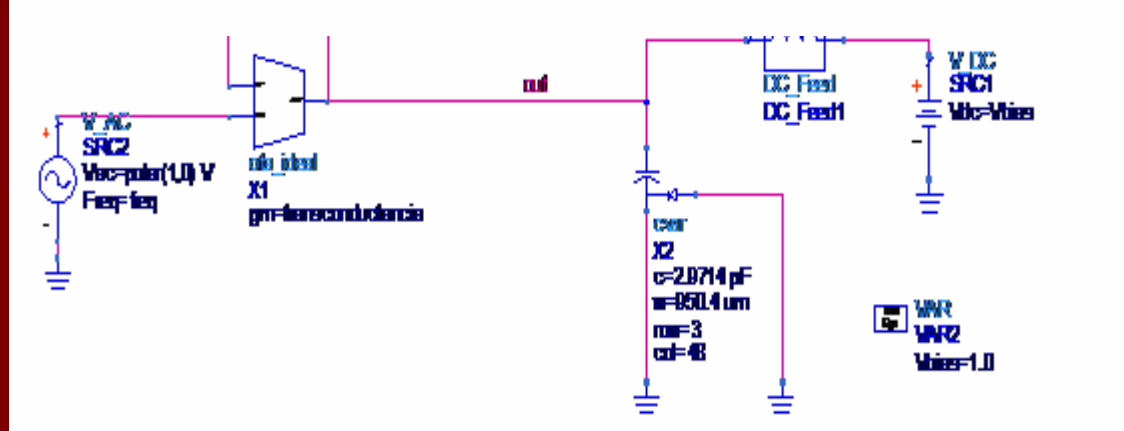
Filtro básico



Filtro básico con el varactor *jvar*



Filtro básico con el varactor *cvar*



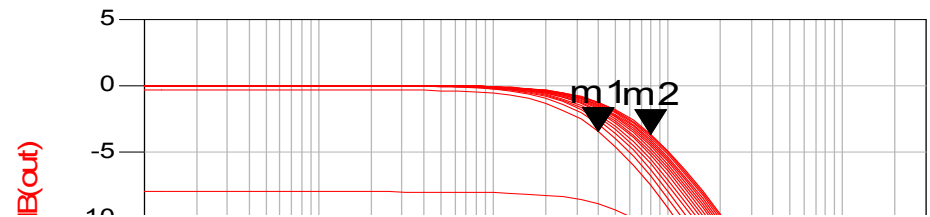
# Filtros Integrados Sintonzables

Respuesta del filtro  
básico con el varactor  
*jvar*



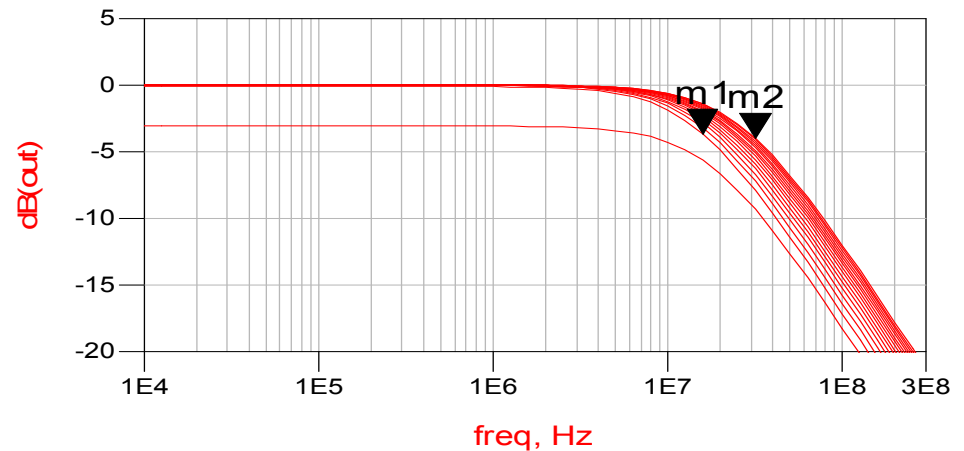
m1  
freq=3.981MHz  
dB(out)=-3.487  
Vbias=-0.400000

m2  
freq=7.943MHz  
dB(out)=-3.667  
Vbias=1.000000



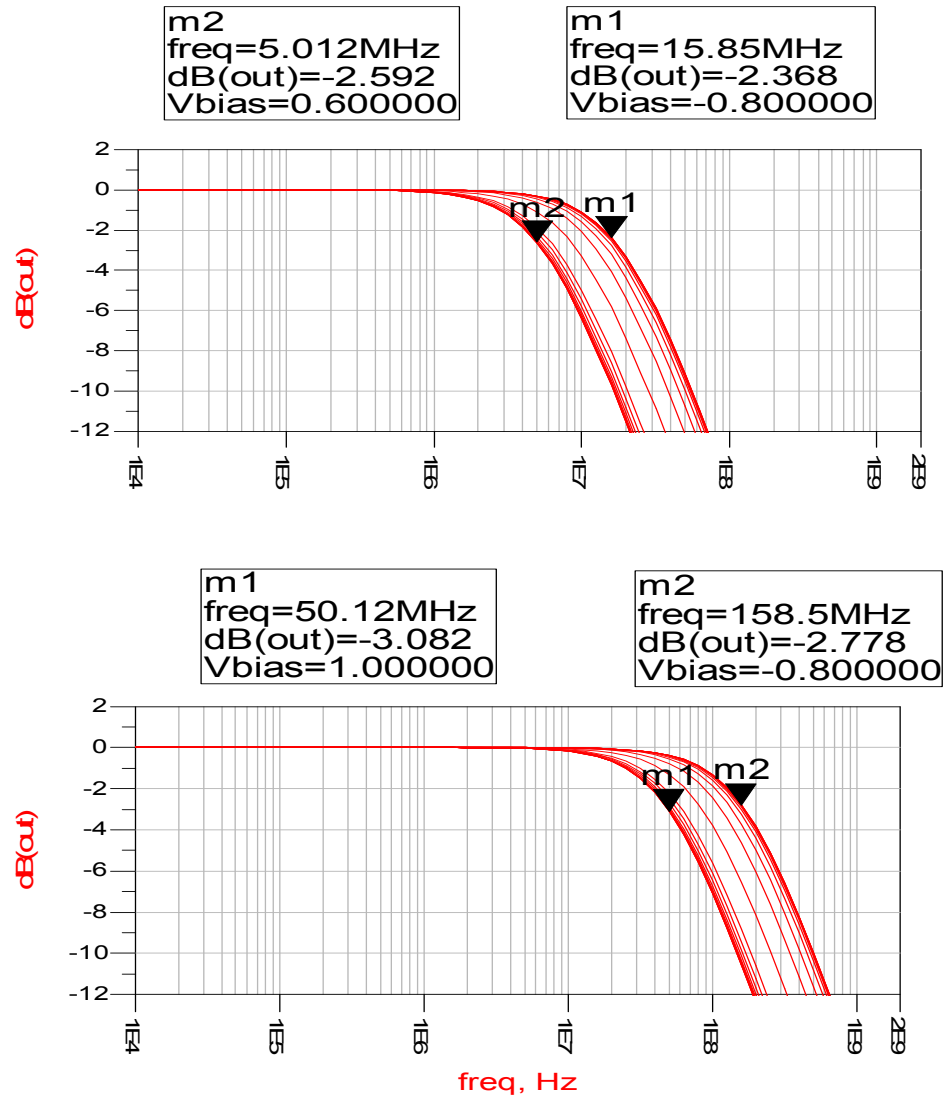
m1  
freq=15.85MHz  
dB(out)=-3.637  
Vbias=-0.400000

m2  
freq=31.62MHz  
dB(out)=-3.966  
Vbias=1.000000



# Filtros Integrados Sintonzables

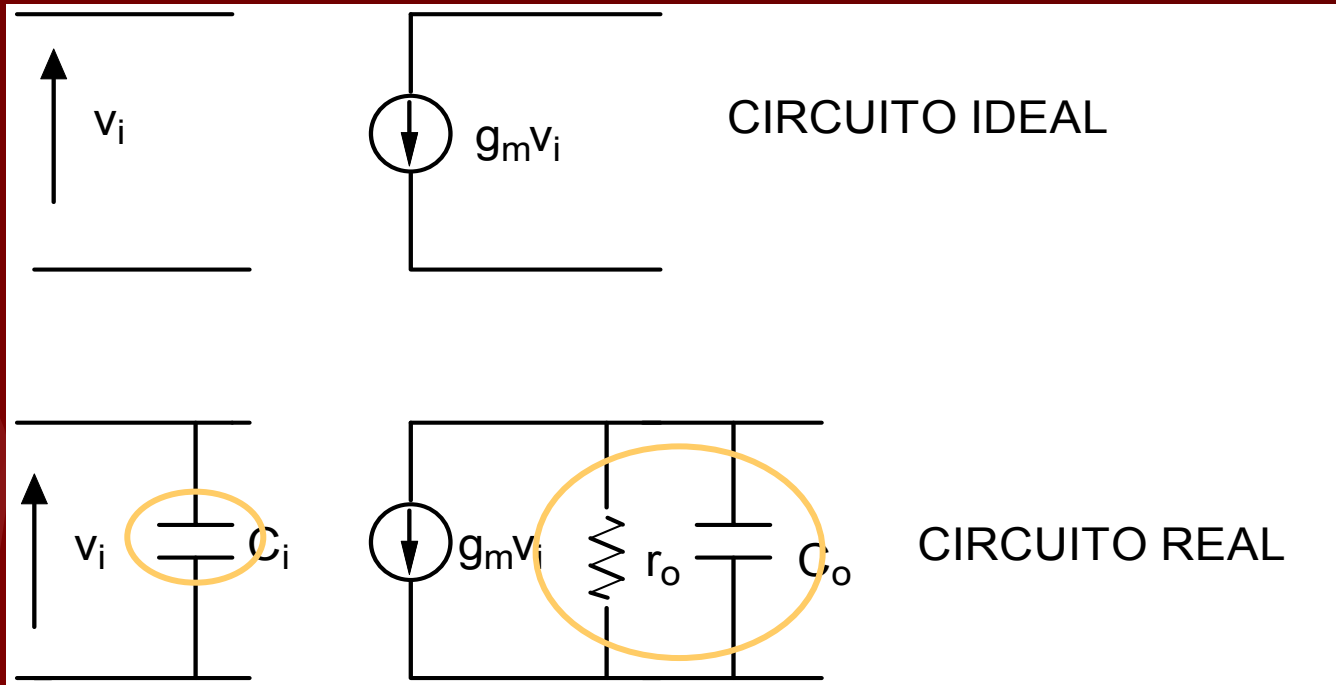
Respuesta del filtro  
básico con el varactor  
*cvar*



# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

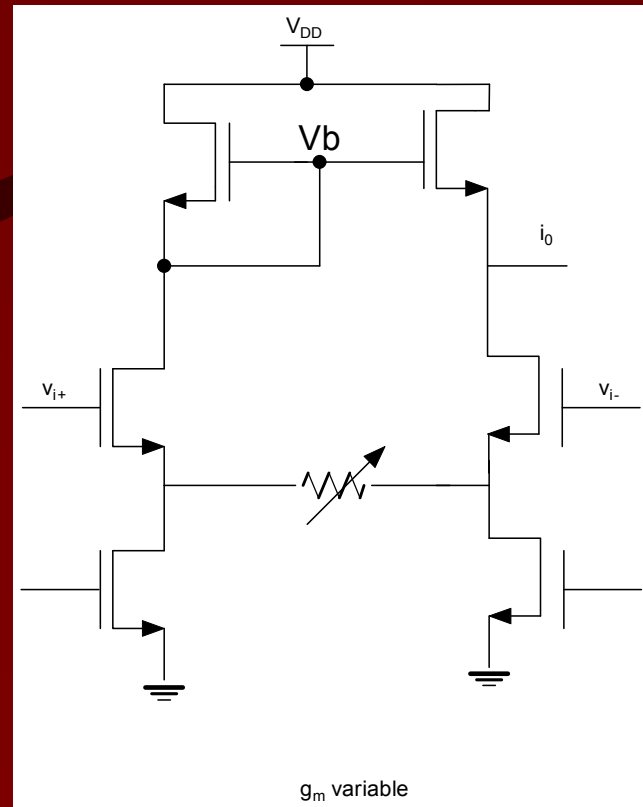
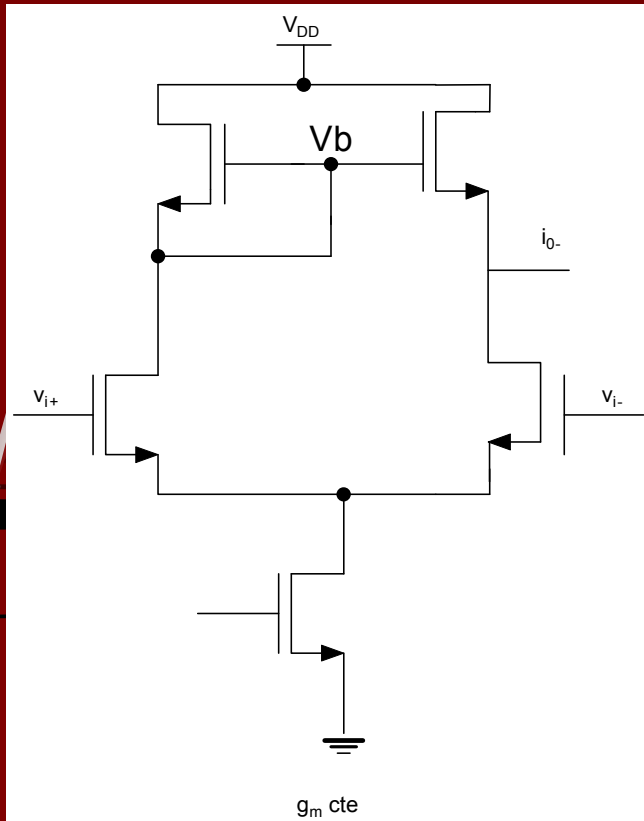
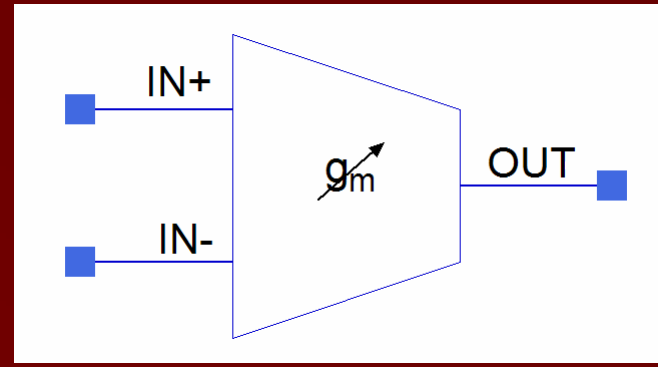
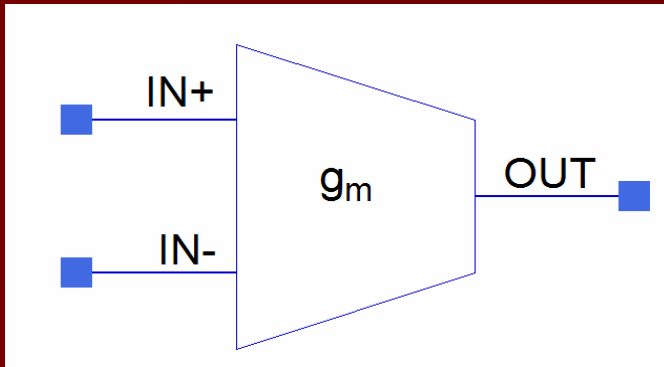
# OTAs



Tipos de transconductores  
estudiados

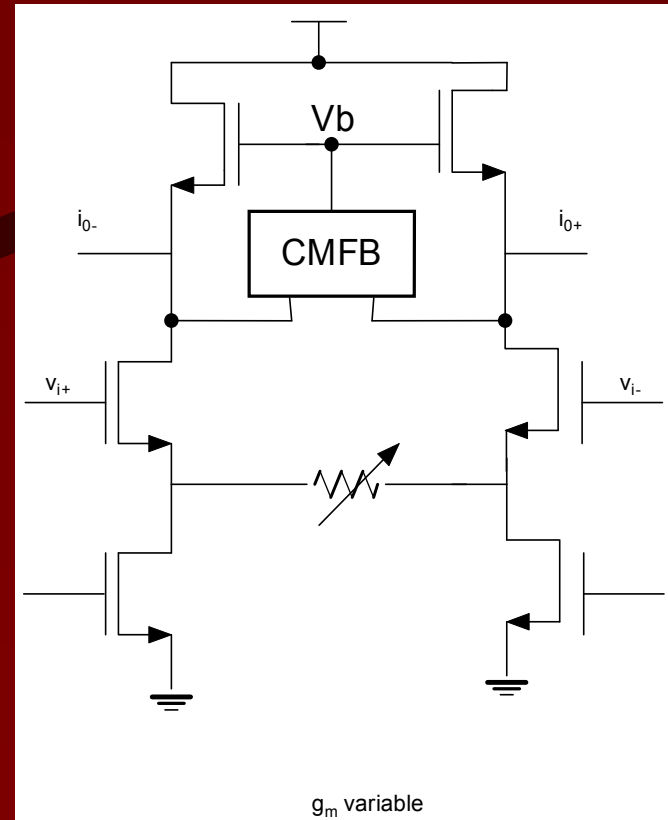
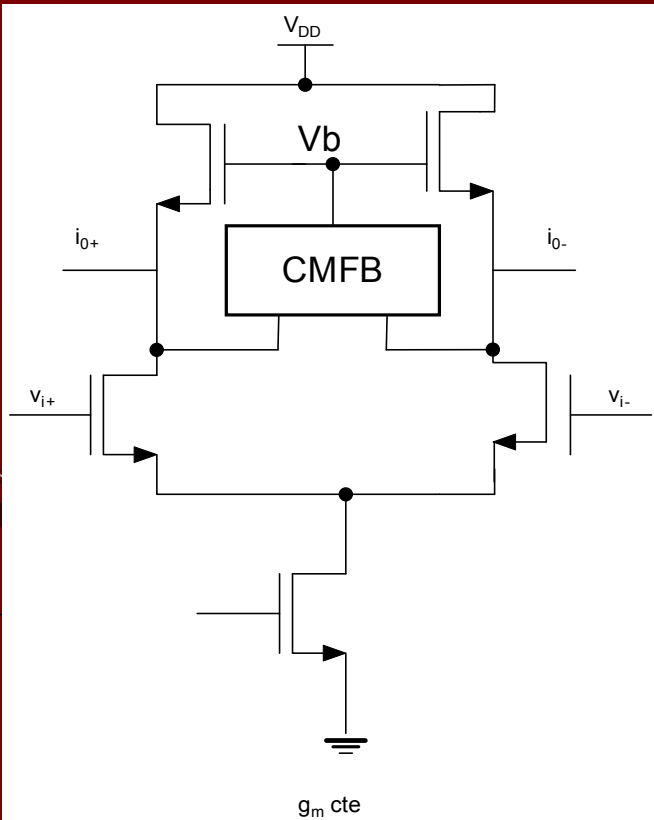
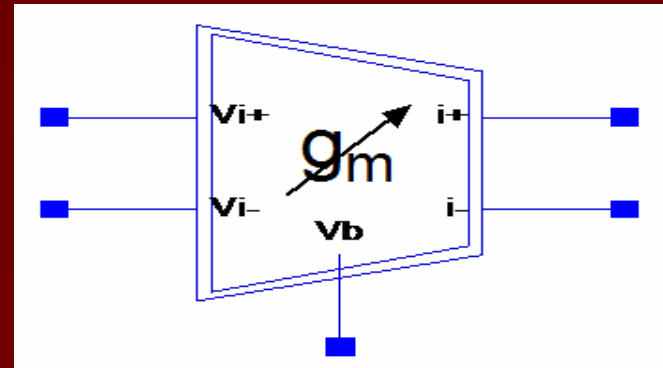
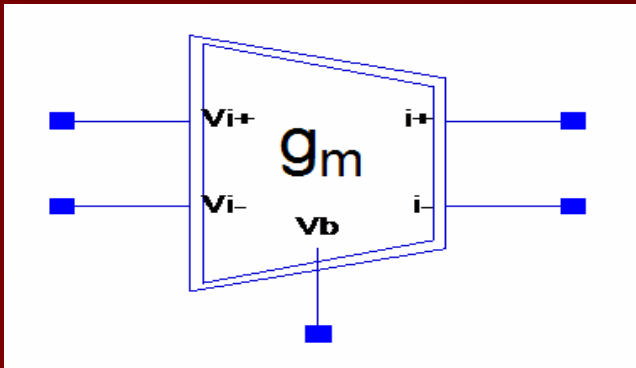
- transconductor básico
- transconductor variable
- transconductor pseudodiferencial

# OTAs

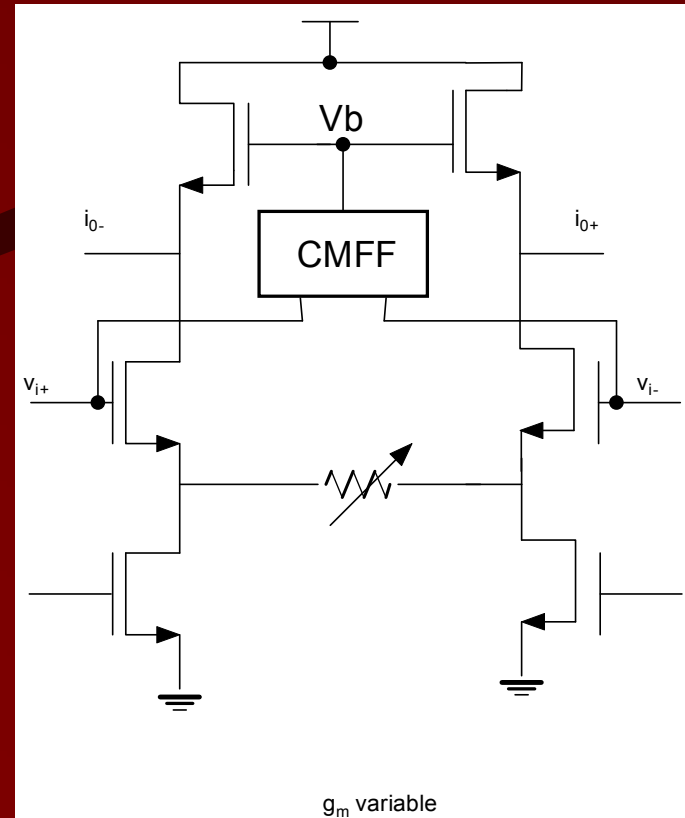
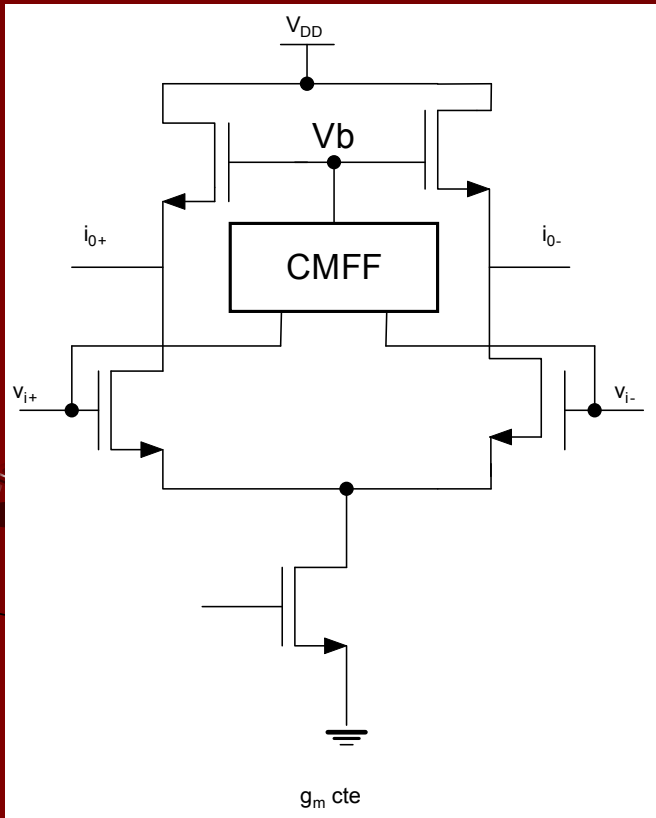
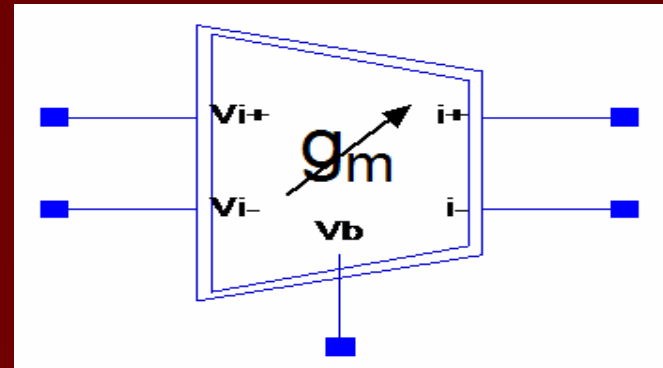
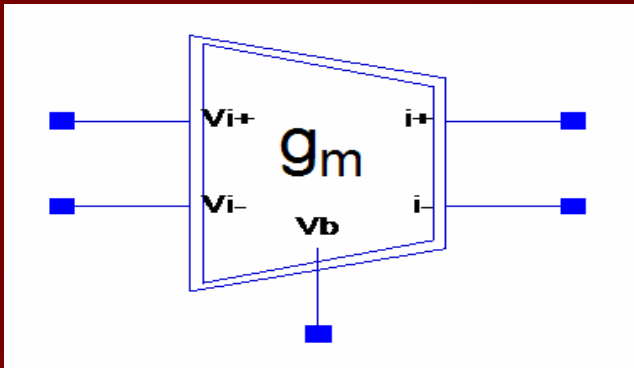




# OTAs

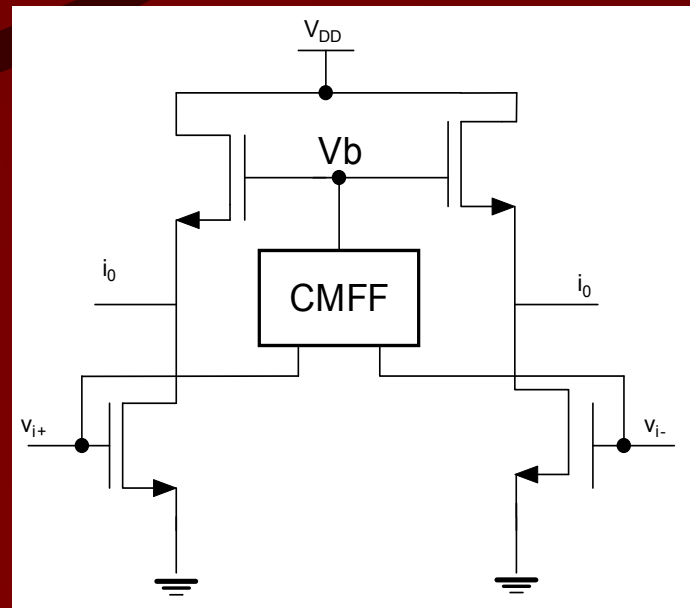
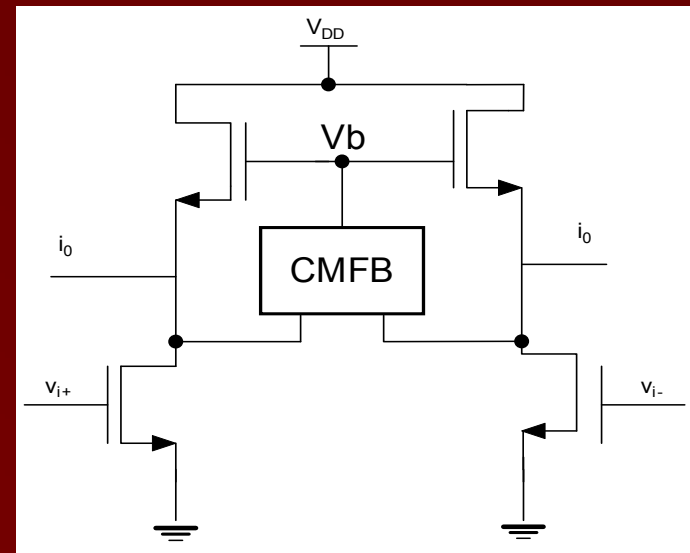
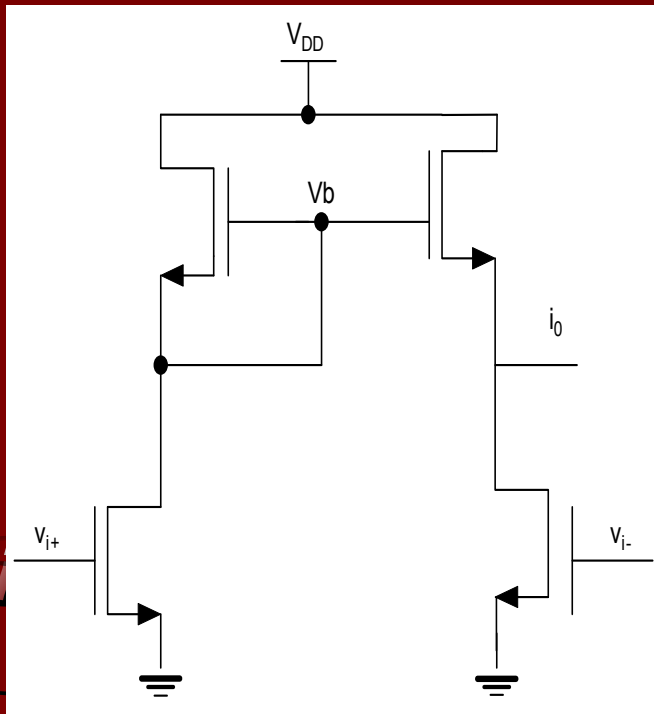


# OTAs



# OTAs

Pseudodiferencial



# OTAs

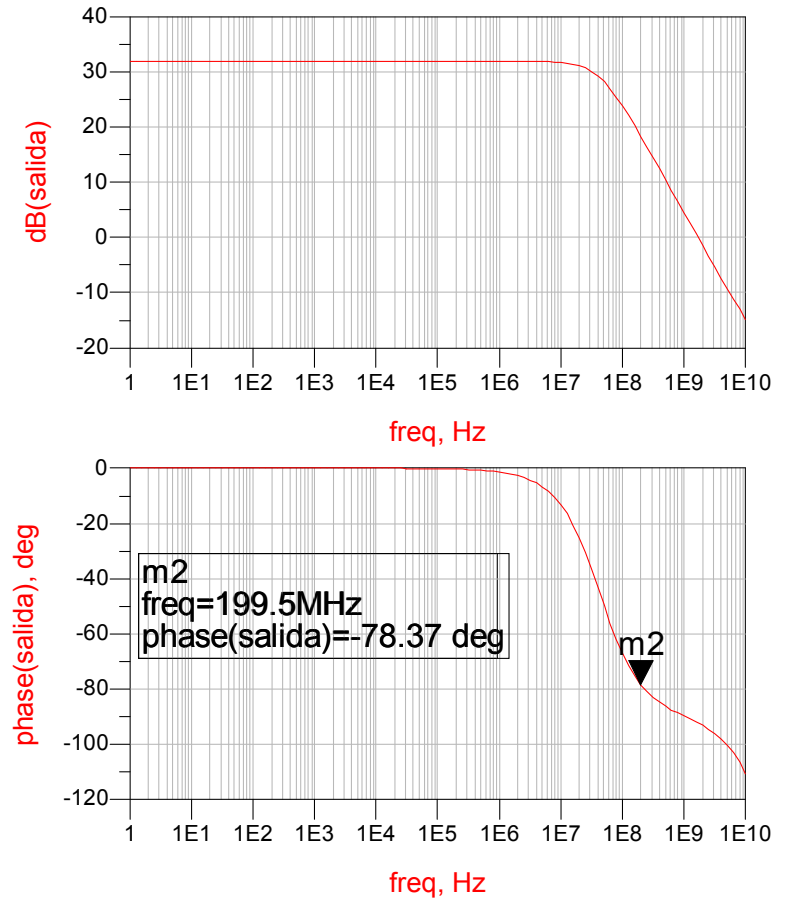
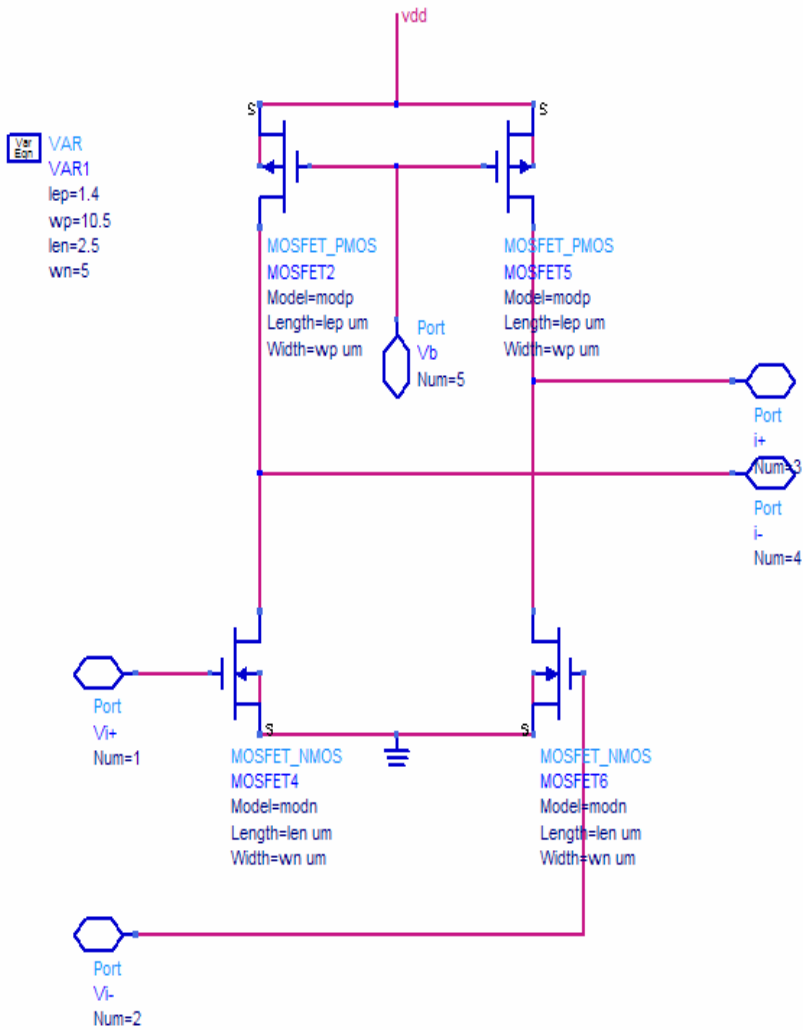
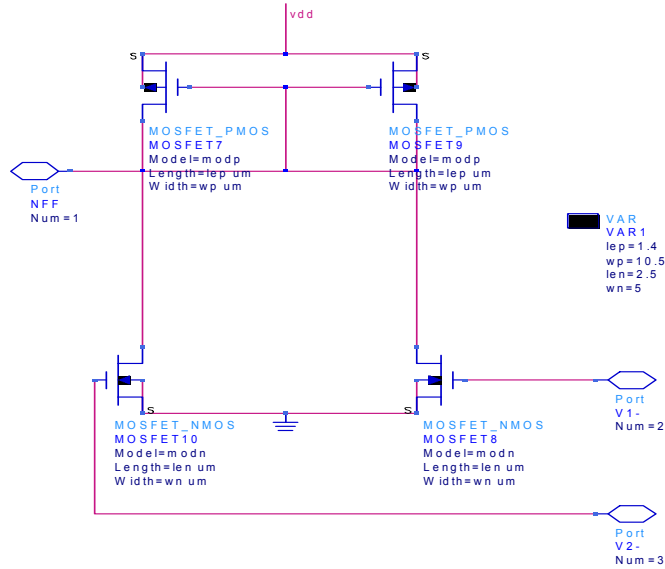


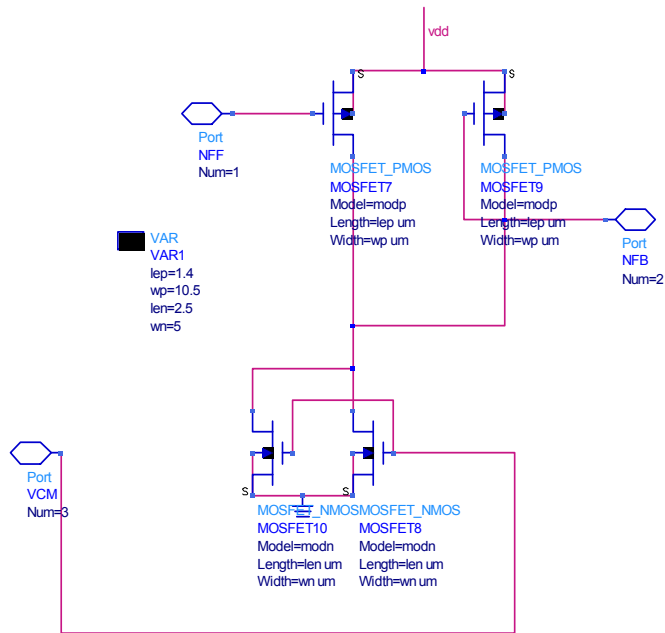
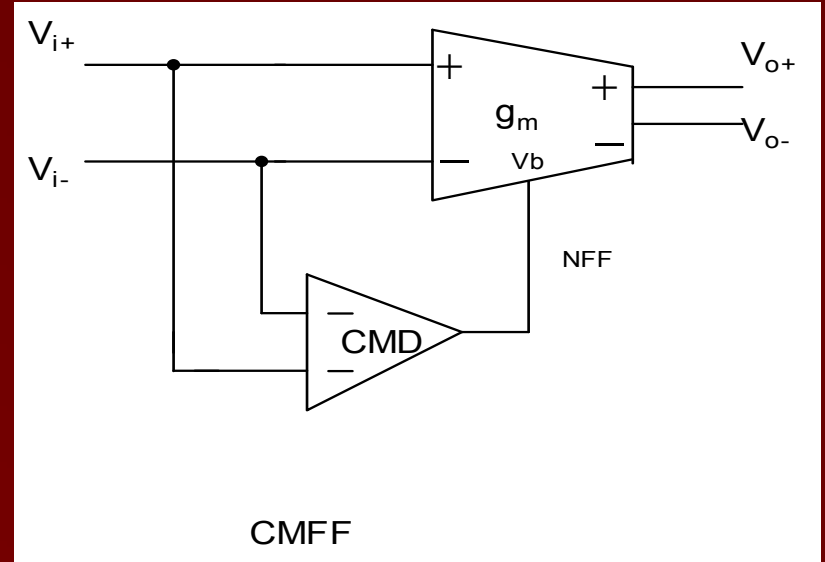
Tabla-6.7: Parámetros del transconductor pseudodiferencial diseñado

$AV_{DC}$	$f_{3dB}$	MARGEN- DE-FASE	$gm$	$r_o$	$C_o$	$C_i$
25,39	199,5M	83,01	111,4 $\mu$ S	166,9k $\Omega$	4,780fF	2,796fF

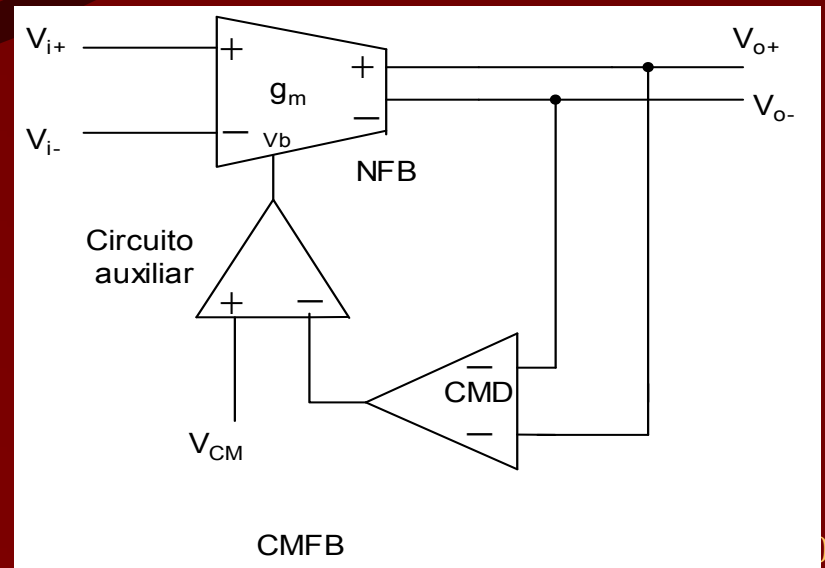
# OTAs



Circuito  
MFFCMFF



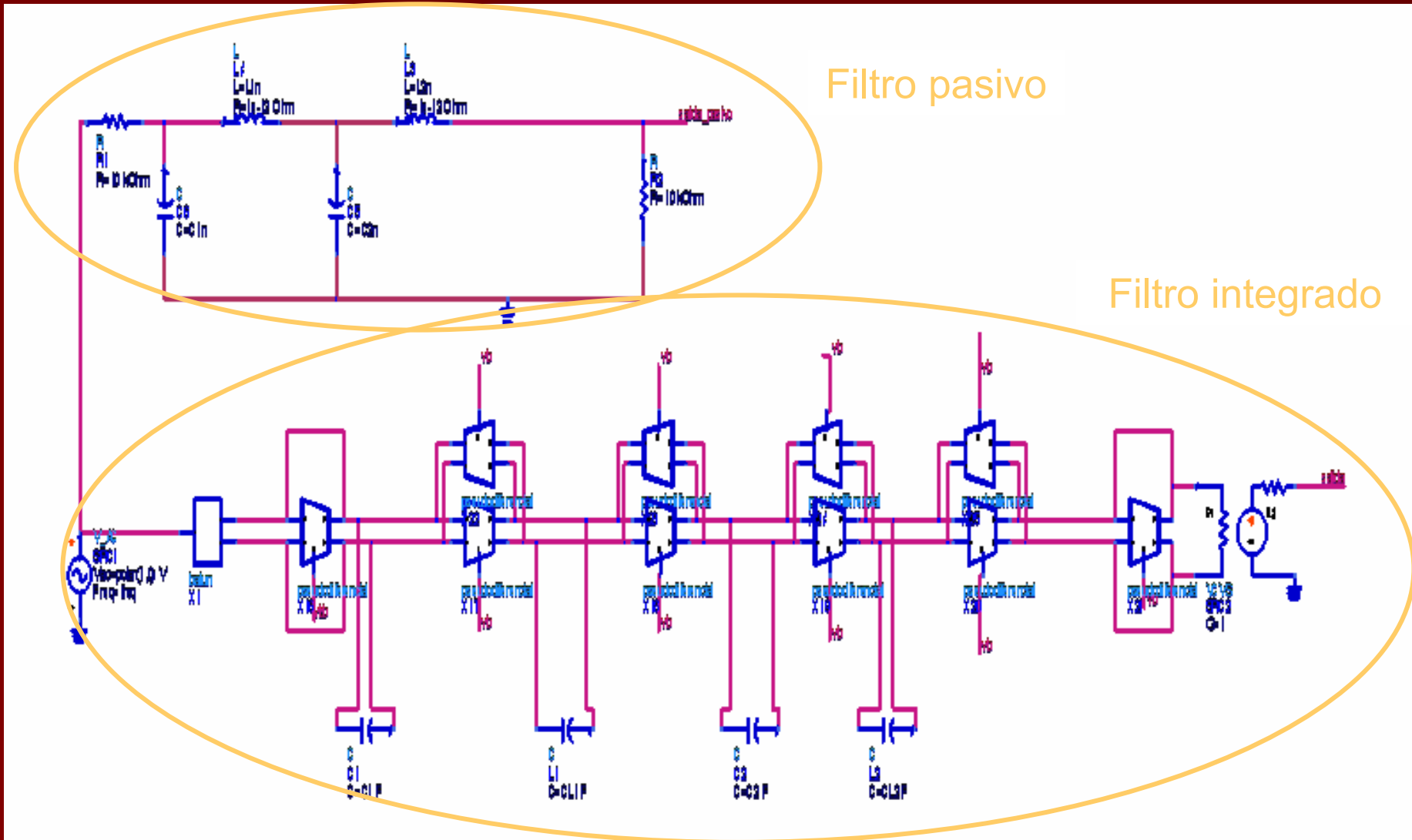
Circuito  
MFB



# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

# Diseño del Filtro Integrado Sintonzable

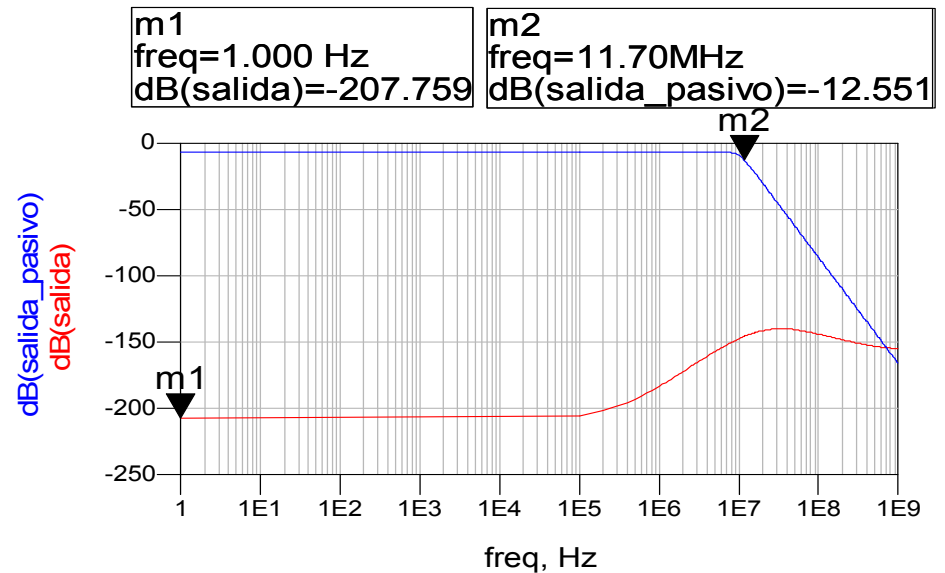


# Diseño del Filtro Integrado Sintonizable

Respuesta del filtro pasivo y  
filtro integrado

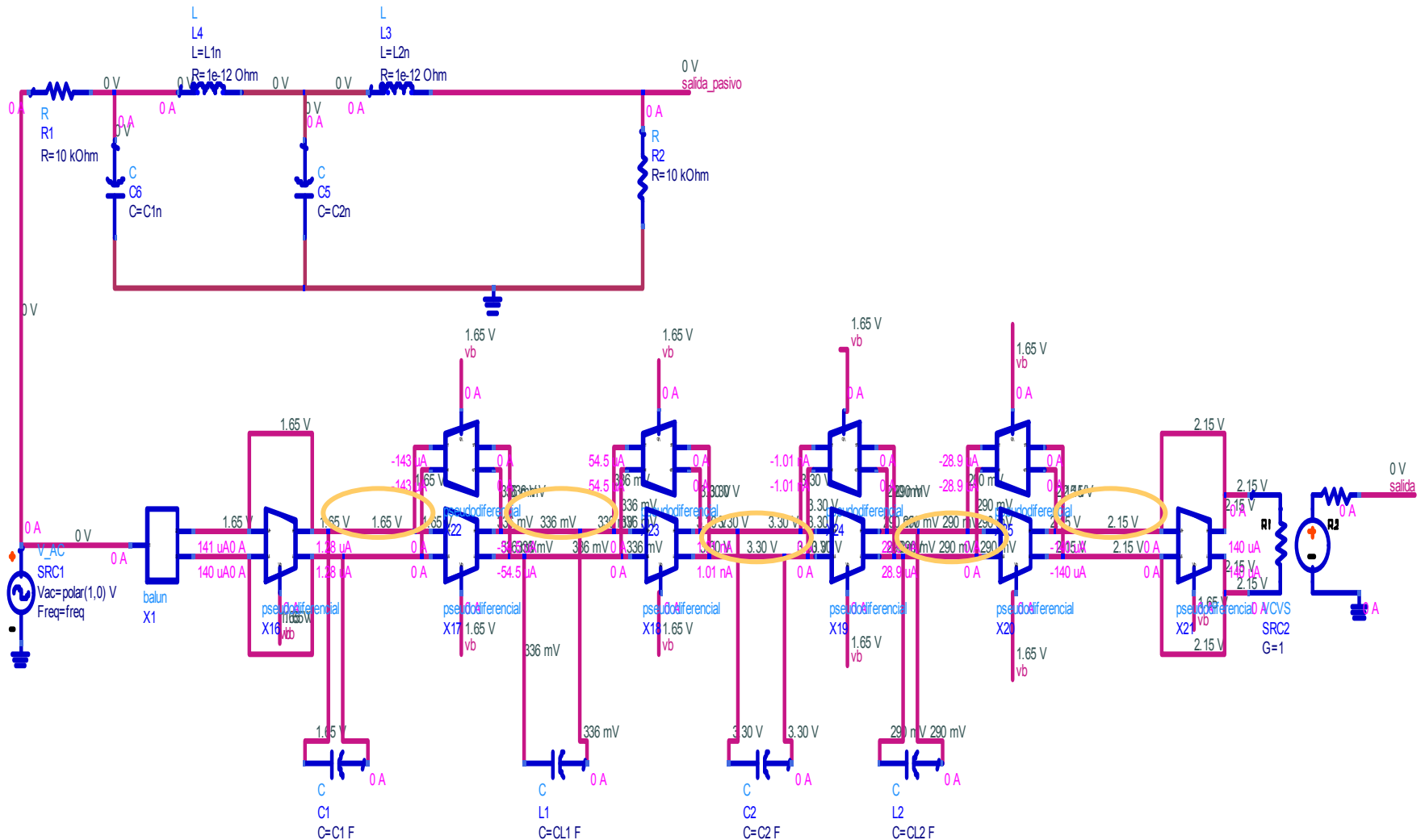


Esto es debido porque las  
tensiones en el modo común  
no están estabilizadas



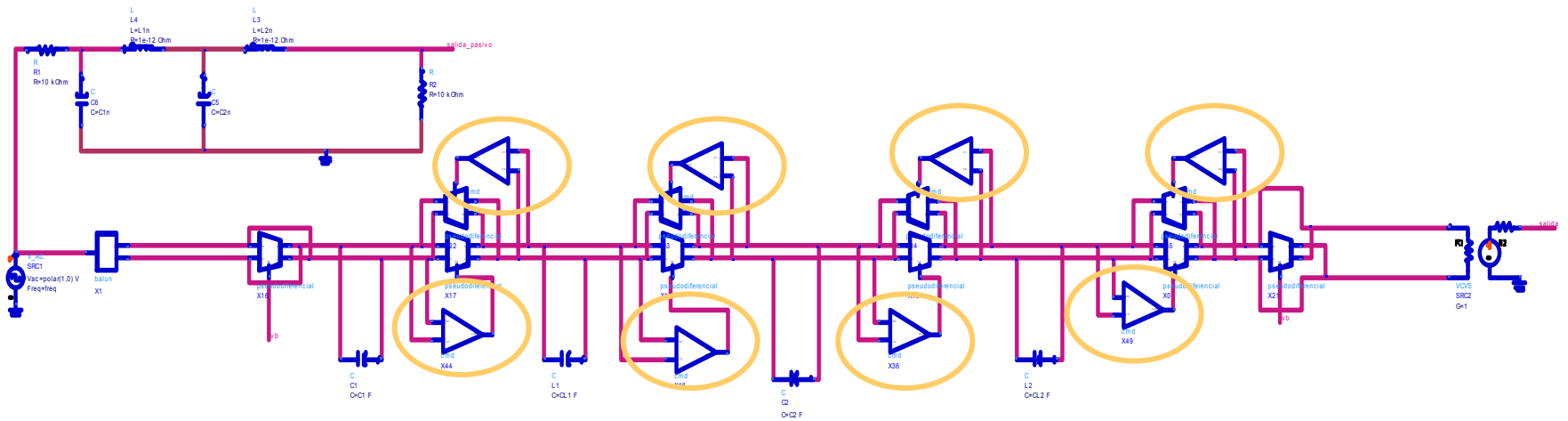


# Diseño del Filtro Integrado Sintonzable

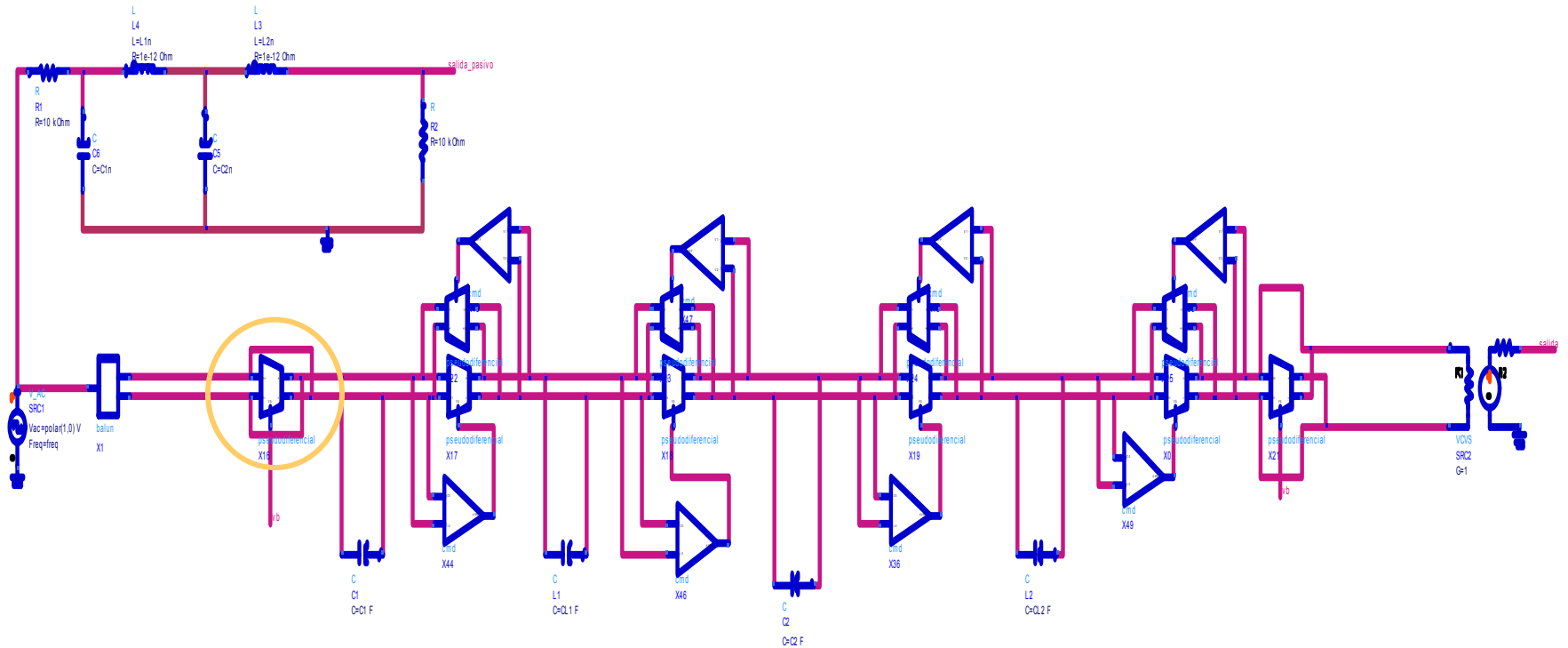


# Diseño del Filtro Integrado Sintonzizable

Diseño del filtro integrado con CMFF

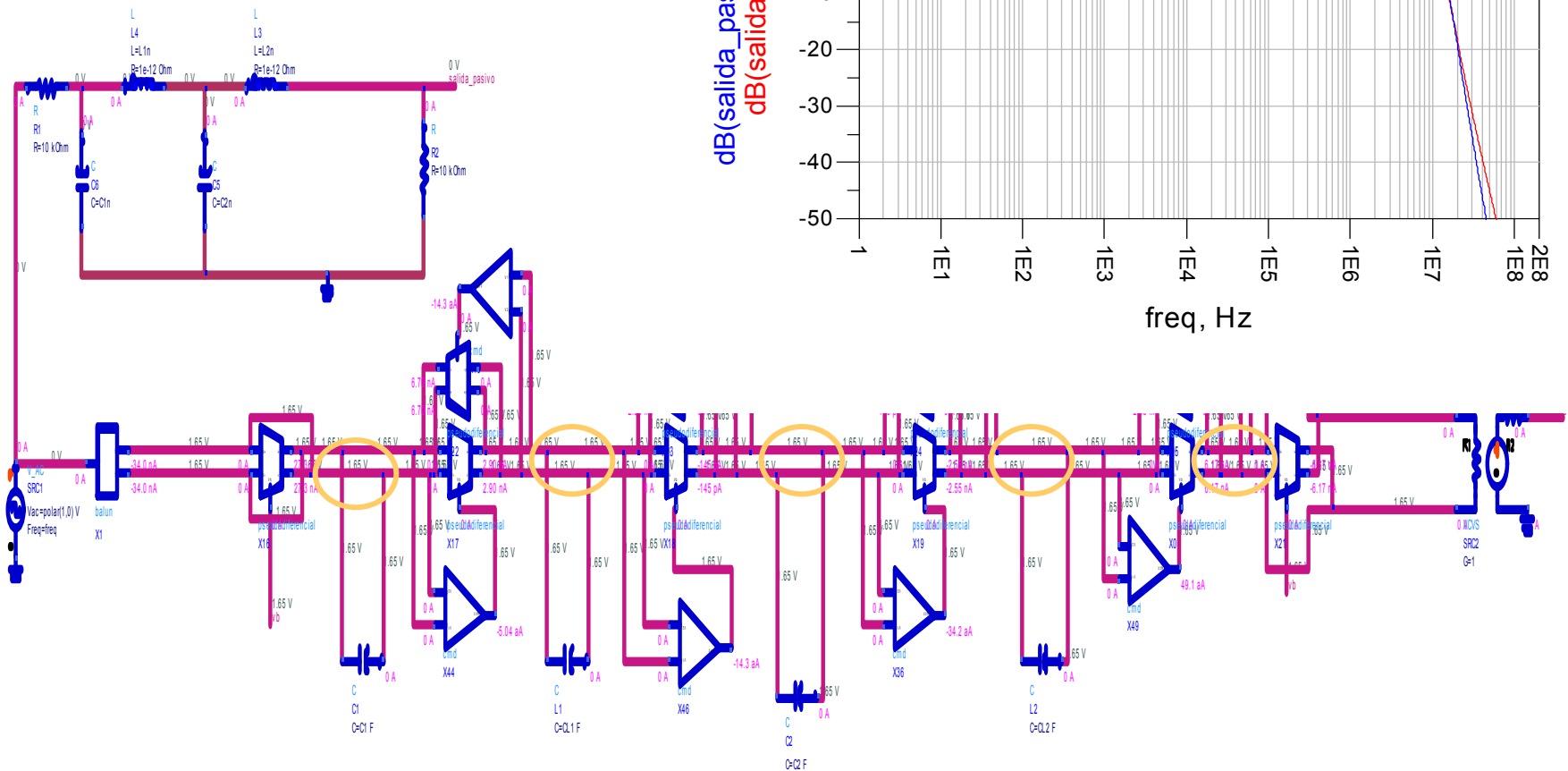
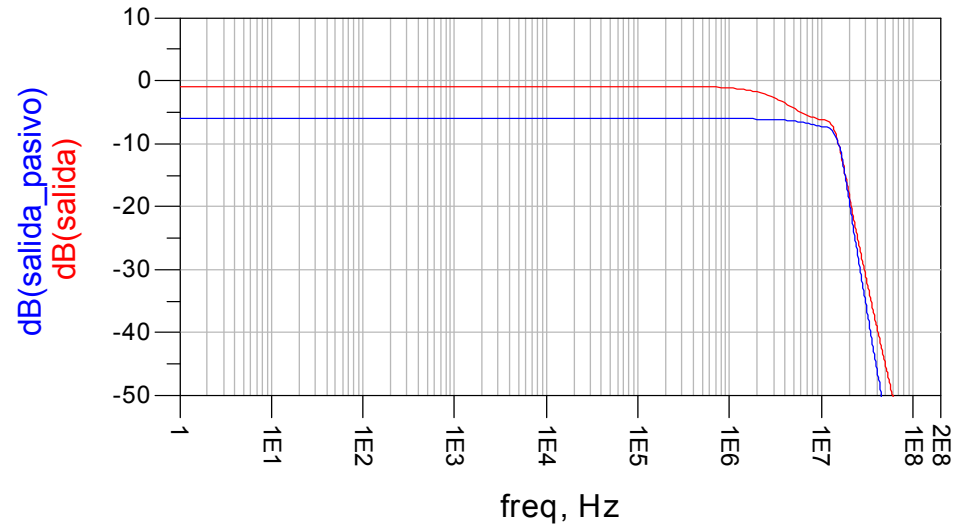


# Diseño del Filtro Integrado Sintetizable



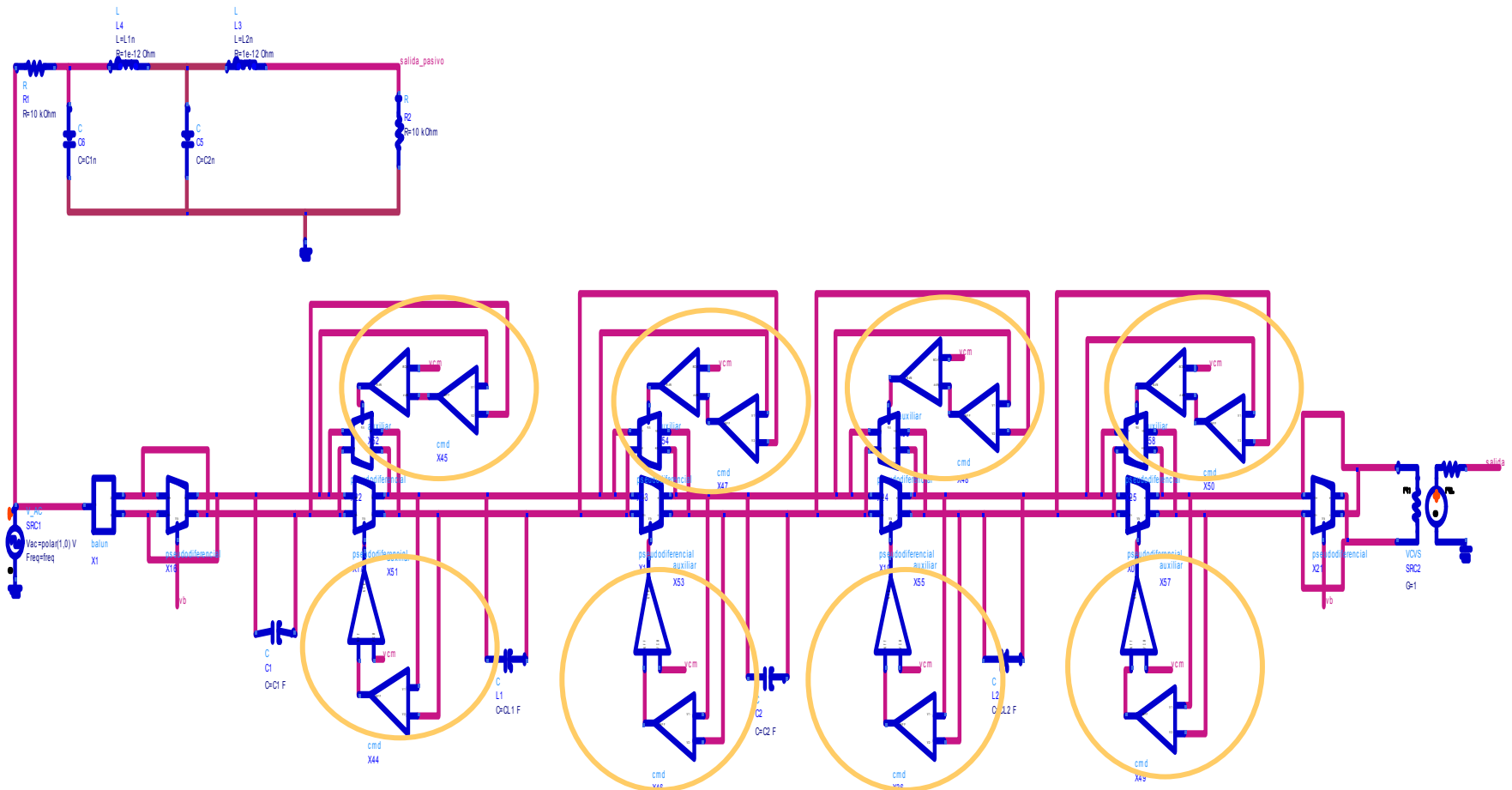
# Diseño del Filtro Integrado Sintonzizable

Respuesta del filtro pasivo y  
filtro integrado con CMFF  
del filtro



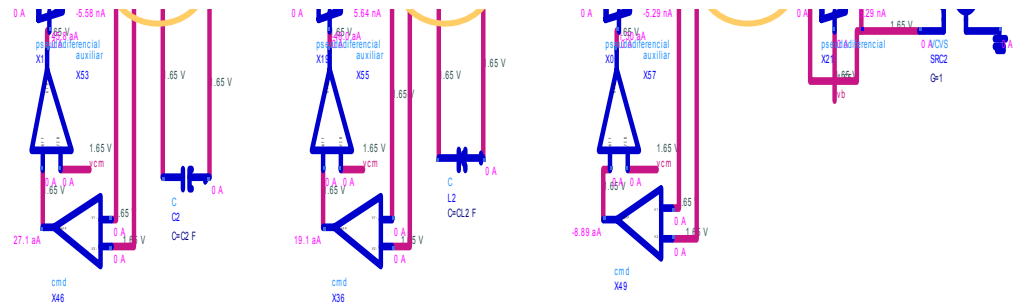
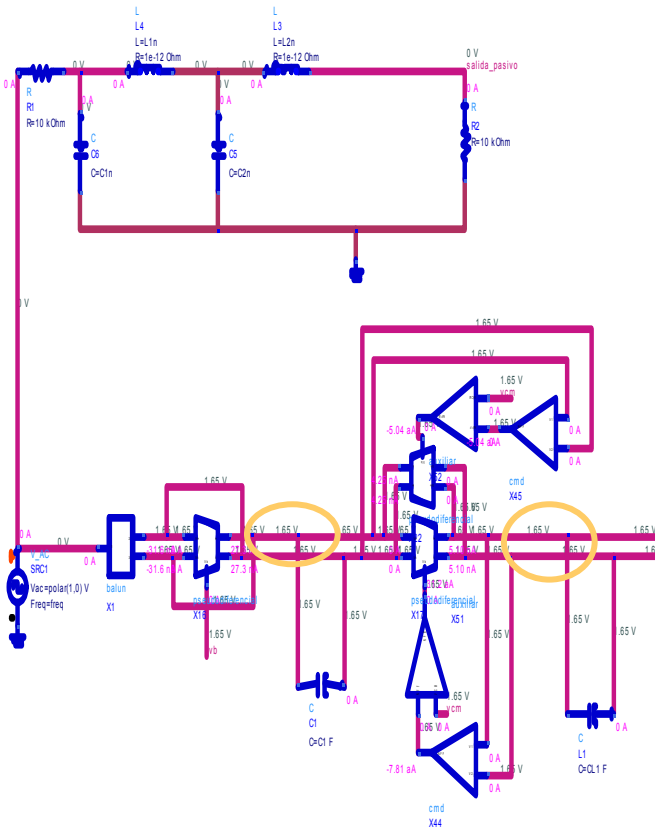
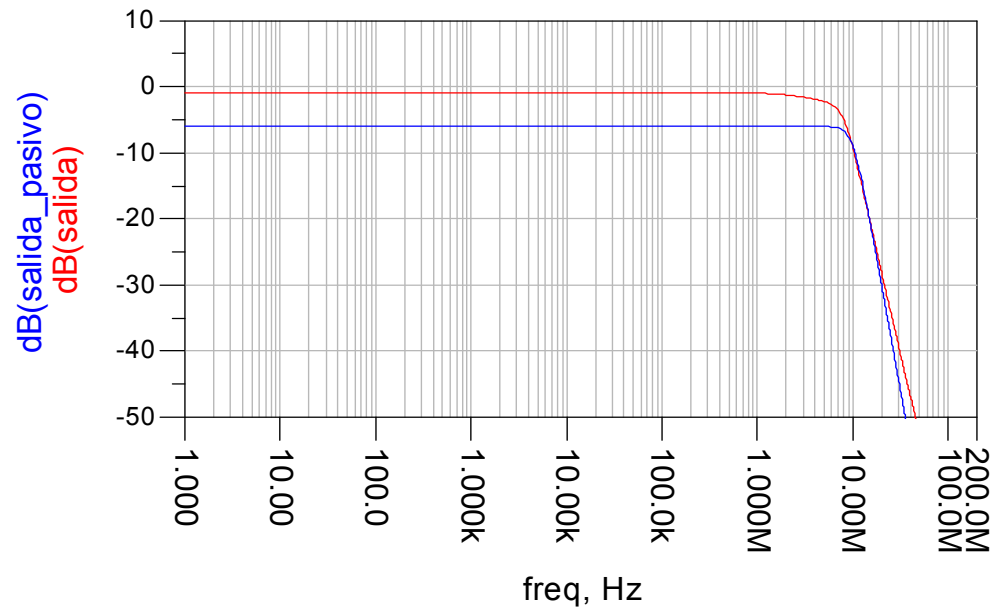
# Diseño del Filtro Integrado Sintonizable

Diseño del filtro integrado con CMFB



# Diseño del Filtro Integrado Sintonizable

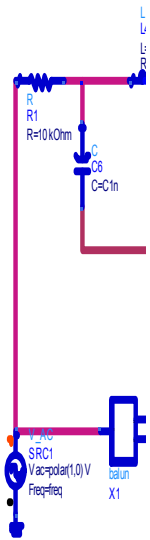
Respuesta del filtro pasivo  
filtro integrado con CMFB  
del filtro



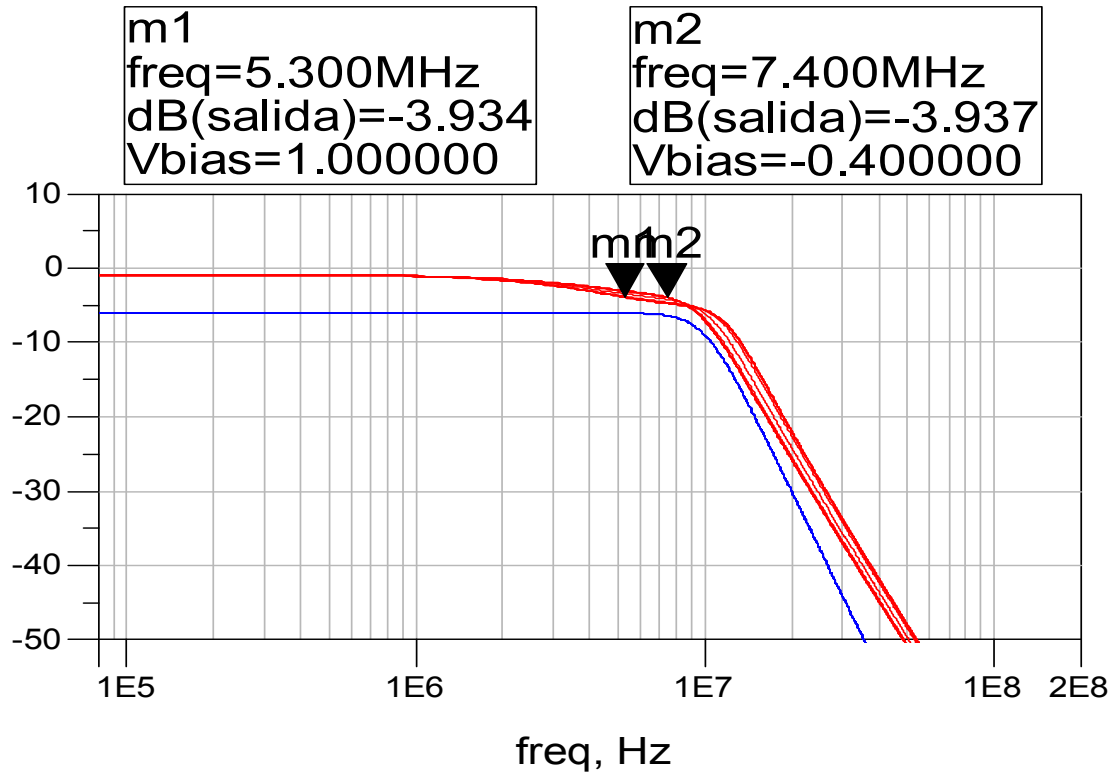
# Diseño del Filtro Integrado Sintonizable

Respuesta del filtro integrado con CMFF y varactores

Diseño del filtro integrado con CMFF y varactores *cvar*



dB(salida\_pasivo)  
dB(salida)



# Diseño del Filtro Integrado Sintonzable

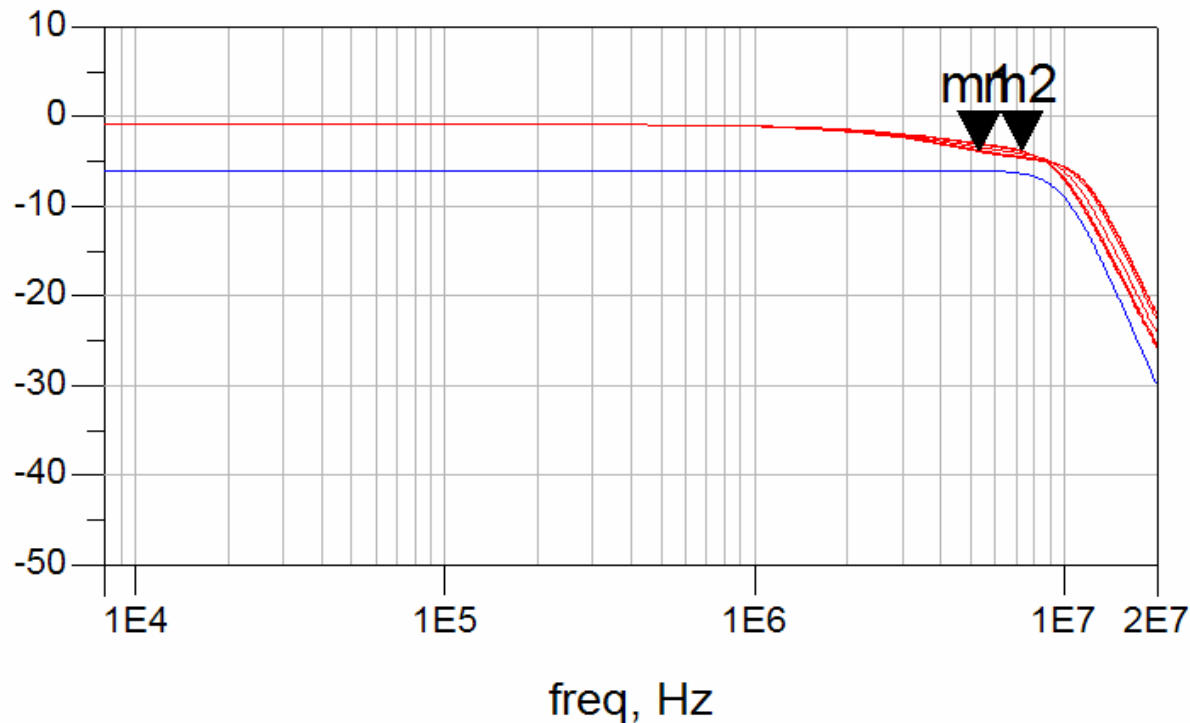
Respuesta del filtro integrado con CMFB y varactores  
Diseño del filtro integrado con CMFB y varactores *cvar*



m1  
freq=5.300MHz  
dB(salida\_cmfb)=-3.885  
Vbias=1.000000

m2  
freq=7.300MHz  
dB(salida\_cmfb)=-3.853  
Vbias=-0.400000

dB(salida\_cmfb)  
dB(salida\_pasivo)

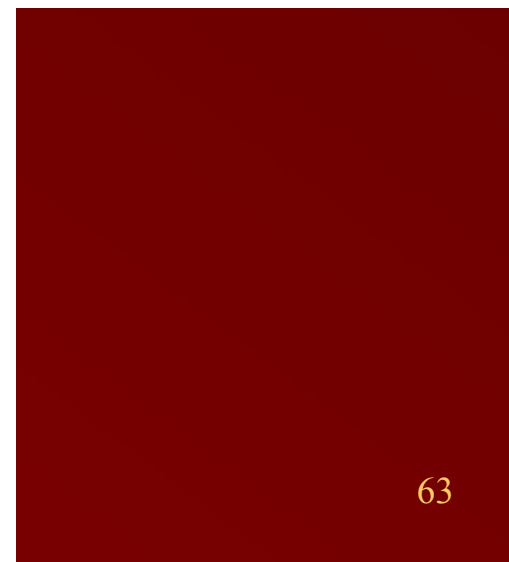
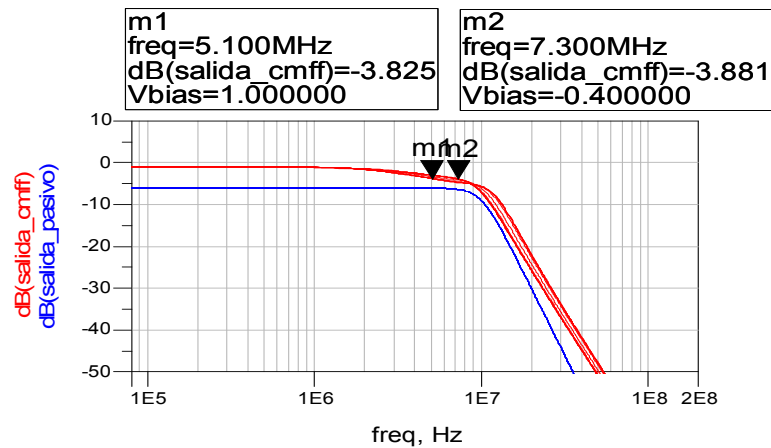
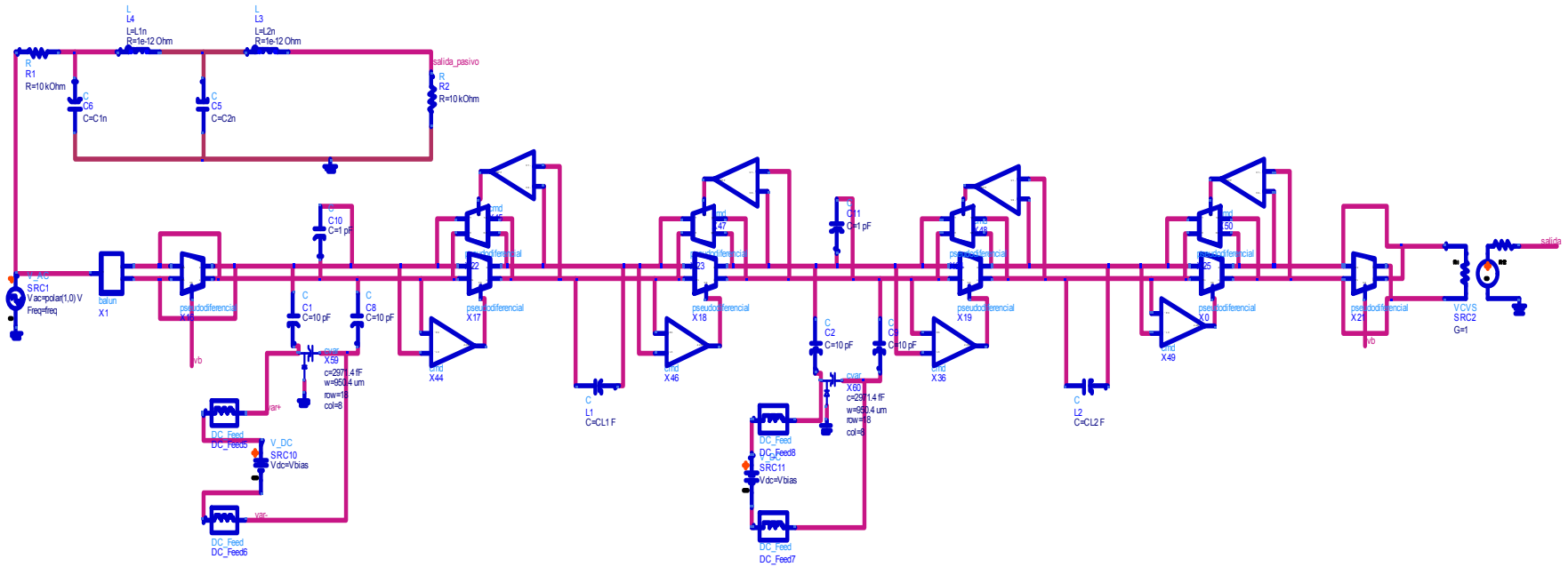




# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- BLOQUE IV: Conclusión
  - Conclusiones
  - Presupuesto

# Conclusiones



# Índice

- BLOQUE I: Introducción
  - Introducción
  - Objetivos
- BLOQUE II: Teoría y diseño de filtros
  - Teoría general de los filtros
  - Diseño de filtros pasivos
  - Filtros Gm-C
- BLOQUE III: Desarrollo del proyecto
  - Filtros Integrados Sintonizables
  - OTAs
  - Diseño del Filtro Integrado Sintonizable
- 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	35.880
Costes de herramientas software	106,21
Costes de equipos informáticos	288,12
Otros costes	261,2
<b>Subtotal</b>	<b>36.535,53</b>
<b>Presupuesto total (IGIC 5%)</b>	<b>38.362,31</b>



# Diseño de un filtro integrado sintonizable en tecnología CMOS 0.35 $\mu\text{m}$

**Autor: Javier Cáceres Ruiz**

**Tutor: Francisco Javier Del Pino Suárez**

**Cotutor: Sunil Lalchand Khemchandani**