

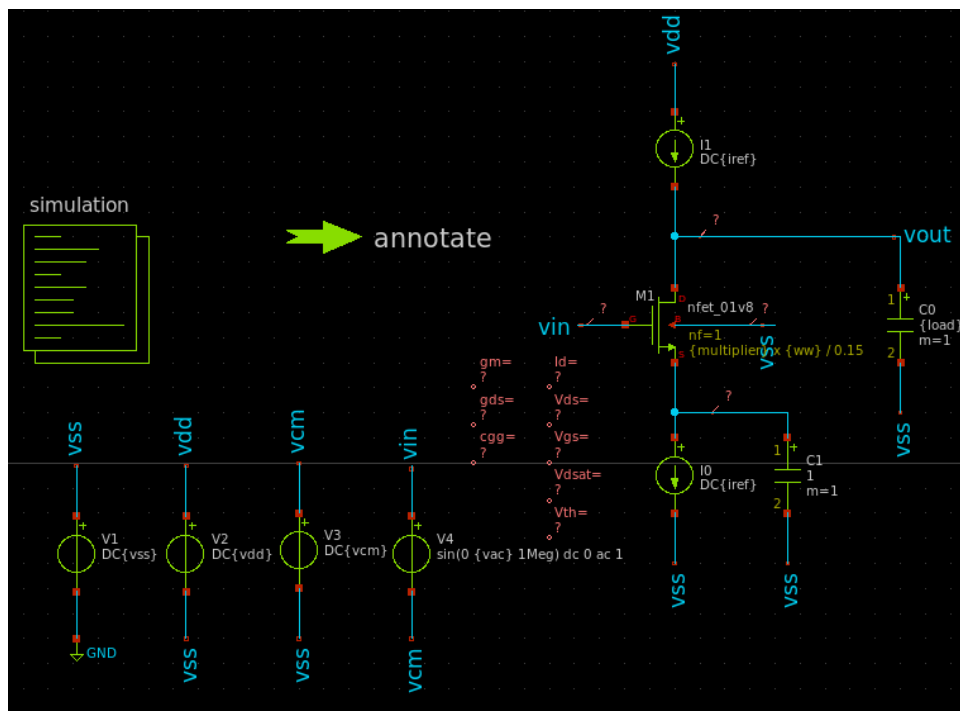
Trabajo Práctico N° 4

Análisis AC y Análisis de Ruido

Alumno: MUGNI, Juan Mauricio

1 Esquemático

Se implemento el siguiente circuito:



2 Análisis de Respuesta en Frecuencia

Analizar las curvas de respuesta AC (bode de amplitud y fase) en base a los siguientes parámetros:

$$C_L = C_O = 1 \text{ aF}$$

$$\text{MOS: } L = 0.15 \mu\text{m} \text{ y } W = 0.45 \mu\text{m}, 0.9 \mu\text{m}, 1.35 \mu\text{m}, 1.8 \mu\text{m}, 2.25 \mu\text{m}$$

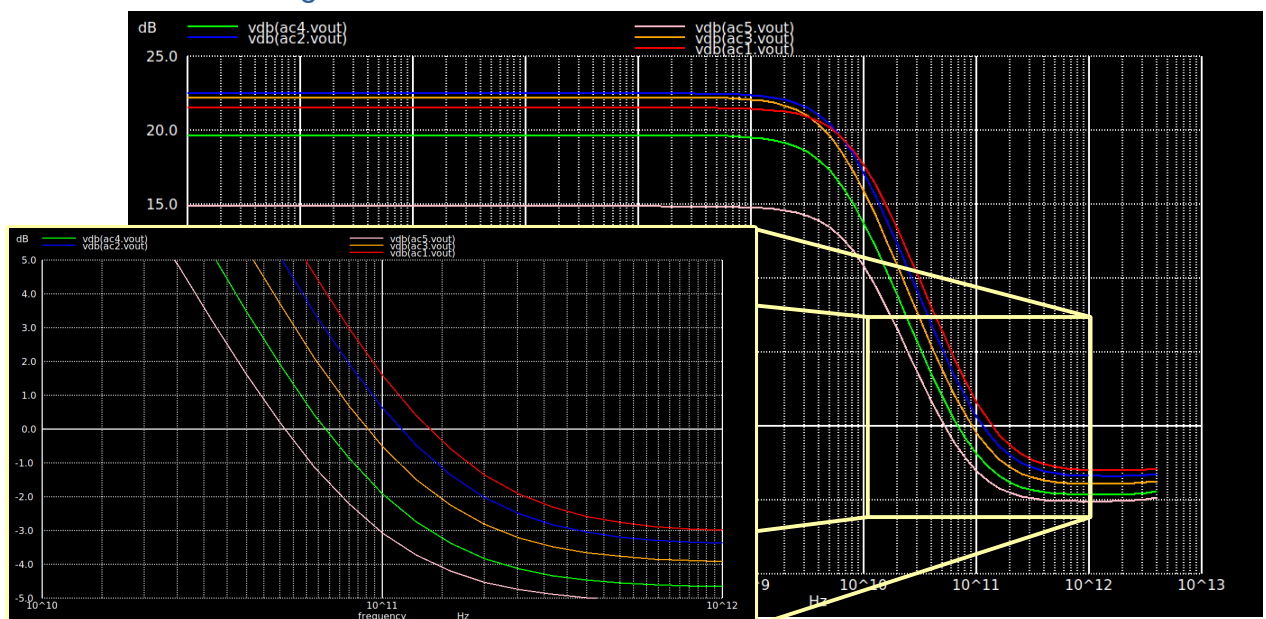
$$I_D = 100 \mu\text{A}$$

1. Graficar la respuesta en frecuencia $\frac{V_{out}}{V_{entrada}}$ en términos de magnitud (dB) y fase.

Explicar porqué la fase inicia en 180 grados.

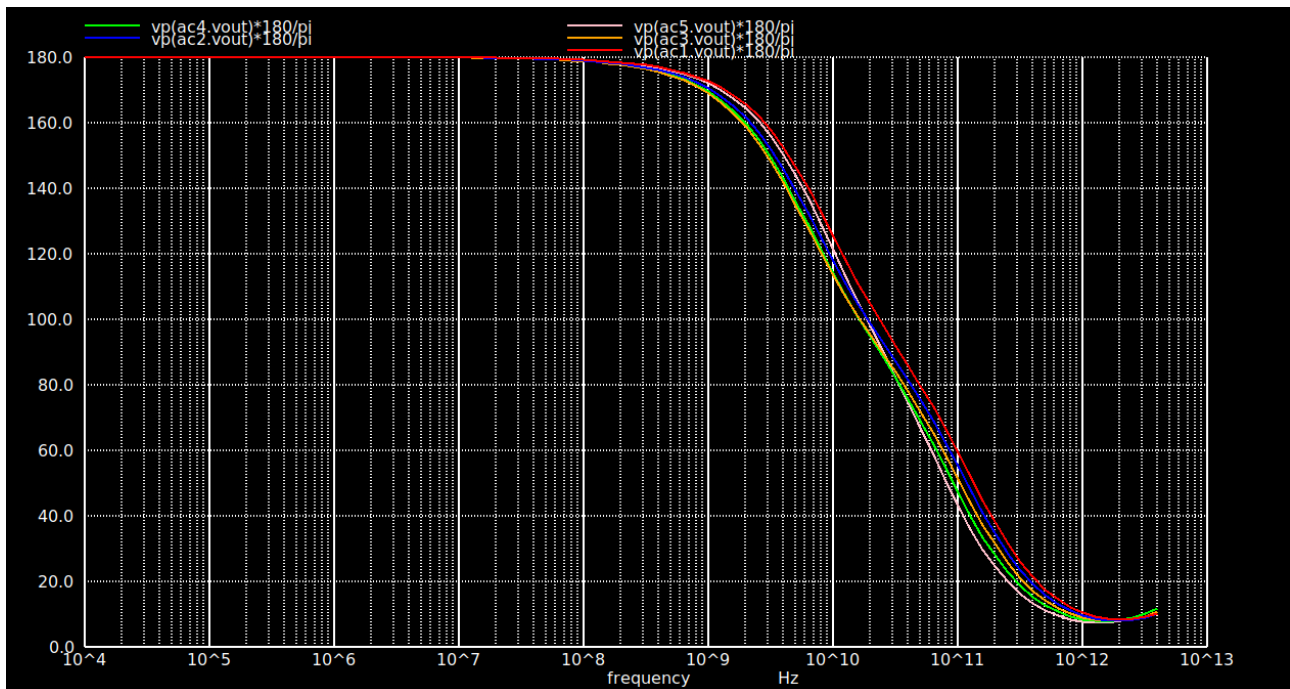
Al realizar un barrido para los distintos tamaños de W obtenemos:

> Gráfico de Bode en magnitud:



Podemos apreciar diferencias entre las ganancias, entre los anchos de banda y las frecuencias de ganancia unitaria.

> Gráfico de Bode en fase:



La salida se presenta invertida con respecto a la entrada, por eso empieza en 180°. Es característico de la configuración del transistor empleada.

2. Graficar la respuesta del punto 1. y además el punto de operación gm y explicar:

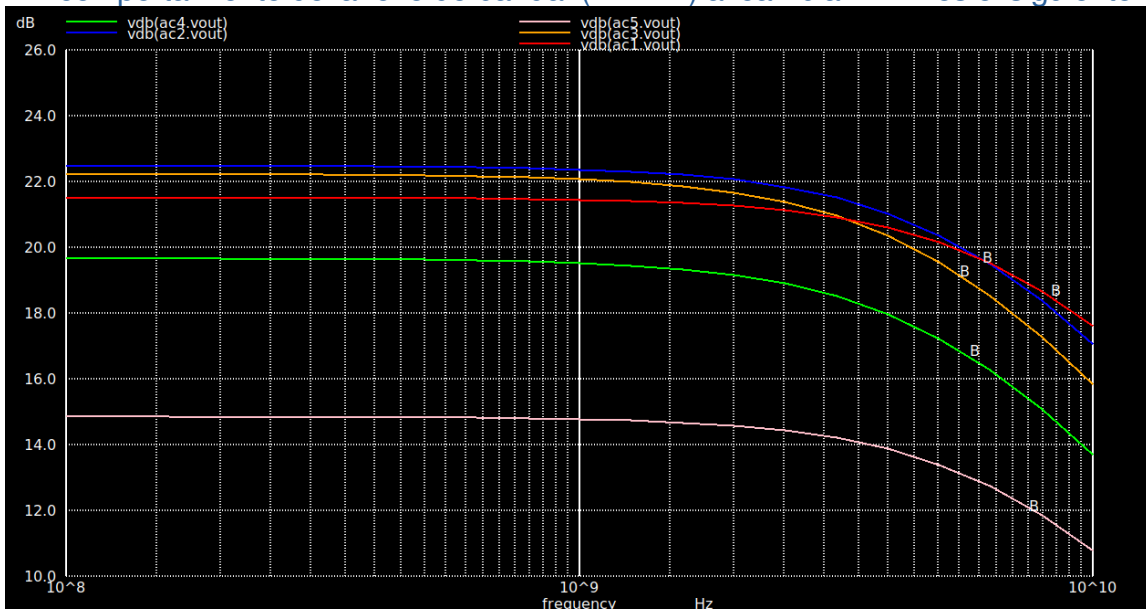
a. ¿Por qué sube el gm a medida que aumenta el W ?

gm sube porque es proporcional a W :

$$gm \propto \sqrt{\frac{W}{L}} I_D$$

b. ¿Qué sucede con el ancho de banda (BW) y la ω_0 en función de W ?
¿Por qué aumenta/disminuye?

El comportamiento del ancho de banda (BW) al cambiar W es el siguiente:



Tenemos nuestro mayor ancho de banda al utilizar el transistor más pequeño ($W=0.45\mu m$, curva roja). Las B marcadas en el gráfico me indican la caída de $3dB$ de cada una de las curvas.

Y cuanto mayor sea el transistor, menor será (ω_0) la frecuencia de ganancia unitaria. (Ver la imagen del ítem 2.1)

De manera analítica por la fórmula desarrollada en clase:

$$H(s) = \frac{A_v}{1 + \frac{s}{\omega_{out}}} = \frac{-gmro}{1 + \frac{s}{\omega_{out}}}$$

Si evaluamos para el punto ω_0 :

$$H(\omega_0) = \frac{-gmro}{1 + \frac{\omega_0}{\omega_{out}}} = 1$$

Es igual a 1, porque es donde la ganancia se hace unitaria. Despejando ω_0 :

$$\omega_0 = (-gmro - 1) \omega_{out}$$

Como $\omega_{out} = \frac{1}{RC} = \frac{1}{ro(C_0 + C_D)}$ y $C_L = C_O = 1aF$ podemos considerarlo despreciable

Entonces:

$$\omega_{out} = \frac{1}{roC_D}$$

Reemplazando:

$$\omega_0 = (-gmro - 1) \omega_{out} = \frac{(-gmro - 1)}{roC_D} = \frac{-(gmro + 1)}{roC_D}$$

Como $gmro \gg 1$ entonces:

$$\omega_0 = \frac{-gmro}{roC_D} = \frac{-gm}{C_D}$$

A simple vista podemos pensar que al aumentar W sube gm (relación del punto 2.a) y sube ω_0 . Esto es cierto, pero falta considerar que la capacidad interna del transistor C_D es directamente proporcional a W .

Por lo tanto al incrementar W , gm lo hace con respecto a la raíz cuadrada y C_D de manera directa, y ω_0 disminuye.

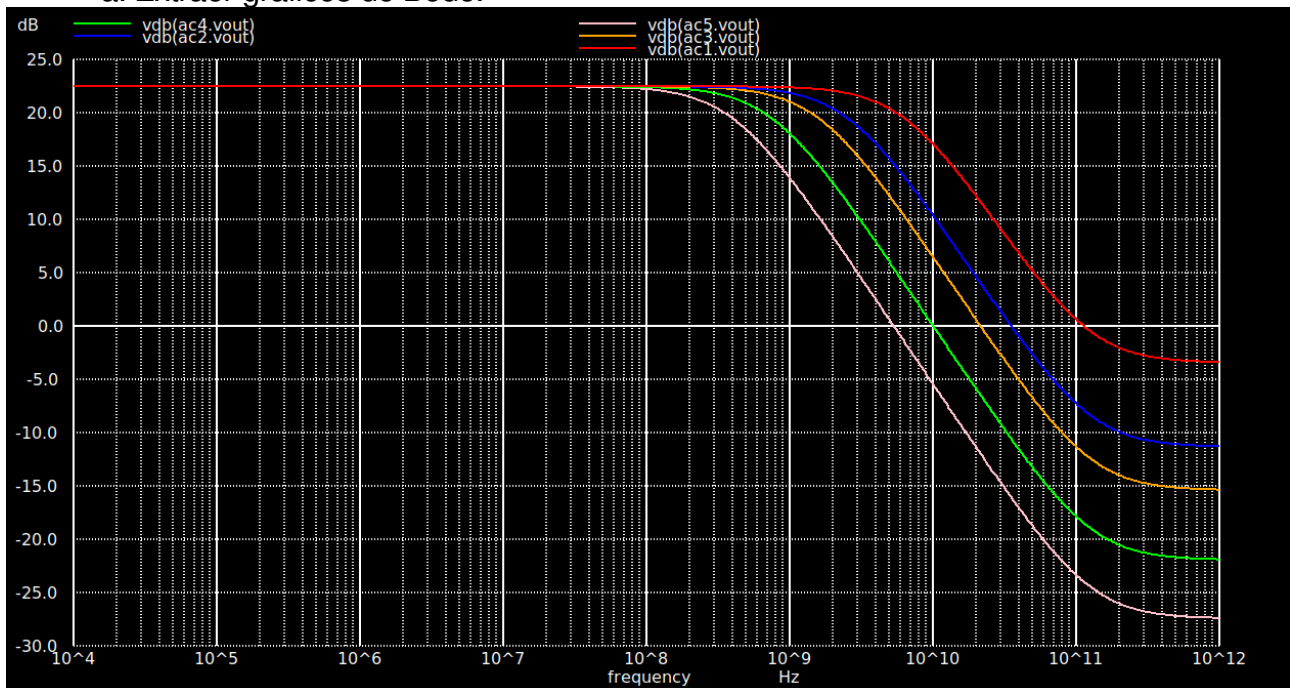
Podemos realizar la siguiente tabla de gm y C_{ds} :

$W[\mu m]$	$gm[\mu S]$	$C_{ds}[aF]$	$C_{gs}[aF]$	$C_{gd}[aF]$
0.45	202.9	161.2	322.1	0.035
0.9	356.5	295.1	591.4	0.0096
1.35	468.9	427.5	856.8	0.341
1.8	540.9	560.3	1124.9	8.15
2.25	580.5	663.4	1370.8	65.91

En esta tabla podemos ver un mayor aumento de las capacidades que de gm .

3. Parametrizar $C_L = 1\text{ aF}, 1\text{ fF}, 2\text{ fF}, 5\text{ fF}, 10\text{ fF}$ manteniendo $W = 0.9\text{ }\mu\text{m}$

a. Extraer gráficos de Bode.



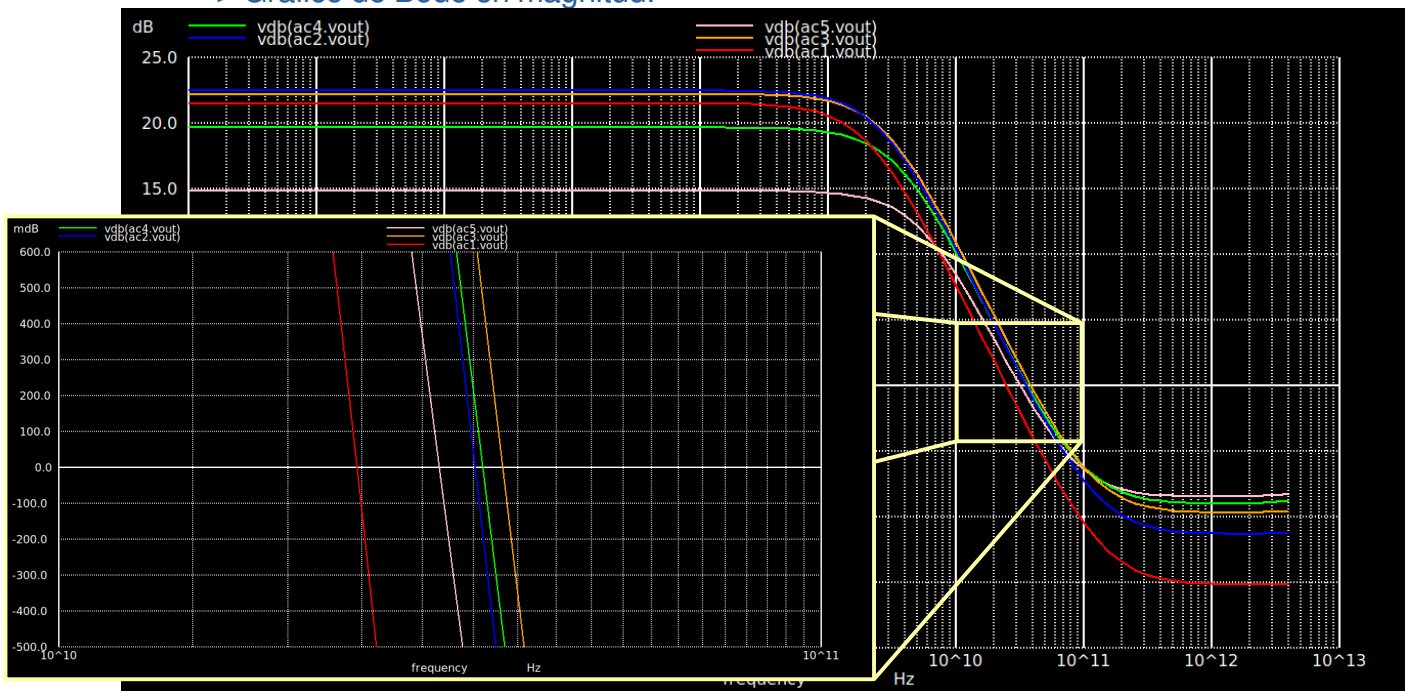
b. Explicar que sucede con BW y ω_0 .

Podemos ver que al aumentar la carga capacitiva del transistor ($C_L = C_O$) el ancho de banda y la frecuencia de ganancia unitaria disminuyen.

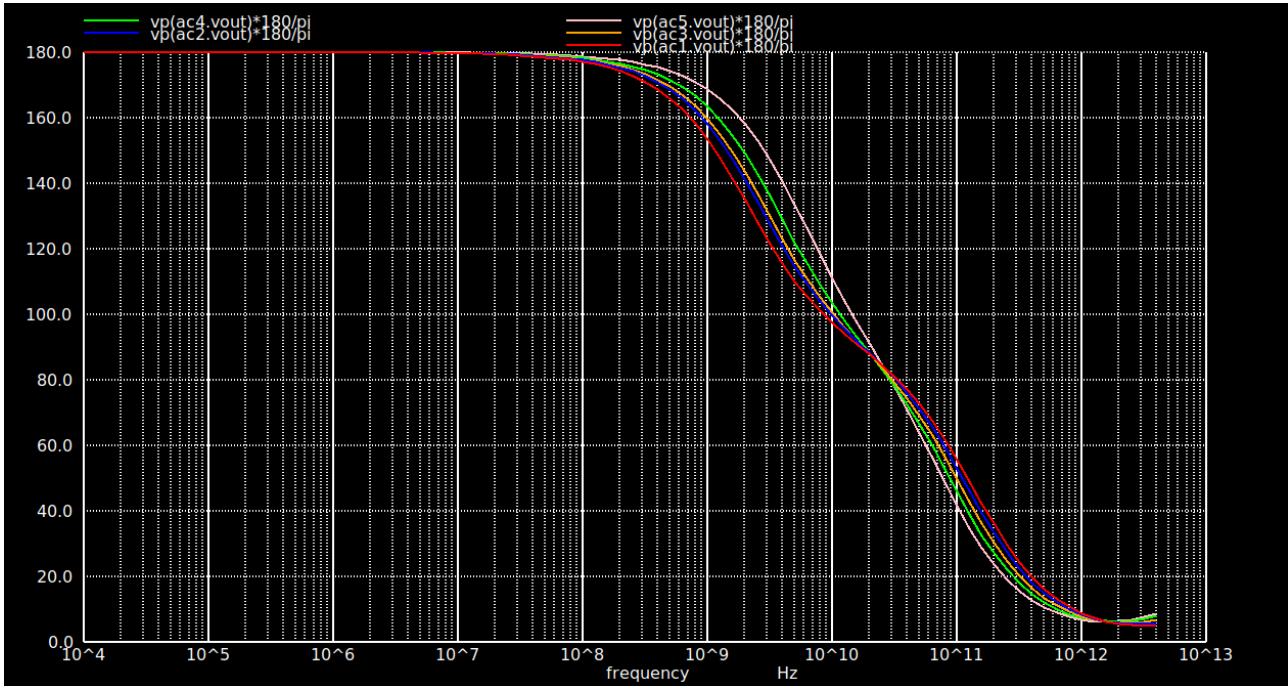
4. Fijar $C_L = 1\text{ fF}$ y parametrizar $W = 0.45\text{ }\mu\text{m}, 0.9\text{ }\mu\text{m}, 1.35\text{ }\mu\text{m}, 1.8\text{ }\mu\text{m}, 2.25\text{ }\mu\text{m}$
Realizar los siguientes items:

a. Extraer gráficos de Bode.

> Gráfico de Bode en magnitud:



> Gráfico de Bode en fase:



b. Explicar que sucede con BW y ω_0 .

Estamos dejando constante la capacidad de la carga ($C_L = C_0$) y estamos variando la capacidad interna (C_D), al cambiar el tamaño del transistor.

Teniendo en cuenta el diagrama de Bode de la magnitud, podemos ver un aumento de la ganancia unitaria al aumentar W hasta cierto punto. Luego ω_0 disminuye.

Esto demuestra, que se debe tener en cuenta la relación entre las capacidades de la carga y las capacidades internas del transistor.

c. Analizar con qué W se obtiene el ω_0 máximo.

Se obtiene el máximo ω_0 con $W = 1.35 \mu m$.

d. Analizar con qué W se obtiene el ω_0 máximo si $C_L = 10 fF$.

Se obtiene el máximo ω_0 con $W = 2.25 \mu m$.

3 Análisis de Ruido

Analizar las curvas y reportes de ruido en base a la siguiente configuración: En todos los casos analizar con los siguientes parámetros, salvo que se especifique lo contrario:

$$C_L = C_O = 1 \text{ aF}$$

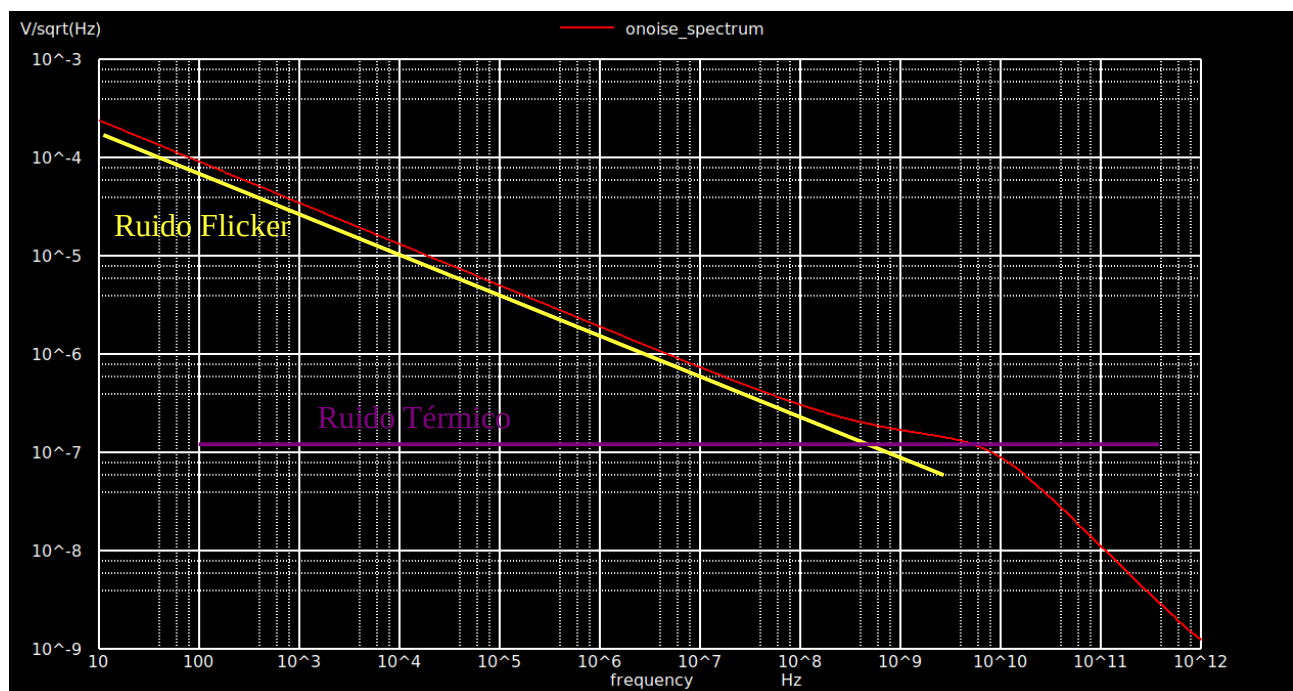
$$\text{MOS: } L = 0.15 \mu\text{m} \text{ y } W = 0.45 \mu\text{m}, 0.9 \mu\text{m}, 1.35 \mu\text{m}, 1.8 \mu\text{m}, 2.25 \mu\text{m}$$

$$I_D = 100 \mu\text{A}$$

1. Analizar curvas de ruido de salida V_{out} . ¿A partir de qué frecuencia empieza a dominar el ruido térmico sobre flicker (f_c)?

$W [\mu\text{m}]$	Frecuencia de Corner $f_c [\text{MHz}]$
0.45	300
0.9	300
1.35	1000
1.8	200
2.25	200

Como ejemplo se indica el gráfico para $W = 0.45 \mu\text{m}$:



Y vemos que la frecuencia de corner (frecuencia a la que domina el ruido térmico sobre el flicker) para este caso es de 300 MHz aproximadamente.

2. En base al sumario de ruido:

a. Reportar el ruido total a la salida en V (integrar el ruido desde 10 Hz a 1 THz).

El ruido total a la salida para un $\text{multiplier} = 2$ es: 13.45 mV .

b. Explicar porqué el ruido total de salida no baja a la mitad si integramos la mitad de ancho de banda (desde 10 Hz a 500 GHz).

Porque estamos integrando ruido que esta fuera del ancho de banda del amplificador. Teniendo en cuenta las gráficas de los puntos anteriores, vemos que el ancho de banda es hasta $1\text{ GHz} = 1 \times 10^9\text{ Hz}$.

3. Analizar el equivalente de ruido a la entrada y explicar:

a. ¿Se cumple la relación $V_{n,entrada} = \frac{V_{n,out}}{A_v}$, donde $V_{n,out}$ es el ruido medido a la salida y $V_{n,entrada}$ es el ruido equivalente a la entrada?

La relación no se cumple la relación.

$$V_{n,entrada} = \frac{V_{n,out}}{A_v} = \frac{13.45\text{ mV}}{13.3\text{ dB}} = 1.011\text{ mV}$$

y en la simulación nos da: 3.75 mV . Como podemos ver los resultados son diferentes.

b. Cambiar el reporte de ruido integrando sólo desde 10 Hz a 1 GHz y analizar la diferencia de resultados. Explicar porqué los reportes de ruido equivalente a la entrada ($V_{n,entrada}$) dan diferentes en el caso (a) y (b).

El ruido total a la salida para un $\text{multiplier}=2$ es: 7.19 mV .

La relación :

$$V_{n,entrada} = \frac{V_{n,out}}{A_v} = \frac{7.19\text{ mV}}{13.3\text{ dB}} = 540\text{ }\mu\text{V}$$

y en la simulación nos da: $541.7\text{ }\mu\text{V}$. Como podemos ver nos dan resultados similares. Esto se debe a que estamos integrando hasta la frecuencia donde la ganancia es constante, entonces obtenemos una mejor aproximación ya que no tenemos en cuenta, la caída de ganancia en alta frecuencia.

4. Configurar $C_L=1\text{ fF}$ y parametrizar $W=0.45\text{ }\mu\text{m}, 0.9\text{ }\mu\text{m}, 1.35\text{ }\mu\text{m}, 1.8\text{ }\mu\text{m}, 2.25\text{ }\mu\text{m}$ volver a integrar el ruido desde 10 Hz a 1 THz y explicar:

a. ¿Qué sucede con el ruido total a la salida y los porcentajes entre ruido flicker y térmico?

Para un $C_L=1\text{ aF}$ y $\text{multiplier}=2$ obtenemos:

Ruido total: 13.45 mV

Ruido Flicker: 7.34 mV

Ruido Térmico: 11.26 mV

Para un $C_L=1\text{ aF}$ y $\text{multiplier}=2$ obtenemos:

Ruido total: 9.88 mV

Ruido Flicker: 6.8 mV

Ruido Térmico: 7.15 mV

Podemos ver una disminución del ruido al aumentar la capacidad de la carga,. La curva se corre a la izquierda, entonces se integra menos, el ruido total disminuye.

El ruido térmico va a disminuir en mayor medida que el ruido flicker, ya que este último es propio de la baja frecuencia.
Dejando fijo $C_L = 1 \text{ aF}$ y cambiando el W obtenemos:

$W [\mu m]$	Ruido Total $[mV]$	Ruido Flicker $[mV]$	Ruido Térmico $[mV]$
0.45	11.48	8.61	7.59
0.9	9.88	6.8	7.15
1.35	8.42	5.24	6.59
1.8	6.22	3.21	5.33
2.25	4.13	1.63	3.79

A simple vista se aprecia que un aumento de tamaño implica una disminución del ruido.

b. ¿Cambia la frecuencia f_c (ruido flicker vs termico)?

Según los gráficos analizados, vemos que la frecuencia de corner f_c tiende a mantenerse en el mismo lugar, $1 \text{ GHz} = 1 \times 10^9 \text{ Hz}$ aproximadamente.