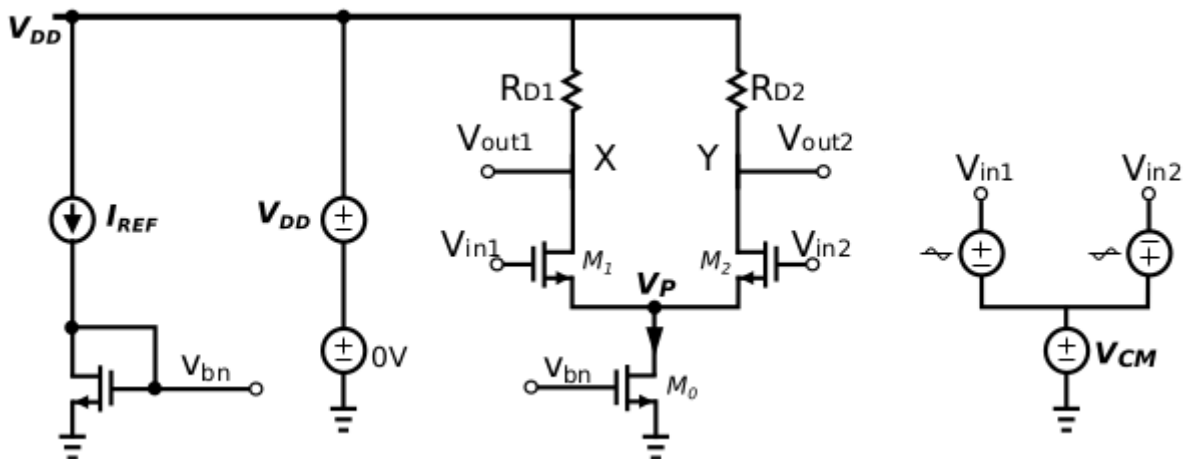


Trabajo Práctico N° 3

Diseño de etapa amplificador diferencial

Alumno: MUGNI, Juan Mauricio

1. Para el siguiente circuito diseñar la polarización y el par diferencial de acuerdo a las especificaciones:



$$L_1 = L_2 = 0.15 \mu m$$

$$I_{SS} = I_{Ref} = 100 \mu A$$

$$V_{CMin} = V_{CMout} = 1.2 V$$

$$L_0 = 0.75 \mu m$$

$$V_{DD} = 1.8 V$$

$$\frac{gm_{1,2}}{I_{D1,2}} \geq 10$$

$$f_{en} = 50 MHz$$

Obtener:

$$R_{D1,2} = 12 k \Omega \quad \leftarrow$$

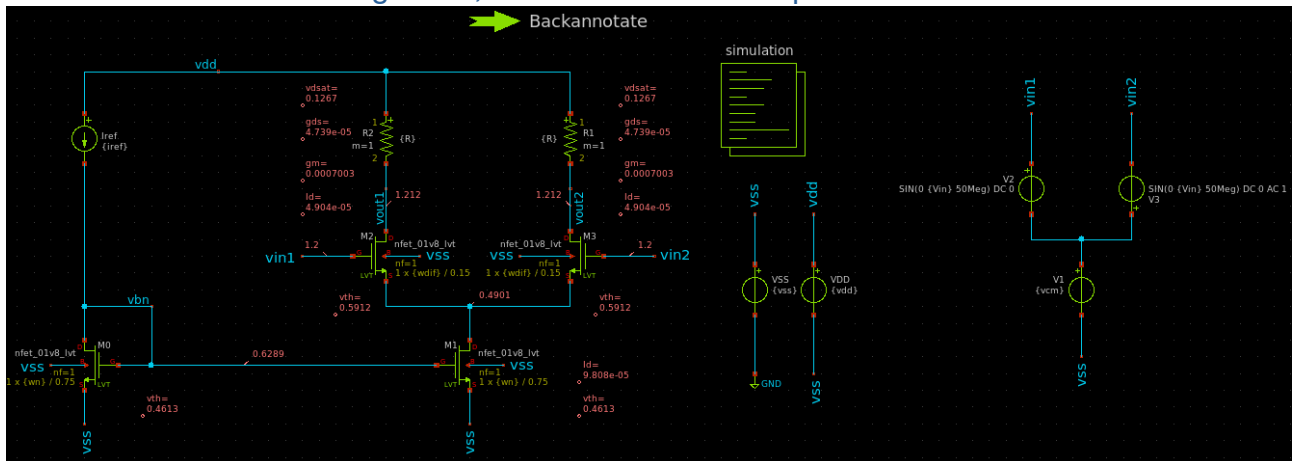
$$W_{1,2} = 4 \mu m \quad \leftarrow$$

$$gm_{1,2} = 700 \mu S \quad \leftarrow$$

$$A_{VDC} = 5.5 [veces] \quad \leftarrow$$

$$V_{ppDiffOutMax} = 0.7 [V] \quad \leftarrow$$

El circuito simulado es el siguiente, con los valores correspondientes indicados:



donde los valores del espejo de corriente (M_0 y M_1) son:

$$W_{0,1} = 21 \mu m$$

$$L_{0,1} = 0.75 \mu m$$

y del diferencial (M_2 y M_3) son:

$$W_{2,3} = 4 \mu m$$

$$L_{2,3} = 0.15 \mu m$$

Se debe notar que la tensión en el punto $V_p \approx 0.5V$ es mayor que el V_{Th} de la fuente de corriente, por lo tanto, M_1 (en el circuito simulado) o M_0 (en el circuito dado como guía), no opera en la región de triodo.

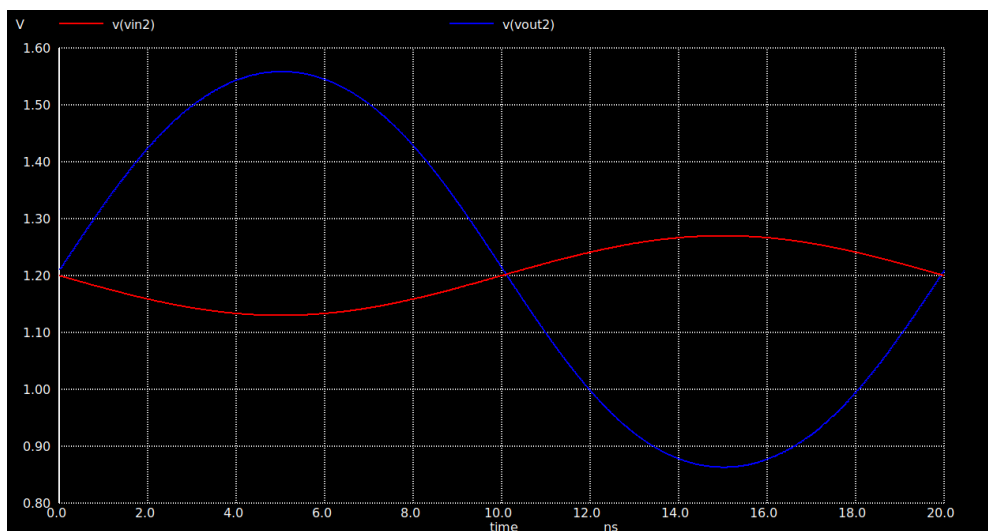
De igual manera se esta cumpliendo la condición solicitada: $\frac{gm}{I_D} = \frac{700 \mu}{49 \mu} = 14.3 \geq 10$

Para calcular la ganancia se colocaron $20mV$ en las entradas del modo diferencial, y se procedió a calcular la ganancia en veces, a partir de la gráfica de la tensión de salida y de entrada en el tiempo. Esto nos dió un valor de 5.5 veces aproximadamente.

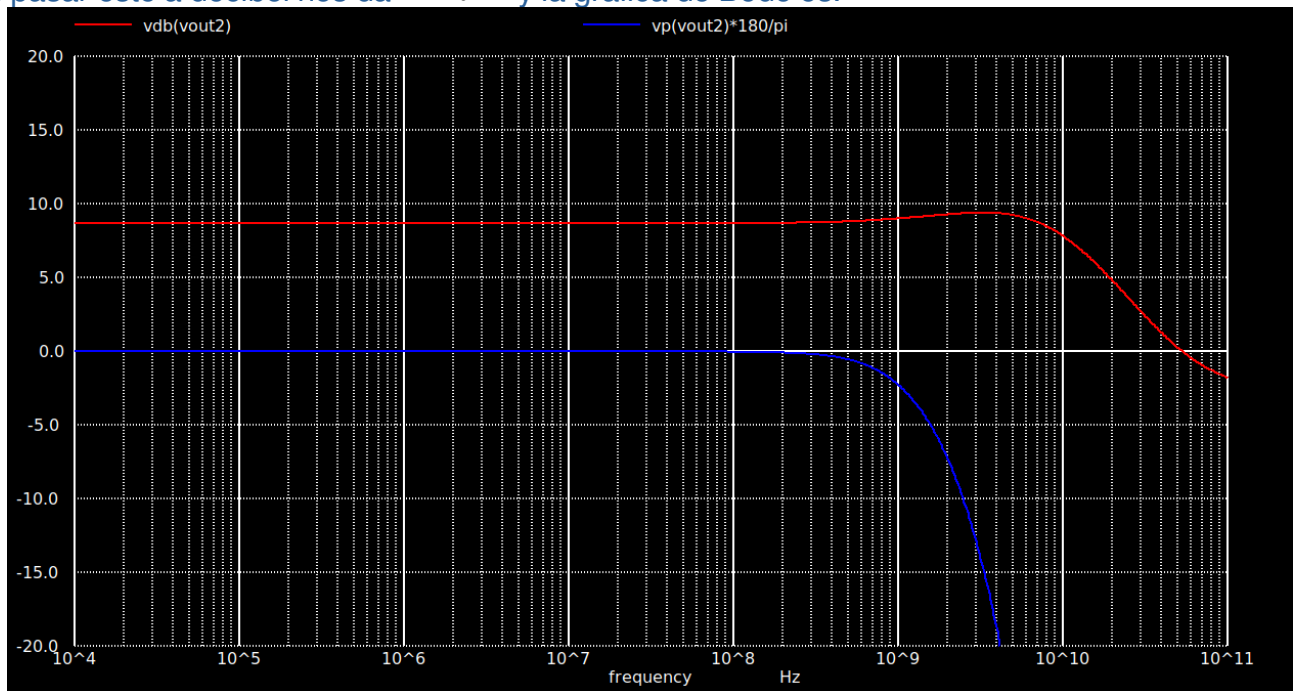
Una vez que tenemos la ganancia de tensión, se razona cual debe ser la tensión máxima de salida, para poder calcular la tensión máxima de entrada:

$$V_{inMax} = \frac{V_{outMax}}{A_{VDC}} = \frac{V_{CMout} - (V_p + V_{DSsatM3})}{A_{VDC}} = \frac{1.2 - (0.5 + 0.3)}{5.5} \approx 70mV$$

La gráfica en el tiempo al aplicarle una tensión diferencial de $V_{inMD} = 70mV$ es:



Podemos ver que la señal de entrada (mostrada en rojo) está sobre una continua de $1.2V$ que es del modo común. Y su amplitud sube y baja $\pm 70mV$ que es el modo diferencial. La señal azul es la de salida V_{out2} , que también tiene $1.2V$ de continua y oscila $\pm 350mV$. La suma de esta amplitud es $700mV = V_{ppDiffOutMax}$. Donde podemos comprobar que la ganancia de tensión en veces es proxima a: 5 veces. Al pasar esto a decibel nos da $14dB$ y la gráfica de Bode es:



En rojo la magnitud, y en azul la fase.
Notar que no estamos obteniendo la misma ganancia en dB.

¿Qué cambios propone para duplicar la ganancia A_{VDC} previamente obtenida, manteniendo la especificación de $A_{CMin} = V_{CMout} = 1.2V$?

Justificar analíticamente la estimación de la nueva ganancia y simular los nuevos parámetros para demostrar que se cumple el incremento de ganancia esperado.

Como la ganancia se la puede escribir aproximadamente de la siguiente manera:

$$A_{VDC} \approx -gm R_D$$

vemos que para aumentarla podemos subir gm o R_D .

Obtamos por modificar R_D , ya que el gm depende de los siguientes factores:

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

y también implica cambiar la respuesta en frecuencia.

Si solamente multiplicamos por dos R_D la ganancia no se aumentaría al doble, porque la corriente se vería disminuida a la mitad y el gm quedaría:

$$gm \propto \sqrt{\frac{W}{L} \frac{I_D}{2}} = \frac{\sqrt{\frac{W}{L} I_D}}{\sqrt{2}}$$

entonces al obtener la ganancia, nos queda:

$$A_{VDC} \approx \frac{-\sqrt{\frac{W}{L} I_D}}{\sqrt{2}} 2R_D$$

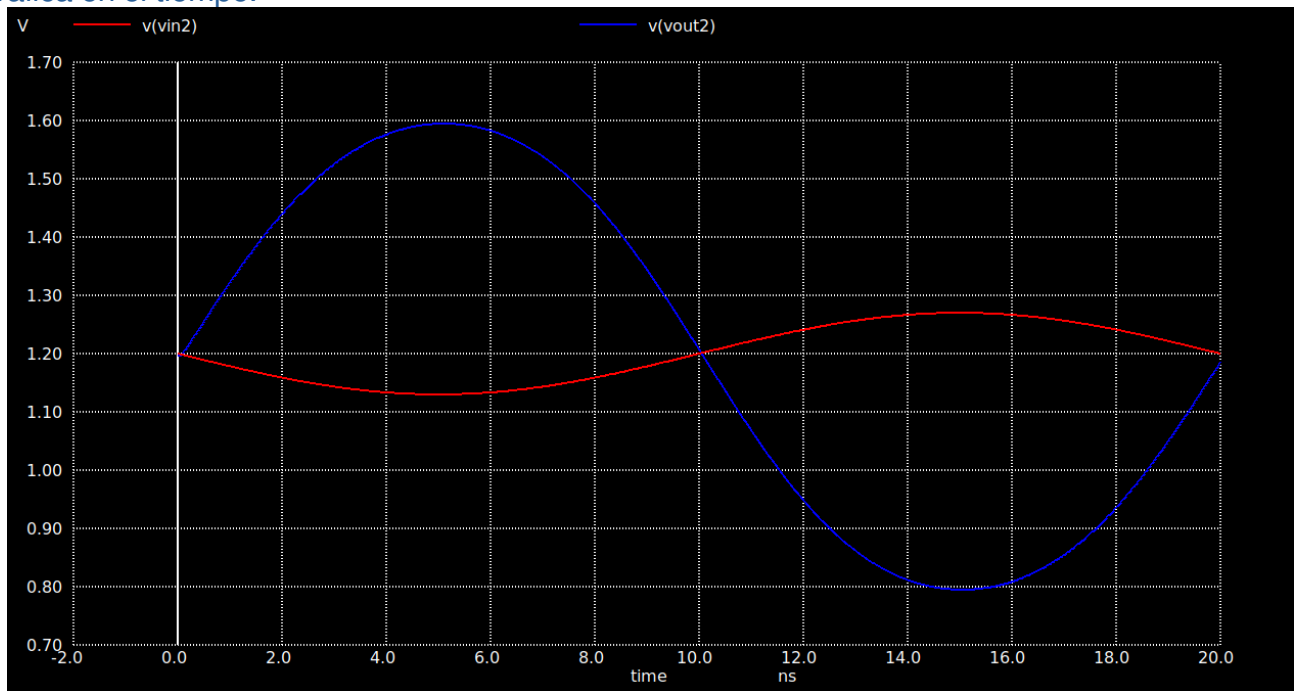
y esto, como vemos, se soluciona multiplicando en vez del doble la resistencia, al cuádruple.

De esta forma, obtenemos:

$$A_{vDC} \approx \frac{-\sqrt{\frac{W}{L}} I_D}{\sqrt{4}} 4 R_D = \frac{-\sqrt{\frac{W}{L}} I_D}{2} 4 R_D = -2 R_D \sqrt{\frac{W}{L}} I_D$$

Y haciendo los siguientes cambios en la simulación $R_{D1,2} = 48 k\Omega$ e $I_{Ref} = 25 \mu A$, nos queda:

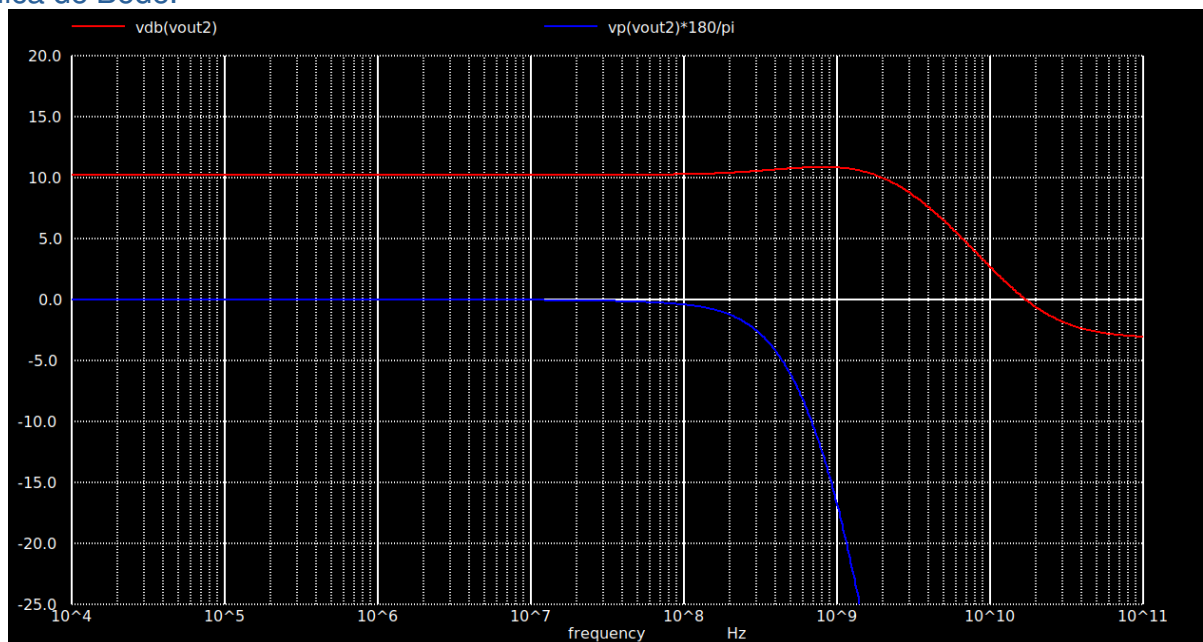
Gráfica en el tiempo:



La señal roja sigue siendo la de entrada con amplitud $\pm 70 mV$. La señal azul es la salida con $\pm 405 mV$. Donde podemos comprobar que la ganancia de tensión en veces es proxima a: 5.8 veces.

Al pasar esto a decibel nos da 15.25 dB.

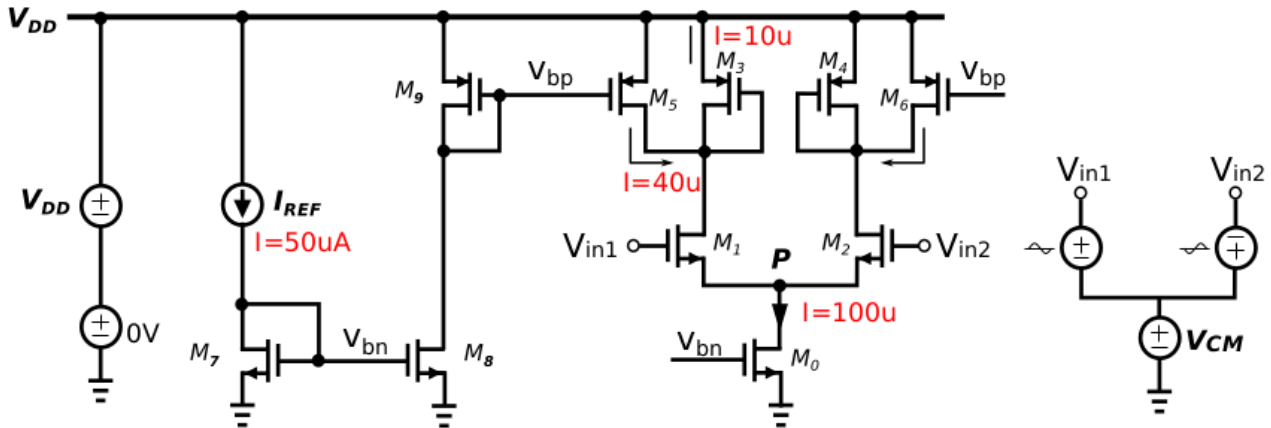
Gráfica de Bode:



En rojo la magnitud, y en azul la fase.

Notar que no estamos obteniendo la misma ganancia en dB.

2. Para el siguiente circuito diseñar la polarización y el par diferencial de acuerdo a las especificaciones en corner TT, luego evalúe en SS y TF (ver debajo tabla de variaciones PVT).



$$L_0 = 0.75 \mu m$$

$$L_{1,2} = 0.15 \mu m$$

$$L_{3,4,5,6} = 0.75 \mu m$$

$$V_{CMIn/Out} = 1.2 V$$

$$V_{DD} = 1.8 V$$

$$\frac{gm_{1,2}}{I_{D1,2}} \geq 10 V$$

Obtener:

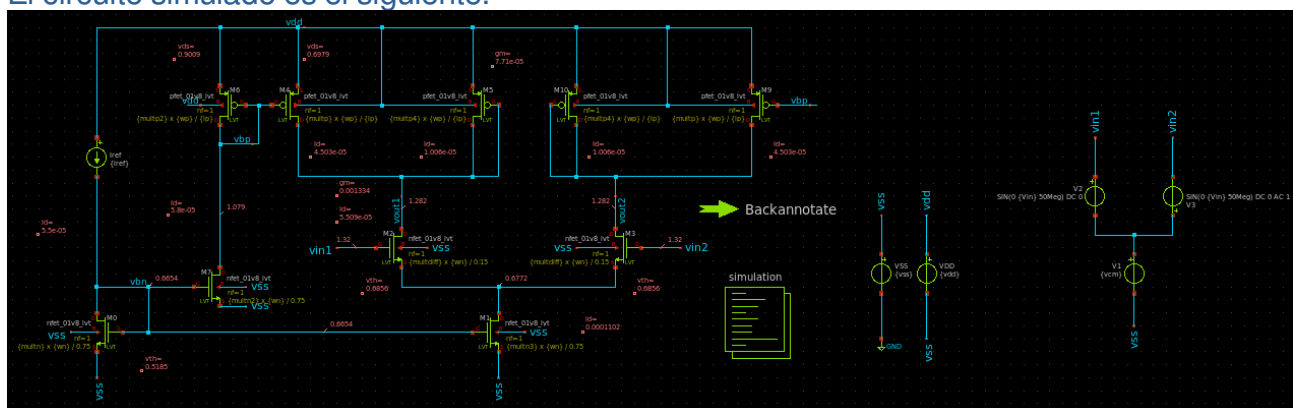
$$W_{1,2} = 5 \mu m \quad \leftarrow$$

$$W_{3,4,5,6} = 1.5 \mu m \quad \leftarrow$$

$$A_{VDC} = 6.73 [vecas] \quad \leftarrow$$

$$V_{ppDiffOutMax} = i \quad \leftarrow$$

El circuito simulado es el siguiente:



Podemos ver que se cumple la condición:

$$\frac{gm_{1,2}}{I_{D1,2}} = \frac{1.33 m}{55.1 \mu} = 24.21 \geq 10 V$$

La ganancia A_{VDC} se obtuvo a partir del gráfico de la señal diferencial de entrada y la señal diferencial de salida.

¿Qué ventajas presenta un circuito respecto al otro? Elabore una lista y explique cada una de ellas.

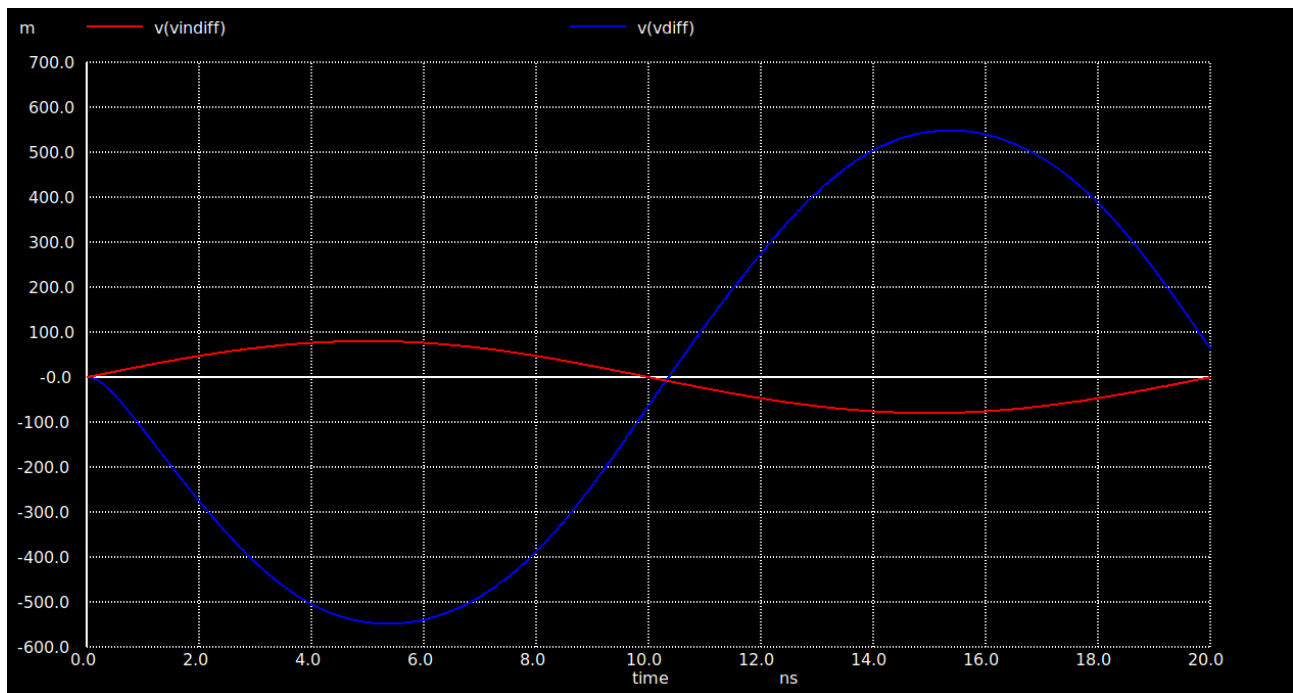
El agregado de una fuente de corriente me permite disminuir el gm_3 y gm_4 , de los correspondientes diodos M_3 y M_4 . Esto me beneficia para aumentar la ganancia, porque se encuentran en su denominador.

Tabla de variaciones PVT:

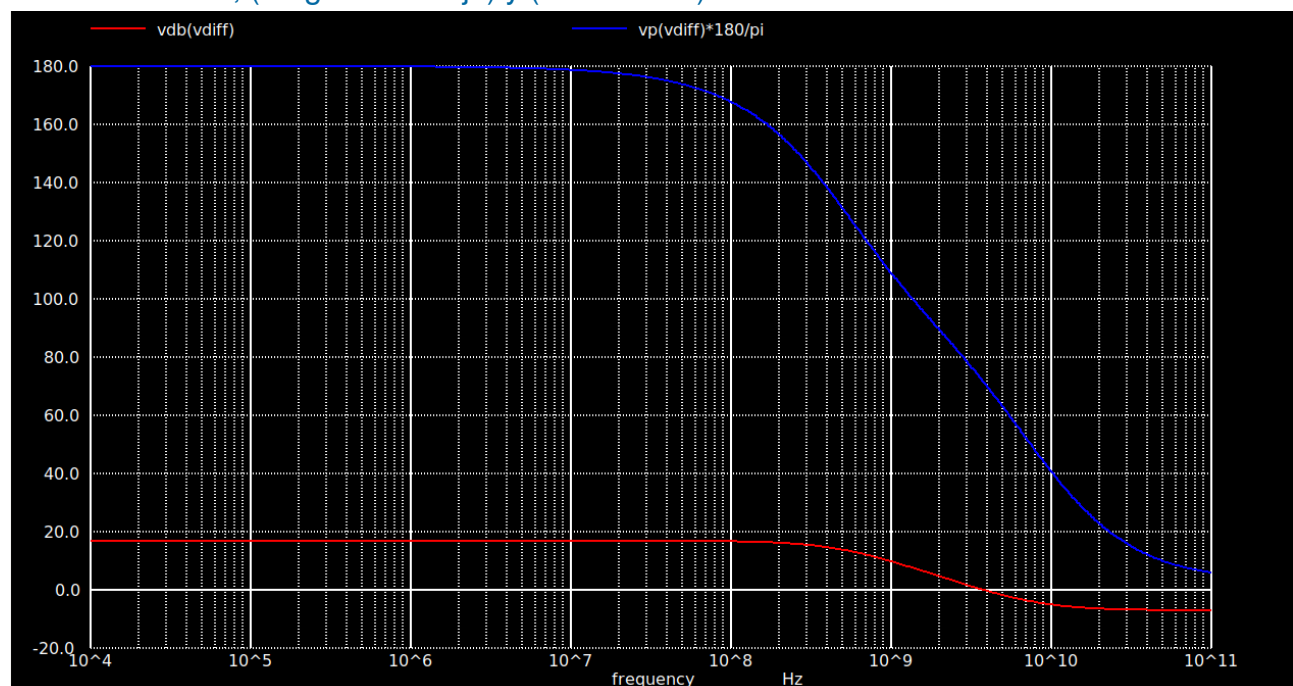
Proceso	V_{DD} [V]	V_{CM} [V]	I_{Ref} [μA]	Temperatura [$^{\circ}C$]
TT	1.8	1.2	50	65
FF	1.98	1.32	55	0
SS	1.62	1.08	45	125

Proceso TT:

Señal diferencial de salida (azúl) y de entrada (rojo) en el tiempo:

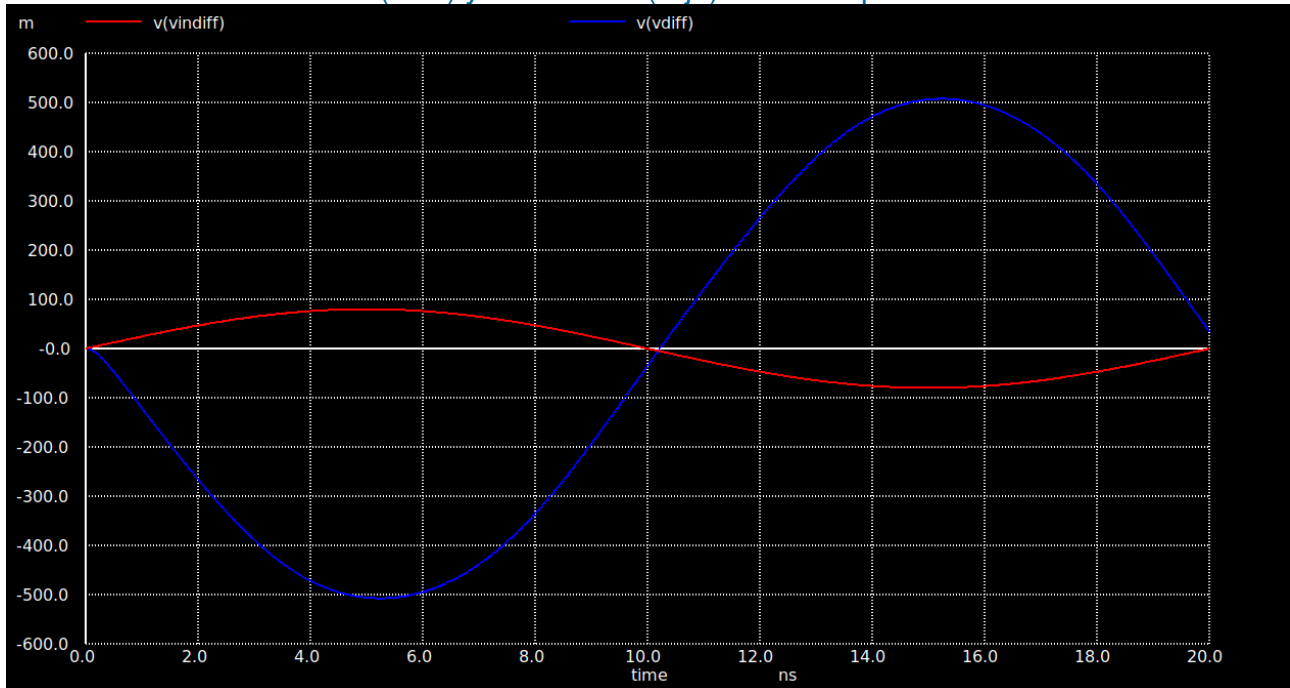


Gráfica de Bode, (Magnitud - Rojo) y (Fase - Azúl):

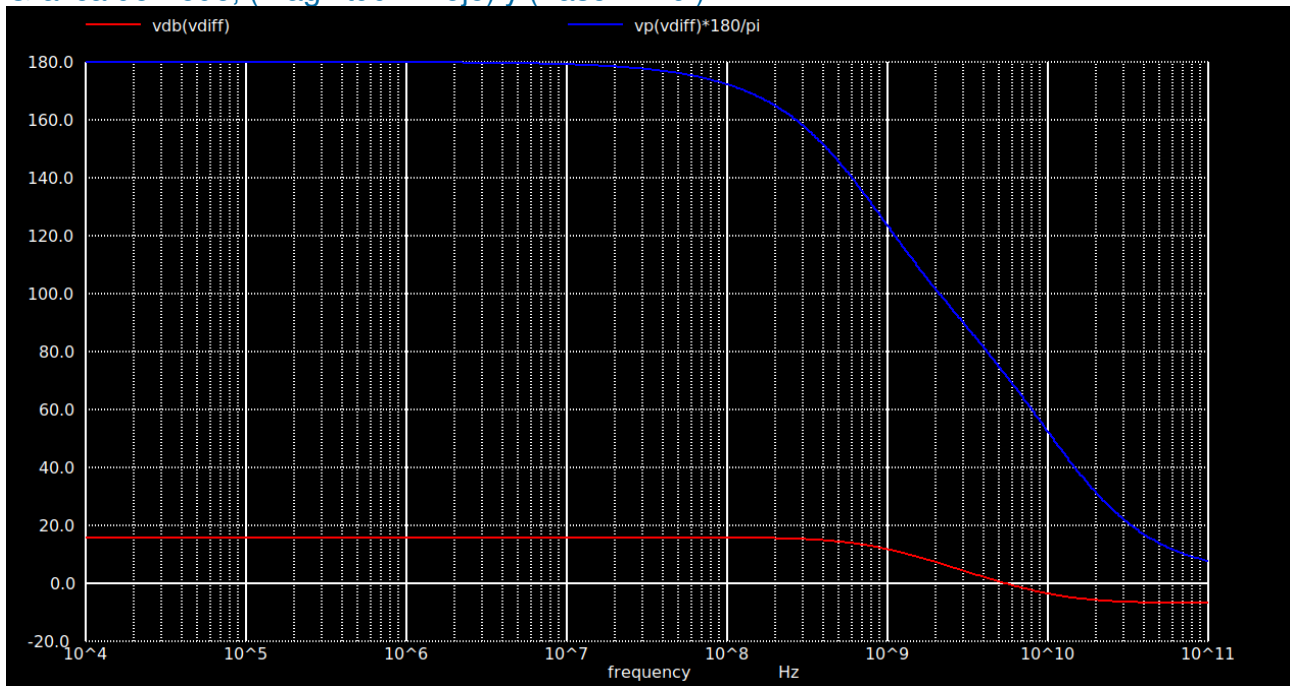


Proceso FF:

Señal diferencial de salida (azúl) y de entrada (rojo) en el tiempo:

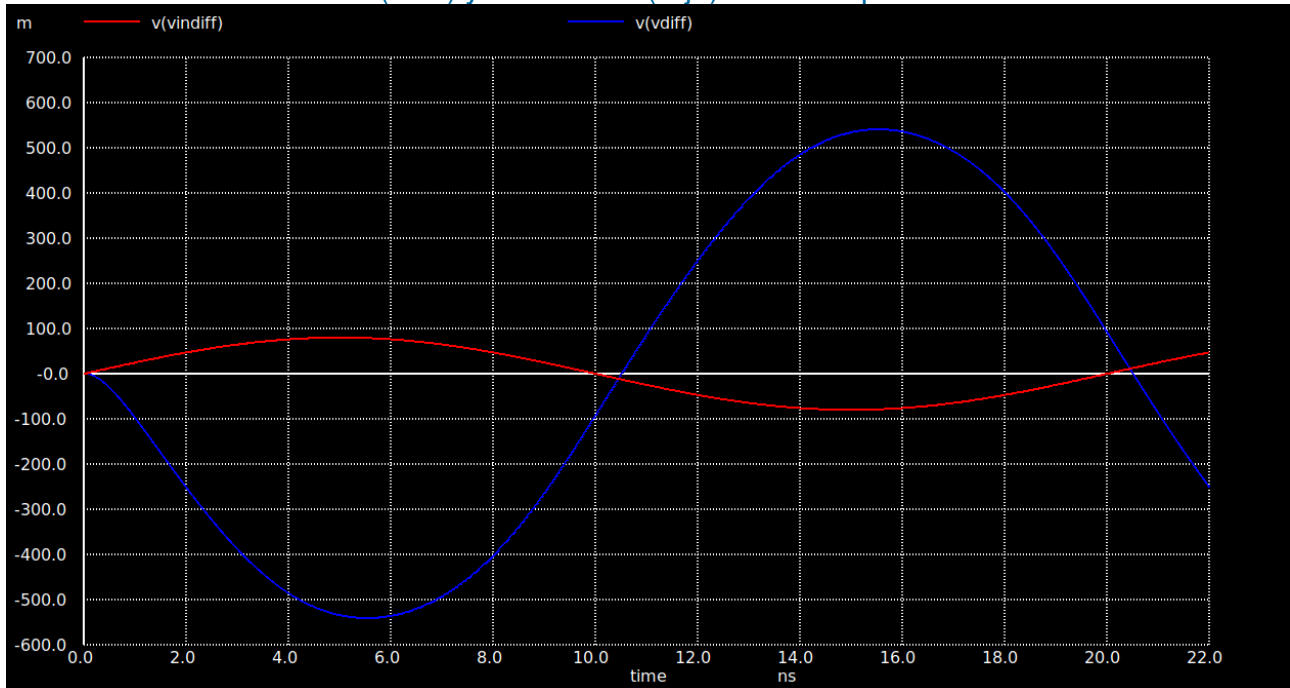


Gráfica de Bode, (Magnitud - Rojo) y (Fase - Azúl):



Proceso SS:

Señal diferencial de salida (azúl) y de entrada (rojo) en el tiempo:



Gráfica de Bode, (Magnitud - Rojo) y (Fase - Azúl):

