

Nanoelectrónica: Ejercicios 5.1 y 5.2

Adrián D. Escañuela Copado

14 de mayo de 2021

1 Ejercicio 5.1

La única modificación con respecto al algoritmo anterior es la adición de un bucle for que se mueva en V_{GS} anidado con el que ya usábamos par V_{DS} . Hay que añadir el término $-qV_{GS}C_G/C_{ES}$ a nuestra U antigua.

1.1 Apartado (a)

En este apartado se pide calcular la conductancia del sistema para determinados valores de la tensión de puerta y de fuente. Lo que se obtiene es lo que podemos ver en la figura 1.

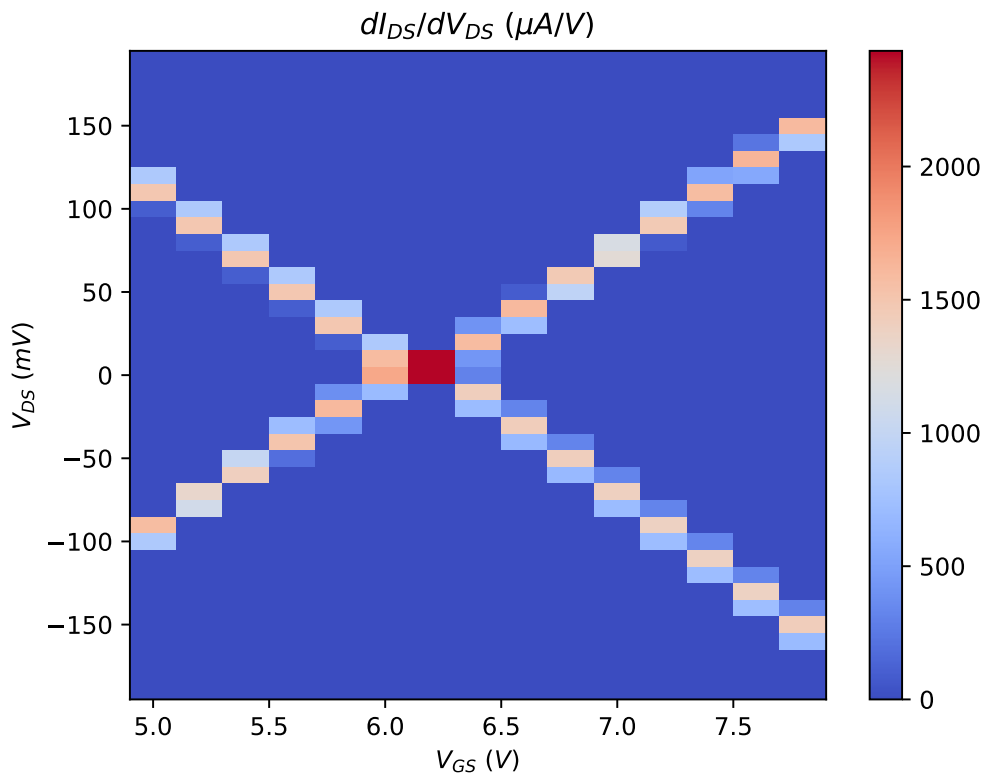


Figure 1: Mapa de calor de la conductancia en función de los parámetros V_{DS} y V_{GS} .

Como se puede ver, la figura nos muestra una forma de X, centrada en los valores $V_{DS} \sim 0$ mV y $V_{GS} \sim [6.0, 6.5]$ V. Fuera de esta X la conductancia es nula. Los valores en la diagonal son altos, en el rango de los mA/V, y el máximo se encuentra en el centro de la X, donde se llegan a alcanzar cerca de 2 mA/V.

1.2 Apartado (b)

Esta forma de X en la conductividad es una herencia de lo que se deberá de ver en la intensidad. Para hacer esta comparación, se muestra la intensidad en la figura 2.

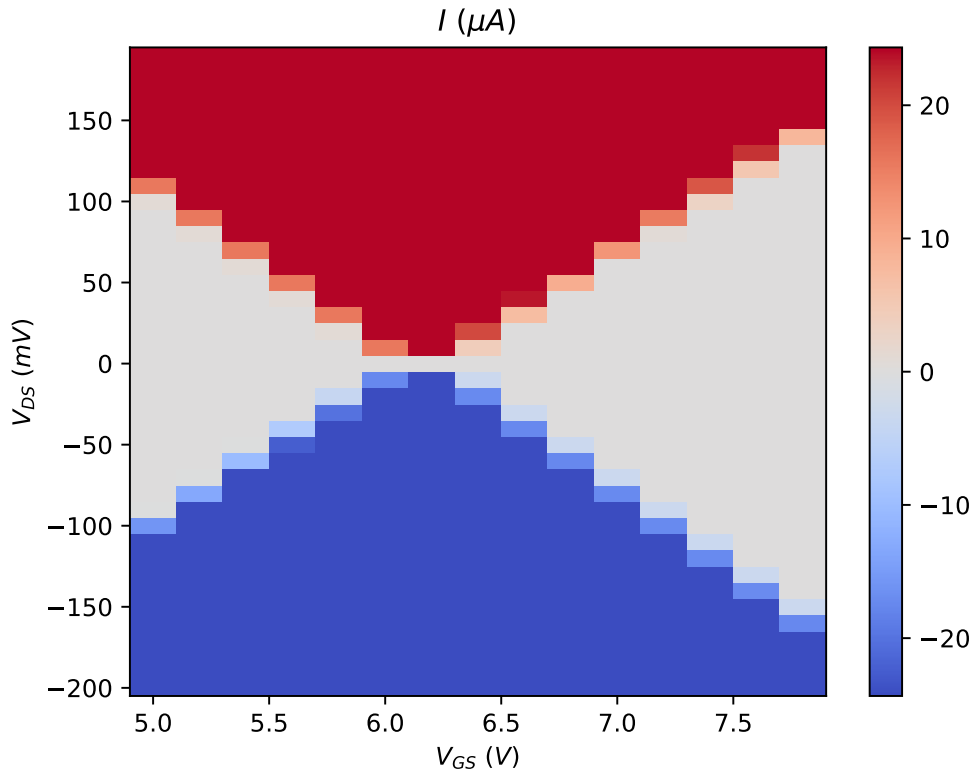


Figure 2: Mapa de calor de la intensidad en función de los parámetros V_{DS} y V_{GS} .

Observamos que la intensidad va de un valor negativo (azul) hasta uno positivo (rojo), con un gap (gris-verde) que se va reduciendo de manera lineal según avanzamos en V_{GS} .

La densidad de estados que se está usando es una delta de Dirac, y junto con que la temperatura es muy baja $T = 1$ K y por lo tanto nuestras distribuciones de Fermi-Dirac son prácticamente distribuciones de Heaviside, hará que los cambios en pendiente sean muy bruscos. Vemos en la figura de la intensidad que se pasa de $-20 \mu A$ a $0 \mu A$ y a $+20 \mu A$ casi automáticamente. Esto es indicativo de una pendiente casi-infinita en los lugares en los que se da el cambio. También notamos que la intensidad se mantiene prácticamente constante una vez ya a alcanzado su valor tras el salto.

Es por esto por lo que la conductancia (la derivada) será nula donde la corriente es constante, y muy grande cuando la corriente cambia debido a la gran pendiente que presenta aquí la conductancia. Esto da lugar a una X de valores muy grandes rodeada de valores nulos.

1.3 Apartado (c)

En un principio podría parecer que en nuestro problema el vértice se encuentra en $V_{GS} \in [6.0, 6.5]$ V, y que dicho vértice posee un gap no-nulo. Esto es consecuencia de lo grande que es el paso en nuestro programa.

Podemos afinar para ver donde realmente se encuentra el vértice y además ver si nuestro gap es nulo como ocurre en el estudio de *Park et al.* Haciendo esto obtenemos lo que se puede observar en la figura 3, en la que se ha hecho un zoom y se ha aumentado la definición (paso en V_{DS} de 0.001 V y en V_{GS} de 0.01 V). Se puede observar que hay un minúsculo gap no-nulo.

Será el máximo de la conductancia el que nos diga donde se encuentra el mayor cambio de pendiente, el centro de nuestro vértice. Si vemos la figura 4 notamos que se encuentra entre $V_{GS} \approx 6.1$ V y $V_{GS} \approx 6.2$ V para $V_{DS} = 0$ V. Ese gap es del tamaño del paso en V_{DS} , esto nos hace pensar que pueda ser necesario más definición.

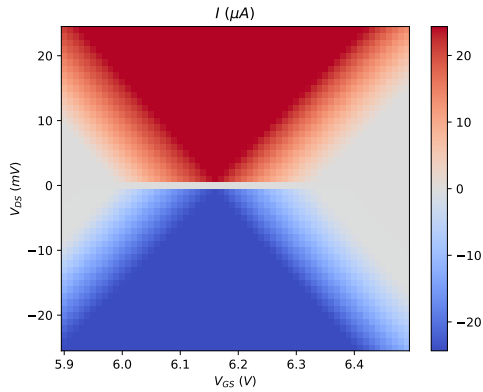


Figure 3: Zoom de la curva de las intensidades alrededor del centro de la X con mayor definición.

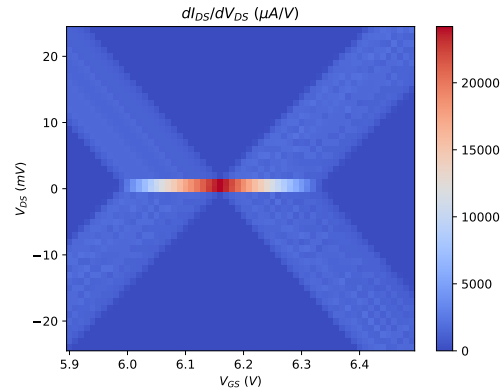


Figure 4: Zoom de la curva de las conductancias alrededor del centro de la X con mayor definición.

Por lo tanto, ahora sabemos donde poner el ojo para centrarnos en ese punto con más detalle, $V_{GS} \in [6.1, 6.2]$ V.

Bien, ahora sabemos que nuestro problema es diferente al suyo, y se pide que obtengamos la curva característica $I_{DS} - V_{DS}$ para el punto $V_{GS} = 5.9$ V. Ya sabemos de antemano que nosotros sí que encontraremos gap más o menos grande en ese punto porque no se encuentra en nuestro vértice, haciendo esto obtenemos lo que aparece en la figura 5.

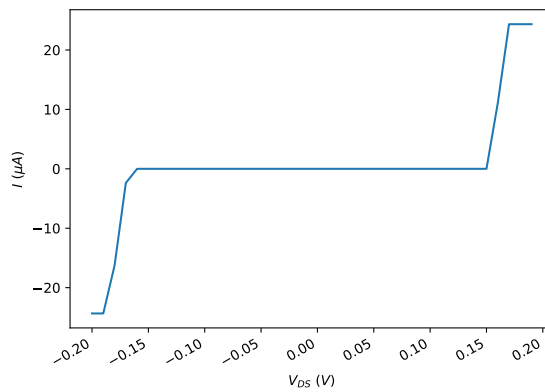


Figure 5: Curva $I_{DS} - V_{DS}$ para $V_{GS} = 5.9$ V. Se observa un gran gap.

Y para concluir, en la figura del experimento de *Park et al.* se observa una conductancia no-nula en el cuadrante superior e inferior fuera de la diagonal. Esto es porque la intensidad en la vida real no es constante en esos cuadrantes puesto que la densidad de estados no es una delta de Dirac (el nivel molecular tendrá una anchura no nula), esto hace que en esos lugares haya cambios en curvatura y al variar su derivada (la conductancia) toma valores no-nulos.

1.4 Apartado (d)

Según *Park et al.* el gap de conductancia se hace 0 en el vértice. Nosotros ya hemos visto antes que esto podría ocurrir si aumentamos la definición en nuestro vértice, en la zona de $V_{DS} = 0$ V y $V_{GS} = 6.16$ V.

Nos interesa saber que es lo que verdaderamente ocurre en el vértice, en nuestro caso a $V_{GS} \approx 6.16$ V y en el de *Park et al.* en $V_{GS} \approx 5.9$ V. Es por esto por lo que corremos nuestro programa con una finura muy grande en este rango de valores y encontramos la gráfica 6.

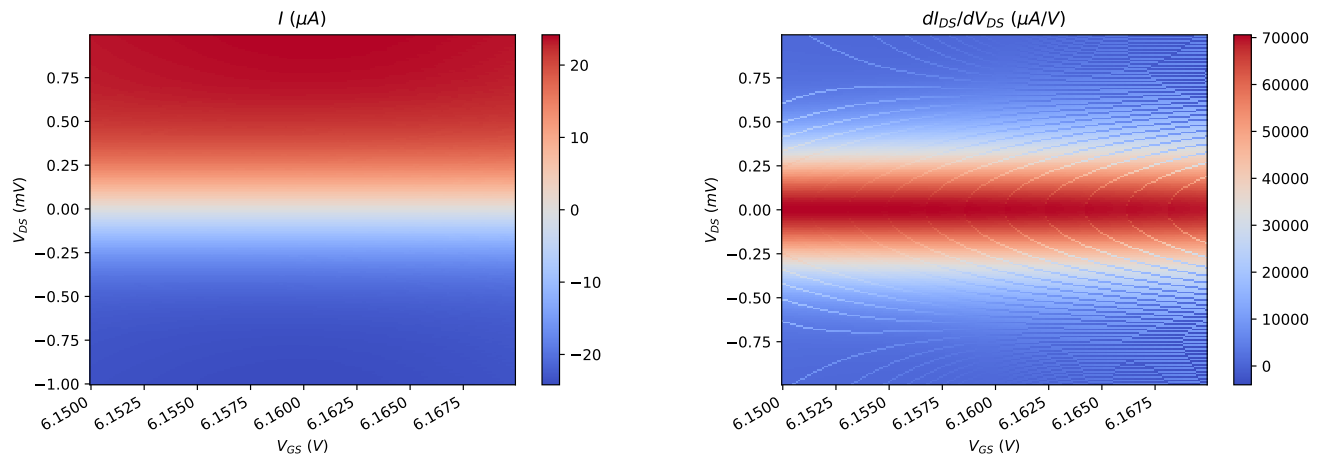


Figure 6: Zoom alrededor de nuestro vértice de la X ($V_{GS} \approx 6.16$ V, $V_{DS} = 0$ V) con gran finura de paso.

Vemos como nuestro programa nos está diciendo que el cambio es suave, pasando por cero pero no hay un estancamiento en ese punto, es decir no habrá gap. Esto lo pone de manifiesto la curva $I_{DS} - V_{DS}$ en $V_{GS} \approx 6.16$ V, que no presenta ningún tipo de gap, igual que *Park et al.* obtenían en $V_{GS} = 5.9$ V, como podemos ver en la figura 7

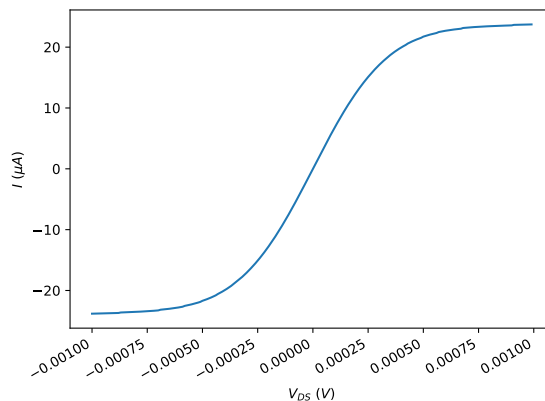


Figure 7: Curva $I_{DS} - V_{DS}$ para $V_{GS} = 6.16$ V con gran finura de paso. Gap nulo.

Ahora que ya sabemos que nosotros también tenemos una conductancia no nula en el vértice podemos asegurar que nuestro problema es idéntico al suyo, solo que desplazado hacia la derecha

en V_{GS} . El enunciado nos sugiere que esto es porque el C_G dado es de un valor incorrecto.

Podemos ir variando C_G en nuestro programa para hacer que nuestro centro de la X coincida con $V_{GS} = 6$ V. Se ha concluido que el valor para el cual esto ocurre es $C_G = 1.0275$ aF. Tras cambiar C_G generamos unas gráficas de nuestro problema con el vértice sobre $V_{GS} = 6$ V que podemos ver en la figura 8

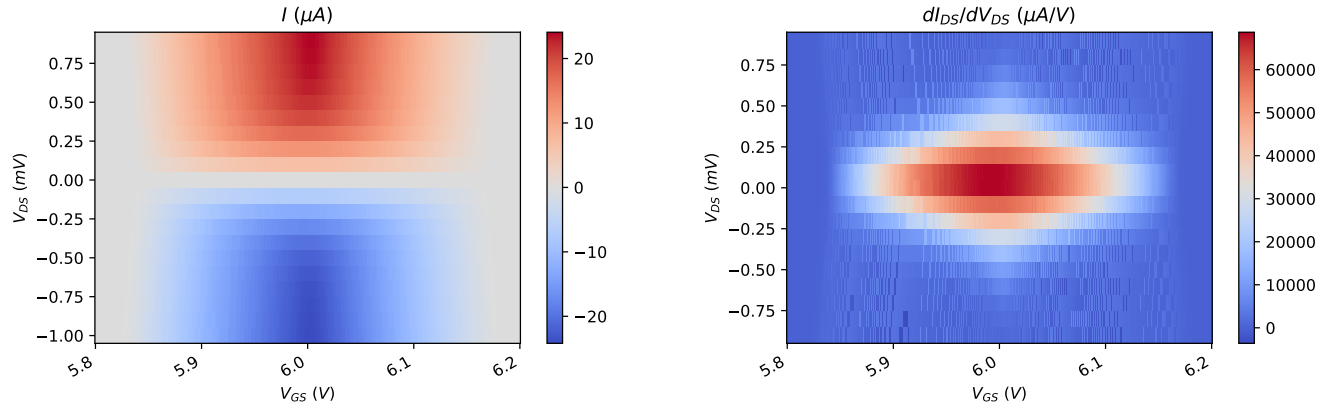


Figure 8: Zoom alrededor de nuestro vértice de la X, ahora desplazado hacia $V_{GS} = 6$ V por corrección de la capacidad, ahora $C_G = 1.0275$ aF.

El error entre la capacidad dada $C_G^{\text{inicial}} = 1$ aF y la obtenida para que cuadre con el experimento $C_G^{\text{exp}} = 1.0275$ aF era de $\Delta C_G = 0.0275$ aF.

2 Ejercicio 5.2

De nuevo en este ejercicio el algoritmo de computación es prácticamente igual al del ejercicio anterior, lo que cambia es la representación gráfica.

He intentado el ejercicio pero no puedo obtener resultados. Para cuando no hay autoconsistencia $U = 0$ obtengo unos resultados más o menos posibles. Cuando hay autoconsistencia mi programa me impide obtener resultados (no sale del bucle while). La gráfica que obtengo es de la forma que debería ser, pero ante la falta de resultados (y sobre todo el tiempo) no puedo contestar a lo que se me pide en el ejercicio.

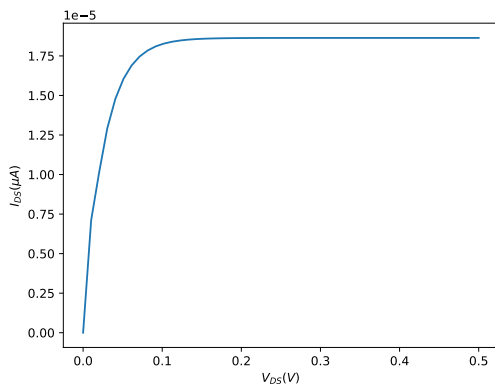


Figure 9: Curva $I_{DS} - V_{DS}$ para $T = 300$ K sin autoconsistencia.

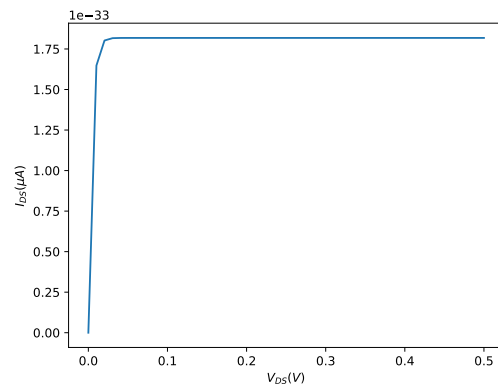


Figure 10: Curva $I_{DS} - V_{DS}$ para $T = 50$ K sin autoconsistencia.

Solo obtengo la gráfica de cuando no hay autoconsistencia, que no depende de V_{GS} , así que solo es una (no sé si el orden de magnitud es el correcto). Esta se puede ver en la figura 9 y 10.

Lo que si he podido hacer es aumentar (disminuir) T para el caso sin autoconsistencia y esto resulta en una mayor (menor) intensidad y una función más (menos) suave. Lo podemos ver en la figura anterior.