UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. E. P.
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
I.T.Industrial Espec Electrónica Industrial

ASIGNATURA	COMPONENTES ELECTRÓNICOS	FECHA	3/2/2003
APELLIDOS, NOMBRE	— SOLUCIÓN —	Nº lista	

NOTA: RESPONDER EN LOS HUECOS DEJADOS PARA TAL FIN. NO SE CORREGIRÁ NADA ESCRITO FUERA. EN LA CORRECCIÓN SE TENDRÁ EN CUENTA TANTO EL DESARROLLO COMO EL RESULTADO.

Problema 1 (20 puntos)

En el circuito de la figura 1.1 se utiliza un componente X del que conocemos su característica I-V (figura 1.2). Otros datos: **E > 0, R_1=2 kΩ** y **R_2=0,5 kΩ**.

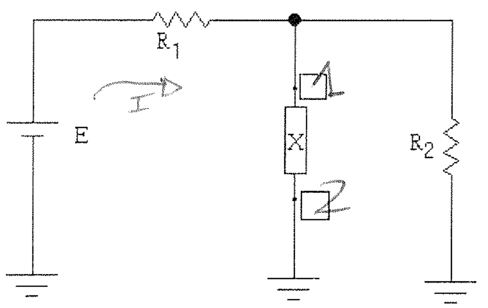


figura 1.1

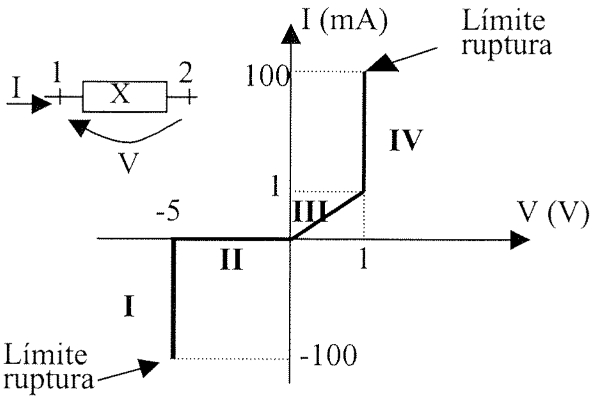
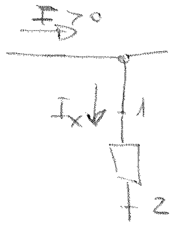


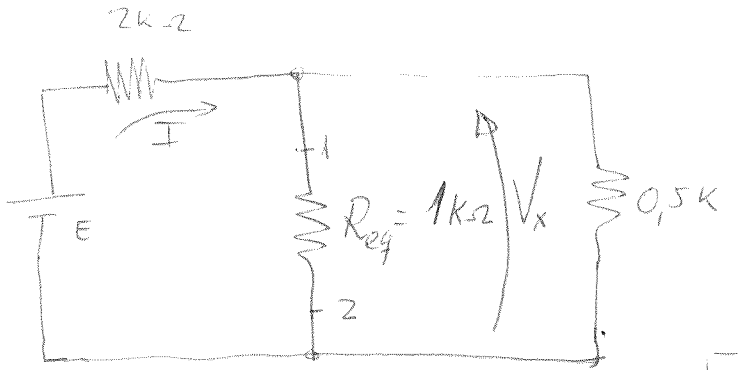
figura 1.2

a) Para que el componente X trabaje en la zona III de su característica I-V, indicar sobre el circuito cómo se deberían conectar los terminales 1 y 2. Justificar la respuesta. **(4p)**

Como $E > 0 \Rightarrow I > 0$
En zona III la I_x es positiva



b) Hallar los valores que puede tener E para que el componente X trabaje en la zona III de su característica I-V. **(8p)**



$$I = \frac{E}{2 + 1//0,5} = \frac{E}{2+0,33}$$

$$V_x = \frac{E}{2,33} \cdot 0,33 \leq 1$$

$$E \leq 7V$$

$$\boxed{0 \leq E \leq 7V}$$

$V_x \geq 0 \Rightarrow E \geq 0$

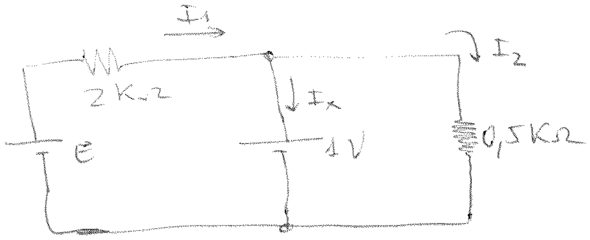
c) Los dos resistores fijos, R_1 y R_2, pertenecen a un modelo con $\mathbf{P_{nm}=2W}$ y $\mathbf{V_{nm}=100V}$. Hallar los valores que puede tener E para que ningún componente se deteriore. **(8p)**

$$R_c = \frac{100^2}{2} = 5K\Omega$$

$$R_1 < R_c \begin{cases} P_{n1} = 2W \\ V_{n1} = \sqrt{2 \cdot 2000} = 63{,}24V \\ I_{n1} = 31{,}63 mA \end{cases}$$

$$R_2 < R_c \begin{cases} P_{n2} = 2W \\ V_{n2} = \sqrt{2 \cdot 500} = 31{,}62V \\ I_{n2} = 63{,}24V \end{cases}$$

Para $E > 0 \rightarrow I_{x\,max} = 100\ mA$ (límite para X)



$$I_2 = \frac{1V}{0{,}5} = 2mA < I_{n2}$$

$\hookrightarrow R_2$ no tiene problemas

$$I_1 = \frac{E-1}{2}$$

$$I_x = I_1 - I_2 = I_1 - 2$$

Si conseguimos $I_1 < I_{n1} \rightarrow X$ no tendría problemas

$$\frac{E-1}{2} < 31{,}63 \Rightarrow E < 64{,}24V$$

Solución $\boxed{E < 64{,}24V}$

Problema 2 **(15 puntos)**

Se poseen dos tipos de pastillas semiconductoras distintas, pero de las mismas dimensiones:

X_1 ≡ **Germanio (Ge)** sin dopar.

X_2 ≡ **Silicio (Si)** dopado con una concentración de Boro, impureza aceptora, igual a $2\cdot10^{14}cm^{-3}$.

Nota: los dos semiconductores están a la misma temperatura, 300 K.

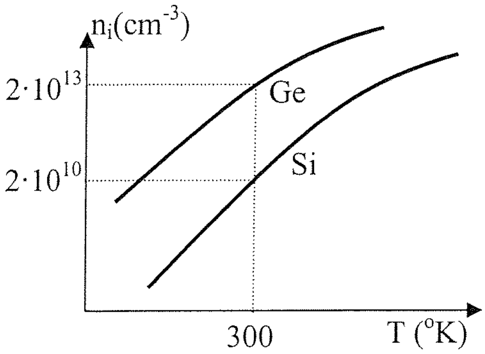
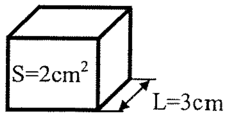


figura 2.1

Datos:

Dimensiones de las pastillas semiconductoras



$\sigma = c\cdot q\cdot\mu\ (\Omega\cdot cm^{-1})$

$\mu_n \approx 3\mu_p$

Ley del producto: $n\cdot p = n_i^2$

$$R = \frac{1}{\sigma}\cdot\frac{L}{S}$$

Boro: *trivalente*, ***Fósforo***: *pentavalente.*

$q = 1{,}6\cdot10^{-}19\ (C)$

$\mu_n = 250\ (cm^2/V\cdot s)$

a) Indicar de qué tipo es cada semiconductor, si es intrínseco o extrínseco y si es tipo p ó tipo n. **(5p)**

X_1 (Ge) INTRÍNSECO (al no estar dopado)

X_2 (Si) EXTRÍNSECO, tipo P (por estar dopado con impurezas aceptoras)

b) Calcular la concentración de portadores mayoritarios y de minoritarios en cada semiconductor. **(5p)**

* X_1 mayoritarios = minoritarios $\boxed{n = p = n_i(Ge)\big|_{T=300K} = 2\cdot10^{13}\ cm^{-3}}$

* X_2 mayoritarios $\boxed{p = N_A = 2\cdot10^{14}\ cm^{-3}}$

minoritarios $\boxed{n = \frac{n_i^2(Si)}{p}\Big|_{T=300K} = \frac{(2\cdot10^{10})^2}{2\cdot10^{14}} = 2\cdot10^{6}\ cm^{-3}}$

c) Indicar, justificadamente, qué semiconductor tiene la mayor conductividad (σ) y calcular la corriente que habría en el circuito de la figura 2.2 si el semiconductor fuera el de mayor conductividad. **(5p)**

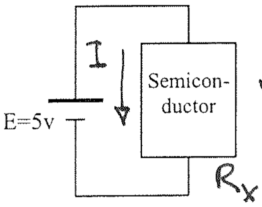


figura 2.2

* $\sigma_{X_1} = n\cdot q\cdot\mu_n + p\cdot q\cdot\mu_p = n_i\cdot q\cdot(\mu_n+\mu_p)$

$\sigma_{X_1} = 2\cdot10^{13}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\left(250 + \frac{250}{3}\right) = 1{,}06\cdot10^{-3}\ \Omega\ cm^{-1}$

* $\sigma_{X_2} = N_A\cdot q\cdot\mu_p + n\cdot q\cdot\mu_n \simeq N_A\cdot q\cdot\mu_p$

$\sigma_{X_2} = 2\cdot10^{14}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\cdot\frac{250}{3} = 2{,}\hat{6}\cdot10^{-3}\ \Omega\ cm^{-1}$

$\boxed{\sigma_{X_2} > \sigma_{X_1}}$

$R_{X_2} = \frac{L}{S\,\sigma_{X_2}} = \frac{3}{2\cdot2{,}\hat{6}\cdot10^{-3}} = 562{,}51\Omega$

$\boxed{I = \frac{E}{R_{X_2}} = \frac{5}{562{,}51} = 8{,}88\ mA}$

Problema 3 **(20 puntos)**

De los componentes del circuito de la figura 3.1 se conoce:

Tensión de entrada puede variar, $\mathbf{34V \le V_e \le 160V}$
Diodo Zener: $\mathbf{V_Z=10V}$, $\mathbf{I_{Zmin}=0{,}5mA}$, $\mathbf{P_{Zmax}=0{,}25W}$
Condensador: $\mathbf{C=100\mu F}$
Resistor Variable: $\mathbf{Rv_n= 50k\Omega}$, ley de variación lineal. $\mathbf{0\le \alpha \le 1}$

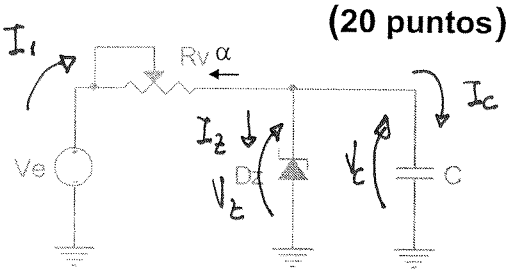


figura 3.1

a) Valores de α que hacen que el diodo zener no se destruya, si se supone el condensador C ideal. **(5p)**

C Ideal $I_c = \emptyset$ para que el zener no se queme $I_z \le I_{zmax} = \dfrac{P_{zmax}}{V_z}$

$$I_z = I_1 - I_c = I_1 = \frac{Ve - V_z}{Rv \cdot \alpha} \le \frac{P_{zmax}}{V_z} \qquad \alpha \geq \frac{V_z\,(Ve - V_z)}{Rv \cdot P_{zmax}}$$

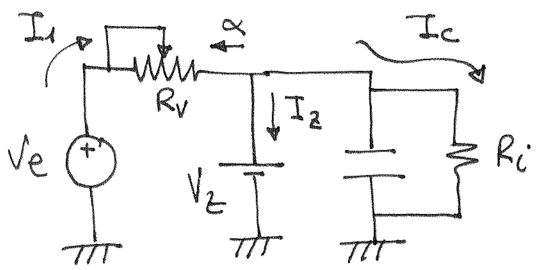
peor caso $\underline{V_e = V_{emax}}$

$$\alpha \geq \frac{10\,(160-10)}{50K \cdot 0'25} = 0'12 \qquad \boxed{\alpha \geq 0'12}$$

b) Cuál sería el valor mínimo de la tensión nominal del condensador Vc_n si el diodo siempre estuviera en la zona zener. **(5p)**

$V_c = V_z$ luego $\boxed{V_{cn} = V_z = 10V}$

c) Para este apartado considerar el condensador C real, con tensión nominal $\mathbf{Vc_n=10V}$, y corriente de fugas $\mathbf{I_F=100\mu A}$. Calcular los valores de α que hacen que el diodo esté siempre en la zona zener. **(10p)**



$$R_i = \frac{V_{cn}}{I_F} = \frac{10}{100\mu} = 100K\Omega$$

$$I_z = I_1 - I_c = \frac{Ve - V_z}{Rv\,\alpha} - \frac{V_z}{R_i}$$

para que el diodo permanezca en la zona zener $I_{zmin} \le I_z \le I_{zmax}$

* Para I_{zmin}, peor caso $Ve = Vemin$

$$\alpha \le \frac{Vemin - V_z}{\left(I_{zmin} + \frac{V_z}{R_i}\right) Rv} = \frac{34-10}{\left(0'5m + \frac{10}{100K}\right) 50K} = 0'8 \qquad \boxed{0'12 \le \alpha \le 0'8}$$

* Para I_{zmax}, peor caso $Ve = Vemax$ $\quad I_{zmax} = \dfrac{P_{zmax}}{V_z} = \dfrac{0'25}{10} = 25mA$

$$\alpha \geq \frac{Vemax - V_z}{\left(I_{zmax} + \frac{V_z}{R_i}\right) Rv} = \frac{160-10}{\left(25m + \frac{10}{100K}\right) \cdot 50K} \simeq 0'12$$

Problema 4 (20 puntos)

El circuito mostrado en la figura 4.1 consta de un diodo zener y de un transistor bipolar NPN. Conocemos los datos siguientes:

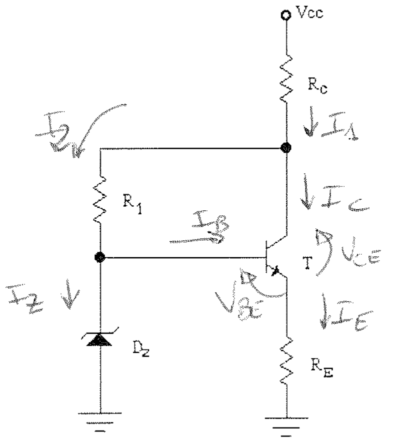


figura 4.1

$$D_Z \begin{cases} V_Z = 6\ V \\ I_{Zk} = 5\ mA \\ P_{Zmax} = 250\ mW \end{cases} \qquad T \begin{cases} V_{BE\gamma} = 0{,}6\ V \\ \beta = 49 \\ V_{CEsat} = 0{,}2\ V \end{cases}$$

$R_C = 0{,}1\ k\Omega$
$R_E = 2\ k\Omega$
$V_{CC} = 12\ V$

$I_{Zmax} = \frac{250}{6} = 41{,}67\ mA$

Responder las siguientes cuestiones:

a) Hallar el punto de polarización del diodo y del transistor y calcular las potencias disipadas por los mismos. (Dato para este apartado: **$R_1 = 0{,}2\ k\Omega$**) **(10p)**

Supongo $\left.\begin{array}{l} T \text{ en activa} \\ D_Z \text{ en zener} \end{array}\right\}$ $I_E = \frac{V_Z - V_{BE\gamma}}{R_E} = 2{,}7 mA$

$\left.\begin{array}{l} I_C = \beta \cdot I_B \\ I_E = \beta I_B + I_B = (\beta+1) I_B \end{array}\right\} \rightarrow$ $I_B = 0{,}054 mA$, $I_C = 2{,}65 mA$

$\left.\begin{array}{l} 12 = 0{,}1 \cdot I_1 + 0{,}2 \cdot I_2 + 6 \\ I_1 = I_2 + 2{,}65 \end{array}\right\}$ $I_1 = 21{,}77 mA$, $I_2 = 19{,}12 mA$

$V_{CE} = -0{,}1 \cdot I_1 + 12 - 2 \cdot 2{,}7 = 4{,}42 V > V_{CEsat}$

$I_Z = I_2 - I_B = 19{,}06 mA$ $< 41{,}67 mA$, $> 5 mA$

$$T \begin{cases} V_{BE} = 0{,}6V \\ V_{CE} = 4{,}42V \\ I_B = 0{,}054 mA \\ I_C = 2{,}65 mA \\ P \simeq 4{,}42 \cdot 2{,}65 = 11{,}71 mW \end{cases} \qquad D_Z \begin{cases} V_Z = 6V \\ I_Z = 19{,}06 mA \\ P = 6 \cdot 19{,}06 = 114{,}36 mW \end{cases}$$

b) Considerando la corriente por la base del transistor despreciable frente a la corriente por el zener (I_B<<I_Z), *calcular* los valores que podría tomar $\mathbf{R_1}$ para que Dz trabaje correctamente en zona zener.**(10p)**

$$I_Z \simeq I_2$$

$$\left.\begin{array}{l} 12 = 0{,}1 \cdot I_1 + R_1 \cdot I_2 + 6 \\ I_1 = I_2 + 2{,}65 \end{array}\right\} 6 = 0{,}1 \cdot I_2 + 0{,}265 + R_1 \cdot I_2$$

$$I_{Z\,min} = 5 = \frac{6 - 0{,}265}{0{,}1 + R_{1max}} \Rightarrow R_{1max} = 1{,}047\,K\Omega = 1047\,\Omega$$

$$I_{Z\,max} = 41{,}67 = \frac{6 - 0{,}265}{0{,}1 + R_{1min}} \Rightarrow R_{1min} = 0{,}0376\,K\Omega = 37{,}6\,\Omega$$

$$\boxed{37{,}6 < R_1 < 1047\,\Omega}$$

Problema 5 **(25 puntos)**

Dado el circuito de la figura 5.1, se pide:

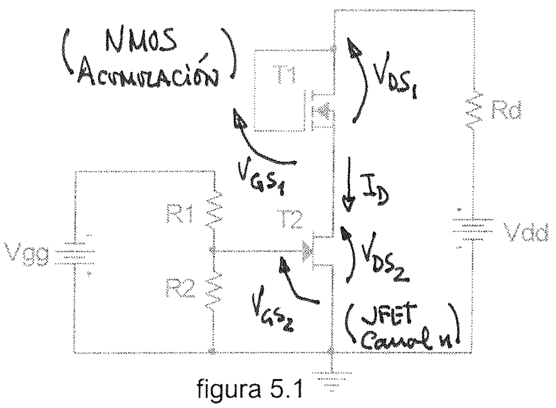


figura 5.1

Datos:

V_{dd}=15V
R_1=2kΩ
R_2=1kΩ

Transistor T_1:

K_1=4mA/V^2
V_T=4V

Transistor T_2:

I_{Dss}=27mA
V_P=-3V

a) Demostrar que el transistor T_1, si está en conducción, nunca puede funcionar en zona óhmica. **(5p)**

Para que t_1 esté en óhmica $V_{DS_1} \leq V_{GS_1} - V_T$

$V_{DS_1} = V_{GS_1}$ y $V_T = 4V$ $\Rightarrow$ $\boxed{V_{DS_1} \not\leq V_{DS_1} - 4 \quad \text{NO SE CUMPLE NUNCA}}$

El transistor t_1 no puede estar en Óhmica

b) Valores de V_{gg} que hacen que el transistor T_2 esté cortado. En estas condiciones, entre qué valores podemos asegurar que está comprendida la tensión drenador surtidor del transistor T_2 (V_{DS2}) para que el transistor T_1 también cumpla la condición de corte. **(10p)**

Para que t_2 esté en corte $V_{GS_2} \leq V_P$ $\quad V_{GS_2} = \dfrac{-V_{gg} R_2}{R_1 + R_2} \leq V_P$

$$-V_{gg} \leq \frac{V_P (R_1 + R_2)}{+R_2} = \frac{-3(2K + 1K)}{+1K} = -9V \qquad \boxed{V_{gg} \geq 9V}$$

si t_2 en CORTE $\Rightarrow$ T_1 en CORTE $I_D = \emptyset$, t_1 debe cumplir:

$V_{GS_1} \leq V_T \qquad V_{GS_1} = V_{DS_1} \leq V_T$

$$V_{dd} - V_{DS_1} - V_{DS_2} = I_D \cdot Rd \qquad I_D = \emptyset$$

$$V_{DS_1} = V_{dd} - V_{DS_2} \leq V_T$$

$$V_{DS_2} \geq V_{dd} - V_T = 15 - 4 = 11V$$

$$\boxed{V_{DS_2} \geq 11V}$$

c) Valores de Rd que hacen que los dos transistores funcionen en saturación, sabiendo que la tensión de la pila V_{gg} es, V_{gg}=3V. **(10p)**

$$V_{GS_2} = \frac{-V_{gg}\,R_2}{R_1+R_2} = \frac{-3\cdot 1K}{2K+1K} = -1V \;;\; t_2 \text{ en SAT} \quad I_D = K_2\,(V_{GS_2}-V_P)^2$$

$$K_2 = \frac{I_{DSS}}{V_P^2} = \frac{27mA}{(-3V)^2} = 3mA/V^2 \qquad I_D = \frac{27m}{(-3)^2}\left(-1-(-3)\right)^2 = 12mA$$

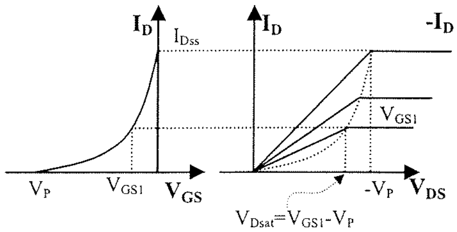
$$t_1 \text{ en SAT} \quad I_D = K_1\,(V_{GS_1}-V_T)^2 \qquad V_{GS_1} = \pm\sqrt{\frac{I_D}{K_1}} + V_T = \pm 1{,}73V + 4V = \begin{cases} 5{,}73V \\ \cancel{2{,}27V} \end{cases}$$

$V_{GS_1} = V_{DS_1} = 5{,}73V \geq V_T$ conduce, luego t_1 en saturación.

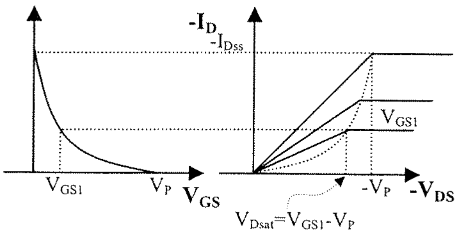
para que t_2 esté en saturación $V_{DS_2} \geq V_{DS_2\,sat} = V_{GS_2} - V_P = -1-(-3) = 2V$

$$V_{dd} - V_{DS_1} - V_{DS_2} = I_D R_d \qquad V_{DS_2} = V_{dd} - V_{DS_1} - I_D\cdot R_d \geq V_{GS_2} - V_P$$

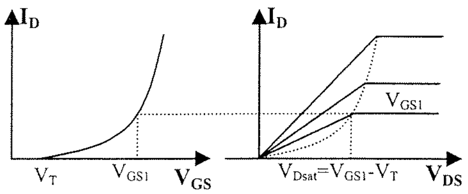
$$\boxed{R_d \leq \frac{V_{dd} - V_{DS_1} - V_{GS_2} + V_P}{I_D} = \frac{15 - 5{,}73 - (-1) - 3}{12m} = 605{,}83\Omega}$$



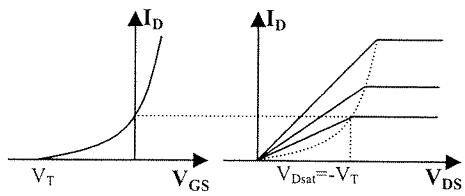
Curva I-V de JFET canal N



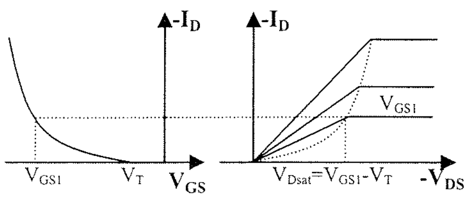
Curva I-V de JFET canal P



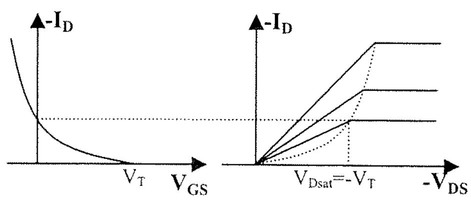
Curva I-V de NMOS de acumulación



Curva I-V de NMOS de deplexión



Curva I-V de PMOS de acumulación



Curva I-V de PMOS de deplexión

Ecuaciones transistores MOSFET
Ecuación de Corte: $I_D=0$
Ecuación de Saturación: $I_D = k\,(V_{GS}-V_T)^2$
Ecuación de Óhmica: $R_{DS}=1/(k\,(V_{GS}-V_T))$

Nota: $V_{DSat}=V_{GS}-V_T$

Ecuaciones transistores JFET
Ecuación de Corte: $I_D=0$
Ecuación de Saturación: $I_D = k\,(V_{GS}-V_P)^2$
Ecuación de Óhmica: $R_{DS}=1/(k\,(V_{GS}-V_P))$
Nota: $k=I_{Dss}/V_P^2$
$V_{DSat}=V_{GS}-V_P$