

ESPEJO DE CORRIENTE CON MOSFET

Hallar los valores de los voltajes y corrientes en el circuito.

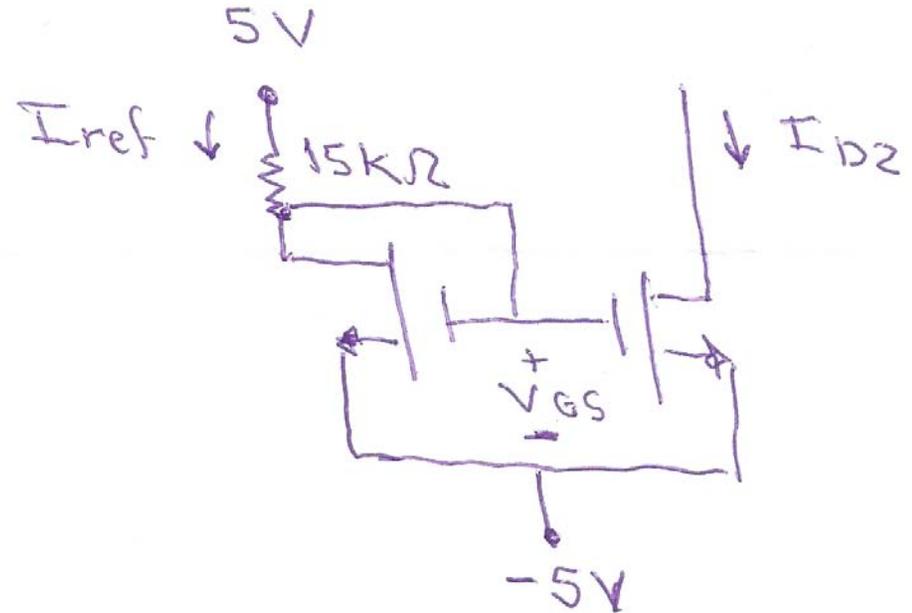
$$V_t = 2V$$

$$\mu_n C_{ox} = 20 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$L = 10 \mu m$$

$$W = 100 \mu m$$

$$\lambda = 0$$



$V_{GD} = 0 < V_t = 2$ Están en saturación

Ecuaciones en el circuito MOSFET de la izquierda $I_{ref} = I_D$:

$$5V = 15k \dot{I}_D + V_{GS} - 5V$$

$$\therefore 10V = 15I_D + V_{GS}$$

$$V_{GS} = 10V - 15I_D$$

Ecuación de la corriente en el MOSFET. Cálculo de I_D

$$I_D = 0,1 (8 - 15 I_D)^2$$

$$I_D = 0,1 (64 - 240 I_D + 225 I_D^2)$$

$$I_D = 6,4 - 24 I_D + 22,5 I_D^2$$

$$22,5 I_D^2 - 25 I_D + 6,4 = 0$$

$$I_D = \frac{25 \pm \sqrt{625 - 576}}{22,5 \times 2} = \begin{matrix} \nearrow 0,71 \text{ mA} \\ \searrow 0,4 \text{ mA} \end{matrix}$$

Para $I_D = 0,71 \text{ mA}$ tenemos $V_{GS} = 0,65 \text{ V}$ mientras que para $I_D = 0,4 \text{ mA}$ tenemos $V_{GS} = 4 \text{ V}$.

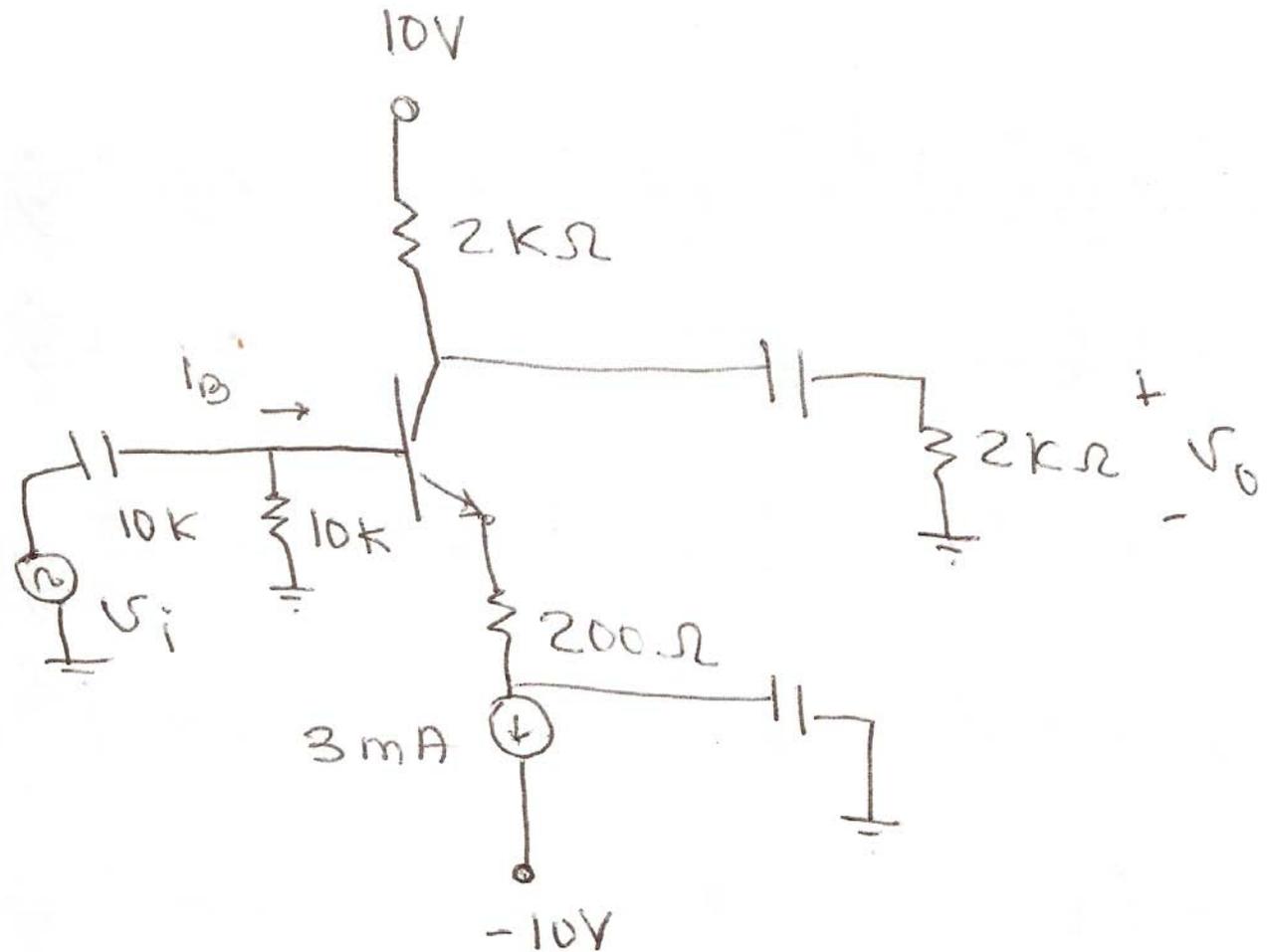
La corriente I_{D2} es igual a I_D y constituye la fuente de corriente que puede utilizarse para polarizar otros amplificadores.

AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN CON RESISTENCIA DE EMISOR, POLARIZADO CON FUENTE DE CORRIENTE

Para el circuito
mostrado calcular
el punto de
operación

$$\beta = 100$$

$$V_{be} = 0,7V$$



Punto de operación, sabiendo que $I_E = 3\text{mA}$

$$I_E \approx I_C$$

$$V_B = I_B \times 10\text{K} = -0,3\text{V}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,03\text{mA}$$

$$V_B - V_E = 0,7\text{V}$$

$$V_E = V_B - 0,7\text{V} = -0,3\text{V} - 0,7\text{V} = -1\text{V}$$

$$V_C = 10\text{V} - 2\text{K}I_C = 10\text{V} - 6\text{V} = 4\text{V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 4\text{V} - (-1\text{V}) = 5\text{V}$$

$$I_C = 3\text{mA}$$

$$I_B = 0,03\text{mA}$$

$$V_{CE} = 5\text{V}$$

PREPARACIÓN DE LA PRÁCTICA 5

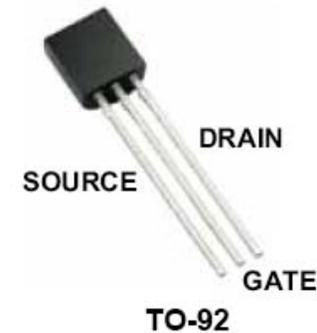
CARACTERÍSTICAS DEL MOSFET. AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN

ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR MOSFET CANAL N VN10K

Product Summary

BV_{DSS}/BV_{DGS}	$R_{DS(ON)}$ (max)	I_{DSS} (min)
60V	5.0Ω	750mA

Pin Configuration



General Description

This enhancement-mode (normally-off) transistor utilizes a vertical DMOS structure and Supertex's well-proven, silicon-gate manufacturing process. This combination produces a device with the power handling capabilities of bipolar transistors and the high input impedance and positive temperature coefficient inherent in MOS devices. Characteristic of all MOS structures, this device is free from thermal runaway and thermally-induced secondary breakdown.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Value
Drain-to-source voltage	BV_{DSS}
Drain-to-gate voltage	BV_{DGS}
Gate-to-source voltage	$\pm 30V$
Operating and storage temperature	$-55^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied. Continuous operation of the device at the absolute rating level may affect device reliability. All voltages are referenced to device ground.

Typical Thermal Resistance

Package	θ_{ja}
TO-92	$132^{\circ}C/W$

Thermal Characteristics

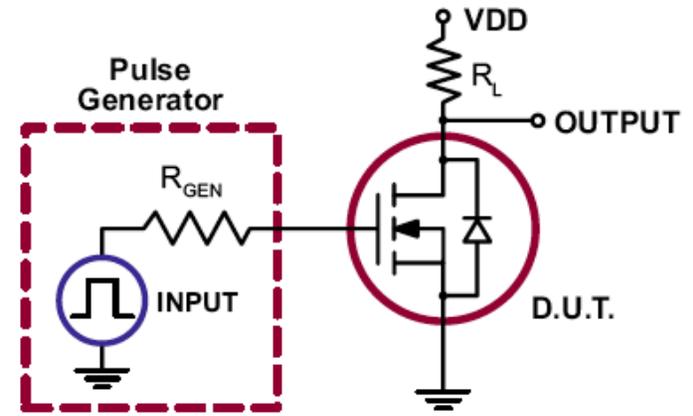
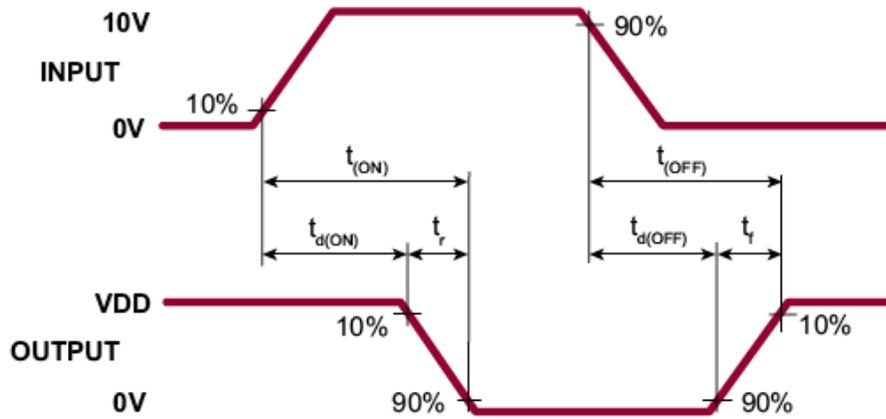
Package	I_D (continuous) [†]	I_D (pulsed)	Power Dissipation @ $T_c = 25^{\circ}C$	I_{DR} [†]	I_{DRM}
TO-92	310mA	1.0A	1.0W	310mA	1.0A

Notes:
[†] I_D (continuous) is limited by max rated T_j . (VN0106N3 can be used if an I_D (continuous) of 500mA is needed.)

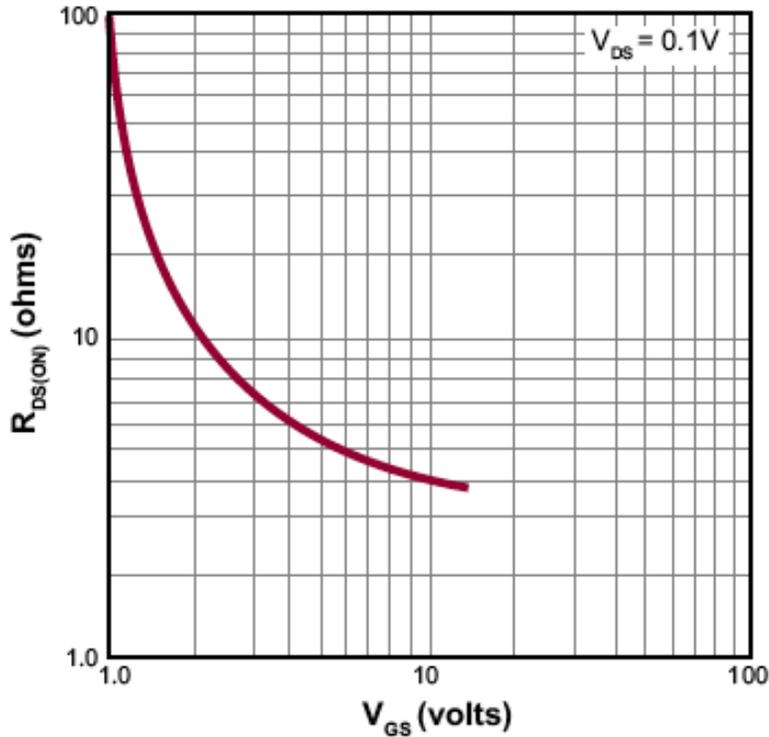
Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Sym	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Conditions
BV_{DSS}	Drain-to-source breakdown voltage	60	-	-	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 100\mu\text{A}$
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	0.8	-	2.5	V	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 1.0\text{mA}$
$\Delta V_{GS(th)}$	Change in $V_{GS(th)}$ with temperature	-	-3.8	-	mV/ $^\circ\text{C}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 1.0\text{mA}$
I_{GSS}	Gate body leakage	-	-	100	nA	$V_{GS} = 15V, V_{DS} = 0V$
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	-	-	10	μA	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 45V$
		-	-	500		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 45V,$ $T_A = 125^\circ\text{C}$
$I_{D(ON)}$	On-state drain current	0.75	-	-	A	$V_{GS} = 10V, V_{DS} = 10V$
$R_{DS(ON)}$	Static drain-to-source on-state resistance	-	-	7.5	Ω	$V_{GS} = 5.0V, I_D = 200\text{mA}$
		-	-	5.0		$V_{GS} = 10V, I_D = 500\text{mA}$
$\Delta R_{DS(ON)}$	Change in $R_{DS(ON)}$ with temperature	-	0.7	-	%/ $^\circ\text{C}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 500\text{mA}$
G_{FS}	Forward transductance	100	-	-	mmho	$V_{DS} = 10V, I_D = 500\text{mA}$
C_{ISS}	Input capacitance	-	48	60	pF	$V_{GS} = 0V,$ $V_{DS} = 25V,$ $f = 1.0\text{MHz}$
C_{OSS}	Common source output capacitance	-	16	25		
C_{RSS}	Reverse transfer capacitance	-	2.0	5.0		
$t_{(ON)}$	Turn-on time	-	-	10	ns	$V_{DD} = 15V,$ $I_D = 600\text{mA},$ $R_{GEN} = 25\Omega$
$t_{(OFF)}$	Turn-off time	-	-	10		
V_{SD}	Diode forward voltage drop	-	0.8	-	V	$V_{GS} = 0V, I_{SD} = 500\text{mA}$
t_{rr}	Reverse recovery time	-	160	-	ns	$V_{GS} = 0V, I_{SD} = 500\text{mA}$

Switching Waveforms and Test Circuit

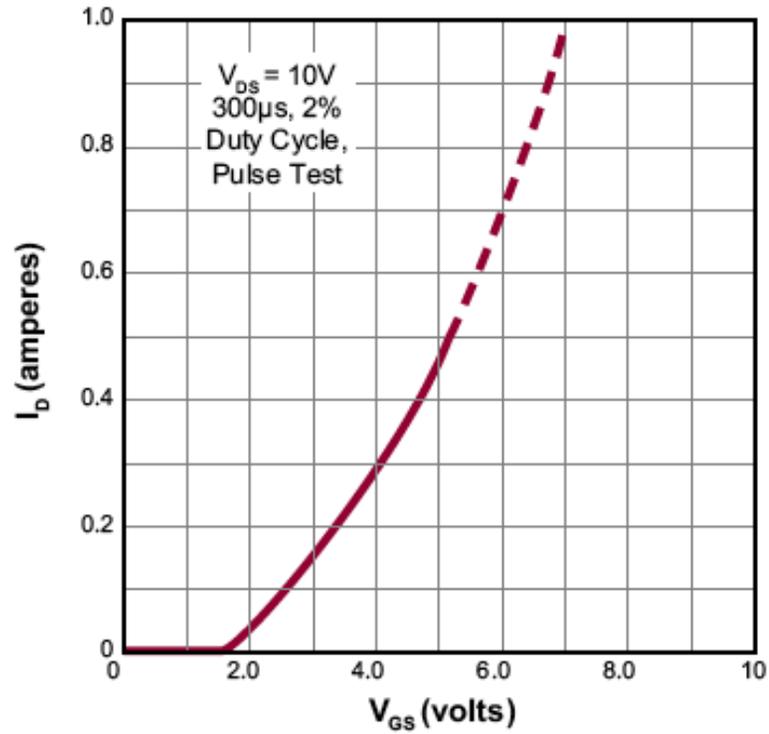


On-Resistance vs. Gate-to-Source Voltage

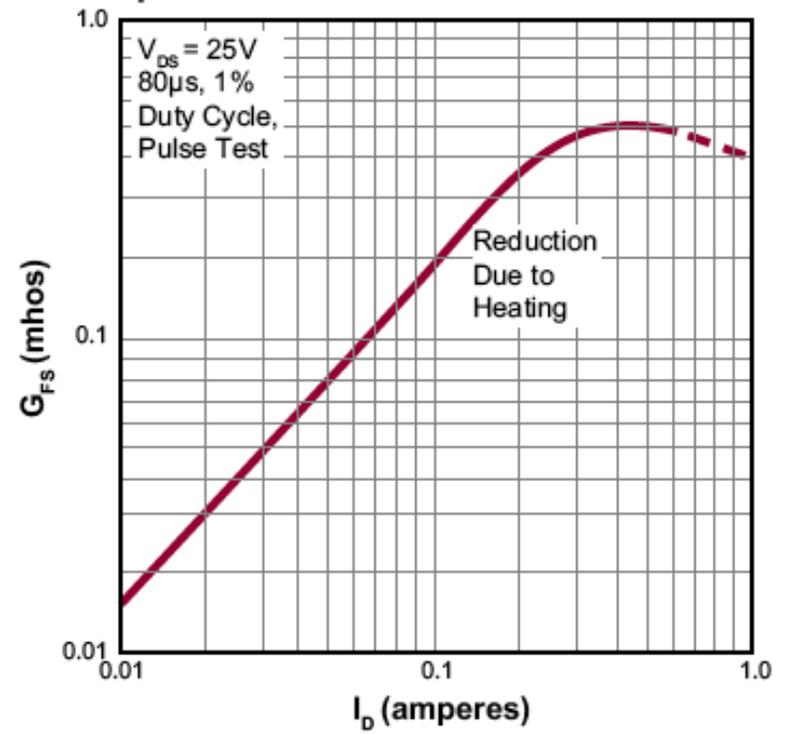


Resistencia en la región triodo

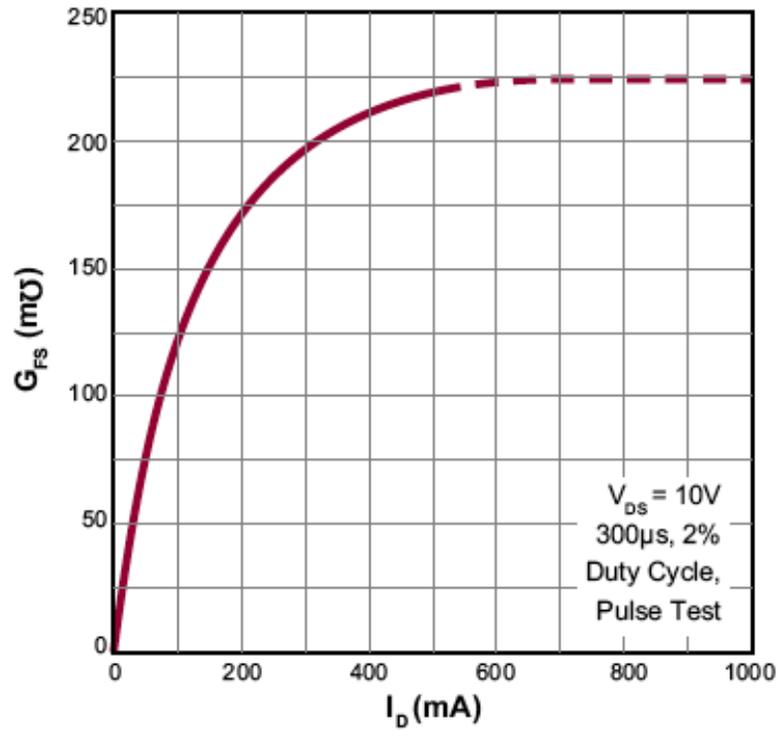
Transfer Characteristics



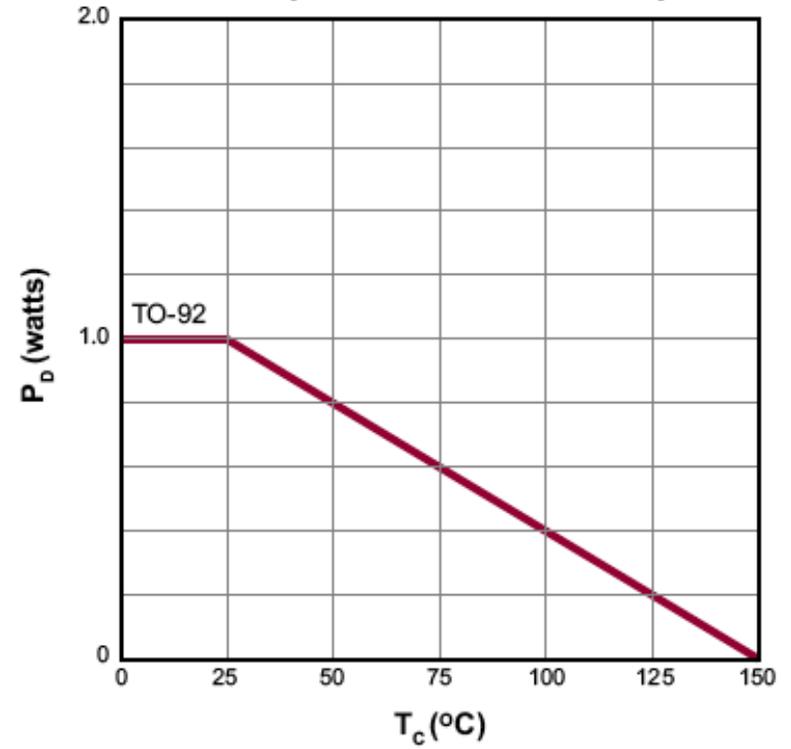
Output Conductance vs Drain Current



Transconductance vs. Drain Current



Power Dissipation vs. Case Temperature



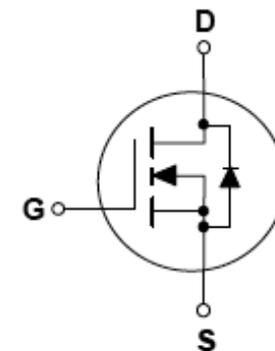
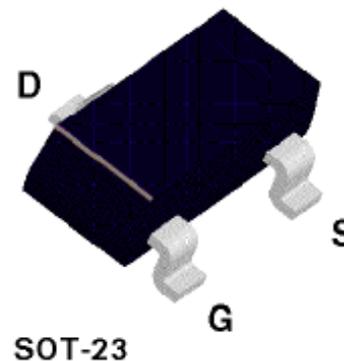
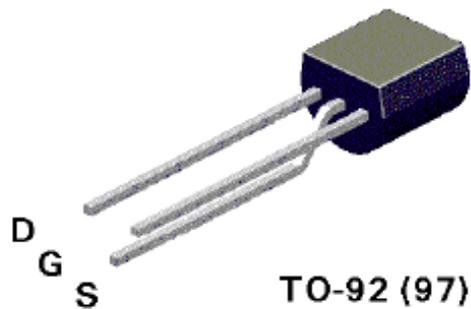
ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR MOSFET CANAL N BS170

General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 500mA DC. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

Features

- High density cell design for low $R_{DS(ON)}$.
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.

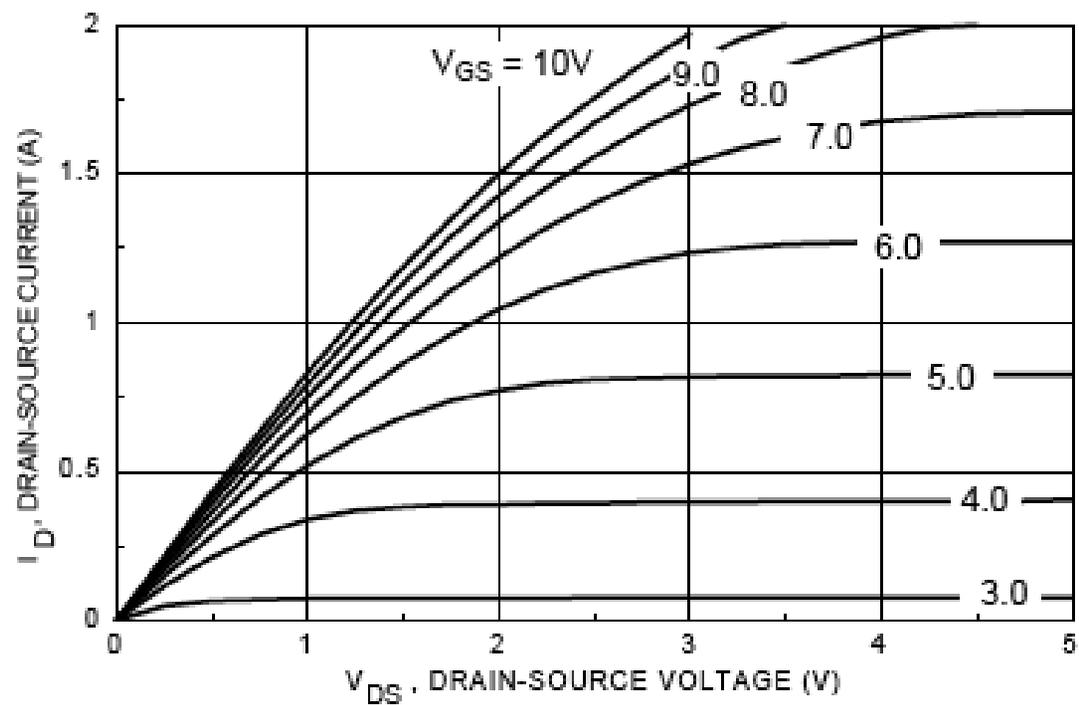
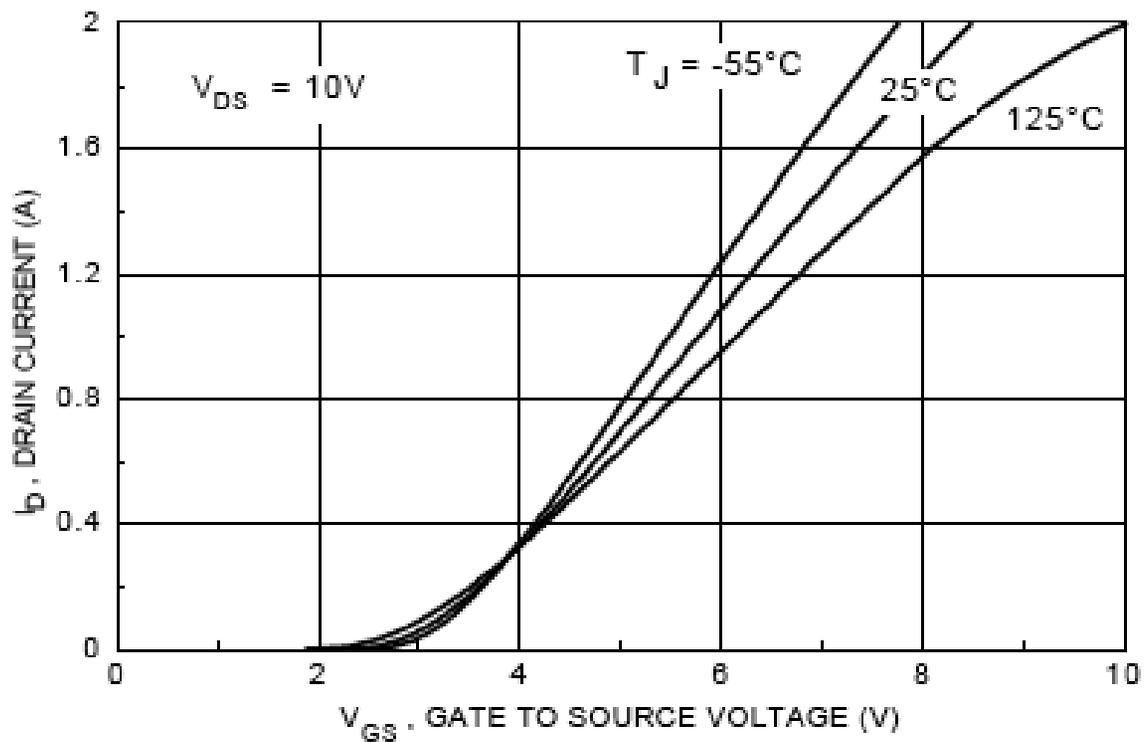


Absolute Maximum Ratings $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage	60		V
V_{DGR}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1M\Omega$)	60		V
V_{GSS}	Gate-Source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
P_D	Maximum Power Dissipation	830	300	mW
	Derate Above 25°C	6.6	2.4	mW/ $^\circ\text{C}$
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		$^\circ\text{C}$
THERMAL CHARACTERISTICS				
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	150	417	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Electrical Characteristics (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS							
BV _{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	V _{GS} = 0 V, I _D = 100 μA	All	60			V
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	V _{DS} = 25 V, V _{GS} = 0 V	All			0.5	μA
I _{GSSF}	Gate - Body Leakage, Forward	V _{GS} = 15 V, V _{DS} = 0 V	All			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)							
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 1 mA	All	0.8	2.1	3	V
R _{DS(on)}	Static Drain-Source On-Resistance	V _{GS} = 10 V, I _D = 200 mA	All		1.2	5	Ω
g _{FS}	Forward Transconductance	V _{DS} = 10 V, I _D = 200 mA	BS170		320		mS
		V _{DS} ≥ 2 V _{DS(on)} , I _D = 200 mA	MMBF170		320		
DYNAMIC CHARACTERISTICS							
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 10 V, V _{GS} = 0 V, f = 1.0 MHz	All		24	40	pF
C _{oss}	Output Capacitance		All		17	30	pF
C _{riss}	Reverse Transfer Capacitance		All		7	10	pF
SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 1)							
t _{on}	Turn-On Time	V _{DD} = 25 V, I _D = 200 mA, V _{GS} = 10 V, R _{GEN} = 25 Ω	BS170			10	ns
		V _{DD} = 25 V, I _D = 500 mA, V _{GS} = 10 V, R _{GEN} = 50 Ω	MMBF170			10	
t _{off}	Turn-Off Time	V _{DD} = 25 V, I _D = 200 mA, V _{GS} = 10 V, R _{GEN} = 25 Ω	BS170			10	ns
		V _{DD} = 25 V, I _D = 500 mA, V _{GS} = 10 V, R _{GEN} = 50 Ω	MMBF170			10	



LOS PARÁMETROS DEL MOSFET

En saturación:
$$I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

En los manuales aparece G_{FS} "Forward Transconductance":
 Relación entre la variable de salida (I_D) y la de entrada V_{GS} para una corriente I_D específica. Esta definición es similar al g_m para pequeña señal, aplicada a valores DC. Para el MOSFET VN10K:

G_{FS}	Forward transductance	100	-	-	mmho	$V_{DS} = 10V, I_D = 500mA$
----------	-----------------------	-----	---	---	------	-----------------------------

Para trabajar con las ecuaciones de polarización se define:
 Utilizando una de las ecuaciones para g_m y aplicándola a G_{FS}

$$i_D = K(V_{GS} - V_{th})^2 \quad K = \frac{1}{2} k' \frac{W}{L} \quad k' \frac{W}{L} = 2K$$

(identificada también como G_m):

$$g_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} \quad k' \frac{W}{L} = 2K$$

$$G_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} = 2K \sqrt{\frac{2I_D}{2K}} = 2K \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2\sqrt{KI_D}$$

$$G_m = 2\sqrt{KI_D}$$

Con los datos del ejercicio:

$$100 \frac{mA}{V} = 2\sqrt{K 500mA}$$

$$K = 5 \frac{mA}{V^2}$$

$$i_D = 5 \frac{mA}{V^2} (V_{GS} - V_{th})^2$$

CIRCUITOS PARA LA PRÁCTICA N° 5

Características de salida del MOSFET CANAL N

El transistor se dibuja como un componente real para indicar que no es parte de un amplificador.

$$R_G = 1\text{M}\Omega$$

$$R_D = 1\text{k}\Omega$$

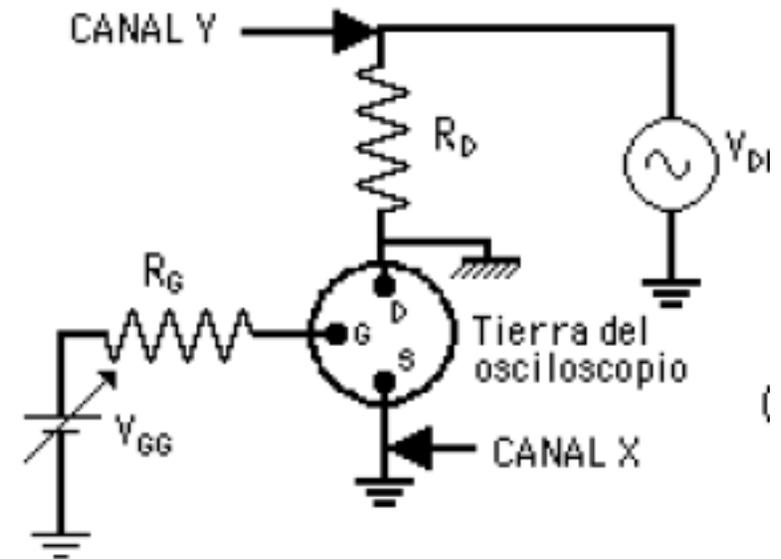
Voltaje V_{BB} = De 0 a 2V

Generador: $V_{\text{max}} = 3\text{V}$ $V_{\text{offset}} = 3\text{V}$

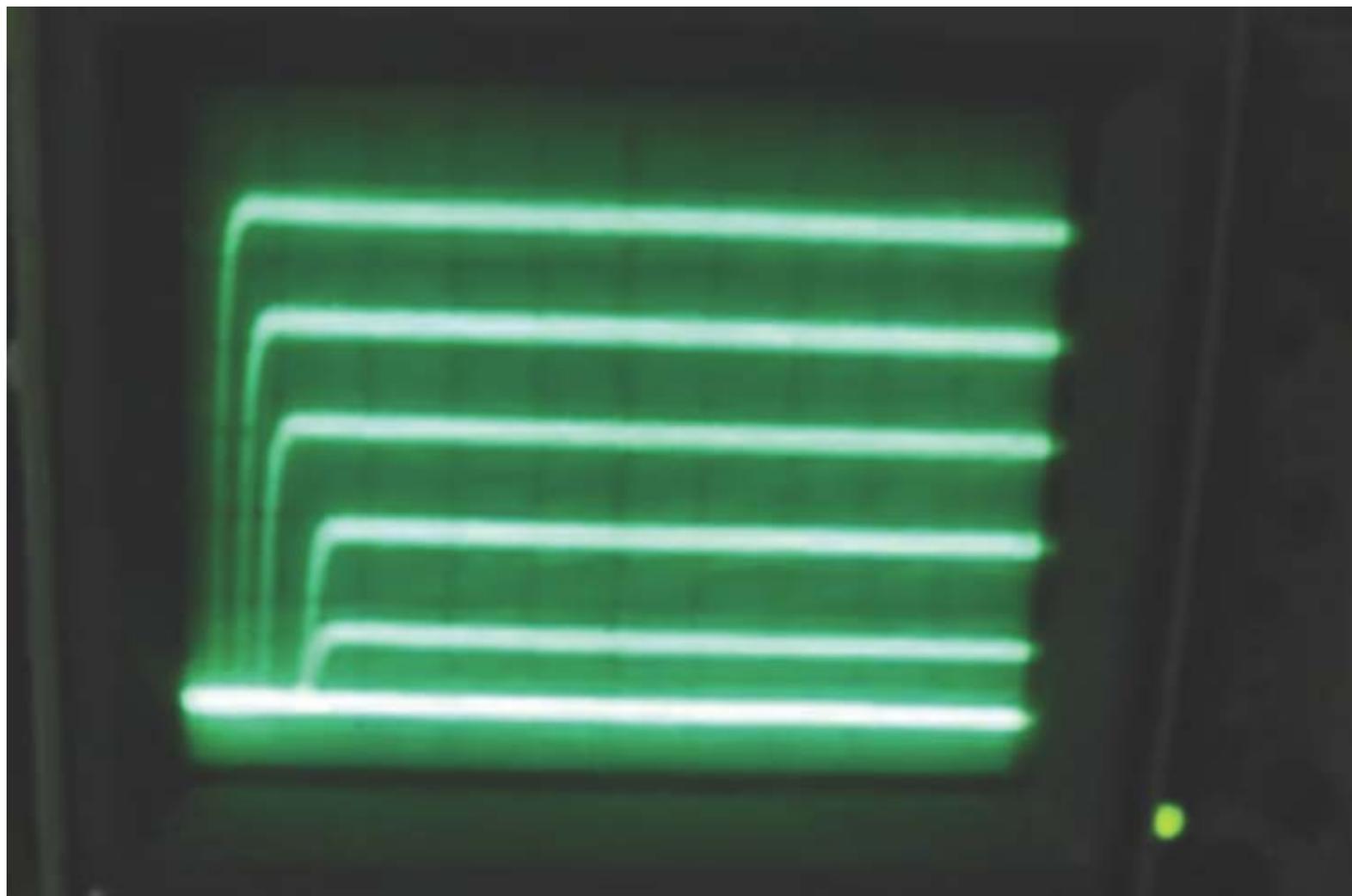
$$f = 1\text{ kHz}$$

Para cada valor de V_{GG} se observa una sola curva de I_D vs. V_{DS} .

Hay que invertir el canal X para ver las curvas con la orientación adecuada.



En la pantalla del osciloscopio

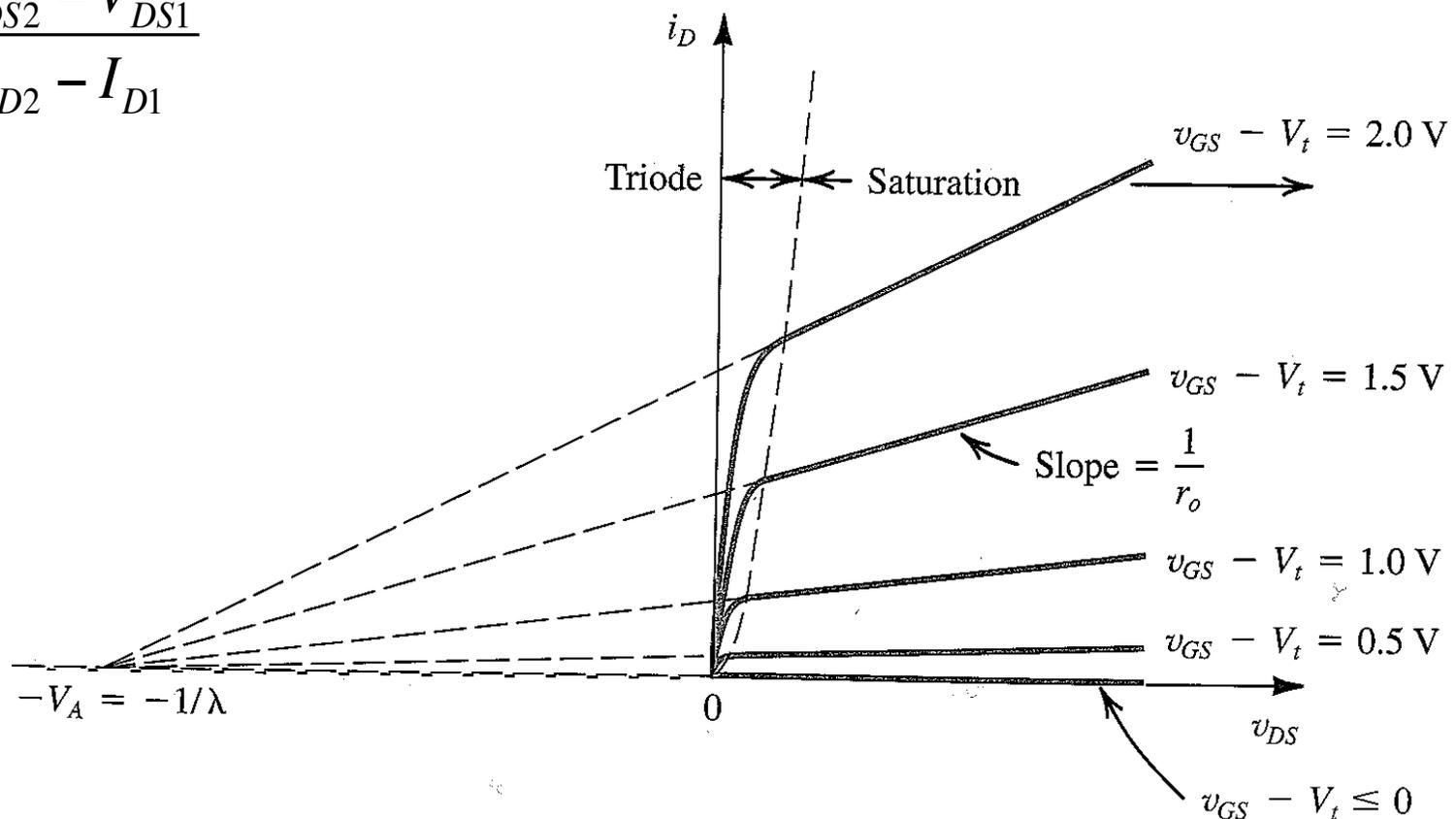


Para medir r_{ds} y determinar el valor de V_A .

Curva en pantalla: Se selecciona un par de puntos sobre la curva y se determina la pendiente de la misma. El inverso es la resistencia r_o .

Con la pendiente y V_{DS} se calcula V_A .

$$r_o = \frac{V_{DS2} - V_{DS1}}{I_{D2} - I_{D1}}$$



Características de transferencia del MOSFET

$$R_G = 1\text{M}\Omega$$

$$R_D = 1\text{k}\Omega$$

$$R_S = 510\Omega$$

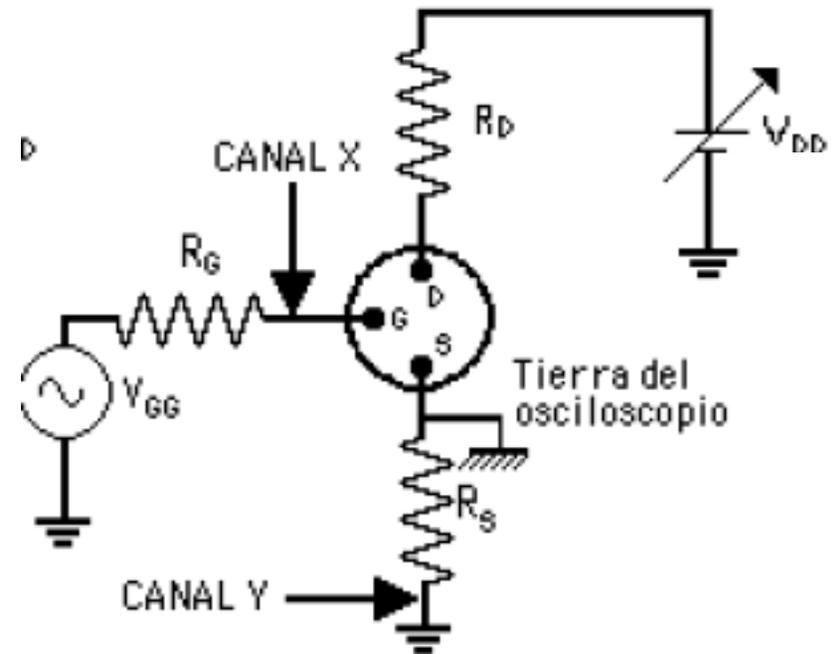
Voltaje V_{DD} = De 0 a 2V

Generador: $V_{\text{max}} = 3\text{V}$ $V_{\text{offset}} = 3\text{V}$

$$f = 1\text{ kHz}$$

La figura es la curva característica de transferencia del MOSFET.

Hay que invertir el canal X para ver las curvas con la orientación adecuada.



Para medir g_m y V_t en la característica de transferencia

V_t se mide determinando el voltaje en el que la curva comienza a crecer.

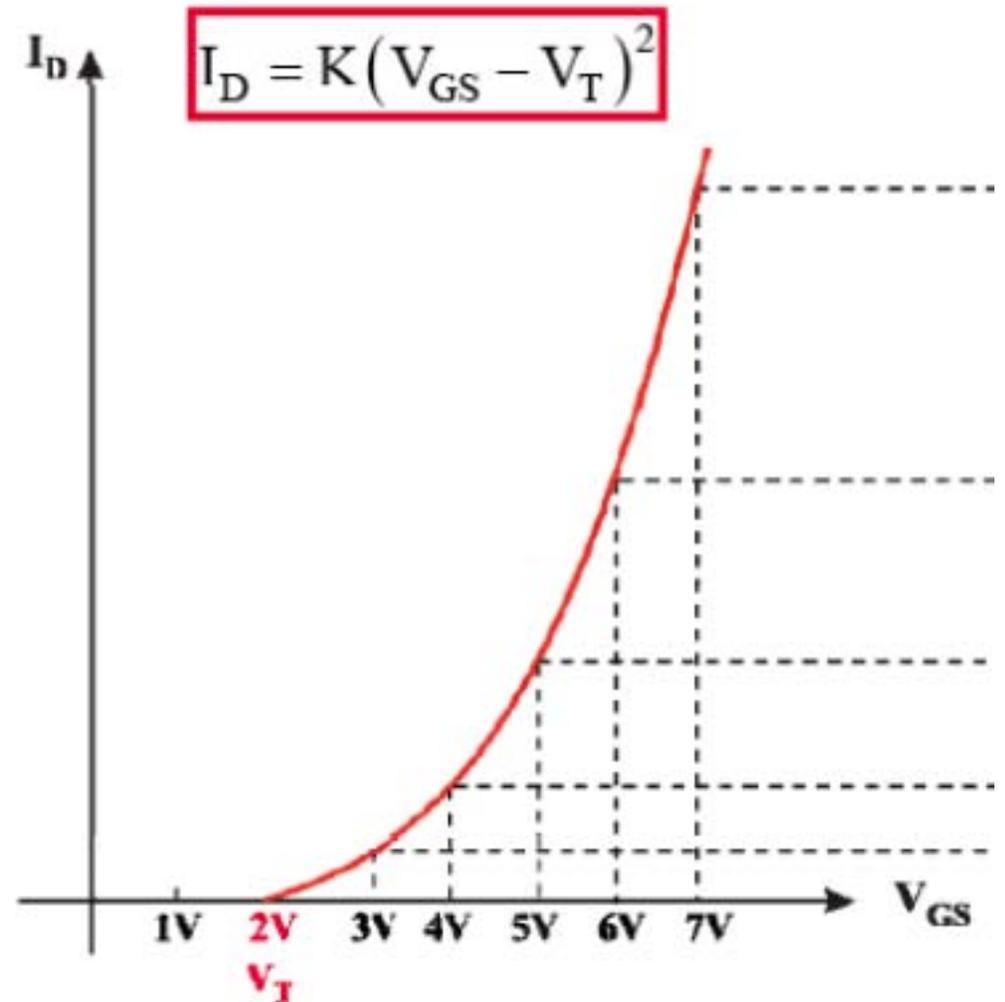
Para medir g_m

Se escoge un punto en el que se mide I_{D1} y V_{GS1}

Se escoge un otro punto en el que se mide I_{D2} y V_{GS2}

El parámetro g_m es

$$g_m = \frac{I_{D2} - I_{D1}}{V_{GS2} - V_{GS1}}$$



AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN

Transistor BS170

$$V_{DD} = 12V$$

$$R_1 = 1M\Omega$$

$$R_2 = 2M\Omega$$

$$R_S = 1k\Omega$$

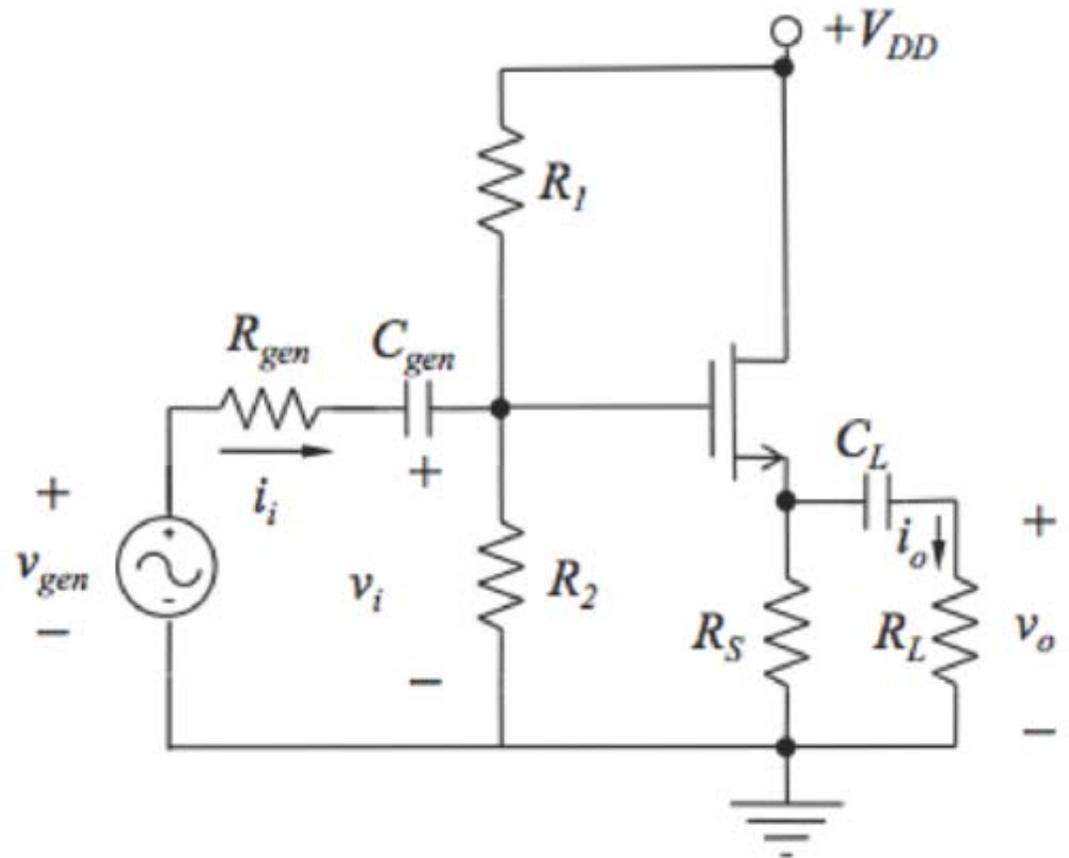
$$R_L = 1k\Omega$$

$$C_{gen} = 100nF$$

$$C_L = 22\mu F$$

$$V_t \approx 2V$$

$$g_{FS} = 320 \text{ mS @ } 200 \text{ mA}$$



CÁLCULOS INICIALES

$$K = 128$$

$$V_{GS} = 8 - i_D \times 1K$$
$$i_D = K (8 - i_D - 2)^2 = K (6 - i_D)^2$$

Valores de $I_D = 6,22\text{mA}$ y $5,79\text{mA}$

V_{GS} válido: $2,24\text{V}$

EN EL LABORATORIO POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

En primer lugar se monta solo el circuito DC.

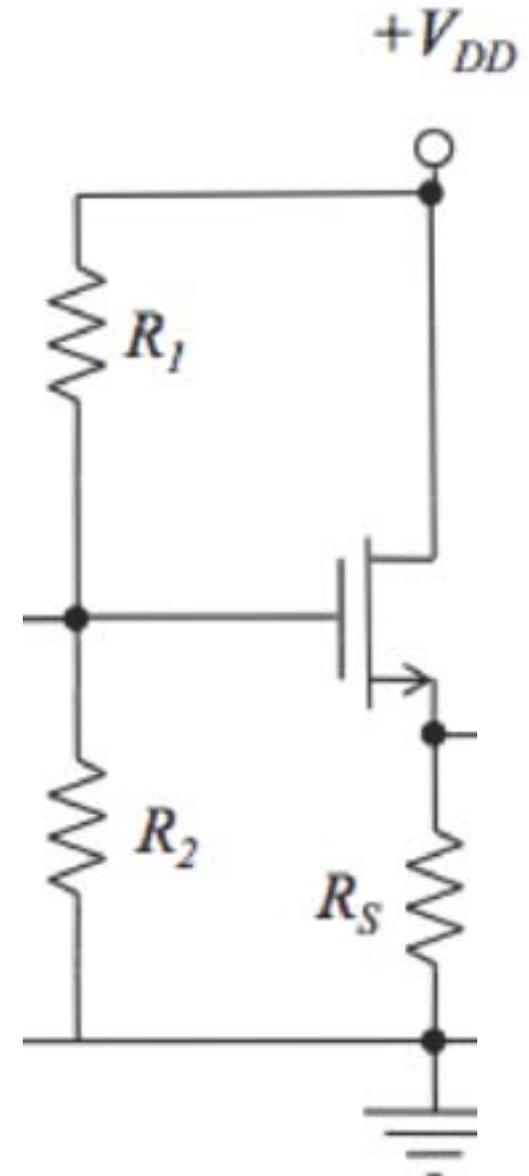
* Se determina el punto de operación
midiendo con el multímetro:

V_{GS} : Probar haciendo una medición directa y
luego una indirecta $V_G - V_S$

V_{DS}

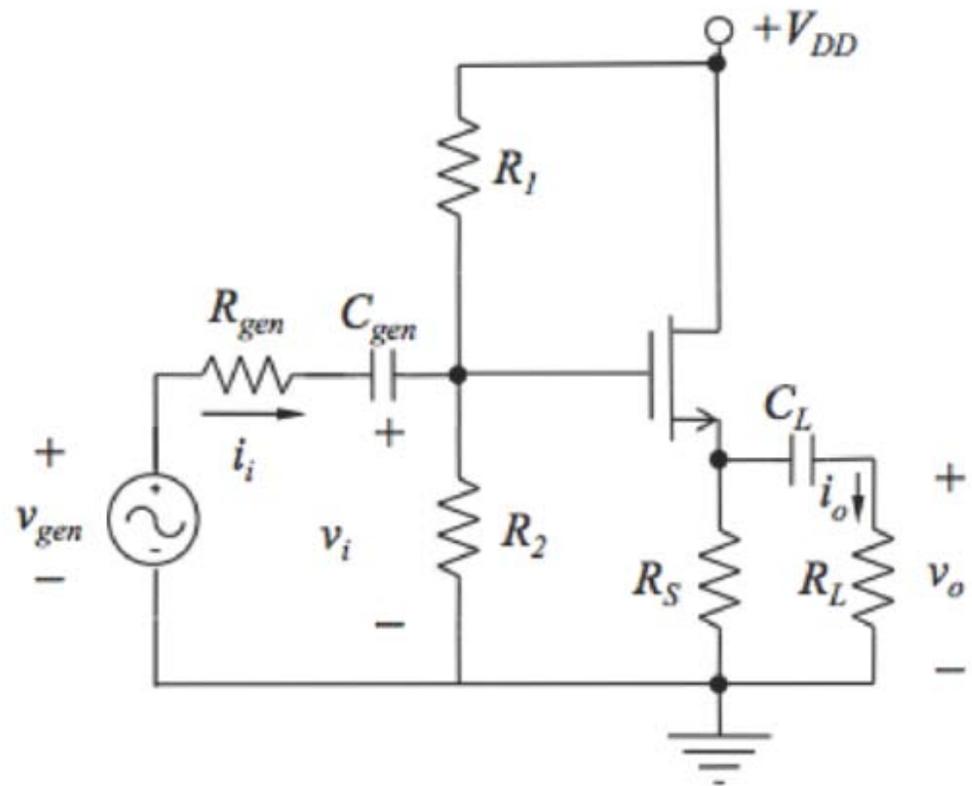
$$I_D = V_D / R_D$$

* Solo cuando el punto de operación
se encuentre en un rango cercano a los
valores deseados, se puede continuar con
el estudio en AC.



EL DRAIN COMÚN COMO AMPLIFICADOR

- * Se enciende la fuente DC
- * Se aplica el voltaje de salida del generador, a través de un divisor de voltaje con un potenciómetro si es necesario para obtener las amplitudes deseadas
- * Se selecciona el $V_{i\max}$ de forma que no haya distorsión a la salida
- * Se aumenta $V_{i\max}$ hasta producir distorsión a la salida.
- * Se registran varias formas de onda de la entrada con la salida.

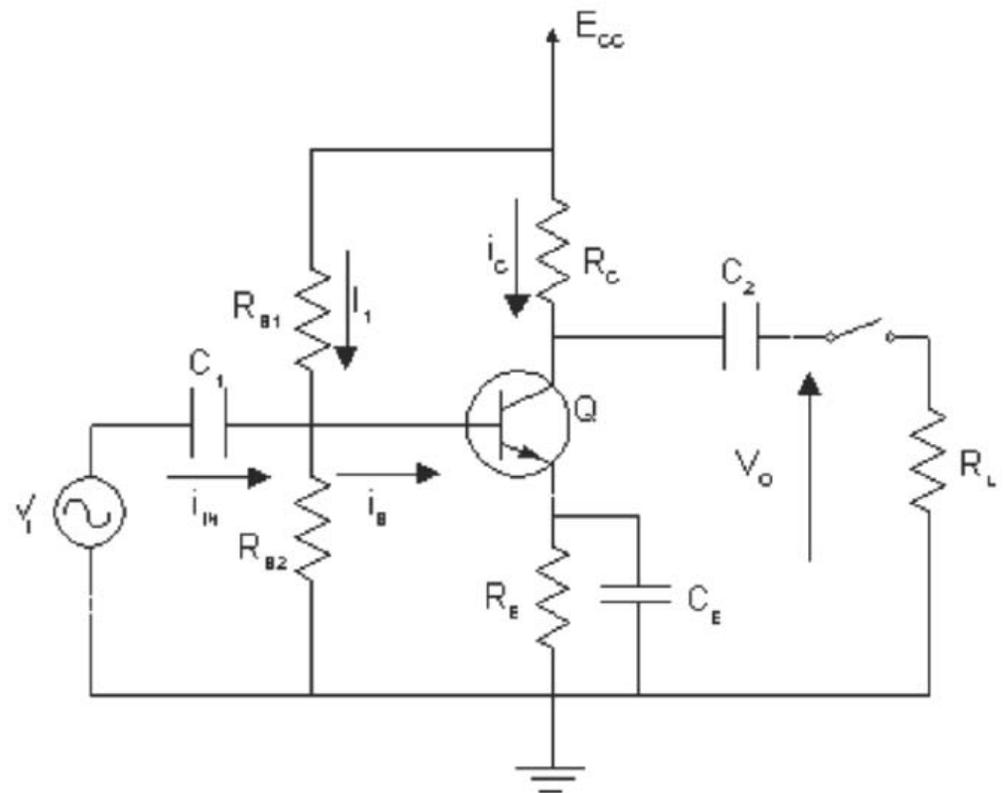


MEDICIÓN DE LA GANANCIA DE VOLTAJE

Ganancia de voltaje:

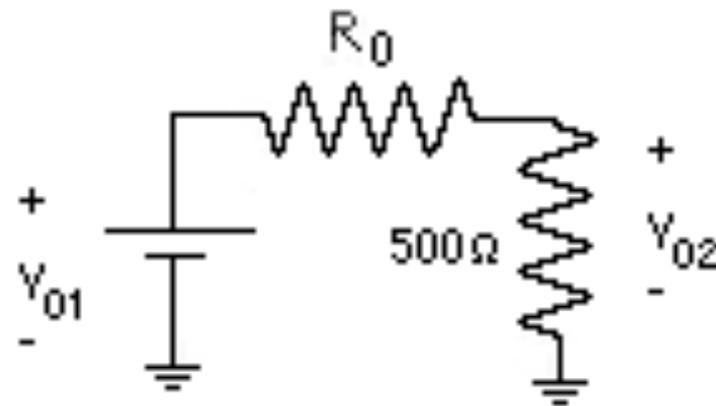
Se mide el voltaje AC sobre la carga y el voltaje AC aplicado al Gate

$$A_V = V_o / V_i$$



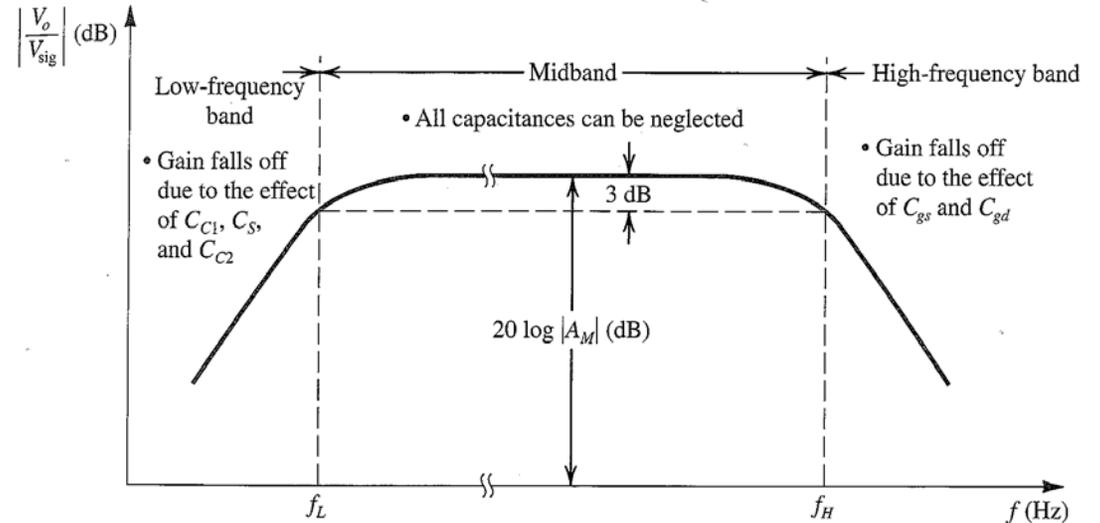
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE SALIDA

- * Se aplica un voltaje de entrada que produzca una salida de 3 o 4 Vpp y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{01} .
- * Se coloca una resistencia de carga de 1K y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{02} .
- * Con esos datos se puede plantear el circuito mostrado y determinar el valor de R_o .



RESPUESTA EN FRECUENCIA

- * Se enciende la fuente DC
- * Manteniendo el voltaje de salida del generador constante y asegurándose que el amplificador no entre en saturación, se hace un barrido de frecuencia y se toman las correspondientes



mediciones a la salida, para poder realizar un diagrama de amplitud vs. frecuencia y otro de desfase vs. frecuencia, en un rango comparable con el que se realizó la simulación.

- * **NOTA:** Cuando en la preparación obtenga la respuesta en frecuencia del amplificador bajo estudio, seleccione que el eje vertical esté en dB, e identifique la frecuencia de corte inferior y la frecuencia de corte superior.