

INGENIERÍA MECATRÓNICA



DI_CERO

DIEGO CERVANTES RODRÍGUEZ

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

CAPTURE CIS LITE

Circuitos de Polarización
del MOSFET Incremental

Contenido

COMPETENCIA/OBJETIVO	2
INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	2
INVESTIGACIÓN PREVIA	2
EXPERIMENTOS	3
EXPERIMENTO 1. EXTRACCIÓN DE K Y VTH	3
EXPERIMENTO 1. ANÁLISIS DE CD.....	9
EXPERIMENTO 2. DISEÑO DE CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN	12
[REFERENCIAS]	13



COMPETENCIA/OBJETIVO

Por medio del simulador Capture CIS Lite se identificarán los requisitos que se deben establecer en términos de corriente y tensión para que un MOSFET Enriquecimiento opere en la región de saturación, con el apoyo de redes de polarización, para emplearlos posteriormente en amplificadores de señal.

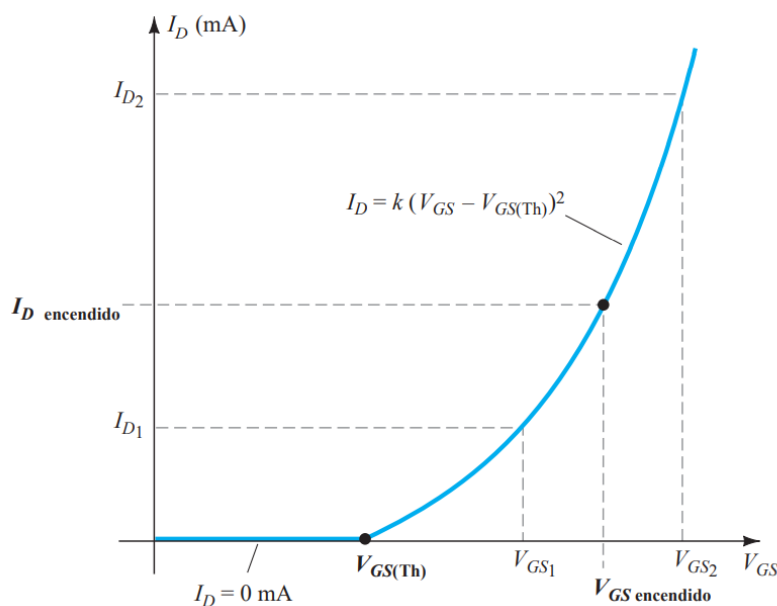
INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Las características de transferencia del MOSFET tipo enriquecimiento son bastante diferentes de las del JFET y de los MOSFET tipo empobrecimiento, que llevan a una solución gráfica bastante diferente de las de las secciones precedentes. Ante todo, recuerde que para el MOSFET tipo enriquecimiento de canal n, la corriente de drenaje es cero con niveles del voltaje de la compuerta a la fuente menores que el nivel de umbral $V_{GS(Th)}$. Para niveles de V_{GS} mayores que $V_{GS(Th)}$, la corriente de drenaje se define como:

$$I_d = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

Como las hojas de especificaciones en general dan el voltaje de umbral y un nivel de la corriente de drenaje (I_D (encendido)) y su nivel correspondiente de V_{GS} (encendido), se definen dos puntos de inmediato. Para completar la curva, se debe determinar la constante k en la hoja de especificaciones.

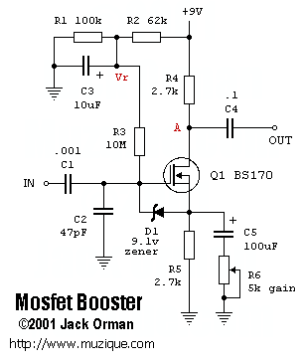
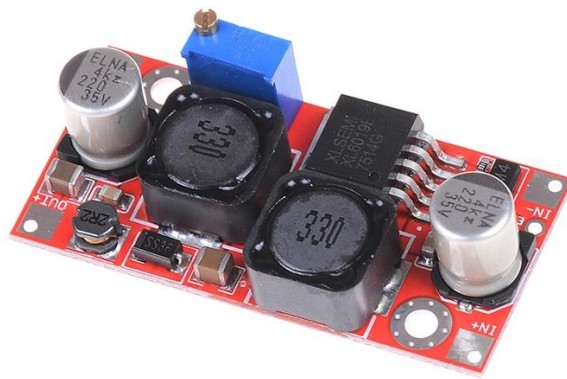
$$k = \frac{I_d}{(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2}$$



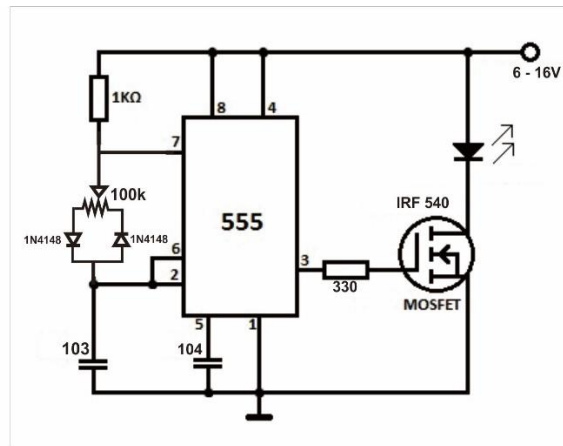
$$0.3 < V_{GS(Th)} < 1$$

INVESTIGACIÓN PREVIA

1. **Convertidor CC – CC Elevador (Boost):** Circuito utilizado para elevar una tensión CD a valores superiores, esto se hace a través de conmutaciones de potencia realizadas por un Mosfet.

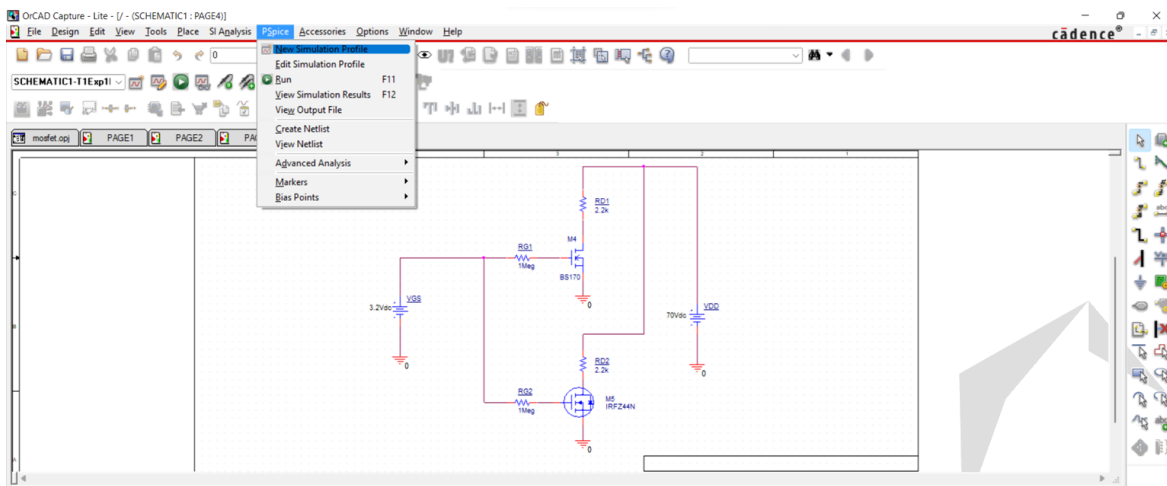


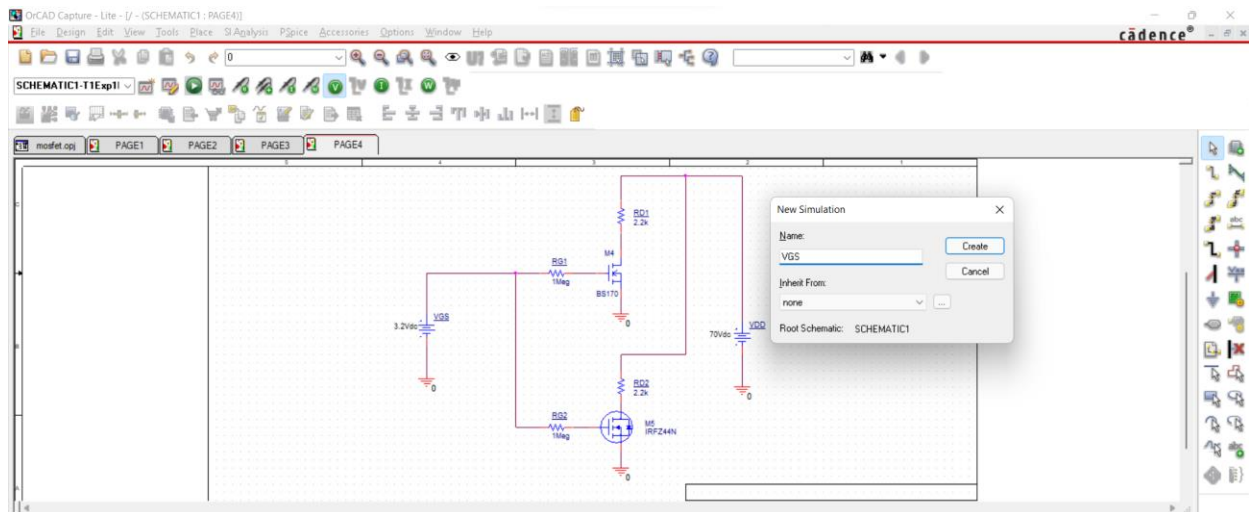
- PWM 15A 400W 5 – 36V:** Señal PWM de soporte perfecto: el controlador PWM puede acceder a la señal PWM, que puede admitir perfectamente la frecuencia de 0-20 kHz. Este módulo de control de motor puede tolerar un voltaje de entrada (DC 5-36v) se puede aplicar en varios equipos de alta potencia. Aplicaciones: Motor, Bombilla, Tira de lámpara LED, Micro bomba de agua, etc.



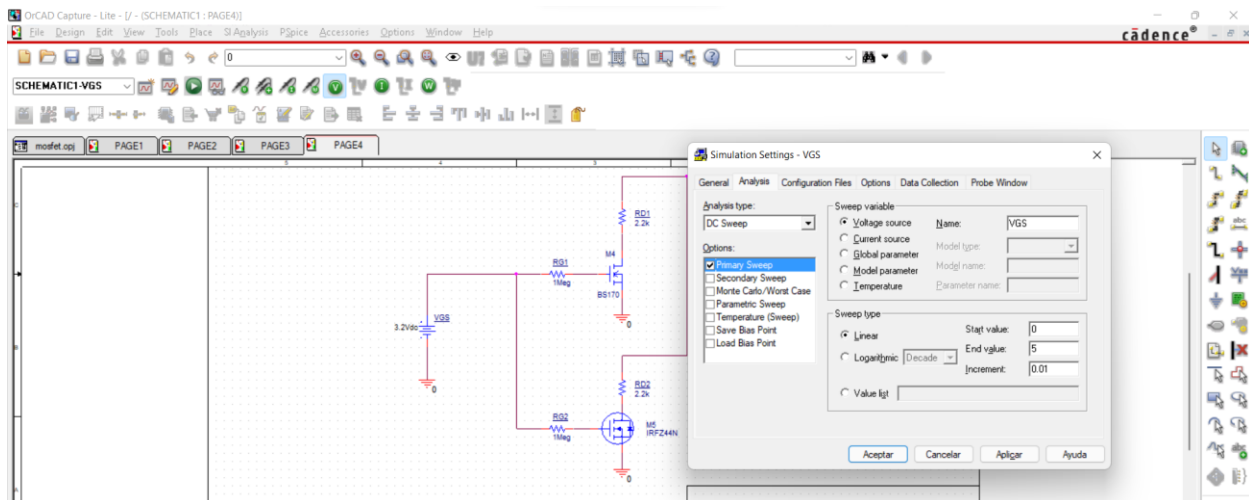
EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO 1. EXTRACCIÓN DE K Y VTH

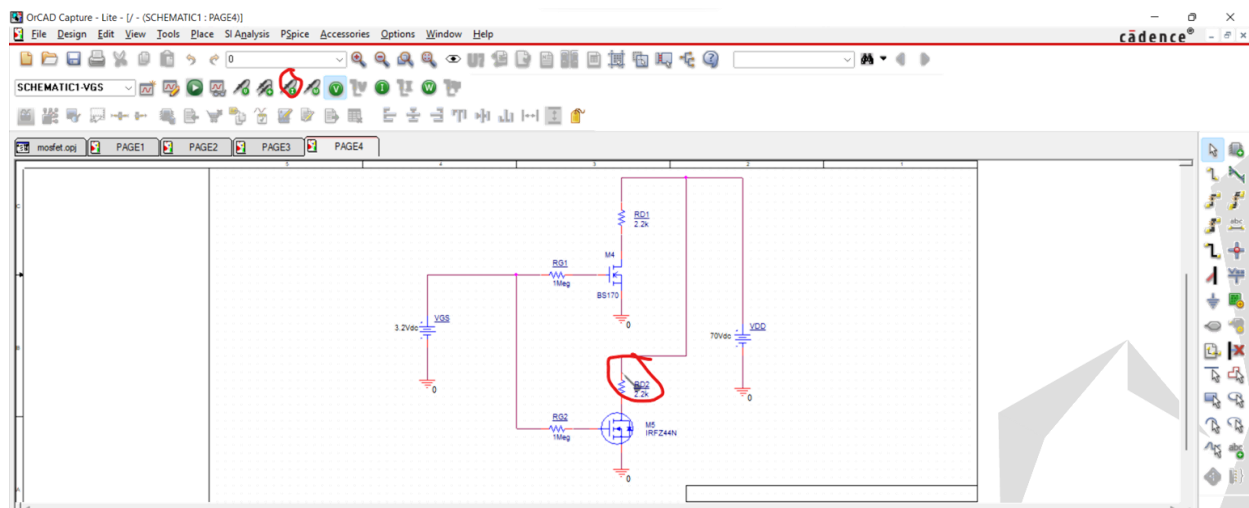


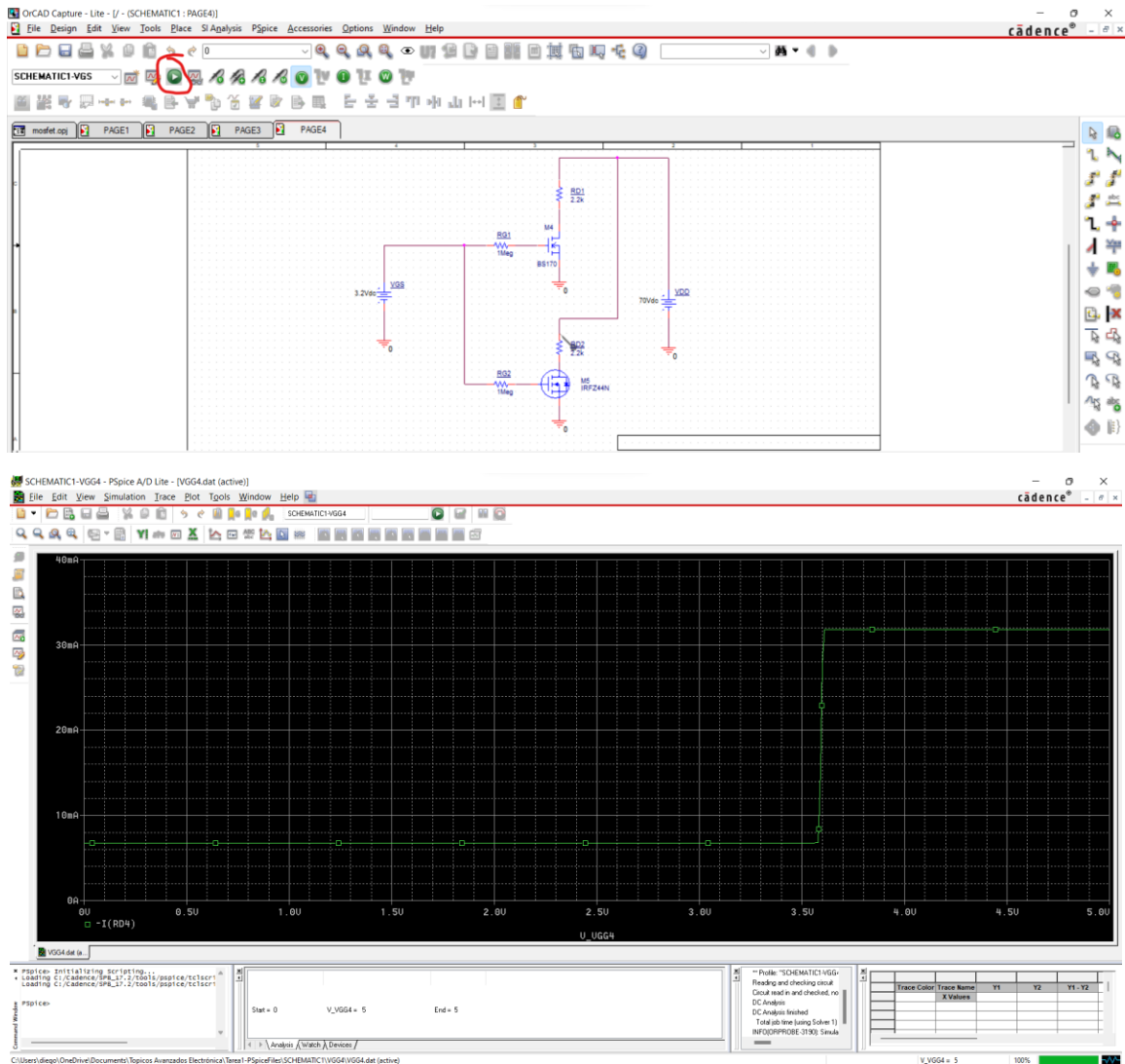


Se realiza un barrido de la fuente VGS o VGG para que se tenga variaciones de VGS y de esa manera se pueda observar la curva de I_d y por lo tanto el valor V_{th} y k .

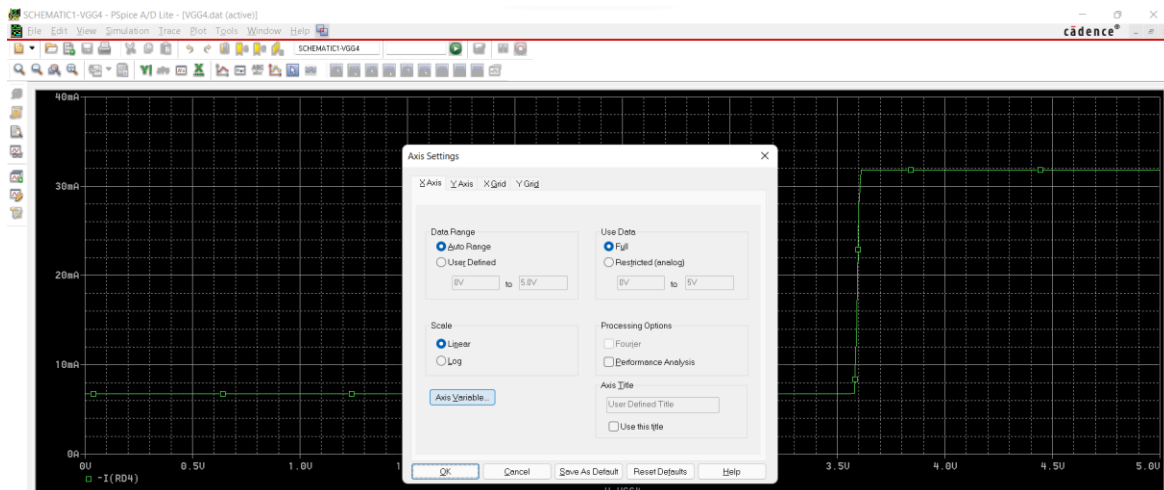


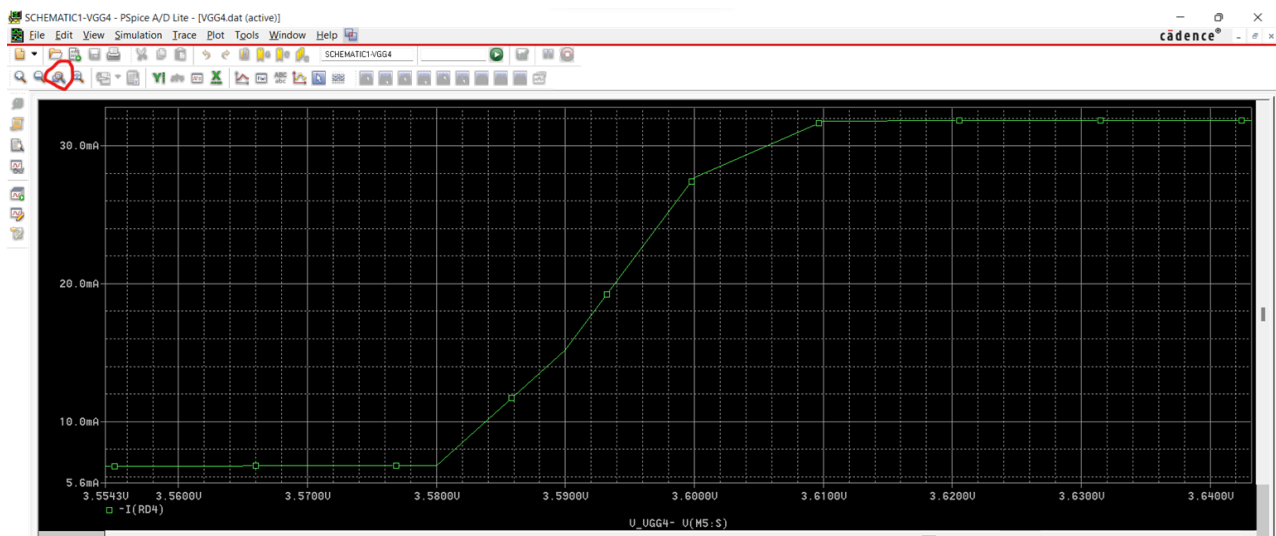
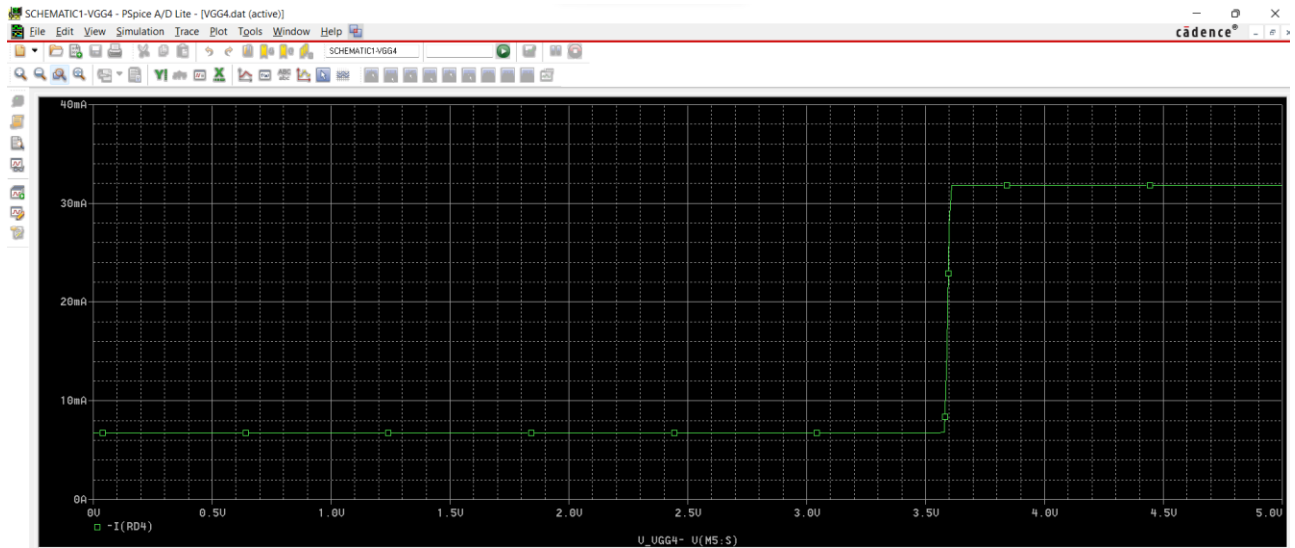
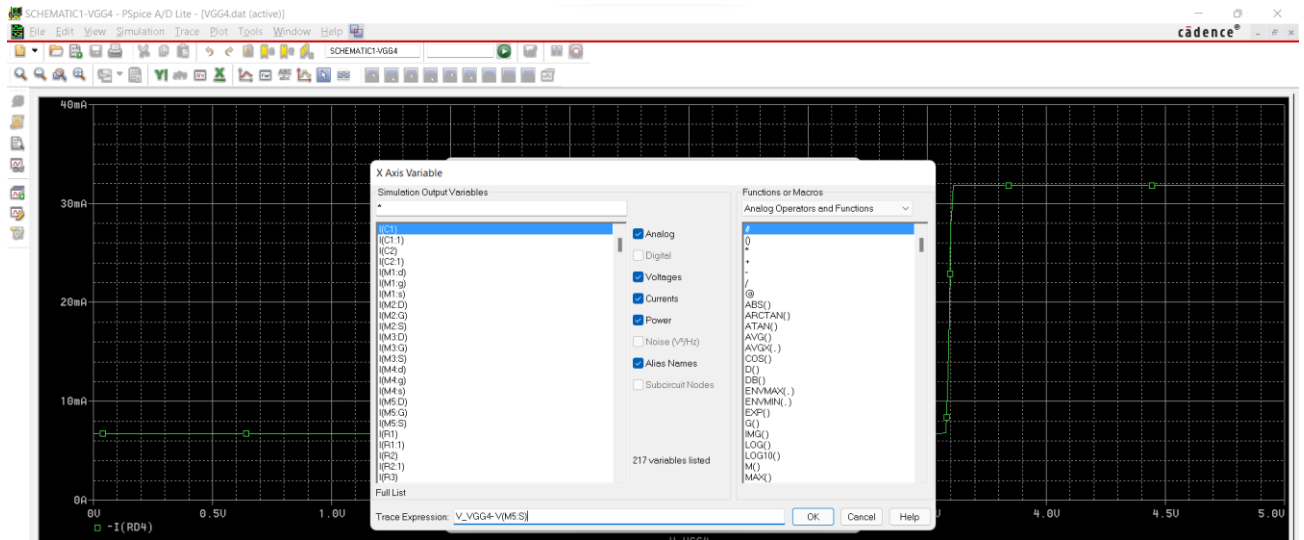
Se coloca un medidor de corriente en el pin Drain del Mosfet para encontrar k , V_{th} e I_d .

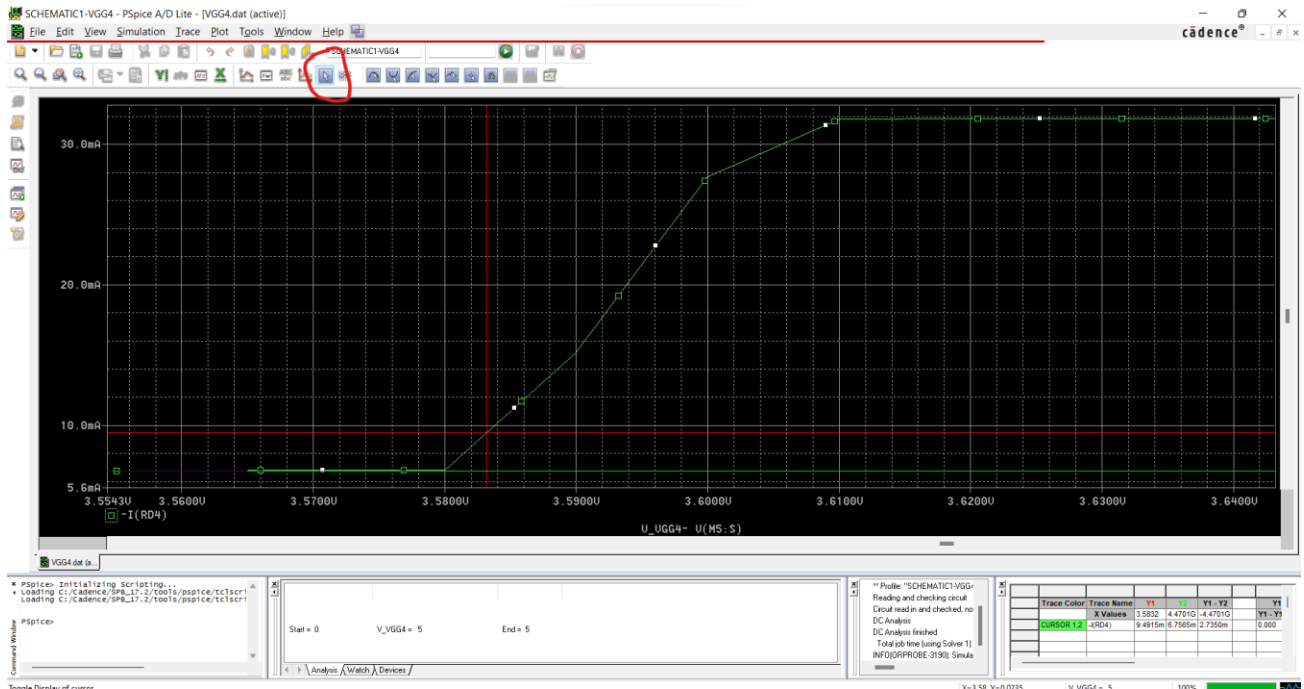




Se da doble clic en el eje horizontal para que se pueda cambiar a que sea el valor VGS, entre Gate y Source, que en esencia es el mismo que tiene ahorita, pero la forma correcta de ponerlo es haciendo la resta de $V_{GG4} - V_{M5S}$. Se toma el M5 porque ese es el nombre que tiene el Mosfet.

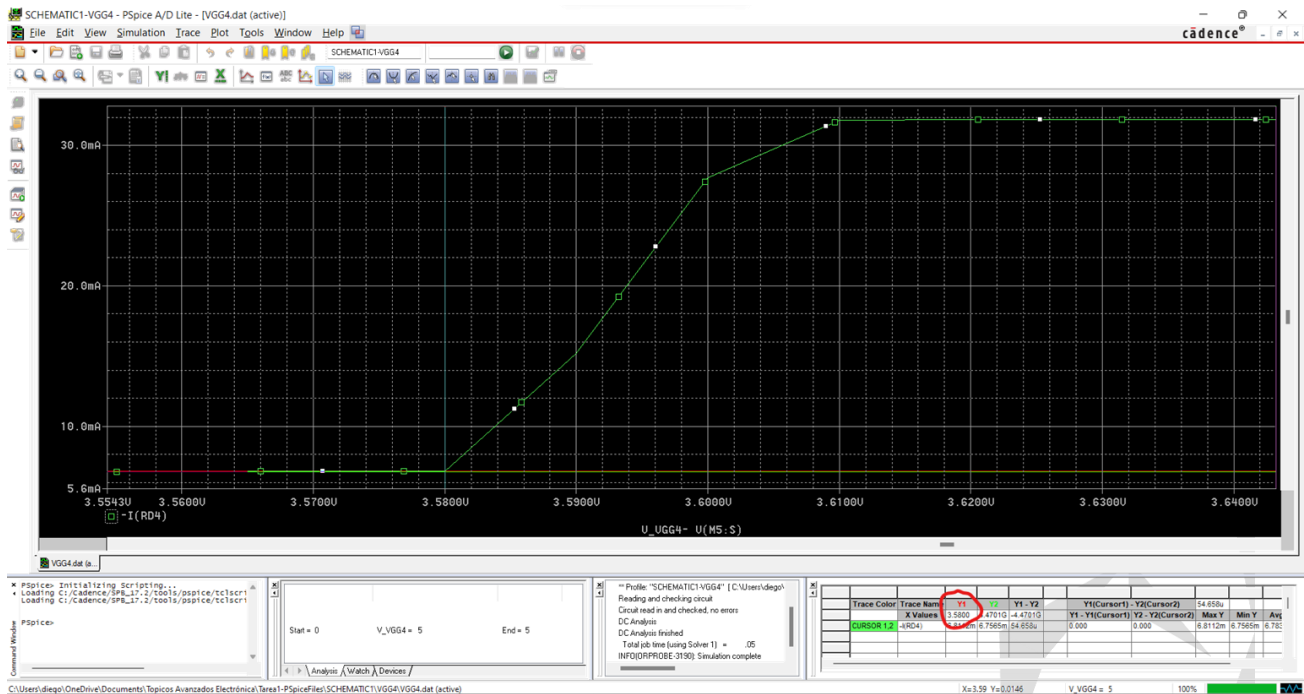


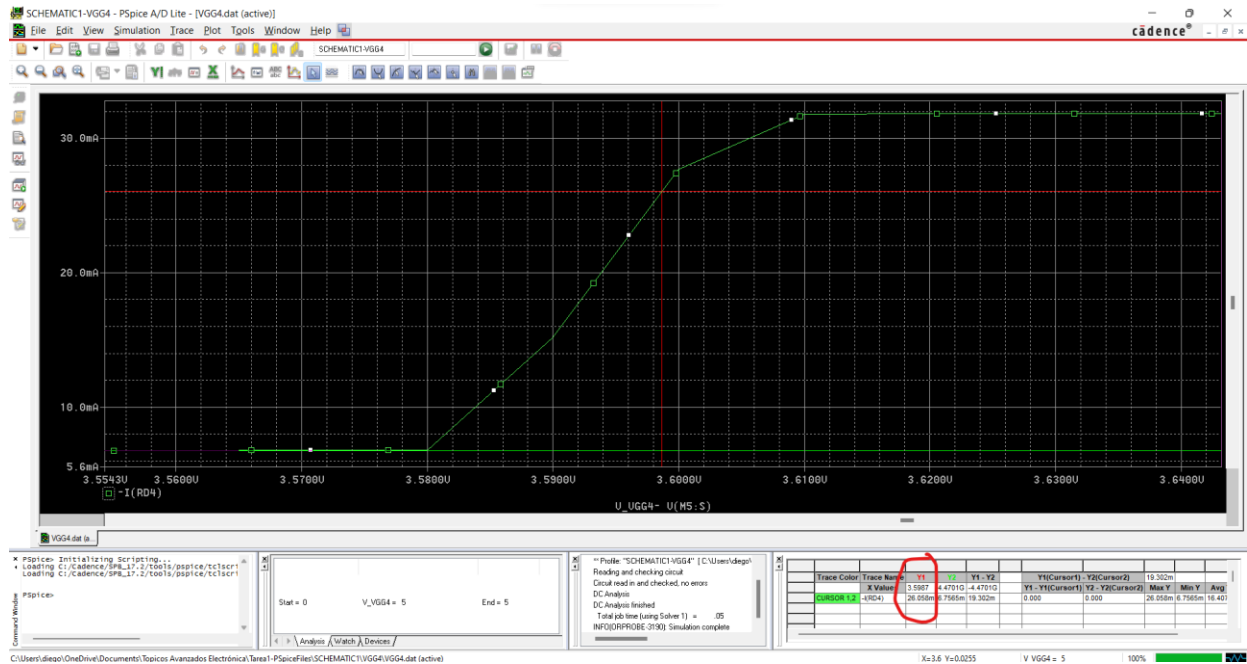




Ya con esta gráfica se puede obtener los valores de V_{th} , un valor arbitrario de V_{GS} e I_d para encontrar k , el valor de V_{th} es donde empieza a subir apenas la curva de la corriente y se puede saber su valor exacto en la simulación usando la herramienta Toggle cursor y con ello se puede igual dictar un valor de I_d y V_{th} para saber k realizando la operación:

$$k = \frac{I_d}{(V_{GS} - V_{GS(TH)})^2}$$





En este caso:

- $V_{th} = 3.58 \text{ V}$
- $I_d = 26.058 \text{ mA}$
- $V_{GS} = 3.5987 \text{ V}$

$$k = \frac{I_d}{(V_{GS} - V_{GS(TH)})^2} = \frac{26.058}{(3.5987 - 3.58)^2} = 74.5174 \left[\frac{A}{V^2} \right]$$

Por lo tanto, el modelo para el MOSFET IRFZ44N es:

$$I_d = 74.5174 \left[\frac{A}{V^2} \right] (V_{GS} - 3.58)^2$$

Y repitiendo el mismo proceso, pero ahora para el MOSFET BS170 el modelo es:

$$I_d = 0.2307 \left[\frac{A}{V^2} \right] (V_{GS} - 1.4663)^2$$

isc 1991

INCHARGE Semiconductor

isc N-Channel MOSFET Transistor **IRFZ44N, IIRFZ44N**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
 $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
BV_{DS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS}=0V; I_D=250 \mu A$	55			V
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS}=V_{GS}; I_D=250 \mu A$	2.0	4.0		V
$R_{DS(on)}$	Drain-Source On-Resistance	$V_{GS}=10V; I_D=25A$		17.5		mΩ
I_{SS}	Gate-Source Leakage Current	$V_{GS}=\pm 20V$		± 0.1		μA
I_{SS}	Drain-Source Leakage Current	$V_{DS}=55V; V_{GS}=0V$		25		μA
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_S=25A, V_{GS}=0V$		1.3		V

TMOS FET Switching
 N-Channel — Enhancement

BS170

CASE 29-01 STYLE 30
 TO-18 (TO-18AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	V_{DS}	30	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	V
Continuous Drain Current	I_D	150	mA
Peak Drain Current	I_{DP}	300	mA
Storage Power Dissipation	P_D	300	mW
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to $+150$	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Gate Reverse Current	I_{GRS}	—	0.01	10	nA
Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{DS(BR)}$	30	30	—	V
ON CHARACTERISTICS					
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	0.8	2.0	3.0	V
Static Drain-Source On Resistance	$R_{DS(on)}$	—	1.5	5.0	Ω
Drain-Source Current	I_{DS}	—	0.5	—	μA
Drain-Source Current	I_{DS}	—	200	—	mA
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Transconductance	g_m	—	—	60	μS
SWITCHING CHARACTERISTICS					
Turn-On Time	t_{on}	—	4.0	10	ns
Turn-Off Time	t_{off}	—	4.0	10	ns

1. The power dissipation of the package may result in a lower continuous drain current.
 2. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle = 2.5%.

EXPERIMENTO 1. ANÁLISIS DE CD

Para los circuitos mostrados en la Fig. 1, determine teóricamente el punto de operación es decir I_{DQ} , V_{GSQ} y V_{DSQ} , apoyándose del modelo cuadrático del MOSFET.

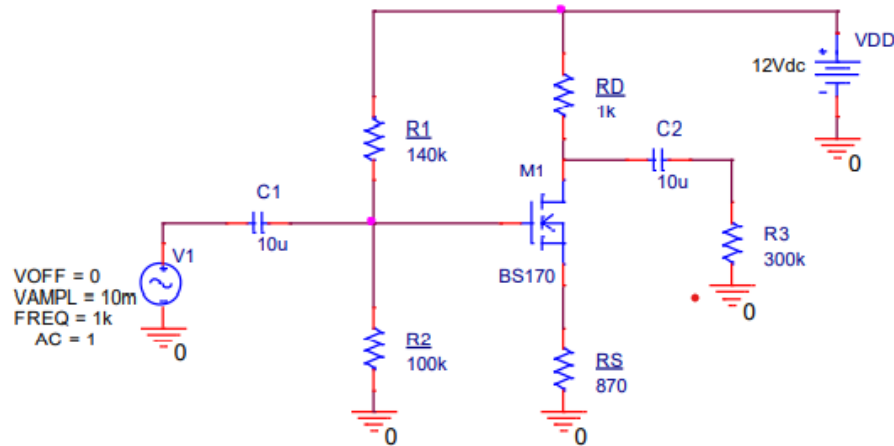


Fig. 1.

Fórmulas del amplificador de polarización por división de voltaje:

$$V_G = \frac{R2(V_{DD})}{R1 + R2}$$

$$I_{DQ} = \frac{V_G - V_{GSQ}}{R_S}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DQ}(R_S + R_D)$$

$$(R_D + R_S) = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DQ}}$$

$$V_{GSQ} = V_G - I_{DQ}(R_S)$$

$$V_S = \frac{V_{DD}}{5} \text{ o } V_S = \frac{V_{DD}}{10}$$

$$V_G = \frac{R2(V_{DD})}{R1 + R2} = \frac{100e3(12)}{140e3 + 100e3} = 5 \text{ V}$$

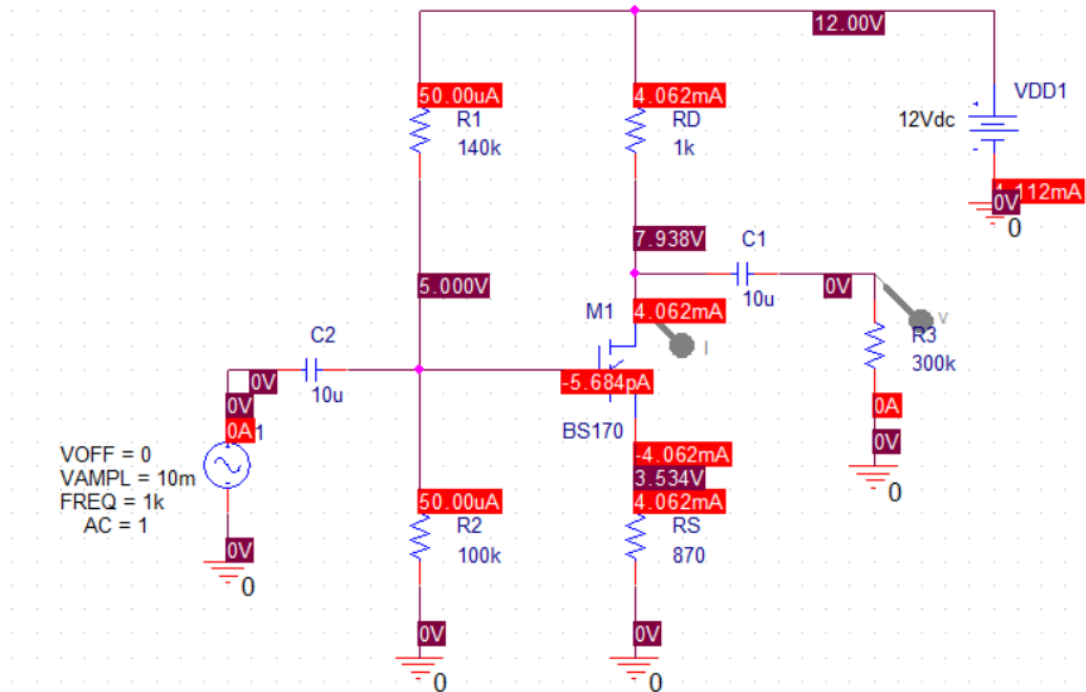
$$I_{DQ} = \frac{5 - 1.466}{870} = 4.062 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = 12 - 4.062e - 3(870 + 1e3) = 4.404 \text{ V}$$

$$(R_D + R_S) = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DQ}} = \frac{12 - 4.404}{4.062e - 3} = 1870.0147 \text{ } \Omega$$

$$V_{GSQ} = 5 - 4.062e - 3(870) = 1.466 \text{ V}$$

$$I_{sat} = \frac{V_G}{R_S} = \frac{5}{870} = 5.7471 \text{ mA} \quad V_{sat} = V_G = 5 \text{ V}$$



El punto de operación se encuentra muy cercano a la corriente de saturación, pero alejada de la tensión de saturación, por lo que se puede intuir que la recta de carga de la configuración se encuentra muy inclinada.

Para los circuitos mostrados en la Fig. 2, determine teóricamente el punto de operación es decir IDQ , V_{GSQ} y V_{DSQ} , apóyese del modelo cuadrático del MOSFET.

Capture en simulador o arme el circuito físicamente, realice mediciones y compare con sus cálculos teóricos, comente las diferencias encontradas, comente el punto de operación encontrado en el circuito.

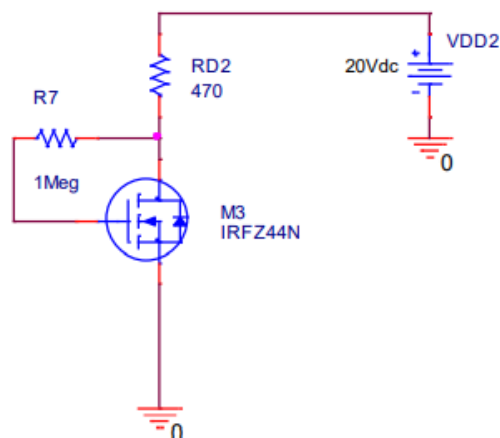


Fig. 2

$$V_{DS} = V_{GSQ}$$

$$V_{GSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(RD)$$

$$I_{DQ} = k(V_{GS} - V_{GS(TH)})^2$$

Modelo para el MOSFET IRFZ44N:

$$I_{DQ} = 74.5174 \left[\frac{A}{V^2} \right] (V_{GSQ} - 3.58)^2 = \frac{I_{DQ}}{74.5174} = V_{GSQ}^2 - 7.16(V_{GSQ}) + 12.8164$$

$$I_{DQ} = \frac{V_{DD} - V_{GSQ}}{RD} = \frac{20 - V_{GSQ}}{470}$$

$$20 - 470(I_{DQ}) = V_{GSQ}$$

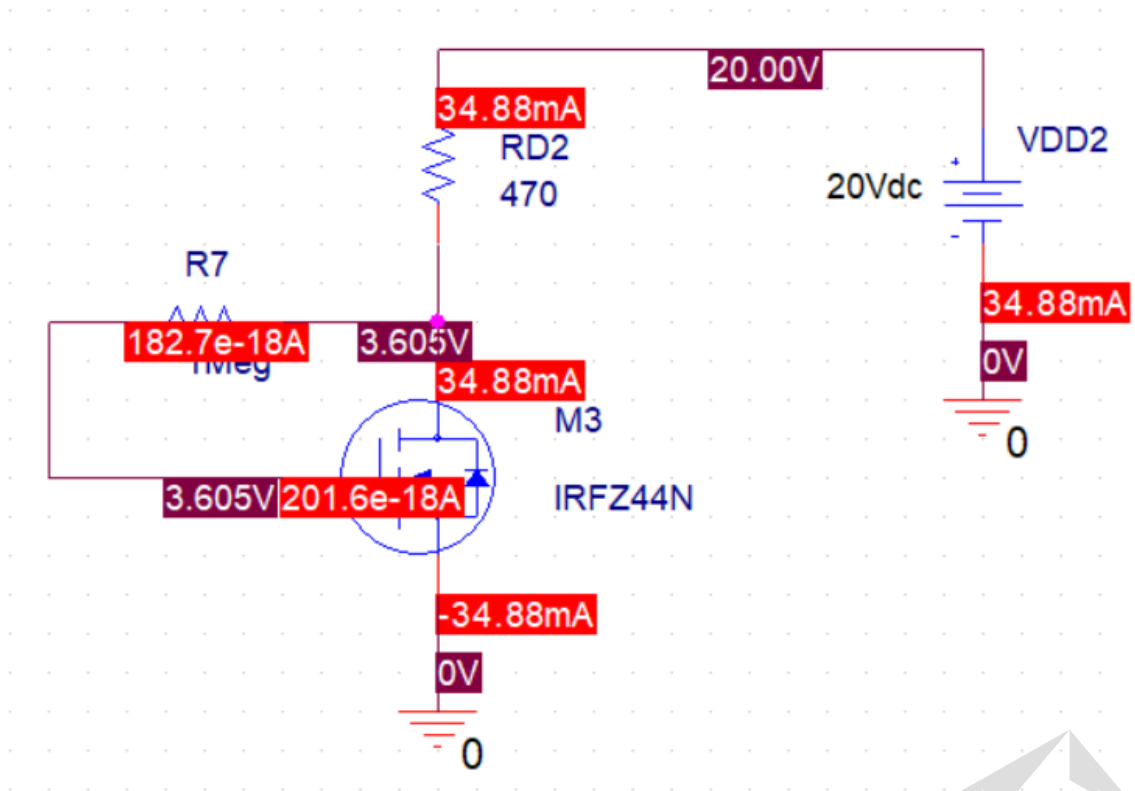
$$\frac{I_{DQ}}{74.5174} = (20 - 470(I_{DQ}))^2 - 7.16(20 - 470(I_{DQ})) + 12.8164 = 400 - 18,800(I_{DQ}) + 220,900(I_{DQ})^2 - 143.2 + 3,365.2(I_{DQ}) + 12.8164$$

$$0 = 220,900(I_{DQ})^2 - 15,434.7865(I_{DQ}) + 269.6164$$

$$I_{DQ} = 34.9361 \text{ mA}$$

$$V_{GSQ} = 20 - 34.9361e - 3(470) = 3.58 \text{ V}$$

$$I_{sat} = \frac{V_{DD}}{RD} = \frac{20}{470} = 42.5531 \text{ mA} \quad V_{sat} = V_{DD} = 20 \text{ V}$$



El punto de operación se encuentra muy cercano a la corriente de saturación, pero alejada de la tensión de saturación, por lo que se puede intuir que la recta de carga de la configuración se encuentra muy inclinada.

EXPERIMENTO 2. DISEÑO DE CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN

Diseñe un circuito de polarización utilizando la configuración por divisor de tensión, utilizando el IRF44N, como se muestra en la siguiente Fig. 3. Deberá realizar cálculos para llegar a un punto de operación de $V_{DSQ} = 6.8V$, $I_{DQ} = 11.8mA$, $V_{CC} = 20V$, utilice el modelo cuadrático del MOSFET para determinar V_{GSQ} . Con estos datos determine los valores resistivos y sus potencias de disipación.

Construya el circuito, y/o realícelo en simulación y verifique su funcionamiento.

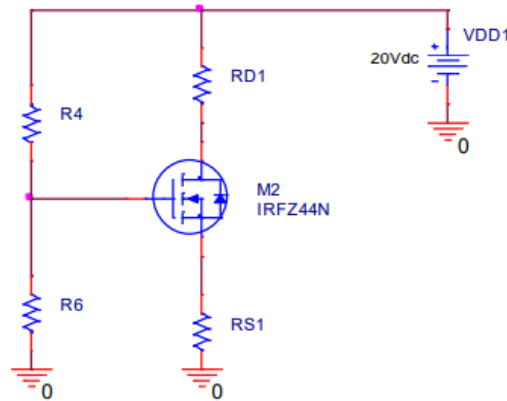


Fig. 3

Fórmulas del amplificador de polarización por división de voltaje:

$$V_G = \frac{R2(V_{DD})}{R1 + R2}$$

$$I_{DQ} = \frac{V_G - V_{GSQ}}{R_S}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DQ}(R_S + R_D)$$

$$(R_D + R_S) = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DQ}}$$

$$V_{GSQ} = V_G - I_{DQ}(R_S)$$

$$V_G = \frac{V_{DD}}{5} \text{ o } V_G = \frac{V_{DD}}{10}$$

El modelo para el MOSFET IRFZ44N es:

$$I_d = 74.5174 \left[\frac{A}{V^2} \right] (V_{GS} - 3.58)^2$$

Cálculo de resistencias para alcanzar el punto de operación Q:

$$Q = \{V_{DSQ} = 6.8V, I_{DQ} = 11.8mA, V_{DD} = 20V\}$$

$$\sqrt{\frac{11.8e-3}{74.5174}} + 3.58 = V_{GSQ} = 3.5925V$$

$$(RD + RS) = \frac{20 - 6.8}{11.8e - 3} = 1118.644 \Omega$$

$$I_{DQ} = \frac{V_G - V_{GSQ}}{RS} = RS = 169.4915 \Omega$$

$$RD = 1118.644 - 169.4915 = 949.1525 \Omega$$

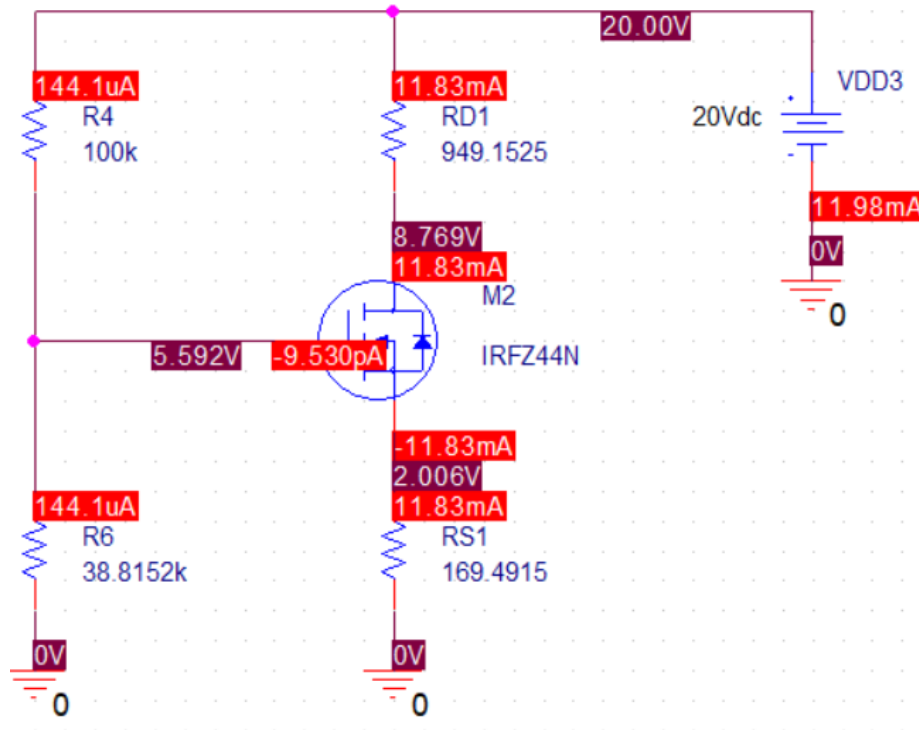
$$V_S = \frac{20}{5} \text{ o } V_S = \frac{20}{10} = 2 \text{ V}$$

$$V_{GSQ} = V_G - V_S = 3.5925 + 2 = 5.5925 \text{ V} = V_G$$

$$R1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$5.5925 = \frac{R2(20)}{100e3 + R2} = 5.5925(100e3 + R2) = \frac{559.25e3 + 5.5925(R2)}{20} = R2$$

$$\frac{559.25e3}{20} = R2 - 0.2796(R2) = 0.7204(R2) = 38.8152 \text{ k}\Omega = R2$$



[REFERENCIAS]

Electrónica: Teoría de los circuitos y dispositivos electrónicos, 10 Ed., Robert L. Boylestad Louis Nashelsky, 2009.

Electrónica guru, 2018.,

<https://electronica.guru/questions/77847/esta-utilizando-un-generador-de-senales-pwm-para-controlar-e>