

### ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE AMPLIFICADORES CON VARIOS TRANSISTORES A FRECUENCIAS MEDIAS

**1) E-2.** Se tienen los siguientes amplificadores de tres etapas en emisor común con acople directo.

**a)** Dibujar el circuito de continua para ambos, indicando los sentidos de referencia de las corrientes, tensiones base-emisor, base-colector y de los terminales de los transistores contra común.

**b)** Determinar el punto de reposo de cada etapa. Construir un cuadro con las tensiones de los tres electrodos respecto de común. ¿Qué utilidad brinda tabular estos valores?. ¿Es necesario utilizar en este caso capacitores de acople entre etapas?. ¿Es necesario en alguno de los dos casos utilizar el capacitor de acople de la carga?. Justificar. Analizar la evolución de las tensiones de los colectores en cada circuito. Comparar, extrayendo conclusiones.

**c)** Dibujar el circuito de señal sin reemplazar los transistores por su modelo y obtener  $A_v$ ,  $R_i$ ,  $R_o$ ,  $A_{vs}$  a frecuencias medias.

**d)** Determinar la máxima amplitud de la tensión de salida sin recorte. Verificar en estas condiciones si recorta la primera etapa. Determinar la máxima amplitud de la tensión de entrada  $v_i$  y de la tensión de vacío del generador de excitación  $v_s$  y sus valores eficaces. Comparar los valores para ambos circuitos y extraer conclusiones.

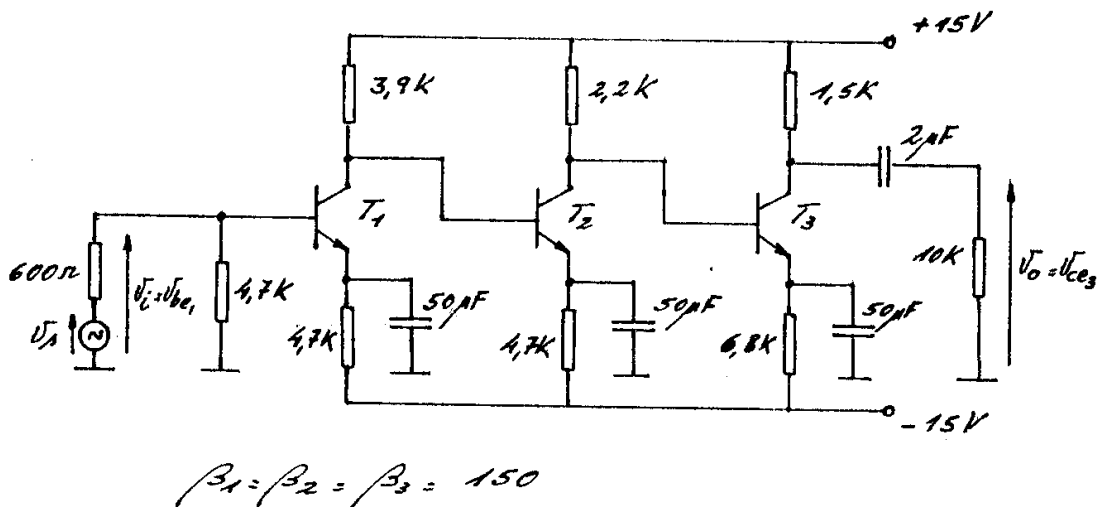


Fig. E-2a

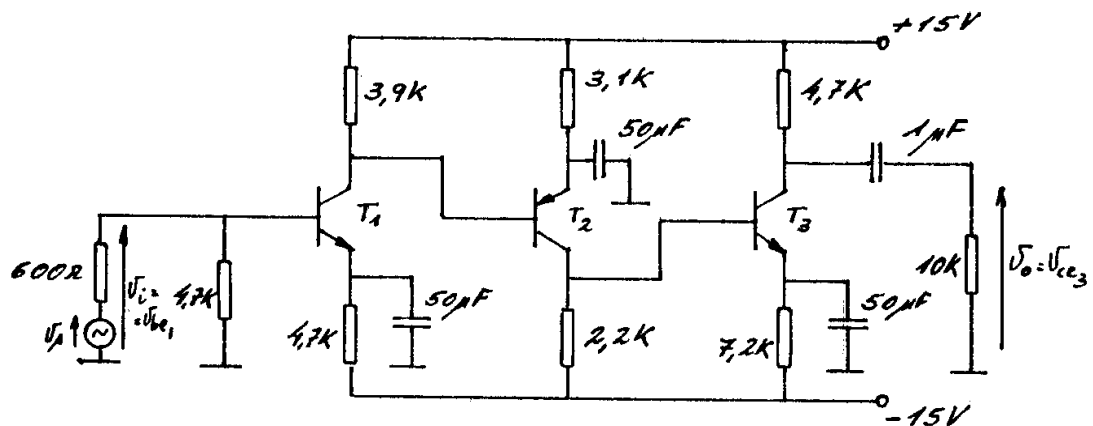


Fig. E-2b

**2) E-3.** Para los siguientes amplificadores, indicar la configuración en que funciona cada etapa y resolver los puntos indicados en el problema E-1.

A los amplificadores de las figuras E-3e, f y g, se los conoce como **cascade**. Verificar que en estos casos se cumple:  $A_v = g_{m(T1)} \cdot R_{ca}(T2)$ . Analizar cualitativamente el significado de la expresión.

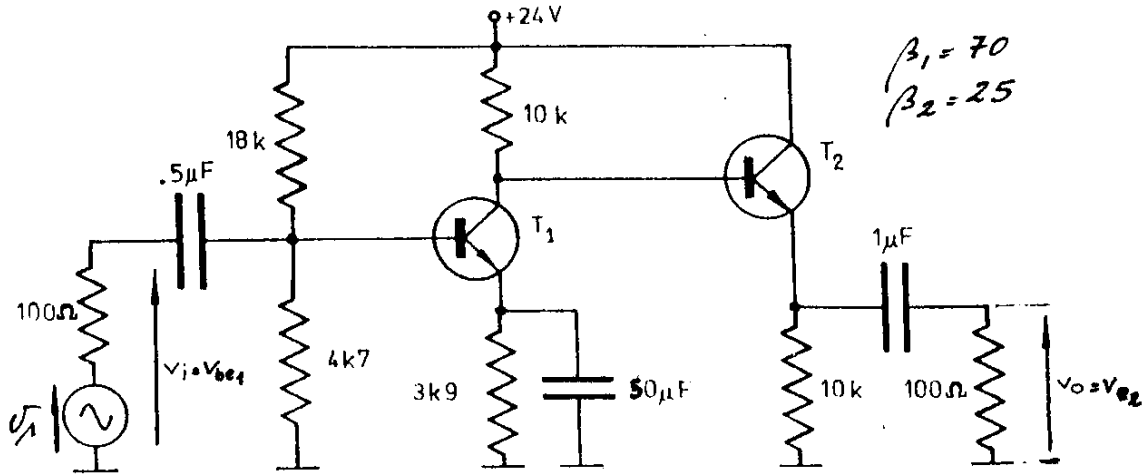


Fig. E-3b

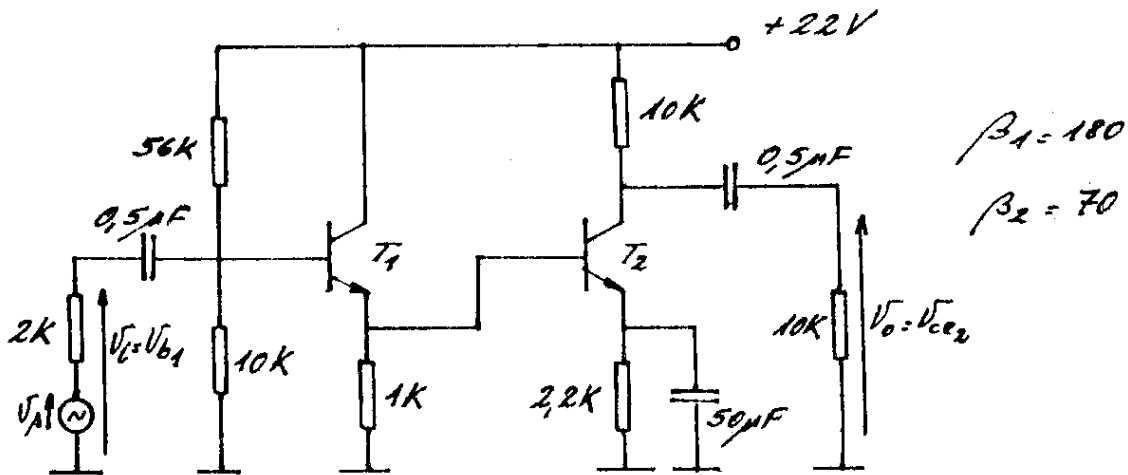


Fig. E-3d

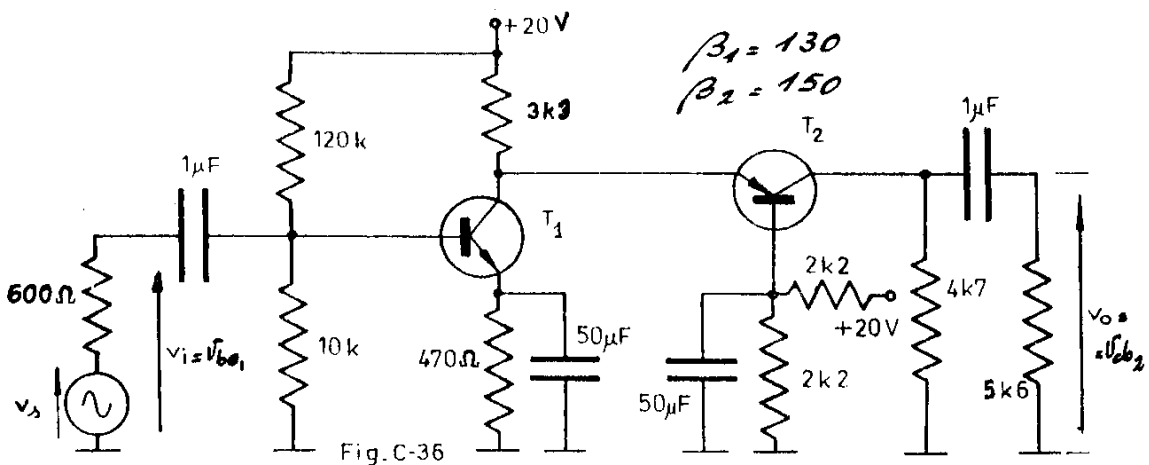


Fig. E-3e

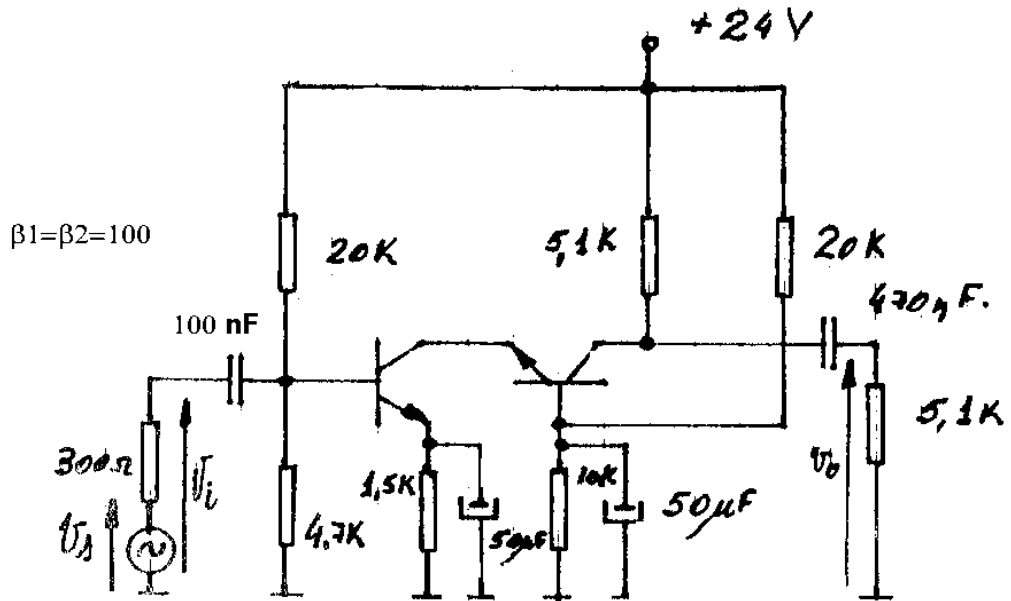
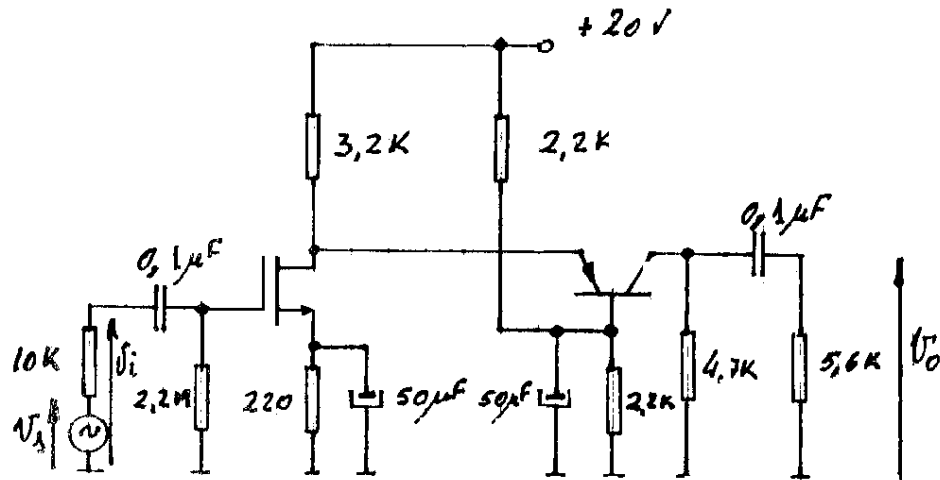


Fig. E-3f



$\beta = 130$  ;  $|k| = 0.7 \text{ mA/V}^2$  ;  $V_T = -2.2 \text{ V}$

Fig. E-3g

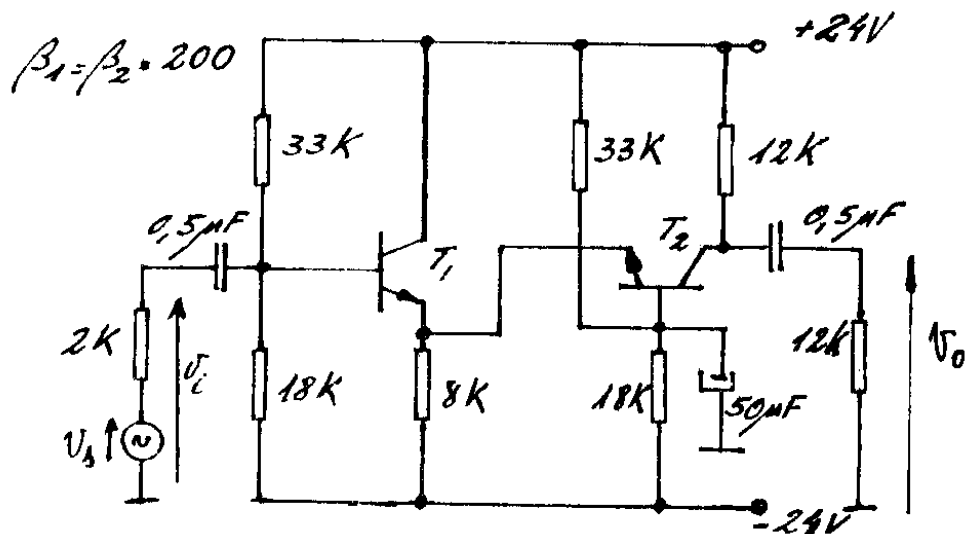
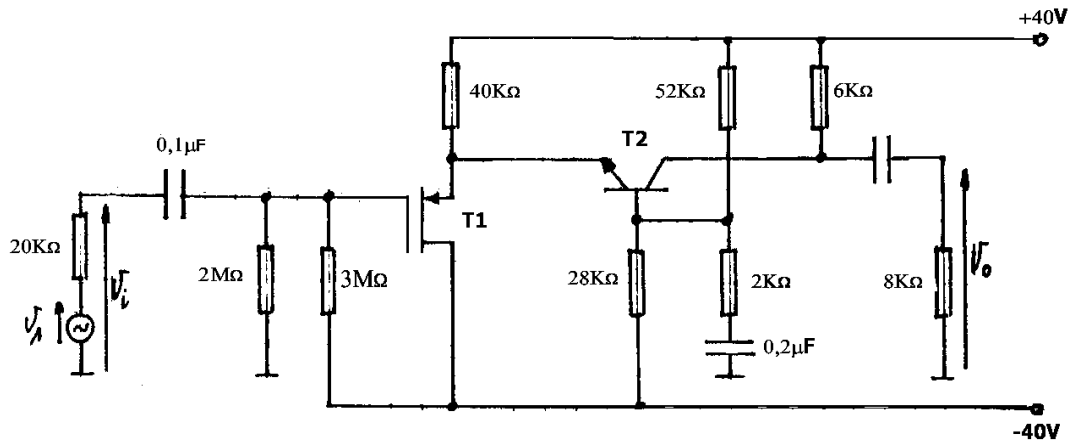


Fig. E-3h



$$|k| = 0,3 \text{ mA/V}^2 ; V_T = -1\text{V} ; \beta = 200$$

Fig. E-3i

Analizar el funcionamiento de la conexión compuesta de dos transistores denominada configuración Darlington.

a) Demostrar que esta configuración es equivalente a un único transistor con:

$$\beta_{eq} = \beta_{o1} + \beta_{o2} \cdot (\beta_{o1} + 1) \cong \beta_{o1} \cdot \beta_{o2}$$

b) Suponiendo  $r_x$  despreciable y  $r_{\mu} \gg \beta_o \cdot r_o$ , obtener los componentes del circuito equivalente de señal del transistor compuesto:  $g_{meq}$ ;  $r_{oeq}$ ;  $r_{\pi eq}$ . Calcular sus valores para  $\beta_{o1} = 150$ ;  $\beta_{o2} = 200$ ;  $\mu = 2 \cdot 10^{-4}$  e  $I_{CQ2} = 2 \text{ mA}$ .

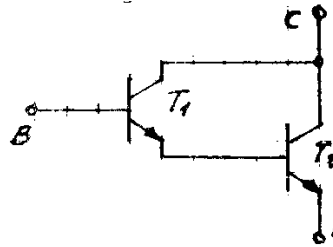


Fig. E-11

4) E-12. Justificar el tipo de los transistores equivalentes (NPN ó PNP) de los pares Darlington indicados en la figura. Indicar los terminales E-B-C del transistor compuesto. Indicar a cuáles se los denomina cuasi-Darlington.

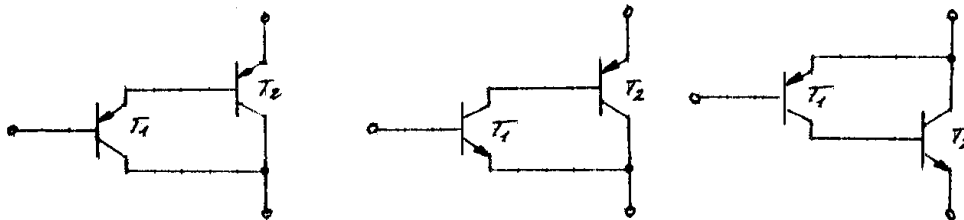


Fig. E-12

a) Para los tres circuitos, hallar las expresiones de los parámetros equivalentes del transistor compuesto:  $g_{meq}$ ;  $r_{oeq}$ ;  $r_{\pi eq}$ . Calcular sus valores para  $\beta_{o1} = 200$ ;  $\beta_{o2} = 200$ ;  $\mu_{NPN} = 2 \cdot 10^{-4}$ ;  $\mu_{PNP} = 4 \cdot 10^{-4}$  e  $I_{CQ2} = 2 \text{ mA}$ .

**5) F-4.** Dada la siguiente configuración IGBT (Darlington FET-TBJ):

$$\beta = 50 ; V_A \rightarrow \infty ; r_x = 100\Omega ; V_T = +1,5V ; k = 0,2 \text{ mA/V}^2 ; \lambda = 0$$

**a)** Hallar el valor de  $R_{G1}$  de modo tal de obtener una  $V_{OQ} = 2V$ . Construir una tabla resumen con los valores de reposo de corriente y tensiones de cada terminal contra común, así como de los parámetros de señal:  $g_m ; r_d ; r_{\pi} ; r_o$ .

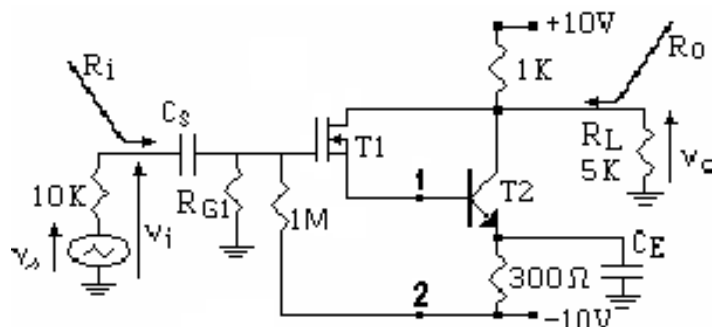


Fig. F-4

**b)** Dibujar el circuito de señal para frecuencias medias sin reemplazar los transistores por su modelo circuital. Hallar las expresiones (justificando por inspección) y el valor de: las resistencias de entrada, de salida y de carga, así como la amplificación de tensión de cada etapa. Hallar  $R_i$ ,  $R_o$  y  $A_v$  totales. Hallar  $A_{v_s}$ .

**c)** Repetir los puntos a) y b) si se conecta entre los puntos "1" y "2" un resistor de 10 KΩ. ¿En qué mejora y en qué empeora el funcionamiento del circuito esta modificación?.

**6) E-16.** Para el siguiente circuito, determinar (suponiendo  $T_1=T_2 ; \beta_F=\beta_o= 200 ; r_x \approx 0$  y  $V_A \rightarrow \infty$ ):

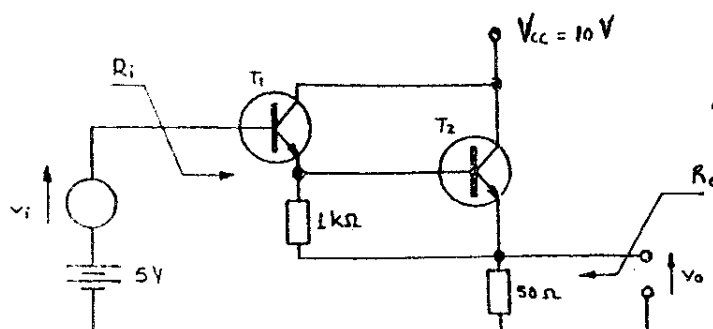


Fig. E-16

**a)** Los puntos de reposo, indicando la tensión de los terminales contra común.

**b)** Las resistencias de entrada y salida.

**c)** La amplificación de tensión  $A_v = v_o/v_i$

**7) E-17.** Para el siguiente circuito, determinar:

**a)** El valor de  $R_{E2}$  para funcionamiento en modo analógico lineal y los puntos de reposo, indicando las tensiones de los terminales contra común.

**b)** La amplificación de tensión de señal  $v_o/v_i$ . (se define  $\mu = v_{be}/v_{ce} = 1/g_m \cdot r_o = V_T/V_A$ )

**c)** ¿Podría obtenerse igual amplificación de tensión utilizando un resistor de carga en lugar de  $T_2$  e igual valor de  $V_{CC}$ ? Justificar.

d) Indicar qué ocurre en el circuito si se varía  $R_{E2}$  respecto al valor calculado en a).

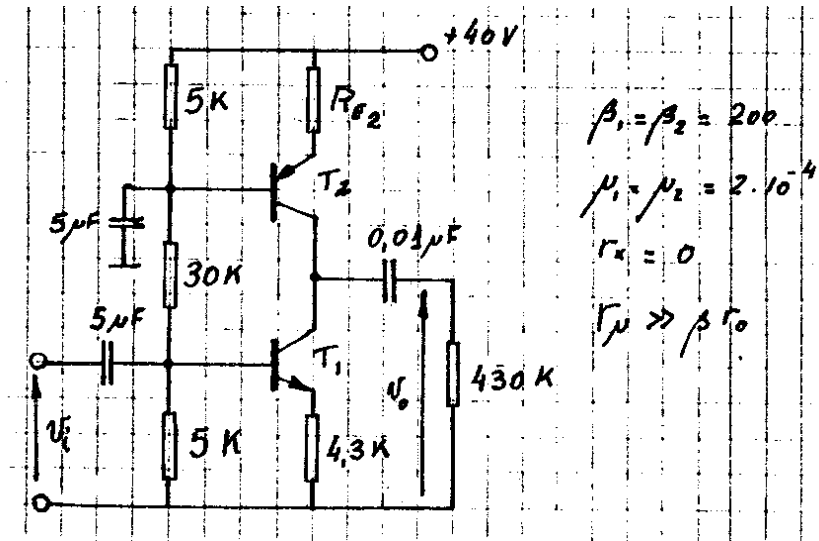


Fig. E-17

8) E-18. En el circuito de la figura, admitiendo:  $\beta \cong 200$  ;  $r_x \cong 0$  y  $V_A \rightarrow \infty$ , hallar:

a) Los puntos de reposo, indicando la tensión de los terminales contra común.

b) La expresión y el valor de  $A_v$  para los casos:

b<sub>1</sub>) sin C

b<sub>2</sub>) con C.

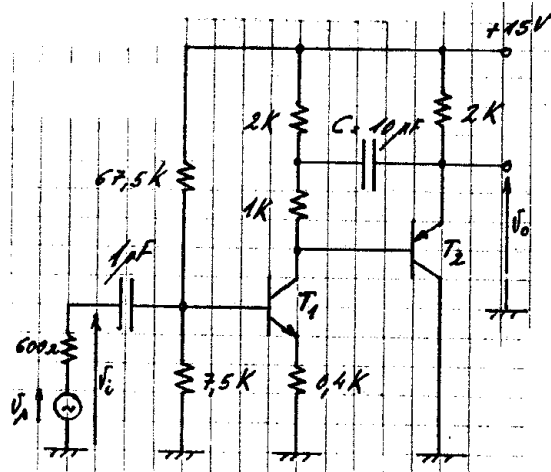


Fig. E-18

9) E-23. En la siguiente figura se presenta un amplificador integrado con transistores MOSFET.

MOSFET	MESFET
$ V_T  = 1,2 \text{ V}$	$ V_T  = 0,3 \text{ V}$
$ k'  = 50 \mu\text{A/V}^2$	$ k'  = 20 \mu\text{A/V}^2$
$W_1 = 200 \mu\text{m}$	$W_1 = 250 \mu\text{m}$
$L_1 = 2 \mu\text{m}$	$L_1 = 1 \mu\text{m}$
$W_2 = 5 \mu\text{m}$	$W_2 = 5 \mu\text{m}$
$L_2 = 0,8 \mu\text{m}$	$L_2 = 5 \mu\text{m}$

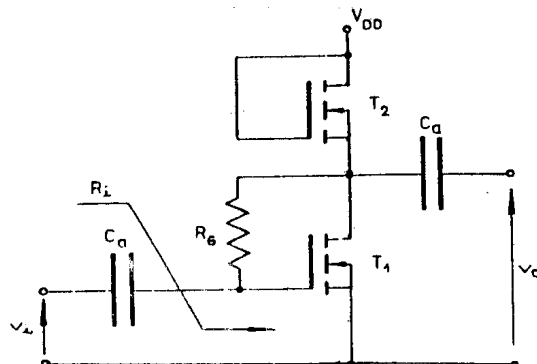


Fig. E-23

Justificar si pueden utilizarse MOSFET de canal inducido, preformado o cualquiera de los dos tipos. Implementar el mismo circuito con MESFET. ¿Con qué tipo de MESFET, "D" (JFET canal preformado de juntura metal - semiconductor de GaAs) ó "E" (JFET canal inducido de juntura metal - semiconductor de GaAs) puede implementarse esta configuración?.

- a) Determinar la ubicación del punto de trabajo de cada transistor. Datos:  $V_{DD}=6V$ ;  $R_G=10\text{ M}\Omega$
- b) Determinar la amplificación de tensión para pequeña señal  $A_v$  (despreciar el efecto de la resistencia de polarización de gate de  $T_1$ ).

**10) E-24.** Dibujar el circuito de señal de un cascode implementado con NMOSFET idénticos de canal inducido, que se supondrán integrados en un mismo sustrato:  $V_{T0} = 3\text{ V}$ ;  $k' = 50\text{ }\mu\text{A/V}^2$ ;  $W = 200\text{ }\mu\text{m}$ ;  $L = 2\text{ }\mu\text{m}$ ;  $\lambda = 0$ ;  $\gamma = 1,5\text{ V}^{1/2}$ ;  $\phi_p = 0,3\text{ V}$ ;  $I_{DQ1} = I_{DQ2} = 0,6\text{ mA}$ ;  $R_{Da} = 2\text{ K}\Omega$ ;  $V_{S2B} = 5\text{ V}$ .

- a) Hallar la  $A_v$  del circuito. Justificar el valor de la amplificación de tensión de la primera etapa.
- b) Hallar la amplificación de tensión del circuito si  $L_2 = 2L_1$ . Justificar el valor de la amplificación de tensión de la primera etapa comparando con la obtenida en a).
- c) Dibujar un corte del CI en el que se indique la construcción interna del circuito.
- d) Repetir los puntos anteriores para un CI con DMESFET (D-JFET de GaAs), cuyas características son:  $V_p = -3\text{ V}$ ;  $k' = 50\text{ }\mu\text{A/V}^2$ ;  $W = 200\text{ }\mu\text{m}$ ;  $L = 2\text{ }\mu\text{m}$ ;  $\lambda \approx 0$ ;  $I_{DQ1} = I_{DQ2} = 0,6\text{ mA}$ ;  $R_{Da} = 2\text{ K}\Omega$ .  $T_1$  y  $T_2$  formarán una configuración cascode, siendo este en general el circuito equivalente de un DMESFET con doble gate. En los DMESFET la tensión de umbral adquiere las características de la tensión de estrangulamiento de cualquier JFET con juntura semiconductor-semiconductor, razón por la cual se la suele denominar  $V_p$ . En este caso, la tensión sustrato-fuente posee normalmente un efecto despreciable sobre  $V_p$ , por lo que no se tendrá en cuenta.

**11) E-25.** Para la siguiente configuración CMOS, se conocen  $k'$ ,  $V_T$ ;  $\lambda$  (los tres iguales en valor absoluto para los dos MOSFET) y  $(W/L)_1$ . Son datos también  $\pm V_{DD}$  y  $R_{G1} = R_{G2} = R_G$ ;  $R_{G3} = 8R_G$

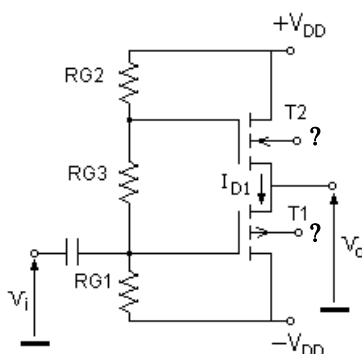


Fig. E-25

- a) Analizar el funcionamiento del circuito, conectando cada sustrato a puntos tales que los transistores funcionen correctamente –justificar–.
- b) Expresar  $(W/L)_2$  en función de  $(W/L)_1$  de modo de obtener  $V_{OQ} = 0$ . Hallar la expresión de  $I_{DQ1}$  y las tensiones de los distintos terminales contra común en función de  $V_{DD}$  y los parámetros de los MOSFET. ¿Cómo se modifican  $V_{OQ}$  e  $I_{DQ1}$  si se hace  $R_{G2} = 1, 01 \cdot R_{G1}$ , manteniendo el valor de  $(W/L)_2$  hallado?.