

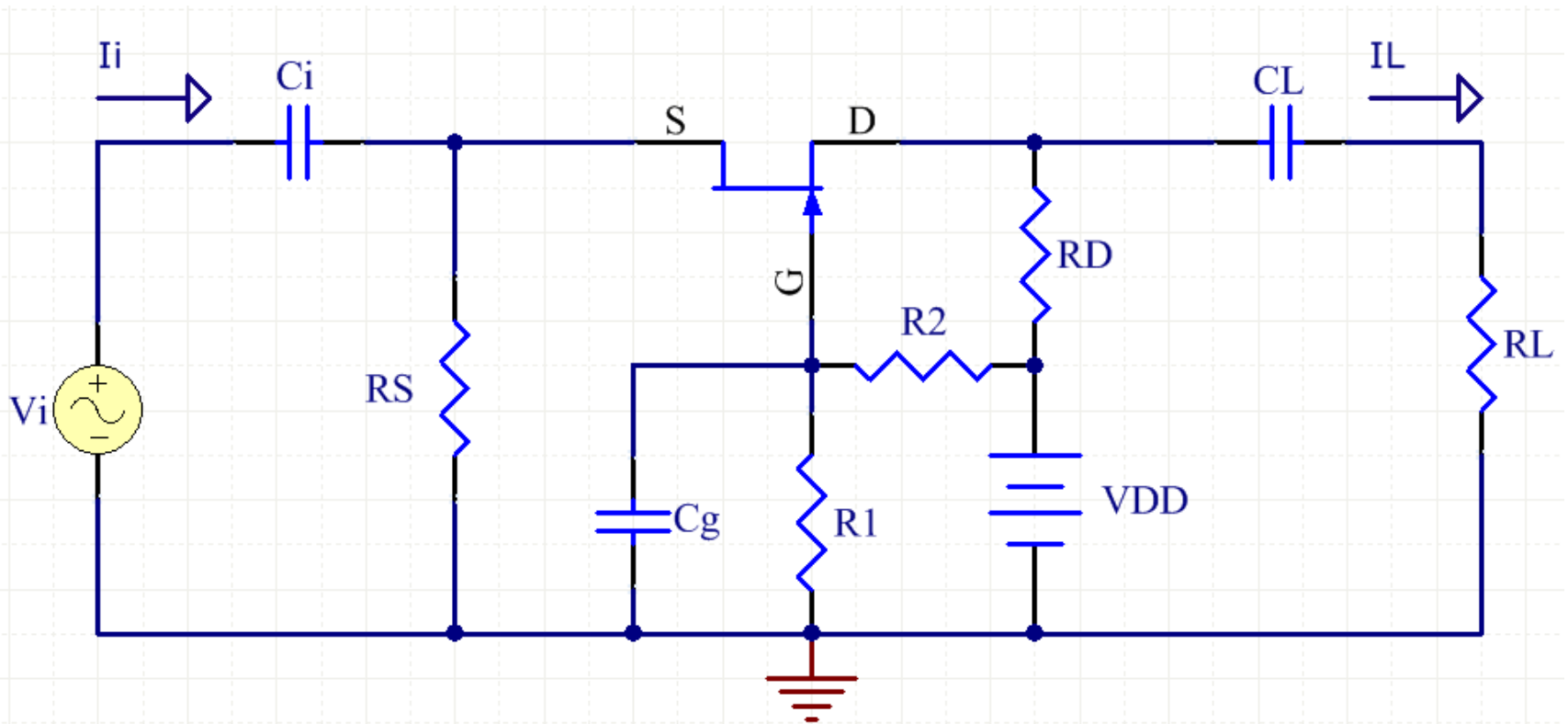
ELECTRONICA APLICADA I

Profesor Titular Dr Ing. Guillermo Riva

Profesor Adjunto Ing. Martin Guido

- Contenido:
- **Etapla amplificadora con FET Compuerta Común.**
- Ecuaciones de Corriente Continua.
- Reflejado al surtidor.
- Reflejado al Drenador.
- Ganancia de corriente.
- Ganancia de tensión.
- **Etapla amplificadora con FET Drenador Común.**
- Diseño para MES.
- Circuito equivalente, impedancia de entrada y salida.
- Ganancia de tensión.
- Ganancia de corriente y potencia.
- **Circuito inversor de Fase con FET.**
- Circuito para señal alterna.
- Reflejado en el drenador
- Ganancia de tensión A_{v1}
- Reflejado en el surtidor
- Ganancia de tensión A_{v2}
- Comparativa de ganancias
- **Circuito inversor de Fase con Bipolar.**
- Circuito equivalente observándolo desde la entrada y saliendo por colector.
- Ganancia de tensión saliendo por colector.
- Circuito equivalente observándolo desde el emisor.
- Ganancia de tensión saliendo por emisor.
- Comparativa de ganancias.

Etapa amplificadora con FET compuerta Común.



Etapa amplificadora con FET compuerta Común.
Diseño para máxima excursión simétrica.

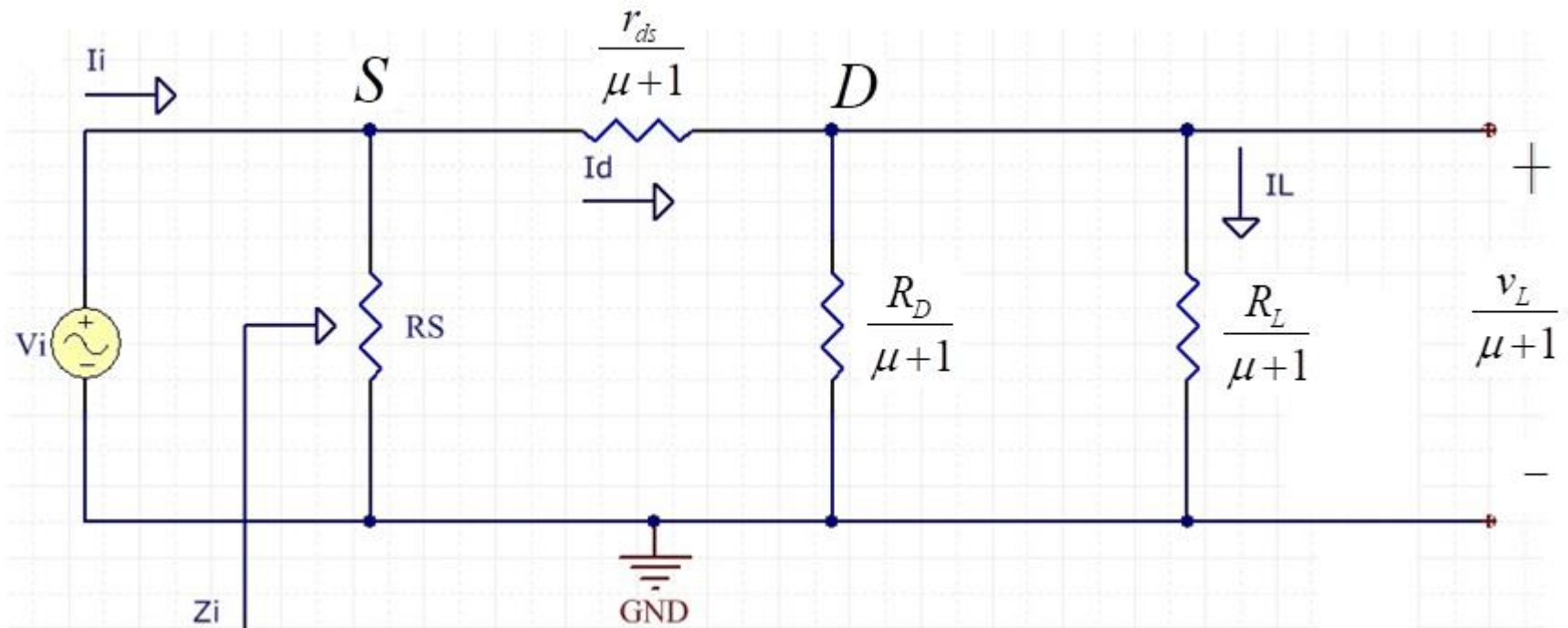
$$I_{DQ,MES} = \frac{V_{DD} - V_{P0}}{R_D + R_D // R_L}$$

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ,MES} \times (R_D + R_S)$$

$$V_{GSQ} = V_G - I_{DQ,MES} \times R_S$$

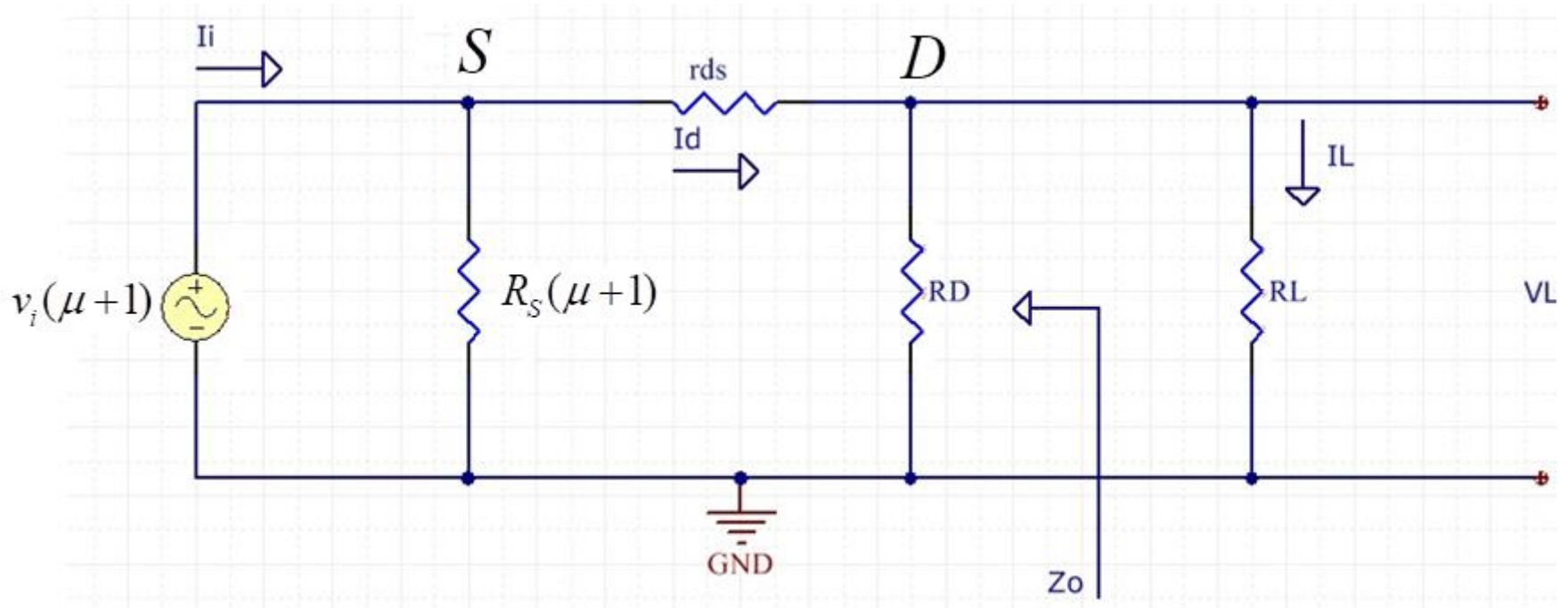
$$\text{Donde } V_G = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \times R_1$$

Circuito Equivalente de Amplificador compuerta común reflejado al Surtidor. Determinación de Z_i .



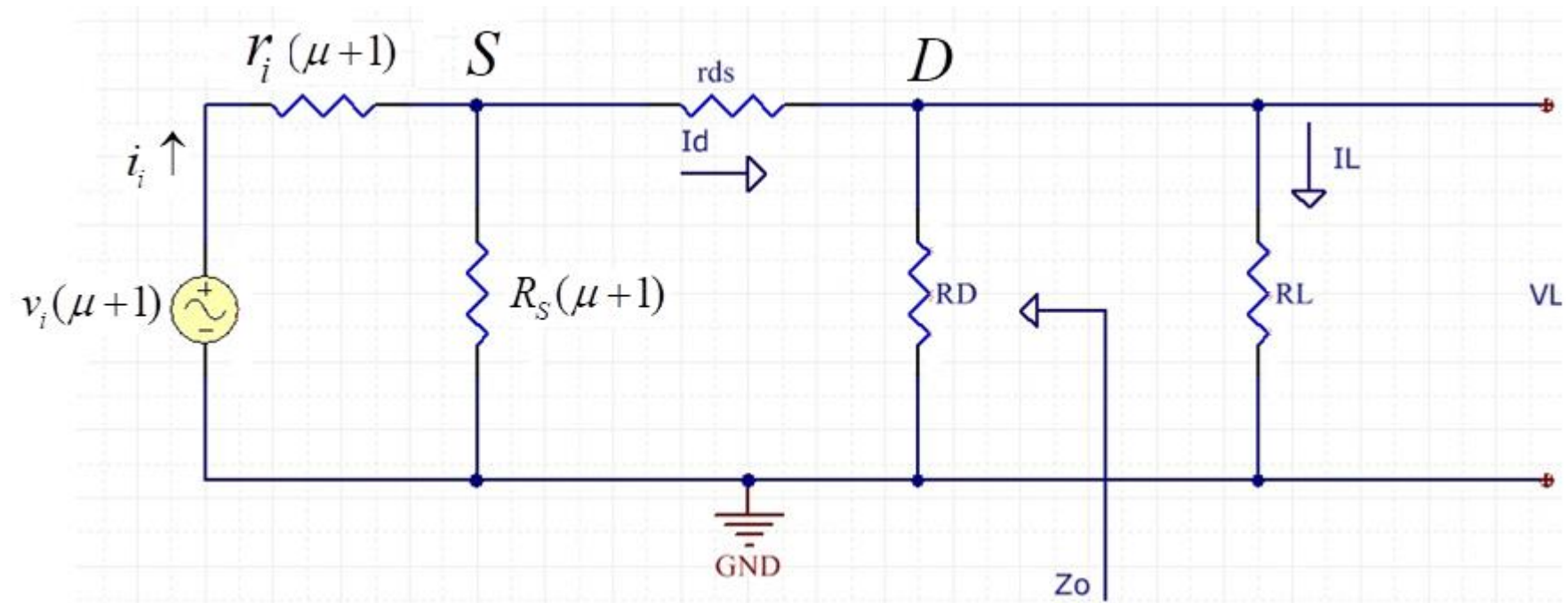
$$Z_i = R_S \parallel \left(\frac{r_{ds} + R_D \parallel R_L}{\mu + 1} \right)$$

Circuito Equivalente de Amplificador Compuerta Común reflejado al Drenador. Determinación Z_o .



$$Z_o \Big|_{v_i=0} = R_D \parallel r_{ds}$$

Circuito Equivalente de Amplificador Compuerta Común reflejado al Drenador. Determinación Z_o .



$$\text{Con } r_i : Z_o \big|_{v_i=0} = R_D // \left[r_{ds} + (R_S // r_i)(\mu + 1) \right]$$

Etapa Amplificadora con FET Compuerta Común. Ganancia de Corriente.

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_d} \times \frac{i_d}{i_i}$$

$$i_L = i_d \times \frac{R_D \cancel{R_L}}{R_D + R_L} \times \frac{1}{\cancel{R_L}} \Rightarrow \frac{i_L}{i_d} = \frac{R_D}{R_D + R_L}$$

$$i_d = i_i \times \frac{R_S(\mu+1) \times (r_{ds} + R_D // R_L)}{R_S(\mu+1) + r_{ds} + R_D // R_L} \times \frac{1}{(r_{ds} + R_D // R_L)} \Rightarrow \frac{i_d}{i_i} = \frac{R_S(\mu+1)}{R_S(\mu+1) + r_{ds} + R_D // R_L}$$

$$A_i = \frac{R_D}{R_D + R_L} \times \frac{R_S(\mu+1)}{R_S(\mu+1) + r_{ds} + R_D // R_L}$$

$$A_i < 1$$

Etapa amplificadora con FET Compuerta Común.

Ganancia de Tensión.

$$A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L \times R_L}{i_i \times Z_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_V = \frac{R_D}{R_D + R_L} \times \frac{R_S(\mu + 1)}{R_S(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_L} \times \frac{R_L}{Z_i}$$

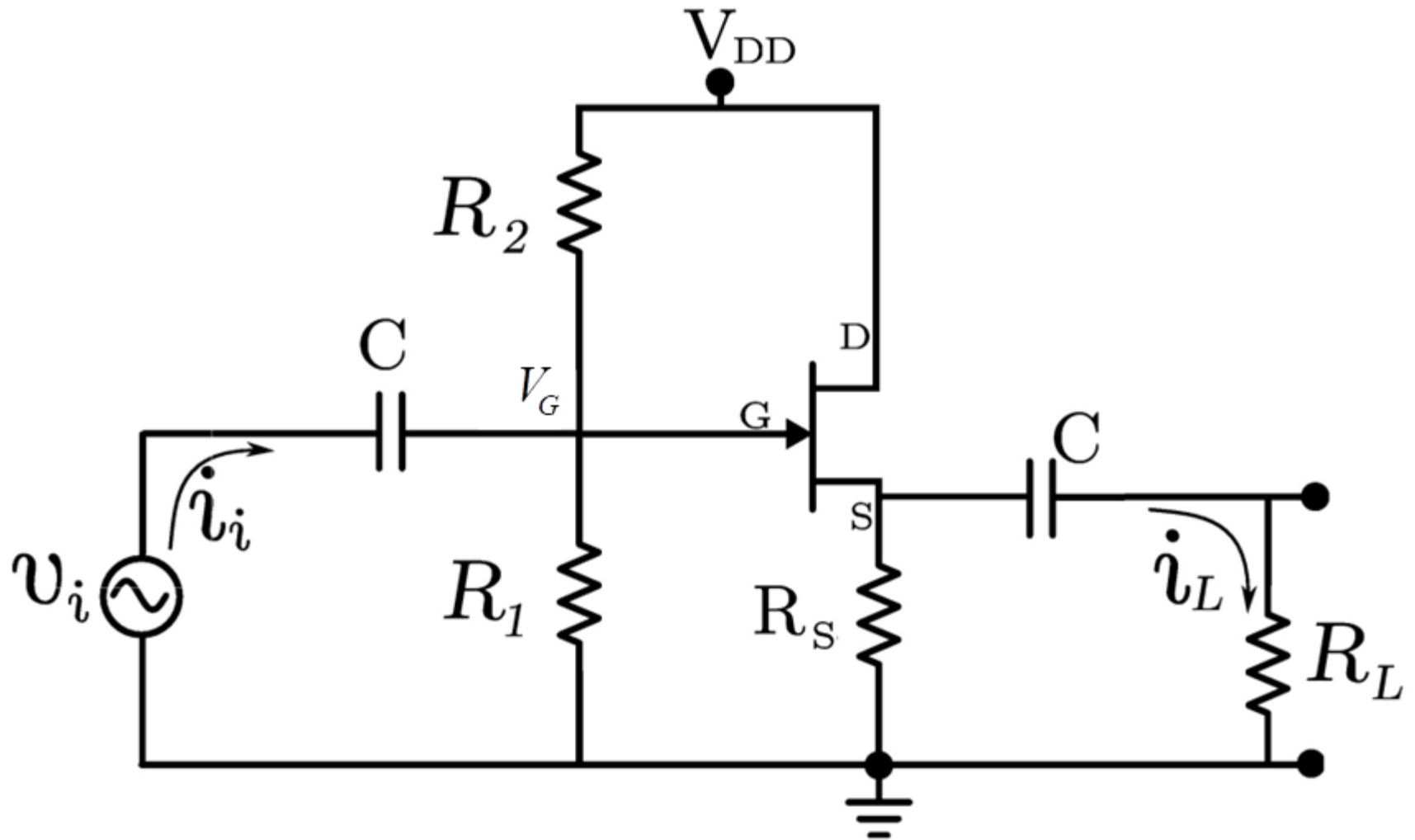
$$A_V = \frac{R_D}{R_D + R_L} \times \frac{R_S(\mu + 1)}{R_S(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_L} \times \frac{R_L}{R_S // \left(\frac{r_{ds} + R_D // R_L}{\mu + 1} \right)}$$

$$A_V = \frac{R_D}{R_D + R_L} \times \frac{R_S(\mu + 1)}{R_S(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_L} \times \frac{R_L}{\underbrace{R_S(\mu + 1) \times \left(\frac{r_{ds} + R_D // R_L}{\mu + 1} \right)}_{R_S(\mu + 1) + \left((\mu + 1) \times \frac{r_{ds} + R_D // R_L}{\mu + 1} \right)}}$$

Desarrollamos el paralelo y multiplicamos numerador y denominador por $(\mu + 1)$.

$$A_V = \frac{R_D // R_L}{r_{ds} + R_D // R_L} (\mu + 1)$$

Etapa amplificadora con FET Drenador Común.



Etapa amplificadora con FET Drenador Común.
Diseño para Máxima excursión simétrica.

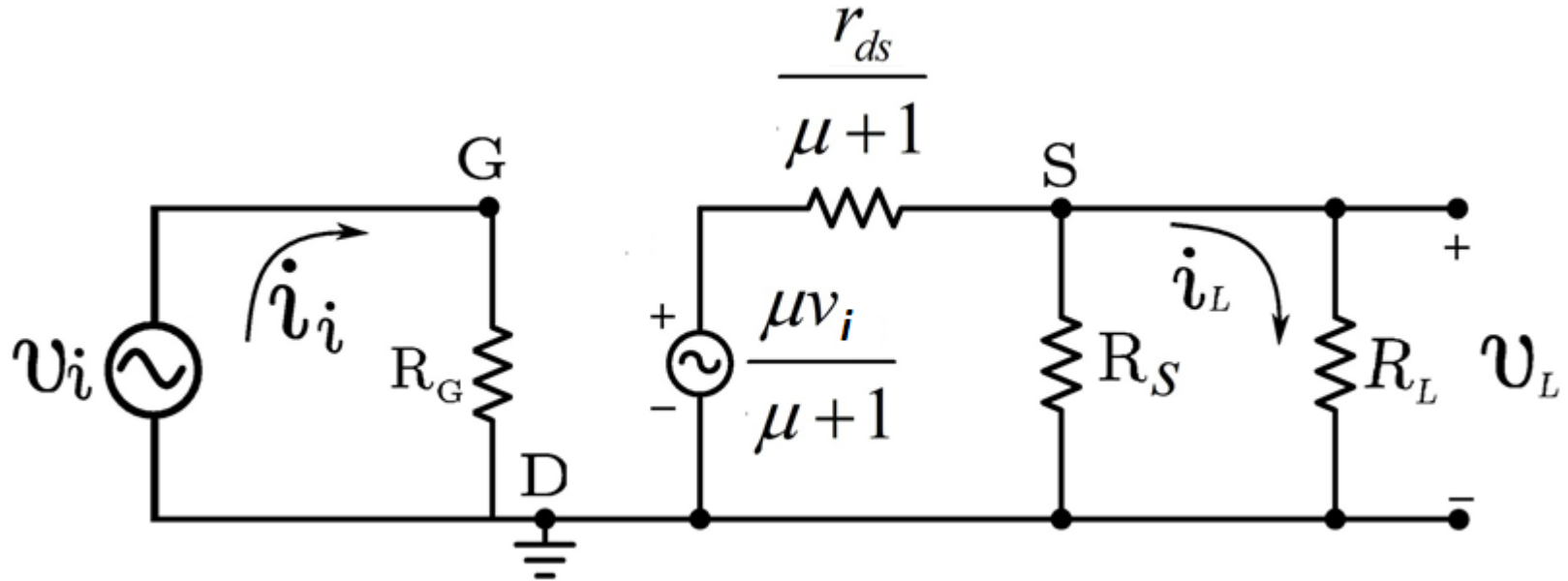
$$I_{DQ,MES} = \frac{V_{DD} - V_{P0}}{R_S + R_S // R_L}$$

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ,MES} \times R_S$$

$$V_{GSQ} = V_G - I_{DQ,MES} \times R_S$$

$$\text{Donde, } V_G = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \times R_1$$

Circuito equivalente amplificador con FET Drenador Común reflejado en el Surtidor. Determinación Z_i y Z_o .



$$Z_i = R_G$$

$$Z_o \big|_{v_i=0} = R_S \parallel \frac{r_{ds}}{\mu + 1}$$

Circuito equivalente amplificador con FET Drenador
Común reflejado en el Surtidor.
Ganancia de tensión.

$$A_V = \frac{v_L}{v_i}$$

$$v_L = \frac{\frac{\mu}{\mu+1} \times v_i}{\frac{r_{ds}}{\mu+1} + R_S // R_L} \times R_S // R_L \quad \Rightarrow \quad \frac{v_L}{v_i} = \frac{\frac{\mu}{\mu+1} \times (R_S // R_L)}{\frac{r_{ds}}{\mu+1} + R_S // R_L}$$

$$A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{\frac{\mu}{\mu+1} \times (R_S // R_L)}{\frac{r_{ds}}{\mu+1} + R_S // R_L}$$

Circuito equivalente amplificador con FET Drenador Común reflejado en el Surtidor. Ganancia de tensión expresada en función de gm.

multiplicamos numerador y denominador por $(\mu + 1)$ y nos queda

$$A_V = \frac{\mu \times (R_S // R_L)}{r_{ds} + (\mu + 1) \times (R_S // R_L)}$$

Dividimos numerador y denominador por μ .

$$A_V = \frac{R_S // R_L}{\frac{r_{ds}}{\mu} + \left(\frac{\mu + 1}{\mu} \right) \times (R_S // R_L)}$$

Si consideramos $(\mu + 1) \simeq \mu$

$$A_V = \frac{R_S // R_L}{\frac{r_{ds}}{\mu} + R_S // R_L}$$

Circuito equivalente amplificador con FET Drenador Común reflejado en el Surtidor.

Ganancia de tensión expresada en función de g_m .

Expresamos $\frac{r_{ds}}{\mu}$ en función de g_m

$$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}} = \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}} \times \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta v_{DS}} = \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta v_{GS}} \times \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{DS}} = \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta v_{GS}} \times \frac{1}{\frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_D}} = \mu \times \frac{1}{r_{ds}}$$

$$g_m = \frac{\mu}{r_{ds}} \quad \Rightarrow \quad \frac{r_{ds}}{\mu} = \frac{1}{g_m}$$

Quedando la ganancia de tensión

$$A_V = \frac{R_S // R_L}{\frac{1}{g_m} + R_S // R_L}$$

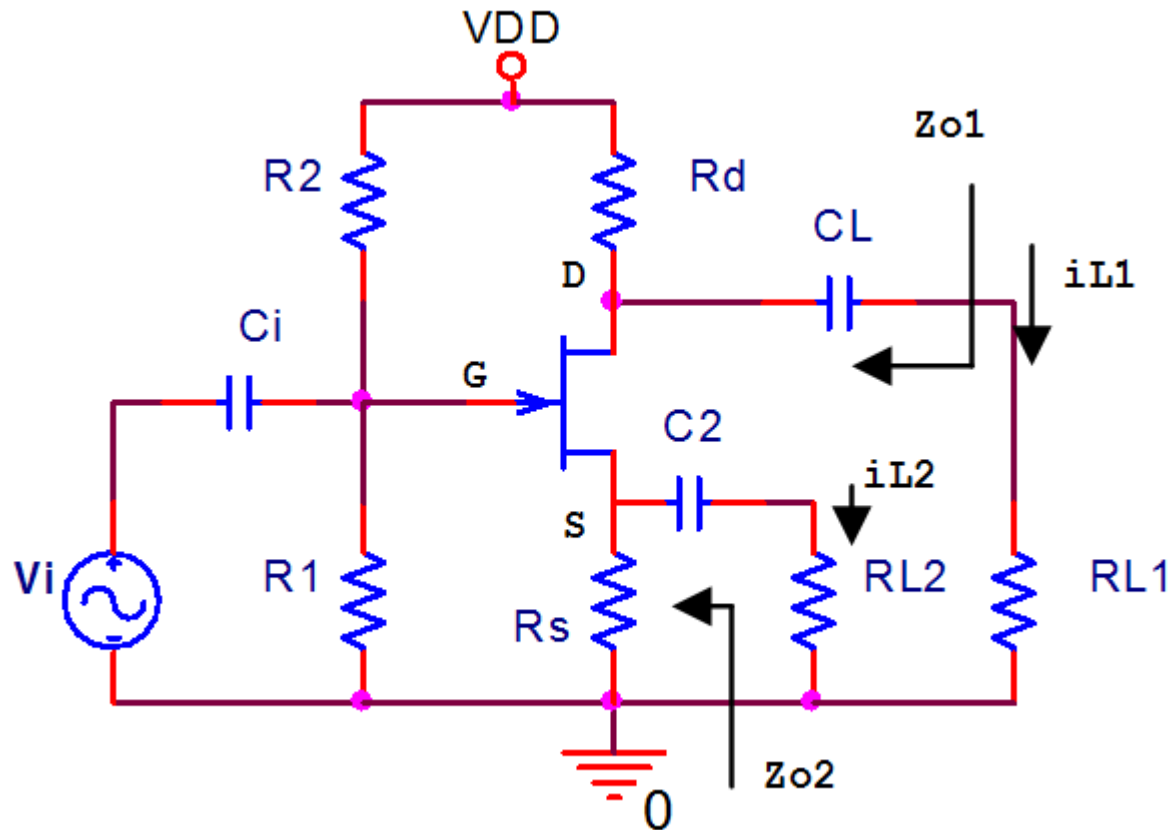
Circuito equivalente amplificador con FET Drenador Común reflejado en el Surtidor. Ganancia de Corriente y Potencia

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{\frac{v_L}{R_L}}{\frac{v_i}{Z_i}} = \frac{v_L}{R_L} \times \frac{Z_i}{v_i} = \frac{v_L}{v_i} \times \frac{Z_i}{R_L} = A_V \times \frac{Z_i}{R_L}$$

$$A_i = \frac{R_S // R_L}{\frac{r_{ds}}{\mu} + R_S // R_L} \times \frac{R_G}{R_L}$$

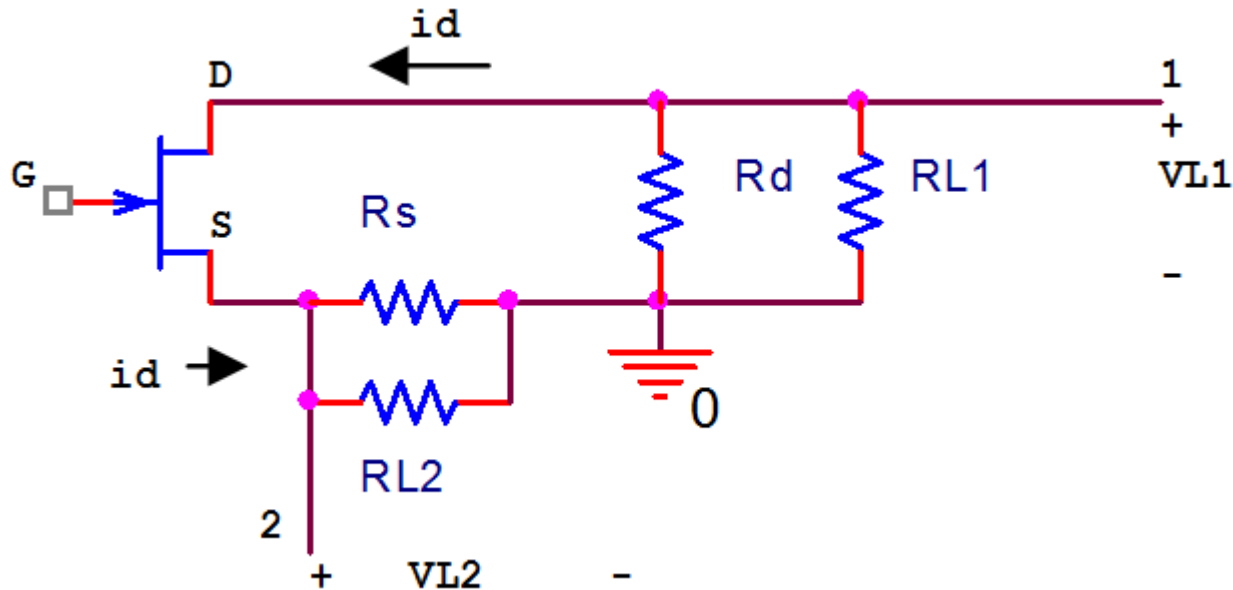
$$A_P = A_V A_i$$

Circuito Inversor de fase con FET.
Tiene dos salidas de igual amplitud opuestas en fase.



Circuito Inversor de fase con FET.

Circuito para señal alterna.



$$v_{L_1} = -i_d (R_D // R_{L_1})$$

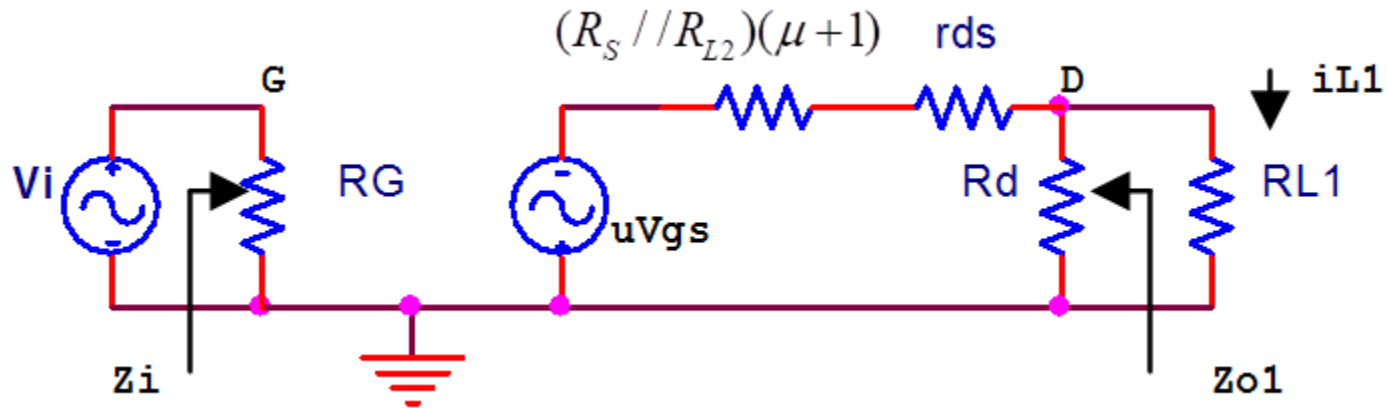
$$v_{L_2} = i_d (R_S // R_{L_2})$$

$$v_{L_2} = -v_{L_1}$$

$$R_D // R_{L_1} = R_S // R_{L_2} \text{ Para igual amplitud.}$$

Circuito Inversor de fase con FET.

Circuito Equivalente reflejado en el Drenador.



$$Z_i = R_G$$

$$Z_{O_1} \Big|_{v_i=0} = R_D \parallel \left[r_{ds} + (R_S \parallel R_{L_2})(\mu + 1) \right]$$

Circuito Inversor de fase con FET.

Ganancia de tensión A_{v1} en la salida por Drenador.

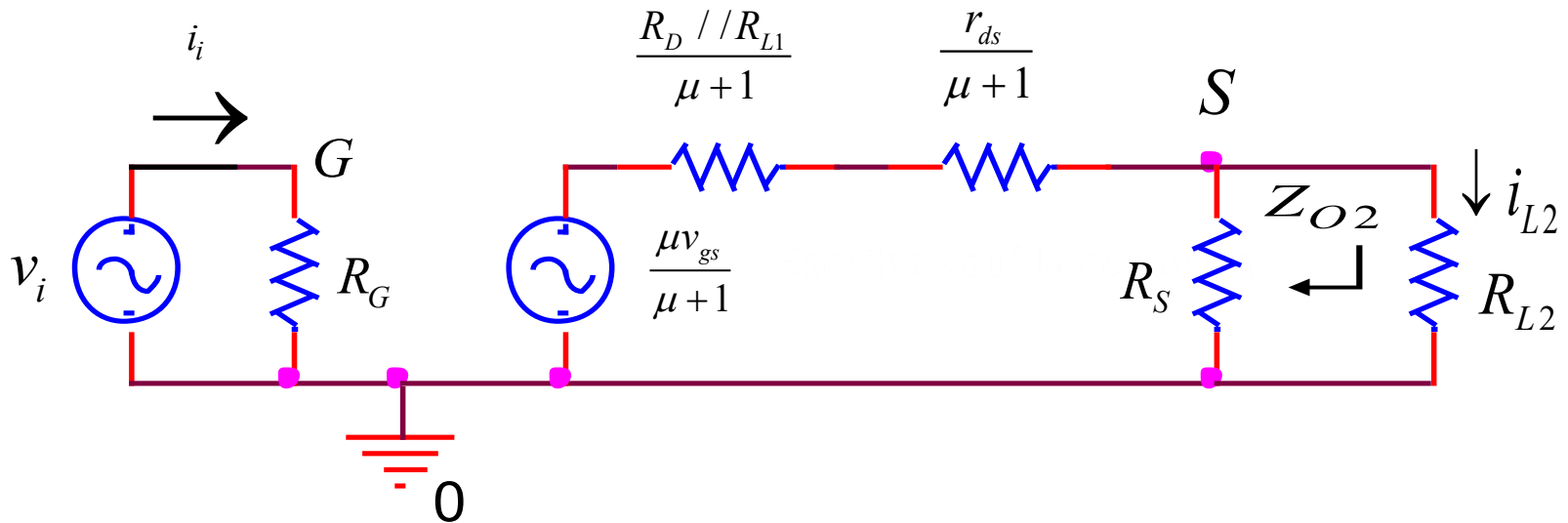
$$A_{V_1} = \frac{v_{L_1}}{v_i} = \frac{v_{L_1}}{v_{gs}} \times \frac{v_{gs}}{v_i}$$

$$v_{L_1} = \frac{-\mu v_{gs}}{(R_S // R_{L_2})(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_{L_1}} \times R_D // R_{L_1}$$

$$A_{V_1} = \frac{-\mu(R_D // R_{L_1})}{(R_S // R_{L_2})(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_{L_1}} < 1$$

Circuito Inversor de fase con FET.

Circuito Equivalente reflejado en el Surtidor.



$$Z_{O2} \Big|_{v_i=0} = R_S // \left[\frac{r_{ds} + (R_D // R_{L1})}{\mu + 1} \right]$$

Circuito Inversor de fase con FET.

Ganancia de tensión A_{V_2} en la salida por surtidor.

$$A_{V_2} = \frac{v_{L_2}}{v_{gs}} = \frac{\frac{\mu}{\mu+1}}{\frac{r_{ds}}{\mu+1} + \frac{R_D // R_{L_1}}{\mu+1} + R_S // R_{L_2}} \times (R_S // R_{L_2})$$

$$A_{V_2} = \frac{\mu(R_S // R_{L_2})}{r_{ds} + R_D // R_{L_1} + (R_S // R_{L_2})(\mu+1)}$$

Circuito Inversor de fase con FET.

Comparativa de Ganancias.

$$A_{V_1} = \frac{-\mu(R_D // R_{L_1})}{(R_S // R_{L_2})(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_{L_1}}$$

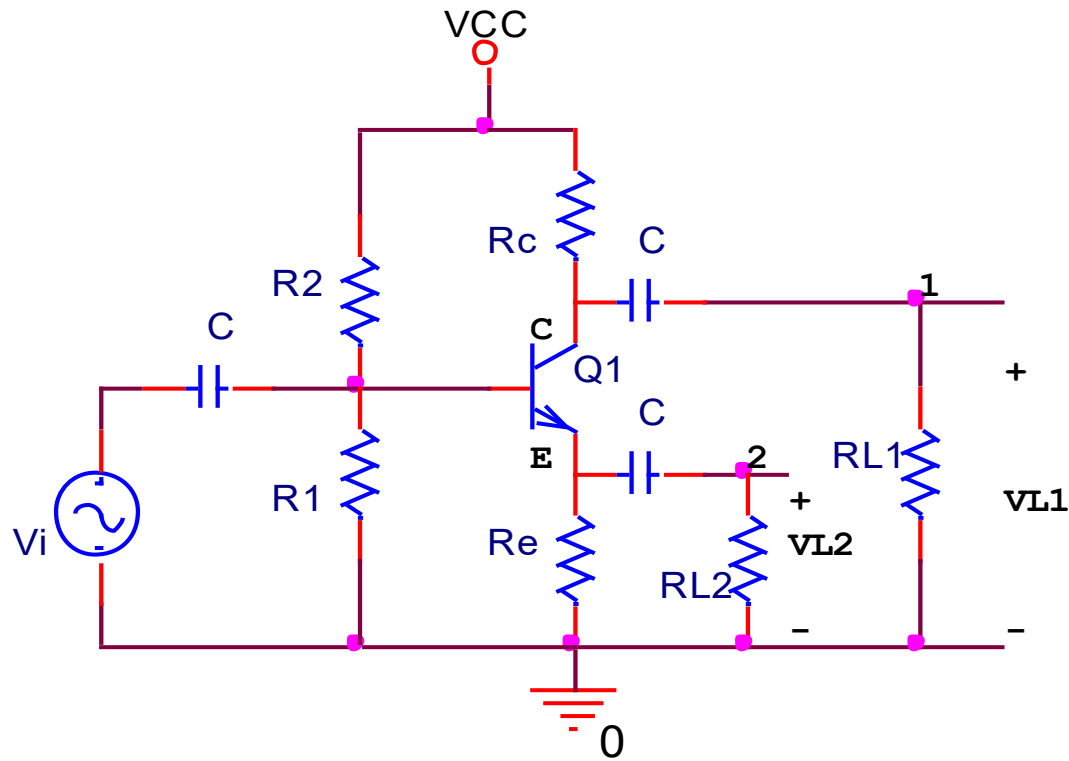
$$A_{V_2} = \frac{\mu(R_S // R_{L_2})}{(R_S // R_{L_2})(\mu + 1) + r_{ds} + R_D // R_{L_1}}$$

La diferencia está en el numerador.

Para igual amplitud $(R_D // R_{L_1}) = (R_S // R_{L_2})$.

El signo $-$ de A_{V_1} significa inversion de fase.

Inversor de Fase con Transistores Bipolares.



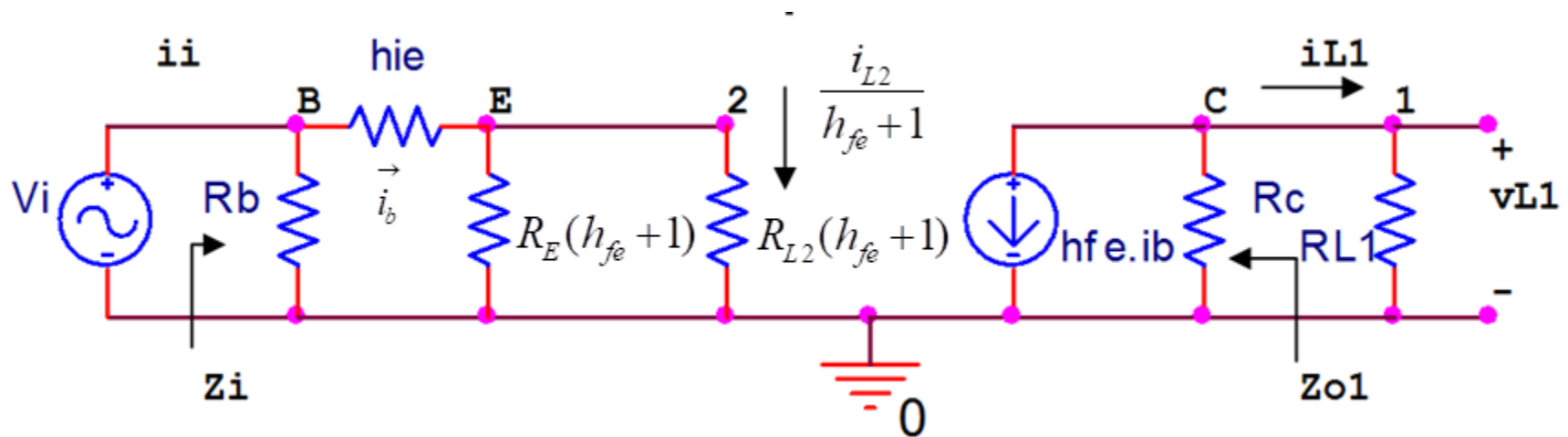
Condicion de inversor :

$$R_E // R_{L2} = R_C // R_{L1}$$

$$v_{L_2} = -v_{L_1}$$

Inversor de Fase con Transistores Bipolares.

Circuito equivalente visto desde la entrada y salida por colector.



Impedancia de entrada y salida

$$Z_i = R_B // \left[h_{ie} + (R_E // R_{L_2})(h_{fe} + 1) \right]$$

$$Z_{O_1} \Big|_{v_i=0} = R_C \quad (\text{si } v_i = 0 \text{ la corriente } i_b = 0)$$

Inversor de Fase con Transistores Bipolares.

Ganancia de tensión saliendo por colector.

$$A_{V_1} = \frac{v_{L_1}}{v_i} = \frac{v_{L_1}}{i_b} \times \frac{i_b}{v_i}$$

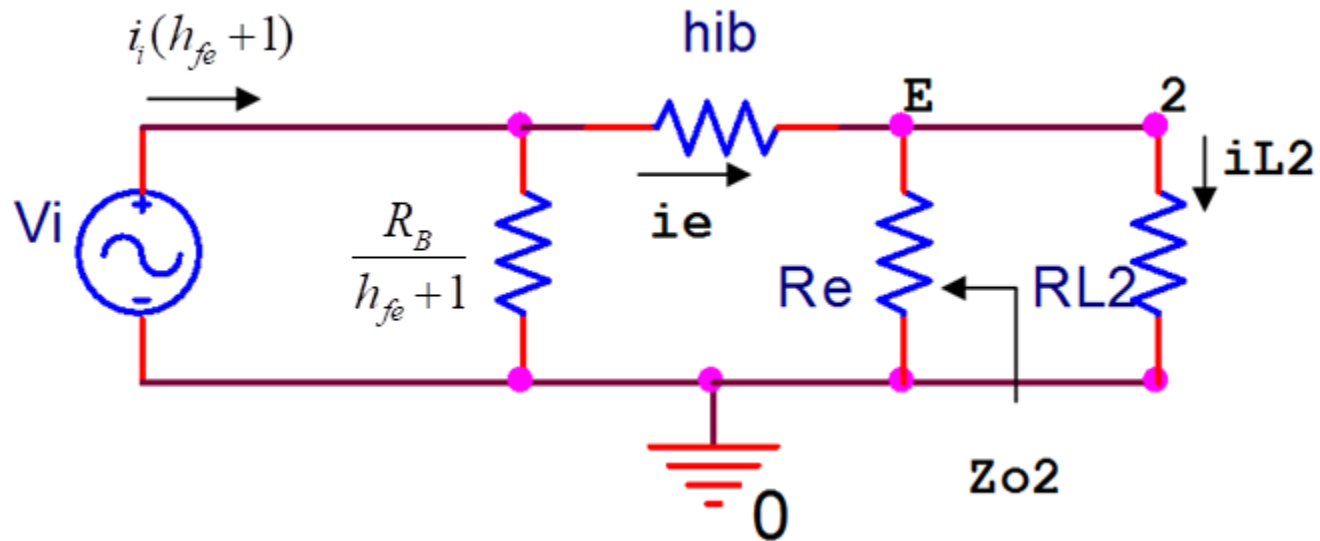
$$v_{L_1} = -i_b h_{fe} \times \frac{R_C \times R_{L_1}}{R_C + R_{L_1}} \Rightarrow \frac{v_{L_1}}{i_b} = -h_{fe} \times \frac{R_C \times R_{L_1}}{R_C + R_{L_1}}$$

$$i_b = \frac{v_i}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2})(h_{fe} + 1)} \Rightarrow \frac{i_b}{v_i} = \frac{1}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2})(h_{fe} + 1)}$$

$$A_{V_1} = -h_{fe} \times \frac{R_C \times R_{L_1}}{R_C + R_{L_1}} \times \frac{1}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2})(h_{fe} + 1)}$$

Inversor de Fase con Transistores Bipolares.

Circuito equivalente visto desde el emisor.



Impedancia salida: $Z_{O2} \big|_{v_i=0} = R_E // h_{ib}$

Nota: En el práctico se debera poner un capacitor entre base y masa.

Inversor de Fase con Transistores Bipolares.

Ganancia de tensión saliendo por emisor.

$$A_{V_2} = \frac{v_{L_2}}{v_i}$$

$$v_{L_2} = \frac{v_i}{h_{ib} + (R_e // R_{L_2})} \times (R_e // R_{L_2}) = \frac{v_i}{\underbrace{h_{ib} \times (h_{fe} + 1) + (R_e // R_{L_2}) \times (h_{fe} + 1)}_{h_{ie}}} \times (R_e // R_{L_2}) \times (h_{fe} + 1)$$

$$\frac{v_{L_2}}{v_i} = \frac{(R_e // R_{L_2}) \times (h_{fe} + 1)}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2}) \times (h_{fe} + 1)}$$

$$A_{V_2} = (h_{fe} + 1) \times \frac{R_e R_{L_2}}{R_e + R_{L_2}} \times \frac{1}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2}) \times (h_{fe} + 1)}$$

Inversor de Fase con Transistor Bipolar.

Comparación de ganancias.

Como $h_{fe} \gg 1$

$$h_{fe} + 1 \cong h_{fe}$$

$$A_{V_1} = -h_{fe} \times \frac{R_C \times R_{L_1}}{R_C + R_{L_1}} \times \frac{1}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2})h_{fe}}$$

$$A_{V_2} = h_{fe} \times \frac{R_e \times R_{L_2}}{R_e + R_{L_2}} \times \frac{1}{h_{ie} + (R_e // R_{L_2})h_{fe}}$$

Inversor de Fase con Transistor Bipolar. Condiciones para igual amplitud.

Se debe cumplir

$$\frac{R_C \times R_{L_1}}{R_C + R_{L_1}} = \frac{R_e \times R_{L_2}}{R_e + R_{L_2}} \quad \text{para igual amplitud}$$

El signo $-$ de A_{V_1} significa inversión de fase

Bibliografía

- **Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados,**
- Donald L. Schilling-Charles Belove.
- **Dispositivos Electrónicos,**
- Thomas L. Floyd.
- **Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos,**
- Robert L. Boylestad-Louis Nashelsky.
- **1100 Problemas de Electrónica Resueltos.**
- Ing Alberto Muhana