



# Chương 3: FET

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com



# NỘI DUNG

---

- Nguyên lý hoạt động
- Mạch phân cực (DC)
- Mạch tín hiệu nhỏ (AC)



## 3.1 Nguyên lý hoạt động

- Đặc điểm - Phân loại - Ký hiệu
  - FET kênh n
  - FET kênh p
- Cấu tạo và hoạt động phân cực
  - JFET
  - MOSFET (IGFET)



# Đặc điểm – Phân loại – Ký hiệu

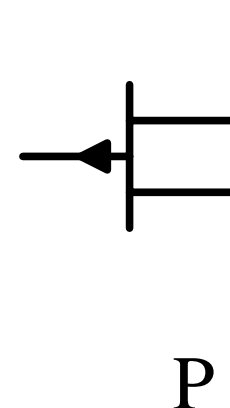
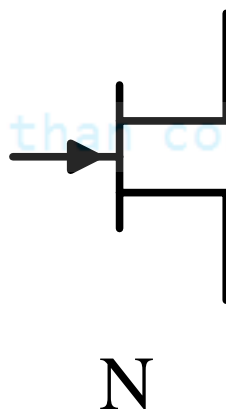
- Kênh bán dẫn được điều khiển bởi điện áp.

- FET kênh p
- FET kênh n

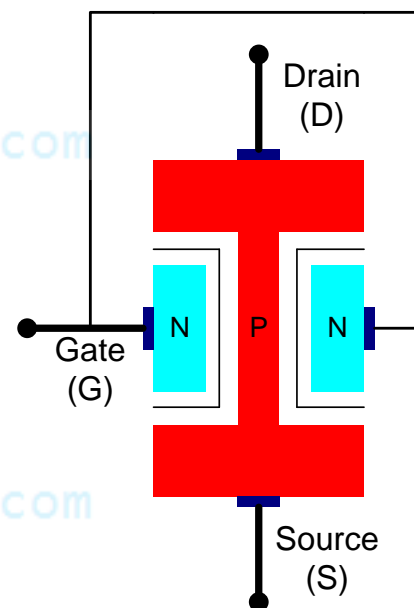
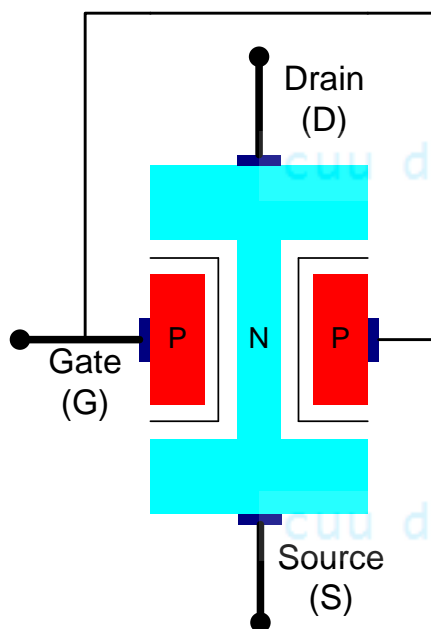
- 3 cực

- Cực cổng G
- Cực nguồn S
- Cực máng D

- Phi tuyến



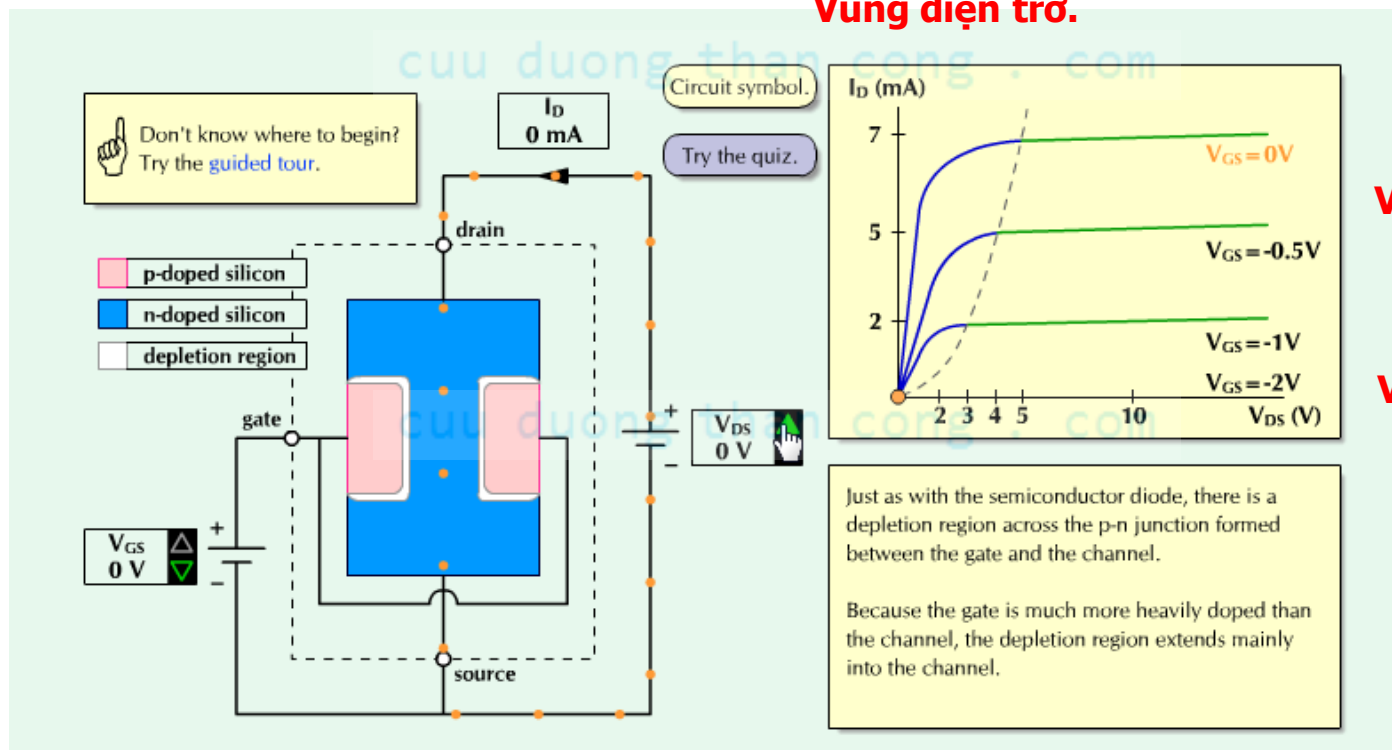
# Cấu tạo JFET



# Hoạt động phân cực JFET

- $V_{GS} = 0$
- $V_{GS} = -1$
- $V_{GS} = -2 = -V_{p0}$

Vùng điện trở.

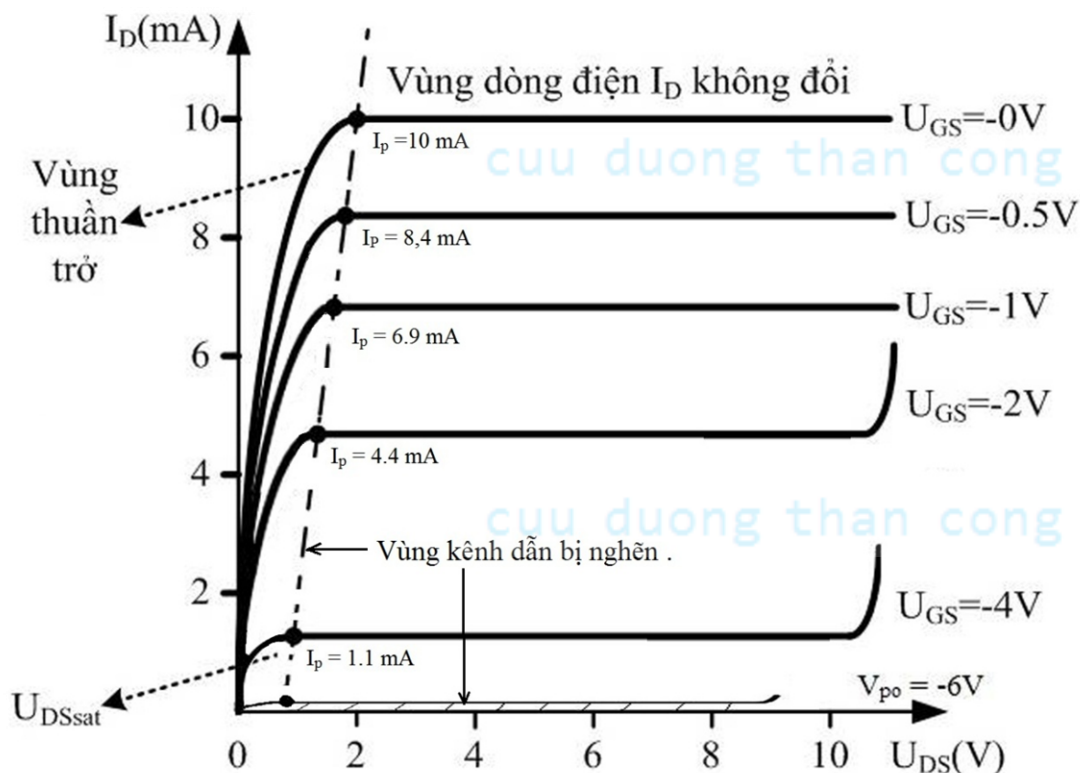


Vùng khuếch đại  
(bão hòa).

Vùng tắt.

## Hoạt động phân cực JFET (tt)

- Họ đặc tuyến JFET kênh n và điều kiện hoạt động ở vùng dẫn khuếch đại (bão hòa).

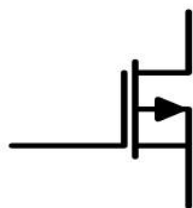


$$-V_{po} \leq V_{GS} \leq 0$$

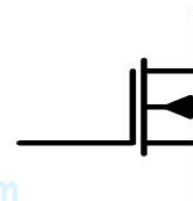
$$V_p = V_{po} + V_{GS} \leq V_{DS}$$

$$0 \leq I_{DS} = I_p \leq I_{po}$$

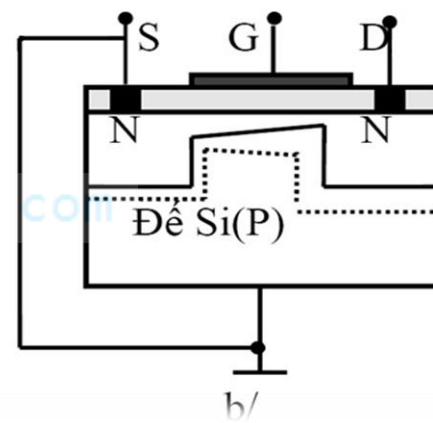
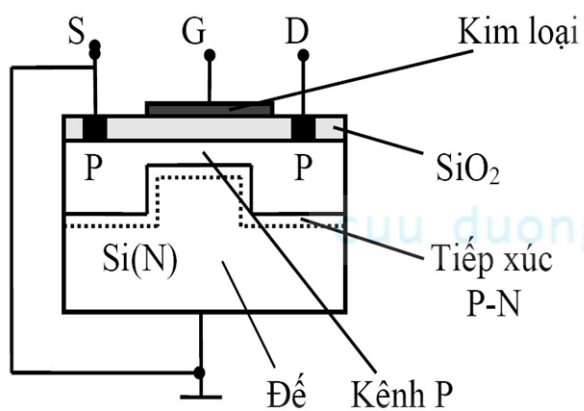
# Cấu tạo MOSFET



P



N



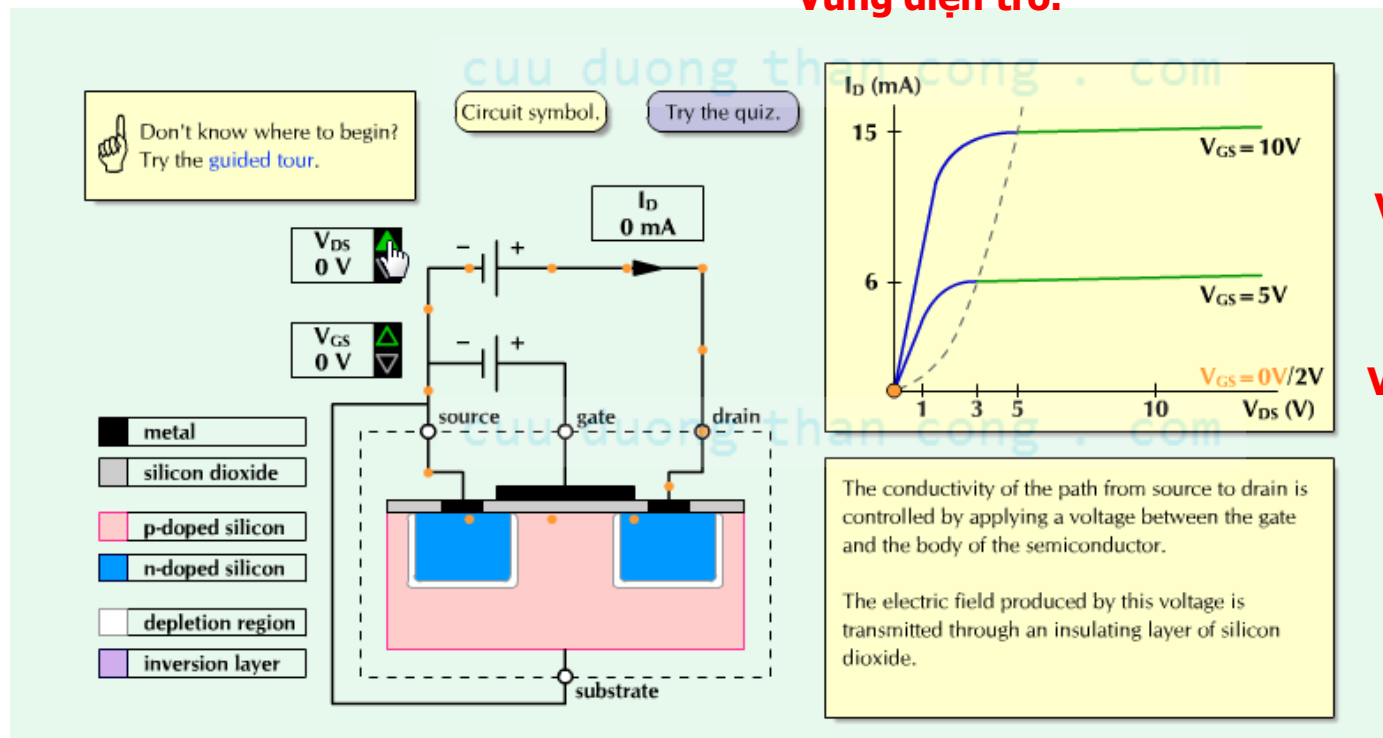




# Hoạt động phân cực MOSFET

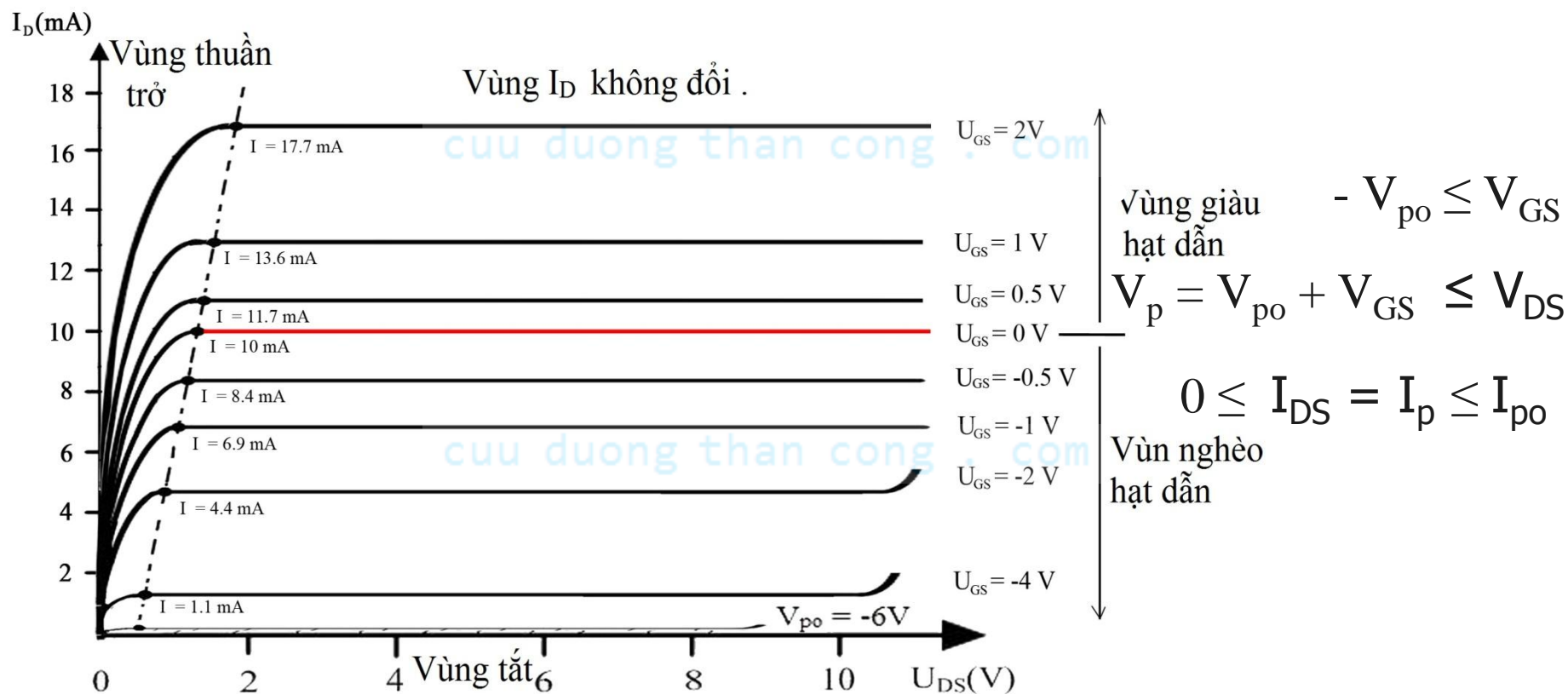
- $V_{GS} = 0$
- $-V_{p0} < V_{GS} < 0$
- $V_{GS} > 0$

Vùng điện trở.





- Họ đặc tuyến MOSFET kênh n và điều kiện hoạt động ở vùng dẫn khuếch đại (bão hòa).





# Ví dụ tìm dòng và áp nghẽn của FET

Cho FET có phương trình đặc tính dòng áp là

$$I_{DS} = 2 \cdot 10^{-4} (1 + 0.25 V_{GS})^2 \text{ (A)}$$

- a. Tìm dòng và áp nghẽn khi  $V_{GS} = 0$ .
- b. Tìm dòng và áp nghẽn khi  $V_{GS} = -1, -2, -4 \text{ (V)}$ .
- c. Tìm dòng và áp nghẽn khi  $V_{GS} = 1, 2, 4 \text{ (V)}$ .

## Giải

Cách 1:

Ta có:  $I_{DS} = 2 \cdot 10^{-4} (1 + 0.25 V_{GS})^2 \text{ (1)}$ .

Mặt khác:  $I_{DS} = I_{po} \text{ (2)}$ .

Đồng nhất (1) và (2) ta có :  $I_{po} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (A)}$ ,  $V_{po} = 4 \text{ (V)}$



## Ví dụ tìm dòng và áp nghẽn của FET (tt)

Cách 2:

$$V_{GS} = 0 \text{ thì } I = 2.10^{-4} (1 + 0.25 \cdot 0)^2 = 2.10^{-4} \text{ (A)} = I_{po}.$$

$$I_{DS} = 0 \text{ thì } 2.10^{-4} (1 + 0.25 \cdot V_{GS})^2 = 0$$

$$\text{giải PT ta được } V_{DS} = -4 \text{ (V)} \rightarrow V_{po} = 4 \text{ (V).}$$

cuu duong than cong . com

**JFET**

$V_{GS}$	-4	-2	-1	0	1	2	4
$I_p = I_{DS}$	0	0.5	1.125	$2.10^{-4}$	3.125	4.5	8
$V_p = V_{DS}$	0	2	3	4	5	6	8

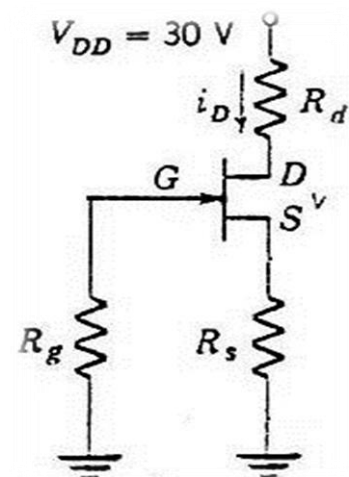
**MOSFET**



## 3.2 Mạch phân cực

- Mạch phân cực cho JFET
- Mạch phân cực cho MOSFET
  - Chế độ nghèo
  - Chế độ tăng cường

# Mạch phân cực cho JFET



**Ta có:**

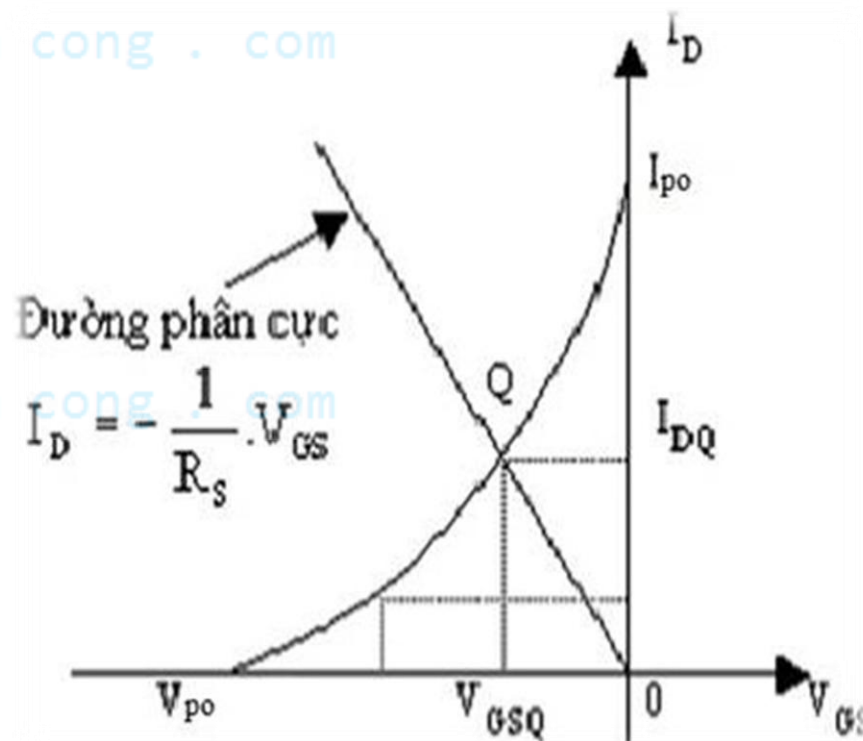
$$\begin{aligned} 0 &= R_G I_G + V_{GS} + R_S I_D \\ &= 0 + V_{GS} + R_S I_D \end{aligned}$$

$$\rightarrow V_{GS} = -R_S I_D \text{ (Đường phân cực) (1)}$$

**Đặc tuyến truyền:**

$$I_{DS} = I_D = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}} \right)^2 \quad (2)$$

Từ (1) và (2) cho ta hệ PT hai ẩn  $I_{DSQ}$  và  $V_{GSQ}$ . Giải hệ ta có điểm Q.





## Ví dụ mạch phân cực JFET

Cho mạch như hình vẽ :  $I_{po} = 0.1 \text{ mA}$  ,  $V_{po} = 4 \text{ V}$ . Tìm Q ( $I_{DS}$  ,  $V_{GS}$  ,  $V_{DS}$ )?

**Giải**

Ta có:  $V_{GS} = V_G - V_S = -V_S = -R_S I_{DQ} \quad (I_G = 0)$   
 $\rightarrow V_{GSQ} = -R_S I_{DQ} \quad (1)$

Mặt khác:

$$I_{DQ} = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GSQ}}{V_{po}} \right)^2 \quad (2)$$

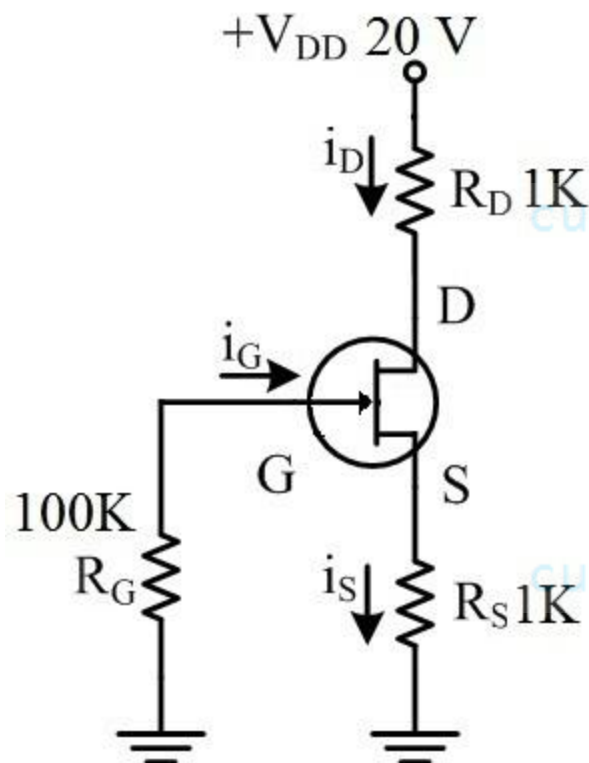
Từ (1) và (2) ta có :

$$6.25 \times 10^{-3} (V_{GSQ})^2 + 1.05 V_{GSQ} + 0.1 = 0$$

$$V_{GSQ} = -0.095 \text{ V}$$

$$V_{GSQ} = -168 \text{ V} \quad (\text{Loại vì } < -V_{po})$$

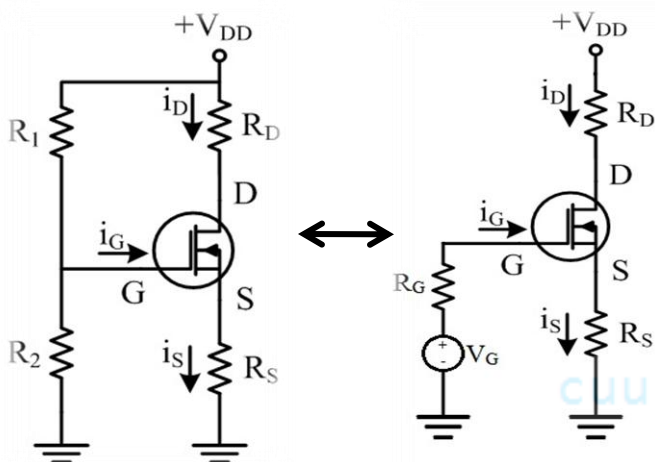
$$\rightarrow V_{DS} = V_{DD} - I_{DQ} (R_S + R_D) = 19.81 \text{ (V)}$$



**Nhận xét:**  $R_G$  không ảnh hưởng đến sự phân cực do  $I_G = 0$ .



# Mạch phân cực cho MOSFET



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

$$V_G = V_{DD} R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$V_G = R_G I_G + V_{GS} + R_S I_D = 0 + V_{GS} + R_S I_D$$

$$\rightarrow V_{GS} = V_G - R_S I_D \text{ (Đường phân cực)}$$

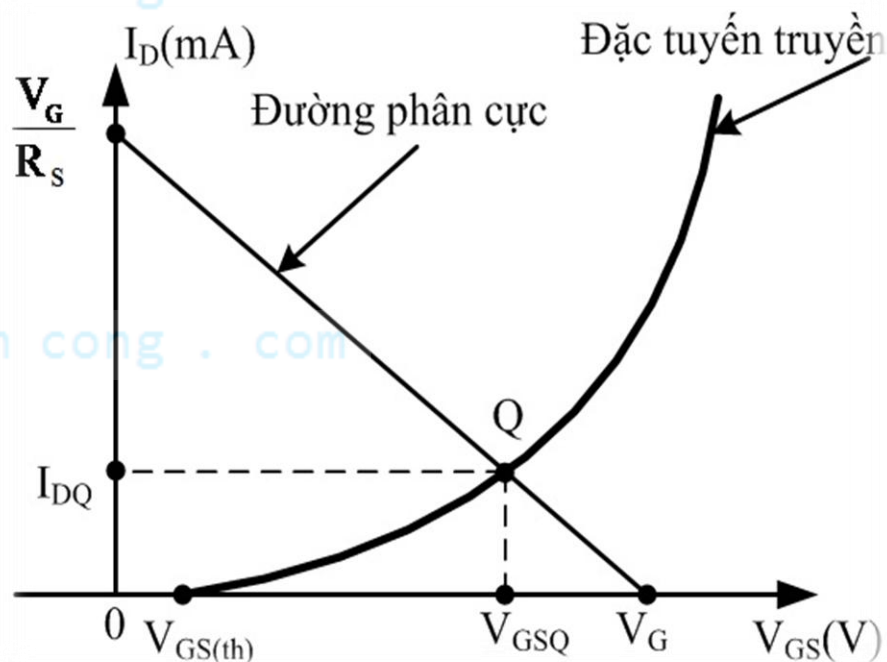
**Đặc tuyến truyền:**

$$I_{DS} = I_D = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}} \right)^2$$

**Điểm tĩnh Q:**

$$I_{DQ} = I_{po} \text{ và } V_{GSQ} = V_G - R_S I_{DQ}$$

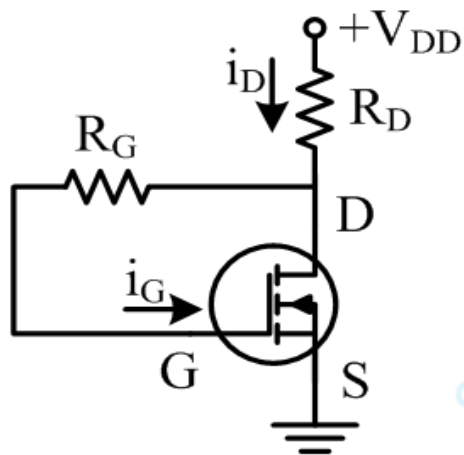
Giải hệ trên tìm được Q ( $I_{DQ}$ ,  $V_{GSQ}$ )







# Mạch phân cực cho MOSFET (tt)



$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

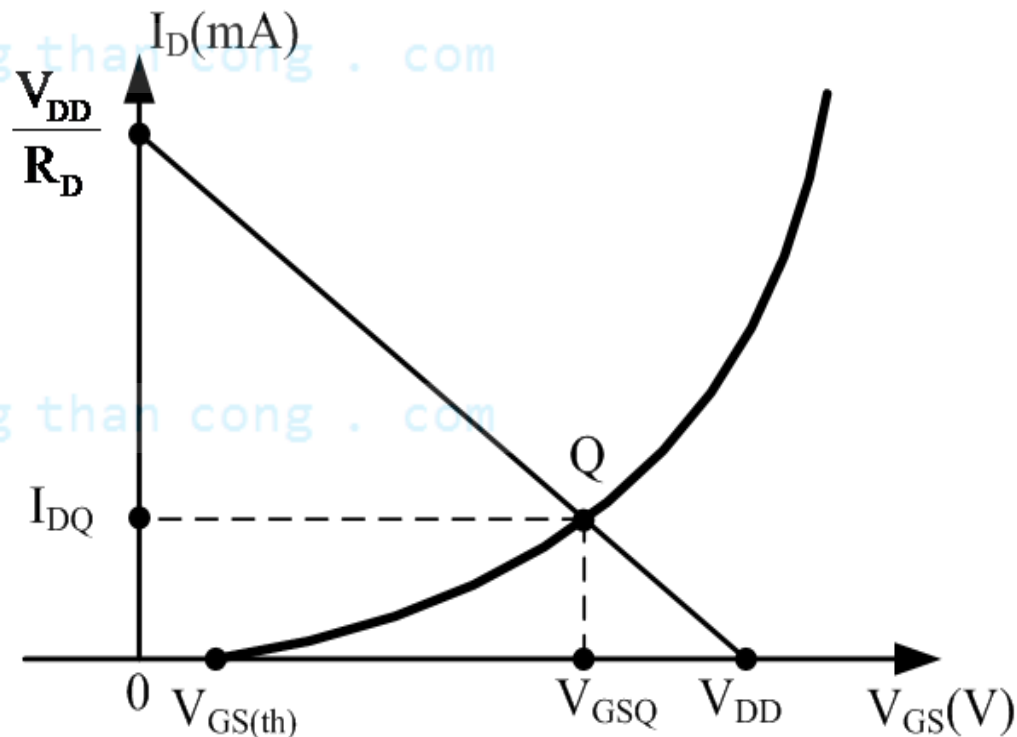
**Đường phân cực xác định bởi:**

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D \quad (1)$$

**Đặc tuyến truyền:**

$$I_{DS} = I_D = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}} \right)^2 \quad (2)$$

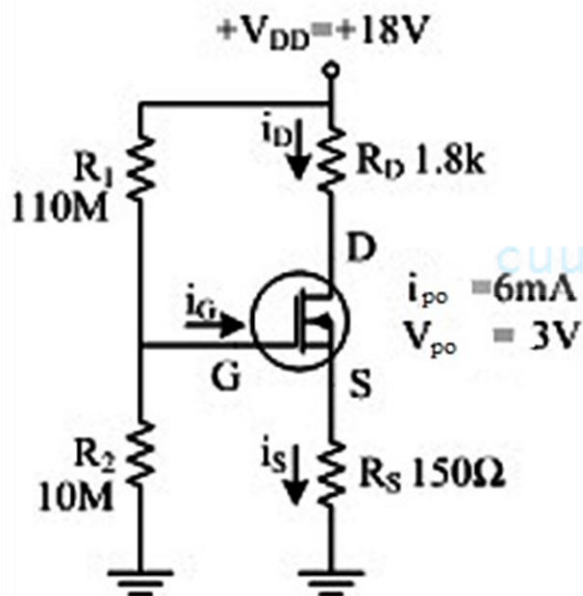
Từ (1) và (2) ta có hệ PT  
hai ẩn  $I_{DSQ}$  và  $V_{GSQ}$ .  
Giải hệ ta có điểm Q





## Ví dụ mạch phân cực MOSFET

Cho mạch như hình vẽ:  $I_{po} = 6\text{mA}$ ,  $V_{po} = 3\text{V}$ . Tìm Q?



**Giải**

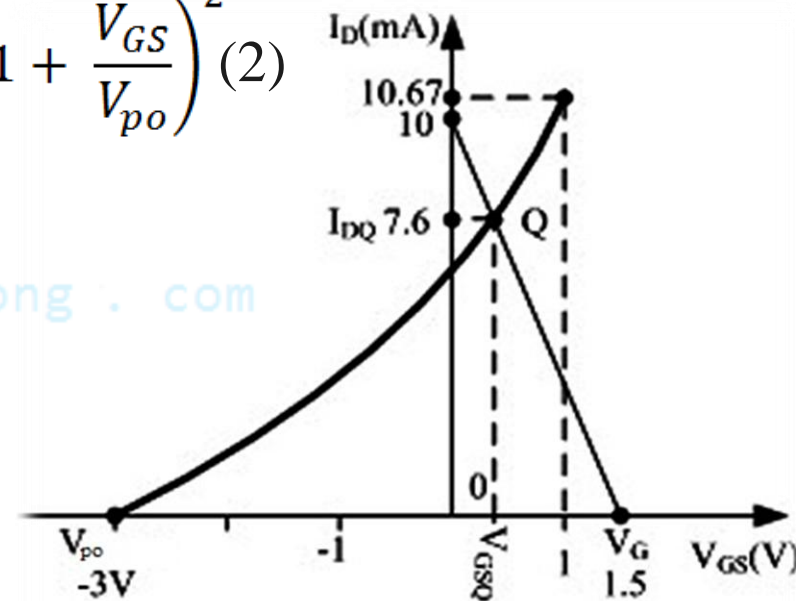
Ta có :

$$V_G = V_{DD} R_2 / (R_1 + R_2) = 1.5 \text{ V}$$

$$V_{GSQ} = V_G - R_S I_{DQ} \quad (1)$$

Mặt khác:

$$I_{DQ} = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}} \right)^2 \quad (2)$$



Từ (1) và (2) ta có :

$$0.1 (V_{GSQ})^2 + 1.6 V_{GSQ} - 0.6 = 0$$

$$V_{GSQ} = 0.366 \text{ V}$$

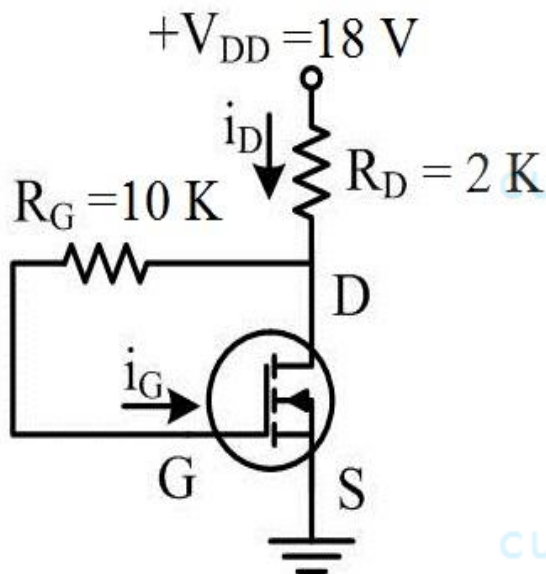
$$V_{GSQ} = -16.366 \text{ V (Loại vì } < -V_{po} \text{)}$$



## Ví dụ mạch phân cực MOSFET (tt)

Cho mạch như hình vẽ :  $I_{po} = 4\text{mA}$ ,  $V_{po} = 4\text{V}$ . Tìm Q?

**Giải**



Ta có:

$$V_{GS} = V_{DD} - R_D I_D - R_G I_G = V_{DD} - R_D I_D \quad (I_G = 0)$$
$$\Rightarrow V_{GSQ} = V_{DD} - R_D I_{DQ} \quad (1)$$

Mặt khác:

$$I_{DQ} = I_{po} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}} \right)^2 \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có :

$$0.5(V_{GSQ})^2 + 5 V_{GSQ} - 10 = 0$$

$$V_{GSQ} = 1.7 \text{ V}$$

$$V_{GSQ} = -11.7 \text{ V} \quad (\text{Loại vì } < -V_{po})$$

**Nhận xét:**  $R_G$  không ảnh hưởng đến sự phân cực do  $I_G = 0$ .

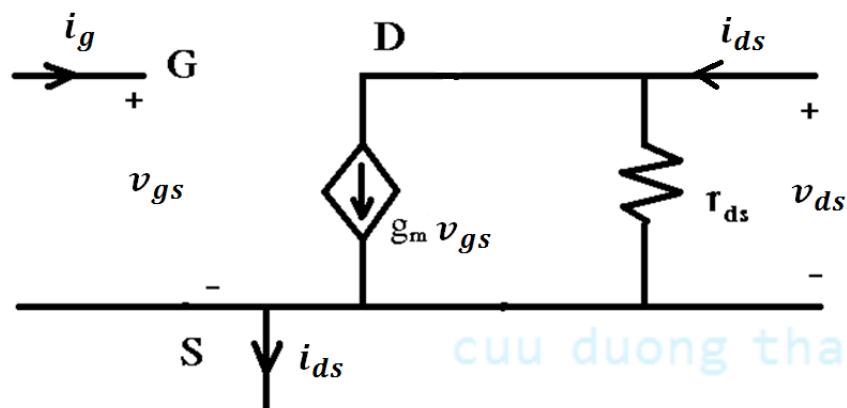


## 3.3 Mạch tín hiệu nhỏ

- Mô hình tương đương của FET: dạng S chung
  - Các thông số AC của FET
  - Mô hình nguồn dòng phụ thuộc áp
  - Mô hình nguồn áp phụ thuộc áp
- Phân tích mạch tín hiệu nhỏ (CS – CD – CG)
  - Tính toán độ lợi dòng-áp và trở kháng vào-ra
  - Kỹ thuật phản ánh trong FET: bảo toàn dòng  $i_{DS}$
  - Mô hình tương đương của mạch khuếch đại



# Mô hình tương đương của FET

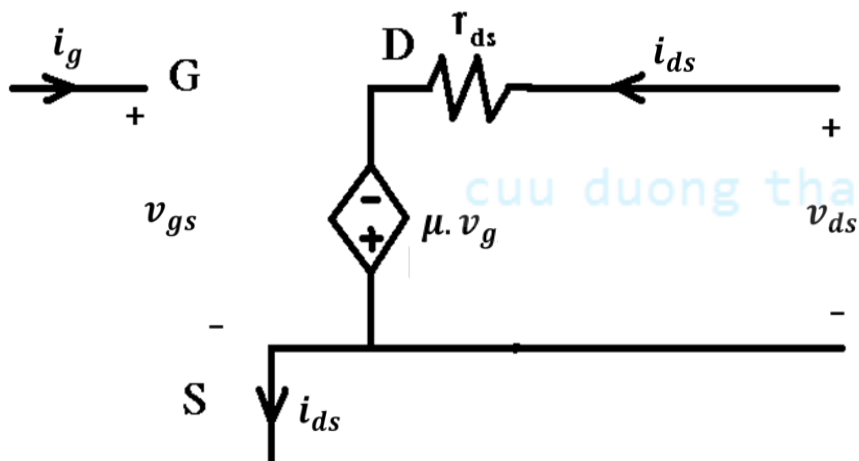


$r_{ds}$ : Tổng trở ra của FET

$$r_{ds} = \frac{\partial v_{ds}}{\partial i_{ds}}$$

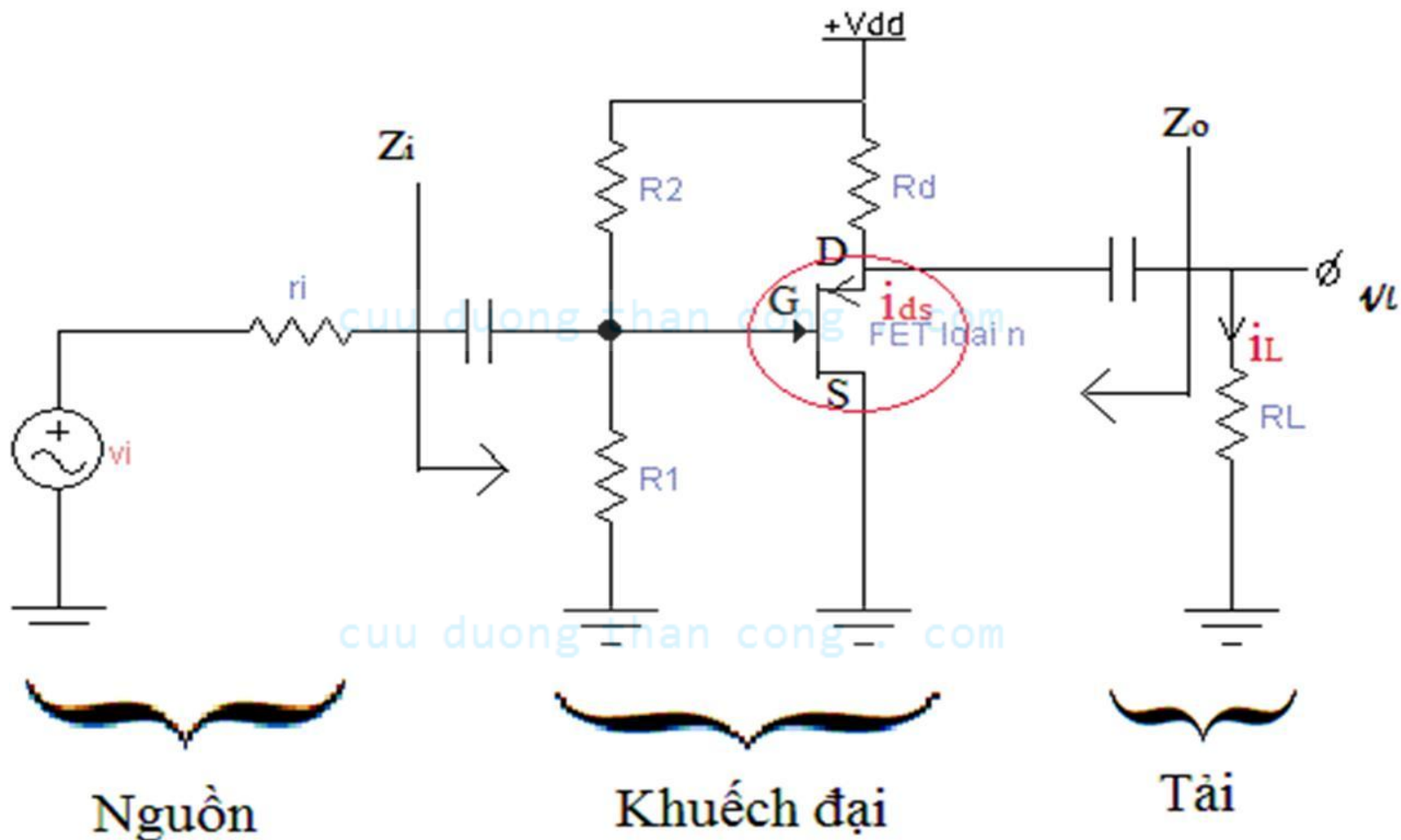
$g_m$ : Hố dẫn

$$g_m = \left. \frac{\partial i_{ds}}{\partial v_{gs}} \right|_Q = 2I_{P0} \left( 1 + \frac{V_{GSQ}}{V_{P0}} \right) \frac{1}{V_{P0}}$$

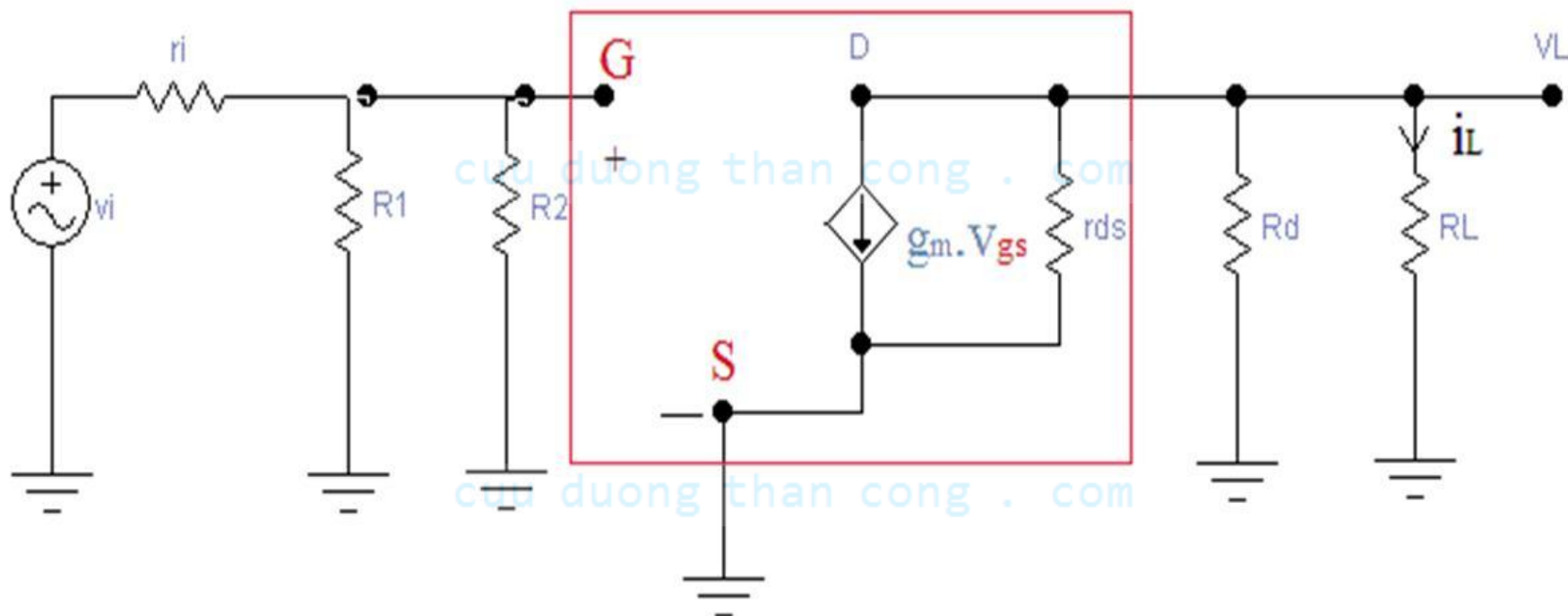


$\mu$ : Hệ số khuếch đại của FET

# Phân tích mạch CS



# Phân tích mạch CS (tt)





## Phân tích mạch CS (tt)

■ a)  $A_v = \frac{v_L}{v_i}$

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{g_m \cdot v_{gs}} \times \frac{g_m \cdot v_{gs}}{v_i}$$

$$\Rightarrow A_v = -r_{ds} \parallel R_d \parallel R_L \cdot g_m \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_i}$$





## Phân tích mạch CS (tt)

$$A_v = -r_{ds} \parallel R_d \parallel R_L \cdot g_m \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_i}$$

Thường chọn

$r_{ds}$ : 50k~100k (chọn 50k)

$R_d$ : khoảng 5k~10k

$R_L < \approx R_d$  (chọn  $R_L = 3k$ )

chọn  $R_1$  và  $R_2$  phải lớn và  $r_i$  phải nhỏ  $\Rightarrow \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_i} \approx 1$

$g_m \approx 2 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$

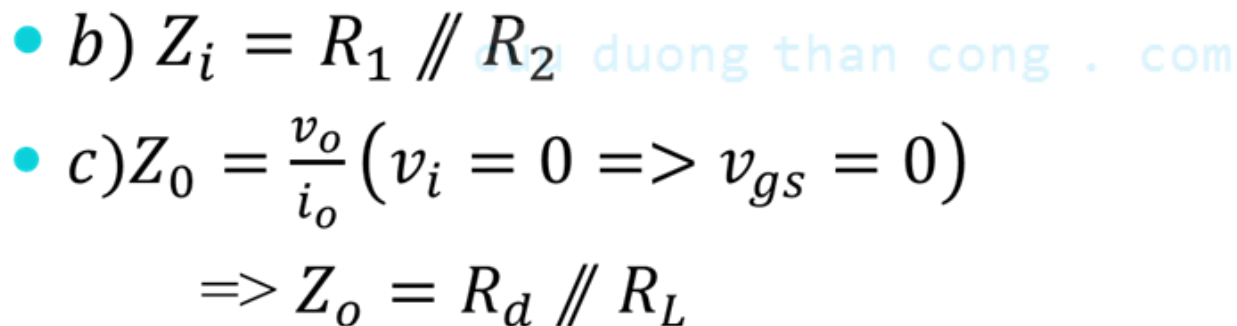
$$A_v \approx -3$$

**Nhận xét:**

$$A_v < 0.$$

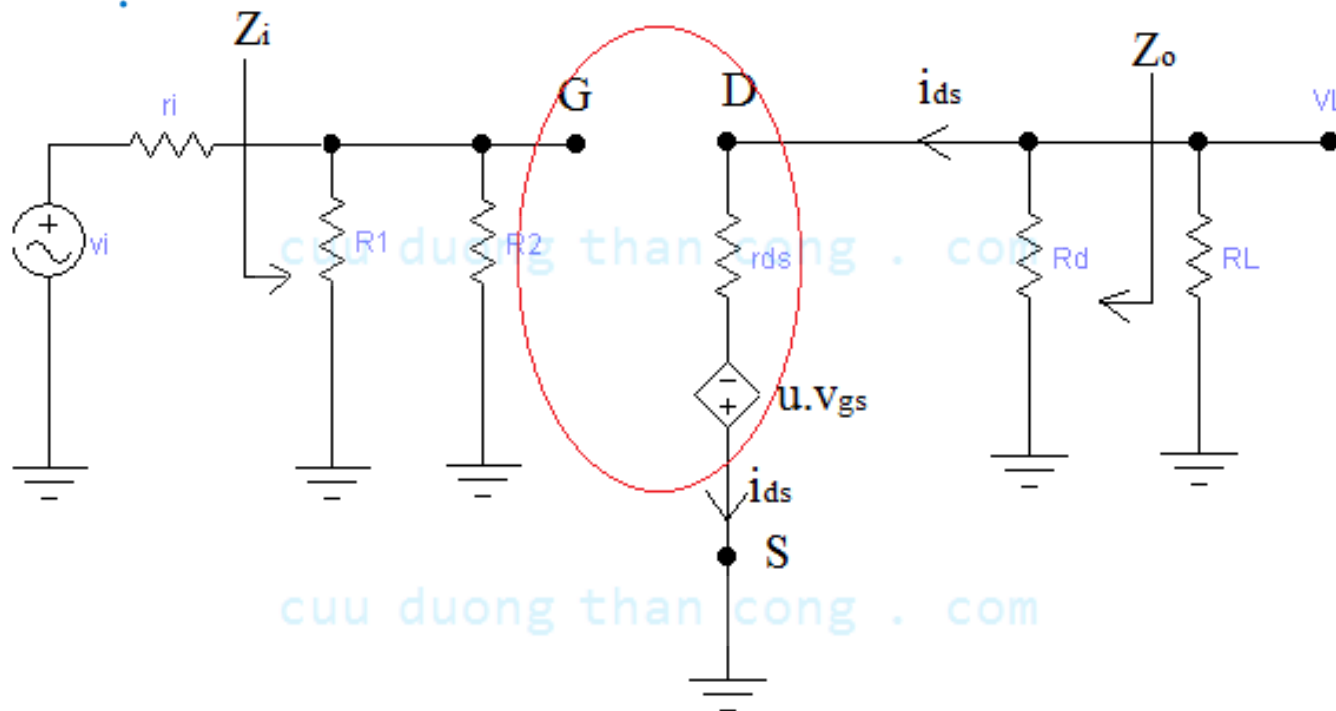
$$|A_v| > 1.$$

**$\Rightarrow$  Vậy tín hiệu ra được khuếch đại và bị đảo pha**



## Phân tích mạch CS (tt)

✖ Nếu ta chuyển đổi *nguồn dòng phụ thuộc* thành *nguồn áp phụ thuộc* thì:



Với  $\mu = g_m \cdot r_{ds}$



# Phân tích mạch CS (tt)

- $$a) A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{\mu v_{gs}} \cdot \frac{\mu v_{gs}}{v_i} = - \frac{R_d // R_L}{r_{ds} + (R_d // R_L)} \cdot \mu \cdot \frac{R_1 // R_2}{r_i + (R_1 // R_2)}$$

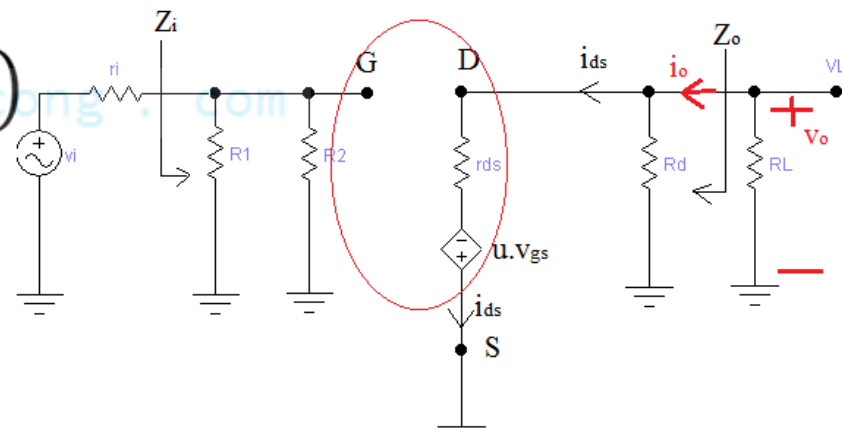
$$= -r_{ds} // R_d // R_L \cdot g_m \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + r_i}$$

- $$b) Z_i = R_1 // R_2$$

- $$c) Z_o = \frac{v_o}{i_o} (v_i = 0 \Rightarrow v_{gs} = 0)$$

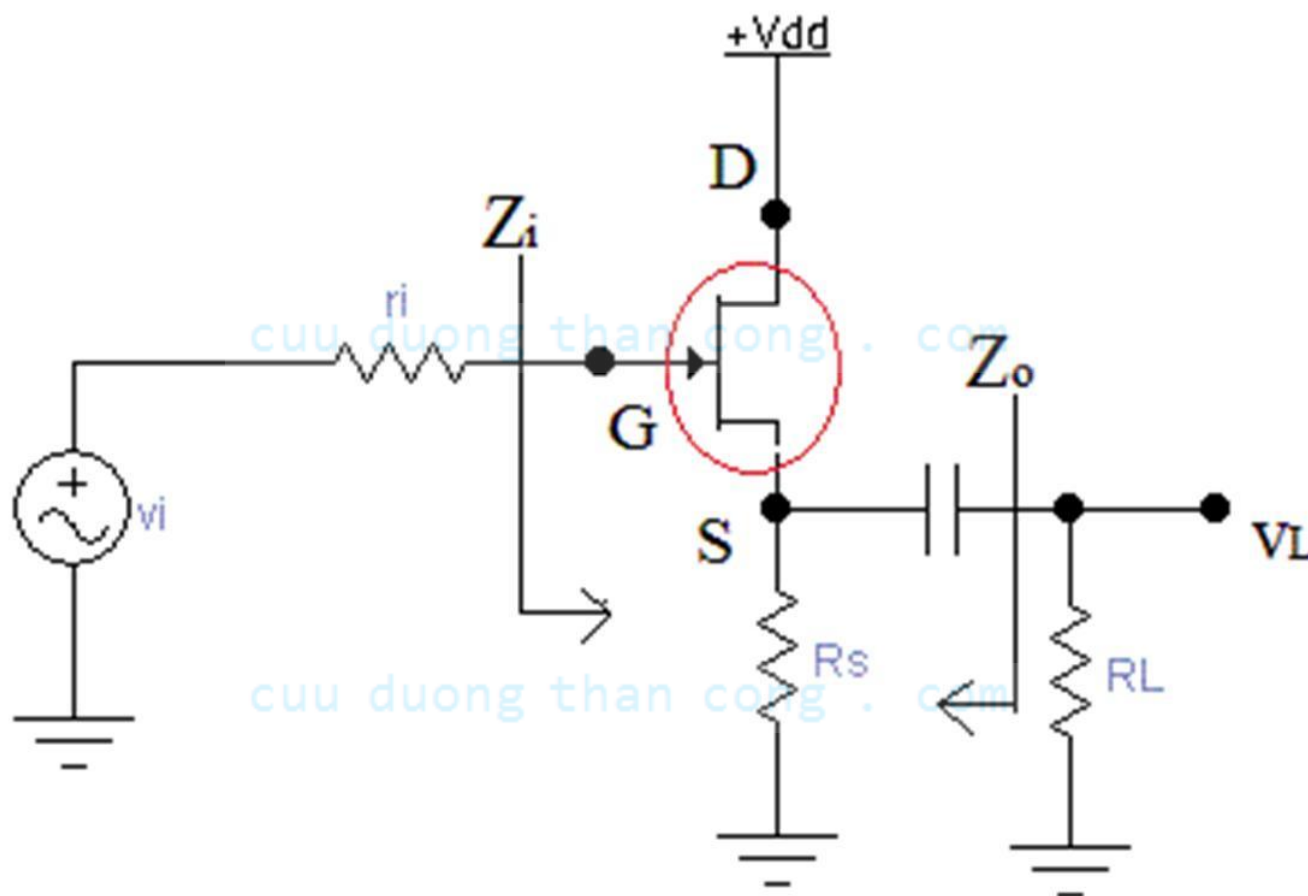
$$\Rightarrow Z_o = R_d // R_L$$

Kết quả tương tự như trên.

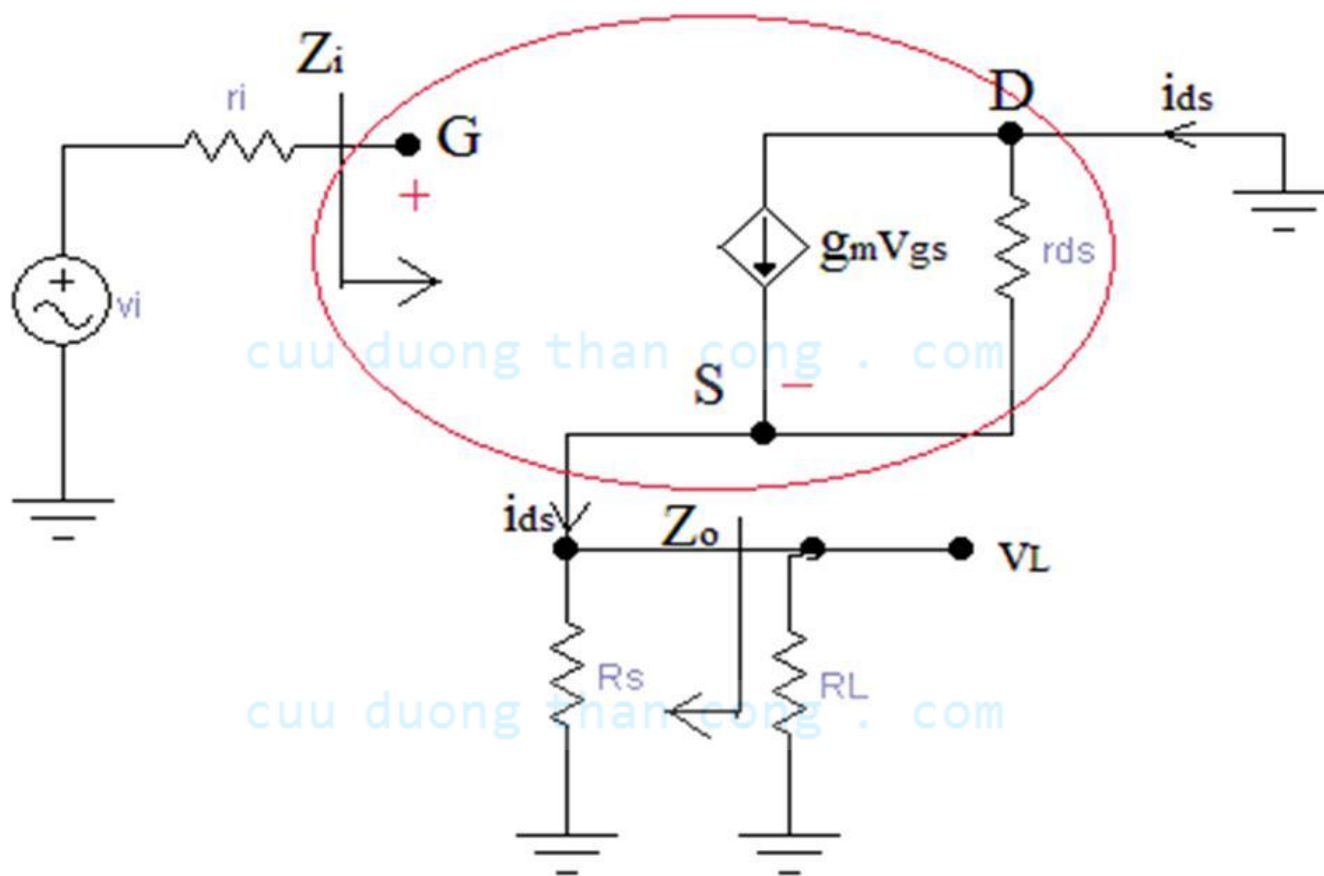




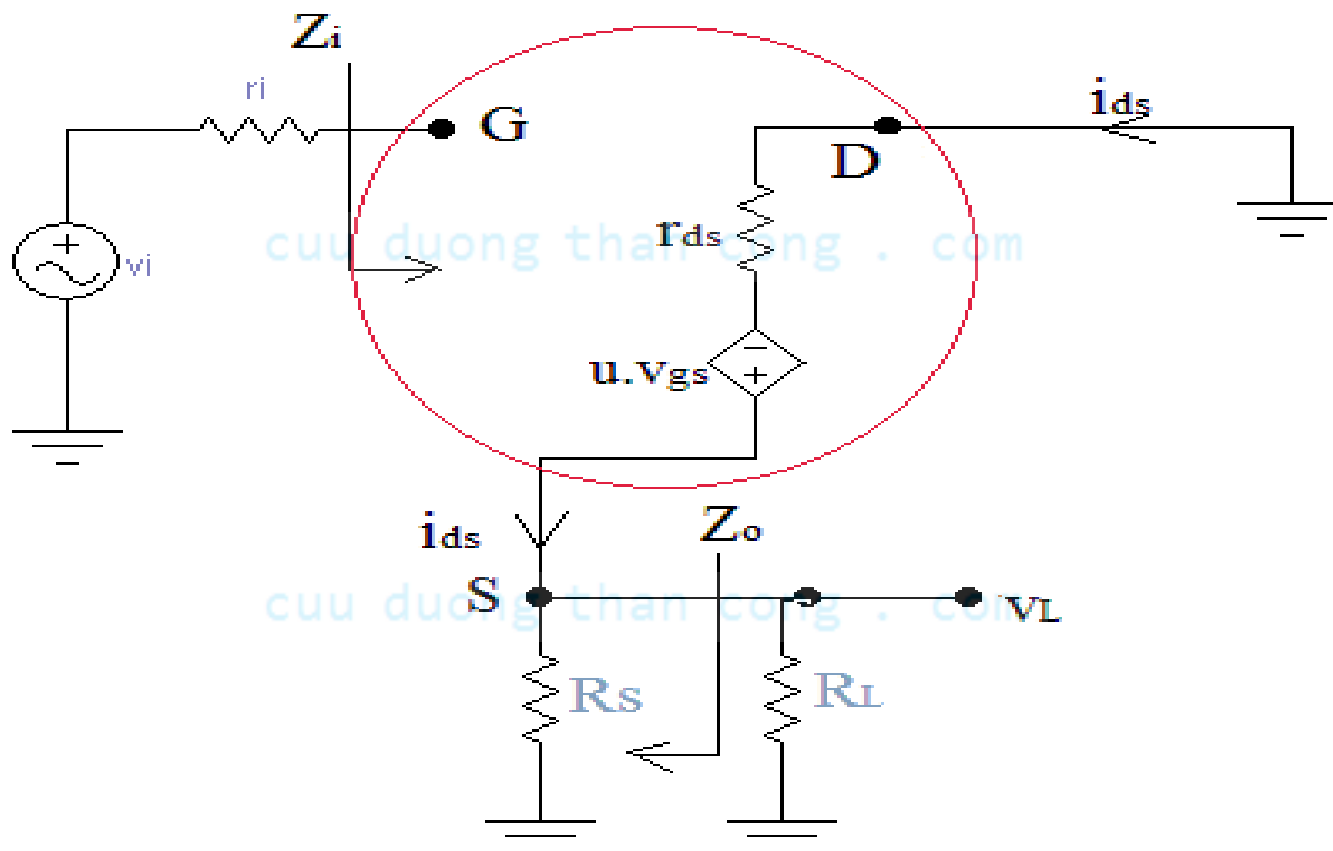
# Phân tích mạch CD



# Phân tích mạch CD (tt)



# Phân tích mạch CD (tt)





## Phân tích mạch CD (tt)

$$a) A_v = \frac{v_L}{v_i}$$

$$\mu = g_m \cdot r_{ds} \quad \text{cuu duong than cong . com}$$

$$\mu \cdot v_{gs} = r_{ds} i_{ds} + R_s \parallel R_L \cdot i_{ds}$$

$$\Rightarrow i_{ds} = \frac{\mu \cdot v_{gs}}{r_{ds} + R_s \parallel R_L} \quad (1)$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_{ds}} \cdot \frac{i_{ds}}{v_{gs}} \cdot \frac{v_{gs}}{v_i} \quad \text{cuu duong than cong . com}$$

**Nhận xét:**  $A_v$  sẽ tìm được nếu tìm được tỉ lệ  $\frac{v_{gs}}{v_i}$





## Phân tích mạch CD (tt)

- Để làm hơn: tìm  $\frac{v_g}{v_i}$
- Như vậy ta sẽ chuyển  $v_{gs}$  thành  $v_g$

Ta có:

cuu duong than cong . com

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_g - R_s \parallel R_L \cdot i_{ds}$$

$$\text{Thay vào (1): } \Rightarrow i_{ds} = \frac{\mu \cdot v_g - \mu \cdot (R_s \parallel R_L) \cdot i_{ds}}{r_{ds} + R_s \parallel R_L}$$

$$\Rightarrow i_{ds} \cdot (r_{ds} + R_s \parallel R_L) = \mu \cdot v_g - \mu \cdot (R_s \parallel R_L) \cdot i_{ds}$$

$$\Rightarrow i_{ds} = \frac{\mu \cdot v_g}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_s \parallel R_L)}$$



## Phân tích mạch CD (tt)

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_{ds}} \cdot \frac{i_{ds}}{v_g} \cdot \frac{v_g}{v_i} = \\ = R_S \parallel R_L \cdot \frac{\mu}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_S \parallel R_L)}$$

- b)  $Z_i = \infty$

- c)  $Z_o = \frac{v_o}{i_o} (v_{gs} = -v_s = -v_o)$

Áp dụng KVL: Ta có:  $-v_o + \left(i_o - \frac{v_o}{R_S}\right)r_{ds} - v_o = 0$

$$\Rightarrow i_o = \left(1 + \mu + \frac{r_{ds}}{R_S}\right)v_o \Rightarrow \frac{v_o}{i_o} = \frac{r_{ds}R_S}{(1 + \mu) \cdot R_S + r_{ds}}$$

$$\Rightarrow Z_o = \frac{r_{ds}/(\mu+1) \times R_S}{\frac{r_{ds}}{\mu+1} + R_S} = R_S \parallel \frac{r_{ds}}{\mu+1}$$



## Phân tích mạch CD (tt)

$$A_v = R_s \parallel R_L \cdot \frac{\mu}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_s \parallel R_L)}$$

Thường chọn

$r_{ds}$  : khoảng 50k~100k (chọn 50k)

$R_L \approx R_S$  (chọn 3k)  $\Rightarrow R_s \parallel R_L = 1.5k$

$g_m \approx 2 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \Rightarrow \mu = g_m \cdot r_{ds} = 100$

$$\Rightarrow A_v \approx 0.8$$

**Nhận xét:**

- $A_v > 0$ .
- $|A_v| \approx 1$ .

$\Rightarrow$  mạch CD dùng làm mạch đệm, để cách ly áp giữa các tầng



# Kỹ thuật phản ánh trong FET

- Ta xét lại ví dụ ở mạch CD, từ phương trình của  $i_{ds}$ :

$$i_{ds} = \frac{\mu \cdot V_{gs}}{r_{ds} + 1 \cdot R_s // R_L} \quad (1)$$

Nhận thấy ta có thể tính dễ dàng hơn bằng cách chuyển  $V_{gs}$  thành  $V_g$ :

$$i_{ds} = \frac{\mu \cdot V_g}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_s // R_L)} \quad (2)$$

⇒ Cùng với một dòng  $i_{ds}$  nhưng được biểu diễn theo 2 điện áp khác nhau.

⇒ Ta có thể chuyển đổi qua lại 1 cách nhanh gọn giữa (1) và (2) không phải dùng KVL như trước bằng “**kỹ thuật phản ánh trong FET**” với nguyên lý **bảo toàn dòng** ( $i_{ds}$ ).

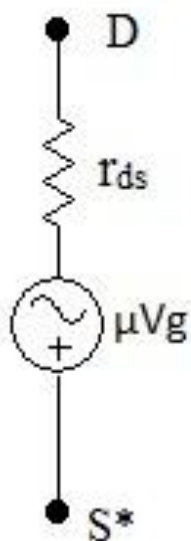


## Kỹ thuật phản ánh trong FET (tt)

Từ những chỗ khác nhau giữa (1) và (2) ta đưa ra nguyên tắc phản ánh như sau:

### \* Phản ánh về D (S giả):

+ Mạch D  $\rightarrow$  S\*



+ Cực D: giữ nguyên

+ Cực S\*:

Trở kháng:  $\times (\mu + 1)$

Nguồn áp :  $\times (\mu + 1)$

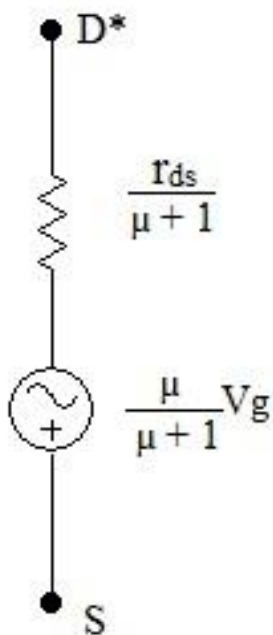
Nguồn dòng giữ nguyên



## Kỹ thuật phản ánh trong FET (tt)

### \* Phản ánh về S (D giả):

+ Mạch  $D^* \rightarrow S$ :



+ Cực S: giữ nguyên

+ Cực  $D^*$ :

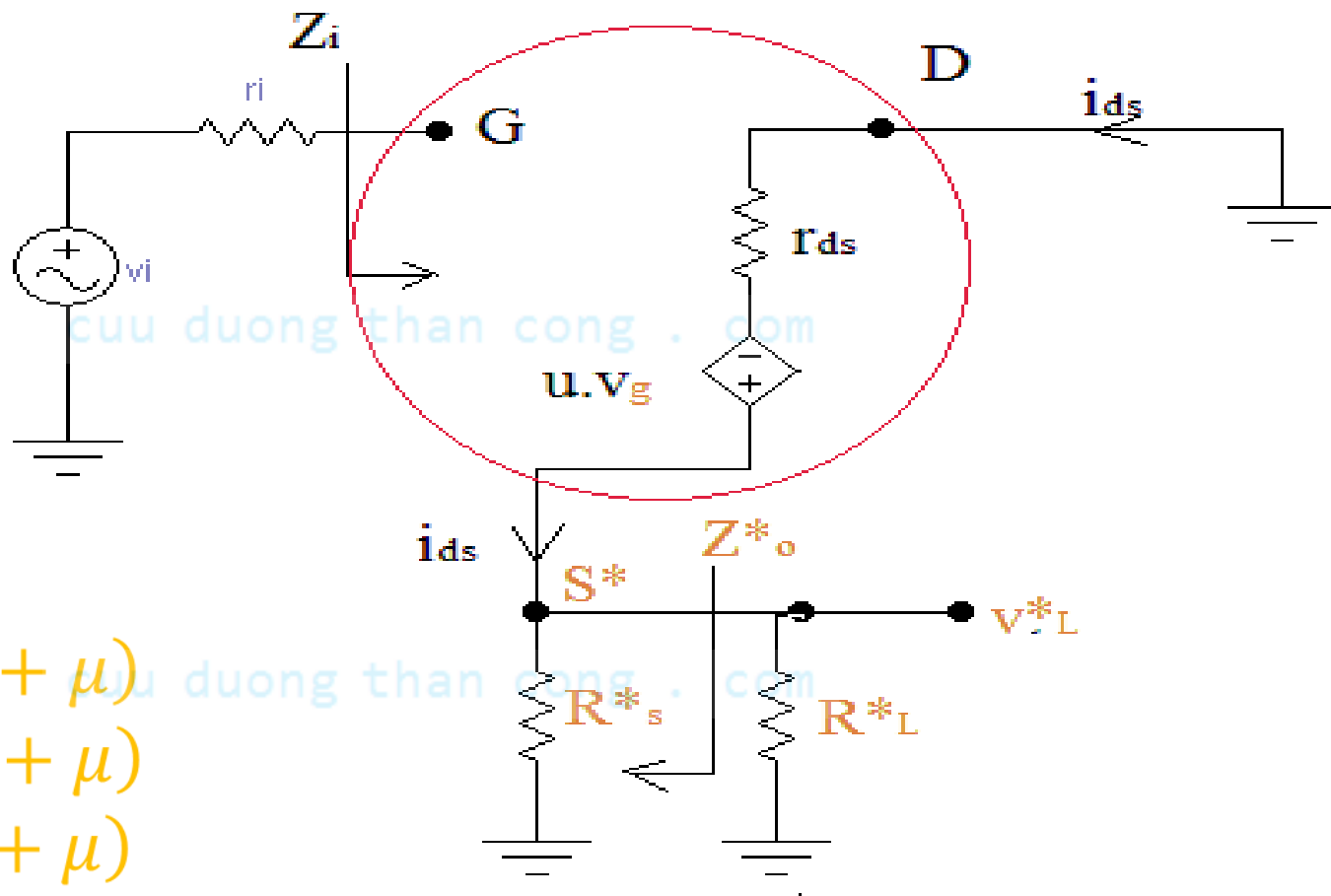
Trở kháng:  $/( \mu + 1 )$

Nguồn áp :  $/( \mu + 1 )$

Nguồn dòng giữ nguyên



# Phân tích mạch CD dùng phản ánh



$$R_s^* = R_s(1 + \mu)$$

$$R_L^* = R_L(1 + \mu)$$

$$v_L^* = v_L(1 + \mu)$$



## Phân tích mạch CD dùng phản ánh (tt)

■ Nhìn vào sơ đồ ta có:

$$\bullet a) A_v^* = \frac{v_L^*}{v_i} = \frac{v_L^* i_{ds}}{i_{ds} v_g} \frac{v_g}{v_i} = \frac{R_L^* // R_S^*}{r_{ds} + R_L^* // R_S^*} \mu = \frac{(R_S // R_L)(1 + \mu)}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_S // R_L)} \mu$$

$$A_v = \frac{A_v^*}{(1 + \mu)} = R_S // R_L \cdot \frac{\mu}{r_{ds} + (1 + \mu) \cdot (R_S // R_L)}$$

• b) Tính  $Z_0$  chỉ cần bỏ nguồn độc lập:

$$v_i = 0 \rightarrow v_g = 0$$

$$Z_i = \infty$$





## Phân tích mạch CD dùng phản ánh (tt)

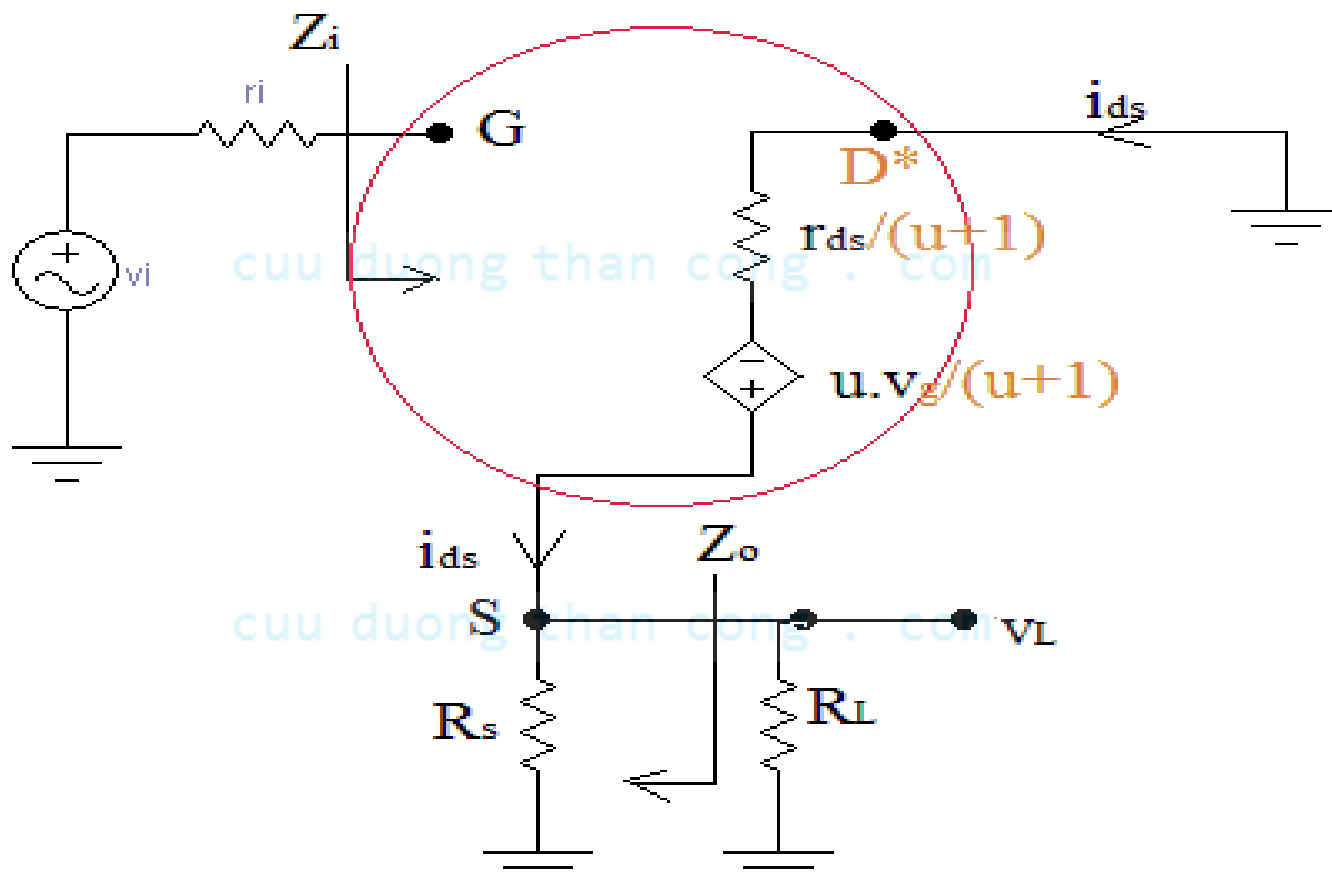
- c) Vì  $Z_o$  nằm trong vùng phản ánh nên:

$$Z_o^* = R_s^* \parallel r_{ds}$$
$$\Rightarrow Z_o = \frac{Z_o^*}{(1 + \mu)} = R_s \parallel \frac{r_{ds}}{\mu + 1}$$

$\Rightarrow$  Giống với kết quả ở trên!



## Phân tích mạch CD dùng phản ánh (tt)





## Phân tích mạch CD dùng phản ánh (tt)

Nhìn vào sơ đồ ta có:

$$\begin{aligned} a) A_v &= \frac{\frac{v_L}{v_g} \cdot \frac{\mu \frac{v_g}{(1+\mu)}}{v_i}}{\mu \frac{v_g}{(1+\mu)}} \\ &= \frac{R_L // R_S}{\frac{r_{ds}}{(1+\mu)} + R_L // R_S} \cdot \frac{\mu}{(1+\mu)} \end{aligned}$$

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

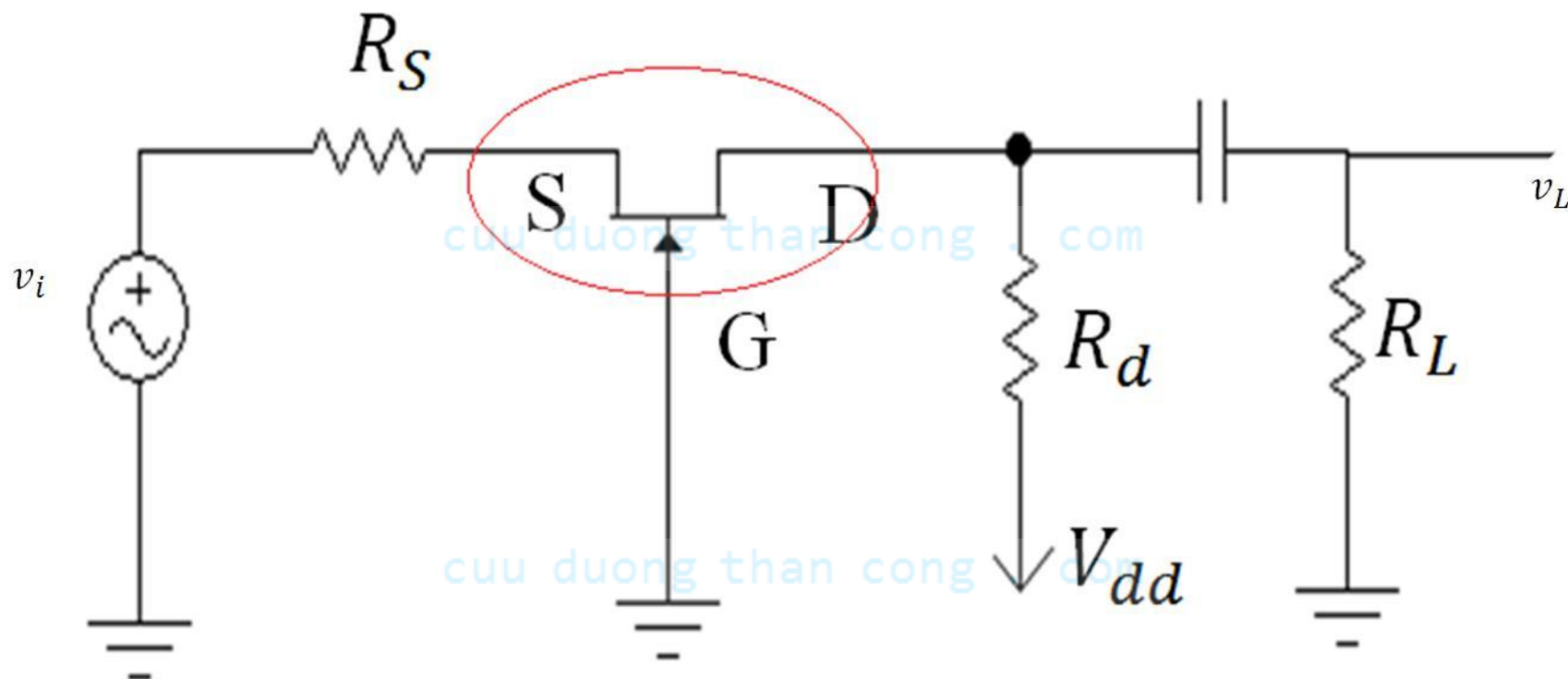
$$b) Z_i = \infty$$

$$c) Z_o = R_S // \frac{r_{ds}}{\mu+1}$$

⇒ Giống với kết quả ở trên!

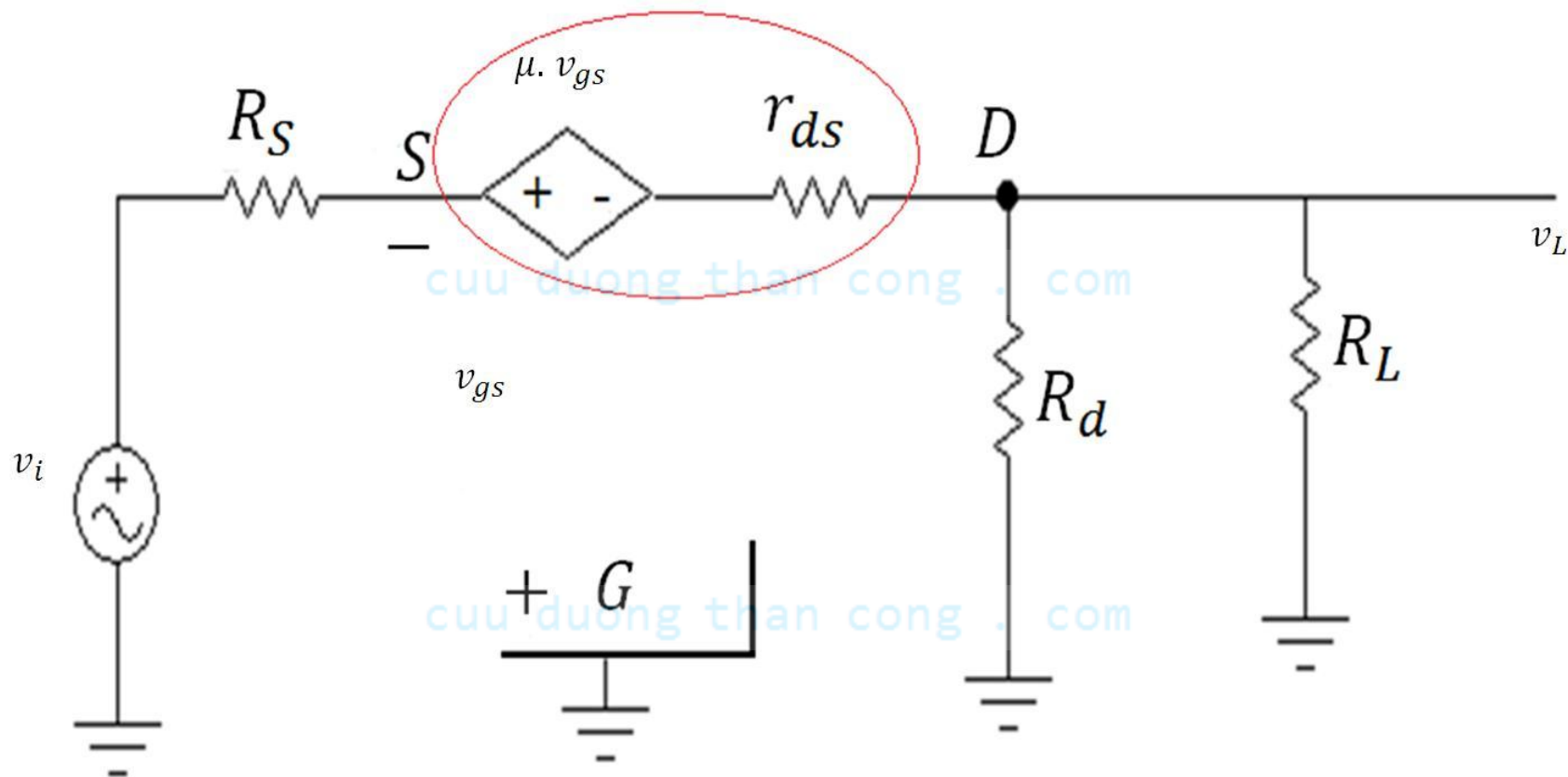


# Phân tích mạch CG



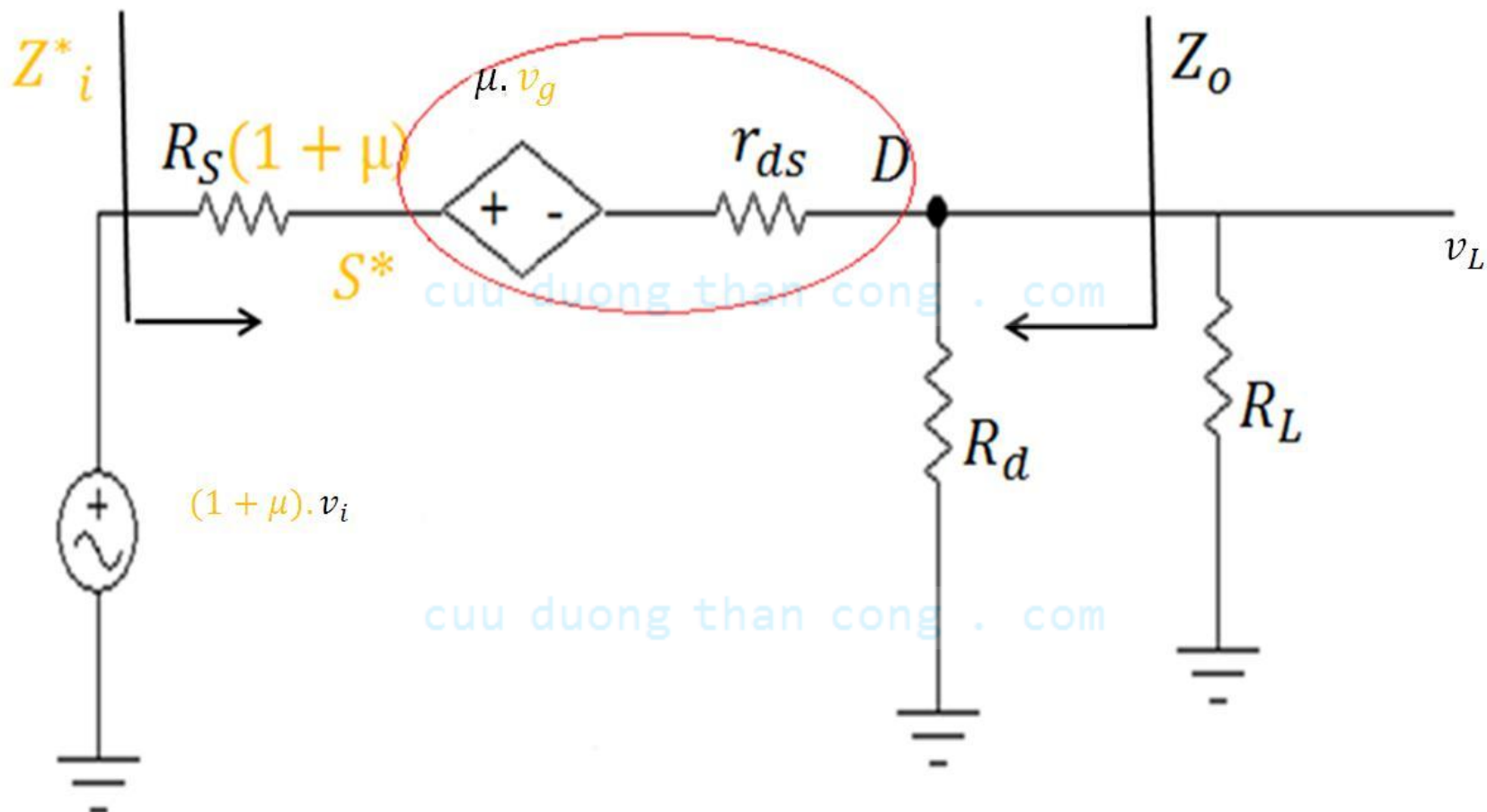


## Phân tích mạch CG (tt)





# Phân tích mạch CG dùng phản ánh





## Phân tích mạch CG dùng phản ánh (tt)

$$v_g = 0 \Rightarrow \mu v_g = 0$$

Nhìn vào mạch ta có:

$$a) A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_i(1+\mu)}(1+\mu) = \frac{R_d // R_L}{R_S(1+\mu) + r_{ds} + R_d // R_L}(1+\mu)$$

b) Do  $Z_i$  nằm trong vùng phản ánh nên:

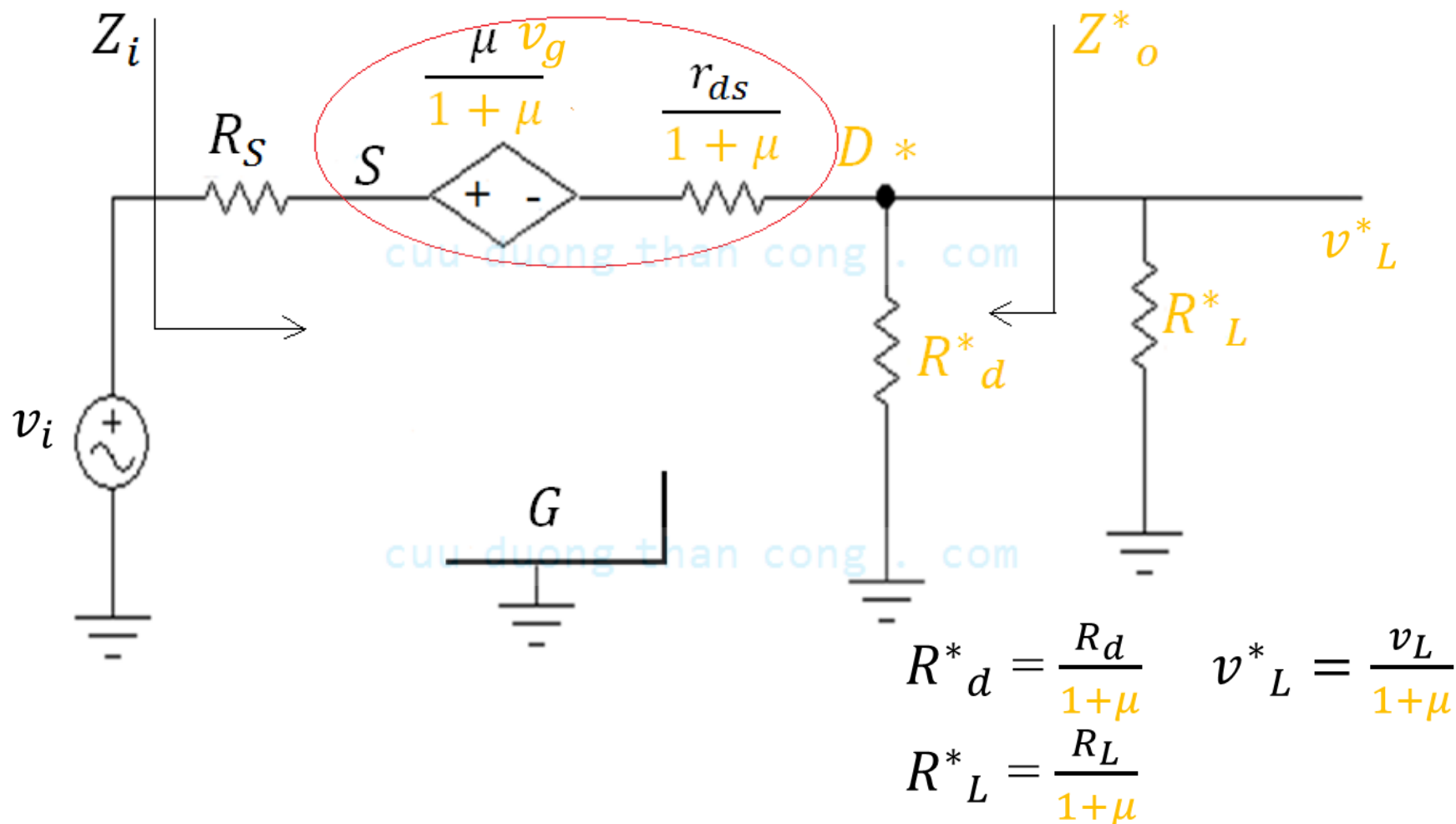
$$Z_i^* = R_S(1+\mu) + r_{ds} + R_d // R_L$$

$$Z_i = \frac{Z_i^*}{1+\mu} = R_S + \frac{r_{ds}}{1+\mu} + \frac{R_d // R_L}{1+\mu}$$

$$c) Z_0 = R_d // [r_{ds} + R_S(1+\mu)]$$



# Phân tích mạch CG dùng phản ánh (tt)







## Phân tích mạch CG dùng phản ánh (tt)

cuu duong than cong . com

Nhìn vào mạch ta có:

$$\begin{aligned} \text{a) } A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{(1+\mu)v_i}(1+\mu) = \frac{R_d^* // R_L^*}{R_S + \frac{r_{ds}}{1+\mu} + R_d^* // R_L^*}(1+\mu) \\ &= \frac{R_d // R_L}{R_S(1+\mu) + r_{ds} + R_d // R_L}(1+\mu) \end{aligned}$$

cuu duong than cong . com

$$\text{b) } Z_i = R_S + \frac{r_{ds}}{1+\mu} + R_d^* // R_L^* = R_S + \frac{r_{ds}}{1+\mu} + \frac{R_d // R_L}{1+\mu}$$



cuu duong than cong . com

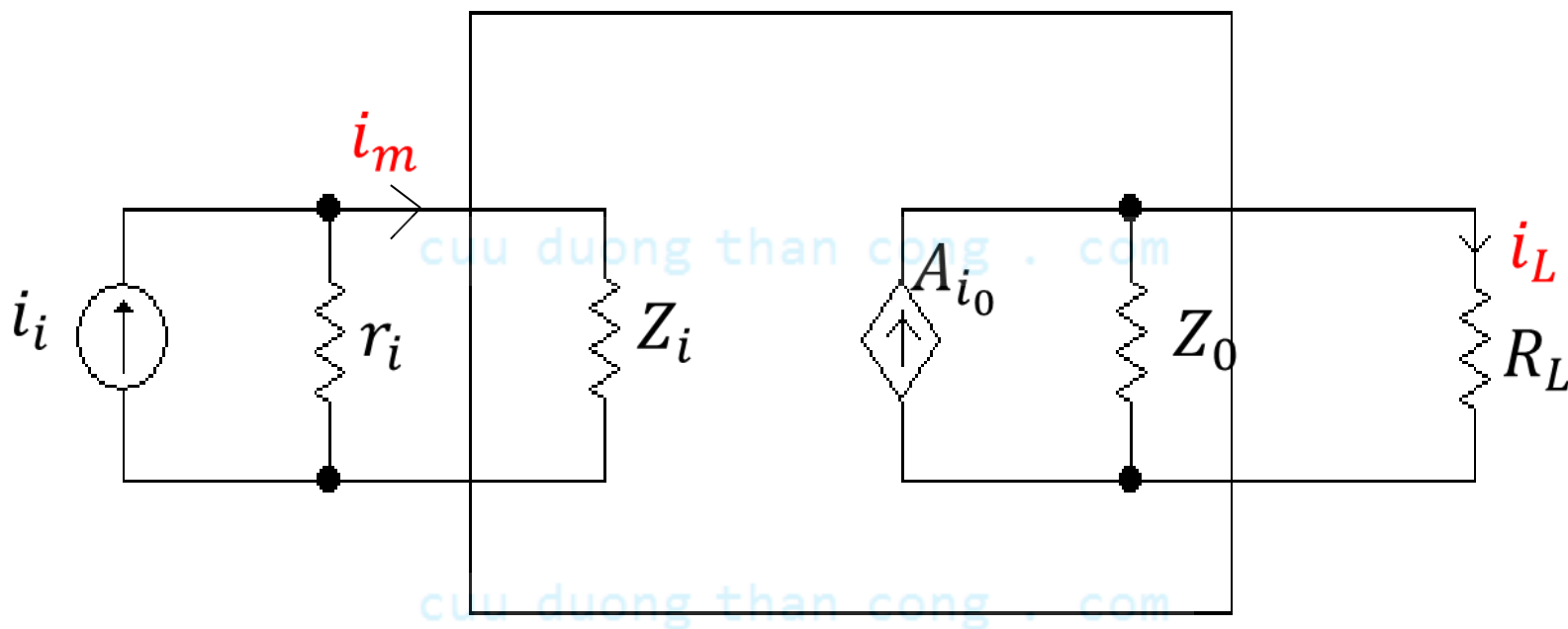
c) Do  $Z_o$  nằm trong vùng phản ánh nên:

$$Z_o^* = R_d^* // [R_S + \frac{r_{ds}}{1+\mu}] = \frac{R_d}{1+\mu} // [\frac{R_S(1+\mu) + r_{ds}}{1+\mu}]$$

$$Z_o = Z_o^*(1 + \mu) = R_d // [r_{ds} + R_S(1 + \mu)]$$

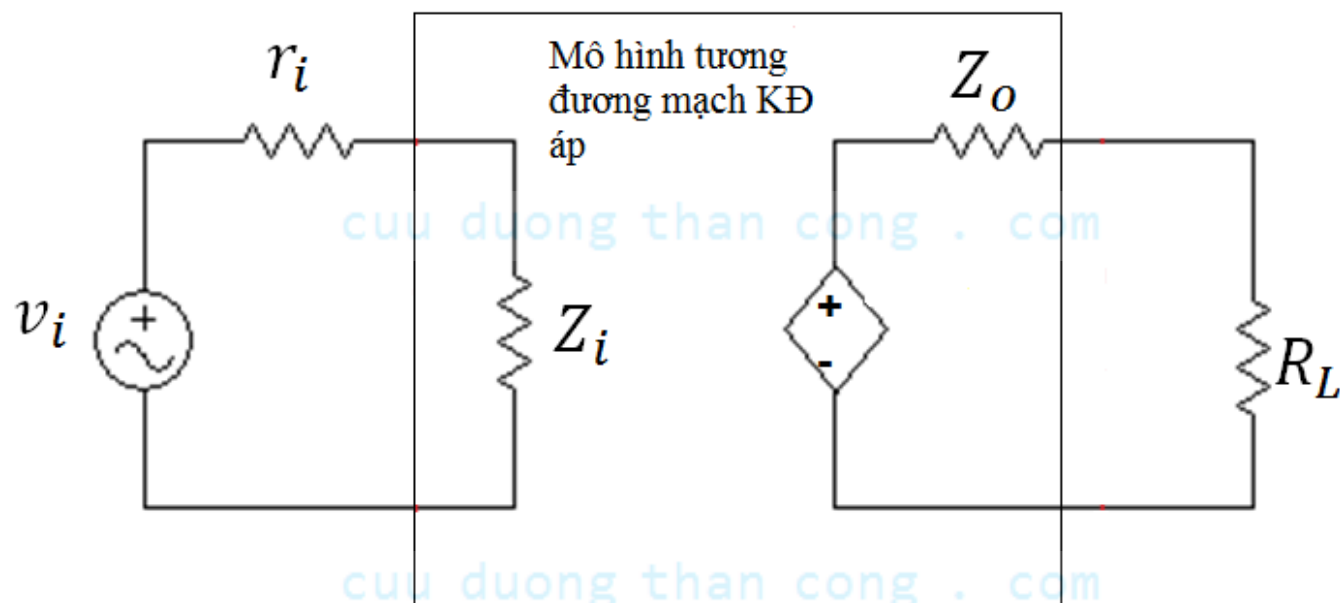
*Giống với kết quả ở trên!*

# Mô hình tương đương của MKĐ dòng



$$i_L = A_{i_0} \cdot i_m \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + R_L} = A_{i_0} \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + R_L} \cdot \frac{r_i}{r_i + Z_i} \cdot i_i$$

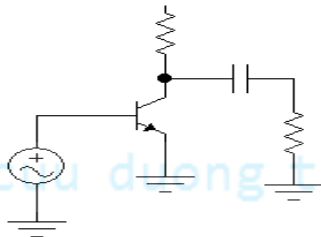
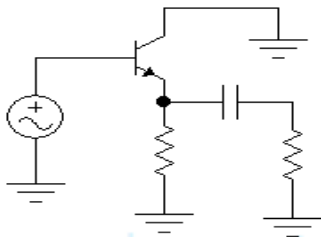
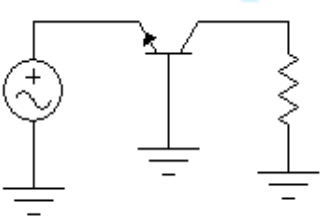
# Mô hình tương đương của MKĐ áp



$$v_L = \frac{R_L}{R_L + Z_o} \cdot A_{v0} v_{in} = A_{v0} \cdot \frac{R_L}{R_L + Z_o} \cdot \frac{Z_i}{Z_i + r_i} \cdot v_i$$



# So sánh MKĐ dùng BJT và FET

Cách ghép	Sơ đồ mạch	$A_v$	$A_i$	$Z_i$	$Z_o$
CS vs CE		$< 0$	$< 0$		
CD vs CC		$> 0$ $\approx 1$	$> 0$		
CG vs CB		$> 0$	$> 0$		



# TÓM TẮT

---

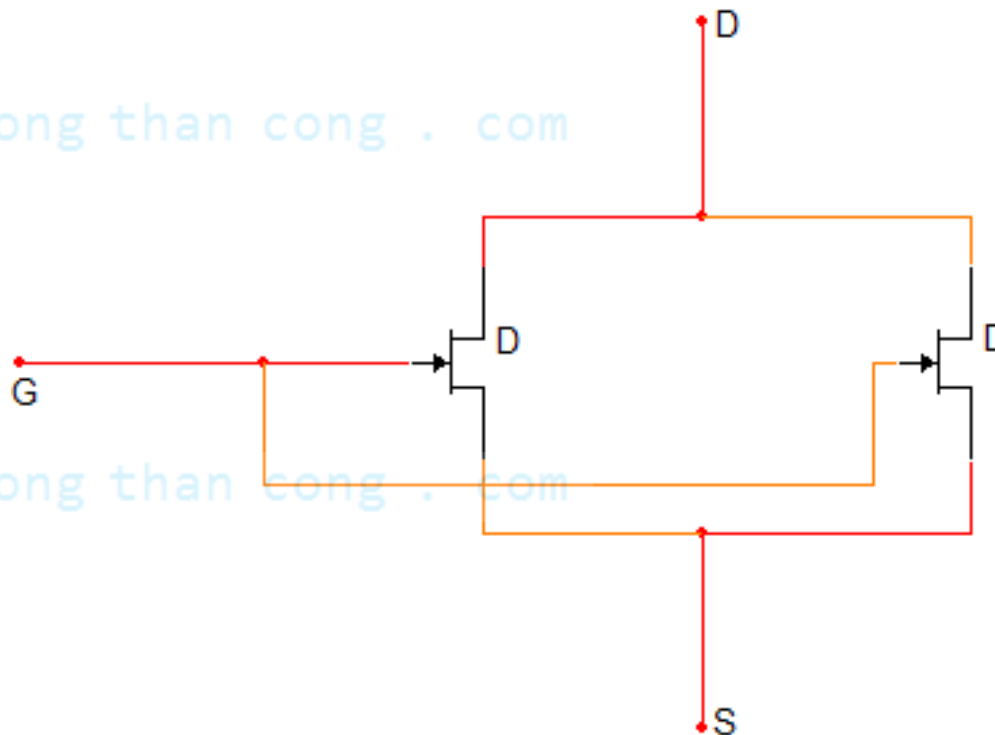
- Nguyên lý hoạt động
- Mạch phân cực (DC)
- Mạch tín hiệu nhỏ (AC)



# BÀI TẬP 1

Hai IGFET được nối với nhau song song như trong hình B9.3. Nếu kết quả cho thấy thiết bị 3 đầu cuối này là JGFET thì hãy tìm  $g_m$ . Ứng với mỗi IGFET ta có:

$$i_D = (5 \cdot 10^{-3}) \left(1 + \frac{v_{GS}}{5}\right)^2$$





# BÀI TẬP 2

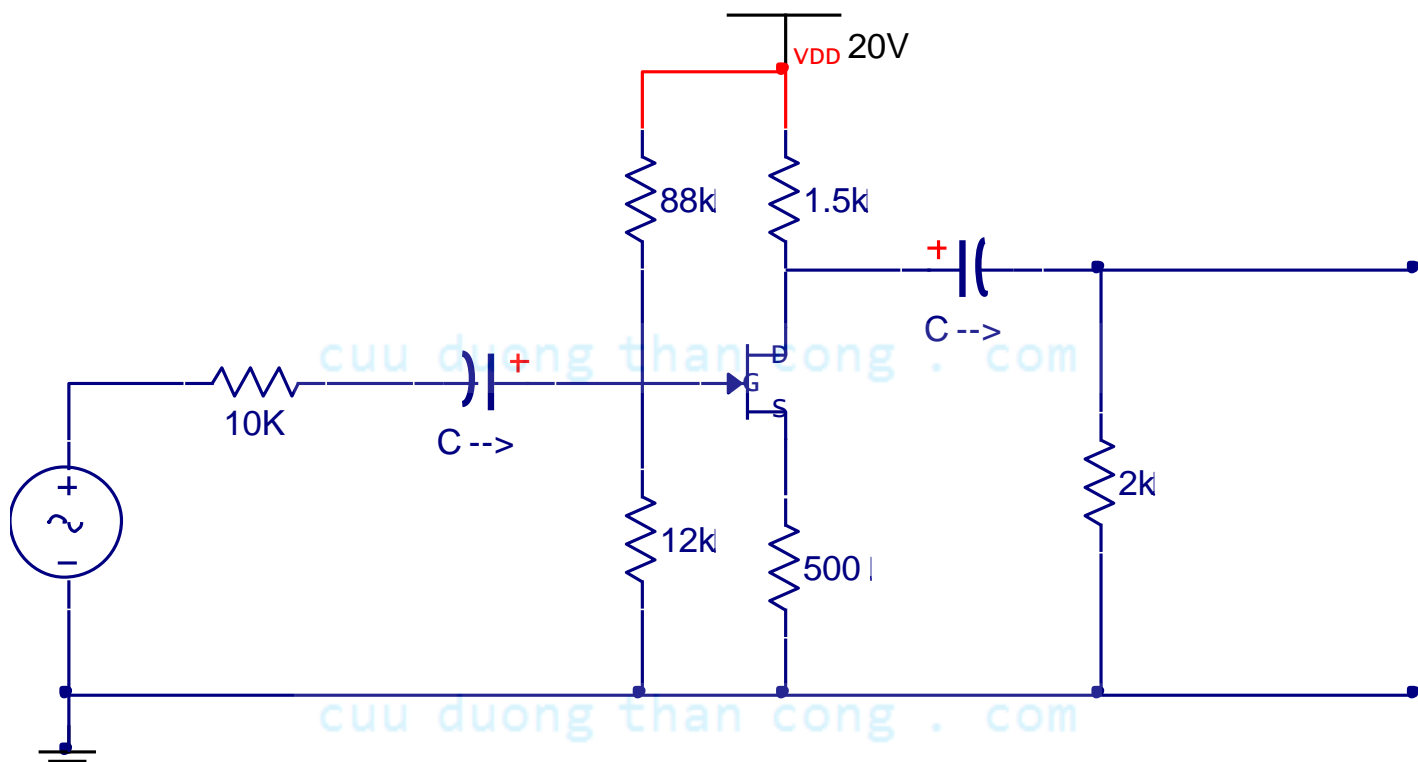
**IGFET 2N3796 được sử dụng như là một bộ khuếch đại.  
Điểm tĩnh được xác định tại  $V_{GSQ} = 3V$  và  $V_{DSQ} = 10V$ .  
Tính  $\mu$ ,  $r_{ds}$  và  $g_m$**

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com



# BÀI TẬP 3



- Tìm điểm hoạt động Q khi sử dụng 2N3796
- Tính  $\mu$ ,  $r_{ds}$ ,  $g_m$
- Tính độ lợi  $v_L/v_i$



# BÀI TẬP 4

---

Thiết kế một mạch khuếch đại có độ lợi là 10.

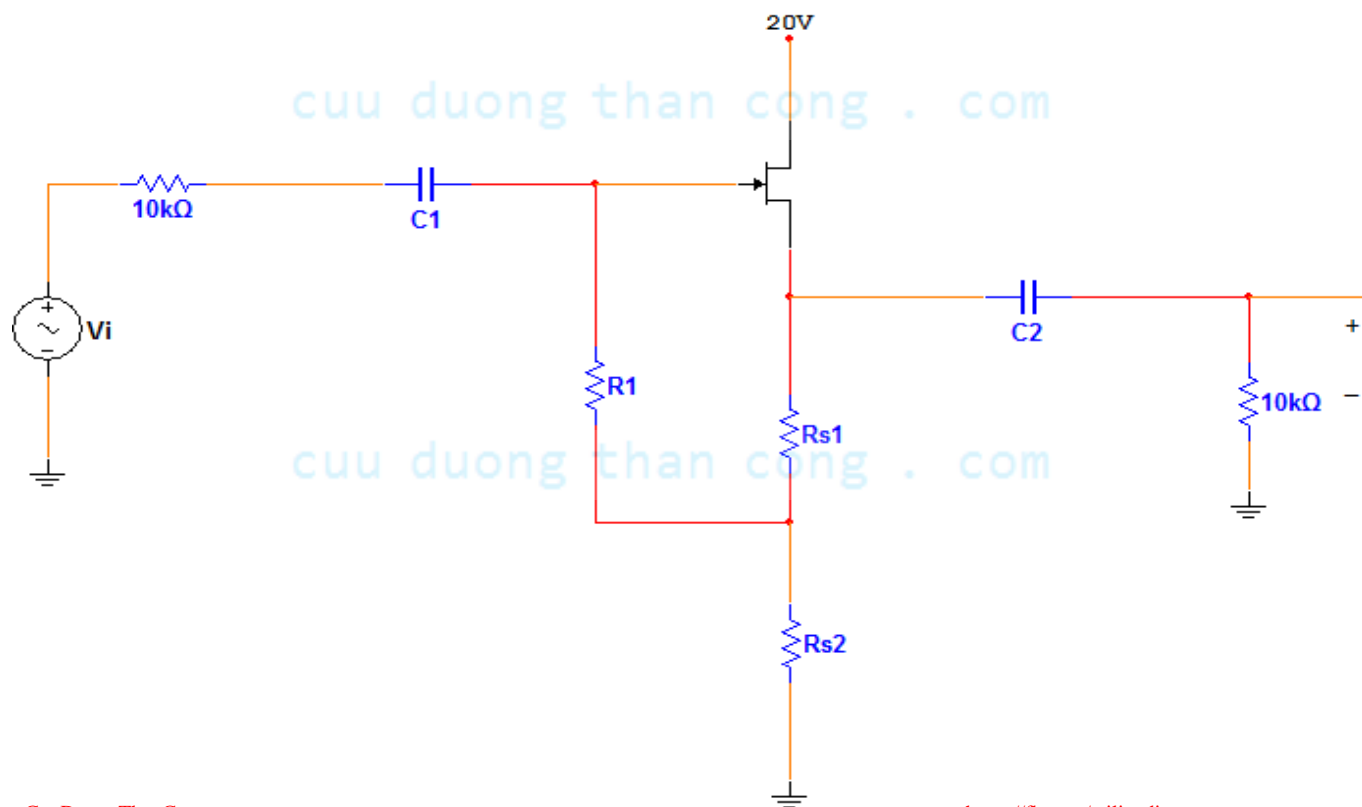
Điện áp cung cấp là 24V. Sử dụng linh kiện 2N3796 ( $g_m=4\text{m}$  mho,  $r_{ds}=17\text{K}\Omega$ ,  $\mu=68$ ).

[cuu duong than cong . com](http://cuuduongthancong.com)

[cuu duong than cong . com](http://cuuduongthancong.com)

# BÀI TẬP 5

Bộ kéo theo nguồn được thiết kế sử dụng trong mạch điện hình B9.8. JFET 2N4223 được sử dụng trong mạch này. Độ lợi lớn hơn 0,8. Tìm  $R_1, R_{S1}$  và  $R_{S2}$ .





# BÀI TẬP 6

Đặc tuyến vi của khuếch đại CG cho trong hình B 9.9 được mô tả xấp xỉ từ phương trình:

$$i_D = (1 + V_{GS})^2 10^{-4}$$

- a) Vẽ đặc tuyến
- b) Tìm điểm Q bằng đồ thị
- c) Tính gm
- d) Cho  $r_{ds} = 10k$ , hãy tính  $\mu$
- e) Xác định  $Z_i$ ,  $Z_o$  và độ lợi vd/vi



# BÀI TẬP 7

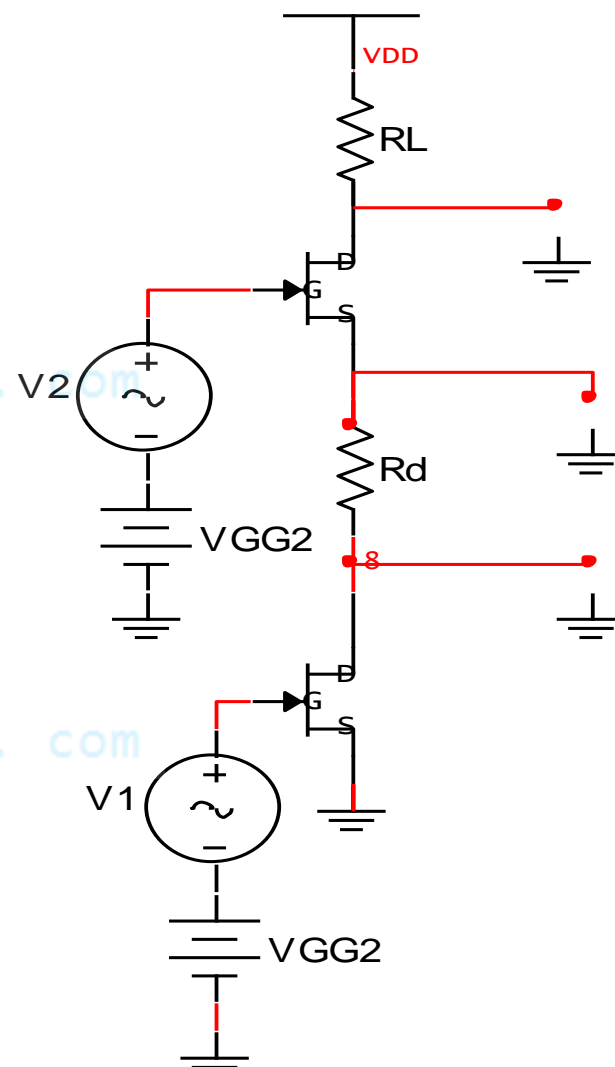
Cả 2 FET đều được xác định trước các thông số  $g_m$ ,  $\mu$  và  $r_{ds}$ .

Hãy tính

a/  $i_L$  như là một hàm của  $v_1$  và  $v_2$

b/  $v_{01}$ ,  $v_{02}$ ,  $v_{03}$

c/ điện trở ngõ ra nhìn từ đầu cuối  $S_1S_2'$





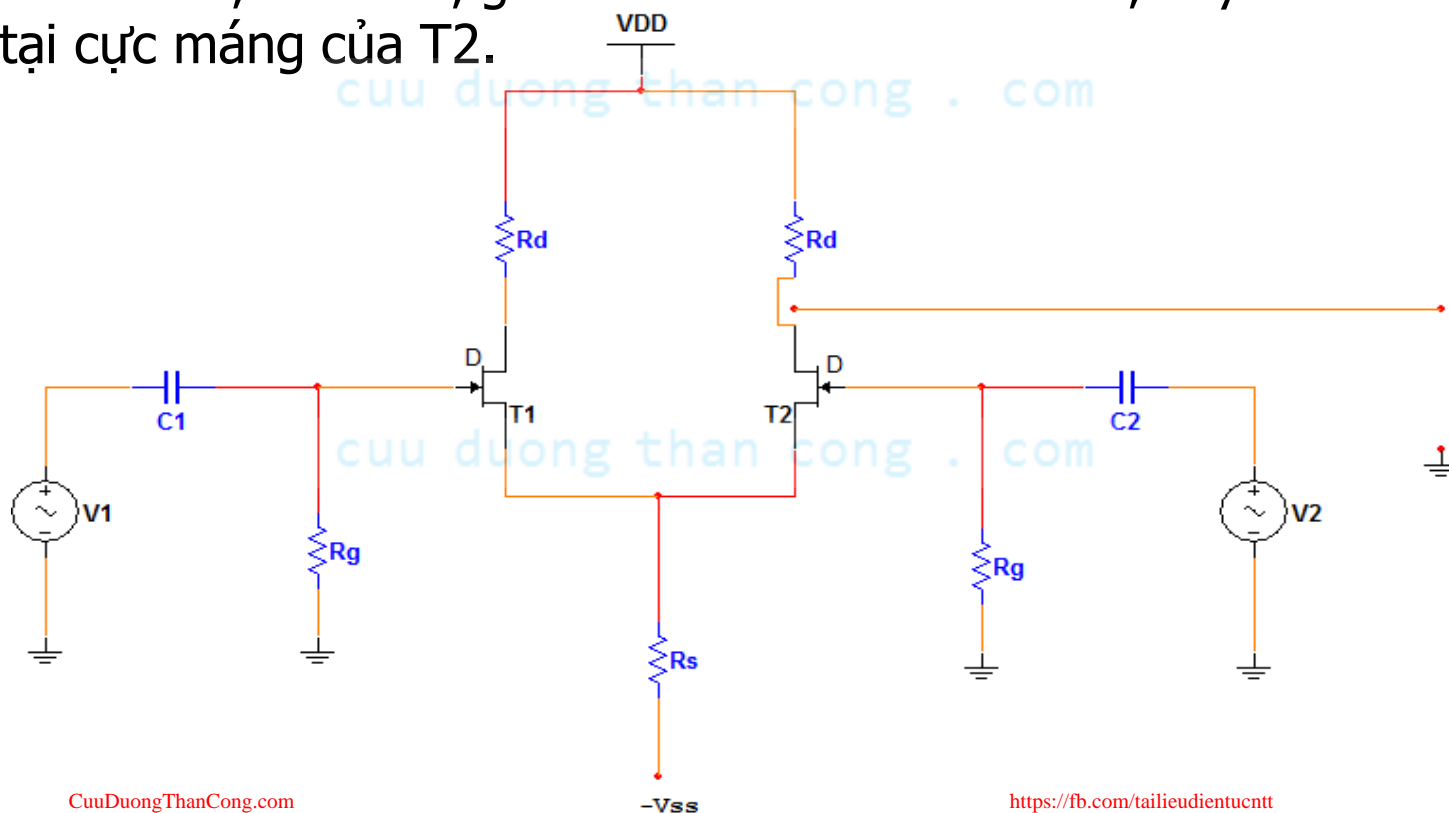
# BÀI TẬP 8

Cho T1 và T2 đồng nhất có cùng thông số. (H.B9.11)

a) Tìm  $v_{d2}$  như là một hàm của  $v_1$  và  $v_2$ .

b) So sánh CMRR của FET và BJT.

c) Cho  $R_s = 10k$ ,  $R_d = 10k$ ,  $g_m = 5 \text{ m mho}$  và  $r_{ds} = 10k\Omega$ , hãy tính CMRR và  $Z_o$  tại cực máng của T2.





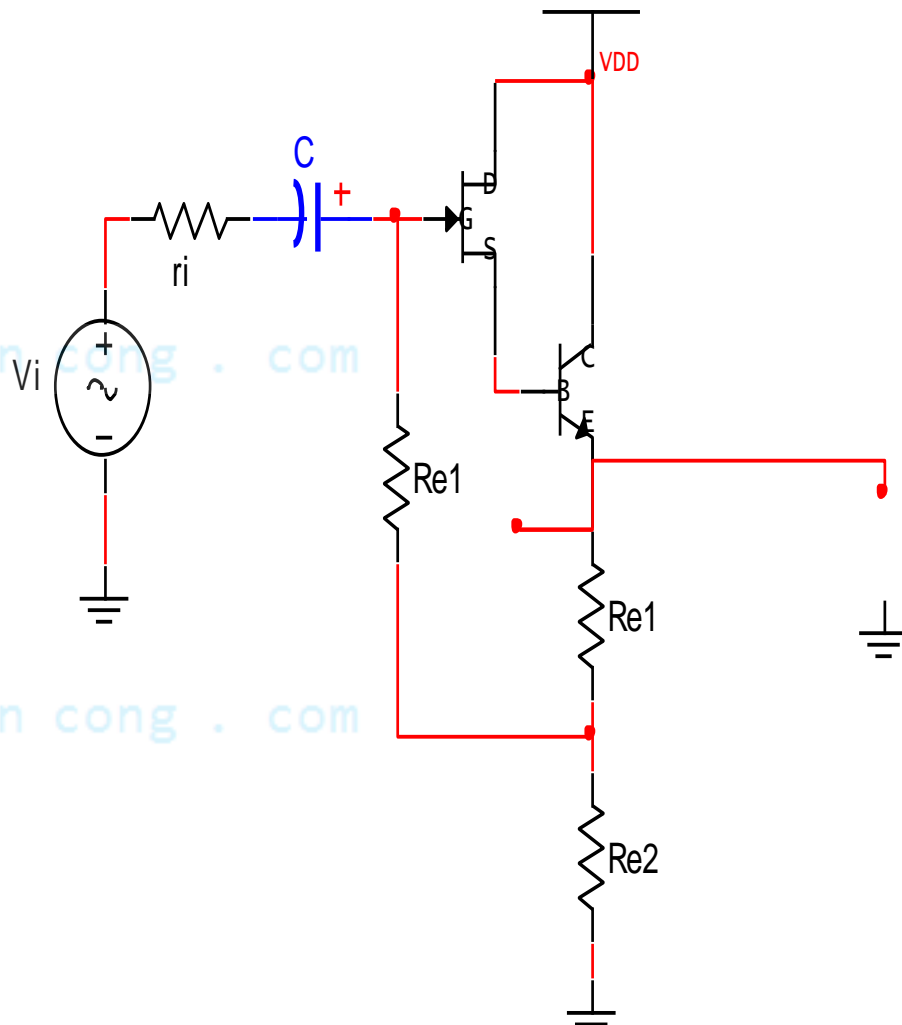
# BÀI TẬP 9

Cấu hình Darlington có thể được xây dựng lại bằng cách sử dụng

JFET và BJT như hình.

a/ Xác định  $Z_{if}$  và  $Z_{of}$

b/ Tìm dạng mô phỏng của độ lợi  $v_c/v_i$





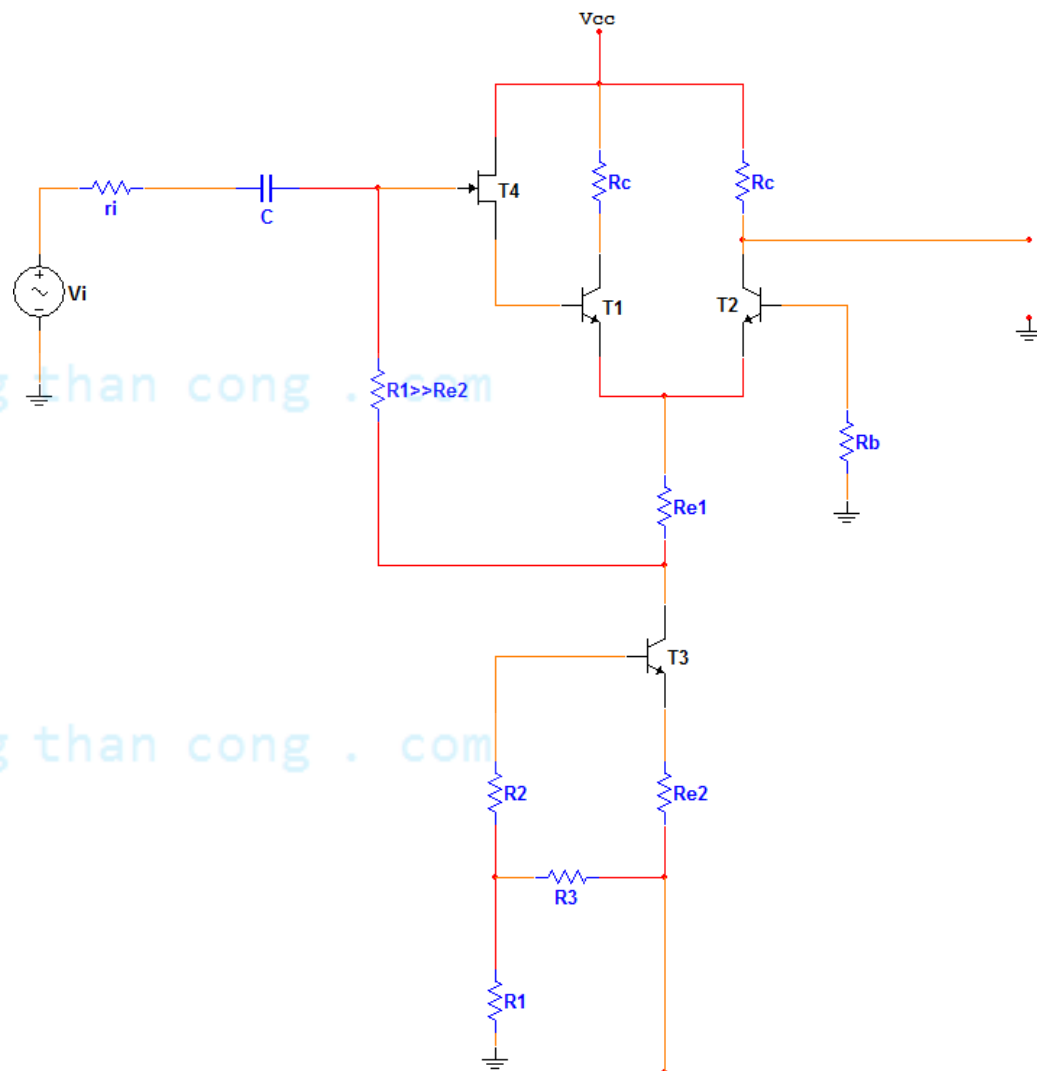
# BÀI TẬP 10

Ba transistor T1, T2 và T3 tạo thành một mạch khuếch đại vi sai. JFET T4 là bộ khuếch đại Darlington được sử dụng để đạt được tổng trở ngõ vào cao.

(H.B9.15)

a) Nếu điện trở nhìn từ collector của T3 là vô cùng lớn, hãy xác định  $Z_i$ .

b) Tính  $v_L/v_i$ .







# ĐÁP ÁN 1

$$i_D = i_{D1} + i_{D2}$$

$$\begin{aligned} g_m &= \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_Q = 2.2(5 \cdot 10^{-3}) \left( 1 + \frac{v_{GS}}{5} \right) \cdot \frac{1}{5} \\ &= (4 \cdot 10^{-3}) \left( 1 + \frac{v_{GS}}{5} \right) \end{aligned}$$

cuu duong than cong . com



## ĐÁP ÁN 2

**Bài làm** Linh kiện có  $I_{p0}=1.1\text{mA}$  và  $V_{p0}=1.6\text{V}$

$$i_D = I_{p0} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}}\right)^2 = 1,1 \left(1 + \frac{3}{1,6}\right)^2 = 9,09 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Độ xuyên dẫn } g_m &= \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_Q = \frac{2I_{po}}{V_{po}} \left(1 + \frac{V_{GSQ}}{V_{po}}\right) \\ &= \frac{2 \times 1,1}{1,6} \left(1 + \frac{3}{1,6}\right) = 3,95 (\text{mS}) \end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{Điện trở drain-source } r_{ds} = \left. \left( \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_{GS}} \right) \right|_Q = \frac{10\text{V}}{9,09\text{mA}} = 1,1 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow \text{Hệ số khuếch đại : } \mu = g_m \cdot r_{ds} = 3,95 \times 1,1 = 4.345$$



# ĐÁP ÁN 3

## a/ Tìm điểm hoạt động Q

Chia áp:  $V_G = 20 \frac{12}{100} = 2,4V$  ;  $V_S = i_D \cdot 0,5k\Omega$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 2,4 - 0,5i_{DS}$$

$$\rightarrow i_D = \frac{2,4}{0,5} - \frac{v_{GS}}{0,5} = 4,8 - 2V_{GS}$$

$$\text{Mặt khác ta có } i_D = I_{p0} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}}\right)^2 = 1,1 \left(1 + \frac{V_{GS}}{1,6}\right)^2$$

$$\rightarrow 4,8 - 2V_{GS} = 1,1 \left(1 + \frac{V_{GS}}{1,6}\right)^2$$

$$\rightarrow \frac{25}{64} V_{GS}^2 + \frac{63}{44} V_{GS} - \frac{37}{11} = 0$$

$$\rightarrow V_{GS} = 1,63V \text{ và } V_{GS} = -5,29V \text{ (loại vì } < -V_{po})$$

$$\rightarrow i_D = 1,54mA$$

$$\text{DCLL: } 20 = (1,5k\Omega + 0,5k\Omega)i_D + V_{DS} \rightarrow V_{DS} = 20 - 2 \times 1,54 = 16,92V$$

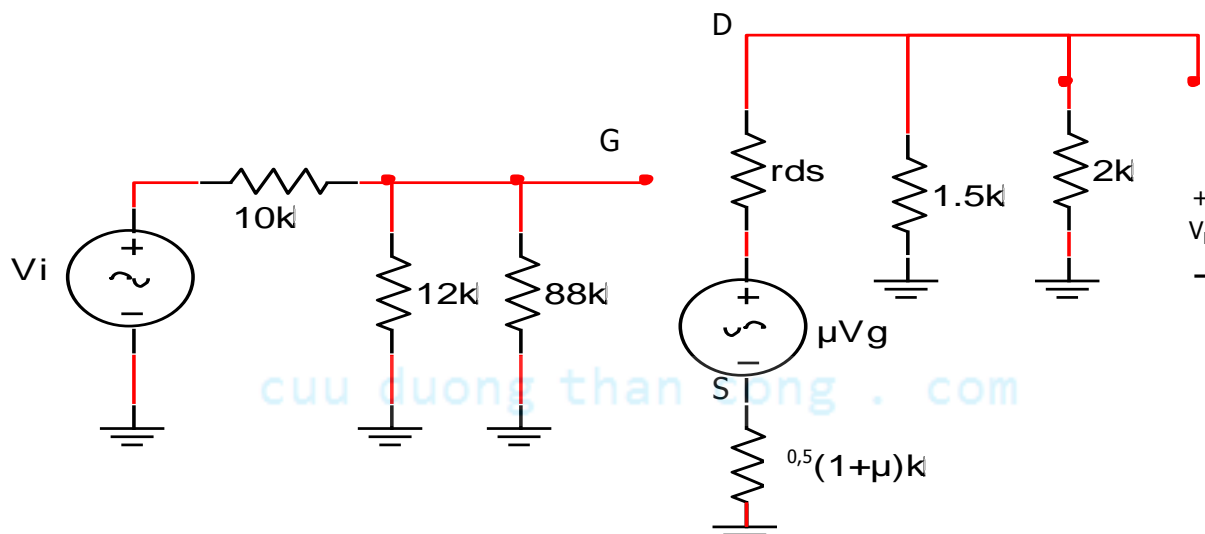
## b/ Tính $\mu$ , $r_{ds}$ , $g_m$

$$\bullet g_m = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_Q = \frac{2I_{po}}{V_{po}} \left(1 + \frac{V_{GSQ}}{V_{po}}\right) = \frac{2 \times 1,1}{1,6} \left(1 + \frac{1,63}{1,6}\right) = 2,8 \text{ mS}$$

$$\bullet r_{ds} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta i_D} = \frac{20 - 16,92}{1,54} = 2k\Omega$$

$$\bullet \mu = g_m r_{ds} = 2,8 \times 2 = 5,6$$

# ĐÁP ÁN 3 (tt)



Chọn phản ánh về cực D, nên các giá trị trở kháng ở cực D không đổi, trở kháng cực S nhân với  $1+\mu$

$$A_L = \frac{V_L}{V_i} = \frac{V_L}{V_G} \times \frac{V_G}{V_i}$$

$$= - \frac{1,5k\Omega // 2k\Omega}{1,5k\Omega // 2k\Omega + r_{ds} + 0,5(1+\mu)k\Omega} \mu \times \frac{88k\Omega // 12k\Omega}{88k\Omega // 12k\Omega + 10k\Omega}$$

$$= -0,4$$



# ĐÁP ÁN 4

Để thuận lợi cho bài toán ta chọn  $R_s=0$

Để tính  $R_1, R_2$  ta chọn giá trị  $V_{GSQ}=6\text{ V}$

Ta có:

$$V_{GS}=V_G-V_S=V_G=\frac{24}{R_1+R_2}R_1$$

$$\rightarrow 18R_1=6R_2$$

$$\rightarrow R_2=3R_1$$

$$\text{Vậy } R_b=\frac{3}{4}R_1 \gg 10k$$



## ĐÁP ÁN 4 (tt)

$$A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{V_L}{\mu V_g} \frac{\mu V_g}{V_i} = \frac{R_d \parallel 10k}{r_{ds} + (R_d \parallel 10k)} \mu = 10$$

Thay giá trị  $\mu=68$  vào.

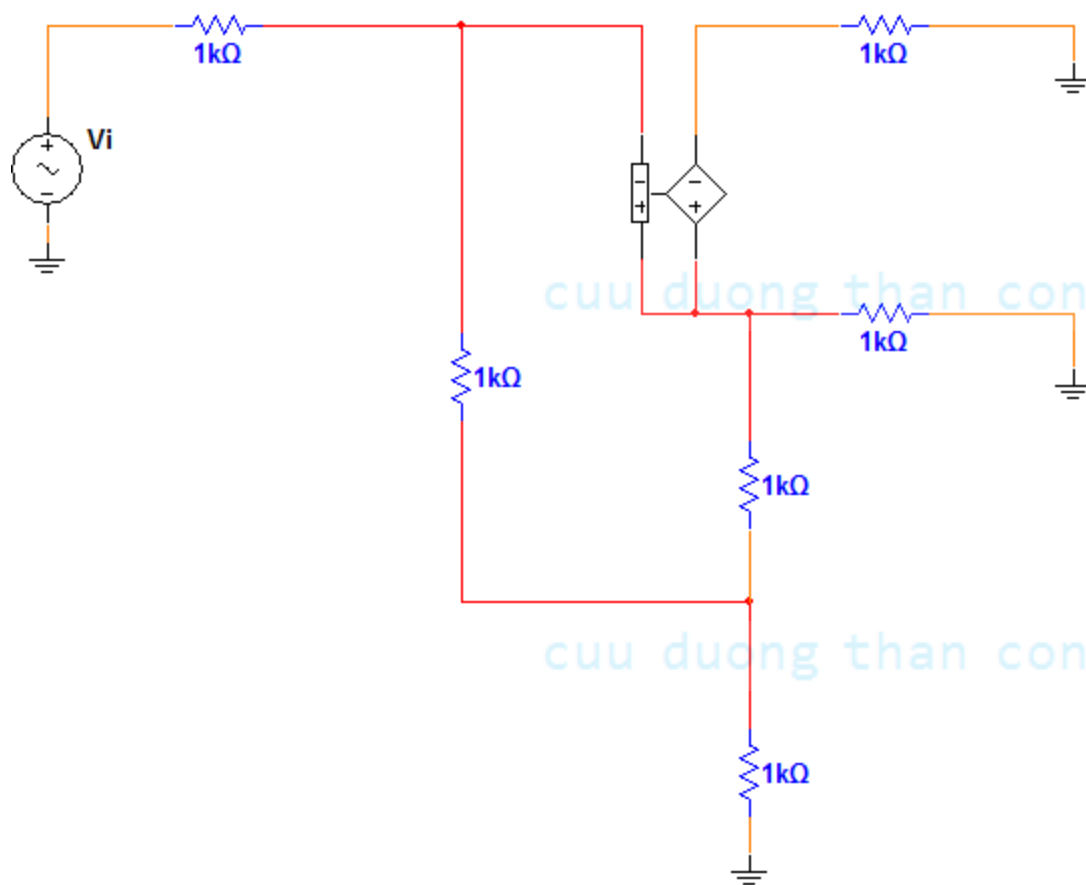
$$\Rightarrow 6,8(R_d \parallel 10k) = 17k + R_d \parallel 10k$$

$$\Leftrightarrow 5,8(R_d \parallel 10k) = 17k \Omega$$

$$\Leftrightarrow R_d = 4.41k \Omega$$



# ĐÁP ÁN 5



$$R_i \approx \frac{R_1}{1 - \frac{\mu}{\mu + 1} \frac{R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}}};$$

$$\mu = \left. \frac{\Delta v_{ds}}{\Delta v_{gs}} \right|_Q \approx \frac{10}{0.5} = 20$$

$$\Rightarrow A_v \approx \frac{\mu}{\mu + 1} \times \frac{R_i}{R_i + 10k\Omega}$$



## ĐÁP ÁN 6

b) Tìm điểm Q gồm  $V_{GSQ}, V_{DS}, i_D$

Dựa vào mạch ta tìm được

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_G - V_S \\ &= \frac{V_{DC} 50}{100 + 50} - i_D 10k \end{aligned}$$

Thay  $V_{DC}=15$  V,  $i_D = (1 + V_{GS})^2 10^{-4}$   
ta được phương trình sau

$$V_{GS} = 5 - (1 + V_{GS})^2$$





## ĐÁP ÁN 6 (tt)

biến đổi

$$\Leftrightarrow (1 + V_{GS})^2 + (1 + V_{GS}) - 6 = 0$$

$$\Leftrightarrow V_{GS} = -4 \text{ hoặc } V_{GS} = 1$$

Điều kiện

$$V_{GS} \geq -V_{P_o} = -1 \text{ V}$$

Loại giá trị -4 chọn giá trị 1

$$V_{DS} = V_{GS} + V_{P_o} = 1 + 1 = 2 \text{ V}$$

Thay  $V_{GS} = 1 \text{ V}$  vào đồ thị, chiếu lên trục tung

ta tính được  $i_D = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mA}$



## ĐÁP ÁN 6 (tt)

c) Tính  $g_m$

$$g_m = \frac{\partial i_{DS}}{\partial V_{GS}} \mid Q = 2 \cdot 10^{-4} (1 + V_{GS})$$

Thay vào ta được

$$g_m = 0,4 \text{ m}\Omega$$

d) Cho  $r_{ds} = 10\text{k}$

Ta tính  $\mu$  dựa vào công thức

$$\mu = 0,4 \cdot 10 = 4$$



## ĐÁP ÁN 6 (tt)

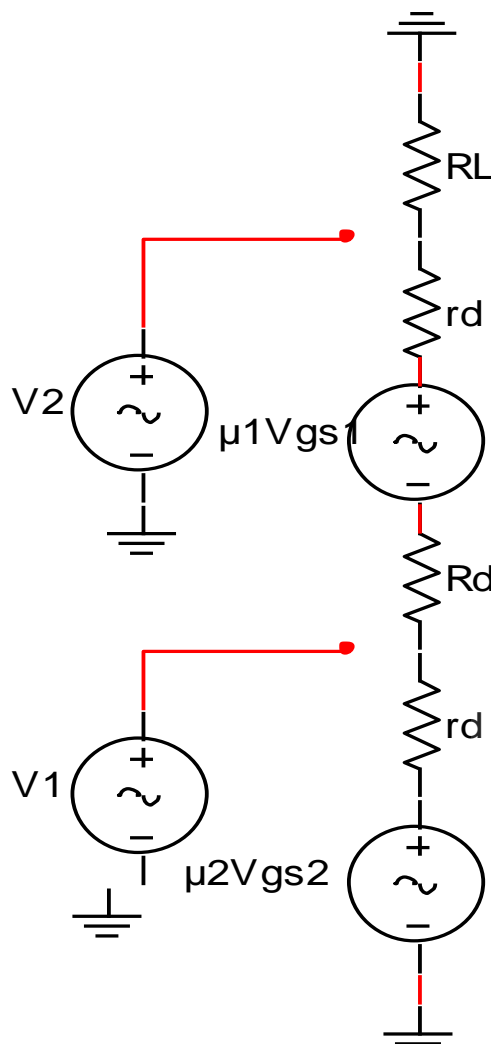
$$\begin{aligned}Z_i &= 10k \parallel (r_{ds} + 10k + 10k) \\&= 10k \parallel (10k + 10k + 10k) \\&= 7,5k\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_o &= r_{ds} + (10k \parallel 10k) \\&= 10k + (10k \parallel 10k) \\&= 15k\end{aligned}$$

$$A_v = V_d/V_i = \frac{V_d}{\mu V_{GS}} \frac{\mu V_{GS}}{V_i} = 0,57$$



# ĐÁP ÁN 7



a/ Tính  $i_L$  theo  $v_1$  và  $v_2$

Mạch tương đương như hình

Phản ánh về cực  $D_2$  của FET2, mạch gồm  $R_L$  giữ nguyên,  $r_{ds2}$ ,  $\mu_2 V_{gs2}$ ,  $R_d^* = R_d(1+\mu_2)$ ,  $r_{ds1}^* = r_{ds1}(1+\mu_2)$ ,

$$V_1^* = \mu_1 V_{gs1}(1+\mu_2)$$

$$V_{gs1} = V_1;$$

$$V_{gs2} = V_2 - i_{d2}[r_{ds1}(1+\mu_2) + R_d(1+\mu_2)] - \mu_1 V_{gs1}(1+\mu_2)$$

$$i_L = i_{d2} = \frac{\mu_2 v_{gs2} + \mu_1 v_1(1+\mu_2)}{R_L + r_{ds2} + R_d(1+\mu_2) + r_{ds1}(1+\mu_2)}$$

$$= \frac{\mu_2 [v_2 - i_{d1}[r_{ds1}(1+\mu_2) + R_d(1+\mu_2)] - \mu_1 v_1(1+\mu_2) + \mu_1 v_1(1+\mu_2)}{R_L + r_{ds2} + R_d(1+\mu_2) + r_{ds1}(1+\mu_2)}$$

$$\Rightarrow i_L = \frac{\mu_2 [v_2 - \mu_1 v_1(1+\mu_2)] + \mu_1 v_1(1+\mu_2)}{R_L + r_{ds2} + R_d(1+\mu_2) + r_{ds1}(1+\mu_2) + \mu_2 [(r_{ds1}(1+\mu_2) + R_d(1+\mu_2))]}$$



## ĐÁP ÁN 7 (tt)

**b/  $v_{o1}, v_{o2}, v_{o3}$**

$$v_{o1} = R_L \cdot I_{d2}$$

$$v_{o3} = \frac{1}{1 + \mu_2} [I_{d2} \cdot r_{d2}(1 + \mu_2) - \mu_1 v_1(1 + \mu_2)]$$

$$v_{o2} = \frac{1}{1 + \mu_2} [I_{d2}(R_d + r_{ds1})(1 + \mu_2) - \mu_1 v_1(1 + \mu_2)]$$

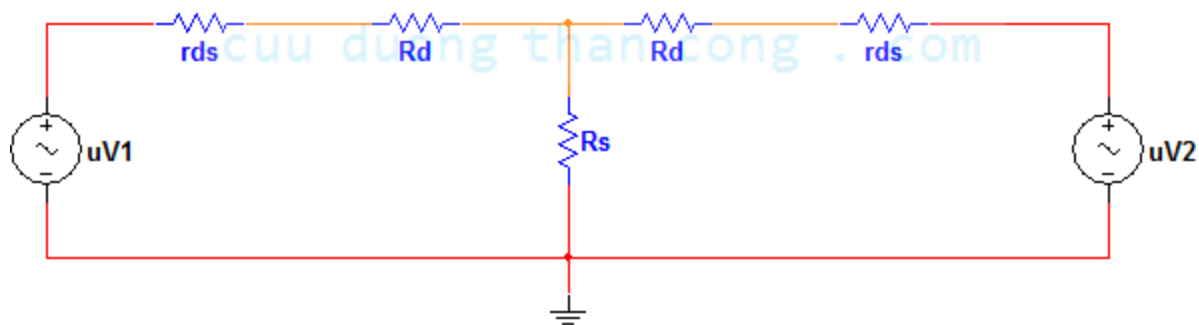
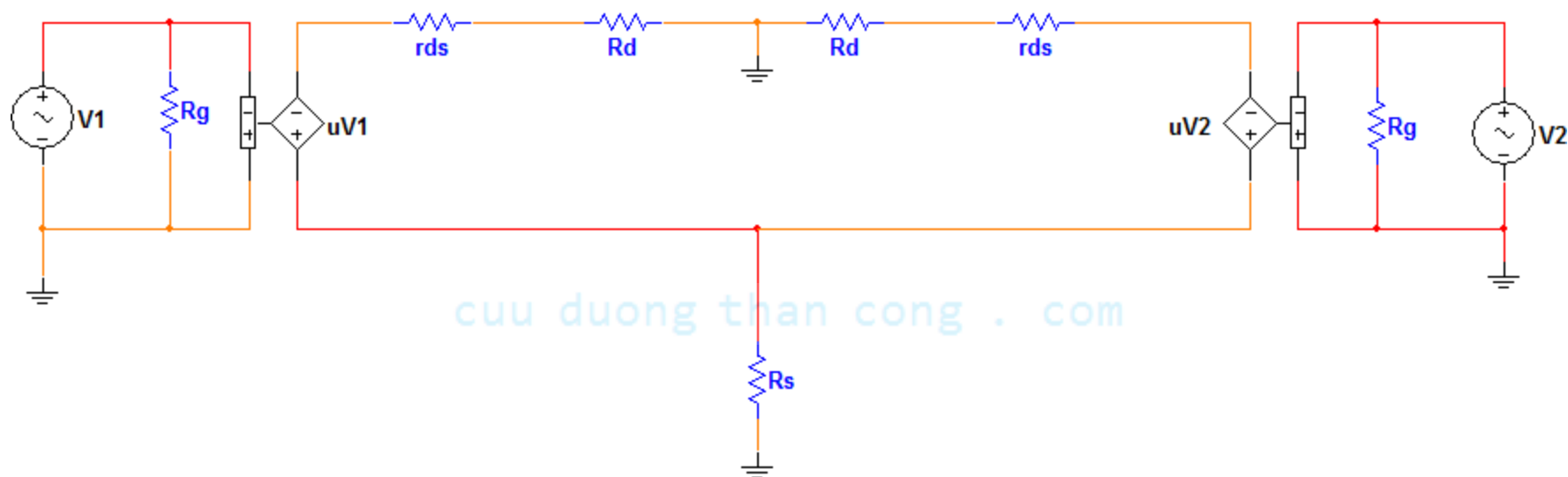
$$= I_{d2}(R_d + r_{ds1}) - \mu_1 v_1$$

**c/ Điện trở ngõ ra nhìn từ đầu cuối  $S_2$** , gồm

$$(R_d^* \text{ nt } r_{ds1}^*) // R_L = (1 + \mu_2) \frac{(r_{ds1} + R_d)R_L}{r_{ds1} + R_d + R_L}$$

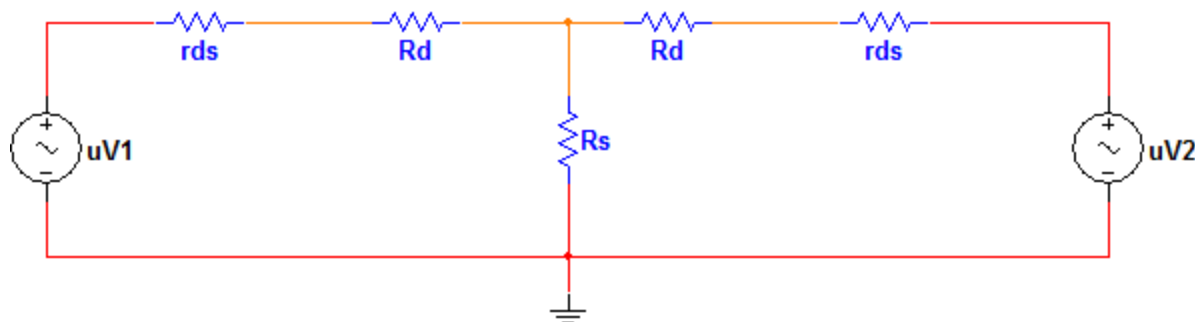


# ĐÁP ÁN 8





# ĐÁP ÁN 8 (tt)



cuu duong than cong . com

$$v_{d2} = \left( \frac{\mu v_1 (1 + \mu) R_s}{r_{ds} + R_d + (1 + \mu) R_s} - \mu v_2 \right) \frac{R_d}{R_d + r_{ds} + [(1 + \mu) R_s] // (r_{ds} + R_d)}$$

b) Trong mạch FET:  $CMRR \approx \frac{1 + \mu}{R_d + r_{ds}}$

Trong mạch BJT:  $CMRR \approx \frac{1}{h_{ib}}$

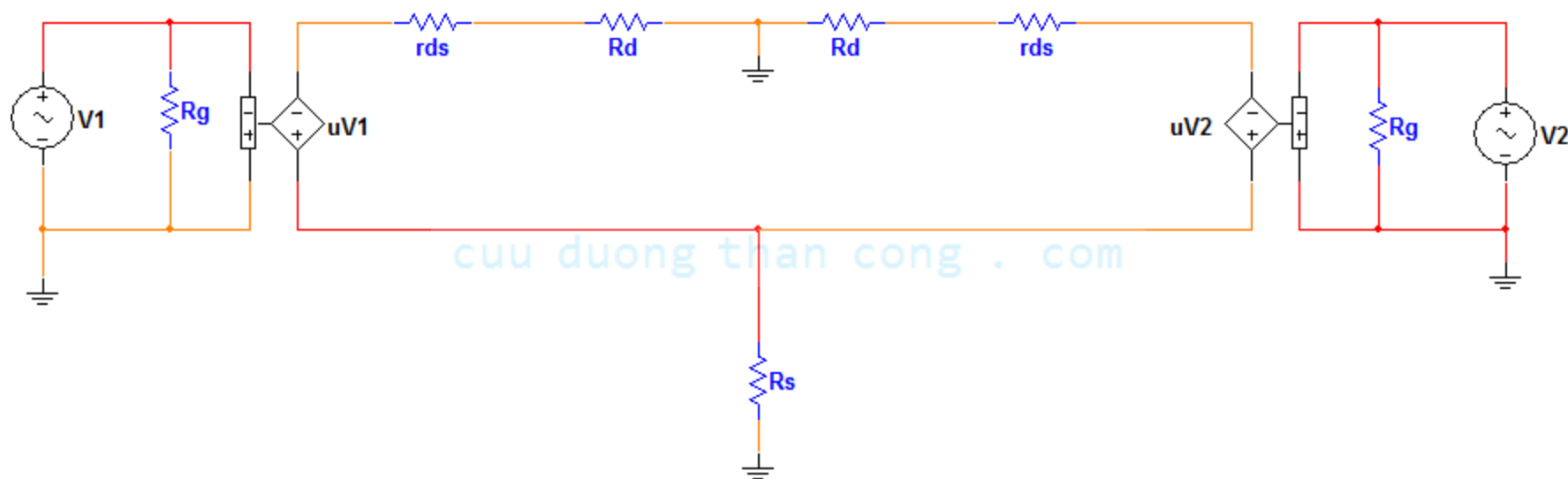
Đối với FET, giá trị này phụ thuộc cơ bản vào:

$$\frac{\mu}{r_{ds}} = g_m \approx 3m\Omega$$

$$\frac{1}{h_{ib}} = \frac{I_{EQ}}{26mV} \approx 10m\Omega$$



# ĐÁP ÁN 8 (tt)



cuu duong than cong . com

$$Z_D = [(r_{ds} + R_d) // R_s] + R_d$$





## ĐÁP ÁN 8 (tt)

$$\text{CMRR} \approx \frac{1 + \mu}{R_d + r_{ds}}$$

Mà  $\mu = g_m \cdot r_{ds} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10k = 50$

Vậy  $\text{CMRR} \approx \frac{1 + 50}{10k + 10k} = 2,55 \cdot 10^{-3}$



## ĐÁP ÁN 8 (tt)

Vì 2 FET này giống nhau nên có chung hệ số  $\mu$ .

$$\begin{aligned} Z_o &= r_{ds} + (1 + \mu)R_S \parallel (r_{ds} + R_d) \\ &= 10k + (1 + 50)10k \parallel (10k + 10k) \\ &= 29,25k \end{aligned}$$

cuu duong than cong . com



# ĐÁP ÁN 9

$$R_{s1} = h_{ie} + h_{fe}R_{e1}$$

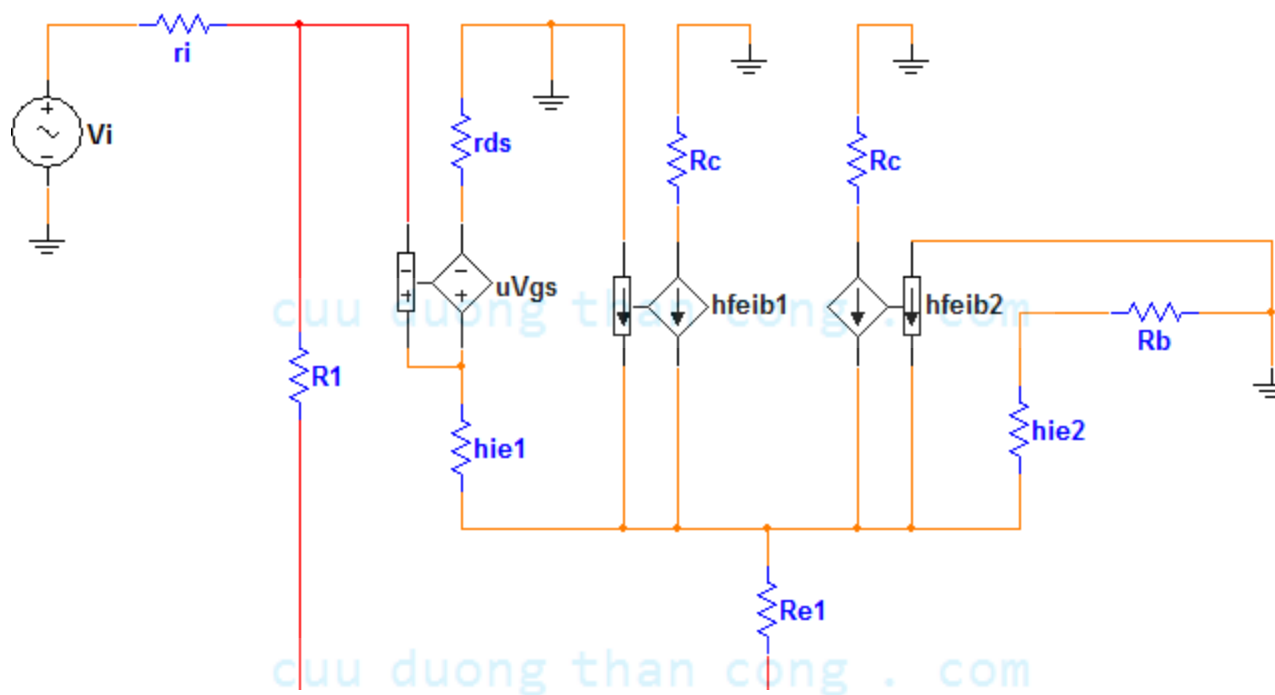
$$R_{s2} = h_{fe}R_{e2}$$

$$R_{of} = \frac{h_{ie} + \frac{r_{ds}}{\mu + 1}}{h_{fe}}$$

$$R_{if} \sim \frac{R_1}{1 - \frac{\mu}{\mu + 1} \times \frac{h_{fe}R_{e2}}{h_{ie} + h_{fe}(R_{e1} + R_{e2})}}$$

$$A_v = \frac{\mu}{\mu + 1} \frac{h_{fe}(R_{e1} + R_{e2})}{h_{ie} + h_{fe}(R_{e1} + R_{e2})}$$

# ĐÁP ÁN 10



$$Z_i = R_1 + R_{e1} + (r_{ds} + h_{ie1}) // (h_{ie2} + R_b)$$