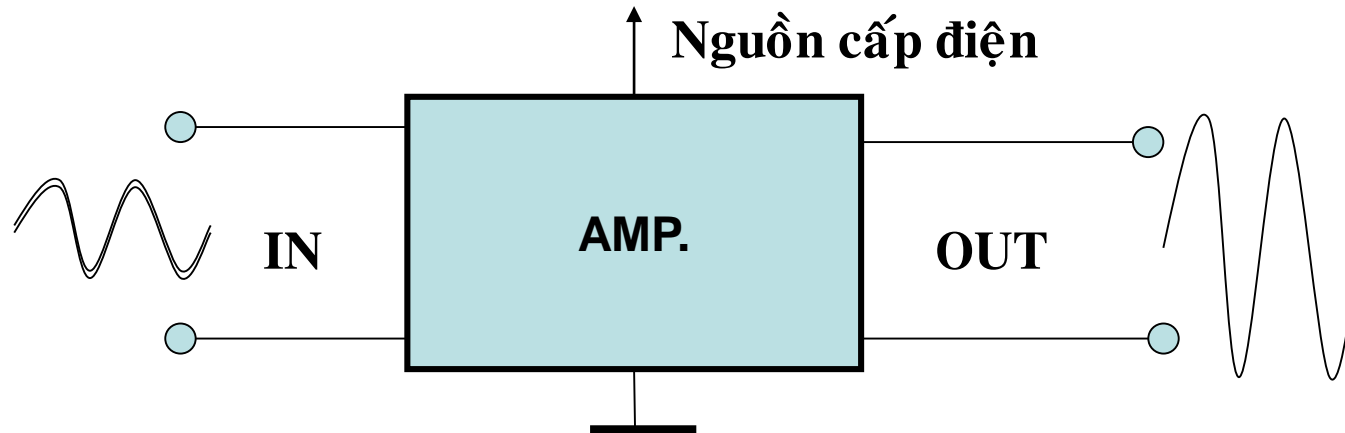


# GT ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

## Ch7. Khuếch đại MOSFET tín hiệu lớn

## 5.1. Khuếch đại tín hiệu

Sơ đồ mạch khuếch đại hai cảng(tứ cực) cho cả xử lý tương tự và số



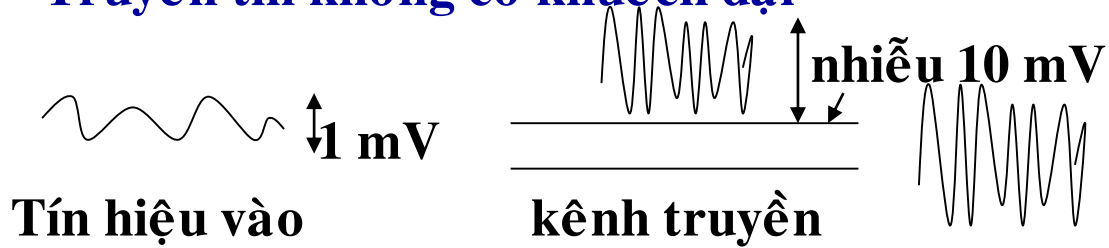
Trong chương trước, ta đã xét độ khuếch đại của mạch số đến hoàn thành sự chống nhiễu.

Trong chương này ta sẽ xét khuếch đại tương tự.

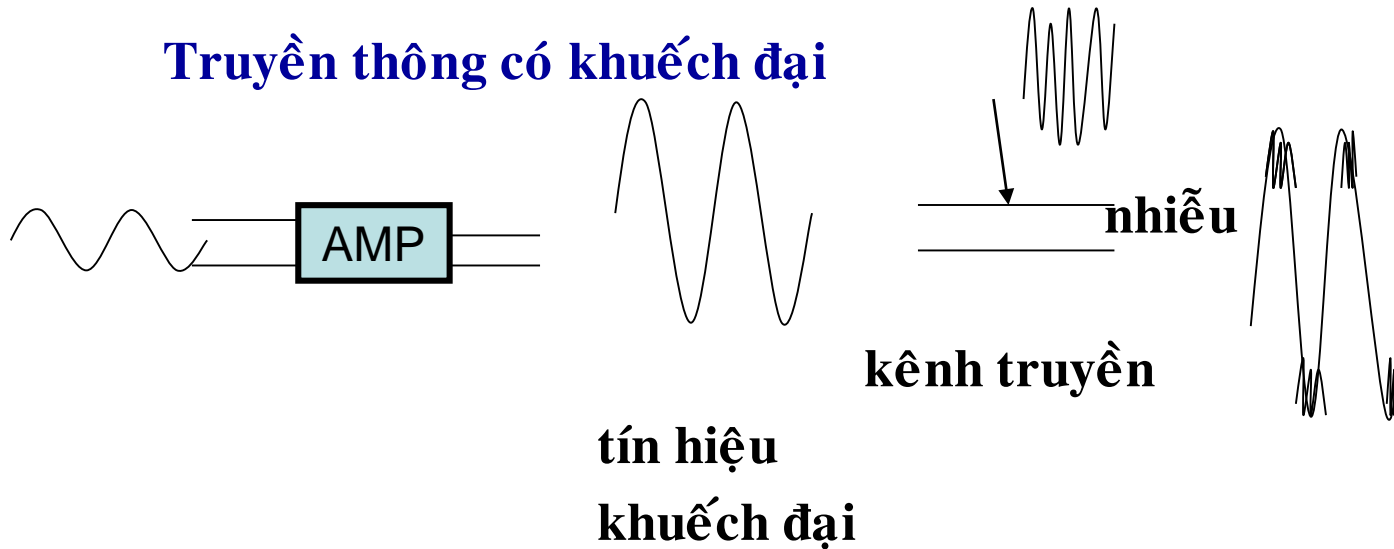
Mạch khuếch đại thường có mặt trong các thiết bị sử dụng trong đời sống như máy tăng âm, trong điện thoại di động...

Khuếch đại còn giúp làm giảm thiểu ảnh hưởng nhiễu trong truyền thông tin.

## Truyền tin không có khuếch đại



## Truyền thông có khuếch đại



**Nguồn cấp điện cung cấp năng lượng cho các thành phần bên trong mạch để hoàn thành khuếch đại tốt**

Mạch khuếch đại làm lớn điện thế hoặc dòng của tín hiệu vào hoặc của cả hai  
 Ta có định nghĩa:

**1. Độ lợi thế:**

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

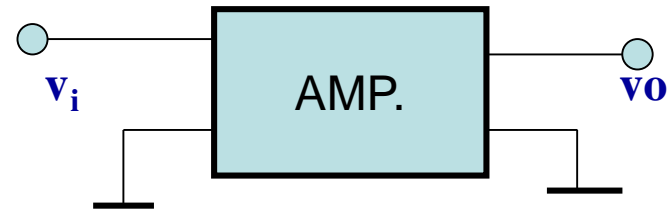
$$A_v (dB) = 20 \log(A_v)$$



**2. Độ lợi dòng:**

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_I (dB) = 20 \log(A_I)$$

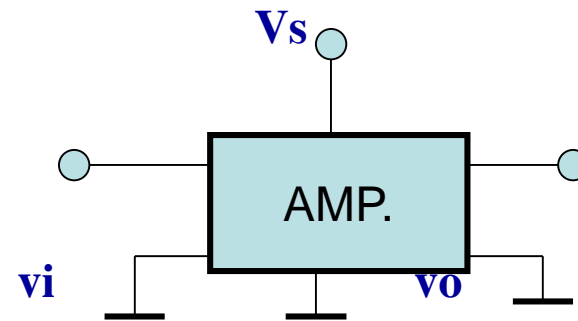


**3. Độ lợi công suất:**

$$A_p = A_v A_I = \frac{V_o}{V_i} \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_p (dB) = 10 \log(A_p)$$

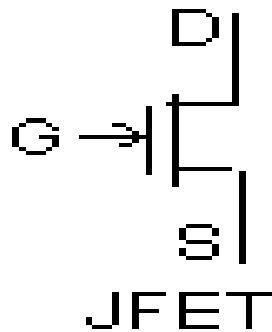
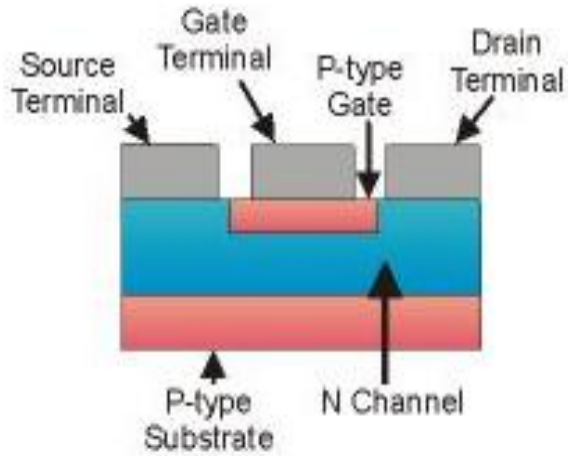
Biến thế có độ lợi điện thế nhưng không có độ lợi công suất.



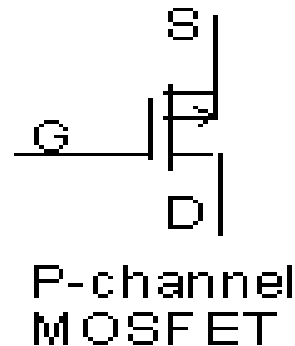
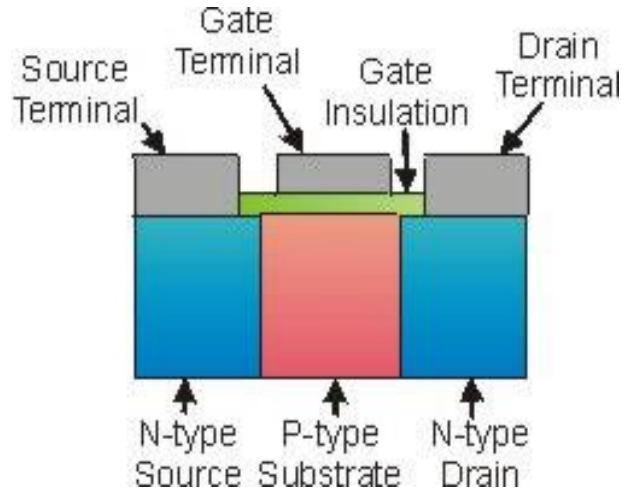
\*\*

# Field Effect Transistors

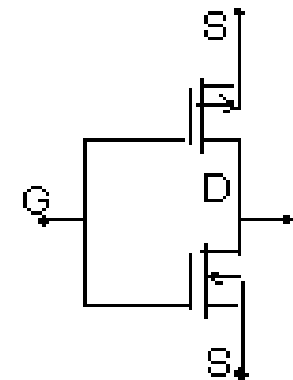
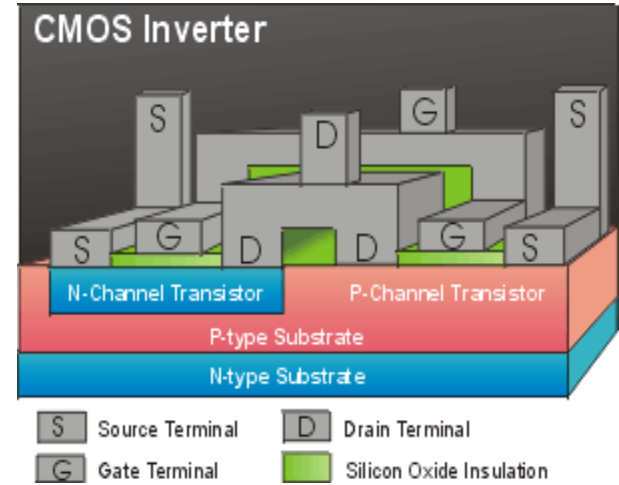
JFET



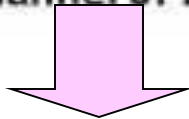
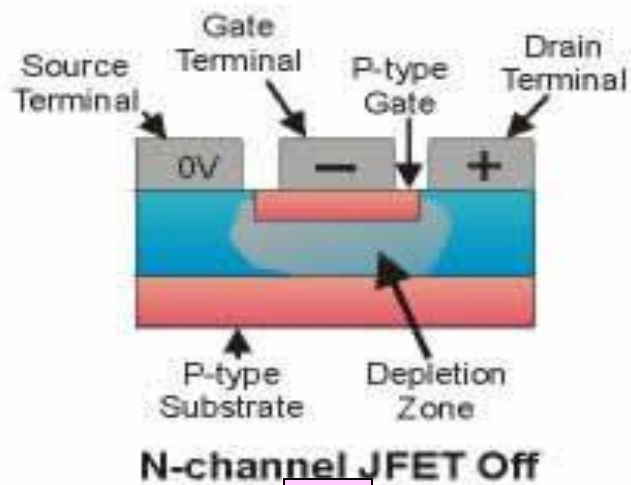
MOSFET



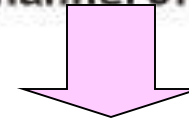
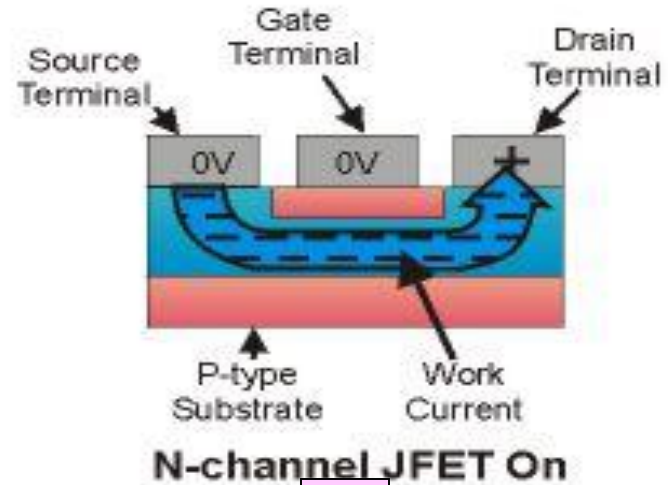
CMOS



# How a JFET transistor works?



When the gate is negative, it repels the electrons in the N-channel. So there is no way for electrons to flow from source to drain.

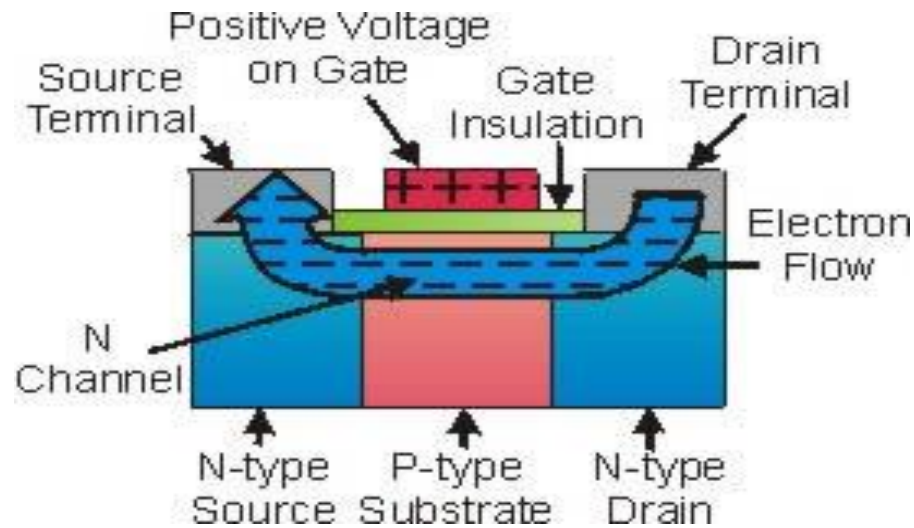


When the negative voltage is removed from Gate, the electrons can flow freely from source to drain. So the transistor is on.



# How a MOSFET Transistor works?

In MosFET, the Gate is insulated from p-channel or n-channel. This prevents gate current from flowing, reducing power usage.

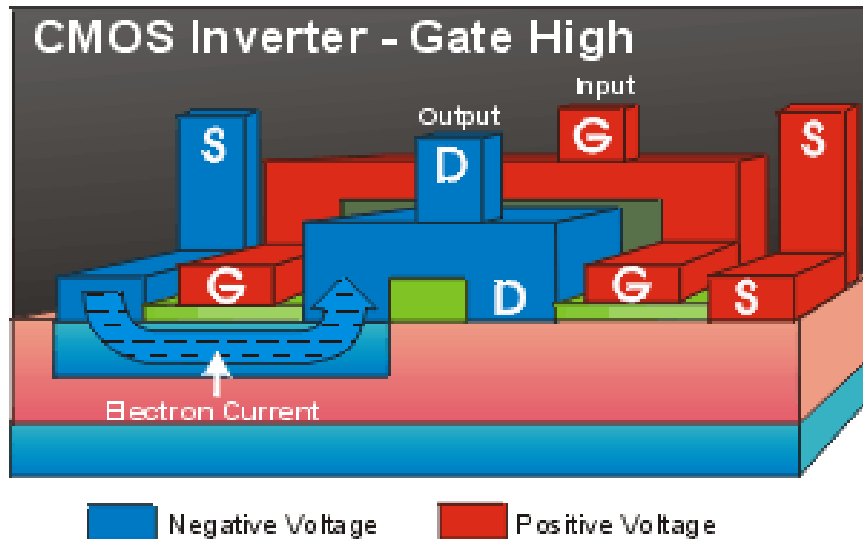


When the Gate is positive voltage ,it allows electrons to flow from drain to source .In this case transistor is on.

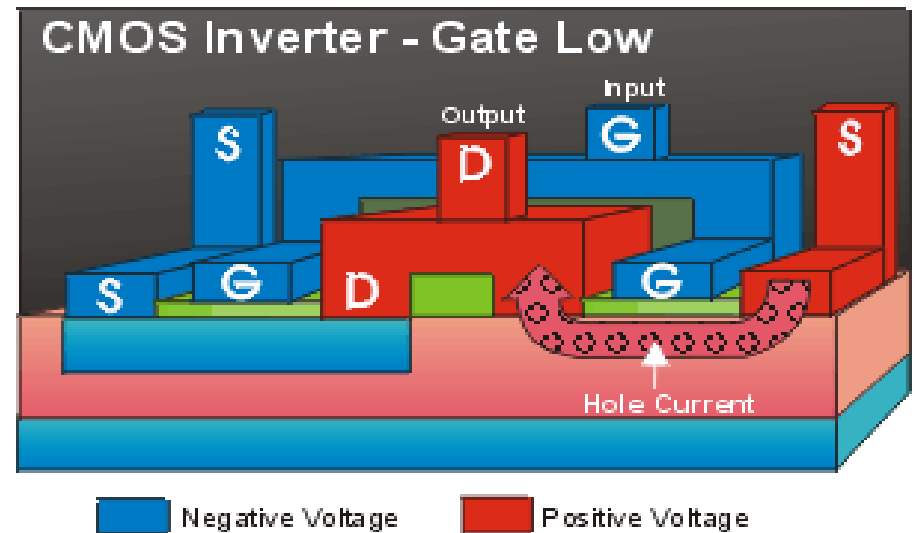


# How a CMOS transistor works?

N-channel & P-channel MOSFETs can be combined in pairs with a common gate .



When Gate (input) is high ,electrons can flow in N-channel easily . So output becomes low. (opposite of input)



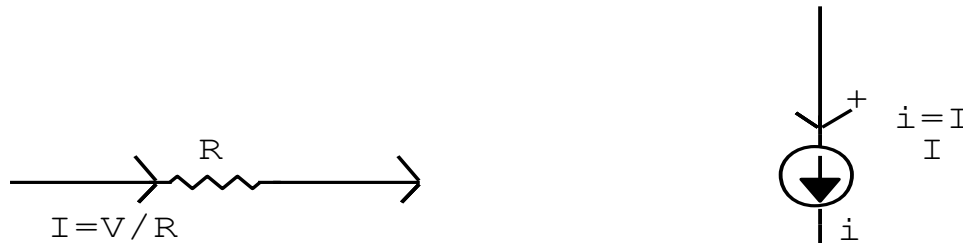
When Gate (input) is low ,holes can flow in P-channel easily. So output becomes high. (opposite of input)





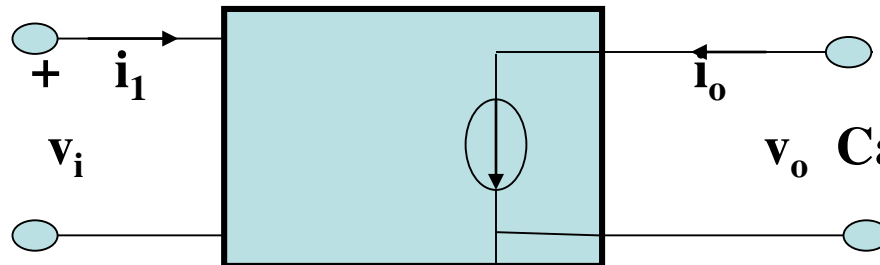
## 5.2. Nguồn thế và nguồn dòng phụ thuộc

Trong các chương trước, ta đã xét nguồn độc lập là những nguồn thế hoặc nguồn dòng không tùy thuộc lẫn nhau như:



Trước khi xét mạch khuếch đại, ta sẽ xét đến nguồn phụ thuộc như:  
- Nguồn dòng kiểm thế, :

Cảng  
điều khiển  
ngõ vào



Cảng ngõ ra

# 1. Nguồn dòng kiểm thế:

$$I = f(V) = \frac{K}{V}$$

$$V = IR = \frac{K}{V} R$$

**Thí dụ:**

$$K = 10^{-3} \text{ Amp. Volt}$$

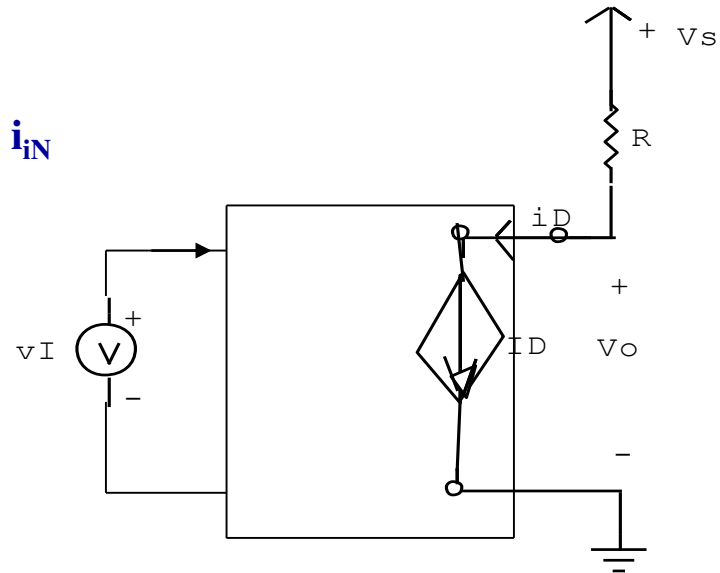
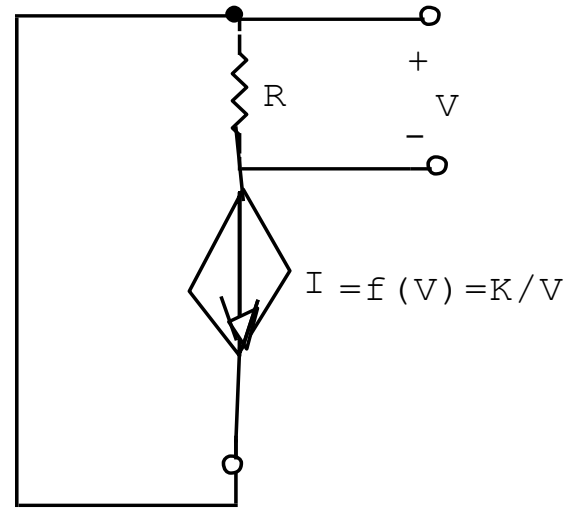
**Hay:**  $V^2 = KR$

$$V = \sqrt{KR} = \sqrt{10^{-3} \cdot 10^3} = 1 \text{ Volt}$$

## Nguồn phụ thuộc khác

$$i_D = f(v_i) \begin{cases} = \frac{K}{2} (v_i - 1)^2 & v_i \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Vậy  $V_o$  là hàm số của  $v_i$ .**



**Giải theo Định luật Kirchoff, cho:**

$$-V_S + i_D R_L + v_o = 0$$

$$v_o = \begin{cases} V_S - \frac{K}{2}(v_I - 1)^2 R_L & v_I \geq 1 \\ V_S & v_I < 1 \end{cases}$$

**Thí dụ:**

**Cho mạch có nguồn dòng kiểm thế có dòng ra phụ thuộc điện áp vào  $i_o = f(v_I)$ . Giả sử đầu tiên phân tích mạch khi ngõ ra của nguồn dòng phụ thuộc điện thế ra:**

$$i_o = f(v_I) = -g_m v_I$$

**Theo mạch cho ta:**

$$\frac{v_o}{R} = i_o = f(v_I)$$

**Do**

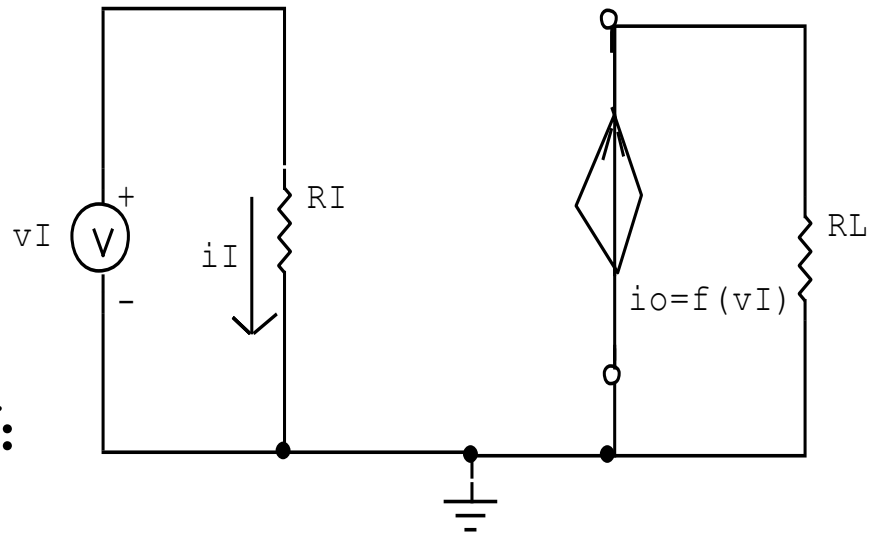
$$f(v_I) = -g_m v_I$$

**Thay vào trên, được độ lợi thế:**

$$A_v = \frac{v_o}{v_I} = -g_m R_L$$

**sau.]**

**[sẽ triển khai khuếch đại với linh kiện**



**$i_o$  theo  $i_I$**

**Ta có:**

$$i_o R_L = -g_m R_L i_I R_I$$

$$i_o = -g_m R_I i_I$$

**Độ lợi dòng điện:**

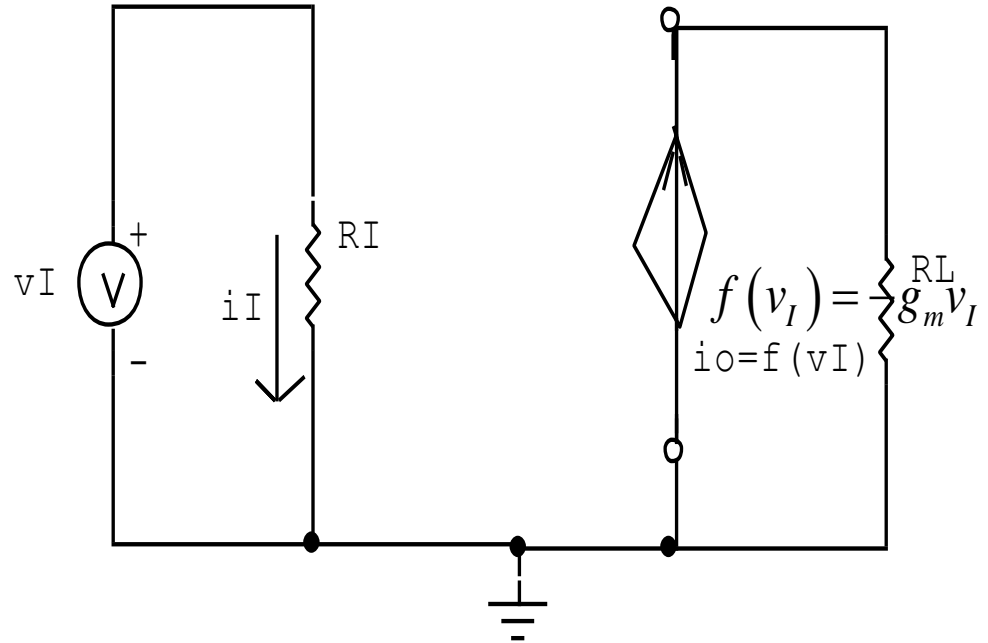
$$A_i = \frac{i_o}{i_I} = -g_m R_I$$

**$P_O$  theo  $P_I$ :**

$$v_o i_o = g_m^2 R_L R_I v_I i_I$$

$$P_O = g_m^2 R_L R_I P_I$$

$$A_P = \frac{P_O}{P_I} = g_m^2 R_L R_I$$



**Do đó, nguồn phụ thuộc tạo ra một độ lợi công suất lớn hơn đơn vị  $g_m^2 R_L R_I > 1$**

# 1. Nguồn dòng kiểm dòng

Xét mạch điện trên giờ cho ta  $v_O$  theo  $v_I$  giả sử rằng ngõ ra là dòng điện phụ thuộc vào dòng điện:

Ta còn có:  $i_O = f(i_I) = -\beta i_I$

$$\frac{v_O}{R_L} = i_O = f(i_I)$$

vì  $\frac{v_O}{R_L} = f(i_I) = -\beta i_I$

$$i_I = \frac{v_I}{R_I}$$

Thay vào:

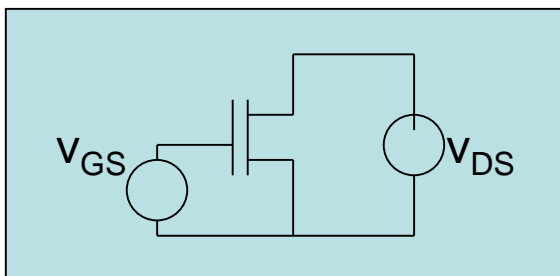
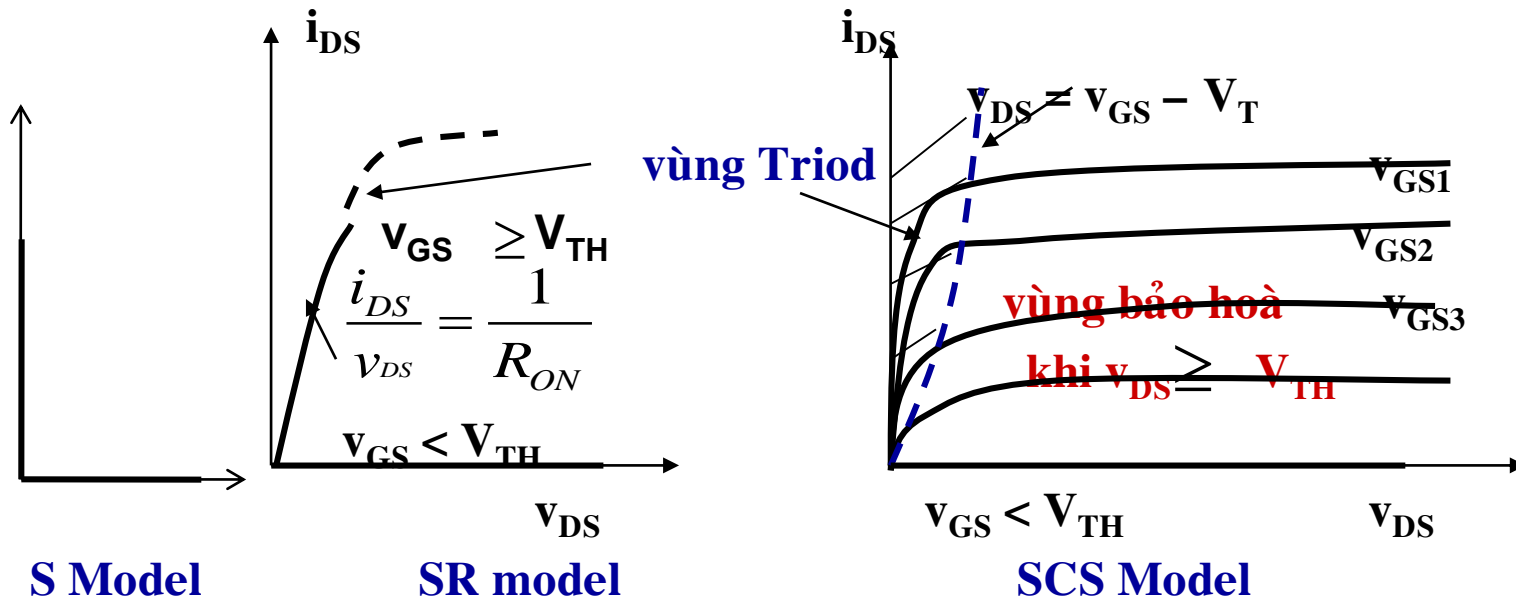
$$v_O = -\beta \frac{R_L}{R_I} v_I$$

Ta có độ lợi thế:

$$A_V = \frac{v_O}{v_I} = -\frac{\beta R_L}{R_I} \quad [\text{sẽ xét mạch khuếch đại dùng BJT}]$$

## 5.3. Đặc tuyến thực của MOSFET

Trong chương trước, ta chỉ xét MOSFET hoạt động giao hoán (chuyển mạch on/off), Dưới đây ta xét đặc tuyến MOSFET hoạt động khuếch đại (tương tự).



Model SCS chính xác hơn Model SR và model S

MOSFET giống như nguồn dòng

Theo đặc tuyến MOSFET thực có ba vùng hoạt động kể từ đường cong đứt khoảng biểu diễn tích những điểm có:

$$v_{DS} = v_{GS} - V_{TH}$$

$$v_{GS} < V_{TH}$$

**Vùng ngưng dẫn ( Cutoff Region)**

**MOSFET ngưng dẫn (cutoff) khi:**

$$v_{GS} < V_{TH}$$

**Vùng triod (Triod Redgion):**

Vùng mà những điểm hoạt động nằm phía trái đường cong đứt khoảng, tại đó:

$$v_{DS} < v_{GS} - V_{TH}$$

$$v_{GS} \geq V_{TH}$$

**Vùng bão hoà (Saturation Region):**

Vùng mà những điểm hoạt động nằm phía phải đường cong đứt khoảng, tại đó thoả hai điều kiện:

$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TH}$$

$$v_{GS} \geq V_{TH}$$

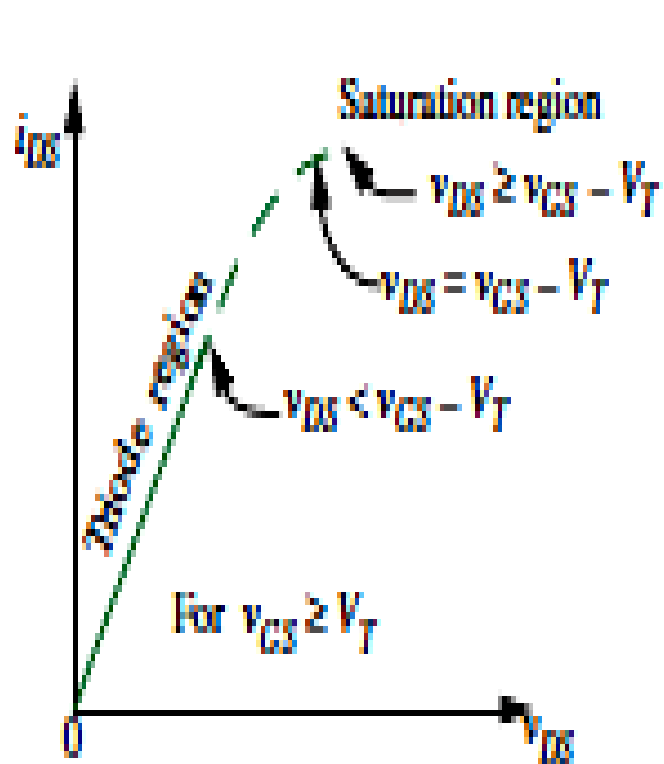


FIGURE 7.9 The current  $i_{DS}$  begins to saturate as  $v_{DS}$  approaches the value of  $v_{GS} - V_T$ .

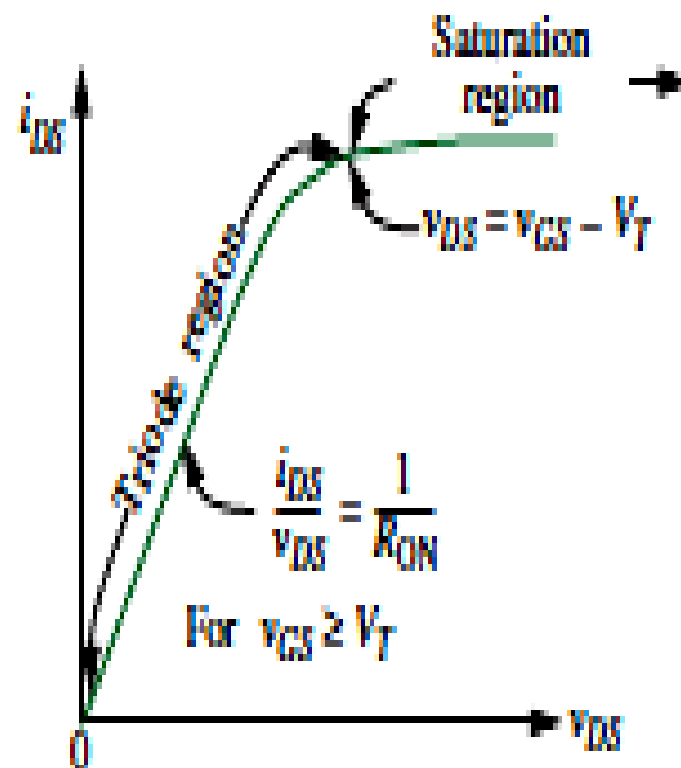


FIGURE 7.10 The saturation region of MOSFET operation.



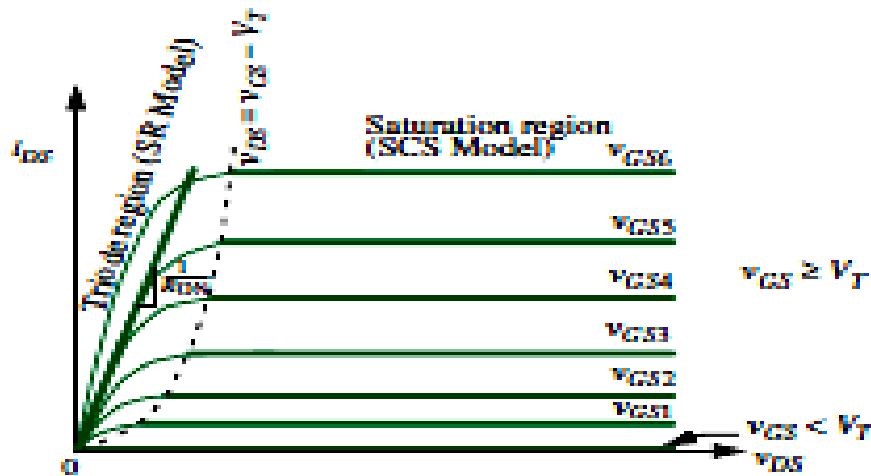
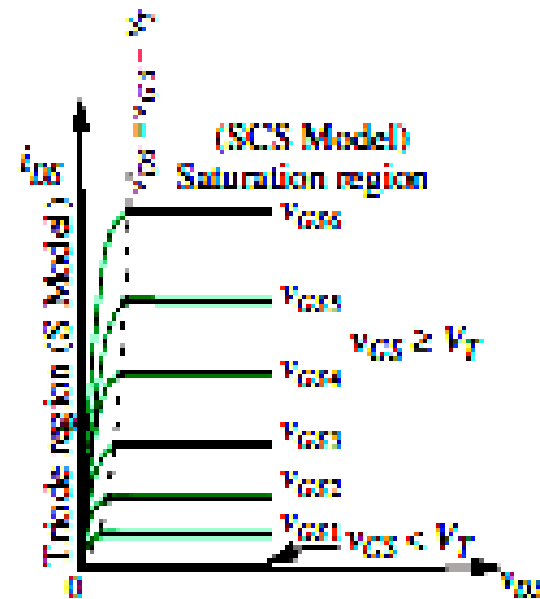
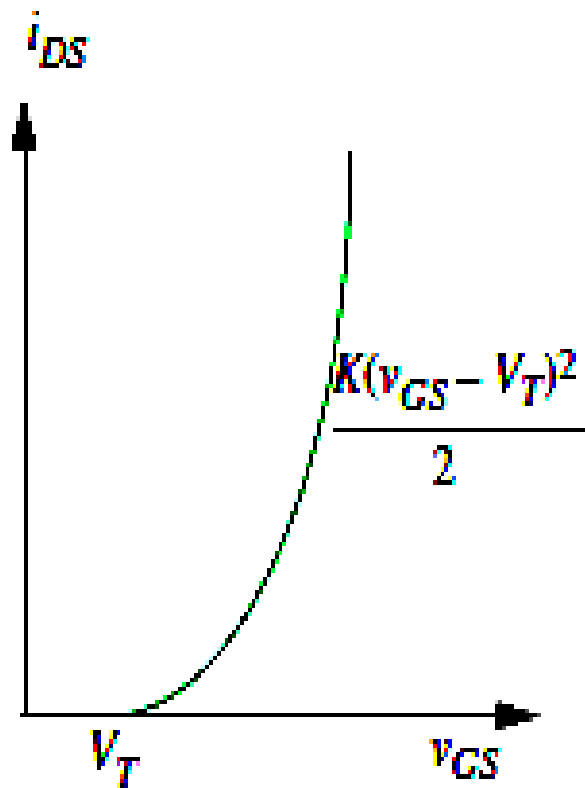


FIGURE 7.13 SR and SCS models.

FIGURE 7.14 S and SCS models.





valid when  $v_{DS} \geq v_{GS} - V_T$

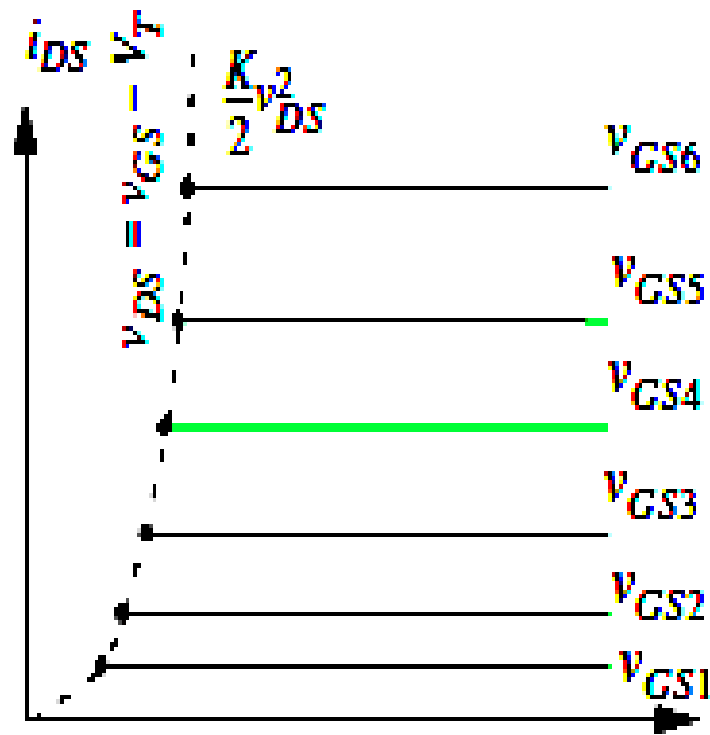


FIGURE 7.16 Characteristics of the MOS device in the saturation region.

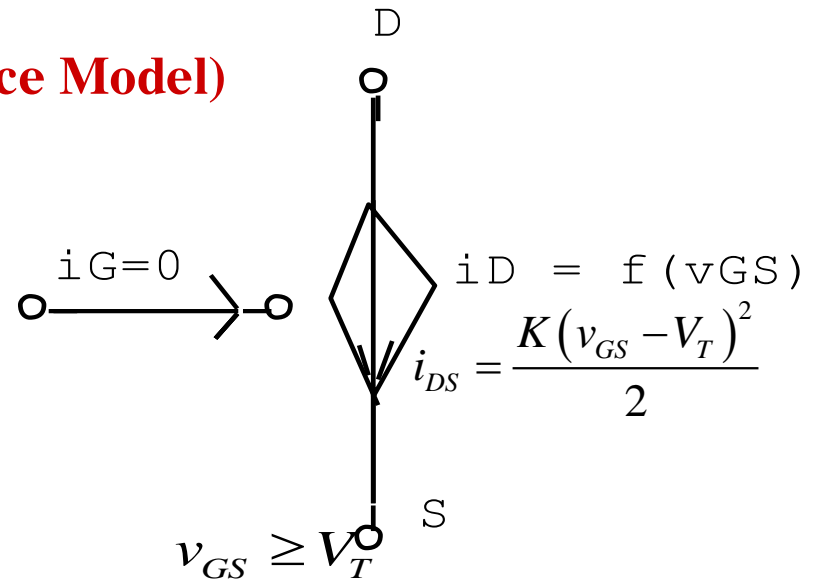
$$i_{DS} = \begin{cases} \frac{K(v_{GS} - V_T)^2}{2} & \text{for } v_{GS} \geq V_T \text{ and } v_{DS} \geq v_{GS} - V_T \\ 0 & \text{for } v_{GS} < V_T. \end{cases} \quad (7.12)$$

## Model SCS ( Switch Current Source Model)

Khi  $v_{GS} < V_{TH}$ , MOSFET ngưng mạch cực thoát và cực nguồn hở, dòng  $i_G = 0$

Đường  $v_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$ , dòng  $i_D$  trở thành:

$$i_{DS} = \frac{K}{2} v_{DS}^2$$

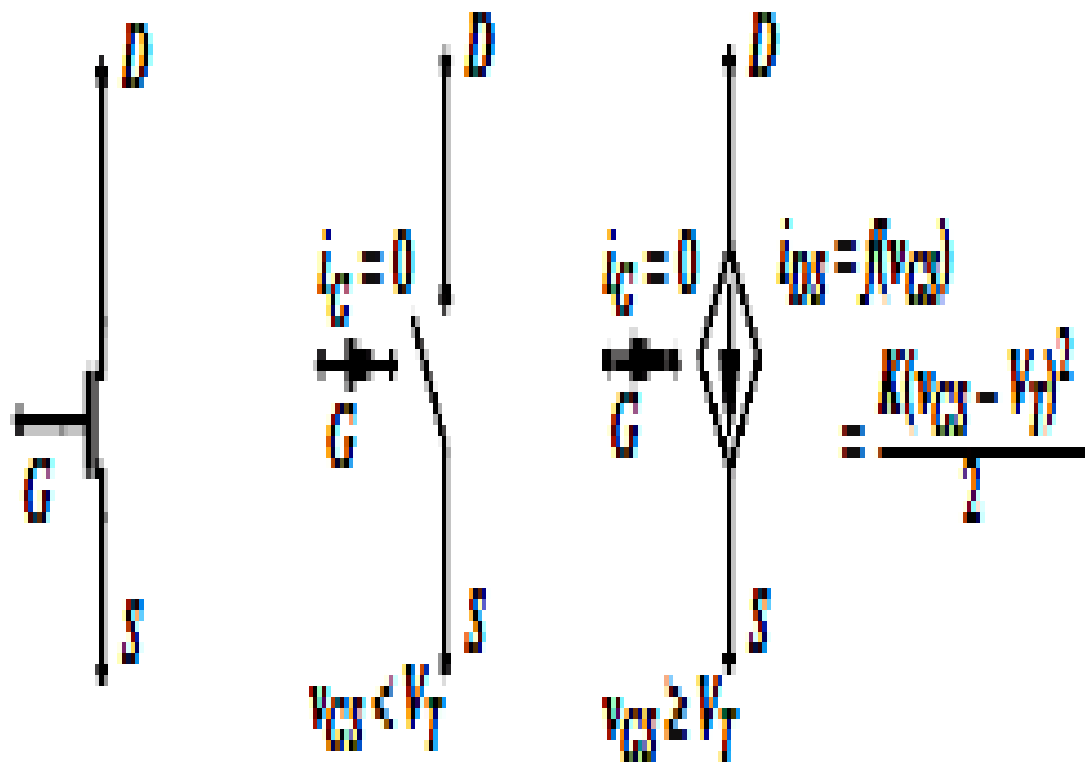


Trong vùng bảo hoà với  $v_{DS} \geq V_{TH}$  có:

$$i_{DS} = \begin{cases} \frac{K(v_{GS} - V_{TH})^2}{2} & v_{GS} \geq V_{TH}, v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TH} \\ 0 & v_{GS} < V_{TH} \end{cases}$$

**Thí dụ:** MOSFET có:  $K = 1 \text{ mA/V}^2$  và  $V_{TH} = 1 \text{ V}$ ,  $V_{DS} = 5\text{V}$ , hoạt động tại vùng bảo hoà lớn hơn  $v_{GS} - V_{TH}$  ( $2\text{V} - 1\text{V} = 1\text{V}$ ). Thay vào được:

$$i_{DS} = \frac{K(v_{GS} - V_{TH})^2}{2} = \frac{1\text{mA/V}^2 (2\text{V} - 1\text{V})}{2} = 0,5\text{mA}$$



Valid when  $v_{DS} \geq v_{GS} - V_T$

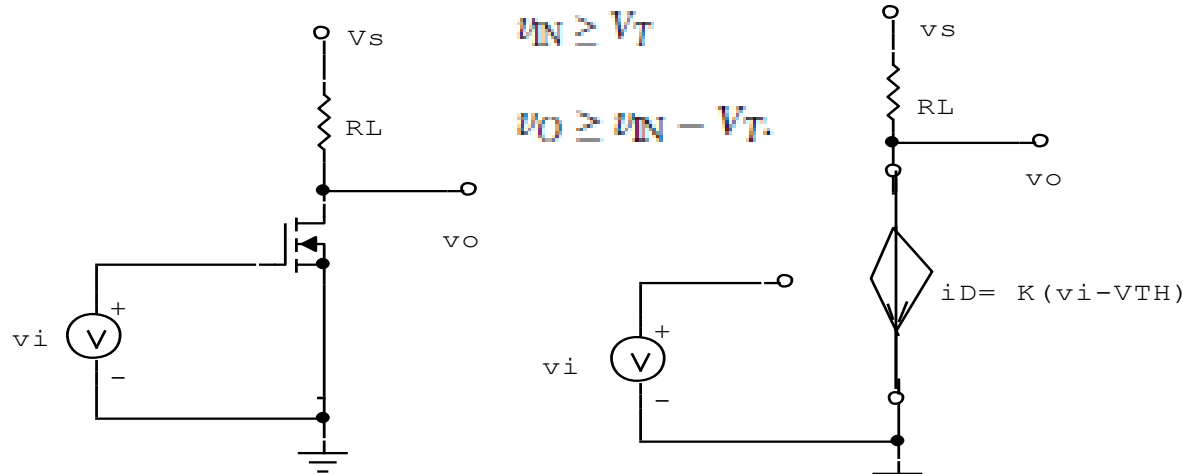
(a) MOS device

(b) Open state

(c) Closed state

FIGURE 7.15 The switch-current source model of the MOSFET.

## 5.4 Mạch Khuếch đại MOSFET tín hiệu lớn



$$i_D = \frac{K(v_i - V_{TH})^2}{2}$$

Mặt khác, viết hệ thức nút:

$$i_D = \frac{V_s - v_o}{R_L}$$

$$v_o = V_s - i_D R_L$$

$$v_o = V_s - K \frac{(v_i - V_{TH})^2}{2} R_L$$

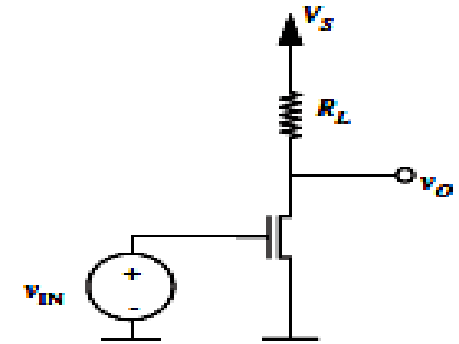


FIGURE 7.19 The MOSFET amplifier. The up-arrow labeled  $V_S$  represents a connection through a power supply voltage source to ground.

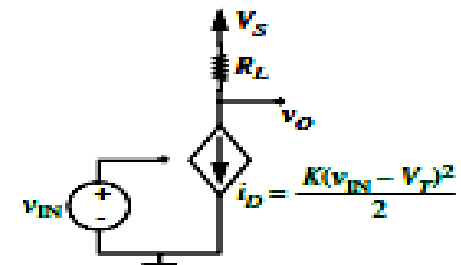
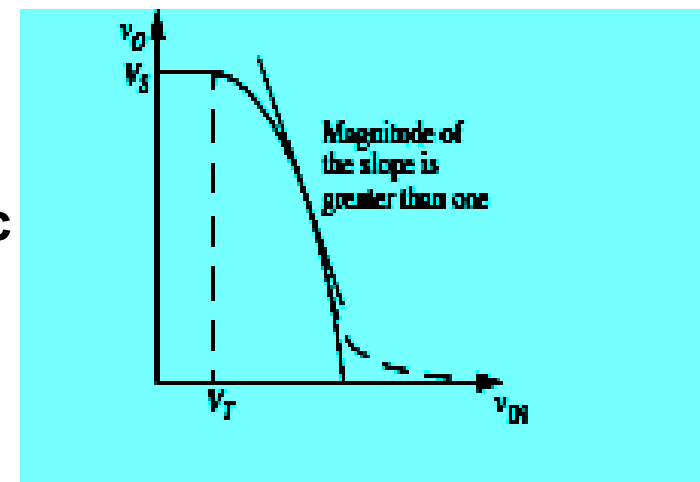
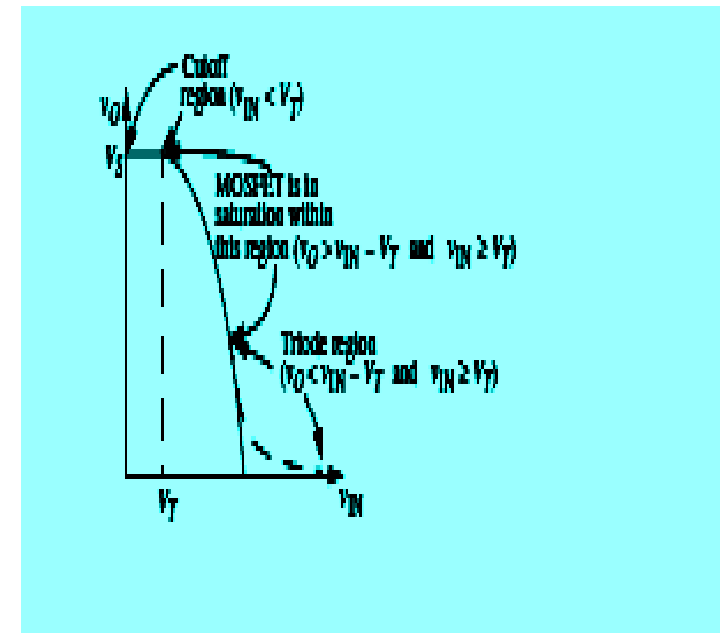


FIGURE 7.20 SCS circuit model of the MOSFET amplifier.  $i_D$  is the MOSFET drain-to-source current.

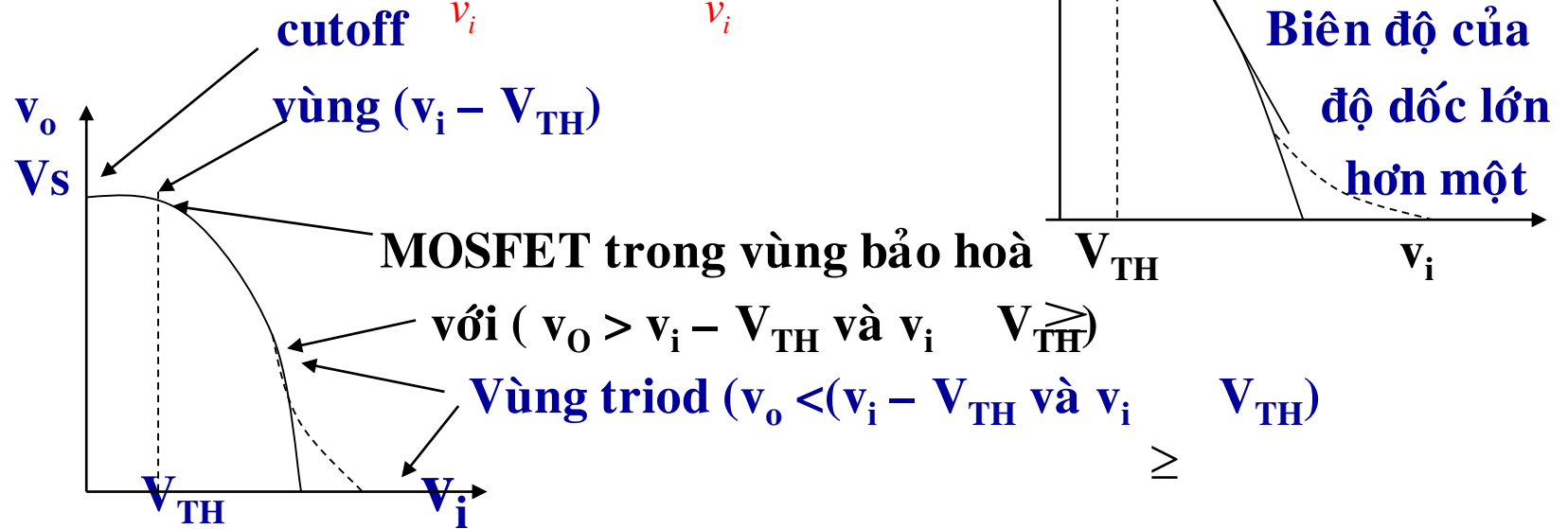
## Hàm số truyền của mạch khuếch đại

- Khi  $v_i < V_{TH}$ : MOSFET ngưng,  $i_D = 0$ ,  
 $v_O = V_s$
- Khi  $v_i$  tăng,  $v_i > V_{TH}$ , dòng  $i_D$  tăng làm  $v_O$  giảm nhanh khi  $v_i$  tăng. MOSFET hoạt động trong vùng bão hoà cho đến khi điện thế ra  $v_O$  giảm đến một ngưỡng thấp hơn điện thế cổng, tại điểm đó MOSFET đi vào vùng triod (đường đứt khoảng trong hình) và mô hình bão hoà ở công thức  $v_O$  (7.14) không còn hiệu lực.
- **Lưu ý:** Có một vùng xác định có độ dốc lớn hơn 1  $\rightarrow$  vùng khuếch đại tín hiệu, vào mà ta cần lưu ý khi nối tín hiệu vào mạch khuếch đại



**Độ lợi điện thế** còn gọi là **hàm số truyền**:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{V_S - K(v_i - V_{TH})^2 R_L}{v_i}$$



**Thí dụ:**

Cho mạch khuếch đại MOSFET có  $V_S = 10V$ ,  $K = 1mA/V^2$ ,  $R_L = 10k \Omega$   
 $V_{TH} = 1V$ ,  $v_i = 2V$ . Tính được:

$$v_o = 10 - (10^{-3}) \left( \frac{(v_i - 1)^2}{2} \right) 10 \cdot 10^3$$

$$= 10 - 5(2 - 1)^2 = 5V$$

## Nhận xét:

Ta có kết quả ở bảng sau:

1. Rõ ràng là mạch khuếch đại có độ lợi thế vì dải điện thế vào từ 1V đến 2,4 V làm ngõ ra thay đổi từ 10V đến 0V.

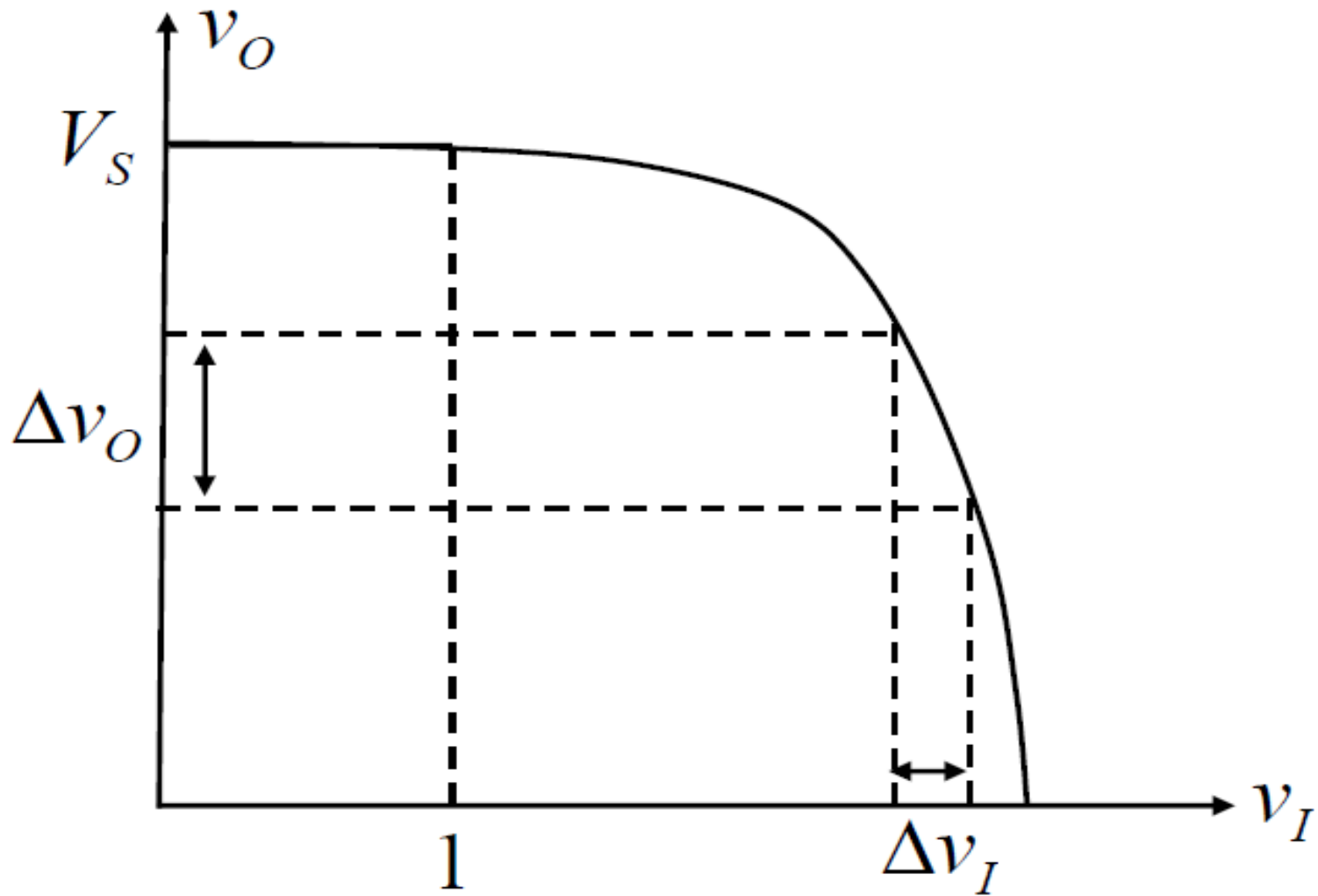
2. Độ lợi không tuyến tính, khi ngõ vào thay đổi từ 2V đến 2,1V, ngõ ra thay đổi từ 5 V đến 4V, biểu thị độ lợi cục bộ là 10. Tuy nhiên khi ngõ vào thay đổi từ 1,4V đến 1,5V, ngõ ra thay đổi gần 0,4V, biểu thị độ lợi là 4.

3. Chế độ bảo hoà chỉ đạt khi  $v_i$  có trị giữa 1V và gần 2,3V. Còn khi  $v_i$  nhỏ hơn 1V, MOSFET ngưng dẫn. Tương tự, khi  $v_i$  lớn hơn 2,3V, ngõ ra giảm nhiều hơn thêm giảm thấp ngõ vào. Lưu ý rằng, khi  $v_i$  là 2,32V, ngõ ra là 1,3V, điều này là nhiều hơn thêm giảm thấp ngõ vào.

$V_i$	$V_o$
1	10
1,4	9,2
1,5	8,8
1,8	6,8
1,9	6,0
2,0	5,0
2,1	4,0
2,2	2,8
2,3	1,6
2,32	1,3
2,35	0,9
2,4	<input type="checkbox"/> 0

$\Delta V_i$   $\Delta V_o$





$$\frac{\Delta v_O}{\Delta v_I} > 1 \longrightarrow \text{amplification}$$

## Thí dụ 2:

Cho mạch khuếch đại MOSFET như hình trên, giả sử MOSFET hoạt động trong vùng bảo hoà. MOSFET có các thông số sau:  $K = 0,5\text{mA/V}^2$ ,  $V_{TH} = 0,8\text{V}$ . Mạch có  $V_S = 5\text{V}$ , tín hiệu vào  $v_i = 2,5\text{V}$ ,  $R_L = 1\text{k}\Omega$ . Từ trị số  $v_o$ , chứng tỏ MOSFET ở trong vùng bảo hoà.

Ta có:

$$v_o = V_S - \frac{K(v_i - V_{TH})^2 R_L}{2} = 5 - 0,5 \cdot 10^{-3} \left( \frac{2,5 - 0,8}{2} \right)^2 (10^{-3})$$
$$= 4,28\text{V}$$

Với MOSFET ở vùng bảo hoà, phải thoả hai điều kiện sau:

$$v_{GS} \geq V_{TH}$$
$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TH}$$

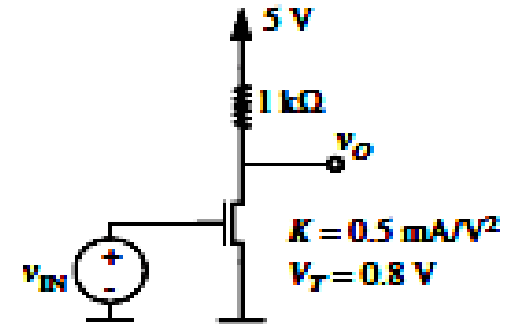


FIGURE 7.23 A MOSFET amplifier example.

Với mạch trên ta có:  $v_{GS} = v_i = 2,5\text{V} \geq V_{TH} = 0,8\text{V}$

$$v_{DS} = v_o = 4,28\text{V} \geq v_{GS} - V_{TH} = 2,5\text{V} - 0,8\text{V} = 1,7\text{V}$$

Hai điều kiện trên thoả, vậy MOSFET là ở trong vùng bảo hoà.

Nói cách khác, mạch khuếch đại phải thoả hai điều kiện trên tại mọi thời gian.

## Mạch theo nguồn (SF- Source Follower)

Còn gọi là **mạch đệm (buffer)**, mạch hoạt động trong vùng bão hoà.

Tại nút ngõ ra cho:

$$v_o = i_D R_S \Rightarrow i_D = \frac{v_o}{R_S} = \frac{v_o}{1 \times 10^3} \quad (1)$$

Mà:

$$i_D = \frac{K (v_{GS} - V_{TH})^2}{2} = 2 \times 10^{-3} \frac{(2V - 1V - v_o)^2}{2} \quad (2)$$

(1) và (2) cho:

$$v_o^2 - 3v_o + 1 = 0$$

Giải cho hai nghiệm 2,6 và 0,4. Ta chọn  $v_o = 0,4 \text{ V}$  vì thoả điều kiện bão hoà

$$v_i - v_o \geq V_{TH} \Leftrightarrow 2,5V - 0,4V \geq 1V$$

Vậy:

$$i_D = 0,4V / 1 \times 10^3 = 0,4 \text{ mA}$$

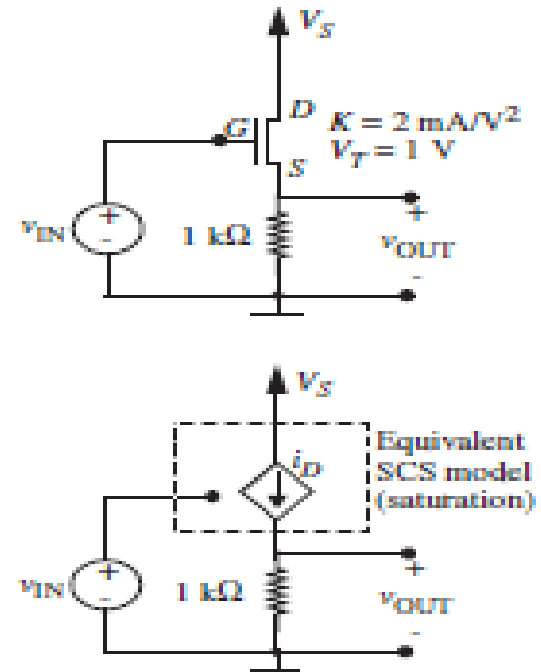


FIGURE 7.24 Source follower circuit.

## 5.5 Phân cực mạch khuếch đại MOSFET

Xét đặc tuyến truyền ở H.7.25 cho thấy MOSFET là bảo hoà chỉ trong vùng nhất định của dải 1 V đến khoảng 2,32 V (xem lại bảng trên).

Để bảo đảm mạch khuếch đại hoạt động ở vùng đó của đặc tuyến, một cách gần đúng ta phải chuyển đổi điện thế vào.

Theo H. con đường phải làm là tăng cường tín hiệu mà ta muốn khuếch đại (thí dụ,  $v_A$ ) với một điện thế offset DC (như,  $V_X$ ) sao cho mạch khuếch đại hoạt động trong vùng bão hoà ngay cả khi với phần trị số âm của tín hiệu vào.

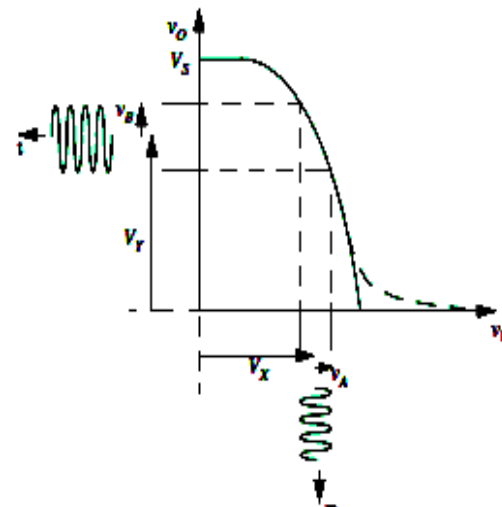


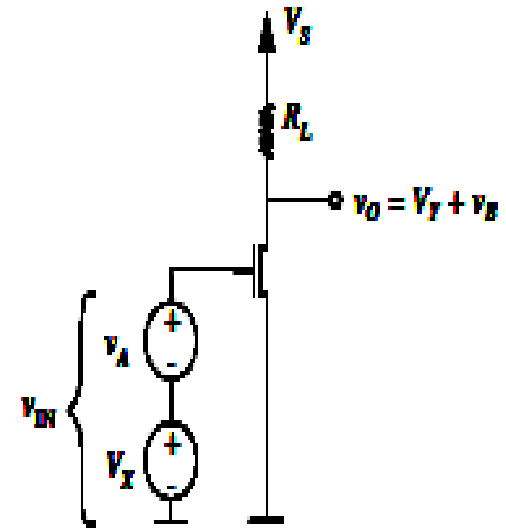
FIGURE 7.25 Boosting the input signal of interest with a suitable DC offset so that the MOSFET operates in its saturation region for the entire range of input signal excursions.

- **H.7.26** biểu diễn nhận xét trên, ta có:

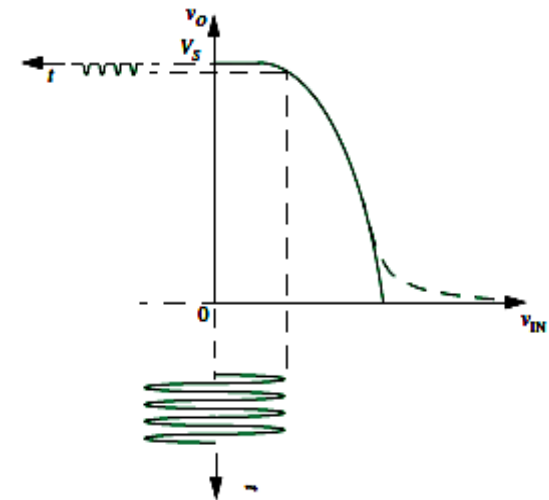
$$v_i = V_X + v_A$$

trong đó  $v_A$  là tín hiệu vào mong muốn.

Lưu ý trong H.7.25 tương ứng điện thế ra  $v_o$  cũng chứa một điện thế offset  $V_Y$  cộng vào tín hiệu ra  $v_B$  thay đổi theo thời gian.  $v_B$  là khuếch đại của tín hiệu vào  $v_A$ .



- Nếu tín hiệu vào tác động trực tiếp vào mạch khuếch đại mà không có cộng điện thế offset DC vào, MOSFET sẽ hoạt động trong vùng ngưng với gần hết tín hiệu vào → tín hiệu ra bị biến dạng lớn → gọi bị cắt



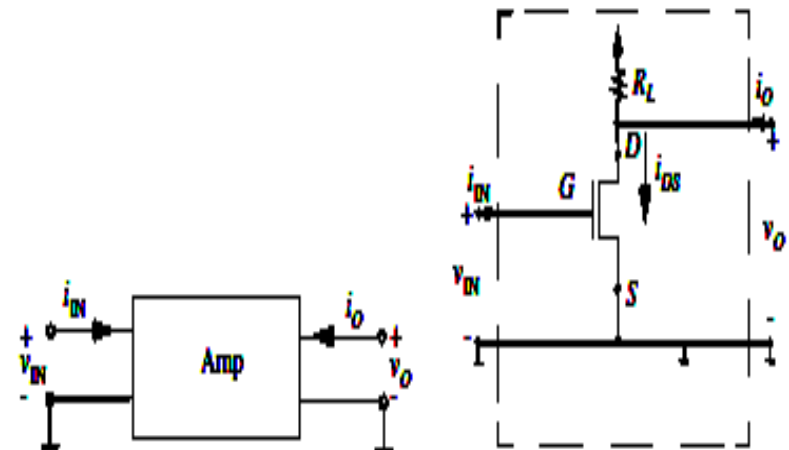
H. 7.27

Các điện thế DC trong tín hiệu vào và trong tín hiệu ra rất quan trọng, được gọi là **điện thế phân cực**, để thiết lập **điểm hoạt động** (đôi khi còn gọi là **điểm phân cực**) cho mạch khuếch đại. Và sẽ được xét chi tiết ở đoạn sau.

## Biểu diễn mạch khuếch đại

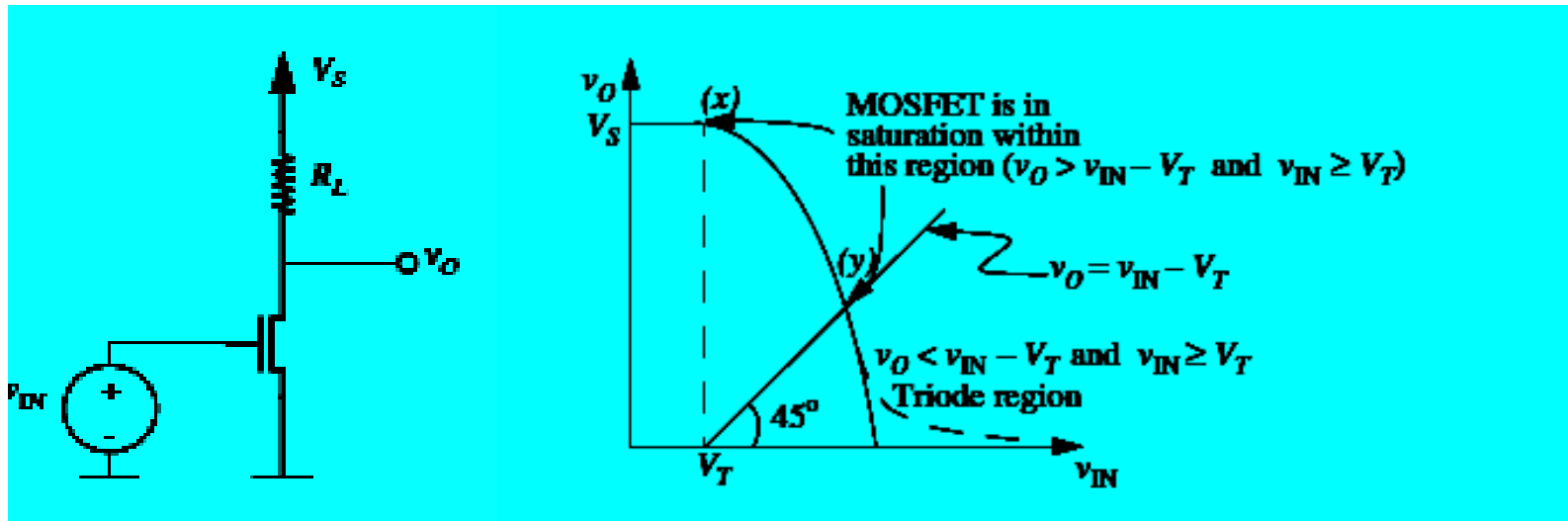
Mạch khuếch đại trừu tượng và qui tắc bão hoà  
Để biểu diễn mạch khuếch đại trừu tượng không cần biết chi tiết bên trong mạch, ta dùng thuyết **tứ cực H. 7.28** với ngõ vào  $v_i, i_i$  và ngõ ra  $v_o, i_o$ .

**Qui tắc bão hoà đơn giản** là mạch khuếch đại hoạt động trong vùng bão hoà của MOSFET, vì mạch khuếch đại cung cấp một lượng **độ lợi công suất** tốt trong vùng bão hoà.



## 5.5. Phân tích tín hiệu lớn của mạch khuếch đại MOSFET

- Phân tích tín hiệu lớn nghĩa là tìm tính chất mạch khuếch đại như thế nào với sự thay đổi lớn trong tín hiệu vào, nói cách khác, đó là làm thay đổi của cùng độ lớn các thông số hoạt động của mạch khuếch đại.
  - Phân tích tín hiệu lớn cũng xác định dải ngõ vào cho mạch khuếch đại theo qui tắc bảo hoà như đã thảo luận ở trên.
- Ta sẽ áp dụng phương pháp phân giải bằng đồ thị để phân giải.



# Phân tích mạch

## 1. Phương pháp giải tích :

xem  $v_O = v_{DS}$

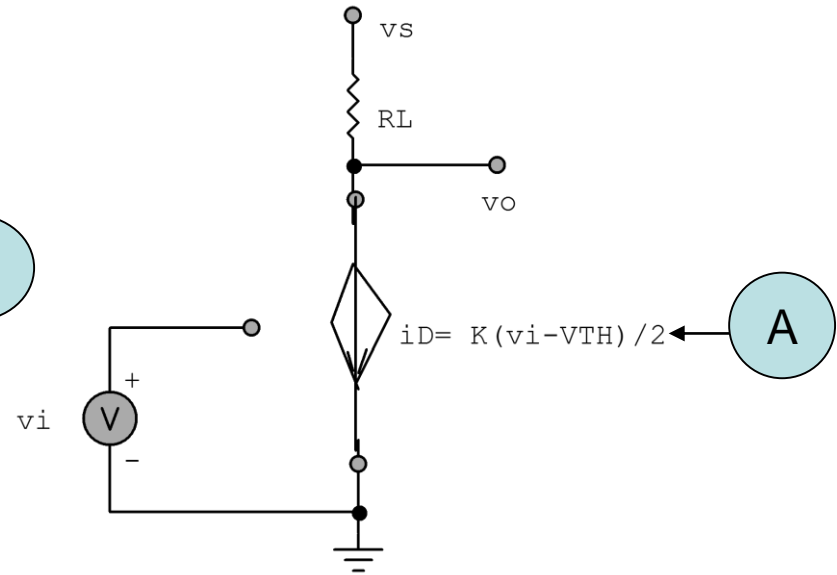
$$v_D = V_S - i_{DS} R_L \Rightarrow i_{DS} = \frac{V_S - v_D}{R_L} \quad \leftarrow \text{B}$$

$$v_D = V_S - K \frac{(v_i - V_{TH})^2}{2} R_L \quad v_i \geq V_{TH}$$

$$v_O \geq v_i - V_{TH}$$

$$v_O = V_S \quad v_i < V_{TH}$$

(MOSFET ngưng dẫn)

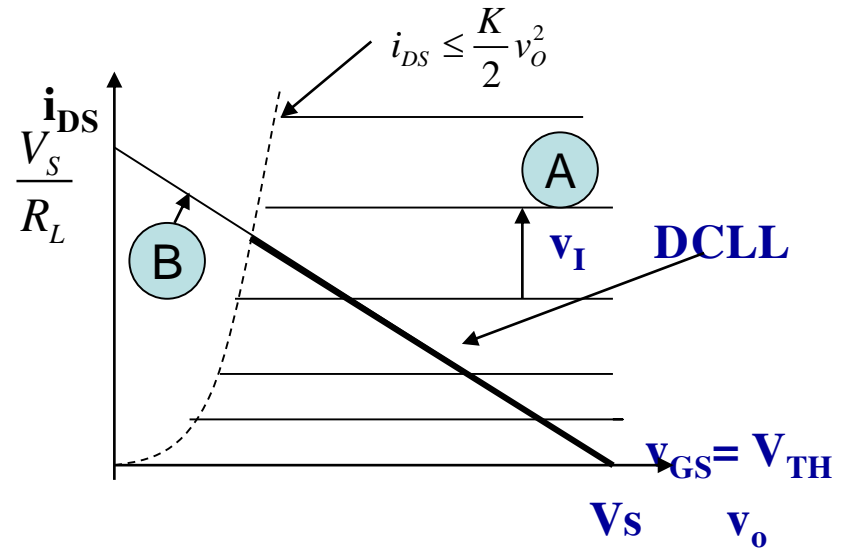


## 2. Phương pháp đồ thị:

Từ (A) :  $i_D = \frac{K(v_i - V_{TH})^2}{2} \geq \frac{K}{2} v_O^2 \Rightarrow$

$$v_O \geq \sqrt{\frac{2i_{DS}}{K}} \Rightarrow i_{DS} \leq \frac{K}{2} v_O^2$$

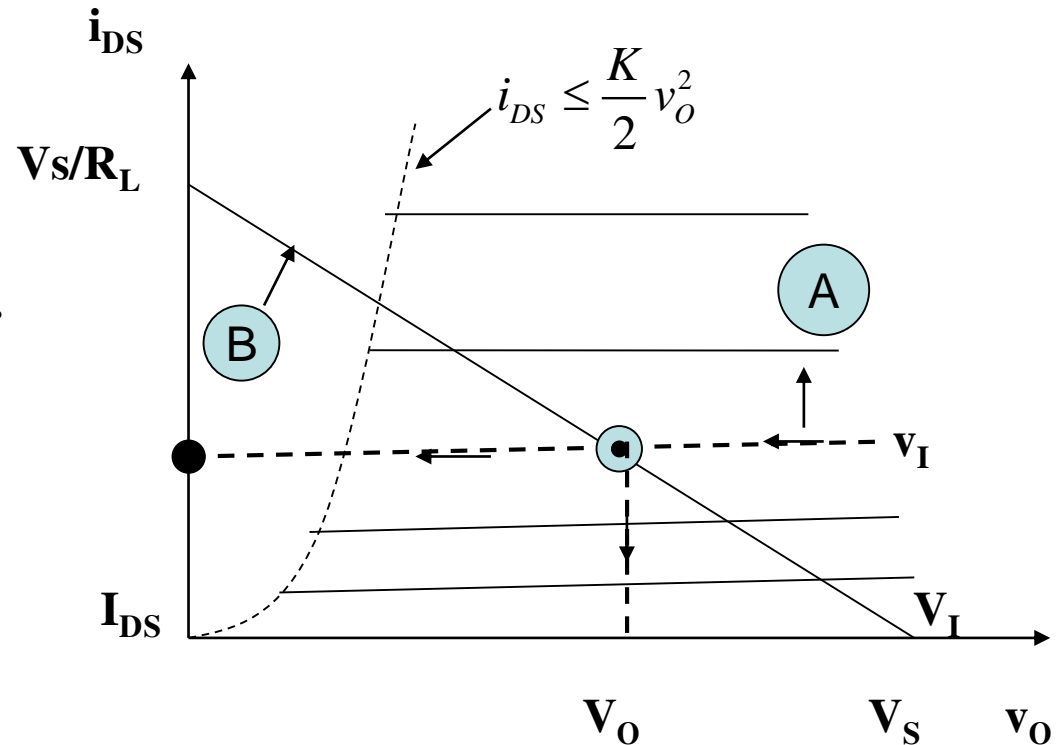
Từ (B) :  $i_{DS} = \frac{V_S}{R_L} - \frac{v_O}{R_L}$





- Bắt buộc (A) và (B) phải gặp nhau (giao nhau)

Cho  $V_I$ , tìm được  $V_O$ ,  $I_{DS}$ .



**Thí dụ:**

Với tín hiệu vào có điện thế đỉnh - đỉnh 0,2 V với điện thế offset 1,5 V được khuếch đại cho điện thế ra vo có trị số đỉnh - đỉnh 1 V chung quanh trị 3,75 V của điểm tĩnh ( DC).

(xem hình trang sau)

# Khuếch đại

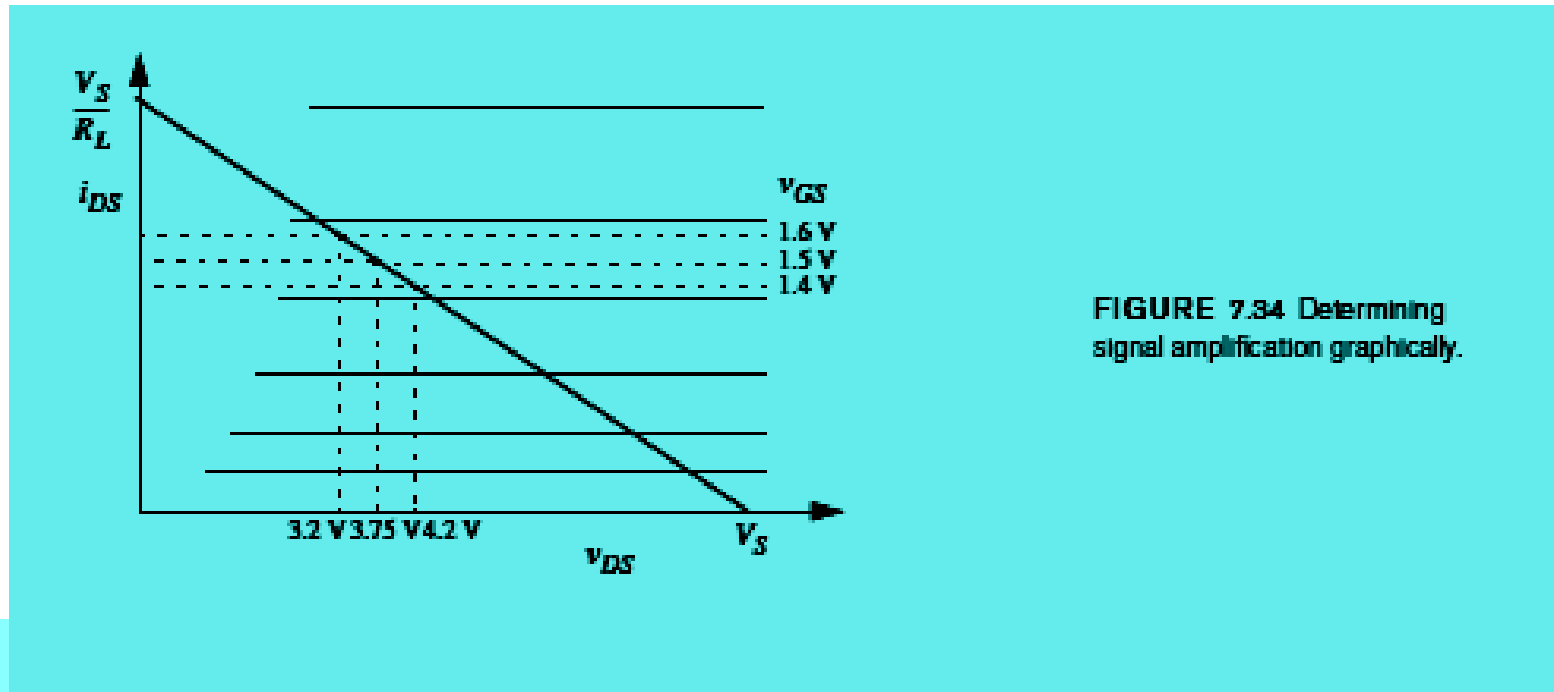


FIGURE 7.34 Determining signal amplification graphically.

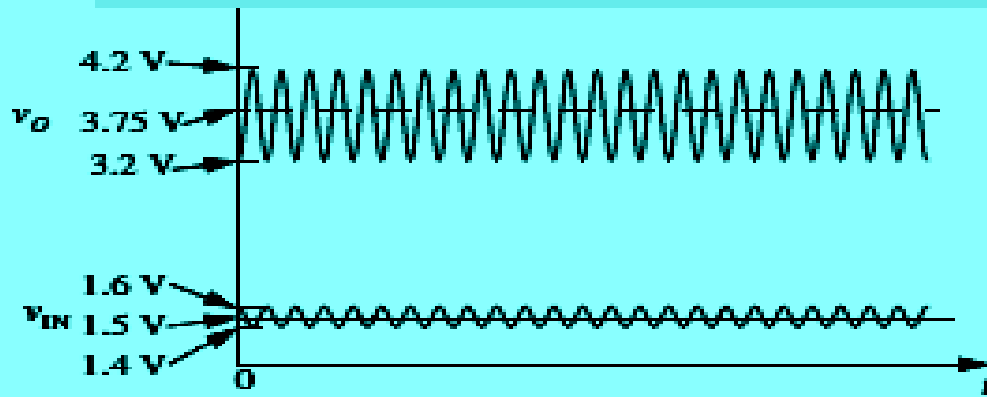


FIGURE 7.35 Signal amplification.

Với tín hiệu lớn, đường thẳng tải sẽ cắt vùng triod, cho bởi:

$$v_O = v_I - V_{TH}$$

Và ở giao điểm đó, trong vùng bảo hoà cho:

$$v_O = V_S - K \frac{(v_i - V_{TH})^2}{2} R_L$$

Đồng nhất hai vế, cho:

$$v_O = v_I - V_{TH} = V_S - K \frac{(v_i - V_{TH})^2}{2} R_L$$

Sắp xếp lại cho:

$$R_L \frac{K}{2} (v_I - V_{TH})^2 + (v_I - V_{TH}) - V_S = 0$$

Giải phương trình bậc hai được:

$$v_O = v_I - V_{TH} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 2KR_L V_S}}{KR_L}$$

$$v_I = V_{TH} + \frac{-1 + \sqrt{1 + 2KR_L V_S}}{KR_L}$$

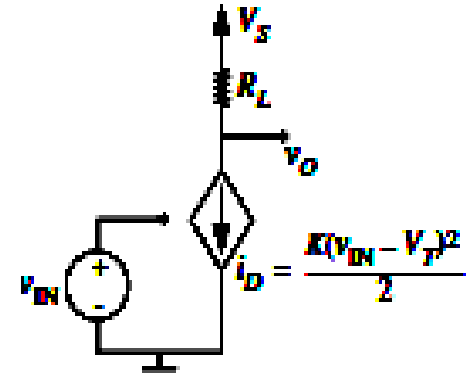


FIGURE 7.30 MOSFET amplifier — large signal model.

## Hiệu lực của dải điện thế vào, điện thế ra và dòng thoát

Dải điện thế ngõ vào cực đại là:

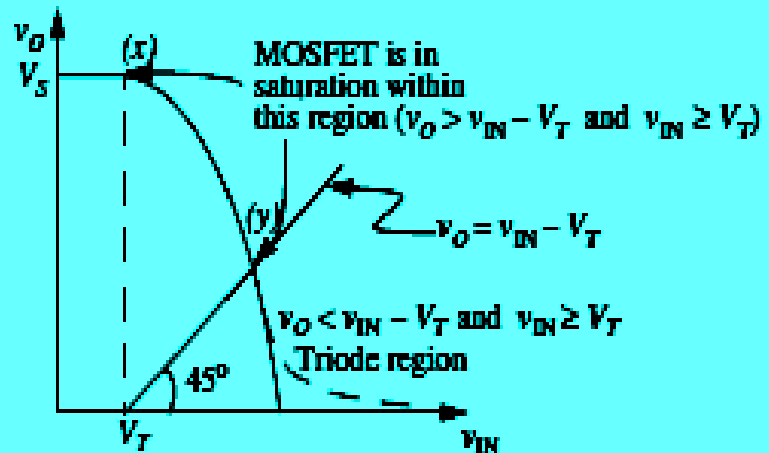
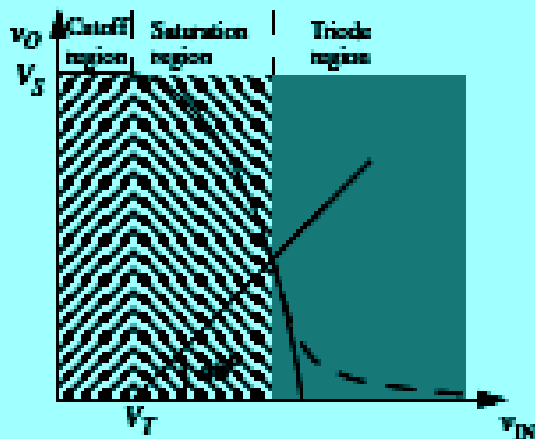
$$V_{TH} \rightarrow v_I = V_{TH} + \frac{-1 + \sqrt{1 + 2KR_L V_S}}{KR_L}$$

Dải điện áp ra cực đại:

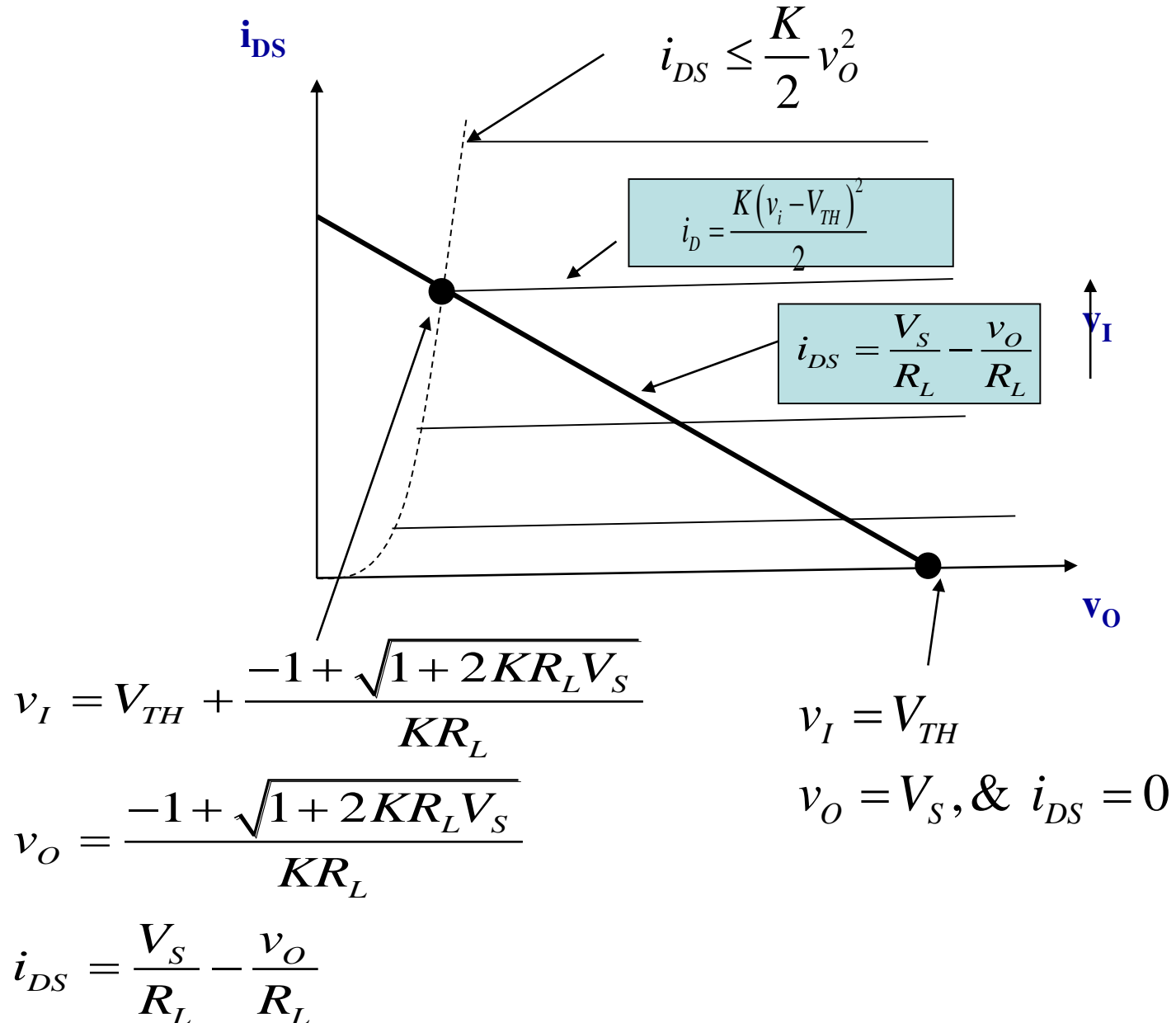
$$V_S \rightarrow \frac{-1 + \sqrt{1 + 2KR_L V_S}}{KR_L}$$

Dải dòng thoát tương ứng:

$$0 \rightarrow \frac{K}{2} (v_I - V_{TH})^2$$



## Các trị số trên đồ thị:



**Thí dụ 1:** Cho mạch khuếch đại MOSFET có:  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $V_S = 5\text{V}$ ,  $K = 1 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{TH} = 1 \text{ V}$ . Xác định dải điện thế ngõ vào của mạch khuếch đại.

Theo trên ta biết trị số thấp của dải điện thế ngõ vào bằng  $V_{TN} = 1\text{V}$ .  
Trị số tương ứng của  $v_o$  là  $V_S = 5 \text{ V}$  và dòng điện  $i_D = 0$ .

Tiếp đó, ta có trị số cao nhất của điện thế ngõ vào ở vùng hoạt động bảo hoà của mạch khuếch đại MOSFET có được khi thay các trị số vào phương trình trên:

$$\begin{aligned} v_{i_{\max}} &= V_{TH} + \frac{-1 + \sqrt{1 + 2KR_L V_S}}{KR_L} \\ &= 1 + \frac{-1 + \sqrt{1 + 2(1 \cdot 10^{-3})(1 \cdot 10^4)(5)}}{(1 \cdot 10^{-3})(1 \cdot 10^4)} \\ &= 1,9\text{V} \end{aligned}$$

ta tính được các trị số tương ứng  $v_o$  và  $i_o$ :

$$\begin{aligned} v_o &= v_i - V_{TH} = 1,9\text{V} - 1\text{V} = 0,9\text{V} \\ i_D &= \frac{K}{2} (v_i - V_{TH})^2 = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} (1,9 - 1)^2 = 0,41\text{mA} \end{aligned}$$

**Tóm lại dải trị số cực đại của điện thế vào:**

$$1\text{V} \rightarrow 1,9\text{ V}$$

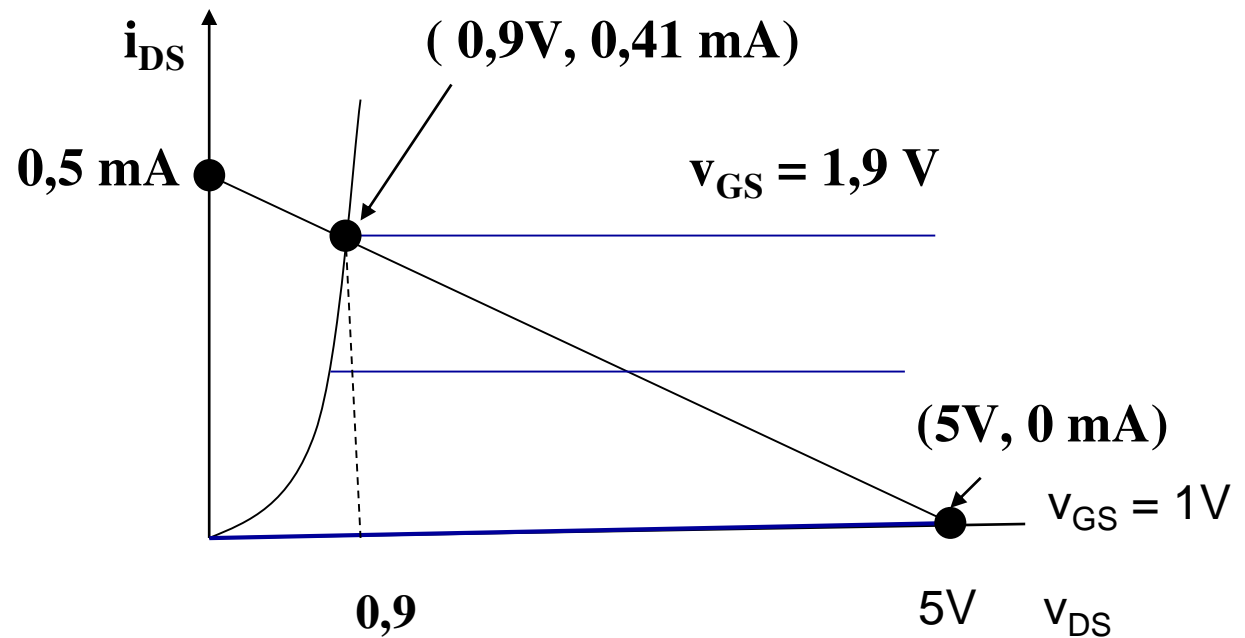
**Và dải trị số cực đại ngõ ra:**

$$5\text{V} \rightarrow 0,9\text{ V}$$

**Dải dòng điện thoát tương ứng:**

$$0\text{ mA} \rightarrow 0,41\text{ mA}$$

**Ta có đồ thị của mạch khuếch như sau:**



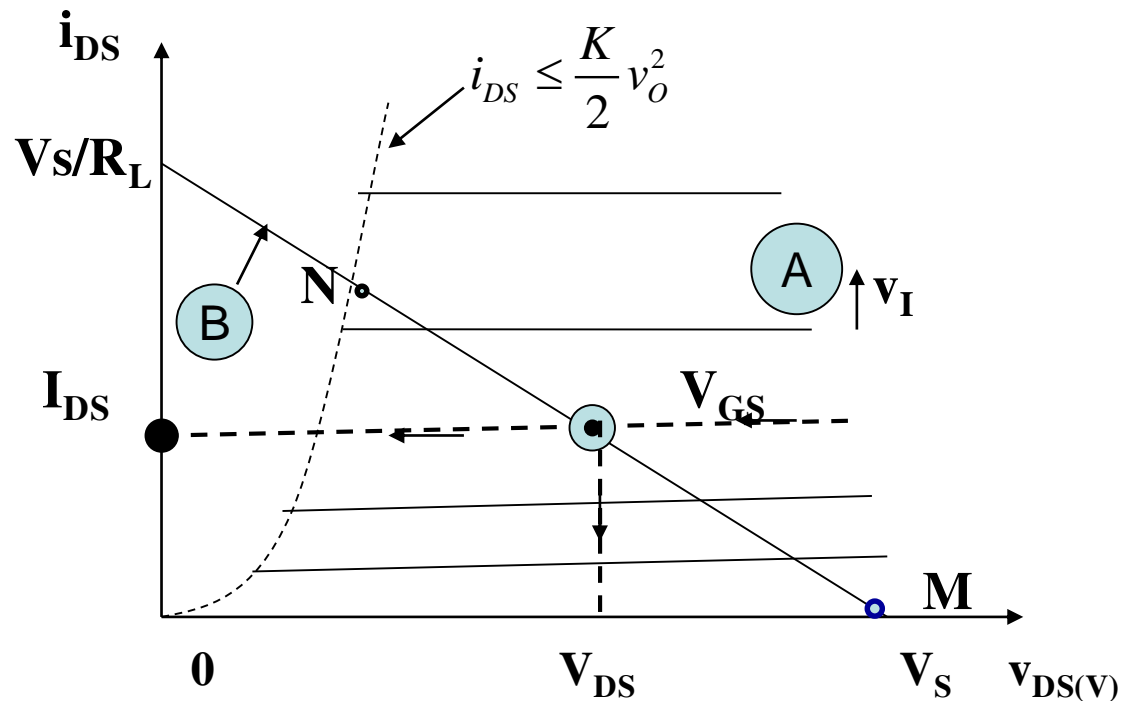
## **Tóm lại:**

- Phân tích tín hiệu xác định đường cong chuyển vào – ra của mạch khuếch đại và những giới hạn trên điện thế vào tại đó mạch khuếch đại hoạt động dưới điều kiện bảo hoà.
- Đặc biệt, phân tích tín hiệu của một mạch khuếch đại bao gồm những bước sau:
  1. Rút ra hệ thức giữa  $v_i$  và  $v_o$  dưới điều kiện bảo hoà. Lưu ý rằng, một cách tổng quát, điều đó phải được phân tích tuyến tính hoặc hoàn toàn không tuyến tính.
  2. Tính dải điện thế vào hiệu lực và dải điện thế ra hiệu lực cho hoạt động bảo hoà. Những giới hạn của dải hiệu lực xảy ra khi MOSFET đi vào vùng ngưng dẫn hoặc vùng triod. Trong mạch phức tạp, bước này đòi hỏi phải được phân giải (phân tích toán học- giải tích toán học).
- Những giới hạn xác định trong phân tích tín hiệu lớn dẫn tới cách xác định điểm hoạt động của mạch khuếch đại, sẽ xét trong đoạn tới.



## 5.6 Chọn điểm điều hành

Theo trên, thường ta chọn điểm Q ở trung điểm đường tải tĩnh, để tín hiệu vào đu đưa quanh điểm Q (tín hiệu ra có biên độ cực đại đối xứng quanh điểm Q mà không bị biến dạng):



Điểm hoạt động sẽ di chuyển trên đường thẳng tải khi có tín hiệu tác động vào cực cổng MOSFET.

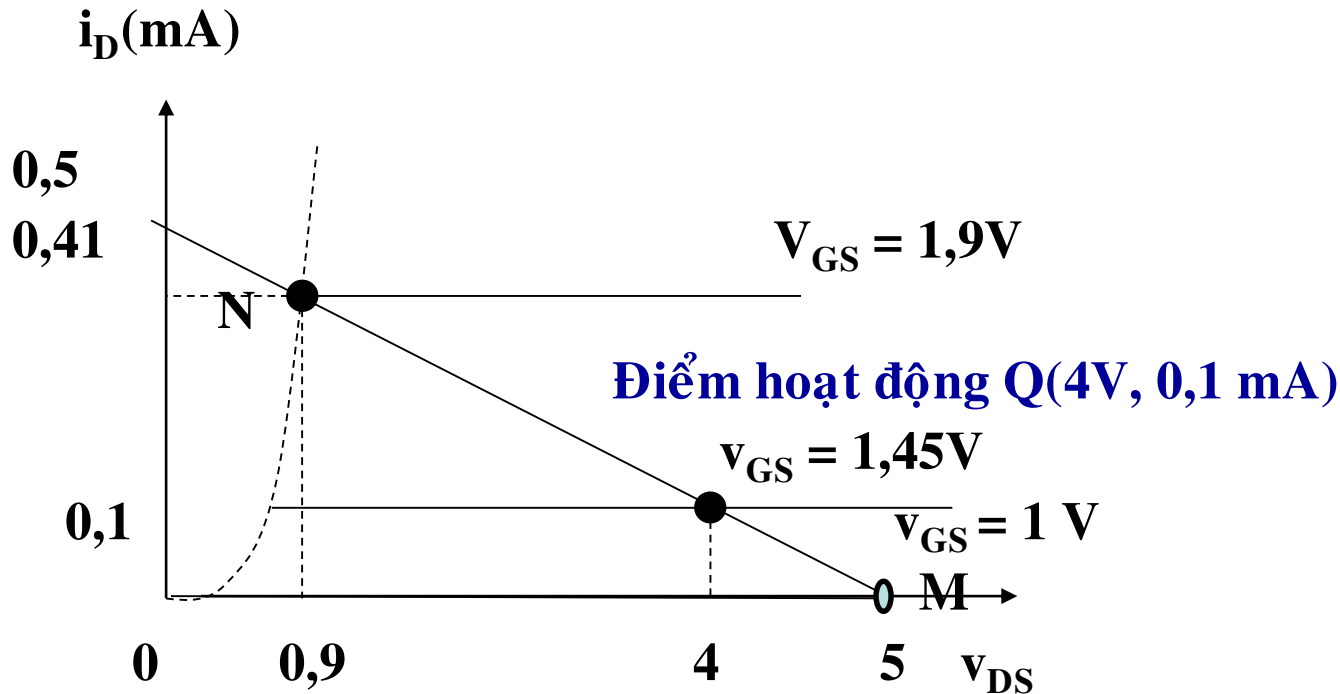
- Do đó phải dùng **điện thế DC phân cực ngõ vào** hay **điện thế hoạt động ngõ vào**. Điện thế ngõ ra và dòng điện ngõ ra tương ứng xác định điểm hoạt động của mạch khuếch đại.

Lưu ý rằng trị số điểm hoạt động tĩnh là  $v_I$ ,  $v_O$ , và  $i_D$  như  $V_I$ ,  $V_O$  và  $I_D$  tương ứng. Điểm hoạt động luôn phải ở vị trí dài trên đường thẳng tải trong dải bão hoà có hiệu lực giữa điểm cực tiểu (M) và điểm (N) trong vùng triod.

- Có nhiều thừa số có thể chi phối sự chọn lựa điểm hoạt động. Ví dụ:
  - Điểm hoạt động quyết định dải động cực đại của tín hiệu vào cả trị số dương và âm mà MOSFET hoạt động trong vùng bão hoà.
  - Trị số điểm hoạt động của tín hiệu vào cũng chi phối độ lợi của mạch khuếch đại.
- Trong đoạn này ta chú trọng vào việc chọn điểm hoạt động dựa trên sự **làm cực đại dải tín hiệu vào hữu dụng**.
- Về hệ thức giữa độ lợi của mạch khuếch đại và điểm hoạt động sẽ được xét ở chương sau.

## Thí dụ 2 :

Cho mạch khuếch đại MOSFET như thí dụ 1, MOSFET hoạt động trong điều kiện bảo hoà với dải điện thế vào  $1V \rightarrow 1,9V$ , ta phải chọn điện thế vào điểm hoạt động tại trị số trung tm dải động đó,  $V_i = 1,45V$ . Sự chọn lựa này được biểu diễn trên hình vẽ lại dưới đây:



Ta biết ngõ ra thay đổi giữa 0,9V và 5V khi ngõ vào thay đổi giữa 1V và 1,9V.

**Tính được điện thế ngõ ra:**

$$v_o = V_s - K \frac{(v_i - V_{TH})^2}{2} R_L = 5 - 10^{-3} \frac{(1,45 - 1)^2}{2} 10^4$$

**Và:**  $= 4V$

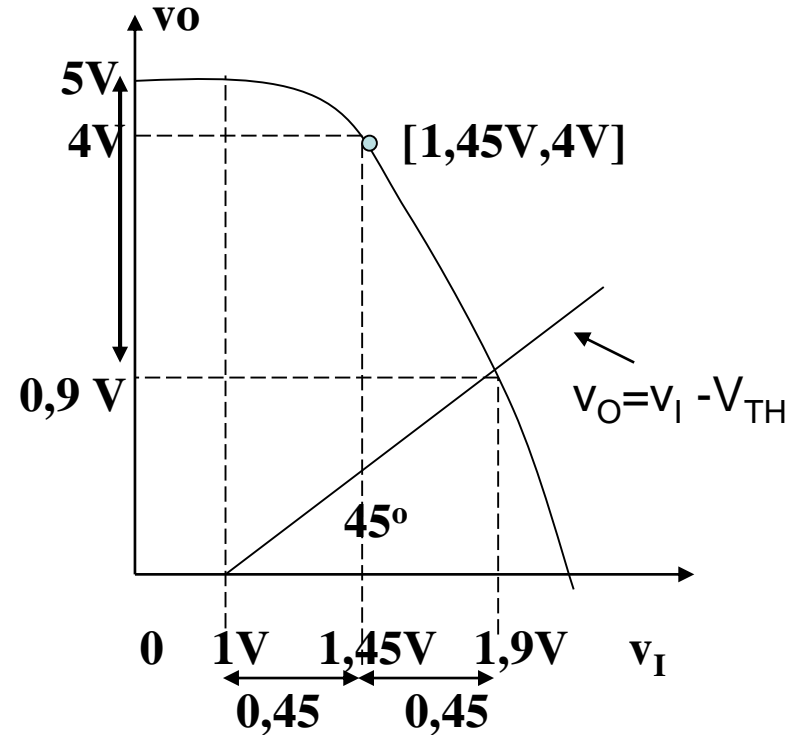
$$i_D = \frac{K}{2} (v_i - V_{TH})^2 = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} (1,45 - 1)^2$$
$$= 0,1mA$$

**Do đó điểm hoạt động của mạch  
khuếch đại:**

$$V_I = 1,45V$$

$$V_O = 4V$$

$$I_D = 0,1 mA$$



**Điểm hoạt động đó sẽ làm cực đại trị số đỉnh – đỉnh điện thế vào đưa  
(swing) để cho mạch khuếch đại hoạt động dưới điều kiện bảo hoà.**

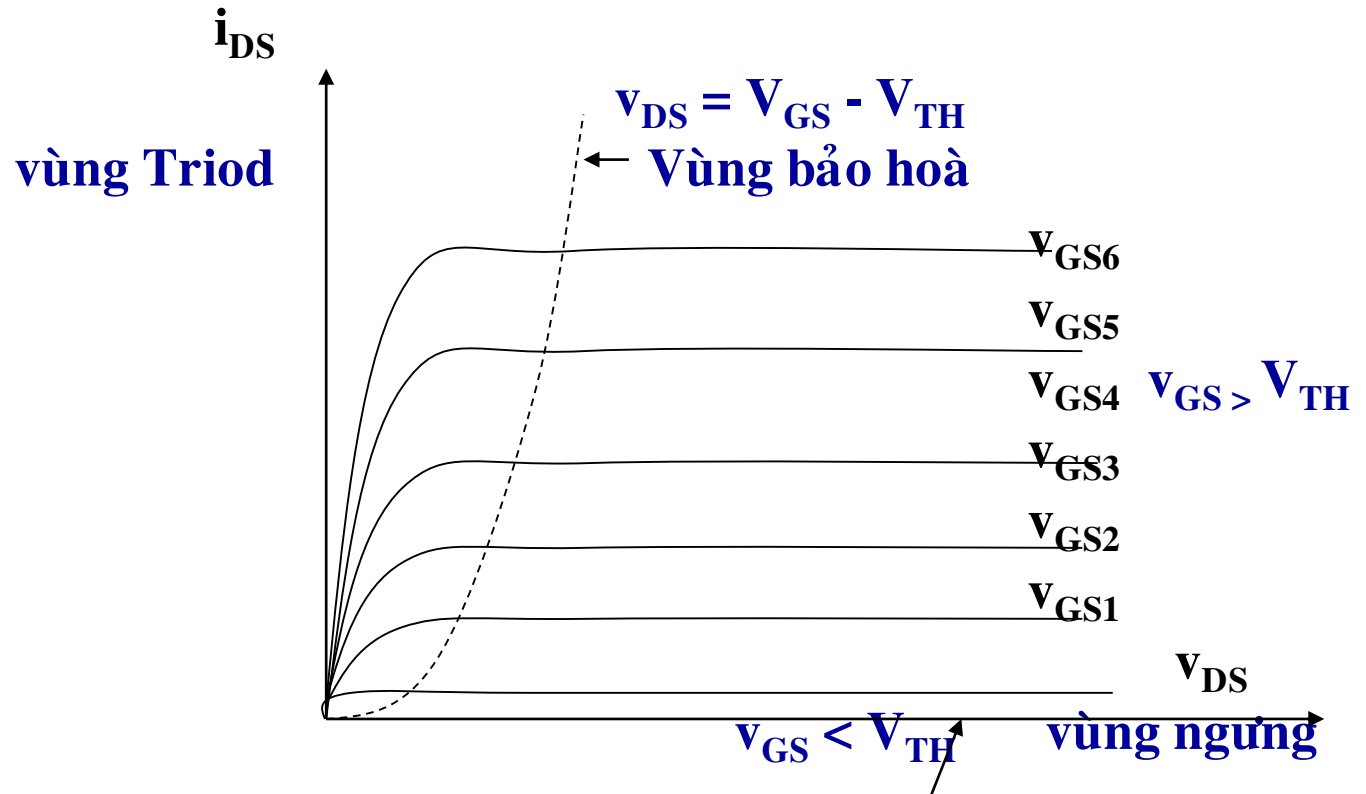
## 5.6 Mô hình SU của MOSFET (Switch unified MOSFET)

Để càng chính xác hơn, chúng ta phải khai triển một mô hình càng chi tiết hơn cho hoạt động ở vùng triod của MOSFET. Từ bỏ phương pháp tuyến tính từng mảnh, điều này mô hình càng mô tả chi tiết hơn đặc tính của MOSFET trong vùng triod như *điện trở không tuyến tính*, mà đặc tính của nó phụ thuộc vào  $v_{GS}$ . Khi kết hợp với mô hình SCS cho vùng bảo hoà, mô hình điện trở không tuyến tính trong vùng triod cho kết quả một bộ (set) liên tục của đường cong MOSFET. Mô hình kết quả tổ hợp vùng triod và vùng bảo hoà được gọi là *mô hình giao hoán thống nhất* hay **mô hình SU của MOSFET**.

**Mô hình SU có thể tóm tắt như sau:**

$$i_{DS} = \begin{cases} K \left[ (v_{GS} - V_{TH}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right], & v_{GS} \geq V_{TH} \ \& \ v_{DS} \leq v_{GS} - V_{TH} \\ \frac{K (v_{GS} - V_{TH})^2}{2}, & v_{GS} \geq V_{TH} \ \& \ v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TH} \\ 0, & v_{GS} < V_{TH} \end{cases}$$

## 2. Đặc tuyến mô hình SU ( Switch Unified Model)



Đặc tuyến SU cho thấy có sự liên tục của các đường cong trong vùng triod và vùng bão hoà tạo nên sự phối hợp tốt với đặc tuyến thực của MOSFET.

### Thí dụ 3:

Cho mạch khuếch đại MOSFET ở H. . MOSFET có  $V_{TH} = 1V$ ,  $K = 1mA/V^2$ . Xác định đặc tính tín hiệu vào – ra cực đại của mạch khuếch đại.

Mạch phân cực bằng cầu  
chia thế cho :

$$V_B = \frac{16}{84+16} 10V = 1,6V$$

theo định luật KVL cho:

$$v_{GS} = V_B - v_I$$

Và: 
$$v_O = V_S - \frac{R_3 K}{2} (V_B - v_I - V_{TH})^2 = 10 - 10(0,6 - v_I)^2$$

Khi  $v_I = 0 \rightarrow v_O = 6,4V$

Ta có:  $v_O - v_I \geq V_B - v_I - V_{TH} \geq 0$  MOSFET hoạt động trong vùng bão hòa.

Dải của ngõ vào:

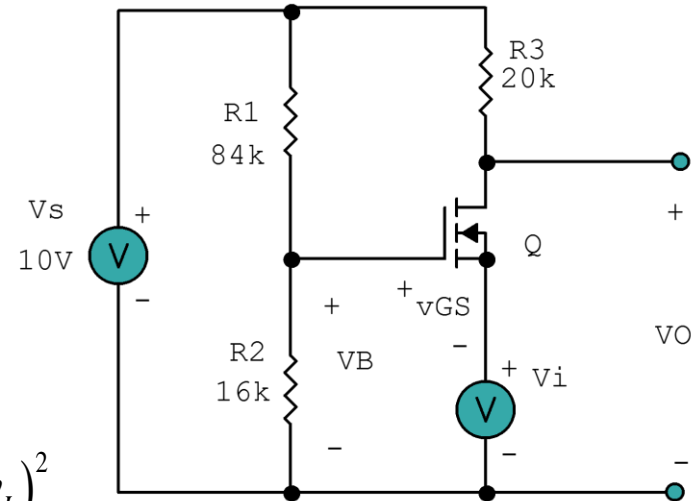
$$-0,3695V \leq v_I \leq 0,6V$$

Dải ngõ ra:

$$0,6V \leq v_O \leq 10V$$

\* Vì  $V_{DS} = V_O - V_i$  chính là  $V_B = V_{GS} + V_i$  hay  $V_{GS} = V_B - V_i$  (theo hình )

• thay vào điều kiện bão hòa :  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$ , cho kết quả như trên



### Thí dụ 3:

Cho mạch như H. , với MÔFET M1 có  $K = 2 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{TH} = 1\text{V}$ ,  $v_I = 5\text{V}$ ; M2 có:  $K = 64 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{TH} = 1\text{V}$ ,  $v_I = 2\text{V}$  =. Chứng tỏ M1 hoạt động trong vùng bảo hoà, M2 hoạt động trong vùng triod.

Ta lần lượt tính được:

M1 hoạt động trong vùng bảo hoà, có  $v_{GS} = 5 - v_O$ , thay vào:

$$i_{D1} = \frac{K (v_{GS} - V_{TH})^2}{2} = 10^{-3} (4 - v_O)^2$$

M2 hoạt động trong vùng triod, nên cho:

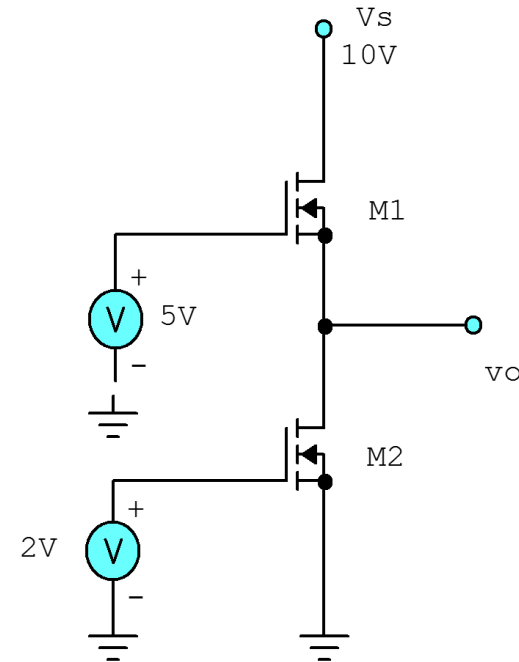
$$i_D = K \left[ (v_{GS} - V_{TH}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$
$$= 64 \cdot 10^{-3} \left[ v_O - \frac{v_O^2}{2} \right]$$

Đồng nhất hai phương trình, cho:

$$i_D = 10^{-3} (4 - v_O)^2 = 64 \cdot 10^{-3} \left( v_O - \frac{v_O^2}{2} \right)$$

$$33v_O^2 - 72v_O + 16 = 0$$

Giải cho :  $v_O = 0,25\text{V}$





## Hoặc vẽ

Kết quả cho thấy:

$$v_o = 0,25 \text{ V}$$

M1 trong vùng bão hoà, và

M2 trong vùng triod

$$V_{GS1} = 5 - 0,25 = 4,75 > V_{TH} = 1 \text{ V}$$
$$V_{DS} = 10 \text{ V} - 0,25 \text{ V} = 9,75 \text{ V} > 5 - 1 = 4 \text{ V}$$

Và

$$V_{GS2} > V_{TH}$$
$$V_{DS2} = 0,25 \text{ V} < V_{GS} - V_{TH} = 1 \text{ V}$$

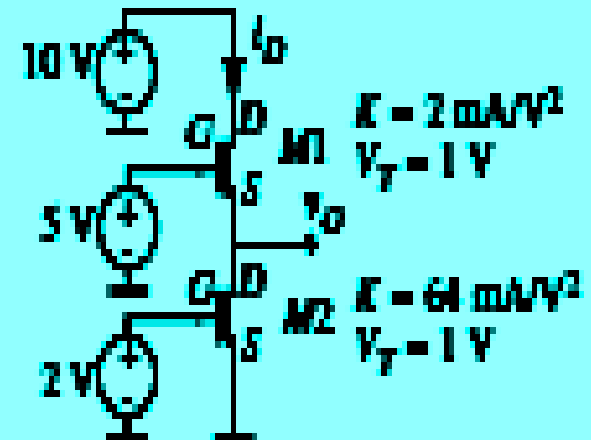


FIGURE 7.85 A circuit containing two MOSFETs. We are told that M1 operates in the saturation region and that M2 operates in the triode region.

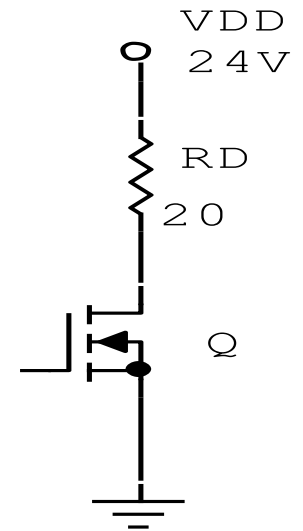
## Thí dụ mạch khuếch đại lớn

- Cho mạch khuếch đại ráp cực nguồn chung (CS) theo hình:”
- Tính được:

$$I_{D(\max)} = \frac{V_{DD}}{R_D} \Big|_{V_{DS=0}} = \frac{24V}{20} = 1,2A$$

$$V_{DS(\max)} = V_{DD} - R_D I_D = V_{DD} - 0 = 24V$$

$$P_{D(\max)} = V_{DSQ} I_{DQ} = \frac{24}{2} \left( \frac{1.2}{2} \right) = 7.2W$$



- **Thí dụ 2:** Cho mạch khuếch đại ráp CS như trên, với
- $V_{DD}=10V$ ,  $R_D = 5 \text{ k}\Omega$  , MOSFET có tham số  $k= K/2 = 1\text{mA/V}^2$ , và  $V_{TH} = 1V$ . Giả sử tín hiệu ra dao động được giới hạn bởi dải giữa điểm chuyển trạng thái và  $V_{DS(max)} = 9V$  để có sự biến dạng nhỏ nhất. Tính trị số  $V_{DS(bh)}$ .
- Tính được:

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

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_{TN}$$

$$I_D = k (V_{GS} - V_{TN})^2 \Rightarrow I_D = k V_{DS(sat)}^2$$

$$V_{DS(sat)} = V_{DD} - k R_D V_{DS(sat)}^2$$

$$k R_D V_{DS(sat)}^2 + V_{DS(sat)} - V_{DD}$$

- Giải phương trình bậc hai được:

$$1(5)V_{DS(sat)}^2 + V_{DS(sat)} - 10 = 0$$

$$V_{DS(sat)} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4(5)(-10)}}{2(5)} = \left| \begin{array}{l} \frac{13,18}{10} = \underline{1,318V} \\ \frac{-15,18}{10} = -1,518 \end{array} \right.$$

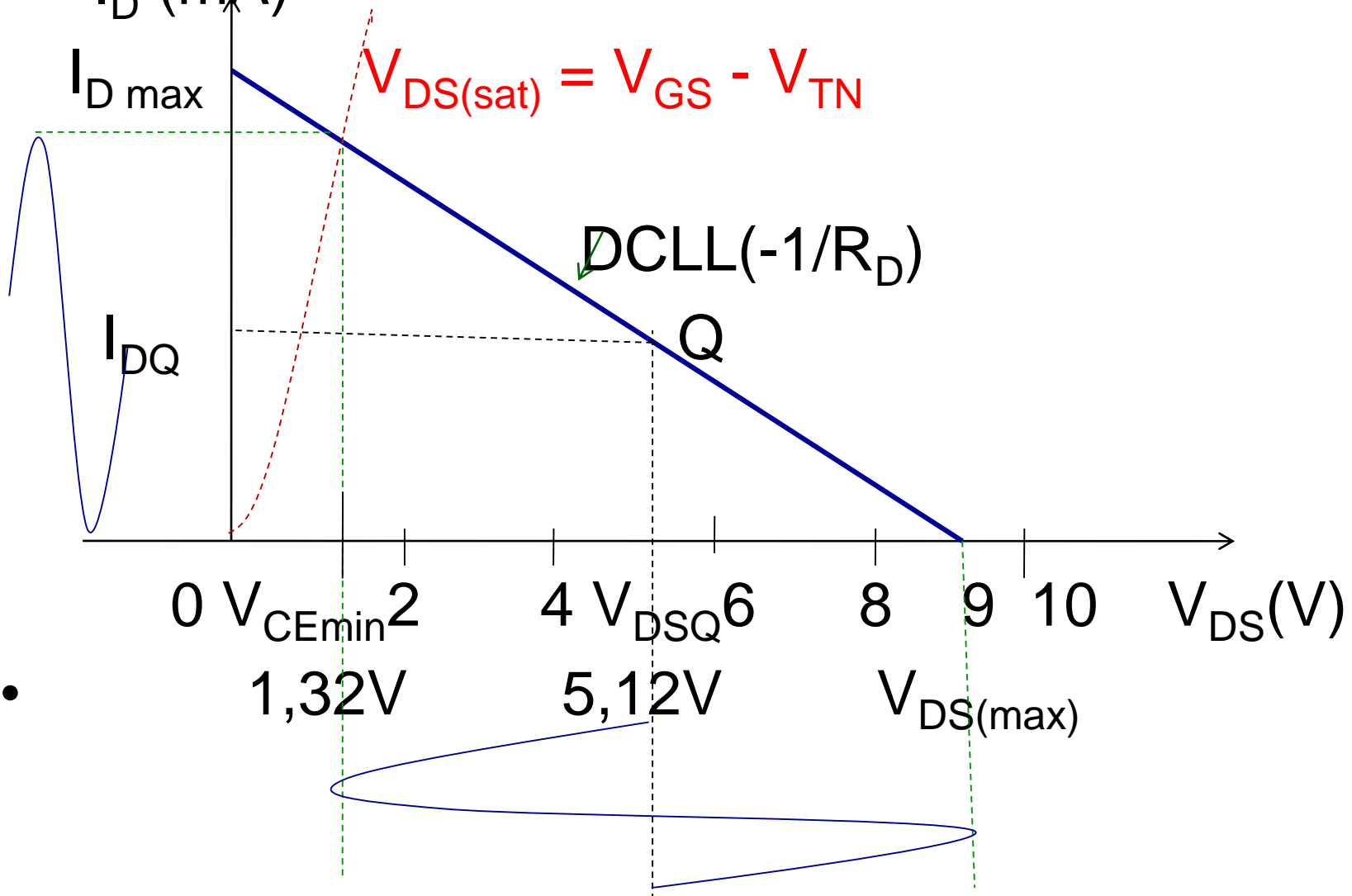
- Vậy điểm tĩnh Q phải ở trung điểm của dải đường thẳng tải  $V_{DS} = 1,318V$  và  $V_{DS} = 9V$  hay:

$$V_{DSQ} = \frac{9 + 1,318}{2} V = 5,159V = 5,16V$$

- để tín hiệu ra cực đại mà không bị biến dạng.

- Trên đặc tuyến và đường thẳng tải tĩnh ta có:

- $I_D$  (mA)



-

# Phần B. Transistor nối lưỡng cực BJT

- Xem phần đầu chương 7

## Phân tích tín hiệu lớn mạch khuếch đại vi sai

- Cho mạch KDVS, M1, M2 ở chế độ bão hoà:

$$i_{D1} = \frac{K}{2}(v_{GS1} - V_T)^2 \quad (7.53)$$

$$i_{D2} = \frac{K}{2}(v_{GS2} - V_T)^2. \quad (7.54)$$

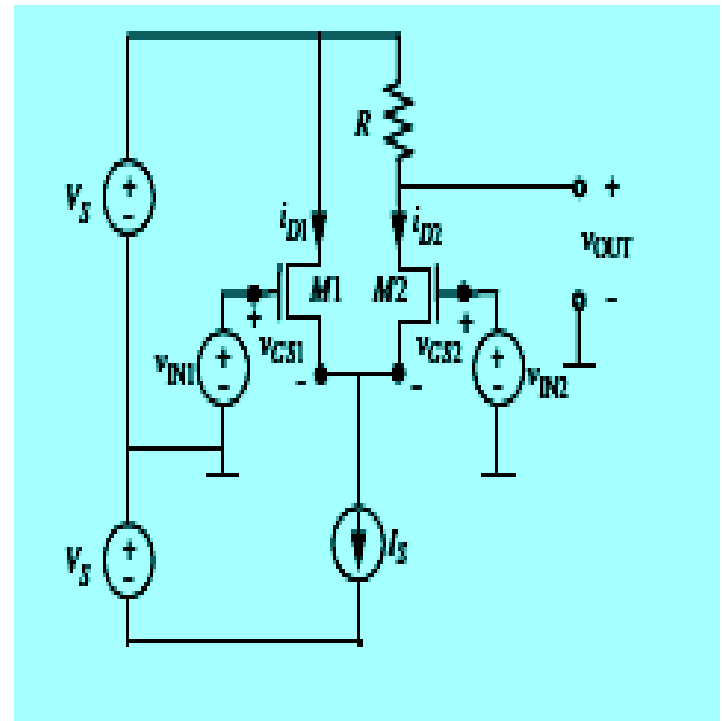
$$i_{D1} + i_{D2} = I_S,$$

$$v_{IN1} - v_{GS1} + v_{GS2} - v_{IN2} = 0. \quad (7.56)$$

$$v_{OUT} = V_S - R i_{D2}, \quad (7.57)$$

giả sử  $i_{D1} = 0$

$$I_S = i_{D2} + \frac{K}{2} \left( v_{IN1} - v_{IN2} + \sqrt{\frac{2i_{D2}}{K}} \right)^2. \quad (7.58)$$



- Hay:

$$2 \left( \sqrt{\frac{2i_{D2}}{K}} \right)^2 + 2(v_{IN1} - v_{IN2}) \sqrt{\frac{2i_{D2}}{K}} + (v_{IN1} - v_{IN2})^2 - \frac{2I_S}{K}. \quad (7.59)$$

Giải:

$$i_{D2} = \frac{K}{8} \left( \sqrt{\frac{4I_S}{K} - (v_{IN1} - v_{IN2})^2} - v_{IN1} + v_{IN2} \right)^2. \quad (7.60)$$

Chọn nghiệm dương được cho:

$$v_{OUT} = V_S - \frac{RK}{8} \left( \sqrt{\frac{4I_S}{K} - (v_{IN1} - v_{IN2})^2} - v_{IN1} + v_{IN2} \right)^2. \quad (7.61)$$

- Do đối xứng cho :

$$i_{D1} = \frac{K}{8} \left( \sqrt{\frac{4I_S}{K} - (v_{IN2} - v_{IN1})^2} - v_{IN2} + v_{IN1} \right)^2. \quad (7.62)$$

- Luôn đúng khi MOSFET ở bảo hoà, để tránh ngưng dẫn phải thoả:

$$\frac{2I_S}{K} > (v_{IN1} - v_{IN2})^2. \quad (7.63)$$



- Phân tích tín hiệu lớn của mạch khuếch đại thuật toán (Op.Amp. – Operational Amplifier)

- Cho mạch với M3 là MOSFET kênh p có:  $V_{GS}$ ,  $V_{DS}$ ,  $i_D$  đều âm nên

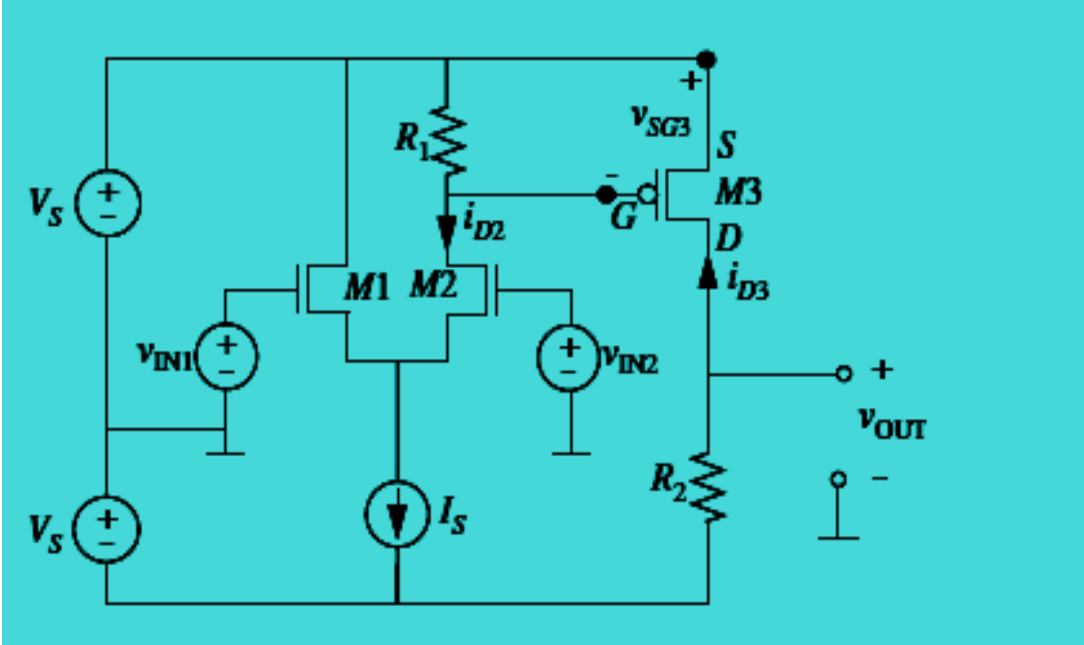
$$i_D = -\frac{K}{2}(v_{GS} - V_T)^2 \quad (7.66)$$

$$v_{DS} \leq v_{GS} - V_T \leq 0 \quad (7.67)$$

trong vùng bảo hoà  
7.66 và 7.67 viết lại:

$$-(-i_D) = \frac{K}{2}(v_{SG} + V_T)^2 \quad (7.68)$$

$$v_{SD} \geq v_{SG} + V_T \geq 0. \quad (7.69)$$



Các trị  $v_{SG}$ ,  $v_{SD}$ ,  $-i_D$  và  $K$  đều dương, chỉ có  $V_{TH}$  là âm

- Xem hai M1 và M2 đồng nhất và có các thông số MOSFET kênh n, cho :

$$v_{SG3} = R_1 i_{D2} = \frac{R_1 K_n}{8} \left( \sqrt{\frac{4I_S}{K_n} - (v_{TN1} - v_{TN2})^2} - v_{TN1} + v_{TN2} \right)^2. \quad (7.70)$$

- Tầng khuếch đại CS với MOSFET kênh p cho:

$$v_{OUT} = -V_S + R_2(-i_{D3}) = -V_S + \frac{R_2 K_p}{2} (v_{SG3} + V_{Tp})^2. \quad (7.71)$$

- Kết hợp 7.70 và 7.71, cho:

$$v_{OUT} = \frac{R_2 K_p}{2} \left( \frac{R_1 K_n}{8} \left( \sqrt{\frac{4I_S}{K_n} - (v_{TN1} - v_{TN2})^2} - v_{TN1} + v_{TN2} \right)^2 + V_{Tp} \right)^2 - V_S. \quad (7.72)$$

- Cuối cùng, để đạt yêu cầu  $v_o = 0$  khi  $v_{i1} = v_{i2}$ , phải có:

$$V_S = \frac{R_2 K_p}{2} \left( \frac{R_1 I_S}{2} + V_{Tp} \right)^2. \quad (7.73)$$

- Vì M3 là mạch chuyển mức điện thế.