

CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

3.1. Transistor hiệu ứng trường

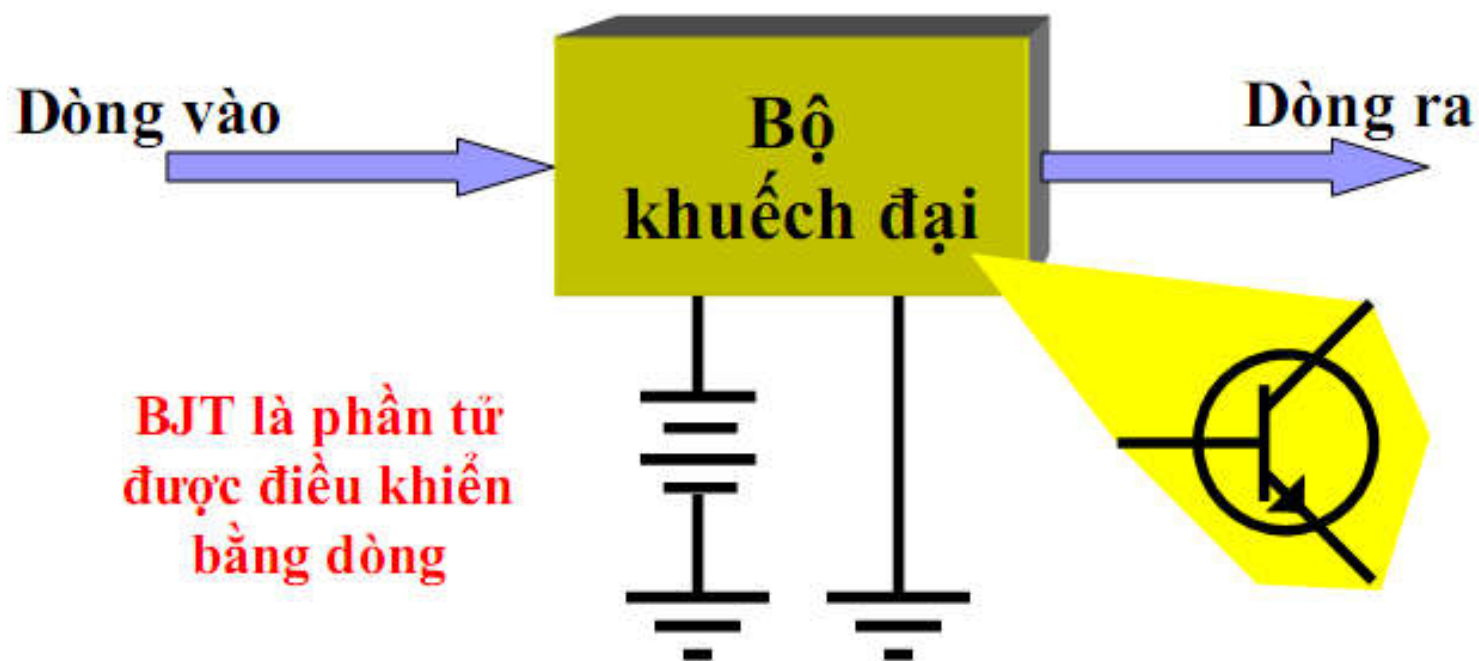
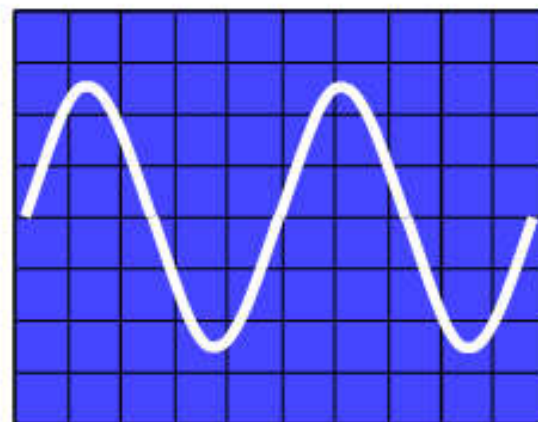
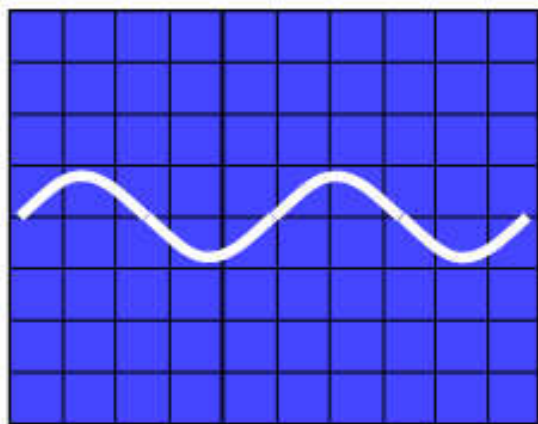
3.2. Phân cực và ổn định phân cực

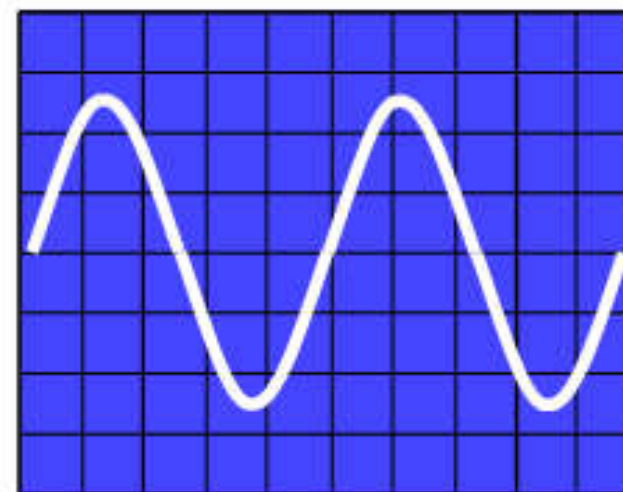
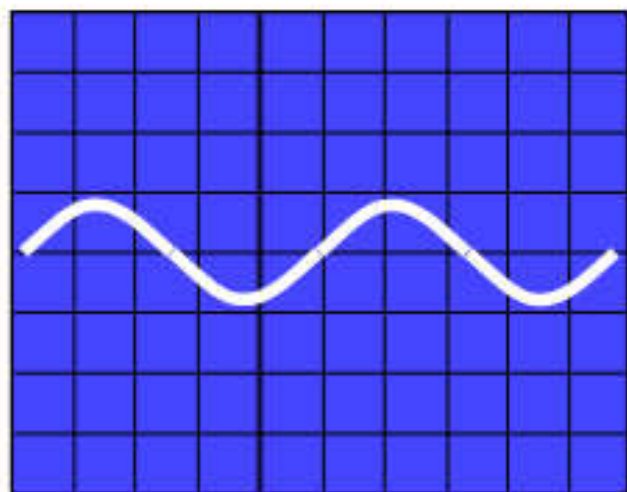
**3.3. Phân tích mạch khuếch đại
Tín hiệu nhỏ, tần số thấp sử dụng FET**

3.1. Transistor hiệu ứng trường (FET)

Giới thiệu

- Khác với BJT, hoạt động của FET dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường.
- Dòng điện trong FET do một loại hạt dẫn tạo nên: lỗ trống hoặc điện tử.
- BJT điều khiển bằng dòng, còn FET điều khiển bằng áp





Điện áp vào

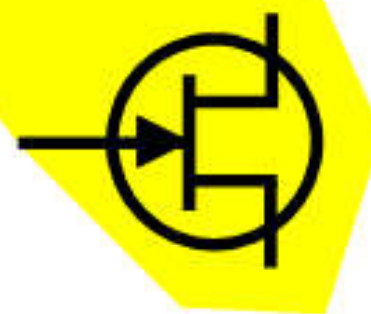
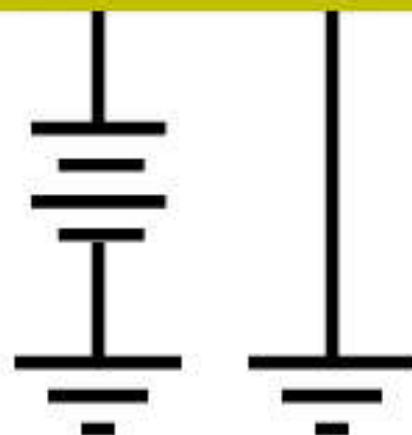


**Bộ
khuếch đại**

Dòng ra



**FET là phần tử
được điều khiển
bằng áp**



3.1. Transistor hiệu ứng trường (FET)

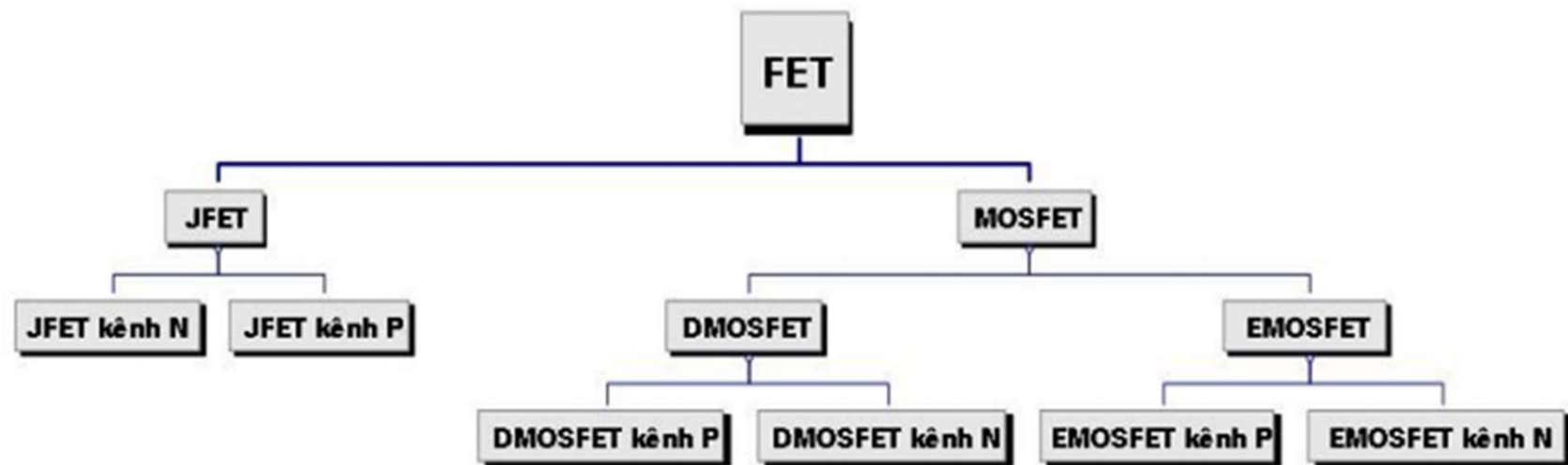
Ưu điểm

- Trở kháng vào cao
- Nhiều thấp hơn BJT
- Dễ chế tạo hơn BJT
- Tần số làm việc cao
- FET có công suất cao có thể chuyển mạch các dòng lớn

Khuyết điểm

- Thể hiện các đáp ứng tần số kém
- Thể hiện tính chất tuyến tính kém
- Dễ bị hư hỏng khi thao tác do tĩnh điện

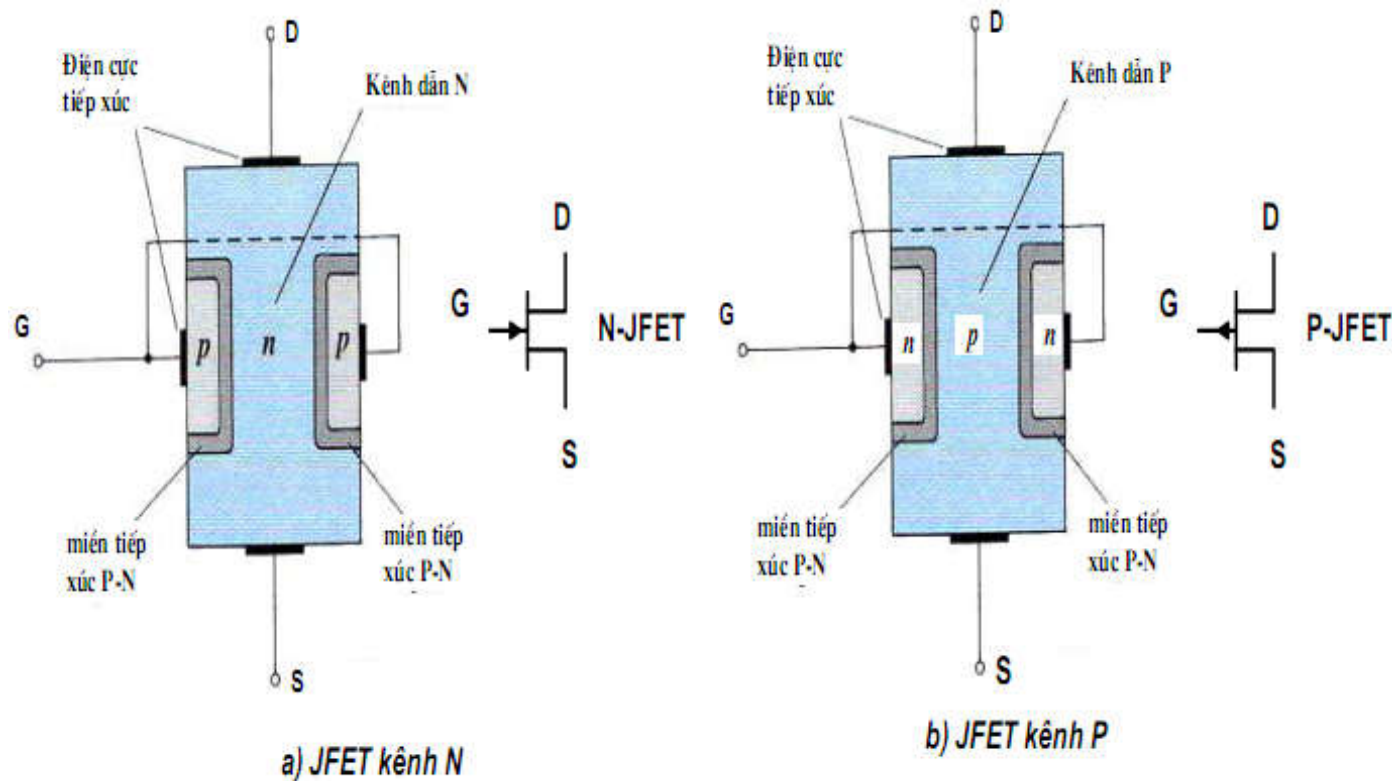
3.1.1. Cấu tạo, kí hiệu, phân loại



- **JFET**- Junction field effect transistor): Transistor trường có điều khiển bằng mối nối P - N (hay còn gọi là transistor mối nối đơn)
- **MOSFET** (metal oxide semiconductor field effect transistor): Transistor trường có cực cửa cách điện

3.1.1. Cấu tạo, kí hiệu, phân loại

1. JFET (Junction Field Effect Transistor)



S: Source – cực nguồn là nơi các hạt dẫn đa số xuất phát đi vào kênh và tạo ra dòng điện trong kênh dẫn I_D .

D: Drain – cực máng là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh dẫn.

G: Gate – cực cửa là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh dẫn

3.1.1. Cấu tạo, kí hiệu, phân loại

1. JFET (Junction Field Effect Transistor)

- Trên thanh bán dẫn hình trụ có điện trở suất khá lớn (nồng độ tạp chất tương đối thấp), đáy trên và đáy dưới lần lượt cho tiếp xúc kim loại đưa ra hai cực tương ứng là **cực máng D** (cực thoát) và **cực nguồn S**. Vòng theo chu vi của thanh bán dẫn người ta tạo một mối nối P – N. Kim loại tiếp xúc với mẫu bán dẫn mới, đưa ra ngoài **cực cổng G** (cửa).
- Vùng bán dẫn giữa D và S được gọi là thông lộ (kênh). Tùy theo loại bán dẫn giữa D và S mà ta phân biệt JFET thành hai loại: JFET kênh N, JFET kênh P.

3.1.1. Cấu tạo, kí hiệu, phân loại

1. JFET (Junction Field Effect Transistor)

Nguyên lí hoạt động

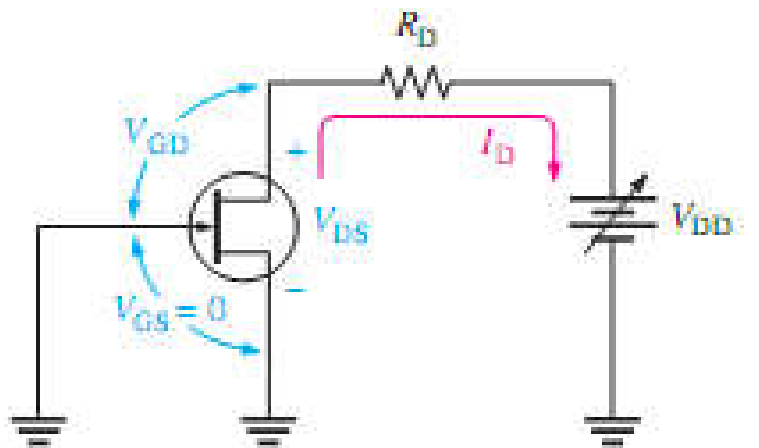
- Giữa D và S đặt một điện áp V_{DS} tạo ra một điện trường có tác dụng đẩy hạt tải đa số của bán dẫn kênh chạy từ S sang D hình thành dòng điện I_D . Dòng I_D tăng theo điện áp V_{DS} đến khi đạt giá trị bão hòa I_{DSS} (saturation) và điện áp tương ứng gọi là điện áp thắt kênh V_{PO} (pinch off), tăng V_{DS} lớn hơn V_{PO} thì I_D vẫn không tăng.

1. JFET (Junction Field Effect Transistor)

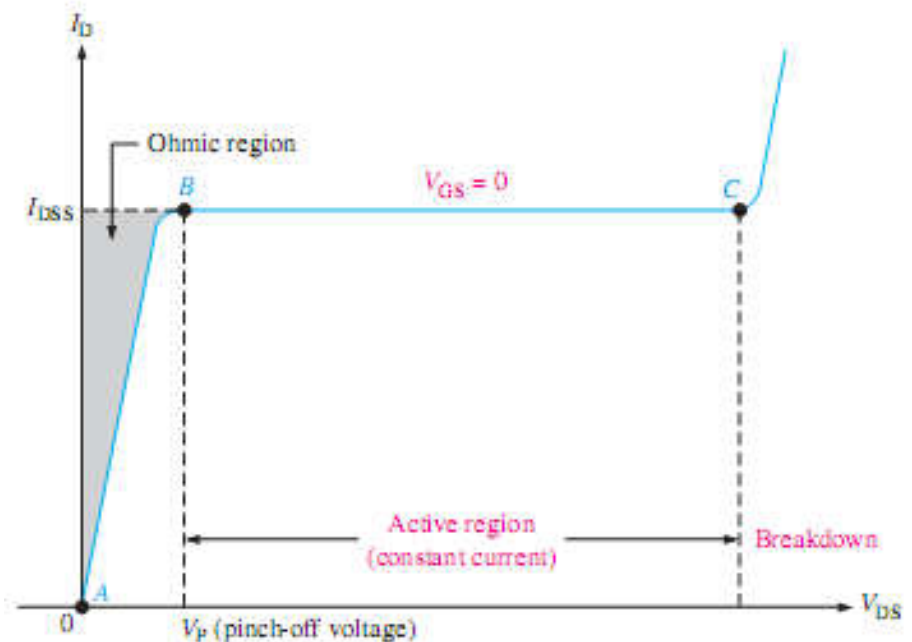
Nguyên lí hoạt động

Giữa G và S đặt một điện áp V_{GS} sao cho không phân cực hoặc phân cực nghịch mỗi nối P – N.

- Nếu không phân cực mỗi nối P – N ta có dòng I_D đạt giá trị lớn nhất I_{DSS} .



(a) JFET with $V_{GS} = 0$ V and a variable V_{DS} (V_{DD})

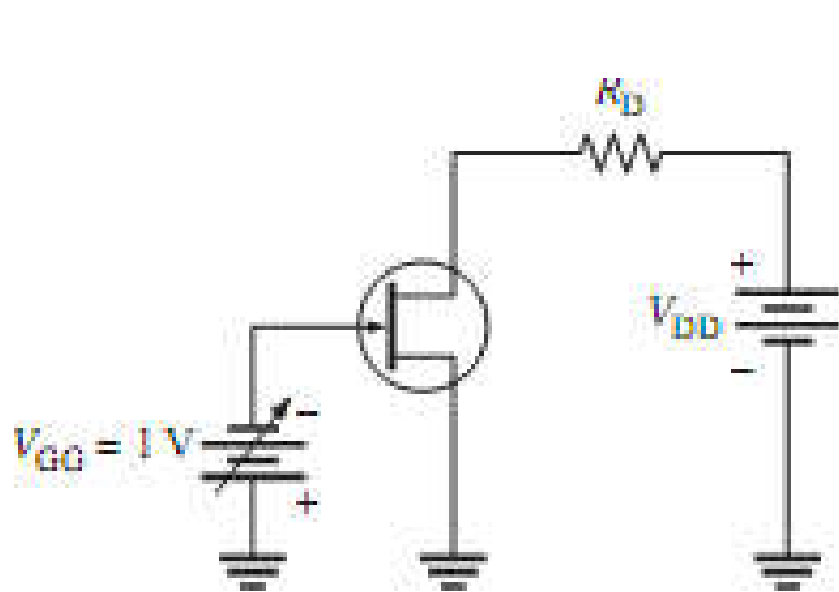


(b) Drain characteristic

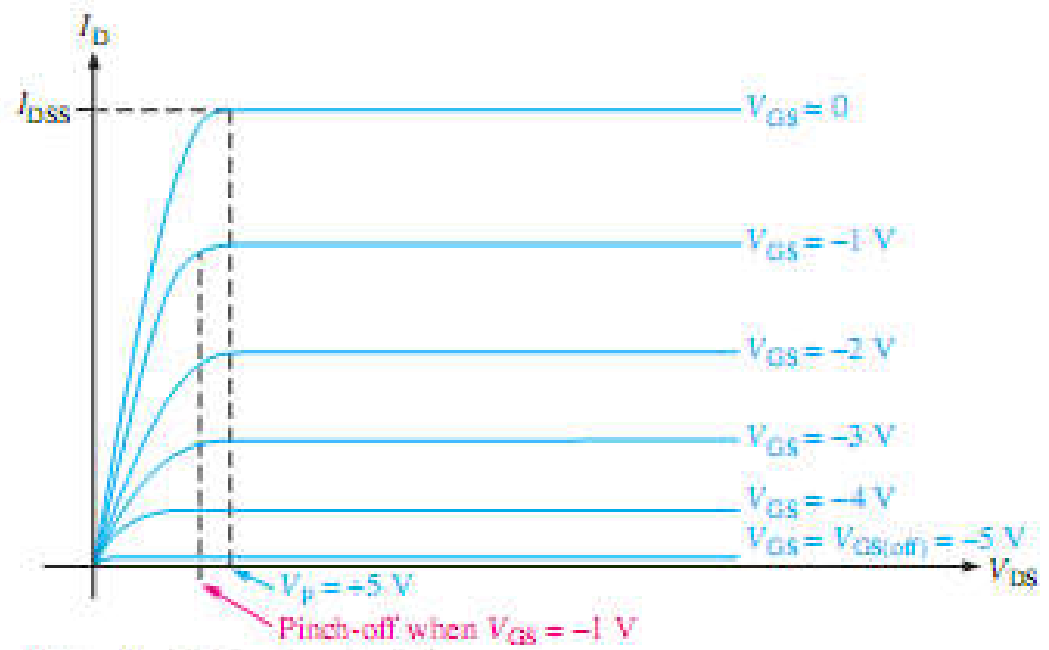
1. JFET (Junction Field Effect Transistor)

Nguyên lí hoạt động

- Nếu phân cực nghịch mỗi nối P – N làm cho vùng tiếp xúc thay đổi diện tích. Điện áp phân cực nghịch càng lớn thì vùng tiếp xúc (vùng hiếm) càng nở rộng ra, làm cho tiết diện của kênh dẫn bị thu hẹp lại, điện trở kênh tăng lên nên dòng điện qua kênh I_D giảm xuống và ngược lại. V_{GS} tăng đến giá trị V_{PO} thì I_D giảm về 0.



(a) JFET biased at $V_{GS} = -1 \text{ V}$



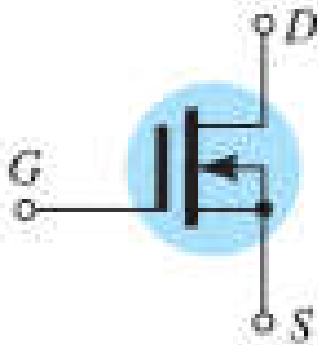
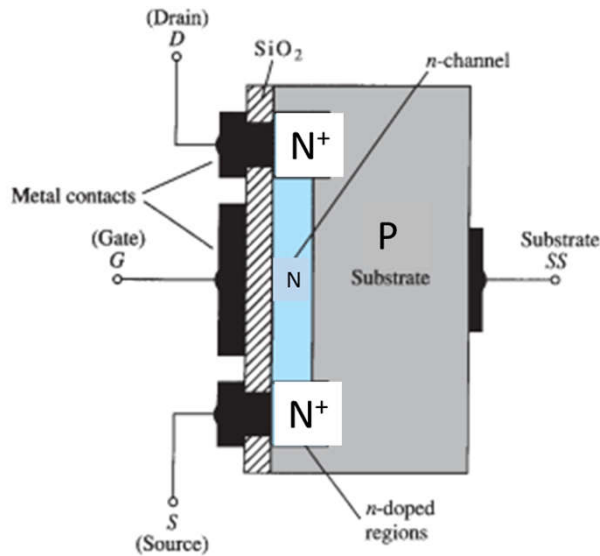
(b) Family of drain characteristic curves

3.1.1. Cấu tạo, kí hiệu, phân loại

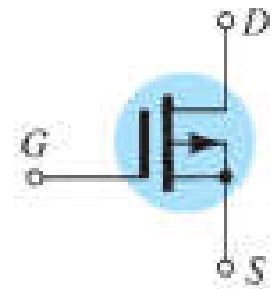
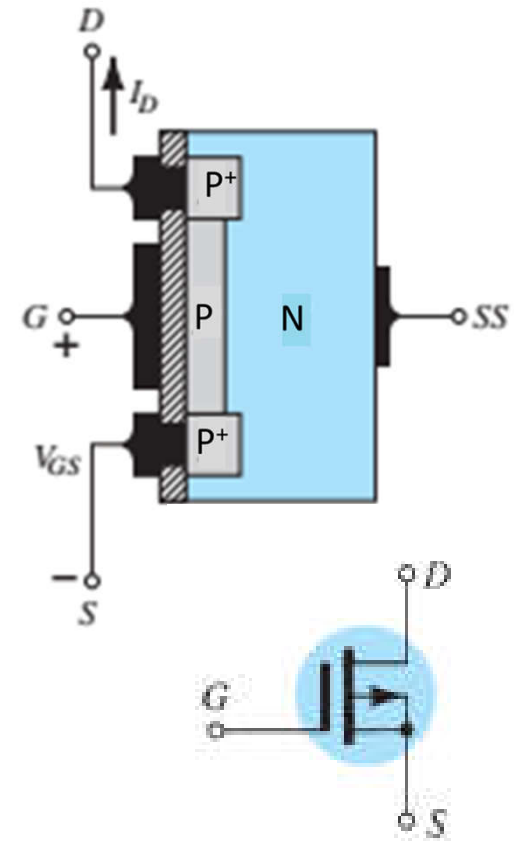
2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

MOSFET chia làm hai loại: MOSFET kênh liên tục và MOSFET kênh gián đoạn

a) D-MOSFET (MOSFET kênh liên tục)



Cấu tạo, kí hiệu D-MOSFET, kênh N



Cấu tạo, kí hiệu D-MOSFET, kênh P

a) D-MOSFET (MOSFET kênh liên tục)

Cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N

Trên nền chất bán dẫn loại P, người ta pha hai vùng bán dẫn loại N với nồng độ cao (N^+) được nối liền với nhau bằng một vùng bán dẫn loại N pha nồng độ thấp (N). Trên đó phủ một lớp mỏng SiO_2 là chất cách điện.

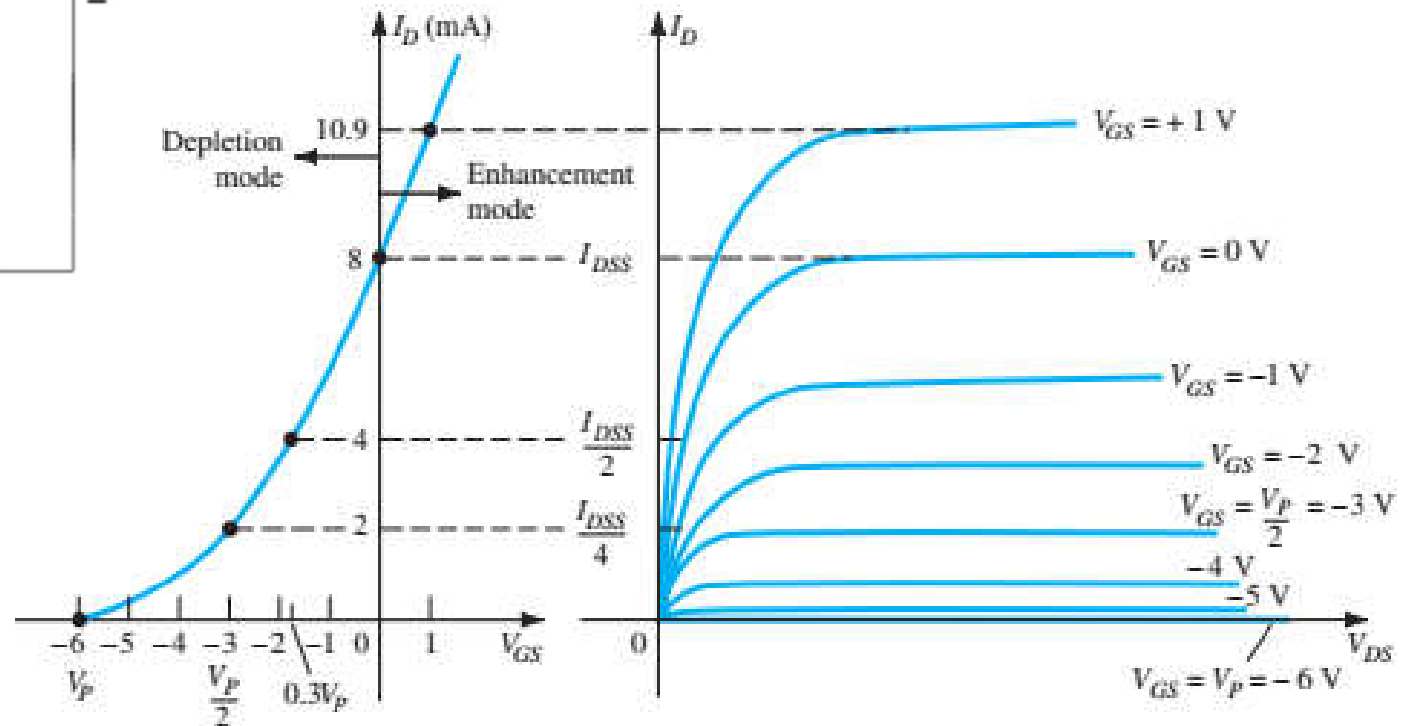
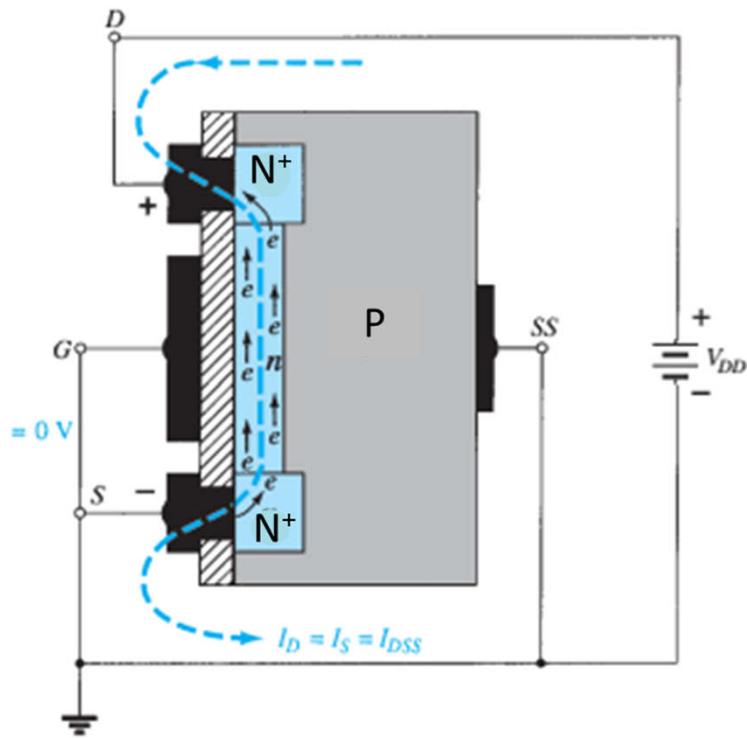
Hai vùng bán dẫn N^+ tiếp xúc kim loại (Al) đưa ra cực thoát (D) và cực nguồn (S).

Cực G có tiếp xúc kim loại bên ngoài lớp oxit nhưng vẫn cách điện với kênh N có nghĩa là tổng trở vào cực là lớn.

Để phân biệt kênh (thông lộ) N hay P nhà sản xuất cho thêm chân thứ tư gọi là chân Sub, chân này hợp với thông lộ tạo thành mối nối P-N. Thực tế, chân Sub của MOSFET được nhà sản xuất nối với cực S ở bên trong MOSFET.

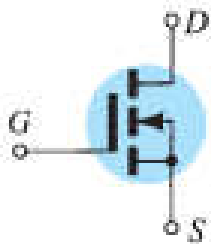
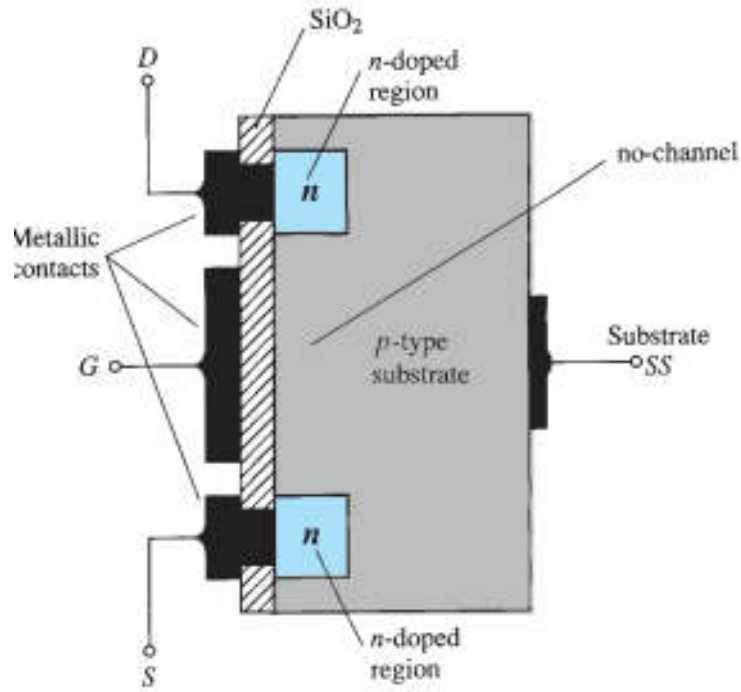
a) D-MOSFET (MOSFET kênh liên tục)

Nguyên lí hoạt động của D-MOSFET kênh N

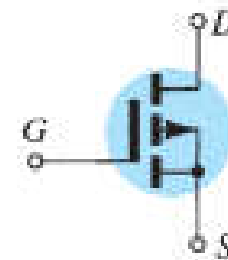
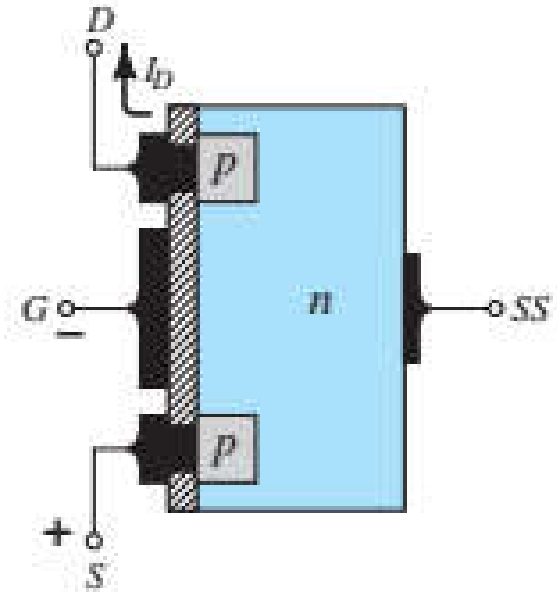


2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

b) E-MOSFET (MOSFET kênh gián đoạn)



Cấu tạo, kí hiệu E-MOSFET, kênh *N*



Cấu tạo, kí hiệu E-MOSFET, kênh *P*

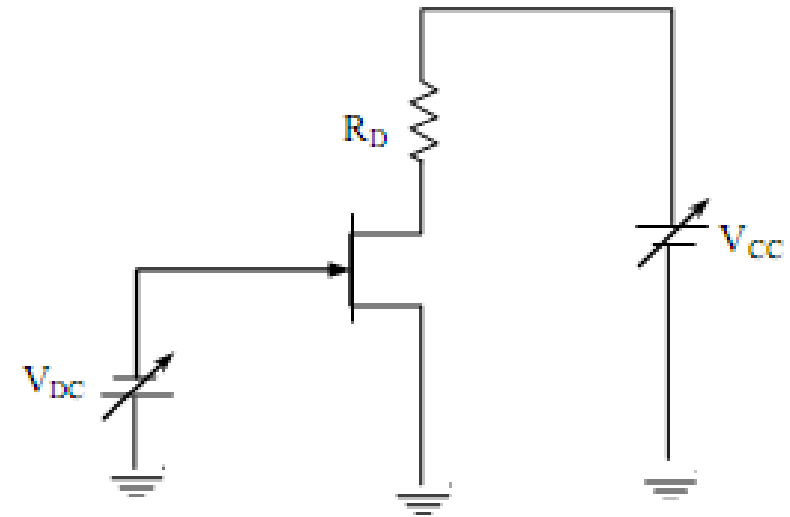
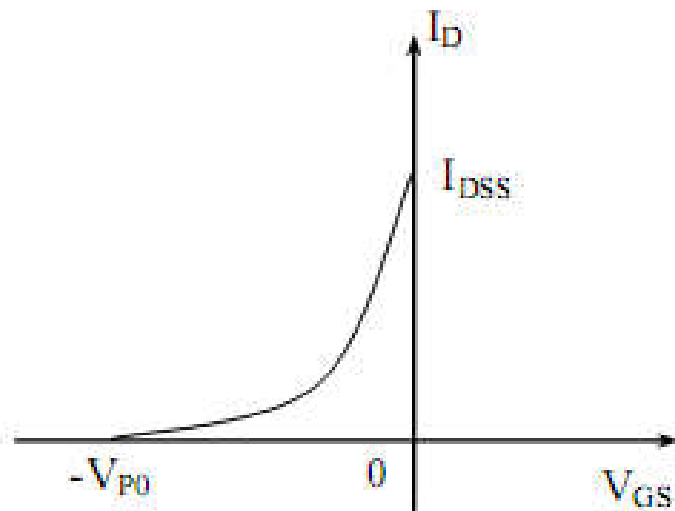
b) E-MOSFET (MOSFET kênh gián đoạn)

Cấu tạo MOSFET kênh gián đoạn loại N tương tự như cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N nhưng không có sẵn kênh N. Có nghĩa là hai vùng bán dẫn loại N pha nồng độ cao (N^+) không dính liền nhau nên còn gọi là MOSFET kênh gián đoạn. Mặt trên kênh dẫn điện cũng được phủ một lớp oxit cách điện SiO_2 . Hai dây dẫn xuyên qua lớp cách điện nối vào vùng bán dẫn N^+ gọi là cực S và D. Cực G được lấy ra từ kim loại tiếp xúc bên ngoài lớp oxit SiO_2 nhưng cách điện với bên trong. Cực Sub được nối với cực S ở bên trong MOSFET.

3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

1. Đặc tuyến của JFET

a. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với $V_{DS} = \text{const.}$



- Khi $V_{GS} = 0V$, dòng điện I_D lớn nhất và đạt giá trị bão hòa, kí hiệu: I_{DSS} .

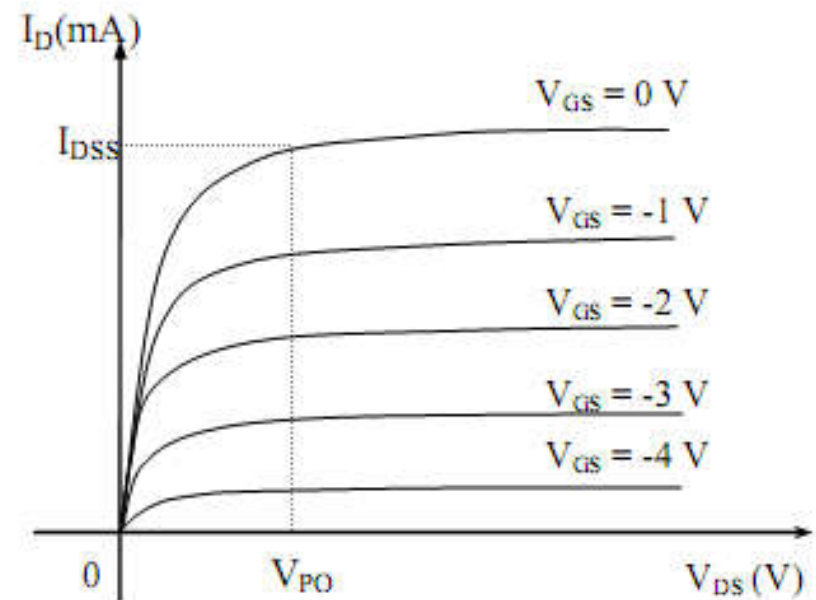
- Khi V_{GS} âm thì dòng I_D giảm, V_{GS} càng âm thì dòng I_D càng giảm. Khi $V_{GS} = V_{PO}$ thì dòng $I_D = 0$. V_{PO} lúc này được gọi là điện thế thắt kênh (nghẽn kênh).

3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

1. Đặc tuyến của JFET

b. Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const.}$

- Giả sử chỉnh nguồn V_{DC} về 0V, không thay đổi nguồn V_{DC} , ta có $V_{GS} = 0V = \text{const.}$ Thay đổi nguồn $V_{CC} \rightarrow V_{DS}$ thay đổi $\rightarrow I_D$ thay đổi. Đo dòng I_D và V_{DS} . Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS} , sau đó I_D đạt giá trị bão hòa, I_D không tăng mặc dù V_{DS} cứ tăng.



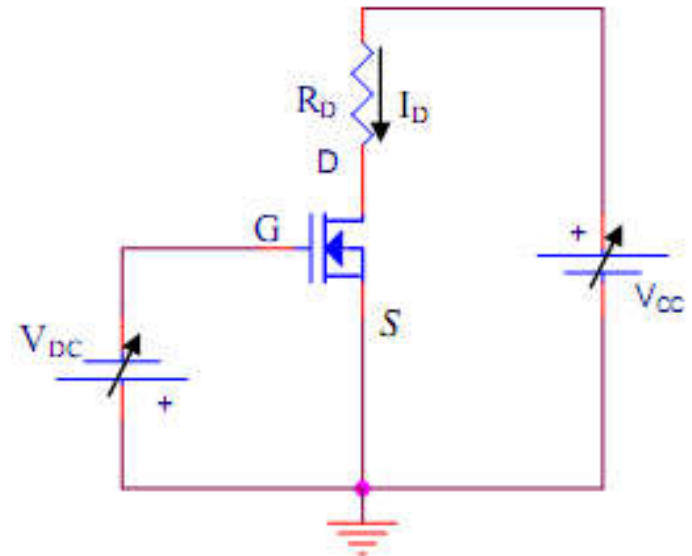
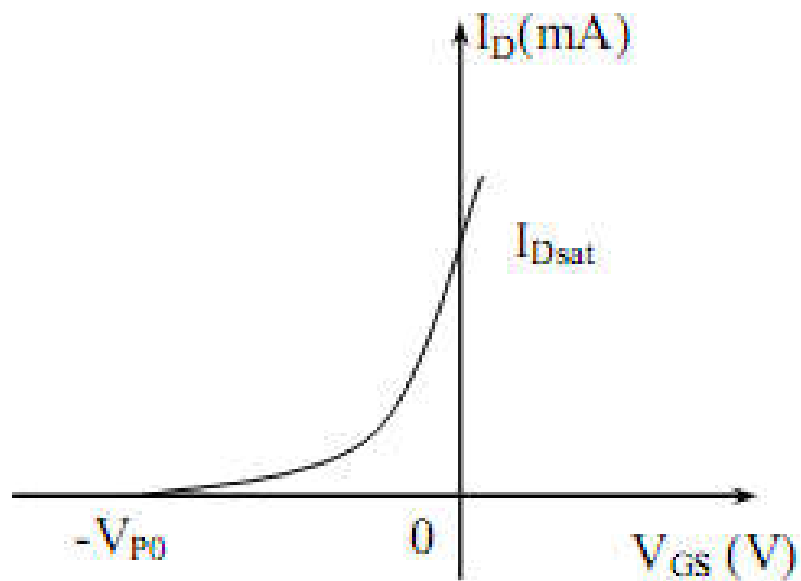
- Chỉnh nguồn V_{DC} để có $V_{GS} = 1V$. Không thay đổi nguồn V_{DC} , ta có $V_{GS} = 1V = \text{const.}$ Thay đổi nguồn $V_{CC} \rightarrow V_{DS}$ thay đổi $\rightarrow I_D$ thay đổi. Đo dòng I_D và V_{DS} tương ứng. Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS} , sau đó I_D đạt giá trị bão hòa

3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

2. Đặc tuyến của MOSFET

❖ MOSFET kênh liên tục loại N

- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với $V_{DS} = \text{const.}$

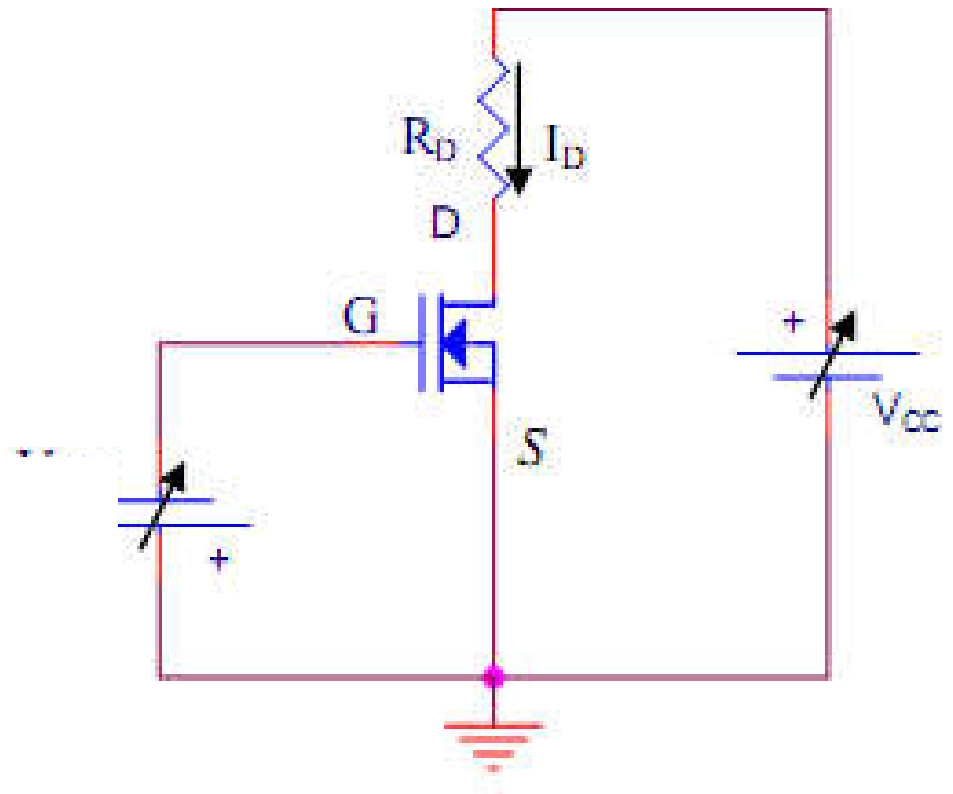
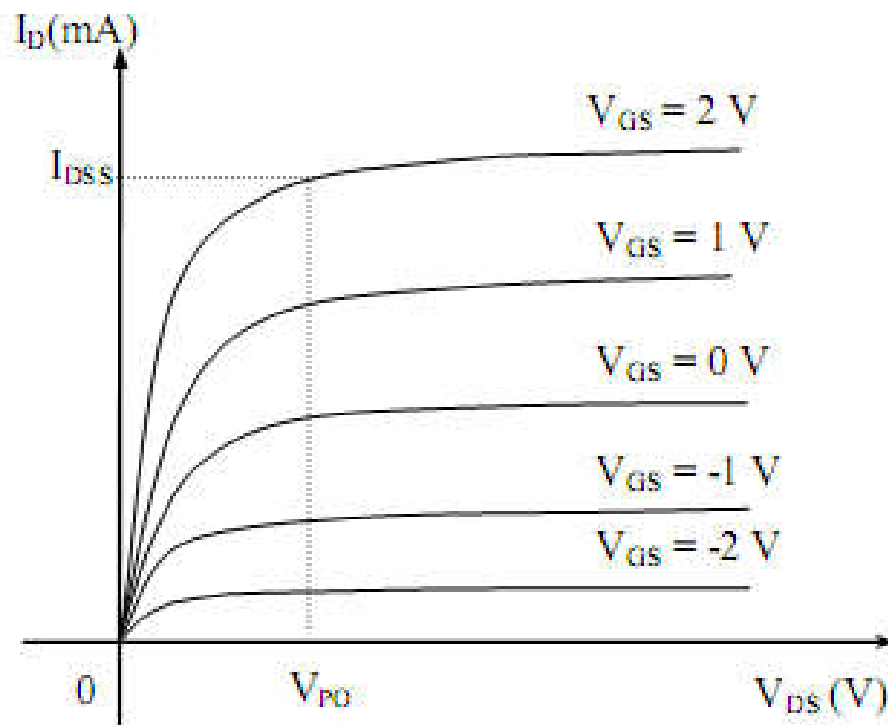


3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

2. Đặc tuyến của MOSFET

❖ MOSFET kênh liên tục loại N

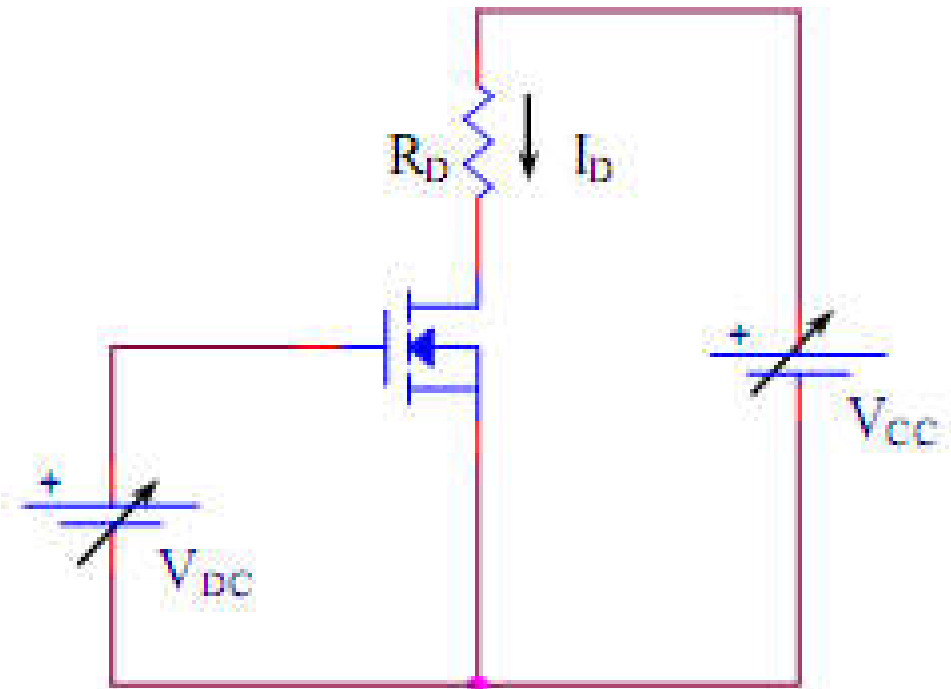
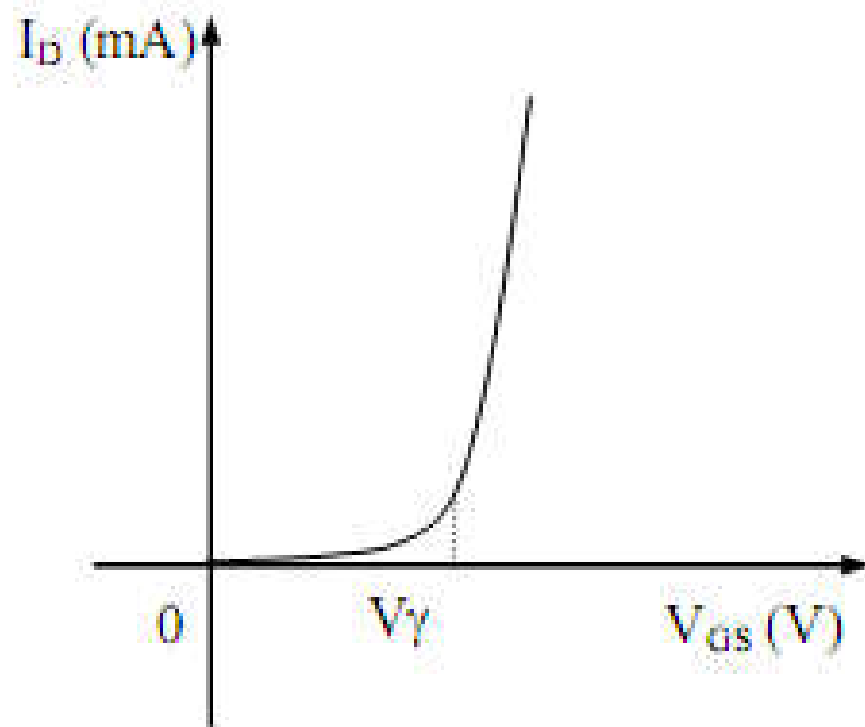
- Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const.}$



3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

2. Đặc tuyến của MOSFET

❖ MOSFET kênh gián đoạn loại N



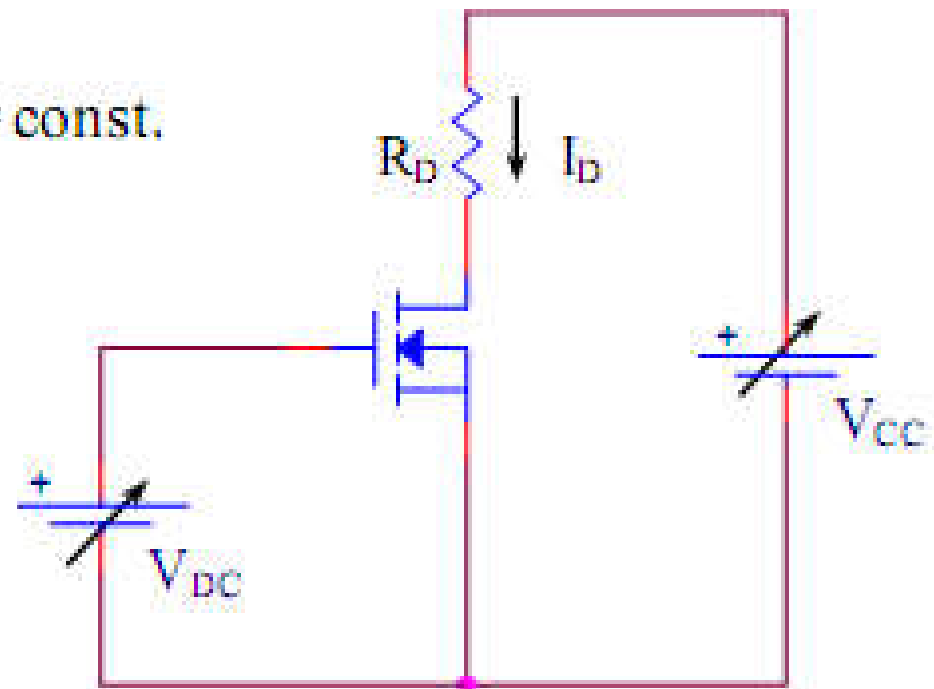
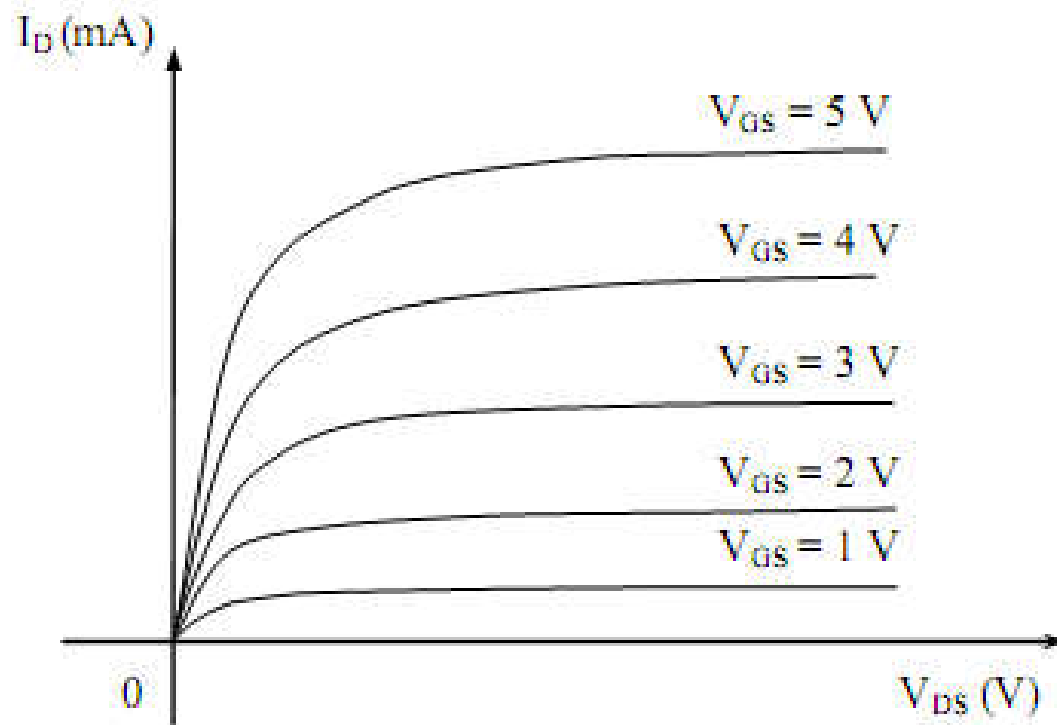
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với $V_{DS} = \text{const.}$

3.1.2. CÁC LOẠI ĐẶC TUYẾN CỦA FET

2. Đặc tuyến của MOSFET

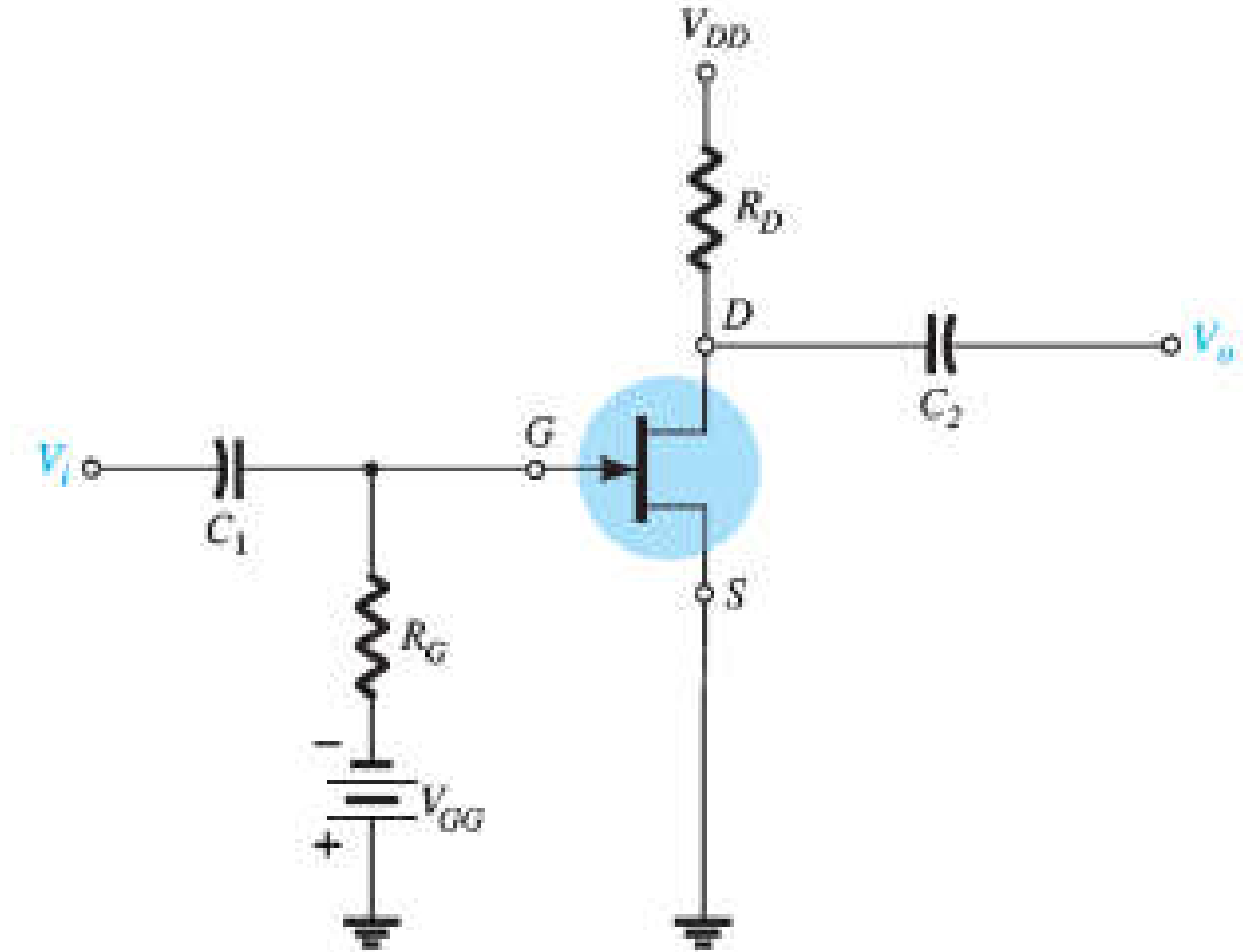
❖ MOSFET kênh gián đoạn loại N

- Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const.}$



3.2. Phân cực và ổn định phân cực FET

1. Phân cực cố định



Phân cực bằng hai nguồn độc lập

1. Phân cực cố định

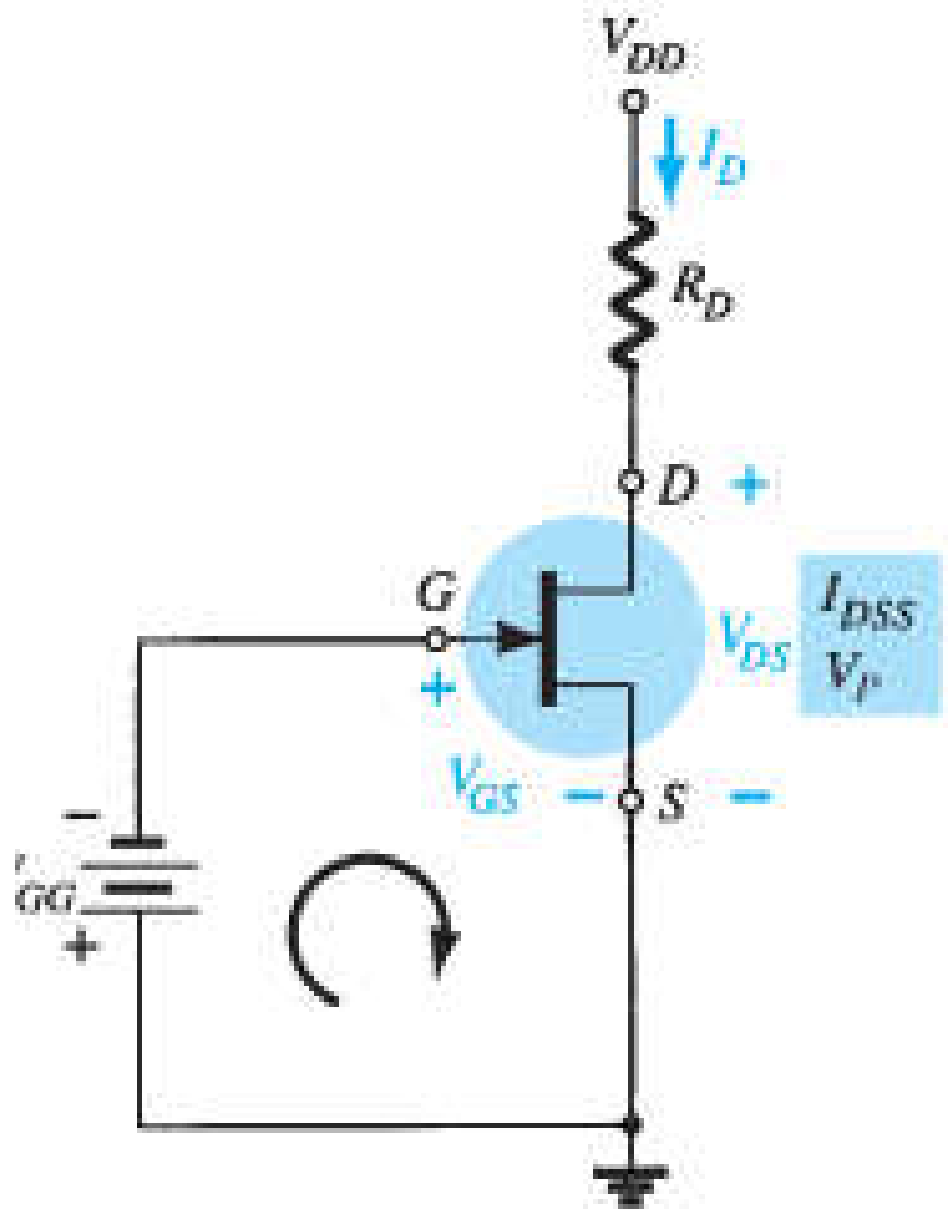
Mạch vòng cổng nguồn

$$I_G \cong 0 \text{ A}$$

$$V_{R_G} = I_G R_G = (0 \text{ A}) R_G = 0 \text{ V}$$

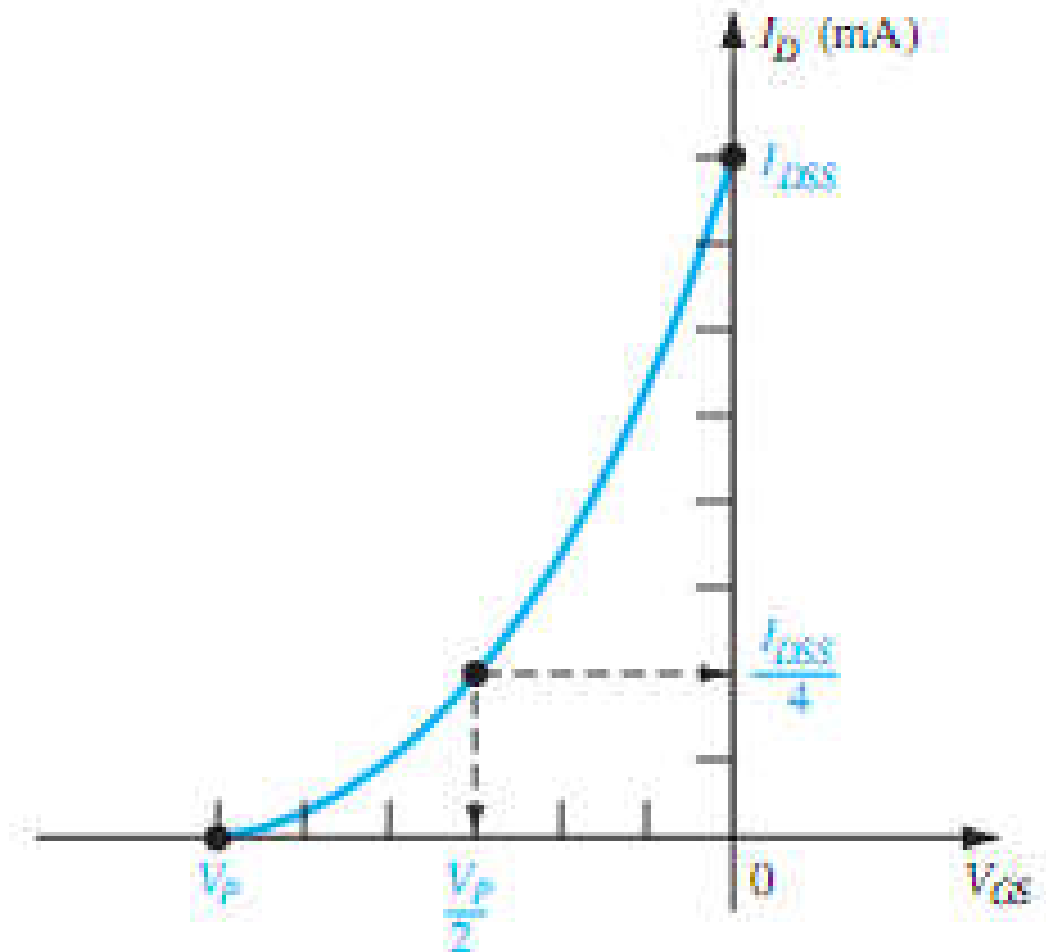
$$-V_{GG} - V_{GS} = 0$$

$$V_{GS} = -V_{GG}$$



1. Phân cực cố định

Đặc tuyến truyền đạt của JFET là hàm phụ thuộc của dòng máng I_D vào thế cực cổng V_{GS} khi cố định thế V_{DS} theo phương trình Shockley



$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

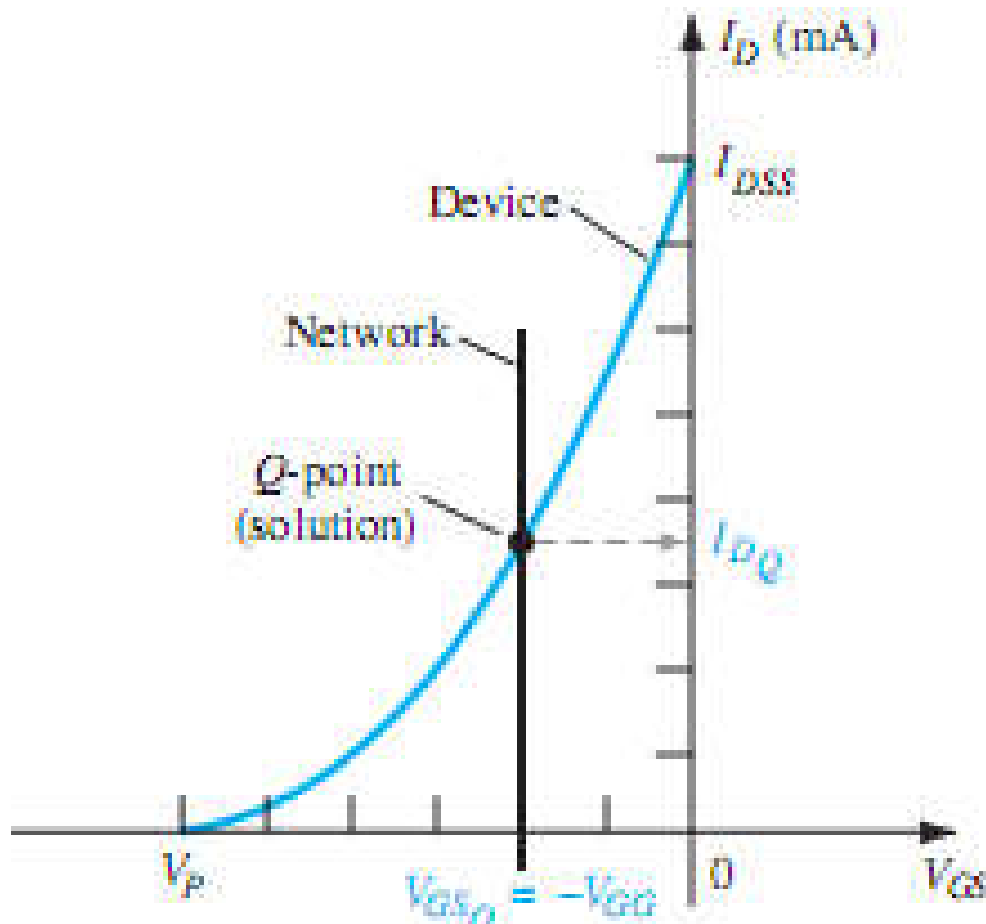
Đặc tuyến truyền đạt tĩnh

1. Phân cực cố định

Tìm điểm làm việc Q:

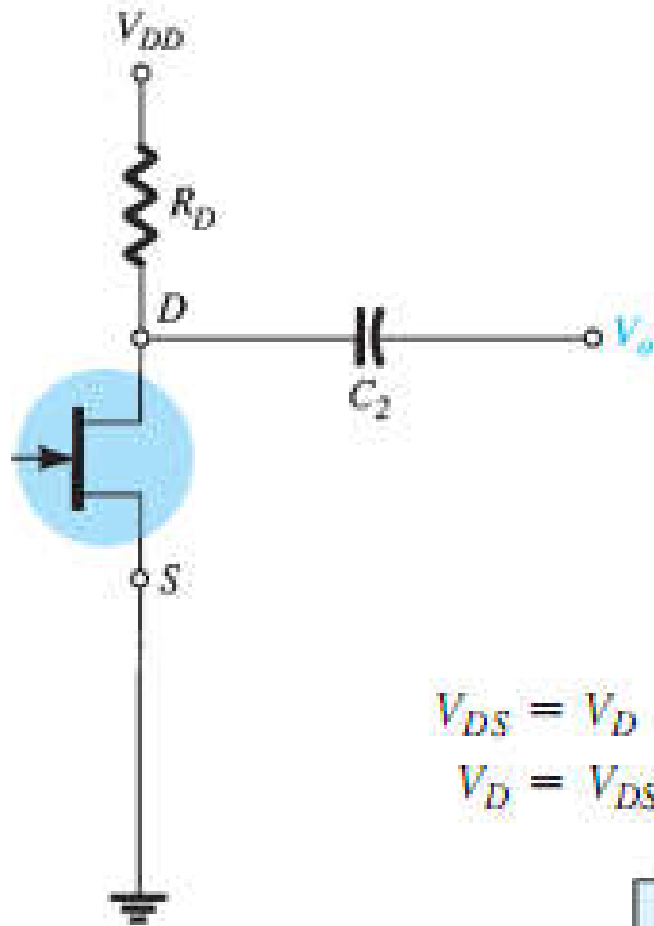
Q là giao điểm của đường thẳng đứng đi qua điểm $V_{GSQ} = -V_{GG}$ và đường đặc tuyến truyền đạt

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$



1. Phân cực cố định

Mạch vòng máng nguồn



$$V_{DS} = V_D - V_S$$
$$V_D = V_{DS} + V_S = V_{DS} + 0 \text{ V}$$

$$V_D = V_{DS}$$

$$+V_{DS} + I_D R_D - V_{DD} = 0$$

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

Ta có: $V_S = 0 \text{ V}$ nên:

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = V_{GS} + 0 \text{ V}$$

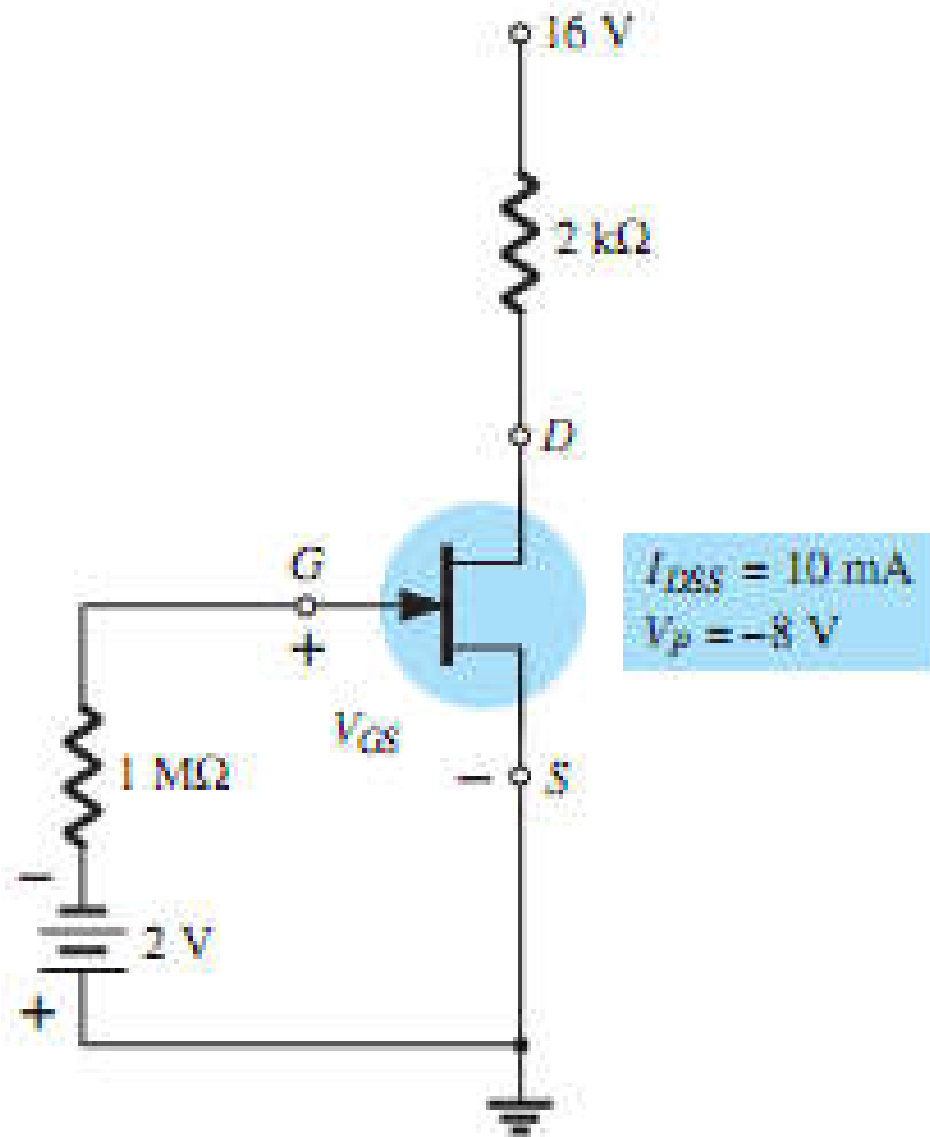
$$V_G = V_{GS}$$

1. Phân cực cố định



Ví dụ 1: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau

- a. V_{GSQ}
- b. I_{DQ}
- c. V_{DS}
- d. V_D
- e. V_G
- f. V_S



1. Phân cực cố định



Ví dụ 1: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau

a. $V_{GS_Q} = -V_{GG} = -2 \text{ V}$

b.
$$I_{D_Q} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{-2 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right)^2$$
$$= 10 \text{ mA} (1 - 0.25)^2 = 10 \text{ mA} (0.75)^2 = 10 \text{ mA} (0.5625)$$
$$= \mathbf{5.625 \text{ mA}}$$

c.
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 16 \text{ V} - (5.625 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega)$$
$$= 16 \text{ V} - 11.25 \text{ V} = \mathbf{4.75 \text{ V}}$$

d. $V_D = V_{DS} = \mathbf{4.75 \text{ V}}$

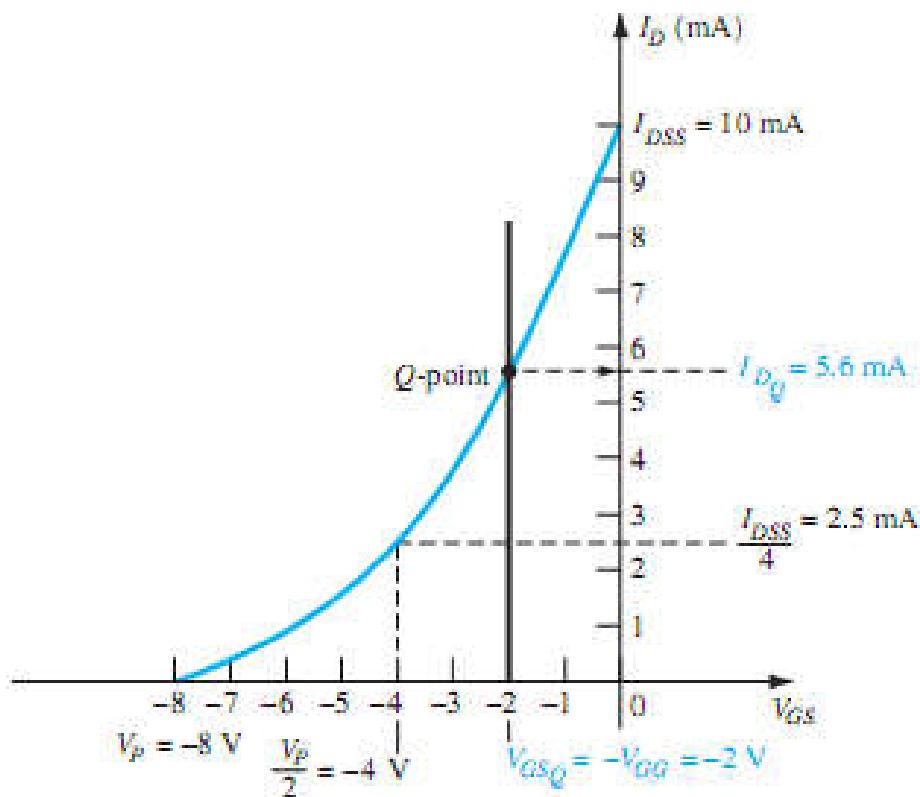
e. $V_G = V_{GS} = -2 \text{ V}$

f. $V_S = 0 \text{ V}$

1. Phân cực cố định

? Ví dụ 1: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau

PP đồ thị:



$$V_{GSQ} = -V_{GG} = -2 \text{ V}$$

b. $I_{DQ} = 5.6 \text{ mA}$

c. $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 16 \text{ V} - (5.6 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega)$
 $= 16 \text{ V} - 11.2 \text{ V} = 4.8 \text{ V}$

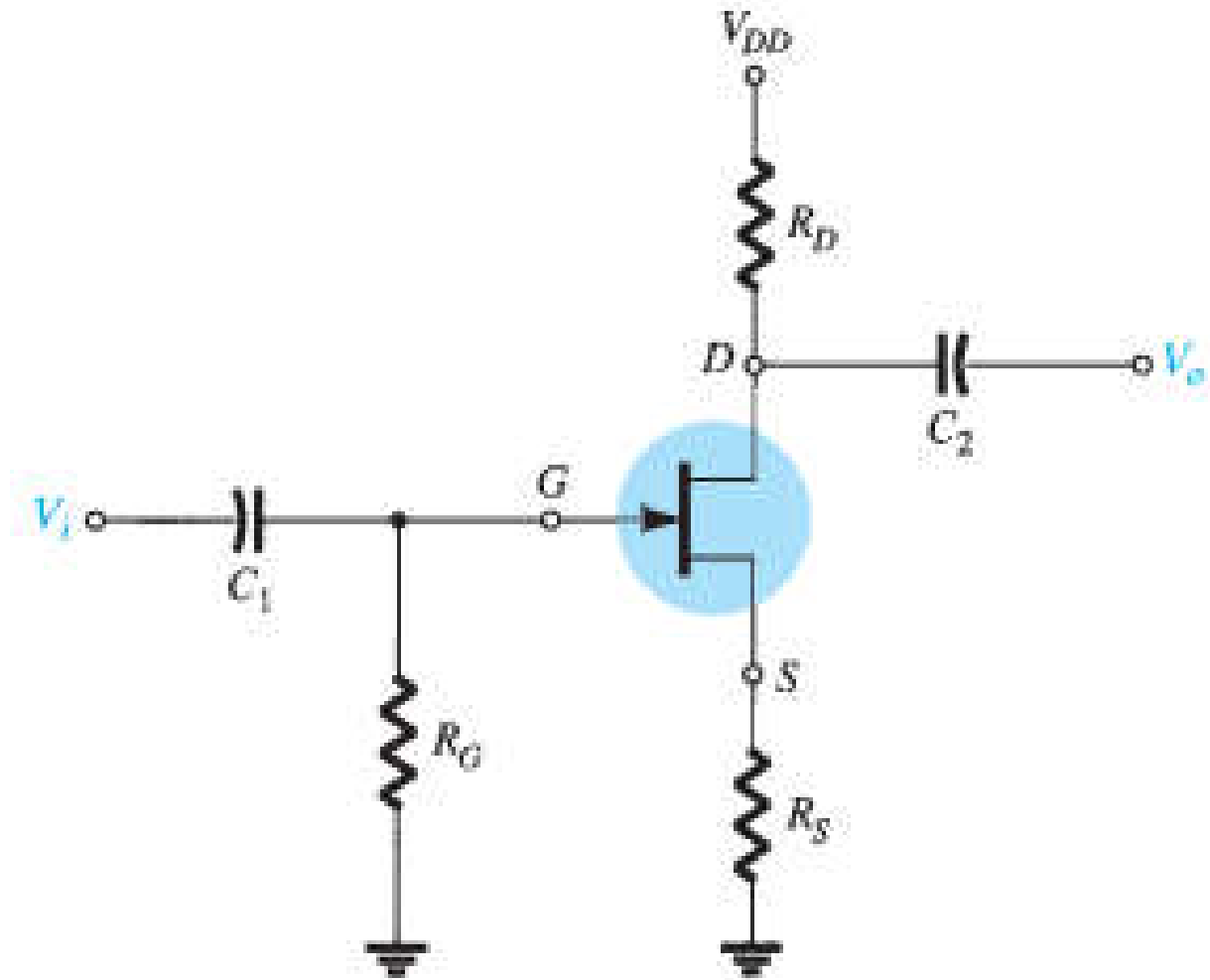
d. $V_D = V_{DS} = 4.8 \text{ V}$

e. $V_G = V_{GS} = -2 \text{ V}$

f. $V_S = 0 \text{ V}$

3.2. PHÂN CỰC VÀ ỔN ĐỊNH PHÂN CỰC FET

2. Mạch tự phân cực S chung (N-JFET)



Mạch tự phân cực

2. Mạch tự phân cực

Vòng cổng nguồn

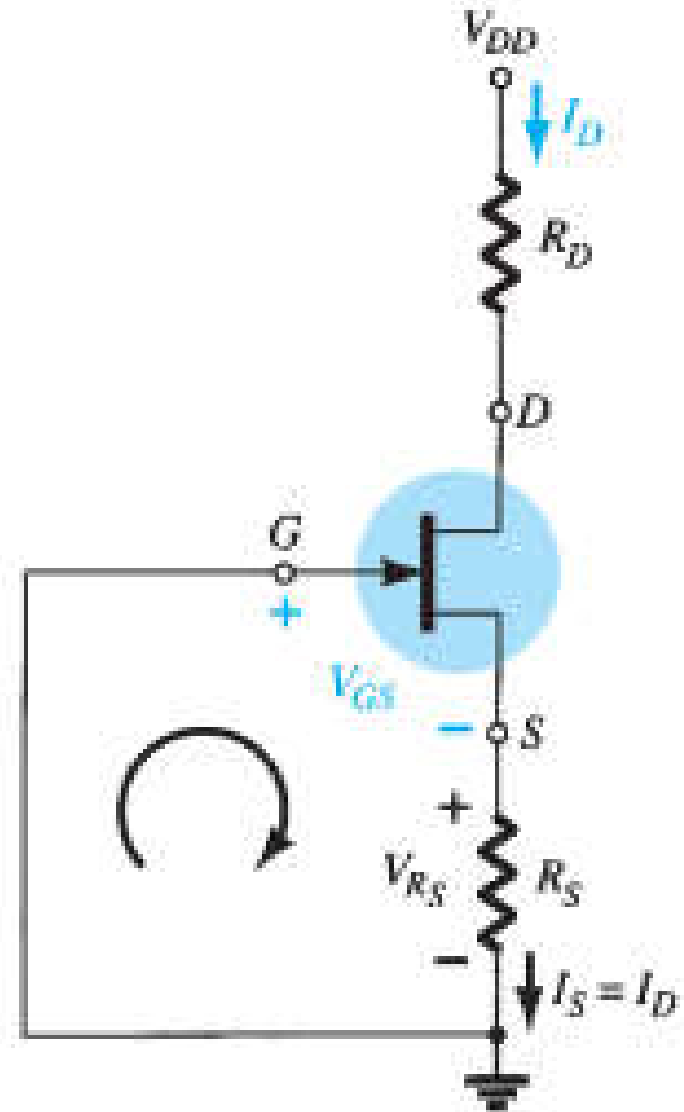
$$I_G = 0 \text{ A.}$$

$$V_{R_S} = I_D R_S$$

$$-V_{GS} - V_{R_S} = 0$$

$$V_{GS} = -V_{R_S}$$

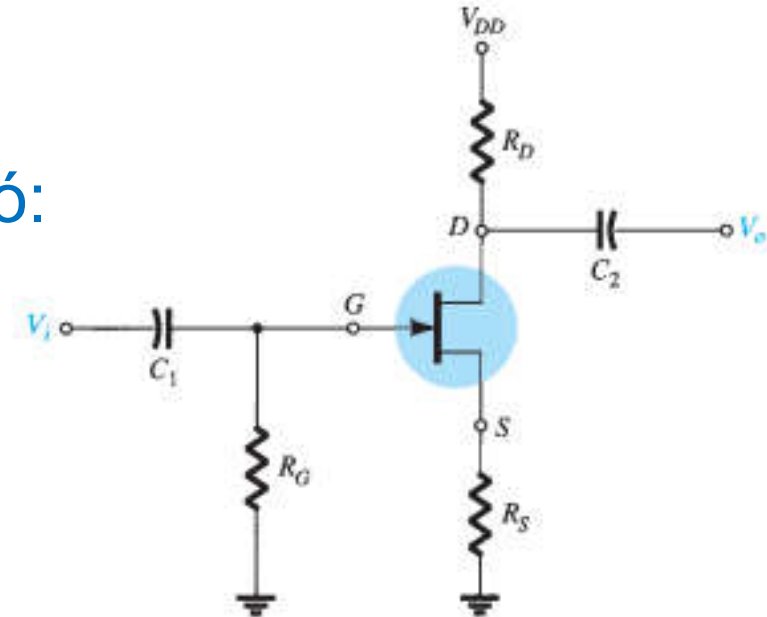
$$V_{GS} = -I_D R_S$$



2. Mạch tự phân cực

Thay $V_{GS} = -I_D R_S$ Vào pt Shockley, ta có:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \\ &= I_{DSS} \left(1 - \frac{-I_D R_S}{V_P} \right)^2 \\ I_D &= I_{DSS} \left(1 + \frac{I_D R_S}{V_P} \right)^2 \end{aligned}$$



Mạch tự phân cực

Đây là pt bậc 2 đối với I_D có dạng tổng quát:

$$I_D^2 + K_1 I_D + K_2 = 0$$

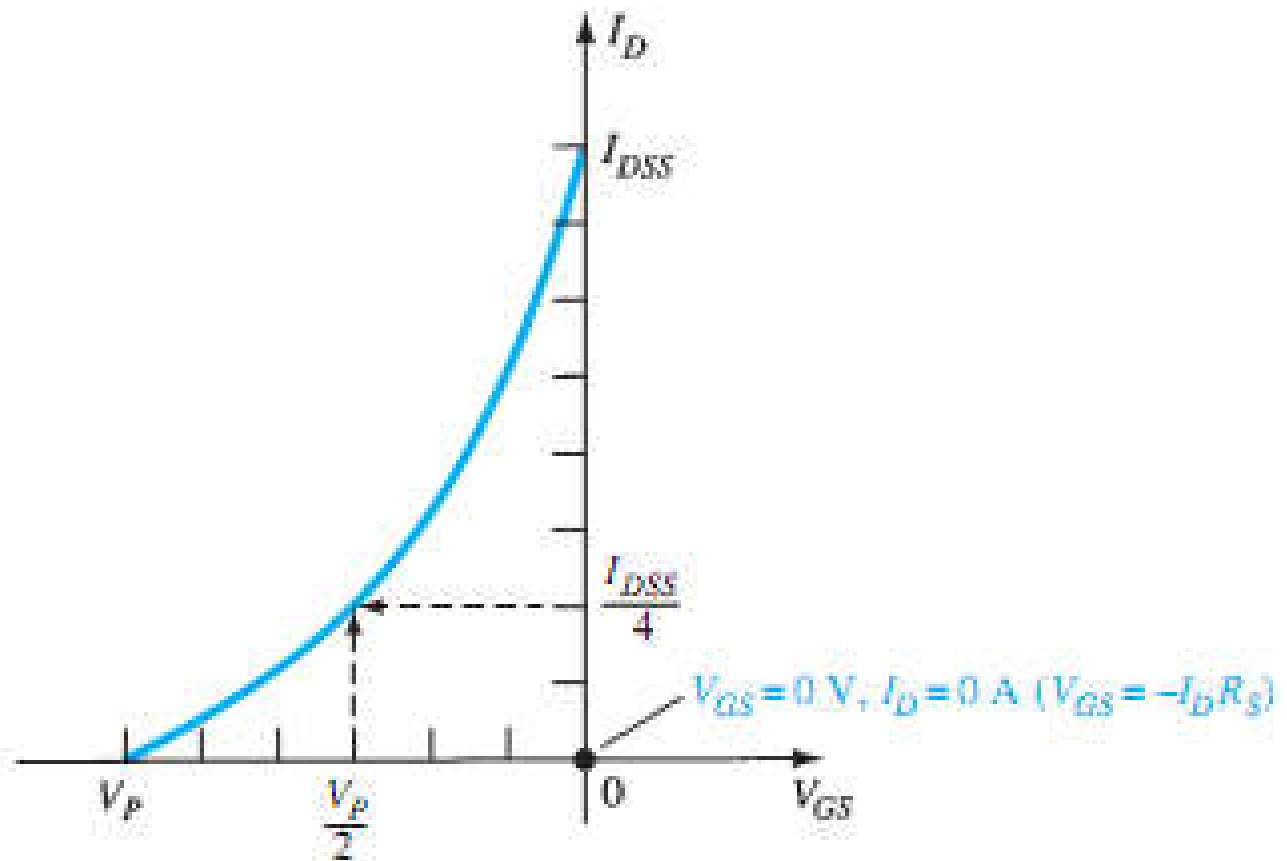
Giải pt trên ta được 2 nghiệm của I_D ; sẽ được 2 giá trị tương ứng của V_{GS} .

Dòng tĩnh I_{DQ} cần chọn ứng với $|V_{GS}| < |V_P|$

2. Mạch tự phân cực

Đặc tuyến truyền đạt:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$



Đặc tuyến truyền đạt tĩnh

2. Mạch tự phân cực

Phương trình đường tải tĩnh:

$$\boxed{V_{GS} = -I_D R_S} \quad \Rightarrow I_D = -\frac{1}{R_S} V_{GS}$$

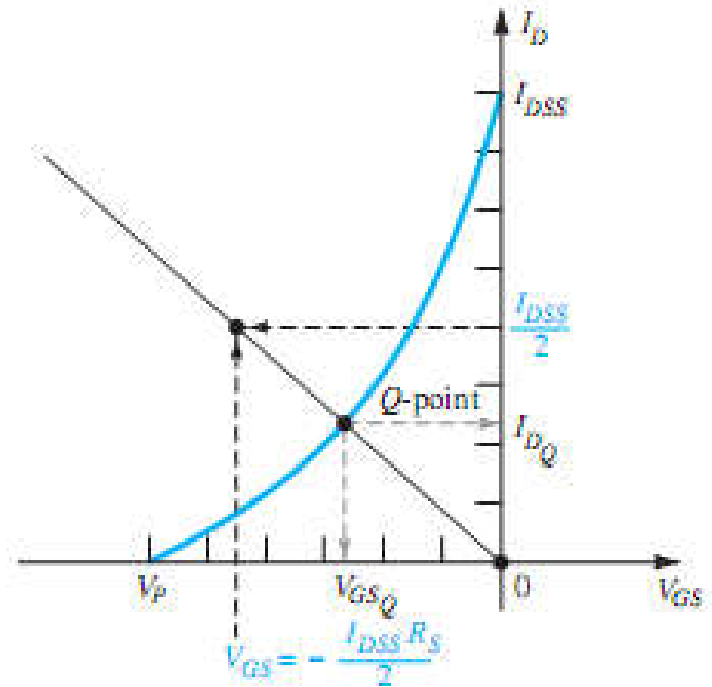
Đường tải tĩnh đi qua 2 điểm sau:

$$I_D = 0 \Rightarrow V_{GS} = -I_D R_S = 0$$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2} \Rightarrow V_{GS} = -\frac{I_{DSS} \cdot R_S}{2}$$

Điểm làm việc tĩnh Q là giao của đặc tuyến truyền đạt và đường tải tĩnh

Có tọa độ : $Q(I_{DQ}; V_{GSQ})$



2. Mạch tự phân cực

Vòng máng nguồn

$$V_{R_S} + V_{DS} + V_{R_D} - V_{DD} = 0$$

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

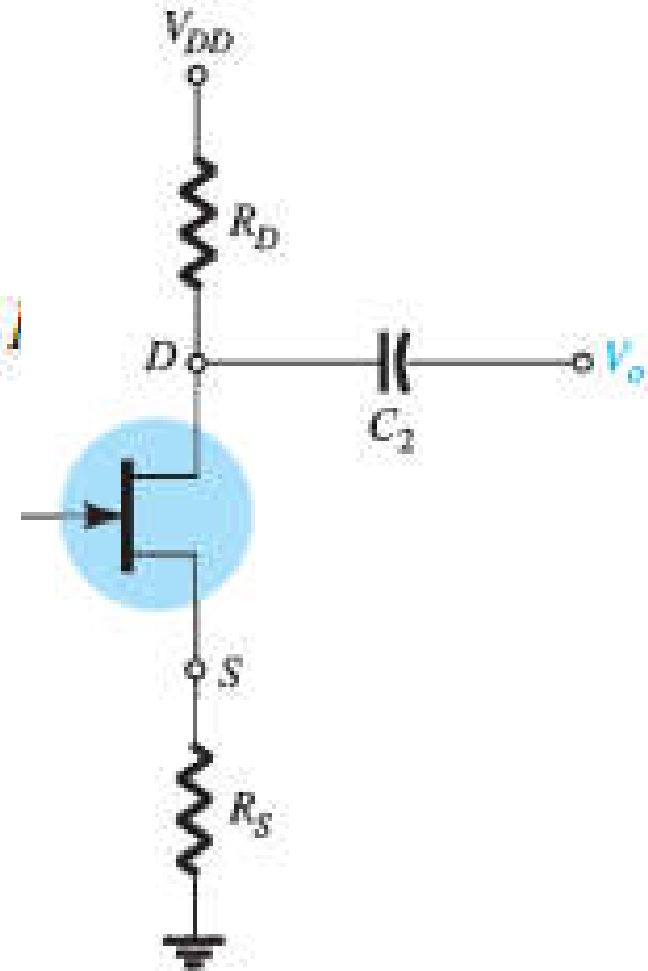
$$I_D = I_S$$

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

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_G = 0 \text{ V}$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = V_{DD} - V_{R_D}$$

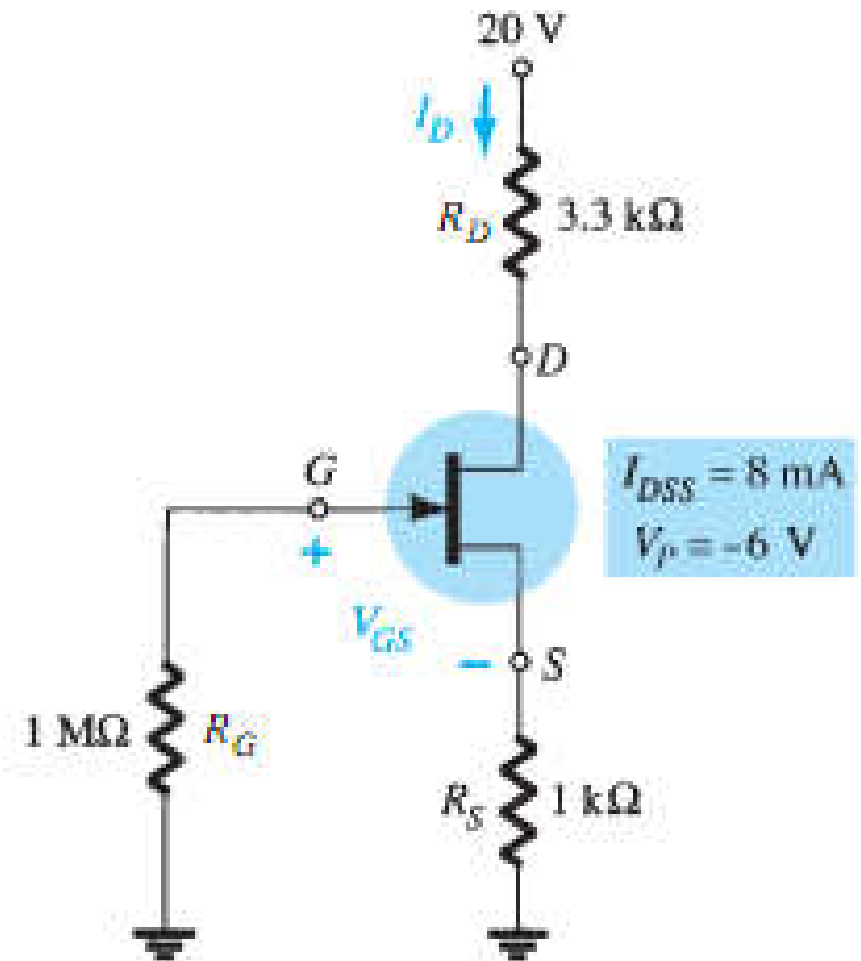


2. Mạch tự phân cực



Ví dụ 2: Tìm các đại lượng trong sơ đồ sau

- a. V_{GS_Q}
- b. I_{D_Q}
- c. V_{DS}
- d. V_S
- e. V_G
- f. V_D



2. Mạch tự phân cực



Ví dụ 2:

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$V_{GS_Q} = -2.6 \text{ V}$$

$$I_{D_Q} = 2.6 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D (R_S + R_D) \\ &= 20 \text{ V} - (2.6 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega + 3.3 \text{ k}\Omega) \\ &= 20 \text{ V} - 11.18 \text{ V} \\ &= 8.82 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_S &= I_D R_S \\ &= (2.6 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) \\ &= 2.6 \text{ V} \end{aligned}$$

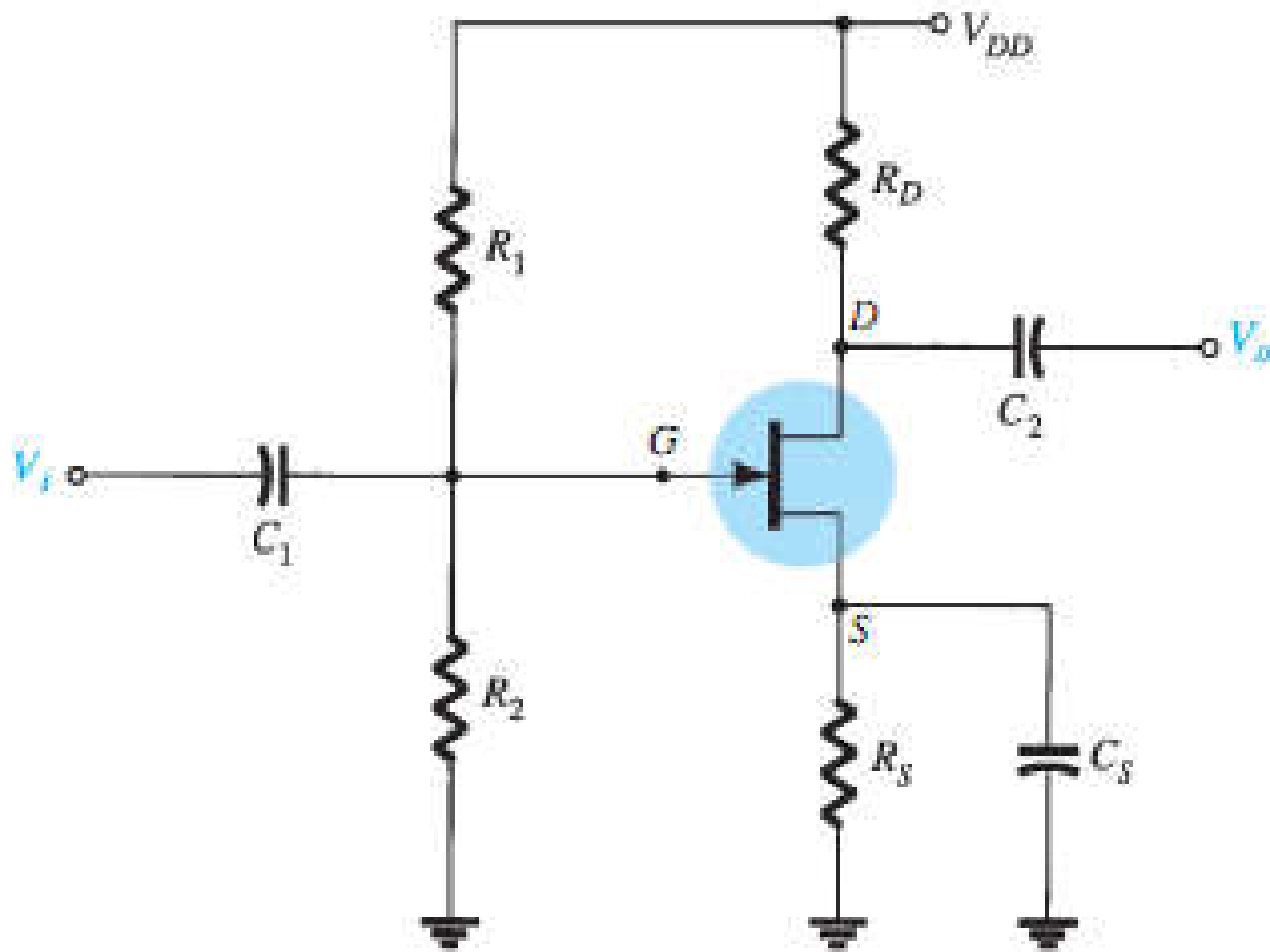
$$V_G = 0 \text{ V}$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = 8.82 \text{ V} + 2.6 \text{ V} = 11.42 \text{ V}$$

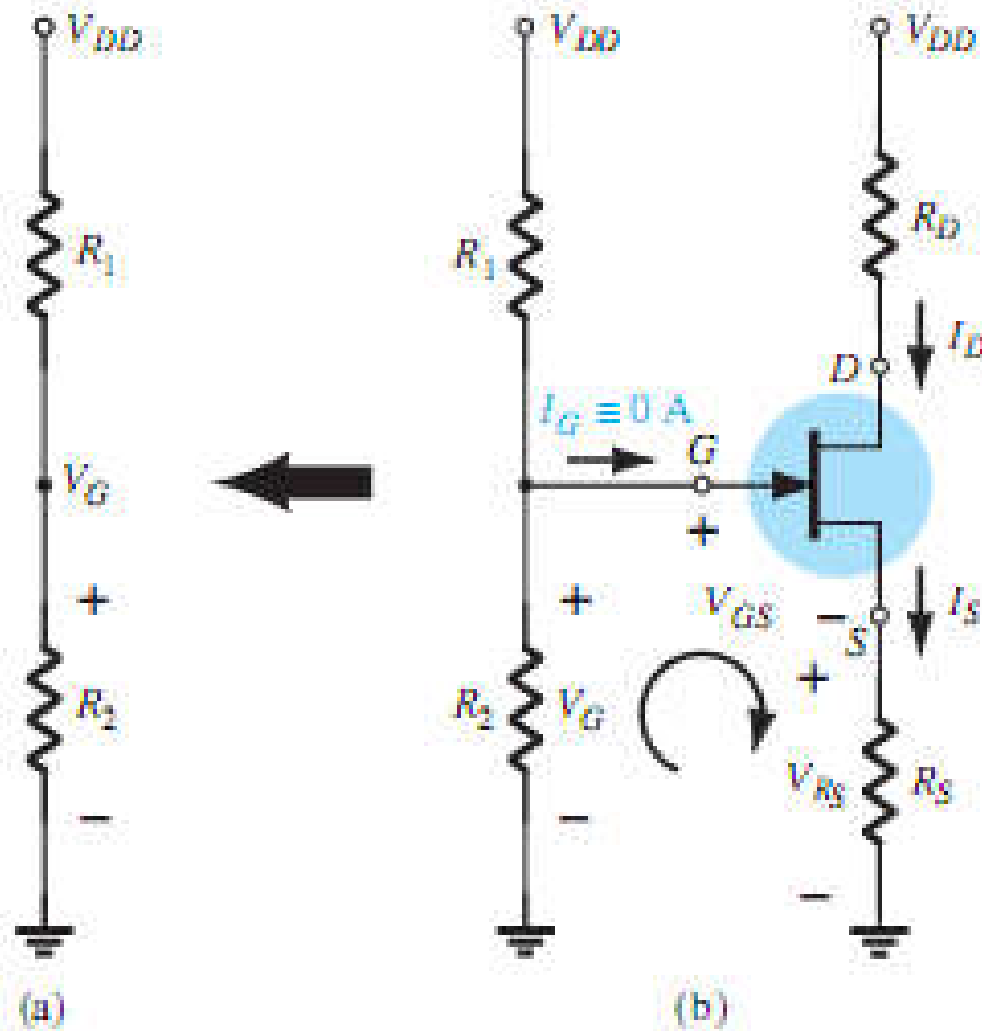
$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 20 \text{ V} - (2.6 \text{ mA})(3.3 \text{ k}\Omega) = 11.42 \text{ V}$$

3.2. PHÂN CỰC VÀ ỔN ĐỊNH PHÂN CỰC FET

3. Phân cực bằng cầu phân áp



3. Phân cực bằng cầu phân áp



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

$$V_G - V_{GS} - V_{R_S} = 0$$

$$V_{GS} = V_G - V_{R_S}$$

$$V_{R_S} = I_S R_S = I_D R_S,$$

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_G - I_D R_S \\ &= V_G - (0 \text{ mA}) R_S \end{aligned}$$

$$V_{GS} = V_G |_{I_D=0 \text{ mA}}$$

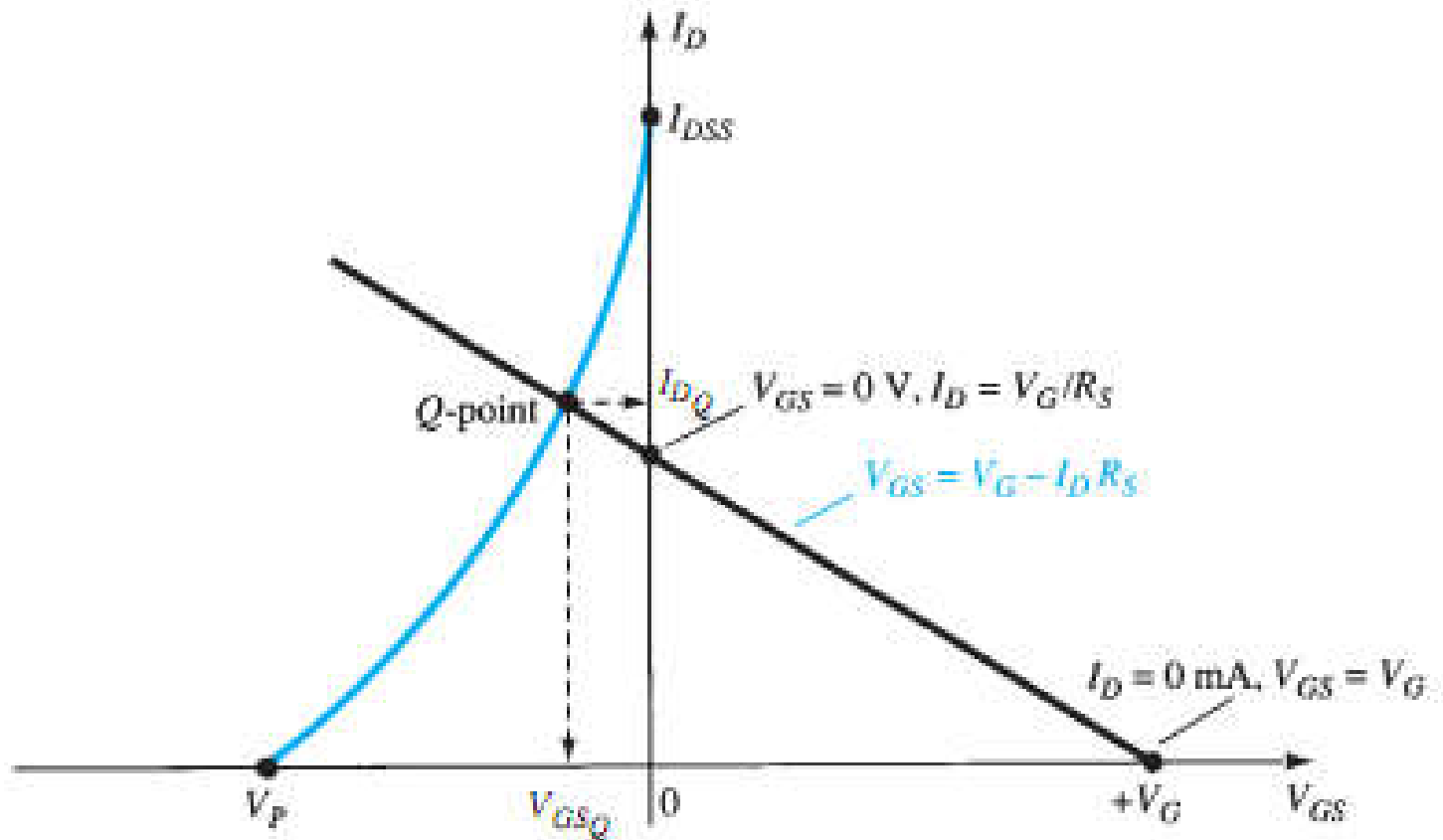
3. Phân cực bằng cầu phân áp

Xác định điểm phân cực tĩnh

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

$$0 \text{ V} = V_G - I_D R_S$$

$$I_D = \frac{V_G}{R_S} \Big|_{V_{GS}=0 \text{ V}}$$



3. Phân cực bằng cầu phân áp

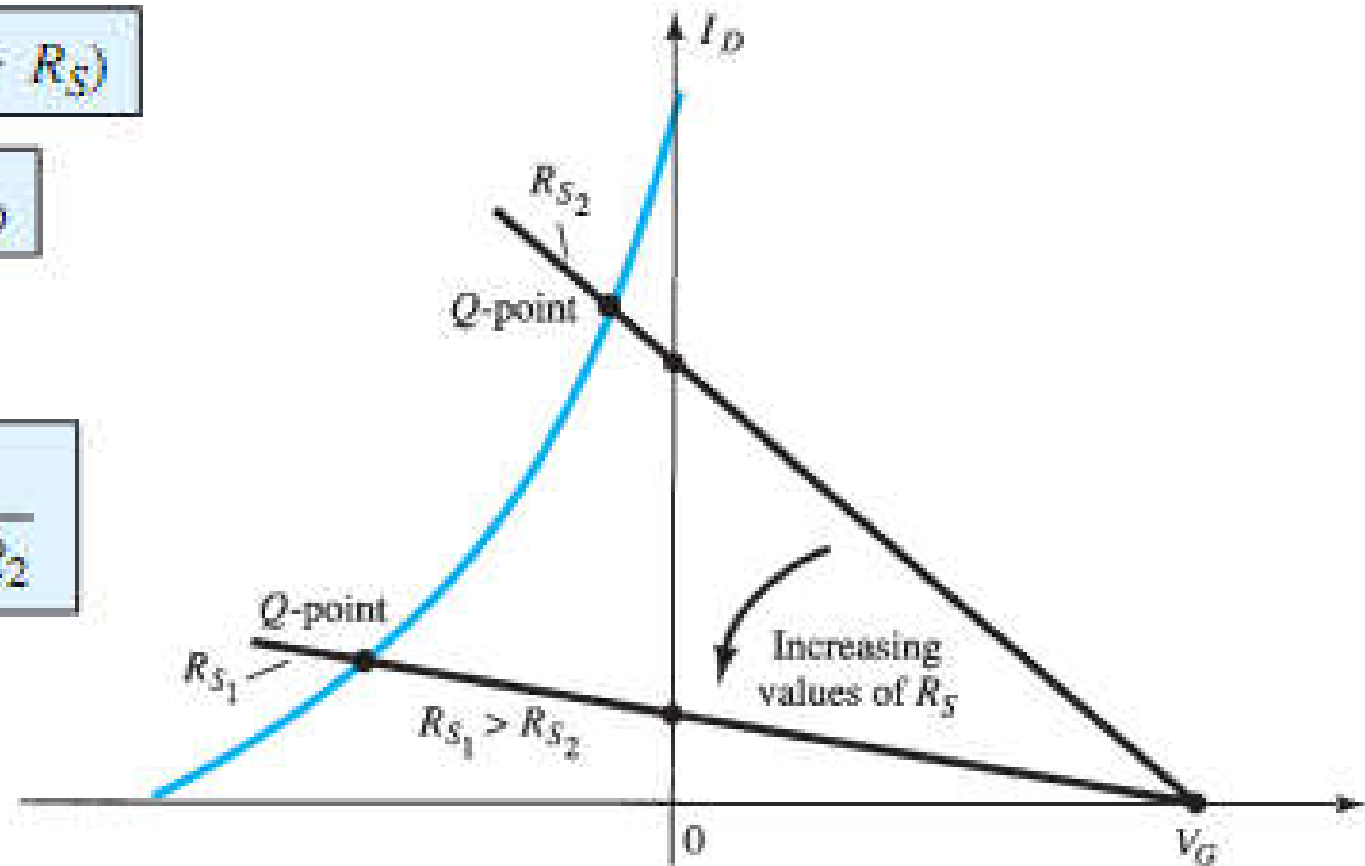
Áp dụng D/I Kieckhoff cho Mạch vòng máng nguồn:

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

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

$$V_S = I_D R_S$$

$$I_{R_1} = I_{R_2} = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

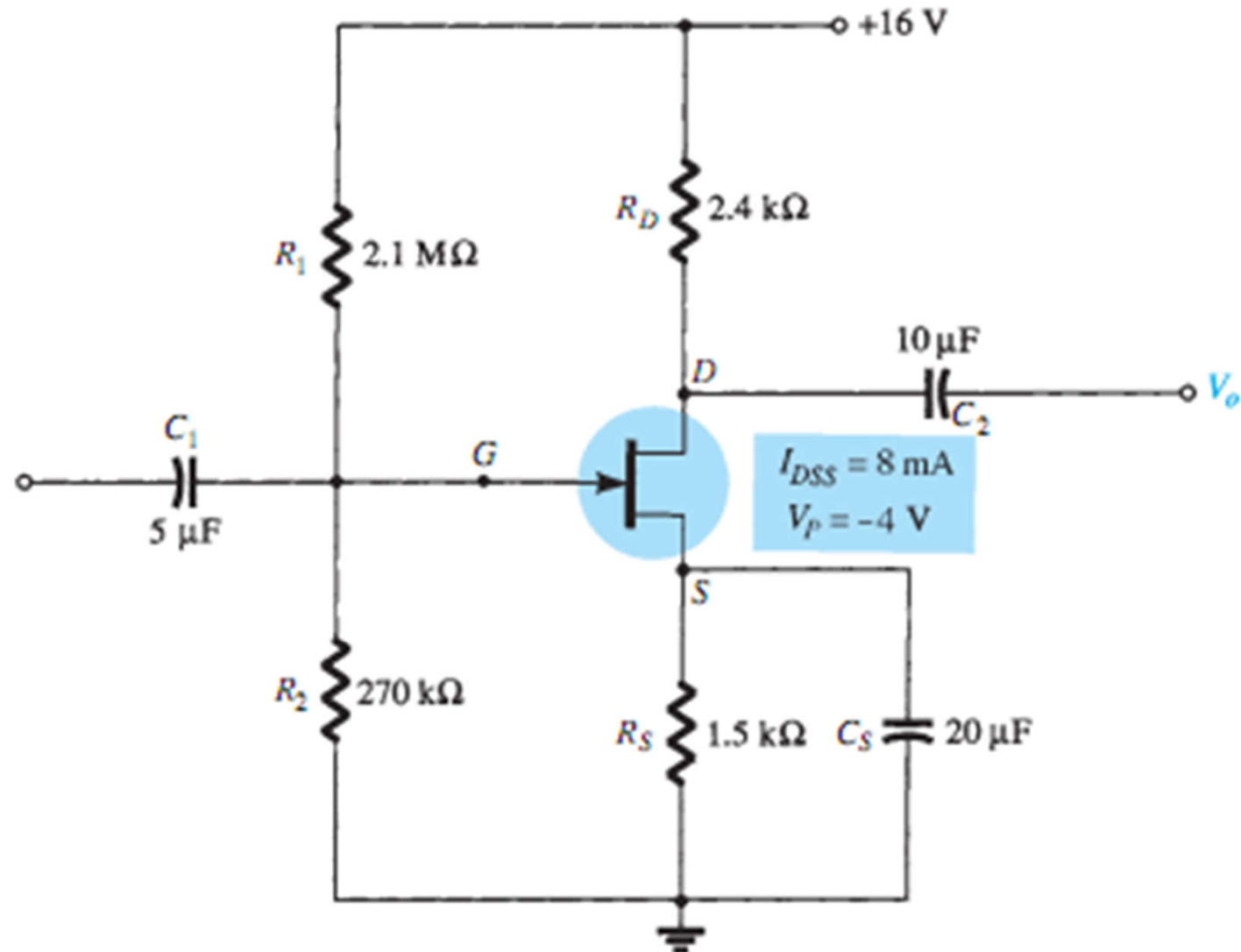


Điểm Q phụ thuộc vào R_S

3. Phân cực bằng cầu phân áp

Ví dụ 3: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau: JFET kênh N

- a. I_{DQ} and V_{GSQ}
- b. V_D
- c. V_S
- d. V_{DS}
- e. V_{DG}



3. Phân cực bằng cầu phân áp

Ví dụ 3: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau: JFET kênh N

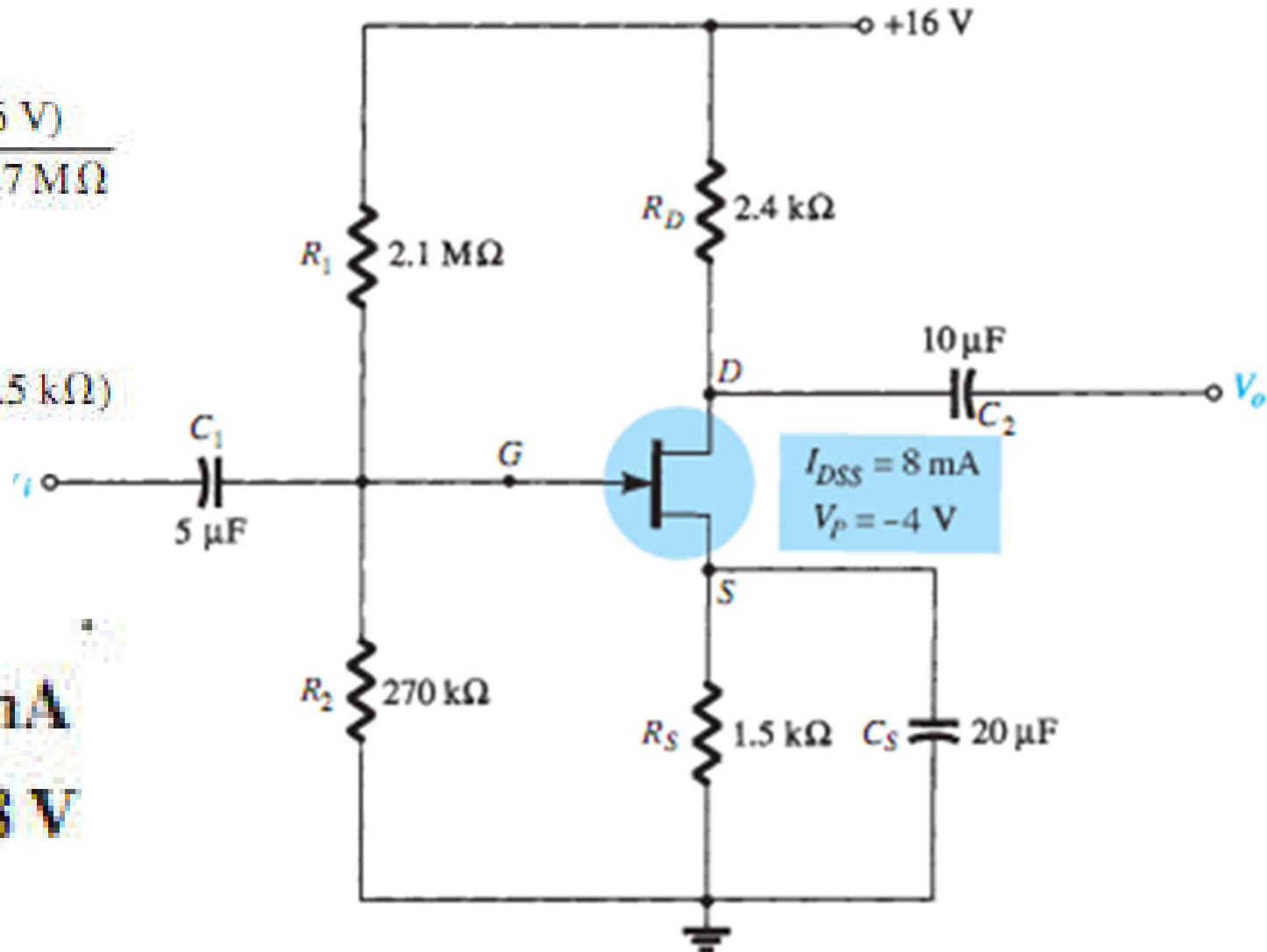
$$\begin{aligned}V_G &= \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} \\&= \frac{(270 \text{ k}\Omega)(16 \text{ V})}{2.1 \text{ M}\Omega + 0.27 \text{ M}\Omega} \\&= 1.82 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{GS} &= V_G - I_D R_S \\&= 1.82 \text{ V} - I_D (1.5 \text{ k}\Omega)\end{aligned}$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$I_{DQ} = 2.4 \text{ mA}$$

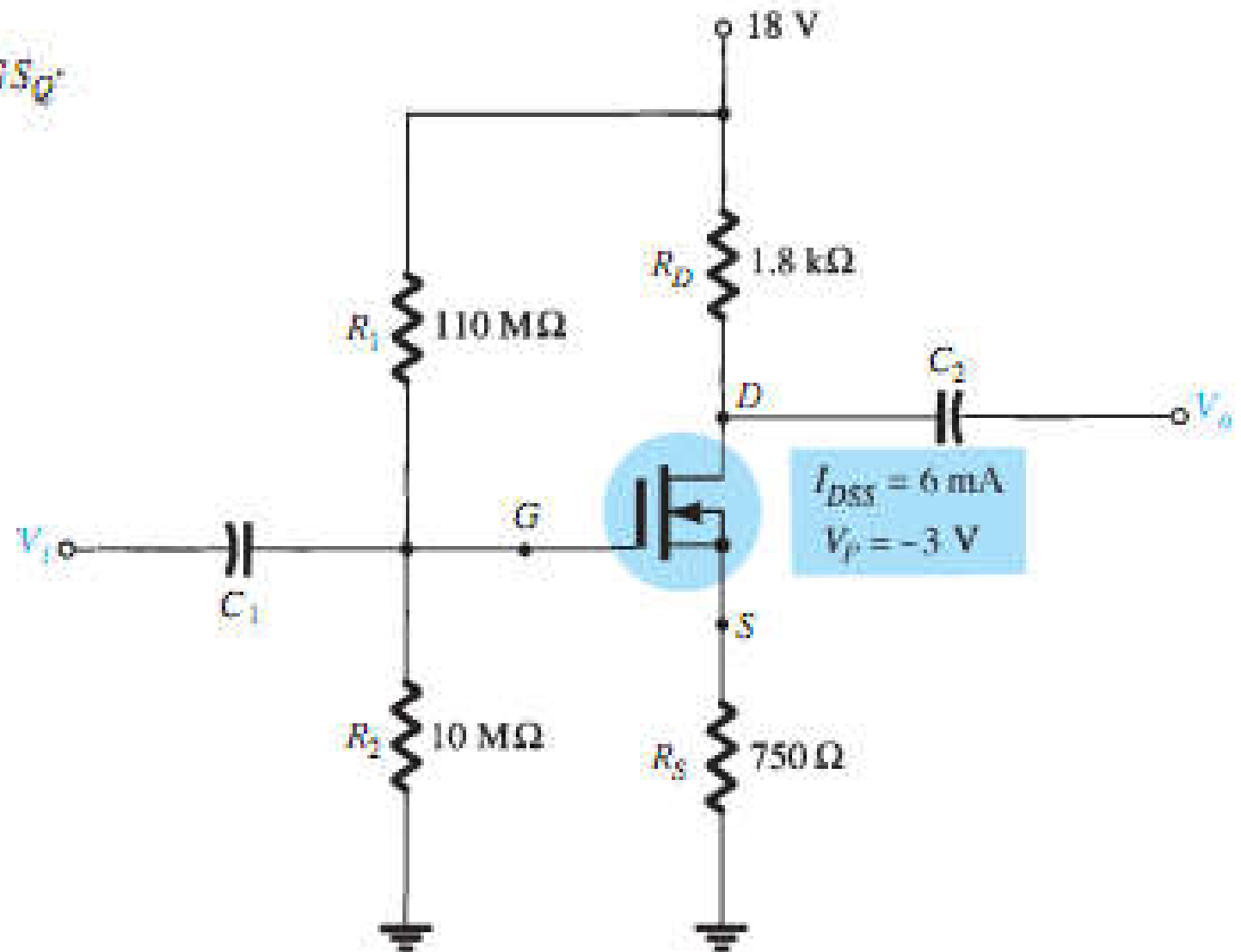
$$V_{GSQ} = -1.8 \text{ V}$$



3. Phân cực bằng cầu phân áp

Ví dụ 4: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau: D-MOSFET kênh N

- a. I_{DQ} and V_{GSQ}
- b. V_{DS}

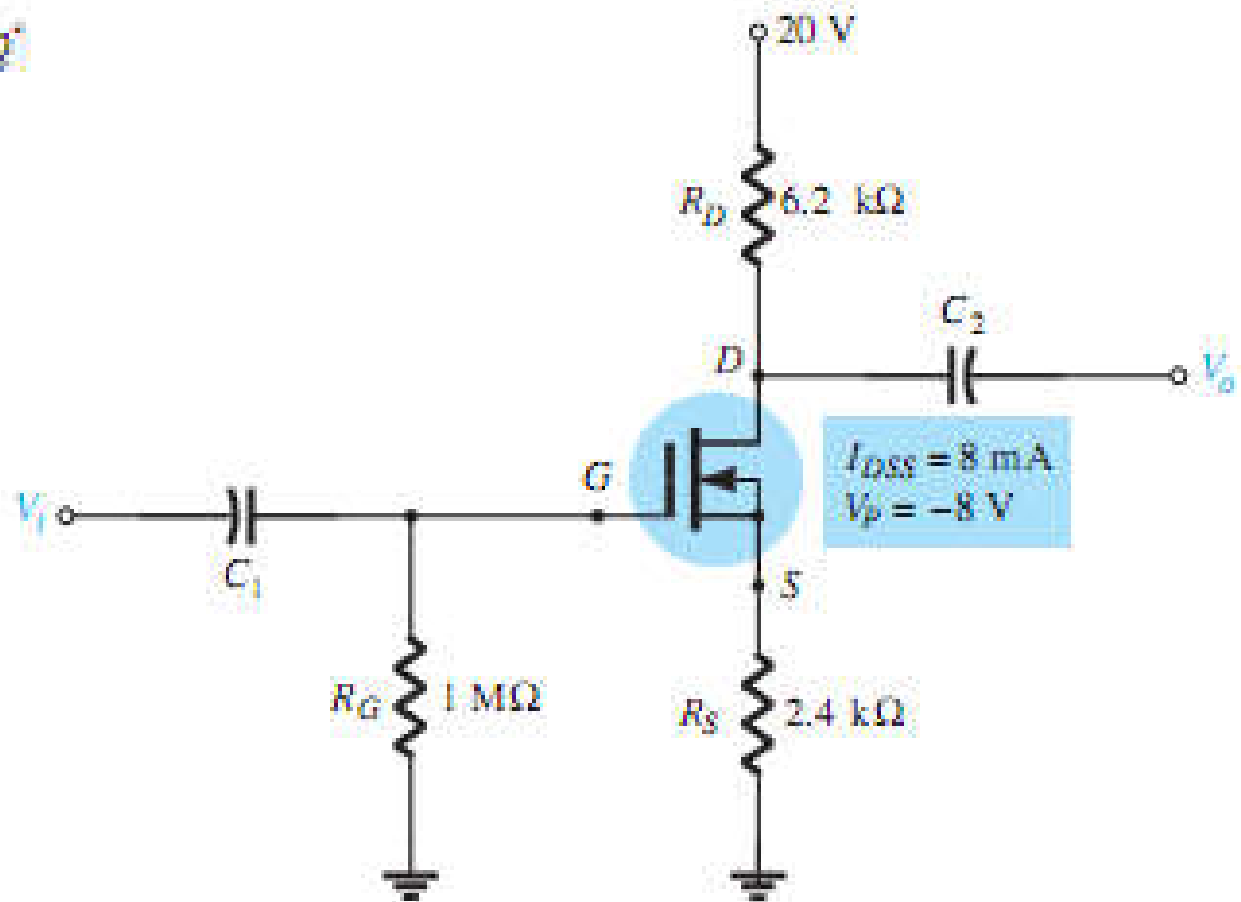


3.2. PHÂN CỰC VÀ ỔN ĐỊNH PHÂN CỰC FET



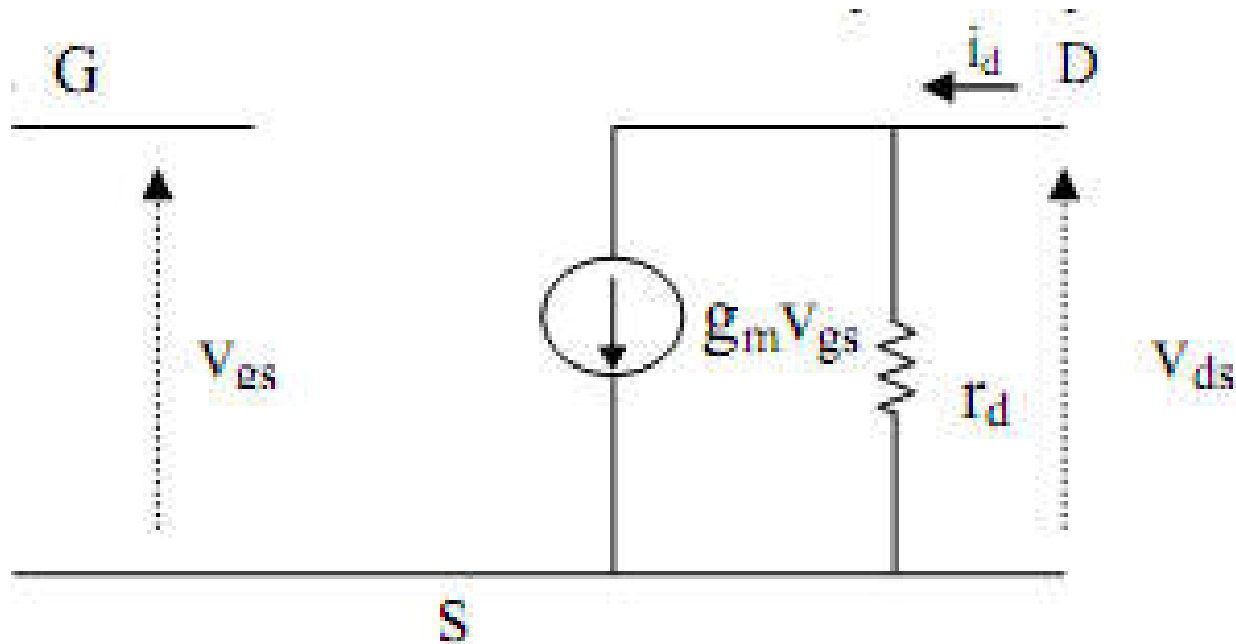
Ví dụ 5: Xác định các đại lượng trong sơ đồ sau:

- a. I_{DQ} and V_{GSQ}
- b. V_D



3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

3.3.1. Mô hình mạch tương đương của FET



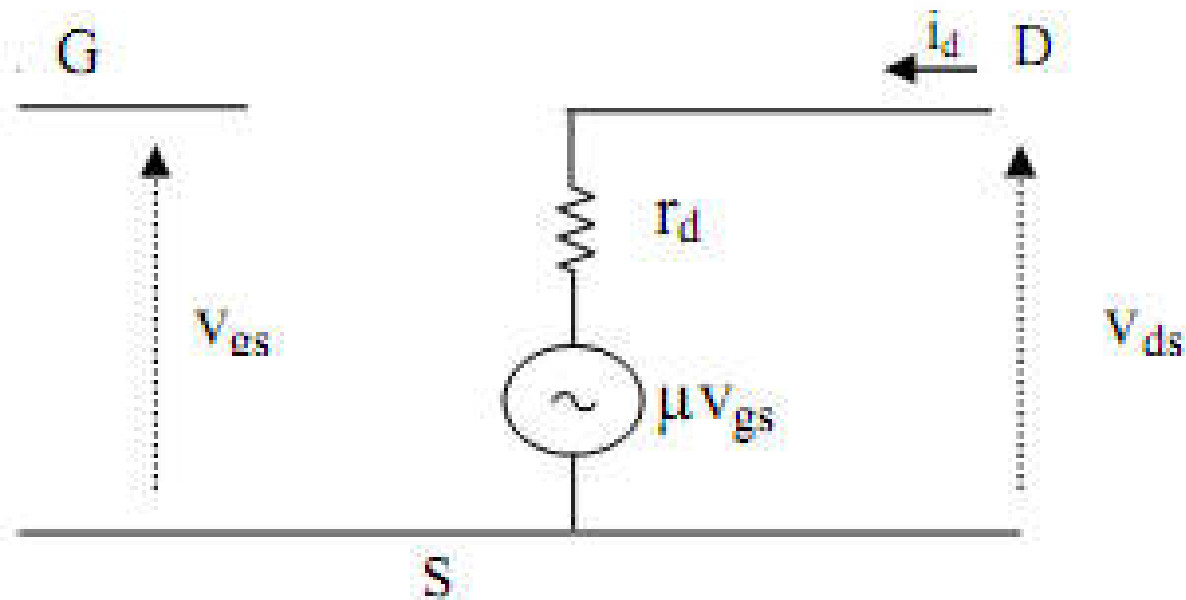
Mô hình mạch tương đương của FET dạng nguồn dòng

g_m là độ xuyên dẫn của FET

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{v_{DS} = \text{const}}$$

3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

3.3.1. Mô hình mạch tương đương của FET



Mô hình mạch tương đương của FET dạng nguồn áp

r_d : điện trở kênh dẫn (điện trở vi phân ngõ ra).

$$r_d = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right|_{V_{GS} = \text{const}}$$

3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

3.3.1. Mô hình mạch tương đương của FET

r_i : điện trở vào (điện trở vi phân ngõ vào), r_i rất lớn coi như đề hở giữa G và S.

$$r_i = \left. \frac{\partial V_{GS}}{\partial I_D} \right|_{V_{DS} = \text{const}}$$

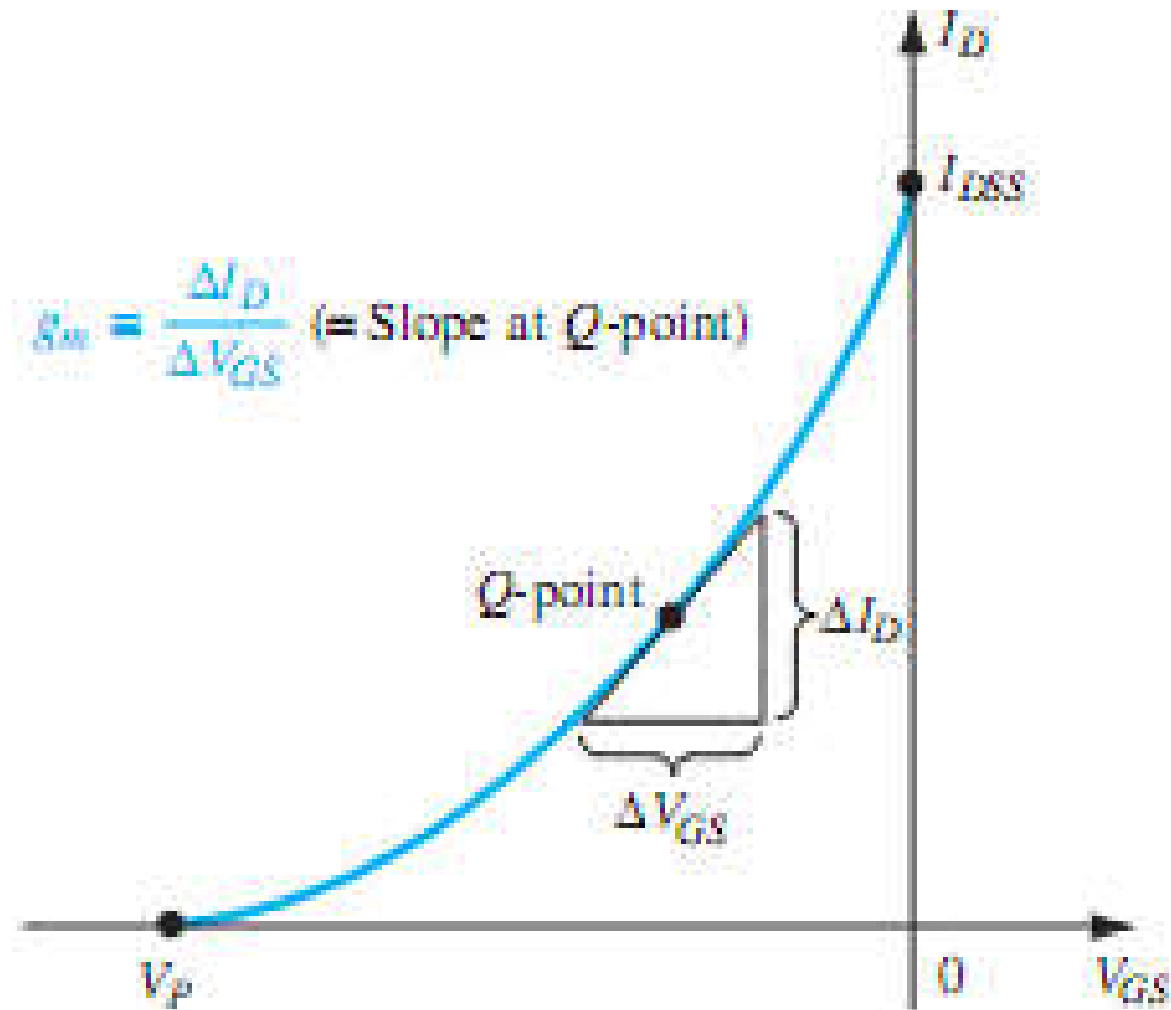
μ : hệ số khuếch đại áp. Hệ số này so sánh mức độ ảnh hưởng của điện áp V_{GS} và V_{DS} đối với dòng thoát.

$$\mu = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial V_{GS}} \right|_{I_D = \text{const}}$$

μ và g_m liên hệ với nhau bởi biểu thức:

$$\mu = g_m r_d$$

3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET



3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

$$\begin{aligned}g_m &= \left. \frac{dI_D}{dV_{GS}} \right|_{Q\text{-pt.}} = \frac{d}{dV_{GS}} \left[I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \right] \\&= I_{DSS} \frac{d}{dV_{GS}} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 2I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] \frac{d}{dV_{GS}} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \\&= 2I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] \left[\frac{d}{dV_{GS}} (1) - \frac{1}{V_P} \frac{dV_{GS}}{dV_{GS}} \right] = 2I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] \left[0 - \frac{1}{V_P} \right]\end{aligned}$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]$$

$$g_m = g_{m0} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]$$

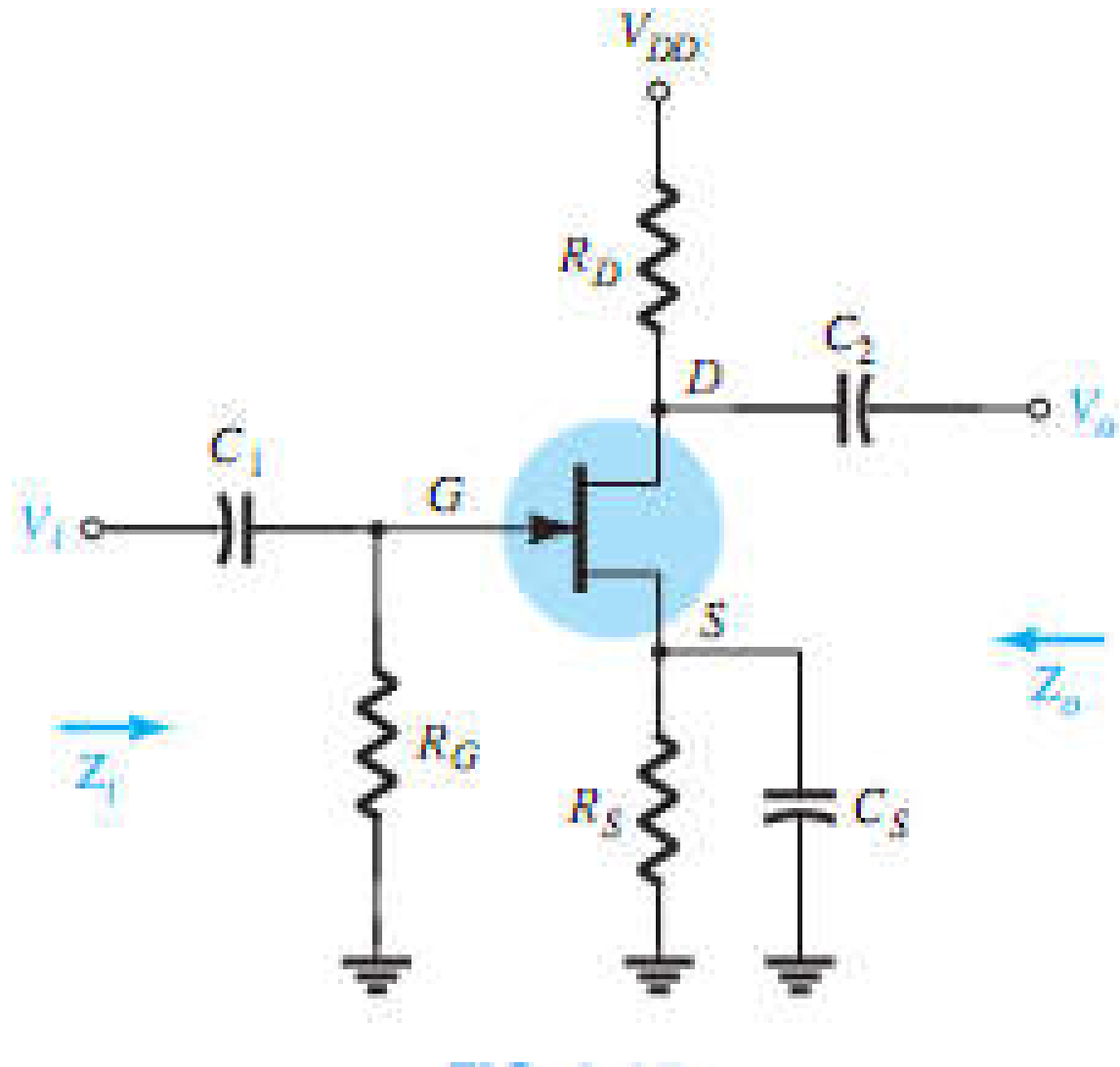
$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$

$$r_d = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{y_{os}}$$

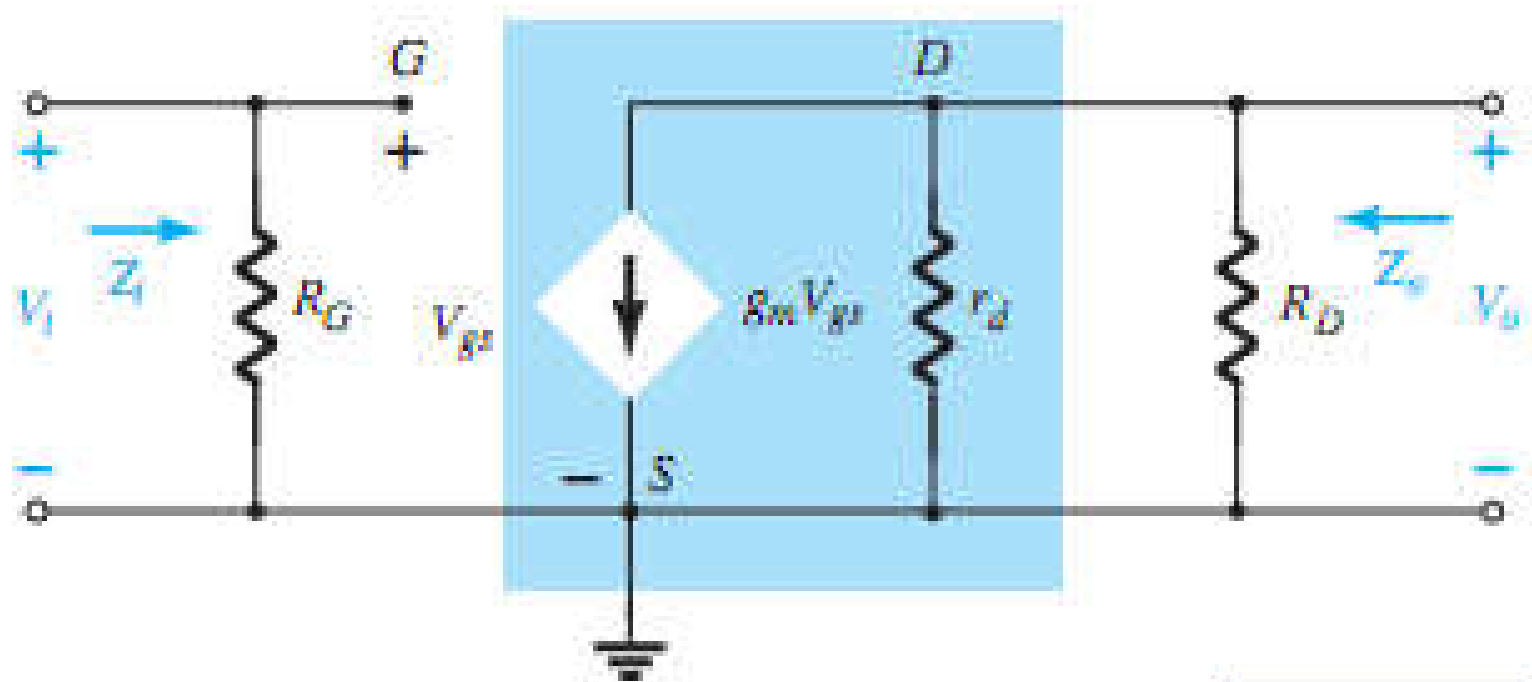
$$g_m = g_{fs} = y_{fs}$$

3.3. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG FET

3.3.1. Mạch khuếch đại kiểu S chung



3.3.1. Mạch khuếch đại kiểu S chung



Mô hình tương đương

$$A_v = -g_m(r_d \parallel R_D)$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$A_v = -g_m R_D$$

$$r_d \gg 10R_D$$

$$Z_i = R_G$$

$$Z_o \cong R_D$$

$$r_d \gg 10R_D$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung

?

Ví dụ 6:

$$V_{GS_Q} = -2.6 \text{ V} \quad I_{D_Q} = 2.6 \text{ mA}$$

$$I_{DSS} = 8 \text{ mA} \quad V_P = -6 \text{ V}$$

$$g_{os} = 20 \mu\text{S}$$

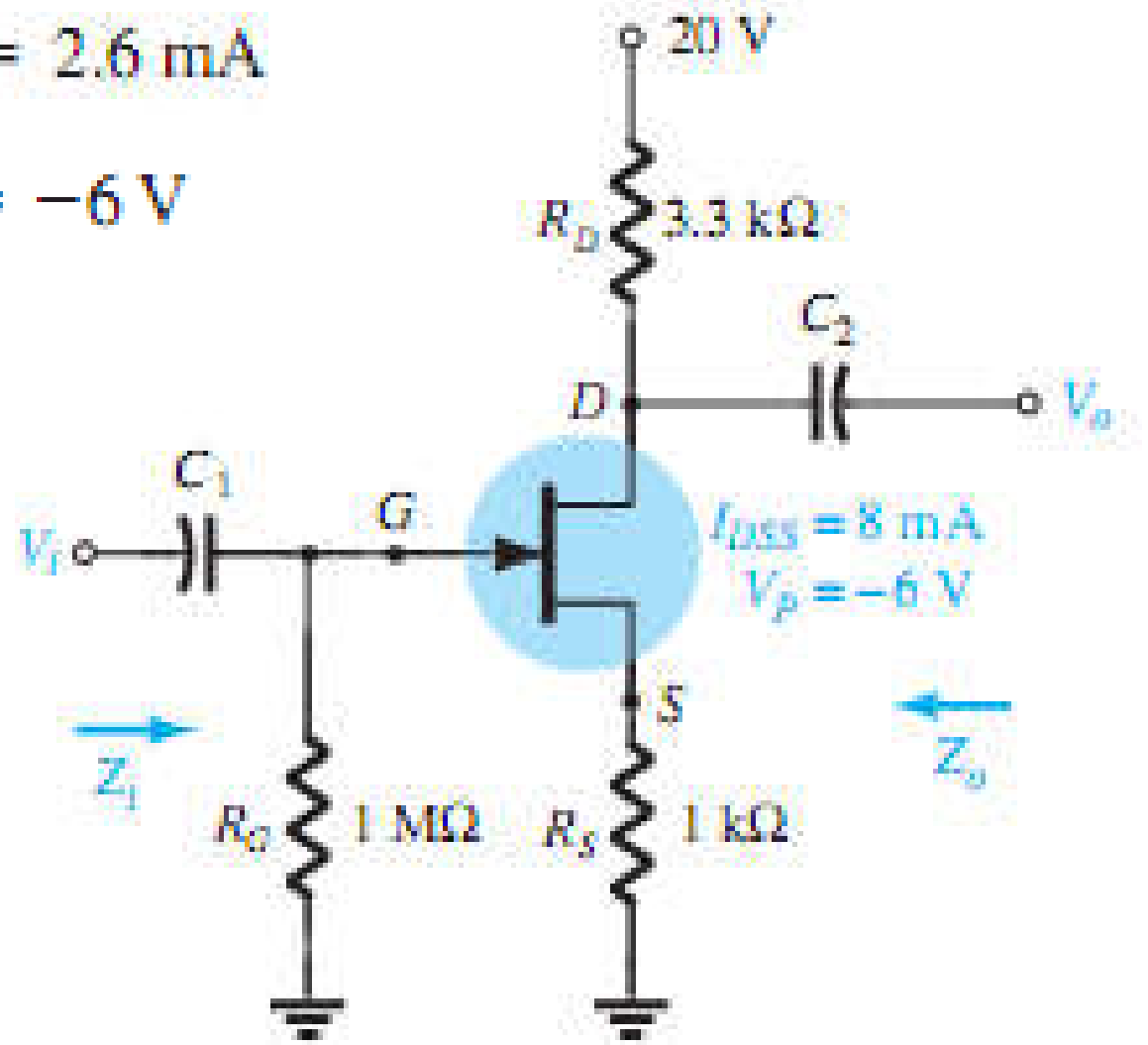
Xác định: g_m

r_d

Z_i

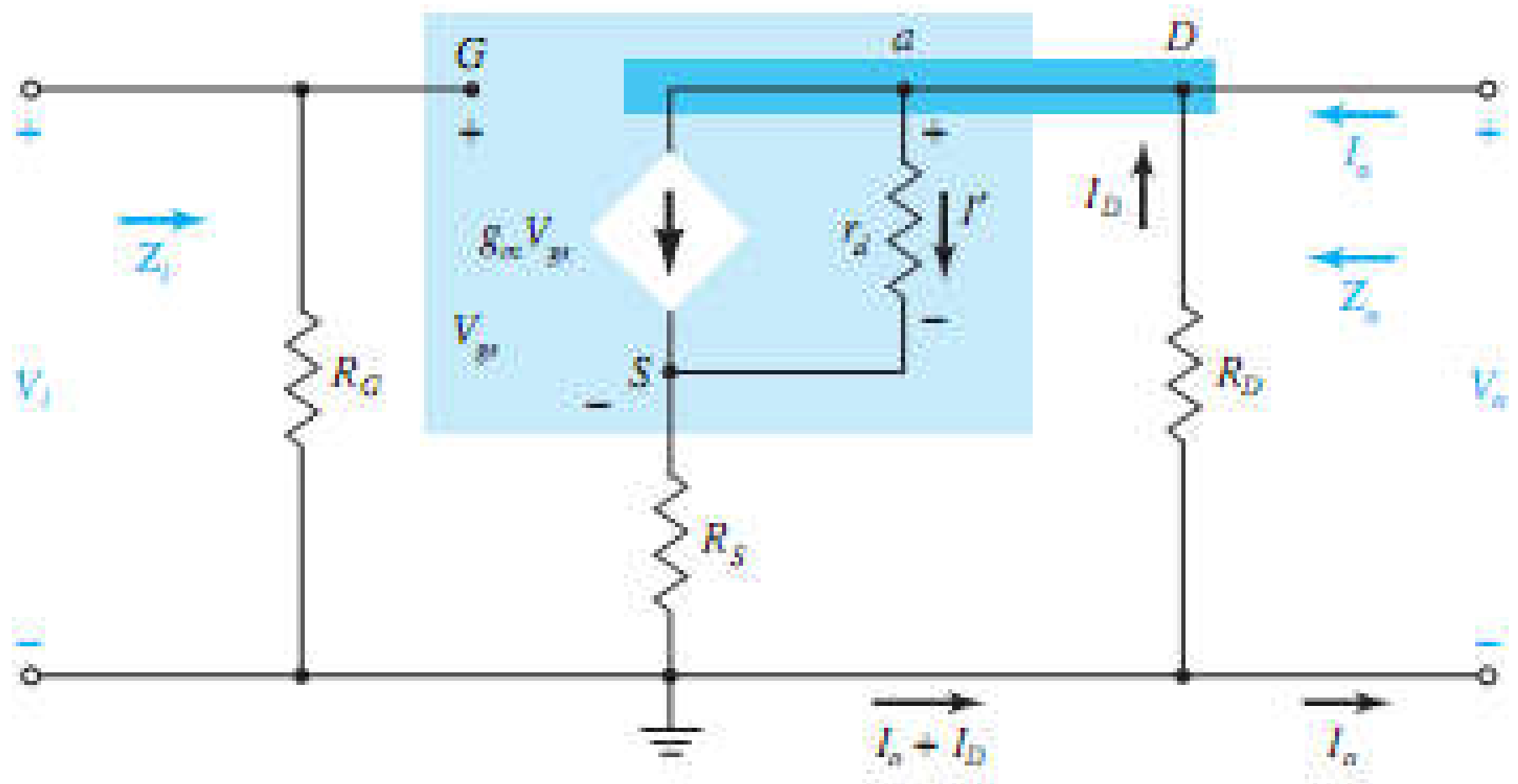
Z_o

A_v



3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung

▼ Ví dụ 6:



3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung



Ví dụ 6:

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(8 \text{ mA})}{6 \text{ V}} = 2.67 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 2.67 \text{ mS} \left(1 - \frac{(-2.6 \text{ V})}{(-6 \text{ V})} \right) = 1.51 \text{ mS}$$

$$\text{b. } r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung

 Ví dụ 6:

a. $g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(8 \text{ mA})}{6 \text{ V}} = 2.67 \text{ mS}$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 2.67 \text{ mS} \left(1 - \frac{(-2.6 \text{ V})}{(-6 \text{ V})} \right) = 1.51 \text{ mS}$$

b. $r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$

c. $Z_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$

$$r_d = 50 \text{ k}\Omega > 10R_D = 33 \text{ k}\Omega$$

$$Z_o = R_D = 33 \text{ k}\Omega$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (có R_S)



Ví dụ 6:

$$\text{Ta có: } i_0 = g_m v_{gs} + \frac{v_0 - v_s}{r_d} = g_m v_{gs} + \frac{-i_0 R_D - i_0 R_S}{r_d}$$

$$\text{Vì } v_{gs} = v_i - i_0 R_S$$

Nên:

$$i_0 = g_m (v_i - i_0 R_S) + \frac{-i_0 R_D - i_0 R_S}{r_d}$$

$$\Rightarrow i_0 = \frac{g_m v_i}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} = -\frac{v_0}{R_D}$$

$$\text{Suy ra: } A_v = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

SV tham khảo cách chứng minh các công thức trên ở trang 495

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (có R_S)

▼ Ví dụ 6:

$$A_v = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} = \frac{-(1.51 \text{ mS})(3.3 \text{ k}\Omega)}{1 + (1.51 \text{ mS})(1 \text{ k}\Omega) + \frac{3.3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega}} = -1.92$$

$$r_d = \infty \Omega$$

$$A_v = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S} = \frac{-(1.51 \text{ mS})(3.3 \text{ k}\Omega)}{1 + (1.51 \text{ mS})(1 \text{ k}\Omega)} = -1.98$$

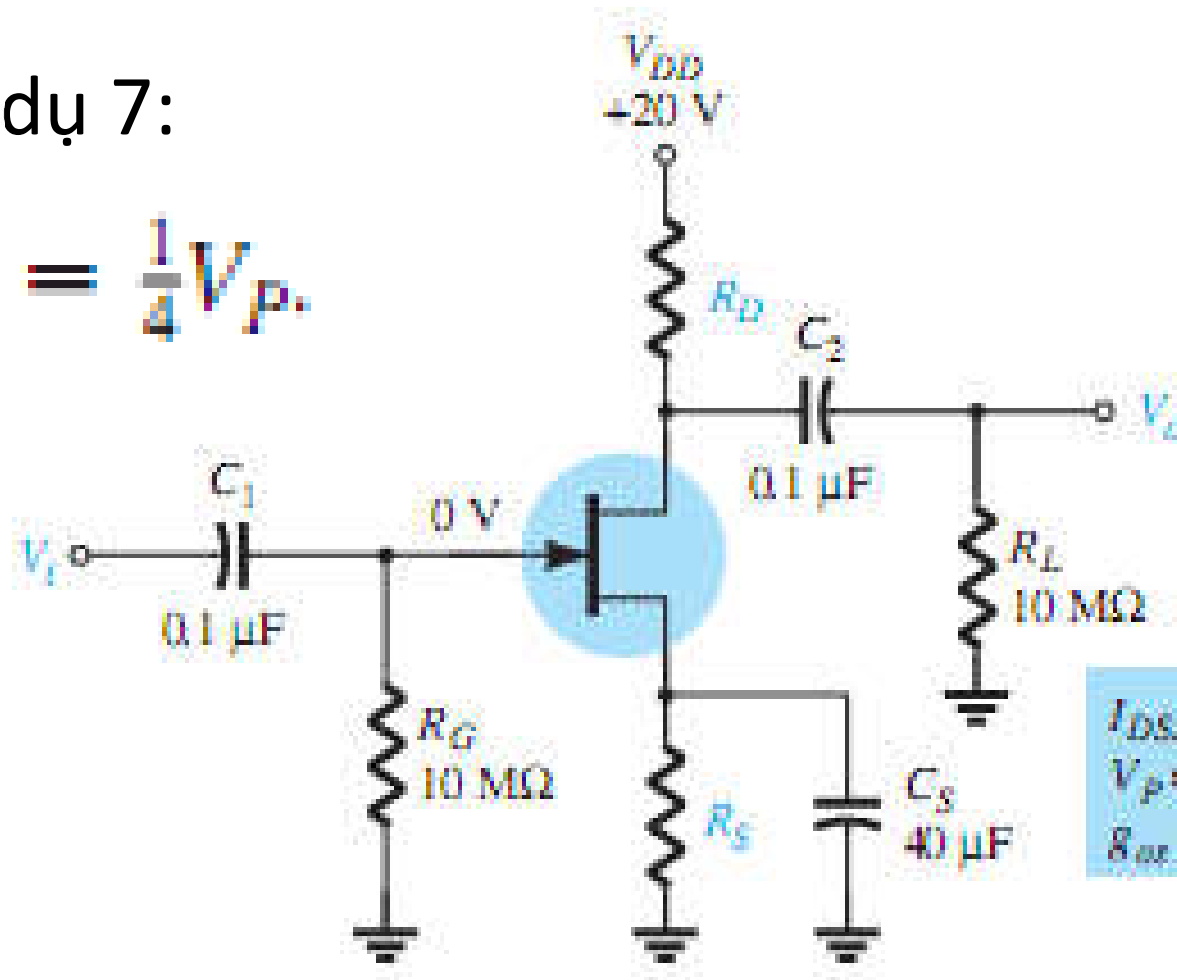
SV tham khảo cách chứng minh các công thức trên ở trang 495

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (có R_L)



Ví dụ 7:

$$V_{GSQ} = \frac{1}{4}V_P.$$



$$\left. \begin{array}{l} I_{DSS} = 10 \text{ mA} \\ V_P = -4 \text{ V} \\ g_{m0} = 20 \mu\text{S} \end{array} \right\} g_{mQ} = 5 \text{ mS}$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (có R_L)

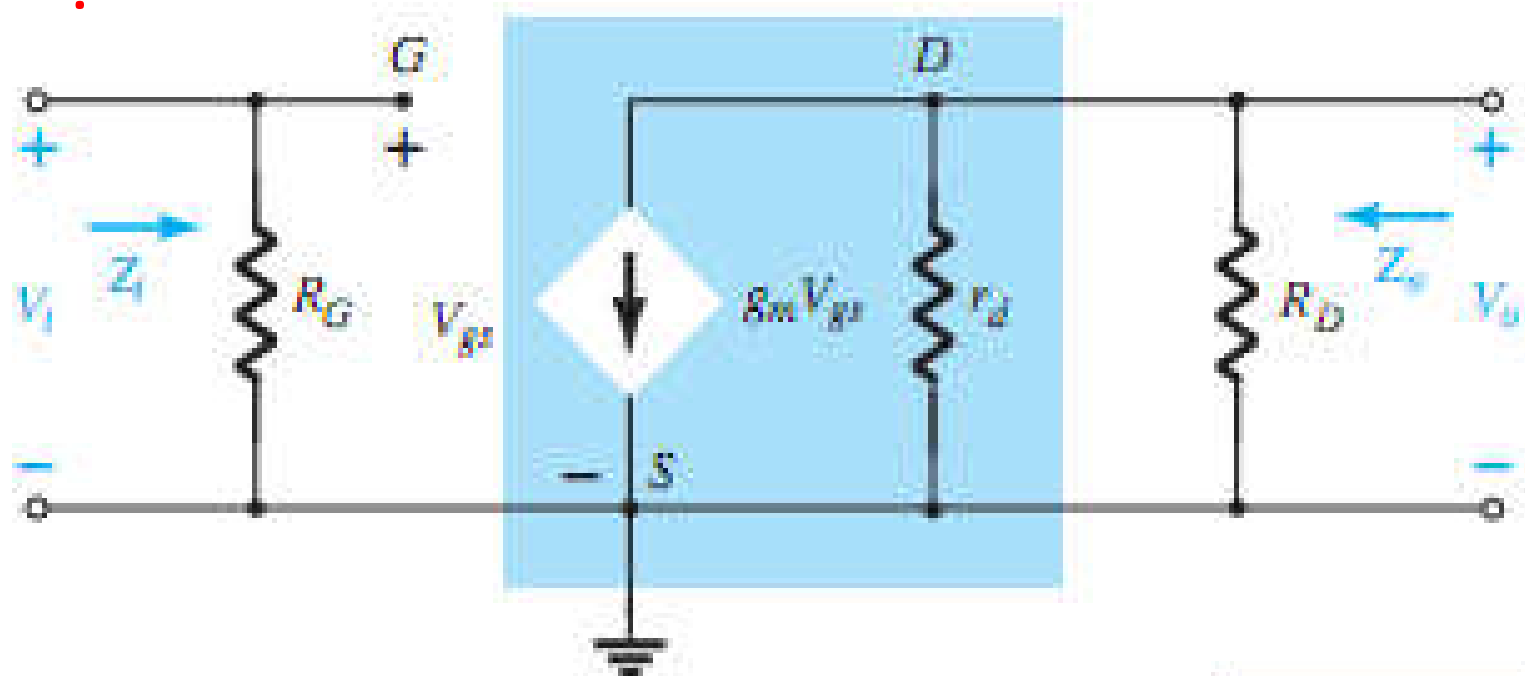
▼ Ví dụ 7:

$$V_{GS_Q} = \frac{1}{4} V_P = \frac{1}{4} (-4 \text{ V}) = -1 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P} \right)^2 = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{(-1 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right)^2 = 5.625 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} g_m &= g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P} \right) \\ &= 5 \text{ mS} \left(1 - \frac{(-1 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right) = 3.75 \text{ mS} \end{aligned}$$

❗ Ví dụ 7:



Mô hình tương đương

$$A_v = -g_m(r_d \parallel R_D)$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$A_v = -g_m R_D \quad r_d \gg 10R_D$$

$$Z_i = R_G$$

$$Z_o \cong R_D \quad r_d \gg 10R_D$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (có R_L)



Ví dụ 7:

$$|A_v| = g_m(R_D \parallel r_d)$$

$$8 = (3.75 \text{ mS})(R_D \parallel r_d)$$

$$R_D \parallel r_d = \frac{8}{3.75 \text{ mS}} = 2.13 \text{ k}\Omega$$

$$r_d = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_D \parallel 50 \text{ k}\Omega = 2.13 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 2.2 \text{ k}\Omega$$

$$V_{GS_Q} = -I_D R_S$$

$$-1 \text{ V} = -(5.625 \text{ mA})R_S$$

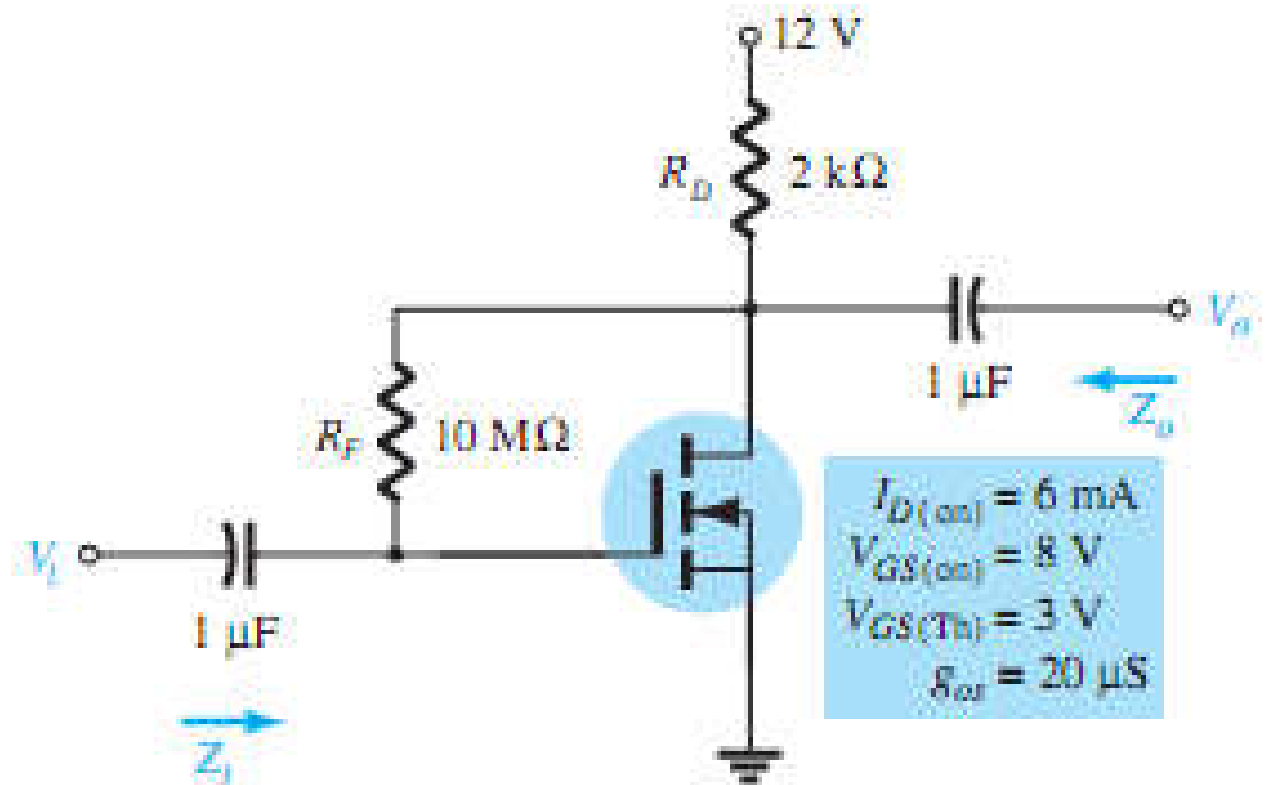
$$R_S = \frac{1 \text{ V}}{5.625 \text{ mA}} = 177.8 \Omega$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung –hồi tiếp điện áp (E-MOSFET)



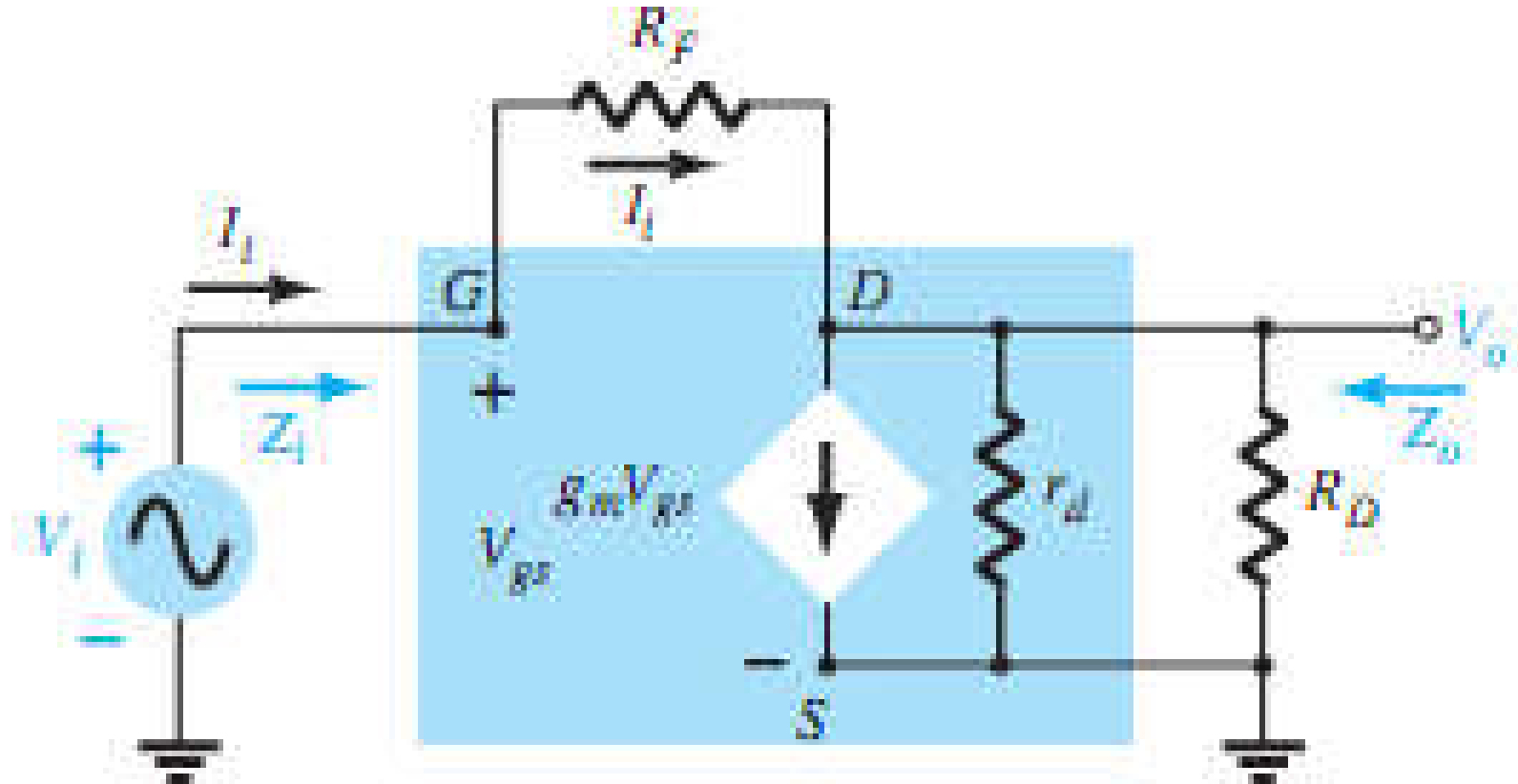
Ví dụ 8:

$k = 0.24 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2$, $V_{GSQ} = 6.4 \text{ V}$, and $I_{DQ} = 2.75 \text{ mA}$.

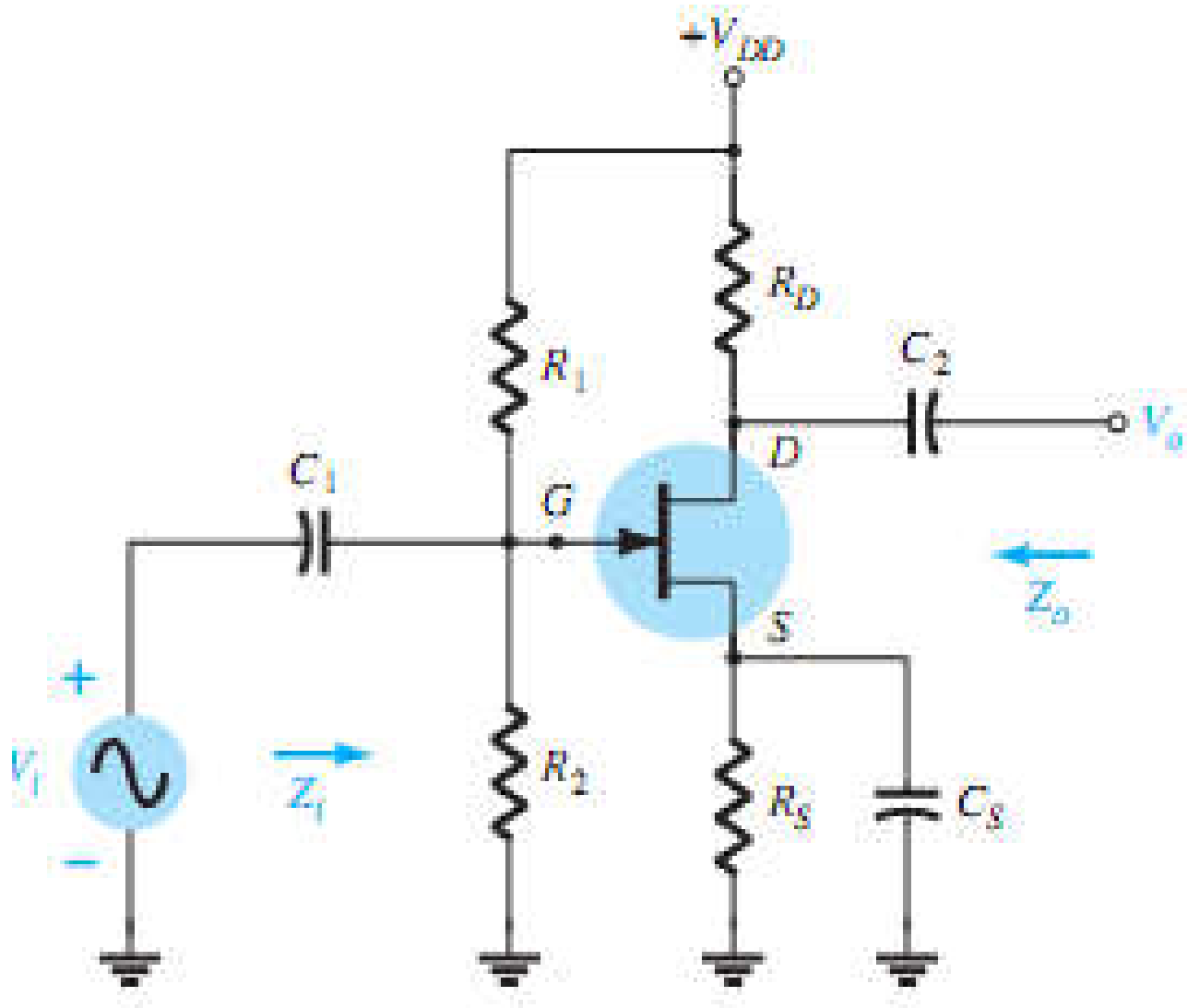


3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung –hồi tiếp điện áp (E-MOSFET)

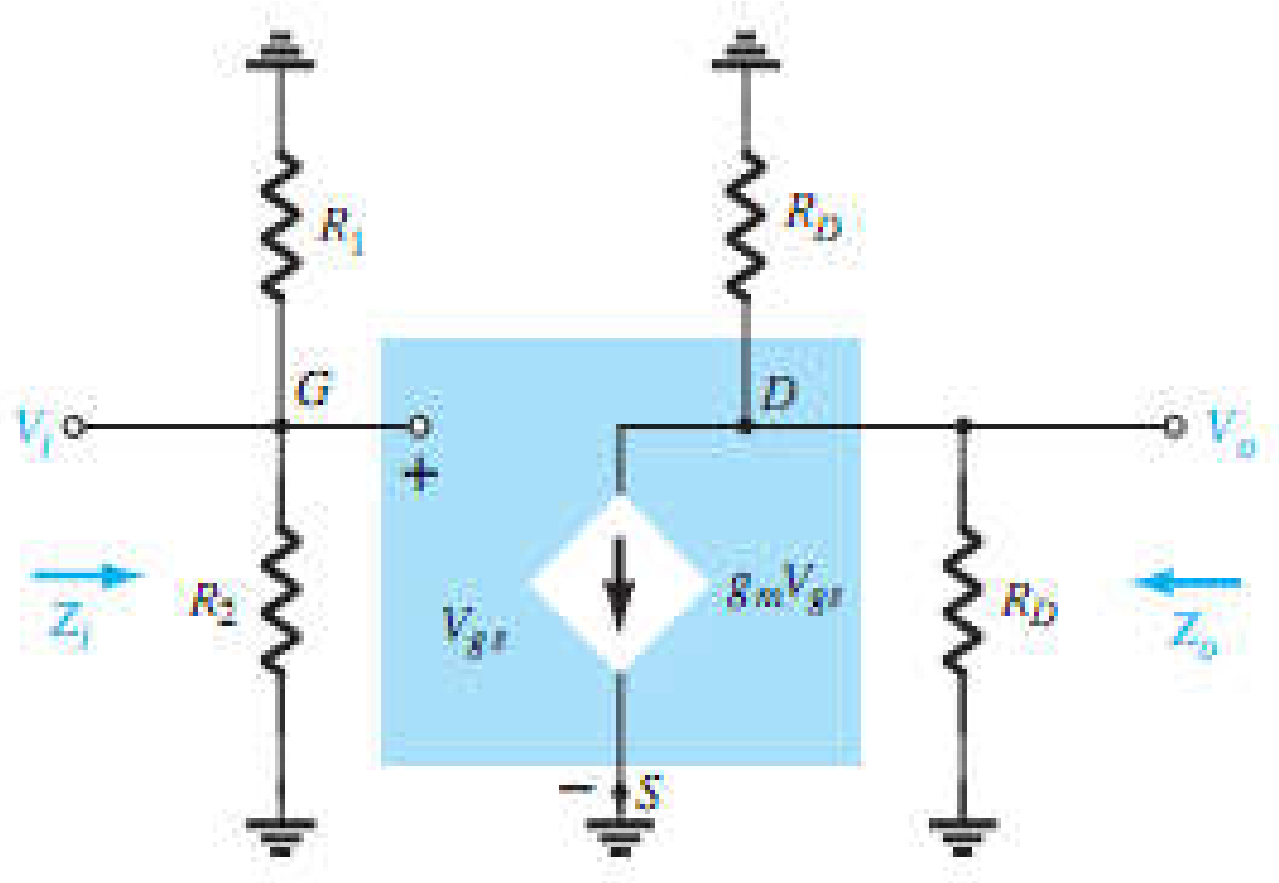
▲ Ví dụ 8:



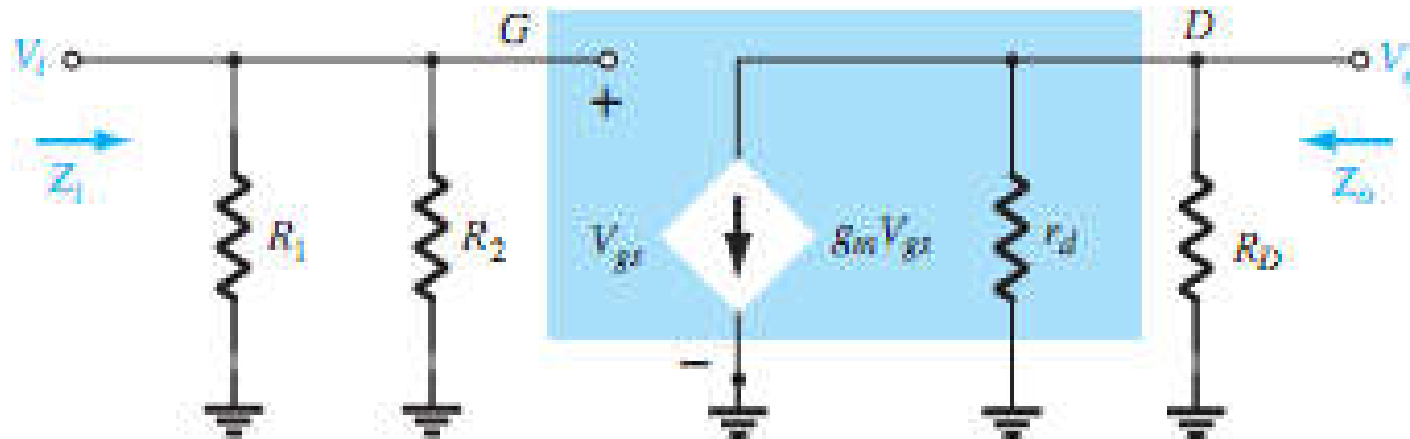
3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)(N-JFET)



3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)(N-JFET)



3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)(N-JFET)



$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$V_{gs} = V_i$$

$$V_o = -g_m V_{gs} (r_d \parallel R_D)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m V_{gs} (r_d \parallel R_D)}{V_{gs}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m (r_d \parallel R_D)$$

$$Z_o \cong R_D$$

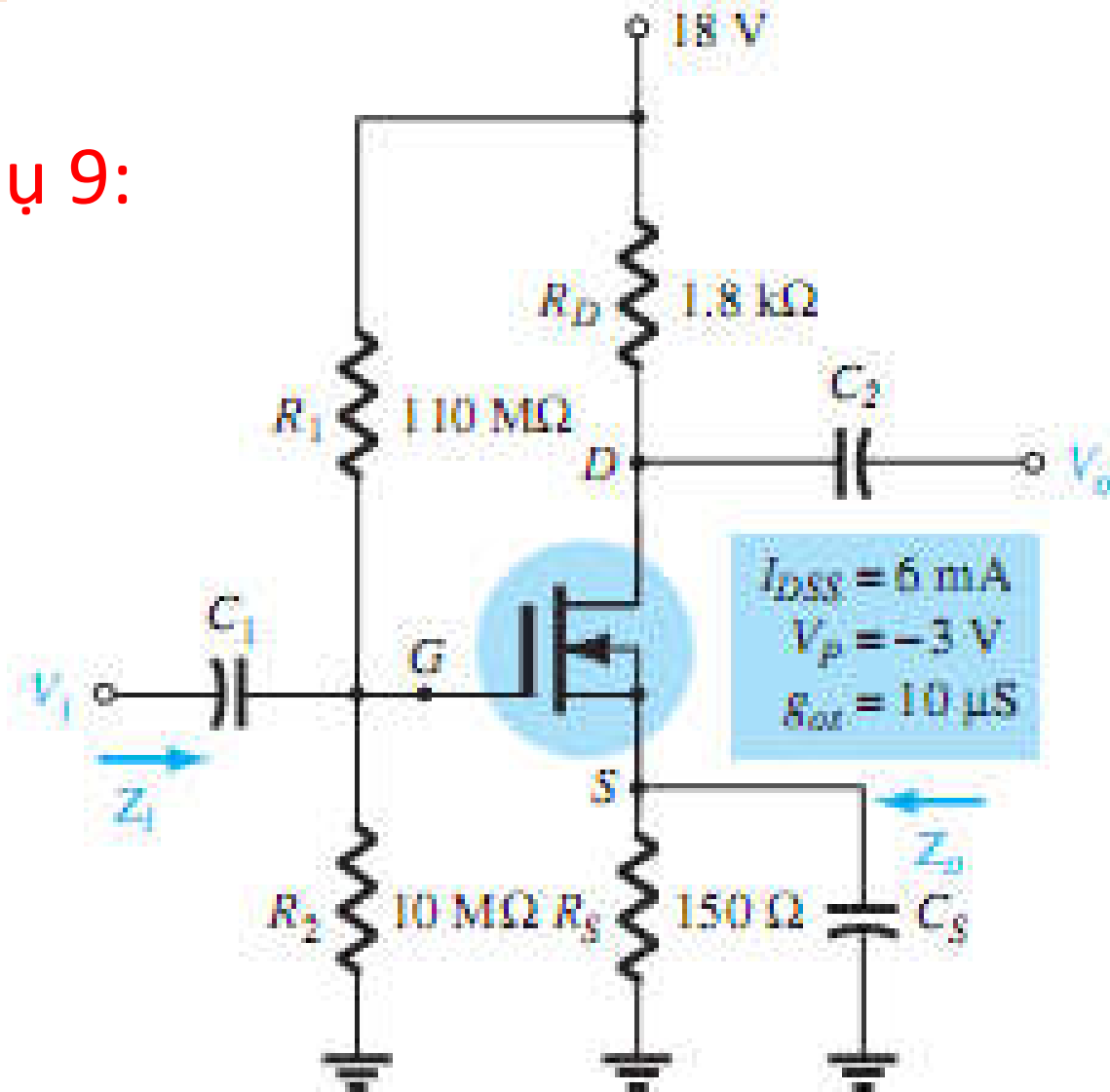
$$r_d \cong 10R_D$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -g_m R_D$$

$$r_d \cong 10R_D$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp D-MOSFET)

▲ Ví dụ 9:

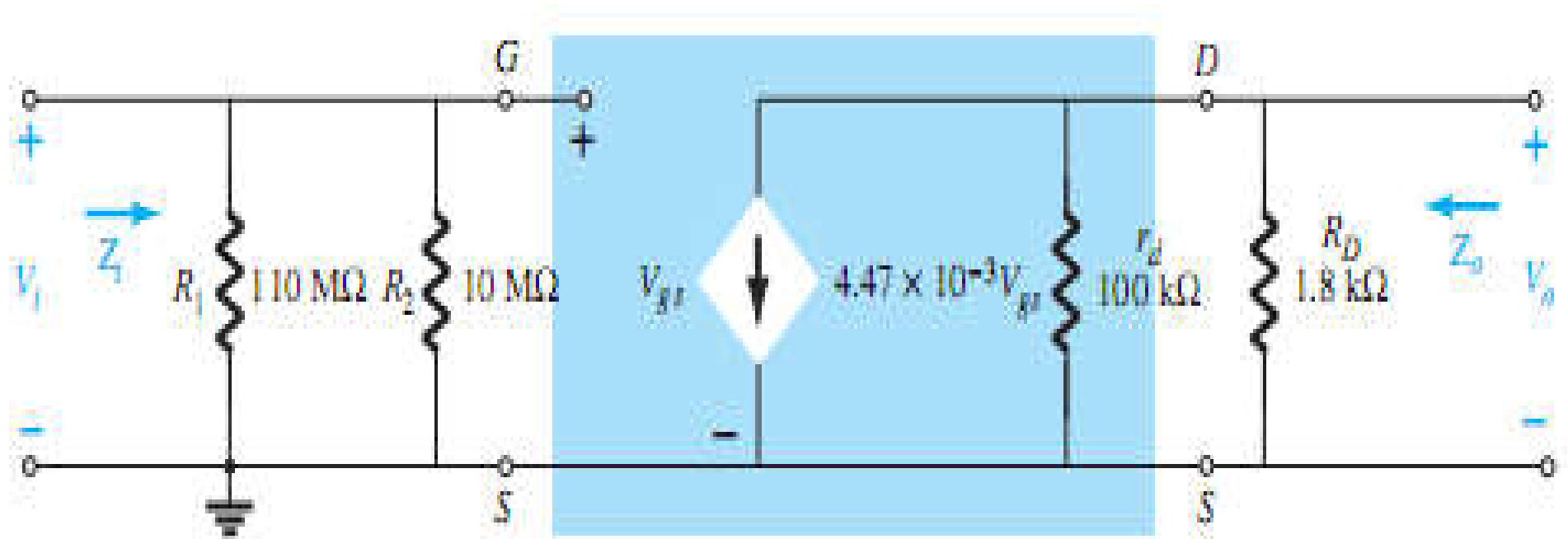


$$V_{GS_Q} = 0.35 \text{ V and } I_{D_Q} = 7.6 \text{ mA.}$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)



Ví dụ 9:



3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)



Ví dụ 9:

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(6 \text{ mA})}{3 \text{ V}} = 4 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 4 \text{ mS} \left(1 - \frac{(+0.35 \text{ V})}{(-3 \text{ V})} \right) = 4 \text{ mS} (1 + 0.117) = 4.47 \text{ mS}$$

$$\text{b. } r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{10 \mu\text{S}} = 100 \text{ k}\Omega$$

3.3.2. Mạch khuếch đại kiểu S chung (phân áp)



Ví dụ 9:

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(6 \text{ mA})}{3 \text{ V}} = 4 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 4 \text{ mS} \left(1 - \frac{(+0.35 \text{ V})}{(-3 \text{ V})} \right) = 4 \text{ mS}(1 + 0.117) = 4.47 \text{ mS}$$

$$\text{b. } r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{10 \mu\text{S}} = 100 \text{ k}\Omega$$

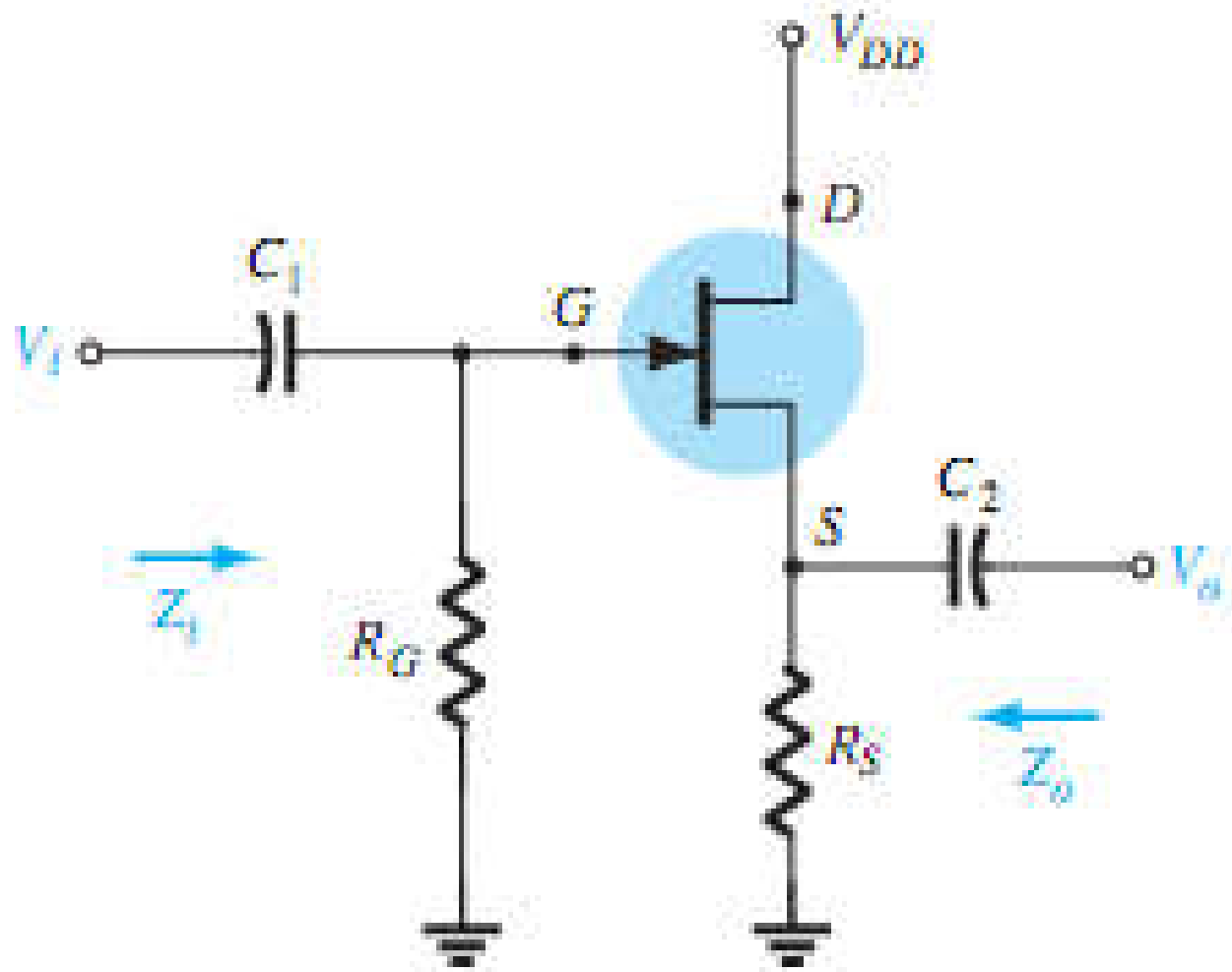
$$\text{d. Eq. (8.28): } Z_i = R_1 \parallel R_2 = 10 \text{ M}\Omega \parallel 110 \text{ M}\Omega = 9.17 \text{ M}\Omega$$

$$\text{e. Eq. (8.29): } Z_o = r_d \parallel R_D = 100 \text{ k}\Omega \parallel 1.8 \text{ k}\Omega = 1.77 \text{ k}\Omega \cong R_D = 1.8 \text{ k}\Omega$$

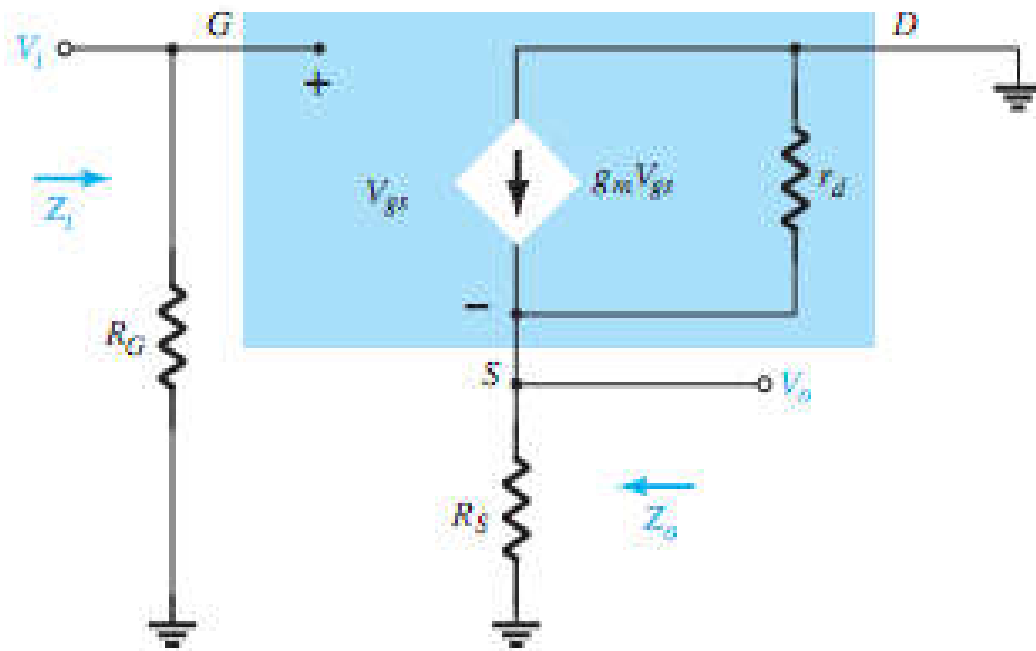
$$\text{f. } r_d \geq 10R_D \rightarrow 100 \text{ k}\Omega \geq 18 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Eq. (8.32): } A_v = -g_m R_D = -(4.47 \text{ mS})(1.8 \text{ k}\Omega) = 8.05$$

3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung



3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung



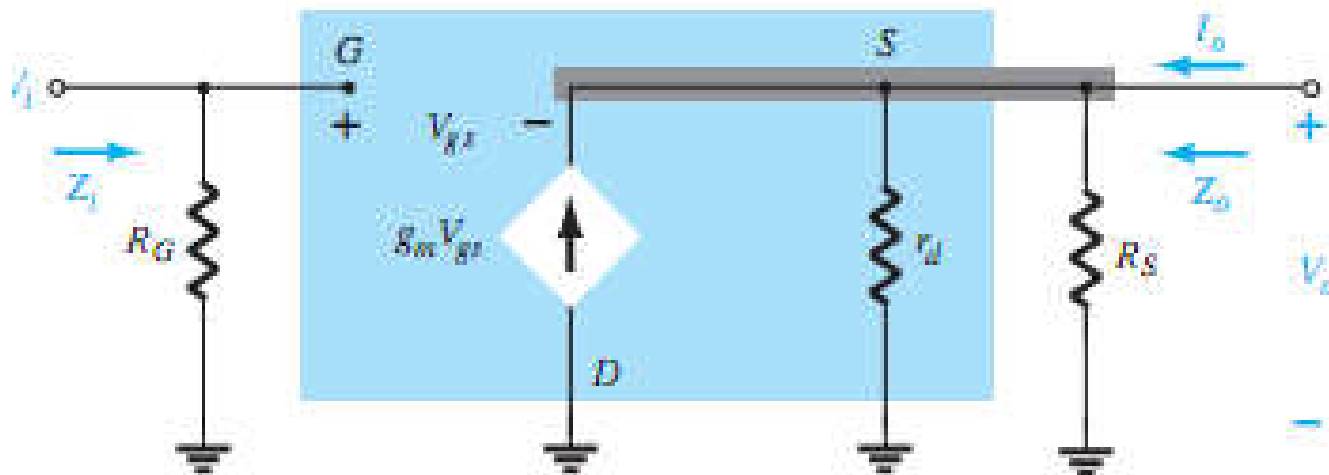
$$Z_i = R_G$$

$$Z_o = r_d \parallel R_S \parallel 1/g_m$$

$$Z_o \cong R_S \parallel 1/g_m$$

$$r_d \gg 10R_S$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m(r_d \parallel R_S)}{1 + g_m(r_d \parallel R_S)}$$

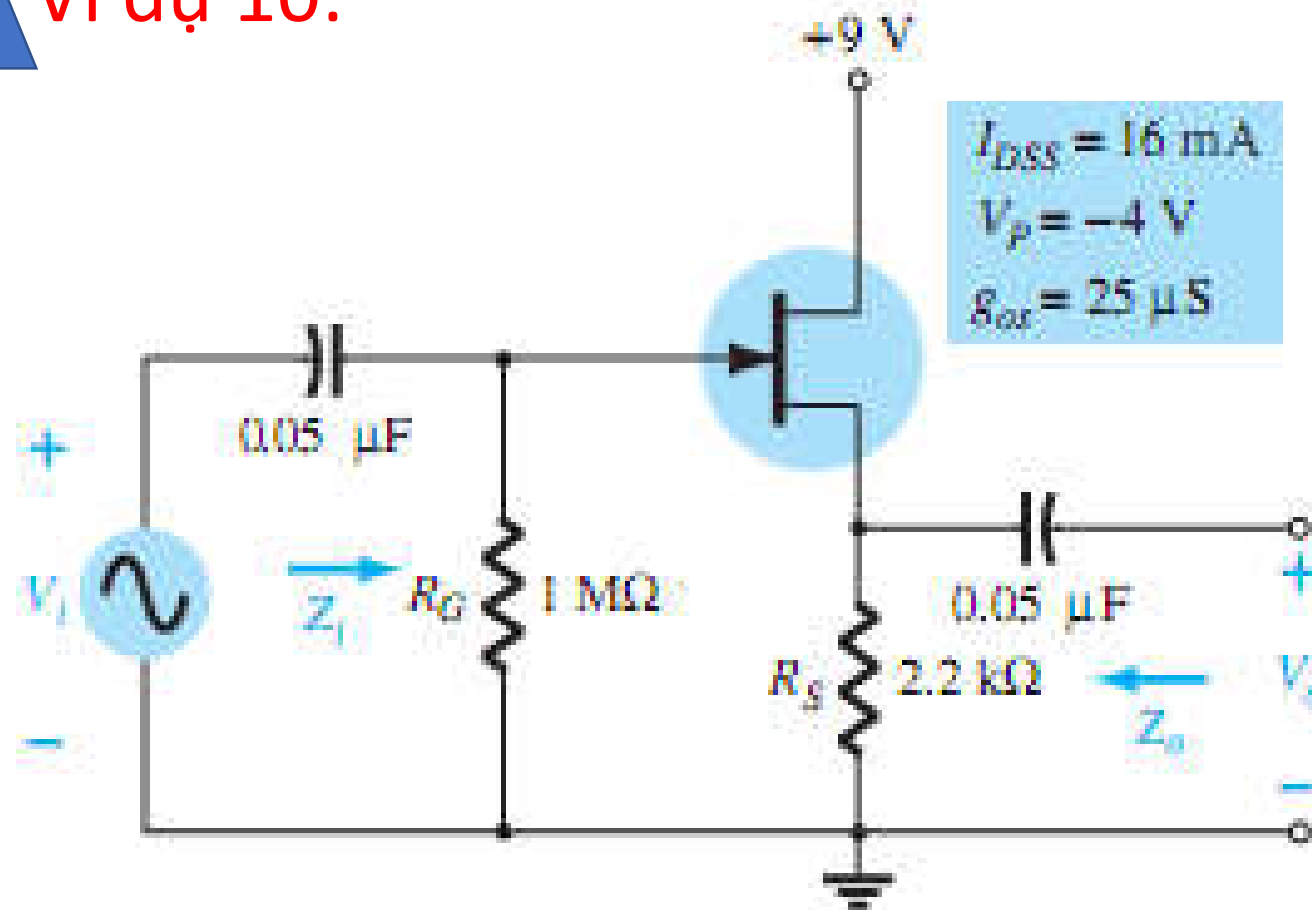


$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$$

$$r_d \gg 10R_S$$

3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung

▲ Ví dụ 10:



3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung

Ví dụ 10:

$$V_{GS_Q} = -2.86 \text{ V and } I_{D_Q} = 4.56 \text{ mA.}$$

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(16 \text{ mA})}{4 \text{ V}} = 8 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P} \right) = 8 \text{ mS} \left(1 - \frac{(-2.86 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right) = 2.28 \text{ mS}$$

$$\text{b. } r_d = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{25 \mu\text{S}} = 40 \text{ k}\Omega$$

$$\text{c. } Z_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung

Ví dụ 10:

$$\begin{aligned}Z_o &= r_d \parallel R_S \parallel 1/g_m = 40 \text{ k}\Omega \parallel 2.2 \text{ k}\Omega \parallel 1/2.28 \text{ mS} \\&= 40 \text{ k}\Omega \parallel 2.2 \text{ k}\Omega \parallel 438.6 \Omega \\&= \mathbf{362.52 \Omega}\end{aligned}$$

$$Z_o = R_S \parallel 1/g_m = 2.2 \text{ k}\Omega \parallel 438.6 \Omega = \mathbf{365.69 \Omega}$$

3.3.3. Mạch khuếch đại kiểu D chung

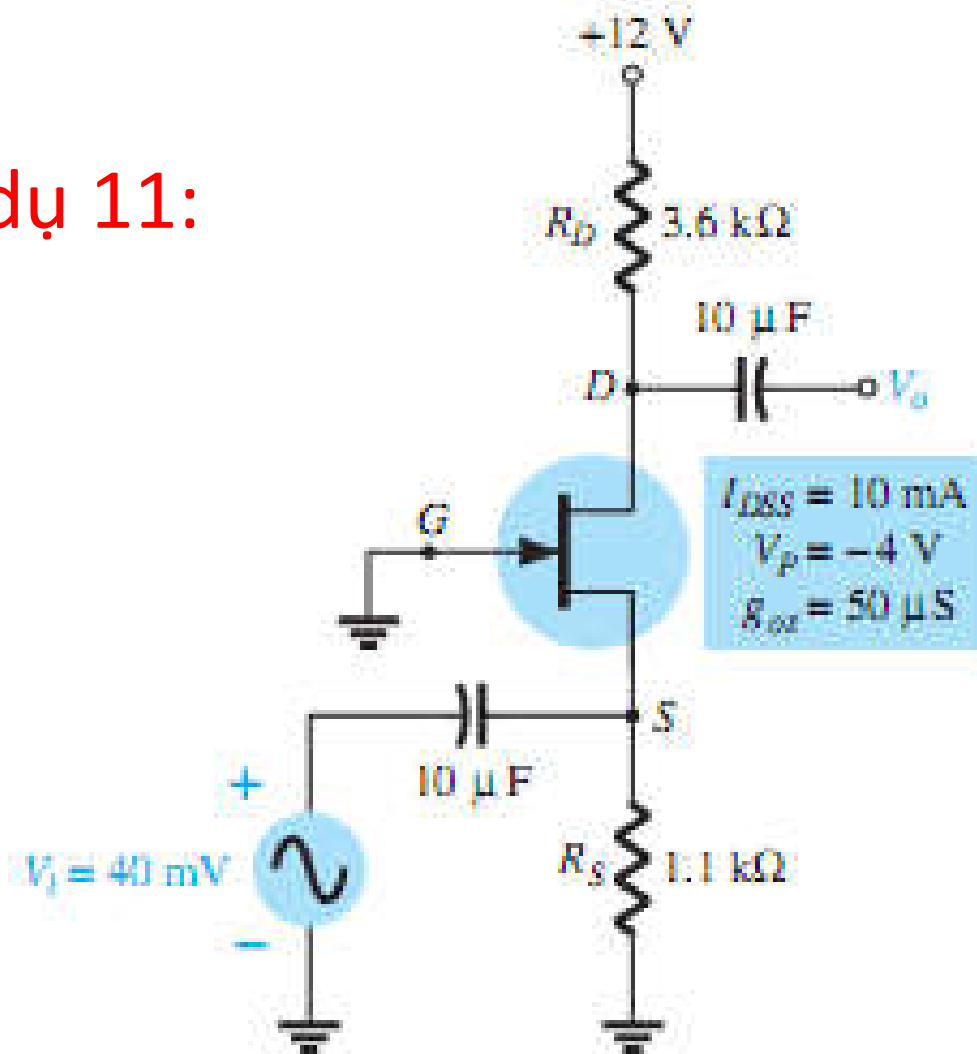
$$\begin{aligned} A_v &= \frac{g_m(r_d \parallel R_S)}{1 + g_m(r_d \parallel R_S)} = \frac{(2.28 \text{ mS})(40 \text{ k}\Omega \parallel 2.2 \text{ k}\Omega)}{1 + (2.28 \text{ mS})(40 \text{ k}\Omega \parallel 2.2 \text{ k}\Omega)} \\ &= \frac{(2.28 \text{ mS})(2.09 \text{ k}\Omega)}{1 + (2.28 \text{ mS})(2.09 \text{ k}\Omega)} = \frac{4.77}{1 + 4.77} = \mathbf{0.83} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{(2.28 \text{ mS})(2.2 \text{ k}\Omega)}{1 + (2.28 \text{ mS})(2.2 \text{ k}\Omega)} \\ &= \frac{5.02}{1 + 5.02} = \mathbf{0.83} \end{aligned}$$

3.3.4. Mạch khuếch đại kiểu G chung



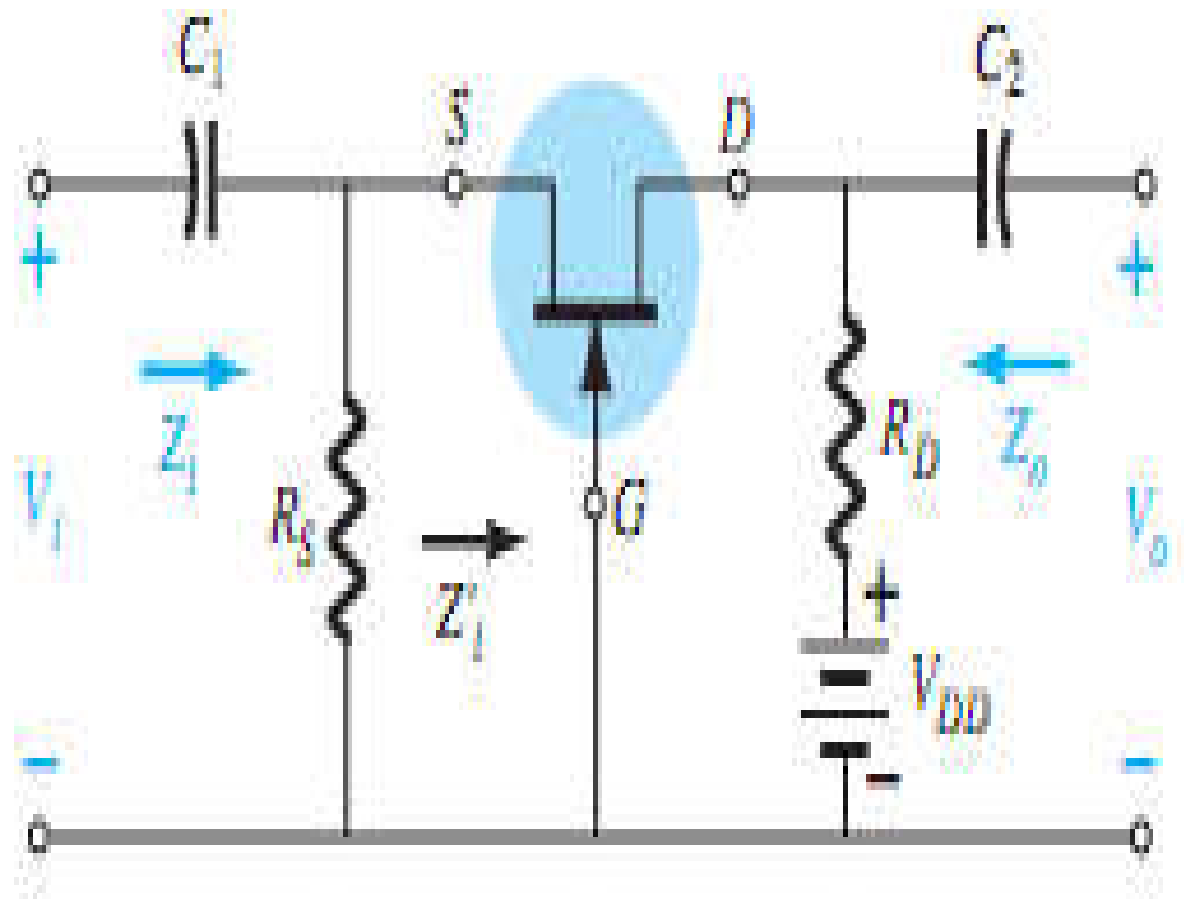
Ví dụ 11:



$$V_{GS_Q} = -2.2 \text{ V and } I_{D_Q} = 2.03 \text{ mA:}$$

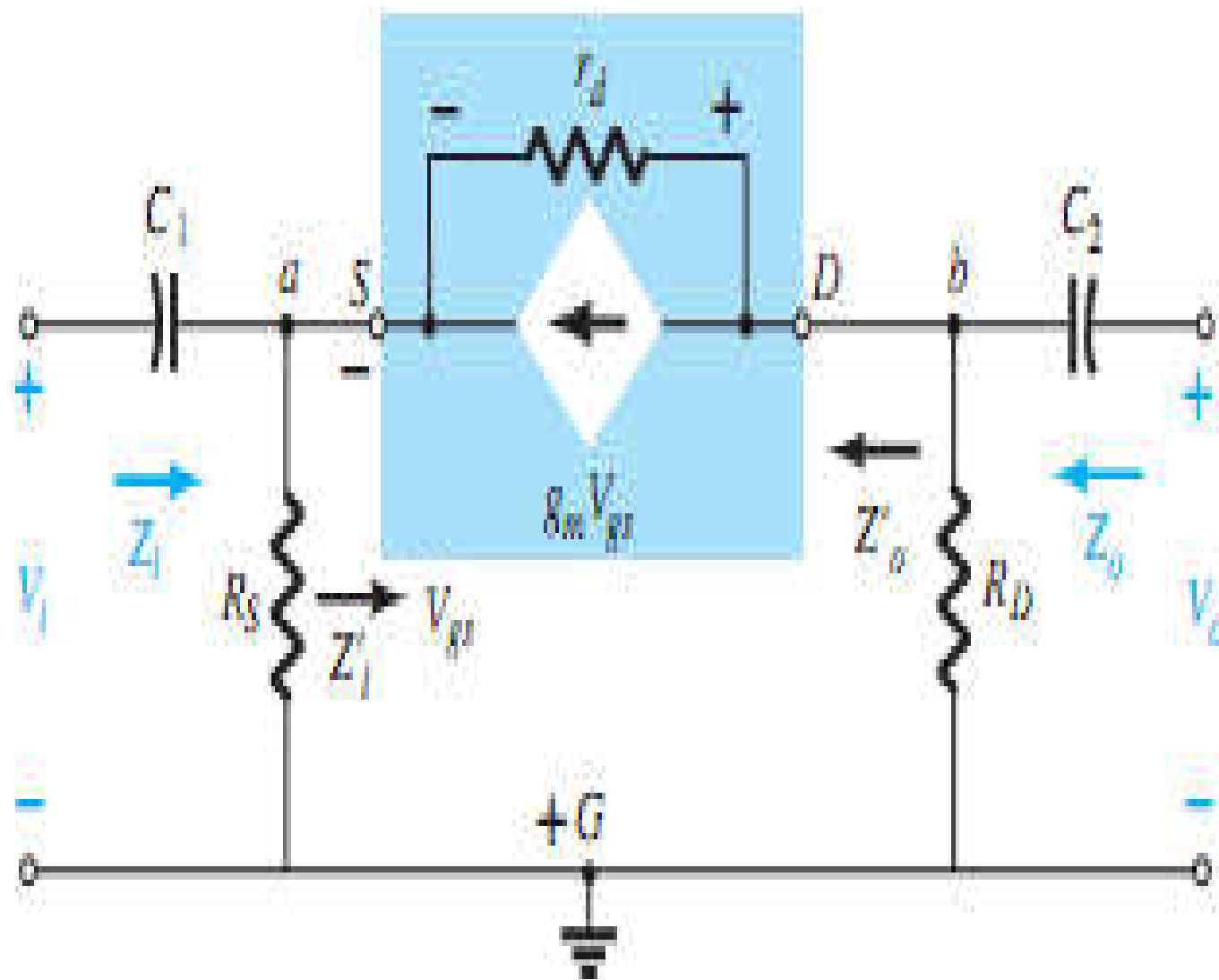
3.3.4. Mạch khuếch đại kiểu G chung

▲ Ví dụ 11:



3.3.4. Mạch khuếch đại kiểu G chung

▲ Ví dụ 11:



3.3.4. Mạch khuếch đại kiểu G chung

 Ví dụ 11:

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(10 \text{ mA})}{4 \text{ V}} = 5 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 5 \text{ mS} \left(1 - \frac{(-2.2 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right) = 2.25 \text{ mS}$$

$$\text{b. } r_d = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{50 \mu\text{S}} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} Z_i &= R_S \parallel \left[\frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right] = 1.1 \text{ k}\Omega \parallel \left[\frac{20 \text{ k}\Omega + 3.6 \text{ k}\Omega}{1 + (2.25 \text{ mS})(20 \text{ k}\Omega)} \right] \\ &= 1.1 \text{ k}\Omega \parallel 0.51 \text{ k}\Omega = 0.35 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= R_S \parallel 1/g_m = 1.1 \text{ k}\Omega \parallel 1/2.25 \text{ mS} = 1.1 \text{ k}\Omega \parallel 0.44 \text{ k}\Omega \\ &= 0.31 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

3.3.4. Mạch khuếch đại kiểu G chung

 Ví dụ 11:

$$Z_o = R_D \parallel r_d = 3.6 \text{ k}\Omega \parallel 20 \text{ k}\Omega = 3.05 \text{ k}\Omega$$

$$Z_o = R_D = 3.6 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{\left[g_m R_D + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[1 + \frac{R_D}{r_d} \right]} = \frac{\left[(2.25 \text{ mS})(3.6 \text{ k}\Omega) + \frac{3.6 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} \right]}{\left[1 + \frac{3.6 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} \right]} \\ &= \frac{8.1 + 0.18}{1 + 0.18} = 7.02 \end{aligned}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow V_o = A_v V_i = (7.02)(40 \text{ mV}) = 280.8 \text{ mV}$$

$$A_v = g_m R_D = (2.25 \text{ mS})(3.6 \text{ k}\Omega) = 8.1$$

$$V_o = A_v V_i = (8.1)(40 \text{ mV}) = 324 \text{ mV}$$

