

Elektronik Aygıtlar

BÖLÜM 7

FET TRANSİSTÖRLERİN DC POLARLAMASI

BMB2012 – Elektronik Devreler ve Aygıtlar
Ders Notları

Bursa Uludağ Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
2023-2024 Bahar Yarıyılı

Çeviren ve Düzenleyen: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU

Yaygın FET Polarlama Devreleri

- **JFET Polarlama Devreleri**
 - Sabit Polarlama
 - Öz Polarlama
 - Voltaj Bölücü Polarlama
 - Ortak-Geçit Polarlama
- **D-MOSFET Polarlama Devreleri**
 - Öz Polarlama
 - Voltaj Bölücü Polarlama
- **E-MOSFET Polarlama Devreleri**
 - Geri Beslemeli Polarlama
 - Voltaj Bölücü Polarlama

Akım Denklemleri

- Tüm FET'ler için:

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

$$I_D = I_S$$

- JFET'ler ve D-MOSFET'ler için:

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

- E-MOSFET'ler için:

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

Sabit Polarlama (1)

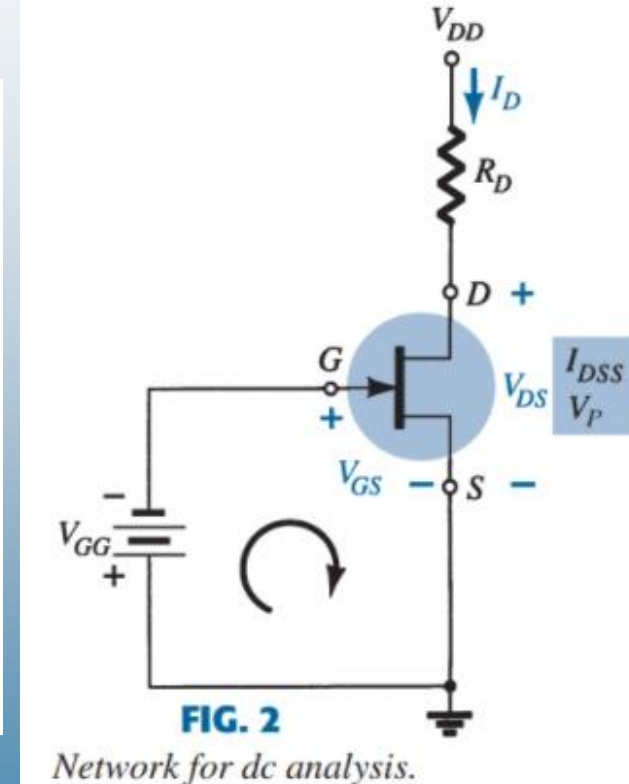
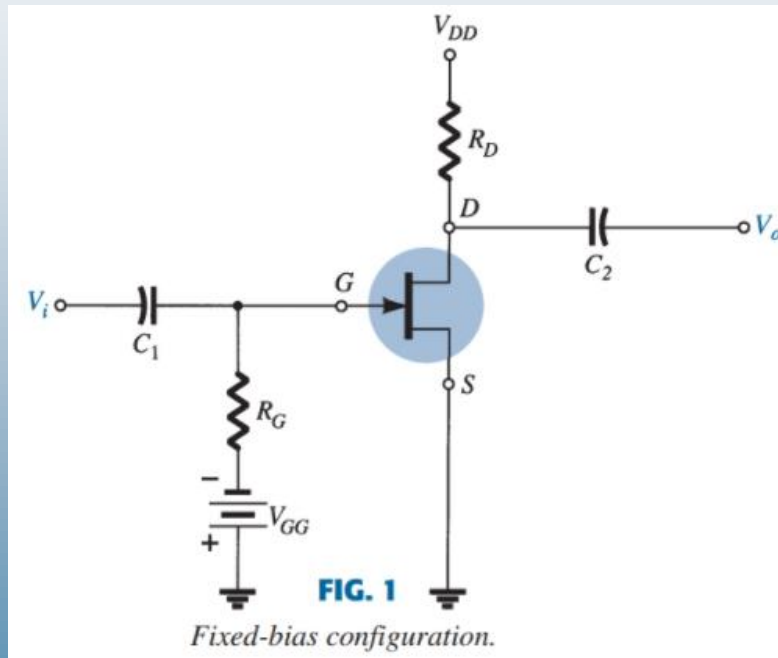
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

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

$$V_D = V_{DS}$$

$$V_G = V_{GS}$$

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



Sabit Polarlama (2)

- **Örnek 1:** Şekil 6'daki devre için aşağıdakileri bulun:
(a) V_{GSQ} , (b) I_{DQ} , (c) V_{DS} , (d) V_D , (e) V_G , (f) V_S .
- **Çözüm (Matematiksel Yaklaşım):**

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

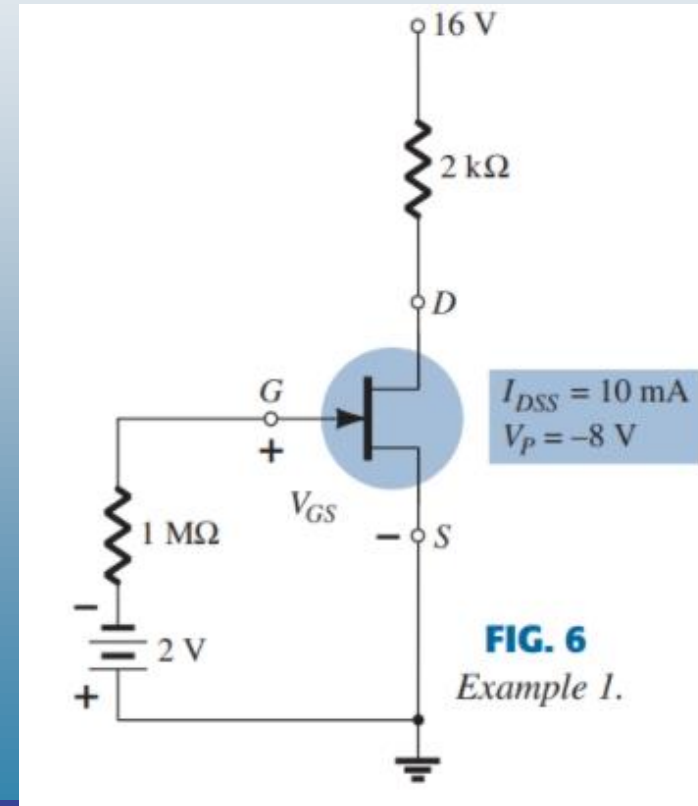
b.
$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{-2 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right)^2$$
$$= 10 \text{ mA} (1 - 0.25)^2 = 10 \text{ mA} (0.75)^2 = 10 \text{ mA} (0.5625)$$
$$= \mathbf{5.625 \text{ mA}}$$

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



Sabit Polarlama (3)

- Örnek 1: (Devamı) (Grafiksel Yaklaşım):

- a. $V_{GS_Q} = -V_{GG} = -2 \text{ V}$
- b. $I_{D_Q} = 5.6 \text{ mA}$
- 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. $V_S = 0 \text{ V}$

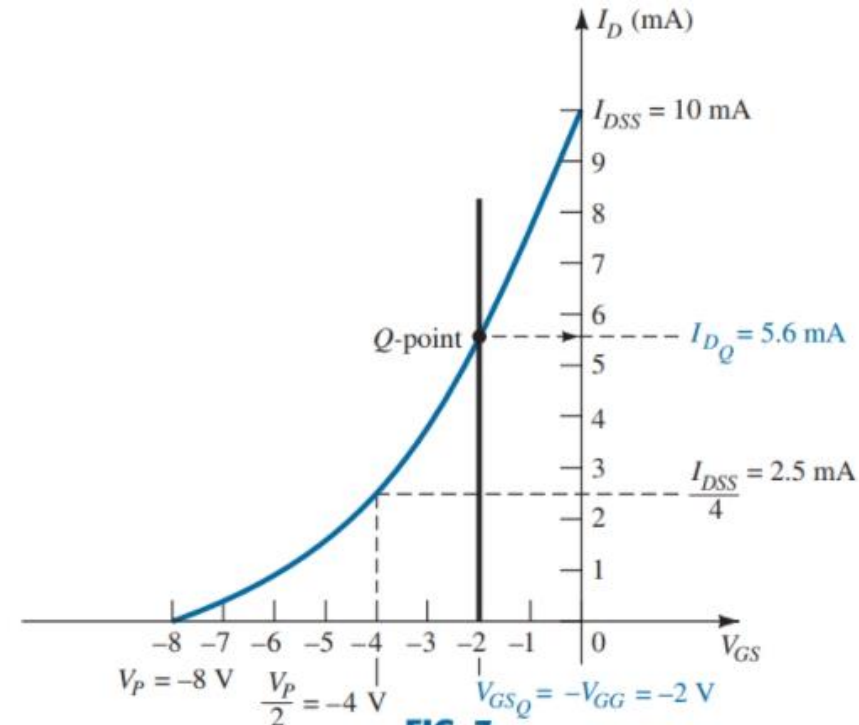


FIG. 7

Graphical solution for the network of Fig. 6.

Öz Polarlama (1)

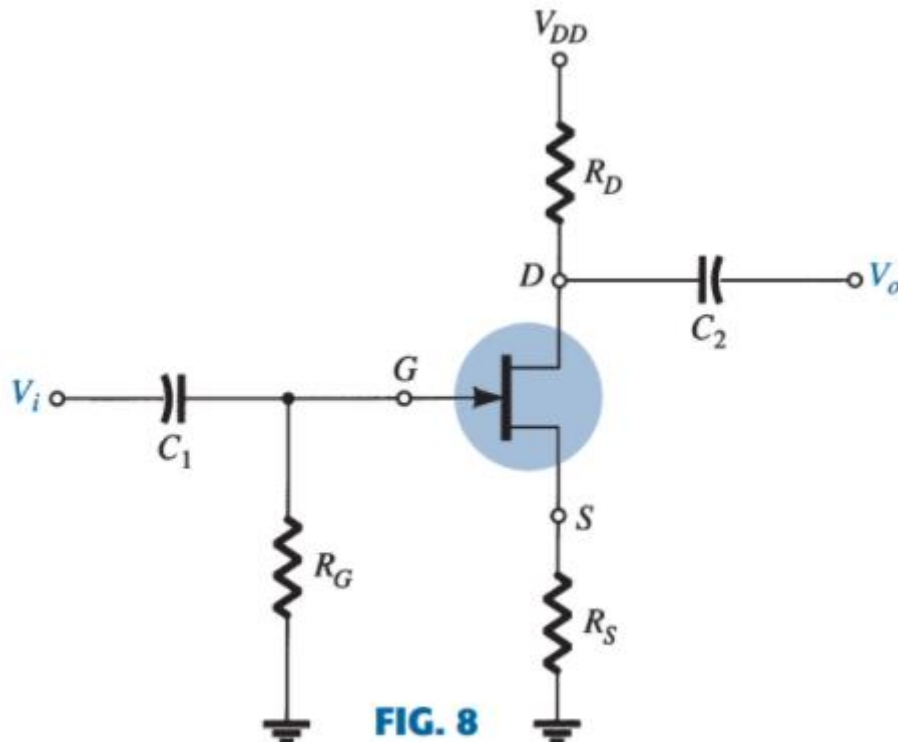


FIG. 8
JFET self-bias configuration.

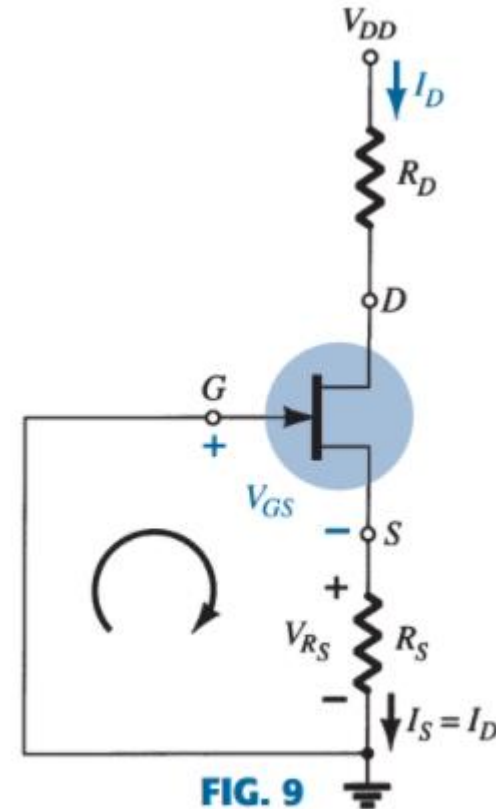


FIG. 9
DC analysis of the self-bias configuration.

Öz Polarlama (2)

1. Bir $I_D < I_{DSS}$ değeri seçin ve V_{GS} 'yi hesaplamak için R_S 'nin değerini kullanın. I_D ve V_{GS} ile tanımlanan noktayı çizin ve eksenin orijininden bu noktaya bir çizgi çizin.
 2. I_{DSS} ve V_P (teknik özellikler belgesinde $V_P = |V_{GSoff}|$) ve $V_{GS} = V_P/4$ ve $V_{GS} = V_P/2$ vb. gibi birkaç nokta kullanarak karakteristik eğrisini çizin.
- **Q noktası, ilk çizginin karakteristik eğrisini kestiği yerde bulunur. Q noktasındaki (I_{DQ}) I_D değerini kullanarak aşağıdakileri hesaplayın:**

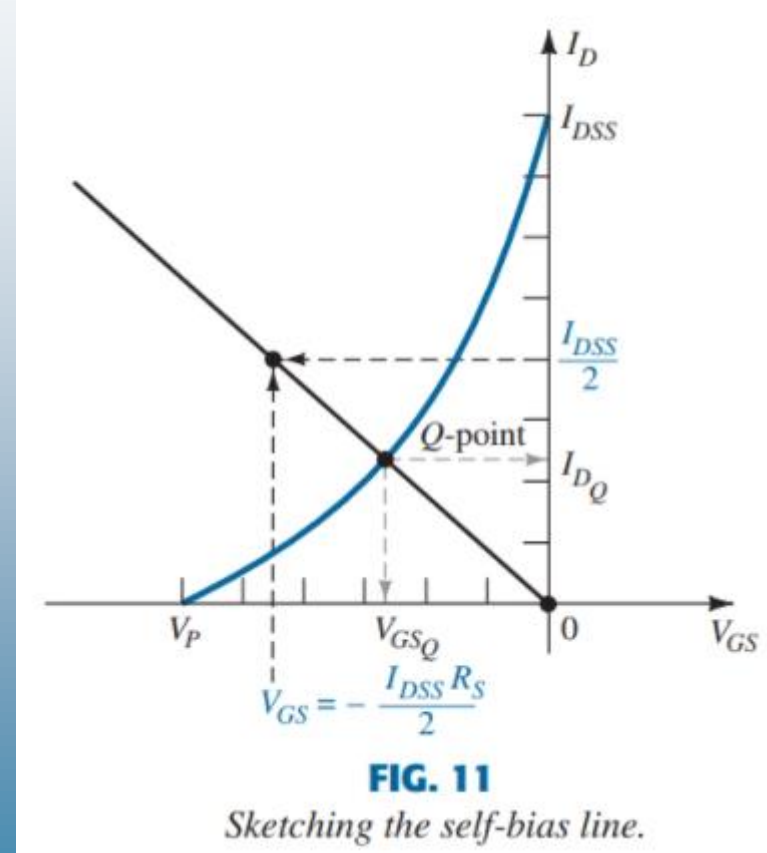
$$V_{GS} = -I_D R_S$$

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

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

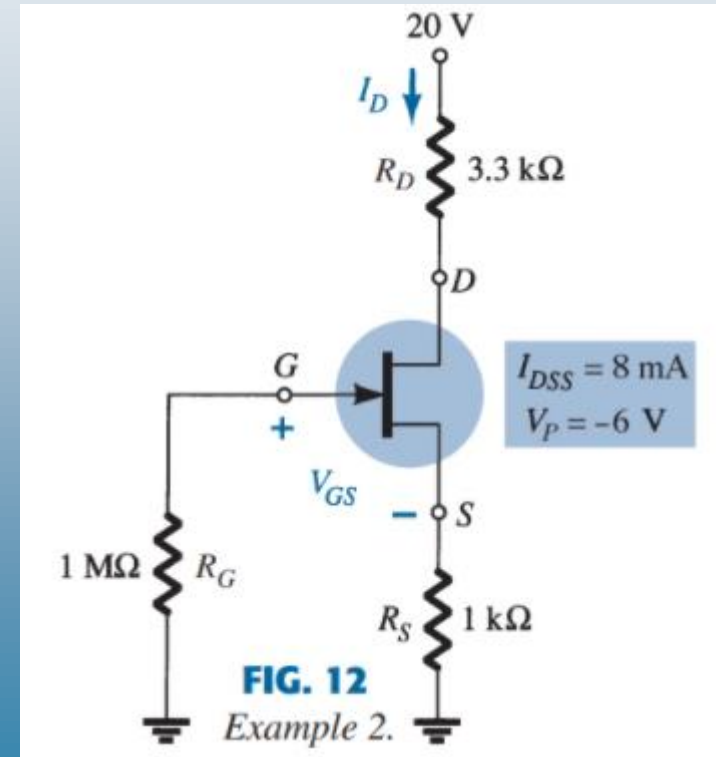
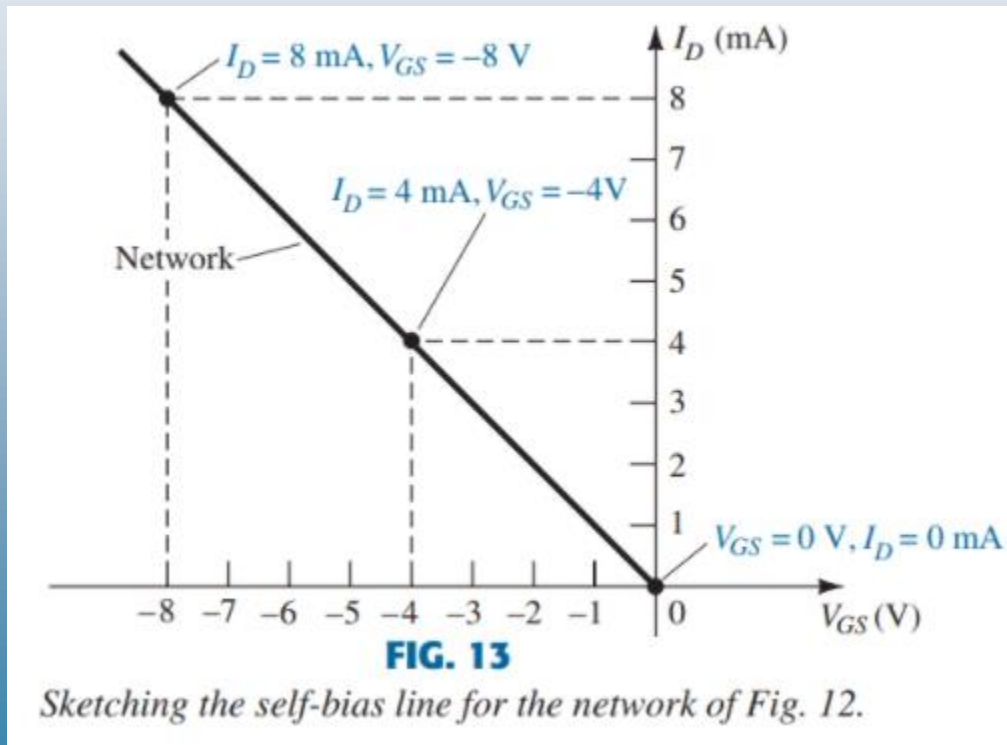
$$V_S = I_D R_S$$

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



Öz Polarlama (3)

- **Örnek 2:** Şekil 12'deki devre için aşağıdakini bulun: (a) V_{GSQ} , (b) I_{DQ} , (c) V_{DS} , (d) V_S , (e) V_G , (f) V_D .
- **Çözüm:**



Öz Polarlama (4)

- Örnek 2: (Devamı)

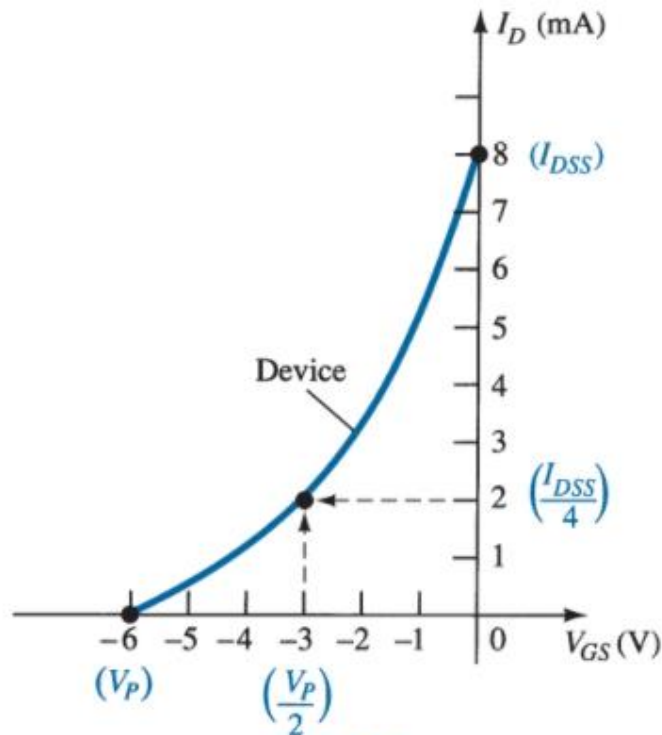


FIG. 14

Sketching the device characteristics for the JFET of Fig. 12.

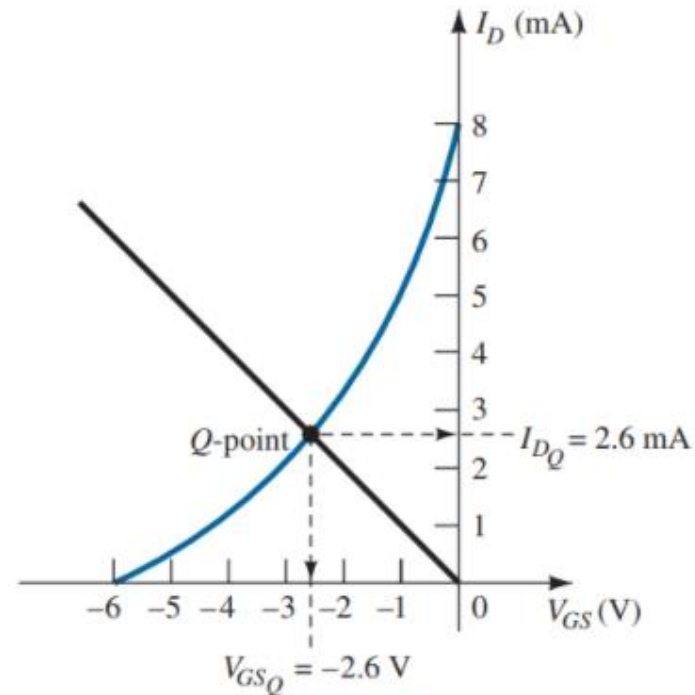


FIG. 15

Determining the Q-point for the network of Fig. 12.

Öz Polarlama (5)

- Örnek 2: (Devamı)

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

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

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

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

e. $V_G = \mathbf{0 \text{ V}}$

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

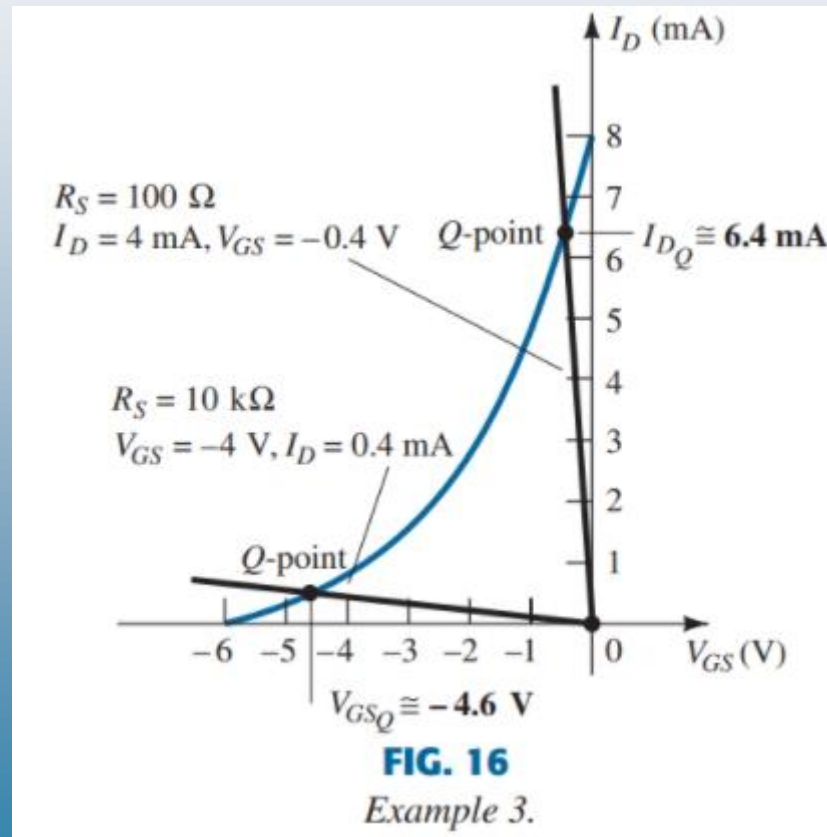
$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 20 \text{ V} - (2.6 \text{ mA})(3.3 \text{ k}\Omega) = \mathbf{11.42 \text{ V}}$$

Öz Polarlama (6)

- **Örnek 3:** Aşağıdaki durumlarda Şekil 12'deki devre için Q noktasını bulun: (a) $R_S = 100 \Omega$, (b) $R_S = 10 \text{ k}\Omega$.
- **Çözüm:**

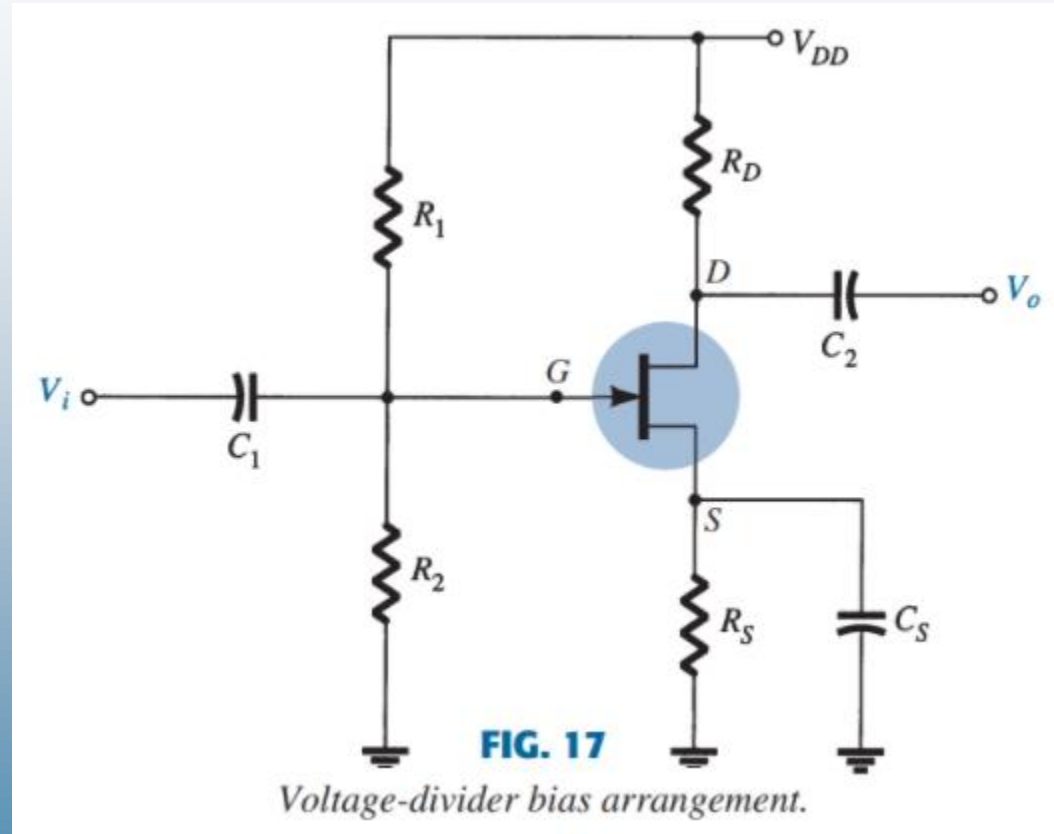
a. $I_{DQ} \cong 6.4 \text{ mA}$
 $V_{GSQ} \cong -0.64 \text{ V}$

b. $V_{GSQ} \cong -4.6 \text{ V}$
 $I_{DQ} \cong 0.46 \text{ mA}$



Voltaj Bölücü Polarlama (1)

- $I_G = 0 \text{ A}$
- I_D, V_{GS} 'deki değişikliklere yanıt verir.



Voltaj Bölücü Polarlama (2)

- V_G , bölücü direnç R_2 üzerindeki gerilime eşittir:

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

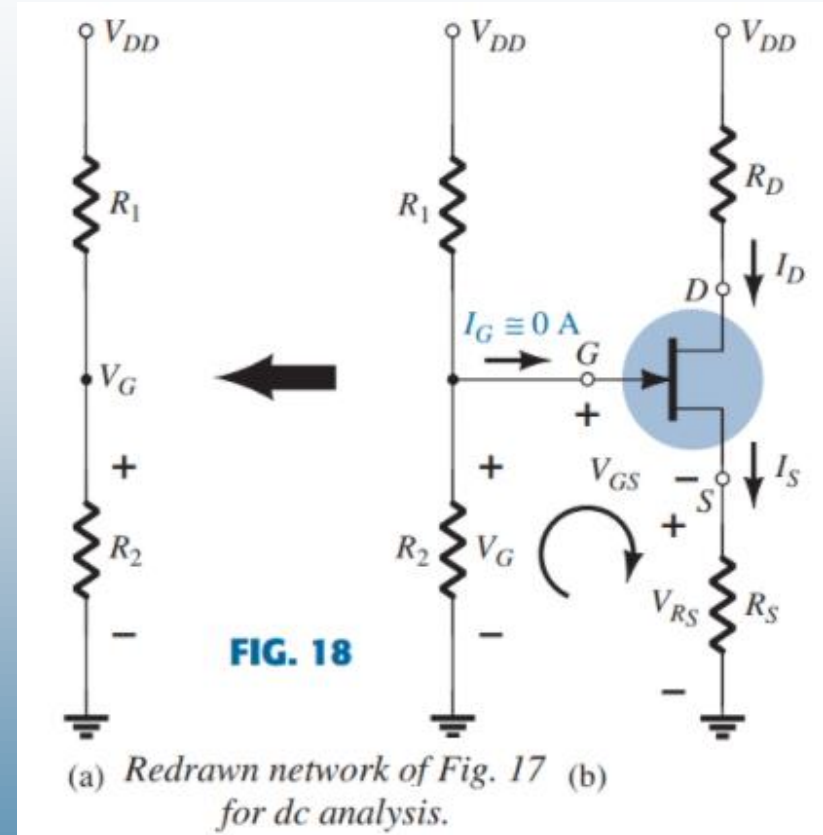
- Kirchhoff kanununu kullanırsak:

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

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

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

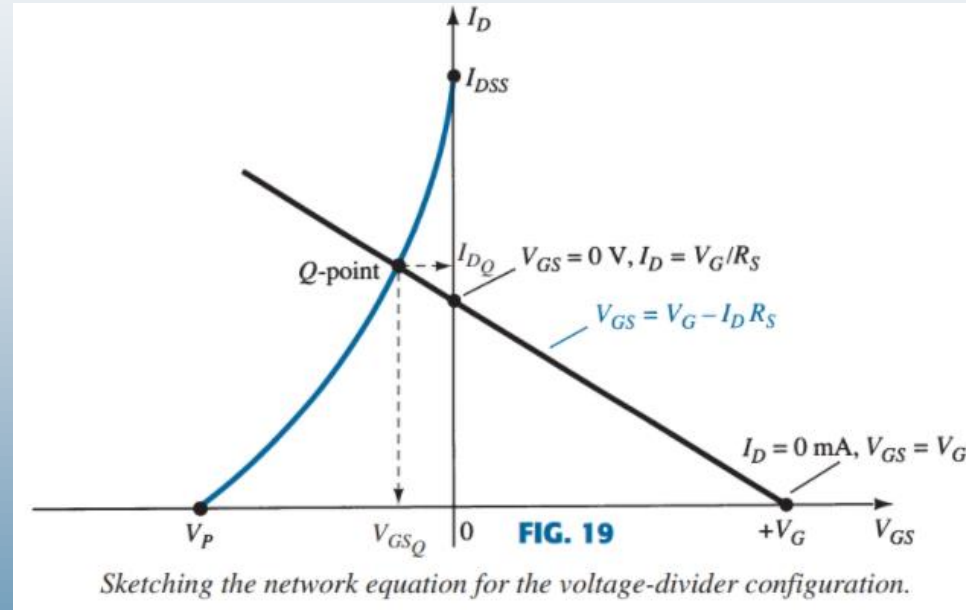
$$V_S = I_D R_S$$



- Q noktası, karakteristik eğrisini kesen bir çizgi çizilerek oluşturulur.**

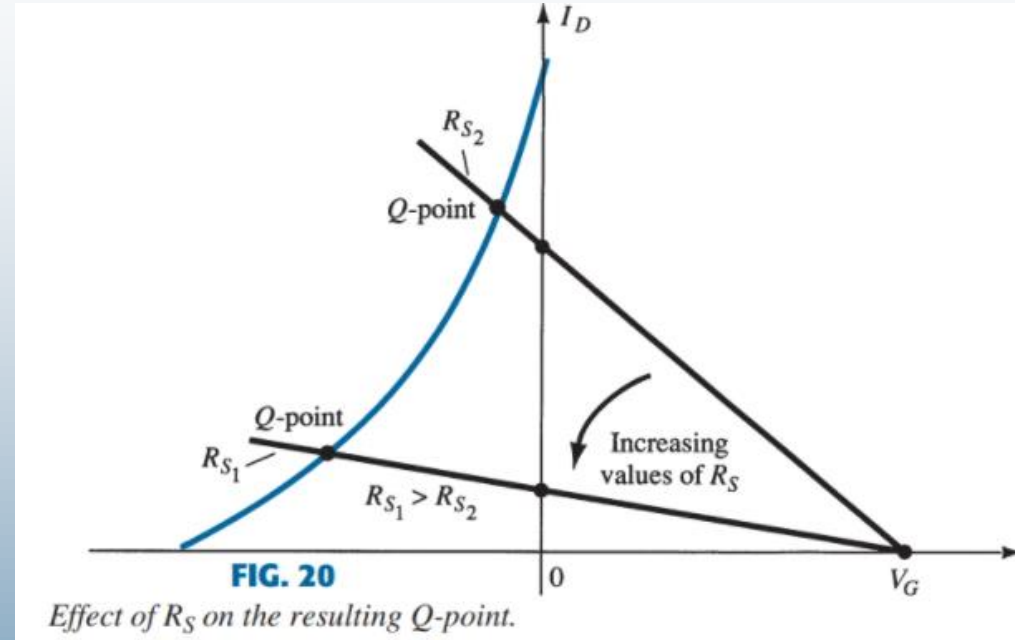
Voltaj Bölücü Polarlama (3)

- Bu iki nokta tarafından tanımlanan doğruyu çizin:
 - $V_{GS} = V_G$, $I_D = 0 \text{ A}$
 - $V_{GS} = 0 \text{ V}$, $I_D = V_G / R_S$
- I_{DSS} , V_P ve hesaplanan I_D değerlerini çizerek, karakteristik eğrisini çizin.
- **Q noktası, doğrunun karakteristik eğrisi ile kesiştiği yerde bulunur.**



Voltaj Bölücü Polarlama (4)

- Artan R_S değerleri, I_D 'nin daha düşük Q değerlerine ve V_{GS} 'nin azalan değerlerine neden olur.



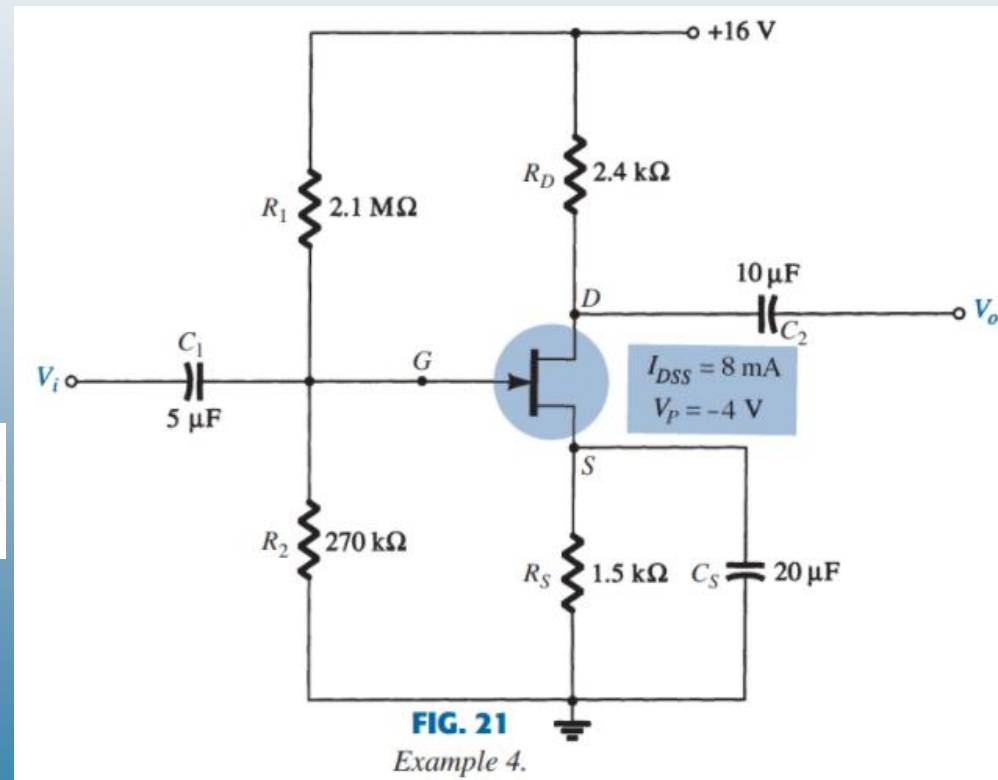
Voltaj Bölücü Polarlama (5)

- **Örnek 4:** Şekil 21'deki devre için aşağıdakini bulun: (a) I_{DQ} and V_{GSQ} , (b) V_D , (c) V_S , (d) V_{DS} , (e) V_{DG} .
- **Çözüm:**

a. Karakteristik eğrisinden, eğer $I_D = I_{DSS}/4 = 8 \text{ mA}/4 = 2 \text{ mA}$ ise, $V_{GS} = V_P/2 = -4 \text{ V}/2 = -2 \text{ V}$. Shockley denklemini temsil eden sonuç eğrisi Şekil 22'de görülmektedir. Böylelikle, devrenin denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

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

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



Voltaj Bölücü Polarlama (6)

• Örnek 4: (Devamı)

$$I_D = 0 \text{ mA}, V_{GS} = +1.82 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V}, I_D = \frac{1.82 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 1.21 \text{ mA}$$

- Şekil 22'deki yük doğrusunun karakteristik eğrisi ile kesiştiği nokta Q-noktasını verir.

$$I_{D_Q} = 2.4 \text{ mA} \quad V_{GS_Q} = -1.8 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } V_D &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 16 \text{ V} - (2.4 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega) \\ &= 10.24 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } V_S &= I_D R_S = (2.4 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 3.6 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } V_{DG} &= V_D - V_G \\ &= 10.24 \text{ V} - 1.82 \text{ V} \\ &= 8.42 \text{ V} \end{aligned}$$

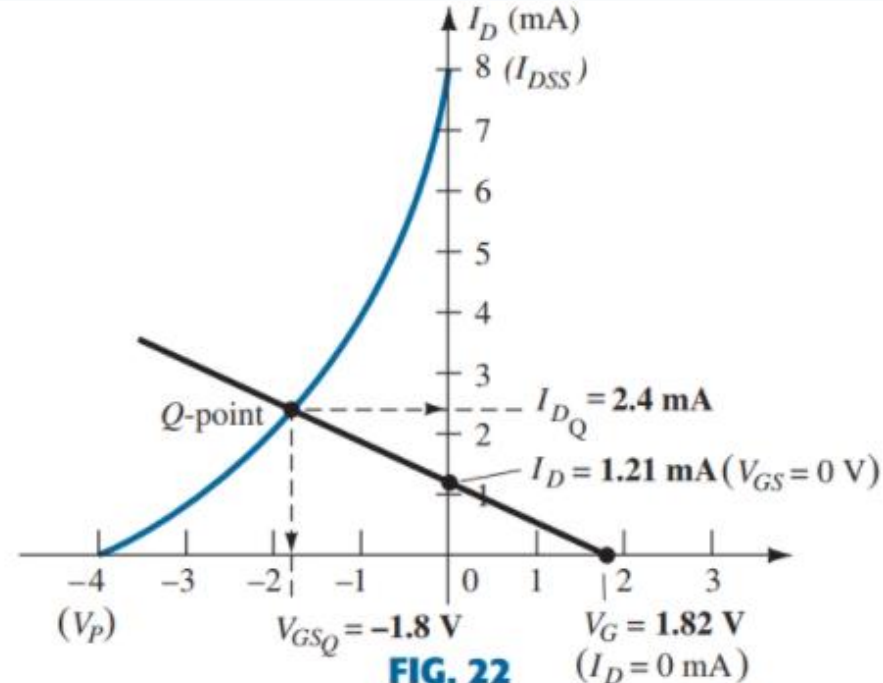


FIG. 22
Determining the Q-point for the network of Fig. 21.

$$\begin{aligned} \text{d. } V_{DS} &= V_{DD} - I_D(R_D + R_S) \\ &= 16 \text{ V} - (2.4 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 6.64 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_D - V_S = 10.24 \text{ V} - 3.6 \text{ V} \\ &= 6.64 \text{ V} \end{aligned}$$

Ortak Geçit Polarlama (1)

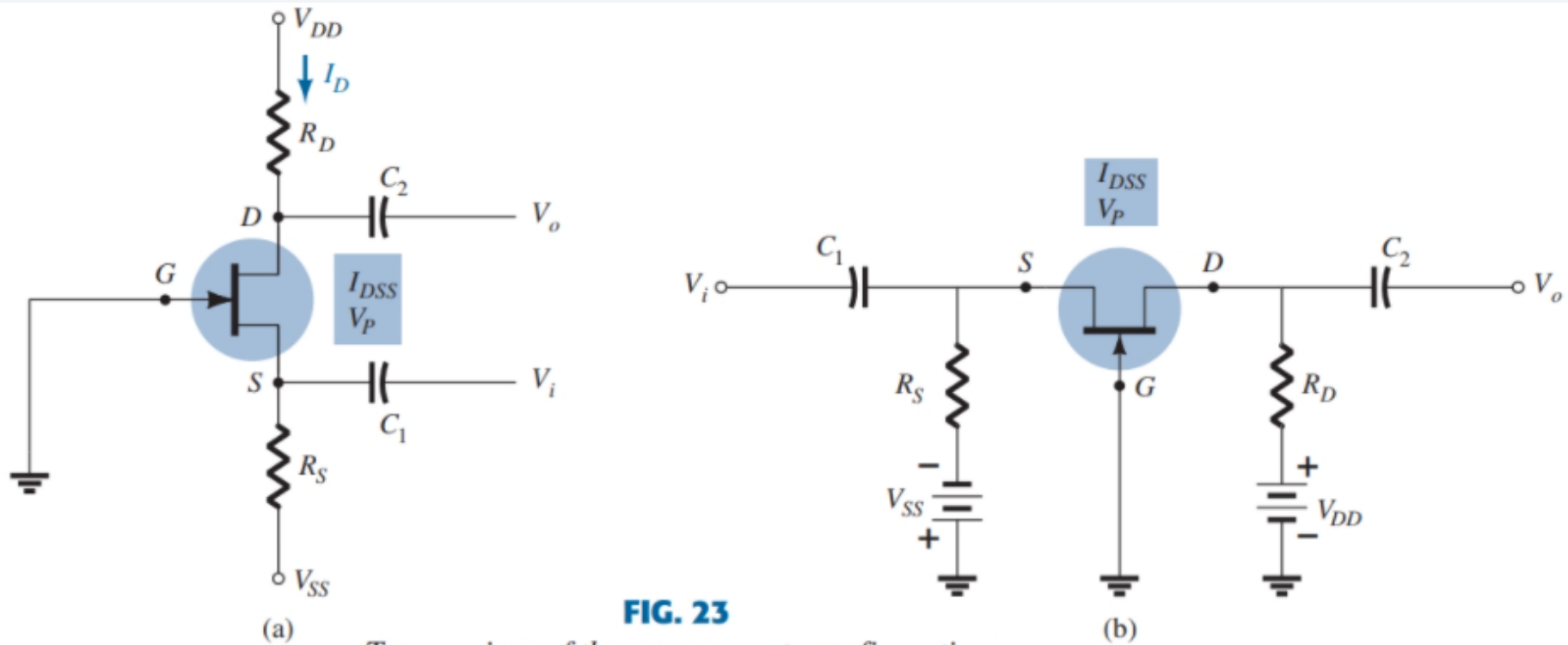


FIG. 23

Two versions of the common-gate configuration.

Ortak Geçit Polarlama (2)

$$-V_{GS} - I_S R_S + V_{SS} = 0$$

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

$$I_S = I_D$$

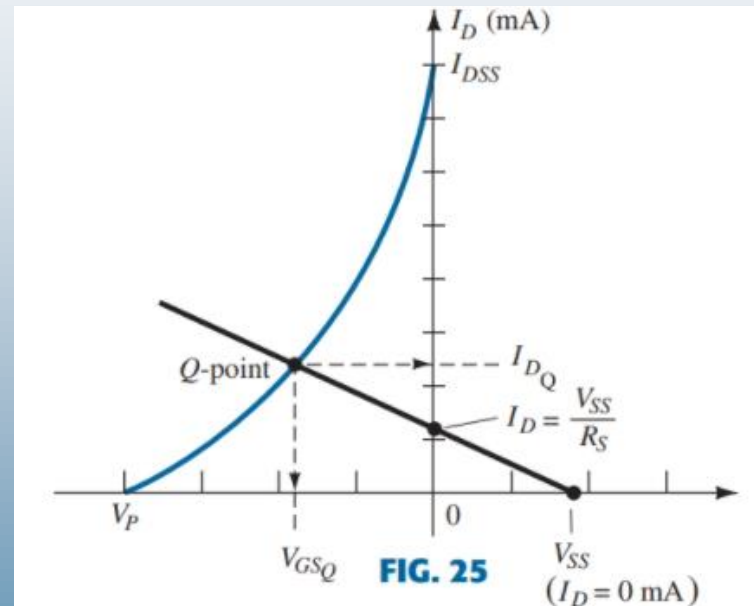
$$V_{GS} = V_{SS} - I_D R_S$$

$$V_{GS} = V_{SS} - (0)R_S$$

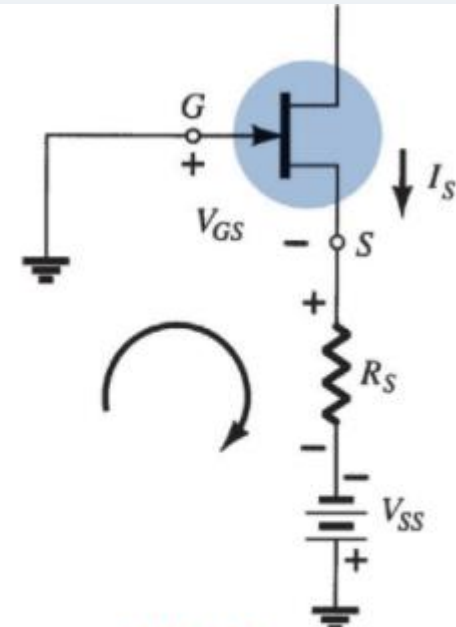
$$V_{GS} = V_{SS} |_{I_D=0\text{mA}}$$

$$0 = V_{SS} - I_D R_S$$

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



Determining the Q-point for the network of Fig. 24.



Determining the network equation for the configuration of Fig. 23.

Ortak Geçit Polarlama (3)

- Kirchhoff'un voltaj kanununu, Şekil 23a ve Şekil 23b'deki JFET, R_D ve R_S dirençleri ile iki kaynağı içeren döngü etrafında uygularsak, aşağıdakilerle sonuçları elde ederiz:

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

$$I_S = I_D$$

$$+V_{DD} + V_{SS} - V_{DS} - I_D(R_D + R_S) = 0$$

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

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

$$V_S = -V_{SS} + I_D R_S$$

Ortak Geçit Polarlama (4)

- **Örnek 5:** Şekil 26'daki ortak geçit konfigürasyonu için aşağıdakileri bulun: (a) V_{GSQ} , (b) I_{DQ} , (c) V_D , (d) V_G , (e) V_S , (f) V_{DS} .

- **Çözüm:**

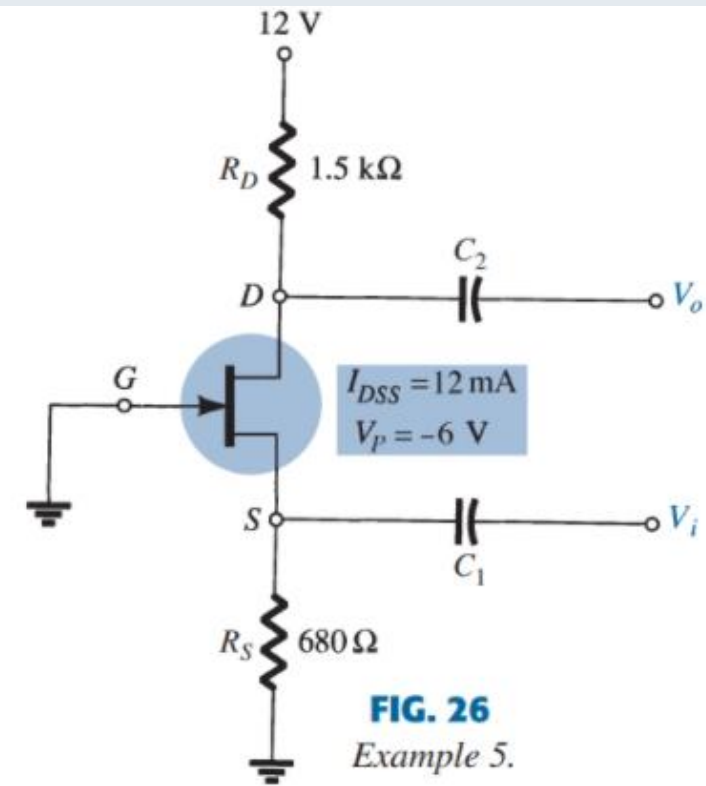
- Yük doğrusu denklemi:
- $I_D = 6 \text{ mA}$ olarak alırsak V_{GS} aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$V_{GS} = -I_D R_S = -(6 \text{ mA})(680 \Omega) = -4.08 \text{ V}$$

- Karakteristik eğrisini çizmek için aşağıdaki parametreler kullanılır:

- $V_P/2$ noktasında: $I_D = \frac{I_{DSS}}{4} = \frac{12 \text{ mA}}{4} = 3 \text{ mA}$

- $0.3V_P$ noktasında: $V_{GS} \cong 0.3V_P = 0.3(-6 \text{ V}) = -1.8 \text{ V}$



Ortak Geçit Polarlama (5)

• Örnek 5: (Devamı)

- a. b. Şekil 27'deki yük doğrusunun karakteristik eğrisi ile kesiştiği nokta Q-noktasını verir.

$$I_{DQ} \cong 3.8 \text{ mA} \quad V_{GSQ} \cong -2.6 \text{ V}$$

c. $V_D = V_{DD} - I_D R_D$
 $= 12 \text{ V} - (3.8 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega) = 12 \text{ V} - 5.7 \text{ V}$
 $= 6.3 \text{ V}$

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

e. $V_S = I_D R_S = (3.8 \text{ mA})(680 \Omega)$
 $= 2.58 \text{ V}$

f. $V_{DS} = V_D - V_S$
 $= 6.3 \text{ V} - 2.58 \text{ V}$
 $= 3.72 \text{ V}$

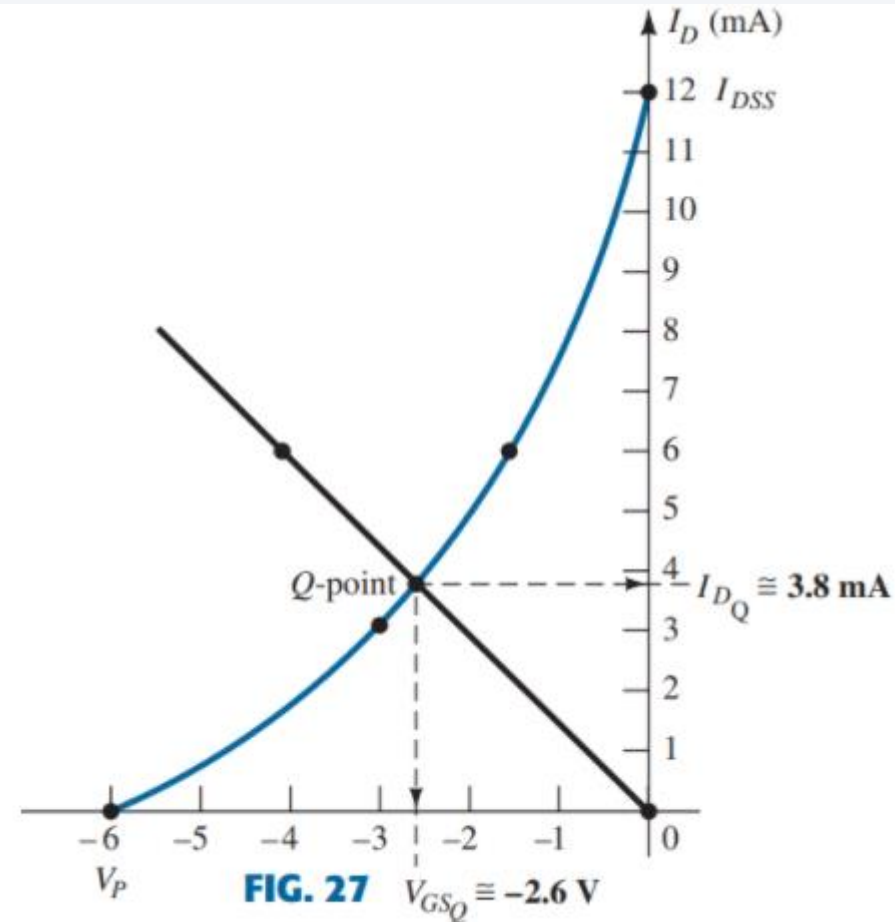


FIG. 27 Determining the Q-point for the network of Fig. 26.

Özel Durum: $V_{GSQ} = 0$

- Göreceli basitliği nedeniyle pratik değere sahip bir devre, Şekil 28'deki gösterilmektedir. Geçitin ve kaynak terminallerinin toprağa doğrudan bağlı olması, $V_{GS} = 0$ V sonucunu verir. Bu, Şekil 29'da gösterildiği gibi $V_{GSQ} = 0$ V'de dikey bir yük çizgisi ile sonuçlanır.

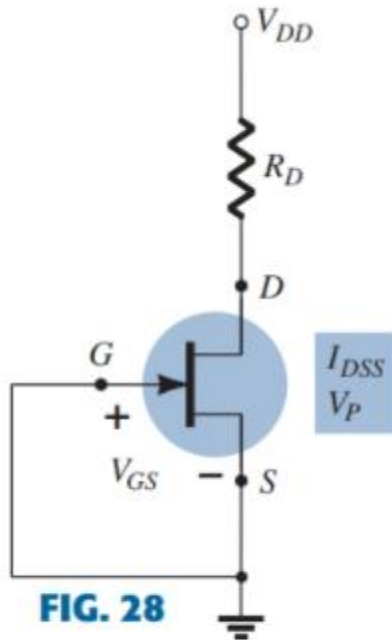


FIG. 28

Special case $V_{GSQ} = 0$ V configuration.

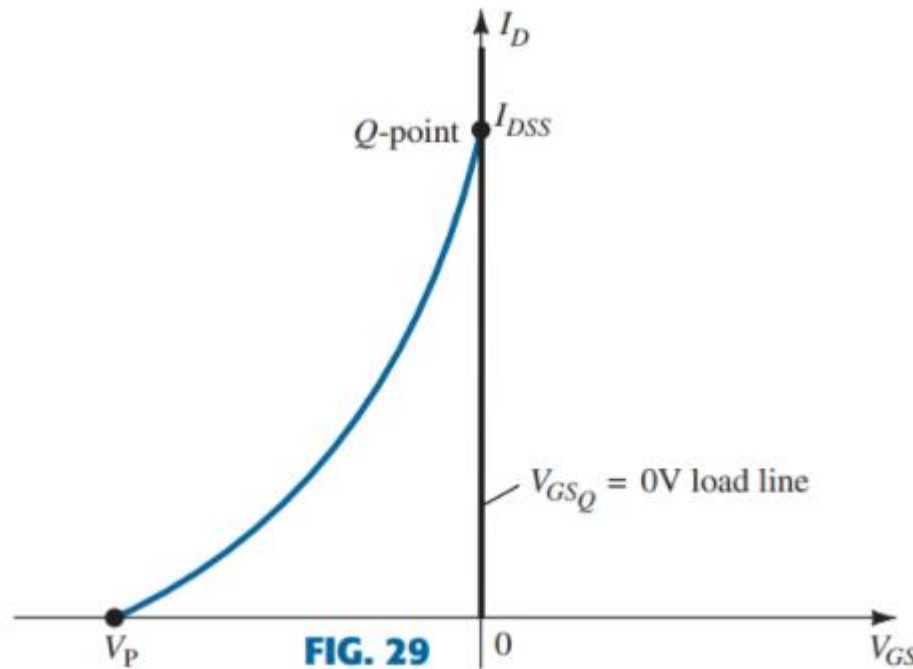


FIG. 29

Finding the Q-point for the network of Fig. 28.

$$I_{DQ} = I_{DSS}$$

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

$$V_D = V_{DS}$$

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

D-MOSFET'ler (1)

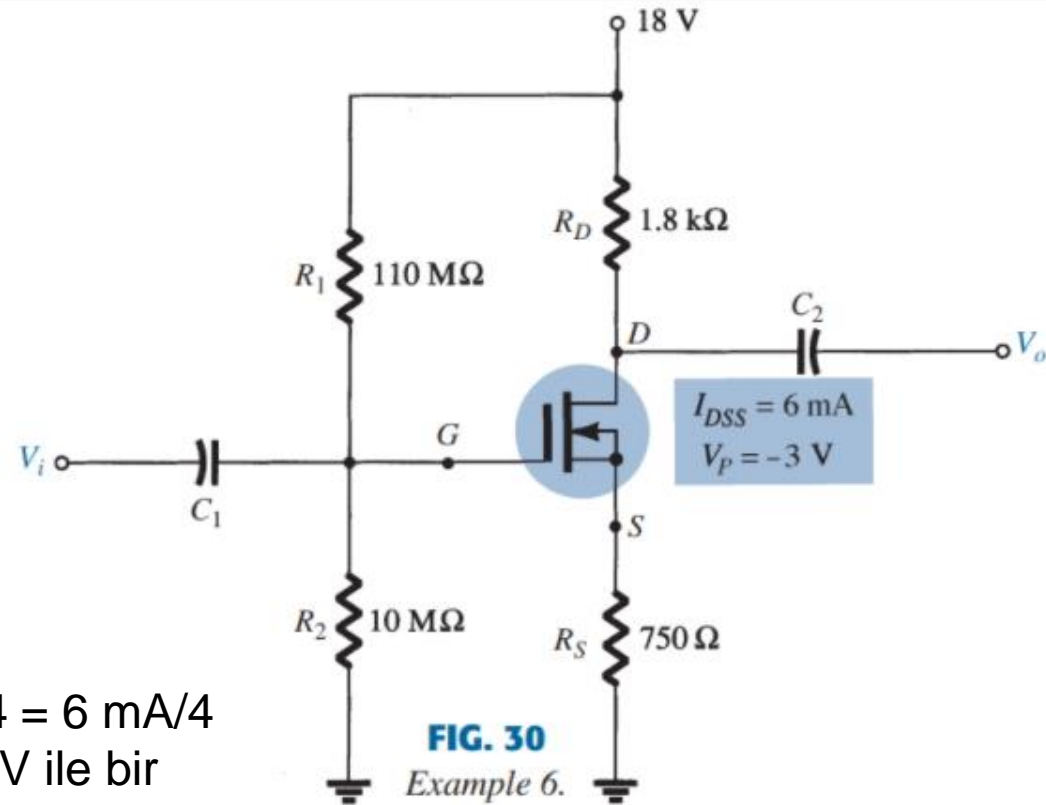
- D-MOSFET polarlama devreleri, JFET'lerin polarlama devrelerine benzer. Tek fark, D-MOSFET'lerin V_{GS} 'nin pozitif değerleri ve I_{DSS} 'yi aşan I_D değerleri ile çalışabilmesidir.
- Bu iki nokta tarafından tanımlanan doğruyu çizin:
 - $V_{GS} = V_G, I_D = 0 \text{ A}$
 - $I_D = V_G/R_S, V_{GS} = 0 \text{ V}$
- I_{DSS} , V_P ve hesaplanan I_D değerlerini kullanarak karakteristik eğrisini çizin.
- Q noktası, doğrunun karakteristik eğrisi ile kesiştiği yerde bulunur. Devredeki diğer değişkenleri çözmek için Q noktasındaki I_D değerini kullanın.
- **Bunlar, JFET voltaj bölücü polarlama devrelerini analiz etmek için kullanılan adımların aynısıdır.**

D-MOSFET'ler (2)

- **Örnek 6:** Şekil 30'daki n -kanallı D-MOSFET için aşağıdakileri bulun: (a) I_{DQ} ve V_{GSQ} , (b) V_{DS} .

- **Çözüm:**

a. Karakteristik özellikleri için $I_D = I_{DSS}/4 = 6 \text{ mA}/4 = 1,5 \text{ mA}$ ve $V_{GS} = V_P/2 = -3 \text{ V}/2 = -1,5 \text{ V}$ ile bir çizim noktası tanımlanır. Shockley denklemi, V_{GS} daha pozitif hale geldikçe daha hızlı yükselen bir eğri tanımlar, $V_{GS} = +1 \text{ V}$ 'de bir çizim noktası tanımlanacaktır. Shockley denkleminde ikame etmek aşağıdaki sonuçları verir:



D-MOSFET'ler (3)

- Örnek 6: (Devamı)

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 6 \text{ mA} \left(1 - \frac{+1 \text{ V}}{-3 \text{ V}} \right)^2 = 6 \text{ mA} \left(1 + \frac{1}{3} \right)^2 = 6 \text{ mA} (1.778) = 10.67 \text{ mA}$$

- Ortaya çıkan karakteristik eğrisi, Şekil 31'de görülmektedir. JFET'ler için tanımlandığı gibi aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

$$V_G = \frac{10 \text{ M}\Omega (18 \text{ V})}{10 \text{ M}\Omega + 110 \text{ M}\Omega} = 1.5 \text{ V} \Rightarrow V_{GS} = V_G - I_D R_S = 1.5 \text{ V} - I_D (750 \Omega)$$

$$I_D = 0 \text{ mA için: } V_{GS} = V_G = 1.5 \text{ V} \qquad V_{GS} = 0 \text{ mA için: } I_D = \frac{V_G}{R_S} = \frac{1.5 \text{ V}}{750 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

- Karakteristik eğrisi ile yük doğrusu, Şekil 31'de gösterilmektedir. Ortaya çıkan Q-noktası aşağıda gösterilmektedir:

$$I_{DQ} = 3.1 \text{ mA} \qquad V_{GSQ} = -0.8 \text{ V}$$

D-MOSFET'ler (4)

- Örnek 6: (Devamı)

$$\begin{aligned} \text{b. } V_{DS} &= V_{DD} - I_D(R_D + R_S) \\ &= 18 \text{ V} - (3.1 \text{ mA})(1.8 \text{ k}\Omega + 750 \Omega) \\ &\cong \mathbf{10.1 \text{ V}} \end{aligned}$$

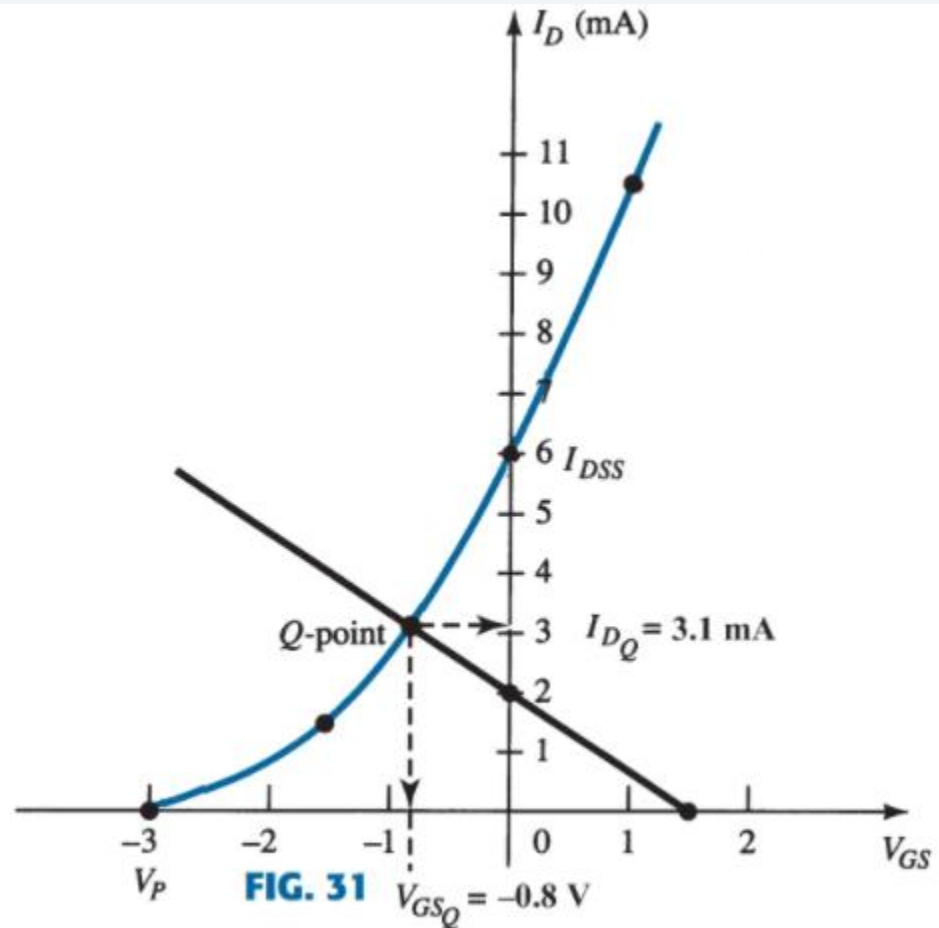


FIG. 31 Determining the Q-point for the network of Fig. 30.

D-MOSFET'ler (5)

- **Örnek 7:** Örnek 6'yı $R_S = 150\ \Omega$ ile tekrarlayın.

- **Çözüm:**

a. Çizim noktaları, Şekil 32'de gösterildiği gibi karakteristik eğrisi için aynıdır. Yük doğrusu için:

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S = 1.5\text{ V} - I_D(150\ \Omega)$$

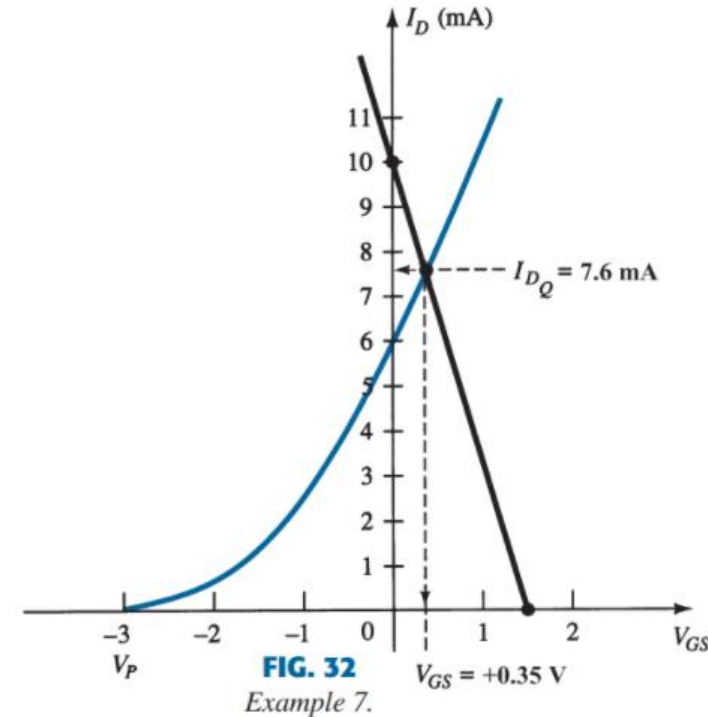
$I_D = 0\text{ mA}$ için: $V_{GS} = 1.5\text{ V}$

$V_{GS} = 0\text{ mA}$ için: $I_D = \frac{V_G}{R_S} = \frac{1.5\text{ V}}{150\ \Omega} = 10\text{ mA}$

- Ortaya çıkan Q-noktası Şekil 32'den aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$I_{DQ} = 7.6\text{ mA}$$
$$V_{GSQ} = +0.35\text{ V}$$

b. $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$
 $= 18\text{ V} - (7.6\text{ mA})(1.8\text{ k}\Omega + 150\ \Omega)$
 $= 3.18\text{ V}$



D-MOSFET'ler (6)

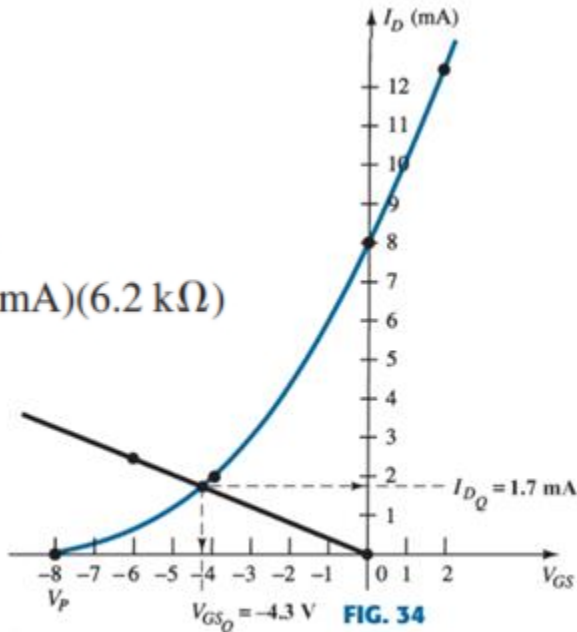
- Örnek 8: Şekil 33'deki devre için aşağıdakileri bulun:
(a) I_{DQ} ve V_{GSQ} , (b) V_D .

- Çözüm:

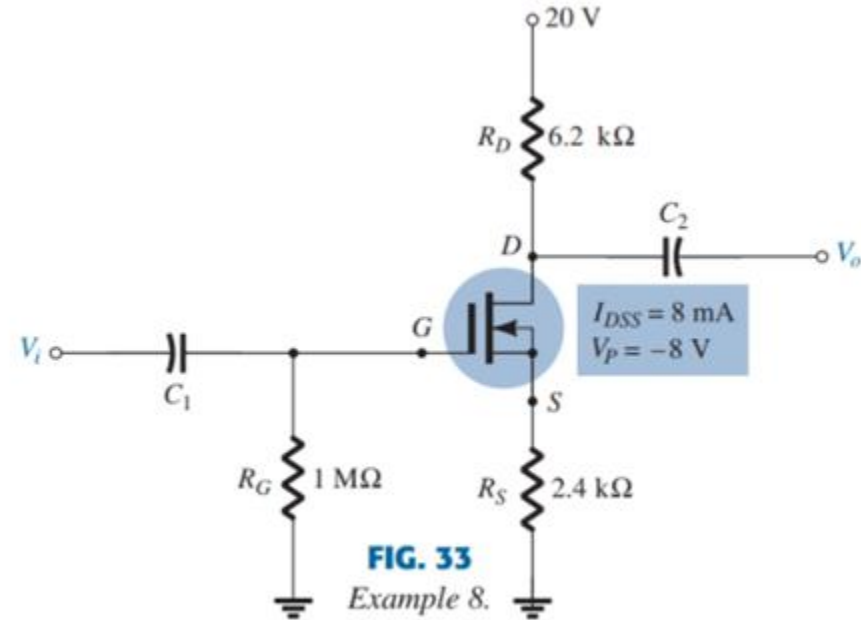
a. $I_{DQ} = 1.7 \text{ mA}$

$V_{GSQ} = -4.3 \text{ V}$

b. $V_D = V_{DD} - I_D R_D$
 $= 20 \text{ V} - (1.7 \text{ mA})(6.2 \text{ k}\Omega)$
 $= 9.46 \text{ V}$



Determining the Q-point for the network of Fig. 33.



D-MOSFET'ler (7)

- **Örnek 9:** Şekil 35'teki devre için V_{DS} 'yi bulun.

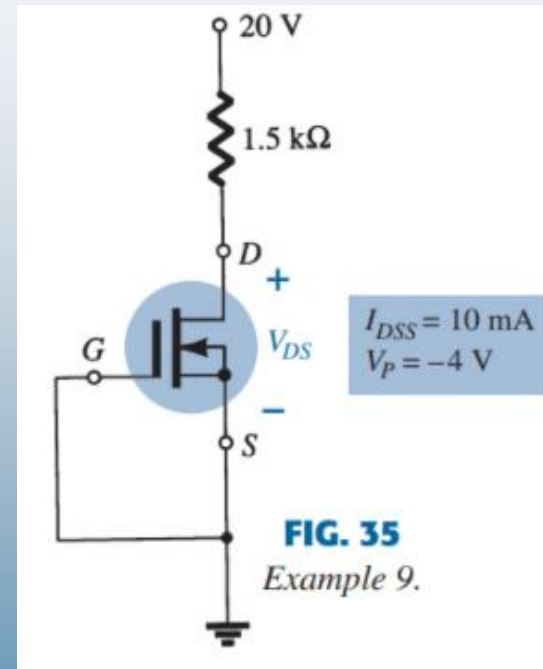
- **Çözüm:**

- Geçit ve kaynak terminalleri arasındaki doğrudan bağlantı, $V_{GS} = 0$ olmasını gerektirir.
- V_{GS} , 0 V'ta sabitlendiğinden, boşaltma akımı I_{DSS} olmalıdır (tanım gereği). Başka bir deyişle,

$$V_{GS_Q} = 0 \text{ V} \quad I_{D_Q} = 10 \text{ mA}$$

- Bu nedenle, karakteristik eğriyi çizmeye gerek yoktur, dolayısıyla $V_{DS} = V_D$ aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 20 \text{ V} - (10 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega) = 20 \text{ V} - 15 \text{ V} = 5 \text{ V}$$



E-MOSFET'ler

- E-MOSFET'in karakteristik eğrisi, JFET veya D-MOSFET'inkinden çok farklıdır.

$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)})^2}$$

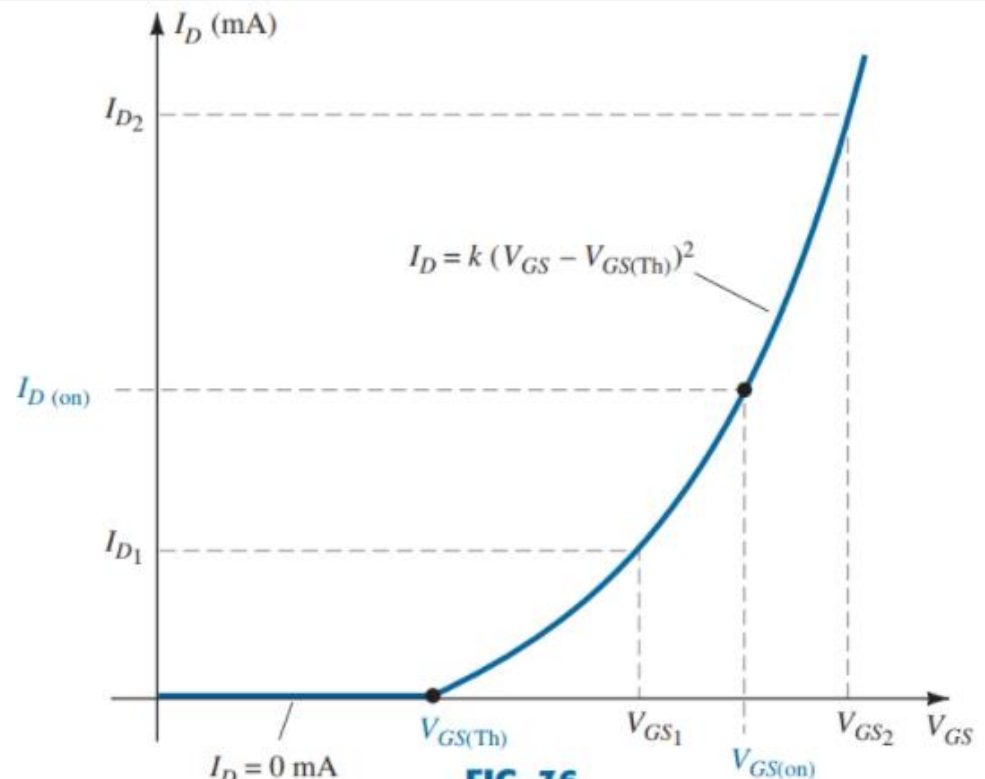
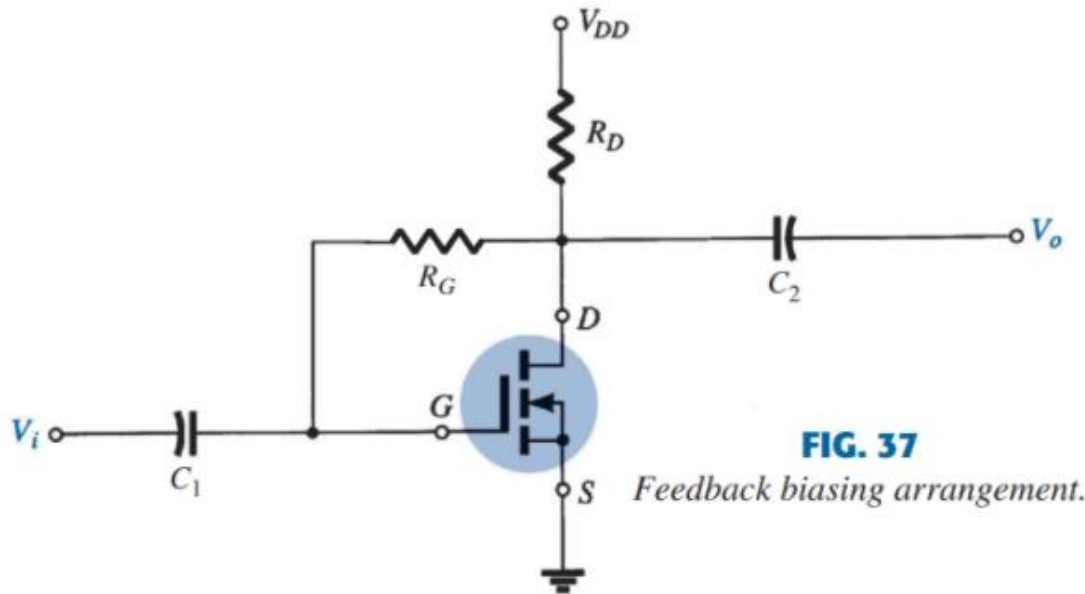


FIG. 36

Transfer characteristics of an n-channel enhancement-type MOSFET.

Geri Beslemeli Polarlama (E-MOSFET) (1)

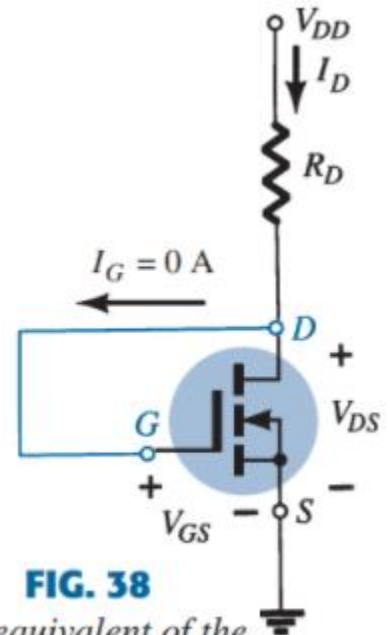


$$I_G = 0 \text{ A}$$

$$V_{RG} = 0 \text{ V}$$

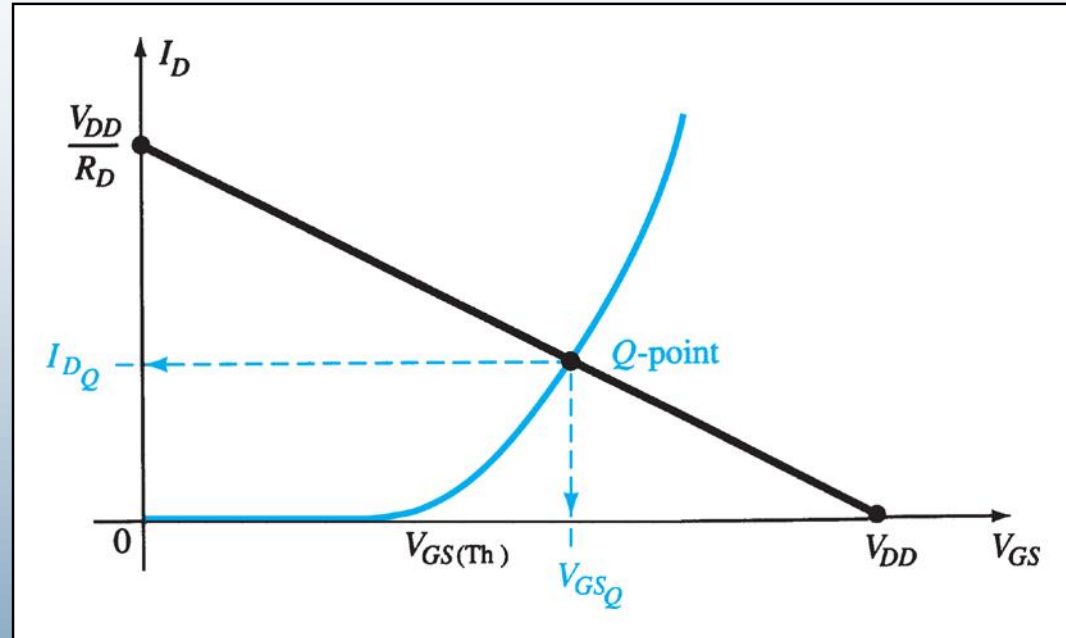
$$V_{DS} = V_{GS}$$

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



Geri Beslemeli Polarlama (E-MOSFET) (2)

- Bu iki nokta tarafından tanımlanan doğruyu çizin:
 - $V_{GS} = V_{DD}, I_D = 0$
 - $I_D = V_{DD} / R_D, V_{GS} = 0 \text{ V}$
- Teknik özellikler belgesindeki bu değerleri kullanarak karakteristik eğrisini çizin:
 - $V_{GSTh}, I_D = 0 \text{ A}$
 - $V_{GS(on)}, I_{D(on)}$

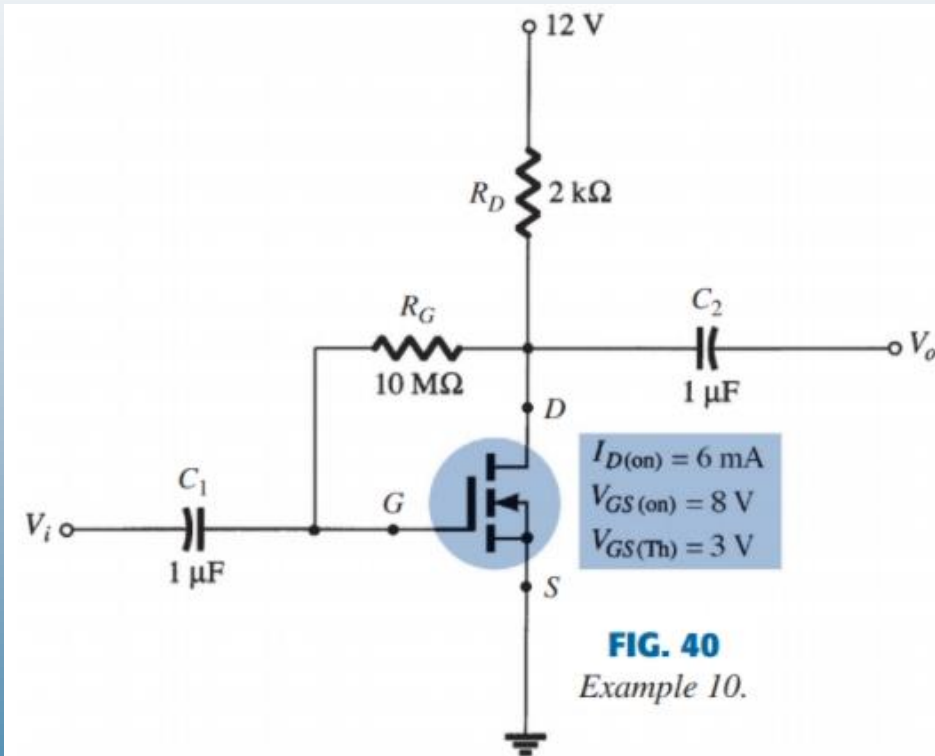


- **Q noktası, doğrunun ve karakteristik eğrisinin kesiştiği yerde bulunur.**
- **Q noktasındaki I_D değerini kullanarak devredeki diğer değişkenleri bulun.**

Geri Beslemeli Polarlama (E-MOSFET) (3)

- **Örnek 10:** Şekil 40'taki E-MOSFET için I_{DQ} ve V_{DSQ} 'yu bulun.
- **Çözüm:**
- Karakteristik eğrisinin çizilmesi: İki nokta, Şekil 41'de gösterildiği gibi tanımlanır. Önce k 'yi hesaplarsak:

$$\begin{aligned}k &= \frac{I_{D(\text{on})}}{(V_{GS(\text{on})} - V_{GS(\text{Th})})^2} \\&= \frac{6 \text{ mA}}{(8 \text{ V} - 3 \text{ V})^2} = \frac{6 \times 10^{-3}}{25} \text{ A/V}^2 \\&= 0.24 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2\end{aligned}$$



Geri Beslemeli Polarlama (E-MOSFET) (4)

- Örnek 10: (Devamı)

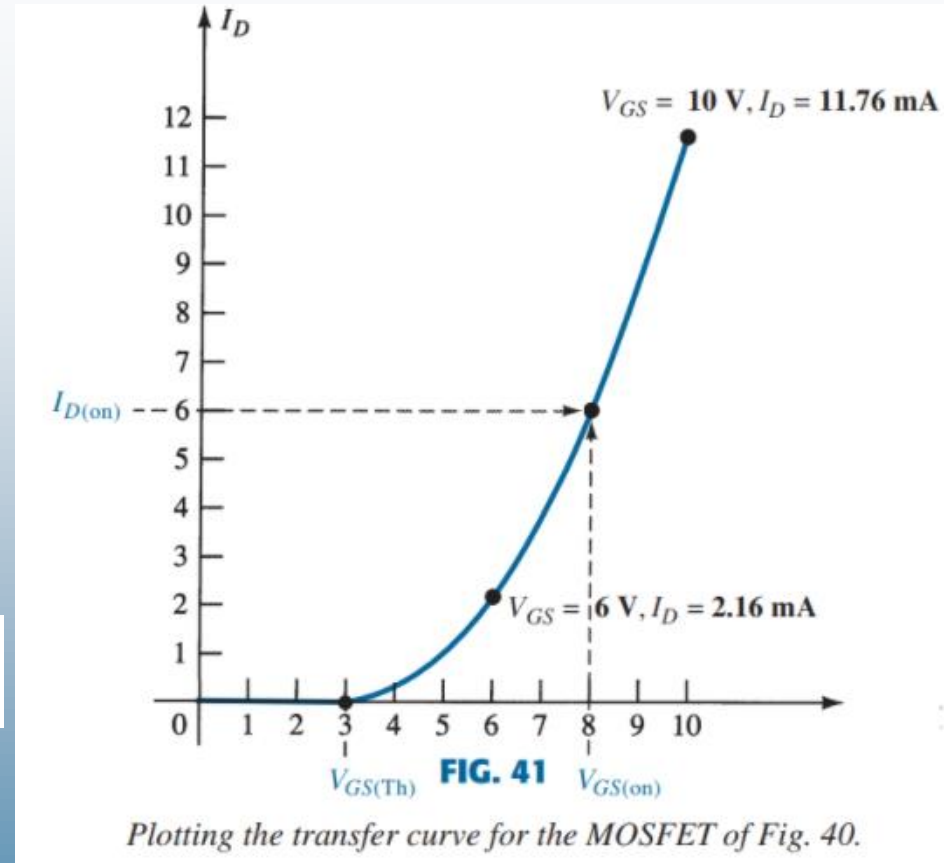
- $V_{GS} = 6 \text{ V}$ için (3 ile 8 V arasında, Şekil 41'de gösterildiği gibi):

$$I_D = 0.24 \times 10^{-3}(6 \text{ V} - 3 \text{ V})^2 = 0.24 \times 10^{-3}(9) = 2.16 \text{ mA}$$

- $V_{GS} = 10 \text{ V}$ için ($V_{GS(\text{Th})}$ 'den biraz daha büyük, Şekil 41'de gösterildiği gibi),

$$I_D = 0.24 \times 10^{-3}(10 \text{ V} - 3 \text{ V})^2 = 0.24 \times 10^{-3}(49) = 11.76 \text{ mA}$$

- Dört nokta, Şekil 41'de gösterildiği gibi ilgi alanı için eğriyi çizmek için yeterlidir.



Geri Beslemeli Polarlama (E-MOSFET) (5)

• Örnek 10: (Devamı)

- Yük doğrusu denklemi:

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 12 \text{ V} - I_D (2 \text{ k}\Omega) \end{aligned}$$

$$V_{GS} = V_{DD} = 12 \text{ V} \big|_{I_D=0 \text{ mA}}$$

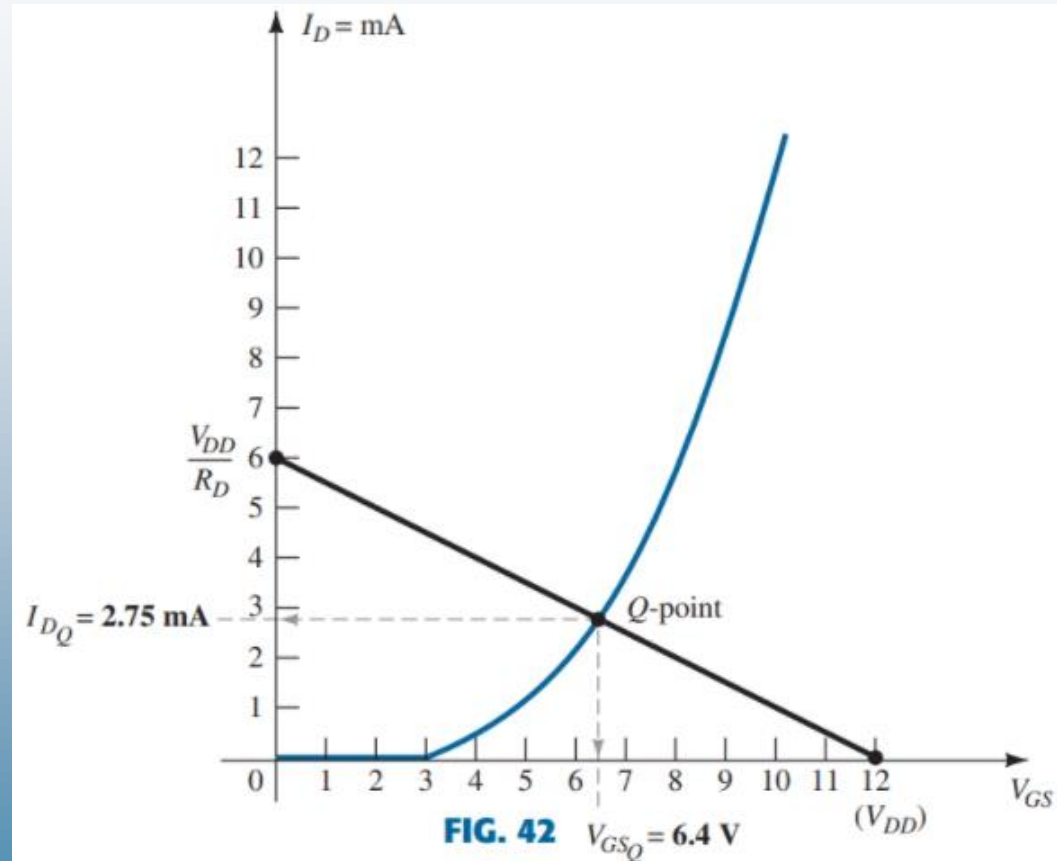
$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} = \frac{12 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 6 \text{ mA} \big|_{V_{GS}=0 \text{ V}}$$

- Yük doğrusu Şekil 42'de gösterilmektedir. Yük doğrusu ile karakteristik eğrisinin kesiştiği nokta bize Q-noktasını verir.

$$I_{DQ} = 2.75 \text{ mA}$$

$$V_{GSQ} = 6.4 \text{ V}$$

$$V_{DSQ} = V_{GSQ} = 6.4 \text{ V}$$



Determining the Q-point for the network of Fig. 40.

Voltaj Bölücü Polarlama (E-MOSFET) (1)

- Bu denklemleri kullanarak Q-noktasını bulmak için doğruyu ve karakteristik eğrisini çizin:

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

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

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

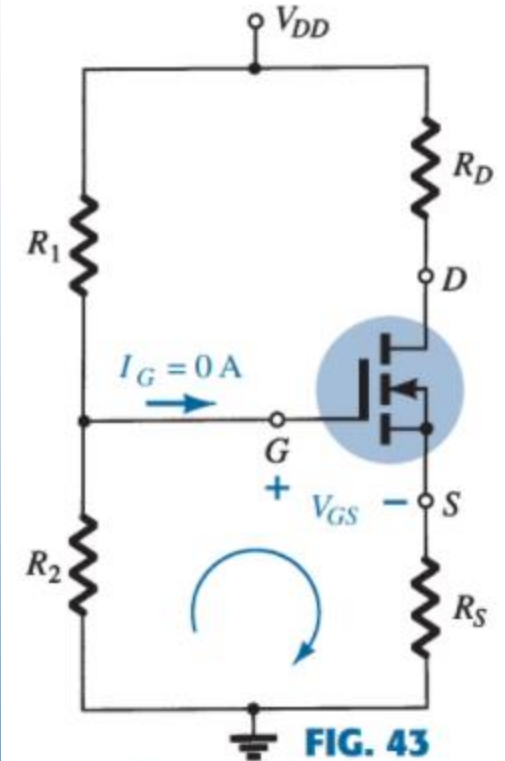


FIG. 43

Voltage-divider biasing arrangement for an n-channel enhancement MOSFET.

Voltaj Bölücü Polarlama (E-MOSFET) (2)

- Aşağıdaki parametreleri kullanarak doğruyu çizin:
 - $V_{GS} = V_G$, $I_D = 0 \text{ A}$
 - $I_D = V_G / R_S$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$
- Teknik özellik belgesindeki bu değerleri kullanarak karakteristik eğrisini çizin:
 - V_{GSTh} , $I_D = 0 \text{ A}$
 - $V_{GS(on)}$, $I_{D(on)}$
- Doğrunun ve karakteristik eğrisinin kesiştiği nokta Q noktasıdır.
- Q noktasındaki I_D değerini kullanarak diğer devre değerlerini çözün.

Voltaj Bölücü Polarlama (E-MOSFET) (3)

- **Örnek 11:** Şekil 44'teki devre için I_{DQ} , V_{GSQ} ve V_{DS} 'yi bulun.

- **Çözüm:**

- Şebeke denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} = \frac{(18 \text{ M}\Omega)(40 \text{ V})}{22 \text{ M}\Omega + 18 \text{ M}\Omega} = 18 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S = 18 \text{ V} - I_D(0.82 \text{ k}\Omega)$$

- $I_D = 0$ için (bkz. Şekil 45):

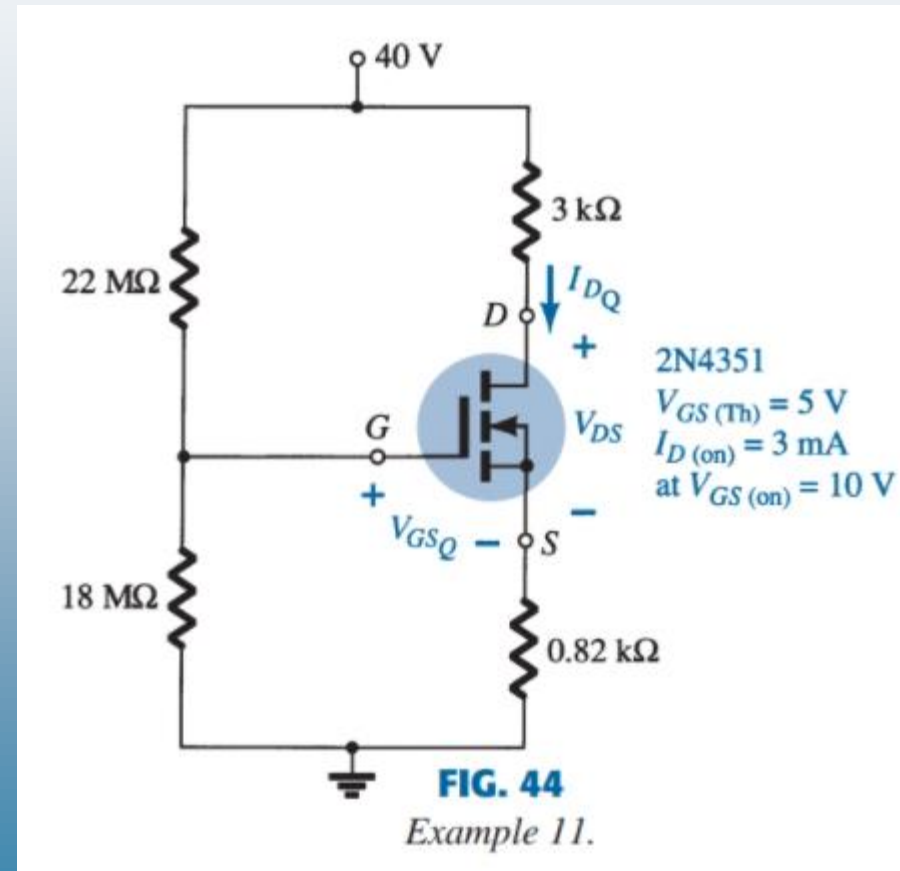
$$V_{GS} = 18 \text{ V} - (0 \text{ mA})(0.82 \text{ k}\Omega) = 18 \text{ V}$$

- $V_{GS} = 0$ için (bkz. Şekil 45):

$$V_{GS} = 18 \text{ V} - I_D(0.82 \text{ k}\Omega)$$

$$0 = 18 \text{ V} - I_D(0.82 \text{ k}\Omega)$$

$$I_D = \frac{18 \text{ V}}{0.82 \text{ k}\Omega} = 21.95 \text{ mA}$$



Voltaj Bölücü Polarlama (E-MOSFET) (4)

- **Örnek 11: (Devamı)**
- MOSFET özelliklerini içeren denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} V_{GS(Th)} &= 5 \text{ V}, \quad I_{D(on)} = 3 \text{ mA} \text{ ve } V_{GS(on)} = 10 \text{ V} \\ k &= \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)})^2} \\ &= \frac{3 \text{ mA}}{(10 \text{ V} - 5 \text{ V})^2} = 0.12 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2 \\ I_D &= k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \\ &= 0.12 \times 10^{-3} (V_{GS} - 5)^2 \end{aligned}$$

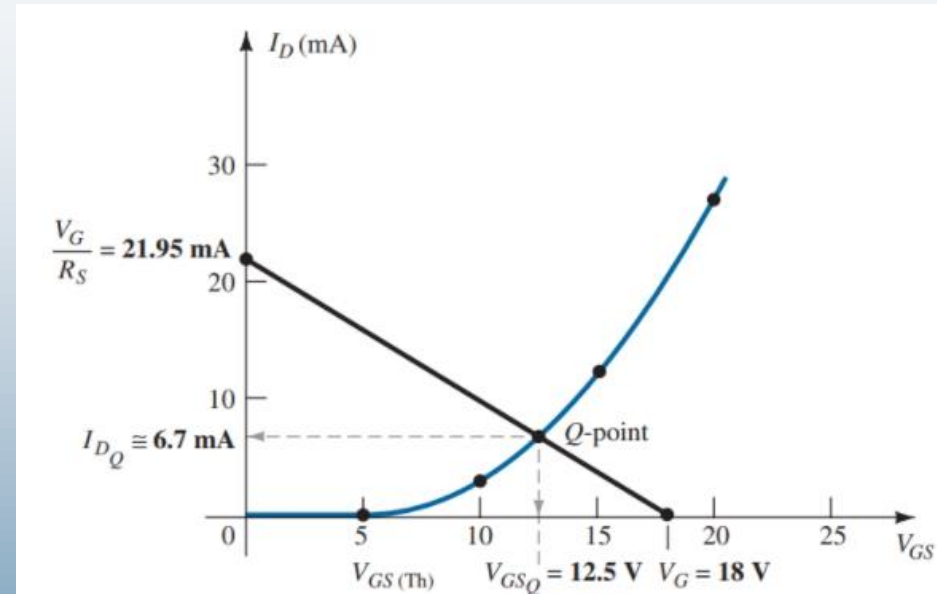


FIG. 45

Determining the Q-point for the network of Example 11.

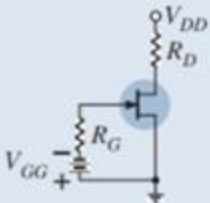
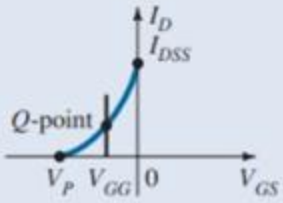
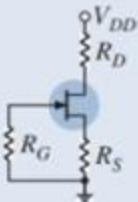
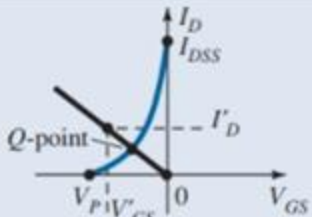
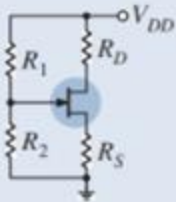
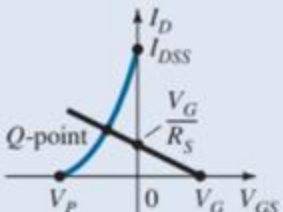
- Şekil 45'de gösterildiği gibi, yük doğrusu ile karakteristik eğrisinin kesiştiği nokta bize Q-noktasını verir.

$$\begin{aligned} I_{DQ} &\cong 6.7 \text{ mA} \\ V_{GSQ} &= 12.5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D(R_S + R_D) \\ &= 40 \text{ V} - (6.7 \text{ mA})(0.82 \text{ k}\Omega + 3.0 \text{ k}\Omega) \\ &= 40 \text{ V} - 25.6 \text{ V} \\ &= 14.4 \text{ V} \end{aligned}$$

Özet Tablosu (1)

TABLE 1
FET Bias Configurations

Type	Configuration	Pertinent Equations	Graphical Solution
JFET Fixed-bias		$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$ $V_{GS} = -V_{GG}$	
JFET Self-bias		$V_{GS} = -I_D R_S$ $V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$	
JFET Voltage-divider bias		$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2}$ $V_{GS} = V_G - I_D R_S$ $V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$	

Özet Tablosu (2)

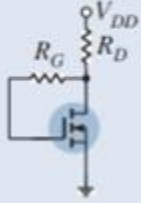
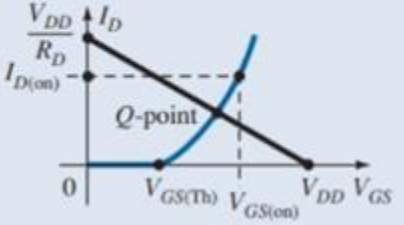
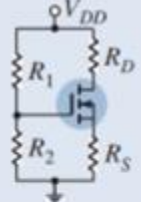
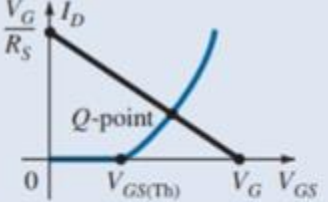
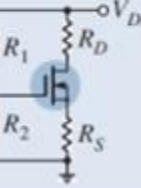
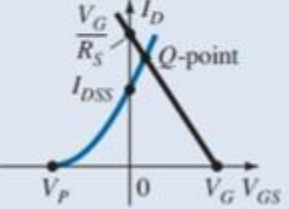
TABLE 1

FET Bias Configurations

Type	Configuration	Pertinent Equations	Graphical Solution
JFET Common-gate		$V_{GS} = V_{SS} - I_D R_S$ $V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D (R_D + R_S)$	
JFET ($R_D = 0 \Omega$)		$V_{GS} = -I_D R_S$ $V_D = V_{DD}$ $V_S = I_D R_S$ $V_{DS} = V_{DD} - I_S R_S$	
JFET Special case ($V_{GS_Q} = 0 \text{ V}$)		$V_{GS_Q} = 0 \text{ V}$ $I_{D_Q} = I_{DSS}$ $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$	

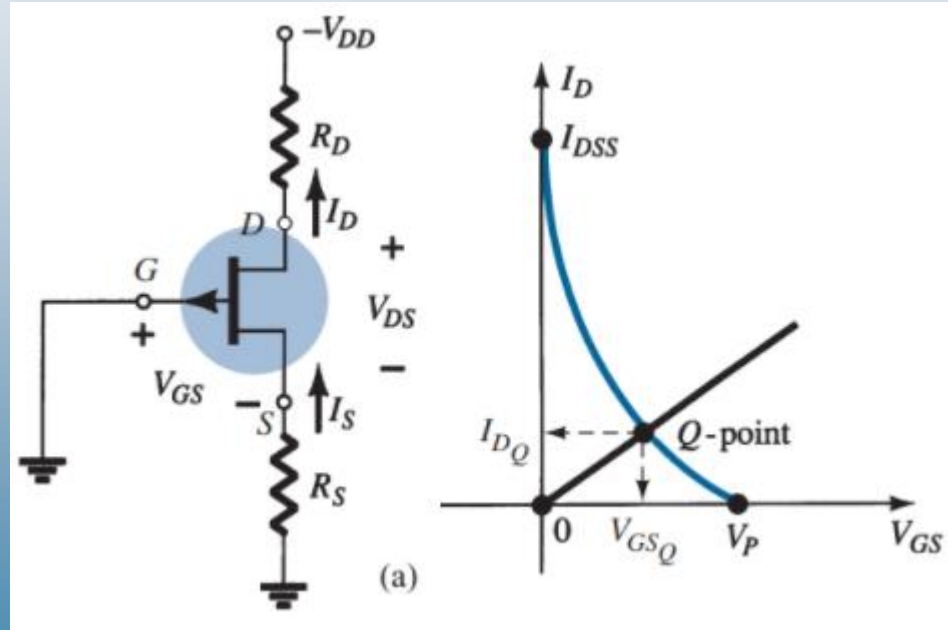
Özet Tablosu (3)

TABLE 1
FET Bias Configurations

Type	Configuration	Pertinent Equations	Graphical Solution
Enhancement type MOSFET Feedback configuration (and MESFETs)		$V_{GS} = V_{DS}$ $V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D$	
Enhancement type MOSFET Voltage-divider bias (and MESFETs)		$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2}$ $V_{GS} = V_G - I_D R_S$	
Depletion-type MOSFET Voltage-divider bias (and MESFETs)		$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2}$ $V_{GS} = V_G - I_S R_S$ $V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$	

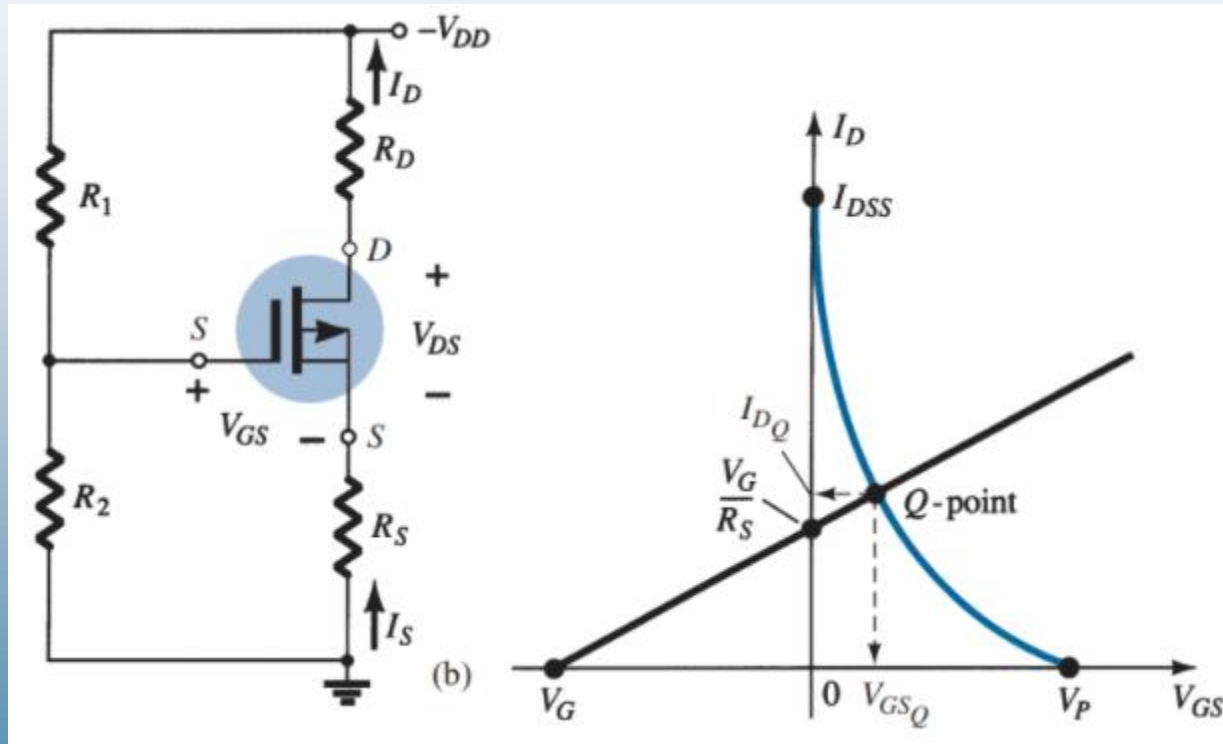
p-Kanallı FET'ler (1)

- p -kanallı FET'leri için, voltaj polariteleri ve akım yönleri ters çevrilmiş olması dışında aynı hesaplamalar ve grafikler kullanılır. Grafikler, n -kanallı grafiklere benzer.



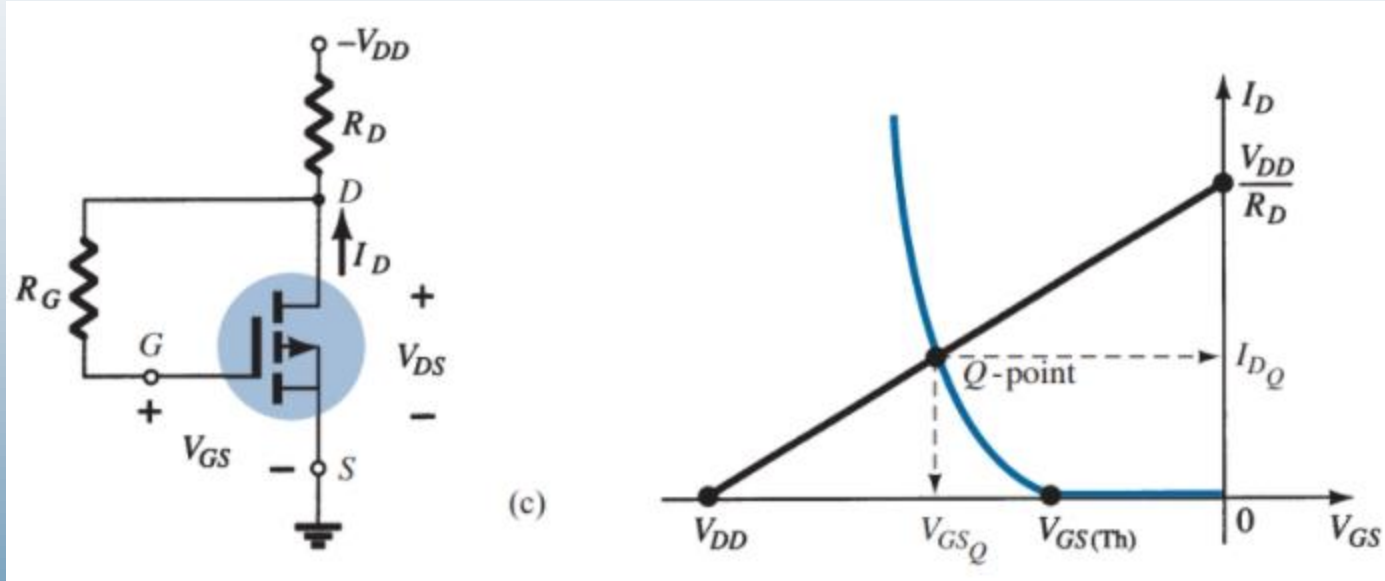
Şekil 56: p-Kanallı konfigürasyonlar : (a) JFET.

p-Kanallı FET'ler (2)



Şekil 56: p-Kanallı konfigürasyonlar : (b) D-MOSFET.

p-Kanallı FET'ler (3)



Şekil 56: p-Kanallı konfigürasyonlar: (c) E-MOSFET.

p-Kanallı FET'ler (4)

- **Örnek 17:** Şekil 57'deki p-kanallı JFET için I_{DQ} , V_{GSQ} ve V_{DS} 'yi bulun.

- **Çözüm:**

- Şebeke denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$V_G = \frac{20 \text{ k}\Omega(-20 \text{ V})}{20 \text{ k}\Omega + 68 \text{ k}\Omega} = -4.55 \text{ V}$$

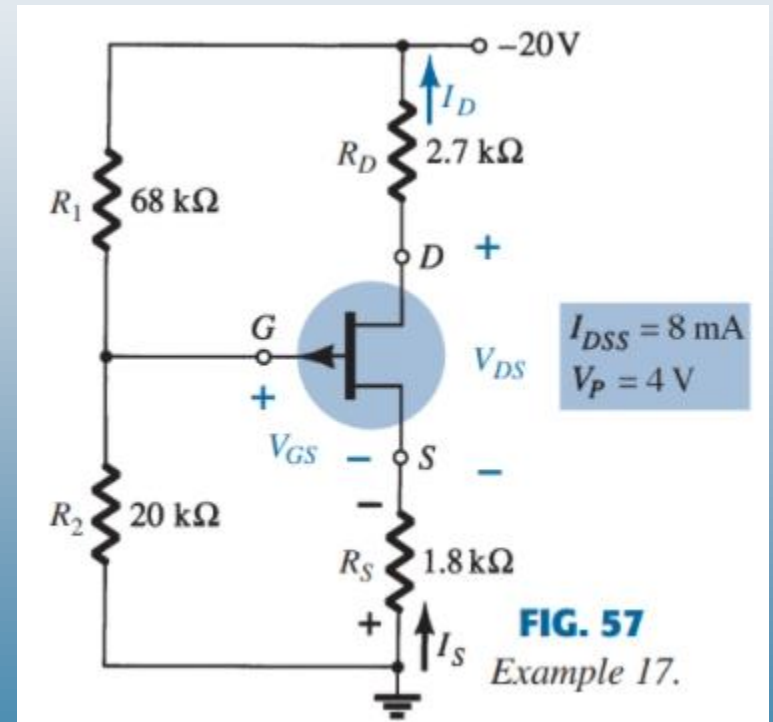
$$\begin{aligned} V_G - V_{GS} + I_D R_S &= 0 \\ V_{GS} &= V_G + I_D R_S \end{aligned}$$

- $I_D = 0$ için (bkz. Şekil 58):

$$V_{GS} = V_G = -4.55 \text{ V}$$

- $V_{GS} = 0$ için (bkz. Şekil 58):

$$I_D = -\frac{V_G}{R_S} = -\frac{-4.55 \text{ V}}{1.8 \text{ k}\Omega} = 2.53 \text{ mA}$$



p-Kanallı FET'ler (5)

• Örnek 17: (Devamı)

- Şekil 58'de gösterildiği gibi, yük doğrusu ile karakteristik eğrisinin kesiştiği nokta bize Q-noktasını verir.

$$I_{DQ} = 3.4 \text{ mA} \quad V_{GSQ} = 1.4 \text{ V}$$

- V_{DS} için, Kirchhoff'un voltaj kanunu aşağıdaki denklemleri verir:

$$\begin{aligned} -I_D R_S + V_{DS} - I_D R_D + V_{DD} &= 0 \\ V_{DS} &= -V_{DD} + I_D(R_D + R_S) \\ &= -20 \text{ V} + (3.4 \text{ mA})(2.7 \text{ k}\Omega + 1.8 \text{ k}\Omega) \\ &= -20 \text{ V} + 15.3 \text{ V} \\ &= -4.7 \text{ V} \end{aligned}$$

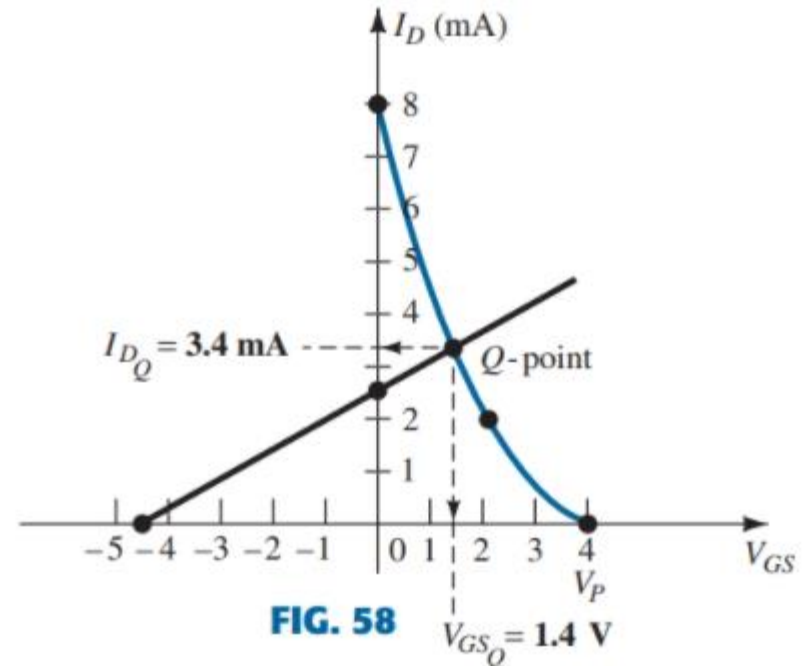


FIG. 58

Determining the Q-point for the JFET configuration of Fig. 57.

Uygulamalar

- Voltaj kontrollü direnç
- JFET voltmetre
- Zamanlayıcı devre
- Fiber optik devre
- MOSFET röle sürücüsü