

# **Elektronik Aygıtlar**

## **BÖLÜM 8 FET YÜKSELTEÇLERİ**

**BMB2012 – Elektronik Devreler ve Aygıtlar  
Ders Notları  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
2023-2024 Bahar Yarıyılı**

**Çeviren ve Düzenleyen: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU**

# Giriş

- **FET'ler aşağıdaki avantajlara sahiptir:**
  - Mükemmel voltaj kazancı
  - Yüksek giriş empedansı
  - Düşük güç tüketimi
  - İyi frekans yanıtı

# JFET Küçük Sinyal Modeli

- Geçit ve kaynak arasındaki voltaj, bir JFET'in drenajdan (D) kaynağa (S) giden akımı kontrol eder.
- Transkondüktans:**  $I_D$  akımındaki bir değişikliğin  $V_{GS}$  voltajındaki değişikliğe olan oranı.
- Transkondüktans  $g_m$  parametresi ile ifade edilir:

Giri ile çıkı arasında oldu u için  
Çıkı akımı / Giri Voltajı

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

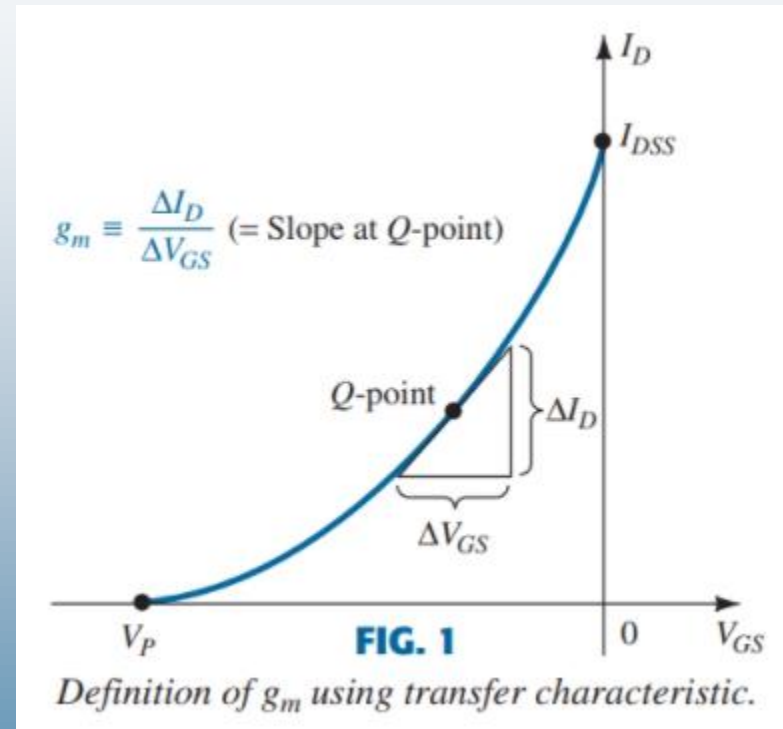
**Özellik Sayfaları:**

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

Hepsi aynı

# $g_m$ Parametresinin Grafik Yöntemiyle Tespiti (1)

$$g_m = m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$



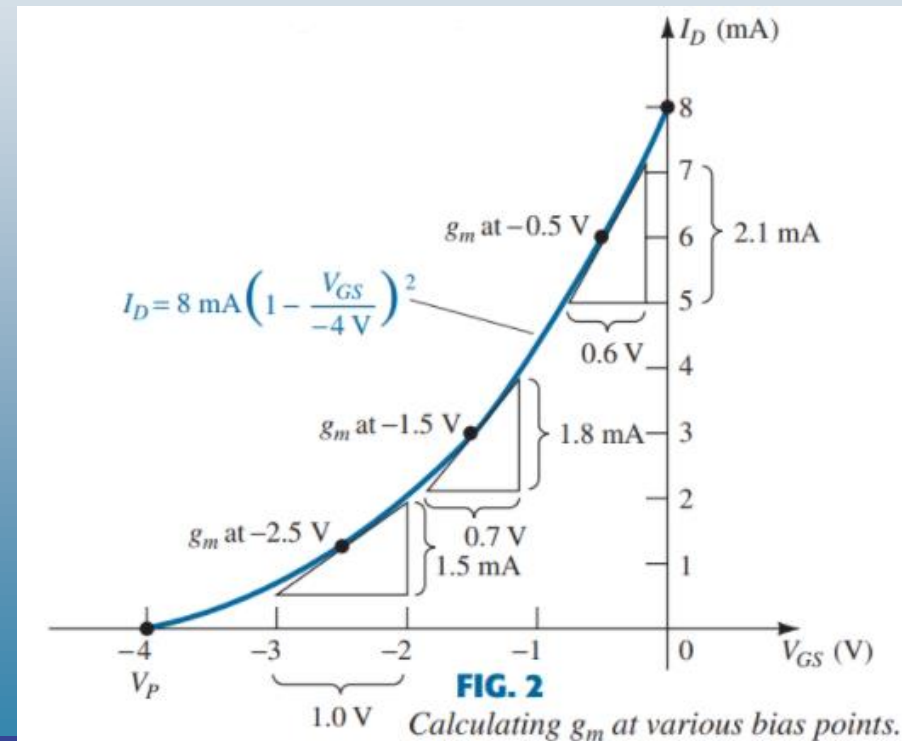
# $g_m$ Parametresinin Grafik Yöntemiyle Tespiti (2)

- Örnek 1: Aşağıdaki dc polarlama noktalarında  $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$  ve  $V_P = -4 \text{ V}$  olan bir JFET için  $g_m$ 'nin değerini bulun: (a)  $V_{GS} = -0.5 \text{ V}$ , (b)  $V_{GS} = -1.5 \text{ V}$ , (c)  $V_{GS} = -2.5 \text{ V}$ .

- Çözüm:

$$\begin{aligned} \text{a. } g_m &= \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \cong \frac{2.1 \text{ mA}}{0.6 \text{ V}} = 3.5 \text{ mS} \\ \text{b. } g_m &= \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \cong \frac{1.8 \text{ mA}}{0.7 \text{ V}} \cong 2.57 \text{ mS} \\ \text{c. } g_m &= \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.5 \text{ mA}}{1.0 \text{ V}} = 1.5 \text{ mS} \end{aligned}$$

- Not:**  $V_{GS}$ 'nin değeri  $V_P$ 'ye yaklaştıkça  $g_m$  azalır.



# $g_m$ Parametresinin Matematiksel Tanımları (1)

DC analizinden elde etti in  $V_{gs}$ 'yi kullan

- Bir fonksiyonun bir noktadaki türevi, o noktada çizilen teğetin eğimine eşittir. Bu nedenle, Shockley denklemini kullanarak  $I_D$ 'nin  $V_{GS}$ 'ye göre türevini alırsak,  $g_m$  için aşağıdaki gibi bir denklem türetebiliriz:

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

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

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

- $V_{GS} = 0 \text{ V}$  için:

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

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

# $g_m$ Parametresinin Matematiksel Tanımları (1)

- **Örnek 2:** Örnek 1'in karakteristik eğrilerine sahip JFET için: (a) maksimum  $g_m$  değerini bulun, (b) Her çalışma noktasında  $g_m$  değerini bulun ve grafik sonuçlarıyla karşılaştırın.
- **Çözüm:**

$$\text{a. } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(8 \text{ mA})}{4 \text{ V}} = 4 \text{ mS} \quad g_m \text{ 'nin maksimum değeri.}$$

$$\text{b. } V_{GS} = -0.5 \text{ V için;}$$

$$g_m = g_{m0} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] = 4 \text{ mS} \left[ 1 - \frac{-0.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right] = 3.5 \text{ mS}$$

$$V_{GS} = -1.5 \text{ V için;}$$

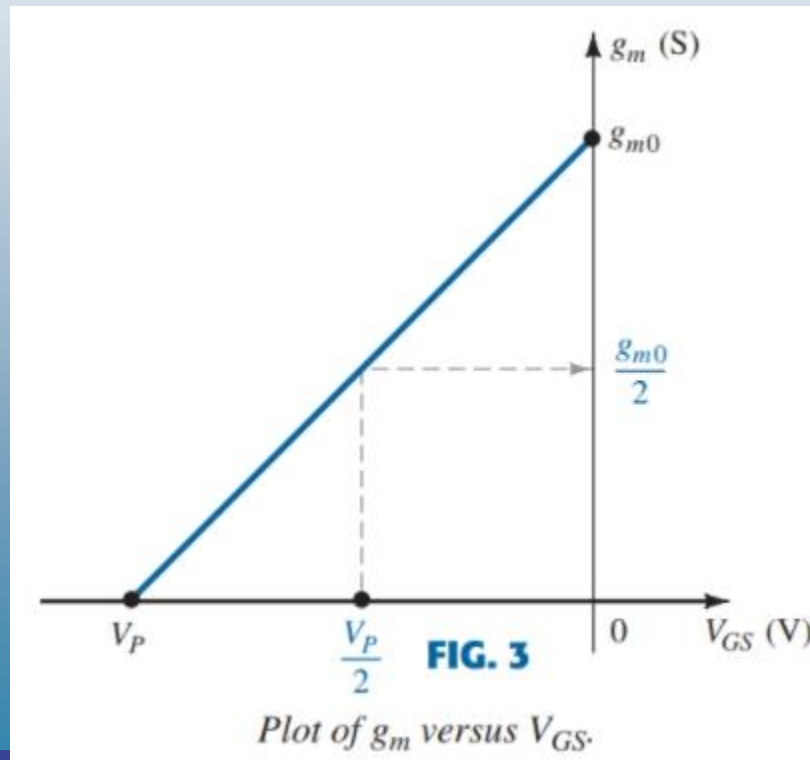
$$g_m = g_{m0} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] = 4 \text{ mS} \left[ 1 - \frac{-1.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right] = 2.5 \text{ mS}$$

$$V_{GS} = -2.5 \text{ V için;}$$

$$g_m = g_{m0} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] = 4 \text{ mS} \left[ 1 - \frac{-2.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right] = 1.5 \text{ mS}$$

# $g_m$ ile $V_{GS}$ Parametrelerinin Grafiksel Gösterimi

- $g_m$ 'nin maksimum değeri  $V_{GS} = 0$  V ve minimum değeri  $V_{GS} = V_P$ 'de oluşur.  $V_{GS}$ 'nin değeri ne kadar negatif olursa,  $g_m$ 'nin değeri o kadar az olur.





# $I_D$ 'nin $g_m$ Parametresi Üzerindeki Etkisi (1)

$$1 - \frac{V_{GS}}{V_P} = \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

$$g_m = g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) = g_{m0} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

a.  $I_D = I_{DSS}$  için,  $g_m = g_{m0} \sqrt{\frac{I_{DSS}}{I_{DSS}}} = g_{m0}$

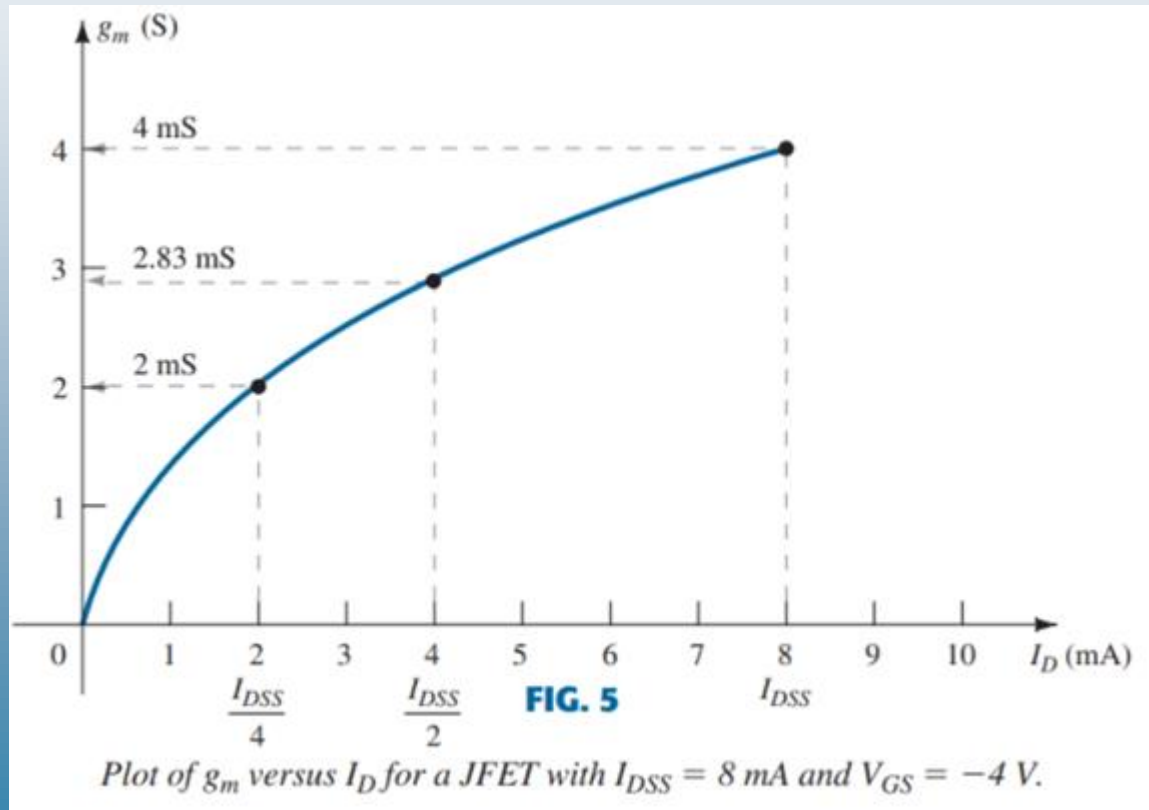
b.  $I_D = I_{DSS}/2$  için,  $g_m = g_{m0} \sqrt{\frac{I_{DSS}/2}{I_{DSS}}} = 0.707g_{m0}$

c.  $I_D = I_{DSS}/4$  için,  $g_m = g_{m0} \sqrt{\frac{I_{DSS}/4}{I_{DSS}}} = \frac{g_{m0}}{2} = 0.5g_{m0}$

- En yüksek  $g_m$  değerleri,  $V_{GS}$  0 V'a yaklaştığında ve  $I_D$ , maksimum  $I_{DSS}$  değerine yaklaştığında elde edilir.

# $I_D$ 'nin $g_m$ Parametresi Üzerindeki Etkisi (2)

- **Örnek 4:** Örnek 1'den 3'e kadar olan JFET için  $g_m$ 'ye karşı  $I_D$ 'yi çizin.
- **Çözüm:**



# JFET Empedansı (1)

- Giriş Empedansı :

$$Z_i = \infty \Omega$$

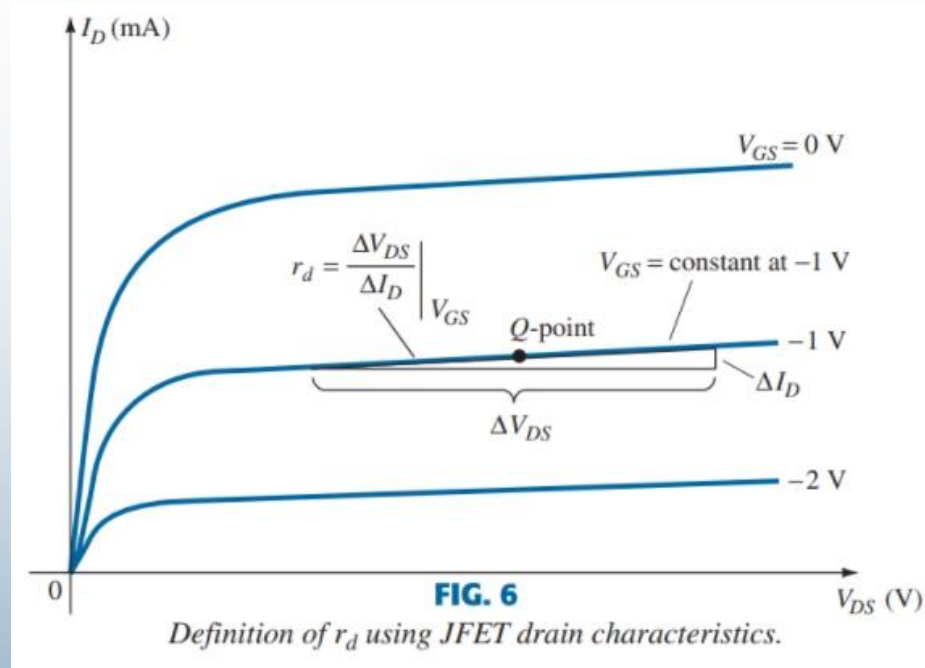
IG Oldu u için

- Çıkış Empedansı :

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

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

- $y_{os}$  = FET özellik sayfalarında listelenen admitans parametresi.



# JFET Empedansı (2)

- **Örnek 5:** Şekil 7'deki JFET için  $V_{GS} = 0 \text{ V}$  ve  $V_{GS} = -2 \text{ V}$  için  $V_{DS} = 8 \text{ V}$ 'ta çıkış empedansını bulun.

- **Çözüm:**

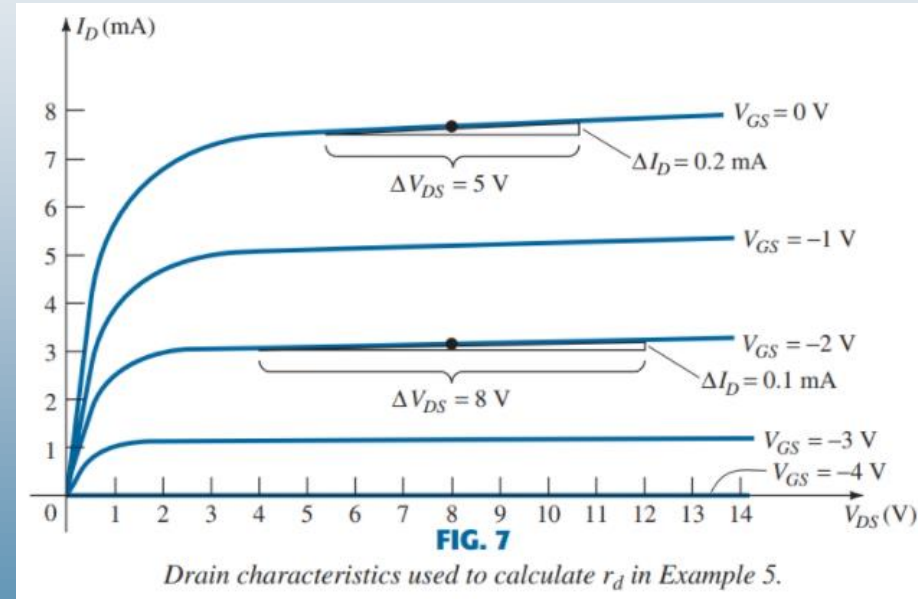
- $V_{GS} = 0 \text{ V}$  için bir teğet çizilir. Eğer  $\Delta V_{DS} = 5 \text{ V}$  olarak seçilirse,  $\Delta I_D = 0.2 \text{ mA}$  olur. Böylelikle,

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}=0 \text{ V}} = \frac{5 \text{ V}}{0.2 \text{ mA}} = 25 \text{ k}\Omega$$

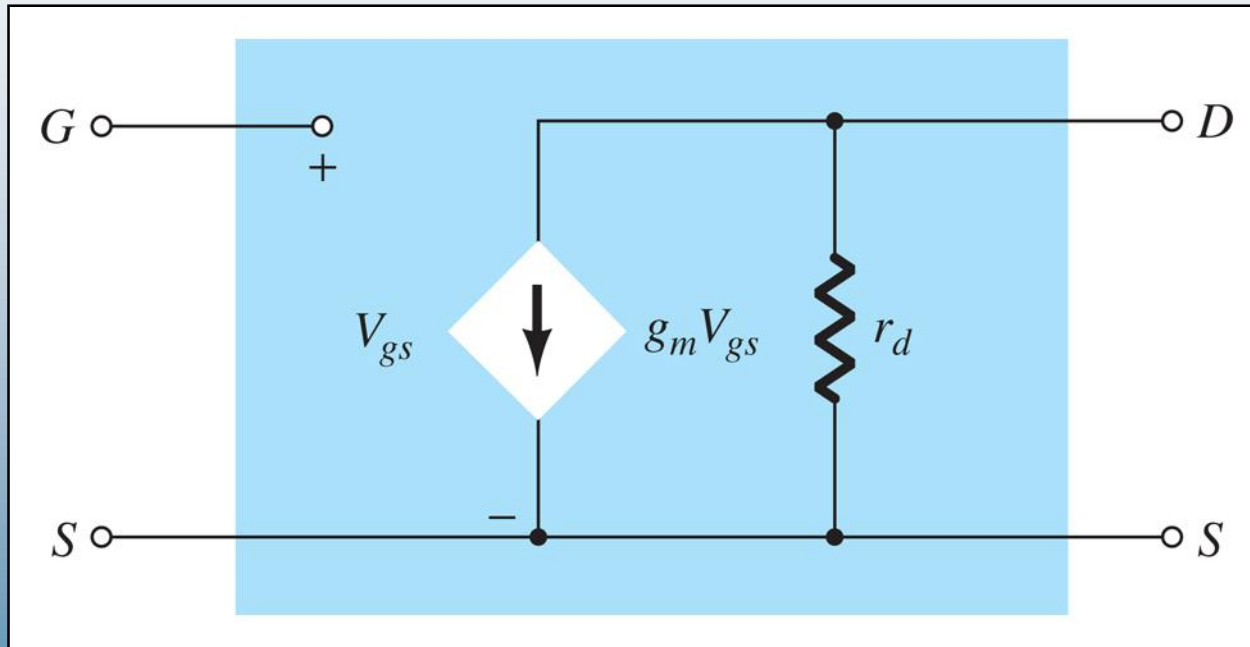
- $V_{GS} = -2 \text{ V}$  için bir teğet çizilir. Eğer  $\Delta V_{DS} = 8 \text{ V}$  olarak seçilirse,  $\Delta I_D = 0.1 \text{ mA}$  olur. Böylelikle,

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}=-2 \text{ V}} = \frac{8 \text{ V}}{0.1 \text{ mA}} = 80 \text{ k}\Omega$$

- Yukarıdaki sonuçlar,  $r_d$ 'nin bir Q-noktasından başka bir Q-noktasına değiştiğini, daha düşük değerlerin tipik olarak daha düşük  $V_{GS}$  değerlerinde (0 V'a yakın) meydana geldiğini gösterir.



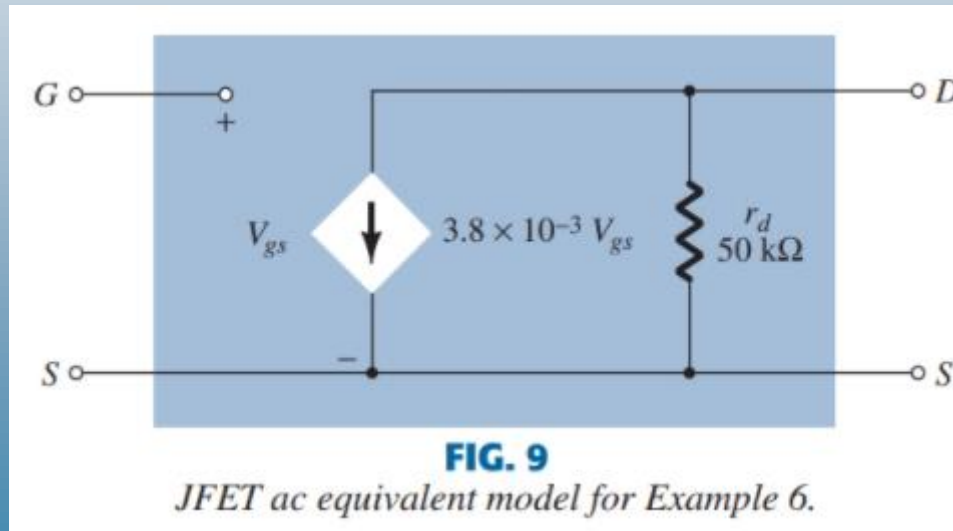
# JFET AC Eşdeğer Devresi (1)



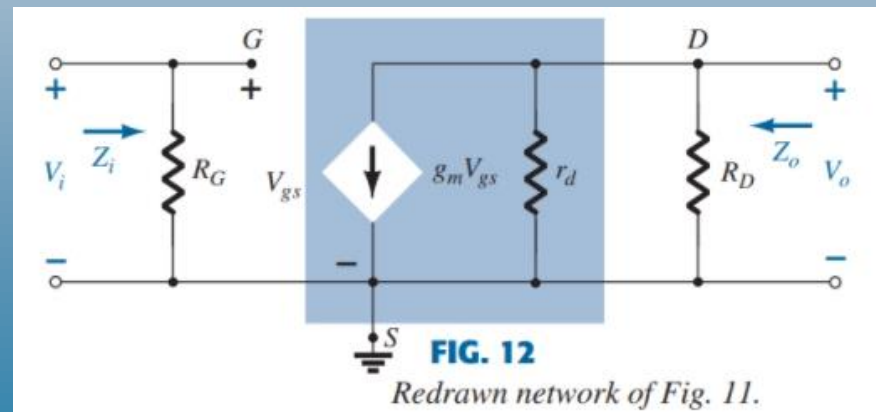
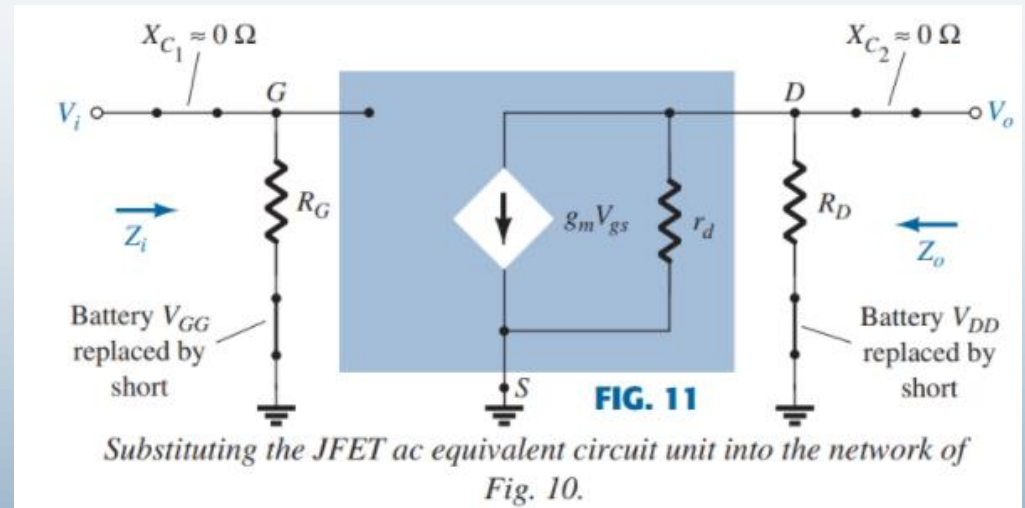
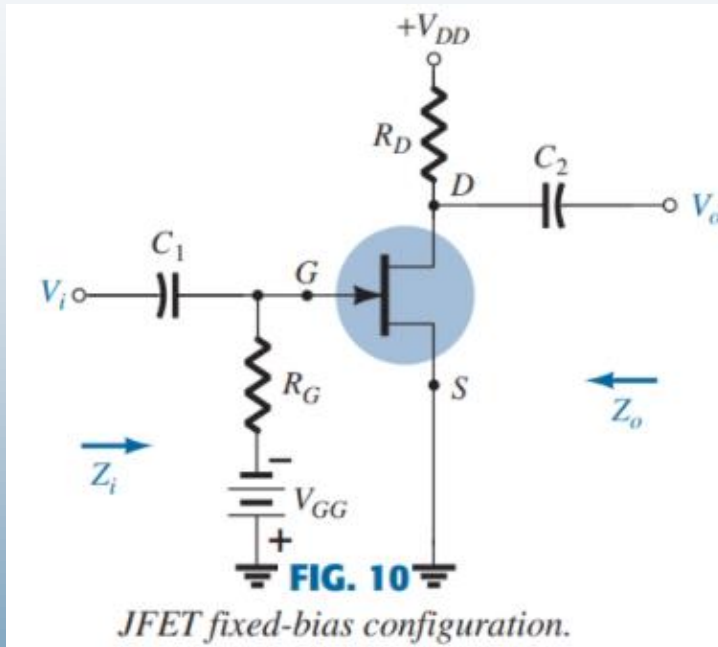
# JFET AC Eşdeğer Devresi (2)

- **Örnek 6:**  $g_{fs} = 3.8 \text{ mS}$  ve  $g_{os} = 20 \text{ mS}$  için FET ac eşdeğer modelini çizin.
- **Çözüm:**

$$g_m = g_{fs} = 3.8 \text{ mS} \text{ ve } r_d = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$$



# Ortak-Kaynak Sabit Polarlama Konfigürasyonu (1)



- Giriş sinyali geçit terminaline uygulanır ve çıkış sinyali drenaj terminalinden alınır.

# Ortak-Kaynak Sabit Polarlama Konfigürasyonu (2)

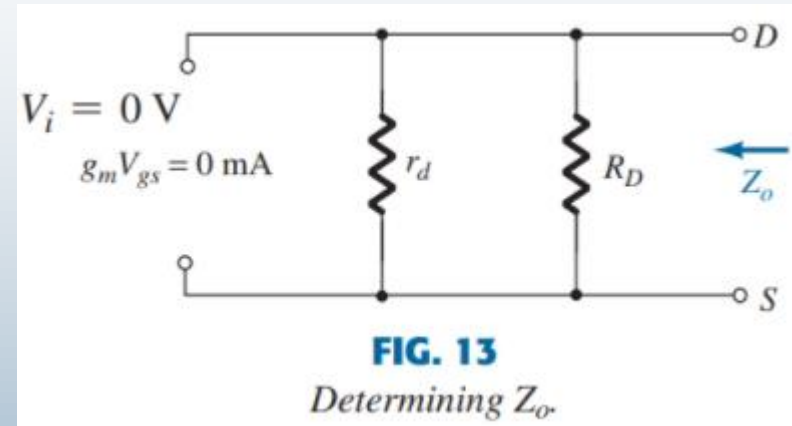
**$Z_i$**

$$Z_i = R_G$$

**$Z_o$**

$Z_o$  tanımının gerektirdiği şekilde  $V_i = 0$  V olarak alırsak,  $V_{gs}$ 'de 0 V olur. Böylece,  $g_m V_{gs} = 0$  mA olur ve akım kaynağı, Şekil 13'te gösterildiği gibi bir açık devre eşdeğeri ile değiştirilebilir. Çıkış empedansı ise şu şekilde elde edilir:

$$Z_o = R_D \parallel r_d$$



- Direnç  $r_d$ ,  $R_D$ 'ye kıyasla yeterince büyükse (en az 10:1),  $r_d \parallel R_D \approx R_D$  yaklaşımı sıklıkla uygulanabilir ve şu sonucu elde ederiz:

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

**$A_v$**

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

$$V_{gs} = V_i$$

$$V_o = -g_m V_i (r_d \parallel R_D)$$

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

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m R_D \quad r_d \geq 10R_D$$

- Devre girişi ile çıkışı arasında  $180^\circ$  faz kayması vardır.



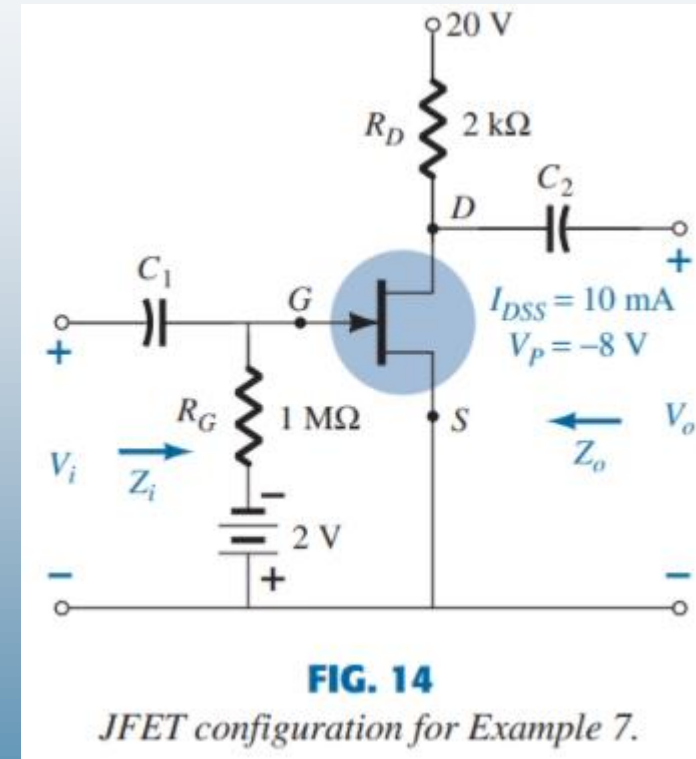
# Ortak-Kaynak Sabit Polarlama Konfigürasyonu (3)

- **Örnek 7:** Örnek 1'in sabit polarlamalı konfigürasyonu,  $V_{GSQ} = -2\text{ V}$  ve  $I_{DQ} = 5.625\text{ mA}$ ,  $I_{DSS} = 10\text{ mA}$  ve  $V_P = -8\text{ V}$  ile tanımlanan bir Q-noktasına sahiptir. Devre, uygulanan bir  $V_i$  sinyali ile Şekil 14'teki gibi yeniden çizildi.  $y_{os}$ 'un değeri  $40\text{ mS}$  olarak verilmiştir. Aşağıdaki parametreleri bulun: (a)  $g_m$ , (b)  $r_d$ , (c)  $Z_i$ , (d)  $Z_o$ , (e)  $A_v$ ,  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alarak, (f)  $A_v$ ,  $r_d$ 'nin etkilerini göz ardı ederek.
- **Çözüm:**

# Ortak-Kaynak Sabit Polarlama Konfigürasyonu (4)

## Örnek 7: (Devamı)

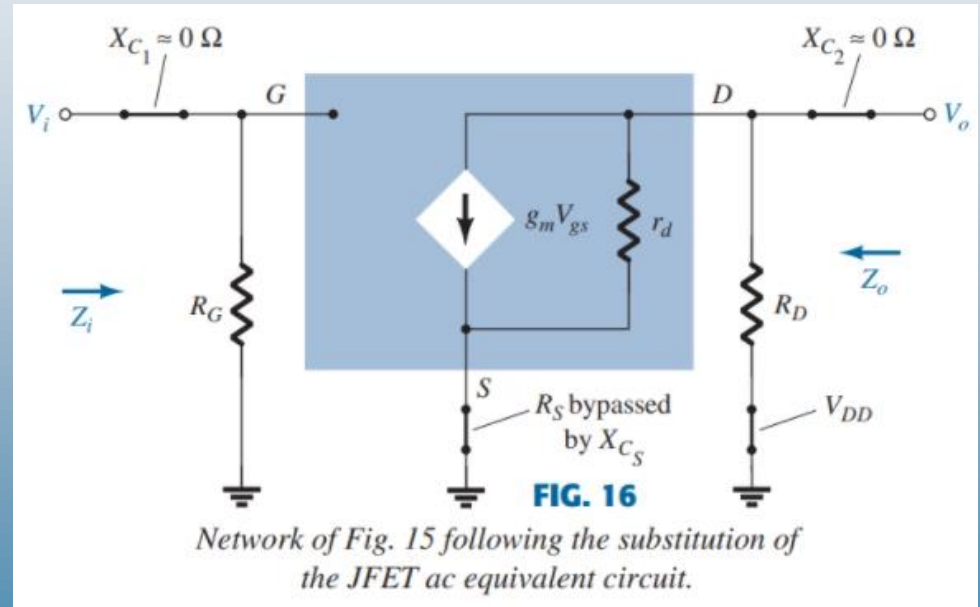
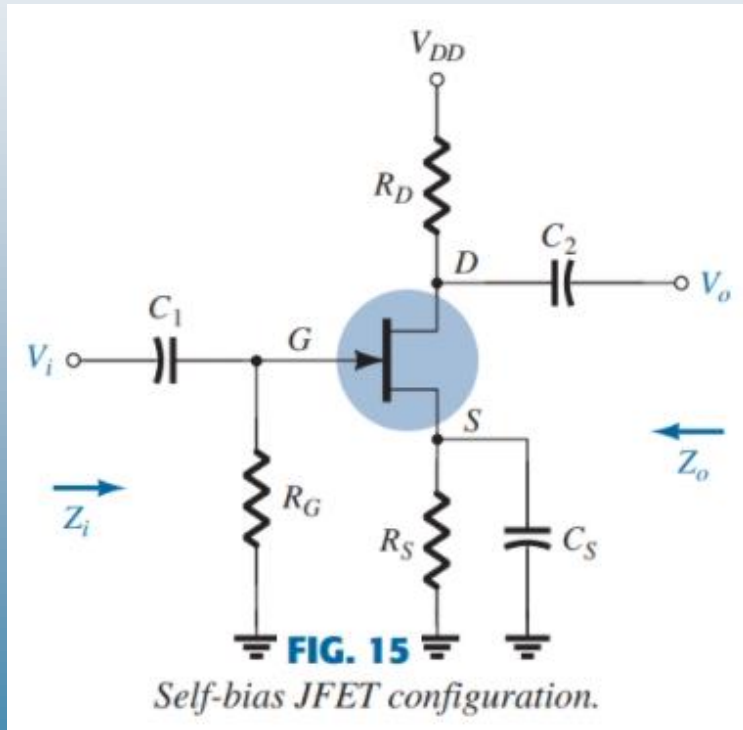
$$\begin{aligned} \text{a. } g_{m0} &= \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(10 \text{ mA})}{8 \text{ V}} = 2.5 \text{ mS} \\ g_m &= g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 2.5 \text{ mS} \left( 1 - \frac{(-2 \text{ V})}{(-8 \text{ V})} \right) = 1.88 \text{ mS} \\ \text{b. } r_d &= \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{40 \mu\text{S}} = 25 \text{ k}\Omega \\ \text{c. } Z_i &= R_G = 1 \text{ M}\Omega \\ \text{d. } Z_o &= R_D \parallel r_d = 2 \text{ k}\Omega \parallel 25 \text{ k}\Omega = 1.85 \text{ k}\Omega \\ \text{e. } A_v &= -g_m(R_D \parallel r_d) = -(1.88 \text{ mS})(1.85 \text{ k}\Omega) \\ &= -3.48 \\ \text{f. } A_v &= -g_m R_D = -(1.88 \text{ mS})(2 \text{ k}\Omega) = -3.76 \end{aligned}$$



- (f) şıkında gösterildiği gibi,  $r_d$  ve  $R_D$  arasında  $25 \text{ k}\Omega : 2 \text{ k}\Omega = 12.5:1$ 'lik bir oran, çözümde %8'lik bir farkla sonuçlanır.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (1)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmesi:



# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (2)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmesi:

$Z_i$

$$Z_i = R_G$$

$Z_o$

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

$$Z_o \cong R_D$$

$$r_d \geq 10R_D$$

$A_v$

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

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

$$A_v = -g_m R_D$$

$$r_d \geq 10R_D$$

- Devre girişi ile çıkışı arasında  $180^\circ$  faz kayması vardır.

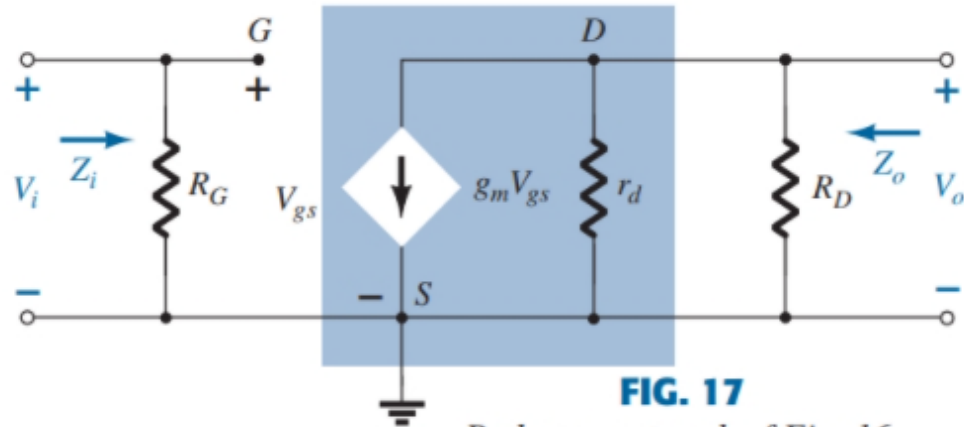


FIG. 17

Redrawn network of Fig. 16.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (3)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmemesi:

$Z_i$

$$Z_i = R_G$$

$Z_o$

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0}$$

- Şekil 18'de  $V_i = 0$  V olursa, geçit terminali toprak potansiyelinde (0 V) olur.  $R_G$  üzerindeki voltaj 0 V olur ve  $R_G$  direnci kısa devre olur. Kirchhoff'un akım kanununu uygularsak, aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

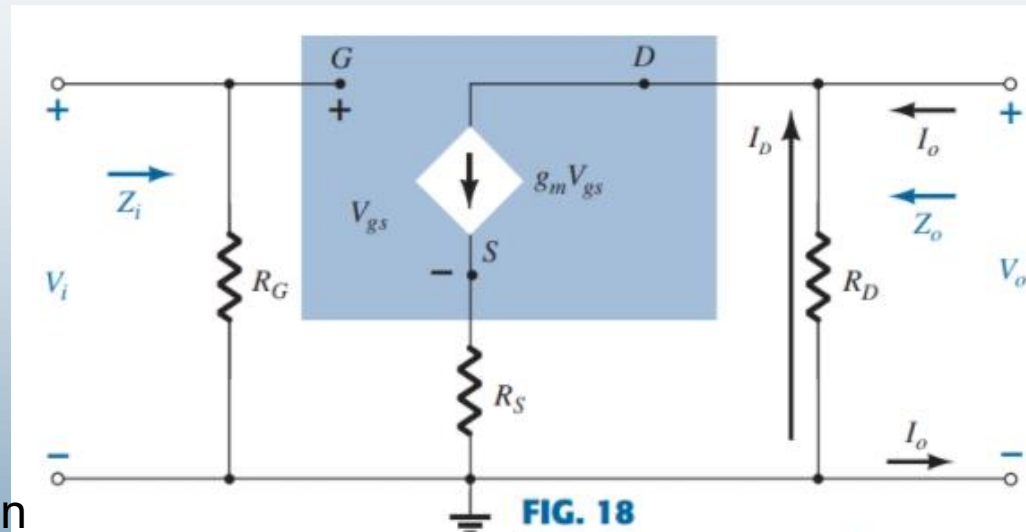


FIG. 18  
Self-bias JFET configuration including the effects of  $R_S$  with  $r_d = \infty \Omega$ .

$$I_o + I_D = -g_m(I_o + I_D)R_S = -g_m I_o R_S - g_m I_D R_S$$

$$I_o[1 + g_m R_S] = -I_D[1 + g_m R_S]$$

$$I_o = -I_D \text{ Çünkü, } g_m V_{gs} = 0 \text{ A}$$

$$V_o = -I_D R_D$$

$$V_o = -(-I_o)R_D = I_o R_D$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = R_D$$

$r_d = \infty \Omega$

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (4)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmemesi:

$Z_o$

Devreye  $r_d$  dahil edilirse, eşdeğer devre Şekil 19'da gösterildiği gibi görünecektir.

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0\text{ V}} = -\frac{I_D R_D}{I_o}$$

- Kirchhoff'un akım kanununu uygularsak aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

$$I_o = g_m V_{gs} + I_{r_d} - I_D$$

$$V_{r_d} = V_o + V_{gs}$$

$$I_o = g_m V_{gs} + \frac{V_o + V_{gs}}{r_d} - I_D$$

$$V_{gs} = -(I_D + I_o)R_S \text{ olduğuna göre,}$$

$$V_o = -I_D R_D \text{ olduğuna göre,}$$

$$I_o = \left( g_m + \frac{1}{r_d} \right) V_{gs} - \frac{I_D R_D}{r_d} - I_D$$

$$I_o = -\left( g_m + \frac{1}{r_d} \right) (I_D + I_o) R_S - \frac{I_D R_D}{r_d} - I_D$$

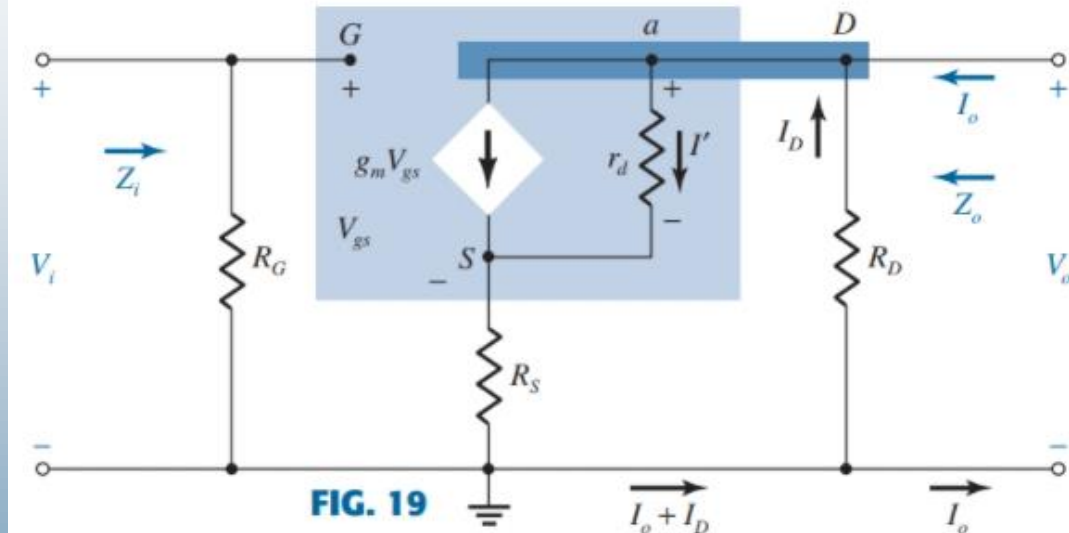


FIG. 19

Including the effects of  $r_d$  in the self-bias JFET configuration.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (5)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmemesi:

$Z_o$

$$I_o \left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} \right] = -I_D \left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right]$$

$$I_o = \frac{-I_D \left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right]}{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}}$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{-I_D R_D}{\frac{-I_D \left( 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right)}{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}}}$$

$$Z_o = \frac{\left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} \right]}{\left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right]} R_D$$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:  $\left( 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} \right) \gg \frac{R_D}{r_d}$

$$1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \cong 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}$$

$$\boxed{Z_o \cong R_D} \quad r_d \geq 10R_D$$

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (6)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmemesi:

$A_v$

Şekil 19'daki devre için, Kirchhoff'un voltaj yasasının giriş devresine uygulanması şu şekilde sonuçlanır:

$$V_i - V_{gs} - V_{R_S} = 0 \Rightarrow V_{gs} = V_i - I_D R_S$$

- Kirchhoff'un voltaj kanununu kullanırsak  $r_d$  üzerindeki voltaj şu şekilde yazılabilir:

$$V_{r_d} = V_o - V_{R_S} \Rightarrow I' = \frac{V_{r_d}}{r_d} = \frac{V_o - V_{R_S}}{r_d}$$

- Kirchhoff'un akım kanununu kullanırsak:

$$I_D = g_m V_{gs} + \frac{V_o - V_{R_S}}{r_d}$$

- Yukarıdaki denklemde  $V_{gs}$ ,  $V_o$  ve  $V_{R_S}$  yerine  $I_D$  cinsinden yazarsak:

$$I_D = g_m [V_i - I_D R_S] + \frac{(-I_D R_D) - (I_D R_S)}{r_d} \Rightarrow I_D \left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d} \right] = g_m V_i \Rightarrow I_D = \frac{g_m V_i}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$



# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (7)

- $R_S$  direncinin  $C_S$  kapasitörü ile baypas edilmemesi:

$A_v$

Çıkış voltajı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_o = -I_D R_D = -\frac{g_m R_D V_i}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

- Eğer  $r_d \geq 10(R_D + R_S)$  ise:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} \quad r_d \geq 10(R_D + R_S)$$

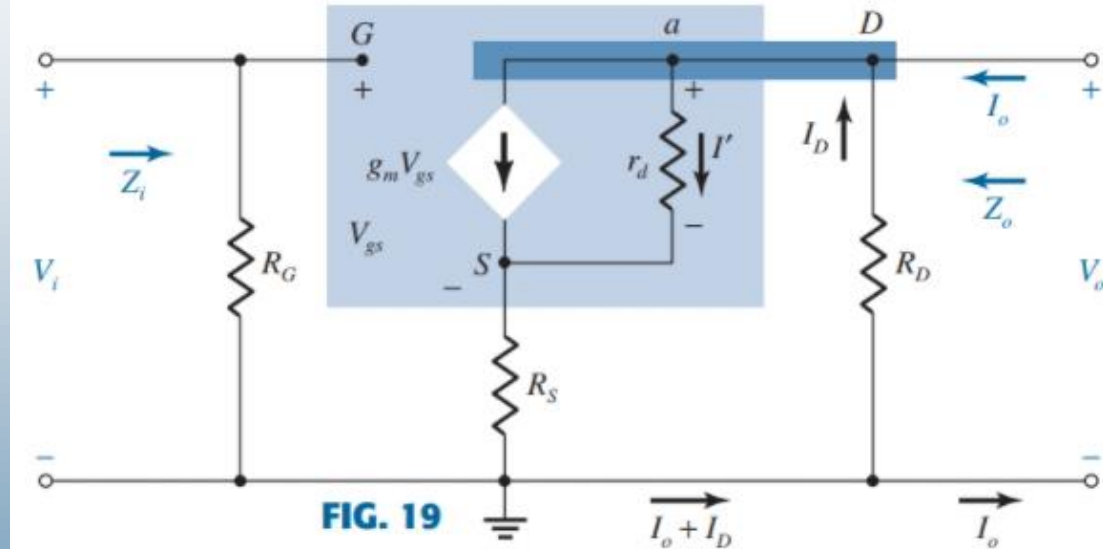


FIG. 19

*Including the effects of  $r_d$  in the self-bias JFET configuration.*

- Devre girişi ile çıkışı arasında  $180^\circ$  faz kayması vardır.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (8)

- **Örnek 8:** Örnek 2'nin öz polarlamalı konfigürasyonu,  $V_{GSQ} = -2.6 \text{ V}$  ve  $I_{DQ} = 2.6 \text{ mA}$ ,  $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$  ve  $V_P = -6 \text{ V}$  ile tanımlanan bir Q-noktasına sahiptir. Devre, uygulanan bir  $V_i$  sinyali ile Şekil 20'deki gibi yeniden çizildi.  $g_{os}$ 'un değeri  $20 \text{ mS}$  olarak verilmiştir. Aşağıdaki parametreleri bulun: (a)  $g_m$ , (b)  $r_d$ , (c)  $Z_i$ , (d)  $Z_o$ , (e)  $A_v$ . Not: (d) ve (e) şıklarında, önce  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alarak, daha sonra göz ardı ederek hesaplamaları yapın, daha sonra sonuçları karşılaştırın.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (9)

- Örnek 8: (Devamı)
- Çözüm:

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

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

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

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

$$\text{d. } r_d\text{'nin etkilerini dikkate alırsak: } r_d = 50 \text{ k}\Omega > 10R_D = 33 \text{ k}\Omega$$

$$Z_o = R_D = 3.3 \text{ k}\Omega \text{ Eğer } r_d = \infty \Omega \text{ olarak alırsak: } Z_o = R_D = 3.3 \text{ k}\Omega$$

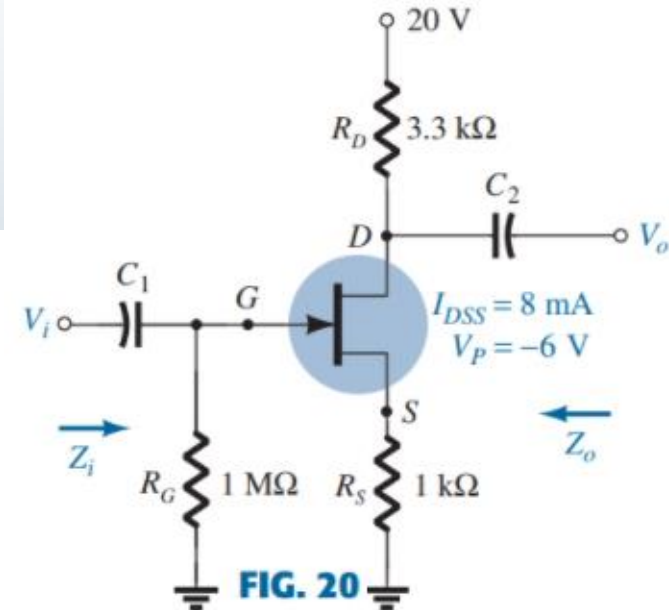


FIG. 20  
Network for Example 8.

# Ortak-Kaynak Öz Polarlama Konfigürasyonu (10)

- Örnek 8: (Devamı)

e.  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alırsak:

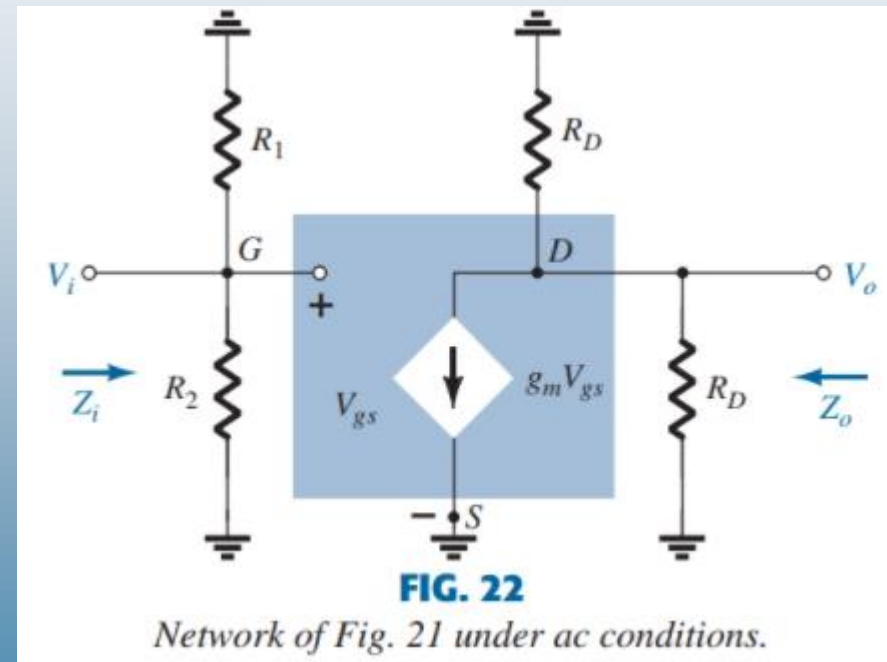
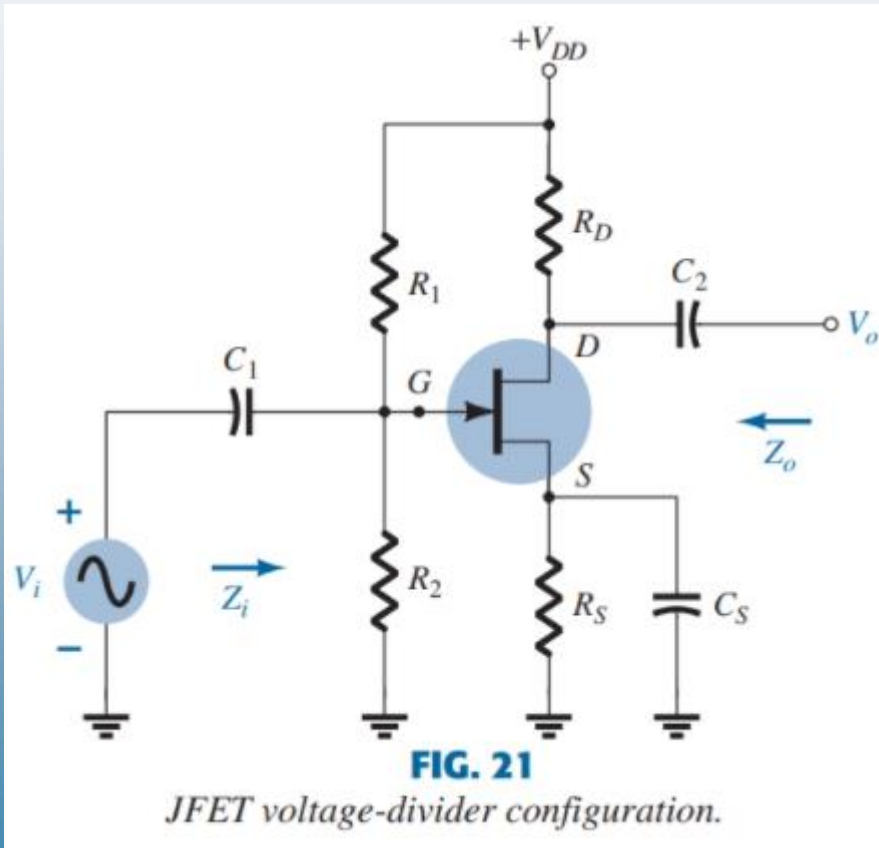
$$A_v = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} = \frac{-(1.51 \text{ mS})(3.3 \text{ k}\Omega)}{1 + (1.51 \text{ mS})(1 \text{ k}\Omega) + \frac{3.3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega}} = -1.92$$

Eğer  $r_d = \infty \Omega$  olarak alırsak:

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

- Yukarıdaki sonuçlardan,  $r_d \geq 10(R_D + R_S)$  koşulu sağlandığı için  $r_d$ 'nin etkisinin minimum olduğunu gözlemleyebiliriz. Ayrıca, bir JFET yükseltecinin tipik kazancının, benzer konfigürasyonlara sahip BJT'ler için genel olarak karşılaşılandan daha az olduğuna dikkat edin. Bununla birlikte, JFET'in giriş empedansının ( $Z_i$ ) bir BJT'nin tipik giriş empedansından çok daha büyük olduğunu ve bunun sistemin genel kazancı üzerinde çok olumlu bir etkisi olacağını unutmayın.

# Ortak-Kaynak Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (1)



# Ortak-Kaynak Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (2)

 $\mathbf{z}_i$ 

$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$

 $z_0$ 

Eğer  $V_i = 0$  V olarak alırsak,  $V_{gs}$  ve  $g_m V_{gs}$  de sıfır olur. Dolayısıyla, çıkış empedansını aşağıdaki gibi elde ederiz:  $Z_o = r_d \parallel R_D$

$$Z_o = r_d || R_D$$

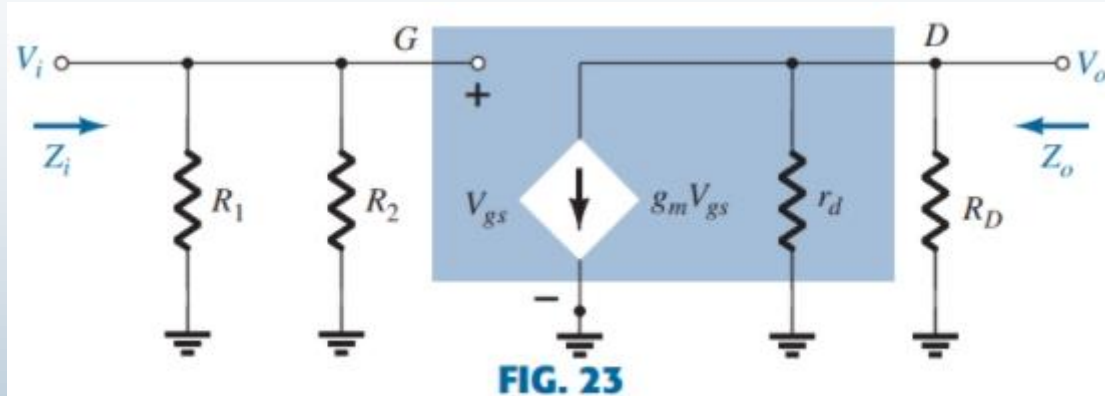


FIG. 23

Redrawn network of Fig. 22.

Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

$$Z_o \cong R_D$$

$$r_d \geq 10R_D$$
 $A_v$ 

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

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

Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

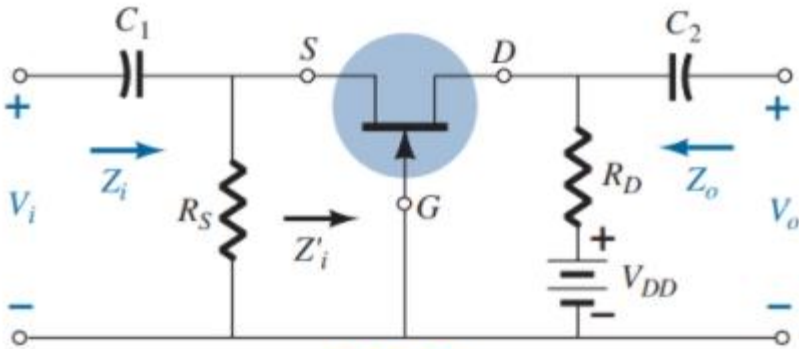
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -g_m R_D$$

$$r_d \geq 10R_D$$

Sonsuz paralel herhangi bir  $ey$   
herhangi bir  $ey$ dir  
Kısa devre paralel herhangi bir  $ey$  kısa  
devredir

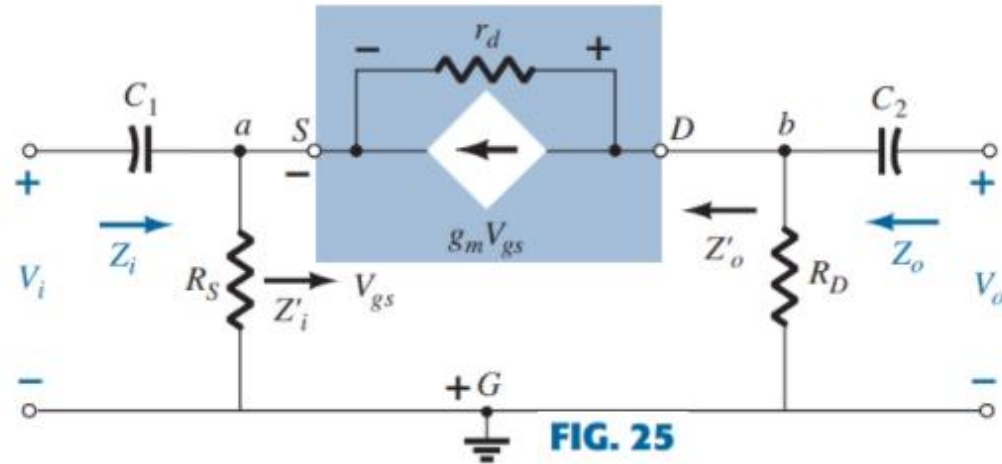
$Z_o$  ve  $A_v$  denklemlerinin, sabit polarlamalı ve öz-polarlamalı (baypas edilmiş  $R_S$  ile) konfigürasyonlar için elde edilenlerle aynı olduğuna dikkat edin. Tek fark,  $R_1$  ve  $R_2$ 'nin paralel kombinasyonuna duyarlı olan  $Z_i$  denklemidir.

# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (1)



**FIG. 24**

*JFET common-gate configuration.*



**FIG. 25**

*Network of Fig. 24 following substitution of JFET ac equivalent model.*

**Z<sub>o</sub>**

Şekil 25'te  $V_i = 0$  V olarak alırsak,  $R_S$  "kısa devre" olacak ve  $V_{gs}$ 'yi 0 V yapacaktır. Sonuç olarak  $g_m V_{gs} = 0$  olacak ve  $r_d$ ,  $R_D$  ile paralel olacaktır.

Böylece,

$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

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



# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (2)

$Z_i$

$$V' = -V_{gs}$$

$$\begin{aligned} V' - V_{r_d} - V_{R_D} &= 0 \\ V_{r_d} &= V' - V_{R_D} = V' - I'R_D \end{aligned}$$

$$I' + g_m V_{gs} = I_{r_d}$$

$$I' = I_{r_d} - g_m V_{gs} = \frac{(V' - I'R_D)}{r_d} - g_m V_{gs}$$

$$I' = \frac{V'}{r_d} - \frac{I'R_D}{r_d} - g_m[-V']$$

$$I' \left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right] = V' \left[ \frac{1}{r_d} + g_m \right]$$

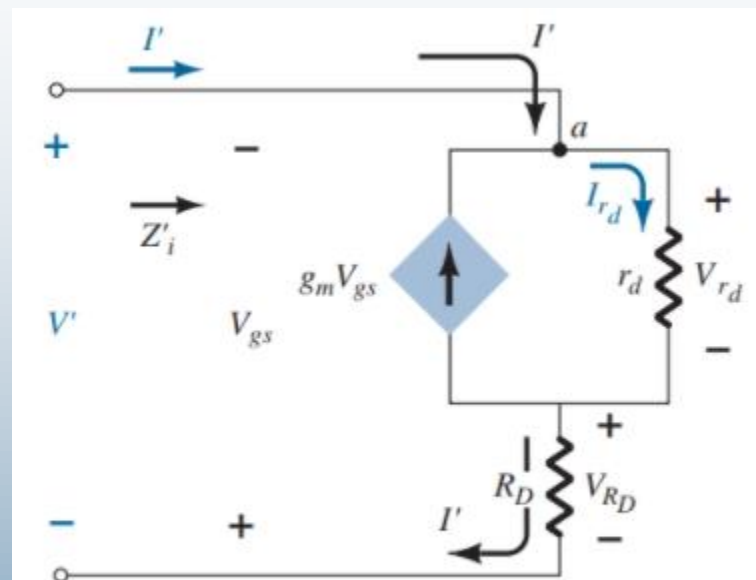
$$Z'_i = \frac{V'}{I'} = \frac{\left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[ g_m + \frac{1}{r_d} \right]}$$

$$\begin{aligned} Z'_i &= \frac{V'}{I'} = \frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \\ Z_i &= R_S \parallel Z'_i \end{aligned}$$

$$Z_i = R_S \parallel \left[ \frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right]$$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise,  $R_D/r_d \ll 1$  ve  $1/r_d \ll g_m$ ,  $Z_i$  yaklaşık olarak şu şekilde elde edilir:

$$Z'_i = \frac{\left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[ g_m + \frac{1}{r_d} \right]} \cong \frac{1}{g_m} \quad \boxed{Z_i \cong R_S \parallel 1/g_m} \quad r_d \geq 10R_D$$



**FIG. 26**

Determining  $Z'_i$  for the network of Fig. 24.



# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (3)

**$A_v$**

$$V_i = -V_{gs}$$

$$V_o = I_D R_D$$

$$V_{r_d} = V_o - V_i$$

$$I_{r_d} = \frac{V_o - V_i}{r_d}$$

$$I_{r_d} + I_D + g_m V_{gs} = 0$$

$$I_D = -I_{r_d} - g_m V_{gs}$$

$$= -\left[ \frac{V_o - V_i}{r_d} \right] - g_m [-V_i]$$

$$I_D = \frac{V_i - V_o}{r_d} + g_m V_i$$

$$V_o = I_D R_D = \left[ \frac{V_i - V_o}{r_d} + g_m V_i \right] R_D$$

$$= \frac{V_i R_D}{r_d} - \frac{V_o R_D}{r_d} + g_m R_D V_i$$

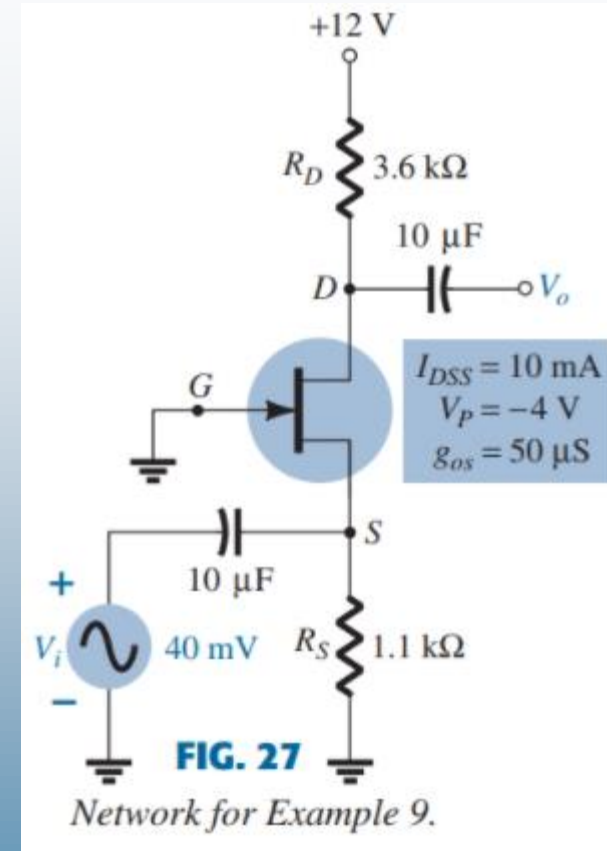
$$V_o \left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right] = V_i \left[ \frac{R_D}{r_d} + g_m R_D \right]$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\left[ g_m R_D + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right]}$$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:  $A_v \cong g_m R_D$   $r_d \geq 10R_D$
- Faz ilişkisi:**  $A_v$ 'ın pozitif olması,  $V_o$  ve  $V_i$  aynı fazda olduğunu göstermektedir.

# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (4)

- **Örnek 9:** Şekil 27'deki devre ortak-geçit konfigürasyonuna benzemese bile, yakından incelendiğinde Şekil 24'teki devreye benzediği ortaya çıkacaktır.  $V_{GSQ} = -2.2\text{ V}$  ve  $I_{DQ} = 2.03\text{ mA}$  ise, aşağıdaki parametreleri bulun: (a)  $g_m$ , (b)  $r_d$ , (c)  $Z_i$ , (d)  $Z_o$ , (e)  $V_o$ . Not: (c), (d) ve (e) şıklarında, önce  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alarak, daha sonra göz ardı ederek hesaplamaları yapın, daha sonra sonuçları karşılaştırın.



# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (5)

- Örnek 9: (Devamı)
- Çözüm:

$$\begin{aligned}\text{a. } g_{m0} &= \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(10 \text{ mA})}{4 \text{ V}} = 5 \text{ mS} \\ g_m &= g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 5 \text{ mS} \left( 1 - \frac{(-2.2 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right) = 2.25 \text{ mS} \\ \text{b. } r_d &= \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{50 \mu\text{S}} = 20 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

c.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $Z_i$  şu şekilde elde edilir:

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

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $Z_i$  şu şekilde elde edilir:

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

# Ortak-Geçit Konfigürasyonu (6)

- Örnek 9: (Devamı)

d.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

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

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

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

e.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

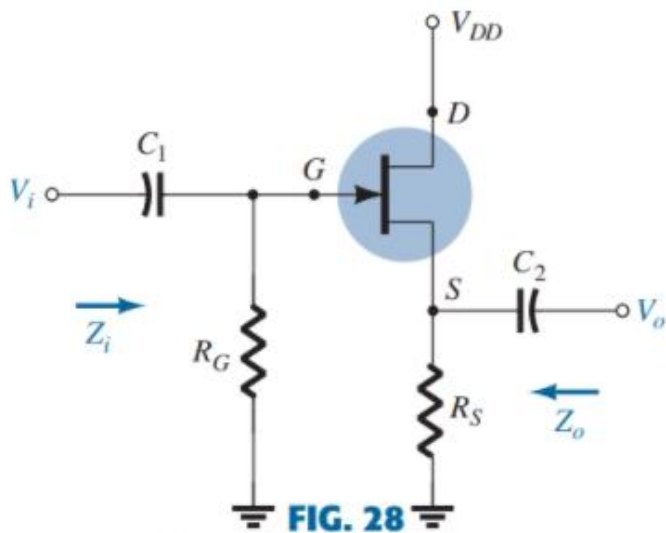
$$A_v = \frac{\left[ g_m R_D + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right]} = \frac{\left[ (2.25 \text{ mS})(3.6 \text{ k}\Omega) + \frac{3.6 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} \right]}{\left[ 1 + \frac{3.6 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} \right]} = \frac{8.1 + 0.18}{1 + 0.18} = \mathbf{7.02}$$
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow V_o = A_v V_i = (7.02)(40 \text{ mV}) = \mathbf{280.8 \text{ mV}}$$

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

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

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

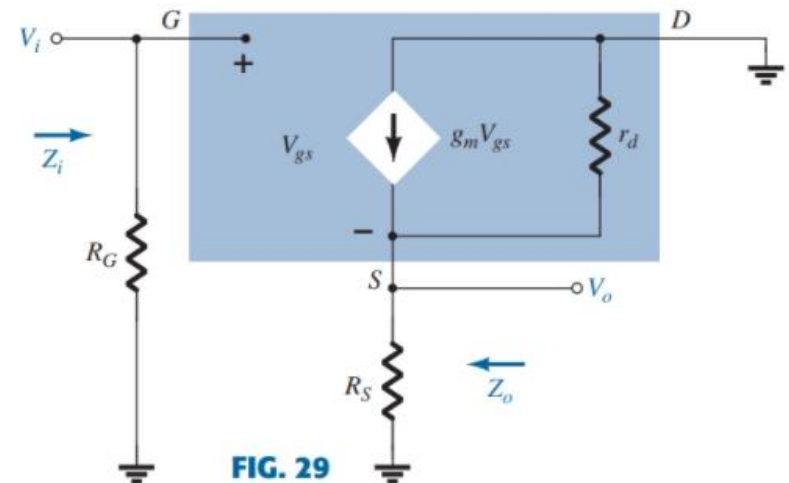
# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (1)



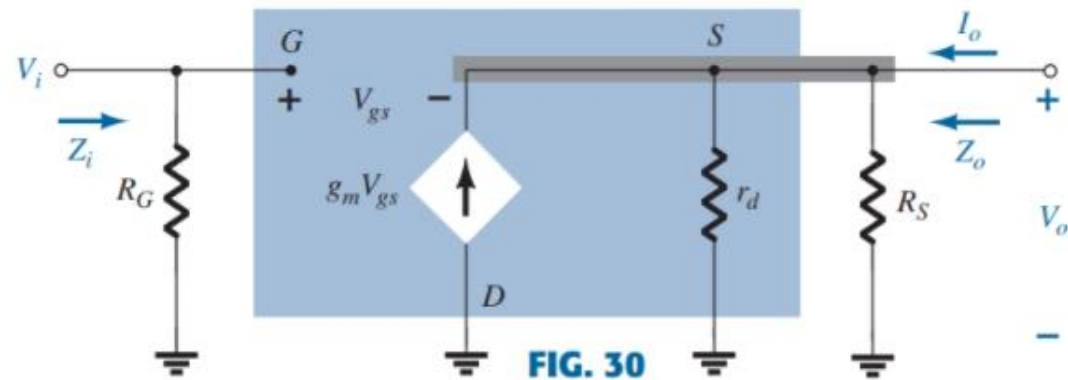
JFET source-follower configuration.

$Z_i$

$$Z_i = R_G$$



Network of Fig. 28 following the substitution of the JFET ac equivalent model.



Network of Fig. 29 redrawn.

# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (2)

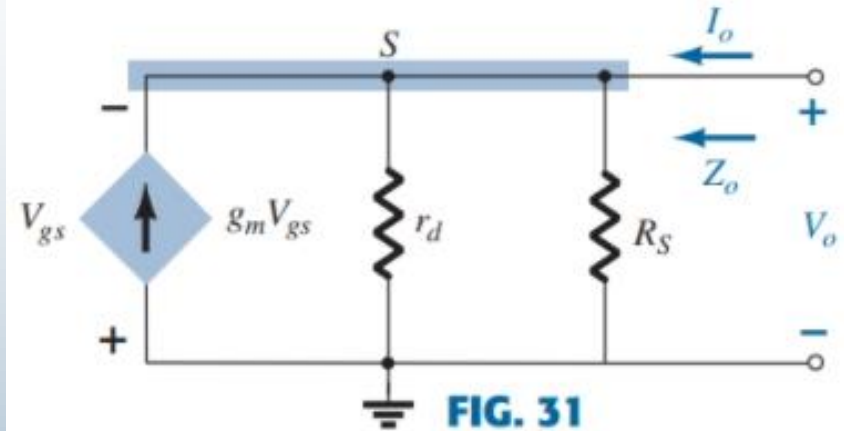
**Z<sub>o</sub>** Eğer  $V_i = 0$  V olarak alırsak, geçit terminali Şekil 31'de gösterildiği gibi doğrudan toprağa bağlanır.  $V_{gs}$  ve  $V_o$ 'nun aynı paralel devre üzerinde olması,  $V_o = -V_{gs}$  ile sonuçlanır. Kirchhoff'un akım kanununu S düğümünde uygulayarak, aşağıdaki sonucu ederiz:

$$I_o + g_m V_{gs} = I_{r_d} + I_{R_S} = \frac{V_o}{r_d} + \frac{V_o}{R_S}$$

$$I_o = V_o \left[ \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} \right] - g_m V_{gs} = V_o \left[ \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} \right] - g_m [-V_o] = V_o \left[ \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + g_m \right]$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_o}{V_o \left[ \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + g_m \right]} = \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + g_m} = \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + \frac{1}{1/g_m}}$$

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



**FIG. 31**  
Determining  $Z_o$  for the network of Fig. 30.

- Eğer  $r_d \geq 10R_S$  ise:

$$Z_o \cong R_S \parallel 1/g_m \quad r_d \geq 10R_S$$

# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (3)

$A_v$

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

$$\begin{aligned} V_i &= V_{gs} + V_o \\ V_{gs} &= V_i - V_o \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_o &= g_m (V_i - V_o) (r_d \parallel R_S) \\ V_o &= g_m V_i (r_d \parallel R_S) - g_m V_o (r_d \parallel R_S) \\ V_o [1 + g_m (r_d \parallel R_S)] &= g_m V_i (r_d \parallel R_S) \end{aligned}$$

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

• Eğer  $r_d \geq 10R_S$  ise:

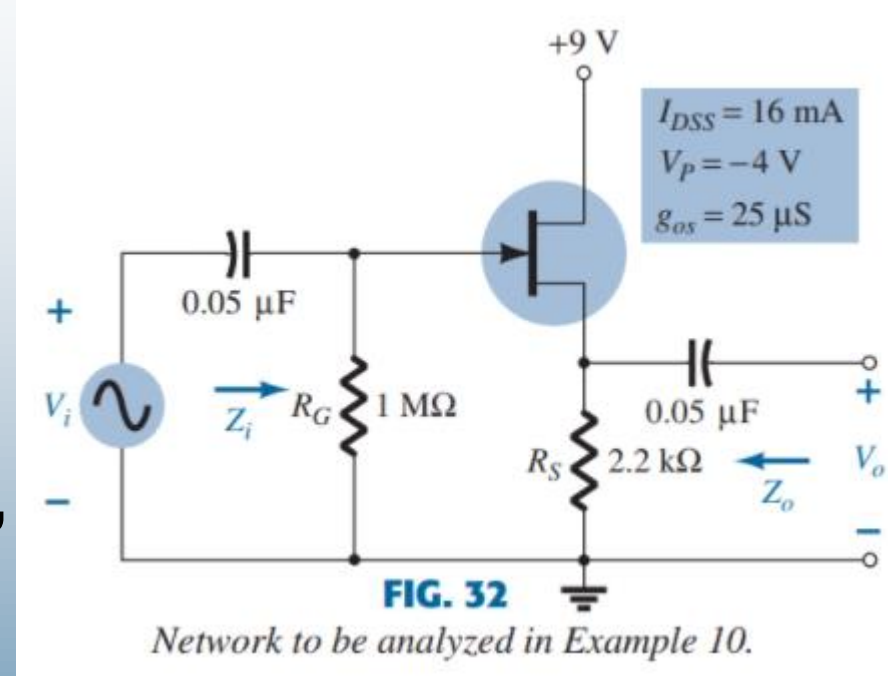
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \quad r_d \geq 10R_S$$

- Kazanç denkleminin paydası paydan bir kat daha büyük olduğu için, kazanç hiçbir zaman birden büyük olamaz (emitör-sürücü BJT devresinde olduğu gibi).
- **Faz ilişkisi:**  $A_v$ 'ın pozitif olması,  $V_o$  ve  $V_i$  aynı fazda olduğunu göstermektedir.



# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (4)

- **Örnek 10:** Şekil 32'deki kaynak-sürücü devresinin noktası,  $V_{GSQ} = -2.86$  V ve  $I_{DQ} = 4.56$  mA olarak verilmiştir. Aşağıdaki parametreleri bulun: (a)  $g_m$ , (b)  $r_d$ , (c)  $Z_i$ , (d)  $Z_o$ , (e)  $A_v$ .



- Not: (d) ve (e) şıklarında, önce  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alarak, daha sonra göz ardı ederek hesaplamaları yapın, daha sonra sonuçları karşılaştırın.



# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (5)

- Örnek 10: (Devamı)
- Çözüm:

$$\begin{aligned} \text{a. } g_{m0} &= \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(16 \text{ mA})}{4 \text{ V}} = 8 \text{ mS} \\ g_m &= g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 8 \text{ mS} \left( 1 - \frac{(-2.86 \text{ V})}{(-4 \text{ V})} \right) = \mathbf{2.28 \text{ mS}} \\ \text{b. } r_d &= \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{25 \mu\text{S}} = \mathbf{40 \text{ k}\Omega} \\ \text{c. } Z_i &= R_G = \mathbf{1 \text{ M}\Omega} \end{aligned}$$

d.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

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

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

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

# Kaynak-Sürücü (Ortak-Drenaj) Konfigürasyonu (6)

- Örnek 10: (Devamı)

e.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

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

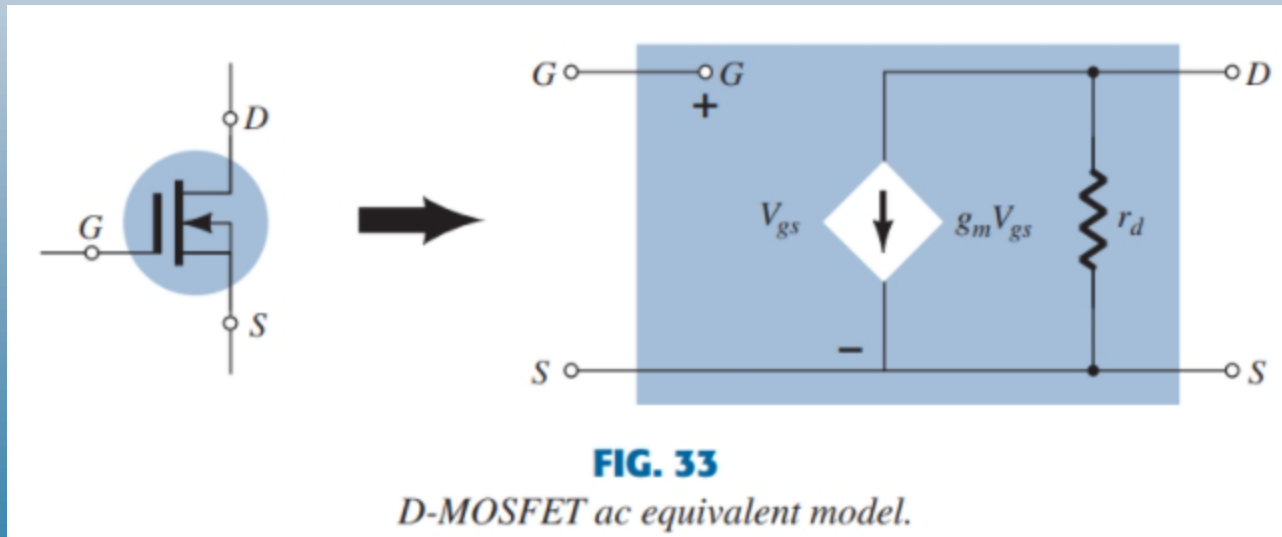
$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

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

- Yukarıdaki sonuç,  $r_d$ 'nin kazanç üzerinde genellikle çok az etkiye sahip olduğunu gösterir.

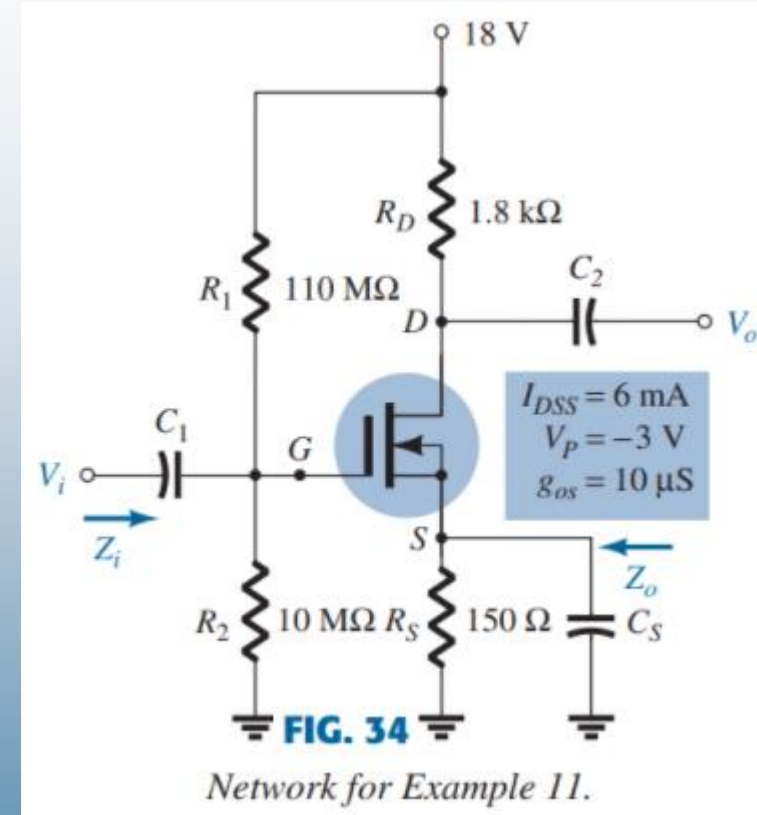
# D-MOSFET'ler (1)

- Shockley denklemi, D-MOSFET'ler için de geçerlidir. Aslında, Şekil 33'te gösterilen D-MOSFET ac eşdeğer modeli, Şekil 8'de gösterilen JFET ac eşdeğer modeli ile tamamen aynıdır. D-MOSFET'lerin tek farkı,  $V_{GSQ}$ 'nun  $n$ -kanallı aygıtlar için pozitif,  $p$ -kanallı aygıtlar için negatif olabilmesidir. Sonuç olarak, aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi,  $g_m$ 'nin  $g_{m0}$ 'dan büyük olabileceğidir.  $r_d$  direnciğin değerleri ise, JFET'lere çok benzer.



# D-MOSFET'ler (2)

- **Örnek 11:** Örnek 7'de analiz edilen Şekil 34'teki devre için, Q-noktası  $V_{GSQ} = 0.35 \text{ V}$  ve  $I_{DQ} = 7.6 \text{ mA}$ 'dır olarak verilmiştir. Aşağıdaki parametreleri bulun:  
(a)  $g_m$  ve  $g_{m0}$  ile karşılaştırın,  
(b)  $r_d$ , (c) Şekil 34 için ac eşdeğer devresini çizin, (d)  $Z_i$ ,  
(e)  $Z_o$ , (f)  $A_v$
- **Çözüm:**



# D-MOSFET'ler (3)

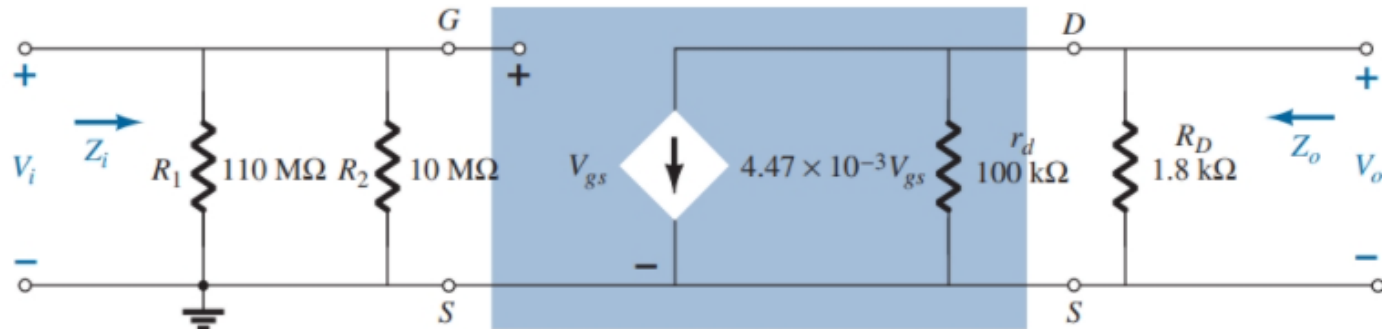
## • Örnek 11: (Devamı)

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

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

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

(c) Şekil 34 için ac eşdeğer devresi Şekil 35'te gösterilmiştir.



**FIG. 35**

*AC equivalent circuit for Fig. 34.*

$$\text{d. Eq. (28): } Z_i = R_1 \parallel R_2 = 10 \text{ M}\Omega \parallel 110 \text{ M}\Omega = \mathbf{9.17 \text{ M}\Omega}$$

$$\text{e. Eq. (29): } Z_o = r_d \parallel R_D = 100 \text{ k}\Omega \parallel 1.8 \text{ k}\Omega = \mathbf{1.77 \text{ k}\Omega} \cong R_D = \mathbf{1.8 \text{ k}\Omega}$$

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

$$A_v = -g_m R_D = -(4.47 \text{ mS})(1.8 \text{ k}\Omega) = \mathbf{8.05}$$

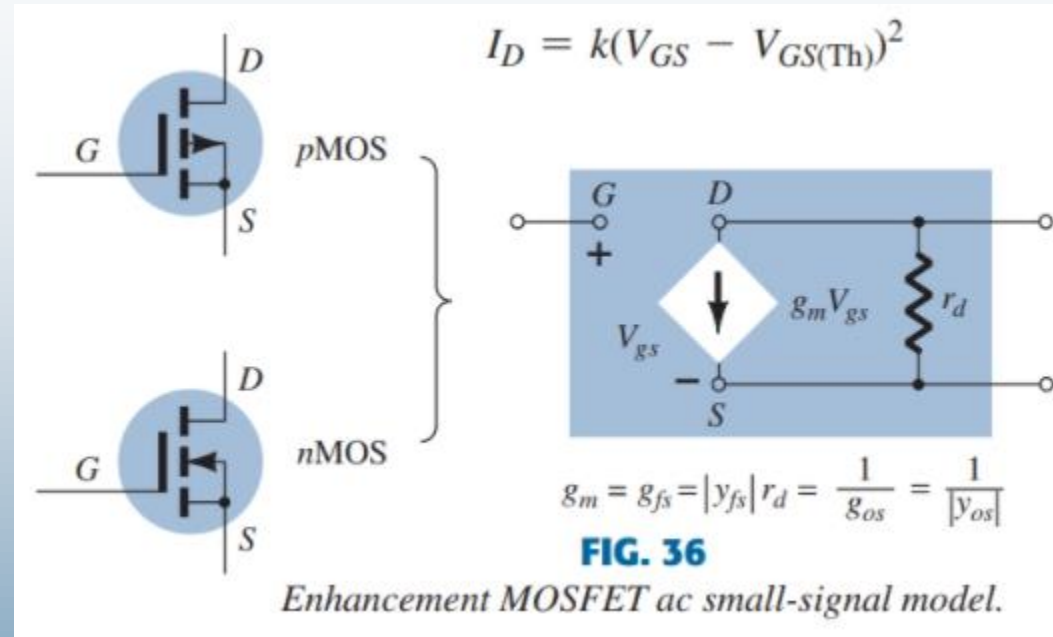
# E-MOSFET'ler

- $g_m$  ve  $r_d$  değerleri, FET'in özellik sayfasından bulunabilir.

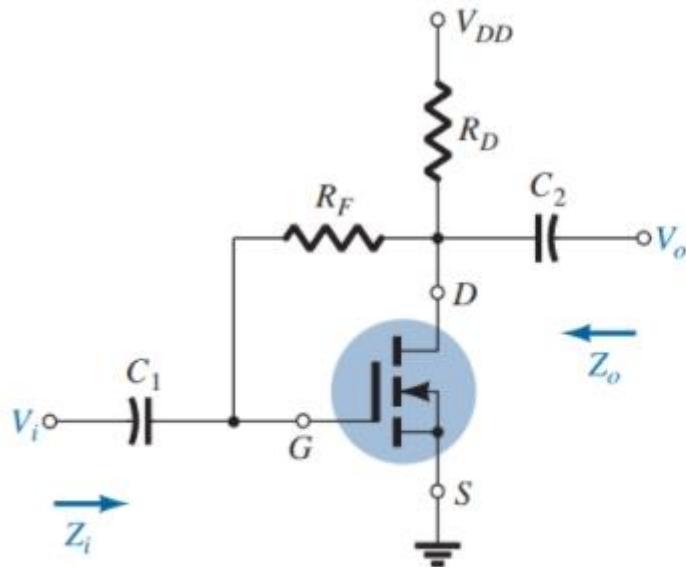
$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \frac{d}{dV_{GS}} k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 = k \frac{d}{dV_{GS}} (V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \\ &= 2k(V_{GS} - V_{GS(Th)}) \frac{d}{dV_{GS}} (V_{GS} - V_{GS(Th)}) = 2k(V_{GS} - V_{GS(Th)})(1 - 0) \end{aligned}$$

$$g_m = 2k(V_{GS_Q} - V_{GS(Th)})$$

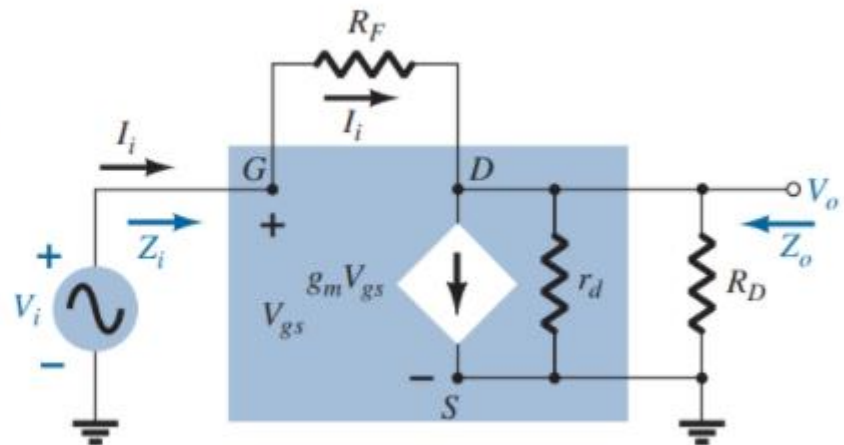


# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (1)



**FIG. 37**

*E-MOSFET drain-feedback configuration.*



**FIG. 38**

*AC equivalent of the network of Fig. 37.*

# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (2)

$Z_i$

$$I_i = g_m V_{gs} + \frac{V_o}{r_d \parallel R_D}$$

$$V_{gs} = V_i$$

$$I_i = g_m V_i + \frac{V_o}{r_d \parallel R_D}$$

$$I_i - g_m V_i = \frac{V_o}{r_d \parallel R_D}$$

$$V_o = (r_d \parallel R_D)(I_i - g_m V_i)$$

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

$$\begin{aligned} I_i R_F &= V_i - (r_d \parallel R_D) I_i + (r_d \parallel R_D) g_m V_i \\ V_i [1 + g_m (r_d \parallel R_D)] &= I_i [R_F + r_d \parallel R_D] \end{aligned}$$

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{R_F + r_d \parallel R_D}{1 + g_m (r_d \parallel R_D)}$$

- Tipik olarak,  $R_F \gg r_d \parallel R_D$ , böylece

$$Z_i \cong \frac{R_F}{1 + g_m (r_d \parallel R_D)}$$

- Eğer  $r_d \geq 10 R_D$  ise:

$$Z_i \cong \frac{R_F}{1 + g_m R_D}$$

$$R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10 R_D$$



# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (3)

$Z_o$

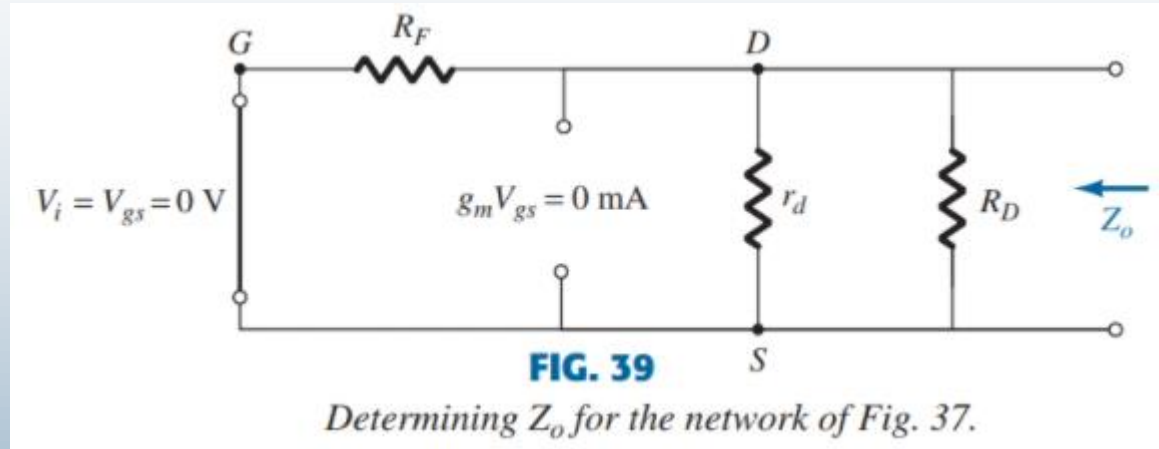
- $V_i = 0$  V ise, Şekil 39'da gösterildiği gibi geçit terminalinden toprağa kısa devre oluşur ve  $V_{gs} = 0$  V ve  $g_m V_{gs} = 0$  olur. Bu durumda  $R_F$ ,  $r_d$  ve  $R_D$  dirençleri birbirine paralel olur. Böylece,

$$Z_o = R_F \parallel r_d \parallel R_D$$

- Tipik olarak,  $R_F \gg r_d \parallel R_D$ , böylece  $Z_o \cong r_d \parallel R_D$

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

$$Z_o \cong R_D \quad R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10R_D$$



# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (4)

$A_v$

$$I_i = g_m V_{gs} + \frac{V_o}{r_d \parallel R_D}$$

$$V_{gs} = V_i \quad \text{ve} \quad I_i = \frac{V_i - V_o}{R_F}$$

$$\begin{aligned} \frac{V_i - V_o}{R_F} &= g_m V_i + \frac{V_o}{r_d \parallel R_D} \\ \frac{V_i}{R_F} - \frac{V_o}{R_F} &= g_m V_i + \frac{V_o}{r_d \parallel R_D} \\ V_o \left[ \frac{1}{r_d \parallel R_D} + \frac{1}{R_F} \right] &= V_i \left[ \frac{1}{R_F} - g_m \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v = \frac{V_o}{V_i} &= \frac{\left[ \frac{1}{R_F} - g_m \right]}{\left[ \frac{1}{r_d \parallel R_D} + \frac{1}{R_F} \right]} \\ \frac{1}{r_d \parallel R_D} + \frac{1}{R_F} &= \frac{1}{R_F \parallel r_d \parallel R_D} \end{aligned}$$

- Tipik olarak,  $g_m \gg \frac{1}{R_F}$  Böylece,

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

- Tipik olarak,  $R_F \gg r_d \parallel R_D$ . Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise,

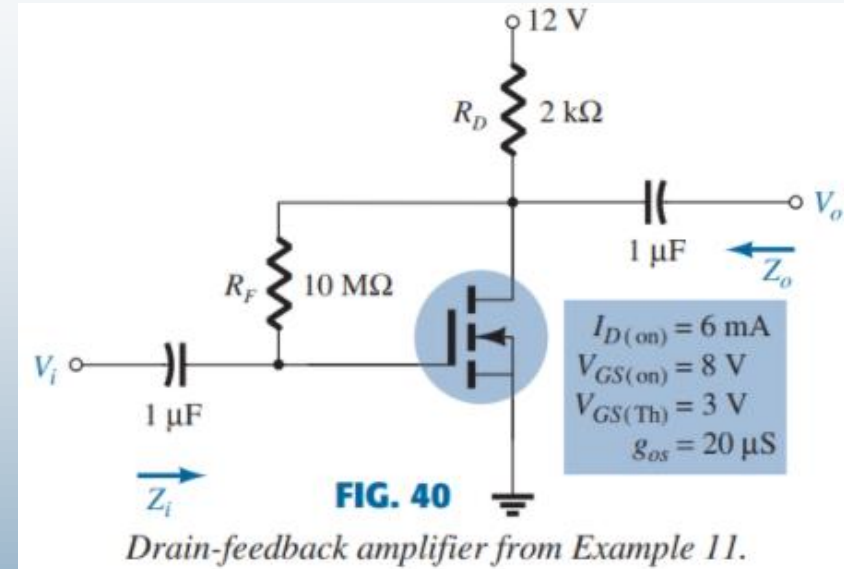
$$A_v \cong -g_m R_D$$

$$R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10R_D$$

# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (5)

- **Örnek 12:** Şekil 40'taki E-MOSFET devresi için,  $k = 0.24 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2$ ,  $V_{GSQ} = 6.4 \text{ V}$  ve  $I_{DQ} = 2.75 \text{ mA}$ .

Aşağıdaki parametreleri bulun: (a)  $g_m$ , (b)  $r_d$ , (c)  $Z_i$ , (d)  $Z_o$ , (e)  $A_v$ .



- Not: (c), (d) ve (e) şıklarında, önce  $r_d$ 'nin etkilerini dikkate alarak, daha sonra göz ardı ederek hesaplamaları yapın, daha sonra sonuçları karşılaştırın.

# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (6)

- Örnek 12: (Devamı)
- Çözüm:

$$\text{a. } g_m = 2k(V_{GS_Q} - V_{GS(\text{Th})}) = 2(0.24 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2)(6.4 \text{ V} - 3 \text{ V}) \\ = \mathbf{1.63 \text{ mS}}$$

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

c.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $Z_i$  şu şekilde elde edilir:

$$Z_i = \frac{R_F + r_d \parallel R_D}{1 + g_m(r_d \parallel R_D)} = \frac{10 \text{ M}\Omega + 50 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega}{1 + (1.63 \text{ mS})(50 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega)} \\ = \frac{10 \text{ M}\Omega + 1.92 \text{ k}\Omega}{1 + 3.13} = \mathbf{2.42 \text{ M}\Omega}$$

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $Z_i$  şu şekilde elde edilir:

$$Z_i \cong \frac{R_F}{1 + g_m R_D} = \frac{10 \text{ M}\Omega}{1 + (1.63 \text{ mS})(2 \text{ k}\Omega)} = \mathbf{2.53 \text{ M}\Omega}$$

# E-MOSFET Drenaj Geri Besleme Konfigürasyonu (7)

- Örnek 12: (Devamı)

d.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

$$Z_o = R_F \parallel r_d \parallel R_D = 10 \text{ M}\Omega \parallel 50 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega = 49.75 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega \\ = 1.92 \text{ k}\Omega$$

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $Z_o$  şu şekilde elde edilir:

$$Z_o \cong R_D = 2 \text{ k}\Omega$$

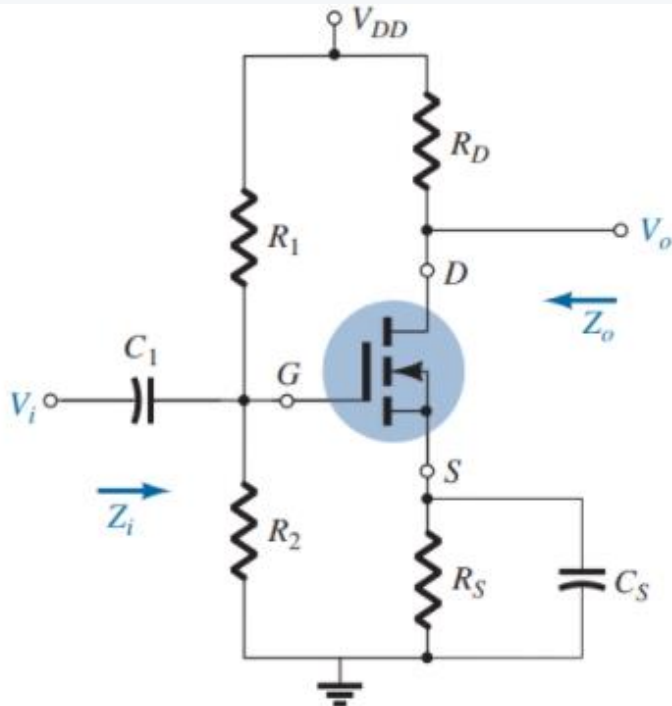
e.  $r_d$  direncinin etkisini dikkate alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

$$A_v = -g_m(R_F \parallel r_d \parallel R_D) \\ = -(1.63 \text{ mS})(10 \text{ M}\Omega \parallel 50 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega) \\ = -(1.63 \text{ mS})(1.92 \text{ k}\Omega) \\ = -3.21$$

$r_d = \infty$  olarak alırsak,  $A_v$  şu şekilde elde edilir:

$$A_v = -g_m R_D = -(1.63 \text{ mS})(2 \text{ k}\Omega) \\ = -3.26$$

# E-MOSFET Voltaj Bölücü Konfigürasyonu

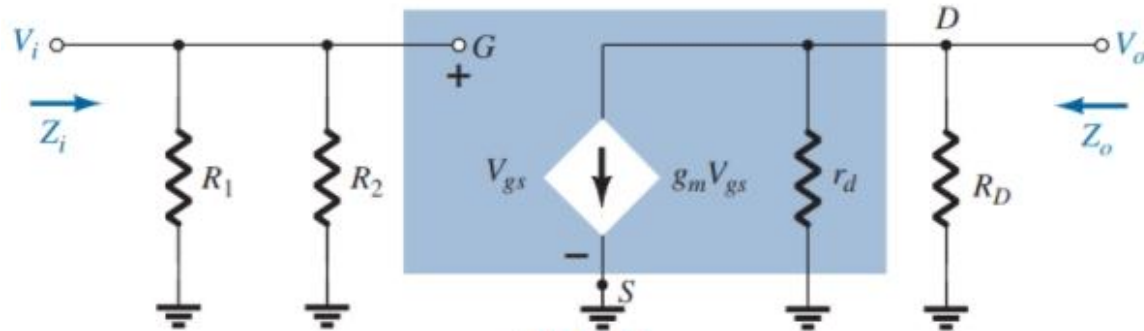


**FIG. 41**

*E-MOSFET voltage-divider configuration.*

**$Z_i$**

$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$



**FIG. 42**

*AC equivalent network for the configuration of Fig. 41.*

- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

**$Z_o$**

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$Z_o \cong R_D$$

$$r_d \geq 10R_D$$

**$A_v$**

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

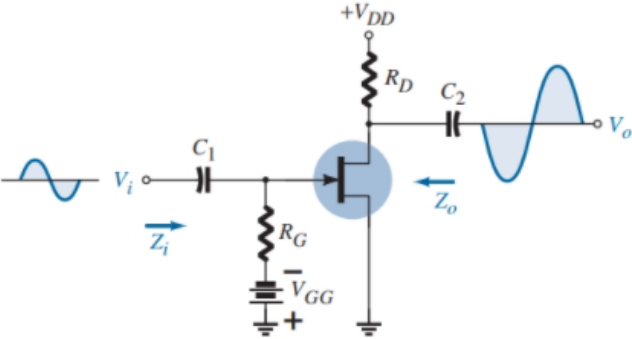
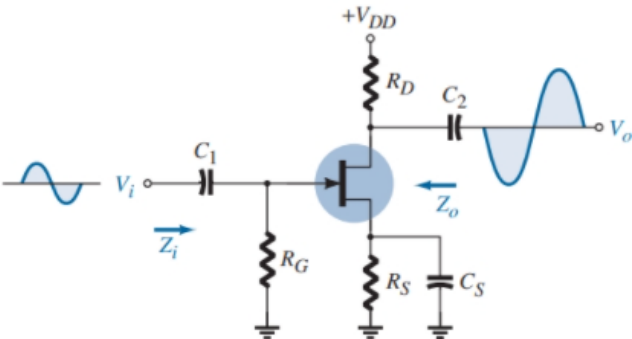
- Eğer  $r_d \geq 10R_D$  ise:

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

# Özet Tablosu (1)

**TABLE 1**

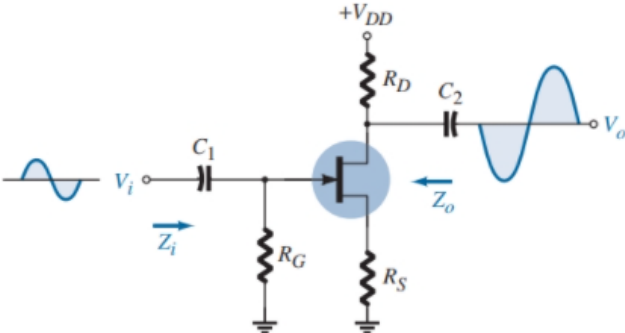
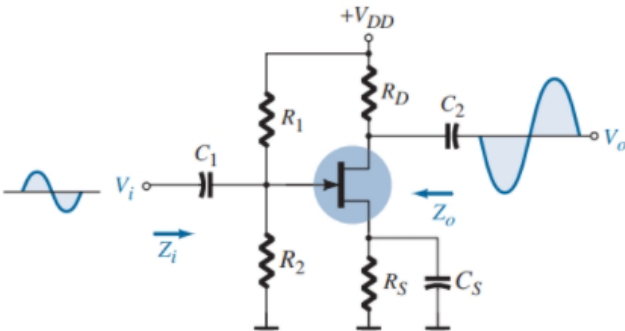
$Z_i$ ,  $Z_o$ , and  $A_v$  for various FET configurations

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$
Fixed-bias [JFET or D-MOSFET] 	High (10 M $\Omega$ ) $= R_G$	Medium (2 k $\Omega$ ) $= R_D \parallel r_d$ $\cong R_D$ ( $r_d \geq 10 R_D$ )	Medium (-10) $= -g_m(r_d \parallel R_D)$ $\cong -g_m R_D$ ( $r_d \geq 10 R_D$ )
Self-bias bypassed $R_S$ [JFET or D-MOSFET] 	High (10 M $\Omega$ ) $= R_G$	Medium (2 k $\Omega$ ) $= R_D \parallel r_d$ $\cong R_D$ ( $r_d \geq 10 R_D$ )	Medium (-10) $= -g_m(r_d \parallel R_D)$ $\cong -g_m R_D$ ( $r_d \geq 10 R_D$ )

# Özet Tablosu (2)

**TABLE 1**

$Z_i$ ,  $Z_o$ , and  $A_v$  for various FET configurations

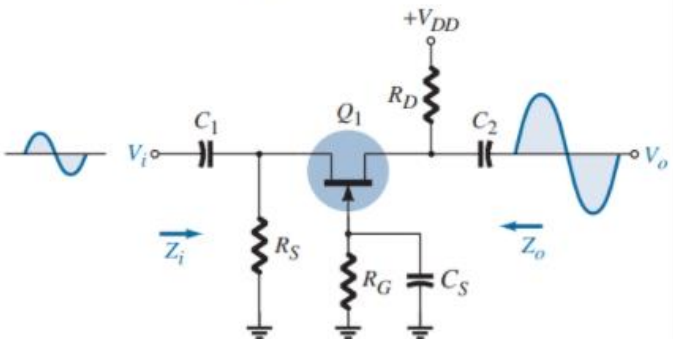
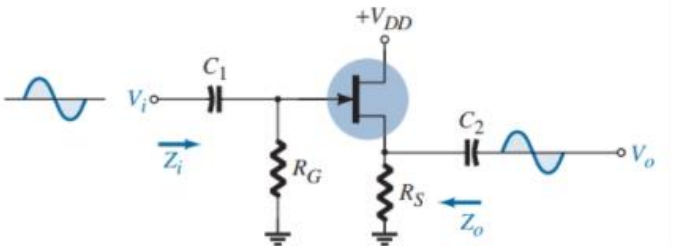
Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$
<p>Self-bias unbypassed <math>R_S</math> [JFET or D-MOSFET]</p> 	<p>High (10 M<math>\Omega</math>)</p> $= R_G$	$= \frac{\left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} \right] R_D}{\left[ 1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right]}$ $= R_D \quad (r_d \geq 10 R_D \text{ or } r_d = \infty \Omega)$	<p>Low (-2)</p> $= \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$ $\cong -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} \quad [r_d \geq 10 (R_D + R_S)]$
<p>Voltage-divider bias [JFET or D-MOSFET]</p> 	<p>High (10 M<math>\Omega</math>)</p> $= R_1 \parallel R_2$	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_D \parallel r_d$ $\cong R_D \quad (r_d \geq 10 R_D)$	<p>Medium (-10)</p> $= -g_m (r_d \parallel R_D)$ $\cong -g_m R_D \quad (r_d \geq 10 R_D)$



# Özet Tablosu (3)

**TABLE 1**

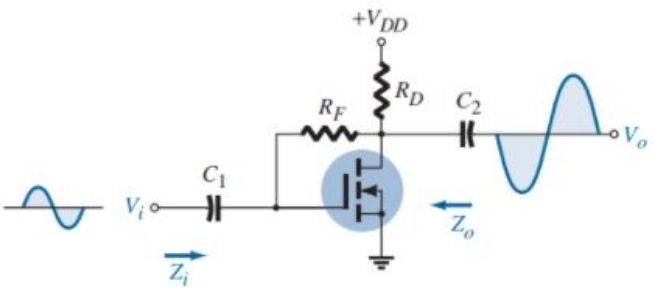
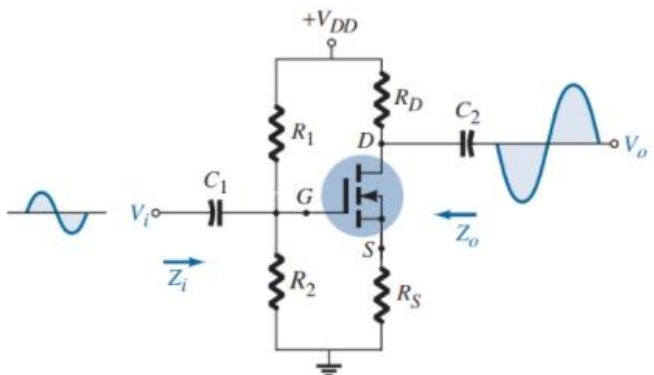
$Z_i$ ,  $Z_o$ , and  $A_v$  for various FET configurations

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$
<p>Common-gate [JFET or D-MOSFET]</p> 	<p>Low (1 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_S \parallel \left[ \frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right]$ $\cong R_S \parallel \frac{1}{g_m} \quad (r_d \geq 10 R_D)$	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_D \parallel r_d$ $\cong R_D \quad (R_D \geq 10 R_D)$	<p>Medium (+10)</p> $= \frac{g_m R_D + \frac{R_D}{r_d}}{1 + \frac{R_D}{r_d}}$ $\cong g_m R_D \quad (r_d \geq 10 R_D)$
<p>Source-follower [JFET or D-MOSFET]</p> 	<p>High (10 M<math>\Omega</math>)</p> $= R_G$	<p>Low (100 k<math>\Omega</math>)</p> $= r_d \parallel R_S \parallel 1/g_m$ $\cong R_S \parallel 1/g_m \quad (r_d \geq 10 R_S)$	<p>Low (&lt;1)</p> $= \frac{g_m (r_d \parallel R_S)}{1 + g_m (r_d \parallel R_S)}$ $\cong \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \quad (r_d \geq 10 R_S)$

# Özet Tablosu (4)

**TABLE 1**

$Z_i$ ,  $Z_o$ , and  $A_v$  for various FET configurations

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$
<p>Drain-feedback bias E-MOSFET</p> 	<p>Medium (1 M<math>\Omega</math>)</p> $= \frac{R_F + r_d \parallel R_D}{1 + g_m(r_d \parallel R_D)}$ $\cong \frac{R_F}{1 + g_m R_D} \quad (r_d \geq 10 R_D)$	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_F \parallel r_d \parallel R_D$ $\cong R_D \quad (R_F, r_d \geq 10 R_D)$	<p>Medium (-10)</p> $= -g_m(R_F \parallel r_d \parallel R_D)$ $\cong -g_m R_D \quad (R_F, r_d \geq 10 R_D)$
<p>Voltage-divider bias E-MOSFET</p> 	<p>Medium (1 M<math>\Omega</math>)</p> $= R_1 \parallel R_2$	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_D \parallel r_d$ $\cong R_D \quad (r_d \geq 10 R_D)$	<p>Medium (-10)</p> $= -g_m(r_d \parallel R_D)$ $\cong -g_m R_D \quad (r_d \geq 10 R_D)$

# Arıza Tespit Yaklaşımları

- **DC polarlamalarını kontrol edin:**
  - Doğru değilse güç kaynağını, dirençleri, FET'i kontrol edin. Ayrıca amplifikatör aşamaları arasındaki kuplaj kapasitörünün sağlam olduğundan emin olmak için kontrol edin.
- **AC voltajlarını kontrol edin:**
  - Doğru değilse FET'i, kapasitörleri ve bir sonraki aşamanın yükleme etkisini kontrol edin.

# Pratik Uygulamalar

- Üç Kanallı Ses Karıştırıcı
- Sessiz Anahtarlama
- Faz Kaydırmalı Şebekeler
- Hareket Algılama Sistemi