

# **HAFTA 12**

## **ALAN ETKİLİ TRANSİSTORLAR (FET)-DEVAM**

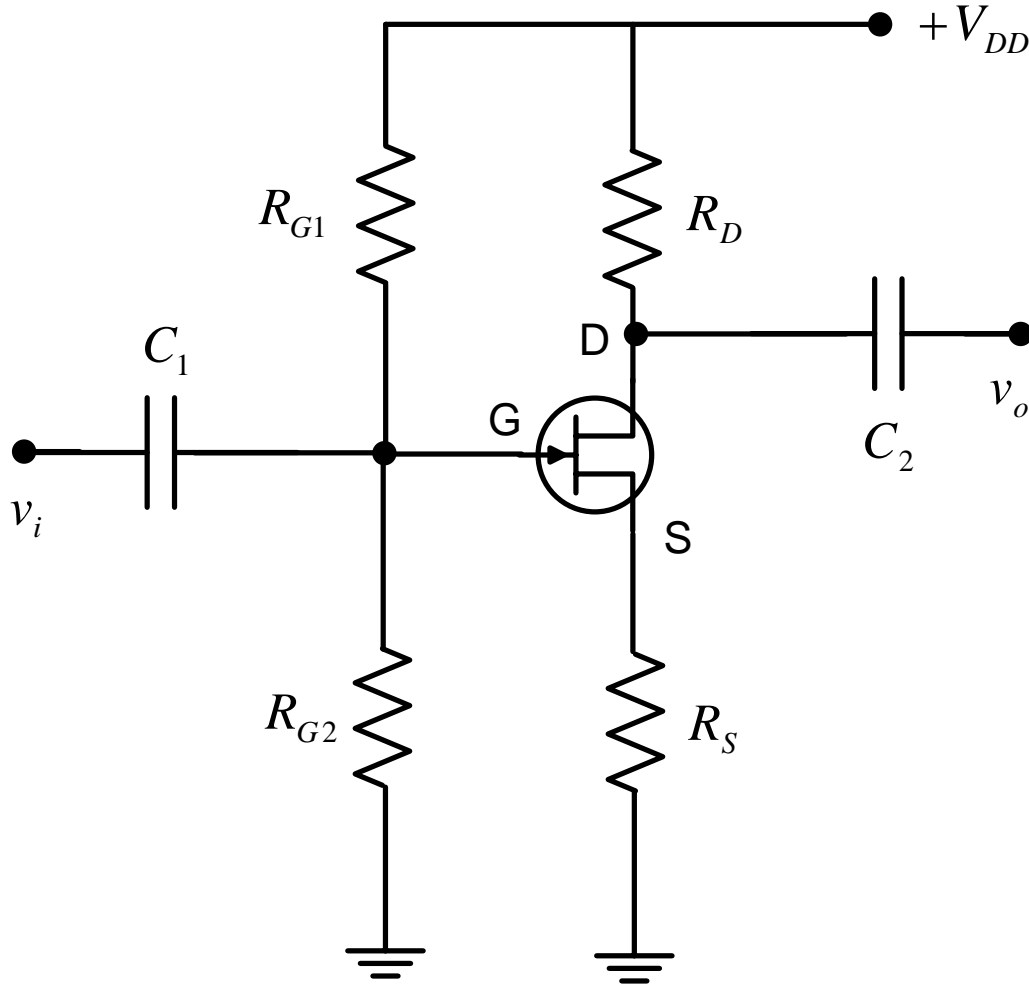
## Gerilim bölücü ile öngerilimleme

Bu devre bize, dc öngerilimleme noktasının daha büyük bir aralıkta ayarlanmasını ve daha büyük  $R_S$  değerlerinin kullanılmasını mümkün kılar. Devrenin analizi daha önce anlatılanla aynı olup, burada tek fark, kendinden öngerilim doğrusunun (0,0) noktasından kaydırılmış olmasıdır.

Burada da kapı ters öngerilimlidir. Dolayısıyla  $I_G = 0$  dır ve kapı gerilimi  $V_G$  ve JFET öngerilimi  $V_{GS}$  aşağıdaki gibi elde edilirler.

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD}$$

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

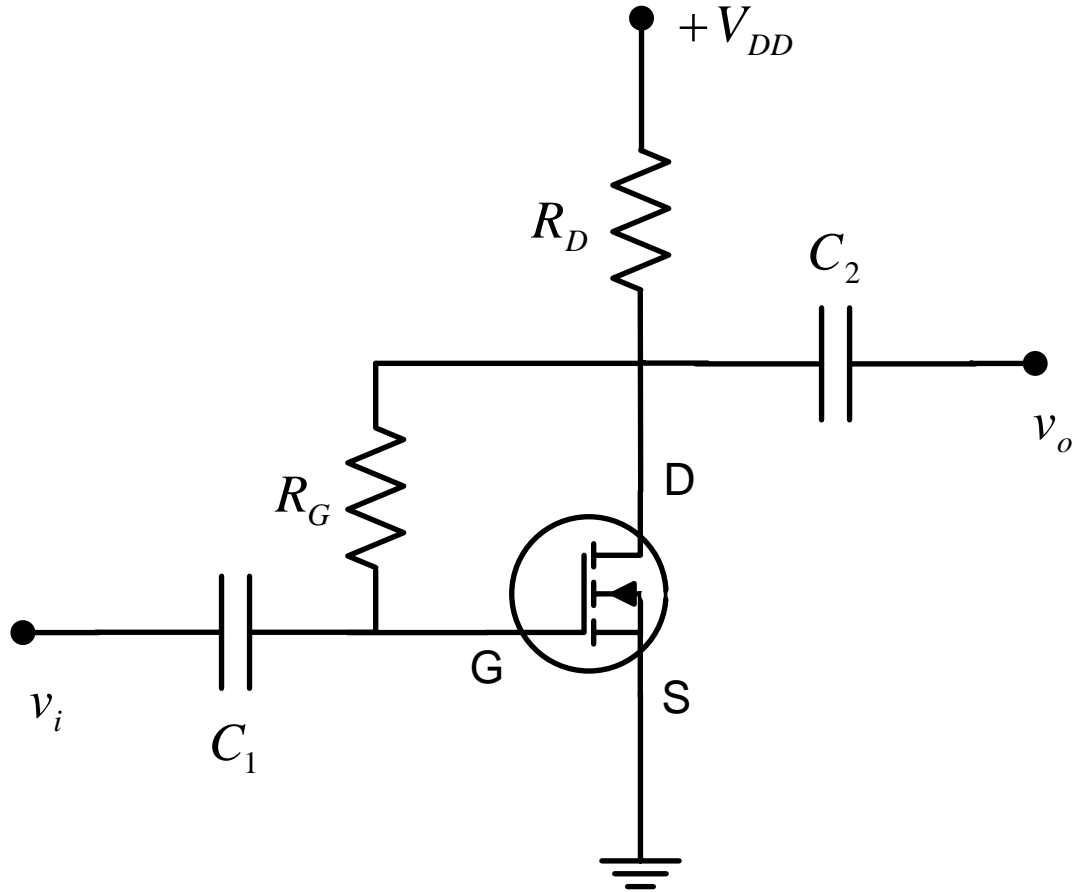


Şekil 1. Gerilim bölücü ile öngerilimleme devresi

## Kanal oluřturmalı MOSFET öngerilim devreleri

Kanal oluşturmalı bir MOSFET transistoru açmak için gereken eşik geriliminden daha büyük bir kapı-kaynak gerilimine ihtiyaç duyulur. Aşağıdaki devre en çok kullanılan tip olup, buradaki  $R_G$  direnci üzerinden MOSFET i açık duruma getirmek için, kapıya yeterli büyüklükte bir gerilim uygulanmaktadır. Akım daha sonra akaç-kaynak (veya kapı-kaynak) gerilimi ile akaç akımı arasında belli bir denge durumu oluşana kadar artar. MOSFET akaç akımı, kapı-kaynak gerilimiyle oluşturulur ve  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$  ifadesiyle verilir. Burada  $V_T$  eşik gerilimidir.  $I_D$  akımı da  $R_D$  üzerinde bir gerilim düşümüne yol açar ve böylece aşağıdaki ifadeye gelinir (şekil 2).

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



Şekil 2. Kanal oluşturmali MOSFET öngerilim devresi

Kapı akımı  $I_G = 0$  olduğundan  $V_{GS} = V_{DS}$  dir. Buradan hareketle aşağıdaki sonuç elde edilir.

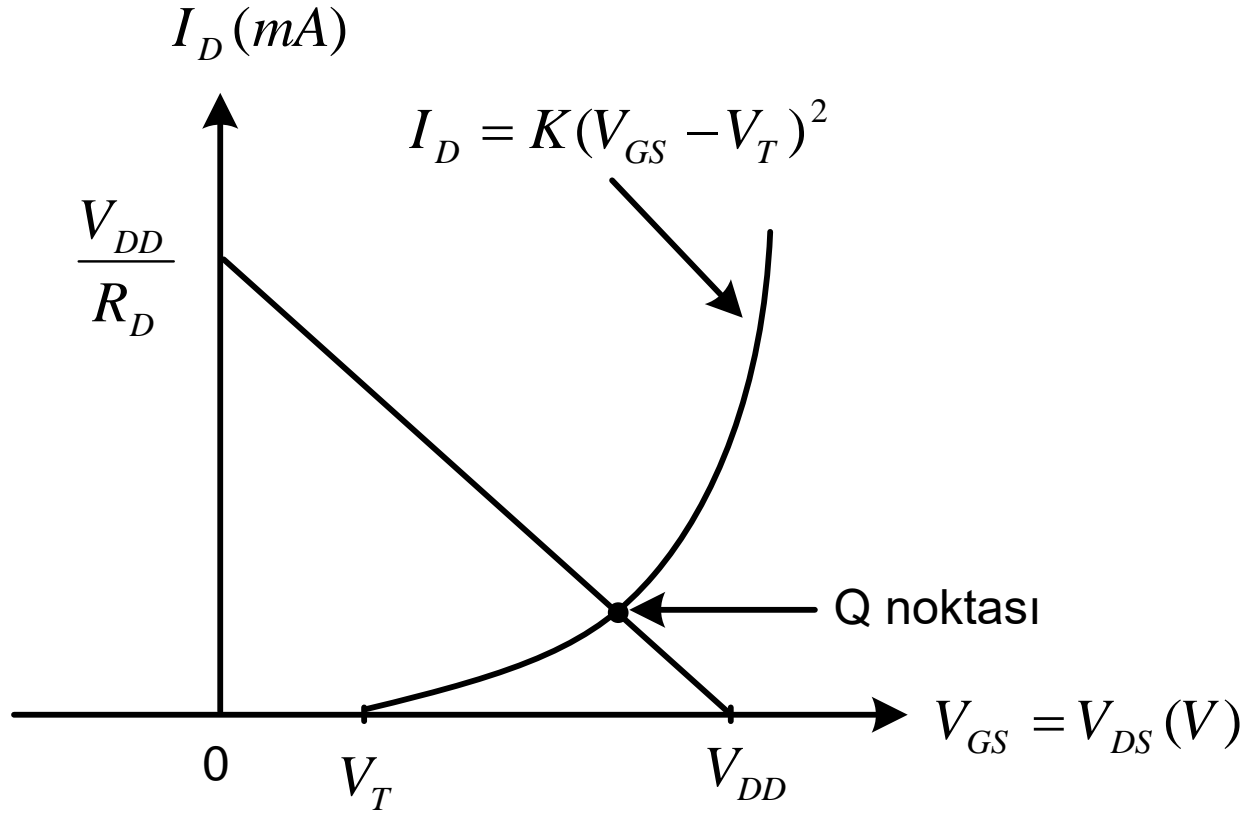
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = K(V_{DS} - V_T)^2$$

Ayrıca  $V_S = 0$  olduğundan aşağıdaki ifade yazılabilir.

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

$$\left[ I_D = 0 \text{ iken } V_{DS} = V_{DD} \text{ ve } V_{DS} = 0 \text{ iken } I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} \right]$$

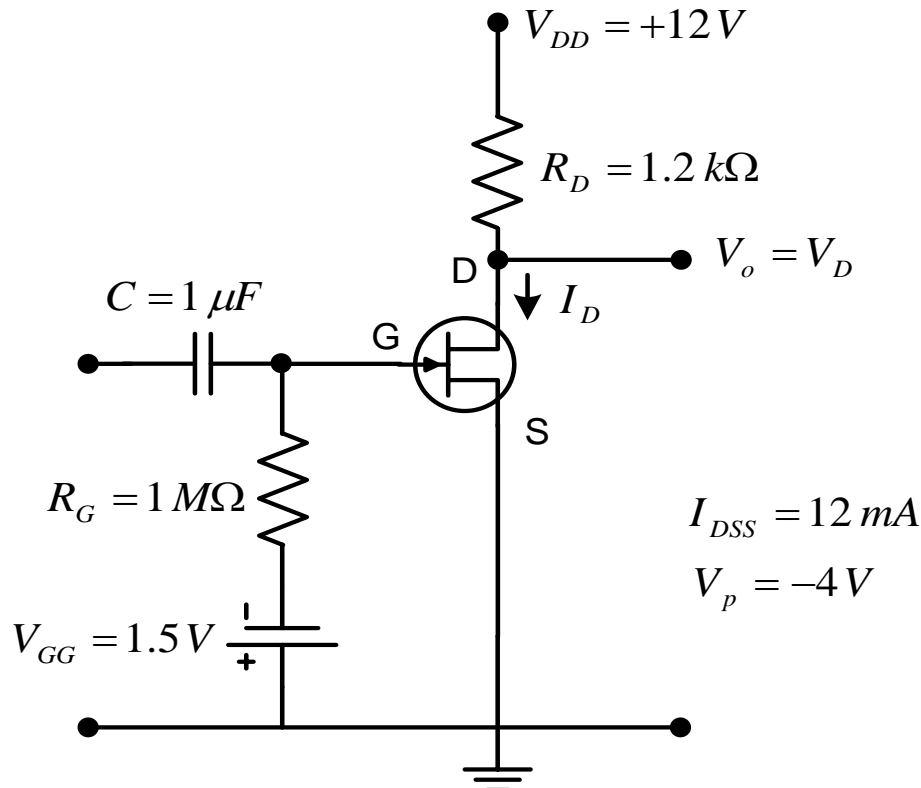
MOSFET akaç karakteristiği  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$  denklemi ve yük doğrusunu da  $V_D = V_{DD} - I_D R_D$  denklemi kullanılarak aynı grafik üzerinde Şekil 3'deki gibi çizilebilir.



Şekil 3. Kanal oluşturmali MOSFET öngerilim devresinin transfer karakteristiği

## FET ile ilgili örnekler:

**Örnek 1.** Şekil 4'deki sabit öngerilim devresinin ( $I_D$ ) akaç akımını ve ( $V_{DS}$ ) akaç-kaynak gerilimini bulunuz.



Şekil 4. Örnek devre



## Çözüm 1.

Bu devreye göre denklemleri yazacak olursak aşağıdakileri elde ederiz.

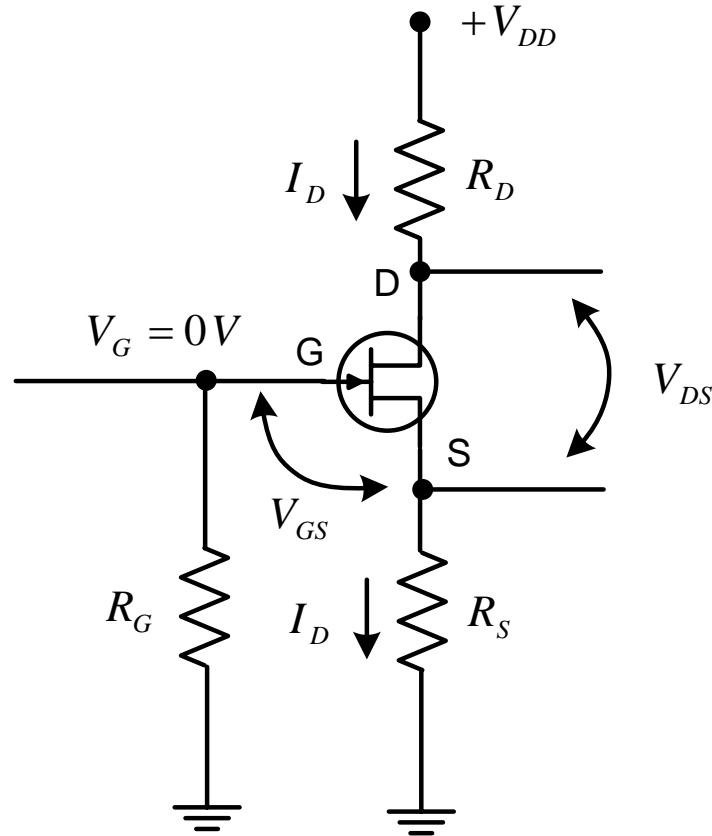
$$V_{GS} = -V_{GG} = -1.5 V$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 12 \text{ mA} \times \left(1 - \frac{-1.5 V}{-4 V}\right)^2 = 4.69 \text{ mA}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 12 V - 1.2 \text{ k}\Omega \times 4.69 \text{ mA} = 6.4 V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 6.4 V - 0 V = 6.4 V$$

**Örnek 2.** Şekil 5'deki devrede  $V_{DD} = 24\text{ V}$ ,  $R_D = 6.2\text{ k}\Omega$ ,  
 $R_G = 1\text{ M}\Omega$ ,  $R_S = 1.5\text{ k}\Omega$ ,  $I_{DSS} = 10\text{ mA}$  ve  $V_p = -4\text{ V}$  için;



Şekil 5. Kendinden öngerilimli JFET yükseltici devresi

- a) Transfer karakteristiği yardımıyla  $V_{GS}$  ve  $I_D$  yi bulunuz.
- b)  $V_{DS}$  yi bulunuz.
- c)  $I_{DSS} / 2$  ile  $I_{DSS} / 4$  arasında dc öngerilimlemeyi sağlayacak  $R_S$  direncinin değer aralığını bulunuz.

## Çözüm 2.

(a) JFET transfer karakteristiğini çizmek için  $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$  ve yük eğrisini çizmek için  $V_{GS} = -R_S \cdot I_D$  denklemlerinden faydalanmak suretiyle aşağıdaki tablolar oluşturulur.

$V_{GS} (V)$	$I_D (mA)$
0	10 $[I_{DSS}]$
$[0.3V_p] -1.2$	5 $[I_{DSS} / 2]$
$[0.5V_p] -2.0$	2.5 $[I_{DSS} / 4]$
$[V_p] -4.0$	0

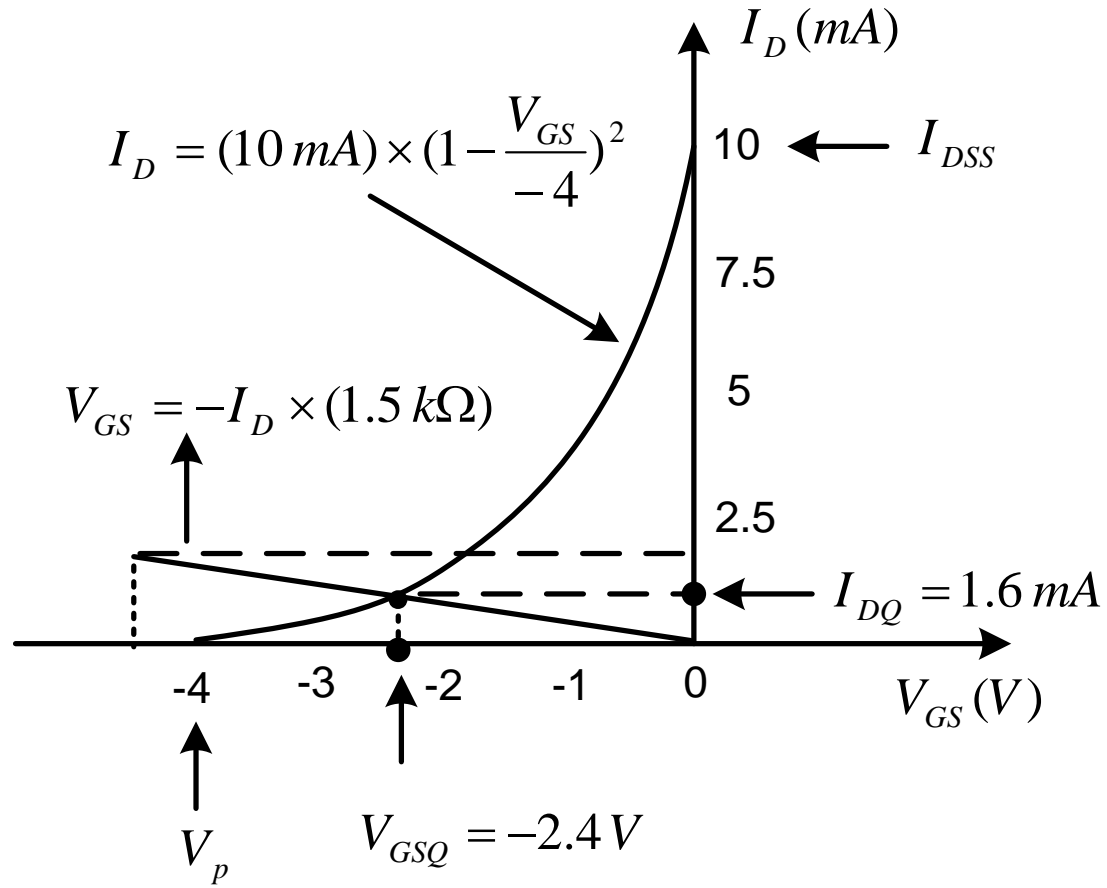
$I_D (mA)$	$V_{GS} (V)$
0	0
$[V_p / R_s] 2.67$	-4

(b)  $I_D = 1.6 mA$

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 24 V - (1.6 mA) \times (6.2 k\Omega) = 14.08 V$$

$$V_S = I_D R_S = (1.6 mA) \times (1.5 k\Omega) = 2.4 V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 14.08 V - 2.4 V = 11.68 V$$

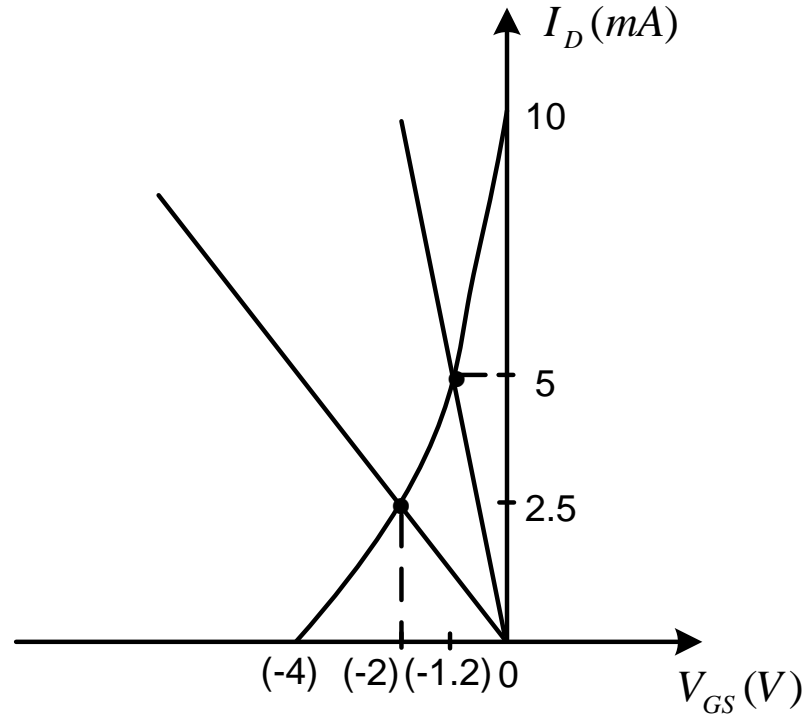


Şekil 6. Kendinden öngerilimli JFET yükselticinin transfer karakteristiği

(c) Bu durum, ölçekli bir şekilde Şekil 7’de gösterilmiştir.

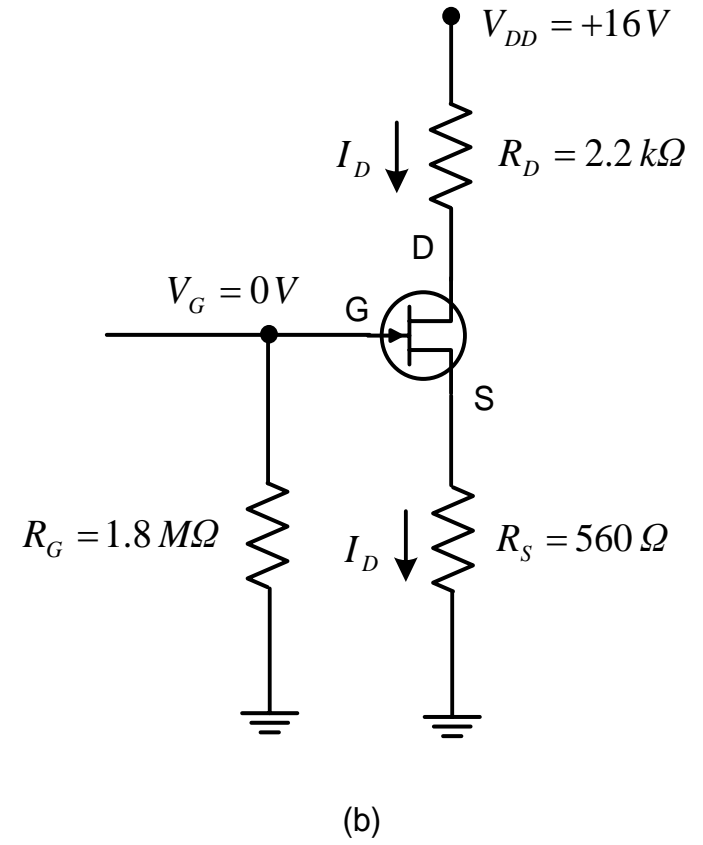
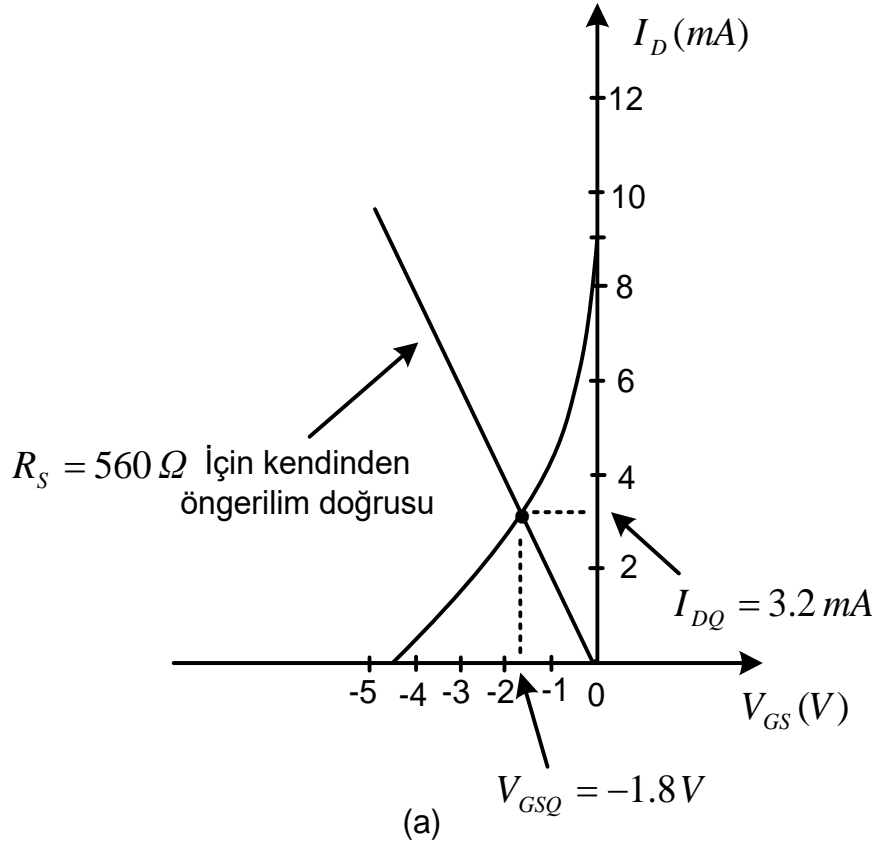
$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mA} \quad \rightarrow \quad R_S \left( \frac{I_{DSS}}{2} \text{ için} \right) = \frac{|V_{GS}|}{I_D} = \frac{1.2 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 240 \, \Omega$$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{4} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ mA} \quad \rightarrow \quad R_S \left( \frac{I_{DSS}}{4} \text{ için} \right) = \frac{|V_{GS}|}{I_D} = \frac{2 \text{ V}}{2.5 \text{ mA}} = 800 \, \Omega$$



Şekil 7.

**Örnek 3.** Şekil 8(a)'da verilen transfer karakteristiğinden yararlanarak, Şekil 8(b)'de verilen devrenin  $I_{DSS}$  ve  $V_p$  değerlerini belirleyin ve  $I_D$  ve  $V_{DS}$  değerlerini bulunuz.



Şekil 8.(a) Transfer karakteristiği, (b) Örnek devre

### Çözüm 3.

Transfer karakteristiğinden  $I_{DSS} = 9 \text{ mA}$  ve  $V_p = -4.5 \text{ V}$  ölçülür.

$V_{GS} = -I_D R_S$  den  $R_S$  doğrusu çizilir.

$I_D = 0$  iken  $V_{GS} = 0$  ve,

$V_{GS} = V_p = -4.5 \text{ V}$  iken  $I_D = \frac{-V_p}{R_S} = \frac{-(-4.5 \text{ V})}{0.56 \text{ k}\Omega} = 8.04 \text{ mA}$  olur.

$I_D (\text{mA})$	$V_{GS} (\text{V})$
0	0
$[-(-V_p) / R_S]$ 8.04	-4.5



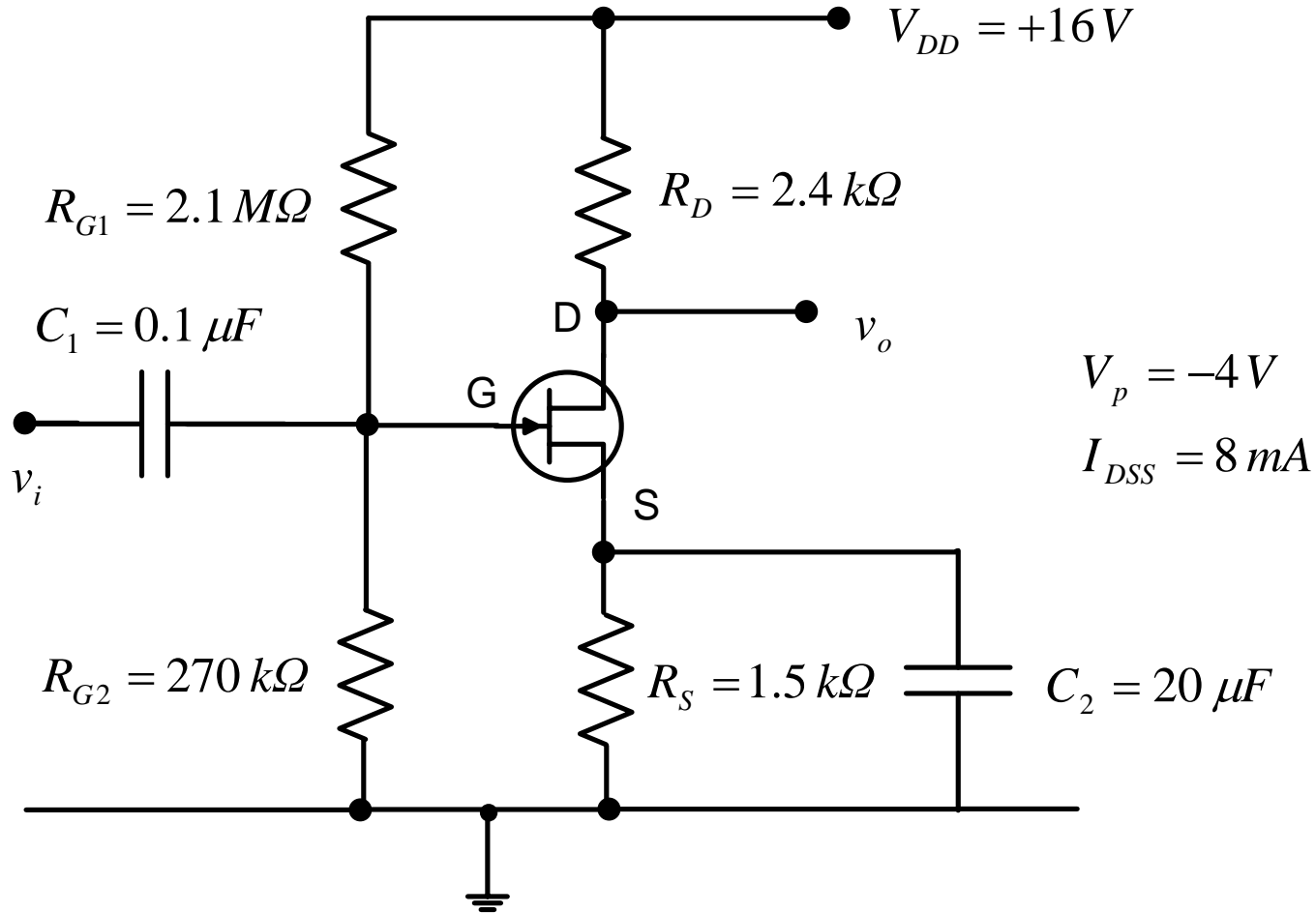
Buradan akaç gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 16V - (3.2\text{ mA}) \times (2.2\text{ k}\Omega) = 8.96V$$

$$V_S = I_D R_S = (3.2\text{ mA}) \times (0.56\text{ k}\Omega) = 1.79V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 8.96V - 1.79V = 7.17V$$

**Örnek 4.** Şekil 9'daki devrenin çalışma noktalarını belirleyiniz.



Şekil 9. Örnek devre

## Çözüm 4.

$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 8 \text{ mA} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4 \text{ V}}\right)^2$  ifadesinden aşağıdaki tablo oluşturulur. Ardından bu tablo değerleri göz önüne alınmak suretiyle transfer karakteristiği çizilir.

$V_{GS} (V)$	$I_D (mA)$
0	8 $[I_{DSS}]$
$[0.3V_p] \mid -1.2$	4 $[I_{DSS} / 2]$
$[0.5V_p] \mid -2.0$	2 $[I_{DSS} / 4]$
$[V_p] \mid -4.0$	0

Kapı gerilimi  $V_G$  , gerilim bölücü şeklinde düşünülmek suretiyle aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_G = \frac{270 \text{ k}\Omega}{2.1 \text{ M}\Omega + 270 \text{ k}\Omega} \times (16 \text{ V}) = 1.82 \text{ V}$$

Kendinden öngerilim doğrusu  $V_{GS} = V_G - V_S$  den,

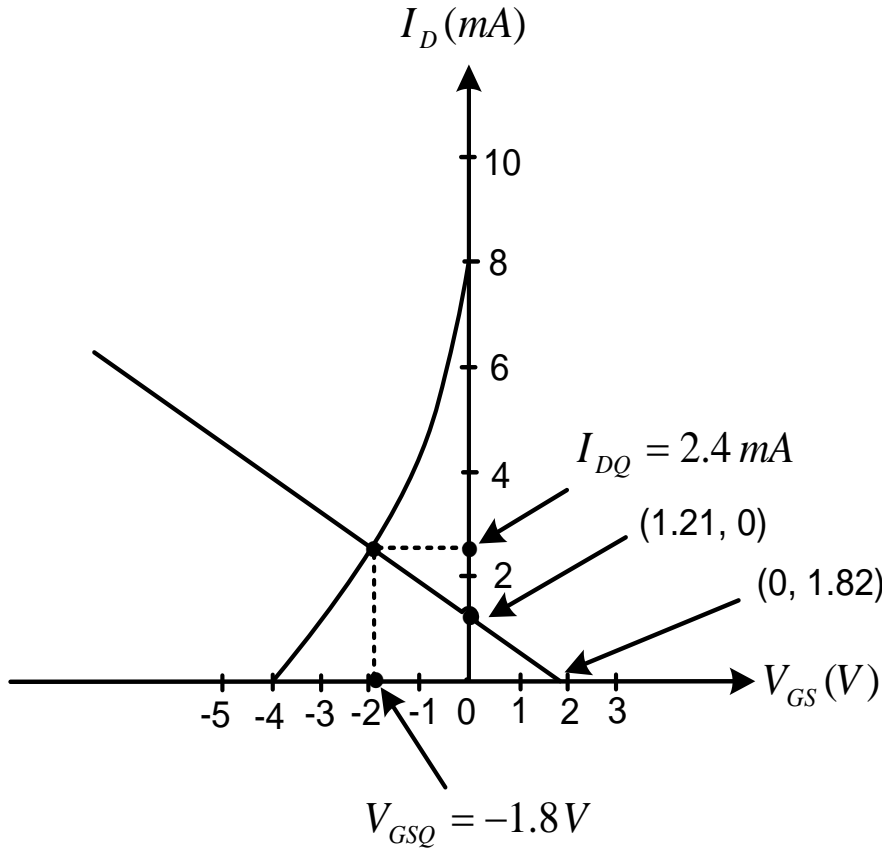
$$V_{GS} = V_G - I_D R_S = 1.82 \text{ V} - I_D \times (1.5 \text{ k}\Omega)$$

$$I_D = 0 \text{ iken } V_{GS} = 1.82 \text{ V} \quad I_{RL}$$

$$V_{GS} = 0 \text{ iken } I_D = \frac{1.82 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 1.21 \text{ mA} \text{ değerlerinden elde edilir.}$$

Tablo değerleri kullanılarak kendinden öngerilim doğrusu 10'da görüldüğü gibi çizilir. İki karakteristiğin kesişme noktası

$V_{GSQ} = -1.8V$  ve  $I_{DQ} = 2.4mA$  çalışma noktalarını verir.



$I_D (mA)$	$V_{GS} (V)$
0	1.82
1.21	0

Şekil 10. Transfer karakteristiği ve kesişme noktaları

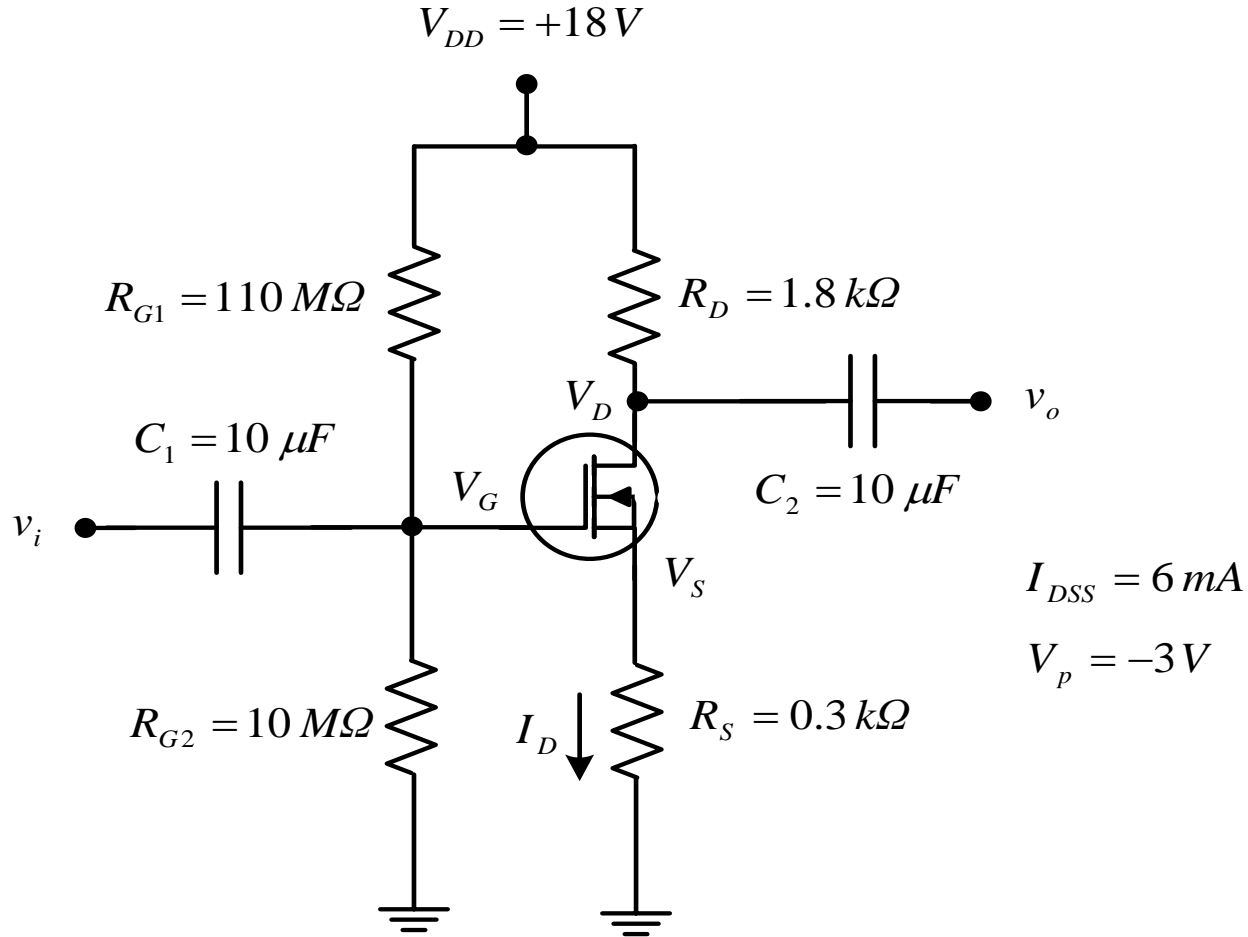
**Soru:** Aynı devre için  $V_D$ ,  $V_S$  ve  $V_{DS}$  yi belirleyiniz.

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 16\text{ V} - (2.4\text{ mA}) \times (2.4\text{ k}\Omega) = 10.24\text{ V}$$

$$V_S = I_D R_S = (2.4\text{ mA}) \times (1.5\text{ k}\Omega) = 3.6\text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 10.24\text{ V} - 3.6\text{ V} = 6.64\text{ V}$$

**Örnek 5.** Şekil 11'deki n-kanallı kanal ayarlamalı MOSFET in transfer karakteristiğini çizerek  $V_{GS}$  ,  $I_D$  ve  $V_{DS}$  değerlerini bulunuz.



Şekil 11. Örnek devre

## Çözüm 5.

$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 6 \text{ mA} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{-3 \text{ V}}\right)^2$  ifadesinden aşağıdaki tablo oluşturulur. Ardından bu tablo değerleri göz önüne alınarak Şekil 12'de verilen transfer karakteristiği çizilir.

$V_{GS} \text{ (V)}$	$I_D \text{ (mA)}$
$[-0.4V_p] \quad 1.2$	$12 \quad [2I_{DSS}]$
$0$	$6 \quad [I_{DSS}]$
$[0.3V_p] \quad -0.9$	$3 \quad [I_{DSS} / 2]$
$[0.5V_p] \quad -1.5$	$1.5 \quad [I_{DSS} / 4]$
$[V_p] \quad -3.0$	$0$



$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} = \frac{10 \text{ M}\Omega}{110 \text{ M}\Omega + 10 \text{ M}\Omega} \times (18 \text{ V})$$

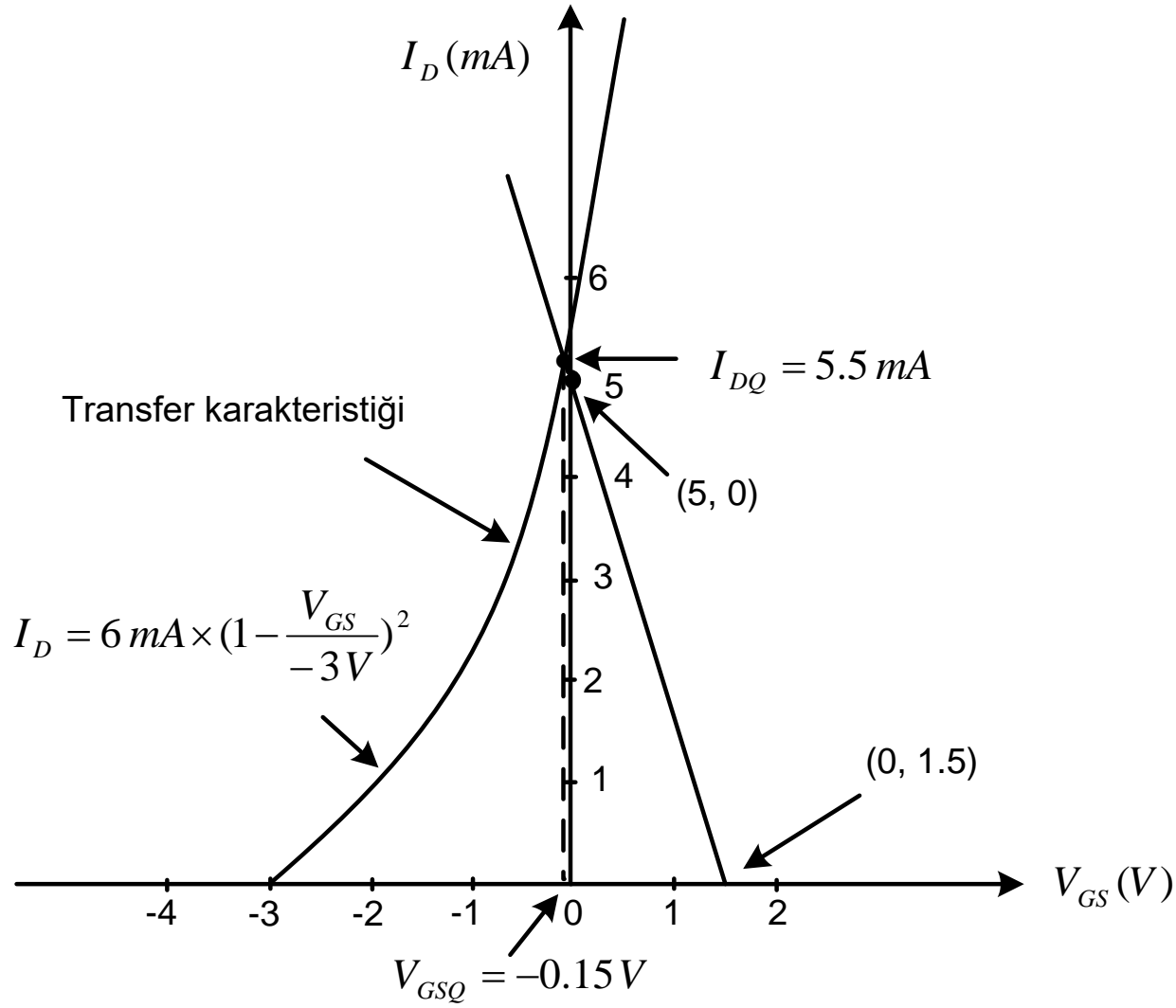
$$V_G = 1.5 \text{ V}$$

Kendinden öngerilim doğrusunu aşağıdaki gibi verilir.

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S = 1.5 \text{ V} - I_D \times (0.3 \text{ k}\Omega)$$

Bunu göz önüne almak suretiyle aşağıdaki tablo oluşturulur.

$I_D (mA)$	$V_{GS} (V)$
0	1.5
5	0



Şekil 12. Transfer karakteristiği

Yukarıdaki tablo değerleri Şekil 12'deki transfer karakteristiği üzerinde gösterildiğinde aşağıdaki değerler bulunur.

$$V_{GSQ} = -0.15 V \qquad I_{DQ} = 5.5 mA$$

Bu değerler ile aşağıdaki büyüklükler elde edilir.

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 18 V - (5.5 mA) \times (1.8 k\Omega) = 8.1 V$$

$$V_S = I_D R_S = (5.5 mA) \times (0.3 k\Omega) = 1.65 V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 8.1 - 1.65 = 6.45 V$$