

Elektronik 1 Dersi

Ankara Üniversitesi Elmadağ Meslek Yüksekokulu

Öğretim Görevlisi : Murat Duman

Mail: mduman@ankara.edu.tr

Ders Kitabı: *Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky-Electronic Devices and Circuit Theory (11th Edition)-Prentice Hall (2012)*

(Bu çalışmadaki şekiller ders kitabından alınmıştır)

Hafta 9

Bölüm 3. : FET Transistörler

BJT'ler akım-kontrollü devre elemanları iken FET'lerler voltaj-kontrollüdür. FET'lerin giriş empedansı çok yüksektir. Tipik olarak 1 M Ω ile birkaç yüz M Ω aralığındadır. Bu değerler BJT'lerin giriş empedansı değerleri ile kıyaslandığında oldukça yüksektir ve AC sinyal yükselteci tasarımları için istenilen bir özelliktir. BJT'ler de FET'lere nazaran giriş sinyalindeki değişimlere daha duyarlıdır. Bu nedenle BJT'ler için voltaj kazancı FET'lere kıyasla oldukça fazladır. FET'lerin sıcak stabilitesi BJT'lere kıyasla daha iyidir. FET'ler BJT'lere göre daha küçüktür ve bu nedenle entegre devrelerde daha çok tercih edilirler.

Değişik FET türleri mevcuttur: JFET, MOSFET, MESFET gibi.

Bu derste göreceğimiz FET türleri:

❖ JFET

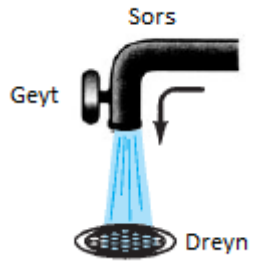
- n-kanallı JFET
- p-kanallı JFET

❖ MOSFET

- Enhancement MOSFET
 - n-kanallı Enhancement MOSFET
 - p-kanallı Enhancement MOSFET
- Depletion MOSFET
 - n-kanallı Depletion MOSFET
 - p-kanallı Depletion MOSFET

FET'ler 3 bacaklı devre elemanıdır.

FET'lerin voltaj kontrollü olarak çalışması musluk analogisi üzerinden örneklenebilir.



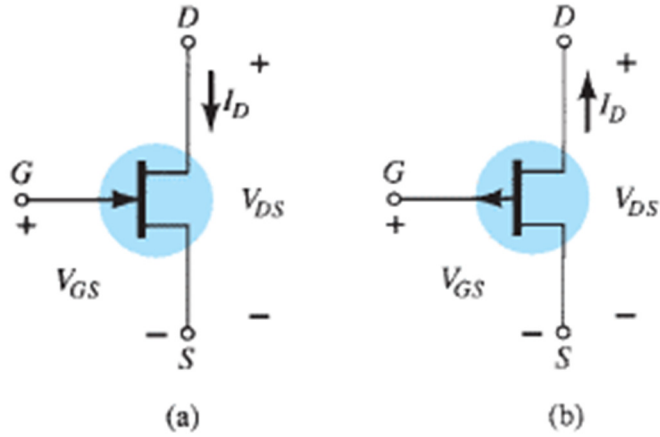
Su basıncı dreyn-sors arasında uygulanan voltaja benzetilebilir.

FET'lerde geytten uygulanan voltaj sayesinde dreyn-sors arasındaki akım kontrol edilebilmektedir. Musluk örneğinde ise bu işlem ilgili şekilde geyt olarak isimlendirdiğimiz vana aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3.1. İlgili Şekil

Bölüm 3.1. : JFET'lere ait Bazı Önemli Parametre ve İlişkiler

JFET bacak isimleri: geyt (gate), dreyn (drain) ve sors (source)'tur. JFET simgesi ve ilgili bacaklar Şekil 3.2.'de verilmiştir.



JFET sembolleri: (a) n-kanal (n) p-kanal

Şekil 3.2. İlgili Şekil

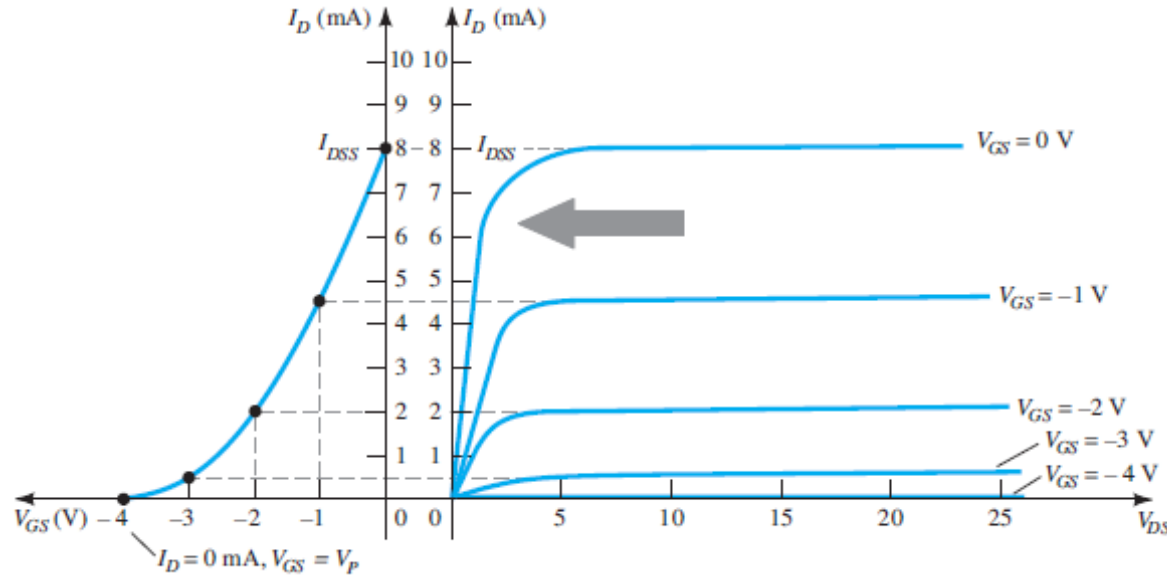
- $V_{GS} = 0$ V iken dreyn-sors arası akım maksimum olup I_{DSS} olarak isimlendirilir. n-kanal JFET için $V_{GS} < 0$ V iken dreyn-sors arası akım için I_{DSS} 'den daha küçük değerler elde edilir.

p-kanal JFET için $V_{GS} > 0$ V iken dreyn-sors arası akım için I_{DSS} 'den daha küçük değerler elde edilir.

- Dreyn-sors arasından akan akımın sıfırlandığı V_{GS} değeri V_P olarak adlandırılır.

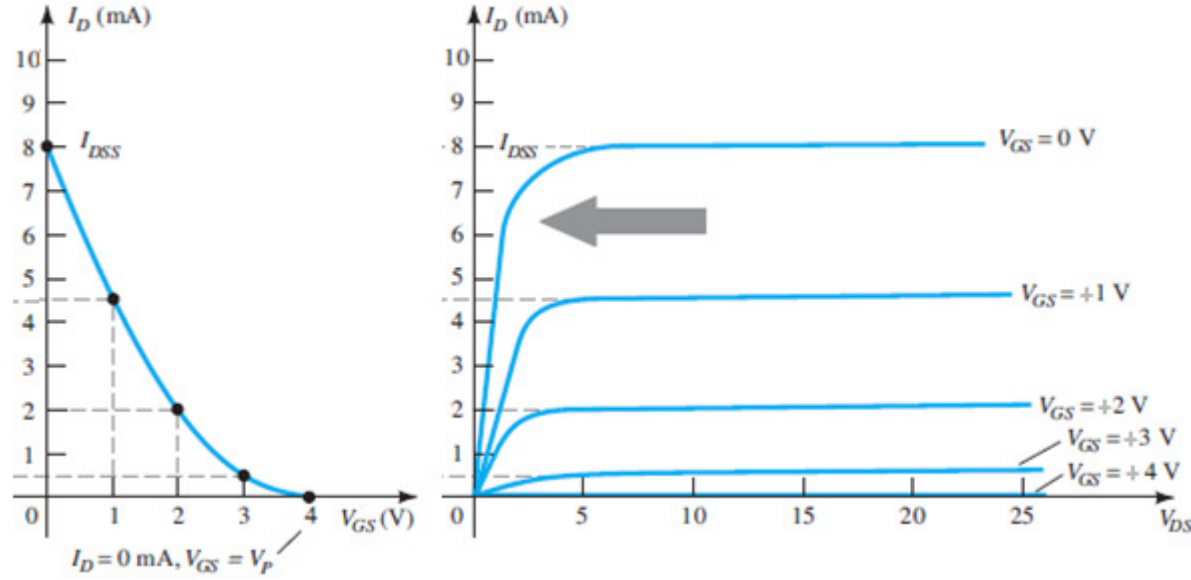
- $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ (JFET'ler için akım formülü)

- n-kanal JFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. İlgili Şekil

- p-kanal JFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. İlgili Şekil

- n-kanal bir JFET için $V_{GS} \leq 0$ V iken, p-kanal bir JFET için $V_{GS} \geq 0$ V'tur.
Dolayısıyla n-kanal bir JFET için $V_P < 0$ V iken, p-kanal bir JFET için $V_P > 0$ V'tur.
- $I_D = I_S$
- $I_G = 0$ mA

Özetle;

$$V_{GS}=0 \text{ V iken } I_{DS} = I_{DSS}$$

$$V_{GS} = V_P \text{ iken } I_{DS} = 0 \text{ mA}$$

Örnek: $I_D - V_{GS}$ grafiğini JFET parametrelerinin $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ ve $V_P = -6 \text{ V}$ olduğu durum için çiziniz.

Cevap: Önce grafik üzerinde belirli noktaları JFET'ler için akım formülünü kullanarak işaretleyelim.

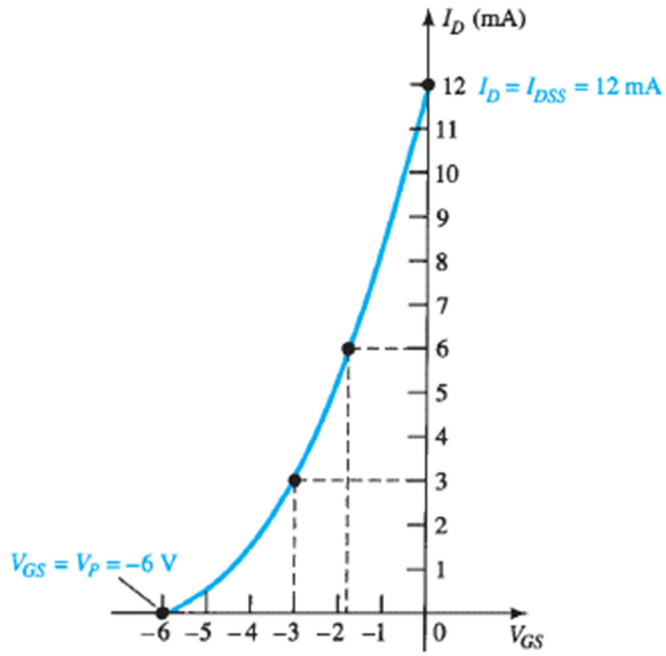
$$I_D = I_{DSS} = 12 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 0 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS}/2 = 6 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = -1.75 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS}/4 = 3 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = -3 \text{ V}$$

$$I_D = 0 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = V_P = -6 \text{ V}$$

İlgili grafik Şekil 3.5.'te verilmiştir.



İlgili grafikten soruda verilen JFET'in n-kanal bir JFET olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3.5. İlgili Şekil

Örnek: $I_D - V_{GS}$ grafiğini JFET parametrelerinin $I_{DSS} = 4$ mA ve $V_P = 3$ V olduğu durum için çiziniz.

Cevap: Önce grafik üzerinde belirli noktaları JFET'ler için akım formülünü kullanarak işaretleyelim.

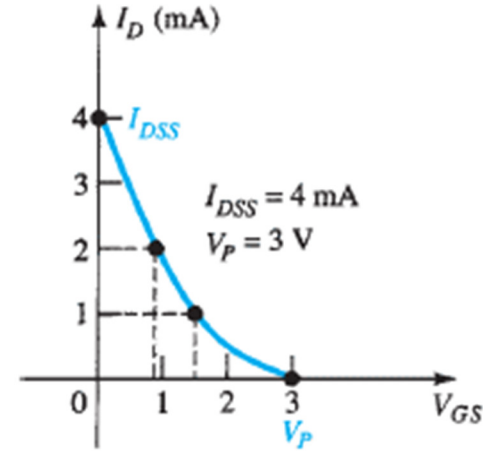
$$I_D = I_{DSS} = 4 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 0 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS}/2 = 2 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 0.88 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS}/4 = 1 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 1.5 \text{ V}$$

$$I_D = 0 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = V_P = 3 \text{ V}$$

İlgili grafik Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. İlgili Şekil

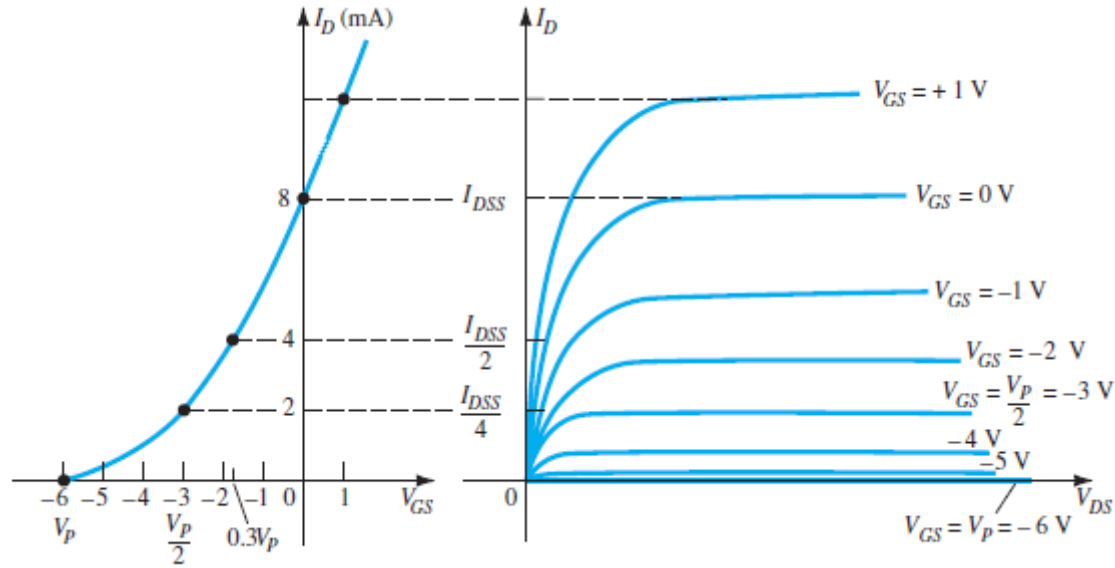
İlgili grafikten soruda verilen JFET'in p-kanal bir JFET olduğu anlaşılmaktadır.

Bölüm 3.2. : Depletion MOSFET'lere ait Bazı Önemli Parametre ve İlişkiler

- n-kanal bir Depletion MOSFET için $V_P < 0$ V iken, p-kanal bir MOSFET için $V_P > 0$ V'tur. (JFET'in aynısı)
- n-kanal Depletion MOSFET için $V_{GS} > 0$ V değerlerini alabilir. $V_{GS} > 0$ V için $I_D > I_{DSS}$ değerlerini alabilir. (JFET'ten farklı)
- p-kanal Depletion MOSFET için $V_{GS} < 0$ V değerlerini alabilir. $V_{GS} < 0$ V için $I_D > I_{DSS}$ değerlerini alabilir. (JFET'ten farklı)
- JFET'teki akım formülü aynen geçerlidir:

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

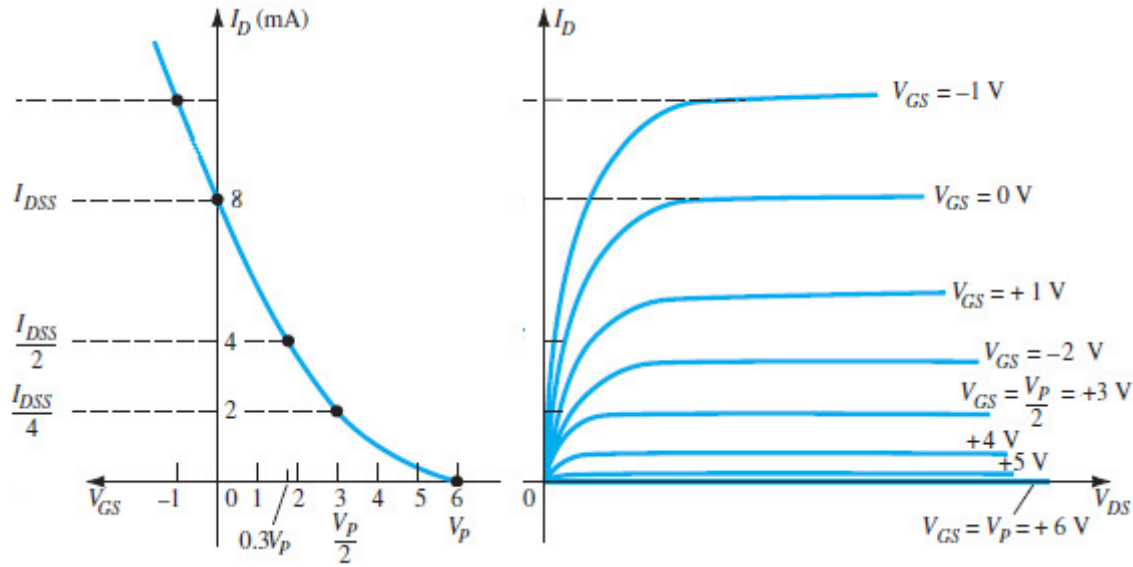
- n-kanal Depletion MOSFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. İlgili Şekil

Şekil 3.7.'den görüleceği üzere n-kanal Depletion MOSFET'te $V_{GS} > 0$ V değerleri için I_{DSS} 'den daha büyük değerler elde edilebilmektedir.

- p-kanal Depletion MOSFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. İlgili Şekil

Şekil 3.8.'den görüleceği üzere p-kanal Depletion MOSFET'te $V_{GS} < 0$ V değerleri için I_{DSS} 'den daha büyük değerler elde edilebilmektedir.

Örnek: $I_D - V_{GS}$ grafiğini Depletion MOSFET parametrelerinin $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ ve $V_P = -4 \text{ V}$ olduğu durum için çiziniz.

Cevap: Önce grafik üzerinde belirli noktaları Depletion MOSFET'ler için akım formülünü kullanarak işaretleyelim.

$$V_{GS} = V_P = -4 \text{ V} \rightarrow I_D = 0 \text{ mA}$$

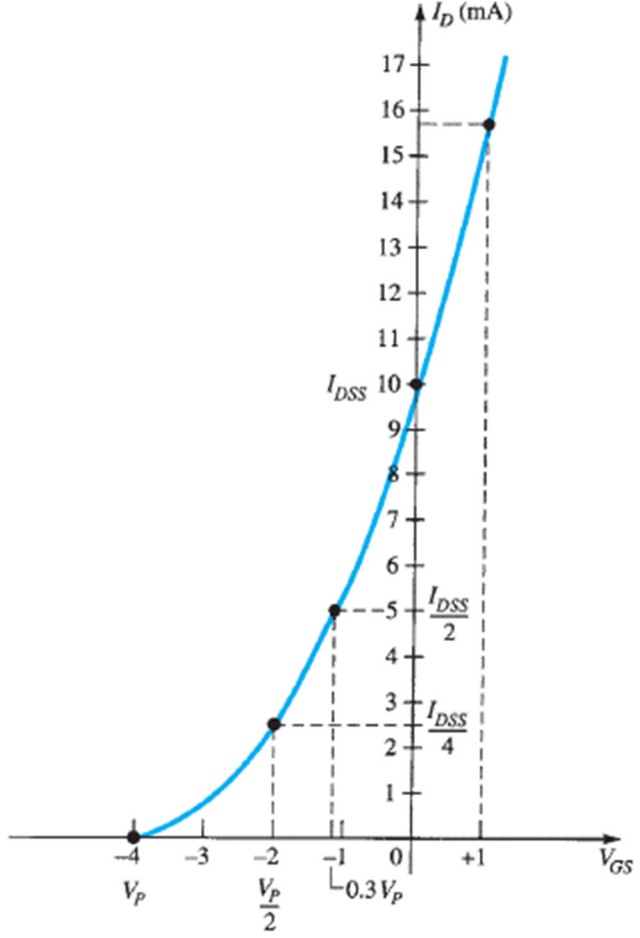
$$V_{GS} = V_P/2 = -2 \text{ V} \rightarrow I_D = 2.5 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = V_P/4 = -1 \text{ V} \rightarrow I_D = 5.625 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = V_P = 0 \text{ V} \rightarrow I_D = 10 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = V_P = 1 \text{ V} \rightarrow I_D = 15.625 \text{ mA}$$

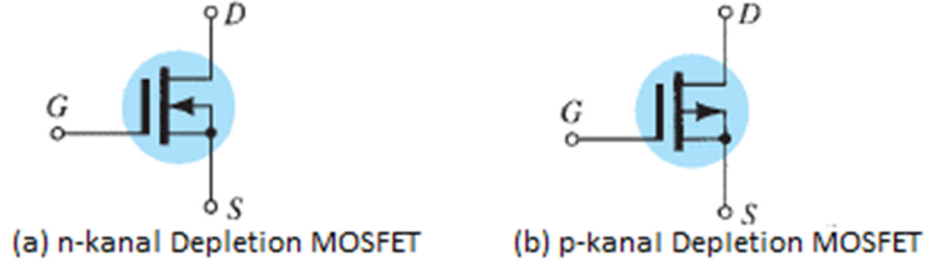
İlgili grafik Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. İlgili Şekil

İlgili grafikten soruda verilen Depletion MOSFET'in n-kanal bir Depletion MOSFET olduğu anlaşılmaktadır.

n-kanal ve p-kanal Depletion MOSFET'lere ait simgeler Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. İlgili Şekil

Bölüm 3.3. : Enhancement MOSFET'lere ait Bazı Önemli Parametre ve İlişkiler

Enhancement MOSFET'lere ait akım denklemi JFET ve Depletion MOSFET'ler için kullanılan ortak akım denkleminde farklıdır:

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

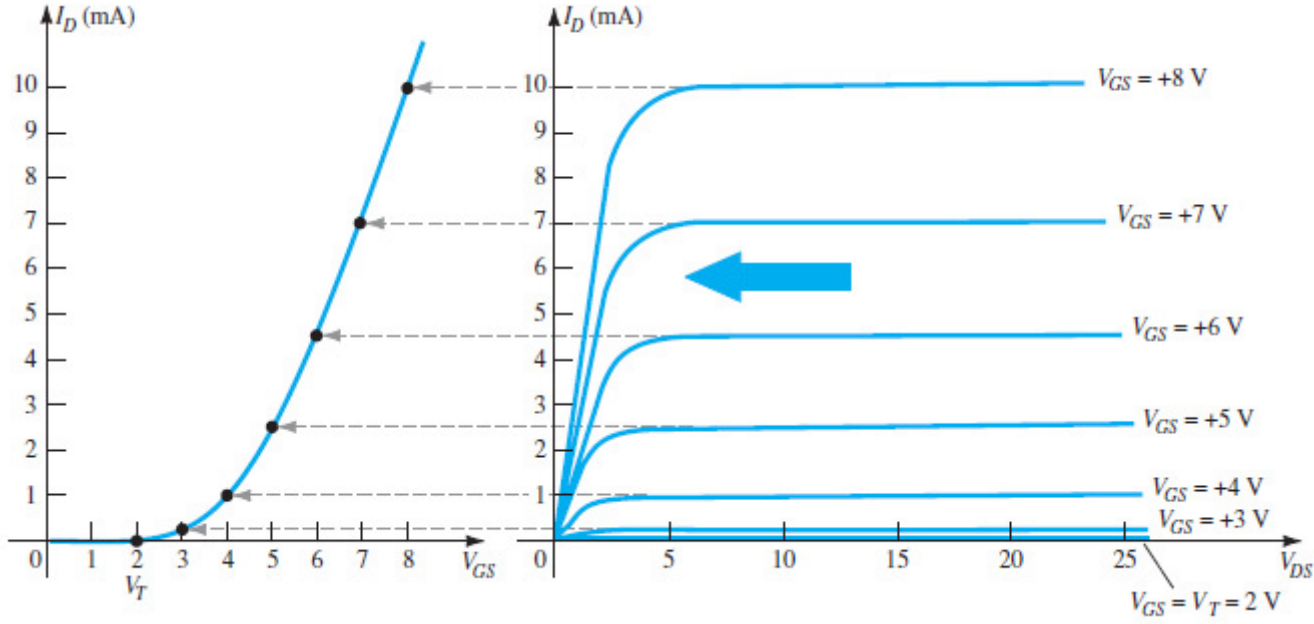
$$k = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_T)^2}$$

şeklindedir. Burada;

k ; sabit olup birimi A/V^2 ,

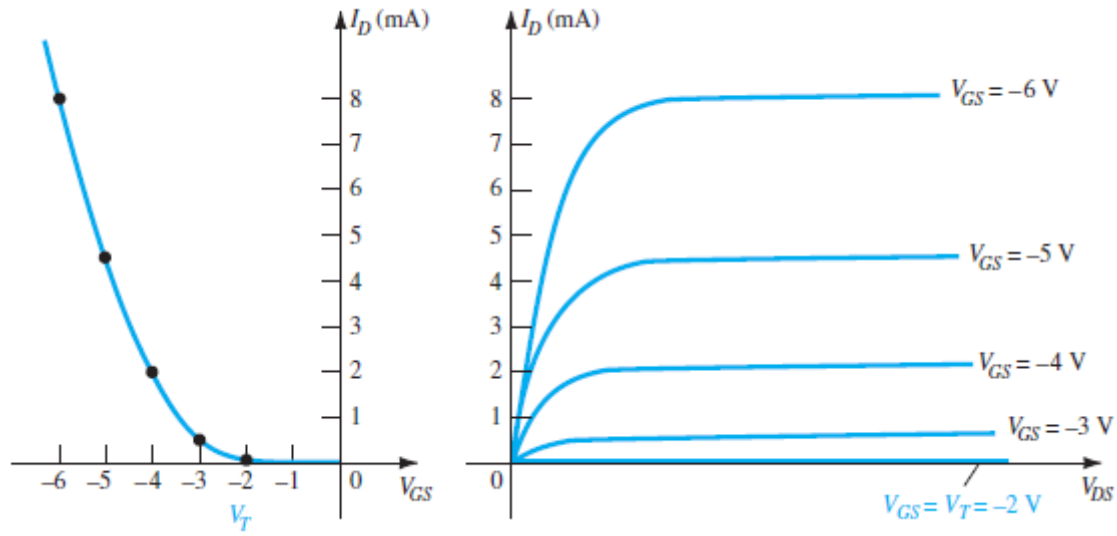
V_T ; Dren akımının başlamasına sebep olan minimum V_{GS} değeridir.

- n-kanal Enhancement MOSFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.11.'de verilmiştir.



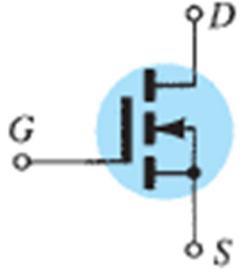
Şekil 3.11. İlgili Şekil

- p-kanal Enhancement MOSFET'lere ait tipik $I_D - V_{GS}$ ve $I_D - V_{DS}$ grafikleri Şekil 3.12.'de verilmiştir.



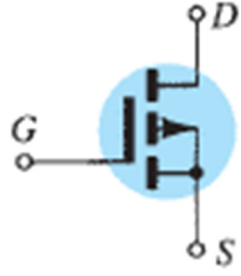
Şekil 3.12. İlgili Şekil

n-kanal ve p-kanal Enhancement MOSFET'lere ait simgeler Şekil 3.13.'te verilmiştir.



(a)

(a) n-kanal Enhancement MOSFET



(b)

(b) p-kanal Enhancement MOSFET

Şekil 3.13. İlgili Şekil