

EHM3151

Elektronik Devreler 1

Laboratuvarı

Deney 5: MOSFET Karakteristikleri

Ön Bilgi

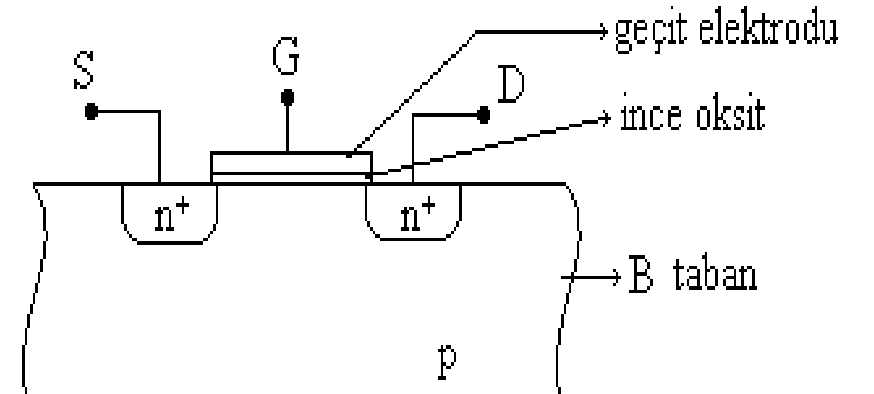
- Alan etkili transistörler (field-effect transistor, FET) bir yarıiletkenin içinden akan akımın bir elektriksel alan yardımı ile kontrol edilmesi prensibine dayanırlar.
- FET'ler yapı bakımından iki sınıfa ayrılırlar:
 - jonksiyonlu alan etkili transistörler (JFET)
 - yalıtılmış geçitli alan etkili transistörler (metal-oksit-yarıiletken transistörler, MOSFET)

Ön Bilgi

- Bunların ortak önemli özellikleri çok büyük (teorik olarak sonsuz) giriş direncine sahip yarıiletken aktif devre elemanları olmalarıdır.
- MOSFET'lerin gitgide daha geniş ölçüde kullanıldıkları bir alan da dijital tümdevrelerdir. Bunun nedeni MOSFET'lerin boyutlarının daha küçük olması (dolayısıyla birim kare alanı (p_u) içine daha çok transistör sığdırma olanağı sağlaması) ve üretim süreçlerinin transistörlere oranla daha kolay olmasıdır.

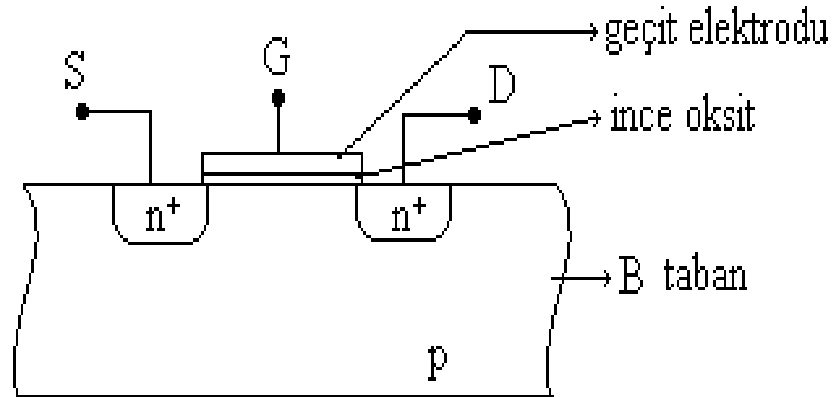
Ön Bilgi

- Bir MOS transistörün kesiti incelendiğinde p-tipi bir yarıiletken taban yüzeyinde iki bölgenin difüzyonla katkılanarak n-tipine dönüştürüldüğü görülmektedir.
- Biri source diğeri drain olarak adlandırılan bu uçlar arasında kalan p-tipi yarıiletken tabakanın üzeri çok ince bir yalıtkan (yarıiletkenin silisyum olması durumunda silisyum dioksit) tabaka ile kaplanmıştır.
- Yüzeyin geri kalan kısmı ise daha kalın bir yalıtkan tabaka ile kaplanmıştır. İnce oksit tabakanın üst yüzeyi üzerine bir iletken (genellikle poli-silisyum veya alüminyum) film oluşturulmuştur. Bu yapıda ince oksit tabakasının yüzeyindeki iletken *geçit elektrodu* denir.



Ön Bilgi

- MOSFETlerde source ucu ile drain ucu arasına bir gerilim uygulandığında source–taban veya drain–taban jonksiyonları tıkama yönünde kutuplanmış olacağından devreden pratik olarak akım akmaz.



Ön Bilgi

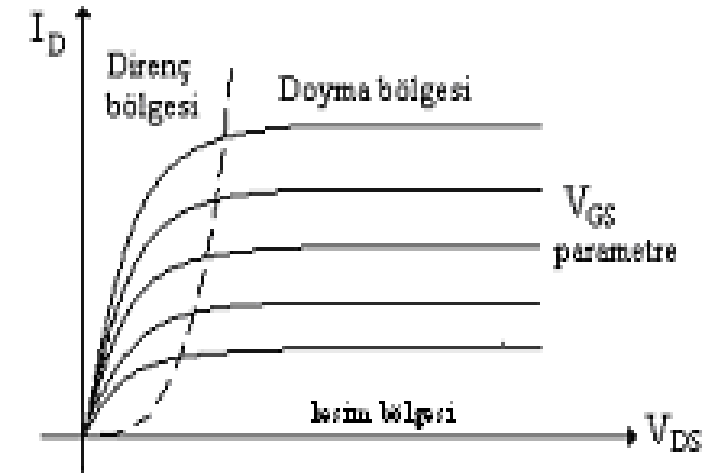
- P-tipi tabanla geçit elektrodu arasına geçidi tabana göre pozitif yapacak yönde bir doğru gerilim uygulandığında meydana gelen alan etkisi ile, yarıiletken tabanın oksit tabakasına yakın yerlerde pozitif taşıyıcılar (delikler) itilerek bu bölgeden uzaklaştırılırken, elektronlar oksit-yarıiletken geçiş yüzeyine doğru çekilirler.
- Uygulanan gerilimin bir değeri için bu bölgedeki elektron yoğunluğu delik yoğunluğunu aşar; yani geçit elektrodu altında kalan bölgede ince bir yarıiletken tabakası, p-tipinden n-tipine dönüşmüş olur. Böylece, zaten n-tipi olan source ve drain bölgeleri arasında bir iletim yolu (**kanal**) oluşmuş olur. Kanal n-tipi olduğundan böyle bir MOSFET'e n-kanallı MOSFET veya kısaca nMOS denir. Kanal bölgesinin uygulanan gerilimle tip değiştirmesi olayına evirtim, kanal bölgesine de evirtim tabakası denir. Evirtimin meydana gelmesi için gereken minimum geçit gerilimine de **eşik gerilimi** denir ve genellikle V_T ile gösterilir. Geçide uygulanan pozitif gerilim arttırılırsa n-tipine dönüşen tabakanın kalınlığı artar, yani kanal direnci küçülür.

Ön Bilgi

- Yeteri kadar büyük bir gerilim uygulanarak kanalı oluşturulmuş bir MOS transistörde source (S) ucu ile drain (D) ucu arasına bir gerilim uygulanırsa kanal boyunca bir akım akar.
- Akımın değeri V_{DS} gerilimi ile orantılı olarak artar. S ucu tabana bağlanmış bir n kanallı MOSFET de D ucu S ye göre pozitif olacak şekilde bir gerilim uygulanırsa çok küçük V_{DS} değerleri için akım-gerilim bağıntısı yine lineerdir. V_{DS} gerilimi arttırılırsa, kanalın S ucuna yakın noktalarda geçit-taban gerilimi, uygulanmış olan V_{GS} gerilimine eşit olduğu halde, kanal içinde D ye doğru gidildikçe – akmakta olan akımın kanal direncinde meydana getirdiği gerilim düşümü sebebi ile – geçitle taban arasındaki gerilim azalır ve bir noktadan sonra V_T eşik geriliminin altına düşer. Böylece kanal kısılır. Bundan sonra V_{DS} gerilimi arttırılsa da akım daha artmaz.

MOSFET çalışma bölgeleri

- *Kesim bölgesi*
- *Direnç bölgesi (doymasız bölge)*
- *Doyma bölgesi*



Kesim bölgesi

- $V_{DS} = 0$ iken, ancak $V_{GS} > V_T$ durumunda MOSFET ilettime geçer, $V_{GS} < V_T$ için Drain ucunda hiçbir hareketli yük bulunmayacağından $I_D = 0$ 'dır. $V_{GS} < V_T$ ve $I_D = 0$ koşullarında transistör kesimdedir (cut-off) ve açık bir anahtar davranışı gösterir.

Direnç bölgesi (Lineer Bölge)

- $V_{GS} > V_T$ olduğunda kanal iletkenliği V_{DS} tarafından kontrol edilmektedir. Direnç bölgesi $V_{GS} - V_T > V_{DS}$ eşitsizliği ile tanımlanır. V_{DS} 'nin bu küçük değerleri için MOSFET direnç özelliği göstermektedir yani I_D akımı V_{DS} ile doğrusal olarak değişmektedir (Lineer Bölge).

$$I_D = \beta \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Doyma bölgesi

- Doyma bölgesi şartı $V_{GS} - V_T < V_{DS}$ (sıfırdan büyük)'dir. İdealde, doyma bölgesinde I_D akımı V_{DS} den bağımsızdır ve sabittir. I_D akımının değeri sadece efektif kontrol gerilimi $V_{GS} - V_T$ 'nin bir fonksiyonudur.

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

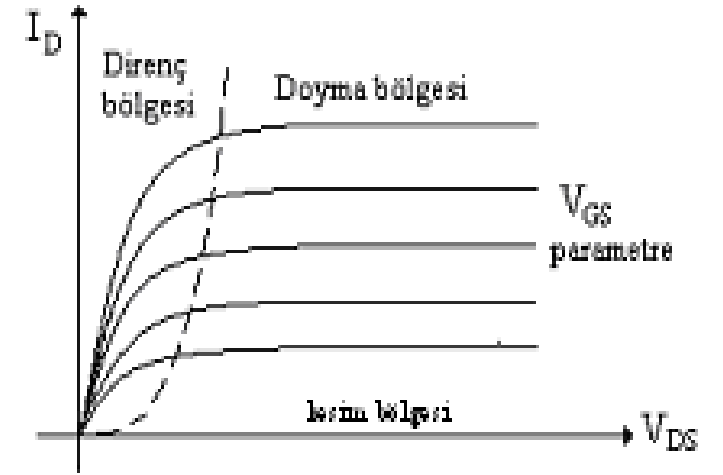
Kanal Boyu Modülasyonu

- Şekilde gösterilen akım gerilim karakteristiği ideal bir MOSFET içindir. Gerçekte ise doyma bölgesinde I_D akımı, V_{DS} ile az da olsa artar. Bu etkinin sebebi kanal boyu modülasyonu dur. Kanal boyu modülasyonu etkisi de dikkate alınarak:

$$I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

yazılabilir.

- Kanal boyu modülasyonu dijital devreler için genellikle ihmal edilir ancak analog devreler için önemli olabilir.



- Mosfet kanal bölgelerinde kullanılan maddelere göre:
 - N tipi mosfet
 - P tipi mosfet
- Çalışma şekline göre ise mosfetler:
 - Kanal oluşturmali (enhancement) mosfetler
 - Kanal artırmali (depletion) mosfetler

- Buraya kadar anlatılmış olan MOSFET'lerde geçite bir gerilim uygulanmadığı sürece bir iletim kanalı yoktur. Kanalı, geçide uygulanan gerilim oluşturur. Bu yüzden, bu tip bir MOSFET'e **kanal oluşturmali MOSFET** (enhancement MOSFET, normally-off MOSFET) denir. Lojik devrelerde kullanılan MOSFET'ler bu tiptendir.
- Bazı uygulamalarda geçide gerilim uygulanmamışken MOSFET'in belirli bir ölçüde iletken olması, V_{GS} gerilimini bir yönde değişimi ile akımın artması, diğer yönde değişimi ile akımın azalması istenir. N-kanallı MOS transistörlerde bu durum tabanın katkı yoğunluğuna bağlı olarak, genellikle kolayca sağlanır, p-kanallı yapılarda kanal bölgesinin katkılanması gerekir. Bu tipten bir MOSFET'e de **kanal ayarlamali MOSFET** (depletion MOSFET, normally-on MOSFET) denir.

Deneyin Yapılışı

