

ELEKTRONİK DEVRE TASARIM LABORATUARI-I

MOSFET YARI İLETKEN DEVRE ELEMENİNİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yrd. Doç. Dr. Özhan ÖZKAN



MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET: Metal-Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistor (Geçidi Yalıtılmış Alan Etkili Transistor)

Genel Özellikleri:

1. Çok az yer kaplarlar.
2. Çok az güç çekerler.
3. Alan etkili transistörlerdir.
4. Akımları ısı ile diğer yarıiletkenlere nazaran daha az değişir.
5. Gürültü daha azdır.
6. Band genişliği daha fazladır.
7. Giriş ve çıkış empedansları alçak frekanslarda çok yüksek, elektrotlar arası iç kapasiteleri küçüktür.
8. Statik elektrikten çok kolay etkilenirler. Bu nedenle elle temastan kaçınılmalıdır. Aksi takdirde insan vücudunda biriken elektrikle kolayca bozulabilirler.

Kullanım Alanları: Osilatörler, ölçü aletleri, alıcı ve vericilerin alçak frekans ve radyofrekans katları, otomatik kazanç kontrol devreleri vb.

MOSFET Ayakları:

1. Drain (Savak)
2. Gate (Geçit)
3. Source (Kaynak)

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

FET-BJT AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI:

Field Effect Transistor (FET)

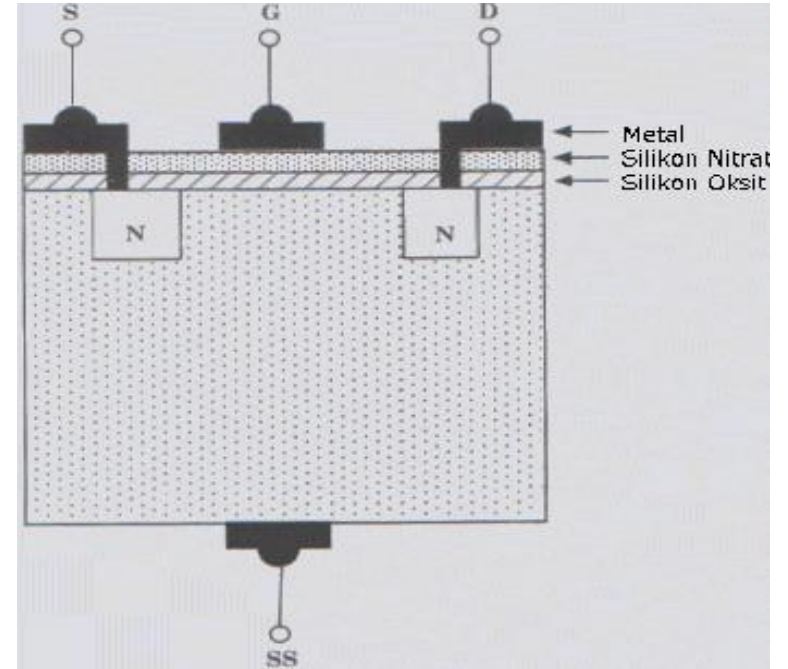
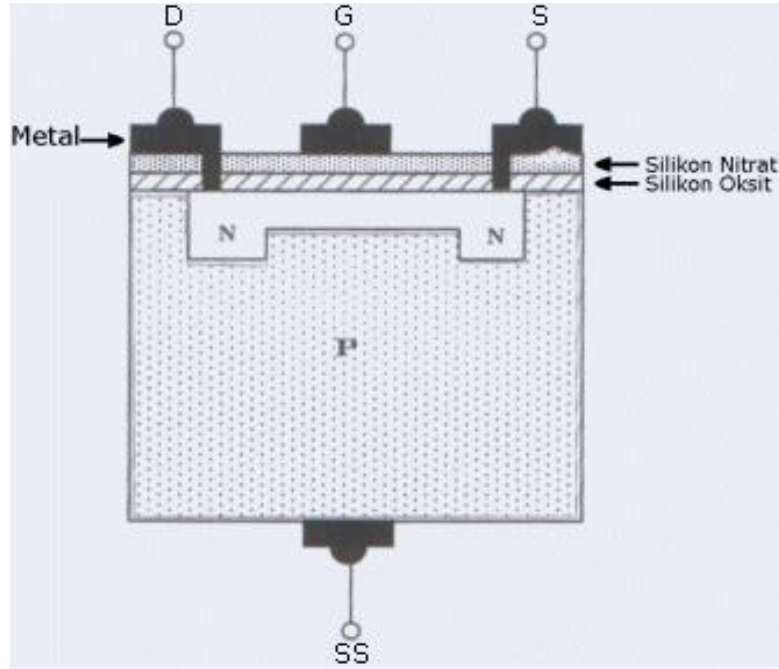
- Düşük voltaj kazancı
- Yüksek akım kazancı
- Çok yüksek giriş empedansı
- Yüksek çıkış empedansı
- Düşük gürültü seviyesi
- Hızlı anahtarlama zamanı
- Statik elektrikten kolay etkilenme
- Voltaj kontrollü
- Daha pahalı

Bipolar Junction Transistor (BJT)

- Yüksek voltaj kazancı
- Düşük akım kazancı
- Düşük giriş empedansı
- Düşük çıkış empedansı
- Daha yüksek gürültü seviyesi
- Daha yavaş anahtarlama zamanı
- Statik elektriğe karşı dayanıklı
- Akım kontrollü
- Ucuz

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET Elemanının İç Yapısı:



Şekillerde MOSFET elemanı için örnek iç yapılar gösterilmektedir.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET TIPLERİ:

MOSFET, yapısına bağlı olarak iki gruba ayrılır:

1. Kanal Oluşmalı (enhancement) MOSFET
2. Kanal Ayarlamalı (depletion) MOSFET

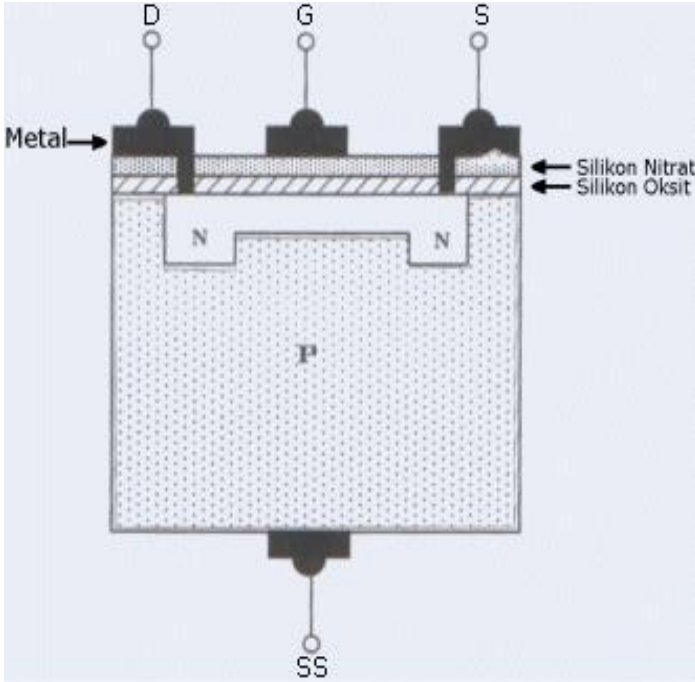
Her iki MOSFET türü, akım iletiminin sağlandığı kanalın tipine göre ayrıca iki gruba ayrılır:

1. pMOS (Kanal bölgesi p tipi malzeme ile kaplanmıştır.)
2. nMOS (Kanal bölgesi n tipi malzeme ile kaplanmıştır.)

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN ÇALIŞMASI

A) Kanal Ayarlamalı (Depletion) MOSFET:

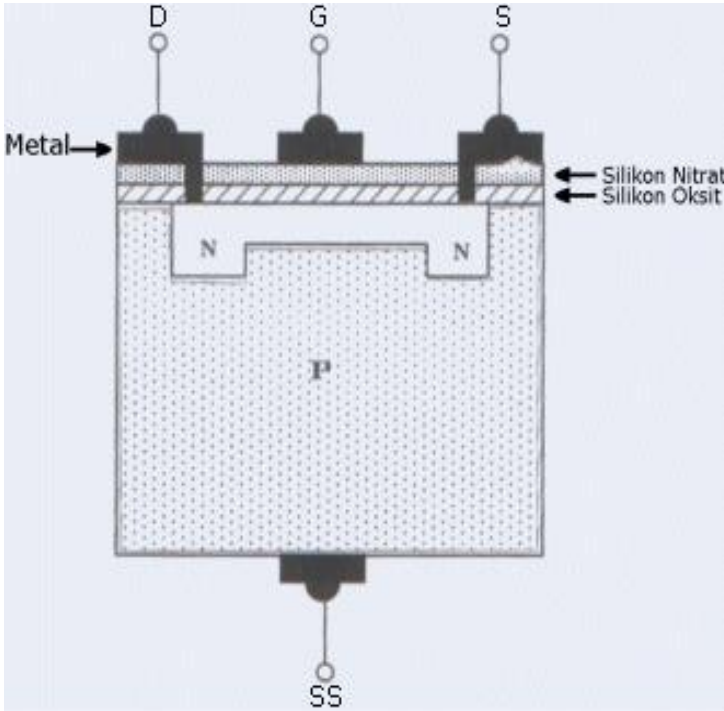


Yandaki şekilde taban malzeme (gövde) p-tipi madde alınmıştır. Bu p-tipi maddenin uygun yerlerinde N tipi bölgeler oluşturulmuş ve aralarına ince bir kanal yerleştirilmiştir. Bu yapının üstü silikon oksit tabakası ile tamamen kaplanmıştır. Ancak bu tabakanın havadaki sodyumdan etkilenebileceğinden bunun üzeri ikinci tabaka olan silikon nitrat ile kapatılmıştır. N-maddelerinden çıkartılan uçların adı; Savak (D) ve Kaynak (S) uçları, silikon tabakalarından delik açılarak metalik irtibat sağlanmıştır. Savak (D) ve Kaynak (S) uçları, N-tipi bölge ile doğrudan irtibatlı olduğu halde Geçit (G) ucu yarıiletken den yalıtılmış, izole edilmiş haldedir. Burada Geçit (G) ucuna uygulanan gerilim sıfır volt olduğunda Savak (D) ve Kaynak (S) uçları arasında belirli bir akım akar. Çünkü, Savak (D) ve Kaynak (S) uçları birbiriyle irtibatlıdır. Geçit (G) terminaline (+) gerilim uygulandığında, N-tipi maddeler arasında mevcut olan kanal genişleyeceğinden D-S arasından geçen akım artar. Gate terminaline (-) gerilim uygulandığında kanal daralarak akım azalır. Şekilde kanal N-tipi maddeden yapıldığı için n-kanallı azalan tip MOSFET'tir. Kanal p-tipi maddeden de yapılabilir.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN ÇALIŞMASI

A) Kanal Ayarlamalı (Depletion) MOSFET

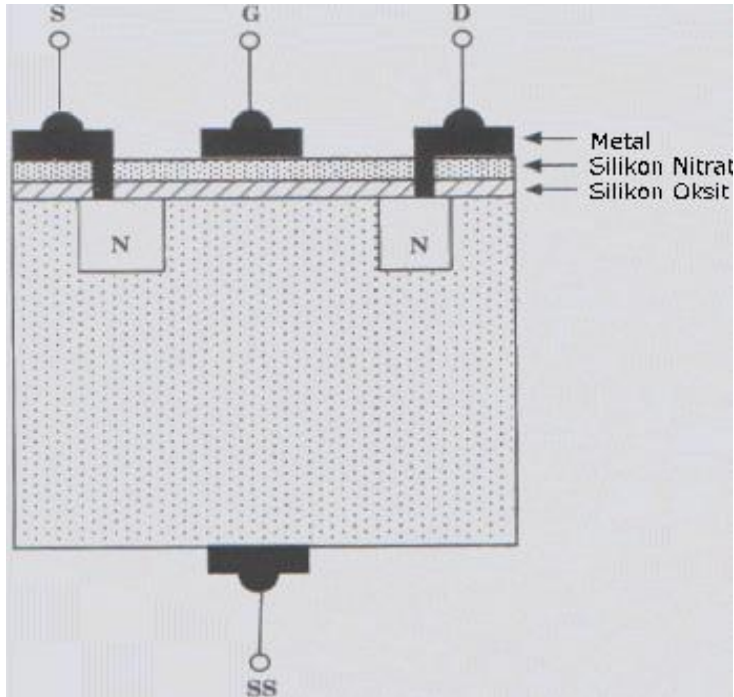


1. D-S arasından geçen akım kanaldan geçer.
2. Geçite uygulanan gerilim ile kanaldan geçen akım kontrol edilir.
3. Kanal Ayarlamalı bir NMOS'ta geçit ile kaynak (-), savak (+) polaritedir.
4. Kanal ayarlamalı MOSFET'te geçit voltajı sıfır iken drain akımı vardır.
5. Geçite uygulanan (-) voltajla kanal iletkenliği azalmakta, kanal direnci artmakta dolayısıyla kanaldan geçen akım azalmaktadır.
6. Kanal iletkenliği dolayısıyla akım azaldığı için azalan tip Mosfet olarak da adlandırılır.

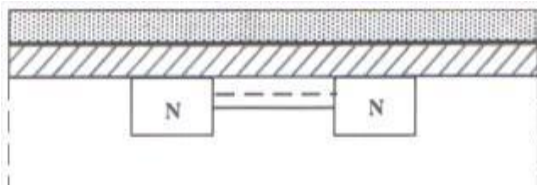
MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN ÇALIŞMASI

B) Kanal Oluşmalı (Enhancement) MOSFET



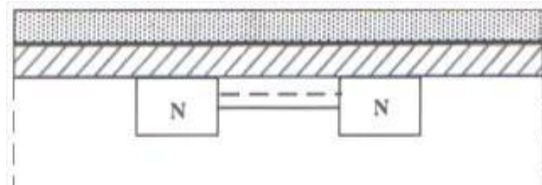
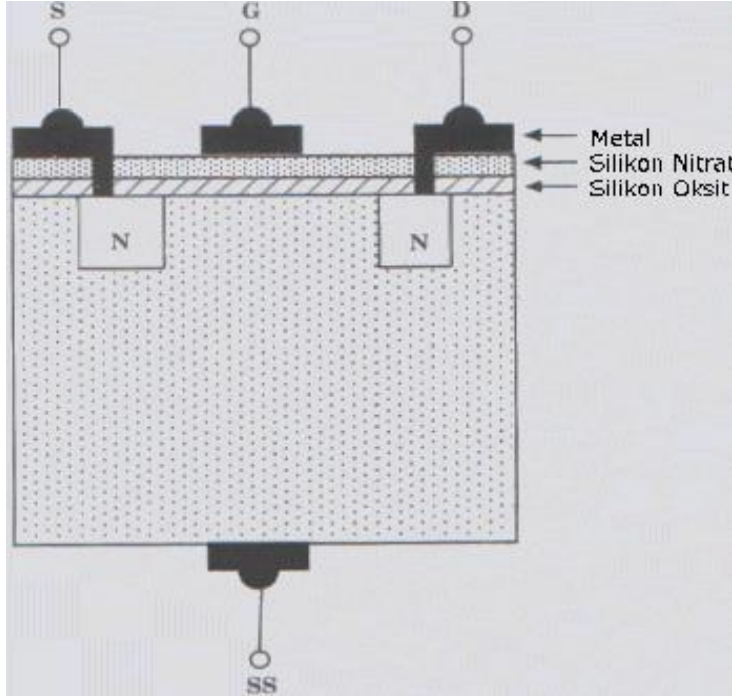
1. Şekilde görüldüğü gibi Kanal oluşmalı MOSFET'in kanal ayarlamalı tipten farkı, iki N-tipi bölgenin arasında kanal olmamasıdır.
2. Burada da Kaynak (S) ve Savak (D) uçları, N-tipi bölgelerle doğrudan temas halinde oldukları halde Geçit (G) ucu yarıiletken malzemedan izole edilmiş durumdadır.
3. G ucuna herhangi bir gerilim uygulanmadığı sürece S ve D uçları arasından bir akım akmaz.
4. G ucunun bulunduğu metal parça ile P-tipi gövde bir kondansatör özelliği gösterir. Çünkü, iki iletken bir yalıtkan kondansatörü meydana getirir.



MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN ÇALIŞMASI

B) Kanal Oluşmalı (Enhancement) MOSFET

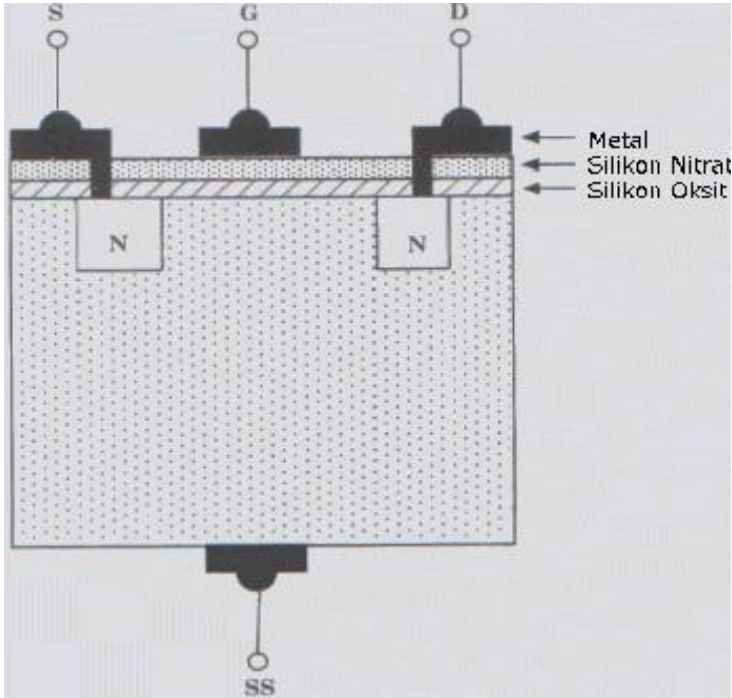


5. G ucuna (+) gerilim uygulandığında, kapasite özelliğinden dolayı P-tipi gövde de iki N-maddenin yanında (-) yükler toplanır.
6. Böylece iki N-tipi madde arasında doğal olarak bir kanal oluşur. Bu durumda akım akışı başlar.
7. G ucuna uygulanan (+) gerilimin artırılması halinde, iki N-tipi madde arasında oluşan (-) yükler çoğalarak P-tipi gövde içerisinde oluşan bu kanalın genişlemesine sebebiyet verir.
8. Böylece Kaynak (S) ve savak (D) uçları arasında akan akım, G ucuna uygulanan gerilim ile kontrol edilebilir.
9. Gate ucuna gerilim uygulanmadığı sürece S ve D arasından akım akmaz.

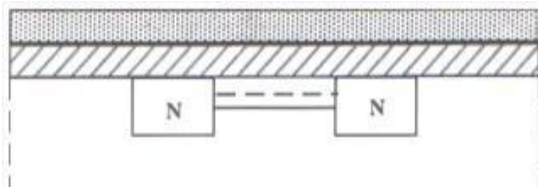
MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN ÇALIŞMASI

B) Kanal Oluşmalı (Enhancement) MOSFET

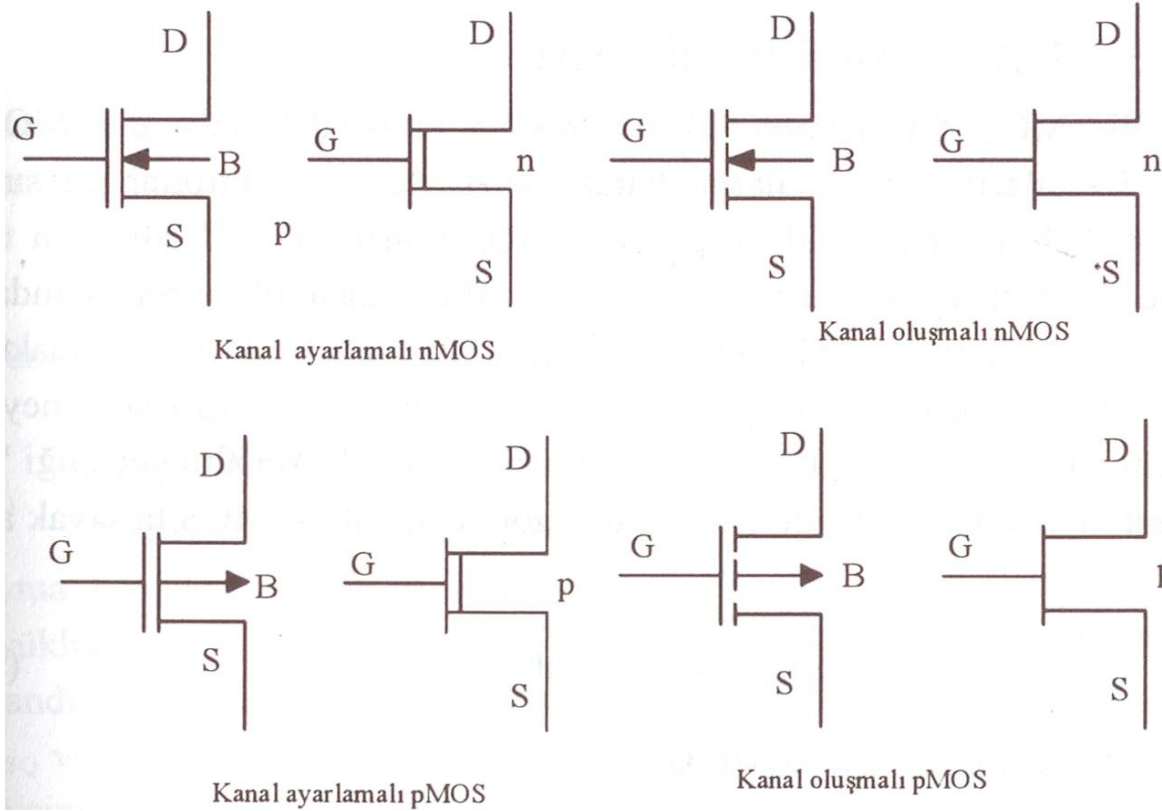


10. Üstteki şekilde görüldüğü gibi tabanı p tipi olan bir MOSFET'te iki n-tipi bölge arasında kanal oluşturmak için geçit ucundan kritik bir gerilim değerinin üzerinde bir gerilim uygulanması gerekir. Geçit altında tabanın n-tipine dönüşmesini, savak-kanal arasında kanal oluşmasını sağlayan bu geçit gerilimine **eşik gerilimi (V_{th})** denir.



MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

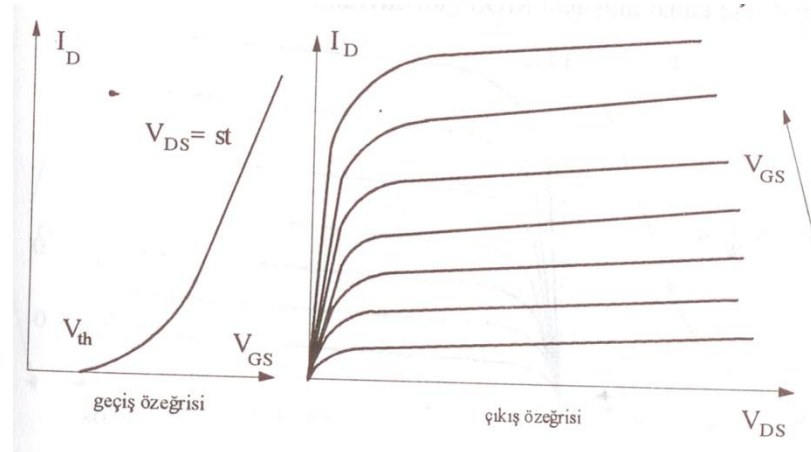
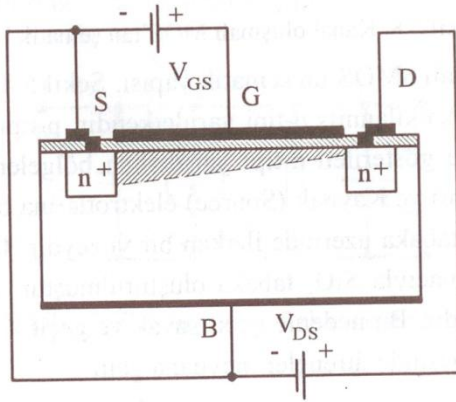
MOSFET SEMBOLLERİ



MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN GEÇİŞ VE ÇIKIŞ ÖZEĞRİLERİ

A) Kanal Oluşmalı MOSFET



Kanal oluşmalı bir nMOS transistor için karakteristik eğrilerin elde edilmesini sağlayan devre modelidir. Buna göre,

1.Devrede G-S arasında oluşturulan gerilimin değeri (V_{GS}) kanal oluşumu için G'de olması gereken eşik gerilimi V_{th} 'i geçmezse savaktan akım akmaz.

$V_{GS} < V_{TH}$ iken $I_D = 0$.

2. V_{GS} değeri arttırılıp kanal oluşumu için G'de olması gereken eşik gerilimi V_{th} 'i aşınca savaktan (D) akım akmaya başlar ve D-S arasındaki gerilim değeri ile orantılı olarak artmaya başlar.(V_{DS} 'in küçük değerleri için)

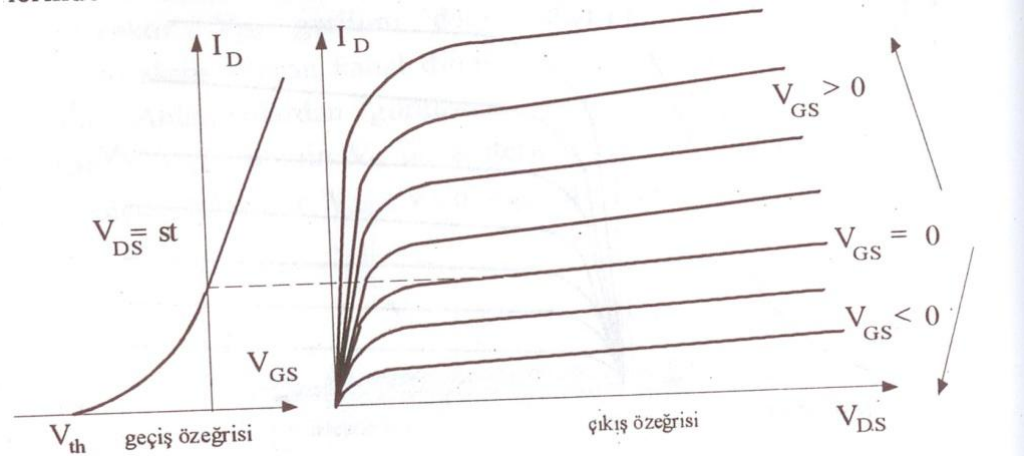
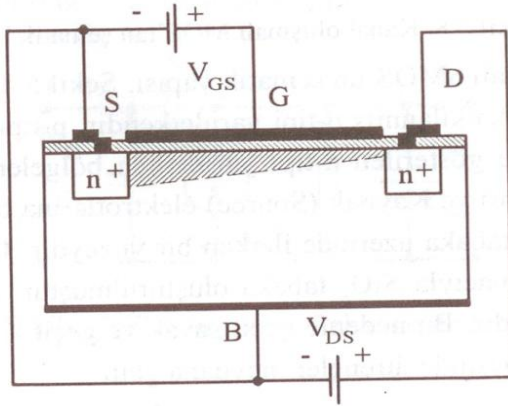
3. V_{DS} değeri büyüdükçe kanal şekli bozulur, şekilde görüldüğü gibi savak tarafı kısılmaya başlar ve savak tarafının direnci artar. Dolayısıyla I_D akımının artış hızı azalır.

4. V_{DS} arttırılmaya devam edilirse I_D akımı V_{DS} ile çok az değişir duruma gelir. Bu bölgeye **doyma bölgesi** denir.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN GEÇİŞ VE ÇIKIŞ ÖZEĞRİLERİ

B) Kanal Ayarlamalı MOSFET



1. Yapısında halihazırda bir kanal mevcut olduğu için kanal ayarlamalı MOSFET'lerde geçitten herhangi bir gerilim uygulanmasa bile D-S arasında gerilim uygulanması ile I_D akımı akmaya başlar.
2. Şekildeki nMOS için I_D akımı G ucuna negatif bir gerilim uygulamak suretiyle sıfıra yaklaştırılır. Eğer pMOS olursa G ucu pozitif polarlanmalıdır.
3. nMOS örnek alınır, V_{GS} 'nin negatif değerlerinde kanal ayarlamalı, pozitif değerlerinde kanal oluşmalı MOS gibi davranır.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFETLERDE AKIM-GERİLİM İLİŞKİSİ

MOSFET'in tüm karakteristik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda,

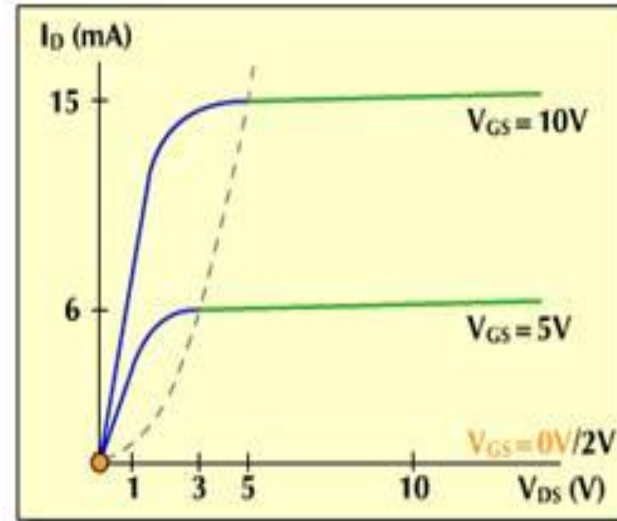
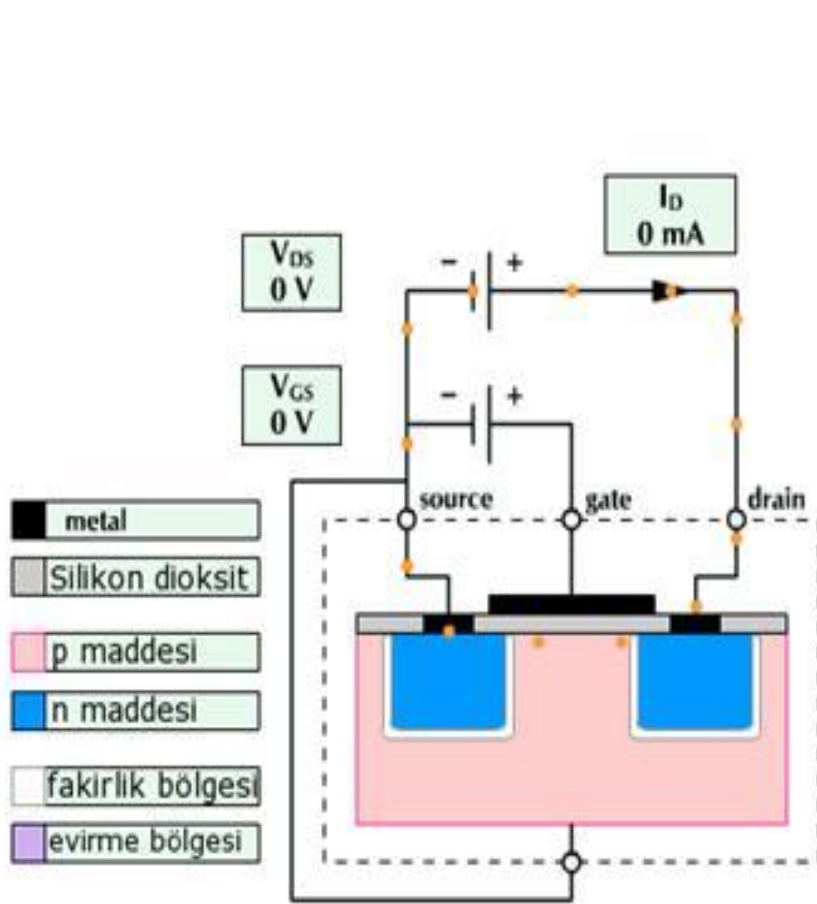
1. $V_{GS} < V_{TH}$ için $I_D = 0$

2. $V_{GS} - V_{TH} > V_{DS}$ doymasız durum için $I_D = \beta[(V_{GS} - V_{TH}) \cdot V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2]$

3. $V_{GS} - V_{TH} < V_{DS}$ doymalı durum için $I_D = \frac{1}{2} \beta[(V_{GS} - V_{TH})^2]$

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

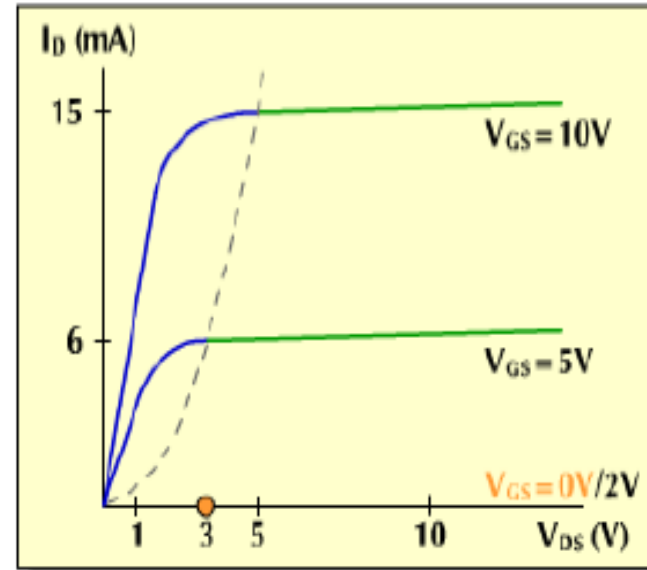
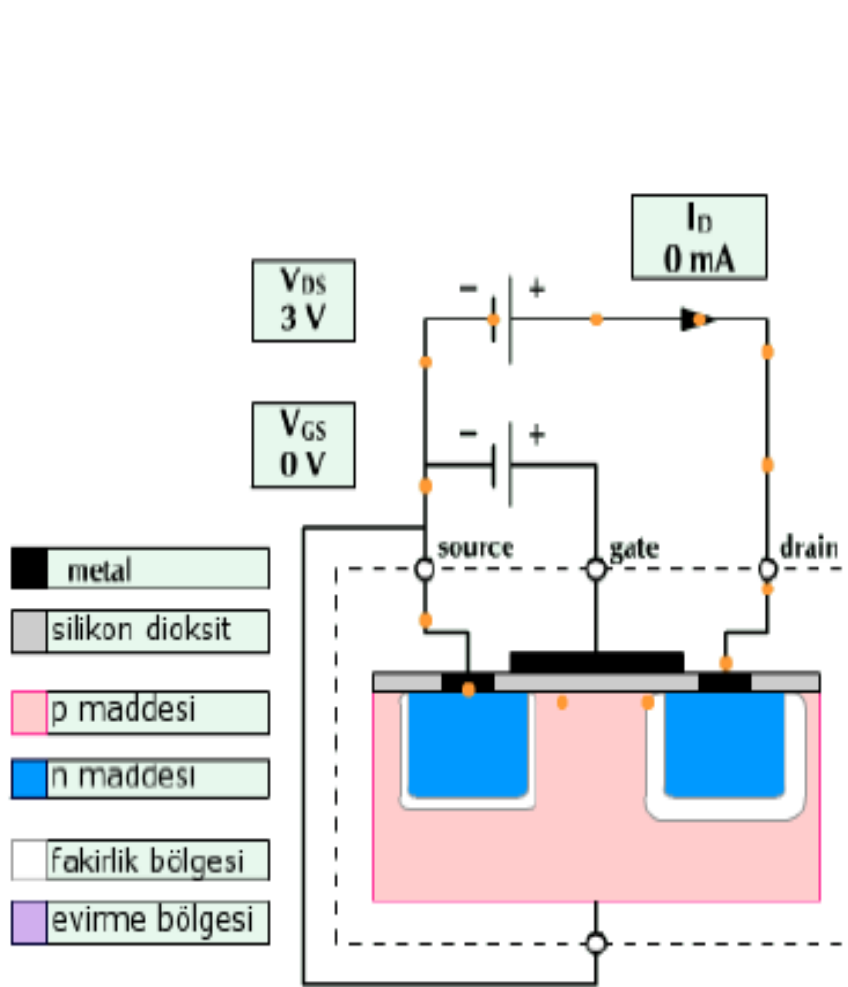
Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



Drain ve Source arasındaki kanalın iletkenliği Gate ucuna uygulanan voltaj ile kontrol edilmektedir. Gate ucuna uygulanan voltaj ile oluşturulan elektrik alan kanalın iletkenliğini ayarlama kullanılır.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

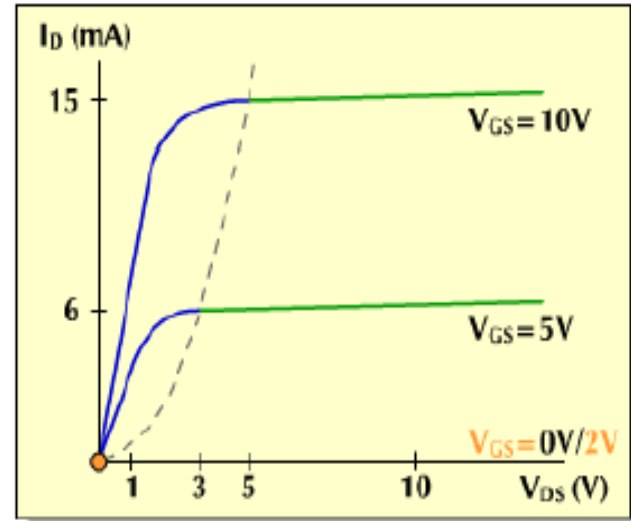
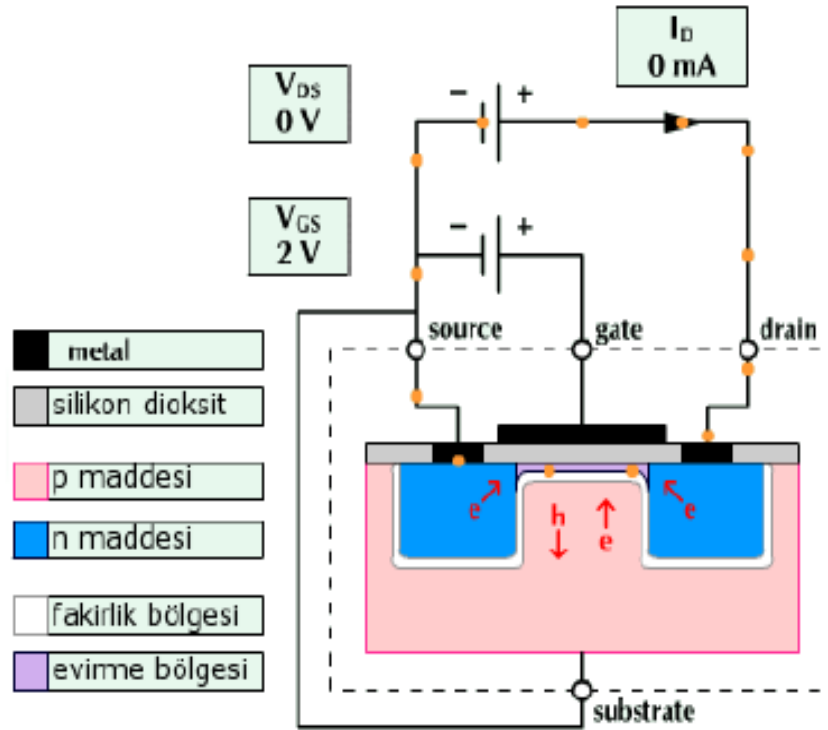
Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



V_{DS} voltajının artmasının tek etkisi fakirlik bölgesinin genişlemesi olacaktır.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

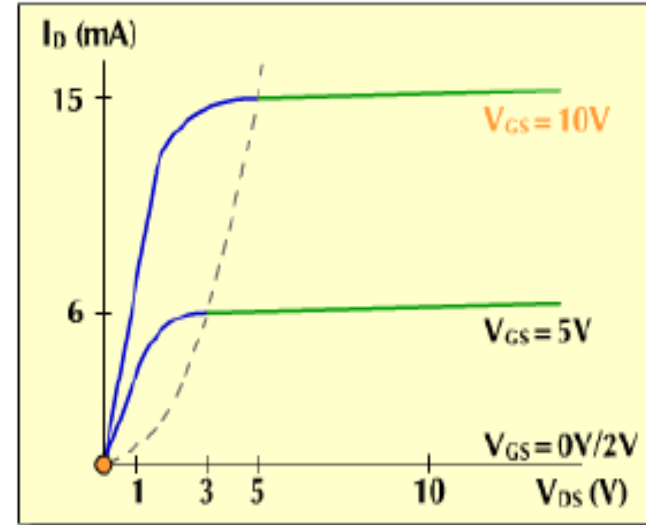
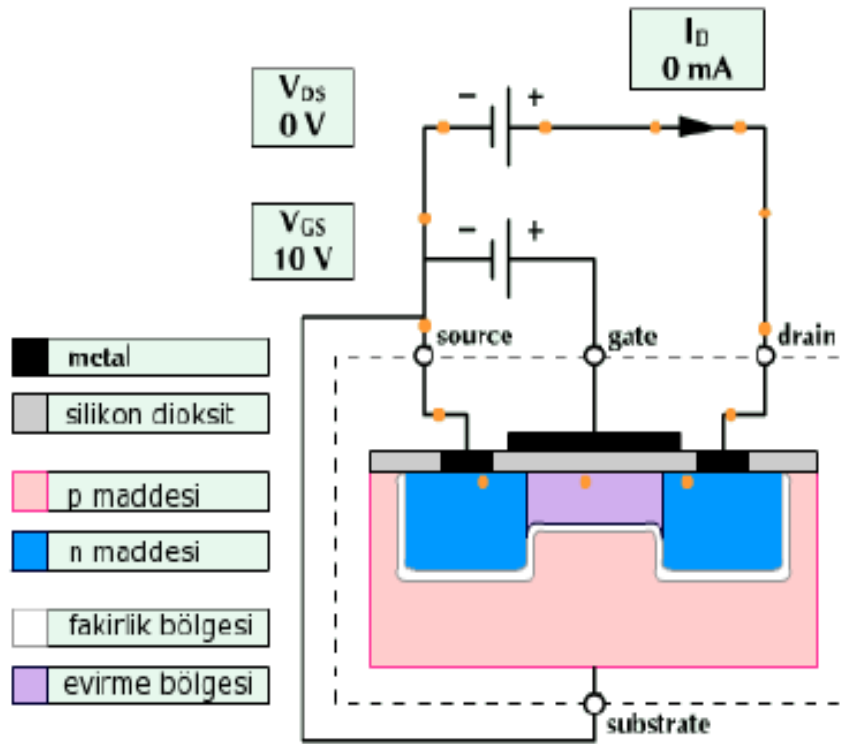
Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



V_{GS} voltajını artırarak elde edilen elektrik alan, p tipli madde içerisindeki pozitif yüklü atomları iter, negatif yüklü atomları çeker, aynı zamanda n tipli madde içerisindeki serbest elektronları çeker. V_{GS} voltajı V_T voltajından büyük olduğu zaman, n-tipli bir kanal Drain ve Source arasında oluşturulmuş olur

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

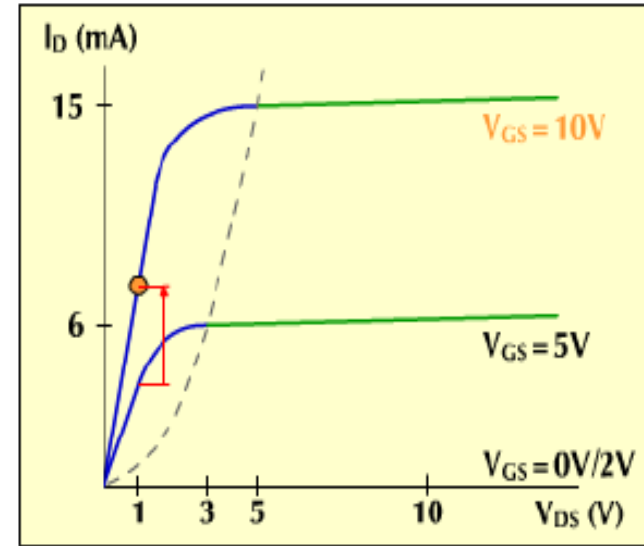
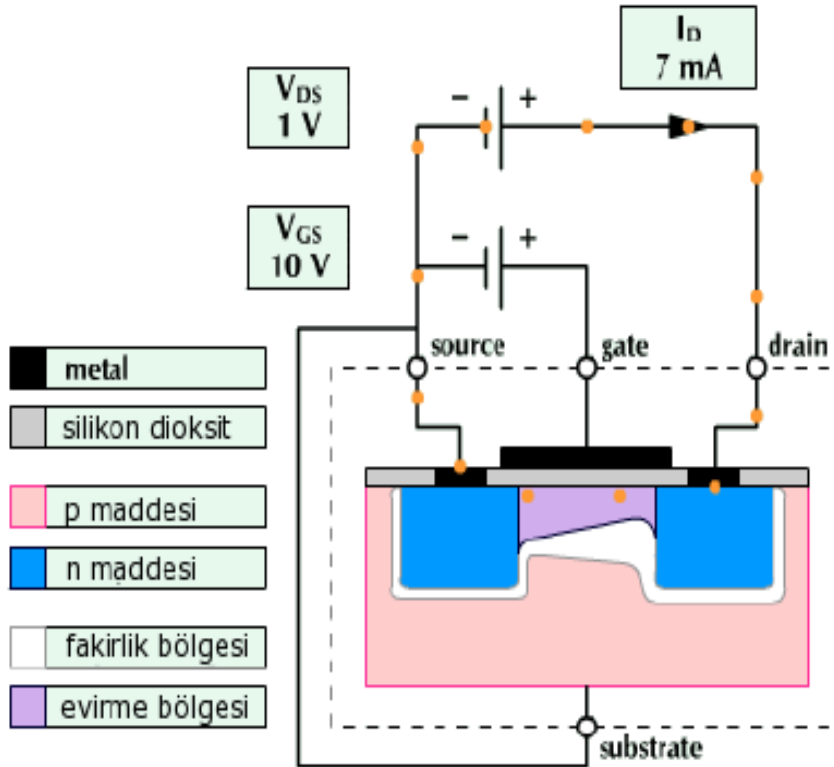
Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



Daha büyük bir V_{GS} voltajı, kanaldaki serbest elektronların sayısını artırır. Bunun sonucu olarak da evirme bölgesi genişler.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

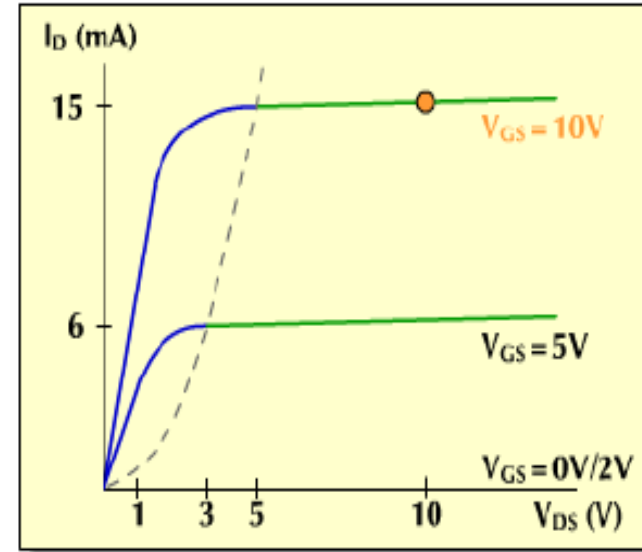
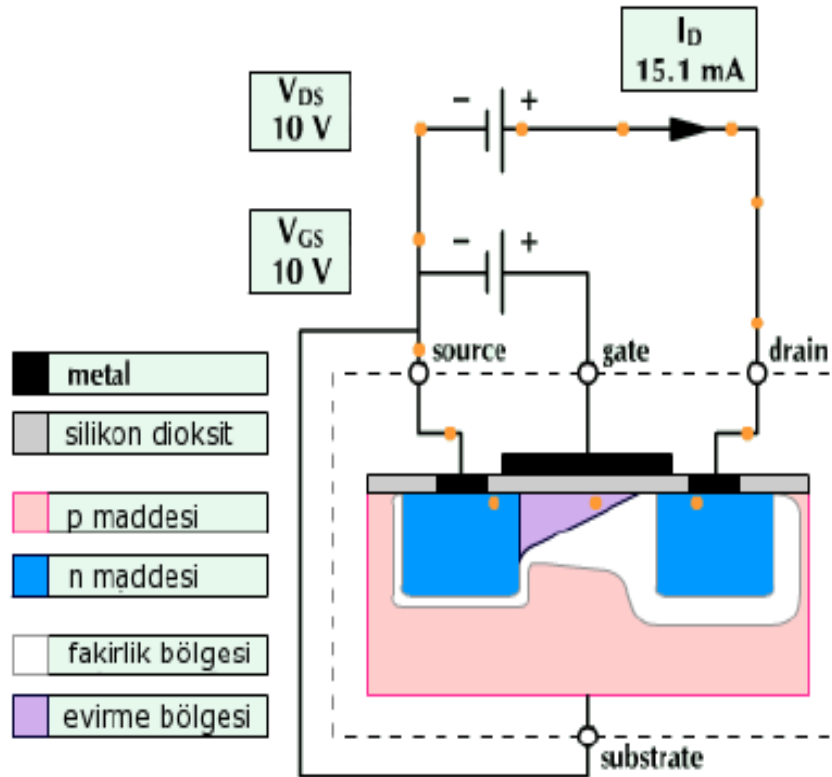
Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



Genişlemiş evirme bölgesi sayesinde kanalın direnci düşmüştür böylece V_{DS} voltajına bağlı olarak bu kanaldan I_D akımı akacaktır.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:



Artık MOSFET Saturasyon bölgesine girmiştir. Bu bölgede I_D akımı V_{DS} voltajından bağımsızdır ve V_{GS} voltajına bağlı olarak değişir.

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kanal Oluşmalı NMOS'un Çalışmasına Yönelik Uygulamalı Bir Örnek:

Sonuç olarak kanal oluşmalı nMOS bir transistördeki çalışma bölgeleri:

1. Kesim : Gate-Source gerilimi, eşik geriliminden düşük olduğunda, $V_{GS} < V_{TH}$, Drain akımı sıfıra çok yakındır ve yaklaşık olarak sıfır alınır. $I_D = 0$
2. Doğrusal : Drain-Source gerilimi Gate-Source gerilimi ile eşik gerilimi arasındaki farktan daha düşük olduğu bölge. $V_{GS} - V_{TH} > V_{DS}$
3. Saturasyon : Gate-Source gerilimi, eşik geriliminden yüksek yani ve Drain-Source gerilimi, Gate-Source gerilimi ile eşik gerilimi arasındaki farktan daha yüksek olduğu bölge. $V_{GS} - V_{TH} < V_{DS}$

MOSFET ELEMANININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MOSFET'İN SAĞLAMLIK KONTROLÜNÜN YAPILMASI

MOSFET'in sağlamlık kontrolü için multimetre diyot konumuna getirilir ve tipine göre aşağıda gösterilen ölçüm sonuçları elde edilirse sağlamlık kontrolü başarılı bir şekilde tamamlanmış olur.

		+ prob		
		D	S	G
- p r o b	D	~0	~0,6	
	S	~0	~0,6	
	G	-	-	

N kanal

		+ prob		
		D	S	G
- p r o b	D	-	~0,6	
	S	-	~0,6	
	G	-	-	

N kanal

		+ prob		
		D	S	G
- p r o b	D	~0	-	
	S	~0	-	
	G	~0,6	~0,6	

P kanal

		+ prob		
		D	S	G
- p r o b	D	-	-	
	S	-	-	
	G	~0,6	~0,6	

P kanal

Tablodaki değerler yaklaşık değerler olup ölçülecek malzemenin tipine ve karakteristik özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.