**1) a) Doyma Akımı (Saturation Current):**

Drain ile Source arasındaki gerilim (VDS), pozitif yönde arttırılmaya başlanırsa bununla orantılı olarak ID akımı da artar. VDS artmaya devam ederken, kritik bir noktaya kadar bu akım artmaya devam edecektir. Ancak bu kritik noktadan sonra VDS artışı, akımı değiştirmemeye başlar ve bu akıma doyum akımı (saturation current) denir. Bu noktada transistör doyuma girmiştir diyebiliriz. Doyma akımı reverse bias diyotlarda devredeki akıma yaklaşık olarak eşittir. Ancak forward bias diyotlarda difüzyon akımı bu doyum akımından daha fazladır.

**NOT:** Channel-Length Modulation ihmal edilmez ve VDS artışı devam ederse bir noktadan sonra akımda değişim gözlenir.

v


**Şekil 1 : ID-VDS grafiği**

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi bir noktadan sonra VDS değişimi ID’yi etkilememektedir.

**b) Kanal Boyu Modulasyonu (Channel Length Modulation):**

Yukarıda bahsedildiği gibi VDS = VDS - VT olunca transistör için pinch-off kuralı sağlanmış olur ve ID akımı bu noktadan sonra doyuma ulaşır. Ancak VDS bir süre daha arttırılmaya devam edildiğinde VDS > VDS - VT olunca, kanalın uzunluğunun biraz daha kısaldığı görülür. Bu da ID akımının biraz daha artması sonucunu doğurur. Bu etkiye channel length modulation denir.

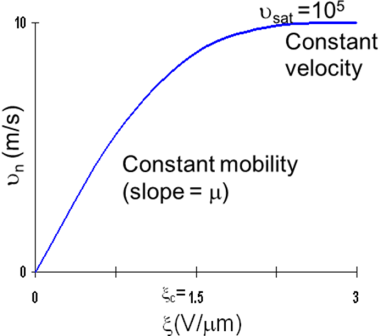
Channel length modulation hesaba katıldığında, saturasyon denklemini (1 + λVds) ile çarparız. λ parametresine kanal boyu modülasyonu denmektedir. Bu etki gerçekleştiğinde Şekil-1 deki grafikteki VGS eğrilerinin ucunun biraz yukarı doğrulduğu görülmektedir.

**c) Hız Doyumu (Velocity Saturation):**

Taşıyıcıların hızı elektrik alan ile orantılıdır ancak bu alanın değerinden bağımsızdır. Kanal üzerindeki elektrik alan kritik değere ulaştığında taşıyıcıların hızı, taşıyıcıların birbirleriyle çarpışmalarından dolayı doyuma ulaşır. Bu durum kısa kanallı MOSFET yapılarında VDS değerinin artması ile oluşur.

Taşıyıcıların mobilitesi sabit olduğunda taşıyıcıların hızının elektrik alana bağlı olan grafiği Şekil-2’de verilmiştir. Elektronların ve deliklerin doyum hızları yaklaşık olarak 10-5 m/s’ dir.

Kısa kanallı MOSFET yapısında VDS değeri VGS – VT değerine ulaşmadan taşıyıcıların hızı doyuma ulaşır. Kanaldaki elektrik alan, VDS değerinin artması ile kritik değere ulaşır ve draindeki taşıyıcılarda hız doyumu oluşur.



**Şekil 2 : Velocity Saturation**

**d) Sıcak-Taşıyıcı Etkisi (Hot Carrier Effect):**

Günümüz teknolojisinde chip’lerin boyutları her geçen gün küçülmektedir. Chip’lerin boyutları küçülmesine rağmen besleme voltajları aynı oranda değişmemektedir. Elektrik alanlarındaki bu artış elektronlarında hızını arttırmaktadır. Bu nedenden dolayı bazı elektronlar da yeterince enerji ve hız kazanınca gate kısmındaki yalıtkan metal oksit tabakayı delmeye başlayıp saplanıyorlar. Bu durum VT geriliminin (Threshold Voltage) artmasına yol açmaktadır. Bundan dolayı transistorlerin ömrü kısalmaktadır. Bu olaya sıcak taşıyıcı etkisi (hot carrier effect) denir.

**e) Metal Göçü (Metal Migration):**

Metal göçü, transistörün temas noktalarındaki alaşımın difüzyon ile silikon yapıya nüfuz etmesi olayıdır. Bir telin akım taşıma kapasitesi, bu telin kesit alanına bağlıdır. Akım çok fazla iken elektron akışı, teldeki metalleri iter. Buna metal göçü denir.

Eğer direnç artarsa, metal göçü de artar. Metal göçünün gerçekleşmesi iyi bir şey değildir. Metal göçünün çok fazla gerçekleşmesi telin kopmasına neden olabilir. Bu da zarar gören transistörün yanlış çalışmasına neden olur.

**f) CMOS Mandallama (CMOS Latch-up):**

Aynı substrate üzerine farklı kanallar (birden çok NMOS veya PMOS) koyabilmek için N veya P substrate içine N veya P substrate koymak gerekir. Sonuç olarak birkaç transistörden oluşan bir devre oluşur. Örneğin; iki transistör oluşmuş olsun, bu iki transistör birbirlerinin baselerini besleyebilir ve bunun sonucu olarak ya devre yanar ya da power-off yapmadan çalışmaz hale gelir. Buna CMOS Mandallama (latch-up) denir. Aynı zamanda, CMOS devrelerinde bilgi kaybına ya da mantıksal durumun değişmesine neden olan bir hata modudur. Bu durum hatalara ve kayıplara yol açabilir.