

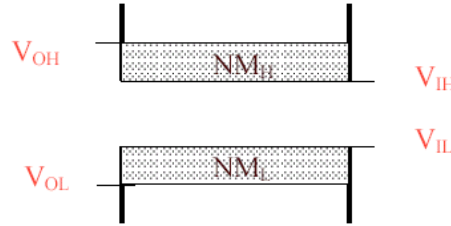
İSİM:

1. (20p) Aşağıdaki soruları yanıtlayınız:

- a) n bölgesi p bölgesine göre 10 kat fazla katkılanmış (doped) bir pn arakesiminde (junction), boşaltılmış bölge (depletion region) hangi tarafta daha geniştir? Bu genişlik hangi orandadır?

Boşaltılmış bölge, daha az katkılı olan "p" tarafta daha geniştir. "p" tarafının genişliği, "n" tarafına göre 10 kat fazladır.

- b) Aşağıdaki şekil üzerinde V_{OH} , V_{IH} , V_{OL} ve V_{IL} seviyelerini gösteriniz:



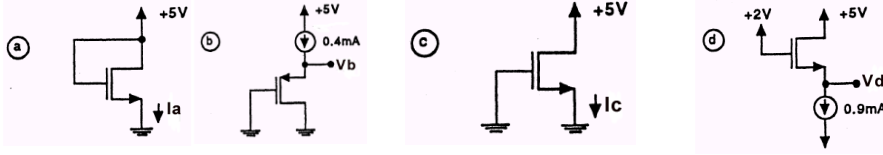
- c) Intel P4 mikroişlemci üretiminde, değişken maliyetlerin mi, sabit maliyetlerin mi daha önemli olduğunu, gerekçeli biçimde açıklayınız.

*IC Maliyeti = (IC değişken maliyeti) + [(Sabit maliyet)/(üretilen IC adedi)]
Olduğuna göre, Intel P4 gibi büyük bir pazar payına sahip olduğu için, yüksek sayılarda üretilen bir IC'de değişken maliyetler daha etkili ve önemli olmaktadır.*

- d) CMOS teknolojinin çok yaygın ve tercih edilen bir teknoloji olmasının nedenlerinden, en öncelikli 4 tanesini açıklayınız.

1. Yaklaşık $0V - V_{DD}$ arasında salınan geniş V_{sw}
2. Kararlı durumda, çıkış ile ya V_{DD} , ya da toprak arasında, her zaman bir sınırlı direnç ile sağlanan bağlantı bulunur ve böylece düşük çıkış empedansı söz konusudur ($k\Omega$ mertebelerinde). Bu da gürültüye karşı duyarlılığın daha az olmasını sağlar.
3. Gate mükemmel bir biçimde yalıtıldığından ve hemen hiç dc akım çekmediğinden, giriş empedansı çok büyüktür. Böylece kuramsal olarak sonsuz fan-out söz konusudur.
4. Kararlı durumda, V_{DD} ile toprak arasında hiçbir doğrudan bağlantı (path) yoktur. Bu da devrenin hiçbir statik güç tüketmemesi anlamına gelir.

2. (24p) Enhancement MOSFET transistörlerin kullanıldığı aşağıdaki devreler için, önce transistörlerin hangi durumda bulunduğunu açıklayınız, sonra da işaretlenmiş akım ve gerilim değerlerini bulunuz. Tüm transistörler için: $|V_T| = 2V$, $\mu_n C_{ox} = 20 \mu A/V^2$, $W = 20 \mu m$, $L = 2 \mu m$ değerleri geçerlidir.



Doyumdaki MOS için transconductance parametresi, verilen değerlerle:

$$K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} (W/L) = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} (20/2) = 100 \mu A/V^2 = 0.1 mA/V^2 \text{ olacaktır.}$$

- a) $V_{DS} = V_{GS} = 5V$. Devre doyumdadır. $I_D = K (V_{GS} - V_T)^2 = 0.1 (5 - 2)^2 = 0.9 mA$
 $I_a = 0.9 mA$ bulunur.
- b) $V_{DS} = V_{GS}$. Devre doyumdadır. Yukarıdaki I_D ifadesini kullanırsak (PMOS için $V_T = -2V$ olarak alınmalı):
 $0.4 = 0.1 (V_{GS} - (-2))^2$ veya $V_{GS} + 2 = \pm \sqrt{4} = \pm 2$ bulunur. Bu durumda V_{GS} için 2 adet çözüm bulunmaktadır. Bunlar: $V_{GS} = 0$ ve $V_{GS} = -4$ çözümleridir. $V_{GS} = 0$ olamayacağına göre, aranan çözüm $V_{GS} = -4 V$ olmaktadır.
Buna göre $V_b = -V_{GS} = 4 V$ bulunur.
- c) $V_{GS} = 0V$. Devre cut-off durumundadır. Bu durumda $I_c = 0 mA$ olur.
- d) $V_{DG} + V_{GS} = V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$ olduğu için devre doyumda çalışır. Burada $V_{DG} = 5 - 2 = 3 V$ olmaktadır.
 $I_D = 0.9 = 0.1 (V_{GS} - 2)^2$ veya $V_{GS} - 2 = \sqrt{9} = 3$ buradan da $V_{GS} = 5 V$ bulunur.
 $V_d = V_G - V_{GS} = 2 - 5 = -3 V$ olacaktır.

3. (32p) Yandaki tabloda yer alan (a-g) MOSFET transistörler için, tablonun boş gözlerini doldurunuz. Bulacağınız her girdi için, hesaplamalarınız ve/veya gerekçeleriniz açıkça belirtilmelidir.

#	Channel Type	V_T V	v_S V	v_G V	v_D V	Mode (region)
a	N	1	0	3	2.1	saturated
b	N	2	-2	2	-0.1	triode
c	P	-2	0	-1	-3	cutoff
d	P	-1	2	0	-1	saturated
e	N	2	-3	0	$\geq -2V$	saturated
f	P	-2	3	0	-1	saturated
g	P	-2	3	$\geq 1V$	-3	cutoff

- a) $V_{DS} = V_D - V_S = 2.1 - 0 = 2.1 V$; $V_{GS} = V_G - V_S = 3 - 0 = 3 V$
 $V_{GS} - V_T = 3 - 1 = 2 V < V_{DS} \rightarrow$ **transistör doyumdadır**. V_T pozitif olduğu için kanal türü **NMOS** olmaktadır.
- b) $V_{DS} = V_D - V_S = -0.1 + 2 = 1.9 V$; $V_{GS} = V_G - V_S = 2 + 2 = 4 V$

$V_{GS} - V_T = 4 - 2 = 2 \text{ V} > V_{DS} \rightarrow$ **transistör triod modundadır.** V_T pozitif olduğu için kanal türü **NMOS** olmaktadır.

c) $V_{GS} = V_G - V_S = -1 - 0 = -1 \text{ V};$

$V_{GS} > V_T \rightarrow$ **transistör cut-off modundadır.** V_T negatif olduğundan kanal türü **PMOS** olmaktadır.

d) $V_{DS} = V_D - V_S = -1 - 2 = -3 \text{ V}; V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 2 = -2 \text{ V};$

$V_{GS} - V_T = -2 + 1 = -1 \text{ V}; V_{GS} - V_T > V_{DS} \rightarrow$ **transistör doyumdadır.** V_T negatif olduğundan kanal türü **PMOS** olmaktadır.

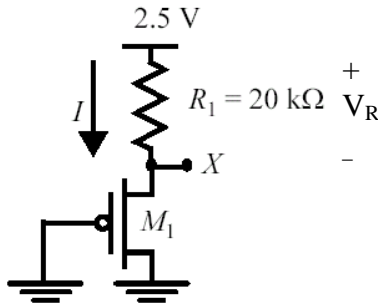
e) $V_{GS} = V_G - V_S = 0 + 3 = 3 \text{ V}; V_{GS} - V_T = 3 - 2 = 1 \text{ V};$ transistör doyumda olduğuna göre, $V_{DS} \geq 1$ olmalı. $V_{DS} = V_D - V_S \geq 1; V_D \geq 1 + V_S = 1 - 3; V_D \geq -2 \text{ V}.$ V_T pozitif olduğu için kanal türü **NMOS** olmaktadır.

f) $V_{DS} = V_D - V_S = -1 - 3 = -4 \text{ V}; V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 3 = -3 \text{ V};$

$V_{GS} - V_T = -3 + 2 = -1 \text{ V}; V_{GS} - V_T > V_{DS} \rightarrow$ **transistör doyumdadır.** V_T negatif olduğundan kanal türü **PMOS** olmaktadır.

g) Transistör V_T negatif olduğundan **PMOS** türüdür. Cut-off modunda olduğuna göre, $V_{GS} \geq V_T$ olmalıdır.

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - 3 \geq -2; V_G \geq 3 - 2; V_G \geq 1 \text{ V}$$



$$k'_p = -30 \times 10^{-6} \text{ A/V}^2$$

$$V_T = -0.4 \text{ V}$$

4. (24p)

a) Yandaki devrede, transistörün içinde bulunacağı durumu da göz önüne alarak, X noktasının gerilimi bulmak için kullanabileceğiniz denklemi yazınız. Bunu yaparken, “channel length modulation” ve “short channel effect” bulunmadığını varsayınız.

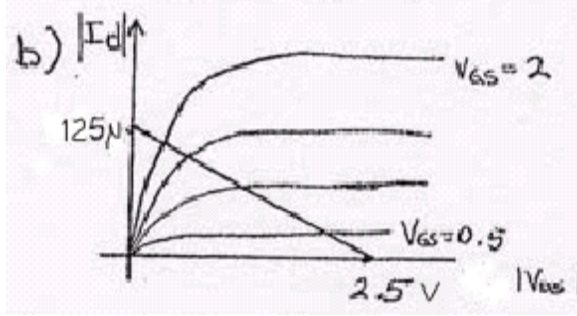
b) Yandaki şekil üzerinde transistörün “drain” ve “source” terminallerini de gösterdikten sonra, transistörün $|I_D| - |V_{DS}|$ eğrilerini yaklaşık genel görünümü ile çizip, üzerine R_1 yük doğrusunu yerleştiriniz ve bu doğrunun eksen kesme noktasındaki değerleri belirtiniz.

c) $L = 0.25 \mu\text{m}$ olduğuna göre, X noktasındaki gerilimin 1.5 V olması için gerekli W değerini bulunuz.

d) Buraya kadar transistörde “short channel effect” bulunmadığı varsayılmıştı. Bu kez de “velocity saturation” olduğunu düşünerek aynı eğrileri ve yük doğrusunu yeniden çiziniz. Bu durumda, aynı W ve L değerleri için X noktasındaki gerilim yükselir mi? Alçalır mı? Aynı mı kalır? Gerekçeli biçimde açıklayınız.

a) X noktası “Source” olmaktadır (PMOS) ve $V_{DS} = V_{GS}$ olduğundan transistör doyumda çalışır. Denklemi buna göre yazarsak:

$$I_D = \frac{-V_R}{R} = \frac{k_p'}{2} \frac{W}{L} (-V_X - V_{T_p})^2$$

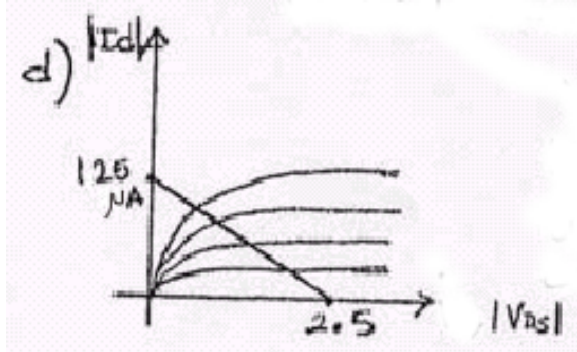


$$I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = 2.5 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = 2.5/20 \times 10^3 = 125 \mu\text{A}$$

c) $V_R = 2.5 - V_X = 2.5 - 1.5 = 1 \text{ V}$ denkleme koyarsak ($V_{GS} = -V_X$):

$$\frac{-1}{20 \times 10^3} = \frac{-30 \times 10^{-6}}{2} \frac{W}{0.25} (-1.5 + 0.4)^2 \text{ buradan da, } W = 0.69 \mu\text{m} \text{ bulunur.}$$



Velocity saturation etkisi ile transistörün akım sürümü azalacağından (I_D), R_1 üzerinde daha az gerilim düşer ve bu da V_X değerinin yükselmesi sonucunu doğurur.