

2006 Yılı I. Vize Soruları ve Çözümleri

1. R yüklü NMOS evirici ($V_{DD}=5V$, $\mu_n C_{OX}=45.24\mu A/V^2$, $V_{TN}=0.8V$)
 - a. $R_L=20k$ ve $(W/L)_n=5 \rightarrow V_{OL}=?$
 - b. $V_i=V_{DD} \rightarrow P_S=?$
2. CMOS evirici ($\mu_n C_{OX}=50\mu A/V^2$, $\mu_p C_{OX}=20\mu A/V^2$, $V_{TN}=-V_{TP}=0.5V$, $L_{min}=0.35\mu m$)
 - a. $V_{DD}=3V$, $W_N=L=0.35\mu m$, $V_{TH}=1.385V \rightarrow W_P=?$
 - b. $C_L=0.05pF \rightarrow T_{PHL}$, $T_{PLH}=?$
 - c. $V_i=V_{TH} \rightarrow I_{max}=?$
 - d. $P_D=0.45mW \rightarrow f=?$

1.

$$a. V_{OL} = \frac{V_{DD}}{\beta(V_{DD} - V_{TN})R_L + 1} = \frac{5}{45.24 \times 10^{-6} \times 5 \times (5 - 0.8) \times 20 \times 10^3 + 1} = 0.25V$$

$$b. P_S = V_{DD} \left(\frac{V_{DD} - V_{OL}}{R_L} \right) = 5 \times \left(\frac{5 - 0.25}{20 \times 10^3} \right) = 1.19mW$$

2.

$$a. V_{TH} = \frac{V_{DD} + V_{TP} + V_{TN} \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}}}{1 + \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}}} = 1.385V = \frac{3 - 0.5 + 0.5 \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}}}{1 + \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}}}$$

$$1.385 + 1.385 \times \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}} = 2.5 + 0.5 \times \sqrt{\frac{\beta_N}{\beta_P}}$$

$$\frac{\beta_N}{\beta_P} = \frac{\mu_n C_{OX} \left(\frac{W}{L} \right)_n}{\mu_p C_{OX} \left(\frac{W}{L} \right)_p} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 1}{20 \times 10^{-6} \times \left(\frac{W}{L} \right)_p} = 1.59 \rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_p = 1.57 \rightarrow W_p = 0.55\mu m$$

$$b. T_{PHL} = \frac{C_L}{\beta_N} \frac{1}{(V_{DD} - V_{TN})} \left[\frac{2V_{TN}}{V_{DD} - V_{TN}} + \ln \left(\frac{3V_{DD} - 4V_{TN}}{V_{DD}} \right) \right]$$

$$T_{PHL} = \frac{0.05 \times 10^{-12}}{50 \times 10^{-6} \times 1} \frac{1}{(3-0.5)} \left[\frac{2 \times 0.5}{3-0.5} + \ln \left(\frac{3 \times 3 - 4 \times 0.5}{3} \right) \right] = 498.9 \text{ ps}$$

$$T_{PLH} = \frac{C_L}{\beta_P} \frac{1}{(V_{DD} + V_{TP})} \left[\frac{-2V_{TP}}{V_{DD} + V_{TP}} + \ln \left(\frac{3V_{DD} + 4V_{TP}}{V_{DD}} \right) \right]$$

$$T_{PLH} = \frac{0.05 \times 10^{-12}}{20 \times 10^{-6} \times 1.57} \frac{1}{(3-0.5)} \left[\frac{2 \times 0.5}{3-0.5} + \ln \left(\frac{3 \times 3 - 4 \times 0.5}{3} \right) \right] = 794.45 \text{ ps}$$

Not: $V_{TN} = -V_{TP}$ olduğu için $V_{TH} < V_{DD}/2$ olması NMOS'un akım akıtma kapasitesinin PMOS'tan fazla olması anlamına gelir. Bu da NMOS'un çıkıştaki kapasiteyi hızlı boşaltabilmesi ve çıkışın düşme gecikmesinin, yükselme gecikmesine oranla daha düşük olması demektir. Daha kapsamlı bir yorum yapıldığında gecikmelerin oranının β 'ların oranına eşit olması gerektiği görülecektir. Gerçekten de gecikmeler oranlandığında 1.59 çıkmaktadır.

$$c. I_{\max} = \frac{\beta_n \beta_p}{2(\sqrt{\beta_n} + \sqrt{\beta_p})^2} (V_{DD} + V_{TP} - V_{TN})^2$$

$$I_{\max} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 1 \times 20 \times 10^{-6} \times 1.57}{2(\sqrt{50 \times 10^{-6} \times 1} + \sqrt{20 \times 10^{-6} \times 1.57})^2} (3 - 0.5 - 0.5)^2 = 19.55 \mu A$$

Not: Yukarıda kullandığımız I_{\max} formülü V_{TH} 'ın bilinmesine gerek kalmadan I_{\max} 'ın bulunmasına olanak sağlamaktadır. Örnekte V_{TH} bilinmektedir. Buna ek olarak giriş gerilimi aynı zamanda NMOS'un V_{GS} gerilimidir ve örnekte V_{TH} 'a eşitlenmiştir.

Giriş V_{TH} iken NMOS doymalı bölgede olacağından hesapların doğruluğunu kontrol

etmek için $I_D = \frac{1}{2} \beta_n (V_{GS} - V_{TN})^2$ formülünde V_{GS} yerine V_{TH} konularak NMOS'un

akımı I_{\max} olarak bulunabilir. Gerçekten de iki yöntemle hesaplanan I_{\max} aynı çıkmaktadır.

$$d. P_D = f \times C_L \times V_{DD}^2 = f \times 0.05 \times 10^{-12} \times 3^2 = 0.45 \text{ mW} \rightarrow f = 1 \text{ GHz}$$