

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σταμούλης Γιάννης (Α.Μ. 4912)

### Άσκηση 4 ( Rabey Κεφάλαια 4 και 5 )

Ένας buffer δύο σταδίων χρησιμοποιείται για να οδηγήσει μια μεταλλική γραμμή 1cm. Ο πρώτος αντιστροφέας είναι ελαχίστου μεγέθους, έχει χωρητικότητα εισόδου  $C_i=10\text{fF}$ , εσωτερική καθυστέρηση μετάδοσης  $t_{p0}=50\text{ps}$ , ενώ η καθυστέρηση η εξαρτημένη από το φορτίο είναι  $5\text{ps/fF}$ . Το πάχος της μεταλλικής γραμμής είναι  $3,6\mu\text{m}$ . Επίσης για την μεταλλική γραμμή δίνονται  $R_{\square}=0,08\Omega/\square$  (sheet resistance),  $C_{pp}=0,03\text{fF}/\mu\text{m}^2$  και  $C_{\text{fringe}}=0,04\text{fF}/\mu\text{m}$  (fringing field capacitance).

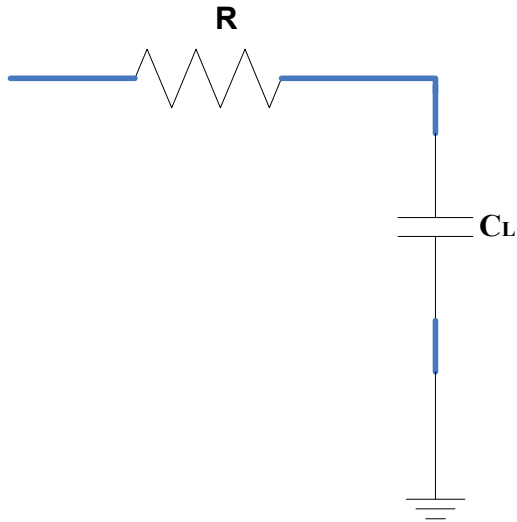
α. Ποια είναι η καθυστέρηση μετάδοσης της γραμμής;

β. Να υπολογιστεί το βέλτιστο μέγεθος του δεύτερου αντιστροφέα, καθώς και η ελάχιστη καθυστέρηση του buffer.

γ. Αν η είσοδος του πρώτου αντιστροφέα έχει 25% πιθανότητα να κάνει μια μετάβαση από το “0” στο “1” ( $0 \rightarrow 1$ ) και όλο το chip λειτουργεί στα 20MHz με τροφοδοσία 2,5Volts, ποιά η κατανάλωση στη μεταλλική γραμμή;

### ΛΥΣΗ:

α. Υπολογίζουμε την αντίσταση R και την χωρητικότητα  $C_L$  σύμφωνα με το μοντέλο συγκεντρωμένου φορτίου:



$$R = R_{\square} (L/W) = 0,08 \Omega/\square \cdot (1\text{cm}/3,6\mu\text{m}) = 222 \Omega$$

και

$$C_L = C_{AR} + C_f \text{ ,}$$

$$\text{όπου } C_{AR} = C_{pp} \cdot L \cdot W = [0,03\text{fF}/\mu\text{m}^2] \cdot [1\text{cm}] \cdot [3,6\mu\text{m}] = 1,08\text{pF}$$

και

$$C_f = 2 \cdot L \cdot C_{\text{fringe}} = 2 \cdot [1\text{cm}] \cdot [0,04\text{fF}/\mu\text{m}] = 0,8 \text{ pF}.$$

Συνεπώς:

$$C_L = C_{AR} + C_f = 1,08\text{pF} + 0,8 \text{ pF} = 1,88\text{pF}.$$

Οπότε η σταθερά χρόνου του μοντέλου μας είναι

$$\tau = R \cdot C_L = 222 \Omega \cdot 1,88\text{pF} = 417,36\text{psec} \text{ ,}$$

ενώ η καθυστέρηση της γραμμής είναι:

$$t_{50\%} = \ln 2 \cdot \tau = 0,69 \cdot [417,36\text{psec}] = 288\text{psec} \text{ .}$$

**β.** Η καθυστέρηση ενός buffer δύο σταδίων δίνεται από τον τύπο:

$$t_{d\text{BUF}} = t_{p0} \cdot \left( 1 + \frac{C_2}{\gamma C_i} \right) + t_{p0} \cdot \left( 1 + \frac{C_L}{\gamma C_2} \right), \quad (1)$$

όπου

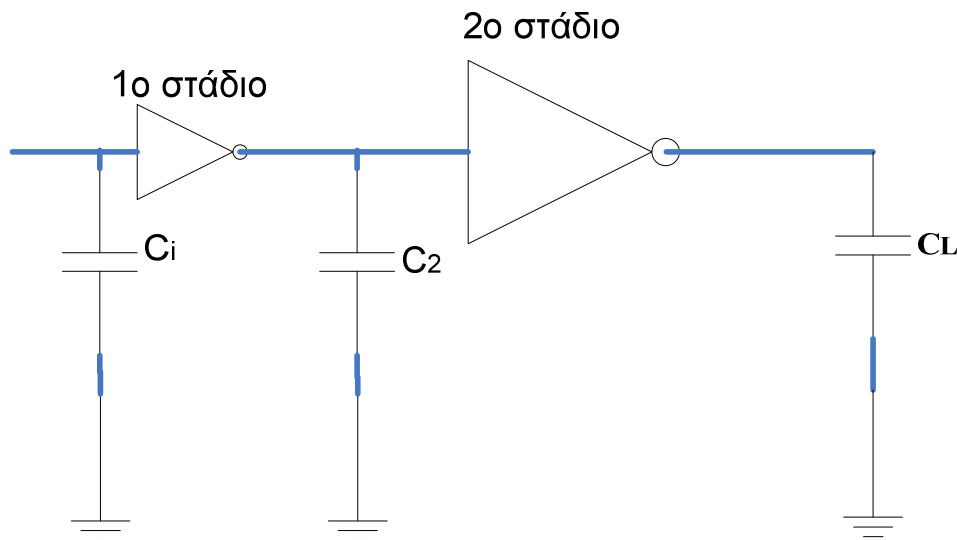
$C_i$  η χωρητικότητα εισόδου του πρώτου αντιστροφέα,

$C_2$  η χωρητικότητα εισόδου του δεύτερου αντιστροφέα,

$C_L$  το φορτίο που πρέπει να οδηγήσει ο buffer, δηλαδή η χωρητικότητα της μεταλλικής γραμμής

και

$\gamma$  παράγοντας που εξαρτάται από την τεχνολογία και εδώ τον θεωρούμε ίσο με 1.



Θέλουμε να βρούμε το βέλτιστο μέγεθος του δεύτερου αντιστροφέα, δηλαδή εκείνο για το οποίο έχουμε την ελάχιστη καθυστέρηση στο buffer.

Για να βρούμε το μέγεθος αυτό, αρκεί να βρούμε την χωρητικότητα εισόδου του δεύτερου αντιστροφέα για  $t_{d\text{BUF}} = \min$ .

Έτσι ψάχνουμε πού μηδενίζεται η παράγωγος του  $t_{d\text{BUF}}$  (σχέση 1) ως προς το  $C_2$ , αφού σε αυτά τα σημεία θα έχουμε ακρότατα, και συνεπώς πιθανά ελάχιστα.

$$\frac{\partial t_{d\text{BUF}}}{\partial C_2} = 0 \Rightarrow (t_{p0}/C_i) + \left( - t_{p0} \cdot \frac{C_L}{C_2^2} \right) = 0$$

$$C_2^2 = C_L \cdot C_i \Rightarrow C_2 = \sqrt{C_L \cdot C_i}$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$C_2 = \sqrt{1,88\text{pF} \cdot 10\text{fF}} \Rightarrow C_2 = 137\text{fF}$$

Για να δίνει η τιμή αυτή ελάχιστο (και όχι μέγιστο) θα πρέπει η 2<sup>η</sup> παράγωγος του  $t_{\text{dBUF}}$  ως προς το  $C_2$  στο σημείο αυτό να είναι θετική.

Ισχύει:

$$\frac{\partial^2}{\partial C_2^2} t_{\text{dBUF}} = 2 \cdot t_{p0} \cdot \frac{C_L}{C_2^3} > 0,$$

όπου η ποσότητα αυτή είναι θετική πάντα και συνεπώς όντως έχουμε ελάχιστο (ελάχιστη καθυστέρηση) για  $C_2 = 137\text{fF}$ .

Οπότε ο παράγοντας  $f$  είναι

$$f = C_2 / C_i = 137\text{fF} / 10\text{fF} \Rightarrow f = 13,7$$

Δηλαδή θα πρέπει το μέγεθος του 2<sup>ου</sup> αντιστροφέα να είναι 13,7 φορές μεγαλύτερο από αυτό του 1<sup>ου</sup> ώστε να έχουμε την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μέσα στον buffer οδήγησης.

Σε αυτή την περίπτωση, η καθυστέρηση είναι :

$$\begin{aligned} [t_{\text{dBUF}}]_{\text{min}} &= t_{p0} \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_i}\right) + t_{p0} \cdot \left(1 + \frac{C_L}{C_2}\right) \\ &= 50\text{ps} \cdot \left(1 + \frac{137\text{fF}}{10\text{fF}}\right) + 50\text{ps} \cdot \left(1 + \frac{1880\text{fF}}{137\text{fF}}\right) \\ &= 735\text{psec} + 735\text{psec} \end{aligned}$$

$$[t_{\text{dBUF}}]_{\text{min}} = 1,47 \text{ nsec} .$$

γ. Αν η είσοδος του πρώτου αντιστροφέα έχει 25% πιθανότητα ( P ) να κάνει μια μετάβαση από το “0” στο “1” (0→1) και όλο το chip λειτουργεί στα 20MHz ( f ) με τροφοδοσία 2,5Volts (  $V_{dd}$  ), τότε η κατανάλωση στη μεταλλική γραμμή είναι :

$$P_m = C_L \cdot V_{dd}^2 \cdot P \cdot f$$

$$P_m = 1880fF \cdot (2,5Volts)^2 \cdot 0,25 \cdot (20MHz)$$

$$P_m = 58,75\mu Watts$$