

# Φροντιστήριο Ψηφιακών Ηλεκτρονικών

## Άσκηση 1

Μία TTL πύλη εγγυάται να τραβάει 10 mA χωρίς να ξεπεράσει το δυναμικό εξόδου  $V_{OL(max)} = 0.4$  Volt και να μπορεί να δώσει 5 mA χωρίς να πέσει το δυναμικό εξόδου κάτω της τιμής  $V_{OH(min)} = 2.4$  Volt. Εάν  $I_{IH} = 100$   $\mu$ A στα 2.4 Volt και  $I_{IL} = 1$  mA στα 0.4 Volt, υπολογίστε την οδηγητική ικανότητα της πύλης στη χαμηλή και υψηλή κατάσταση εξόδου αντίστοιχα.

### Λύση

Αναφ.: σελ. 9

Πρέπει να ισχύει:

$$I_{OL(max)} \geq n * |I_{IL(max)}| \Rightarrow n \leq |I_{OL(max)} / I_{IL(max)}| \Rightarrow$$
$$F_{OL} = |I_{OL(max)} / I_{IL(max)}| \quad (a)$$

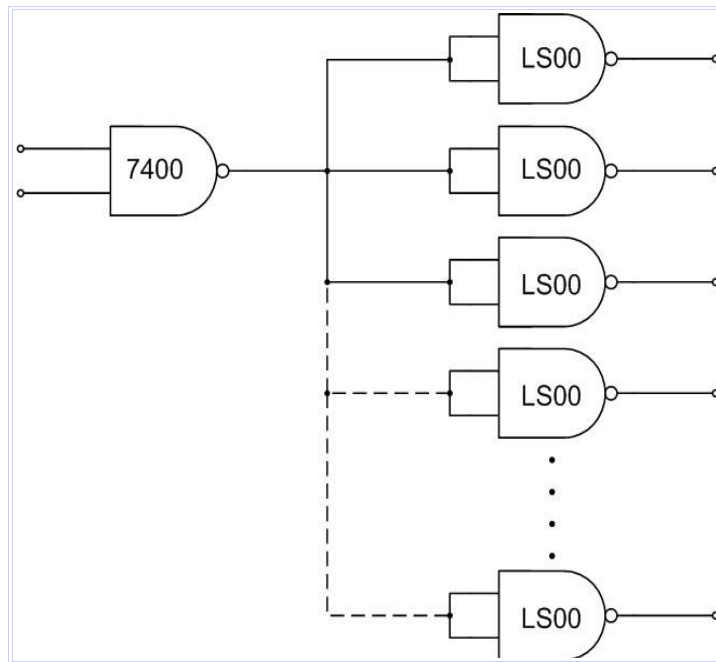
και

$$|I_{OH(max)}| \geq n * I_{IH(max)} \Rightarrow n \leq |I_{OH(max)} / I_{IH(max)}| \Rightarrow$$
$$F_{OH} = |I_{OH(max)} / I_{IH(max)}| \quad (b)$$

$$F = \min\{F_{OL}, F_{OH}\} = \min\{|I_{OL(max)} / I_{IL(max)}|, |I_{OH(max)} / I_{IH(max)}|\}$$
$$= \min\{10 \text{ mA} / 1 \text{ mA}, 5 \text{ mA} / 100 \mu\text{A}\} = \min\{10, 50\} = 10 \text{ πύλες}$$

## Άσκηση 2

Η πύλη 7400 οδηγεί τρεις πύλες LS00 με βραχυκυκλωμένες εισόδους. Πόσες ακόμη πύλες μπορεί να οδηγήσει;



Από τα datasheet των ολοκληρωμένων δίνονται:

- $I_{OH}^{7400} = 0.4 \text{ mA}$
- $I_{OL}^{7400} = 16 \text{ mA}$
- $I_{IH}^{LS00} = 20 \mu\text{A}$
- $I_{IL}^{LS00} = 0.4 \text{ mA}$

### Λύση

Αναφ.: σελ. 30

Σημειώνουμε ότι σε υψηλό δυναμικό οδήγησης το ρεύμα που απορροφά μια πύλη είναι ανάλογο του αριθμού των εισόδων της, ενώ σε χαμηλό δυναμικό το ρεύμα που παρέχει είναι ανεξάρτητο του αριθμού των εισόδων.

$$|I_{OH}^{7400}| \geq ((3+x)*2)*I_{IH}^{LS00} \quad \Rightarrow \quad x \leq |I_{OH}^{7400}| / (2*I_{IH}^{LS00}) - 3 \quad (a)$$

$$|I_{OL}^{7400}| \geq (3+x)*|I_{IL}^{LS00}| \quad \Rightarrow \quad x \leq |I_{OL}^{7400}| / |I_{IL}^{LS00}| - 3 \quad (b)$$

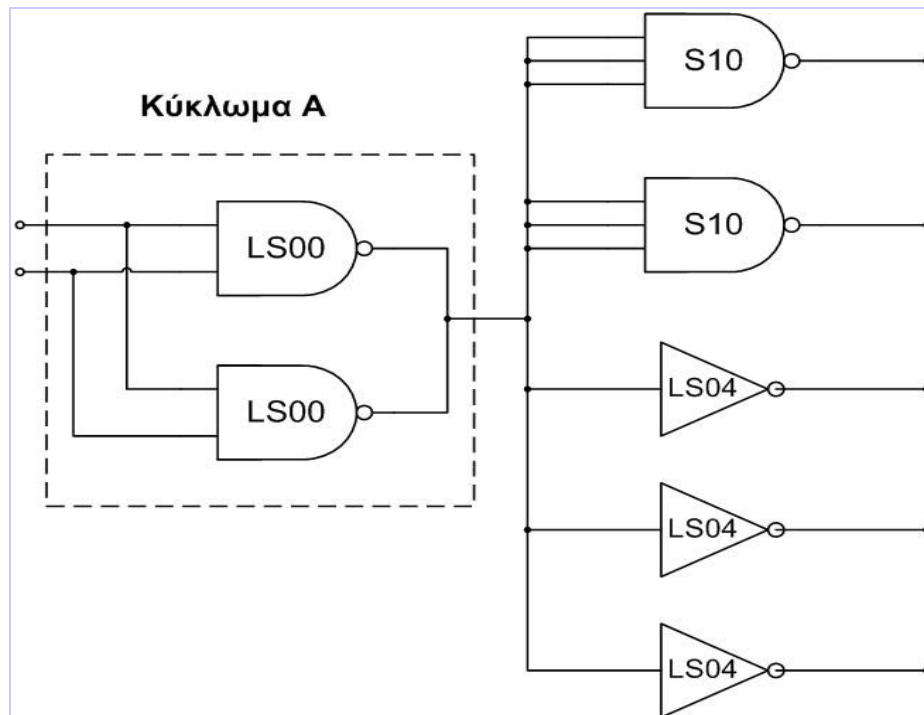
$$(a) \Rightarrow x \leq 0.4 \text{ mA} / (2*20 \mu\text{A}) - 3 = 7$$

$$(b) \Rightarrow x \leq 16 \text{ mA} / 0.4 \text{ mA} - 3 = 37$$

Οπότε μπορούν να οδηγηθούν 7 ακόμη πύλες.

### Άσκηση 3

Μπορεί το κύκλωμα A να οδηγήσει δύο πύλες 74S10 με βραχυκυκλωμένες εισόδους και τρεις πύλες 74LS04;



Από τα datasheet των ολοκληρωμένων δίνονται:

- $I_{OH}^{LS00} = 0.4 \text{ mA}$
- $I_{OL}^{LS00} = 16 \text{ mA}$
- $I_{IH}^{S10} = 50 \text{ } \mu\text{A}$
- $I_{IL}^{S10} = 2 \text{ mA}$
- $I_{IH}^{LS04} = 20 \text{ } \mu\text{A}$
- $I_{IL}^{LS04} = 0.4 \text{ mA}$

### Λύση

Παρατηρούμε ότι δεν προκύπτει πρόβλημα από την ένωση των εξόδων των πυλών του κυκλώματος A. Για να μπορέσει να οδηγήσει το κύκλωμα A τις πύλες πρέπει να ισχύουν:

$$2 * |I_{OH}^{LS00}| \geq 3 * 2 * I_{IH}^{S10} + 3 * I_{IH}^{LS04} \quad (a)$$

και

$$2 * I_{OL}^{LS00} \geq 2 * |I_{IL}^{S10}| + 3 * |I_{IL}^{LS04}| \quad (b)$$

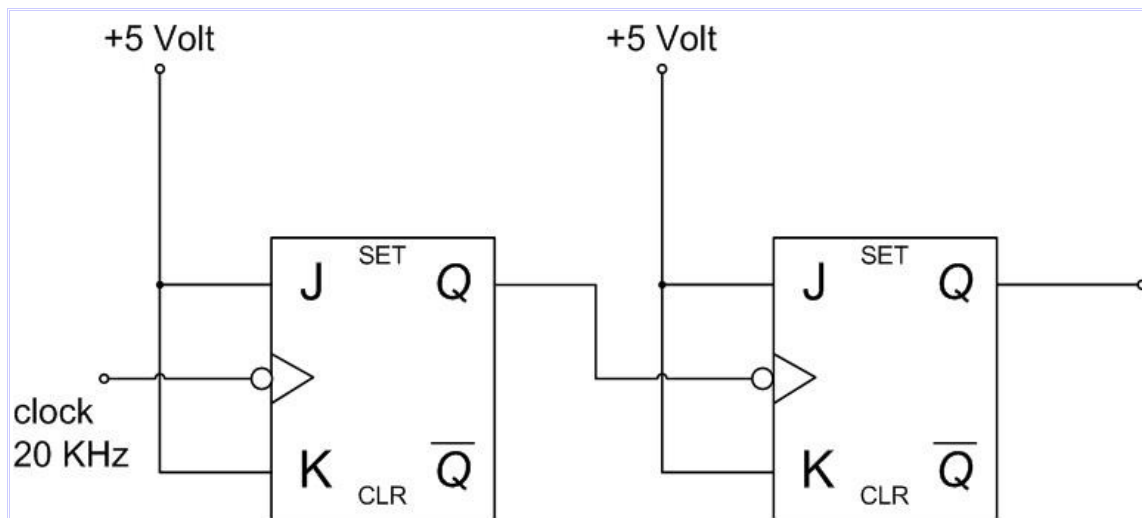
$$(a) \Rightarrow 2 * 0.4 \text{ mA} \geq 3 * 2 * 50 \text{ } \mu\text{A} + 3 * 20 \text{ } \mu\text{A} \Rightarrow 0.8 \text{ mA} \geq 0.36 \text{ mA} \quad (\text{ισχύει})$$

$$(b) \Rightarrow 2 \cdot 16 \text{ mA} \geq 2 \cdot 2 \text{ mA} + 3 \cdot 0.4 \text{ mA} \quad \Rightarrow \quad 32 \text{ mA} \geq 5.2 \text{ mA} \quad (\text{ισχύει})$$

Άρα το κύκλωμα μπορεί να οδηγήσει.

## Άσκηση 4

Να υπολογιστεί η μέγιστη κατανάλωση ισχύος του παρακάτω κυκλώματος (74HC112):



Από τα datasheet του ολοκληρωμένου δίνεται:

- $V_{CC(max)} = 6 \text{ Volt}$
- $I_{CC(max)} = 80 \mu\text{A}$
- $C_L = 10 \text{ pF}$
- $CPD = 35 \text{ pF}$

## Λύση

Αναφ.: σελ. 74-76

$$P(max) = (P_{S0} + P_{S1}) + (P_{T0} + P_{T1}) + (P_{L0} + P_{L1}) \Rightarrow$$

$$P(max) = I_{CC} \cdot V_{CC} + (P_{T0} + P_{T1}) + (P_{L0} + P_{L1}) \quad (a)$$

$$P_{T0} = CPD \cdot f_{i0} \cdot V_{CC}^2 \quad (b)$$

$$P_{T1} = CPD \cdot f_{i1} \cdot V_{CC}^2 \quad (c)$$

$$P_{L0} = C_L \cdot f_{o0} \cdot V_{CC}^2 \quad (d)$$

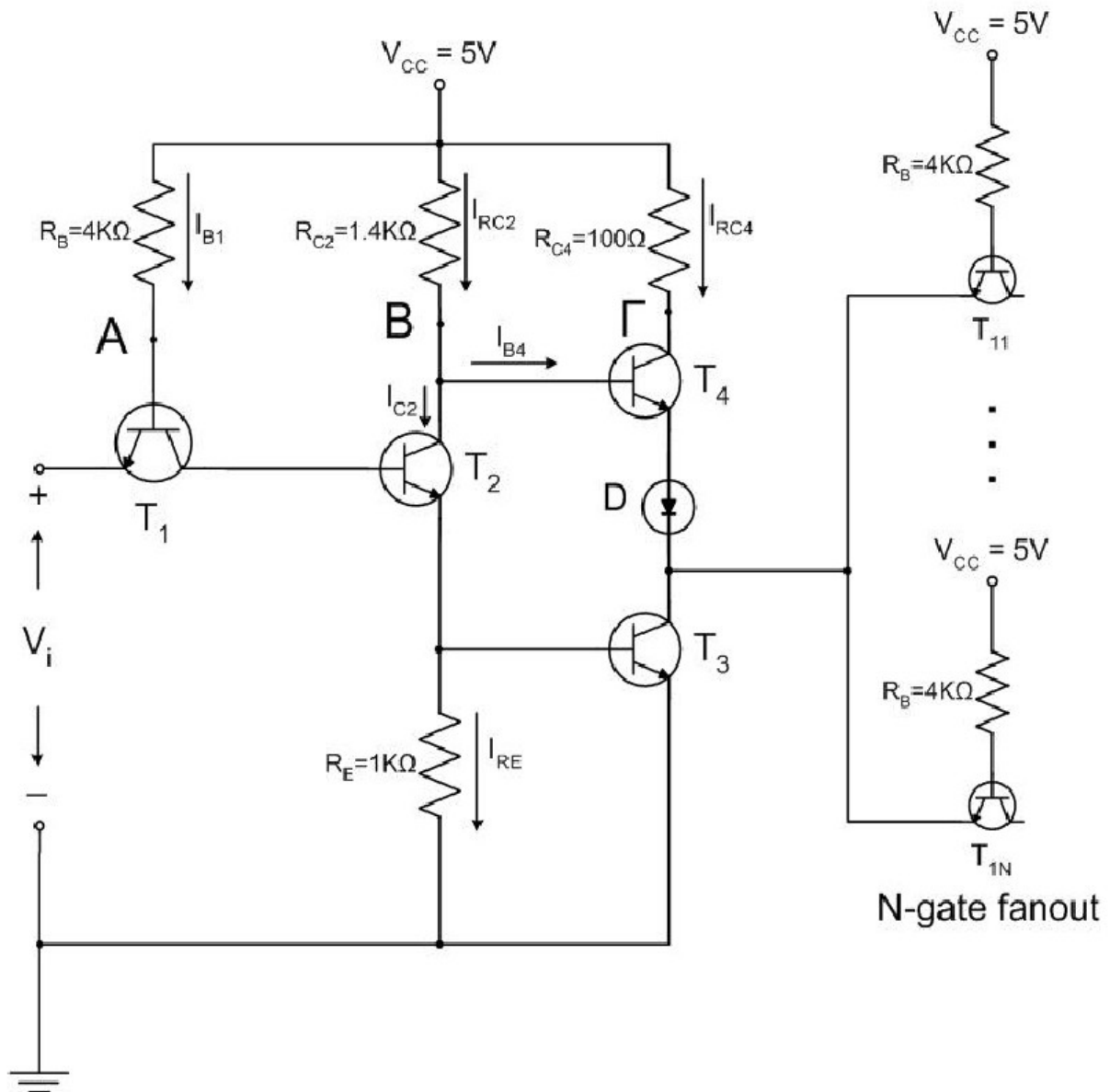
$$PL1 = CL * f_{o1} * VCC^2 \quad (e)$$

$$f_{io} = 20 \text{ KHZ} \Rightarrow f_{oo} = 10 \text{ KHZ} \Rightarrow f_{i1} = 10 \text{ KHZ} \Rightarrow f_{o1} = 5 \text{ KHZ}$$

$$(a) \Rightarrow P(\max) = ICC * VCC + (CPD * f_{io} * VCC^2 + CPD * f_{i1} * VCC^2) + (CL * f_{oo} * VCC^2 + CL * f_{o1} * VCC^2) \Rightarrow P(\max) = 0.5232 \text{ mW}$$

### Άσκηση 5

Θεωρείστε το ακόλουθο κύκλωμα TTL:



1. Υπολογίστε την τιμή της ροής του ρεύματος τροφοδοσίας όταν  $V_i = 3.5$  Volt.
2. Υπολογίστε την τιμή της ροής του ρεύματος τροφοδοσίας όταν  $V_i = 0.2$  Volt.
3. Ποία είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος τροφοδοσίας κατά τη διάρκεια που τόσο το T4 όσο και το T3 είναι ταυτόχρονα στον κόρο;

### Λύση

1. Σε αυτή την περίπτωση η επαφή BE του T1 είναι ανάστροφα πολωμένη, ενώ η επαφή BC του T1 είναι ορθά πολωμένη, επομένως έχουμε  $V_{BC,T1} = 0.6$  Volt. Το T4 είναι στην αποκοπή ( $I_{RC4} = 0$  mA) και τα T2, T3 στον κόρο.

$$V_A = V_{BC,T1} + V_{BE,T2} + V_{BE,T3} = 3 \cdot 0.6 \text{ Volt} = 1.8 \text{ Volt}$$

$$\text{άρα } I_{B1} = (V_{CC} - V_A) / R_B = (5 - 1.8) \text{ Volt} / 4 \text{ K}\Omega = 0.8 \text{ mA}$$

$$V_B = V_{CE,T2} + V_{BE,T3} = 0.2 + 0.6 = 0.8 \text{ Volt}, \text{ άρα}$$

$$I_{RC2} = (V_{CC} - V_B) / R_{C2} = (5 - 0.8) \text{ Volt} / 1.4 \text{ K}\Omega = 3 \text{ mA}, \text{ συνεπώς}$$

$$I_{CC} = I_{B1} + I_{C2} + I_{RC4} = 0.8 \text{ mA} + 3 \text{ mA} + 0 \text{ mA} = 3.8 \text{ mA}.$$

2. Τότε η επαφή BE του T1 είναι ορθά πολωμένη και η επαφή BC είναι ανάστροφα πολωμένη. Επίσης T2 και T3 στην αποκοπή και T4 στον κόρο.

$$V_A = V_i + V_{BE,on} = 0.2 + 0.6 = 0.8 \text{ Volt}, \text{ άρα}$$

$$I_{B1} = (V_{CC} - V_A) / R_B = (5 - 0.8) \text{ Volt} / 4 \text{ K}\Omega = 1.05 \text{ mA}.$$

Όταν  $V_i = 0.2$  Volt (δηλαδή Low), τότε  $V_o = 3.5$  Volt (δηλαδή High).

$$\text{Επομένως } V_{\Gamma} = V_{CE,T4} + V_D + V_o = 0.2 + 0.6 + 3.5 = 4.3 \text{ Volt}, \text{ άρα}$$

$$I_{C,T4} = I_{RC4} = (V_{CC} - V_{\Gamma}) / R_{C4} = (5 - 4.3) \text{ Volt} / 100 \Omega = 7 \text{ mA}.$$

$$V_B = V_{BE,T4} + V_D + V_o = 0.6 + 0.6 + 3.5 = 4.7 \text{ Volt}, \text{ άρα}$$

$$I_{B4} = I_{RC2} = (V_{CC} - V_B) / R_{C2} = (5 - 4.7) \text{ Volt} / 1.4 \text{ K}\Omega = 0.2 \text{ mA}.$$

$$\text{Συνεπώς } I_{CC} = I_{B1} + I_{B4} + I_{C,T4} = 1.04 \text{ mA} + 0.2 \text{ mA} + 7 \text{ mA} = 8.25 \text{ mA}.$$

3. Τα T4 και T3 είναι ταυτόχρονα στον κόρο, οπότε

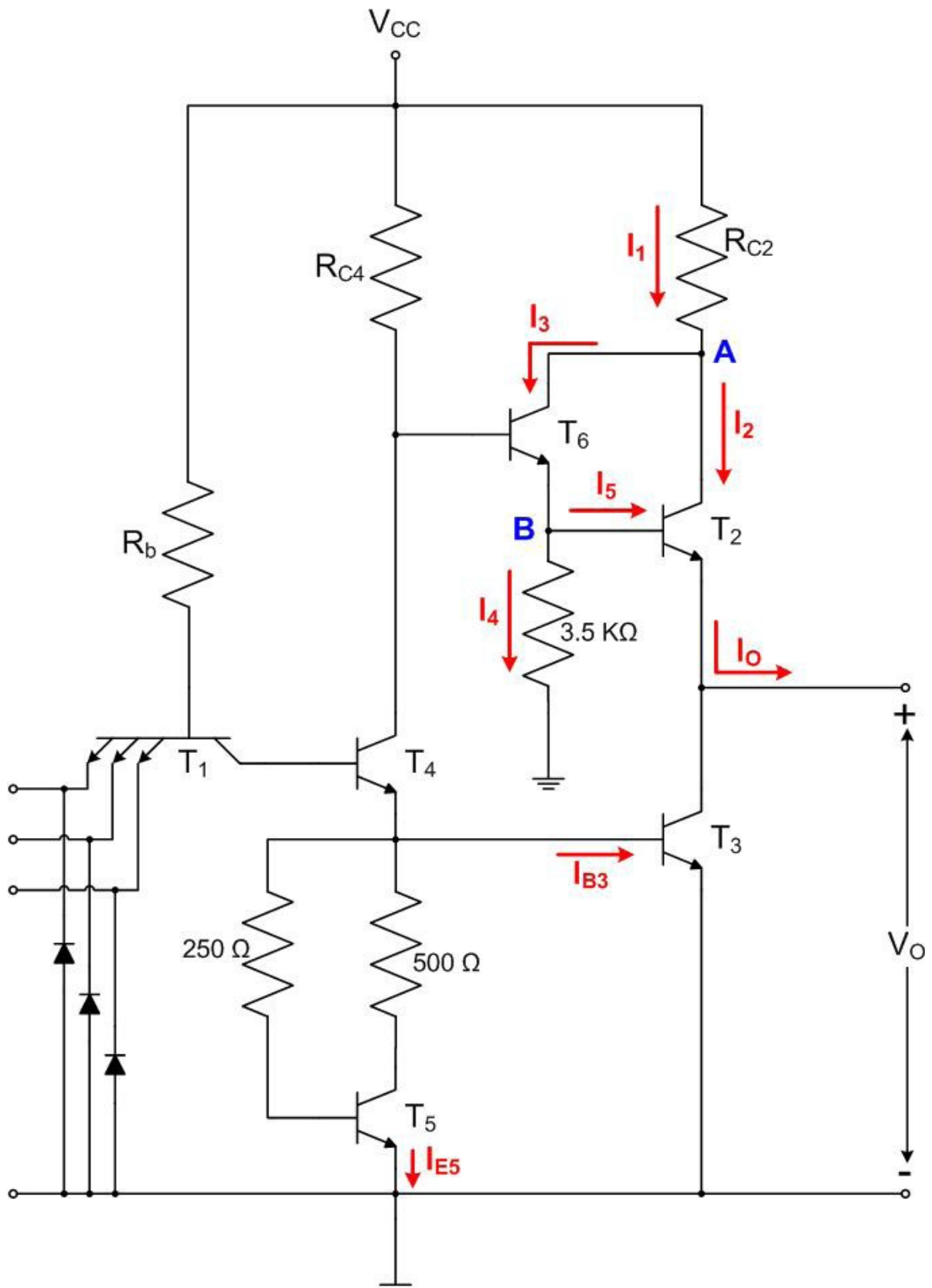
$$V_{\Gamma} = V_{CE,T3} + V_D + V_{CE,T4} = 0.2 + 0.6 + 0.2 = 1 \text{ Volt}, \text{ άρα}$$

$$I_{C,T4} = I_{RC4} = (V_{CC} - V_{\Gamma}) / R_{C4} = (5 - 1) \text{ Volt} / 100 \Omega = 40 \text{ mA}.$$

Το  $I_{C,T4}$  είναι η κύρια συνιστώσα ρεύματος (αυτό προκύπτει αν συγκρίνουμε αυτή τη τιμή με τα άλλα ρεύματα των περιπτώσεων 1 και 2) σε αυτή την περίπτωση, γι' αυτό δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε τυχόν ρεύματα που διαρρέουν τις  $R_B$  και  $R_{C2}$ .

## Άσκηση 6

Εάν το δυναμικό εξόδου της πύλης TTL του επόμενου σχήματος πρόκειται να είναι  $V_O = 2.4$  Volt, υπολογίστε το διαθέσιμο ρεύμα εξόδου, όταν το T3 είναι στην αποκοπή.



Δίνονται οι τιμές των αντιστάσεων:

- $R_b = 2.4 \text{ K}\Omega$
- $R_{C2} = 60 \Omega$
- $R_{C4} = 800 \Omega$

### Λύση

Τα τρανζίστορ T6, T2 αποτελούν ζεύγος Darlington, άρα το T2 είναι σε ενεργό περιοχή και το T6 στον κόρο ή σε ενεργό (μεταβατικά). Τα T3, T4 σε αποκοπή και το T1 σε κόρο.

$$V_B = V_{BE,T2} + V_O = 0.6 + 2.4 = 3 \text{ V}$$

$$V_A = V_{CE,T6} + V_B = 0.2 + 3 = 3.2 \text{ V}$$

$$I_1 = (V_{CC} - V_A) / R_{C2} = (5 - 3.2) / 60 = 30 \text{ mA}$$

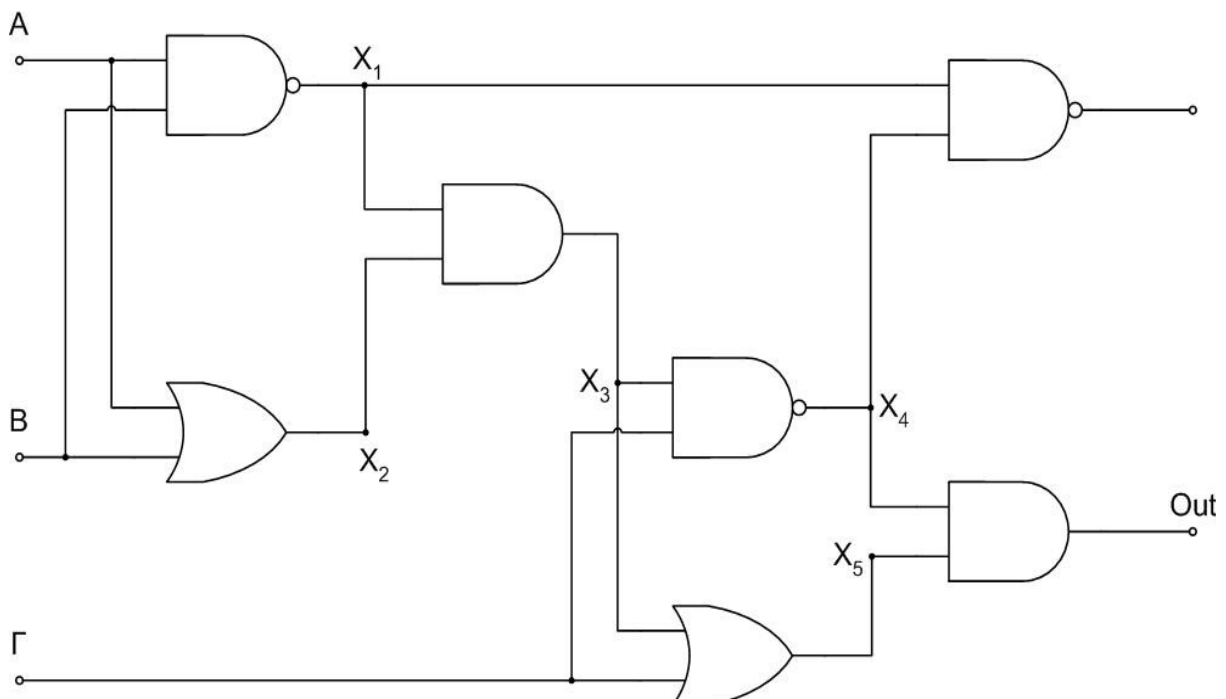
Λόγω του ότι το T6 είναι στον κόρο (σε σταθερή κατάσταση), θεωρούμε αμελητέο το ρεύμα προς τη βάση του.

$$I_4 = V_B / 3.5 \text{ k}\Omega = 0.857 \text{ mA}$$

$$I_o = I_2 + I_5 = (I_1 - I_3) + (I_3 - I_4) = I_1 - I_4 = 30 - 0.857 = 29.143 \text{ mA}$$

### Άσκηση 7

Θεωρείστε το κύκλωμα του επόμενου σχήματος.





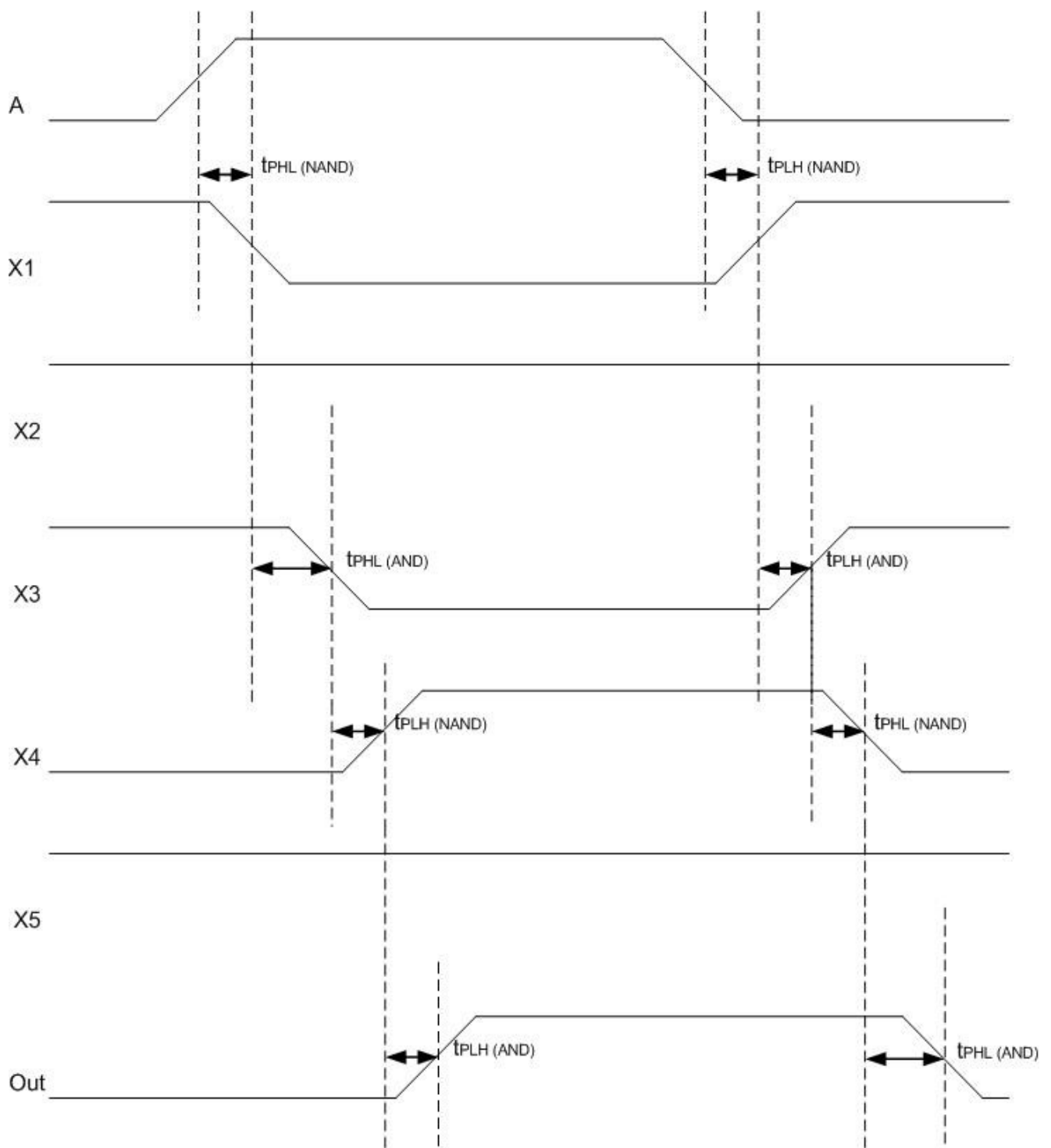
Έστω ότι οι είσοδοι Β και Γ είναι σταθερά σε υψηλό δυναμικό και η είσοδος Α δέχεται τον παλμό:



Σχεδιάστε τα χρονικά διαγράμματα για όλες τις ενδιάμεσες κυματομορφές από την είσοδο Α μέχρι την έξοδο Out, χρησιμοποιώντας τις μέγιστες τιμές των προδιαγραφών για τη λογική 74LS. Υπάρχει αλλαγή στο εύρος του παλμού;  
Από τα datasheet των ολοκληρωμένων δίνονται:

- Πύλη NAND :  $t_{PHL} = 15 \text{ nsec}$
- Πύλη NAND :  $t_{PLH} = 15 \text{ nsec}$
- Πύλη AND :  $t_{PHL} = 20 \text{ nsec}$
- Πύλη AND :  $t_{PLH} = 15 \text{ nsec}$

## Λύση



$$t_{PLH} = t_{PHL}(\text{NAND}) + t_{PHL}(\text{AND}) + t_{PLH}(\text{NAND}) + t_{PLH}(\text{AND}) = 65 \text{ nsec}$$

$$t_{PHL} = t_{PLH}(\text{NAND}) + t_{PLH}(\text{AND}) + t_{PHL}(\text{NAND}) + t_{PHL}(\text{AND}) = 65 \text{ nsec}$$

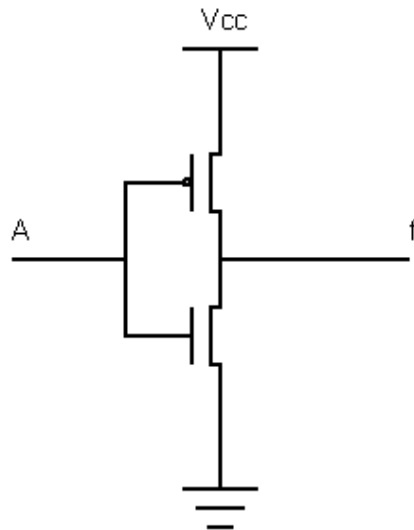
## Άσκηση 8

Σχεδιάστε τις λογικές πύλες CMOS των ακόλουθων συναρτήσεων:

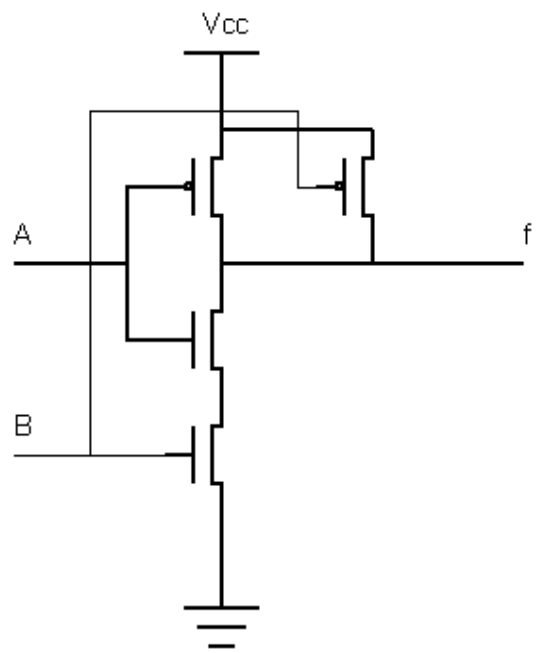
1.  $f = \overline{A}$  (inverter)
2.  $f = \overline{(A \cdot B)}$  (πύλη NAND 2 εισόδων)
3.  $f = \overline{(A + B)}$  (πύλη NOR 2 εισόδων)
4.  $f = \overline{(A \cdot B \cdot C \cdot D)}$  (πύλη NAND 4 εισόδων)
5.  $f = \overline{((A + B + C) \cdot D)}$
6.  $f = \overline{(((A \cdot B) + C) \cdot D)}$
7.  $f = \overline{((A \cdot B) + C \cdot (A + B))}$

## Λύση

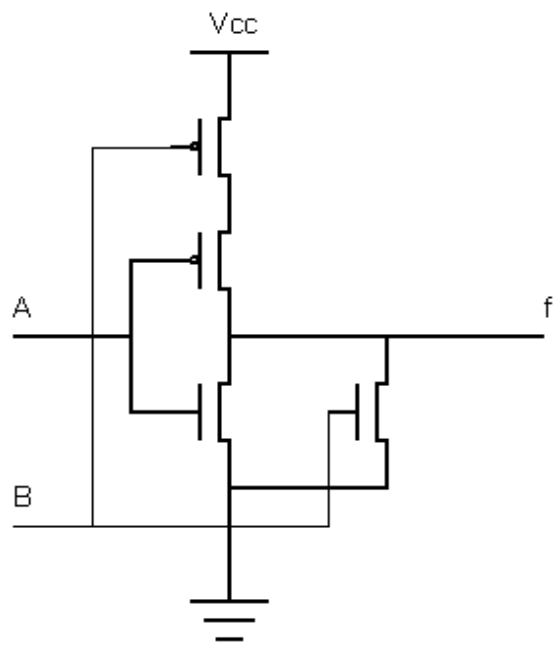
1.



2.

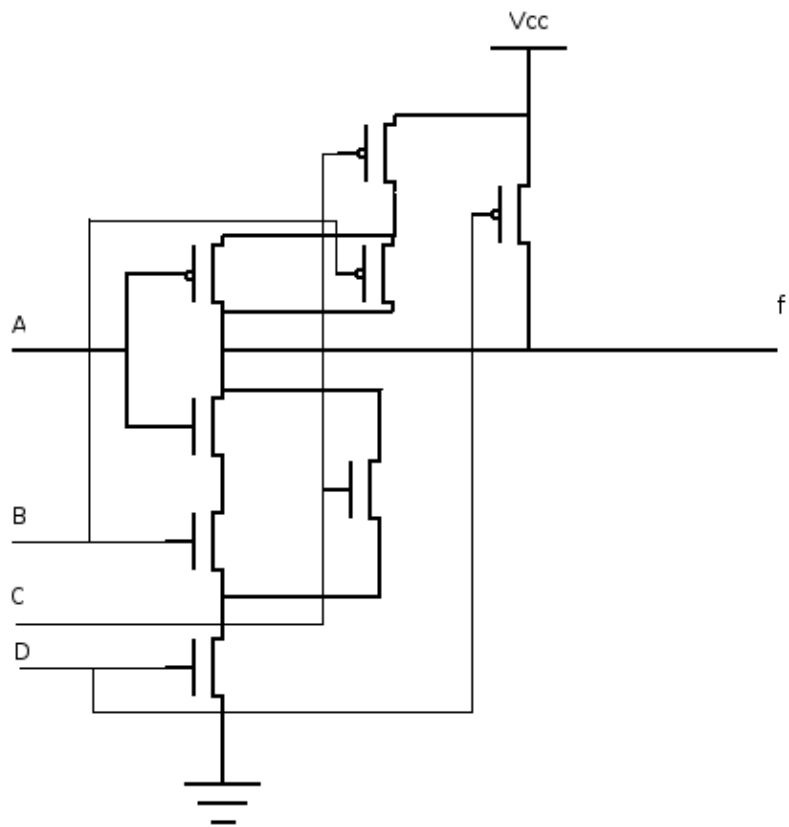


3.

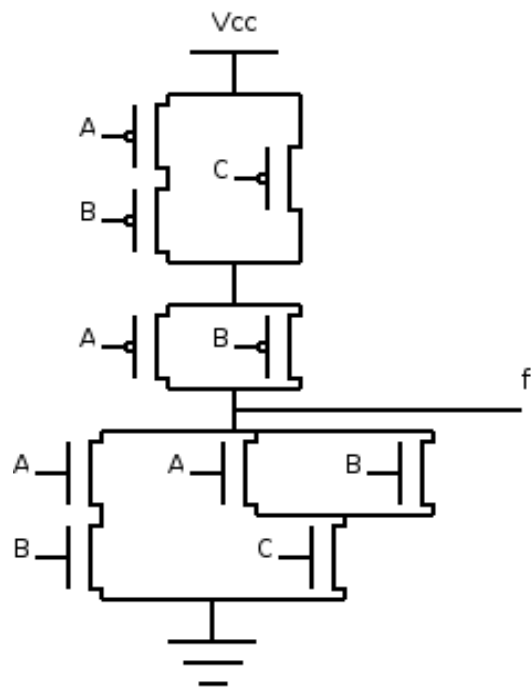




6.

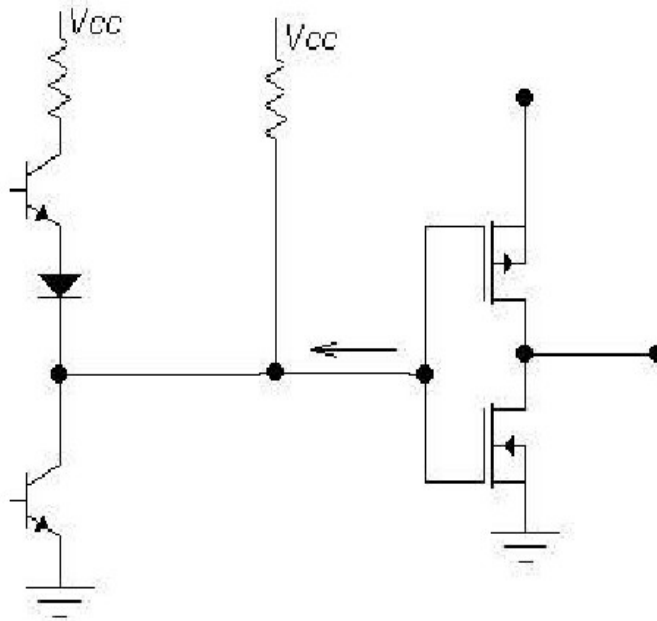


7.



## Άσκηση 9

Ένα ολοκληρωμένο SN74LS00 (πύλη TTL NAND) οδηγεί τρία φορτία SN74HC00 (πύλη CMOS NAND). Να προσδιοριστεί η τιμή της αναγκαίας αντίστασης ανύψωσης δυναμικού.



Από τα datasheet των ολοκληρωμένων προκύπτει:

- $V_{CC(\min)} = 4.7 \text{ Volt}$
- $V_{CC(\max)} = 5.25 \text{ Volt}$
- $V_{OL}^{LS00}(\max) = 0.4 \text{ Volt}$
- $I_{OL}^{LS00}(\max) = 8 \text{ mA}$
- $V_{IH}^{HC00}(\min) = 3.675 \text{ Volt}$
- $I_{IL}^{HC00}(\max) = 1 \mu\text{A}$
- $I_{IH}^{HC00}(\max) = 1 \mu\text{A}$
- $T_{10\%-90\%}^{HC00} = 500 \text{ nsec}$
- $C_i^{HC00} = 10 \text{ pF}$

## Λύση

Αναφ.: σελ. 92-93

Για output low πρέπει να ισχύει:

$$V_{O}^{LS00} \leq V_{OL}^{LS00}(\max) \quad (\text{a})$$

Στην χειρότερη περίπτωση για output low έχουμε:

$$V_{O}^{LS00} = V_{CC}(\max) - I_R * R = V_{CC}(\max) - (I_{OL}^{LS00} - 3 * I_{IL}^{HC00}) * R \quad (\text{b})$$

Από (a) και (b) έχουμε ότι:

$$VCC(max) - (IOL^{LS00} - 3 * IIL^{HC00}) * R \leq VOL^{LS00}(max) \Rightarrow$$

$$R \geq (VCC(max) - VOL^{LS00}(max)) / (IOL^{LS00} - 3 * IIL^{HC00}) \Rightarrow$$

$$R_{min} = (VCC(max) - VOL^{LS00}(max)) / (IOL^{LS00} - 3 * IIL^{HC00}) = \\ = (5.25 - 0.4) / (8 * (10^{-3}) - 3 * (10^{-6})) = 606.48 \Omega$$

Για output high πρέπει να ισχύει:

$$VO^{LS00} \geq VIH^{HC00}(min) \tag{c}$$

Στην χειρότερη περίπτωση για output low έχουμε:

$$VO^{LS00} = VCC(min) - I_R * R = VCC(min) - 3 * IIL^{HC00} * R \tag{d}$$

Σημειώνουμε ότι το  $IOH^{LS00}$  που είναι πολύ μικρό παραλείπεται.

Από (c) και (d) έχουμε ότι:

$$VCC(min) - 3 * IIL^{HC00} * R \geq VIH^{HC00}(min) \Rightarrow$$

$$R \leq (VCC(min) - VIH^{HC00}(min)) / 3 * IIL^{HC00} \Rightarrow$$

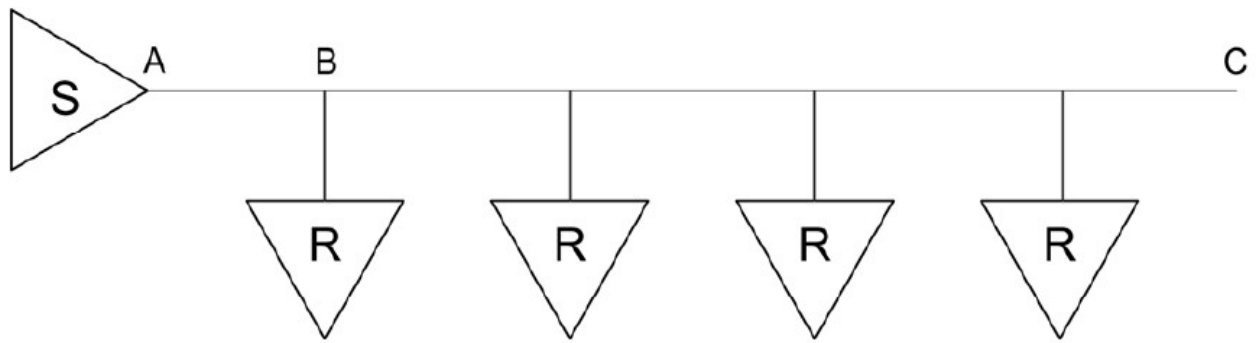
$$R_{max} = (VCC(min) - VIH^{HC00}(min)) / 3 * IIL^{HC00} = \\ = (4.7 - 3.675) / (3 * (10^{-6})) = 341.67 \text{ k}\Omega$$

Οπότε  $606.48 \Omega \leq R \leq 341.67 \text{ k}\Omega$ .

## Άσκηση 10

Έστω διάυλος και κύκλωμα οδήγησης στο ένα άκρο (σημείο A). Υποθέστε ότι ο χρόνος καθυστέρησης διάδοσης του σήματος στο διάυλο από άκρο σε άκρο (από A έως C) είναι  $t_{PD} = 10\text{ns}$  και ότι η καθυστέρηση των κυκλωμάτων αποστολής και λήψης είναι  $t_{PD}(\text{transmit}) = t_{PD}(\text{receive}) = 5\text{ns}$ . Η απόσταση μεταξύ γειτονικών σημείων (π.χ. A με B) είναι τόσο μικρή σε σχέση με τους χρόνους ανόδου/καθόδου του σήματος, ώστε η καθυστέρηση διάδοσης  $t_{PD}(A \rightarrow B)$  είναι 0. Υπολογίστε τον απαιτούμενο χρόνο μετάδοσης του σήματος από το σημείο A στο B για οδήγηση (α) με το πρωτεύον μέτωπο και (β) με την πρώτη ανάκλαση.





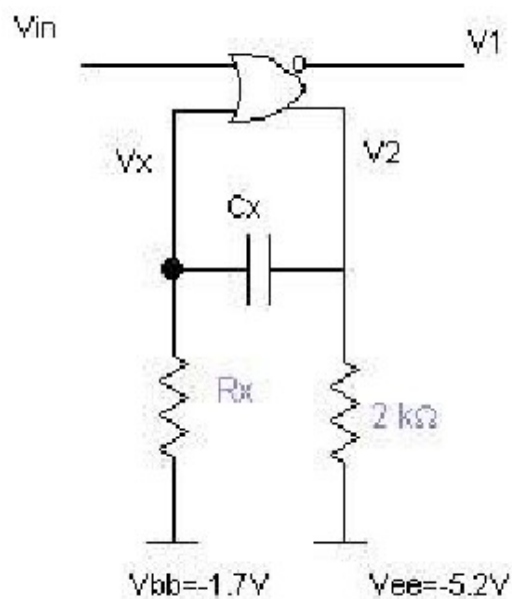
### Λύση

$$(\alpha) t_1 = t_{PD}(\text{transmit}) + t_{PD}(\text{receive}) + t_{PD}(A \rightarrow B) = 5\text{ns} + 5\text{ns} + 0\text{ns} = 10\text{ns}$$

$$(\beta) t_1 = t_{PD}(\text{transmit}) + t_{PD}(\text{receive}) + t_{PD}(A \rightarrow C) + t_{PD}(C \rightarrow B) = 5\text{ns} + 5\text{ns} + 10\text{ns} + 10\text{ns} = 30\text{ns}$$

### Άσκηση 11

Οι συμπληρωματικές έξοδοι μιας ECL OR/NOR πύλης διευκολύνουν την κατασκευή ενός απλού μονοσταθούς πολυδονητή, όπως φαίνεται στο σχήμα.

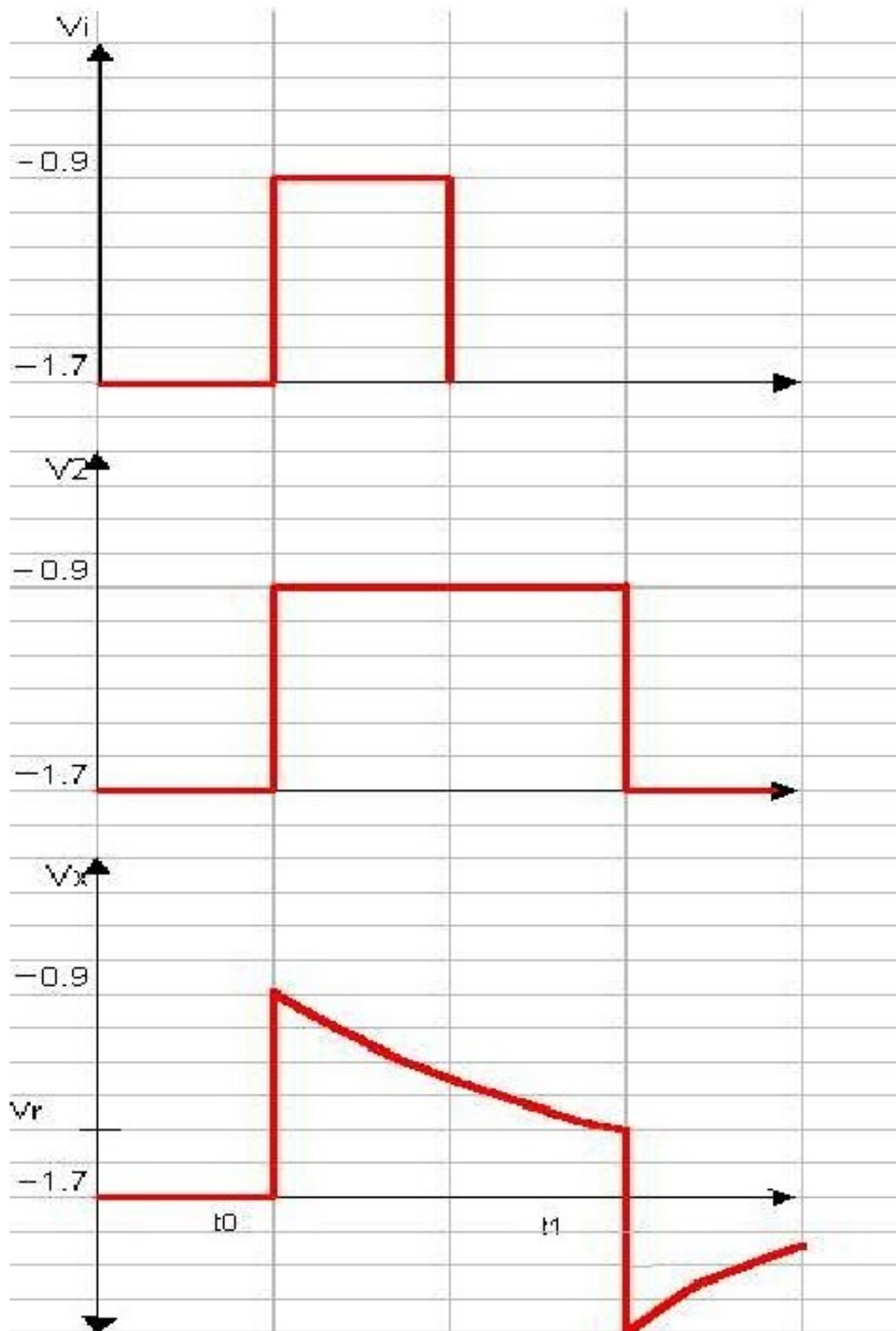


A) Σχεδιάστε τις κυματομορφές δυναμικών των  $V_1$ ,  $V_2$  και  $V_x$ , περιλαμβάνοντας ένα κατάλληλο σήμα ενεργοποίησης.

B) Δείξτε ότι το εύρος του παλμού εξόδου δίνεται από τη σχέση  $PW \approx 0.69RxCx$

Λύση

A)



B) Ισχύει ότι:

$$V_X(t) = A + B \cdot e^{-t/\tau} \quad (1) \quad \text{και} \quad \tau = C_X \cdot R_X \quad (2)$$

$$\text{Αρα για } t = t_0 = 0 \rightarrow V_X(t) = V_H = A + B$$

$$t = t_\infty \rightarrow V_X(\infty) = V_L = A$$

οπότε  $A = V_L$  και  $B = V_H - V_L$

$$(1) \rightarrow V_X(t) = V_L + (V_H - V_L) \cdot e^{-t/\tau}$$

οπότε για  $t = t_1$  θα έχουμε:

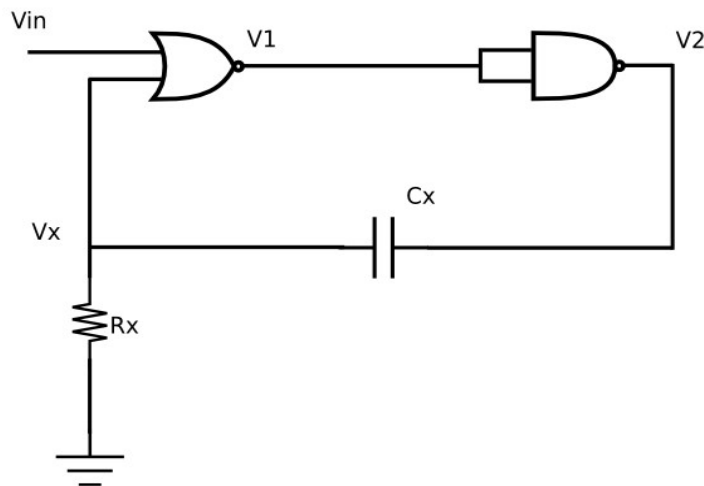
$$V_X(t_1) = V_R = V_L + (V_H - V_L) \cdot e^{-t_1/\tau} \rightarrow$$

$$\frac{V_R - V_L}{V_H - V_L} = e^{-\frac{t_1}{\tau}} \Rightarrow -\frac{t_1}{\tau} = \ln\left(\frac{V_R - V_L}{V_H - V_L}\right) \Rightarrow t_1 = \tau \cdot \ln\left(\frac{V_H - V_L}{V_R - V_L}\right)$$

$$\rightarrow t_1 = \tau \cdot \ln 2 \Rightarrow t_1 = R_X \cdot C_X \cdot 0.69$$

## Άσκηση 12

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται το κύκλωμα ενός CMOS μονοσταθούς πολυδονητή.

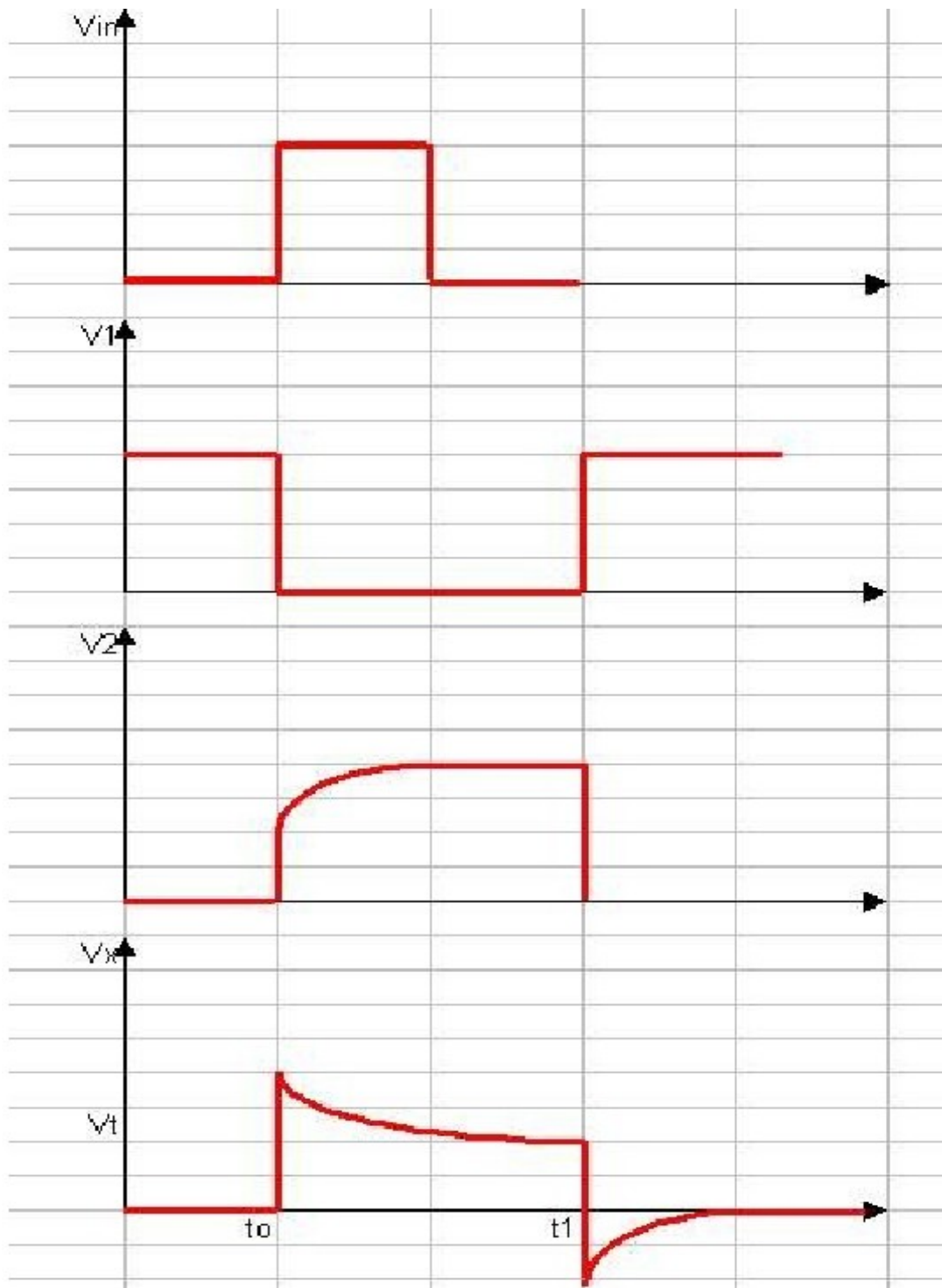


A) Σχεδιάστε τις κυματομορφές των δυναμικών  $V_1$ ,  $V_2$  και  $V_x$ , περιλαμβάνοντας ένα κατάλληλο σήμα ενεργοποίησης.

B) Δώσατε μια απλή εξίσωση για το εύρος του παλμού εξόδου στο  $V_1$ .

## Λύση

A)



B) Ισχύει οτι:

$$V_X(t) = A + B \cdot e^{-t/RC}$$

Επίσης για  $t = t_0 = 0$  έχουμε:  $V_X(t) = V_{DD} = A+B$  (1)

$$t = t_0 \quad V_X(t) = 0 \rightarrow A = 0 \quad (2)$$

Από (1),(2) συμπεραίνουμε οτι:  $A = 0$  και  $B = V_{DD}$

Άρα  $V_X(t) = V_{DD} \cdot e^{-t/RC}$