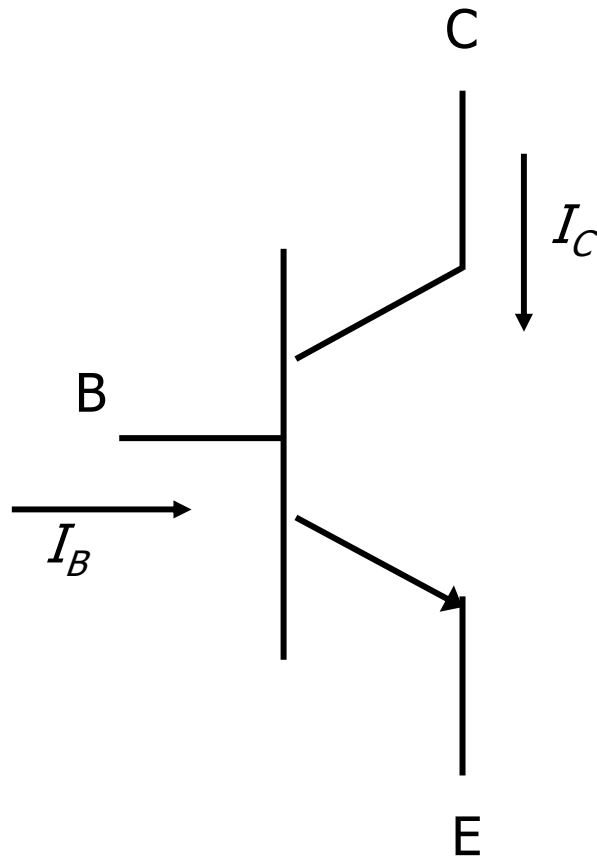


Ψηφιακά Ηλεκτρονικά

Μάθημα 2ο

Δ. Λιούπης

Transistor διπολικής επαφής (BJT)



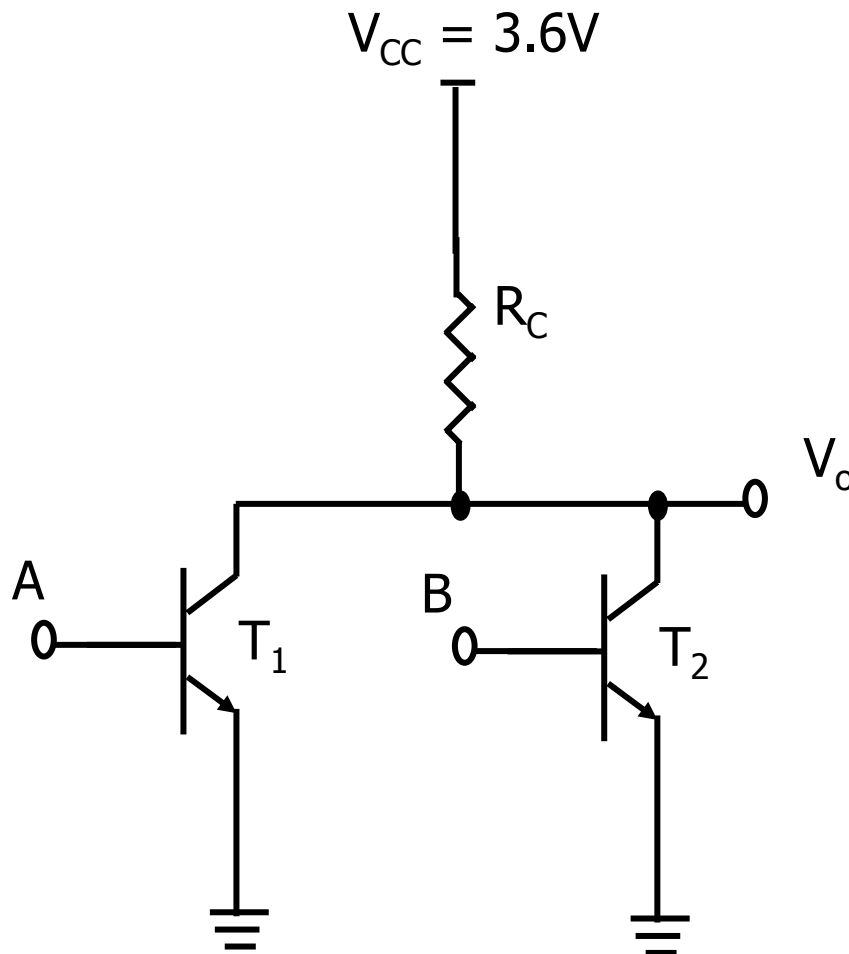
- Στα ψηφιακά κυκλώματα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως διακόπτης
- Στο σχήμα φαίνεται ένα τυπικό BJT τύπου NPN
 - ◆ I_B : ρεύμα που ρέει μέσω της βάσης του transistor
 - ◆ I_C : ρεύμα που ρέει μέσω του συλλέκτη του transistor

Περιοχές Λειτουργίας BJT

περιοχή	επαφή ΒΕ	επαφή ΒC	ρεύματα I_B, I_C	παρατηρήσεις
ενεργή (active)	ορθά πολωμένη	ανάστροφα πολωμένη	$I_C = \beta I_B$	β = συντελεστής κέρδους ρεύματος του transistor
αποκοπή (cutoff)	ανάστροφα πολωμένη	ανάστροφα πολωμένη	$I_B = 0,$ $I_C = I_{CEO}$	I_{CEO} = ανάστροφο ρεύμα κορεσμού συλλέκτη, πρακτικά 0
κορεσμός (saturation)	ορθά πολωμένη	ορθά πολωμένη	$I_C < \beta I_B$	τάση μεταξύ συλλέκτη- εκπομπού $V_{CE} \approx 0.2V$ ή και χαμηλότερη
αντίστροφη λειτουργία (reversed mode)	ανάστροφα πολωμένη	ορθά πολωμένη	$I_E = \beta_R I_B$	β_R = συντελεστής κέρδους αντίστροφης λειτουργίας

Λογική αντίστασης-τρανζίστορ

Resistor-transistor logic (RTL) (1)



- Εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '60
- Το κύκλωμα υλοποιεί τη λογική συνάρτηση NOR
 - ◆ Όταν A & B σε χαμηλή στάθμη \Rightarrow T₁ & T₂ σε αποκοπή \Rightarrow έξοδος σε υψηλή στάθμη
 - ◆ Κάθε άλλος συνδυασμός A & B \Rightarrow έξοδος σε χαμηλή στάθμη

Λογική αντίστασης-τρανζίστορ

Resistor-transistor logic (RTL) (2)

■ Πλεονεκτήματα

- ◆ Ικανοποιητική καθυστέρηση διάδοσης για την εποχή (12ns)
- ◆ Ικανοποιητική κατανάλωση ισχύος (16mW)

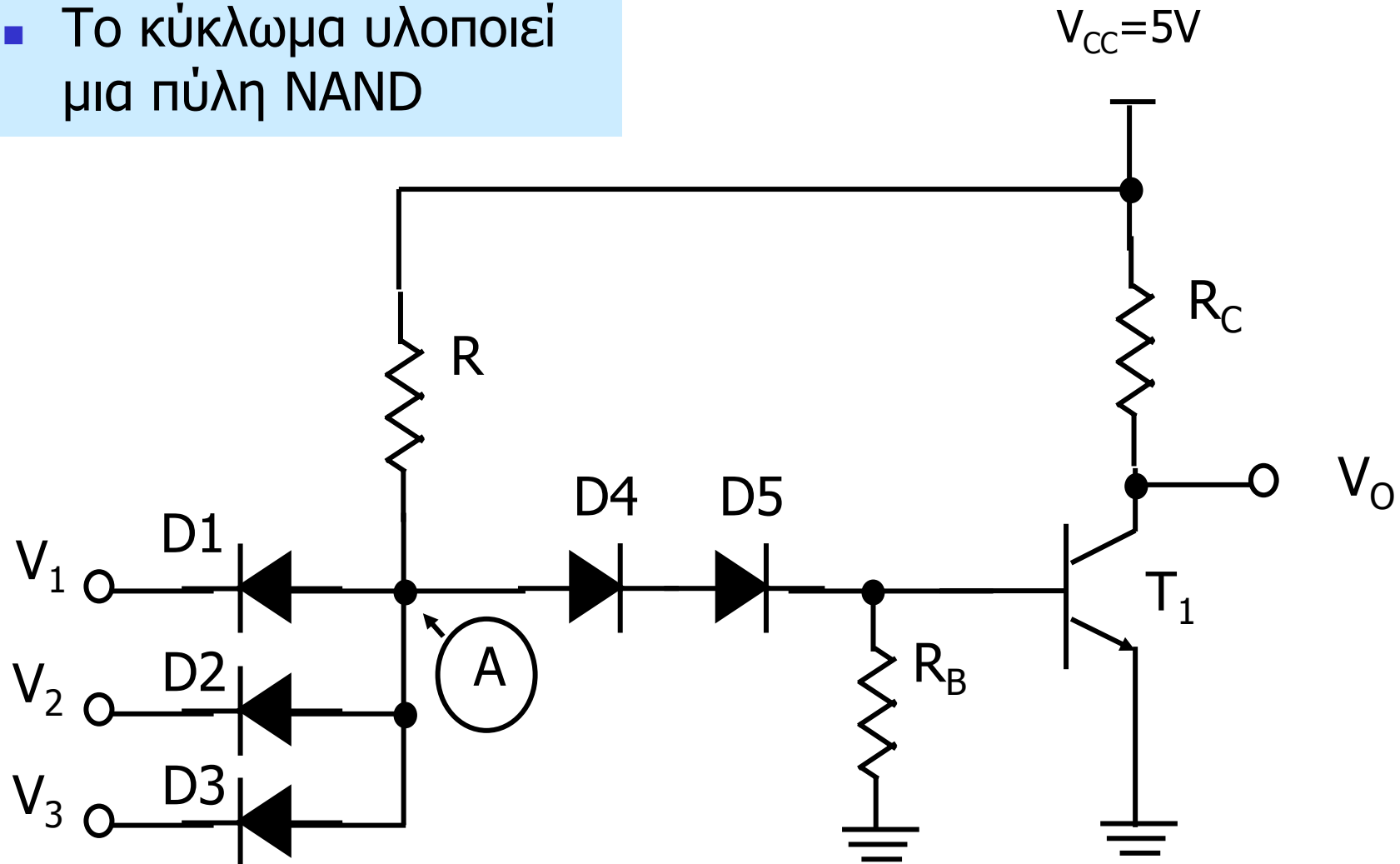
■ Μειονεκτήματα

- ◆ Μικρό περιθώριο θορύβου ($\sim 0.4V$)
- ◆ Μικρή οδηγητική ικανότητα (μέγιστο fanout=5)

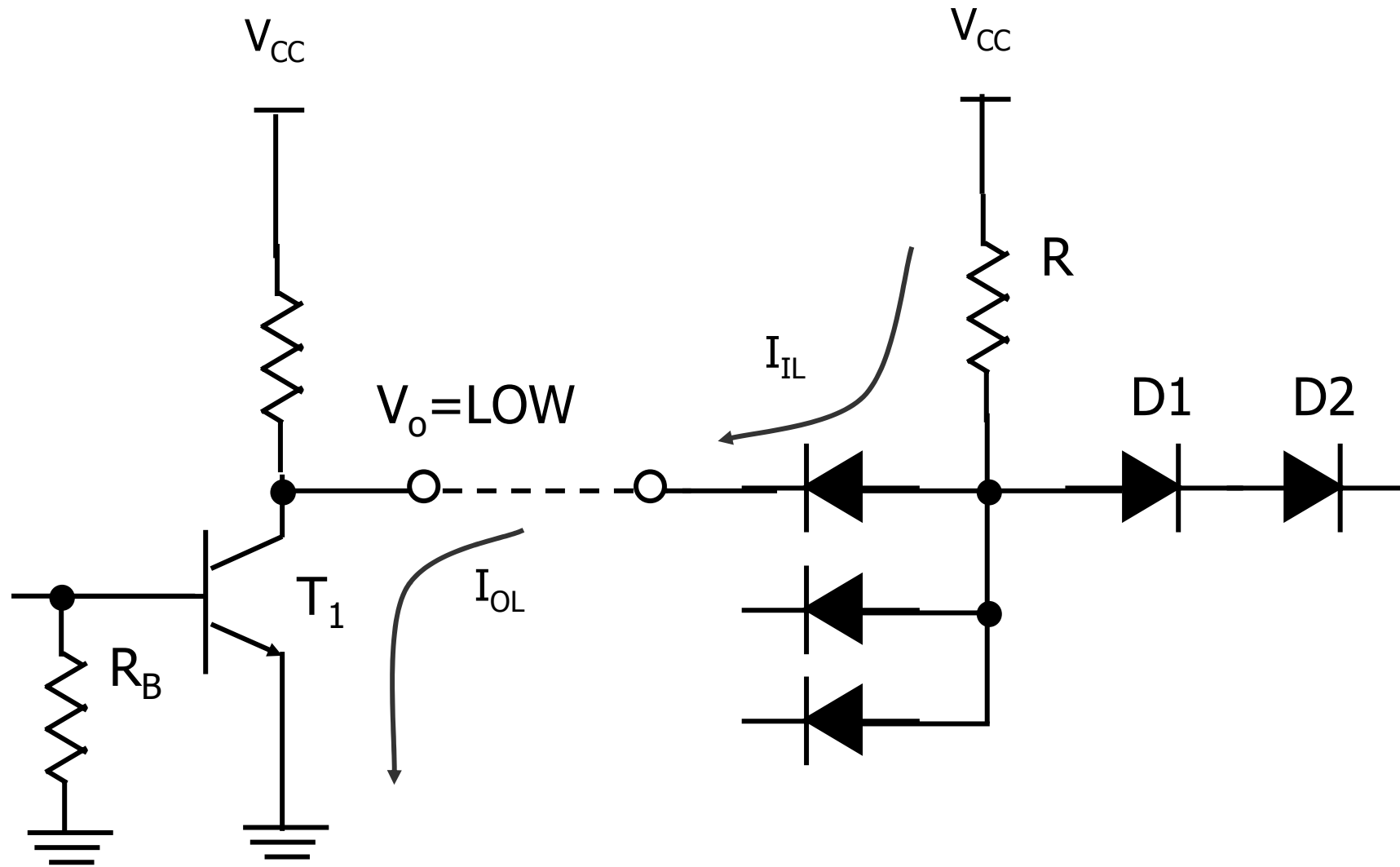
Λογική διόδου-τρανζίστορ

Diode-transistor logic (DTL)

- Το κύκλωμα υλοποιεί μια πύλη NAND



Οδηγητική ικανότητα πύλης DTL



Ταχύτητα διάδοσης πύλης DTL

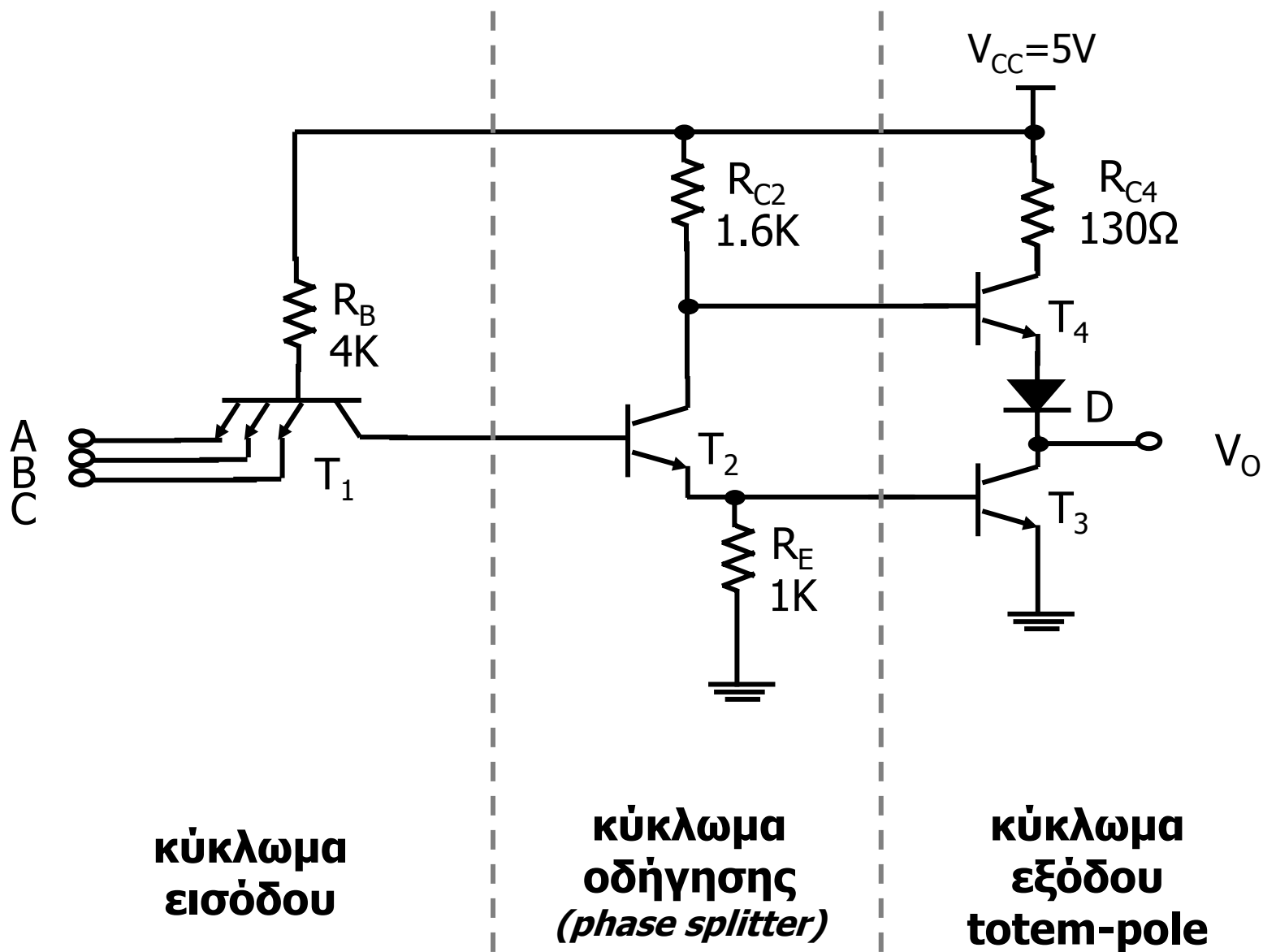
- Στις πύλες DTL γενικά ισχύει ότι $t_{PLH} > t_{PHL}$
- Η μετάβαση εξόδου από υψηλή σε χαμηλή στάθμη, επιτυγχάνεται γρήγορα μέσω του T_1 , το οποίο βρίσκεται σε κορεσμό
- Η αντίθετη μετάβαση καθυστερεί, λόγω
 - ◆ της αργής φόρτισης των οδηγούμενων χωρητικοτήτων μέσω της R_C
 - ◆ της εκφόρτισης της βάσης του T_1 μέσω της R_B

Λογική τρανζίστορ-τρανζίστορ

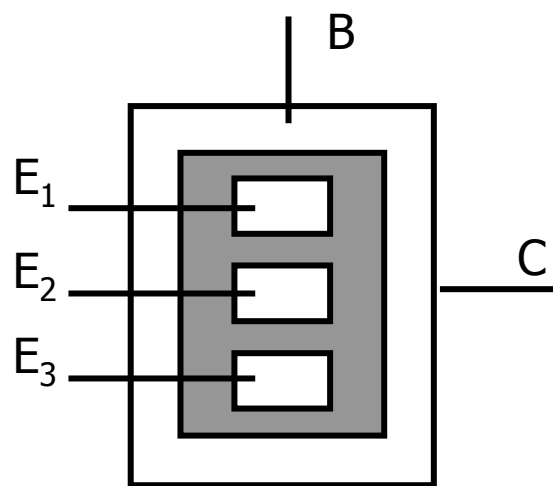
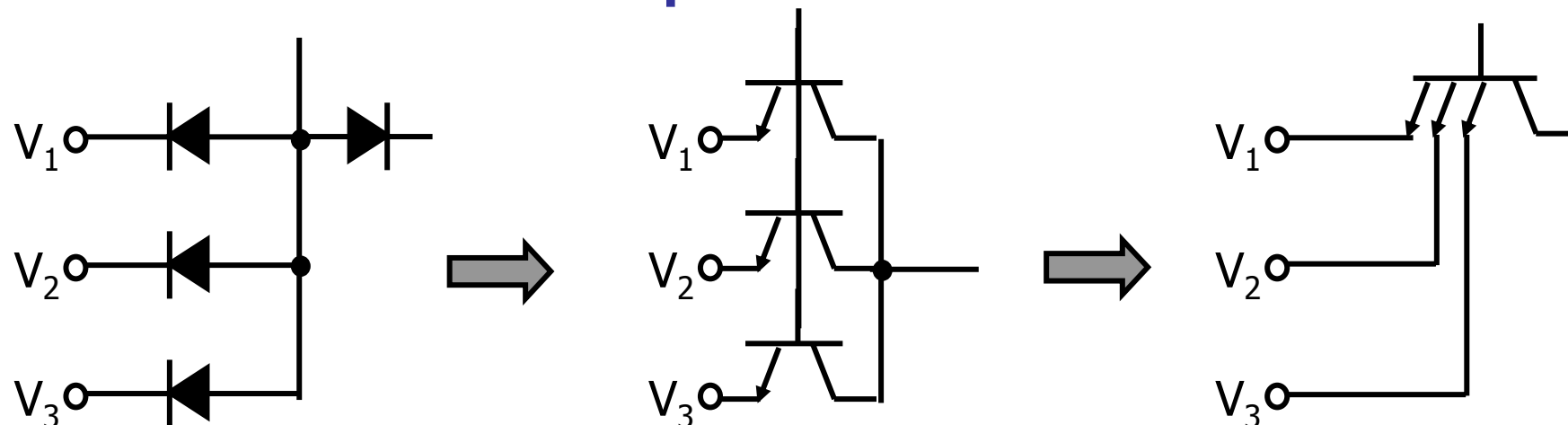
Transistor-transistor logic (TTL)

- Πρόκειται για την κύρια τεχνολογία κατασκευής ψηφιακών κυκλωμάτων με transistor διπολικής επαφής
- Μπορεί να θεωρηθεί μετεξέλιξη της τεχνολογίας DTL
- Βελτίωσε το κύριο μειονέκτημα της DTL, δηλαδή τη μειωμένη ταχύτητα λειτουργίας

Βασικό κύκλωμα πύλης TTL (NAND)

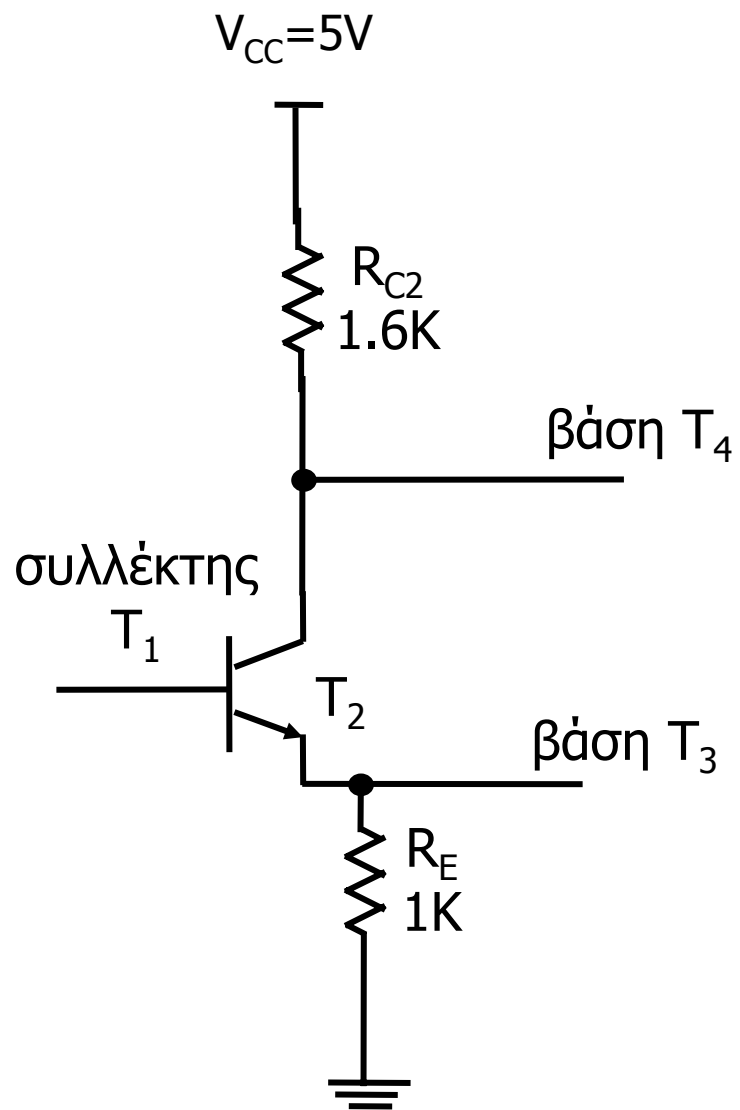


Κύκλωμα εισόδου



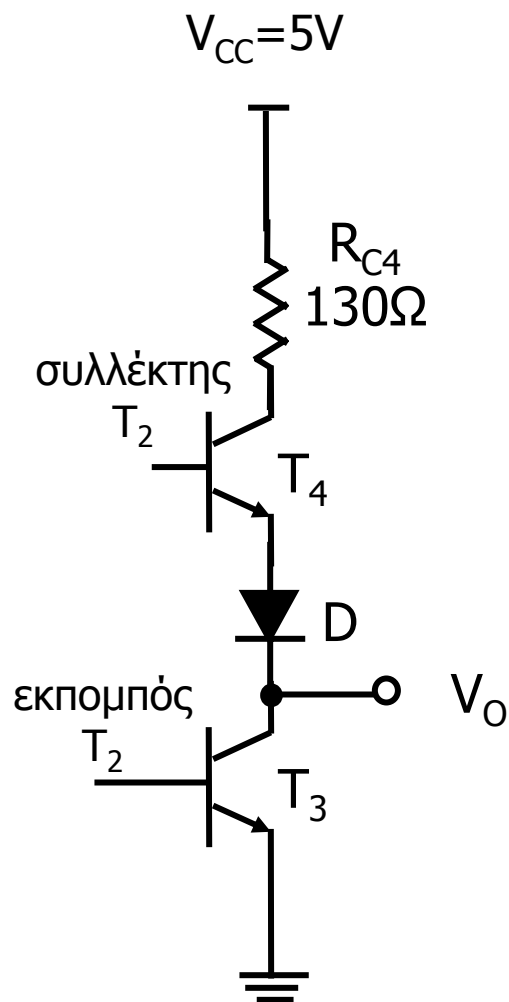
- Αποτελείται από ένα transistor *πολλαπλών εκπομπών* (multiemitter transistor)
- Ισοδυναμεί με τη δομή εισόδων με διόδους μιας πύλης DTL
- Η επιφάνεια πυριτίου που απαιτεί, είναι μικρότερη από αυτή των διακριτών διόδων DTL

Κύκλωμα οδήγησης



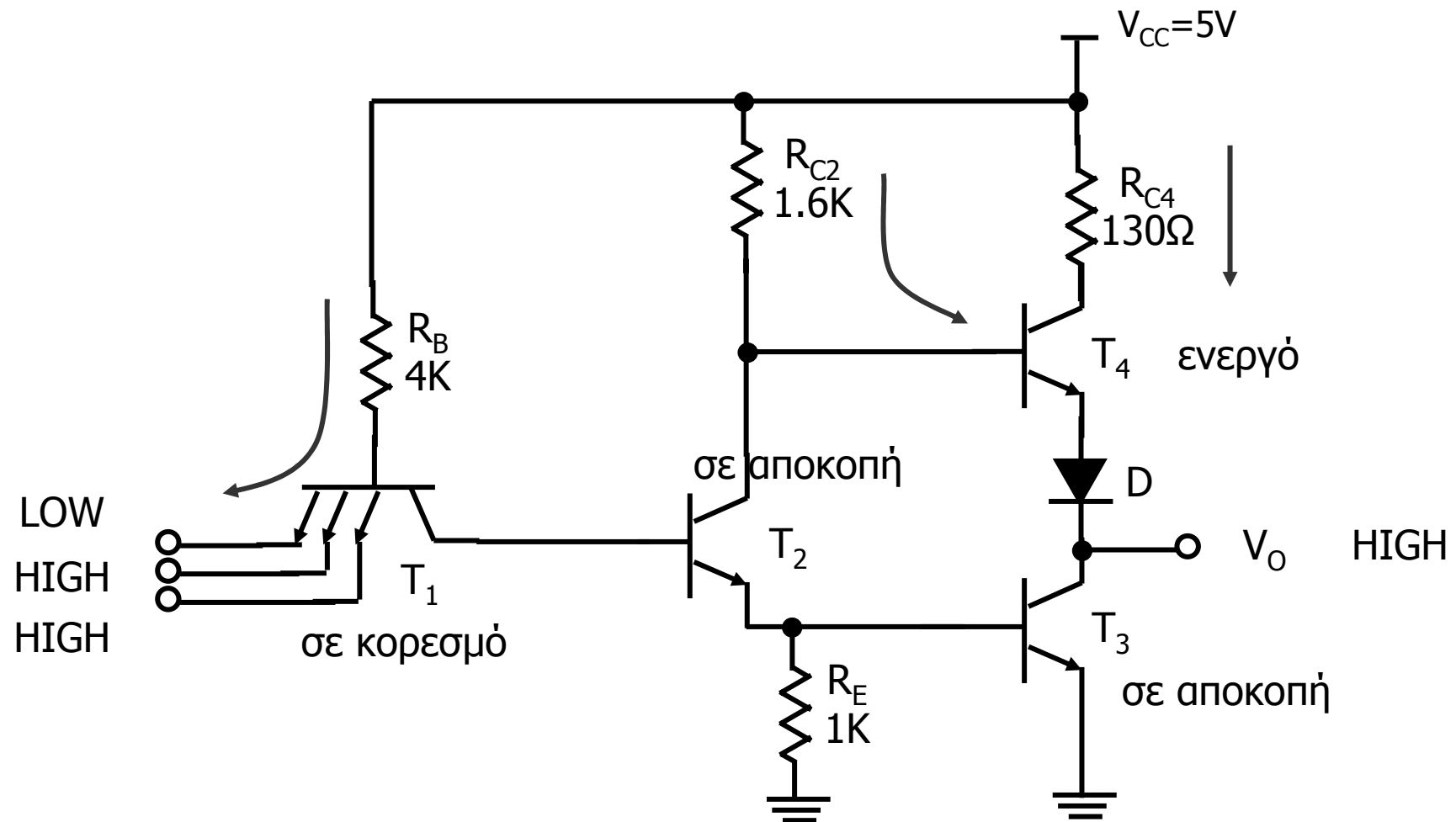
- Αποτελείται από το transistor T_2 και τις αντιστάσεις R_{C2} και R_E
- Είναι κλασσικό κύκλωμα phase splitter και οδηγεί συμπληρωματικά τα T_3 και T_4 (όταν το ένα άγει, το άλλο είναι σε αποκοπή και αντίστροφα)
- Το T_2 οδηγείται από τον συλλέκτη του T_1

Κύκλωμα εξόδου totem-pole

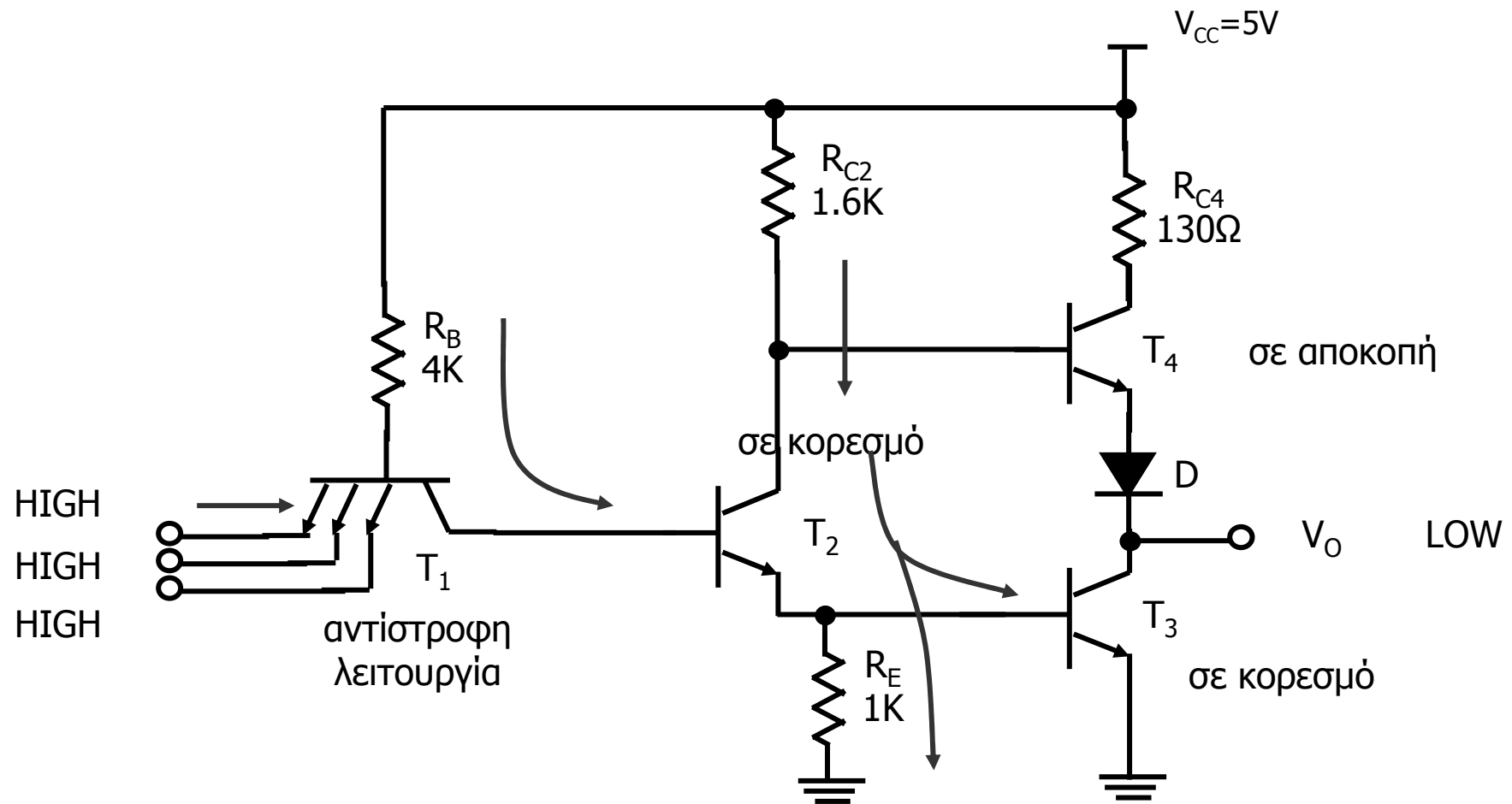


- Αποτελείται από ένα transistor ανύψωσης (T_4) και ένα transistor καταβύθισης (T_3) δυναμικού
- Άγουν εναλλάξ οδηγούμενα από το T_2 , δηλ. σε σταθερή κατάσταση εξόδου δεν υπάρχει αγωγιμο μονοπάτι μεταξύ V_{CC} και GND
 - ◆ Όταν T_4 άγει και T_3 σε αποκοπή, η έξοδος συνδέεται με το V_{CC} μέσω της R_{C4}
 - ◆ Όταν T_3 άγει και T_4 σε αποκοπή, τότε η τάση εξόδου ισούται με $V_{CE3(sat)} \approx 0.2V$ (LOW)

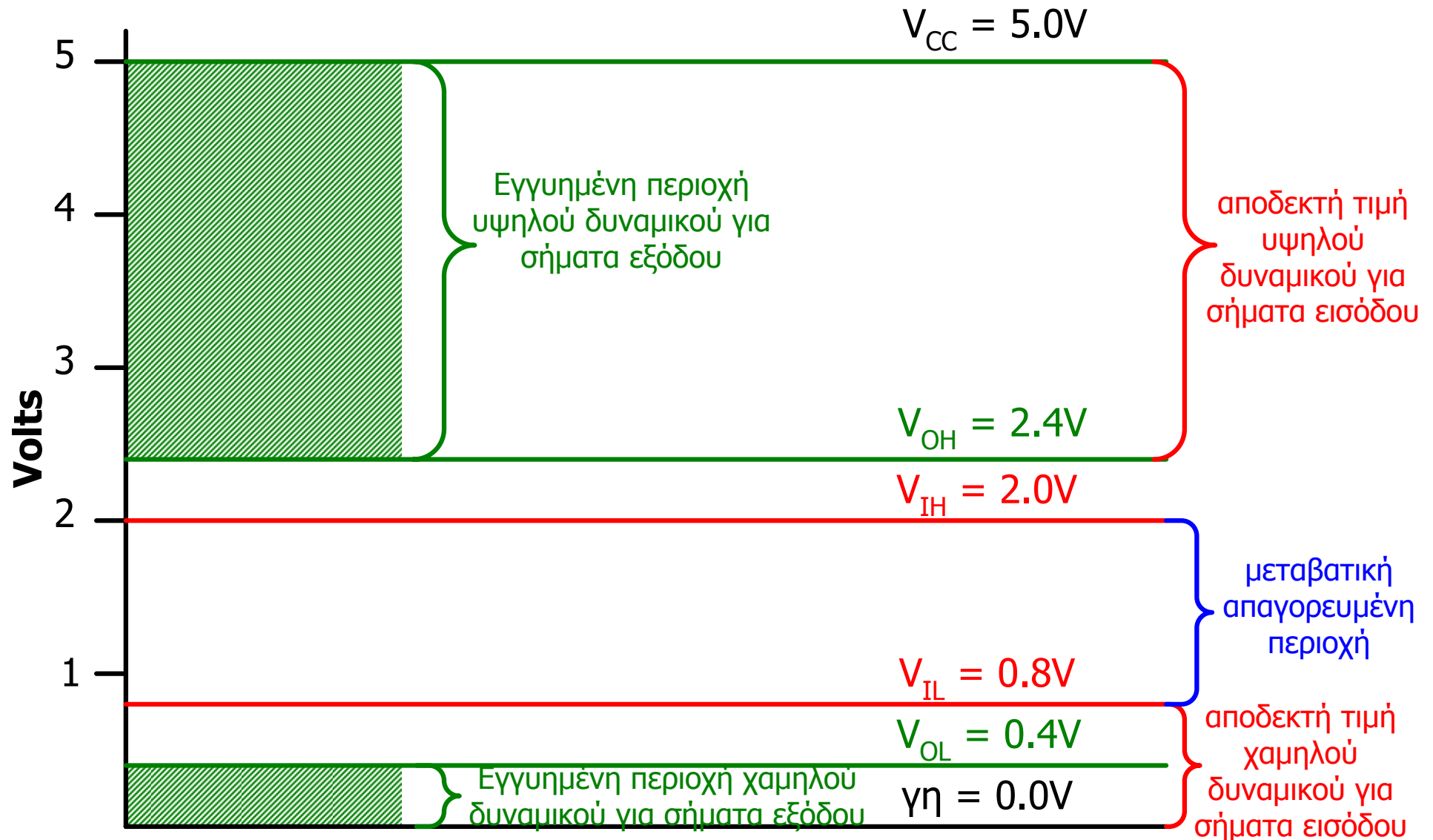
Λειτουργία βασικής πύλης TTL NAND (1)



Λειτουργία βασικής πύλης TTL NAND (2)



Λογικές στάθμες θορύβου της τεχνολογίας standard TTL



Περιθώρια θορύβου της τεχνολογίας standard TTL

- $NML = V_{IL(max)} - V_{OL(max)} = 0.4V$
- $NMH = V_{OH(min)} - V_{IH(min)} = 0.4V$
- Οι τιμές V_{OL} , V_{OH} που φαίνονται στο προηγούμενο σχήμα αποτελούν τιμές χειρότερης περίπτωσης
- Στην πράξη τυπικές τιμές λειτουργίας σε κανονικές συνθήκες είναι $V_{OL} = 0.2V$ και $V_{OH} = 3.4V$, ενώ τα περιθώρια θορύβου είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα προσδιοριζόμενα, με πιο κρίσιμο το περιθώριο χαμηλής στάθμης (NML)