

Ψηφιακά Ηλεκτρονικά

Ακεραιότητα Ψηφιακού Σήματος

Δ.Λιούπης

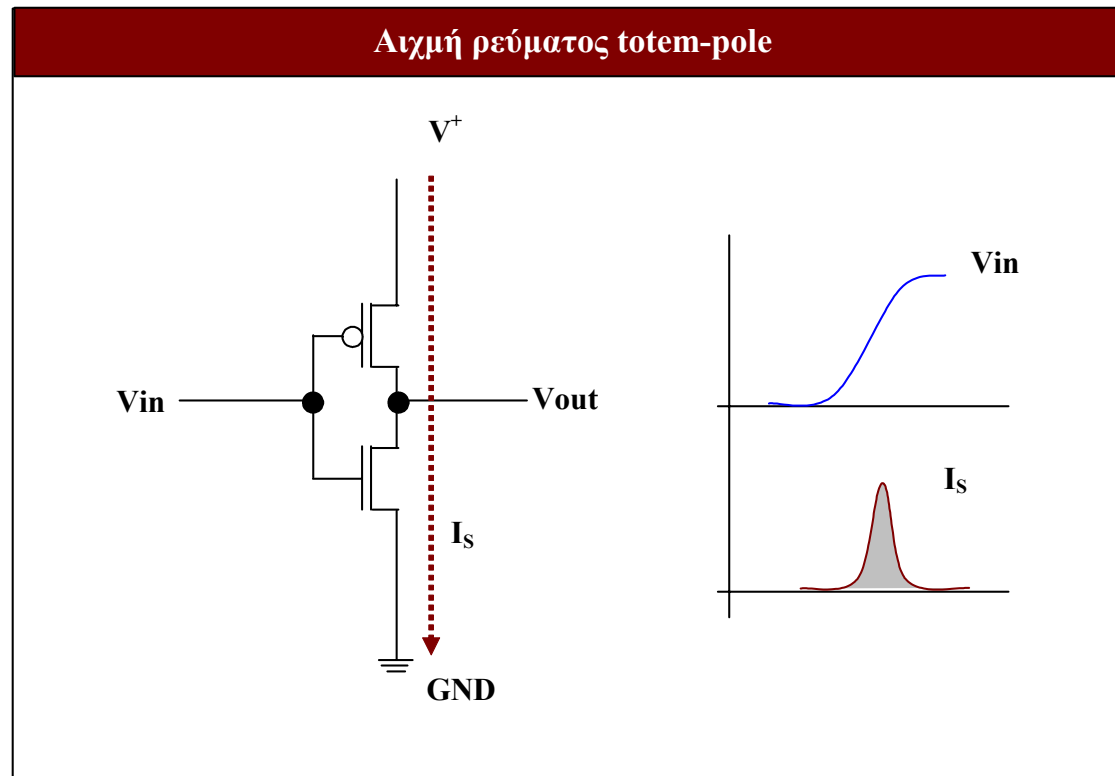
Ακεραιότητα Ψηφιακού Σήματος

- **Θόρυβος και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές**
- **Μοντέρνα ψηφιακά κυκλώματα**
 - Υψηλές Ταχύτητες
 - Συχνότητα Λειτουργίας >30MHz (φαινόμενα RF)
 - Απαιτούν προσεκτική σχεδίαση
- **Μετάδοση σήματος**
 - μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
 - μεταξύ συστημάτων

Βασικά Θέματα

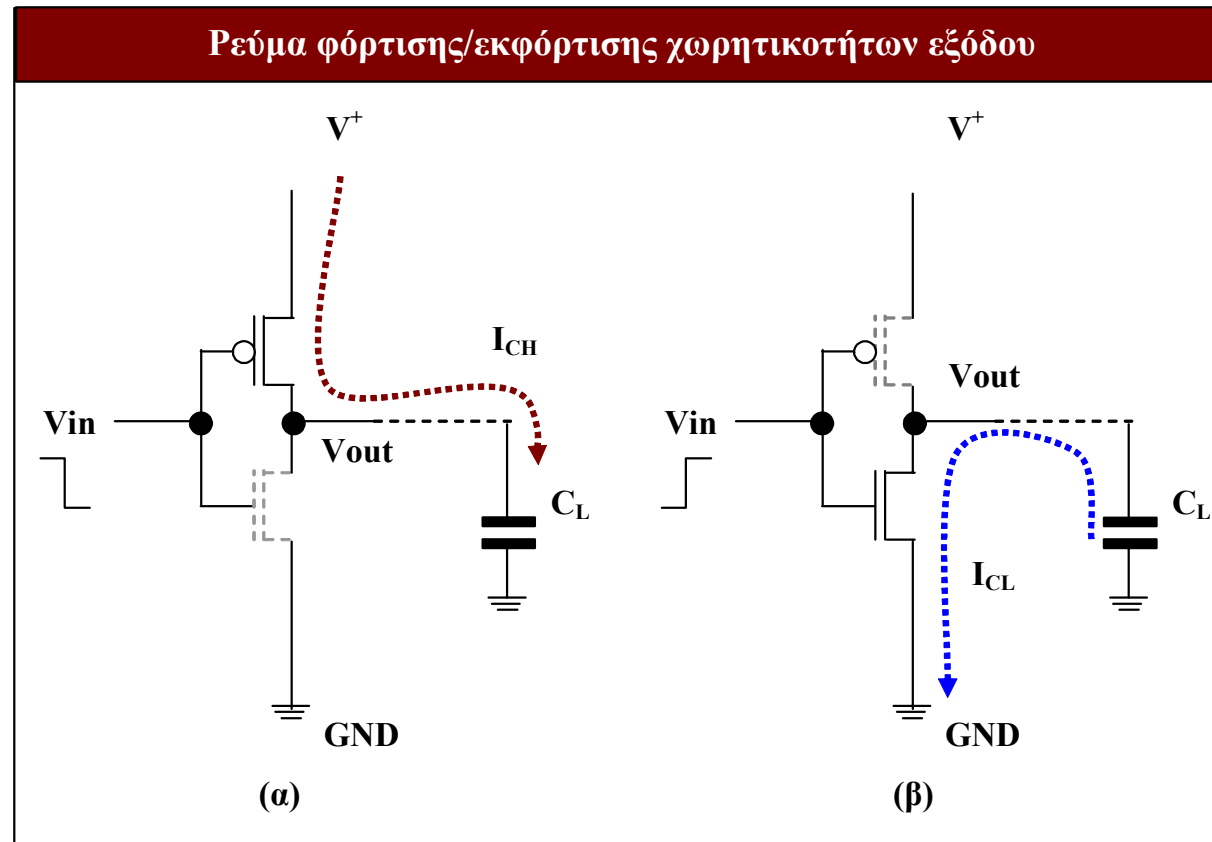
- **Θόρυβος αλλαγής κατάστασης**
- **Γραμμές μετάδοσης – ανακλάσεις**
- **Οδήγηση διασυνδετικών διαύλων**
- **Αλληλεπίδραση (crosstalk)**
- **Διαφορική Μετάδοση**

Αλλαγή κατάστασης εξόδου



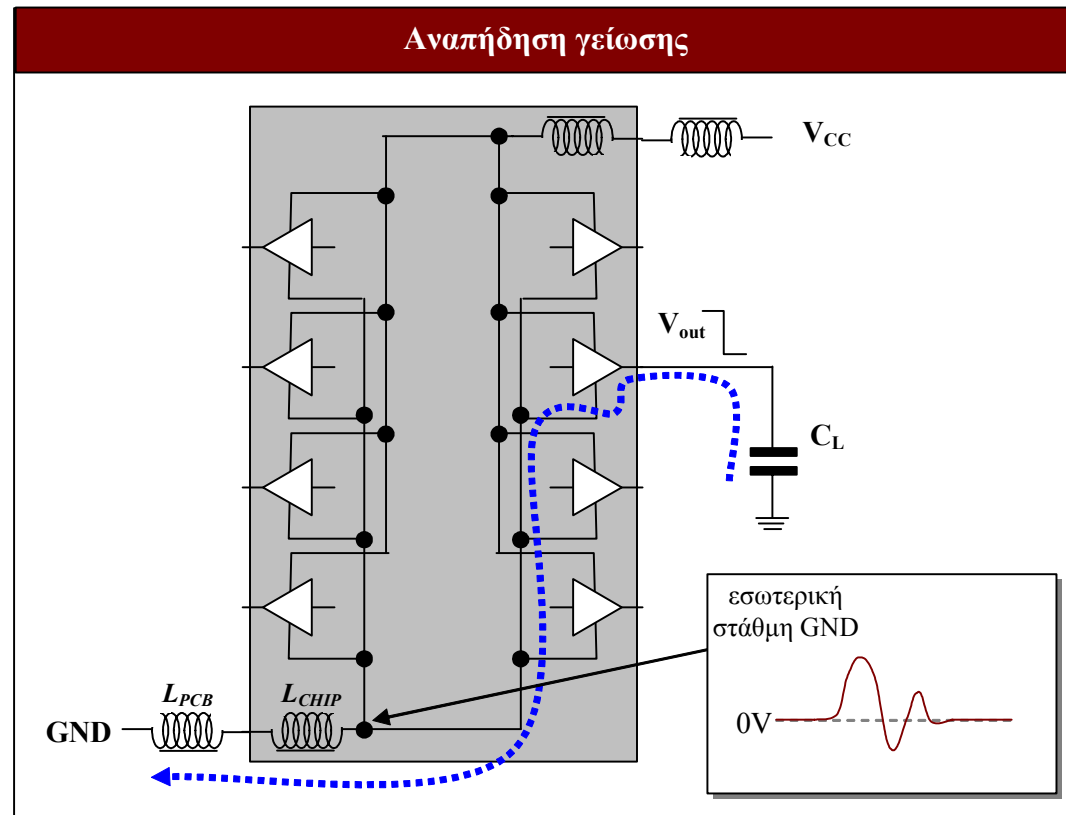
- **Αιχμή ρεύματος totem-pole**
 - κατά την αλλαγή κατάστασης

Οδήγηση φορτίων



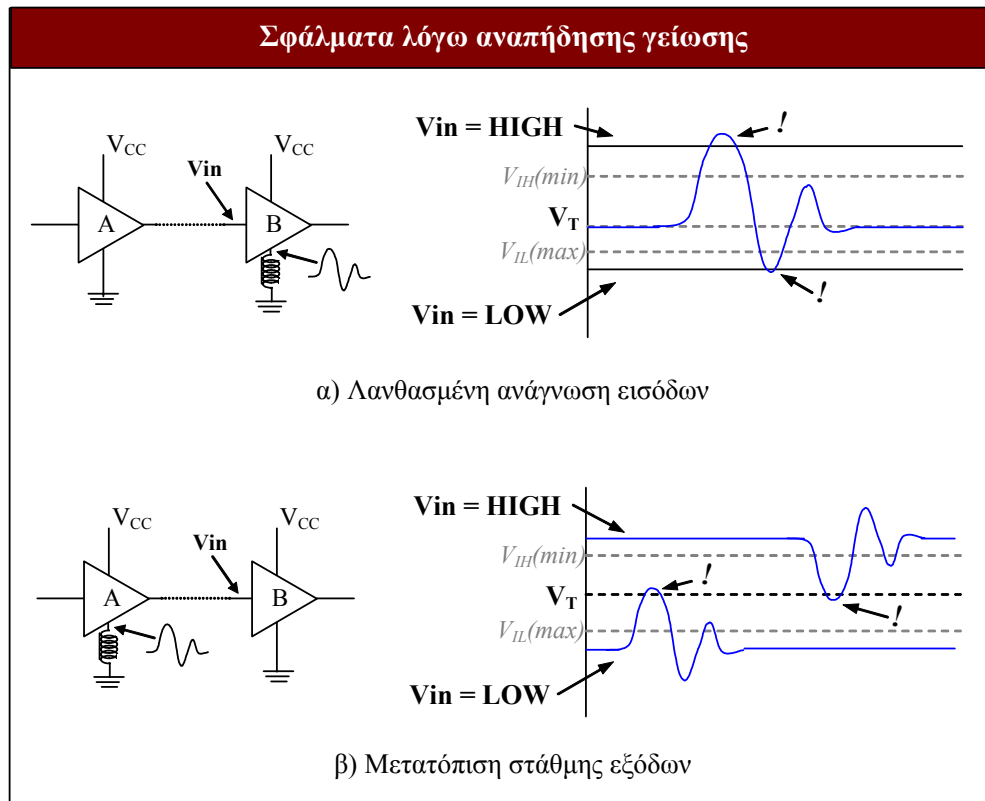
- Ροή ρεύματος από/προς φορτίο
- Εξαρτάται από λογικές στάθμες, ταχύτητα μεταβολής

Αναπήδηση Γείωσης



- **Παρασιτικές αυτεπαγωγές**
 - στο ολοκληρωμένο κύκλωμα
 - στους αγωγούς του PCB
- **Αναπήδηση γείωσης**
 - $>1V$
 - αντίστοιχα για V_{CC}
 - Κατά την ταυτόχρονη αλλαγή πολλών εξόδων

Αναπήδηση γείωσης

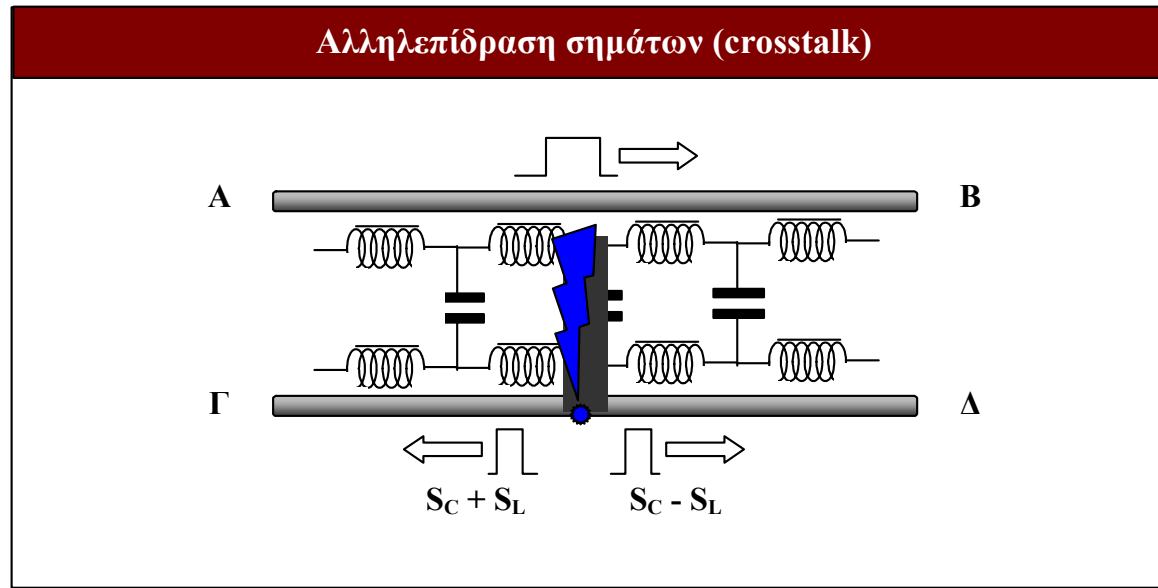


- Προκαλούμενα προβλήματα
- Λανθασμένες τιμές εισόδου
 - Τάση κατωφλίου: γείωση ως αναφορά (μετατόπιση)
- Μετατόπιση σταθμών εξόδου
 - Εξοδοι “συνδέονται” με GND ή Vcc (ακολουθούν τις τάσεις αναφοράς)

Αντιμετώπιση

- **Στο ολοκληρωμένο κύκλωμα:**
 - Συσκευασίες με χαμηλή παρασιτική αυτεπαγωγή
 - Περισσότεροι ακροδέκτες γείωσης και τροφοδοσίας
 - Περιορισμός ρεύματος βαθμίδων εξόδου
 - έλεγχος ταχύτητας αλλαγής
- **Στο τυπωμένο κύκλωμα:**
 - Μείωση παρασιτικών αυτεπαγωγών αγωγών τροφοδοσίας και γείωσης
 - επίπεδα γείωσης
 - πυκνωτές αποσύζευξης

Αλληλεπίδραση σημάτων (crosstalk)

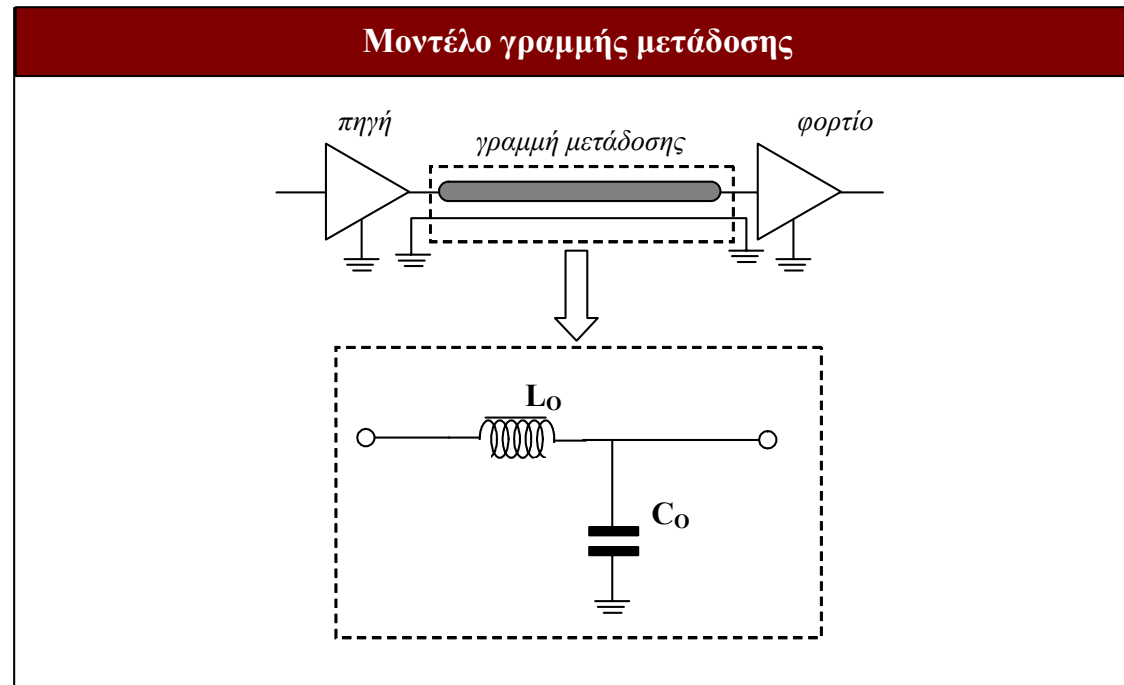


- Παρασιτική χωρητική και επαγωγική σύζευξη
- Κατά τη διάρκεια αλλαγής στάθμης
- Αυξάνεται ανάλογα με τη συχνότητα του σήματος
- Αυξάνεται όσο η απόσταση μεταξύ των αγωγών μειώνεται

Αντιμετώπιση crosstalk

- **Αύξηση της απόστασης μεταξύ των αγωγών**
 - απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια
- **Μείωση απόστασης από επίπεδο γείωσης**
 - μείωση σύνθετης αντίστασης (εμπέδησης) αγωγού
- **Θωράκιση αγωγών με γραμμές ή επίπεδα γείωσης**
- **Τερματισμός αγωγών για ελαχιστοποίηση ανακλάσεων**
- **Ελεγχος ρυθμού ανόδου/καθόδου σήματος**

Γραμμές μετάδοσης



- Στις συχνότητες λειτουργίας ψηφιακών κυκλωμάτων:
 - Χωρητικότητα C_0 (pF/cm)
 - Αυτεπαγωγή L_0 (nH/cm)

Γραμμές μετάδοσης

- Χαρακτηριστικά μεγέθη:
 - Ταχύτητα διάδοσης v_p
 - Εξαρτάται από διηλεκτρικό υλικό
 - Ποσοστό της ταχύτητας του φωτός
 - Για συνήθεις αγωγούς: $0.55c - 0.85c$
 - Χαρακτηριστική αντίσταση (εμπέδηση) Z_0
 - Εξαρτάται από γεωμετρία και υλικό γραμμής
 - $50\Omega - 100\Omega$

Ανακλάσεις σε γραμμές μετάδοσης

- Οπου υπάρχει αλλαγή ή ασυνέχεια στην Z_0
- Συντελεστής ανάκλασης:

$$\rho = \frac{R - Z_0}{R + Z_0}$$

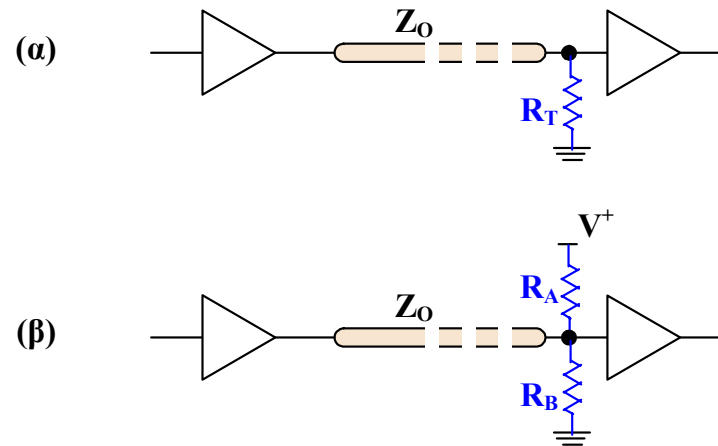
- Αλλαγή από Z_0 σε R

Τερματισμός γραμμών μετάδοσης

- “Ταίριασμα” με χαρακτηριστική Z_0
 - Απορρόφηση ενέργειας
 - Εξάλειψη ανακλάσεων
- Μέγιστο μήκος ατερμάτιστης γραμμής
 - Εξαρτάται από ταχύτητα διάδοσης και χρόνους ανόδου/καθόδου σήματος (λογική οικογένεια)

Μέθοδοι Τερματισμού

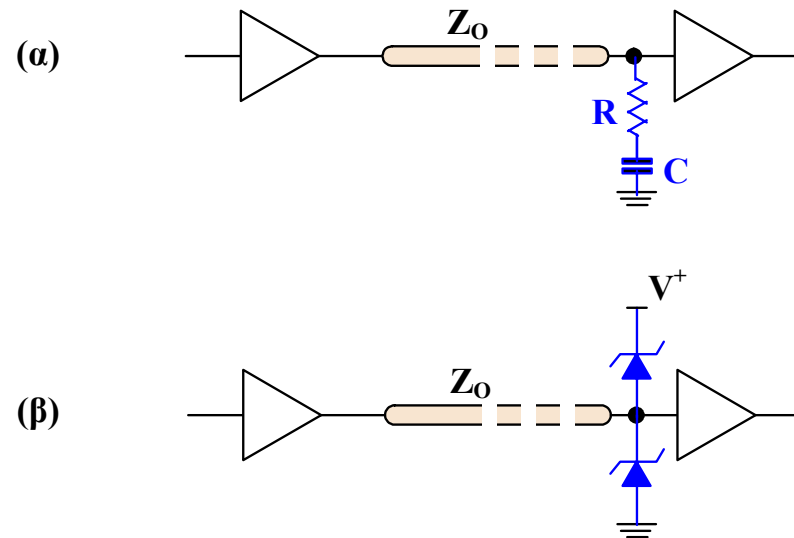
Τερματισμός στην πλευρά του φορτίου (1)



- Στην πλευρά του φορτίου

Μέθοδοι Τερματισμού

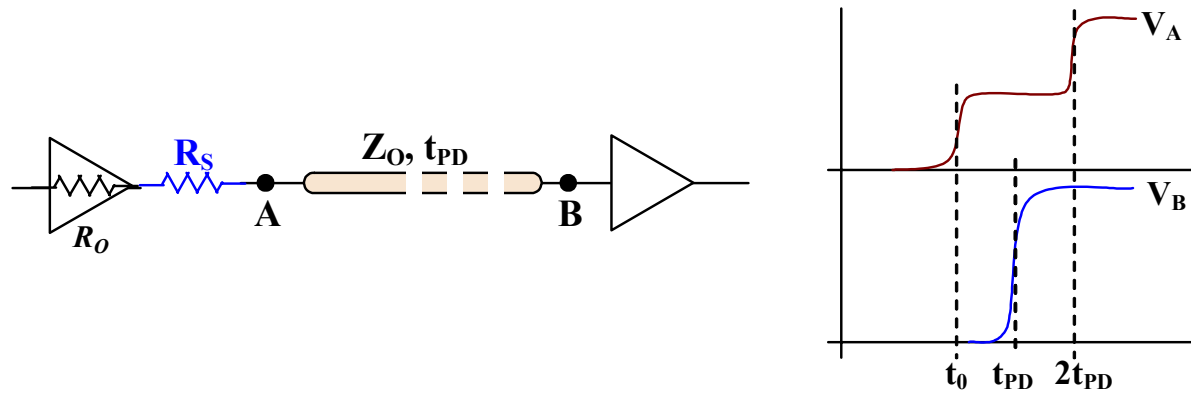
Τερματισμός στην πλευρά του φορτίου (2)



- Στην πλευρά του φορτίου
 - (α) Μείωση κατανάλωσης
 - (β) Ανεξάρτητα από Z_0

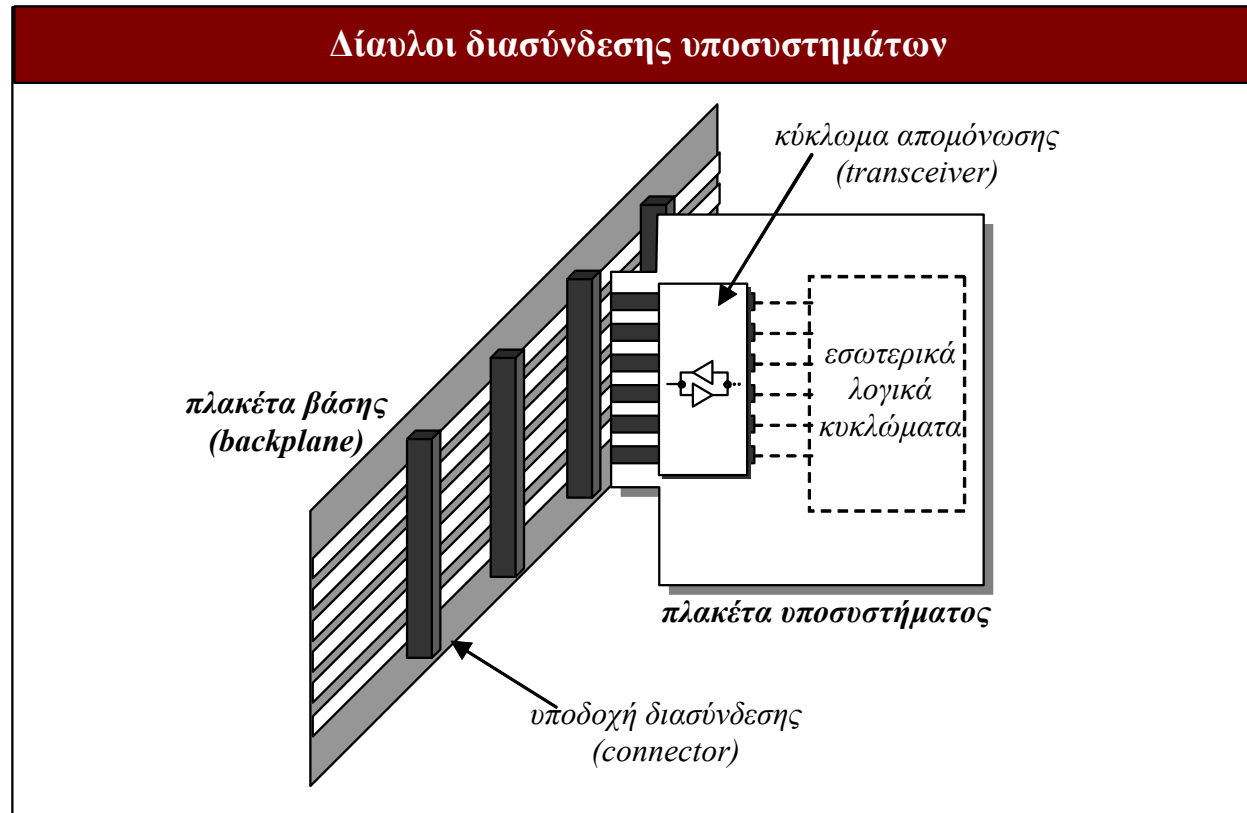
Μέθοδοι Τερματισμού

Τερματισμός στην πλευρά της πηγής του σήματος



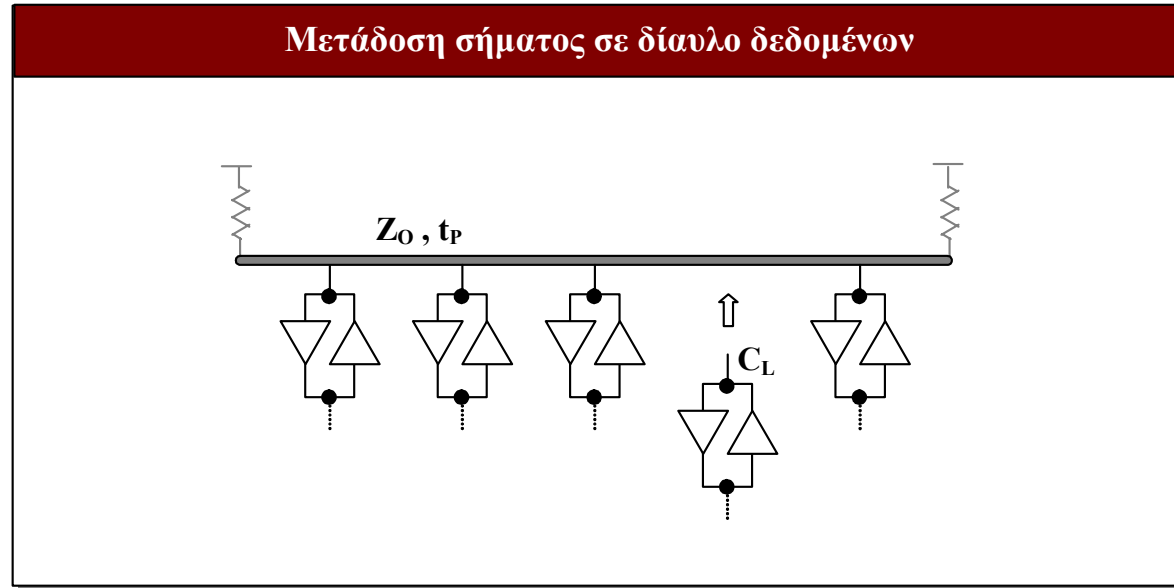
- Στην πλευρά της πηγής του σήματος
 - Η χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος
 - Το φορτίο πρέπει να βρίσκεται στο τέλος της γραμμής

Οδήγηση διαύλων



- **Τυπική σύνθεση συστήματος**

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Διαύλου



- Σύνδεση μεταβλητού αριθμού φορτίων, σε διάφορες θέσεις
- Πρόσθετη χωρητικότητα ανά φορτίο ($\sim 10\text{pF}$)
- **Κατανεμημένη χωρητικότητα C_D** : χωρητικότητα φορτίων ανά μήκος αγωγού.
- **Σύνθετη αντίσταση γραμμής διαύλου $Z_0(\text{eff})$** : μειώνεται, όσο αυξάνεται το C_D .
 - Απαιτείται μεγαλύτερη ικανότητα οδήγησης

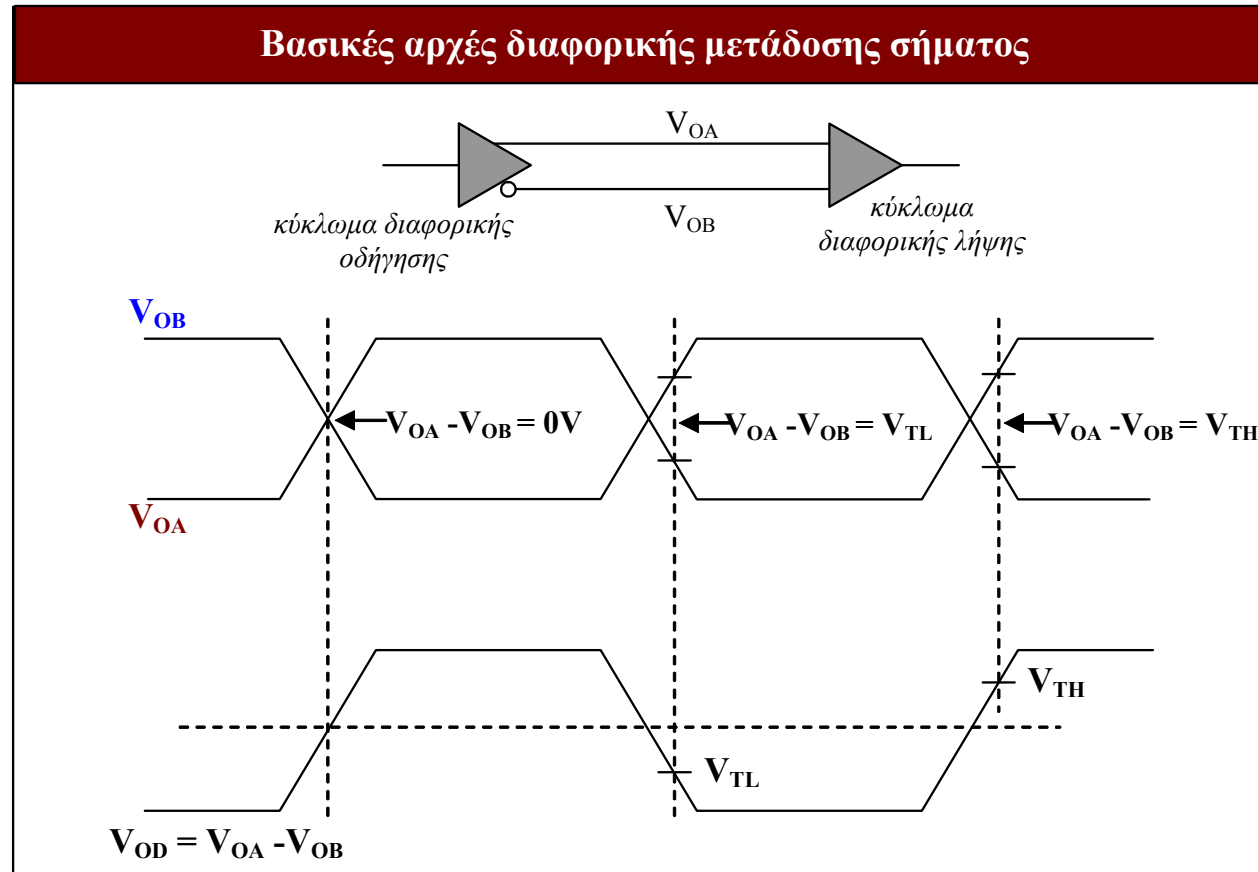
Τερματισμός γραμμών διαύλων

- Στα δύο άκρα
- Σύνδεση σε V_{CC} για βαθμίδες open-collector
 - Οι αντιστάσεις τερματισμού λειτουργούν και ως pull-up.
- Πρωτεύον μέτωπο σήματος
 - Η πρώτη τάση στην έξοδο του κυκλώματος οδήγησης.
 - Εξαρτάται:
 - από σύνθετη αντίσταση R_O βαθμίδας εξόδου
 - από $Z_O(\text{eff})$ γραμμής
 - Αλλαγή στο πρωτεύον μέτωπο τάσης (incident wave switching)
 - Πιο γρήγορα, αλλά απαιτείται περισσότερη ενέργεια

Λογικές οικογένειες διασύνδεσης (bus interface logic)

- **Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:**
 - Ελάχιστη καθυστέρηση διάδοσης
 - Αυξημένη οδηγητική ικανότητα
 - Διατάξεις ελέγχου ρυθμού ανόδου/καθόδου σήματος
 - Μικρή χωρητικότητα εισόδου/εξόδου
 - Χαμηλή κατανάλωση
 - Για μέγιστη ταχύτητα: μείωση λογικών σταθμών
 - Διασύνδεση με ολοκληρωμένα κυκλώματα με διάφορες τιμές V_{CC} (από 5V έως <2V)
 - Δυνατότητα προσθήκης/αφαίρεσης κατά τη λειτουργία

Διαφορική μετάδοση σήματος



- Σήμα στη θετική και στη συμπληρωματική μορφή
- Απαιτούνται δύο αγωγοί ανά σήμα
- Διαφορικά κυκλώματα οδήγησης και λήψης

Τεχνολογίες μετάδοσης

