

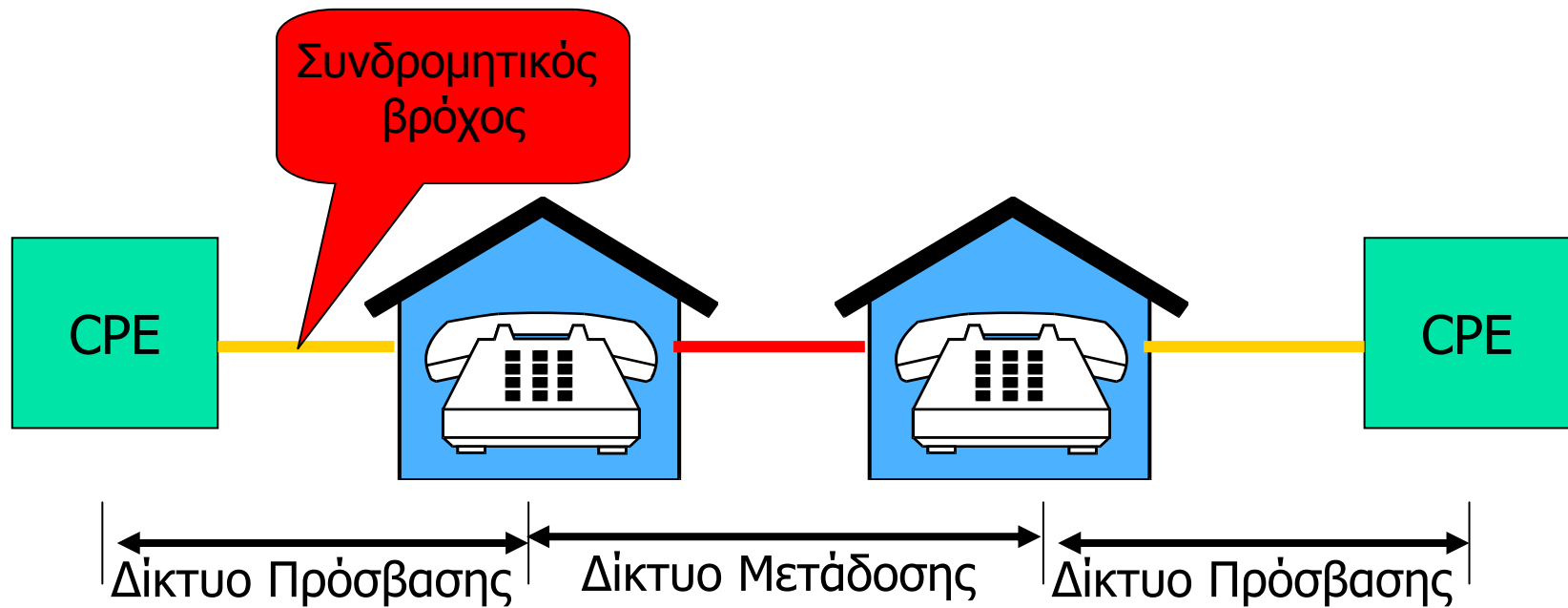


# Τηλεφωνία

---

Συνδρομητικός Βρόχος

# Πρόσβαση στο τηλεφωνικό κέντρο



CPE = Customer Premises Equipment = Συνδρομητικός εξοπλισμός

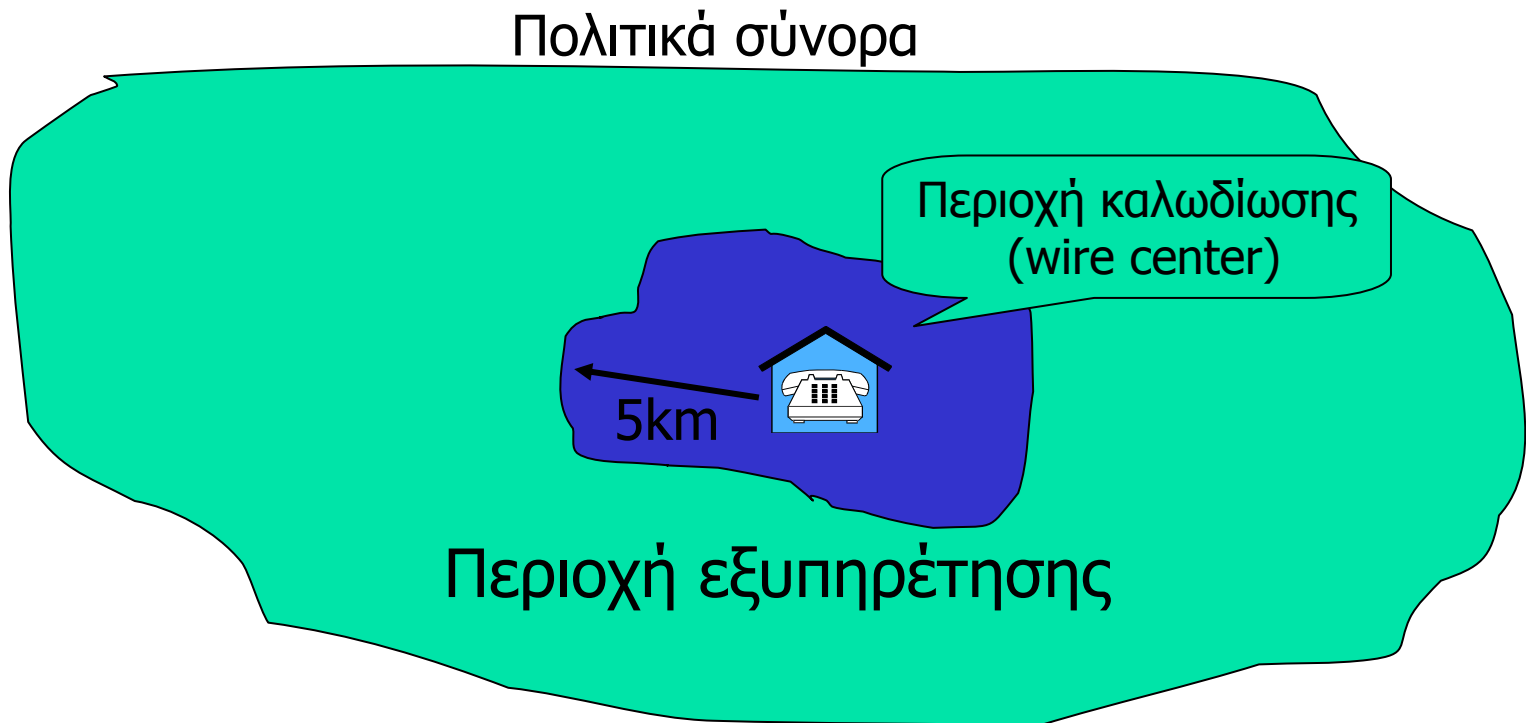


# Συνδρομητικός βρόχος

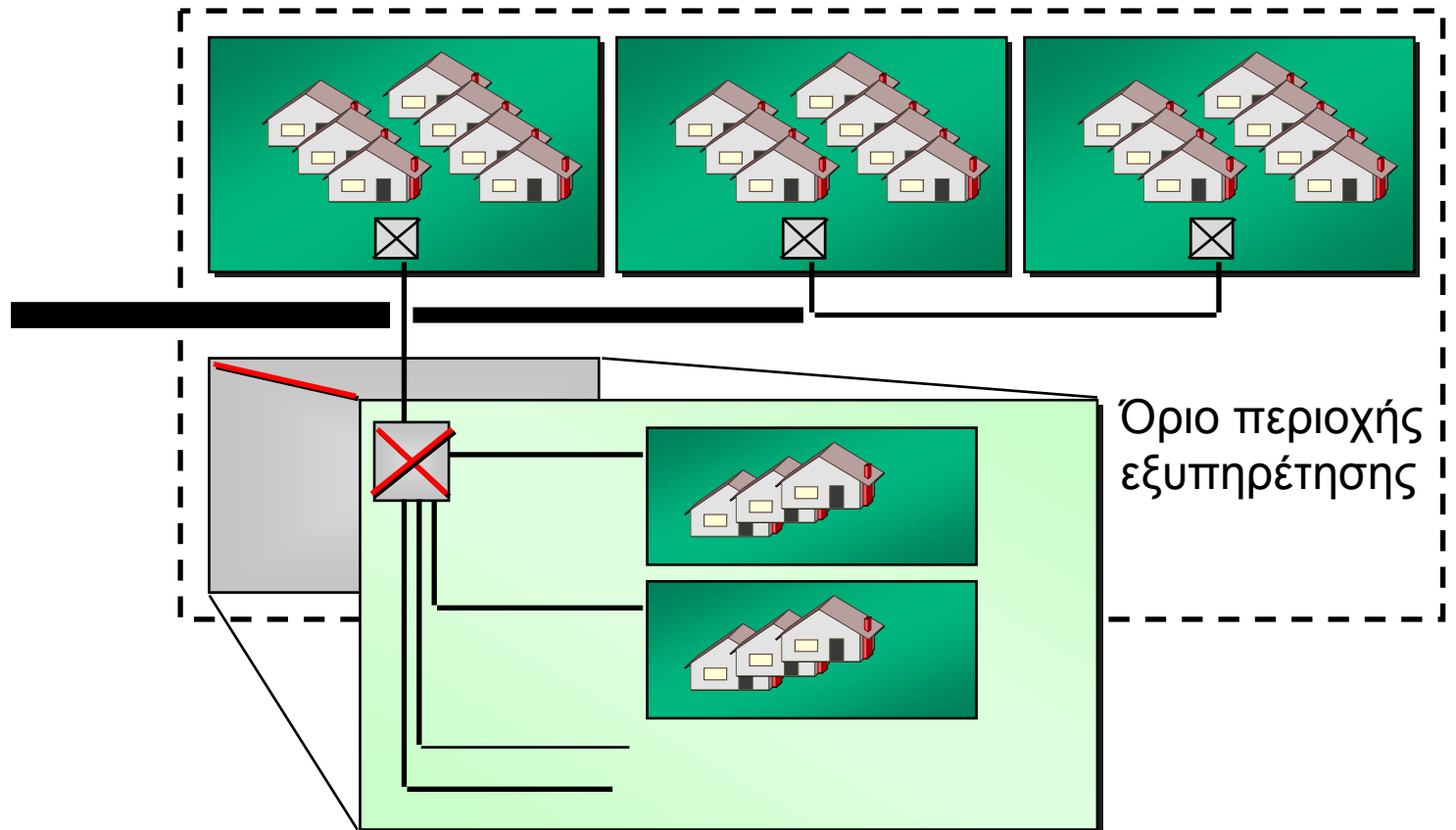
---

- Το τελευταίο χιλιόμετρο (last mile)
  - dc & ac
  - μεγάλο & μικρό ρεύμα
  - χαλκός
  - αναλογικός
  - ακριβός
  - Το μεγαλύτερο μέρος (50% ?) του ενεργητικού
  - Το μεγαλύτερο μέρος (30% ?) των εργασιών

# Περιοχή καλωδίωσης (cable plant)



# Περιοχή καλωδίωσης





# Περιοχή καλωδίωσης

---

- Η περιοχή καλωδίωσης χωρίζεται σε τρία μέρη:
  - Το καλώδιο τροφοδότης (feeder cable) συνδέει το τοπικό κέντρο με την περιοχή εξυπηρέτησης
  - Το καλώδιο διανομής (distribution cable) συνδέει την περιοχή εξυπηρέτησης με τα σπίτια
  - Το καλώδιο απόληξης (drop cable) συνδέει τα σπίτια

---

Feeder cable  
(λεπτότερο σύρμα)

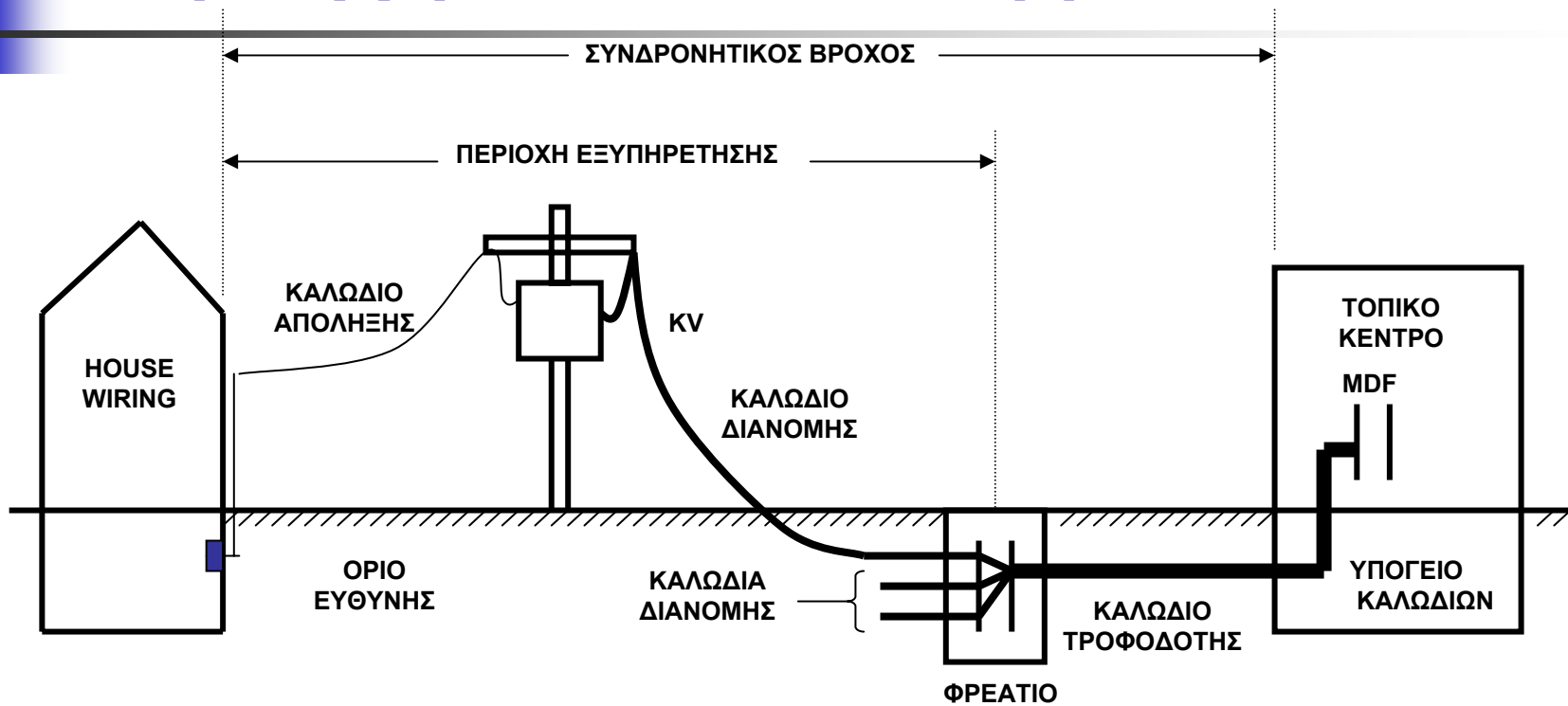
---

Distribution cable

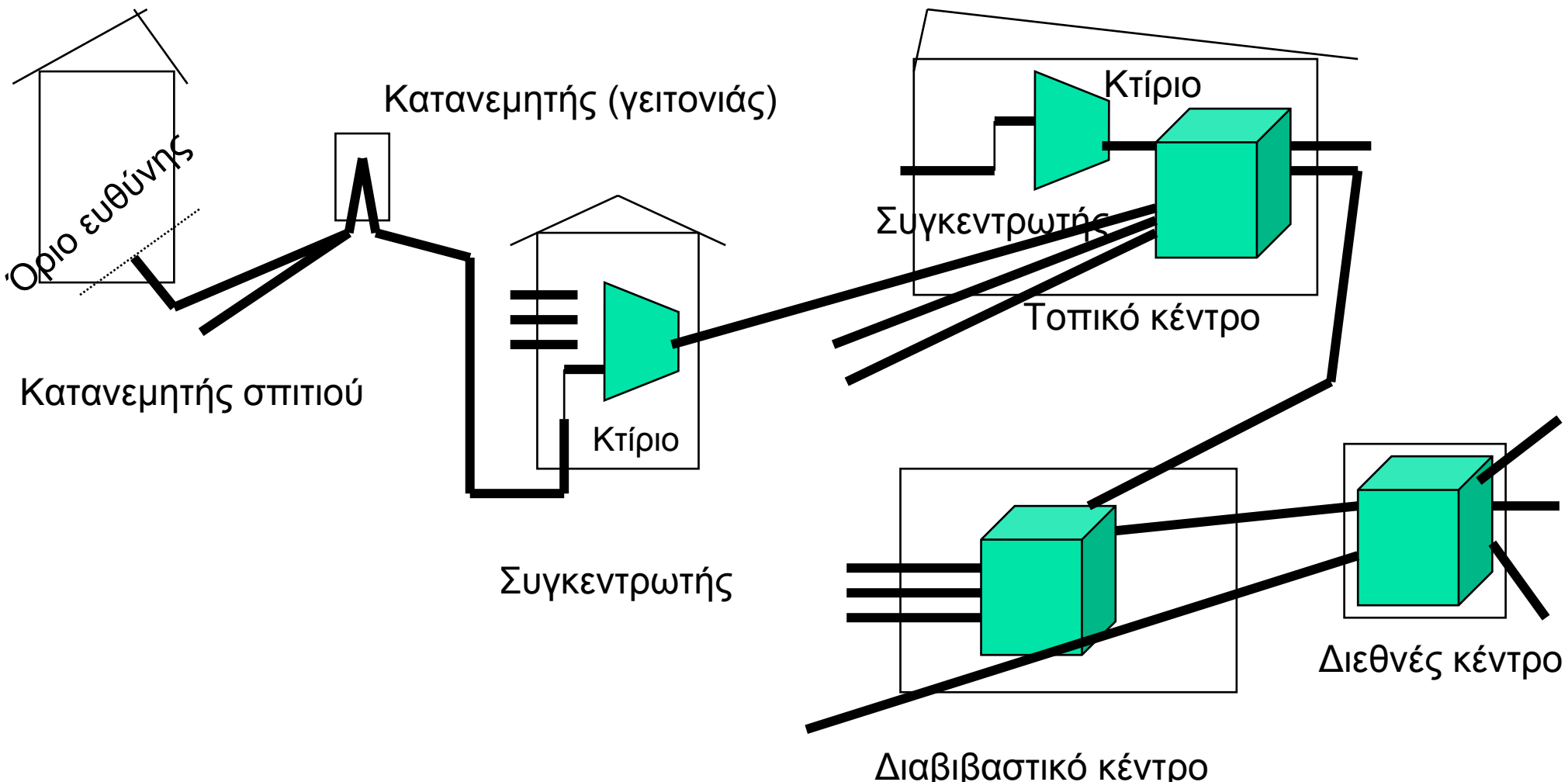
---

Drop cable  
(παχύτερο σύρμα)

# Περιοχή καλωδίωσης



# Δομή Τηλεφωνικού Δικτύου







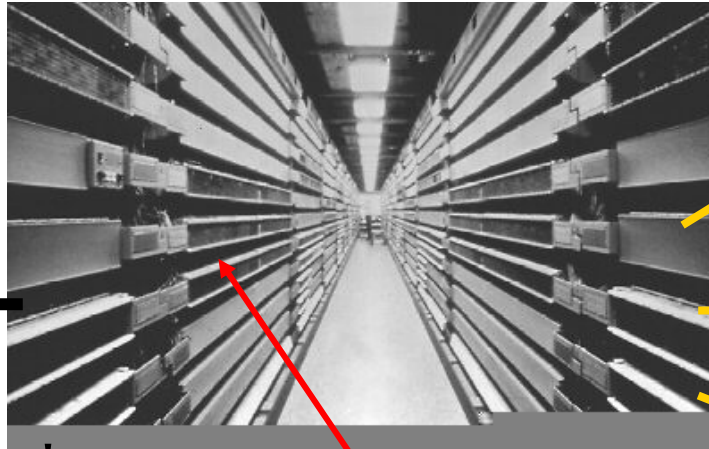
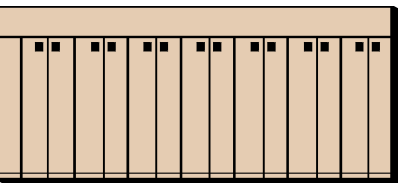
# Ακραίο δίκτυο

---

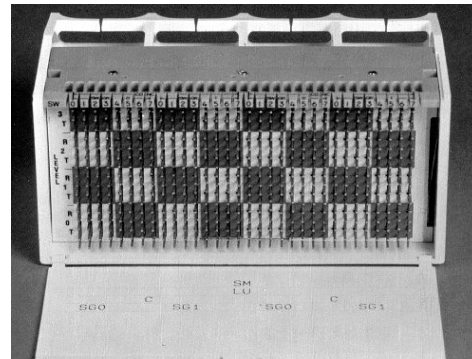
- Το ενσύρματο δίκτυο από το τοπικό κέντρο μέχρι τις συνδρομητικές συσκευές
- Υποψήφιο για αντικατάσταση από οπτικές ίνες
  - μερικές φορές το κόστος απαγορευτικό
- Κύριο πρόβλημα οι περιορισμοί μήκους λόγω της ωμικής αντίστασης και απόσβεσης κατά μήκος της γραμμής

# Ακραίο δίκτυο

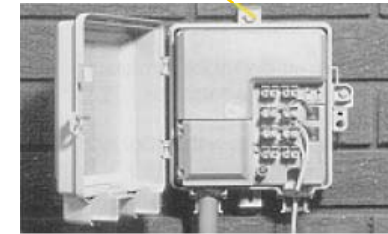
Ακραίος  
κατανομητής  
(Pedestal)



Κύριος Κατανομητής  
MDF (Main Distribution  
Frame)



Βρόχοι a/b

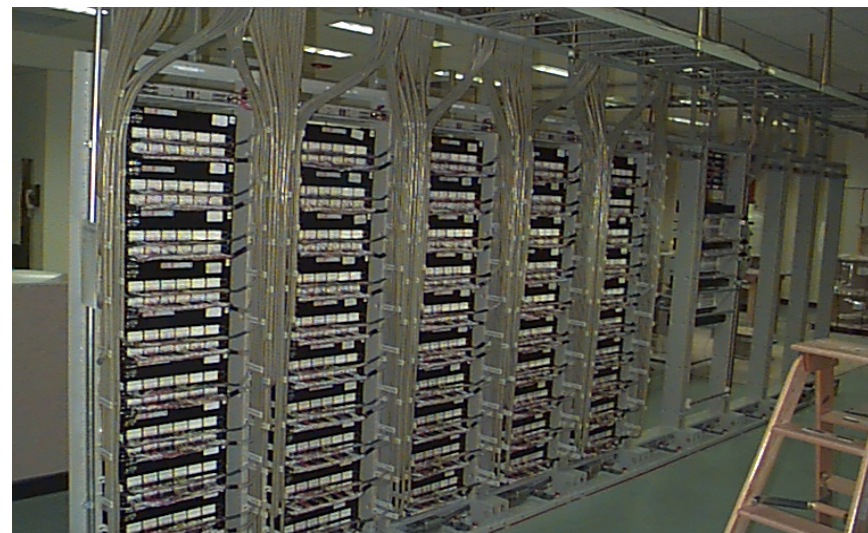


Μεικτονομητής  
(connecting  
block)

Κυτίο  
διασύνδεσης  
NID (Network  
Interface  
Device)

# Ορολογία

- Γεφύρωση (Bridge Tap) – Αχρησιμοποίητο ανοιχτοκυκλωμένο ζεύγος, παράλληλα συνδεδεμένο στο συνδρομητικό βρόχο





# Διπλαγωγός (twisted pair)

---

- Συνήθως ζεύγος χάλκινων αγωγών
  - Απόσβεση (loss)
  - Χωρητικότητα
  - Παραμόρφωση καθυστέρησης
  - Εύρος ζώνης
  - Διαφωνία (cross-talk)
  - Ηχώ
  - Θόρυβος (noise)



# Απόσβεση (loss)

---

- Μείωση της ισχύος του σήματος καθώς μεταδίδεται κατά μήκος του διπλαγωγού
- Εκφράζεται σε db
  - $L_{db} = 10 \log(P_1 / P_2)$
  - όπου  $P_1$  η ισχύς του σήματος που εισέρχεται
  - και  $P_2$  η ισχύς στο άλλο άκρο του διπλαγωγού



# Χωρητικότητα (capacitance)

---

- Πυκνωτής → Δύο αγωγοί διαχωρισμένοι από μονωτικό
  - π.χ. διπλαγωγός
- Επηρεάζει τα εναλλασσόμενα ρεύματα στο βρόχο
- Η χωρητικότητα του πυκνωτή που δημιουργείται από δύο παράλληλους αγωγούς μεγάλου μήκους είναι σημαντική



# Παραμόρφωση καθυστέρησης (delay distortion)

---

- Η χωρητικότητα μεταξύ
  - των δύο αγωγών
  - κάθε αγωγού και της γης
  - κάθε αγωγού και πλέγματος (εάν υπάρχει)οδηγεί σε διαφορετικές καθυστερήσεις ανά συχνότητα
- Είναι συνάρτηση του μήκους του διπλαγωγού
- Έχει μικρή επίδραση στη μετάδοση φωνής
  - **Περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων**



# Εύρος ζώνης

---

- Η περιοχή συχνοτήτων όπου η επίδοση σε σχέση με κάποιο χαρακτηριστικό παραμένει ενός συγκεκριμένων ορίων
- Για διπλαγωγούς το εύρος ζώνης είναι
  - Συνδρομητικοί βρόχοι τηλεφωνίας περίπου 2MHz για μήκος 2 km
  - Κατηγορία 5 περίπου 100 MHz για μήκος 300 m



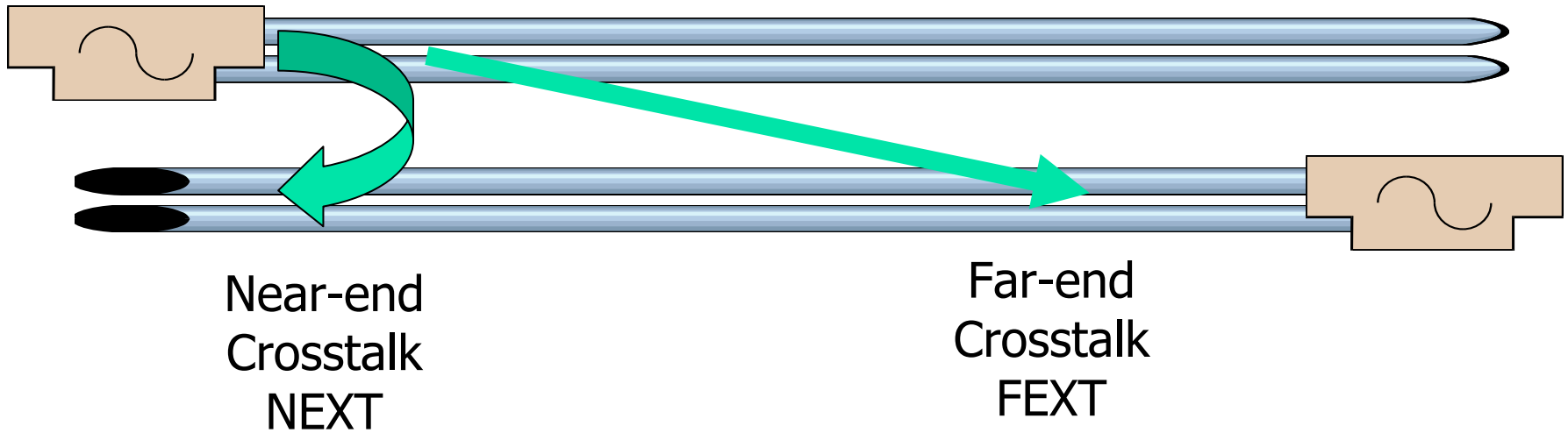


# Διαφωνία (Crosstalk)

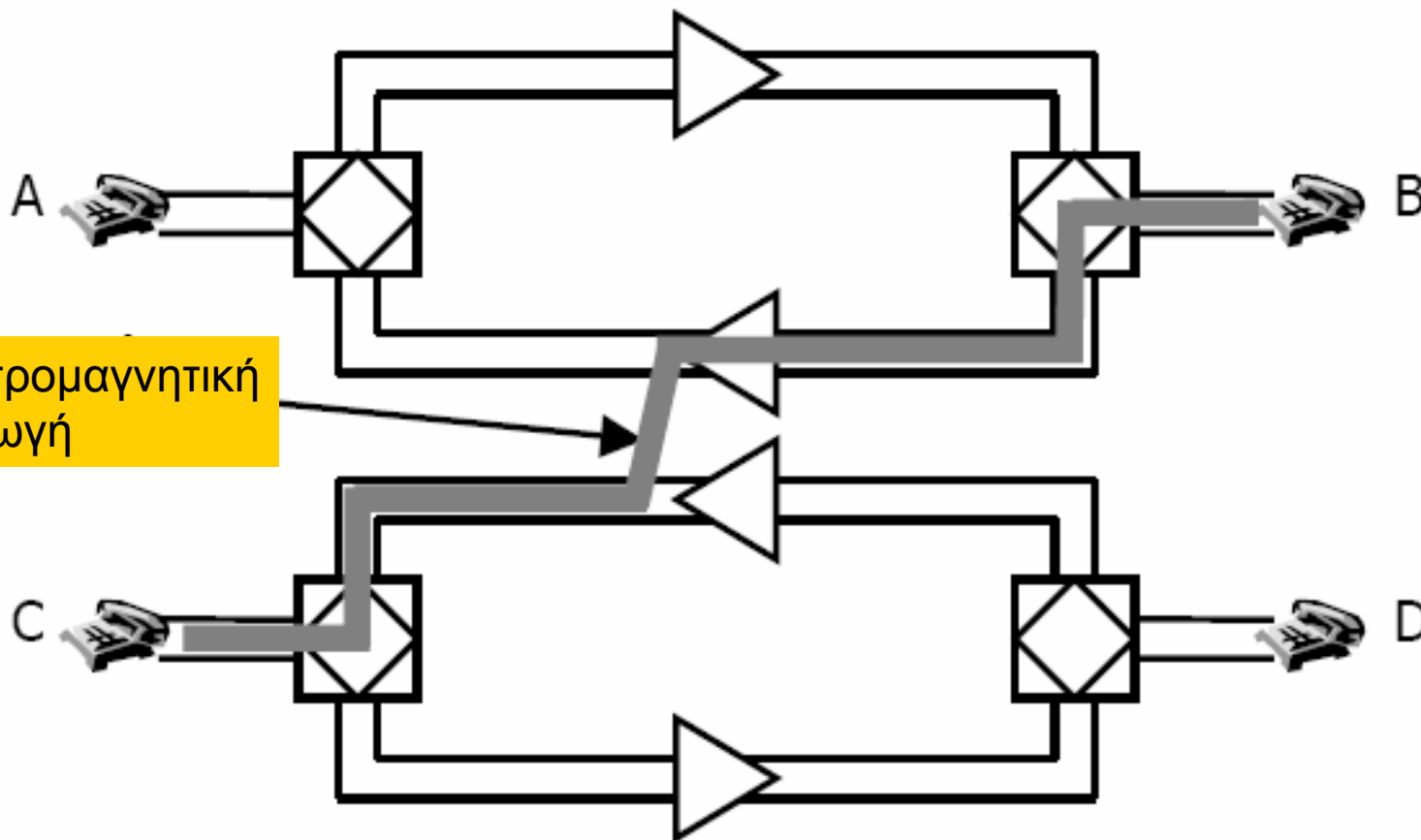
---

- Παραμόρφωση που επάγεται σε διπλαγωγό από γειτονικούς διπλαγωγούς
- Συνήθως όταν τα ζεύγη τοποθετούνται κοντά όπως συμβαίνει στα τηλεφωνικά καλώδια
- Μια θεραπεία είναι η συστροφή των ζευγών (με διαφορετικό ρυθμό)
  - Συνεστραμμένο ζεύγος (twisted pair)

# Διαφωνία (Crosstalk)



# Διαφωνία (cross-talk)





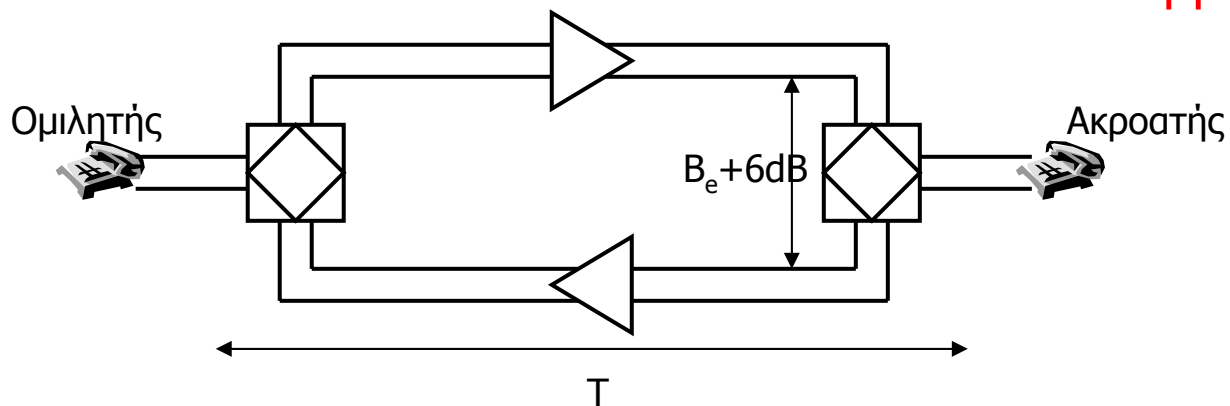
# Ηχώ

---

- Το υβριδικό εν γένει δεν είναι προσαρμοσμένο στην γραμμή οπότε έχουμε ανακλάσεις που τελικά γίνονται ακουστές στα δύο άκρα ως ηχώ:
  - **Ηχώ ομιλητή:** όταν ο ομιλητής ακούει την φωνή του
  - **Ηχώ ακροατή:** όταν ο ακροατής ακούει τη φωνή του ομιλητή δύο φορές

# Ηχώ

$B_e$  = Απώλειες επιστροφής του υβριδικού

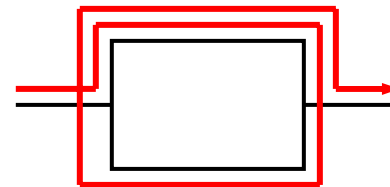


Ηχώ Ομιλητή:



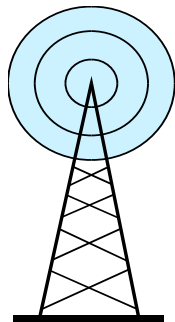
$$\text{Απόσβεση} = B_e + 2T$$

Ηχώ ακροατή:

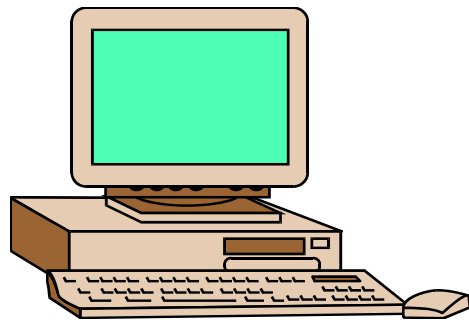


$$\text{Απόσβεση} = 2B_e + 2T$$

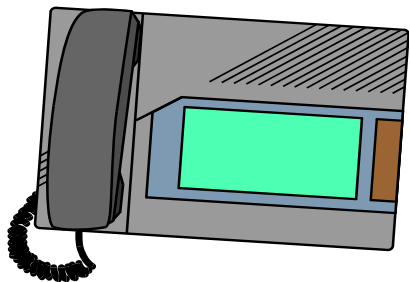
# Πηγές θορύβου (έξω από το δίκτυο)



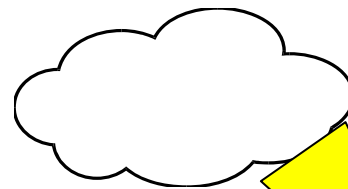
Πομποί



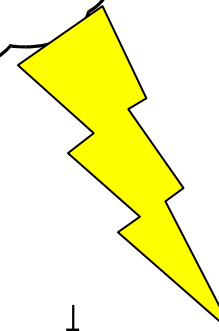
Υπολογιστές



Άλλες τηλεπικοινωνιακές  
συσκευές



Ατμόσφαιρα



Μηχανές, φωτισμός, ηλεκτροσυγκολλήσεις,  
διακόπτες ισχύος, ηλεκτρικές συσκευές ...



# Μέτρηση θορύβου

---

- Μετριέται σε dB σε σχέση με συγκεκριμένη αναφορά
- dB<sub>rnC</sub>
  - σε σχέση με τόνο 1000 Hz ισχύος 1 pW (-90 dBm)
  - C-message filter (ισοδύναμο μοντέλο συνήθους τηλεφωνικής συσκευής)
- Άλλα φίλτρα
  - 3 kHz flat
  - Ψοφομετρικό (psophometric)



# Γιατί οι γραμμές δεδομένων γίνονται ολοένα και πιο θορυβώδεις;

---

- Τα τηλεφωνικά ζεύγη διαρρέονται από ρεύμα ( $>20$  mA) όταν χρησιμοποιούνται (off-hook)
- Τα μέταλλα τείνουν να οξειδωθούν αναπτύσσοντας φιλμ μεγάλης αντίστασης
- Το ρεύμα τείνει να καθαρίζει αυτά τα φιλμ
- Οι γραμμές δεδομένων διαρρέονται από αμελητέο ρεύμα ...





# Τυποποίηση συρμάτων

---

- Στη Β. Αμερική χρησιμοποιείται μια περίεργη μονάδα μέτρησης "gauge" ή αριθμός AWG
  - AWG - American Wire Gauge
- Βασίζεται στον αριθμό φορών που το σύρμα περνά μέσω συνεχώς μικρότερων κωνικών διαμαντιών που σχηματίζουν το εκμαγείο
  - Διαφορά 3 αριθμών αντιστοιχεί σε παράγοντα 2 για επιφάνεια ή ωμική αντίσταση
- Μεγαλύτερος AWG σημαίνει μικρότερη διάμετρο
- Σε άλλες χώρες χρησιμοποιείται η διάμετρος



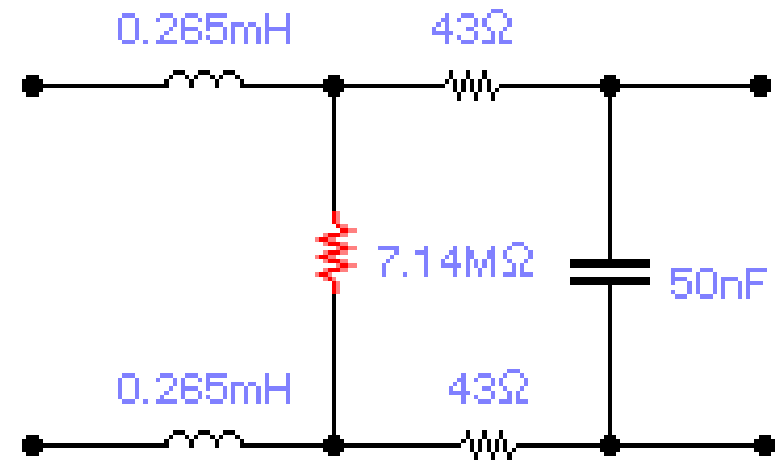
# AWG - American Wire Gauge

---

Gauge	mm	in	db/km	$\Omega$ /mi	$\Omega$ /km
19	0,912	0,0359	0,71	86	53
22	0,644	0,0253	1,01	172	106
24	0,511	0,0201	1,27	274	168
26	0,405	0,0159	1,61	440	268
28	0,321	0,0126	2,03	713	426

# Ισοδύναμο κύκλωμα

- 1 μίλι βρόχου 19 AWG με συνήθη πλαστική μόνωση
- Η αντίσταση διαρροής 7.14 MΩ συνήθως εμφανίζεται ως αγωγιμότητα 0.14 μmho
- Σημείωση: τιμές για dc σε θερμοκρασία 20° C





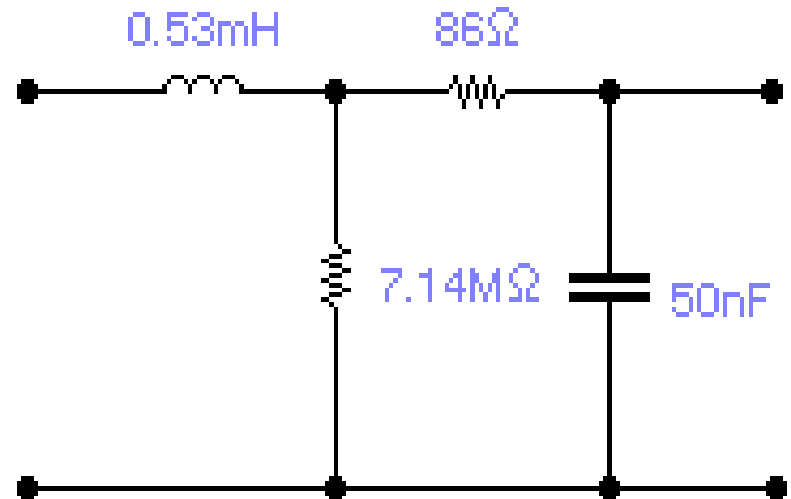
# Ισοστάθμιση

---

- Η ισοστάθμιση του συνδρομητικού βρόχου είναι σημαντική
  - Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των δύο αγωγών προς τη γη πρέπει να είναι τα ίδια (συμμετρικά)
- Κατά μήκος των τηλεφωνικών γραμμών μπορούν να επαχθούν τάσεις (λόγω μαγνητικής σύζευξης)
  - Η τάση αυτή εμφανίζεται σε αμφοτέρους τους αγωγούς
- Εάν η γραμμή δεν είναι ισοσταθμισμένη παράγεται έντονο βουητό (ρεύμα AC)
  - Π.χ. όταν η αντίσταση προς τη γη ενός αγωγού είναι διαφορετική λόγω υγρασίας ή καταστροφής της μόνωσης

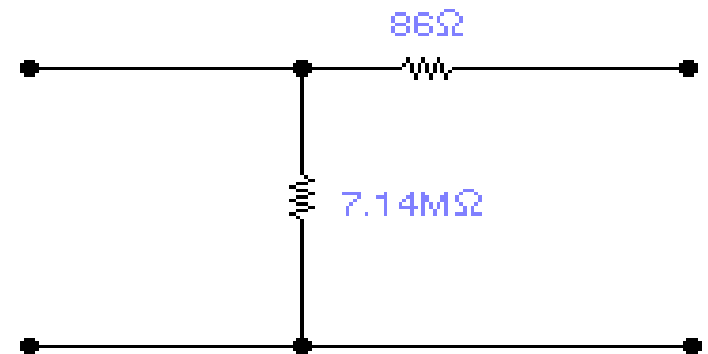
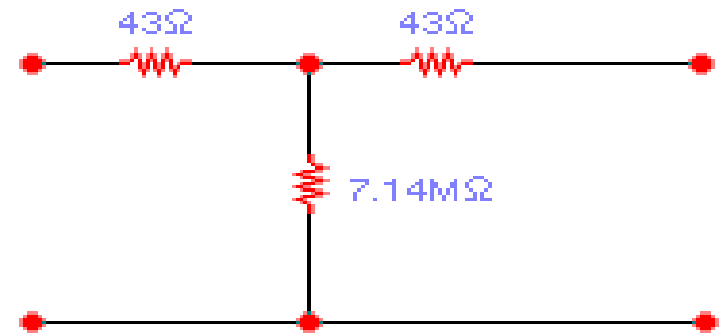
# Μη ισοσταθμισμένο μοντέλο

- Οι πραγματικοί βρόχοι είναι πάντα ισοσταθμισμένοι
- Όμως σε πολλές περιπτώσεις, το μη ισοσταθμισμένο μοντέλο του βρόχου (με τις ίδιες συνολικές τιμές των παραμέτρων) είναι απλούστερο για ανάλυση



# Μοντέλο DC

- Για τον υπολογισμό του ρεύματος dc βρόχου, τα L και C μπορούν να αγνοηθούν
- Η παράλειψη αφαιρεί την καθυστέρηση και παραμόρφωση της κυματομορφής





# Γραμμή χωρίς παραμορφώσεις

---

- Εάν  $G/C=R/L$ , ο βρόχος δεν παρουσιάζει παραμορφώσεις, δηλαδή, η μεταδιδόμενη κυματομορφή δεν αλλάζει σχήμα, απλά εξασθενεί
- Οι ηλεκτρικές όμως παράμετροι εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως θερμοκρασία, υγρασία, συχνότητα, κλπ



# Όρια λειτουργίας βρόχου

---

- Η απόσβεση των σημάτων περιορίζει την περιοχή εξυπηρέτησης (ανά υπηρεσία)
- Οι επιπτώσεις του θορύβου και της διαφωνίας (cross-talk) είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις ψηφιακές υπηρεσίες
- Οι συνδρομητικοί βρόχοι συνήθως περιορίζονται από το ρεύμα dc (όριο ωμικής αντίστασης)
- Τα κυκλώματα συνήθως περιορίζονται από τις απώλειες
  - Αυτό μπορεί να διορθωθεί με ενίσχυση





# Ωμικός σχεδιασμός

---

- Η ωμική αντίσταση πρέπει να μένει κάτω από κάποιο όριο με κατάλληλη επιλογή της διαμέτρου του σύρματος
  - τυπικά 1300 Ω, αλλά συνήθως πιο κοντά στα 1700 Ω
  - διατήρηση ενός μεγέθους συρμάτωσης (συνήθως 26 gauge) για οικονομία
  - προσθήκη μπαταριών, επεκτατών (range extenders), ενισχυτών και πηνίων φόρτισης, κατά περίπτωση



# Ωμικός σχεδιασμός

---

- Πώς προσδιορίζεται η μέγιστη αντίσταση;
  - Το ρεύμα στις συνδρομητικές εγκαταστάσεις (20mA ελάχιστο για την καλή λειτουργία του μικροφώνου)
    - τάση στην μπαταρία  $-48V$ ,  $-48V / 20mA = 2400 \Omega$
    - $400 \Omega$  για τη γέφυρα τροφοδοσίας στις μπαταρίες
    - $300 \Omega$  περιθώριο για άλλες συρματώσεις (εντός της συνδρομητικής εγκατάστασης, κλπ)
- Η αντίσταση του βρόχου δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $1700 \Omega$



# Σχεδιασμός για τις απώλειες

---

- Σε αντίθεση με τον συνδρομητικό βρόχο, στα κυκλώματα μεταξύ κέντρων, ο περιορισμός μήκους προκύπτει λόγω των απωλειών μετάδοσης
- Οι απώλειες μπορούν να διορθωθούν με ενίσχυση του σήματος
  - Μεγαλύτερα κυκλώματα απαιτούν πιο πολλούς ενισχυτές
  - Εάν δεν υπήρχε θόρυβος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας ενισχυτής



# Απώλειες λόγω απόσβεσης

---

- Διατήρηση της απόσβεσης κάτω από κάποιο όριο
  - Στην Β. Αμερική, συνήθως 8 dB στα 1000 Hz
  - Αλλού, συνήθως 7 dB στα 800 Hz
- Απώλειες εξαρτώνται από
  - διάμετρο σύρματος (wire gauge)
  - θερμοκρασία



# Σχεδιασμός για τις απώλειες

---

- Όταν χρησιμοποιείται το ρεύμα DC για την τροφοδοσία των ενισχυτών, ο σχεδιασμός γίνεται έτσι ώστε η ωμική αντίσταση να μην αποτελεί τον περιορισμό
- Το κόστος των ενισχυτών αυξάνει με το κέρδος ενίσχυσης
- Η βέλτιστη τεχνο-οικονομική λύση είναι η χρήση πολλών ενισχυτών μικρού κέρδους σε ίσες αποστάσεις μεταξύ των



# Απώλειες μετάδοσης

---

- με διάμετρο σύρματος (gauge) στο 1 kHz:

AWG gauge	19	22	24
Loss (dB/mi)	1	1,79	2,2

- σε συχνότητα (λόγου επιδερμικού φαινομένου) για 19 ga

Frequency (kHz)	1	10	100
Loss (dB/mi)	1	3,2	6,1

- μεγαλώνουν με θερμοκρασία (λόγω αύξησης της R)



# Επίδραση της θερμοκρασίας

- Απώλειες σε dB/mi, 1kHz

Temp °F	19 AWG	22 AWG	24 AWG	26 AWG
55	1,24	1,78	2,26	2,88
100	1,30	1,87	2,37	3,02
140	1,35	1,95	2,47	3,15



# Θέματα σχεδιασμού για τις απώλειες

---

- Στάθμη λαμβανόμενης ισχύος
  - Οι συνδρομητές πρέπει να λαμβάνουν το σήμα στην κατάλληλη στάθμη, όχι πολύ δυνατά, όχι πολύ χαμηλά
- Ευστάθεια (αποφυγή σφυρίγματος)
  - Απαλοιφή των ανακλάσεων από τα υβριδικά
- Ηχώ ομιλητή
  - Ο ομιλητής δε πρέπει να ακούει την ανάκλαση της φωνής του με καθυστέρηση





# Συνολική βαθμολογία ηχηρότητας (Overall Loudness Rating - OLR)

---

- Η απόσβεση από το στόμα του ομιλητή μέχρι το αυτί του ακροατή

<b>OLR</b>	<b>Καλή/Άριστη</b>	<b>Μέτρια/Κακή</b>
5-15 dB	90%	1%
20 dB	80%	4%
25 dB	65%	10%
30 dB	45%	20%

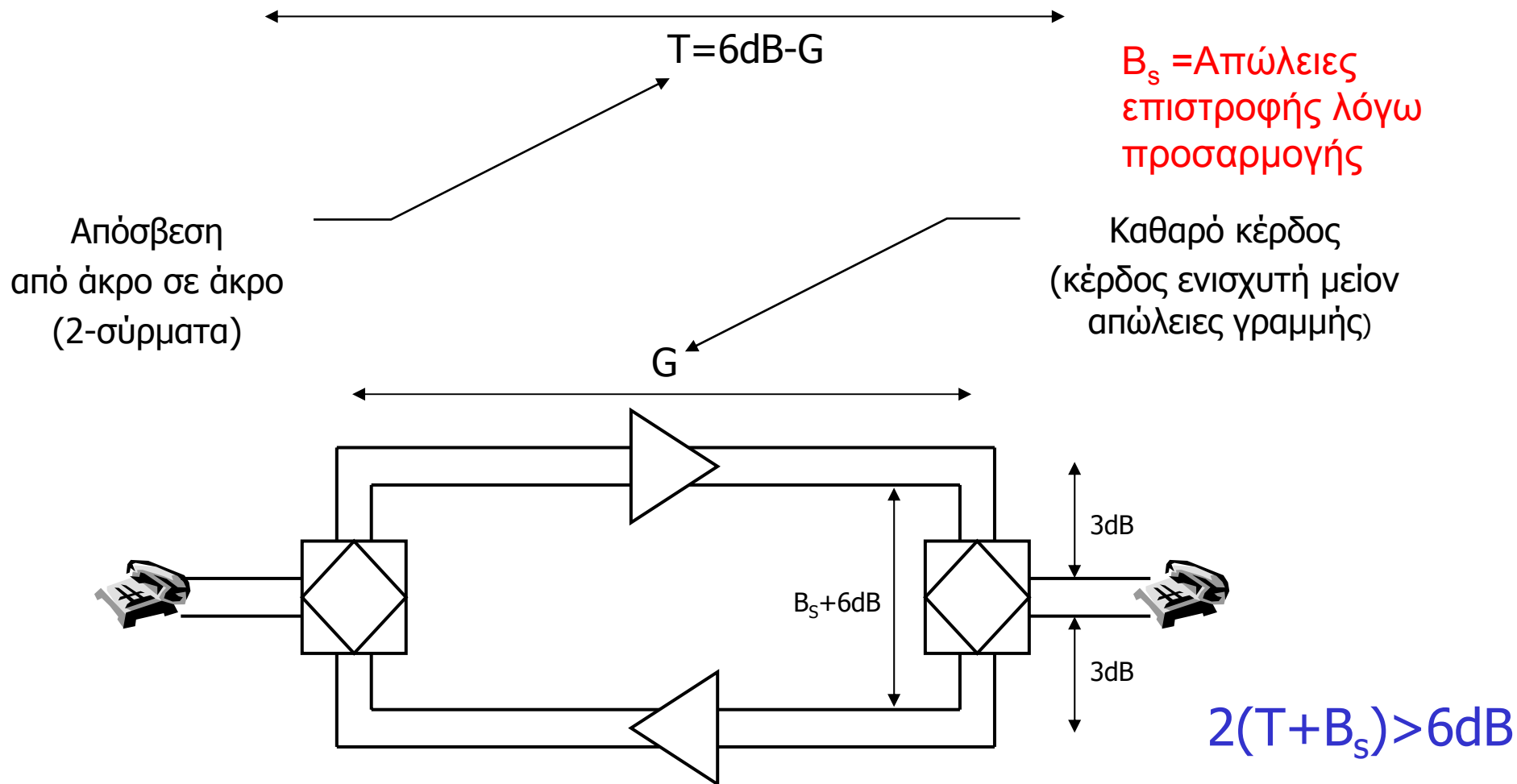


# Σφύριγμα

---

- Η συνολική απώλεια στο κλειστό βρόχο μεταξύ υβριδικών πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 6 dB
  - Αλλιώς θα έχουμε σφύριγμα (ανεξέλεγκτη ταλάντωση στο βρόχο, που συντηρείται και μετά την παρέλευση του αρχικού αιτίου)

# Σφύριγμα





# Ηχώ-καθυστέρηση

---

- Η υποκειμενική ενόχληση λόγω ηχούς εξαρτάται από τη στάθμη της ηχώς και την καθυστέρηση με την οποία λαμβάνεται
  - Όσο δυνατότερη και πιο καθυστερημένη, τόσο πιο ενοχλητική

## Καθυστέρηση

## Απόσβεση για το 50%

10 ms

11.1 dB

20 ms

17.7 dB

30 ms

22.7 dB

40 ms

27.2 dB

50 ms

30.9 dB



# Αντιστάθμιση απωλειών

---

- Για  $(G/C) \ll (R/L)$ , που συνήθως είναι η περίπτωση των βρόχων, η απώλεια dB ανά km είναι κατά προσέγγιση ανάλογη με
  - $[(R/2) \cdot \sqrt{(C/L)}] + [(G/2) \cdot \sqrt{(L/C)}] + \text{άλλοι όροι}$
- Ο πρώτος όρος είναι ο μεγαλύτερος, οπότε αύξηση του L (ή μείωση του C ή R) μειώνει την απόσβεση
- Αύξηση του L είναι η πιο πρακτική, ο Pupin και Campbell το ανεγνώρισαν ~1900, και πρόσθεσαν αυτεπαγωγές (πηνία) "loading coils" εν σειρά με τα σύρματα του βρόχου

# Φόρτιση γραμμών

- Πηνία φόρτισης χρησιμοποιούνται ώστε να επεκτείνουν το χρήσιμο μήκος της γραμμής για υπηρεσίες φωνής
- Αντισταθμίζουν τις επιπτώσεις της χωρητικότητας του καλωδίου
- ΚΑΚΟ για ψηφιακή μετάδοση σε υψηλές ταχύτητες
- Δημιουργείται μεγάλη απόσβεση σε υψηλές συχνότητες (πάνω από τη μπάνα της φωνής)





# Φορτισμένες γραμμές

---

- Τα πηνία χρησιμοποιήθηκαν ευρέως μέχρι τη δεκαετία του 60
  - Η φορτισμένη γραμμή έχει καλύτερες απώλειες στις χαμηλές συχνότητες, αλλά πολύ χειρότερες στις υψηλές (πάνω από 4 kHz)
  - Τα πηνία φόρτισης λειτουργούν ως βαθυπερατά φίλτρα
  - Σχεδιάσθηκαν για αφήνουν τα ηχητικά σήματα μέχρι 3,5 kHz να περνούν με την επιθυμητή ποιότητα



# Φορτισμένες γραμμές

---

- Συνήθως τοποθετούνταν στις ΗΠΑ κάθε 6000 πόδια (1,848 km) τόσο στους συνδρομητικούς βρόχους όσο και στα κυκλώματα
  - Στην Ευρώπη κάθε 2 km
- Το πιο συνηθισμένο πηνίο ήταν 88 mH
  - Εισάγεται και μια αντίσταση λόγω του λεπτότερου σύρματος στο τύλιγμα, αλλά η απώλειες μετάδοσης μειώνονται





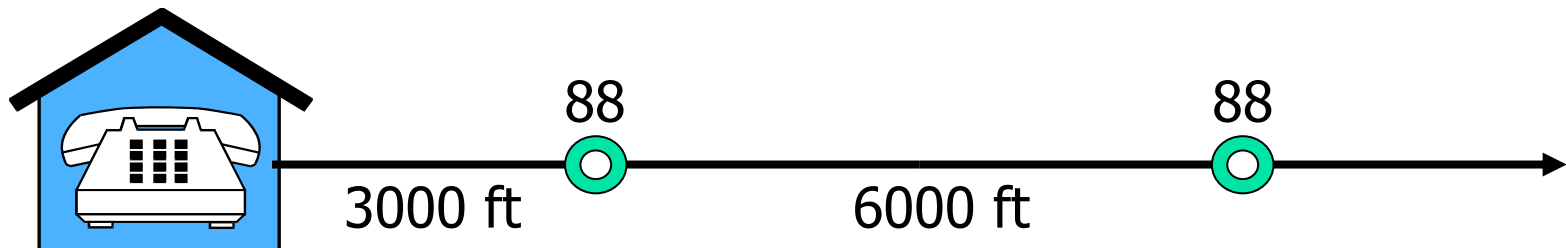
# Τυποποίηση πηνίων

- “19H88” σημαίνει σύρμα 19 AWG φορτισμένο κάθε 1.830m με πηνία 88 mH
- “26B66” σημαίνει σύρμα 26 AWG φορτισμένο κάθε 915m με πηνία 66 mH

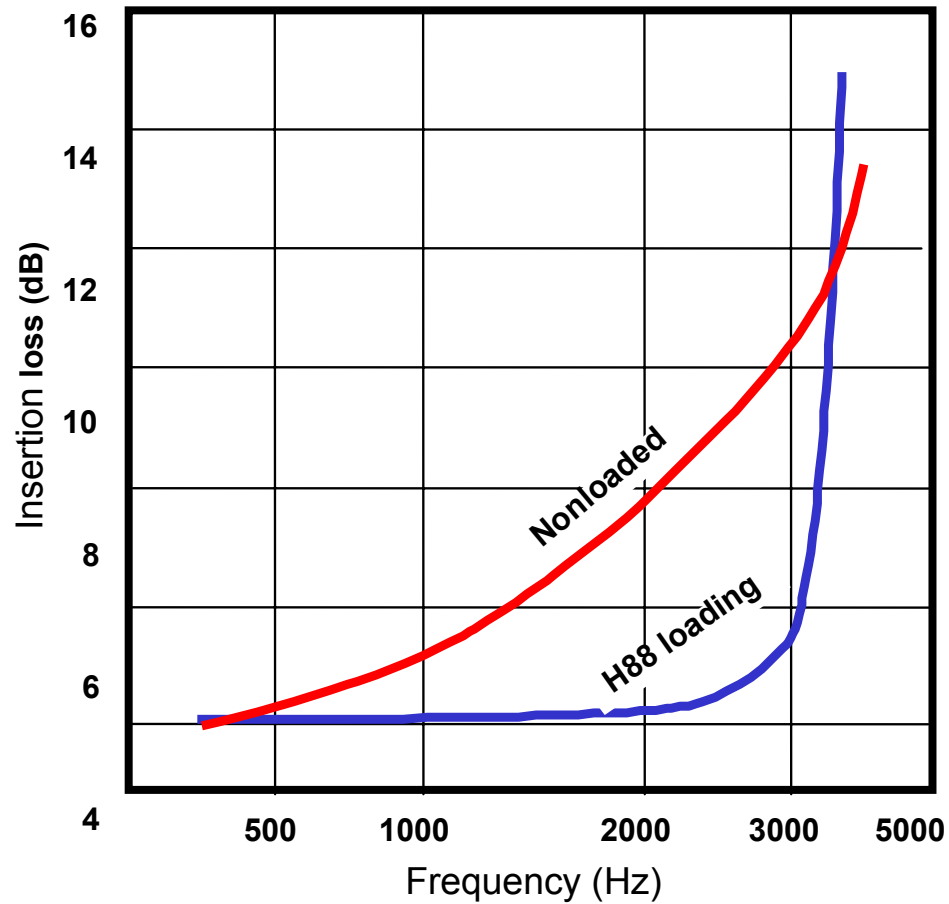
Letter Code	Spacing (ft)	Spacing (m)
A	700	213.5
B	3000	915
C	929	283.3
D	4500	1372.5
E	5575	1700.4
F	2787	850
H	6000	1830
X	680	207.4
Y	2130	649.6

# Κανόνες χρήσης πηνίων

- Τύποι
  - D66 – πηνία 66 mH απέχοντα 4.500 πόδια
  - H88 – πηνία 88 mH απέχοντα 6.000 πόδια
- Το πρώτο πηνίο τοποθετείται στο μέσο της απόστασης



# Γραμμή με πηνίο 26H88



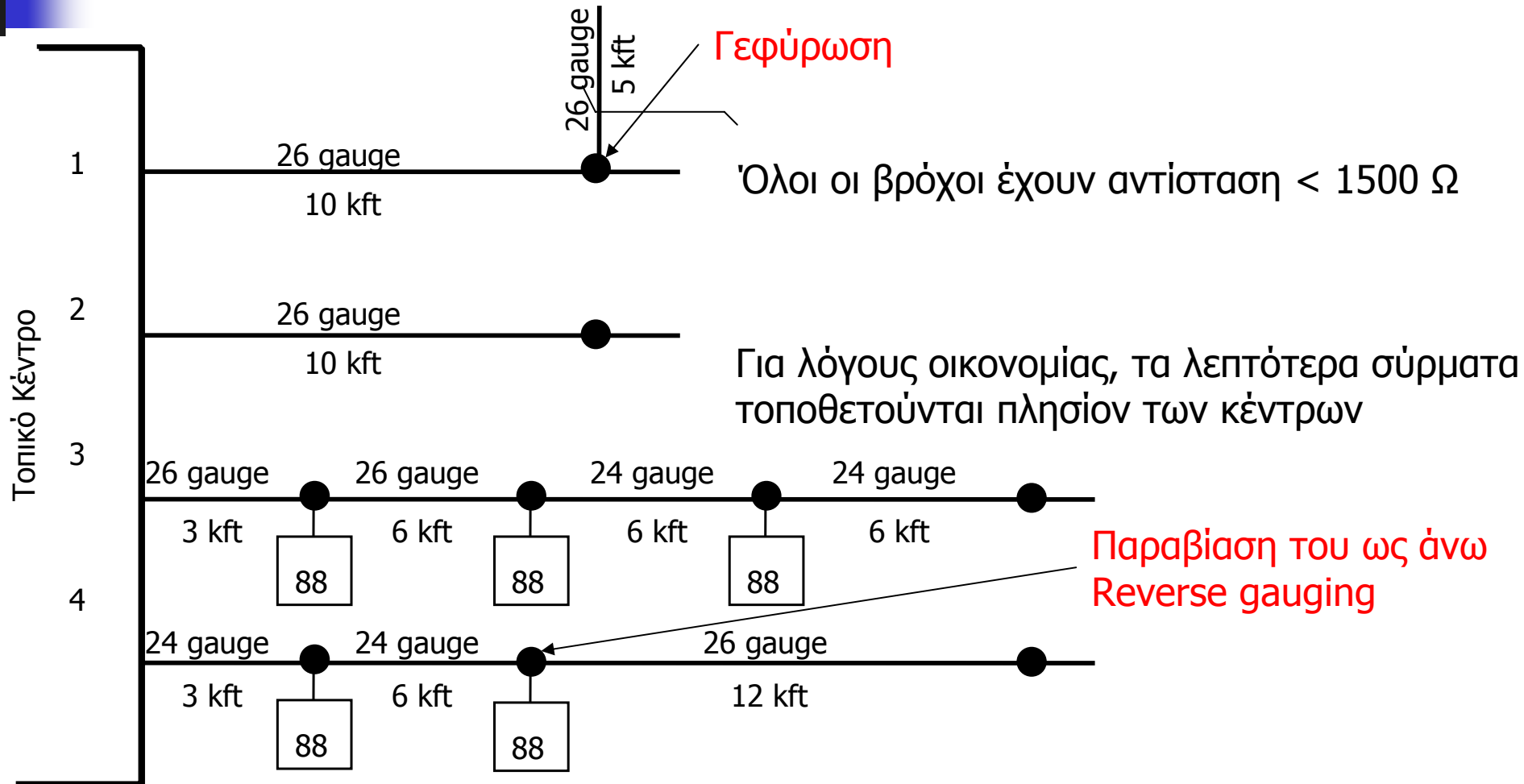


# Κανόνες χρήσης πηνίων

---

- Χρησιμοποιούνται μόνο σε βρόχους  $> 18.000$  ft (19,22,24 AWG) ή  $15.000$  ft (26 AWG)
- Δεν χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες δεδομένων ( $>9.600$  bps)
  - Παραμόρφωση πλάτους
- Δεν εγκαθίσταται συνδρομητής μεταξύ πηνίων

# Παράδειγμα ακραίου δικτύου





# Ψηφιακή μετάδοση

---

- Τα πηνία φόρτισης πρέπει να αφαιρούνται σε περίπτωση εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος μετάδοσης χρησιμοποιεί συχνότητες άνω των 4 kHz, όπως:
  - Όλοι οι τύποι ψηφιακής μετάδοσης (T1, ISDN, κλπ)
  - Δεδομένα πέρα από τη φωνή (πολλές ιδιοκατασκευές)
  - ADSL, HDSL, κλπ
- Έχουν πια αφαιρεθεί μετά την εισαγωγή ψηφιακής μετάδοσης
  - Οι θέσεις κάθε 6.000 πόδια χρησιμοποιήθηκαν για τους αναγεννητές στο σύστημα T-1

# Καλώδια συνεστραμμένων ζευγών



- Τα ζευγάρια συρμάτων συστρέφονται
- Γειτονικά ζευγάρια συστρέφονται με διαφορετικό μήκος συστροφής
  - μείωση της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης (διαφωνία - crosstalk) μεταξύ των ζευγών
- Πολλά ζεύγη ομαδοποιούνται σε "μονάδες"
  - οι μονάδες συστρέφονται και δένονται σε δεσμίδες



# Χρήσεις καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών

---

- Χρησιμοποιούνται ευρέως στο δίκτυο έξω από τα κέντρα
  - 22, 24 και 26 AWG για συνδρομητικούς βρόχους
    - Αρχίζει να αντικαθίσταται από οπτική ίνα
- 19 AWG για κυκλώματα μεταξύ κέντρων
  - Σήμερα χρησιμοποιείται για φορείς πολυπλεξίας (συνήθως T1, E1)



# Τύποι συνεστραμμένων ζευγών

## Category 5, UTP

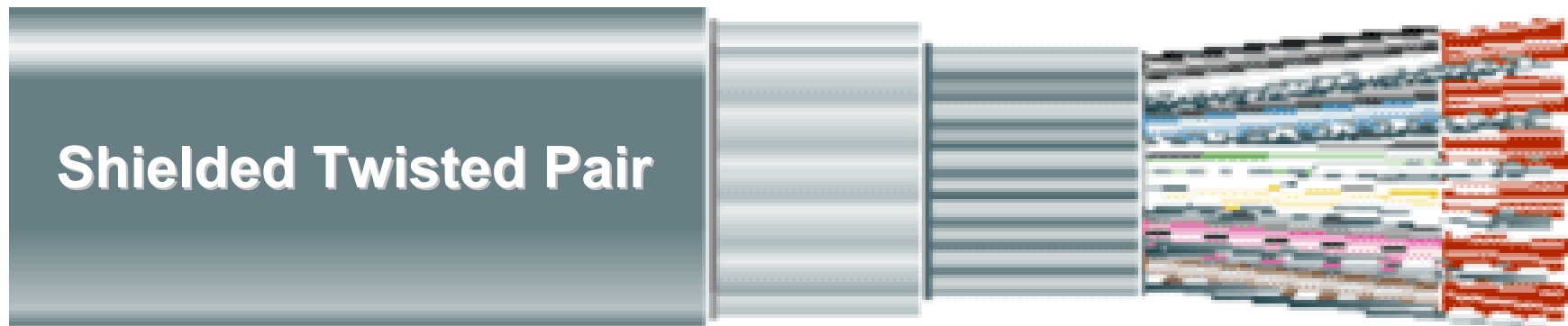


Cat 5/5e	100 MHz
Cat 6	250 MHz
Cat 7	600 MHz

Σύνηθες 4-σύρματο τηλ. καλώδιο



# Τύποι συνεστραμμένων ζευγών







# Κατασκευή καλωδίου

---

- Θήκη
  - Θωρακισμένη - μόλυβδος/ατσάλι
  - Διηλεκτρικό
- Παραγέμισμα
  - Αέρας
  - Γέλη
- Μόνωση
  - Χαρτοπολτός
  - Πλαστικό



# Φορείς (Carrier Systems)

---

- Πώς εξυπηρετούνται πελάτες πέραν των ορίων του βρόχου;
  - Συστήματα επέκτασης (Range extenders)
  - Συνδρομητικοί φορείς (**S**ubscriber **L**oop **C**arrier)
    - Αναλογικοί (φερέσυχο FDM)
    - Ψηφιακοί (PCM TDM)
  - Φορτισμένες γραμμές



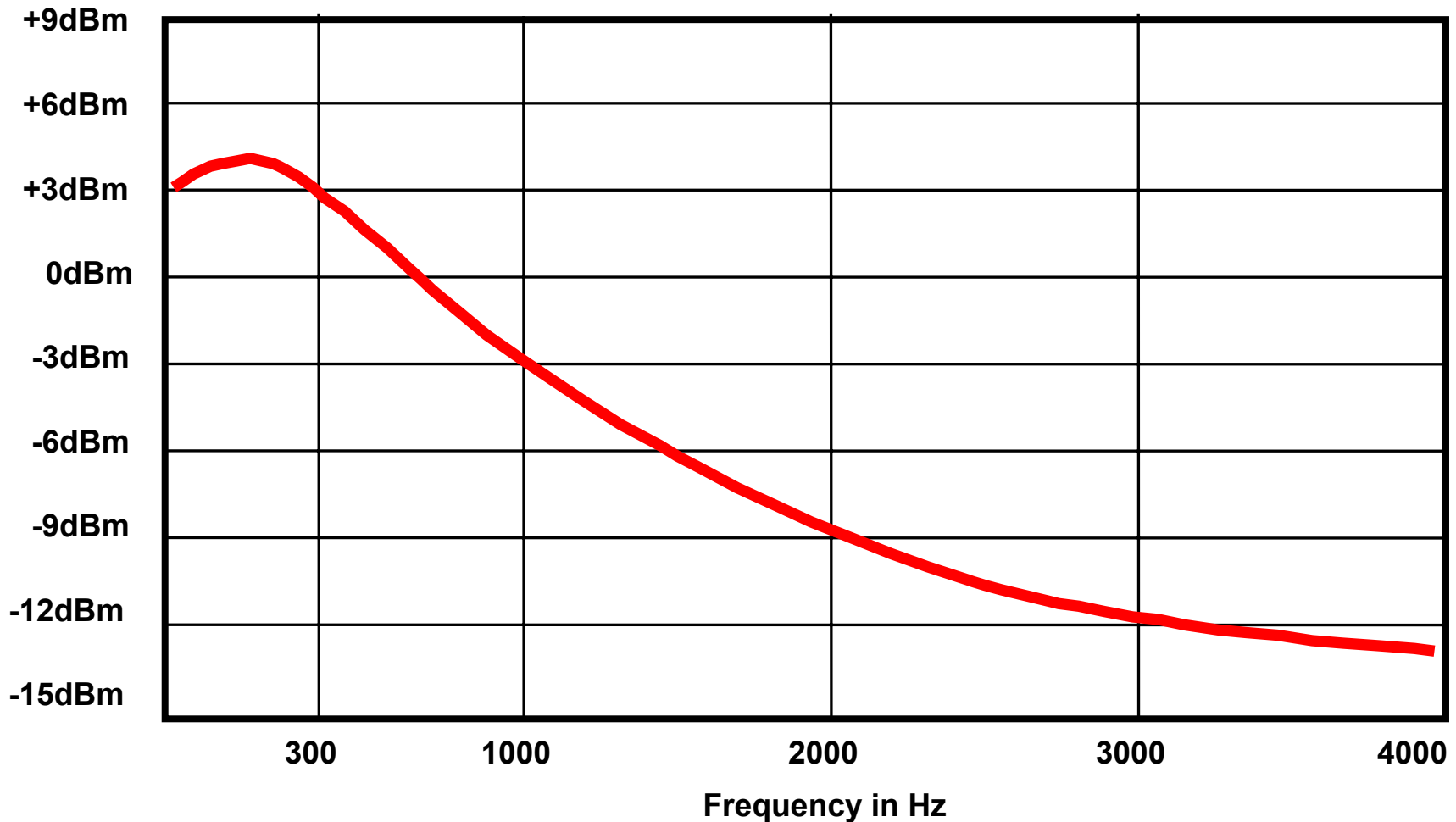


# Σήμα φωνής

---

- Το σήμα φωνής παράγεται ως αναλογικό σήμα
- Το εύρος ζώνης του εκτείνεται από τα 30 Hz μέχρι τα 10.000 Hz
- Η περισσότερη από την ενέργεια του σήματος βρίσκεται στις χαμηλές συχνότητες
- Το εύρος ζώνης μπορεί να περιορισθεί στην περιοχή 300 με 3.300 Hz και να διατίθεται "υψηλής ποιότητας τηλεφωνική υπηρεσία"
- Η ποιότητα της υπηρεσίας κρίνεται από το να είναι η φωνή "κατανοητή" και "αναγνωρίσιμη"

# Κατανομή ισχύος σημάτων φωνής



# Εύρος ζώνης διαυλου φωνής

