



Τηλεφωνία

Συνδρομητικός Βρόχος



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 τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων**



Εύρος ζώνης (bandwidth)

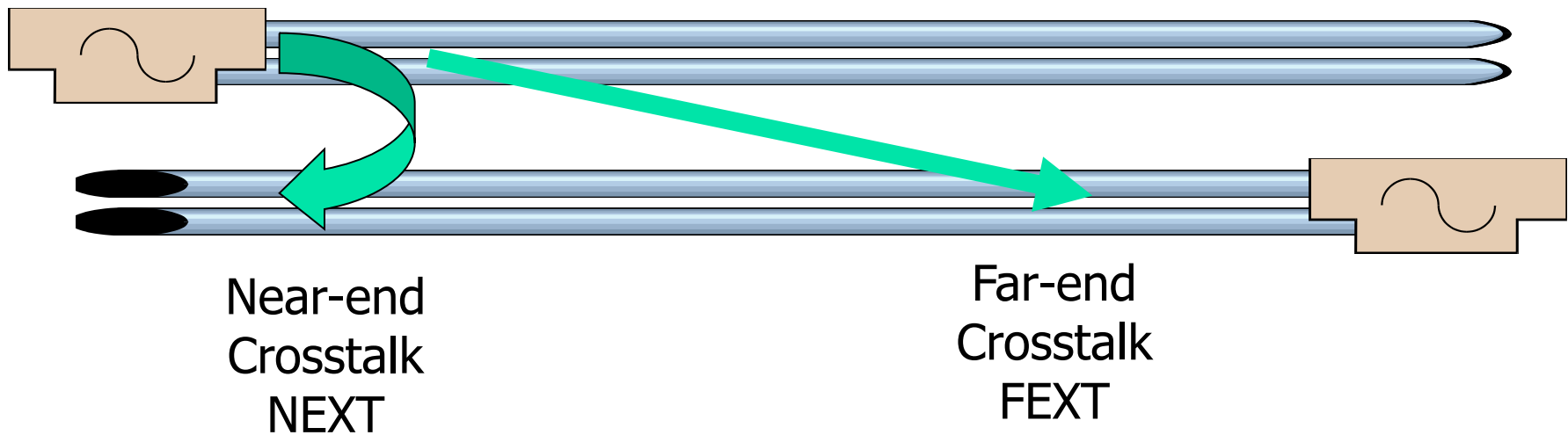
- Η περιοχή συχνοτήτων όπου η επίδοση σε σχέση με κάποιο χαρακτηριστικό παραμένει εντός συγκεκριμένων ορίων
- Για διπλαγωγούς το εύρος ζώνης είναι:
 - Συνδρομητικοί βρόχοι τηλεφωνίας 2 MHz περίπου για μήκος 2 km
 - Κατηγορία 5 περίπου 100 MHz για μήκος 300 m



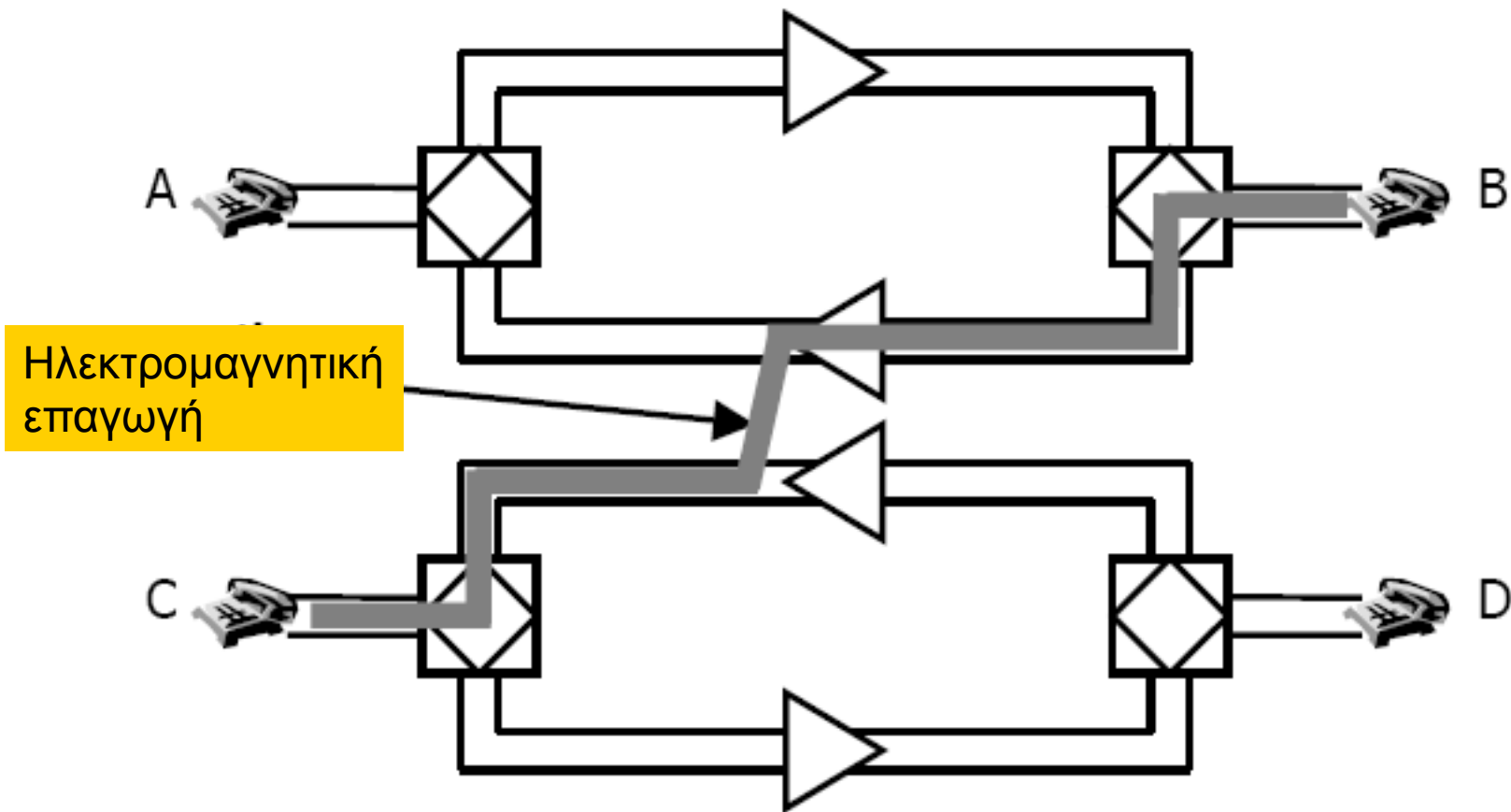
Διαφωνία (Crosstalk)

- 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)



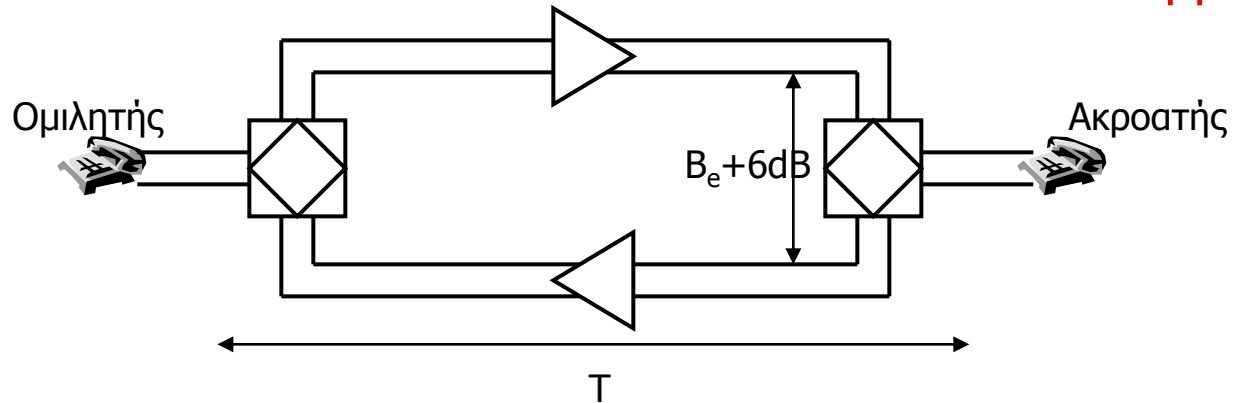


Ηχώ (Echo)

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

Ηχώ

B_e = Απώλειες
επιστροφής
του υβριδικού

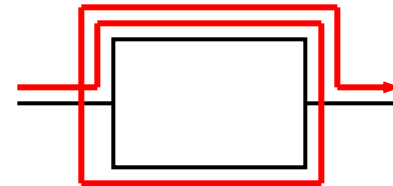


Ηχώ Ομιλητή:



$$\text{Απόσβεση} = B_e + 2T$$

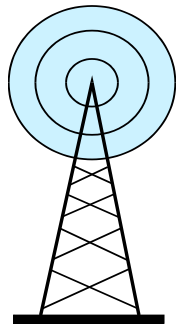
Ηχώ ακροατή:



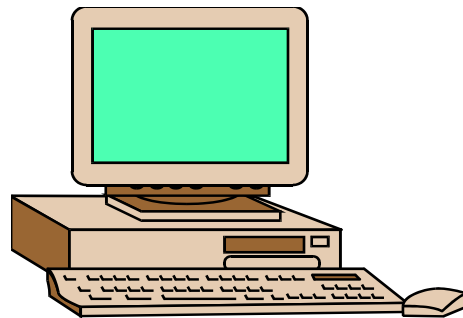
$$\text{Απόσβεση} = 2B_e + 2T$$

Θόρυβος (noise)

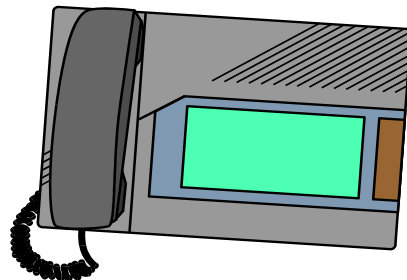
- Πηγές θορύβου (έξω από το δίκτυο)



Πομποί



Υπολογιστές



Άλλες τηλεπικοινωνιακές
συσκευές



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



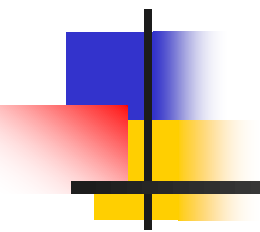
Μέτρηση θορύβου

- Μετριέται σε dB σε σχέση με συγκεκριμένη αναφορά
- dB_{rnC}
 - 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



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 | Ω /mi | Ω /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 |

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

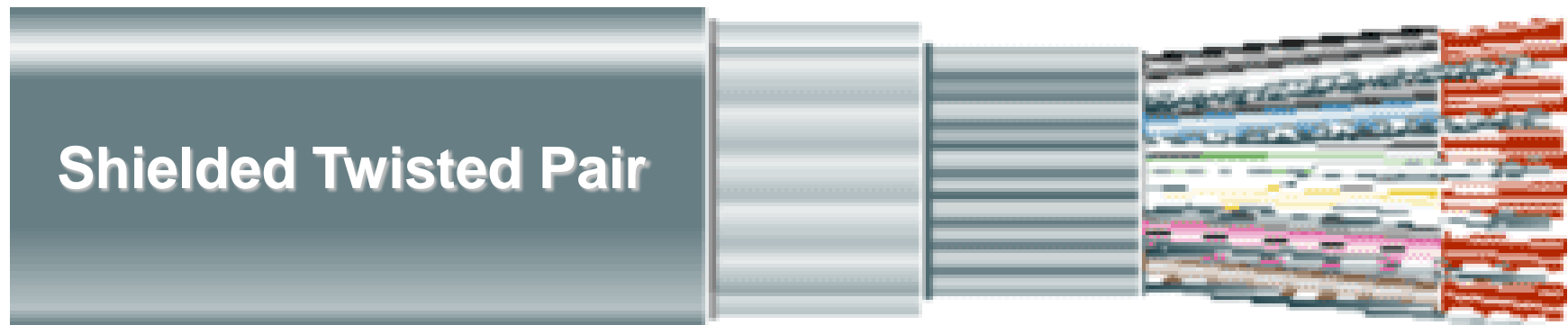


| | |
|----------|---------|
| Cat 5/5e | 100 MHz |
| Cat 6 | 250 MHz |
| Cat 7 | 600 MHz |

Σύνηθες 4-σύρματο τηλ. καλώδιο



Τύποι συνεστραμμένων ζευγών





Κατασκευή καλωδίου

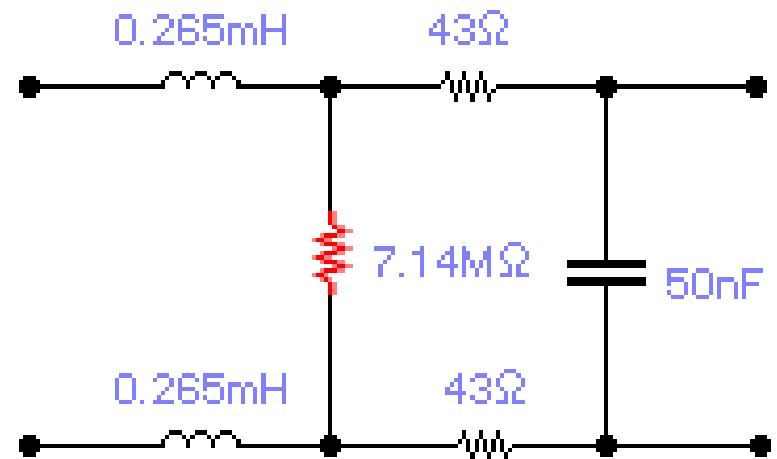
- Θήκη
 - Θωρακισμένη - μόλυβδος/ατσάλι
 - Διηλεκτρικό
- Παραγέμισμα
 - Αέρας
 - Γέλη
- Μόνωση
 - Χαρτοπολτός
 - Πλαστικό



Ισοδύναμο κύκλωμα

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



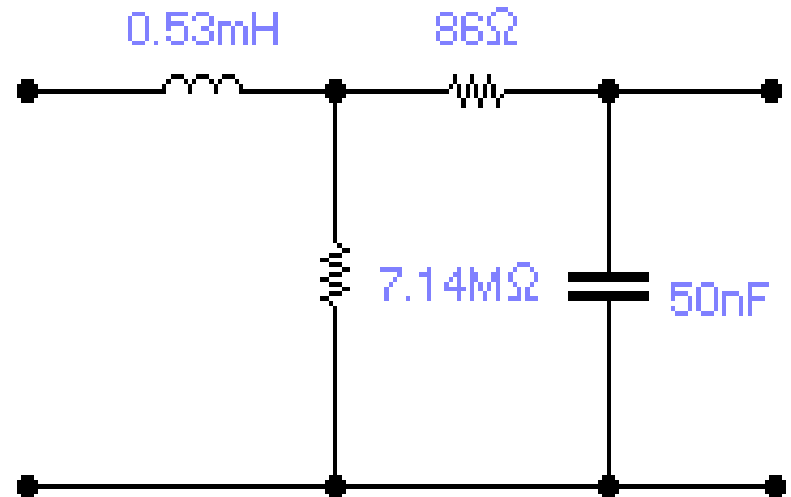


Ισοστάθμιση

- 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

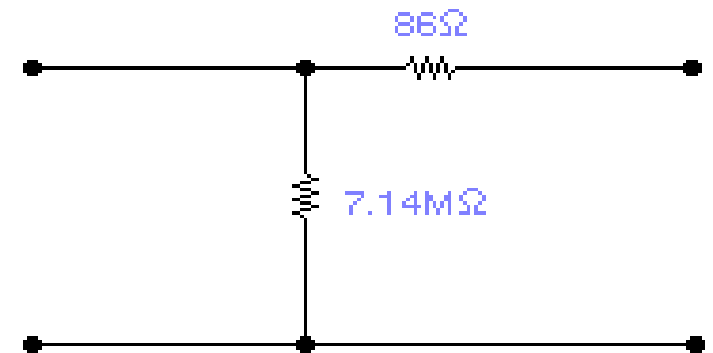
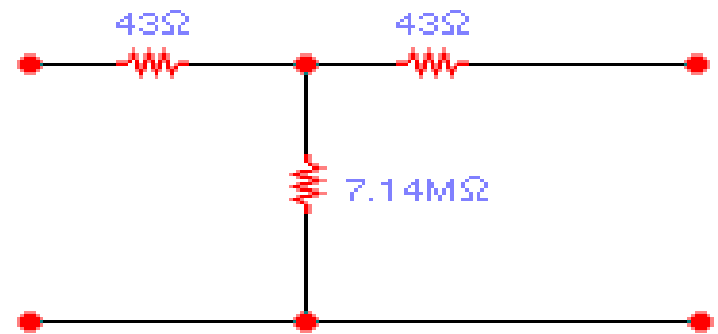
Μη ισοσταθμισμένο μοντέλο

- 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

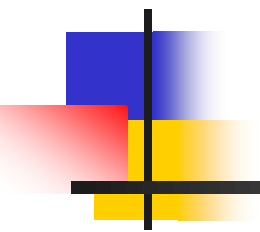
- Για τον υπολογισμό του ρεύματος dc βρόχου, τα και C μπορούν να αγνοηθούν
- Η παράλειψη αφαιρεί την καθυστέρηση και παραμόρφωση της κυματομορφής





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



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



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 (AWG) στο 1 kHz:

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

- σε συχνότητα (λόγω επιδερμικού φαινομένου) για 19 AWG

| | | | |
|-----------------|---|-----|-----|
| 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

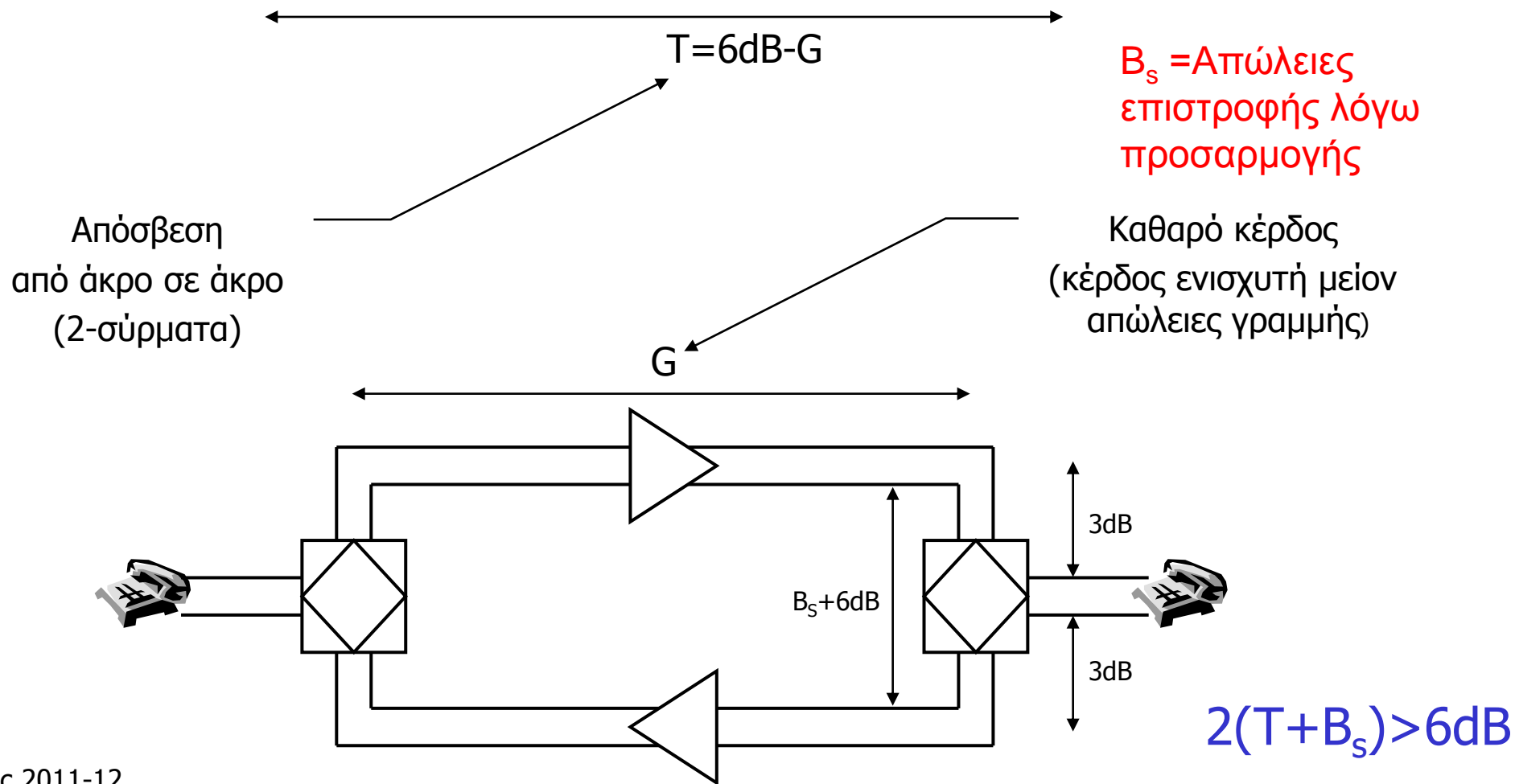
| OLR | Καλή/Άριστη | Μέτρια/Κακή |
|------------|--------------------|--------------------|
| 5-15 dB | 90% | 1% |
| 20 dB | 80% | 4% |
| 25 dB | 65% | 10% |
| 30 dB | 45% | 20% |



Σφύριγμα

- Η συνολική απώλεια στον 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 ηχούς 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



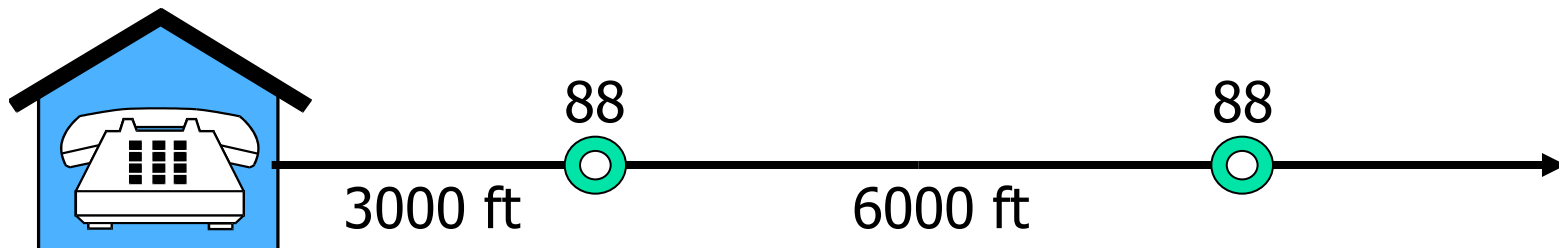
Τυποποίηση πηνίων

- “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

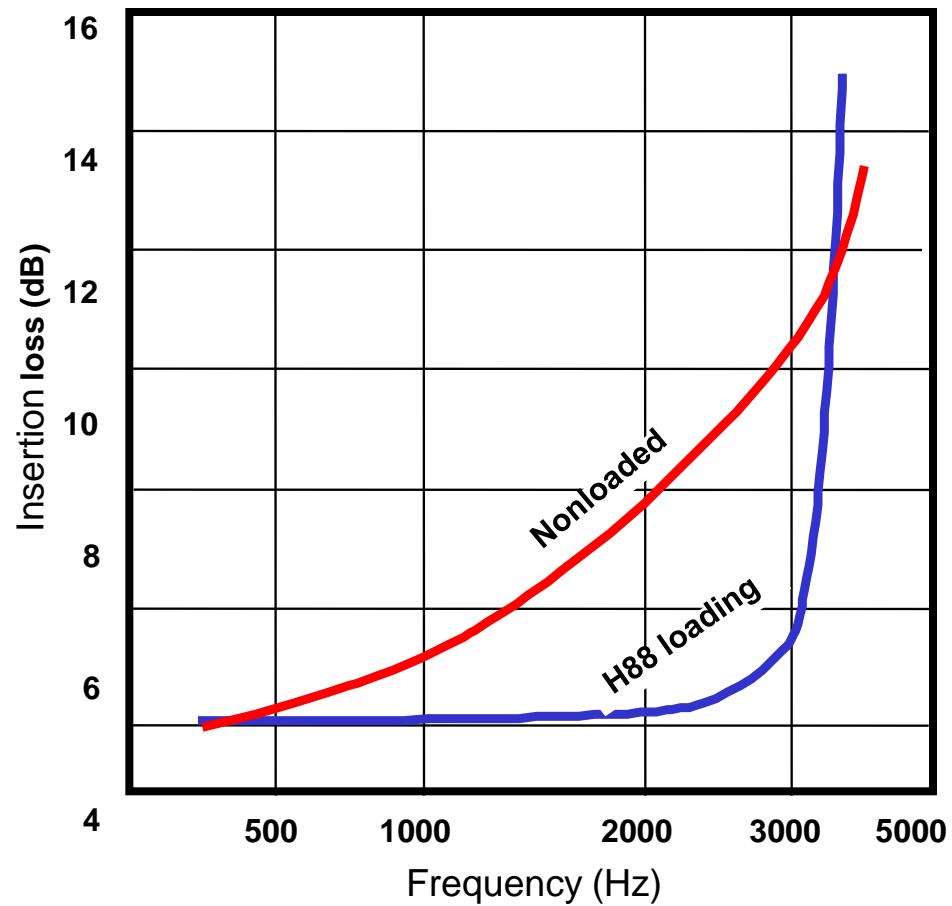
| Letter Code | Spacing (ft) | Spacing (m) |
|-------------|--------------|-------------|
| A | 700 | 213.5 |
| B | 3000 | 915 |
| C | 929 | 283.3 |
| D | 4500 | 1372.5 |
| E | 5575 | 1700.4 |
| F | 2787 | 850 |
| H | 6000 | 1830 |
| X | 680 | 207.4 |
| Y | 2130 | 649.6 |

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

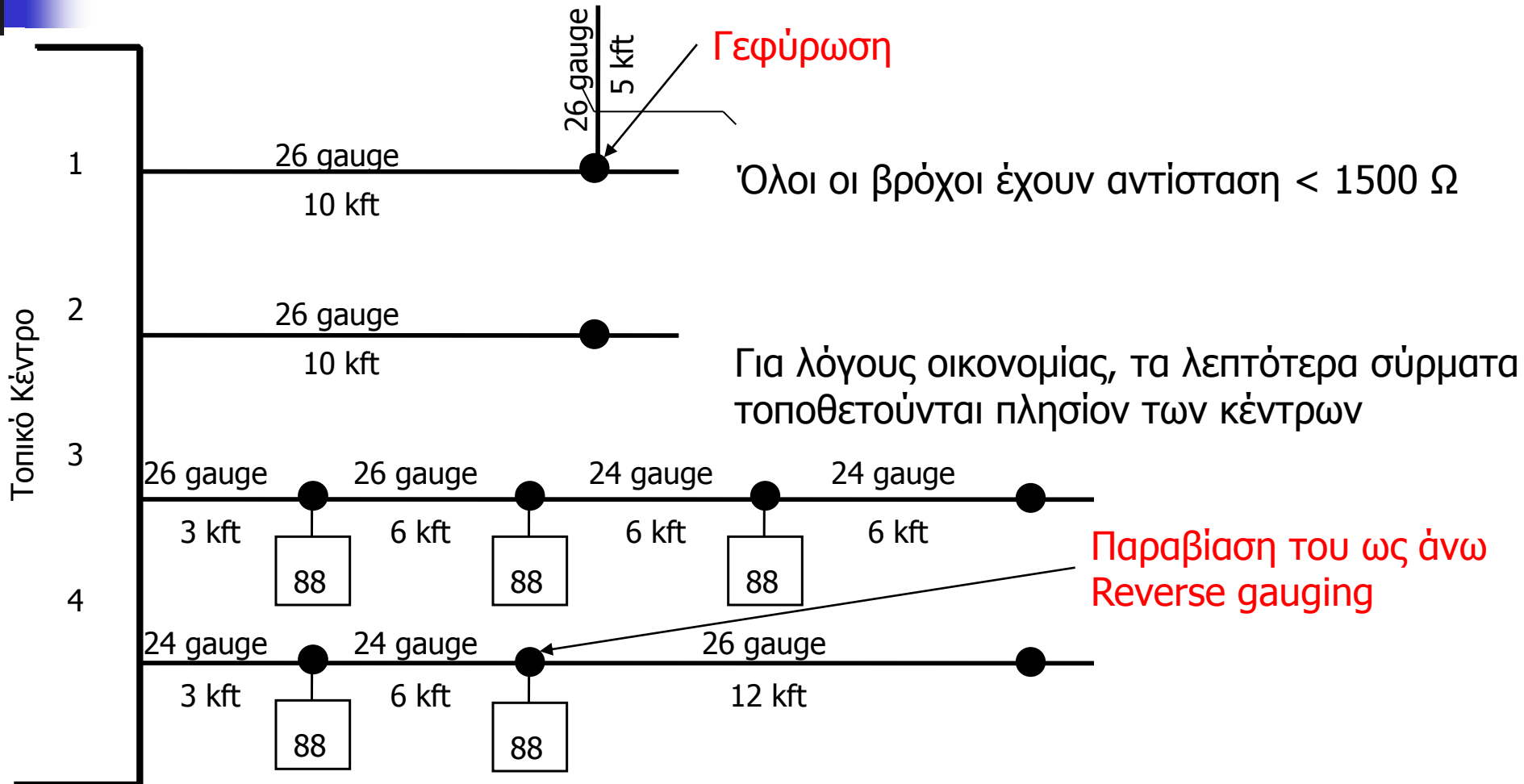




Κανόνες χρήσης πηνίων

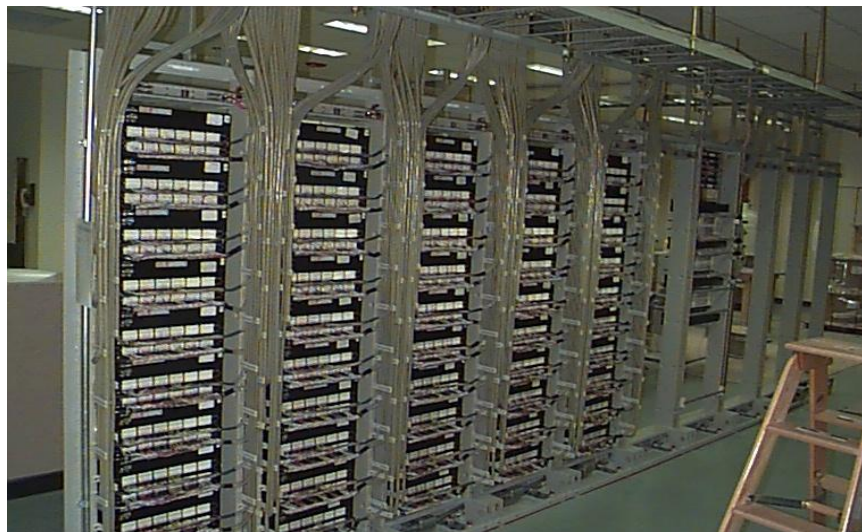
- Χρησιμοποιούνται μόνο σε βρόχους > 18.000 ft (19,22,24 AWG) ή 15.000 ft (26 AWG)
- Δεν χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες δεδομένων (>9.600 bps)
 - Παραμόρφωση πλάτους
- Δεν εγκαθίσταται συνδρομητής μεταξύ πηνίων

Παράδειγμα ακραίου δικτύου



Ορολογία

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



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





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 (E1, 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 (2 km) χρησιμοποιήθηκαν για τους αναγεννητές στο σύστημα T1 (E1)