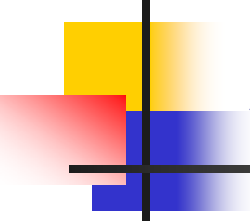




Τηλεφωνία

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)

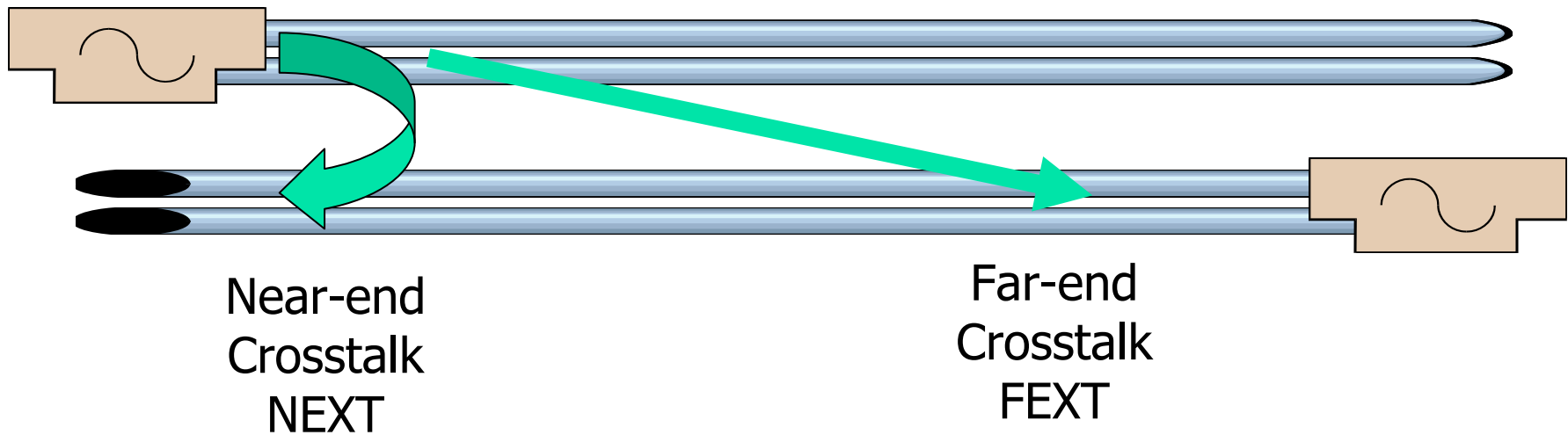
- Η περιοχή συχνοτήτων όπου η επίδοση σε σχέση με κάποιο χαρακτηριστικό παραμένει εντός συγκεκριμένων ορίων
- Για διπλαγωγούς το εύρος ζώνης είναι:
 - Συνδρομητικοί βρόχοι τηλεφωνίας 2 MHz περίπου για μήκος 2 km
 - Κατηγορία 5 περίπου 100 MHz για μήκος 300 m



Διαφωνία (Crosstalk)

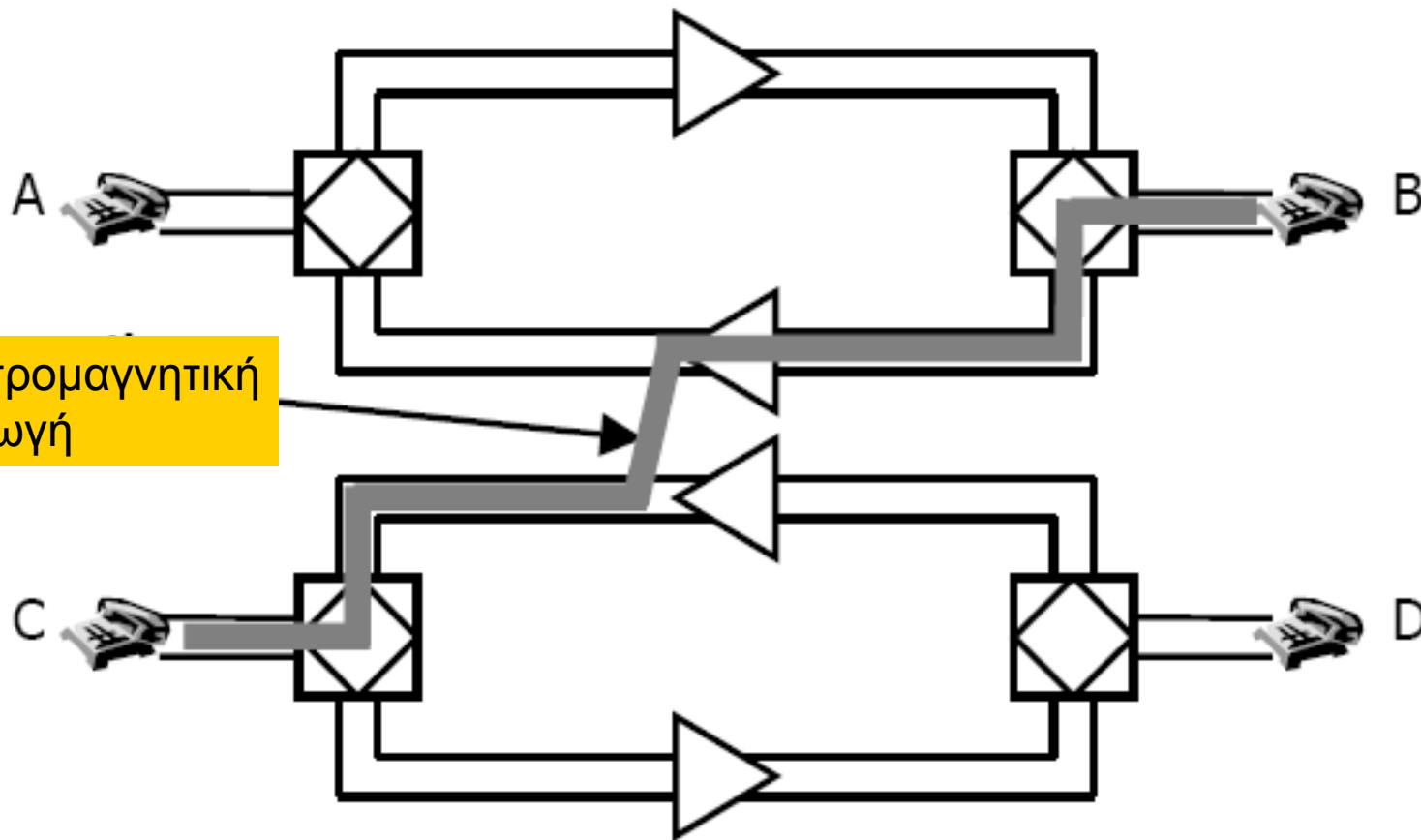
- Παραμόρφωση που επάγεται σε διπλαγωγό από γειτονικούς διπλαγωγούς
- Συνήθως όταν τα ζεύγη τοποθετούνται κοντά όπως συμβαίνει στα τηλεφωνικά καλώδια
- Μια θεραπεία είναι η συστροφή των ζευγών (με διαφορετικό ρυθμό)
 - Συνεστραμμένο ζεύγος (twisted pair)

Διαφωνία (Crosstalk)



Διαφωνία (cross-talk)

Ηλεκτρομαγνητική
επαγωγή



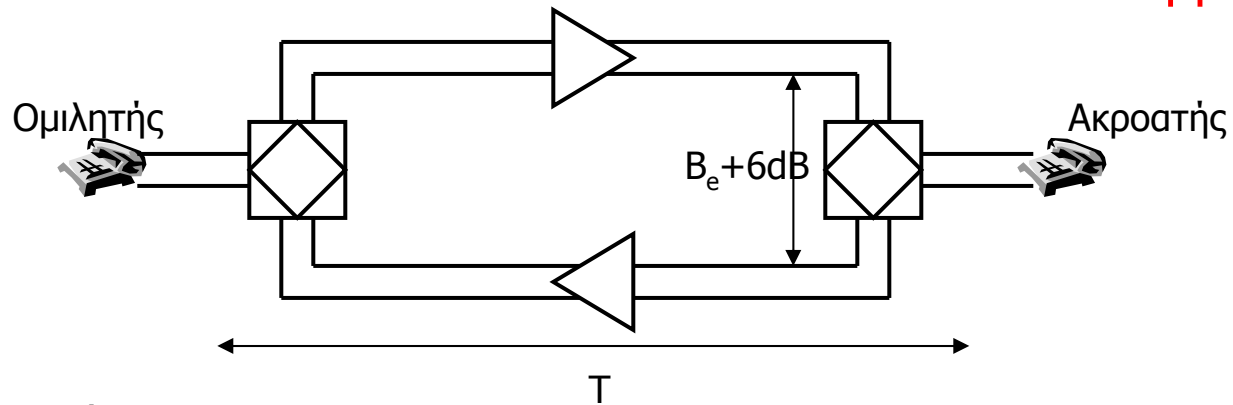


Ηχώ (Echo)

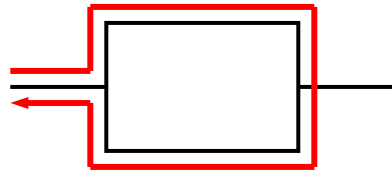
- Το υβριδικό εν γένει δεν είναι προσαρμοσμένο στη γραμμή οπότε έχουμε ανακλάσεις που τελικά γίνονται ακουστές στα δύο άκρα ως ηχώ:
 - **Ηχώ ομιλητή:** όταν ο ομιλητής ακούει τη φωνή του
 - **Ηχώ ακροατή:** όταν ο ακροατής ακούει τη φωνή του ομιλητή δύο φορές

Ηχώ

B_e = Απώλειες
επιστροφής
του υβριδικού

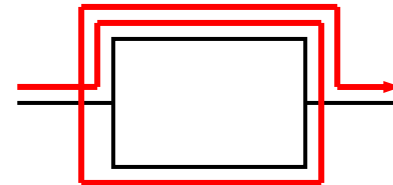


Ηχώ Ομιλητή:



$$\text{Απόσβεση} = B_e + 2T$$

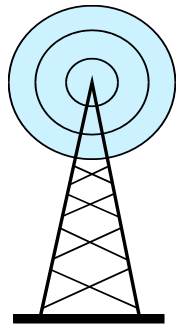
Ηχώ ακροατή:



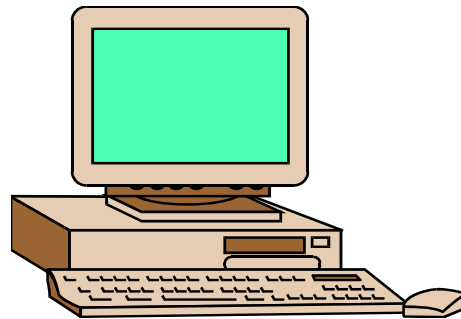
$$\text{Απόσβεση} = 2B_e + 2T$$

Θόρυβος (noise)

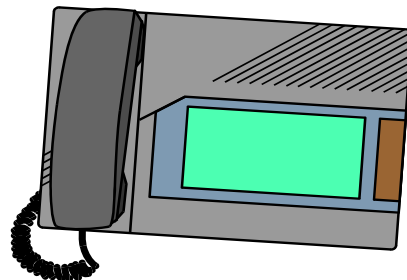
- Πηγές θορύβου (έξω από το δίκτυο)



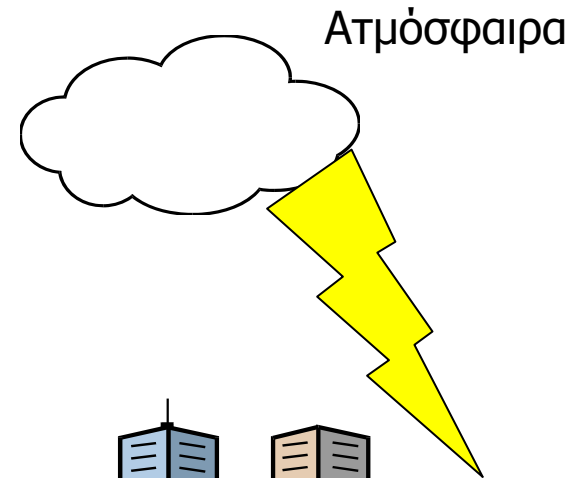
Πομποί



Υπολογιστές



Άλλες τηλεπικοινωνιακές
συσκευές



Ατμόσφαιρα



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



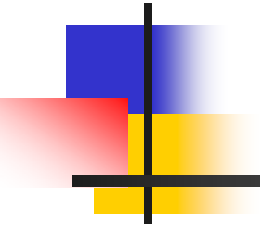
Μέτρηση θορύβου

- 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

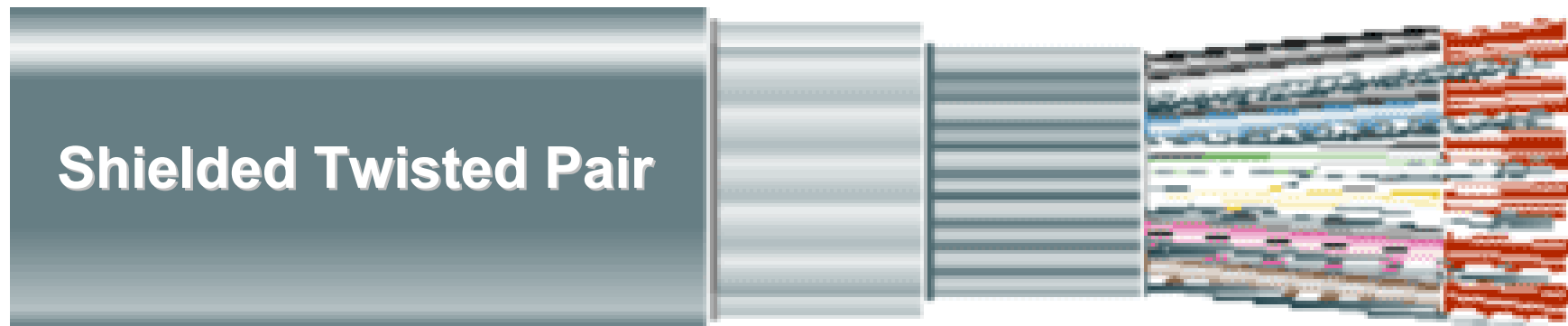


Cat 5/5e	100 MHz
Cat 6	250 MHz
Cat 7	600 MHz

Σύνηθες 4-σύρματο τηλ. καλώδιο



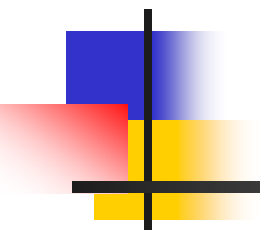
Τύποι συνεστραμμένων ζευγών





Κατασκευή καλωδίου

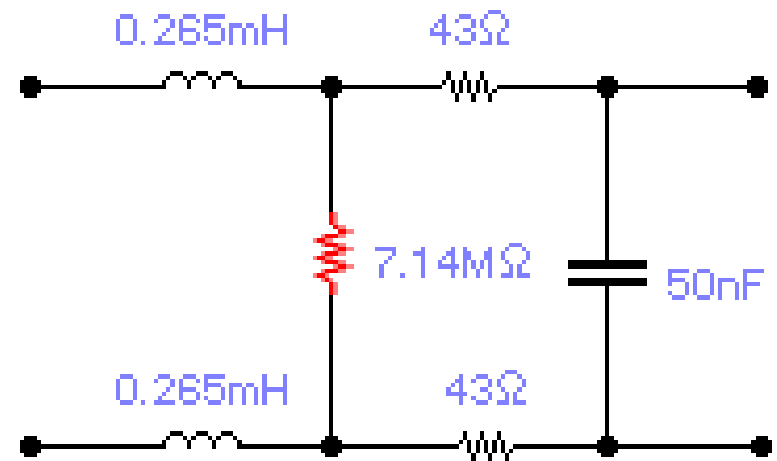
- Θήκη
 - Θωρακισμένη - μόλυβδος/ατσάλι
 - Διηλεκτρικό
- Παραγέμισμα
 - Αέρας
 - Γέλη
- Μόνωση
 - Χαρτοπολτός
 - Πλαστικό



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



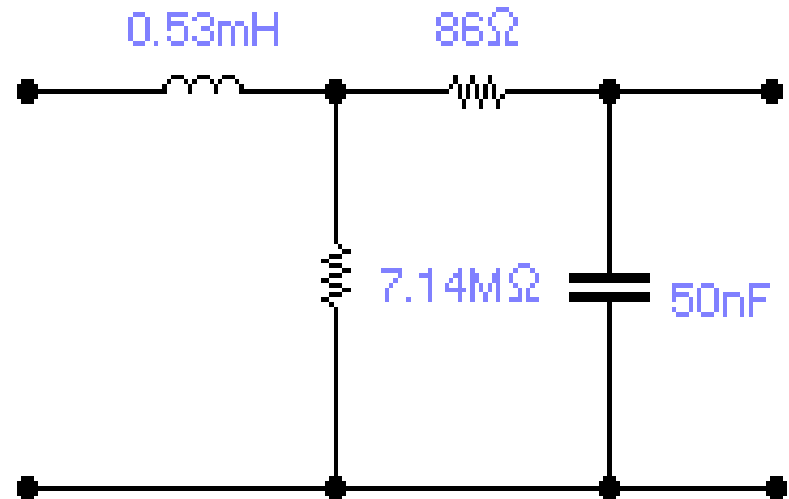


Ισοστάθμιση

- 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

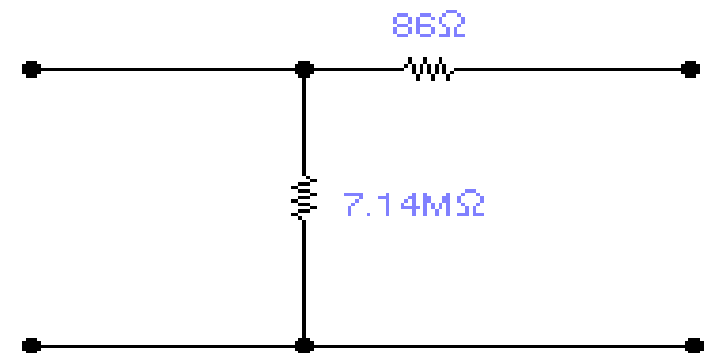
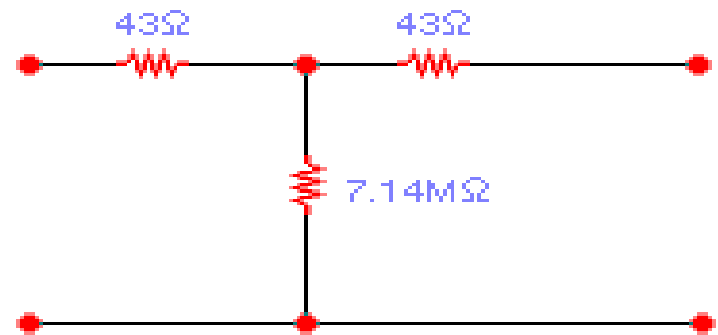
Μη ισοσταθμισμένο μοντέλο

- 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

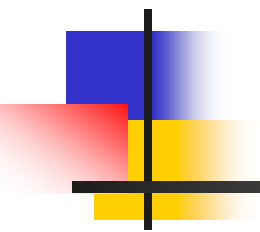
- Για τον υπολογισμό του ρεύματος dc βρόχου, τα και C μπορούν να αγνοηθούν
- Η παράλειψη αφαιρεί την καθυστέρηση και παραμόρφωση της κυματομορφής





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

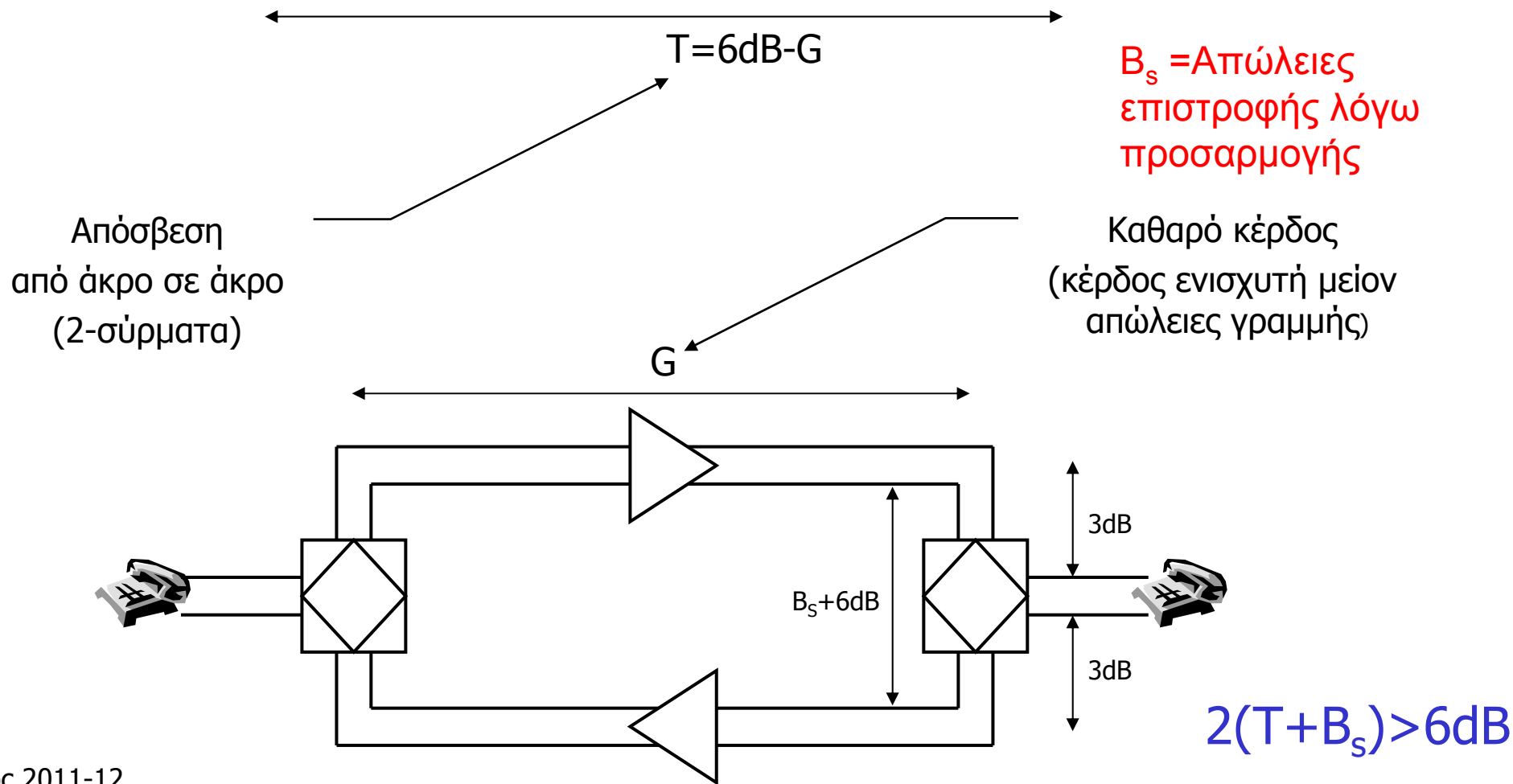
OLR	Καλή/Άριστη	Μέτρια/Κακή
5-15 dB	90%	1%
20 dB	80%	4%
25 dB	65%	10%
30 dB	45%	20%



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 μπάντα 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



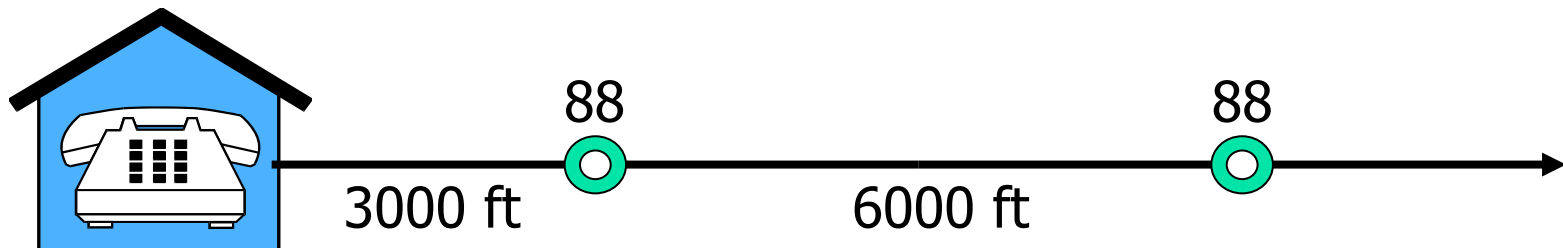
Τυποποίηση πηνίων

- “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

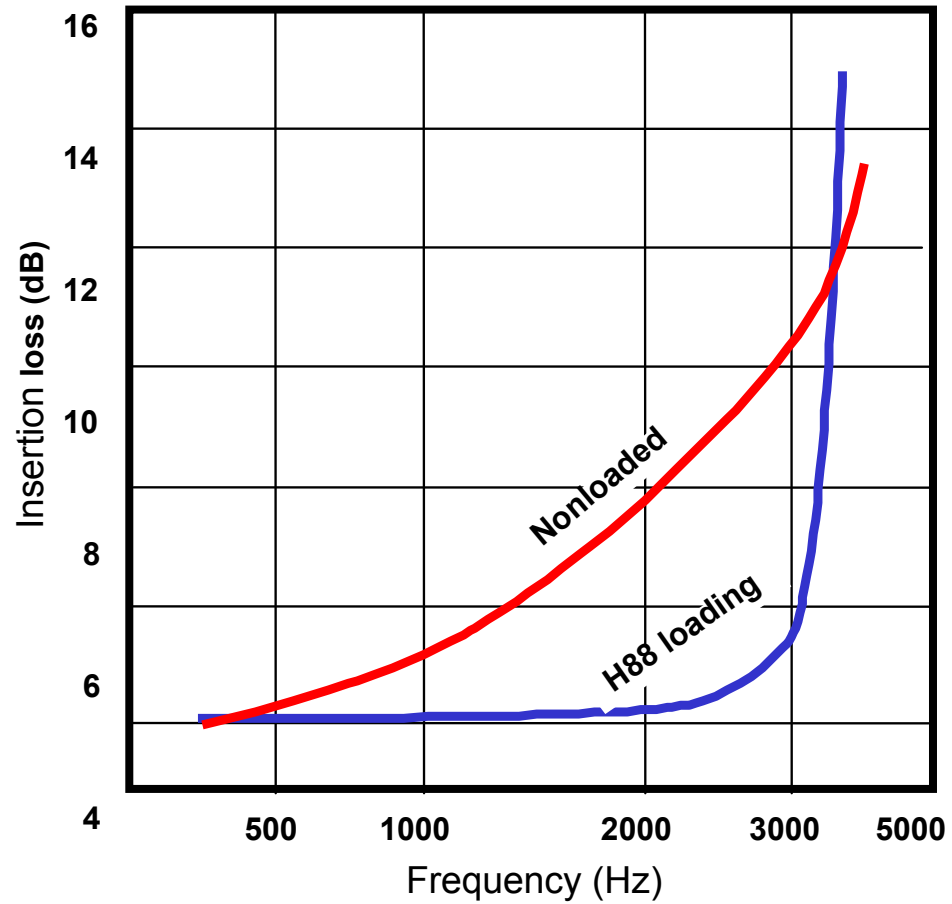
Letter Code	Spacing (ft)	Spacing (m)
A	700	213.5
B	3000	915
C	929	283.3
D	4500	1372.5
E	5575	1700.4
F	2787	850
H	6000	1830
X	680	207.4
Y	2130	649.6

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

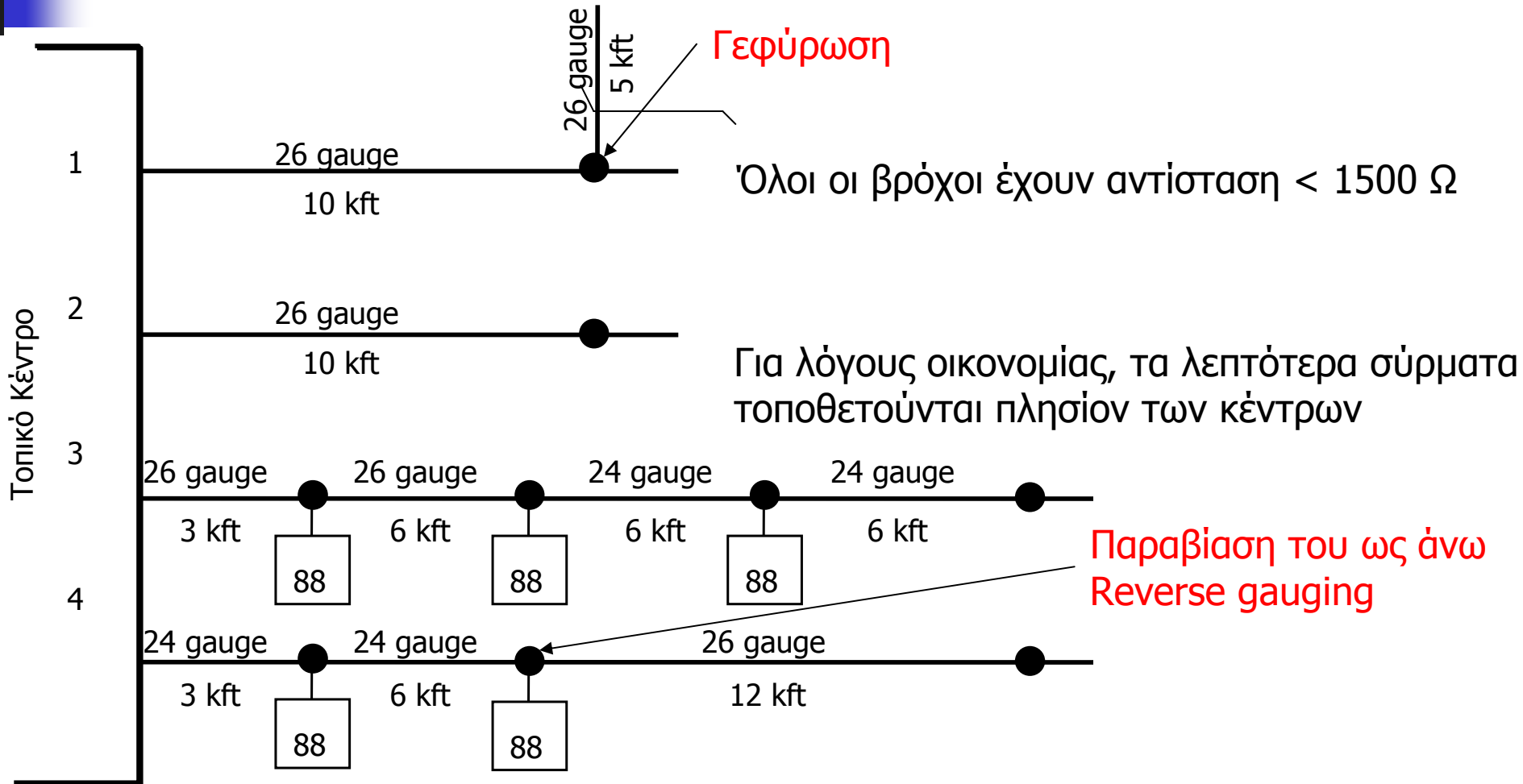




Κανόνες χρήσης πηνίων

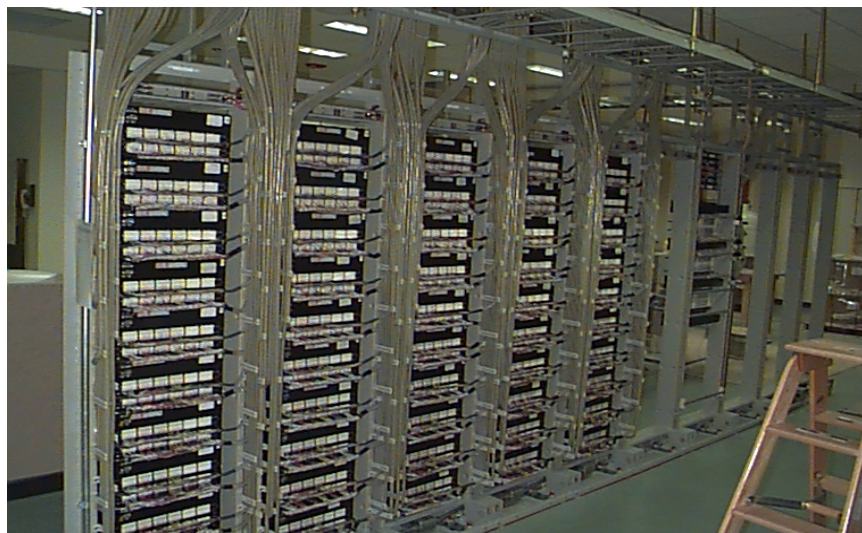
- Χρησιμοποιούνται μόνο σε βρόχους > 18.000 ft (19,22,24 AWG) ή 15.000 ft (26 AWG)
- Δεν χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες δεδομένων (>9.600 bps)
 - Παραμόρφωση πλάτους
- Δεν εγκαθίσταται συνδρομητής μεταξύ πηνίων

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)