

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Τομέας Τηλεπικοινωνιών & Τεχνολογίας της Πληροφορίας

Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΚΕΝΤΡΑ

(Κεφάλαιο 2)

ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Καθηγητής

Πάτρα 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2.1	ΓΕΝΙΚΑ	1
2.2	Η ΒΑΣΙΚΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ	2
2.3	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	3
2.4	ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΚ	4
2.4.1	Μεταγωγή με Ενσυρματωμένο Έλεγχο.....	5
2.4.1.1	Μεταγωγή με άμεσο - προοδευτικό έλεγχο.....	5
2.4.1.2	Μεταγωγή με κεντρικοποιημένο (κοινό) ηλεκτρομηχανικό έλεγχο.....	6
2.4.2	Μεταγωγή με έλεγχο ενταμιευμένου προγράμματος.....	7
2.5	ΔΗΜΟΣΙΟ ΕΠΙΛΕΓΟΜΕΝΟ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (PSTN)	8
2.5.1	Ιεραρχία Τηλεφωνικών Κέντρων κατά Bell.....	8
2.5.2	Εναλλακτική δρομολόγηση – διαβίβαση τηλεφωνικής κίνησης.....	10
2.5.3	Συνδρομητικά Τηλεφωνικά Κέντρα.....	12
2.5.4	Συστήματα Σέντρεξ.....	13
2.6	ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΟ PSTN	14
2.6.1	Ζευκτικά δίκτυα.....	15
2.6.2	Αστικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης.....	15
2.7	ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΦΩΝΟΣΗΜΑΤΩΝ	16
2.8	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ ΦΩΝΟΣΗΜΑΤΩΝ	18
2.8.1.1	Πολύπλεξη φωνοσημάτων με επιμερισμό συχνότητας (FDM).....	18
2.8.1.2	Πολύπλεξη φωνοσημάτων με επιμερισμό χρόνου (TDM).....	18
2.9	ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	20
2.9.1	Διεπαφές σε αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης.....	20
2.9.1.1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αναλογικού τοπικού βρόχου.....	20
2.9.1.2	Διεπαφή τοπικού συνδρομητικού βρόχου.....	21
2.9.1.3	Διεπαφή τοπικής ζεύξης με εκκίνηση μέσω βρόχου.....	23
2.9.1.4	Διεπαφή τοπικής ζεύξης με εκκίνηση μέσω γείωσης.....	23
2.9.1.5	Διεπαφή τοπικής ζεύξης διεπιλογής εισόδου.....	24
2.9.1.6	Διεπαφές τοπικής ζεύξης τύπου E&M.....	24
2.9.2	Διεπαφές σε ψηφιακό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης.....	25
2.9.3	Διεπαφές σε ζευκτικά δίκτυα.....	26
2.10	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΛΑΒΗΣ ΖΕΥΓΩΝ	27
2.10.1	Συγκεντρωτές Γραμμών.....	28

2.10.2	Πολυπλέκτες.....	29
2.10.3	Φωνοσυχνικά συστήματα ενίσχυσης και αναμετάδοσης	29
2.11	ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ	30
2.11.1	Σηματοδοσία στο αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης.....	31
2.11.1.1	Τόνοι (ηχοσήματα) προόδου κλήσεων.....	31
2.11.1.2	Σήματα ζεύξεως ή κριτήρια σηματοδοσίας.....	32
2.11.2	Σηματοδοσία στο αναλογικό αστικό ζευκτικό δίκτυο.....	33
2.11.3	Σηματοδοσία στο αναλογικό ζευκτικό υπεραστικό δίκτυο	33
2.11.3.1	Σύστημα μεταφοράς σηματοδοσίας CCITT No 4	34
2.11.3.2	Σύστημα μεταφοράς σηματοδοσίας CCITT No 5	36
2.11.4	Σηματοδοσία στα ψηφιακά υπεραστικά και αστικά ζευκτικά δίκτυα	38
2.11.4.1	Σηματοδοσία Συσχετισμένη με Κανάλι (CAS).....	38
2.11.4.2	Σηματοδοσία Κοινού Καναλιού (CCS).....	38
2.11.4.3	Πλεονεκτήματα της σηματοδοσίας CCS.....	39
2.11.4.4	Μειονεκτήματα της σηματοδοσίας κοινού καναλιού.....	40

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

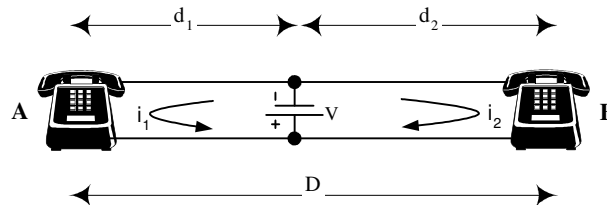
Η πρώτη τηλεφωνική συσκευή κατασκευάστηκε από τον Alexander Graham Bell το 1876, ενώ το πρώτο τηλεφωνικό δίκτυο έδινε τη δυνατότητα να συνδέονται μόνο δύο απομακρυσμένοι κάτοχοι τηλεφωνικών συσκευών. Σύντομα έγινε φανερό ότι το τηλέφωνο είχε μικρή χρησιμότητα χωρίς τρόπους αλλαγής σύνδεσης μεταξύ διαφορετικών τηλεφωνικών συσκευών, δυνατότητα που καθιερώθηκε να αναφέρεται ως *μεταγωγή* (*switching*). Η πρώτη Εταιρεία υποστήριξης υπηρεσιών μεταγωγής (αναφερόμενη ως *Υπηρεσία Μεταγωγής* ή *Τηλεφωνική Εταιρεία*) εγκαθιδρύθηκε 2 χρόνια αργότερα (1878) στο New Haven στην Πολιτεία Connecticut των ΗΠΑ. Η Υπηρεσία Μεταγωγής τοποθετήθηκε σε ένα κεντρικό σημείο του New Haven και διέθετε, πέρα από τον αναγκαίο εξοπλισμό μεταγωγής και προσωπικό συνολικής υποστήριξης των πελατών της. Η υποστήριξη παρείχετο σε εικοσιτετράωρη βάση έναντι μηνιαίας συνδρομής και έκτοτε καθιερώθηκε οι χρήστες των τηλεφωνικών δικτύων να αναφέρονται ως *συνδρομητές* (*subscribers*).

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης στην περιοχή εξυπηρέτησης, η Υπηρεσία Μεταγωγής είχε συγκεκριμένη εμβέλεια και ικανότητα εξυπηρέτησης ενός μέγιστου αριθμού συνδρομητών. Αυτό οδήγησε σε πρώτη φάση στην ανάπτυξη ανεξάρτητων Υπηρεσιών Μεταγωγής κάνοντας χρήση διαφόρων τύπων τηλεφωνικών συστημάτων μεταγωγής, τηλεφωνικών συσκευών και γραμμών επικοινωνίας. Αργότερα οι ανεξάρτητες Υπηρεσίες Μεταγωγής της κάθε χώρας απέκτησαν τρόπους διασύνδεσης με τελικό αποτέλεσμα την ενοποίησή τους και την ανάπτυξη *εθνικών τηλεφωνικών δικτύων*. Σήμερα, τα επιμέρους εθνικά δίκτυα καθώς και το διεθνές υπεραστικό δίκτυο έχουν ενοποιηθεί και εξυπηρετούν εκατομμύρια συνδρομητών. Η διασύνδεση αυτή επιτεύχθηκε με την εισαγωγή και τυποποίηση *διεπαφών* (*interfaces*) σε όλα τα σημεία του τηλεφωνικού συστήματος και με την ιεράρχηση σαφώς ορισμένων λειτουργιών και σημάτων.

Κατά τα πρώτα χρόνια η μεταγωγή πραγματοποιείτο χειροκίνητα, με τη χρήση ειδικών μεταλλακτών, κατόπιν πραγματοποιείτο ημιαυτόματα και από το 1920 άρχισε η χρήση των αυτόματων συστημάτων μεταγωγής. Επίσης, κατά τα πρώτα 80 περίπου έτη της ύπαρξής τους (μέχρι το 1960), τα τηλεφωνικά δίκτυα και κέντρα αναπτύχθηκαν με βάση την *αναλογική τεχνολογία μετάδοσης* και την *ηλεκτρομηχανική τεχνολογία μεταγωγής*. Στη συνέχεια άρχισε να εγκαθίσταται ψηφιακός εξοπλισμός μετάδοσης και μεταγωγής. Όμως οι τυποποιήσεις και η ιεραρχική δομή διασύνδεσης των αναλογικών συστημάτων παρέμειναν σεωισχύ και αποτέλεσαν τη βάση ανάπτυξης του συνόλου του τηλεφωνικού δικτύου ανεξάρτητα από το είδος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (αναλογική, ψηφιακή ή οπτική).

2.2 Η ΒΑΣΙΚΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

Το απλούστερο τηλεφωνικό κύκλωμα είναι αυτό μεταξύ δύο σημείων **A** και **B** και περιλαμβάνει ένα ζεύγος παράλληλων αγωγών που διασυνδέει και σε κάθε άκρο του από μια τηλεφωνική συσκευή (Σχήμα 2.1). Η ηλεκτρική τροφοδότηση του κυκλώματος γίνεται με τη χρήση μίας μπαταρίας **V** (που συνήθως αναφέρεται ως talk battery) η οποία συνδέεται παράλληλα στις δύο γραμμές.



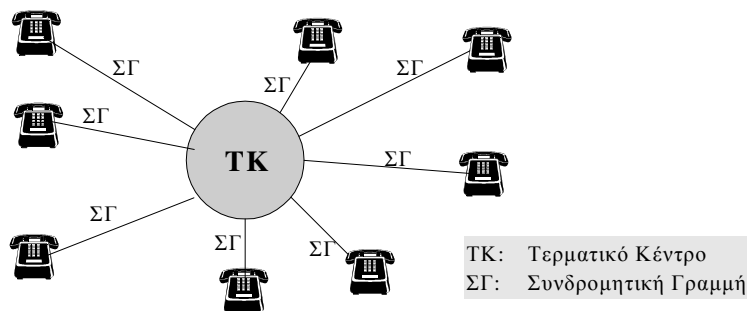
Σχήμα 2.1: Μια απλή τηλεφωνική σύνδεση

Εάν θεωρηθεί ως **D** η συνολική απόσταση μεταξύ των δύο τηλεφωνικών συσκευών και ως **d₁** και **d₂** αντίστοιχα οι αποστάσεις των δύο συσκευών από τη μπαταρία τότε μέσα από τις συσκευές **A** και **B** διέρχονται τα συνεχή ηλεκτρικά ρεύματα **i₁** και **i₂** αντίστοιχα. Τα ρεύματα αυτά αποτελούν το φυσικό μέσο (φορέα) για τη μετάδοση των φωνητικών σημάτων από το ένα σημείο στο άλλο.

Με βάση τη δομή του Σχήματος 2.1 τα σημεία **A** και **B** έχουν μία μόνιμη και σταθερή σύνδεση. Όταν όμως τα σημεία **A** και **B** θελήσουν να συνδεθούν με ένα τρίτο (**Γ**) ή ένα τέταρτο (**Δ**) σημείο τότε αρχίζουν να εγείρονται πολλά προβλήματα, αφού θα πρέπει μεταξύ των σημείων αυτών να αναπτυχθεί εναλλακτικά:

1. ένα δίκτυο διαπλεγμένης (mesh) δομής που να περιλαμβάνει ανεξάρτητες συνδέσεις μεταξύ όλων των σημείων **AB**, **AΓ**, **AΔ**, **BΓ**, **BΔ**, **ΓΔ** και το κάθε σημείο να διαθέτει τρεις ανεξάρτητες συσκευές και τρία ανεξάρτητα ζεύγη γραμμών. Η περίπτωση αυτή θεωρείται εντελώς ανεφάρμοστη στην τηλεφωνία και δεν υιοθετήθηκε ουσιαστικά ποτέ.
2. ένα δίκτυο δομής αστέρα (star) όπου το κάθε σημείο να διαθέτει μία συσκευή και μέσα από ένα μοναδικό ζεύγος γραμμών να συνδέεται με ένα κόμβο μεταγωγής ο οποίος να αναλαμβάνει την αποκατάσταση προσωρινών συνδέσεων μεταξύ των σημείων που επιθυμούν να συνδεθούν.

Στο Σχήμα 2.2 δίνεται ένα δίκτυο δομής αστέρα όπου πολλά διαφορετικά σημεία (συνδρομητές) έχουν συνδεθεί ακτινωτά σε ένα κόμβο μεταγωγής μέσω ανεξάρτητων τοπικών βρόχων. Ο κόμβος μεταγωγής αναφέρεται ως *Τηλεφωνικό ή Τερματικό Κέντρο (TK)* (στην Ευρώπη αναφέρεται ως *Local Exchange- LE* ενώ στην Αμερική ως *Central Office- CO*). Το ζεύγος αγωγών που συνδέει την τηλεφωνική συσκευή με το TK αναφέρεται ως *τοπικός βρόχος (local loop)* ή *συνδρομητική γραμμή (line ή subscriber line)*. Το σύνολο των τοπικών βρόχων του TK αναφέρεται ως *συνδρομητικό τηλεφωνικό δίκτυο του TK*.



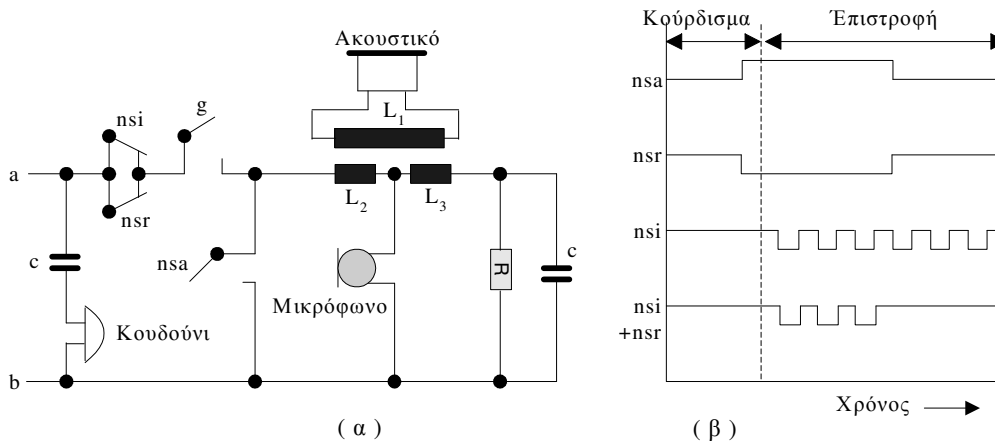
Σχήμα 2.2: Ακτινωτή διασύνδεση συνδρομητών σε κόμβο μεταγωγής (TK)

Όταν χρησιμοποιείται ένα ΤΚ, η συνδεσμολογία του Σχήματος 2.1 αλλάζει έτσι ώστε η θέση της μπαταρίας να ταυτίζεται με το ΤΚ, ενώ οι αποστάσεις d_1 και d_2 να ταυτίζονται με τους τοπικούς βρόχους των συνδρομητών Α και Β, αντίστοιχα. Σε αυτή την περίπτωση η τιμή του V είναι τυποποιημένη, ενώ η μέγιστη τιμή του d επιλέγεται έτσι ώστε οι τιμές των ρευμάτων i_1 και i_2 να είναι σταθερές. Για παράδειγμα στα αναλογικά ΤΚ είναι $V=-48V$, $i_1 = i_2 = 20 \text{ mA}$ με $d_{\max} = 30\text{Km}$.

Δια μέσου του ΤΚ και κάνοντας χρήση των τηλεφωνικών συσκευών, οι συνδρομητές έχουν τη δυνατότητα να αποκαθιστούν μεταξύ τους απλές τηλεφωνικές συνδέσεις, οι οποίες αναφέρονται ως κλήσεις (*calls*). Η χρονική στιγμή έναρξης και η διάρκεια της κάθε κλήσης είναι τυχαίες και εξαρτώνται μόνο από τη συμπεριφορά των δύο συγκεκριμένων συνδρομητών που επιθυμούν να συνδεθούν και όχι από την κατάσταση των υπολοίπων συνδρομητών του ΤΚ (στατιστική ανεξαρτησία χρόνου αποκατάστασης και διάρκειας των κλήσεων). Ο συνδρομητής που ενεργοποιεί μία κλήση αναφέρεται ως *καλών συνδρομητής* ενώ ο συνδρομητής στον οποίο απευθύνεται η κλήση αναφέρεται ως *καλούμενος συνδρομητής*. Η συνδρομητική γραμμή του καλούντα συνδρομητή αναφέρεται ως *εισερχόμενη γραμμή (incoming line)* στο ΤΚ, ενώ η αντίστοιχη του καλούμενου ως *εξερχόμενη γραμμή (outgoing line)*. Η ποσοτικοποίηση της χρήσης του τηλεφώνου που γίνεται από τους συνδρομητές αναφέρεται ως *τηλεφωνική κίνηση (traffic)*.

2.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η τηλεφωνική συσκευή, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, περιλαμβάνει το *κύριο σώμα* και τη *χειροσυσκευή (handset)* (που αναφέρεται συνήθως και ως *μικροτηλέφωνο*). Στο Σχήμα 2.3 (α) δείχνεται η απλοποιημένη συνδεσμολογία μιας κλασσικής αναλογικής τηλεφωνικής συσκευής με επιλογικό δίσκο. Το κύριο σώμα περιλαμβάνει το *άγκιστρο nsa (cradle)*, μια διάταξη σηματοδότης αποτελούμενο από τον επιλογικό δίσκο (ή το πληκτρολόγιο), αποτελούμενο από ένα σύνθετο σχήμα ηλεκτρονόμων (g, nsi και nsr) και το σύστημα συναγερμικής ειδοποίησης (ηλεκτρικό κουδούνι). Στο Σχήμα 2.3 (β) δείχνεται απλοποιημένα ο τρόπος λειτουργίας (χρονολειτουργία) των διακοπών nsa, nsr και nsi κατά την επιλογή του αριθμού κλήσης 3.



Σχήμα 2.3: Ηλεκτρικό κύκλωμα και διάγραμμα χρονισμών τηλεφωνική συσκευής με επιλογικό δίσκο

Το μικροτηλέφωνο περιλαμβάνει δύο ηλεκτρο-ακουστικούς μετατροπείς, το *ακουστικό (earpiece)* ή *δέκτη* και το *μικρόφωνο (mouthpiece)* ή *πομπό*. Επίσης περιλαμβάνει ένα *κύκλωμα πλάγιου τόνου (sidetone)* που επιτρέπει την ανάδραση ενός μέρους της μεταδιδόμενης ενέργειας σήματος στο δέκτη, μέσω των στοιχείων R , C και L_3 . Το κύκλωμα αυτό επιτρέπει στον ομιλούντα να ακούει τη φωνή του σε χαμηλή ένταση μέσα από το ακουστικό του.

Το μικρόφωνο μετατρέπει την ακουστική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση ενός πομπού κόκκων άνθρακα. Ο πομπός απαιτεί μεταξύ των ηλεκτροδίων του ένα συνεχές δυναμικό (dc)

της τάξης των 3-5 V. Στα παλαιότερα συστήματα χρησιμοποιείτο μια ειδική μπαταρία (talk battery) για την τροφοδοσία του πομπού. Στα σύγχρονα συστήματα η τροφοδοσία της τηλεφωνικής συσκευής γίνεται άμεσα από το TK μεταφέροντας πάνω από τον τοπικό βρόχο ένα συνεχές δυναμικό (π.χ. της τάξης των -48V). Το ρεύμα αρχίζει να περνά μέσα από τους κόκκους του άνθρακα όταν η χειροσυσκευή σηκωθεί (στην περίπτωση αυτή η συσκευή πηγαίνει σε κατάσταση απαγκίστρωσης – “off-hook”). Όταν τα ηχητικά κύματα προσκρούσουν στο διάφραγμα του πομπού τότε οι μεταβολές της πίεσης του αέρα μεταφέρονται στον άνθρακα. Η ηλεκτρική αντίσταση του άνθρακα αλλάζει ανάλογα με τις μεταβολές της πίεσης που ασκείται, οπότε το διερχόμενο ρεύμα μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο.

Ο δέκτης (ακουστικό) αποτελείται από ένα διάφραγμα το οποίο είναι κατασκευασμένο από μαγνητικό υλικό, συνήθως μαλακό μείγμα σιδήρου. Το διάφραγμα είναι τοποθετημένο σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο, τροφοδοτούμενο ταυτόχρονα από ένα μόνιμο μαγνήτη και από ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλούμενο από τις μεταβολές του εναλλασσόμενου ρεύματος του βρόχου (δηλαδή των σημάτων ομιλίας που παράγονται στον απομακρυσμένο χρήστη και μεταφέρονται σαν εναλλασσόμενο ρεύμα). Το ρεύμα αυτό αυξομειώνει το μαγνητικό πεδίο κάνοντας το διάφραγμα να μετακινείται ανάλογα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ακουστικών σημάτων τα οποία ομοιάζουν με τα ηχητικά σήματα που ενεργοποίησαν τον πομπό του απομακρυσμένου συνδρομητή.

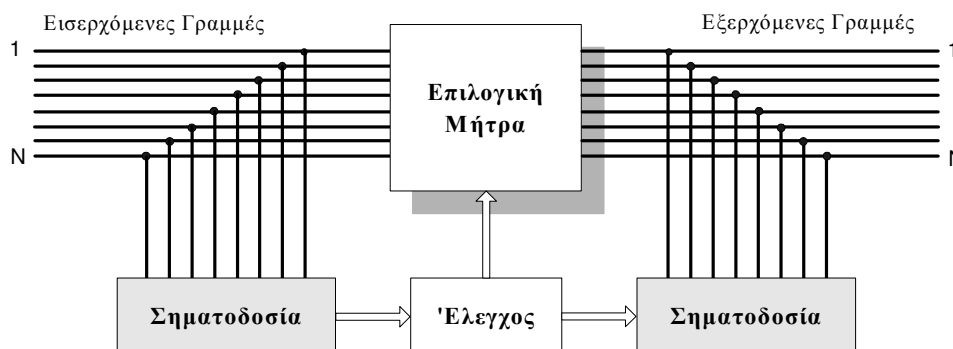
2.4 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ TK

Η βασική αρχιτεκτονική δομή ενός TK περιλαμβάνει τρεις λειτουργικές μονάδες (Σχήμα 2.4).

Η πρώτη μονάδα είναι η *Επιλογική Μήτρα* (*Switching Matrix*) που περιλαμβάνει τα κατάλληλα όργανα μεταγωγής για την αποκατάσταση των συνδέσεων μεταξύ εισερχόμενων και εξερχόμενων γραμμών. Τα όργανα αυτά αναφέρονται ως *επιλογείς* (*switches*) και οργανώνονται μέσα στην Επιλογική Μήτρα σε βαθμίδες. Κατασκευαστικά οι επιλογείς αποτελούνται από σταθερές ή μετακινούμενες συστοιχίες (array) από επιλέξιμα σημεία διασταύρωσης (*crosspoint*).

Η δεύτερη μονάδα περιλαμβάνει τα κυκλώματα *Σηματοδοσίας* (*signaling*) που εκτελούν όλες τις λειτουργίες επίβλεψης, ελέγχου και αποκατάστασης των κυκλωμάτων όλων των εισερχόμενων και των εξερχόμενων κλήσεων στο TK. Η κάθε κλήση πραγματοποιείται μέσω συγκεκριμένων λειτουργικών φάσεων όπου σε κάθε φάση ενεργοποιούνται διαφορετικές κατηγορίες σημάτων σηματοδοσίας, που γενικά αναφέρονται ως *κριτήρια σηματοδοσίας*.

Για παράδειγμα, όταν ένας καλών συνδρομητής είναι στη φάση επιλογής (selection), τότε μέσα από τη λειτουργία επίβλεψης της γραμμής του η Σηματοδοσία αναλαμβάνει τη συλλογή των επιλογικών αριθμών και την προώθηση των κατάλληλων πληροφοριών στις μονάδες Ελέγχου του TK. Αντίστοιχα, όταν ένας συνδρομητής είναι καλούμενος τότε μπορεί να είναι για παράδειγμα σε φάση είτε αποστολής συναγερμικής ειδοποίησης (alerting), είτε αποστολής μηνυμάτων ή φωνοσημάτων.



Σχήμα 2.4: Δομικά στοιχεία ενός TK

Η τρίτη μονάδα του ΤΚ είναι ο Έλεγχος (*control*) ο οποίος έχει την ευθύνη για την αξιόπιστη μετάδοση των πληροφοριών από άκρο σε άκρο καθ' όλες τις φάσεις πραγματοποίησης των κλήσεων. Ειδικότερα, επεξεργάζεται την πληροφορία που συλλέγεται από τη Σηματοδοσία των εισερχομένων γραμμών και υποδεικνύει τις κατάλληλες συνδέσεις που πρέπει να γίνουν στην Επιλογική Μήτρα ώστε να αποκατασταθούν οι σωστές συνδέσεις μεταξύ καλούντων και καλούμενων συνδρομητών.

Στο Σχήμα 2.4 η διάκριση των *συνδρομητικών γραμμών (ΣΓ)* σε εισερχόμενες και εξερχόμενες είναι σχηματική και αναφέρεται στον τρόπο λειτουργίας της κάθε ΣΓ κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων μιας κλήσης και δεν ανταποκρίνεται στο φυσικό μέσο της ΣΓ που είναι η δισύρματη γραμμή. Στο Σχήμα 2.2 δίνεται η φυσική αποτύπωση του ΤΚ ενώ στο Σχήμα 2.4 η λειτουργική του αποτύπωση.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές αρχιτεκτονικές μεταγωγής και ελέγχου όπως αυτές εφαρμόστηκαν διαχρονικά σε διάφορα είδη ΤΚ.

2.4.1 Μεταγωγή με Ενσυρματωμένο Έλεγχο

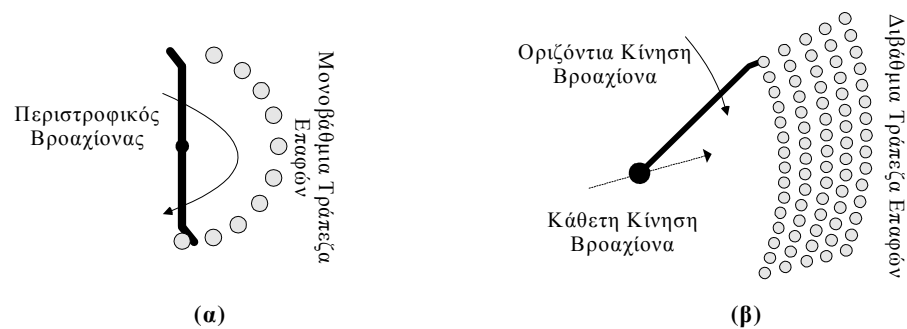
Τα κλασσικά ΤΚ, οι Επιλογικές Μήτρες περιελάμβαναν ηλεκτρομηχανικούς επιλογείς. Ο Έλεγχος βασιζόταν σε ηλεκτρομηχανικά διακοπτικά εξαρτήματα (*relays*) ελέγχου των επιλογέων, τα οποία στην ουσία ήταν υπολογιστικές διατάξεις ειδικού σκοπού. Ο Έλεγχος στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ως *Ενσυρματωμένος Έλεγχος*, η δε εφαρμοζόμενη λογική ελέγχου αναφέρεται ως *Ηλεκτρομηχανική Ενσυρματωμένη Λογική*. Ο Ενσυρματωμένος Έλεγχος διαιρείται σε δύο κύριες κατηγορίες, στον *άμεσο - προοδευτικό έλεγχο* και στον *κεντριοποιημένο κοινό έλεγχο*. Στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά της μεταγωγής που βασίζονται στις δύο αυτές κατηγορίες ελέγχου.

2.4.1.1 Μεταγωγή με άμεσο - προοδευτικό έλεγχο

Στον άμεσο-προοδευτικό έλεγχο (*direct progressive control*) δεν υπάρχει ανεξάρτητη μονάδα Ελέγχου, αλλά κάθε επιλογέας διαθέτει ατομικά στοιχεία ελέγχου. Κατά την αποκατάσταση των τηλεφωνικών συνδέσεων, οι επιλογείς αυτοί είναι άμεσα καθοδηγούμενοι από τους καλούντες συνδρομητές.

Ο τύπος αυτός μεταγωγής είναι ο παλαιότερος που χρησιμοποιήθηκε στην τηλεφωνία και ουσιαστικά ενσωματώνει στην Επιλογική Μήτρα, πέραν των βασικών λειτουργιών αποκατάστασης και συγκράτησης κυκλωμάτων μεταξύ εισερχομένων και εξερχομένων γραμμών, και όλες τις λειτουργίες σηματοδοσίας και ελέγχου, που φαίνονται στο Σχήμα 2.4.

Η κύρια κατηγορία επιλογέων με άμεσο έλεγχο είναι οι *βηματοπορικοί (step-by-step) επιλογείς*. Οι επιλογείς αυτοί αναφέρονται και ως *επιλογείς Strowger* προς τιμή του εφευρέτη τους Almon B. Strowger. Στη συνέχεια περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των βηματοπορικών επιλογέων, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η λογική του άμεσου ελέγχου (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Δομικά στοιχεία ενός ΤΚ

Ο κάθε βηματοπορικός επιλογέας έχει μία είσοδο η οποία μπορεί να συνδεθεί σε μία από N εξόδους, όπου το N συνήθως ισούται με 10, 20, 50, 100 ή 200. Ο επιλογέας αυτός αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι ένα ακίνητο πλαίσιο (τράπεζα) N επαφών - εξόδων τοποθετημένο πάνω σε μία ημικυλινδρική επιφάνεια. Στο Σχήμα 2.5 δείχνονται δύο επιλογείς, ένας με 10 εξόδους (μονοβάθμια τράπεζα επαφών) και ένας με $5 \times 10 = 50$ εξόδους (διβάθμια τράπεζα επαφών). Το δεύτερο τμήμα είναι ένας κινούμενος βραχίονας (wiper) πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένη η επαφή της εισόδου.

Στην περίπτωση της διβάθμιας τράπεζας επαφών, ο βραχίονας κινείται κάθετα και οριζόντια έτσι ώστε να μπορεί να σημαδεύσει οποιαδήποτε έξοδο που βρίσκεται στο πλαίσιο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δύο ανεξάρτητοι βηματοπορικοί κινητηριακοί μηχανισμοί (κινητήρες). Ο πρώτος κινητήρας ενεργοποιείται άμεσα από τους επιλογικούς παλμούς που αποστέλλει ο καλών συνδρομητής και μετακινεί τον βραχίονα κάθετα τόσες θέσεις όσα και τα ψηφία του επιλεγόμενου αριθμού.

Αφού σταθεροποιηθεί ο βραχίονας σε συγκεκριμένη θέση τότε ενεργοποιείται ο δεύτερος κινητήρας ο οποίος περιστρέφει οριζόντια τον βραχίονα. Η ενεργοποίηση γίνεται με δύο δυνατούς τρόπους, είτε άμεσα καθοδηγούμενος από νέους επιλογικούς παλμούς (περίπτωση όπου ο καλών επιθυμεί τη σημάδευση συγκεκριμένης εξόδου), είτε αυτόματα με σκοπό να βρεθεί η πρώτη ελεύθερη έξοδος σε μια εξερχόμενη δέσμη γραμμών.

Ταυτόχρονα με την επιλογή των ψηφίων από τον καλούντα συνδρομητή, μέσα στην Επιλογική Μήτρα του ΤΚ δημιουργείται ένα τμήμα της τηλεφωνικής σύνδεσης. Προοδευτικά με την επιλογή όλων των ψηφίων, δημιουργούνται όλα τα τμήματα της σύνδεσης. Η ιδιότητα αυτή ήταν πολύ χρήσιμη αφού επιτρέπει την εύκολη επέκταση μιας Επιλογικής Μήτρας και γενικά βοηθά στην κατασκευή Επιλογικών Μητρών με ποικίλα μεγέθη. Εντούτοις, ο προοδευτικός έλεγχος εισαγάγει μερικούς σημαντικούς περιορισμούς, αφού δεν επιτρέπει τη χρήση:

1. εναλλακτικών οδύσεων (paths) μέσα από τις διάφορες βαθμίδες της Επιλογικής Μήτρας με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται συμφόρηση. Η άμεση επιλογή της αρχικής όδευσης δεν εγγυάται και την συνολική επιτυχή δρομολόγηση της κλήσης. Παρότι μπορεί να υπάρχουν ελεύθερες διαδρομές αυτές δεν είναι δυνατόν να επιλεγούν αφού δεν αλλάζει η αρχική όδευση της σύνδεσης.
2. στην τηλεφωνική συσκευή πληκτρολογίου αποστολής ψηφίων με τόνους (συνδυασμό) συχνοτήτων (push-button tone signaling), παρά μόνο επιλογικό δίσκο παλμικής επιλογής.
3. μεταφραστών και διανεμητών των αριθμών κλήσης.

Λόγω των λειτουργικών περιορισμών του προοδευτικού ελέγχου, οι βηματοπορικοί επιλογείς χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μικρών σε μέγεθος ΤΚ. Διαχρονικά, για τις ανάγκες μεταγωγής των διαφόρων τύπων ΤΚ χρησιμοποιήθηκαν διάφορες παραλλαγές του επιλογέα αυτού με περισσότερες ή λιγότερες επαφές και βραχίονες. Σε πολλές περιπτώσεις εισάγεται επιπρόσθετος εξωτερικός κεντρικός έλεγχος και μονάδες σηματοδοσίας που αναλαμβάνουν να οργανώσουν κεντρικά τη διαδικασία ανεύρεσης μονοπατιών στην επιλογική μήτρα, μηδενίζοντας με αυτόν τον τρόπο τους παραπάνω περιορισμούς.

2.4.1.2 Μεταγωγή με κεντροποιημένο (κοινό) ηλεκτρομηχανικό έλεγχο

Στην κατηγορία αυτή μεταγωγής, το κύριο χαρακτηριστικό (και πλεονέκτημα) είναι ότι οι λειτουργίες Ελέγχου είναι πλήρως απομονωμένες από την Επιλογική Μήτρα. Η Επιλογική Μήτρα είναι κατασκευασμένη από ειδικά επιλογικά όργανα, όπως για παράδειγμα τα ραβδεπαφικά πλαίσια (crossbar). Οι επιλογείς αυτοί είναι πλαίσια πάνω στα οποία έχουν τοποθετηθεί οριζόντιες και κάθετες μεταλλικές μπάρες (bars). Τα σημεία διασταύρωσης (cross-points) είναι μηχανικές επαφές με μαγνήτη τοποθετημένες πάνω στις μπάρες. Οι οριζόντιες έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται και οι κάθετες να μετακινούνται πλησιάζοντας τις οριζόντιες, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στις επαφές να κλείνουν και να αποκαθιστούν γαλβανική σύνδεση η οποία κλειδώνει με τη βοήθεια του μαγνήτη.

Όταν η σύνδεση διακόπτεται, η απώλεια του ρεύματος απενεργοποιεί το μαγνήτη οπότε απελευθερώνεται το σημείο διασταύρωσης.

Τα ραβδεπαφικά πλαίσια ελέγχονται και ενεργοποιούνται κεντρικά από έναν Κεντρικό Έλεγχο και όχι άμεσα από τον καλούντα συνδρομητή. Ο Κεντρικός Έλεγχος συλλέγει το σύνολο των επιλογικών ψηφίων, αναγνωρίζει την τελική διεύθυνση (καλούμενο συνδρομητή) και κατόπιν αρχίζει την επεξεργασία τους ώστε να σηματοδοτήσει το συνολικό μονοπάτι συνδέσεων (path) μέσα στην Επιλογική Μήτρα.

Η σημάδευση περιλαμβάνει διαδικασίες μετάφρασης των αριθμών και εξέταση εναλλακτικών οδύσεων. Ο Κεντρικός Έλεγχος παρέχει τη δυνατότητα της απευθείας χρήσης των λογικών διευθύνσεων (τηλεφωνικοί αριθμοί) ανεξάρτητα από τη φυσική αριθμοδότηση των γραμμών. Όταν εντοπιστεί το κατάλληλο μονοπάτι, ο Κεντρικός Έλεγχος μεταφέρει σε όλους τους επιλογείς που το απαρτίζουν την αναγκαία πληροφορία (με τη μορφή σημάτων ελέγχου) για την αποκατάσταση των επιλεγμένων συνδέσεων.

Στα αναλογικά TK και πριν τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η κατασκευή του Κεντρικού Ελέγχου βασίστηκε σε ηλεκτρομηχανικά στοιχεία κάνοντας χρήση της Ηλεκτρομηχανικής Ενσυρματωμένης Λογικής. Λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων της, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε επί μακρόν στα μεγάλα TK των αστικών και υπεραστικών δικτύων.

2.4.2 Μεταγωγή με έλεγχο ενταμιευμένου προγράμματος

Στα σύγχρονα TK η κατασκευή των Επιλογικών Μητρών βασίζεται σε επιλογείς που χρησιμοποιούν κυρίως ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Ο Έλεγχος στα κέντρα αυτά διακρίνεται σε Κεντρικό και Περιφερειακό και υλοποιείται με τη χρήση διασυνδεδεμένων ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων. Η μεταγωγή και ο έλεγχος γενικότερα του TK βασίζονται σε μόνιμα αποθηκευμένα προγράμματα σε συγκεκριμένους υπολογιστές του Κεντρικού και του Περιφερειακού Ελέγχου. Για το λόγο αυτό αναφερόμαστε σε TK με *Έλεγχο Ενταμιευμένου Προγράμματος (Stored Program Control – SPC)*.

Λειτουργικά η μεταγωγή με έλεγχο SPC είναι η εξέλιξη της μεταγωγής με κεντροποιημένο (κοινό) ηλεκτρομηχανικό έλεγχο. Ο έλεγχος SPC εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1956 από την εταιρεία Bell System στο TK με κωδικό 1-ESS που διέθετε κεντρικό έλεγχο βασισμένο σε υπολογιστή και Επιλογική Μήτρα που αποτελείτο από ραβδεπαφικά πλαίσια. Στα επόμενα χρόνια ο έλεγχος SPC αποτέλεσε τη βάση ανάπτυξης όλων των TK αναλογικών και ψηφιακών. Επισημαίνεται ότι η ύπαρξη ελέγχου SPC σε ένα TK δεν σχετίζεται άμεσα με την κατασκευή της Επιλογικής Μήτρας, η οποία μπορεί να είναι ηλεκτρομηχανικής, ηλεκτρονικής ή οπτικής τεχνολογίας.

Η μεταγωγή με έλεγχο SPC δίνει τη δυνατότητα ευέλικτων δρομολογήσεων των κλήσεων στην Επιλογική Μήτρα με άμεσο αποτέλεσμα τον περιορισμό, ή και το μηδενισμό ακόμα, της συμφόρησης. Επίσης, βοηθά στην εισαγωγή νέων διευκολύνσεων στο συνδρομητή (π.χ. συντεταγμένη επιλογή, προώθηση και αναμονή κλήσης, τριμερείς κλήσεις, κλπ) και απλοποιεί σημαντικά το έργο της διοίκησης και συντήρησης που εκτελούν οι τηλεφωνικές εταιρείες, αφού:

1. αυτοματοποιήθηκε ένα σημαντικό μέρος της διαχείρισης των γραμμών, που προηγουμένα απαιτούσε χειροκίνητη παρέμβαση στις συνδέσεις της Επιλογικής Μήτρας, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της συμφόρησης στην Επιλογική Μήτρα.
2. διαχωρίστηκε η φυσική από τη λογική αριθμοδότηση των συνδρομητικών γραμμών κάνοντας εύκολη την αλλαγή των αριθμών.
3. αυτοματοποιήθηκε η αναλυτική καταγραφή των στοιχείων κλήσης (αναλυτική χρέωση κάθε κλήσης χωριστά) καθώς και η ιχνηλάτηση των κλήσεων (call tracing).
4. δημιουργήθηκαν στατιστικά στοιχεία τηλεφωνικής κίνησης.

Ο έλεγχος SPC έδωσε τη δυνατότητα να αναπτυχθεί ένα πλήθος *τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών ευρείας ζώνης (Wide Area Telecommunication Services – WATS)*. Παράδειγμα υπηρεσίας WATS είναι αυτή που επιτρέπει σε ομάδες συνδρομητών (π.χ. εταιρείες) να πραγματοποιούν (OUTWATS) ή να δέχονται (INWATS) υπεραστικές κλήσεις οι οποίες να χρεώνονται συνολικά και

όχι ατομικά. Οι υπηρεσίες WATS δίνονται σε επιλεγμένες περιοχές και πάνω από ειδικού τύπου εξοπλισμό κέντρου και δικτύου.

2.5 ΔΗΜΟΣΙΟ ΕΠΙΛΕΓΟΜΕΝΟ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (PSTN)

Κάθε TK έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετεί έναν περιορισμένο αριθμό συνδρομητών οι οποίοι εκτείνονται σε μία συγκεκριμένη αστική περιοχή (local area) και σε μία μέγιστη απόσταση από αυτό (περίπου 30 Km). Καθώς ο αριθμός των συνδρομητών στην αστική περιοχή αυξάνει και το υπάρχον TK δεν μπορεί να ανταποκριθεί, λόγω περιορισμένων δυνατοτήτων, κρίνεται αναγκαία η εισαγωγή ενός ή περισσότερων νέων TK στην ίδια περιοχή. Με τον τρόπο αυτό οι συνδρομητές της αστικής περιοχής χωρίζονται σε ζώνες, όπου κάθε ζώνη εξυπηρετείται από το δικό της TK.

Τα TK της περιοχής διασυνδέονται μεταξύ τους με ειδικές γραμμές που ονομάζονται *ζευκτικές γραμμές ή ζεύξεις* (στην Αμερική αναφέρονται ως trunks ή tie-lines και στην Ευρώπη ως junctions). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός νέου δικτύου το οποίο διασυνδέει τα TK της αστικής περιοχής που αναφέρεται ως *αστικό ζευκτικό δίκτυο (local area network - ο όρος αυτός δεν πρέπει να συγχέεται με τον αντίστοιχο όρο LAN που χρησιμοποιείται στα δίκτυα υπολογιστών)*. Κατά συνέπεια σε μια αστική περιοχή συνυπάρχουν δύο ανεξάρτητα δίκτυα, το συνδρομητικό και το ζευκτικό δίκτυο, τα οποία από κοινού απαρτίζουν το αστικό τηλεφωνικό δίκτυο.

Από την πλευρά του TK η ανάγκη εξυπηρέτησης ταυτόχρονα του συνδρομητικού και του ζευκτικού δικτύου επιφέρει σημαντική αύξηση των λειτουργιών ελέγχου και σηματοδότησης. Παράλληλα, η ζευκτική μήτρα ενισχύεται με επιλογείς που αναλαμβάνουν τη μεταγωγή τηλεφωνικών κλήσεων μεταξύ των συνδρομητικών και των ζευκτικών γραμμών. Σε αυτήν την περίπτωση οι N εισερχόμενες και εξερχόμενες γραμμές του Σχήματος 2.4 αφορούν το σύνολο των γραμμών του αστικού δικτύου του TK.

Ειδική κατηγορία τηλεφωνικών δικτύων αποτελούν τα *αγροτικά δίκτυα (rural area networks)* τα οποία εξυπηρετούν ημιαστικές ή αγροτικές περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη διασπορά των συνδρομητών σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Το συνδρομητικό δίκτυο είναι πολύ μεγάλο σε μήκος ενώ η τηλεφωνική κίνηση είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα και όχι σταθερή στη διάρκεια του έτους (π.χ. τουριστικές περιοχές με υψηλή κίνηση την τουριστική περίοδο και σχεδόν μηδενική τους υπόλοιπους μήνες). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται TK και συνδρομητικοί βρόχοι με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Μια άλλη ειδική κατηγορία TK είναι τα ιδιωτικά συνδρομητικά κέντρα και τα κέντρα Σέντρεξ τα οποία αναλύονται στη συνέχεια του παρόντος Κεφαλαίου.

Η ανάγκη των συνδρομητών για την αποκατάσταση συνδέσεων με συνδρομητές άλλων αστικών περιοχών οδήγησε στην ανάπτυξη νέων υπερκείμενων δικτύων, όπως τα υπεραστικά ή εθνικά δίκτυα (toll area networks ή national networks) και τα διεθνή τηλεφωνικά δίκτυα (international networks).

Το σύνολο όλων των παραπάνω δικτύων απαρτίζουν το *Δημόσιο Επιλεγόμενο Τηλεφωνικό Δίκτυο (Public Switched Telephone Network – PSTN)*. Στο PSTN διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες κλήσεων:

1. *αστικές κλήσεις (local calls)* μεταξύ συνδρομητών της ίδιας αστικής περιοχής.
2. *υπεραστικές κλήσεις (toll calls ή long-distance calls)* μεταξύ συνδρομητών από διαφορετικές αστικές περιοχές.
3. *διεθνείς κλήσεις (international calls)* μεταξύ συνδρομητών από διαφορετικές χώρες.

2.5.1 Ιεραρχία Τηλεφωνικών Κέντρων κατά Bell

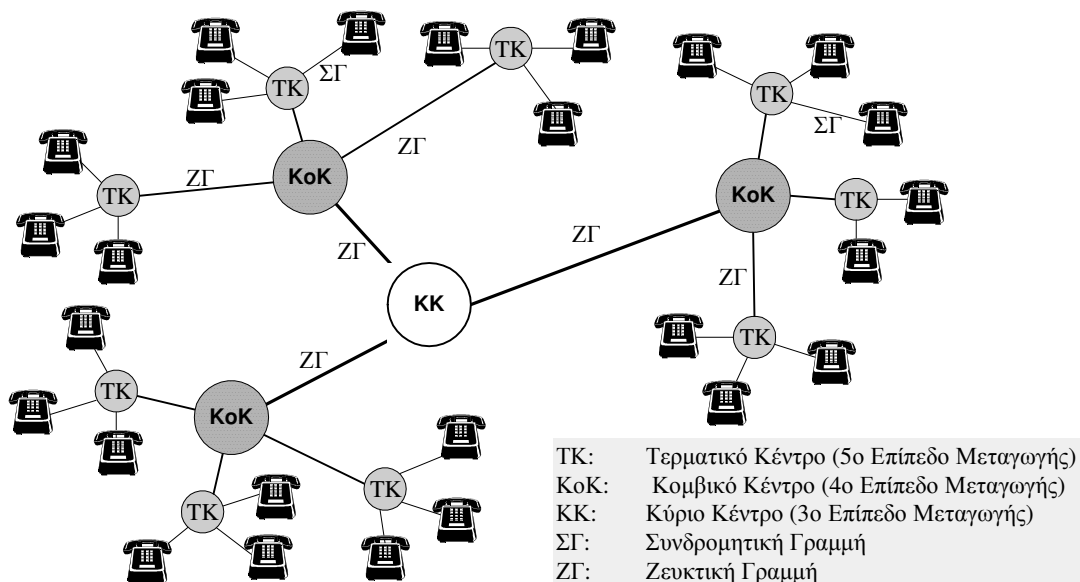
Για την καλύτερη ανάπτυξη και διαχείριση των υπηρεσιών μεταγωγής, κάθε χώρα διαιρέθηκε σε ευρύτερες και στενότερες τηλεφωνικές ζώνες (πρωτεύουσα, περιφέρεια, τομέας και κόμβος) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πολυεπίπεδου PSTN. Με τον τρόπο αυτό διαχρονικά προέκυψε μία

ιεραρχία ΤΚ αποτελούμενη από πέντε επίπεδα μεταγωγής η οποία αναφέρεται ως ιεραρχία Bell. Στο πέμπτο (κατώτερο) επίπεδο εντάσσονται τα ΤΚ που παρέχουν υπηρεσίες άμεσης μεταγωγής στους τοπικούς βρόχους των συνδρομητών, ενώ στα τέσσερα ανώτερα επίπεδα εντάσσονται τα ΤΚ που παρέχουν υπηρεσίες μεταγωγής υπεραστικού δικτύου. Ειδικότερα:

1. στο πρώτο επίπεδο εντάσσονται τα *Πρωτεύοντα Κέντρα (ΠΚ)*. Η Ελλάδα είναι χωρισμένη σε οκτώ πρωτεύουσες τηλεφωνικές ζώνες: Αθήνα, Υπόλοιπα Αττικής-Νήσων Αιγαίου, Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Καβάλα, Πάτρα, Τρίπολη και Ηράκλειο. Κάθε πρωτεύουσα τηλεφωνική ζώνη εξυπηρετείται από ένα ΠΚ.
2. στο δεύτερο επίπεδο εντάσσονται τα *Περιφερειακά Κέντρα*.
3. στο τρίτο επίπεδο εντάσσονται τα *Τομεακά Κέντρα*. Στην Ελλάδα όπου οι πρωτεύουσες περιοχές δεν είναι μεγάλες οι περιφέρειες και οι τομείς αναφέρονται από κοινού ως *Κύριες Περιοχές* και τα Τομεακά και τα Περιφερειακά κέντρα αναφέρονται ως *Κύρια Κέντρα (ΚΚ)*.
4. στο τέταρτο επίπεδο εντάσσονται τα *Κομβικά Κέντρα (ΚοΚ)* τα οποία κάνουν μεταγωγή κίνησης προερχόμενη από τα ΤΚ μιας αστικής περιοχής προς το υπεραστικό δίκτυο και αντίστροφα.

Η ύπαρξη πολλών επιπέδων μεταγωγής διευκολύνει την οργάνωση και την επέκταση του PSTN με χαμηλό κόστος και μεγάλη αξιοπιστία. Παραδοσιακά, τα ανώτερα τέσσερα επίπεδα όριζαν το υπεραστικό δίκτυο PSTN ενώ το κατώτερο (πέμπτο) επίπεδο όριζε το αστικό PSTN. Στα σημερινά τηλεφωνικά δίκτυα, λόγω της μεγάλης κινησιφόρου ικανότητας των ΤΚ και λόγω των νέων τεχνολογιών διασύνδεσής τους (π.χ. οπτικοί δακτύλιοι), τα όρια αυτά έχουν τροποποιηθεί και σε πολλές περιπτώσεις τα δύο δίκτυα (αστικό και υπεραστικό) έχουν ενοποιηθεί και παρέχονται με ενιαία χρέωση κλήσεων.

Όμως, για την καλύτερη κατανόηση και εκμάθηση των μηχανισμών μεταγωγής και μετάδοσης στα τηλεφωνικά δίκτυα θεωρούμε μόνο ιεραρχημένα δίκτυα PSTN. Στα Σχήματα 2.6 και 2.7 δείχνεται η διασύνδεση εννέα ΤΚ με τη χρήση δύο εναλλακτικών δομών. Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται η διασύνδεση των ΤΚ μέσω μίας ιεραρχικής δομής δικτύου τριών επιπέδων (διπλού αστέρα), ενώ στο Σχήμα 2.7 μέσω μιας διαπλεγμένης (mesh) δομής όπου όλα τα ΤΚ έχουν άμεση διασύνδεση.



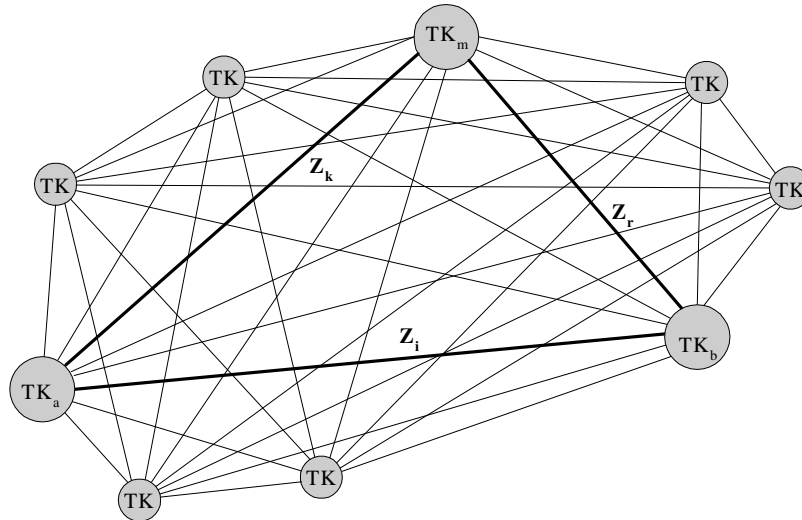
Σχήμα 2.6: Ιεραρχικό δίκτυο κέντρων τύπου Bell τριών επιπέδων

Προφανώς, τα ιεραρχικά δίκτυα απαιτούν περισσότερους κόμβους (π.χ. ΚοΚ και ΚΚ) αλλά επιτυγχάνεται σημαντική ελάττωση του αριθμού των ζευξών μεταξύ των ΤΚ. Ο προσδιορισμός του συνολικού αριθμού ζευξών σε κάθε δίκτυο είναι απαραίτητως μια συνάρτηση της ποσότητας της

ανταλλασσόμενης κίνησης μεταξύ όλων των ζευγών TK. Ειδικότερα στη διαπλεγμένη δομή, αν N είναι ο αριθμός των κόμβων, τότε ο συνολικός αριθμός συνδέσεων (ζεύξεων) N_c μεταξύ των TK δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$N_c = N(N-1)/2 \quad (2.1)$$

Το δίκτυο του Σχήματος 2.7 έχει 36 συνδέσεις αντί 12 του δικτύου του Σχήματος 2.6.



Σχήμα 2.7: Δίκτυο διαπλεγμένης (mesh) δομής

Μια λιγότερο φανερή διαφορά μεταξύ των δύο δομών έχει σχέση με τη μέθοδο αποκατάστασης σύνδεσης μεταξύ δυο TK. Στο ιεραρχικό δίκτυο υπάρχει μία και μόνο διαδρομή μεταξύ δυο TK μεταγωγής, που αναφέρεται ως *κανονική ή βασική ζευκτική γραμμή (B-ZΓ)* και επιτρέπει την ταυτόχρονη αποκατάσταση πολλών κλήσεων. Αν όμως η B-ZΓ παρουσιάσει υπερφόρτωση, λόγω πολλών ταυτόχρονων κλήσεων, τότε δεν υπάρχει δυνατότητα ανεύρεσης νέας εναλλακτικής όδευσης των νέων κλήσεων και οι κλήσεις αυτές απορρίπτονται.

Ομοίως, στο δίκτυο διαπλεγμένης δομής οι απευθείας ζεύξεις επιτρέπουν σε περισσότερες από μια συνδέσεις να αποκατασταθούν ταυτόχρονα μεταξύ των δύο TK. Αν όμως η απευθείας ζεύξη δεν είναι διαθέσιμη (εξαιτίας υπερφόρτωσης ή δυσλειτουργίας του εξοπλισμού) και αν οι διακόπτες του TK (κατώτερο επίπεδο μεταγωγής) μπορούν να παρέχουν συνδέσεις από ζεύξη σε ζεύξη, δυνατότητα που αναφέρεται ως *διαβίβαση (tandem)*, τότε η διαπλεγμένη δομή παρέχει πολλές εναλλακτικές διαδρομές για την αποκατάσταση συνδέσεων μεταξύ των οποιονδήποτε δυο TK.

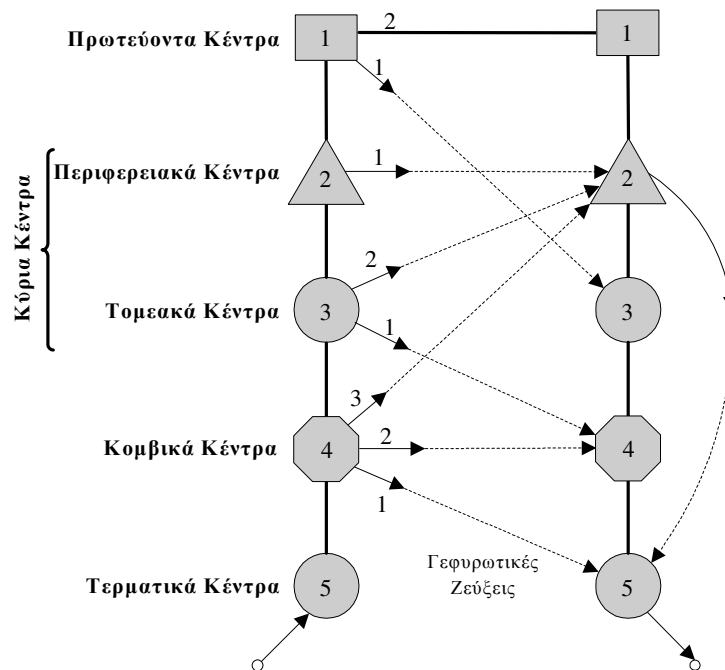
Για παράδειγμα αν η ζεύξη Z_i που διασυνδέει το TK_a με το TK_b , παρουσιάζει υπερφόρτωση και αν το TK_m παρέχει δυνατότητα διαβίβασης μέσω των ζεύξεων Z_k και Z_r τότε όλες οι νέες κλήσεις θα οδηγούνται στο TK_b δια μέσου των ζεύξεων Z_k και Z_r . Με βάση τα παραπάνω είναι εμφανές ότι και οι δύο δομές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, οπότε δεν είναι επιθυμητή μια καθαρά διαπλεγμένη ή μια καθαρά ιεραρχική δομή, αλλά μια μικτή δομή.

2.5.2 Εναλλακτική δρομολόγηση – διαβίβαση τηλεφωνικής κίνησης

Το Σχήμα 2.8 παρουσιάζει μια μικτή δομή, δηλαδή σύνθετη ιεραρχική και διαπλεγμένη δομή. Το βασικό δίκτυο κορμού (backbone) του ιεραρχικού δικτύου Bell (δηλαδή το σύνολο των B-ZΓ) αυξάνεται με την εισαγωγή απευθείας-εναλλακτικών ζεύξεων (που αναπαρίστανται με διακεκομμένες γραμμές) μεταξύ εκείνων των κόμβων μεταγωγής (TK) που παρουσιάζουν υψηλές τιμές δια-κομβικής κίνησης. Οι απευθείας ζεύξεις είναι ζεύξεις υψηλής χρήσης και αναφέρονται ως *γεφυρωτικές ζεύξεις (ΓΖ)*. Σε κανονικές συνθήκες φορτίου, η κίνηση μεταξύ δυο τέτοιων κόμβων δρομολογείται δια μέσου των ΓΖ. Αν όμως οι ΓΖ είναι απασχολημένες, γεγονός που συνήθως συμβαίνει σε ώρες αιχμής, τότε

το ιεραρχικό δίκτυο ενεργοποιεί την εναλλακτική δρομολόγηση των κλήσεων δια μέσου των Β-ΖΓ. Η εναλλακτική αυτή δρομολόγηση βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου.

Η κίνηση πάντα δρομολογείται από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα διαθέσιμα επίπεδα του δικτύου. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί κατά βάση το δικτυακό εξοπλισμό των χαμηλότερων επιπέδων. Επίσης, παράγει καλύτερη ποιότητα κυκλώματος σύνδεσης λόγω της χρήσης μικρότερων διαδρομών και λιγότερων σημείων μεταγωγής. Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται η βασική σειρά επιλογής των εναλλακτικών δρομολογήσεων (πρώτα η ΓΖ₁, μετά η ΓΖ₂, μετά η ΓΖ₃).

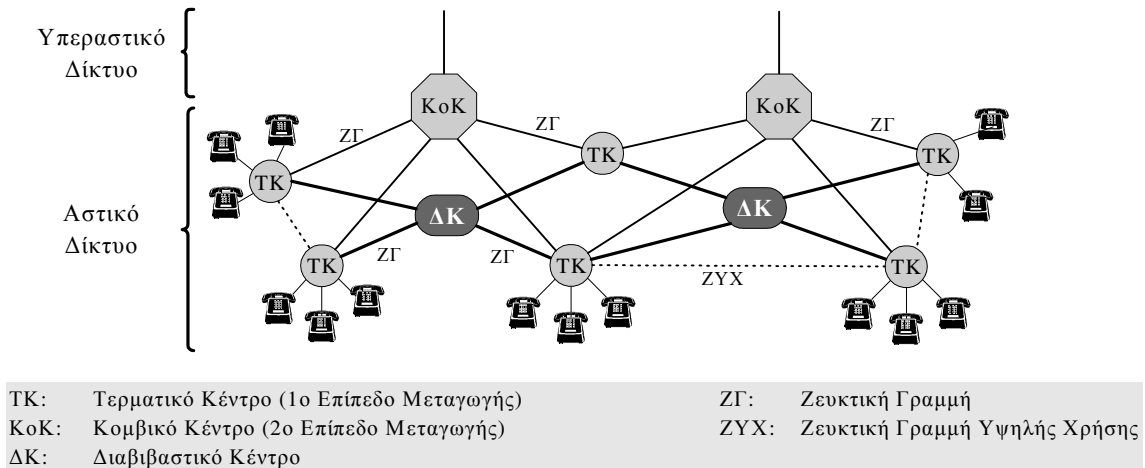


Σχήμα 2.8: Ιεραρχικό δίκτυο Bell εναλλακτικής δρομολόγησης κλήσεων

Η χρήση των ΓΖ απαιτεί την εισαγωγή στο PSTN πρόσθετων δυνατοτήτων μεταγωγής που αναφέρεται ως *διαβατική ή διαβιβαστική μεταγωγή (tandem switch)*. Στα υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας Bell (ΠΚ και ΚΚ) η διαβιβαστική μεταγωγή ενσωματώνεται στα ίδια τα κέντρα και παρέχεται άμεσα από αυτά. Στο επίπεδο των ΚοΚ η μεταγωγή αυτή μπορεί να παρέχεται άμεσα από τα ΚοΚ ή να αποτελεί ανεξάρτητη μονάδα μεταγωγής και να παρέχεται από κέντρα ειδικού τύπου τα οποία αναφέρονται ως *Διαβιβαστικά Κέντρα (ΔΚ)*.

Γενικά κάθε κόμβος μεταγωγής που παρεμβάλλεται για τη δημιουργία του μονοπατιού μιας κλήσης μεταξύ δύο ΤΚ εκτελεί διαβιβαστική μεταγωγή. Συνεπώς και τα τέσσερα ανώτερα επίπεδα μεταγωγής του συστήματος Bell παρέχουν υπηρεσίες διαβιβαστικής μεταγωγής. Συνήθίζεται όμως ο όρος διαβιβαστική μεταγωγή να χρησιμοποιείται περισσότερο στην περίπτωση των αστικών συνδέσεων δια μέσου του ΔΚ και λιγότερο σε υπεραστικές συνδέσεις. Στο Σχήμα 2.9 δείχνεται μια δομή όπου τα ΔΚ αποτελούν τμήμα του αστικού και όχι του υπεραστικού δικτύου παρέχοντας μεταγωγή σε κίνηση που παράγεται από τα ΤΚ.

Η βασική λειτουργία που εκτελεί το ΔΚ είναι να διασυνδέει εκείνα τα ΤΚ που ανταλλάσσουν χαμηλούς όγκους κίνησης και δεν δικαιολογείται οικονομικά η ανάπτυξη απευθείας ζεύξης. Τα ΔΚ παρέχουν επίσης εναλλακτικές οδεύσεις σε κλήσεις όταν οι άμεσες ζεύξεις παρουσιάζουν συμφόρηση. Μολονότι το Σχήμα 2.9 δείχνει τα ΔΚ σαν ανεξάρτητες φυσικές οντότητες, σε σχέση με τα ΤΚ και τα ΚοΚ, στην πράξη τα ΔΚ συνδυάζονται και με τους δύο αυτούς τύπους κέντρων (συνήθως συστεγάζονται με ένα τέτοιο κέντρο).



Σχήμα 2.9: Ιεραρχικό δίκτυο Bell εναλλακτικής δρομολόγησης κλήσεων

Επισημαίνεται ότι ανεξάρτητα από το εάν χρησιμοποιείται μια καθαρά ιεραρχική δομή ή μία μικτή δομή, σε λειτουργικό επίπεδο διακρίνονται σαφώς οι διαδικασίες μεταγωγής του αστικού και του υπεραστικού δικτύου. Η απομόνωση του αστικού και του υπεραστικού δικτύου γίνεται από τα ΚοΚ. Για το λόγο αυτό τα ΚοΚ εντάσσονται στα υπεραστικά κέντρα (toll exchanges στην Ευρώπη ή toll centers στην Αμερική). Ο διαχωρισμός των δύο δικτύων απλουστεύει σημαντικά τις λειτουργίες μεταγωγής των ΔΚ, αφού οι λειτουργίες χρέωσης και δρομολόγησης των κλήσεων στο υπεραστικό δίκτυο αφορούν τη συνεργασία του ΚοΚ με τα υποκείμενα TK (π.χ. υπολογισμός της χρονική διάρκεια των κλήσεων ώστε να γίνεται η χρέωσή τους). Η λειτουργική διάκριση των ΔΚ από τα ΚοΚ, συνεπάγεται ότι οι ΖΓ που χρησιμοποιούν τα ΔΚ για να συνδεθούν με τα TK είναι πλήρως απομονωμένες από τις αντίστοιχες αστικές ΖΓ που διασυνδέουν τα TK με το ΚοΚ.

Σημειώνεται ότι πριν την εισαγωγή των κέντρων με έλεγχο SPC η χρέωση ήταν μια πολύπλοκη διαδικασία που επηρέαζε σημαντικά τη δομή και τη διαχείριση του τηλεφωνικού δικτύου. Τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες, όπως και στην Ελλάδα, γίνεται προσπάθεια δημιουργίας ενός ενιαίου τηλεφωνικού δικτύου με ενιαίο τρόπο επιλογής και χρέωσης των αστικών και υπεραστικών κλήσεων κάνοντας χρήση ενιαίου αριθμού κλήσης.

2.5.3 Συνδρομητικά Τηλεφωνικά Κέντρα

Με τον όρο *Συνδρομητικά Τηλεφωνικά Κέντρα* (*Private Branch Exchanges - PBX*) αναφέρονται όλα τα είδη ιδιωτικών τηλεφωνικών κέντρων τα οποία ανήκουν σε επιχειρήσεις ή οργανισμούς. Τα PBX παρέχουν τη δυνατότητα διασύνδεσης όλων των εσωτερικών τηλεφώνων καθώς και προσπέλαση στο PSTN μέσω αφιερωμένης δέσμης γραμμών (συνδρομητική ή τοπική ζευκτική).

Τα PBX υπάγονται υποχρεωτικά σε κάποιο TK από όπου παίρνουν αριθμοδότηση, δημιουργώντας έτσι μια υποκατηγορία στην ιεραρχία Bell. Τα πρώτα PBX ήταν χειροκίνητα ενώ στη συνέχεια έγιναν αυτόματα, η δε τεχνολογία τους συνήθως προηγείται χρονικά αυτής των δημόσιων TK.

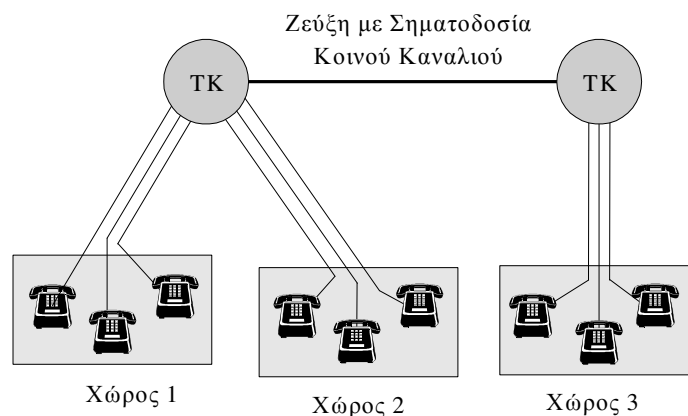
Για πολλές δεκαετίες στα PBX εφαρμόζονται οι πλέον πρωτοποριακές τεχνολογίες, ενώ από εμπορικής πλευράς, καταλαμβάνουν το υψηλότερο και πλέον ανταγωνιστικό τμήμα της παγκόσμιας αγοράς τηλεπικοινωνιών όπου δραστηριοποιούνται πολλοί ανεξάρτητοι κατασκευαστές. Η χρήση ελέγχου SPC στα PBX προσφέρει περισσότερες δυνατότητες στο χρήστη απ' ότι ο έλεγχος SPC στα TK. Πέραν της εξατομίκευσης των χαρακτηριστικών κλήσης των χρηστών (π.χ. συντεταγμένη επιλογή), ένα PBX παρέχει πλήθος δυνατοτήτων διαχείρισης, όπως:

1. εφαρμογή διαφόρων πολιτικών χρέωσης, όπου παρέχονται αναλυτικές λογιστικές καταστάσεις ανά χρήστη ή τμήμα και ανά επιλεγμένη χρονική περίοδο.

2. διάκριση πολλαπλών κατηγοριών ανά υπηρεσία (multiple classes of service) που παρέχουν προτεραιότητες και περιορισμούς πρόσβασης στο δημόσιο δίκτυο.
3. εφαρμογή κριτηρίων δρομολόγησης ελάχιστου κόστους κατά την αυτόματη επιλογή ζευκτικής γραμμής, ή κυκλωμάτων του δημόσιου ΤΚ στο οποίο υπάγεται το κέντρο PBX.
4. αυτόματη επανάκληση (callback) όταν τα κυκλώματα είναι κατειλημμένα.
5. παρακολούθηση και ανάλυση της τηλεφωνικής κίνησης με σκοπό τον καθορισμό του βαθμού χρησιμοποίησης των κυκλωμάτων ή της πιθανότητας συμφόρησης και της οικονομικής αποδοτικότητας του δικτύου.

2.5.4 Συστήματα Σέντρεξ

Πολλές από τις δυνατότητες που παρέχονται από τα κέντρα PBX είναι δυνατόν να παρέχονται από το ίδιο το PSTN με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού στα ΤΚ. Οι δυνατότητες αυτές αναφέρονται ως *δυνατότητες Σέντρεξ (Centrex feature)* και απευθύνονται κυρίως σε επιχειρήσεις. Στο χώρο της επιχείρησης, κάθε συσκευή τύπου Σέντρεξ (εσωτερικό τηλέφωνο ή συσκευή μετάδοσης δεδομένων) συνδέεται με το δημόσιο ΤΚ μέσα από έναν αφιερωμένο δρόμο που μπορεί να είναι είτε μια απλή δισύρματη γραμμή (παλαιότερα συστήματα) είτε ένα κανάλι φωνής στα σύγχρονα συστήματα πολύπλεξης (Σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10: Σύστημα Σέντρεξ καταμεμημένα σε τρεις χώρους

Με τον τρόπο αυτό διασύνδεσης, κάθε συσκευή τύπου Σέντρεξ (Centrex extension) έχει μία αφιερωμένη απευθείας σύνδεση στο ΤΚ μέσω ενός συγκεκριμένου τηλεφωνικού αριθμού του δημόσιου δικτύου. Οι συσκευές Σέντρεξ που ευρίσκονται σε διαφορετικούς χώρους αποτελούν μια κλειστή ομάδα χρηστών (close user group) που επικοινωνούν κατά διαφανή τρόπο. Ένα ειδικό τμήμα του λογισμικού του ΤΚ διαχειρίζεται κεντρικά τις συσκευές Σέντρεξ παρέχοντας στις κλειστές ομάδες χρηστών τις παρακάτω δυνατότητες:

1. διεπιλογή (direct dialing) κάθε εσωτερικού τηλεφώνου τύπου Centrex της επιχείρησης από το δημόσιο δίκτυο.
2. κλήση από σταθμό-σε-σταθμό (ή από τηλέφωνο-σε-τηλέφωνο) χρησιμοποιώντας εσωτερικά νούμερα αντί του πλήρους αριθμού κλήσης (συντεταγμένη επιλογή).
3. κοινές φωνητικές υπηρεσίες, όπως προώθηση, αναμονή, μεταφορά, τυχαία ανάληψη (pick up) και τριμερείς κλήση.
4. πολλαπλοί χώροι με διαφανή σχέδια αριθμοδότησης (numbering plans) και υπηρεσίες. Συστήματα Centrex που εκτείνονται σε αστικές περιοχές μπορούν να εξυπηρετηθούν από πολλά ΤΚ τα οποία διασυνδέονται από κανάλια κοινής σηματοδοσίας (Κεφάλαιο 2.13).

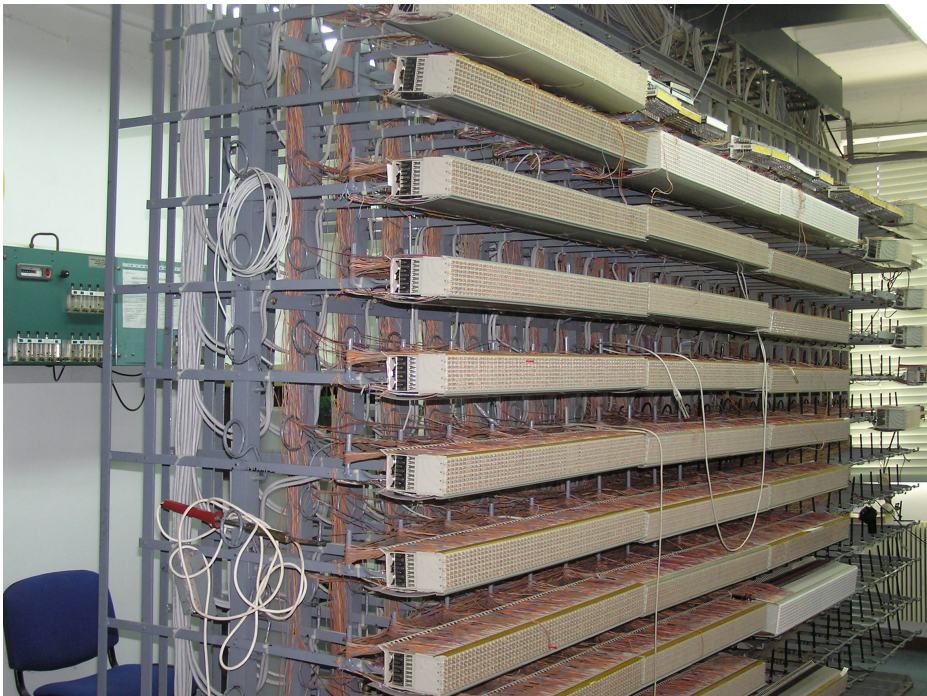
5. κεντρική θέση τηλεφωνήτριας και λήψης μηνυμάτων με πληροφορίες προέλευσης κλήσεων ώστε να εκτελούνται οι σωστές διεργασίες προώθησης κλήσεων.
6. μεγάλη διαθεσιμότητα επειδή οι τερματικές συσκευές και οι γραμμές μετάδοσης είναι άμεσα συνδεδεμένες και τροφοδοτούνται ηλεκτρικά από τα συστήματα αδιάλειπτης τροφοδοσίας (UPS) του ΤΚ.
7. δυνατότητα απεριόριστης επέκτασης της κλειστής ομάδα χρηστών.

2.6 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΟ PSTN

Κατά τα πρώτα χρόνια της τηλεφωνίας οι αγωγοί (καλώδια) μετάδοσης φωνητικών σημάτων κατασκευάζονταν από δύο μη μονωμένα παράλληλα χάλκινα καλώδια τα οποία μεταφέρονταν πάνω από κολόνες. Η τεχνολογία αυτή παρουσίαζε σημαντικά μειονεκτήματα (υψηλό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης, δυσκολίες συντήρησης, κλπ) και πολύ σύντομα (μόλις από το 1883) αναπτύχθηκε ένας νέος τύπος καλωδίων που βασίζεται στην τεχνολογία των συνεστραμμένων ζευγών αγωγών (twisted wire pair). Τα αυτά καλώδια διαθέτουν κατάλληλη μόνωση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά διαφόρους τρόπους, κυρίως στα συνδρομητικά δίκτυα.

Πολλά συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων ενσωματώνονται σε ένα ενιαίο καλώδιο το οποίο αναφέρεται ως *πολύζευγο καλώδιο (multipair cable)*. Κάθε πολύζευγο καλώδιο μπορεί να περιέχει από 6 έως 2700 ανεξάρτητα συνεστραμμένα δισύρματα καλώδια, ή 3 έως 1350 τετρασύρματα καλώδια. Τα πολύζευγα καλώδια χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις όπου μεταφέρεται συγκεντρωμένη τηλεφωνική κίνηση, όπως για παράδειγμα στη διασύνδεση δύο διαφορετικών ΤΚ (ζευκτικό δίκτυο) ή στην προσπέλαση ομάδας συνδρομητών σε αστική ή ημιαστική περιοχή.

Με την εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας, τόσο στη μεταγωγή όσο και στη μετάδοση, δημιουργήθηκε η ανάγκη να διακριθούν πλήρως οι δύο δρόμοι μετάδοσης της πληροφορίας, Άλλη δισύρματη γραμμή απαιτείται για τη μεταφορά των ψηφιακών σημάτων φωνής από την τηλεφωνική συσκευή στο ΤΚ και άλλη για την επιστροφή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την τυποποίηση τετρασύρματων καλωδίων που είναι συνεστραμμένα ανά δύο.



Σχήμα 2.11: Κεντρικός Καταναμητής ΤΚ

Εκτός των παραπάνω τύπων καλωδίων, στην τηλεφωνία χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια, όπως τα ομοαξονικά καλώδια και οι οπτικές ίνες, σαν φορείς (carriers) για την μετάδοση πολυπλεγμένων σημάτων φωνής.

Στο ΤΚ, το ζευκτικό και το συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης τερματίζουν από κοινού σε μια ειδική μονάδα που αναφέρεται ως *Κεντρικός Κατανεμητής (Main Distribution Frame -MDF)*. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11, κατασκευαστικά ο Κεντρικός Κατανεμητής αποτελείται από ένα ειδικό ερμάριο (rack) το οποίο είναι τοποθετημένο στο δάπεδο ενός ειδικού δωματίου και έχει διαστάσεις περίπου 2m ύψος και αρκετά μέτρα μήκος ανάλογα με τον αριθμό των καλωδίων που τερματίζουν.

Το ζευκτικό και το συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης τερματίζουν από κοινού στην μία πλευρά του Κεντρικού Κατανεμητή ενώ στην άλλη πλευρά τερματίζουν τα αντίστοιχα καλώδια που έρχονται από το ΤΚ. Η διασύνδεση (μεικτονόμηση) των δύο πλευρών γίνεται με επιπρόσθετο καλώδιο έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη αλλαγή των συνδέσεων μεταξύ των εξόδων του ΤΚ και των δικτύων.

2.6.1 Ζευκτικά δίκτυα

Τα ΤΚ όλων των βαθμίδων της ιεραρχίας Bell διασυνδέονται με ζεύξεις. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το μήκος της κάθε ζεύξης ποικίλει ανάλογα με το είδος των ΤΚ που διασυνδέει. Στα αστικά δίκτυα το μήκος μιας αστικής ζεύξης είναι συγκρίσιμο με αυτό του τοπικού βρόχου, ενώ στα υπεραστικά δίκτυα το μήκος μιας ζεύξης είναι πολύ μεγάλο και εξαρτάται άμεσα από την τοπολογία διασύνδεσης των ΤΚ των ανώτερων βαθμίδων της ιεραρχίας Bell.

Τα ζευκτικά αστικά και υπεραστικά δίκτυα είναι συστήματα ευρείας μετάδοσης αφού αναλαμβάνουν να μεταφέρουν ταυτόχρονα ένα μεγάλο πλήθος φωνητικών σημάτων από άκρο σε άκρο. Για το λόγο αυτό τα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλής απόσβεσης και υψηλής τεχνολογίας, όπως για παράδειγμα συνεστραμμένα πολύζευγα ή ομοαξονικά καλώδια (coaxial cables), οπτικές ίνες (optical fibbers), δισημειακές μικροκυματικές - ασυρματικές ζεύξεις (point-to-point microwave - radio link). Από τη φύση τους, τα ζευκτικά δίκτυα είναι πολύπλοκα και δαπανηρά, τόσο στην κατασκευή όσο και στην εγκατάσταση και επίβλεψή τους.

2.6.2 Αστικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης

Το τοπικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης έχει αρθρωτή δομή (πολλές φορές αναφέρεται και ως Αρθρωτό Δίκτυο) και διακρίνεται σε δύο βασικά τμήματα, στο *Κύριο Δίκτυο* και στο *Δίκτυο Διανομής*.

Το *Κύριο Δίκτυο (ΚΔ)*, το οποίο στα κλασσικά δίκτυα απαρτίζεται από συνεστραμμένα πολύζευγα καλώδια που μεταφέρουν συγκεντρωτικά την κίνηση σε ένα μεγάλο αριθμό συνδρομητών. Κάθε τέτοιο καλώδιο μπορεί να περιέχει 300, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1800, 2000 ή 2400 ζεύγη καλωδία τα οποία συνήθως περιβάλλονται από ειδικό περίβλημα (π.χ. αεροστεγείς μολύβδινες σωλήνες που εμπεριέχουν ευγενές αέριο). Ο αριθμός και το μέγεθος των καλωδίων που απαρτίζουν το Κύριο Δίκτυο είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως η γεωγραφική κατανομή συνδρομητών, η τοπολογία εφεδρικού δικτύου, κλπ.

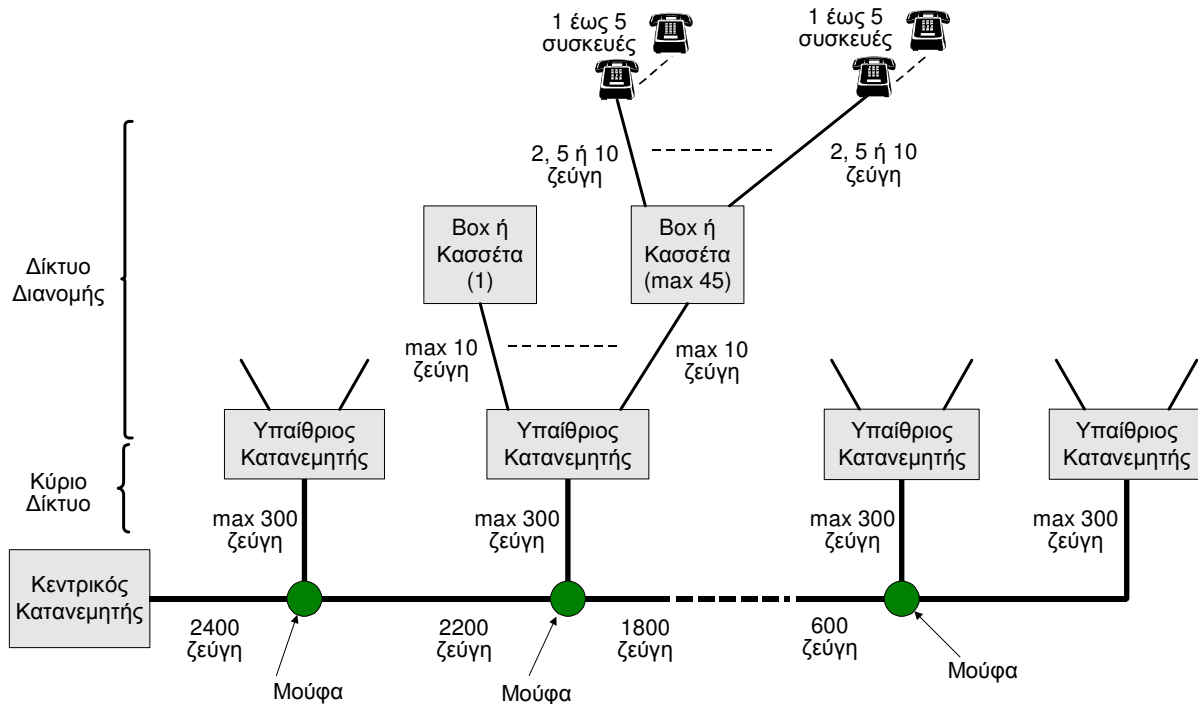
Στα σύγχρονα δίκτυα το Κύριο Δίκτυο απαρτίζεται από οπτική ίνα μέσω της οποίας πολυπλέκονται τα φωνοσήματα με τον ίδιο τρόπο που πολυπλέκονται στις οπτικές ζεύξεις. Στη μία του πλευρά, το ΚΔ τερματίζει στον Κεντρικό Κατανεμητή, ενώ στην άλλη του πλευρά τερματίζει σε ένα σύνολο από *Υπαίθριους Κατανεμητές*. Στο Σχήμα 2.12 δείχνεται ένα παράδειγμα αρθρωτής διασύνδεσης οκτώ Υπαίθριων Κατανεμητών με χρήση καλωδίου 2400 ζευγών.

Ο κάθε Υπαίθριος Κατανεμητής έχει τη δυνατότητα να διασυνδέεται με τον Κεντρικό Κατανεμητή με 300 ζεύγη γραμμών το μέγιστο. Στον πρώτο Υπαίθριο Κατανεμητή αποσπώνται από τα 2400 ζεύγη του αρχικού καλωδίου (μέσα από ειδική μούφα) τα 300 ζεύγη. Μετά από κάθε μούφα, το Κύριο Δίκτυο επεκτείνεται χρησιμοποιείοντας καλώδιο με μικρότερο αριθμό ζευγών.

Οι Υπαίθριοι Κατανεμητές οριοθετούν την αρχή του *Δικτύου Διανομής (ΔΔ)*. Από κάθε Υπαίθριο Κατανεμητής εξέρχονται κατά μέγιστο 45 ομάδες καλωδίων των 10 ζευγών έκαστη, δηλαδή

συνολικά 450 ζεύγη ανά Κατανεμητή. Η συνολική αύξηση των ζευγών, από 300 σε 450, κρίνεται αναγκαία για τη διασφάλιση της επεκτασιμότητας και της διάχυσης του συνδρομητικού δικτύου σε περισσότερα σημεία μέσα στην περιοχή που καλύπτει.

Κάθε καλώδιο των 10 ζευγών τερματίζει σε ειδικούς ενδιάμεσους κατανεμητές που διακρίνονται σε δύο τύπος, τα *Box* (που χρησιμοποιείται σε αστικές περιοχές) και τις *Κασέτες* (που χρησιμοποιείται σε ημιαστικές περιοχές και παρέχουν προστασία από κεραυνούς). Από κάθε *Box* / *Κασέτα* εξέρχονται 2, 5 ή 10 ζεύγη γραμμών τα οποία οδηγούνται παράλληλα στους χώρους 1, 2 ή μέχρι και 5 συνδρομητών.



Σχήμα 2.12: Κύριο Δίκτυο και Δίκτυο Διανομής ενός συνδρομητικού δικτύου πρόσβασης.

Ανάλογα με το μήκος του Δικτύου Διανομής χρησιμοποιείται (κατά προσέγγιση) καλώδιο διατομής 0.4mm για μήκος καλωδίου μέχρι 2.5Km, 0.6mm για μήκος καλωδίου μέχρι 6Km και (σπάνια) 0.8mm για μεγαλύτερο μήκος καλωδίου. Στους χώρους των συνδρομητών (κυρίως στις νέες οικοδομές) η εγκατάστασή του καλωδίου γίνεται με βάση την τυποποίηση δομημένης καλωδίωσης που χρησιμοποιείται για τα δίκτυα χαμηλών ρευμάτων.

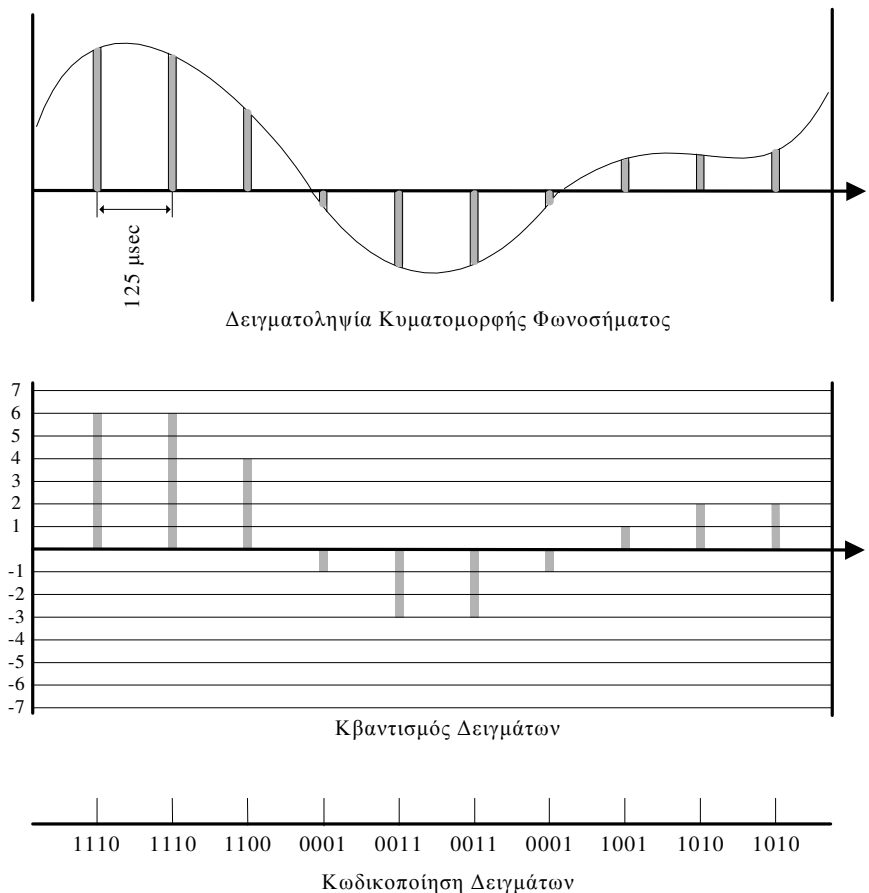
2.7 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΦΩΝΟΣΗΜΑΤΩΝ

Τα ψηφιακά σήματα φωνής παράγονται από τα αναλογικά σήματα φωνής μέσα από μια διαδικασία ψηφιοποίησής τους. Στο Σχήμα 2.13 φαίνεται η βασική μέθοδος ψηφιοποίησης που περιλαμβάνει τις παρακάτω τρεις διαδοχικές φάσεις:

1. Περιοδική δειγματοληψία της κυματομορφής που περιγράφει το συνεχές σήμα ομιλίας. Όλες οι πληροφορίες που χρειάζονται για να αναπαραχθεί η αρχική κυματομορφή περιέχονται στα δείγματα υπό την προϋπόθεση ότι τα δείγματα λαμβάνονται με ρυθμό 8 kHz (8.000 δείγματα ανά sec, περίοδος δειγματοληψίας 125μsec). Τα παραγόμενα δείγματα αναφέρονται ως *διακριτά δείγματα συνεχούς εύρους*.
2. Κβαντοποίηση (quantization). Το συνολικό πλάτος του αναλογικού σήματος χωρίζεται σε επίπεδα που ονομάζονται *διαστήματα κβαντοποίησης*. Η κβαντοποίηση του Σχήματος 2.13

έχει 16 διαστήματα (η τηλεφωνία έχει 256 διαστήματα). Κάθε ένα διάστημα διακρίνεται από μια *διακριτή τιμή* που αντιστοιχεί στο μέσον του. Η κβαντοποίηση αναλαμβάνει πρώτα να προσδιορίσει σε ποιο από τα επίπεδα αυτά ανήκει το κάθε δείγμα φωνής και στη συνέχεια αντικαθιστά τη συνεχή μεταβλητή του πλάτους του δείγματος με τη διακριτή τιμή. Τα τελικά αυτά δείγματα αναφέρονται ως *διακριτά δείγματα πολλαπλού εύρους*.

3. *Κωδικοποίηση (coding)* όπου για λόγους μετάδοσης τα δείγματα διακριτού πλάτους μετατρέπονται σε δυαδικό κώδικα (για παράδειγμα οι 256 τιμές αντικαθίστανται από ένα σύνολο 8bits). Στη συνέχεια, οι δυαδικοί κώδικες μεταδίδονται σαν δυαδικοί παλμοί ρεύματος. Στο άκρο λήψης της γραμμής μετάδοσης ανακτάται ο συρμός των δυαδικών δεδομένων και ανακατασκευάζονται οι διακριτές τιμές των δειγμάτων. Για να αναπαραχθεί η αρχική αναλογική κυματομορφή χρησιμοποιείται ένα κατωδιαβατό φίλτρο για παρεμβολή (interpolation) μεταξύ των τιμών των δειγμάτων.



Σχήμα 2.13. Δειγματοληψία, κβαντισμός και κωδικοποίηση δειγμάτων σημάτων φωνής (φωνοσημάτων)

Αν δεν έχουν συμβεί σφάλματα μετάδοσης η κυματομορφή εξόδου είναι ίδια με την κυματομορφή εισόδου με εξαίρεση μια μικρή παραμόρφωση που οφείλεται στην κβαντοποίηση και που αποτελεί τη διαφορά μεταξύ τις τιμές ενός δείγματος και της διακριτής αναπαράστασή του. Με χρήση μεγάλου αριθμού διαστημάτων κβαντοποίησης (και συνεπώς αρκετού αριθμού bit για την κωδικοποίησή) τα διαστήματα κβαντοποίησης μπορεί να γίνουν αρκετά μικρά ώστε να εξαλειφθούν οι επιδράσεις κβαντοποίησης.

Οι απαιτήσεις του ψηφιακού σήματος σε εύρος ζώνης αυξάνουν λόγω της διαδικασίας δυαδικής κωδικοποίησης. Αν τα διακριτά δείγματα πολλαπλού εύρους μεταδίδονται άμεσα, οι

απαιτήσεις σε εύρος ζώνης είναι θεωρητικά οι ίδιες με αυτές του αρχικού σήματος. Όταν κάθε διακριτό δείγμα αντιπροσωπεύεται από έναν αριθμό ανεξάρτητων δυαδικών παλμών το εύρος ζώνης του σήματος αυξάνει ανάλογα. Οι παλμοί δύο επιπέδων είναι εντούτοις πολύ λιγότερο επιρρεπείς σε σφάλματα μετάδοσης από ότι οι παλμοί πολλαπλού πλάτους.

Η μέθοδος ψηφιοποίησης που περιγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιείται πέρα από το συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης και σε συστήματα φορέα (π.χ. ζεύξεις) αλλά και στο μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου ψηφιακού εξοπλισμού φωνής των τηλεφωνικών δικτύων.

2.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ ΦΩΝΟΣΗΜΑΤΩΝ

Η πολύπλεξη είναι η ταυτόχρονη μετάδοση πολλών φωνοσημάτων μέσα από ένα καλώδιο ή οπτική ίνα. Αυτό επιτυγχάνεται με το σαφή προσδιορισμό, πάνω στη γραμμή, ανεξάρτητων διαύλων μετάδοσης φωνοσημάτων που αναφέρονται ως *κανάλια (channels) μετάδοσης*.

Ο τρόπος αυτός επικοινωνίας αναφέρονται ως *πολυκάναλη επικοινωνία* και επιτυγχάνεται με την πλήρη αξιοποίηση του εύρους ζώνης της γραμμής. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ο τοπικός βρόχος όπου το εύρος ζώνης του είναι σαφώς μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για τη μετάδοση ενός απλού φωνητικού σήματος. Η τυχόν αύξηση της εξασθένησης, λόγω των υψηλότερων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, αντισταθμίζεται με τη χρήση ειδικών ενισχυτών (πέραν του βασικού εξοπλισμού πολύπλεξης) οι οποίοι εγκαθίστανται σε ενδιάμεσα σημεία των γραμμών μετάδοσης.

Στην τηλεφωνία εφαρμόζονται δύο κύριες τεχνικές πολύπλεξης, η πολύπλεξη με επιμερισμό συχνότητας και η πολύπλεξη με επιμερισμό χρόνου που αναλύονται στη συνέχεια.

2.8.1.1 Πολύπλεξη φωνοσημάτων με επιμερισμό συχνότητας (FDM)

Η πολύπλεξη με επιμερισμό συχνότητας (*frequency division multiplexing - FDM*) εφαρμόζεται σε αναλογικά δίκτυα και βασίζεται στην τεμαχιοποίηση του εύρους συχνότητας της γραμμής μετάδοσης σε συνεχόμενα κανάλια. Αυτό σημαίνει ότι μεταδίδονται ταυτόχρονα όλα τα πολυπλεγμένα φωνοσημάτα αλλά για να τα επιλέξει ο παραλήπτης θα πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα σύνολο από ζωνοδιαβατά φίλτρα. Το κάθε φίλτρο απομονώνει μία διαφορετική ζώνη συχνοτήτων εύρους 4 kHz, δηλαδή ένα διαφορετικό αναλογικό φωνόσημα. Στην περίπτωση αυτή το φωνόσημα αναφέρεται και ως *φωνοσυχνικό σήμα (voice frequency signal- VFS)*.

Η ITU έχει καθιερώσει τα 4kHz ως το τυποποιημένο ελάχιστο εύρος ζώνης μετάδοσης ενός καναλιού φωνής. Η τυποποίηση αυτή είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της απαίτησης για το μεγαλύτερο δυνατό αριθμό καναλιών φωνής σε ένα σύστημα πολύπλεξης και της διατήρησης της καταληπτότητας και της χροιάς της φωνής σε αποδεκτά επίπεδα. Στην περίπτωση όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δυο πλευρές της ζώνης, που παράγονται από τη διαμόρφωση πλάτους, το εύρος ζώνης του καναλιού ανέρχεται στα 8kHz, και οι αντίστοιχες συχνότητες των φορέων βρίσκονται στο μέσο κάθε καναλιού.

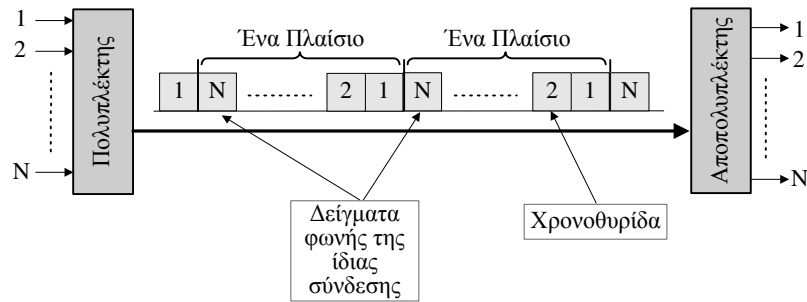
Δεδομένου όμως ότι η διαμόρφωση διπλής ζώνης αφήνει μεγάλο μέρος του εύρους ζώνης αχρησιμοποίητο, στην πράξη επιβάλλεται να χρησιμοποιείται διαμόρφωση απλής ζώνης (SSB), γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του κόστους λόγω του επιπλέον εξοπλισμού. Οι συχνότητες των φορέων ενός συστήματος απλής ζώνης τοποθετούνται στην πάνω ή στην κάτω μεριά του αντίστοιχου καναλιού.

2.8.1.2 Πολύπλεξη φωνοσημάτων με επιμερισμό χρόνου (TDM)

Η πολύπλεξη με επιμερισμό χρόνου (*Time Division Multiplexing - TDM*) βασίζεται στο χρονικό καταμερισμό του μέσου μετάδοσης μέσω της δημιουργίας μιας σειράς από κανάλια μετάδοσης που αναφέρονται ως *χρονικές θυρίδες ή χρονοθυρίδες (time slots)*. Στη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας μεταδίδεται το φωνόσημα μίας μόνο κλήσης σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή. Αντίθετα με την FDM,

η TDM παρέχει όλο το εύρος ζώνης της γραμμής σε κάθε χρήστη αλλά για διάστημα ίσο με μια χρονοθυρίδα.

Το κάθε φωνόσημα είναι ένα περιοδικό σήμα με συχνότητα δειγματοληψίας στα 125μsec. Συνεπώς, η χρονοθυρίδα που μεταφέρει τα δείγματά του θα πρέπει να του διατίθεται περιοδικά με την ίδια περίοδο των 125μsec. Το διάστημα των 125μsec ορίζει το *χρονικό πλαίσιο (frame)* μέσα στο οποίο γίνεται η μετάδοση όλων των πολυπλεγμένων φωνοσημάτων. Κάθε χρονοθυρίδα έχει συγκεκριμένη σταθερή σειρά παρουσίασης μέσα στο πλαίσιο (Σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.14. Πολύπλεξη Επιμερισμού Χρόνου (TDM)

Όταν το κάθε κανάλι του πλαισίου έχει σταθερό εύρος, δηλαδή η κάθε χρονοθυρίδα έχει σταθερή διάρκεια και άρα ορισμένη ικανότητα μετάδοσης που είναι αμετάβλητη στη διάρκεια του χρόνου, τότε η TDM αναφέρεται ως σύγχρονη πολύπλεξη επιμερισμού χρόνου (synchronous TDM, S-TDM).

Η S-TDM αφορά κυρίως τις ζεύξεις ψηφιακής μετάδοσης των κεντρικών αρτηριών του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου, όπως αρτηρίες PCM, κλπ. Δευτερευόντως, χρησιμοποιείται και στα συνδρομητικά δίκτυα, όπως συστήματα απολαβής ζευγών, συνδρομητικά PCM, κλπ.

Στην S-TDM αν το εύρος ζώνης της γραμμής είναι Mkbps και το κάθε ψηφιακό δείγμα του φωνοσήματος έχει εύρος ζώνης Fkbps, τότε στο πλαίσιο θα περιέχονται συνολικά M/F χρονοθυρίδες. Για παράδειγμα, όταν τα φωνοσημάτα είναι σε ψηφιακή μη συμπίεσμένη μορφή απαιτούν κατ'ελάχιστο ένα κανάλι μετάδοσης με εύρος ζώνης στα 64Kbps. Σε μία αρτηρία PCM πρώτης τάξης με εύρος ζώνης 2Mbps μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα 32 κανάλια φωνής.

Στα νεότερα δίκτυα υπάρχουν περιπτώσεις όπου το εύρος ζώνης των καναλιών μετάδοσης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε πηγής. Η TDM αυτής της μορφής αναφέρεται ως στατιστική ή ασύγχρονη πολύπλεξη επιμερισμού χρόνου (asynchronous TDM, A-TDM). Σαν παραδείγματα χρήσης της A-TDM αναφέρονται ενδεικτικά:

1. η χρήση συμπίεσης κατά τη μετάδοση των φωνοσημάτων, όπου το κάθε δείγμα μεταφέρεται με διαφορετικό αριθμό ψηφίων
2. η συγκέντρωση, συμπίεση και μετάδοση από κοινού πολλών δειγμάτων φωνής πάνω από διαδοχικές χρονοθυρίδες.

Μέχρι σήμερα η TDM έχει εφαρμοστεί ευρύτατα σε ψηφιακό περιβάλλον ενώ σε αναλογικό έχει χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένη κλίμακα. Στο αναλογικό περιβάλλον, η TDM χρησιμοποιείται για την πολύπλεξη αναλογικών σημάτων με παρεμβολή δειγμάτων από διαφορετικές πηγές. Όμως στην περίπτωση αυτή, τα ανεξάρτητα σήματα φωνής είναι συνήθως υπερβολικά ευαίσθητα στις ατέλειες του δικτύου με αποτέλεσμα τη χαμηλή ποιότητα μετάδοσης και αναπαραγωγής του σήματος στο δέκτη.

Αντίθετα, η χρήση της TDM σε αναλογικό περιβάλλον μεταγωγής είναι περισσότερο εφικτή απ' ό,τι στη μετάδοση, λόγω του ότι ο θόρυβος και η παραμόρφωση του εξοπλισμού μεταγωγής είναι ευκολότερο να ελεγχθούν.

2.9 ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Δομικά, κάθε ΤΚ αποτελείται από διάφορες λειτουργικές μονάδες, όπως η μονάδα Μεταγωγής (Επιλογική Μήτρα), η μονάδα Ελέγχου, η μονάδα Σηματοδοσίας και οι μονάδες Τερματισμού των ζευκτικών και συνδρομητικών γραμμών πρόσβασης. Η διαλειτουργικότητα των μονάδων αυτών διασφαλίζεται με τη χρήση τυποποιημένων διεπαφών στα σημεία αλληλεπίδρασης. Οι τυποποιήσεις αυτές διακρίνονται σε δύο είδη:

1. Ιδιογενείς (μη-τυποποιημένες) διεπαφές (proprietary interfaces) που συναντώνται στο εσωτερικό του ΤΚ, π.χ. διασύνδεση της μονάδας Μεταγωγής ή της μονάδας Ελέγχου με τις υπόλοιπες μονάδες του ΤΚ. Στην περίπτωση αυτή, οι κατασκευαστές έχουν την ελευθερία να εφαρμόζουν δικές τους καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις και προδιαγραφές.
2. Τυποποιημένες / μορφοτυπημένες διεπαφές (formatted interfaces) που συναντώνται στην περιφέρεια του ΤΚ και στα σημεία διασύνδεσής του τόσο με άλλα ΤΚ όσο και με διάφορα περιφερειακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα, όπως Υπόκεντρα, Συγκεντρωτές Γραμμών, PBX, Συστήματα Σέντρεξ, Modems, κλπ.

Στις διεπαφές αυτές πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένες διεθνείς τυποποιήσεις πρόσβασης και ανταλλαγής ειδικά δομημένων ηλεκτρικών σημάτων, μηνυμάτων και πληροφοριών. Η δομή τους δε είναι ανεξάρτητη από τις εσωτερικές διαδικασίες των αλληλεπιδρούντων συστημάτων.

Ο ακριβής καθορισμός των διεπαφών είναι βασική προϋπόθεση για το σωστό σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρηση του εξοπλισμού καθώς επίσης και για τη διατήρηση της συμβατότητας μεταξύ του παλιού και του νέου εξοπλισμού.

Επίσης, η χρήση διεπαφών σε όλες σχεδόν τις λειτουργίες του αστικού, υπεραστικού και διεθνούς τηλεφωνικού συστήματος είναι απαραίτητη για την υποστήριξη του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών εξοπλισμού και των φορέων που παρέχουν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι τυποποιημένες διεπαφές που αφορούν στο τοπικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης και στο ζευκτικό δίκτυο αναλογικό και ψηφιακό.

2.9.1 Διεπαφές σε αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης

Το αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από δυσύρματους βρόχους και χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη σημάτων φωνής (φωνοσήματα). Με τη χρήση ειδικών διεπαφών, οι βρόχοι αυτοί συμπεριφέρονται ως:

1. απλά συνδρομητικά κυκλώματα πρόσβασης που διασυνδέουν το ΤΚ με τις ανεξάρτητες αναλογικές τηλεφωνικές συσκευές,
2. τοπικές μονοκάναλες αναλογικές ζεύξεις που διασυνδέουν το ΤΚ με κλασσικά αναλογικά συνδρομητικά κέντρα (PBX).
3. τοπικές πολυκάναλες αναλογικές ζεύξεις για την ταυτόχρονη μετάδοση πολυπλεγμένων φωνοσημάτων κάνοντας χρήση *πολύπλεξης στο πεδίο της συχνότητας*. (*Frequency Division Multiplexing - FDM*).

2.9.1.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αναλογικού τοπικού βρόχου

Ο τοπικός αναλογικός συνδρομητικός βρόχος είναι ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι ασφαλούς μετάδοσης σημάτων σηματοδοσίας και φωνής. Για τη σωστή μετάδοση του αναλογικού σήματος μέσα από το κανάλι αυτό πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπ' όψη:

1. η ζώνη διαπέρασης (passband) του καναλιού που είναι η περιοχή συχνοτήτων η οποία μπορεί να μεταφερθεί από το κανάλι μετάδοσης.

2. το εύρος ζώνης (bandwidth) του καναλιού που καθορίζει το εύρος της ζώνης διαπέρασης. Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί ένα τηλεοπτικό κανάλι που μεταδίδει στη ζώνη διαπέρασης 470.5 έως 476.5MHz και ένα άλλο που μεταδίδει στη ζώνη διαπέρασης 800 έως 806 MHz, τότε παρατηρούμε ότι και τα δύο κανάλια έχουν το ίδιο εύρος ζώνης (6 MHz).

Η ανθρώπινη φωνή είναι ήχοι που ευρίσκονται στην περιοχή συχνοτήτων από 30 έως 10.000Hz, δηλαδή απαιτεί εύρος ζώνης καναλιού 9.970 Hz. Αντίθετα το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούει ήχους που ευρίσκονται στην περιοχή συχνοτήτων από 20 έως 20.000Hz (εύρος ζώνης καναλιού 19.980Hz).

Με βάση αναλύσεις έχει αποδειχθεί ότι η ανθρώπινη ομιλία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας της στη ζώνη διαπέρασης από περίπου 300 έως 3500Hz. Αυτή είναι μία περιοχή συχνοτήτων όπου το σήμα ομιλίας έχει τον κύριο όγκο της ισχύος του και χαρακτηρίζεται από καθαρότητα και καταληπτότητα. Συνεπώς, το εύρος ζώνης της φωνής μπορεί να ελαττωθεί από τα 9.97 KHz στα 3.1 KHz, και η ζώνη διαπέρασης από 300 έως 3400 Hz.

Με βάση τα παραπάνω, ο τοπικός αναλογικός συνδρομητικός βρόχος πρόσβασης τυποποιήθηκε να έχει εύρος ζώνης καναλιού 4 KHz και ζώνη διαπέρασης από 0 έως 4KHz. Στο κανάλι αυτό η ανθρώπινη ομιλία μεταφέρεται στην περιοχή συχνοτήτων από 300 έως 3400 Hz. Η τυποποίηση συγκεκριμένου εύρους ζώνης (4KHz) επιτρέπει την πολύπλεξη (δηλαδή την ταυτόχρονη μετάδοση) πολλών σημάτων ομιλίας πάνω από μια συνδρομητική γραμμή. Η πολύπλεξη επιτρέπει την αξιοποίηση του υπάρχοντος αστικού δικτύου πρόσβασης για την κάλυψη ειδικών αναγκών τηλεφωνοδότησης (π.χ. δημιουργία τοπικού ζευκτικού δικτύου).

Το μέγιστο μήκος του συνδρομητικού βρόχου θα πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη δύο κριτήρια:

1. τα όρια εξασθένησης (attenuation). Η εξασθένηση αναφέρεται στην απώλεια της συχνότητας αναφοράς του βρόχου (1000Hz στην Αμερική και 800Hz στην Ευρώπη) μετρούμενη σε decibels (ή σε nepers) όταν μεγαλώνει το μήκος του βρόχου.
2. τα όρια σηματοδοσίας. Η σηματοδοσία αφορά στη συνεχή επίβλεψη της γραμμής από το ΤΚ και στην ανταλλαγή σημάτων για την αποκατάσταση, διατήρηση και απόλυση των κλήσεων. Για λόγους ασφάλειας η ηλεκτρική τροφοδότηση του συνδρομητικού βρόχου γίνεται πάντοτε απευθείας από το ΤΚ. Καθώς το μήκος της γραμμής μεγαλώνει και η τροφοδοσία της παραμένει σταθερή, η αποτελεσματικότητα της σηματοδοσίας ελαττώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι αυξανόμενης της αντίστασης της γραμμής ελαττώνεται η τάση στην τηλεφωνική συσκευή οπότε τα κυκλώματα σηματοδοσίας μετά από ένα όριο απενεργοποιούνται, δημιουργώντας πλήρη σύγχυση στους συνδρομητές για την κατάσταση του βρόχου τους.

2.9.1.2 Διεπαφή τοπικού συνδρομητικού βρόχου

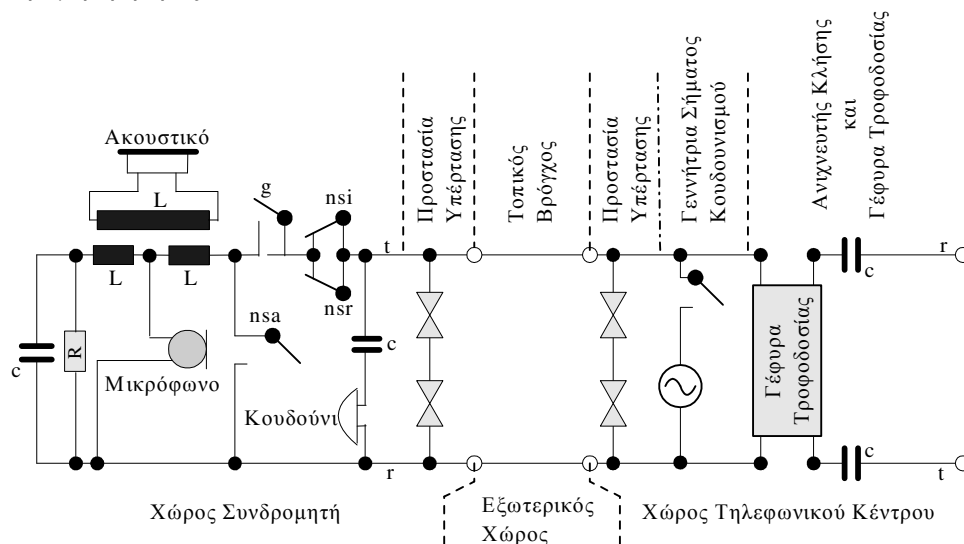
Ο αναλογικός συνδρομητικός βρόχος πρόσβασης αποτελείται από δύο συνεστραμμένους αγωγούς, οι οποίοι αναφέρονται ως *tip* και *ring*. Για την πραγματοποίηση κλήσεων πάνω από τον γαλβανικό αυτό δρόμο, οι διεπαφές και στα δύο άκρα του βρόχου εκτελούν ένα σύνολο από τυποποιημένες βασικές – υποχρεωτικές λειτουργίες διαχείρισης σημάτων σηματοδοσίας και ομιλίας (Σχήμα 2.15).

Αναλυτικότερα οι λειτουργίες αυτές είναι οι παρακάτω:

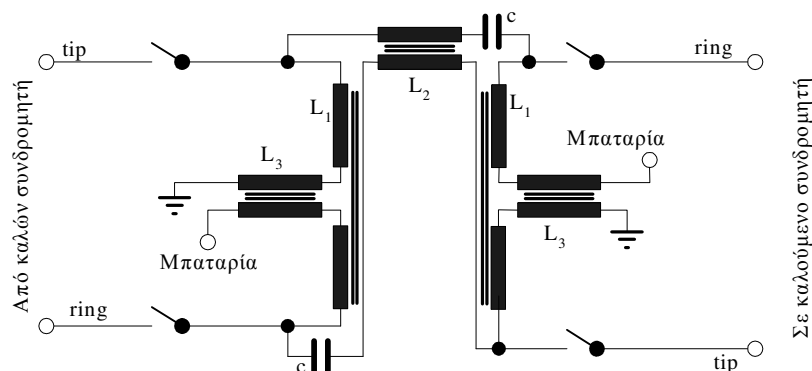
1. Τροφοδοσία του βρόχου μέσω μπαταρίας (Battery). Το ΤΚ αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει την τηλεφωνική συσκευή με σταθερή τάση, συνήθως -48 V. Στο βρόχο ρέει συνεχές ρεύμα, περίπου 20mA, έτσι ώστε να υπάρχει σηματοδοσία συνεχούς ρεύματος και να παρέχεται ρεύμα πόλωσης για τα μικρόφωνα άνθρακα. Στο Σχήμα 2.16 δείχνεται το κύκλωμα (γέφυρα) τροφοδοσίας της γραμμής.
2. Προστασία υπέρτασης (Overvoltage Protection): Προστασία του εξοπλισμού και του προσωπικού από κεραυνούς και επαγόμενα ρεύματα ή βραχυκυκλώματα.
3. Κουδούνισμα (Ringing) στην περίπτωση κλήσης της συσκευής από το ΤΚ. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μετάδοσης στο κουδούνι της τηλεφωνικής συσκευής

εναλλασσόμενης τάσης (ac) 20 Hz σε 86 V rms. Το σήμα αυτό είναι διακοπτόμενο (τυπικός ρυθμός: 2 sec κουδούνισμα και 4 sec διακοπή) και δημιουργείται από μία γεννήτρια σήματος κουδουνισμού (κοινής χρήσης) που είναι εγκατεστημένη στο TK και εξυπηρετεί παράλληλα διαφορετικές τηλεφωνικές συσκευές.

4. Επίβλεψη (Supervision) της τρέχουσας κατάστασης λειτουργίας του βρόχου που είναι:
 - Ανίχνευση έγερσης ακουστικού μέσω ανίχνευσης ροής συνεχούς ρεύματος στο βρόχο. Με την έγερση του μικροτηλεφώνου σηματοδοτείται μία νέα αίτηση του συνδρομητή για προσπέλαση στο TK (διάθεση για νέα κλήση).
 - Ανίχνευση απόθεσης ακουστικού μέσω ανίχνευσης διακοπής της ροής συνεχούς ρεύματος.
 - Ανίχνευση επιλογικών παλμών μέσω ανίχνευσης διαδοχικής διακοπής και αποκατάστασης του συνεχούς ρεύματος. Το σύνολο των διακοπών αυτών δείχνει στο TK τον επιλογικό αριθμό του καλούμενου συνδρομητή με τον οποίο είναι επιθυμητή η επικοινωνία.
5. Ελεγχος (Test): Πρόσβαση στη γραμμή για ελέγχους διπλής κατεύθυνσης: προς το συνδρομητή ή προς το TK.



Σχήμα 2.15: Διεπαφή αναλογικού τοπικού βρόχου



Σχήμα 2.16: Γέφυρα τροφοδοσίας συνδιάλεξης (talk battery) αναλογικού τοπικού βρόχου

Το σύνολο των παραπάνω λειτουργιών στα ψηφιακά ΤΚ αναφέρονται ως *λειτουργίες BORSCHT* (από τα αρχικά των αγγλικών όρων των παραπάνω λειτουργιών).

Στην περίπτωση αναλογικού συνδρομητικού βρόχου διασυνδεδεμένου σε ψηφιακό ΤΚ, είναι απαραίτητες δύο επιπλέον λειτουργίες, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- η μετατροπή του δισύρματου βρόχου σε τετρασύρματου μέσω ειδικού κυκλώματος που αναφέρεται ως *υβρίδιο (Hybrid)* και
- η *κωδικοποίηση (coding)* του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα και αντίστροφα η *αποκωδικοποίηση (decoding)* του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα.

2.9.1.3 Διεπαφή τοπικής ζεύξης με εκκίνηση μέσω βρόχου

Η απλούστερη διεπαφή ζεύξης είναι αυτή που διασυνδέει ένα ΤΚ με ένα PBX και αναφέρεται ως *τοπική ζεύξη εκκίνησης βρόχου (Loop Start trunk – LS)*. Από λειτουργικής πλευράς η ζεύξη LS ταυτίζεται με τον τοπικό συνδρομητικό βρόχο. Η διεπαφή LS εξομοιώνει την τηλεφωνική συσκευή:

1. αναγνωρίζοντας το ρεύμα κουδουνισμού στις εισερχόμενες κλήσεις.
2. κλείνοντας το βρόχο και “τραβώντας” ρεύμα για την έναρξη κλήσης.
3. με την αναγνώριση του ρεύματος έναρξης κλήσης, η διεπαφή LS αναμένει μερικά δευτερά και θεωρεί ότι παρουσιάζεται ο τόνος ελευθέρου (dial tone). Σε μερικά κέντρα PBX, οι διεπαφές LS παρέχουν δυνατότητες ανίχνευσης σήματος (ή τόνου) ελευθέρου δίνοντας τη δυνατότητα αναγνώρισης χαλασμένου εξοπλισμού ή συνδέσεων και τη δυνατότητα αποστολής της διευθυνσιοδότησης αμέσως όταν η απέναντι πλευρά της ζεύξης είναι έτοιμη. Στη συνέχεια, ανάλογα με τον τύπο του PBX, ξεκινά τη διαδικασία αποστολής πληροφορίας διεύθυνσης είτε με:
4. την αποστολή πολυσυχνοτήτων διπλού τόνου (double tone multi frequency - DTMF), είτε με
5. τη δημιουργία επιλογικών παλμών διακόπτοντας το ρεύμα βρόχου.

Σημαντική δυσκολία παρουσιάζεται στις διεπαφές LS όταν τυχαίνει ταυτόχρονα (ή σχεδόν ταυτόχρονα) να καταλαμβάνονται (seize) και τα δύο άκρα της ζεύξης οπότε η γραμμή “κρεμάει” (hung). Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως *συνθήκη διπλής κατάληψης (glare condition)*. Εάν το PBX έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης σήματος ελευθέρου πριν την αποστολή επιλογικών παλμών, τότε μπορεί να αναγνωρίσει την συνθήκη διπλής κατάληψης εξαντλώντας ένα συγκεκριμένο χρόνο αναμονής (timing out) για την άφιξη του σήματος ελευθέρου. Εάν με το τέλος του χρόνου αυτού δεν αναγνωρισθεί σήμα ελευθέρου, το PBX αποσυνδέει την ζεύξη, απελευθερώνει τη συνθήκη διπλής κατάληψης και απορρίπτει την εισερχόμενη κλήση.

Λόγω του παραπάνω προβλήματος, οι διεπαφές LS χρησιμοποιούνται σε ζευκτικά κυκλώματα μονής κατεύθυνσης (μόνο αποστολή ή μόνο λήψη). Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η απλότητα της δομής και λειτουργίας τους.

2.9.1.4 Διεπαφή τοπικής ζεύξης με εκκίνηση μέσω γείωσης

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της διεπαφής LS, αναπτύχθηκε μία πιο σύνθετη διεπαφή τοπικής ζεύξης που αναφέρονται ως *ζεύξεις εκκίνησης γείωσης (Ground Start trunk – GS)*. Όταν το ΤΚ δημιουργεί μία κλήση, η GS εφαρμόζει ένα δυναμικό γης (γείωση) στον αγωγό tip και περιμένει μέχρις ότου το PBX να αναγνωρίσει την κατάληψη απορροφώντας ισχύ (ρεύμα βρόχου).

Αντίθετα, όταν το PBX δημιουργεί μία κλήση, η GS εφαρμόζει πρώτα ένα δυναμικό γης στον αγωγό ring και κατόπιν κλείνει το βρόχο αναμένοντας την άφιξη ρεύματος βρόχου. Η ζεύξη παύει να είναι σε ανενεργή (idle) κατάσταση, οπότε το ΤΚ αναγνωρίζει την αίτηση σύνδεσης μέσα από την τροφοδοτήσή της και την στιγμιαία γείωση του αγωγού tip.

Στη συνέχεια, όταν ενεργοποιείται η κλήση, η ζεύξη GS αποσυνδέεται από τη γείωση έτσι ώστε να επιτευχθεί χαμηλός θόρυβος στο κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό, η διεπαφή GS αποκλείει την

ταυτόχρονη κατάληψη της ζεύξης, εκτός και αν η κατάληψη τύχει να συμβεί μέσα σε ελάχιστα χιλιοστά του δευτερολέπτου (στην LS το διάστημα αυτό ανέρχεται σε 4msec).

2.9.1.5 Διεπαφή τοπικής ζεύξης διεπιλογής εισόδου

Οι ζεύξεις διεπιλογής εισόδου (*Direct Inward Dial – DID*) χρησιμοποιούνται σε PBX όπου οι συνδρομητές μόνο δέχονται κλήσεις. Οι ζεύξεις DID έχουν μια πολύ απλή δυσύρματη διεπαφή η οποία επιτρέπει στο TK να προωθεί τον αριθμό κλήσης (εσωτερικός αριθμός) και το PBX να δρομολογεί την κλήση απευθείας στο συνδρομητή χωρίς τη μεσολάβηση τηλεφωνήτριας.

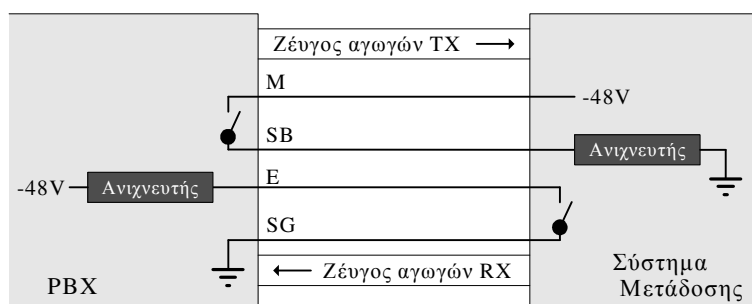
Σε αντίθεση με τις διεπαφές LS και GS, η διεπαφή DID παρέχει τροφοδότηση γραμμής οπότε το TK μπορεί να σηματοδοτήσει μια εισερχόμενη κλήση απλά κλείνοντας το βρόχο και “τραβώντας” ρεύμα. Στη συνέχεια, το PBX αντιστρέφει στιγμιαία την τροφοδοσία της γραμμής σηματοδοτώντας στο TK ότι είναι έτοιμο να δεχτεί παλμούς. Τότε το TK δημιουργεί και αποστέλει τους επιλογικούς παλμούς (ή τόνους DTMF) που αντιστοιχούν στον εσωτερικό αριθμό του καλούμενου συνδρομητή (2, 3 ή 4 ψηφία).

Όταν ο καλούμενος συνδρομητής απαντήσει, το PBX εκ νέου αντιστρέφει στιγμιαία την τροφοδοσία της γραμμής σηματοδοτώντας στο TK ότι η σύνδεση επιτεύχθηκε και η διεπαφή παραμένει σε αυτή την κατάσταση μέχρι το τέλος της κλήσης. Λόγω της παραπάνω λειτουργίας τους, οι ζεύξεις DID αναφέρονται και ως ζεύξεις *ανεστραμμένου βρόχου με επίβλεψη τροφοδοσίας* (*loop reverse – battery supervision trunk*), τα δε πρωτόκολλα σηματοδοσίας που χρησιμοποιούν διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του TK.

2.9.1.6 Διεπαφές τοπικής ζεύξης τύπου E&M

Η διεπαφή E&M χρησιμοποιείται για την άμεση διασύνδεση δύο PBX, τα οποία μπορεί να ευρισκονται στο ίδιο κτίριο ή σε ένα κτιριοσυγκρότημα. Η διεπαφή E&M δεν αποτελεί από μόνη της ένα σύστημα μετάδοσης, αλλά διευκολύνει τη διασύνδεση των PBX πάνω από διάφορα συστήματα μετάδοσης. Για το λόγο αυτό διακρίνονται πολλές παραλλαγές της.

Σε όλους του τύπους της διεπαφής E&M τα σήματα ελέγχου (σηματοδοσία) μεταφέρονται πάντοτε πάνω από τις γραμμές E και M και ποτέ πάνω από τους αγωγούς tip και ring. Η ύπαρξη διαφορετικών αγωγών μετάδοσης σημάτων ελέγχου έχει οδηγήσει στη χρήση της διεπαφής E&M σε πλήθος ειδικών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα στα συστήματα τηλεειδοποίησης (paging systems) όπου ο αγωγός M χρησιμοποιείται για να θέση σε λειτουργία μεγάφωνα.



Σχήμα 2.17: Διεπαφή τύπου II E&M

Στο Σχήμα 2.17 φαίνεται η διεπαφή E&M τύπου II μεταξύ ενός PBX και ενός Συστήματος Μετάδοσης. Η διεπαφή αυτή αποτελείται από τους παρακάτω οκτώ αγωγούς:

- δύο αγωγούς μετάδοσης σημάτων φωνής (TX) προς το Σύστημα Μετάδοσης.
- δύο αγωγούς λήψης σημάτων φωνής (RX) από το Σύστημα Μετάδοσης.
- δύο αγωγούς σηματοδοσίας (M και SB) για την αναγνώριση εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων στο Σύστημα Μετάδοσης.

- δύο αγωγούς σηματοδότησης (E και SG) για την αναγνώριση εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων στο PBX.

Το PBX δηλώνει την απαγκίστρωση (off-hook) της χειροσυσκευής κλείνοντας το βρόχο M-SB και επιτρέπει να διέλθει ρεύμα μέσα από τον Ανιχνευτή του Συστήματος Μετάδοσης. Ομοίως, το Σύστημα Μετάδοσης δηλώνει μία εισερχόμενη κλήση στο PBX κλείνοντας το βρόχο E-GS. Στον Πίνακα 2.1 δείχνονται εποπτικά οι συνθήκες λειτουργίας στην κλασσική περίπτωση της ηλεκτρομηχανικής διεπαφής.

Πίνακας 2.1: Συνθήκες λειτουργίας ηλεκτρομηχανικής διεπαφής E&M

Διεύθυνση της κλήσης (σε σχέση με το PBX)		Κατάσταση στο PBX		Κατάσταση στο Σύστημα Μετάδοσης	
Εξερχόμενη	Εισερχόμενη	Αγωγός - M	Αγωγός - E	Αγωγός - M	Αγωγός - E
On-Hook	On-Hook	Γείωση	Ανοικτό κύκλωμα	Γείωση	Ανοικτό κύκλωμα
Off-Hook	On-Hook	-148V	Ανοικτό κύκλωμα	Γείωση	Γείωση
On-Hook	Off-Hook	Γείωση	Γείωση	-148V	Ανοικτό κύκλωμα
Off-Hook	Off-Hook	-148V	Γείωση	-148V	Γείωση

Μερικοί τύποι διεπαφής A&M έχουν λιγότερους αγωγούς με ελάχιστους τους τέσσερις, δύο για τη μετάδοση σημάτων φωνής, την E, την M και μία επιστροφή γείωσης.

2.9.2 Διεπαφές σε ψηφιακό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης

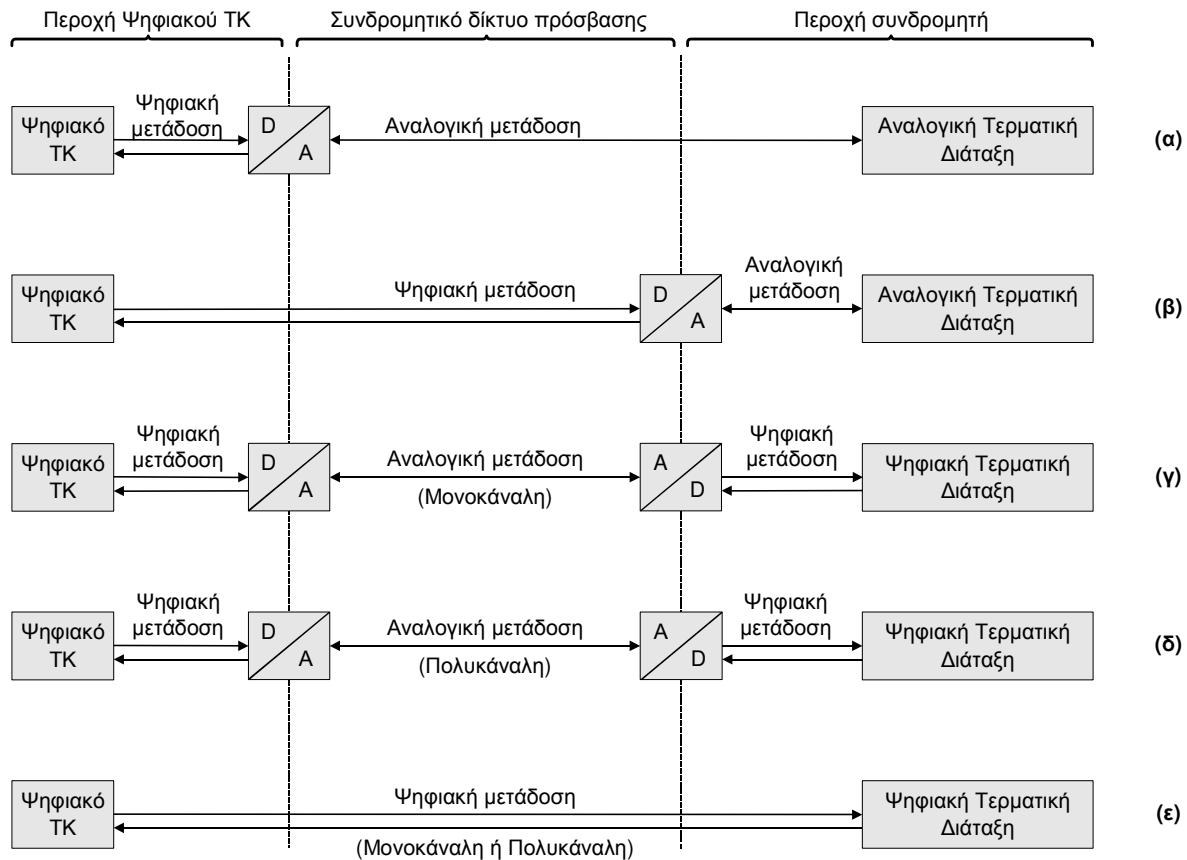
Με τον όρο ψηφιακό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης ορίζεται το δίκτυο που παρέχει διασύνδεση μεταξύ ενός ψηφιακού TK και του τερματικού του εξοπλισμού, όπου περιλαμβάνονται ψηφιακές και αναλογικές τηλεφωνικές συσκευές, υπολογιστές και PBX. Το TK χειρίζεται ψηφιακά δεδομένα τα οποία κατά τη μεταγωγή τους χρησιμοποιούν υποχρεωτικά τερασύρματα κυκλώματα, ένα ανεξάρτητο δισύρματο κύκλωμα για κάθε κατεύθυνση.

Από την άλλη πλευρά, το συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης στη μεγαλύτερή του έκταση πρέπει να είναι αναλογικό και δισύρματο έτσι ώστε να διευκολύνεται η αξιόπιστη μετάδοση με χαμηλό κόστος και υψηλή ταχύτητα (πολυκάναλη μετάδοση).

Για το λόγο αυτό, η δημιουργία του ψηφιακού συνδρομητικού δικτύου πρόσβασης γίνεται με τη χρήση, κυρίως στα άκρα του, ειδικών διεπαφών που περιλαμβάνουν μετατροπείς αναλογικό σε ψηφιακό (A/D) και αντίστροφα (D/A) μεταξύ δισύρματων και τετρασύρματων βρόχων. Στο Σχήμα 2.18 δείχνονται όλες οι δυνατές τοπολογίες πραγματοποίησης του ψηφιακού συνδρομητικού δικτύου πρόσβασης.

Τα ψηφιακά συνδρομητικά δίκτυα πρόσβασης δίνουν τη δυνατότητα εισαγωγής πλήθους επιπρόσθετων υπηρεσιών και διευκολύνσεων στο συνδρομητή. Για το λόγο αυτό διαχρονικά έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ψηφιακών συνδρομητικών δικτύων με κυριότερα το ISDN και το DSL, οι διεπαφές των οποίων αναλύονται εκτενώς στο Κεφάλαιο 5.

Στη συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία ψηφιοποίησης των φωνοσημάτων στους μετατροπείς A/D και D/A και η δημιουργία πολυκάναλων γραμμών μετάδοσης με πολύπλεξη επιμερισμού χρόνου.



Σχήμα 2.18: Τοπολογίες ψηφιακών συγχρονιστικών δικτύων πρόσβασης

2.9.3 Διεπαφές σε ζευκτικά δίκτυα

Οι ζεύξεις χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση ΤΚ που ανήκουν σε όλες τις βαθμίδες της ιεραρχίας Bell. Η διασύνδεση πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζονται παράλληλα:

1. η αυτόνομη λειτουργία του κάθε ΤΚ. Η αυτονομία στη λειτουργία του ΤΚ διασφαλίζεται με την κατοχή του πλήρους ελέγχου πραγματοποίησης των κλήσεων εντός των ορίων των δικών του συστημάτων Μεταγωγής, Ελέγχου και Σηματοδοσίας. Για να συμβεί αυτό απαιτείται στην περίπτωση πραγματοποίησης μίας κλήσης, όπου μεσολαβούν περισσότερα του ενός ΤΚ, να μεταφέρονται από την κάθε ζεύξη που συνδέει δύο διαδοχικά ΤΚ, εκτός από τα φωνοσήματα, και όλα τα σήματα σηματοδοσίας που αφορούν στη συγκεκριμένη κλήση.
2. το χαμηλό κόστος μετάδοσης. Τα ζευκτικά δίκτυα είναι κατά τεκμήριο πολύ ακριβά συστήματα μετάδοσης και για το λόγο αυτό απαιτείται η συνεχής εκμετάλλευσή τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνικών πολύπλεξης έτσι ώστε να ελαττώνεται δραστικά το κόστος μετάδοσης.

Η ικανοποίηση των απαιτήσεων αυτών έχει σαν αποτέλεσμα οι χρησιμοποιούμενες διεπαφές να έχουν μία πιο πολύπλοκη δομή σε σχέση με τις διεπαφές των συγχρονιστικών γραμμών πρόσβασης. Διαχρονικά έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω τέσσερις κατηγορίες διεπαφών ζευκτικών γραμμών.

Η πρώτη κατηγορία ζευκτικών διεπαφών αφορά σε ζεύξεις που χρησιμοποιούν πολύπλεξη επιμερισμού χώρου (*space division multiplexing – SDM*). Η SDM δεν είναι τίποτε άλλο από την ενσωμάτωση περισσότερων του ενός συνεστραμμένων ζευγών καλωδίων σε ένα πολύκλωνο καλώδιο, επιτυγχάνοντας αύξηση της πυκνότητας συσκευασίας των γραμμών. Στην SDM η κάθε ζεύξη είναι συνήθως μία τετρασύρματη γραμμή όπου δύο αγωγοί μεταφέρουν δικατευθυντήρια φωνοσήματα και οι

άλλοι δύο σήματα σηματοδότησης. Η διεπαφή στην περίπτωση αυτή είναι παρόμοια με αυτήν της συνδρομητικής διεπαφής E&M.

Η δεύτερη κατηγορία ζευκτικών διεπαφών αφορά στην πολύπλεξη πολλών αναλογικών σημάτων πάνω από μια δισύρματη ζευκτική γραμμή. Η πολύπλεξη αυτή βασίζεται στην αναλογική πολύπλεξη επιμερισμού συχνότητας (FDM). Οι διεπαφές FDM χρησιμοποιούνται εκτενώς σε ζεύξεις μικροκυματικής μετάδοσης από σημείο σε σημείο και σε μικρότερο βαθμό σε συστήματα ομοαξονικών καλωδίων και σε καλώδια συνεστραμμένων αγωγών. Γενικά τα συστήματα πολύπλεξης FDM αναφέρονται ως Ζευκτικά Φερεσυχνικά Συστήματα.

Δεδομένου ότι τα ζευκτικά δίκτυα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία σε ότι αφορά τον αριθμό καναλιών που μεταφέρονται κατά περίπτωση, η ITU προέβη στην τυποποίηση του εξοπλισμού πολύπλεξης και επέβαλε συγκεκριμένους τύπους διεπαφών μεταξύ TK-ζεύξης όπου υποστηρίζονται συγκεκριμένες ιεραρχίες σημάτων πολύπλεξης. Η ιεραρχία των Φερεσυχνικών Συστημάτων FDM περιλαμβάνει έξι επίπεδα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο πρώτο επίπεδο πολυπλέκονται 12 κανάλια φωνής στο εύρος συχνοτήτων 60-108kHz, στο δεύτερο 60 κανάλια (312-552kHz) και στο τρίτο 600 κανάλια (564-3.084552kHz). Κάθε κανάλι είναι εύρους ζώνης περίπου 4kHz.

Η τρίτη κατηγορία ζευκτικών διεπαφών αφορά στην πολύπλεξη πολλών ψηφιακών σημάτων πάνω από μια τετρασύρματη ζευκτική γραμμή. Ο ορισμός της ψηφιακής ζεύξης είναι ανάλογος αυτού της ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής πρόσβασης σε ότι αφορά για παράδειγμα τα ακραία σημεία της ζεύξης που πρέπει να είναι τετρασύρματα και το ενδιάμεσο τμήμα που πρέπει να είναι αναλογικό ώστε να βελτιώνεται η απόδοσή του.

Στις ψηφιακές ζεύξεις χρησιμοποιείται ευρέως η ψηφιακή πολύπλεξη επιμερισμού χρόνου (TDM) που βασίζεται στην παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM), η οποία θεωρείται ως η πλέον επικρατούσα μορφή πολύπλεξης σε όλες τις χώρες, κυρίως σε όλα τα επίγεια ζευκτικά δίκτυα. Όπως και στα συστήματα FDM, έτσι και στα συστήματα PCM η ITU προέβη στην τυποποίηση συγκεκριμένων τύπων διεπαφών μεταξύ TK-ζεύξης όπου υποστηρίζονται συγκεκριμένες ιεραρχίες πολύπλεξης σημάτων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο πρώτο επίπεδο του Ευρωπαϊκού συστήματος PCM πολυπλέκονται 30 κανάλια φωνής, στο δεύτερο επίπεδο 120 κανάλια, κ.ο.κ.

Η τέταρτη κατηγορία ζευκτικών διεπαφών αφορά στην πολύπλεξη πολλών ψηφιακών σημάτων πάνω από μια οπτική ζευκτική γραμμή. Η πρώτη χρονικά σειρά διεπαφών βασίστηκε στην ιεραρχία πολύπλεξης σημάτων πάνω από οπτικές ίνες είναι η SONET (Αμερική) που περιλαμβάνει τα σήματα STSi ($i = 1, 3, 9, 12, 18, 24, 36, 48$). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η ιεραρχία SDH (ITU-CCITT) που περιλαμβάνει τις διεπαφές των σημάτων STMi ($i = 1, 3, 4, 6, 8, 12, 16$). Τα σήματα και των δύο αυτών ιεραρχιών δομούνται με τη μορφή πλαισίων που μεταδίδονται περιοδικά ανά 125μsec και μέσα στο κάθε πλαίσιο πολυπλέκονται πολλά σήματα της ιεραρχίας TDM.

2.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΛΑΒΗΣ ΖΕΥΓΩΝ

Η παροχή υπηρεσιών τηλεφωνίας σε συνδρομητές που ευρίσκονται σε ημιαστικές ή αγροτικές περιοχές ήταν πάντα μια δαπανηρή επένδυση η οποία επέφερε ελάχιστα έσοδα. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι το μεγάλο μήκος των συνδρομητικών βρόχων, η χαμηλή κίνηση και ο μικρός αριθμός των συνδρομητών ανά οικισμό (κυρίως οικιακοί πελάτες), με συνέπεια το υψηλό κόστος της αρχικής εγκατάστασης αλλά και της συντήρησης του δικτύου. Στο παρελθόν ένας αποδοτικός τρόπος μείωσης του κόστους λειτουργίας ήταν ο διαμοιρασμός της κάθε συνδρομητικής γραμμής (διαμοιραζόμενος συνδρομητικός βρόχος) σε δύο ή περισσότερους συνδρομητές που ευρίσκοντο στον ίδιο ή παραπλήσιο γεωγραφικό χώρο.

Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την κάλυψη νέων απαιτήσεων εξυπηρέτησης σε περιπτώσεις έλλειψης συνδρομητικού δικτύου αλλά έχει το βασικό μειονέκτημα της μη αποκλειστικής χρήσης της κάθε γραμμής από ένα συνδρομητή, γεγονός που εισάγει ποικίλα προβλήματα, όπως ελάττωση της ποιότητας εξυπηρέτησης λόγω μη συνεχούς διαθεσιμότητας της γραμμής, μη μυστικότητα των επικοινωνιών, κλπ.

Για τη συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος αναπτύχθηκαν ειδικά τηλεφωνικά συστήματα μεταγωγής που πραγματοποιούν με πλήρη ασφάλεια το διαμοιρασμό των κοινών γραμμών (ταυτόχρονα ή ακολουθιακά) σε πολλούς χρήστες. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται ως *Συστήματα Απολαβής Ζεύγους (Pair-Gain Systems)* και θεωρούνται εξοπλισμός δικτύου και όχι τμήμα ή επέκταση του ΤΚ (όπως π.χ. τα υπόκεντρα). Η λειτουργία τους είναι αδιαφανής στο σύστημα μεταγωγή του ΤΚ.

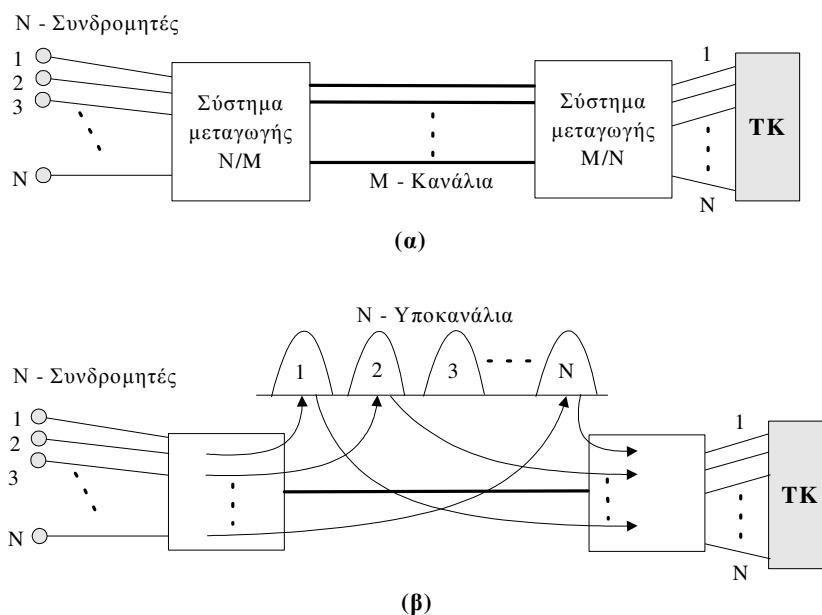
Τα Συστήματα Απολαβής Ζεύγους διακρίνονται στους παρακάτω τρεις βασικούς τύπους, στους *Συγκεντρωτές Γραμμών (Line Concentrators)*, στους *Συνδρομητικούς Πολυπλέκτες (Multiplexers)* και στα *Φωνοσυχνικά συστήματα ενίσχυσης και αναμετάδοσης*.

2.10.1 Συγκεντρωτές Γραμμών

Έστω μία αστική ή ημιαστική ζώνη η οποία έχει N συνδρομητές και εξυπηρετείται από ένα ΤΚ. Οι N συνδρομητές αποτελούν ένα υποσύνολο του συνολικού αριθμού συνδρομητών που εξυπηρετεί το ΤΚ. Σε κανονικές συνθήκες θα πρέπει να εγκατασταθούν N ανεξάρτητοι τοπικοί συνδρομητικοί βρόχοι οι οποίοι θα παρέχουν ηλεκτρική σύνδεση των N συνδρομητών με το ΤΚ.

Όταν εγκαθίσταται ένας συγκεντρωτής γραμμών ο συνολικός διαθέσιμος αριθμός συνδρομητικών βρόχων ελαττώνεται από N ανεξάρτητους αγωγούς σε M αγωγούς κοινής χρήσης (διαμοιρασμένες γραμμές), όπου $N > M$. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.19α, για την προσπέλαση των N και M γραμμών ο συγκεντρωτής γραμμών περιλαμβάνει τα παρακάτω τρία ανεξάρτητα συστήματα:

1. σύστημα μεταγωγής και συγκέντρωσης N γραμμών σε M (N/M) που εγκαθίσταται σε επιλεγμένο γεωγραφικό χώρο πλησίον των συνδρομητών. Οι N συνδρομητές συνδέονται με το σύστημα αυτό με N μικρού μήκους ανεξάρτητες συνδρομητικές γραμμές μέσω τυποποιημένων διεπαφών τοπικού συνδρομητικού βρόχου.
2. σύστημα μεταγωγής και αποσυγκέντρωσης M γραμμών σε N (M/N) που εγκαθίσταται πλησίον του ΤΚ με το οποίο συνδέεται με N γραμμές μέσω τυποποιημένων διεπαφών τοπικού συνδρομητικού βρόχου.
3. τοπική ζεύξη M γραμμών, όπου οι $M-1$ γραμμές μεταφέρουν σήματα ομιλίας και μία γραμμή μεταφέρει σήματα σηματοδοσίας και ελέγχου. Οι διεπαφές και η σηματοδοσία της τοπικής ζεύξης είναι ιδιογενούς τύπου (proprietary trunk) και δεν απαιτείται να είναι συμβατή με τις τυποποιήσεις των τοπικών ζεύξεων των PBX και των ΤΚ.



Σχήμα 2.19: Συστήματα απολαβής ζευγών: (α) Συγκεντρωτής γραμμών, (β) Συνδρομητικός Πολυπλέκτης

Για την αποκατάσταση μιας σύνδεσης απαιτείται η ανταλλαγή πληροφορίας ελέγχου και σηματοδότησης μεταξύ των δύο συστημάτων μεταγωγής. Όταν ένα από τα δύο συστήματα αποκαθιστά μια νέα σύνδεση και επιλέγει μία από τις M γραμμές της τοπικής ζεύξης, τότε το άλλο σύστημα πρέπει να το πληροφορηθεί για να θέσει σε λειτουργία την κατάλληλη κατοπτρική σύνδεση.

Παρέχοντας ταυτόχρονη σύνδεση στους M από τους N -συνδρομητές, ο συγκεντρωτής γραμμών εισάγει αναπόφευκτα στο συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης ένα βαθμό συμφόρησης. Σε κάθε περίπτωση όμως, η συμφόρηση αυτή θα πρέπει να είναι αποδεκτή και οι N -συνδρομητές να δέχονται την ίδια ποιότητα εξυπηρέτησης με τους υπόλοιπους συνδρομητές του δικτύου.

Για να συμβαίνει αυτό θα πρέπει, κατά την ώρα της μέγιστης κίνησης, ο συνολικός αριθμός των εισερχομένων και εξερχομένων κλήσεων προς/από το ΤΚ (που αφορούν τους N -συνδρομητές) να είναι τέτοιος ώστε ο αριθμός των κλήσεων που απορίπτονται να είναι σε αποδεκτά όρια (π.χ. πιθανότητα συμφόρησης 0.001). Για το λόγο αυτό η εισαγωγή στο δίκτυο ενός συγκεντρωτή γραμμών απαιτεί μελέτη της συμπεριφοράς των N -συνδρομητών μέσω της λήψης στατιστικών στοιχείων κίνησης κατά την ώρα αιχμής (μεγίστης κίνησης).

2.10.2 Συνδρομητικοί Πολυπλέκτες

Στο συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης η πολυκάναλη επικοινωνία επιτυγχάνεται με την πλήρη αξιοποίηση του εύρους ζώνης της γραμμής, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε πολλές περιπτώσεις το εύρος ζώνης ενός τοπικού βρόχου είναι σαφώς μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για τη μετάδοση ενός απλού φωνοσήματος. Η τυχόν αύξηση της εξασθένησης λόγω των υψηλότερων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, αντιμετωπίζεται με τη χρήση ειδικών ενισχυτών (πέραν του βασικού εξοπλισμού πολύπλεξης) οι οποίοι εγκαθίστανται σε επιλεγμένα σημεία της γραμμής.

Στο Σχήμα 2.19β δείχνεται ένα πολυπλέκτης FDM που αναφέρεται ως *Συνδρομητικό Φερεσυχνικό Σύστημα*. Το σύστημα αυτό χωρίζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης σε N αριθμό στενότερων ζωνών ή καναλιών (4kHz το καθένα) που αναφέρονται ως *φωνοσυχνικά κανάλια* (*voice frequency channels*). Τα N διαφορετικά σήματα φωνής εισέρχονται στα N κανάλια διαμορφώνοντας κατά πλάτος τις κατάλληλα επιλεγμένες συχνότητες φορέα. Η απλούστερη δομή συναντάται για $N=2$ και αναφέρεται ως *Διπλοκάναλο Φερεσυχνικό Σύστημα*.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16β, υπάρχει μία σχέση ένα-προς-ένα μεταξύ των γραμμών των συνδρομητών και των καναλιών του πολυπλέκτη. Αντίθετα με τους συγκεντρωτές στους πολυπλέκτες δεν υπάρχει πιθανότητα συμφόρησης. Επίσης, δεν χρειάζεται μετάδοση πληροφορίας μεταγωγής αφού η ίδια σχέση ένα-προς-ένα καθορίζει την ανταπόκριση μεταξύ των γραμμών των συνδρομητών στην μία πλευρά και της υπηρεσίας μεταγωγής στην άλλη. Ένα μεγάλο μειονέκτημα των συστημάτων πολύπλεξης είναι ότι τα κανάλια χρησιμοποιούνται ελάχιστα αν οι πηγές είναι σχετικά ανενεργές. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός συγκέντρωσης και πολύπλεξης.

2.10.3 Φωνοσυχνικά συστήματα ενίσχυσης και αναμετάδοσης

Η χρήση υψίσυχνων δισύρματων φορέων FDM, για τη μετάδοση πολυπλεγμένων αναλογικών φωνοσυχνικών σημάτων (*voice frequency signals - VFS*) δύο κατευθύνσεων σε μεγάλες αποστάσεις, επέβαλε την ανάπτυξη ειδικών συστημάτων ενίσχυσης και αναμετάδοσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια αποδεκτή ποιότητα επικοινωνίας. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται ως *Φωνοσυχνικοί Αναμεταδότες* (*voice frequency repeaters - VFR*) και παρεμβάλλονται στη γραμμή σε συγκεκριμένες αποστάσεις. Οι Φωνοσυχνικοί Αναμεταδότες χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στα αστικά ζευκτικά κυκλώματα όσο και στα αντίστοιχα κλασσικά υπεραστικά και διεθνή αναλογικά κυκλώματα.

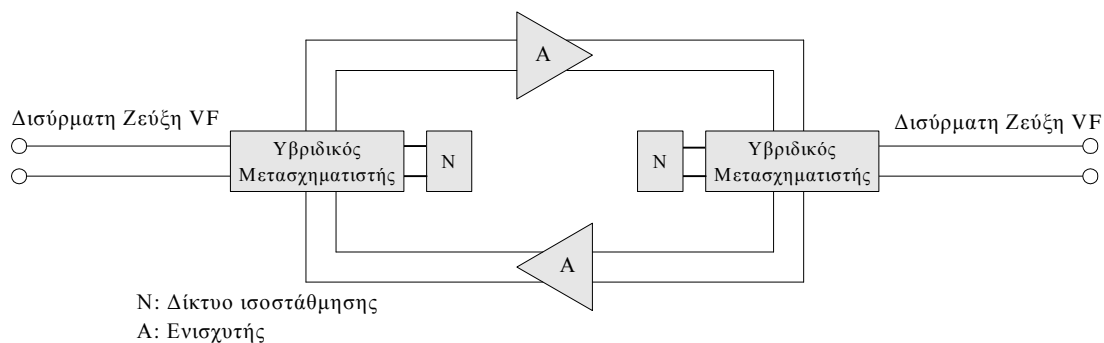
Στο Σχήμα 2.20 δείχνεται το απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα ενός Φωνοσυχνικού Αναμεταδότη, ο οποίος εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

1. διαχωρισμός ανά κατεύθυνση δύο σημάτων φωνής. Ο διαχωρισμός των σημάτων φωνής γίνεται από έναν ειδικό μετατροπέα (*Υβριδικός Μετασχηματιστής*), ο οποίος μπορεί να περιγραφεί ως ένας διανεμητής ισχύος μεταξύ τεσσάρων δισύρματων συνδέσεων. Από τις συνδέσεις αυτές, η

πρώτη σύνδεση ανήκει στη δισύρματη ζεύξη VF. Οι επόμενες δύο ανήκουν στον τετρασύρματο εσωτερικό διάυλο (path) ο οποίος απαρτίζεται από ένα ζεύγος μετάδοσης και ένα ζεύγος λήψης. Η τέταρτη σύνδεση συνδέει το διανεμητή με ένα δικτύωμα ισοστάθμισης ή εξισορρόπησης (*balancing network –N*) το οποίο εξισορροπεί ηλεκτρικά τον διανεμητή με το υπόλοιπο τμήμα της δισύρματης ζεύξης VF μέχρι τους συνδρομητές. Η εξισορρόπηση γίνεται πάνω στην περιοχή συχνοτήτων του δικτύωματος ισοστάθμισης (N).

Η ενέργεια του VFS που εισάγεται στον Υβριδικό Μετασχηματιστή από:

- τη δισύρματη ζεύξη VF διαιρείται σε δύο ίσα μέρη. Το πρώτο μισό καταναλώνεται στη σύνθετη αντίσταση του ζεύγους μετάδοσης της τετρασύρματου εσωτερικού διάυλου, ενώ το άλλο μισό στο αντίστοιχο ζεύγος λήψης.
- την τετρασύρματη ζεύξη διαιρείται σε δύο ίσα μέρη. Το πρώτο μισό καταναλώνεται από το δικτύωμα ισοστάθμισης (N) και το άλλο μισό από τη δισύρματη ζεύξη VF.



Σχήμα 2.20: Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα Φωνοσυχνικού Αναμεταδότη (VFR)

Η ιδανική κατάσταση είναι όταν η συνολική ενέργεια που απορροφάται από το δικτύωμα ισοστάθμισης (N) είναι μηδέν.

2. ενίσχυση του σήματος της κάθε κατεύθυνσης. Στον εσωτερικό διάυλο χρησιμοποιούνται δύο μονοκατευθυντήριοι φωνοσυχνικοί ενισχυτές (E), ένας για τη μετάδοση και ένας για τη λήψη. Το κέρδος ενίσχυσης που απαιτείται ανά κατεύθυνση για τα VFS κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 25 dB. Επιπρόσθετα θα πρέπει να υπολογίζονται και οι απώλειες του Υβριδικού Μετασχηματιστή που είναι συνήθως της τάξης των 3.5 dB.
3. επανένωση των σημάτων φωνής των δύο κατευθύνσεων μέσω ενός δεύτερου Υβριδικού Μετασχηματιστή.

2.11 ΣΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Με τον όρο *σηματοδοσία ή σήμανση (signaling)* αναφέρεται το σύνολο της πληροφορίας που πρέπει να διακινηθεί μέσα στο τηλεφωνικό σύστημα έτσι ώστε να διασφαλιστεί:

1. η σωστή δημιουργία και ο έλεγχος των κλήσεων που πραγματοποιούνται μεταξύ των διαφόρων τερματικών, των κόμβων μεταγωγής και των χρηστών (συνδρομητών, διαχειριστών του τηλεφωνικού συστήματος, κλπ).
2. ο έλεγχος καλής λειτουργίας του συνόλου ή μέρους του ενεργού και του παθητικού εξοπλισμού του τηλεφωνικού συστήματος.

Η σηματοδοσία μεταδίδεται πάνω από το δίκτυο είτε υπό τη μορφή κωδικοποιημένων ηλεκτρικών σημάτων, όταν το δίκτυο είναι αναλογικό, είτε υπό τη μορφή κωδικοποιημένων μηνυμάτων, όταν το δίκτυο είναι ψηφιακό. Η παρουσία κάθε τέτοιου σήματος ή μηνύματος σηματοδοτεί την ενεργοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών που διακρίνονται ως:

1. **Λειτουργίες Επίβλεψης**. Τα σήματα ή τα μηνύματα επίβλεψης μεταφέρουν πληροφορίες που αφορούν στην κατάσταση ή στον έλεγχο των επιμέρους στοιχείων του δικτύου. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η αίτηση χρήσης (off-hook), η ετοιμότητα έναρξης επιλογής (ηχώσημα ελευθέρου), η ειδοποίηση κλήσης (κουδούνισμα), ο τερματισμός κλήσεως (on-hook), η αναζήτηση τηλεφωνήτριας (hook flash), η ειδοποίηση ότι καλείται ο καλούμενος συνδρομητής (ηχώσημα κουδουνισμού) και τα ηχοσήματα κατειλημμένου που δηλώνουν ότι ο καλούμενος συνδρομητής ή το δίκτυο είναι κατειλημμένος.
2. **Λειτουργίες Μεταφοράς Πληροφορίας (information bearing)**. Τα σήματα ή τα μηνύματα μεταφοράς πληροφορίας περιλαμβάνουν την πληροφορία που πρέπει να μεταφερθεί από το ένα TK στο άλλο ώστε να προωθηθούν οι κλήσεις, όπως π.χ. ο αριθμός του καλούμενου, ο αριθμός του καλούντα, τα τέλη υπεραστικών κλήσεων, κλπ.

Επισημαίνεται ότι η πληροφορία σηματοδοσίας δεν σχετίζεται και δεν πρέπει να συγχέεται με την πληροφορία ομιλίας που μεταφέρεται από τα φωνοσήματα στη διάρκεια των κλήσεων.

2.11.1 Σηματοδοσία στο αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης

Στο συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης τα σήματα σηματοδοσίας μεταφέρονται πάνω από τις ίδιες γραμμές που μεταφέρονται τα φωνοσήματα και για το λόγο αυτό η σηματοδοσία αυτή αναφέρεται ως σηματοδοσία ανά ζεύξη. Τα σήματα σηματοδοσίας στο αστικό αναλογικό δίκτυο ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, στους τόνους προόδου κλήσεων και στα σήματα γραμμής (ή ζεύξης) συνεχούς ρεύματος.

2.11.1.1 Τόνοι (ηχοσήματα) προόδου κλήσεων.

Οι τόνοι είναι σήματα που δέχεται ο τερματικός σταθμός ή ο συνδρομητής (καλών ή καλούμενος) που τον ενημερώνουν σχετικά με την τρέχουσα φάση της κλήσης και τον οδηγούν σε συγκεκριμένες ενέργειες. Τα ηχοσήματα είναι παγιωμένα σήματα και δεν τροποποιούνται σε σχέση με την εξέλιξη της τεχνολογία. Με βάση την προδιαγραφή Q.35 της ITU-CCITT, οι τόνοι που αποστέλλονται από το TK, είναι περιοδικά σήματα παλμών εναλλασσόμενου ρεύματος ακουστικής συχνότητας και είναι οι παρακάτω:

1. **Ηχώσημα έναρξης επιλογής (dial tone)**. Περιοδικός τόνος που σημαίνει ότι στο TK υπάρχει διαθέσιμο όργανο να δεχτεί εντολές από το συνδρομητή και ότι ο συνδρομητής μπορεί να αρχίσει την επιλογή του αριθμού κλήσης. Αντιστοιχεί σε μία σειρά από “α” του αλφάβητου Mors (βραχύς παλμός 0.4sec, σιγή 0.5sec, μακρύς παλμός 1sec, σιγή 0.5sec) που παράγεται με τη χρήση της συχνότητας $f = 450\text{Hz}$.
2. **Ηχώσημα ελευθέρου ή κουδουνισμού (ringing tone)**. Περιοδικός τόνος χαμηλής περιόδου που δείχνει στον καλούντα ότι εκτελείται η λειτουργία κουδουνισμού στον καλούμενο. Αντιστοιχεί σε μία σειρά από “τ” του αλφάβητου Mors (μακρύς παλμός πλάτους 1sec και διάστημα σιγής 3-5sec) που παράγεται με τη χρήση της συχνότητας $f = 450\text{Hz}$.
3. **Σήμα κατειλημμένης γραμμής (busy tone) ή συμφόρησης εντός του δικτύου (congestion tone)**. Περιοδικός τόνος που δείχνει την αποτυχία της κλήσης. Αντιστοιχεί σε μία σειρά από “ε” του αλφάβητου Mors (βραχύς παλμός πλάτους 0.5sec ακολουθούμενος από σιγή ίσης διάρκειας) που παράγεται με τη χρήση της συχνότητας $f = 450\text{Hz}$.
4. **Ηχώσημα ειδικής πληροφορίας (special information tone)**. Ηχογραφημένο σήμα περιοδικά μεταδιδόμενο που παρέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν στα αίτια της αποτυχίας μιας κλήσης.
5. **Ηχώσημα προειδοποίησης (warning tone)**. Περιοδικός τόνος που δείχνει ότι η συνδιάλεξη καταγράφεται (recorded). Αποτελείται από έναν παλμό πλάτους 350-500ms που παράγεται με τη χρήση της συχνότητας $f = 450\text{Hz}$ που ακολουθείται από σιγή διάρκειας 12-18sec.
6. **Τόνος αναγνώρισης χρεωτηλεφώνου (Payphone recognition tone)**. Περιοδικός τόνος που αποστέλλεται από το TK σε ειδικές τερματικές συσκευές (καρτοτηλέφωνα, κερματοτηλέφωνα, κλπ) με σκοπό την σήμανση του ενεργού χρόνου της σύνδεσης έτσι ώστε

να ενεργοποιούνται ειδικές λειτουργίες τοπικά στη συσκευή (π.χ. παραγωγή και ένδειξη χρέωσης, παρακράτηση κερμάτων, αφαίρεση μονάδων από προπληρωμένη κάρτα, κλπ). Ο τόνος αυτός παράγεται με το συνδυασμό περιοδικά παραγόμενων παλμοσειρών από τις συχνότητες $f_1=1100-1750\text{Hz}$ και $f_2=750-1450\text{Hz}$ σε μια συνολική περίοδο 2.6sec ως ακολούθως: παλμός f_1 για 200ms, σιγή για 200ms, παλμός f_2 για 200ms και σιγή για 2s.

7. Ηχώσημα κλήσης σε αναμονή (call waiting tone). Περιοδικός τόνος που ενημερώνει ένα συνδρομητή που ήδη πραγματοποιεί μια κλήση ότι ένας άλλος συνδρομητής τον καλεί. Ο τόνος αυτός είναι ο συνδυασμός περιοδικά παραγόμενων παλμοσειρών από τη συχνότητα $f=450\text{Hz}$ ως ακολούθως:
 - a. παλμός f για 300ms και σιγή για 8-10s.
 - b. παλμός f για 100-200ms, σιγή για 100-200ms, παλμός f για 100-200ms (συνολικά όχι περισσότερο των 500sec) και σιγή για 8-10s.
8. Ηχώσημα καλούντα σε αναμονή (caller waiting tone). Περιοδικός τόνος που ενημερώνει ένα συνδρομητή που εκτελεί μια νέα κλήση και ευρίσκει τον καλούμενο κατειλημένο, ότι ο καλούμενος έχει ενεργοποιήσει την υπηρεσία ειδοποίησης κλήσεων σε αναμονή. Ο καλών περιμένει την απάντηση του καλούμενου και δεν αποσυνδέεται. Ο τόνος αυτός μπορεί να είναι ένα μαγνητοφωνημένο σήμα ή ένα σήμα όμοιο με το ηχώσημα “κλήσης σε αναμονή”.

Σε πολλά PBX και τηλεφωνικές συσκευές του εμπορίου έχουν ενσωματωθεί ειδικοί μετατροπείς των παραπάνω τυποποιημένων τόνων σε άλλου είδους ιδιογενών τόνων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής ή δημιουργίας ενός μη τυποποιημένου τόνου μέσω επιλογίου (menu).

Όταν χρησιμοποιούνται τερματικά δεδομένων (αντί τηλεφωνικών συσκευών) που απαιτούν κατά τη διάρκεια της επιλογής την απενεργοποίηση των καταστολέων ηχούς (echo suppressors) πρέπει να αποστέλλονται ειδικοί τόνοι που να αναγνωρίζονται από τους καταστολείς ηχούς. Ο καταστολέας ηχούς είναι μια φωνητικά λειτουργούσα διάταξη που τοποθετείται στο τετρασύρματο τμήμα ενός συνδρομητικού κυκλώματος και χρησιμεύει για την καταστολή της ηχούς παρεμβάλλοντας απώλειες στην διαδρομή μετάδοσης της ηχούς.

Κατά παρόμοιο τρόπο τα συστήματα αυτόματης αποστολής τηλεαντιγράφων (facsimile) δημιουργούν τόνους 1100 Hz ώστε να επιτρέψουν την αυτόματη αναγνώριση του εξοπλισμού μετάδοσης από τον εξοπλισμό λήψης.

Ειδική περίπτωση αποτελεί το κλητήριο σήμα που αποστέλλεται στον καλούμενο συνδρομητή από το TK και το οποίο ενεργοποιεί το κουδούνι του μέσω ισχυρού εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας 25Hz.

2.11.1.2 Σήματα ζεύξεως ή κριτήρια σηματοδοσίας

Τα σήματα γραμμής (ή αλλιώς σήματα ζεύξεως) είναι δικατευθυντήρια σήματα συνεχούς ρεύματος, τα οποία δεν γίνονται αντιληπτά από τους χρήστες αλλά χρησιμοποιούνται εσωτερικά στο αστικό δίκτυο για την προώθηση των κλήσεων από συνδρομητή σε συνδρομητή. Η εμφάνιση των σημάτων ζεύξεως αποτελούν κριτήρια για την ενεργοποίηση λειτουργιών προώθησης της σύνδεσης μεταξύ του τερματικού σταθμού (π.χ. τηλεφωνικής συσκευής) και του τερματικού TK όπως επίσης και εσωτερικά στο τερματικό (π.χ. PBX).

Στα αναλογικά αστικά δίκτυα έχουν τυποποιηθεί οκτώ (8) διαφορετικά κριτήρια σηματοδοσίας συνεχούς ρεύματος που δημιουργούνται μέσω αλλαγών της πολικότητας σε αγωγούς που μεταφέρουν δικατευθυντήρια σήματα συνεχούς ρεύματος και είναι τα παρακάτω:

- i. Κατάληψη (seizing)
- ii. Επιλογή (dialing)
- iii. Δοκιμή (testing)
- iv. Φραγή (blocking, barring)
- v. Οπισθογραφή

- vi. έναρξη συνδιάλεξης
- vii. απόλυση
- viii. τελοχρέωση

Πέραν των οκτώ αυτών βασικών κριτηρίων έχουν τυποποιηθεί ορισμένα επιπρόσθετα κριτήρια που δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση (όποτε χρειάζεται) σε ορισμένα στοιχεία ελέγχου του δικτύου που σχετίζονται με μια δεδομένη σύνδεση, όπως για παράδειγμα η αποστολή αίτησης βοήθειας σε τηλεφωνήτρια που ενεργοποιείται με την ταχεία πίεση του ακκίστρου (hook flash).

Τα σήματα ζεύξεως συνεχούς ρεύματος δεν περιορίζονται από το χρήστη (όπως τα ηχοσήματα) και για το λόγο αυτό συχνά τροποποιούνται έτσι ώστε να αξιοποιούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στα συστήματα μετάδοσης και μεταγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το αναλογικό αστικό δίκτυο να χρησιμοποιεί μια μεγάλη ποικιλία κριτηρίων σηματοδοσίας για τη μεταφορά πληροφοριών ελέγχου μεταξύ των τηλεφωνικών κέντρων.

2.11.2 Σηματοδοσία στο αναλογικό αστικό ζευκτικό δίκτυο

Τα σήματα ζεύξεως συνεχούς ρεύματος, που χρησιμοποιούνται στο συνδρομητικό δίκτυο πρόσβασης, χρησιμοποιούνται παλαιότερα και σε ζευκτικά αναλογικά δίκτυα. Οι ζεύξεις αυτές ήταν μικρού μήκους και χρησιμοποιούσαν επιπρόσθετους αγωγούς σηματοδοσίας. Στην περίπτωση αυτή υπήρχε κοινή σηματοδοσία σε ολόκληρο το αστικό δίκτυο, δηλαδή στις συνδρομητικές και στις αστικές ζευκτικές γραμμές καθώς και σε κάθε εμπλεκόμενο ΤΚ που παρεμβάλετο σε μία σύνδεση.

Στα νεότερα αναλογικά αστικά ζευκτικά δίκτυα, η διασύνδεση δύο τερματικών ΤΚ γίνεται μέσω ενός συνόλου από ανεξάρτητες δισύρματες ζεύξεις χωρίς γείωση όπου η κάθε ζεύξη μετέφερε ένα σήμα ομιλίας στη ζώνη συχνοτήτων από 300 έως 3400Hz. Οι χαμηλότερες συχνότητες (0 έως 300Hz) χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά κριτηρίων σηματοδοσίας με τη μορφή απλών παλμοσειρών εναλλασσόμενου ρεύματος που δημιουργούνται με τη χρήση μιας μόνο συχνότητας 25, 50 ή 80Hz. Τα κριτήρια διαφοροποιούνται ανάλογα με τη συχνότητα και τη διάρκεια των παλμών αυτών, π.χ. χρήση δύο παλμών ανά κριτήριο όπου ο κάθε παλμός έχει διαφορετική διάρκεια. Οι επιλογικοί παλμοί μετατρέπονται σε παλμούς ίσης διάρκειας με αυτούς που μεταφέρονται στη σηματοδοσία συνεχούς ρεύματος. Η μετάδοση με απλές παλμοσειρές εφαρμόζεται σε ζεύξεις μικρού σχετικά μήκους.

2.11.3 Σηματοδοσία στο αναλογικό ζευκτικό υπεραστικό δίκτυο

Στα εθνικά και διεθνή αναλογικά υπεραστικά δίκτυα χρησιμοποιούνται δισύρματες ή τετρασύρματες συμμετρικές γραμμές χωρίς γείωση για να αποφεύγεται η εμφάνιση διαφωνίας ή άλλων προβλημάτων μετάδοσης. Τα δίκτυα αυτά περιλαμβάνουν κυρίως φερεσυχνικές ζεύξεις υψηλής συχνότητας όπου πολυπλέκονται αναλογικά φωνοσήματα με βάση την πολύπλεξη με επιμερισμό συχνότητας (FDM). Σε κάθε κλήση αφιερώνεται ένα κανάλι συχνοτήτων εύρους 4KHz, όπου μέσα στο κανάλι αυτό μεταφέρονται ταυτόχρονα το σήμα ομιλίας και η σηματοδοσία της κλήσης.

Η σηματοδοσία αυτού του τύπου αναφέρεται ως *Ενδοκαναλική Σηματοδοσία (In-Channel Signaling - ICS)*. Στην υπεραστική τηλεφωνία, η ICS εφαρμόζεται με δύο τρόπους, την *Ενδοζωνική Συσχετισμένη Σηματοδοσία (In-Band Associated Signaling - IBAS)* και την *Εξωζωνική Συσχετισμένη Σηματοδοσία (Out-Band Associated Signaling - OBAS)*.

Στην *Ενδοζωνική Συσχετισμένη Σηματοδοσία (IBAS)* η πληροφορία σηματοδότησης μεταδίδεται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από το φωνόσημα, δηλαδή στη ζώνη από 300 έως 3400Hz (για το λόγο αυτό η IBAS αναφέρεται και ως Σηματοδότηση Ακουστικών Συχνοτήτων). Το κύριο πλεονέκτημα της IBAS είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε μέσο μετάδοσης. Το κύριο μειονέκτημα πηγάζει από την ανάγκη να εξαιρεθούν οι αμοιβαίες παρεμβολές μεταξύ των κυματομορφών σηματοδοσίας και ομιλίας του χρήστη.

Έχει παρατηρηθεί, ότι οι συχνότητες ομιλίας πάνω από τα 2000Hz έχουν χαμηλότερη στάθμη και είναι λιγότερο πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα (π.χ. διακοπή της σύνδεσης). Για το λόγο αυτό έχει επιλεγεί να χρησιμοποιούνται είτε μία (σηματοδοσία μονής συχνότητας) είτε περισσότερες συχνότητες (σηματοδοσία πολλαπλής συχνότητας) πάνω από τα 2000Hz (π.χ. 2600Hz) ως φορείς μετάδοσης της σηματοδοσίας.

Η *Εξωζωνική Συσχετισμένη Σηματοδοσία (OBAS)* μεταδίδεται στο ίδιο κανάλι με τη φωνή αλλά σε διαφορετικό τμήμα της ζώνης συχνοτήτων. Για το λόγο αυτό η IBAS αναφέρεται και ως *Σηματοδότηση Καναλιού*. Συνεπώς η OBAS αποτελεί μία μορφή πολύπλεξης επιμερισμού συχνοτήτων μέσα σε ένα μοναδικό κύκλωμα φωνής. Η OBAS μπορεί να μεταφέρει διάφορα σήματα σε δύο ζώνες:

1. σε μη Φερέσυχα Συστήματα χρησιμοποιούνται οι χαμηλότερες συχνότητες (0 έως 300Hz) από αυτές που δημιουργεί η ομιλία (περίπτωση αστικών ζευκτικών γραμμών μικρού μήκους).
2. σε Φερέσυχα Συστήματα χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες συχνότητες από αυτές που δημιουργεί η ομιλία (3400 έως 4000Hz). Όταν γίνεται σηματοδότηση με παλμούς η CCITT συστήνει τη συχνότητα των 3825Hz ή άλλη παραπλήσια συχνότητα, όπως π.χ. 3700, 3850Hz.

Το πλεονέκτημα της OBAS είναι ότι δεν την παρενοχλεί η ομιλία και αποφεύγονται προβλήματα, όπως διακοπή της σύνδεσης. Το κύριο μειονέκτημα της OBAS είναι η εξάρτησή της από το σύστημα μετάδοσης.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο εφαρμογής της, σε κάθε άκρο της ζεύξης η ICS απαιτεί την ύπαρξη:

1. ενός *ταμειυτή* συλλογής των σημάτων που μεταφέρουν αριθμητική πληροφορία (κριτήρια ταμειυτών), όπως για παράδειγμα τα ψηφία του κάθε αριθμού κλήσης, και
2. ενός *μετατροπέα των σημάτων ζεύξης*. Στην περίπτωση που η ζεύξη τερματίζει σε τερματικό TK, στο μετατροπέα γίνεται μετατροπή των κριτηρίων συνεχούς ρεύματος σε κριτήρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Αντίθετα, στην περίπτωση που η ζεύξη τερματίζει σε διαβιβαστικό TK, στο μετατροπέα γίνεται είτε απλή διαβίβαση των κριτηρίων είτε μετατροπή των κριτηρίων εναλλασσόμενου ρεύματος σε κριτήρια εναλλασσόμενου ρεύματος άλλης μορφής.

Η πραγματοποίηση μίας σύνδεσης απαιτεί την εμφάνιση και τη μεταφορά των σημάτων ζεύξης με μια καθορισμένη αλληλουχία. Συνεπώς με τη χρήση μίας ή περισσότερων συγκεκριμένων συχνοτήτων, ως φορέων σηματοδοσίας, είναι εφικτή η μετάδοση όλων των κριτηρίων με δύο μεθόδους.

Η πρώτη μέθοδος αφορά στη μετάδοση απλών παλμοσειρών ίδιου τύπου με αυτές που χρησιμοποιούνται στα αναλογικά αστικά ζευκτικά δίκτυα. Η μετάδοση με απλές παλμοσειρές εφαρμόζεται σε εθνικές υπεραστικές ζεύξεις μικρού σχετικά μήκους.

Η δεύτερη μέθοδος αφορά στη μετάδοση κριτηρίων με χρήση κατάλληλων κωδικών. Κάθε κριτήριο κωδικοποιείται με ένα συγκεκριμένο τρόπο και για τη μετάδοσή του χρησιμοποιούνται μία, δύο ή περισσότερες συχνότητες. Η μετάδοση των κριτηρίων με κώδικες εφαρμόζεται σε ζεύξεις μεγάλου μήκους, κυρίως διεθνείς. Η ITU έχει επιλέξει τη μέθοδο αυτή ως την πλέον αποδοτική και έχει τυποποιήσει δύο συστήματα μεταφοράς σηματοδοσίας, το CCITT No 4 (Προδιαγραφή Q.120 έως Q.139) και το CCITT No 5 (Προδιαγραφή Q.140 έως Q.164).

2.11.3.1 Σύστημα μεταφοράς σηματοδοσίας CCITT No 4

Το σύστημα CCITT No 4 είναι κατάλληλο για μονόδρομη λειτουργία. Δηλαδή όλες οι κλήσεις δημιουργούνται πάντοτε από το ίδιο TK (άκρο της ζεύξης) και η κατάληψη της δυσύρματης ζεύξης γίνεται μόνο από αυτό το TK. Για το λόγο αυτό το συγκεκριμένο TK διαχειρίζεται πάντοτε κριτήρια που αφορούν σε εξερχόμενες μόνο τερματικές και διαβιβαστικές κλήσεις. Αντίθετα το άλλο TK διαχειρίζεται πάντοτε κριτήρια που αφορούν σε εισερχόμενες κλήσεις.

Τα κριτήρια CCITT No 4 διαχωρίζονται σε κριτήρια ζεύξης (σήματα ελέγχου της ζεύξης) και σε κριτήρια ταμειυτών (σήματα μεταφοράς αριθμητικής πληροφορίας, όπως π.χ. τα ψηφία κλήσης).

Κωδικοποίηση κριτηρίων ζεύξης. Κάθε σήμα ζεύξης κωδικοποιείται με τη βοήθεια δύο συχνοτήτων ($f_1=2040\text{Hz}$ για το λογικό “1” και $f_2=2400\text{Hz}$ για το λογικό “0”) και αποτελείται από τα παρακάτω δύο τμήματα που μεταδίδονται ακολουθιακά:

- **πρόθεμα (prefix-P)** που είναι ένα σύνθετο σήμα που δημιουργείται από την ταυτόχρονη μετάδοση των δύο συχνοτήτων για διάστημα $P=150\text{ms}$ και χρησιμεύει για την προετοιμασία των κυκλωμάτων μεταγωγής του κυκλώματος τερματισμού της ζεύξης για να δεχθεί το κυρίως μέρος του σήματος (επίθεμα) που ακολουθεί.
- **επίθεμα (suffix-S)** που είναι το κυρίως σήμα ελέγχου που αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά στοιχεία, το X ($f_1=100\text{ms}$), XX ($f_1=350\text{ms}$), Y ($f_2=100\text{ms}$), YY ($f_2=350\text{ms}$).

Με βάση τα P και S προκύπτει μια σειρά από σήματα και προς τις δύο κατευθύνσεις διότι η αποστολή κάθε σήματος προς τον απομακρυσμένο άκρο της ζεύξης απαιτεί την αποστολή από τον παραλήπτη σήματος επιβεβαίωσης ή σηματοδότησης προβλήματος. Συνολικά τα σήματα ζεύξεως είναι τα παρακάτω:

- **τέσσερα εμπροσθόδρομα (forward) σήματα ζεύξης** που είναι:
 - **PX:** κατάληψη (seizing) τερματικού κυκλώματος,
 - **PY:** κατάληψη διαβιβαστικού κυκλώματος,
 - **PXX:** απόλυση εμπροσθόδρομης κλήσης (clear-forward signal) και
 - **PYY:** εμπροσθόδοτη μεταφορά (forward transfer) που είναι σήμανση ανάγκης χρήσης βοήθειας από τηλεφωνήτρια στο καλούμενο μέρος.
- **οκτώ οπισθόδρομα (backward) σήματα ζεύξης** που είναι:
 - τρία σήματα **PX** τα
 - **PX₁:** κατειλημμένο καλούμενο μέρος (busy-flash),
 - **PX₂:** οπισθαπόλυση (clear back). Ένδειξη ότι το καλούμενο μέρος έχει καθαρίσει / σταματήσει από όλες τις λειτουργίες, π.χ. παύση χρέωσης,
 - **PX₃:** αίτημα φραγής (blocking) του εξερχόμενου άκρου του κυκλώματος ζεύξης του καλούντος μέρους,
 - **PY:** απάντησης (answer). Ένδειξη αποδοχής κλήσης και σήμανση έναρξης χρέωσης και μετρήσεων στο καλούμενο μέρος,
 - **PYY:** φύλαξη κατά την απόλυση (release guard) που είναι η απάντηση στο σήμα PXX του καλούμενου μέρους ότι είναι έτοιμο να απελευθερώσει το κύκλωμα μεταγωγής,
 - **X:** συνέχιση αποστολής (proceed-to-send signal) στο τερματικό μέρος,
 - **Y:** συνέχιση αποστολής στο διαβιβαστικό μέρος και
 - **P:** επιβεβαίωση ορθής λήψης αριθμών (number received).

Κατά την αποστολή ενός σήματος δεν παρεμβάλλεται χρόνος σιγής μεταξύ των P και S. Διαδοχικά αποστελλόμενα σήματα πρέπει να απέχουν κατ' ελάχιστον κατά 100ms. Στο δέκτη τα P και S είναι αναγνωρίσιμα όταν διαρκούν κατ' ελάχιστο: P 80ms, X και Y 40ms, XX και YY 200ms.

Κωδικοποίηση κριτηρίων ταμιευτών. Η κωδικοποίηση των κριτηρίων ταμιευτών (σημάτων μεταφοράς αριθμητικής πληροφορίας) βασίζεται σε έναν τετραδικό κώδικα ($2^0 2^1 2^2 2^3$) ο οποίος παράγει 16-διαφορετικά κριτήρια (Πίνακας 2.2). Κάθε κριτήριο μεταδίδεται ως μια σειρά τεσσάρων στοιχείων που μεταδίδονται σειριακά. Κάθε στοιχείο αποστέλλεται ως ένα σήμα που δημιουργείται από τη μία ή την άλλη συχνοτήτων και μεταδίδεται για διάστημα x ή $y=35\text{ms}$. Κάθε δε στοιχείο απέχει από το επόμενο κατά ένα σύντομο διάστημα σιγής επίσης $s=35\text{ms}$. Συνεπώς, για τη μετάδοση κάθε κριτηρίου απαιτούνται περίπου 300ms, γεγονός που καθιστά τον κώδικα αυτό πολύ αργό. Στο δέκτη τα στοιχεία x , y και s είναι αναγνωρίσιμα όταν διαρκούν κατ' ελάχιστο 10ms.

Πίνακας 2.2: Κωδικοποίηση κριτηρίων ταμειυτών (σύστημα CCITT No 4, προδιαγραφή Q.121)

Τύπος κριτηρίου ταμειυτή (σήμα μεταφοράς αριθμητικής πληροφορίας)	Συνδυασμοί				
	A/A	Στοιχεία			
		1	2	3	4
Ψηφίο 1	1	y	y	y	x
Ψηφίο 2	2	y	y	x	y
Ψηφίο 3	3	y	y	x	x
Ψηφίο 4	4	y	x	y	y
Ψηφίο 5	5	y	x	y	x
Ψηφίο 6	6	y	x	x	y
Ψηφίο 7	7	y	x	x	x
Ψηφίο 8	8	x	y	y	y
Ψηφίο 9	9	x	y	y	x
Ψηφίο 0	10	x	y	x	y
Κλήση χειριστή ή τηλεφωνήτριας (κωδικός 11)	11	x	y	x	x
Κλήση χειριστή καθυστέρησης (κωδικός 11)	12	x	x	y	y
Κωδικός κενού διαστήματος (space code)	13	x	x	y	x
Έλεγχος καταστολής ηχούς	14	x	x	x	y
Σήμανση τέλους αποστολής αριθμητικών πληροφοριών	15	x	x	x	x
Κωδικός κενού διαστήματος (space code)	16	y	y	y	y

2.11.3.2 Σύστημα μεταφοράς σηματοδοσίας CCITT No 5

Το CCITT No 5 είναι ένα σύστημα ζευξιοπορικής (link-by-link) σηματοδοσίας κατάλληλο για αμφίδρομη λειτουργία, δηλαδή παρέχει τη δυνατότητα κατάληψης της ζεύξης και από τα δύο μέρη. Διαχειρίζεται κριτήρια ζεύξης και κριτήρια ταμειυτών που αφορούν σε εισερχόμενες και σε εξερχόμενες τερματικές και διαβιβαστικές κλήσεις σε καθένα από τα TK που είναι στα άκρα της.

Κωδικοποίηση κριτηρίων ζεύξης. Κάθε σήμα ζεύξης κωδικοποιείται με τη βοήθεια δύο συχνοτήτων ενδοζωνικής σηματοδοσίας ($f_1=2400\text{Hz}$ και $f_2=2600\text{Hz}$ με στάθμη $-9\pm 1\text{dBm0}$).

Πίνακας 2.3: Κωδικοποίηση κριτηρίων ζεύξης (σύστημα CCITT No 5, προδιαγραφή Q.141)

Τύπος κριτηρίου ζεύξης	Κατεύθυνση	Συχνότητα	Διάρκεια αποστολής	Χρόνος αναγνώρισης
κατάληψη (seizing)	→	f_1	συνεχώς	40ms
συνέχιση αποστολής (proceed-to-send)	←	f_2	συνεχώς	40ms
κατειλημμένο καλούμενο μέρος (busy-flash)	←	f_2	συνεχώς	125ms
γνωστοποίηση (acknowledgment)	→	f_1	συνεχώς	125ms
απάντηση (answer)	←	f_1	συνεχώς	125ms
γνωστοποίηση (acknowledgment)	→	f_1	συνεχώς	125ms
οπισθαπόλυση (clear back)	←	f_2	συνεχώς	125ms
γνωστοποίηση (acknowledgment)	→	f_1	συνεχώς	125ms
εμπροσθόδοτη μεταφορά (forward transfer)	→	f_2	850±200ms	125ms
απόλυση εμπροσθόδρομης κλήσης (clear-forward) ..	→	Σύνθετο f_1+f_2	συνεχώς	125ms
φύλαξη κατά την απόλυση (release guard)	←	Σύνθετο f_1+f_2	συνεχώς	125ms
εμπροσθόδρομη μετάδοση του σήματος	→			
οπισθόδρομη μετάδοση του σήματος	←			

Έχουν επιλεγεί δύο (αντί για μία) συχνότητες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται για κάθε κλήση:

1. Αυτόματη ανίχνευση διπλο-κατευθυντικής κατάληψης που απαιτεί η συχνότητα αποστολής του κριτηρίου “συνέχιση αποστολής” (2600Hz) να είναι διαφορετική από τη συχνότητα αποστολής του κριτηρίου “κατάληψη τερματικού κυκλώματος” (2400Hz). Η ανίχνευση γίνεται όταν το ένα μέρος μεταδίδει το κριτήριο “κατάληψη” και την ίδια στιγμή λαμβάνει από το άλλο μέρος το ίδιο κριτήριο και όχι το κριτήριο “συνέχιση αποστολής” (2600Hz).
2. Διευκρίνιση (διάκριση) μεταξύ σημάτων. Ο χρόνος αναγνώρισης όλων των σημάτων ζεύξης είναι στα 125ms έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διπλο-κατευθυντική κατάληψη. Αυτό δεν ισχύει για τα σήματα “συνέχιση αποστολής” και “κατάληψη” που ο χρόνος είναι στα 40ms

Λόγω της σταθερής σειράς εμφάνισης των σημάτων, χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα, είναι δυνατή η σήμανση διαφορετικών λειτουργιών (Πίνακας 2.3). Για παράδειγμα η οπισθόδρομη $f_2=2600\text{Hz}$ δείχνει τα σήματα: “συνέχιση αποστολής”, “κατελιημμένο” και “οπισθαπόλυση”.

Κωδικοποίηση κριτηρίων ταμειυτών. Ο επιλογικός αριθμός και όλη η σχετική με την κλήση πληροφορία, αποστέλλονται και καταγράφονται ως σύνολο (en block) σε έναν ταμειυτή πριν αρχίσει η διαδικασία κατάληψης μιας διεθνούς ζεύξης. Η ολοκλήρωση της καταγραφής σηματοδοτείται με έναν παλμό “σήματος λήξης παλμοδότησης, (end-of-pulsing signal - ST)”.

Στη συνέχεια γίνεται η κατάληψη της ζεύξης και με τη λήψη του σήματος “συνέχιση αποστολής” αρχίζει η αποστολή του επιλογικού αριθμού. Στην αρχή αποστέλλεται το σήμα “έναρξης παλμοδότησης (start-of-pulsing signal – KP”. Ακολουθούν τα αποθηκευμένα στον ταμειυτή αριθμητικά σήματα που μεταδίδονται σειριακά και ως σύνολο (en block). Η μετάδοση τελειώνει με την αποστολή ενός παλμού σήματος ST.

Πίνακας 2.4: Κωδικοποίηση κριτηρίων ταμειυτή (σύστημα CCITT No 5, προδιαγραφή Q.151)

Τύπος κριτηρίου ταμειυτή	Σύνθετα σήμα (Hz)	Διάρκεια μετάδοσης σήματος	Σχόλια
έναρξη παλμοδότησης (start-of-pulsing signal – KP ₁)	1100+1700	100±10ms	Τερματική κίνηση
έναρξη παλμοδότησης (start-of-pulsing signal – KP ₂)	1300+1700	100±10ms	Διαβιβαστική κίνηση
Ψηφίο - 1	700+900	55±5ms	
Ψηφίο - 2	700+1100	55±5ms	
Ψηφίο - 3	900+1100	55±5ms	
Ψηφίο - 4	700+1300	55±5ms	
Ψηφίο - 5	900+1300	55±5ms	
Ψηφίο - 6	1100+1300	55±5ms	
Ψηφίο - 7	700+1500	55±5ms	
Ψηφίο - 8	900+1500	55±5ms	
Ψηφίο - 9	1100+1500	55±5ms	
Ψηφίο - 0	1300+1500	55±5ms	
κλήση χειριστή ή τηλεφωνήτριας (κωδικός 11)	700+1700	55±5ms	Ημιαυτόματη σύνδεση
κλήση χειριστή καθυστέρησης (κωδικός 12)	900+1700	55±5ms	Ημιαυτόματη σύνδεση
Λήξη παλμοδότησης, (end-of-pulsing signal - ST)	1500+1700	850±200ms	

Το σήμα KP χρησιμοποιείται για την προετοιμασία του ταμειυτή υποδοχής των αριθμητικών σημάτων ανάλογα με το είδος μεταγωγής του καλούμενου μέρους, τερματικό TK (KP₁) ή διαβιβαστικό (KP₂).

Τα κριτήρια σηματοδότησης είναι μόνο εμπροσθόδρομα και κωδικοποιούνται με βάση έναν πολυσυχνικό κώδικα που σχηματίζεται με συνδυασμούς δύο (2) στοιχείων από έξι (6) στοιχεία σε έναν εξαδικό κώδικα ($2^0 2^1 2^2 2^3 2^4 2^5$) (Πίνακας 2.4). Κάθε στοιχείο αντιστοιχεί σε μία συχνότητα

($2^0=700\text{Hz}$, $2^1=1100\text{Hz}$, $2^2=1100\text{Hz}$, $2^3=1300\text{Hz}$, $2^4=1500\text{Hz}$ και $2^5=1700\text{Hz}$) και μεταδίδονται με στάθμη σήματος $-7\pm 1\text{dBm0}$. Οι έξι αυτές συχνότητες είναι έξω από τη ζώνη συχνοτήτων των κριτηρίων ζεύξης.

Από το σύνολο των παραγομένων συνδυασμών του κώδικα αυτού, για τη μετάδοση των κριτηρίων χρησιμοποιούνται μόνο οι 15 για τους οποίους ισχύει τα δύο στοιχεία να είναι πάντοτε “1” και τα υπόλοιπα τέσσερα “0”. Δηλαδή, το κάθε κριτήριο είναι ένα σύνθετο σήμα δύο συχνοτήτων (Πίνακας 2.4). Με τον τρόπο αυτό κάθε κριτήριο μεταδίδεται μέσα από την ταυτόχρονη μετάδοση δύο από τις έξι διαφορετικές συχνότητες. Το σύστημα CCITT No 5 επιτυγχάνει μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης κριτηρίων.

Το σύστημα CCITT No 5 εφαρμόζεται σε διεθνείς ζεύξεις μεγάλης χρήσης σε συνδυασμό με συστήματα *Εκχώρησης Χρόνου για Παρεμβολή Ομιλίας (Time Assignment Speech Interpolation – TASI)*. Το σύστημα TASI δίνει τη δυνατότητα χρήσης μιας πολύ ακριβής ζεύξης από περισσότερους ταυτόχρονα ομιλούντες χρήστες απ’ ό,τι τα κανάλια που διαθέτει. Αυτό βασίζεται στο ότι κάθε χρήστης ομιλεί συνήθως κατά το 40% του χρόνου κατάληψης της γραμμής και κατά το υπόλοιπο 60% του χρόνου η γραμμή είναι άεργος. Η χρήση του TASI απαιτεί διάκριση των δύο κατευθύνσεων (τετρασύρματη ζεύξη) και από ένα μεταγωγέα σε κάθε άκρο για την πολύ γρήγορη αναγνώριση της αρχής ομιλίας του κάθε χρήστη και τη σύνδεσή του σε μία ελεύθερη ζεύξη.

2.11.4 Σηματοδοσία στα ψηφιακά υπεραστικά και αστικά ζευκτικά δίκτυα

Στα ψηφιακά υπεραστικά και αστικά ζευκτικά δίκτυα χρησιμοποιούνται τετρασύρματες ζεύξεις όπου πολυπλέκονται ψηφιακά φωνοσήματα σε πλαίσια χρονικής διάρκειας $125\mu\text{sec}$ με βάση την πολύπλεξη με επιμερισμό χρόνου (TDM). Για τη μεταφορά των φωνοσημάτων της κάθε κλήσης, της αφιερώνεται ένα ψηφιακό κανάλι των 8bits. Η σηματοδοσία μεταφέρεται σε μορφή μηνυμάτων τα οποία δομούνται από τη μονάδα Ελέγχου του κάθε TK που διασυνδέει η ζεύξη.

Για τη μεταφορά της σηματοδοσίας του συνόλου των καναλιών της ζεύξης χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τρόποι, η σηματοδοσία Συσχετισμένη με Κανάλι και η σηματοδοσία Κοινού Καναλιού.

2.11.4.1 Σηματοδοσία Συσχετισμένη με Κανάλι (CAS).

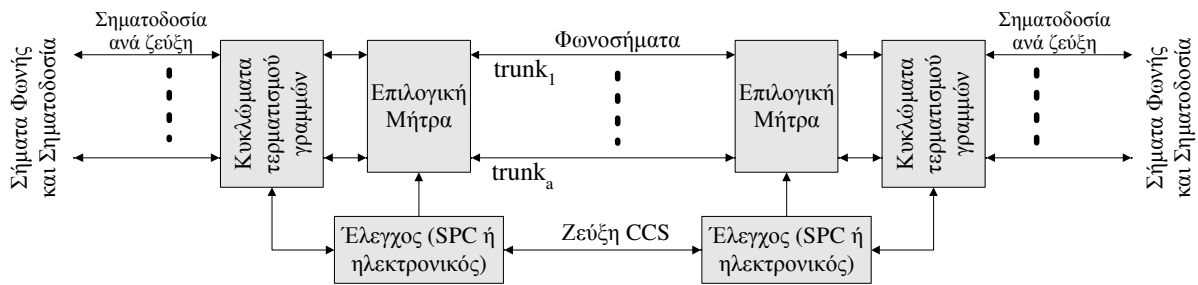
Η *Σηματοδοσία Συσχετισμένη με Κανάλι (Channel Associated Signaling – CAS)* χρησιμοποιεί ένα κανάλι από το σύνολο των καναλιών μιας ψηφιακής αρτηρίας TDM για τη μεταφορά της σηματοδοσίας των κλήσεων των οποίων τα φωνοσήματα μεταφέρονται από τα υπόλοιπα κανάλια της συγκεκριμένης αρτηρίας. Ο τύπος αυτός σηματοδοσίας κατατάσσεται στην ευρύτερη κατηγορία της σηματοδοσία τύπου ICS και είναι ο πλέον διαδεδομένος στα σύγχρονα τηλεφωνικά δίκτυα διότι διασφαλίζει την καλύτερη ποιότητα με τον πλέον απλό και διαχειρίσιμο τρόπο. Κύριο παράδειγμα εφαρμογής της σηματοδοσίας CAS είναι οι αρτηρίες PCM όλων των τάξεων.

2.11.4.2 Σηματοδοσία Κοινού Καναλιού (CCS).

Η *Σηματοδοσία Κοινού Καναλιού (Common Channel Signaling - CCS)* χρησιμοποιεί διαφορετικές ζεύξεις για τη μεταφορά των φωνοσημάτων απ’ ό,τι για τη μεταφορά της σηματοδοσίας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.21, τα φωνοσήματα των κλήσεων που πραγματοποιούνται μεταξύ των δύο TK μεταφέρονται από ανεξάρτητες ζεύξεις (t_1 έως t_n) που διεφάπτονται άμεσα της Επιλογικής Μήτρας του κάθε TK. Η σηματοδοσίας των κλήσεων αυτών δεν μεταφέρεται από τις ζεύξεις t_1 έως t_n .

Η σηματοδοσία όλων των κλήσεων, υπό τη μορφή μηνυμάτων και όχι σημάτων, μεταφέρεται από ανεξάρτητες ζεύξεις CCS, οι οποίες διεφάπτονται απευθείας με τον Κεντρικό Έλεγχο του TK. Αυτό απαιτεί ο Έλεγχος να είναι κατ’ ελάχιστο τύπου SPC.



Σχήμα 2.21: Ζευκτική ομάδα με CA-CCS

Σε πολλές περιπτώσεις, η σηματοδοσία που αφορά μια συγκεκριμένη ομάδα κλήσεων μεταφέρεται πάνω από ένα απλό κανάλι μιας συνήθους ζεύξης (π.χ. PCM) και όχι από ανεξάρτητη ζεύξη σηματοδοσίας. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει διαπαφή του συγκεκριμένου καναλιού με τον Έλεγχο και όχι διαπαφή ολόκληρης ζεύξης. Η σηματοδοσία αυτού του τύπου αναφέρεται ως *σηματοδοσία κοινού καναλιού συσχετισμένη με κανάλι* (*channel associated CCS, CA-CCS*).

Η σηματοδοσία CA-CCS δεν πρέπει να συγχέεται με την CAS. Στο κανάλι CAS μεταφέρεται η σηματοδοσία που αφορά στις κλήσεις που μεταφέρονται από τα υπόλοιπα κανάλια της ίδιας ζεύξης ενώ στο κανάλι CA-CCS μεταφέρεται η σηματοδοσία που αφορά σε κλήσεις που μεταφέρονται από άλλες ζεύξεις.

2.11.4.3 Πλεονεκτήματα της σηματοδοσίας CCS

Η χρήση της CCS απλοποιεί σημαντικά τις διαπαφές των ζεύξεων. Σε κάθε ζεύξη απαιτείται η διαπαφή μόνο φωνοσημάτων ή μόνο σηματοδοσίας και όχι και των δύο μαζί. Με αυτό τον τρόπο οι διαδικασίες πολύπλεξης / αποπολύπλεξης αφορούν σήματα ίδιου τύπου που οδηγούνται συνολικά στην ίδια μονάδα του TK, στην Επιλογική Μήτρα ή στον Έλεγχο αντίστοιχα.

Αντίθετα, στα συστήματα ICS η μεταφορά της πληροφορίας ελέγχου που παράγεται από τον Έλεγχο πρέπει να μεταγεται εσωτερικά στα κανάλια φωνής των ζεύξεων εξόδου και στην συνέχεια το TK που λαμβάνει την πληροφορία πρέπει να μετάγει εκ νέου την πληροφορία αυτή από τα κανάλια φωνής στον εξοπλισμό του κοινού Ελέγχου.

Η απλούστευση της διαδικασίας μεταφοράς πληροφορίας απ' ευθείας μεταξύ των Ελέγχων είναι ένα από τα κύρια κίνητρα για τη χρήση CCS, ενώ δευτερευόντως:

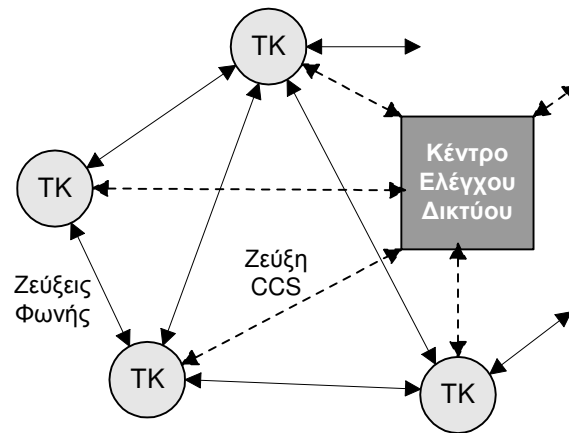
1. μειώνεται η πιθανότητα αμοιβαίων παρεμβολών λόγω του ότι χρησιμοποιούνται ξεχωριστά κανάλια για τη φωνή και τον έλεγχο.
2. δεν προσφέρεται η δυνατότητα για παράνομη χρήση του δικτύου, λόγω του ότι το κύκλωμα σηματοδοσίας του συστήματος είναι απροσπέλαστο από τους χρήστες.

Στη συνέχεια ας θεωρηθεί η περίπτωση τηλεφωνικών συνδέσεων που για να πραγματοποιηθούν πρέπει να διέλθουν διαδοχικά μέσα από πολλά διαβιβαστικά TK. Εάν μεταξύ όλων αυτών των TK υπάρχουν ζεύξεις CCS, τότε οι συνδέσεις αποκαθίστανται πολύ γρήγορα. Αυτό συμβαίνει διότι σε κάθε TK τα κριτήρια σηματοδοσίας μεταβιβάζονται άμεσα στο επόμενο TK ανεξάρτητα από το πότε θα ολοκληρωθεί το κύκλωμα φωνής μέσα στη Επιλογική Μήτρα του TK. Με τον τρόπο αυτό αποκαθίσταται άμεσα η “λογική” σύνδεση μεταξύ καλούντα και καλούμενου και έπεται η “φυσική” σύνδεση. Αντίθετα, στα συστήματα ICS το αντίστοιχο κύκλωμα φωνής πρέπει να ολοκληρωθεί πριν τη μετάδοση των κριτηρίων σηματοδοσίας δια μέσου αυτού.

Επιπρόσθετα, η ζεύξη δεδομένων CCS μπορεί να λειτουργήσει με μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων απ' ότι η συνήθης σηματοδοσία των αναλογικών δικτύων, με αποτέλεσμα την ακόμα ταχύτερη αποκατάσταση των συνδέσεων.

Με βάση τα παραπάνω, είναι εμφανές ότι το κανάλι ή η ζεύξη CCS δεν είναι απαραίτητο να συνδέεται με κάποια συγκεκριμένη ομάδα ζεύξεων. Η πληροφορία ελέγχου μπορεί να δρομολογείται

σε μία κεντρική μονάδα ελέγχου όπου να γίνεται η επεξεργασία των αιτήσεων και από την οποία οι Επιλογικές Μήτρες των TK να παίρνουν τις πληροφορίες σηματοδοσίας για τις συνδέσεις.



Σχήμα 2.22: Ανεξάρτητο δίκτυο σηματοδοσίας κοινού καναλιού

Το Σχήμα 2.22 παρουσιάζει ένα δίκτυο σηματοδοσίας κοινού καναλιού το οποίο είναι ανεξάρτητο της δομής του δικτύου φωνής. Το βασικό πλεονέκτημα του δικτύου αυτού είναι η ικανότητά του να διεκπεραιώνει αιτήσεις μέσω της γνώσης των συνθηκών κίνησης σε ολόκληρο το δίκτυο φωνής. Ο κεντρικός αυτός έλεγχος της σηματοδοσίας είναι ιδιαίτερα αποδοτικός όταν διαχειρίζεται πολλαπλά TK τα οποία είναι πολύ μικρά για να διεκπεραιώνουν από μόνα τους τις κλίσεις.

Σε επίπεδο δικτύου, η μετάβαση από την ενδοκαναλική σηματοδοσία στο ανεξάρτητο δίκτυο CCS είναι ανάλογη σε αξία της μετάβασης σε επίπεδο μεταγωγής, από τους μεταγωγείς με άμεσο / προοδευτικό έλεγχο (βήμα προς βήμα) στις επιλογικές μήτρες με κοινό έλεγχο.

2.11.4.4 Μειονεκτήματα της σηματοδοσίας κοινού καναλιού

Η πληροφορία ελέγχου που αφορά ένα ήδη αποκαταστημένο κύκλωμα φωνής, όπως για παράδειγμα το σήμα “αποσύνδεσης”, πρέπει να μεταφερθεί από το ένα TK στο άλλο με τη μέθοδο της αποθήκευσης και προώθησης, καθυστερώντας με αυτόν τον τρόπο την απελευθέρωση των κυκλωμάτων. Επίσης, αν ένα TK αποτύχει να μεταφέρει αποτελεσματικά την πληροφορία αποσύνδεσης, τότε τα κυκλώματα που ακολουθούν δεν θα απελευθερωθούν.

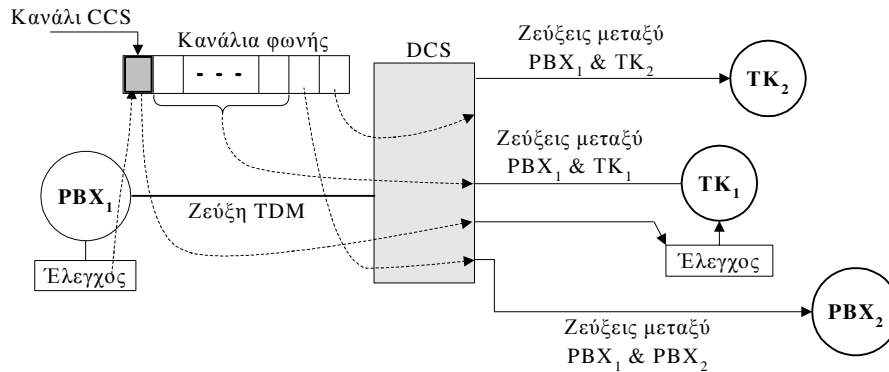
Αντίθετα, στα συστήματα ICS η μεταφορά ενός σήματος “αποσύνδεσης” διαδίδεται αυτόματα δια μέσου του δικτύου επιτρέποντας σε όλα τα TK που λαμβάνουν μέρος στη σύνδεση να επεξεργάζονται ταυτόχρονα την αποσύνδεση των ζευκτικών κυκλωμάτων και την απελευθέρωση των επιλογικών οργάνων.

Για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της CCS απαιτείται ένας μεγάλος βαθμός αξιοπιστίας από τη ζεύξη CCS. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εφεδρικού εξοπλισμού όσον αφορά το φυσικό μέσο μετάδοσης καθώς επίσης ειδικών συστημάτων ελέγχου των σφαλμάτων.

Στα συστήματα CCS, επειδή η πληροφορία σηματοδοσίας και τα φωνοσήματα ακολουθούν ξεχωριστά μονοπάτια, δεν υπάρχει αυτόματος έλεγχος του κυκλώματος φωνής όπως στην περίπτωση ICS όπου το κανάλι φωνής χρησιμοποιείται για να μεταφέρει παράλληλα πληροφορίες ελέγχου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, στα κυκλώματα απόληξης (τερματισμού) της ζεύξης CCS στα δύο TK που διασυνδέει, περιλαμβάνονται ειδικές διαδικασίες για τον έλεγχο του κάθε κυκλώματος φωνής που αποκαθίσταται μεταξύ των κέντρων αυτών και η σηματοδοσία του μεταφέρεται από την συγκεκριμένη ζεύξη CCS.

Στη συνέχεια ας θεωρήσουμε μια ζεύξη TDM όπου πολυπλέκονται πολλά κανάλια φωνής τα οποία σε μια δεδομένη χρονική στιγμή τερματίζουν σε χρήστες που δεν ανήκουν στο ίδιο σύστημα

μεταγωγής (π.χ. TK, PBX). Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.23 παρουσιάζεται μια ζεύξη TDM από ένα PBX (PBX₁) προς ένα ψηφιακό σύστημα διασταυρωτικής σύνδεσης (digital cross-connect system - DCS) του δημόσιου δικτύου. Το σύστημα DCS είναι ένα ειδικό σύστημα μεταγωγής (αναλύεται στο Κεφάλαιο 5) που δρομολογεί τα κανάλια φωνής μιας ζεύξης TDM προς σε ξεχωριστές κατευθύνσεις.



Σχήμα 2.23: Ανεξάρτητο δίκτυο σηματοδότησης κοινού καναλιού

Όπως φαίνεται, ορισμένα από τα κανάλια συνθέτουν μια ζευκτική ομάδα προς το τοπικό TK (TK₁), ενώ άλλα κανάλια αντιπροσωπεύουν ζεύξεις προς ένα άλλο PBX (PBX₂) ή ένα απομακρυσμένο TK (TK₂). Αν το κανάλι CCS μεταφέρεται πάνω από τη ζεύξη TDM (όπως στην περίπτωση του καναλιού D της ζεύξης PRI του ISDN) η πληροφορία σηματοδότησης για τις δύο τελευταίες ζευκτικές ομάδες τερματίζουν στον έλεγχο του TK₁.

Το TK₁ πρέπει στην συνέχεια να προωθήσει την πληροφορία στους αντίστοιχους προορισμούς TK₂ και PBX₂, υπό την προϋπόθεση ότι το TK₁ συνδέεται με τα TK₂ και PBX₂ με κανάλια CCS. Η διασύνδεση του TK₁ με τα TK₂ και PBX₂ είναι ευκολότερη στον χειρισμό της αν η πληροφορία σηματοδότησης συνοδεύει τα κανάλια φωνής όπως αυτό γίνεται αυτόματα στην ενδοκαναλική σηματοδότηση.