

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
Τομέας Τηλεπικοινωνιών & Τεχνολογίας της Πληροφορίας
Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας**

**ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ
ΚΕΝΤΡΑ**

(Κεφάλαιο 6)

ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
Καθηγητής

Πάτρα 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ	1
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
6.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΧΩΡΟΥ (SSM)	3
6.2.1 Αναλογικά Δομοστοιχεία Διακοπών Χώρου	4
6.2.2 Ψηφιακό Δομοστοιχείο SSM	5
6.2.3 Οι λειτουργίες Ψηφιακής Μεταγωγής Κυκλώματος	7
6.3 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΧΡΟΝΟΥ (TSM) - ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΝΗΜΗΣ	8
6.3.1 Λειτουργία και χρονισμοί του διακόπτη χρόνου	9
6.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των διακοπών χρόνου	11
6.3.2.1 Έλεγχος της μνήμης συνδιαλέξεων συσχετισμένος από την είσοδο	12
6.3.2.2 Έλεγχος της μνήμης συνδιαλέξεων συσχετισμένος από την έξοδο	12
6.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	12
6.5 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	14
6.5.1 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου STS	14
6.5.2 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TST	16
6.5.3 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TSSST	18
6.5.4 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TSSSST	19
6.6 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ & ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΝΔΡ/ΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΑ ΤΚ ΑΧΕ-10	21
6.6.1 Λειτουργίες Μεταγωγής Χρόνου στο LSM	22
6.6.2 Δομή του Συστήματος Μεταγωγής του ΑΧΕ-10	24
6.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	26

ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα Δίκτυα Μεταγωγής των ψηφιακών ΤΚ αποτελούν εξέλιξη των αντίστοιχων Δικτύων Μεταγωγής τύπου SDS των ψηφιακών SPC-TK, που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4.7. Στα ψηφιακά SPC-TK οι συνδρομητές τερματίζουν στο Δίκτυο Μεταγωγής SDS με ατομικές γραμμές και οι συνδέσεις γίνονται με την αποκατάσταση μέσα από το Δίκτυο Μεταγωγής τερασύρματων ψηφιακών γαλβανικών κυκλωμάτων τα οποία παραμένουν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια των κλήσεων.

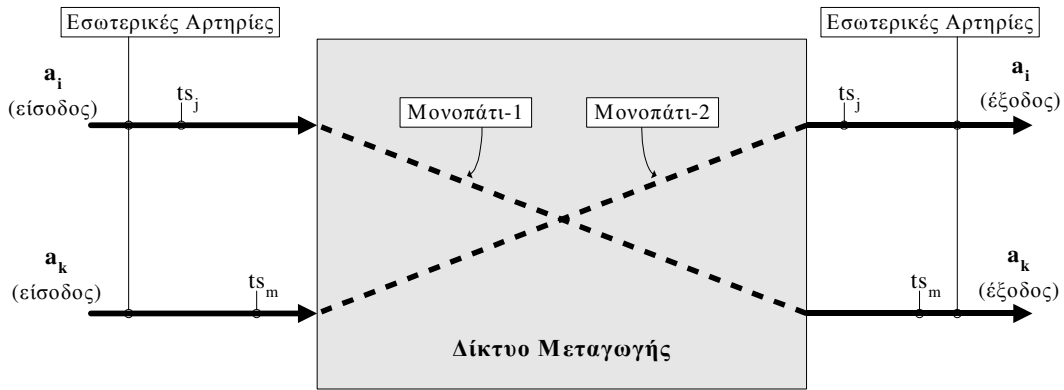
Αντίθετα το Δίκτυο Μεταγωγής των ψηφιακών ΤΚ διαφέρεται με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των Εσωτερικών Αρτηριών τύπου TDM/PCM που μεταδίδουν ψηφιακά φωνοσήματα σε πρωτεύοντα ρυθμό (π.χ. 2,048Mbps ή 1,544 Mbps) ή σε υψηλότερους ρυθμούς που είναι πολλαπλάσια του πρωτεύοντα ρυθμού. Για να γίνεται διάκριση με τις αρτηρίες εισόδου στο ΤΚ, οι χρονοθυρίδες των Εσωτερικών Αρτηριών θα αναφέρονται στη συνέχεια ως *εσωτερικές χρονοθυρίδες*. Τα κανάλια (φωνοσήματα) που μεταφέρει η κάθε Εσωτερική Αρτηρία προέρχονται από διαφορετικά συνδρομητικά ή ζευκτικά κυκλώματα και είναι πολυπλεγμένα σε πλαίσια των 125μsec.

Με βάση τη δομή αυτή, κάθε συνδρομητής του ψηφιακού ΤΚ όταν εκτελεί μία σύνδεση παρουσιάζεται τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του Δικτύου Μεταγωγής μέσα από δύο συνιστώσες διεύθυνσης (Σχήμα 6.1):

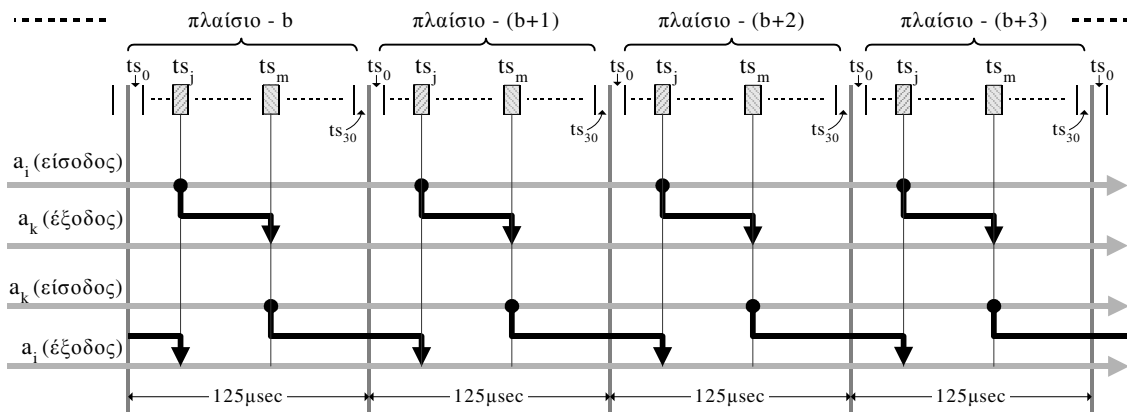
- τον αύξοντα αριθμό της Εσωτερικής Αρτηρίας (\mathbf{a}_i) και
- τον αύξοντα αριθμό της εσωτερικής χρονοθυρίδας (\mathbf{ts}_j) που καταλαμβάνει μέσα στην Αρτηρία (\mathbf{a}_i).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η μεταγωγή φωνοσημάτων που μεταφέρονται πάνω από διαφορετικές εσωτερικές χρονοθυρίδες διαφορετικών Εσωτερικών Αρτηριών να είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία. Όταν επικοινωνούν δύο συνδρομητές, με διευθύνσεις ($\mathbf{a}_i, \mathbf{ts}_j$) και ($\mathbf{a}_k, \mathbf{ts}_m$), τότε μέσα στο Δίκτυο Μεταγωγής θα πρέπει να δημιουργηθούν δύο ανεξάρτητες διαδρομές / μονοπάτια (paths) όπου κάθε 125μsec θα πρέπει να γίνεται:

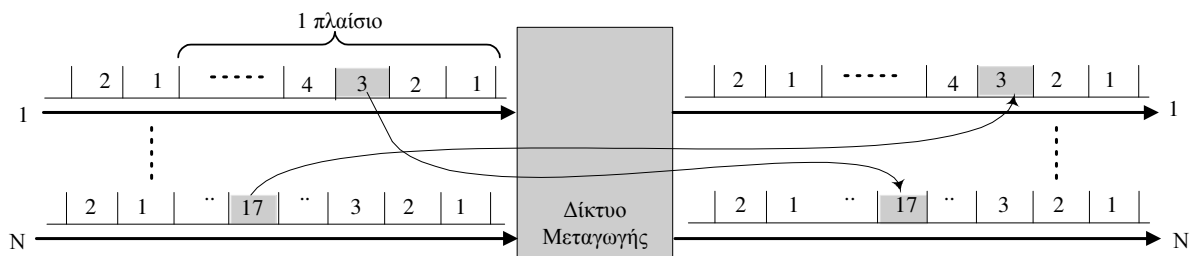
- μεταφορά ενός φωνοσήματος από τη διεύθυνση (a_i, ts_j) εισόδου στη διεύθυνση (a_k, ts_m) εξόδου (μονοπάτι-1) και
- μεταφορά ενός φωνοσήματος από τη διεύθυνση (a_k, ts_m) εισόδου στη διεύθυνση (a_i, ts_j) εξόδου (μονοπάτι-2).



Σχήμα 6.1: Λειτουργία μεταγωγής κυκλώματος στο Δίκτυο Μεταγωγής ψηφιακού ΤΚ.



Σχήμα 6.2: Μεταγωγή εσωτερικών χρονοθυρίδων (a_i, ts_j) και (a_k, ts_m).



Σχήμα 6.3: Μεταγωγή εσωτερικών χρονοθυρίδων (1, 3) και (N, 17).

Στο Σχήμα 6.1 εάν ο συνδρομητής (ai, ts_j) είναι ο καλών τότε το μονοπάτι-1 οριοθετεί την εμπροσθόδρομη σύνδεση και το μονοπάτι-2 την οπισθόδρομη σύνδεση. Στο Σχήμα 6.2 δείχνεται η μεταγωγή των φωνοσημάτων των συνδρομητών με διευθύνσεις (ai, ts_j) και (ak, ts_m). Στο παράδειγμα του Σχήματος 6.3 απεικονίζεται με ένα διαφορετικό τρόπο η μεταγωγή φωνοσημάτων πάνω από Εσωτερικές Αρτηρίες τύπου TDM/PCM. Ειδικότερα παρουσιάζεται η σύνδεση του καναλιού 3 της Αρτηρίας-1 με το κανάλι 17 της αρτηρίας-N.

Η μεταγωγή που γίνεται με τον παραπάνω τρόπο αναφέρεται ως *Χρονομεταγωγή Κυκλώματος*, ή *Μεταγωγή Κυκλώματος με Χρονοδιαίρεση*, ή *Μεταγωγή Κυκλώματος Επιμερισμού Χρόνου (Time Division circuit Switching – TDS)* ή ακόμα και ως *Ανταλλαγή χρονοθυρίδων (Time-Slots Interchange)*. Όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.1 και 6.2 κάθε σύνδεση απαιτεί δύο διαδικασίες μεταφοράς πληροφορίας, όπου η κάθε μία εμπλέκει ταυτόχρονα μετατροπές στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο του χώρου. Για το λόγο αυτό η μεταγωγή TDS απαιτεί στο Δίκτυο Μεταγωγής να περιλαμβάνονται υποχρεωτικά οι παρακάτω δύο διαφορετικές κατηγορίες επιλογικών δομοστοιχείων:

- επιλογικά δομοστοιχεία (διακόπτες) που μετάνουν φωνοσήματα TDM από Αρτηρία σε Αρτηρία. Τα δομοστοιχεία αυτά οργανώνονται σε ειδικές επιλογικές μήτρες και αναφέρονται ως *Δομοστοιχεία Διακοπών Χώρου (Space Switches Modules – SSM)*.
- επιλογικά δομοστοιχεία (διακόπτες) που μετάνουν τα φωνοσήματα μιας συγκεκριμένης Αρτηρίας TDM από χρονοθυρίδα σε χρονοθυρίδα. Τα στοιχεία αυτά οργανώνονται σε ειδικές επιλογικές μήτρες και αναφέρονται ως *Δομοστοιχεία Διακοπών Χρόνου (Time Switch Modules – TSM)*. Οι διακόπτες-TSM χρησιμοποιούν μνήμες για την προσωρινή αποθήκευση και επαναπροώθηση των φωνοσημάτων σε επόμενες εσωτερικές χρονοθυρίδες και για το λόγο αυτό αναφέρονται και ως *Διακόπτες με Ψηφιακή Μνήμη (Digital Memory Switch)*.

Η χρήση των δομοστοιχείων-TSM και SSM επιβάλλει ο έλεγχος του Δικτύου Μεταγωγής να γίνεται σε δύο επίπεδα, σε επίπεδο μεταγωγής εσωτερικής χρονοθυρίδας και σε επίπεδο μεταγωγής κλήσης.

Ο έλεγχος μεταγωγής εσωτερικής χρονοθυρίδας φροντίζει για την αναδιάρθρωση των συνδέσεων του επιλογικού πεδίου του δομοστοιχείου- SSM ή TSM κάθε φορά που αλλάζει η εσωτερική χρονοθυρίδα. Η αναδιάρθρωση γίνεται με έναν κυκλικό τρόπο και με περίοδο ίση με αυτή του πλαισίου. Ο έλεγχος αυτός αποτελεί το κατώτερο (πρώτο) επίπεδο του Κοινού Ελέγχου που σχετίζεται με τον Έλεγχο Μεταγωγής και ευρίσκεται ενσωματωμένος σε κάθε δομοστοιχείο-SSM και TSM. Η επικοινωνία του ελέγχου μεταγωγής εσωτερικής χρονοθυρίδας με τα ανώτερα επίπεδα του Κοινού Ελέγχου γίνεται μέσω των ψηφιακών αρτηριών ελέγχου (Κεφάλαιο 5.1).

Ο έλεγχος μεταγωγής κλήσης γίνεται από το δεύτερο επίπεδο του Κοινού Ελέγχου του TK (λογισμικό Ελέγχου Μεταγωγής). Ο έλεγχος αυτός ενεργοποιείται κατά τη φάση αποκατάστασης μιας νέας σύνδεσης και φροντίζει για την ανεύρεση και κατάληψη μιας ελεύθερης διαδρομής μέσα στο Δίκτυο Μεταγωγής. Επίσης ενεργοποιείται και κατά τη φάση την απόλυση των κλήσεων και φροντίζει για την απελευθέρωση των κατειλημμένων σημείων τομής.

Όπως συμβαίνει στα δίκτυα SDS, έτσι και στα δίκτυα TDS τα ομοειδή επιλογικά δομοστοιχεία οργανώνονται σε βαθμίδες. Το μικρότερο Δίκτυο Μεταγωγής TDS πρέπει να είναι διβάθμιο (και όχι μοναβάθμιο όπως το SDS) και να περιλαμβάνει μία βαθμίδα με δομοστοιχεία-TSM και μία βαθμίδα με δομοστοιχεία-SSM. Όπως θα εξηγηθεί στα επόμενα κεφάλαια ένα μεγάλο Δίκτυο Μεταγωγής περιλαμβάνει περισσότερες τις μιας βαθμίδας και από τους δύο τύπους δομοστοιχείων.

6.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΧΩΡΟΥ (SSM)

Οι επιλογικές μήτρες των διακοπών-SSM έχουν ουσιαστικά την ίδια τοπολογία με αυτήν που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα SDS. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά τους ως θεωρήσουμε ότι έχουμε μια μήτρα n -εισόδων και n -εξόδων. Υπενθυμίζεται ότι στο SDS υπάρχει μία συγκεκριμένη διάρθρωση

(configuration) των συνδέσεων των n-εισόδων και n-εξόδων η οποία αλλάζει όταν αρχίζει ή τερματίζει μια κλήση. Λειτουργικά αυτό σημαίνει ότι τα σημεία διασταύρωσης μοιράζονται μεταξύ διαδοχικών κλήσεων και όταν ένα σημείο είναι εκχωρημένο σε μια κλήση το σημείο αυτό είναι δεσμευμένο για ολόκληρη τη διάρκεια της συγκεκριμένης κλήσης.

Στην περίπτωση του SSM δεν υπάρχει μία μόνο συγκεκριμένη διάρθρωση αλλά τόσες διαφορετικές διαρθρώσεις όσες και οι χρονοθυρίδες (ts) της εσωτερικής αρτηρίας. Έτσι η επιλογική μήτρα παίρνει τη διάρθρωση-1 κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας-1, τη διάρθρωση-2 κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας-2, και ούτω καθεξής. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου ολοκληρωθεί κυκλικά ο συνολικός αριθμός των χρονοθυρίδων (ts) του πλαισίου οπότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Ο τρόπος αυτό λειτουργίας του διακόπτη SSM είναι ισοδύναμος με ts διαφορετικές επιλογικές μήτρες SDS, όπου η κάθε μήτρα έχει τη δική της διάρθρωση. Επισημαίνεται ότι η κάθε διάρθρωση εξυπηρετεί n-διαφορετικές κλήσεις, οπότε συνολικά στη διάρκεια του πλαισίου εξυπηρετούνται nxts διαφορετικές κλήσεις. Για το λόγο αυτό οι διακόπτες SSM αναφέρονται και ως *διακόπτες DSD πολυπλεγμένου χρόνου (time multiplexed space division switches)*.

Σημειώνεται ότι η μεταγωγή TDS είναι εφαρμόσιμη τόσο σε αναλογικό όσο και σε ψηφιακό περιβάλλον και επιτυγχάνει μία επιπρόσθετη σημαντική μείωση των σημείων τομής του Δικτύου Μεταγωγής. Αν και η αναλογική μεταγωγή TDS είναι μία απαρχαιωμένη μέθοδος μεταγωγής, είναι ωστόσο ένα καλό σημείο εκκίνησης για την επεξήγηση της βασικής αρχής της μεταγωγής με επιμερισμό χρόνου.

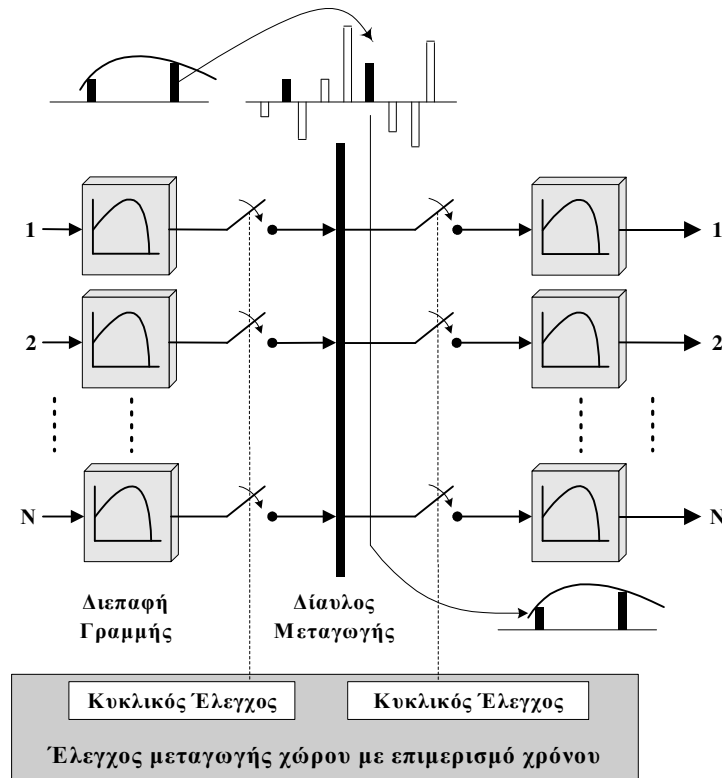
6.2.1 Αναλογικά Δομοστοιχεία Διακοπών Χώρου

Το Σχήμα 6.4 απεικονίζει μια απλή δομή αναλογικής μεταγωγής με διαίρεση χρόνου (αναλογικό SPM). Ένας μοναδικός Δίαυλος Μεταγωγής εξυπηρετεί έναν πολλαπλό αριθμό συνδέσεων πολυπλέκοντας στο χρόνο δείγματα φωνής - PAM που προέρχονται από διαφορετικές διεπαφές των γραμμών εισόδου και μετάγονται σε διαφορετικές διεπαφές των γραμμών εξόδου. Η λειτουργία αυτή απεικονίζεται σε τετρασύρματες ζεύξεις όπου οι Διεπαφές των γραμμών αποστολής και λήψης είναι ξεχωριστές. Όταν οι συνδέσεις γίνονται με δισύρματες αναλογικές γραμμές, τότε αναγκαστικά οι δύο Διεπαφές εμπεριέχονται σε ένα κοινό δομοστοιχείο.

Στο Σχήμα 6.4 υπάρχουν δύο μνήμες κυκλικού ελέγχου. Η πρώτη μνήμη ελέγχει την τοποθέτηση των δειγμάτων των εισόδων πάνω στον δίαυλο, όπου επιτρέπει την τοποθέτηση ενός δείγματος κάθε φορά. Η δεύτερη μνήμη ελέγχου λειτουργεί σε συγχρονισμό με την πρώτη και επιλέγει τη κατάλληλη έξοδο για κάθε δείγμα εισόδου.

Η ενεργοποίηση της κάθε διεπαφής γίνεται με την αποστολή ενός παλμού από την μνήμη ελέγχου. Μία πλήρης σειρά παλμών που αποστέλλεται στο σύνολο των εισόδων, οριοθετεί ένα πλαίσιο (frame). Ο ρυθμός πλαισίων είναι ίσος με το ρυθμό δειγμάτων για κάθε γραμμή. Για συστήματα φωνής ο ρυθμός δειγμάτων κυμαίνεται από 8 μέχρι 12 kHz. Σημειώνεται ότι όσο πιο υψηλοί είναι οι ρυθμοί που χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερο απλοποιούνται τα φίλτρα που περιορίζουν το εύρος ζώνης των γραμμών εισόδου και τα φίλτρα αναδημιουργίας του σήματος φωνής στις διεπαφές των γραμμών εξόδου.

Ο αναλογικός SPM πλεονεκτεί όταν σχετίζεται με αναλογική μετάδοση φωνής, αφού στην περίπτωση αυτή τα σήματα απλώς δειγματοληπτούνται και δεν κωδικοποιούνται ψηφιακά. Ωστόσο οι μεγάλοι αναλογικοί SPM έχουν τους ίδιους περιορισμούς όπως και οι αναλογικές ζεύξεις μετάδοσης με επιμερισμό χρόνου, δηλαδή τα δείγματα φωνής (δείγματα PAM) είναι ευαίσθητα στο θόρυβο, στη παραμόρφωση και στη διαφωνία. Στους ψηφιακούς διακόπτες οι περιορισμοί αυτοί δεν υφίστανται αφού τα σήματα φωνής αναπαράγονται κάθε φορά που περνάνε δια μέσου μιας λογικής πύλης. Έτσι η ανάγκη διατήρησης μιας υψηλής ποιότητας μετάδοσης σημάτων φωνής από άκρου σε άκρο δικαιολογεί το κόστος της ψηφιοποίησης των δειγμάτων PAM.



Σχήμα 6.4: Αναλογικός SSM

6.2.2 Ψηφιακό Δομοστοιχείο SSM

Στο Σχήμα 6.5 δείχνεται η γενική δομή ενός ψηφιακού δομοστοιχείου SSM (διακόπτης-SSM). Ο διακόπτης-SSM αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα.

Ζευκτικό Πεδίο: Το ζευκτικό πεδίο είναι ουσιαστικά μία μονοβάθμια ζευκτική μήτρα μεταγωγής επιμερισμού χρόνου (SDS) διαστάσεων $n \times n$. Τα σημεία τομής είναι ψηφιακές ηλεκτρονικές πύλες οι οποίες ελέγχονται μέσω ειδικών αγωγών ελέγχου. Οι είσοδοι και οι εξοδοί του πεδίου είναι ψηφιακές αρτηρίες TDM/PCM που μεταφέρουν ανά πλαίσιο k -χρονοθυρίδες ($ts_0 - ts_k$). Στο Σχήμα 6.5 δείχνεται ένα μικρό ζευκτικό πεδίο διαστάσεων 6×6 .

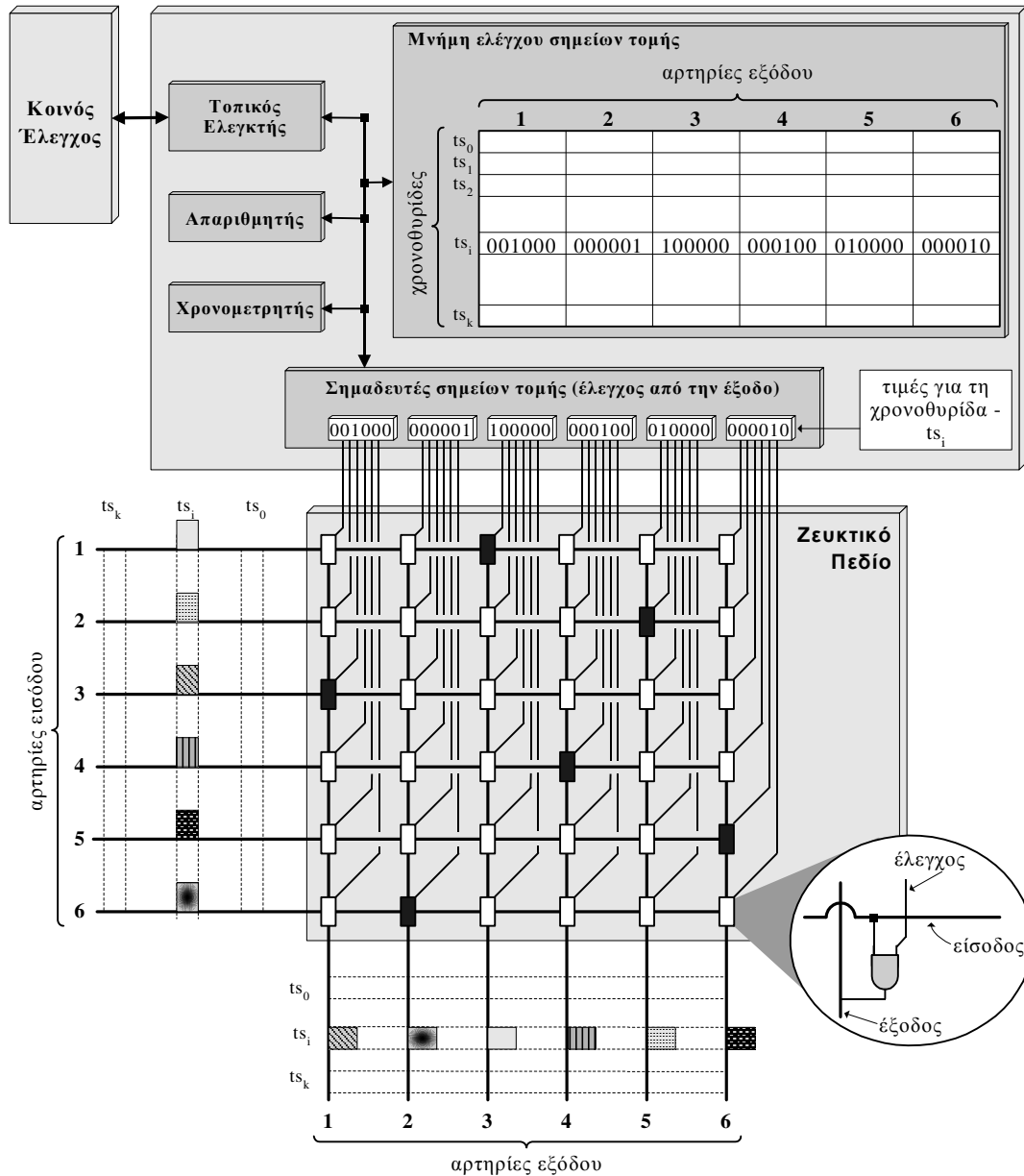
Μνήμη Ελέγχου Σημείων Τομής (Control Store Cross-Points - CSC): Η μνήμη ελέγχου CSC περιλαμβάνει την πληροφορία της κατάστασης της βαθμίδας χώρου για κάθε μεμονωμένη χρονοθυρίδα ενός πλαισίου. Η πρόσβαση στην πληροφορία ελέγχου γίνεται κυκλικά και με τον ίδιο τρόπο που επιτυγχάνεται η πρόσβαση στην πληροφορία ελέγχου στον αναλογικό διακόπτη διαίρεσης χρόνου.

Ένας κατάλληλος τρόπος για την υλοποίηση της μνήμης ελέγχου είναι η χρήση ενός κυκλικού καταχωρητή μετατόπισης (end-around-shift register). Το πλάτος του καταχωρητή ισούται με τον αριθμό των bits που απαιτούνται για την διάρθρωση (configuration) ολόκληρου του διακόπτη χώρου κατά τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας. Το μήκος του καταχωρητή ισούται με τον αριθμό των χρονοθυρίδων που περιέχονται σε ένα πλαίσιο.

Η μνήμη ελέγχου CSC καθορίζει τον χειρισμό των σημείων τομής του ζευκτικού πεδίου. Όταν ο διακόπτης χώρου ελέγχεται από την έξοδο, τότε η CSC ελέγχει τον χειρισμό όλων των σημείων τομής του ζευκτικού πεδίου που οδηγούν στην έξοδο N . Δηλαδή, όλα τα κατακόρυφα σημεία

(0,N), (1,N), (2,N), ..., που υπάρχουν στη στήλη-N του ζευκτικού πεδίου. Η μνήμη ελέγχου CSC αποτελείται από $n \times k$ θέσεις αποθήκευσης. Το TK AXE-10 της Ericsson διαθέτει μνήμες CSC με 512 θέσεις αποθήκευσης (16 αρτηρίες των 32 χρονοθυρίδων εκάστη).

Το περιεχόμενο της θέσης μνήμης CSC- i είναι ο αριθμός της γραμμής εισόδου- M του ζευκτικού πεδίου που πρέπει να ενωθεί με την στήλη- N (γραμμή εξόδου) του ζευκτικού πεδίου, δημιουργώντας έτσι το σημείο τομής (M,N). Η διεύθυνση της μνήμης ελέγχου CSC- i ορίζεται από τη γραμμή εξόδου- N και τον αύξοντα αριθμό της εσωτερικής χρονοθυρίδας- i .



Σχήμα 6.5: Ψηφιακός διακόπτης χώρου (SSM)

Για παράδειγμα στο Σχήμα 6.5 η θέση (4, t_{s_i}) της μνήμης ελέγχου CSC- i ορίζει το σημείο τομής το οποίο θα πρέπει να ενεργοποιηθεί κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας- t_{s_i} στην κατακόρυφη

γραμμή εξόδου-5. Το περιεχόμενο της μνήμης-(3,tsi) είναι το “010000” και δηλώνει ότι κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας-tsi θα συνδεθεί η αρτηρία εισόδου-2 με την αρτηρία εξόδου-4. Κατά τη διάρκεια των άλλων χρονοθυρίδων του πλαισίου ο διακόπτης χώρου αναδιαμορφώνεται πλήρως κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει άλλες συνδέσεις.

Η πληροφορία που περιέχεται στη μνήμη ελέγχου αλλάζει κάθε φορά που αποκαθίσταται μία νέα σύνδεση. Σημειώνεται ότι οι μνήμες ελέγχου των διακοπών χώρου και χρόνου είναι ίδιας κατασκευής σε ένα επιλογικό δίκτυο (κυρίως τύπου RAM) έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται κατά ενιαίο τρόπο από τον Κοινό Έλεγχο του TK.

Σημαδευτές σημείων τομής: Οι σημαδευτές περιλαμβάνουν καταχωρητές αποθήκευσης των διευθύνσεων ενεργοποίησης των σημείων τομής και αναδιάρθρωσης με κυκλικό τρόπο και για μικρές περιόδους χρόνου, δηλαδή μία φορά ανά χρονοθυρίδα. Επίσης περιλαμβάνονται τα κατάλληλα κυκλώματα ηλεκτρικής προσαρμογής των σημάτων ελέγχου και ενεργοποίησης των επιλεγμένων συνδέσεων.

Χρονιστής και Απαριθμητής χρονοθυρίδων: Ο χρονιστής περιλαμβάνει τα κυκλώματα ρολογιού και συγχρονισμού των χρονοθυρίδων των εισερχόμενων αρτηριών με τα σήματα ενεργοποίησης των επιλεγμένων σημείων τομής.

Τοπικός Ελεγκτής: Ο Τοπικός Ελεγκτής πραγματοποιεί το πρώτο επίπεδο ελέγχου του Κοινού Ελέγχου που αφορά στο λογισμικό Ελέγχου Μεταγωγής. Μια από τις βασικές λειτουργίες είναι η ενημέρωση της μνήμης ελέγχου CSC κάθε φορά που αποκαθίσταται μια νέα θέση και μετά την επιλογή χρήσης του συγκεκριμένου επιλογικού οργάνου από τον Κοινό Έλεγχο.

Ο Τοπικός Ελεγκτής, ο Απαριθμητής και ο Χρονιστής των εσωτερικών χρονοθυρίδων είναι κυκλώματα τα οποία εξυπηρετούν ταυτόχρονα περισσότερους από ένα διακόπτες SSM, συνήθως μια ολόκληρη βαθμίδα από τέτοιους διακόπτες.

Ο τρόπος μεταγωγής που δείχνεται στο Σχήμα 6.5 είναι βασισμένος σε έλεγχο από την έξοδο. Ο έλεγχος από την έξοδο προτιμάται, διότι είναι λιγότερο ευαίσθητος σε σφάλματα. Οπωσδήποτε χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις και ο έλεγχος από την είσοδο διότι επιτρέπει τη δίπλωση των μνημών ελέγχου, όπως θα περιγραφεί σε επόμενο κεφάλαιο.

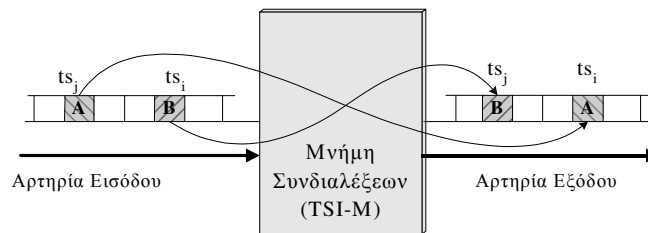
6.2.3 Οι λειτουργίες Ψηφιακής Μεταγωγής Κυκλώματος

Η μεταφορά των συνδρομητικών πληροφοριών από τις αρτηρίες εισόδου στις αρτηρίες εξόδου μέσω μιας βαθμίδας χώρου SSM, πραγματοποιείται ως εξής:

- Για χρονικό διάστημα ίσο με μιας εσωτερικής χρονοθυρίδα (internal time-slot) του Δικτύου Μεταγωγής, το λογισμικό Ελέγχου Μεταγωγής ενεργοποιεί ταυτόχρονα n-σημεία τομής του ζευκτικού πεδίου χώρου SSM, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο n-συνδέσεις μεταξύ των αρτηριών εισόδου και εξόδου. Στο παράδειγμα του Σχήματος 6.5 ισχύει n=6.
- Κατά την διάρκεια κάθε εσωτερικής χρονοθυρίδας μεταφέρονται n - αποθηκευμένα ψηφιακά φωνοσήματα (χρονοθυρίδες PCM) από την είσοδο προς την έξοδο. Υπάρχουν συνολικά nK εσωτερικές χρονοθυρίδες μεταφοράς προς το SSM, οι οποίες συνολικά διαρκούν 125 μsec (εσωτερική συχνότητα επανάληψης 8 KHz, συγχρονισμένη με την συχνότητα επανάληψης πλαισίου των αρτηριών PCM που συνδέονται στο Δίκτυο Μεταγωγής).
- Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του διακόπτη χώρου SPM επιτρέπει μόνο συνδέσεις 1 προς 1. Έτσι, κατά τη διάρκεια μίας εσωτερικής χρονοθυρίδας, ένα συγκεκριμένο TSM δημιουργεί μια μοναδική σύνδεση όπου λειτουργεί ως TSM εισόδου (για την ανάγνωση εισερχόμενων πληροφοριών) και μία μοναδική σύνδεση όπου λειτουργεί ως TSM εξόδου (για την προσωρινή αποθήκευση των εξερχόμενων πληροφοριών).

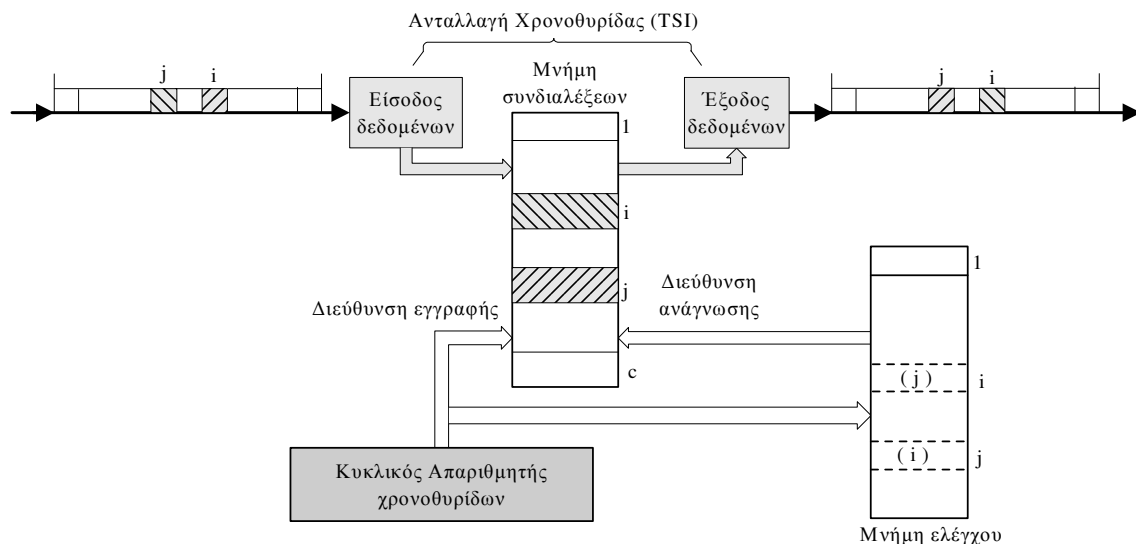
6.3 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΧΡΟΝΟΥ (TSM) - ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΝΗΜΗΣ

Στο Σχήμα 6.6 δείχνεται η αρχή λειτουργίας του διακόπτη χρόνου (TSM). Ο διακόπτης χρόνου με μνήμη λειτουργεί εγγράφοντας και διαβάζοντας δεδομένα σε μία απλή μνήμη, η οποία αναφέρεται ως *Μνήμη Ανταλλαγής Χρονοθυρίδων (Time Slot Interchange Memory – TSI-M)* ή πιο απλά ως *Μνήμη Συνδιαλέξεων (data store)*. Κατά τη διάρκεια της μεταγωγής, η πληροφορία (δείγματα φωνής) ανταλλάσσεται σε επιλεγμένες χρονοθυρίδες όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6: Λειτουργία ανταλλαγής δειγμάτων φωνής σε εσωτερικές χρονοθυρίδες.

Δεδομένου του χαμηλού κόστους των ψηφιακών μνημών, η κατασκευή ψηφιακών διακοπών μεταγωγής χρόνου (TSM) είναι περισσότερο οικονομική από ότι η κατασκευή διακοπών μεταγωγής χώρου (SSM). Όμως κατασκευαστικοί περιορισμοί της ταχύτητας λειτουργίας της μνήμης συνδιαλέξεων περιορίζουν το μέγεθος του διακόπτη χρόνου και για αυτό το λόγο σε μεγάλα επιλογικά δίκτυα προτιμούνται οι διακόπτες χώρου.



Σχήμα 6.7: Βασική λειτουργία διακόπτη χρόνου με μνήμη.

Η βασική λειτουργία ενός διακόπτη χρόνου με μνήμη φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Η ανταλλαγή της πληροφορίας μεταξύ δύο διαφορετικών χρονοθυρίδων πραγματοποιείται από ένα κύκλωμα *ανταλλαγής των πληροφοριών των χρονοθυρίδων (time slot interchange circuit - TSI)*. Στο TSI του

Σχήματος 6.7, τα δεδομένα των εισερχόμενων χρονοθυρίδων εγγράφονται σε διαδοχικές θέσεις στη μνήμη συνδιαλέξεων. Τα δεδομένων για τις εξερχόμενες χρονοθυρίδες, ωστόσο, διαβάζονται από τις διευθύνσεις που αποκτώνται από την μνήμη ελέγχου (control store). Κατά συνέπεια, για μία πλήρη δικατευθυντήρια (full-duplex) σύνδεση μεταξύ του καναλιού-TDM i και του καναλιού-TDM j θα πρέπει η διεύθυνση i της μνήμης συνδιαλέξεων να διαβάζεται κατά τη διάρκεια της εξερχόμενης σχισμής χρόνου j και αντιστρόφως.

Δεδομένου ότι απαιτείται μία ανάγνωση και μία εγγραφή για κάθε εισερχόμενο και εξερχόμενο κανάλι στη μνήμη συνδιαλέξεων, ο μέγιστος αριθμός καναλιών c που μπορούν να υποστηριχθούν από τον απλό διακόπτη χρόνου με μνήμη είναι $c = 125/2t_c$, όπου 125 είναι ο χρόνος πλαισίου σε microseconds και t_c είναι ο κύκλος χρόνου ανάγνωσης ή εγγραφής της μνήμης επίσης σε microseconds

6.3.1 Λειτουργία και χρονισμοί του διακόπτη χρόνου

Στη μνήμη συνδιαλέξεων υπάρχει πρόσβαση δύο φορές κατά τη διάρκεια της σύνδεσης μιας χρονοθυρίδας. Κατά το πρώτο ήμισυ της διάρκειας της χρονοθυρίδας, ένας κυκλικός απαριθμητής χρονοθυρίδων επιλέγει τον αύξοντα αριθμό της τρέχουσας χρονοθυρίδας και τον χρησιμοποιεί σαν τη διεύθυνση εγγραφής της πληροφορίας της χρονοθυρίδας στην μνήμη συνδιαλέξεων. Κατά το δεύτερο ήμισυ της διάρκειας της χρονοθυρίδας, το περιεχόμενο της μνήμης ελέγχου, για αυτή τη συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, επιλέγεται σαν η διεύθυνση ανάγνωσης της μνήμης συνδιαλέξεων.

Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική και περιγράφεται αναλυτικότερα σε μία απλή εργαστηριακή υλοποίηση του διακόπτη χρόνου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.8 που περιλαμβάνει τα παρακάτω δομοστοιχεία.

Ο χρονομετρητής (timer) δημιουργεί δύο αντίστροφες τετραγωνικές διπολικές κυματομορφές, την x και την \bar{x} , οι οποίες έχουν περίοδο ίση με αυτή της εσωτερικής αρτηρίας.

Ο κυκλικός απαριθμητής (counter) χρονοθυρίδων παρακολουθεί την χρονική εξέλιξη του πλαισίου και απαριθμεί την τρέχουσα χρονοθυρίδα.

Οι συστοιχίες λογικών πυλών ΨΨ δημιουργούν τη διεύθυνση εγγραφής και ανάγνωσης στη μνήμη συνδιαλέξεων. Ειδικότερα, όταν $x=1$ μεταφέρεται η διεύθυνση που παράγει ο κυκλικός απαριθμητής χρονοθυρίδων και όταν $x=0$ μεταφέρεται η διεύθυνση που παράγει η μνήμη ελέγχου.

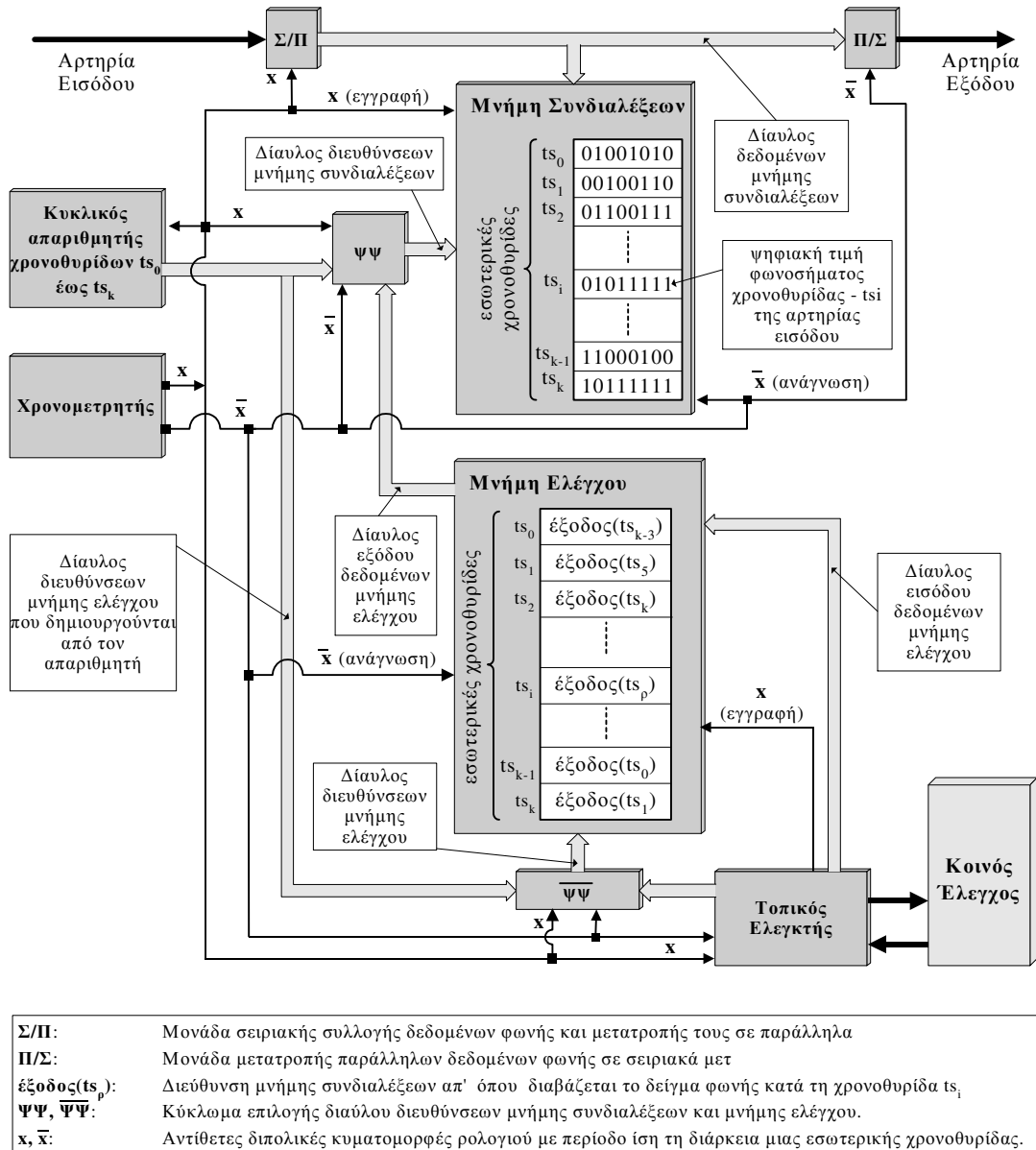
Οι συστοιχίες λογικών πυλών ΨΨ δημιουργούν τη διεύθυνση εγγραφής και ανάγνωσης στη μνήμη ελέγχου. Ειδικότερα, όταν $x=0$ μεταφέρεται η διεύθυνση που παράγει ο κυκλικός απαριθμητής χρονοθυρίδων και όταν $x=1$ μεταφέρεται η διεύθυνση που παράγει ο Τοπικός Ελεγκτής.

Η αρτηρία εισόδου τερματίζει σε μια μονάδα συλλογής των σειριακών δεδομένων (Σ/Π) η οποία καθ' όλη τη διάρκεια της τρέχουσας χρονοθυρίδας συλλέγει τα bits του φωνοσήματος. Στο τέλος της χρονοθυρίδας δημιουργεί ένα byte με την πληροφορία του φωνοσήματος και την αποθηκεύει σε έναν προσωρινό ταμειυτή. Η πληροφορία αυτή θα προωθηθεί στη μνήμη συνδιαλέξεων κατά το πρώτο ήμισυ της επόμενης χρονοθυρίδας.

Η αρτηρία εξόδου τερματίζει σε μια μονάδα μετατροπής των παράλληλων δεδομένων που εξέρχονται της μνήμης συνδιαλέξεων σε σειριακά (Π/Σ). Τα δεδομένα αυτά έχουν αποθηκευτεί σε έναν τοπικό προσωρινό ταμειυτή στο δεύτερο ήμισυ της προηγούμενης χρονοθυρίδας.

Ο Τοπικός Ελεγκτής παράγει τη διεύθυνση εγγραφής μιας νέας κλήσης στη μνήμη ελέγχου μετά από σχετικό μήνυμα που λαμβάνει από τον Κοινό Έλεγχο. Η δημιουργία μιας νέας κλήσης γίνεται κατά ασύγχρονο τρόπο η διαδικασία όμως εγγραφής της στη μνήμη ελέγχου γίνεται πάντοτε στο πρώτο ήμισυ μιας επιλεγμένης χρονοθυρίδας.

Με βάση τα παραπάνω δομοστοιχεία ο διακόπτης χρόνου στη διάρκεια μιας τρέχουσας χρονοθυρίδας t_{si} επεξεργάζεται συγχρόνως πληροφορία που αφορά τις χρονοθυρίδες t_{si-1} , t_{si} και t_{si+1} . Ειδικότερα:



Σχήμα 6.8: Εργαστηριακή υλοποίηση διακόπτη χρόνου.

- στις δύο αρτηρίες συλλέγει και μεταφέρει αντίστοιχα bits που αφορούν την τρέχουσα χρονοθυρίδα ts_i .
- στη μνήμη συνδιαλέξεων κατά το πρώτο ήμισυ της χρονοθυρίδας ts_i εγγράφεται η πληροφορία που συλλέχθηκε κατά την προηγούμενη χρονοθυρίδα ts_{i-1} . Για το σκοπό αυτό ο τοπικός απαριθμητής δημιουργεί τη διεύθυνση ts_{i-1} και $x=1$.
- στη μνήμη συνδιαλέξεων κατά το δεύτερο ήμισυ της χρονοθυρίδας ts_i γίνεται ανάγνωση από τη μνήμη συνδιαλέξεων της πληροφορίας που θα μεταφερθεί κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας ts_{i+1} από την αρτηρία εξόδου του διακόπτη. Η διεύθυνση διαβάζεται από την μνήμη ελέγχου και με διεύθυνση που δίνεται από τον κυκλικό απαριθμητή.

- διαπιστώνεται ότι ο τοπικός απαριθμητής για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες λειτουργίας του διακόπτη δημιουργεί στην αρχή και στη μέση της κάθε χρονοθυρίδας διαφορετικές διευθύνσεις.
- στην περίπτωση εγγραφής νέας κλήσης ο Τοπικός Ελεγκτής δημιουργεί τη διεύθυνση λειτουργίας της νέας σύνδεσης στη μνήμη ελέγχου και πραγματοποιεί την εγγραφή κατά το πρώτο ήμισυ της διάρκειας της τρέχουσας χρονοθυρίδας, δηλαδή στη χρονική εκείνη περίοδο όπου δεν χρησιμοποιείται η μνήμη ελέγχου.
- κάθε κλήση που απολύεται δεν δημιουργεί καμία επιβάρυνση στη λειτουργία του διακόπτη, διότι η σύνδεση της απολυθείσας κλήσης παραμένει ως έχει.

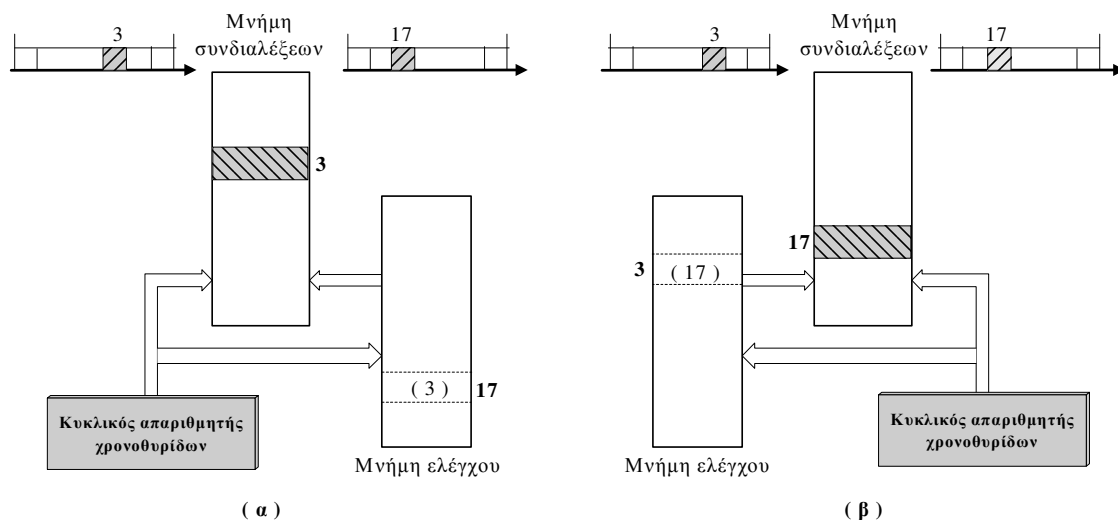
Σημειώνεται ότι η λειτουργία και οι χρονισμοί που αναφέρθηκαν προηγούμενα είναι πολύ γενικοί και δεν περιλαμβάνουν το σύνολο των ελέγχων και συγχρονισμών που απαιτούνται στη πράξη.

6.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των διακοπών χρόνου

Οι διακόπτες χρόνου εισάγουν από τη φύση τους μια καθυστέρηση στη μετάδοση της πληροφορίας (δείγματα φωνής) η οποία προέρχεται από τις επιβεβλημένες εναλλαγές στις χρονοθυρίδες. Η ελάχιστη καθυστέρηση ισούται με τη διάρκεια δύο χρονοθυρίδων ενώ η μέγιστη ισούται με τη διάρκεια ενός πλαισίου.

Η καθυστέρηση αυτή επιβάλει κατά το σχεδιασμό του Δικτύου Μεταγωγής την ελαχιστοποίηση των βαθμίδων που περιλαμβάνουν διακόπτες χρόνου. Η χρήση πολλών τέτοιων βαθμίδων ανά ΤΚ δημιουργεί καθυστερήσεις στα σήματα ομιλίας οι οποίες γίνονται ιδιαίτερα ενοχλητικές όταν ξεπεράσουν κάποιο όριο. Αυτό μπορεί να συμβεί στις διεθνείς διηπειρωτικές κλήσεις όπου η κάθε κλήση διέρχεται από πολλούς κόμβους (ΤΚ).

Από την πλευρά του ελέγχου των μηνιμών συνδιαλέξεων διακρίνονται δύο τρόποι, ο έλεγχος σχετιζόμενος από την είσοδο και ο έλεγχος σχετιζόμενος από την έξοδο. Οι δύο τρόποι λειτουργίας απεικονίζονται στο Σχήμα 6.9 όπου δείχνεται το πως η μνήμη συνδιαλέξεων έχει προσπέλαση για τη μεταφορά της πληροφορίας από τη χρονοθυρίδα 3 στη χρονοθυρίδα 17. Σημειώνεται ότι και στους δύο τρόπους λειτουργίας η μνήμη ελέγχου ενεργοποιείται από τον κυκλικό απαριθμητή (counter) των χρονοθυρίδων.



Σχήμα 6.9: Έλεγχος διακόπτη χρόνου: (α) από την είσοδο, (β) από την έξοδο

Στην περίπτωση πολυβάθμιων Δικτύων Μεταγωγής όταν μία βαθμίδα περιλαμβάνει διακόπτες χρόνου τότε επιβάλλεται όλοι οι διακόπτες της συγκεκριμένης βαθμίδας να λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και η βαθμίδα χαρακτηρίζεται π.χ. ως βαθμίδα χρόνου ελεγχόμενη από την είσοδο.

6.3.2.1 Έλεγχος της μνήμης συνδιαλέξεων συσχετισμένος από την είσοδο

Στον έλεγχο αυτό, που φαίνεται στο Σχήμα 6.9 (α) γίνεται σειριακή εγγραφή των δεδομένων στη μνήμη συνδιαλέξεων με διευθύνσεις που δίνει ο απαριθμητής και ανάγνωση κατά τυχαίο τρόπο σύμφωνα με διευθύνσεις που δίνει η μνήμη ελέγχου.

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας θεωρείται ότι κάθε θέση της μνήμης συνδιαλέξεων είναι αφιερωμένη σε συγκεκριμένο κανάλι (χρονοθυρίδα) της εισερχόμενης σύνδεσης TDM. Τα δεδομένα της κάθε εισερχόμενης χρονοθυρίδας αποθηκεύονται σε διαδοχικές θέσεις εντός της μνήμης, αυξάνοντας το περιεχόμενο του απαριθμητή (modulo-c counter). Για παράδειγμα, τα λαμβανόμενα δεδομένα κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας 3, αυτόματα αποθηκεύτηκαν στην τρίτη θέση της μνήμης συνδιαλέξεως.

Στην έξοδο η πληροφορία που λαμβάνεται από την μνήμη ελέγχου καθορίζει τη διεύθυνση της μνήμης συνδιαλέξεως όπου θα γίνει πρόσβαση και θα διαβαστούν δεδομένα που θα αποσταλούν κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης χρονοθυρίδας. Όπως φαίνεται, η δέκατη έβδομη θέση της μνήμης ελέγχου περιέχει τον αριθμό 3, υποδηλώνοντας ότι το περιεχόμενο της μνήμης συνδιαλέξεως που βρίσκεται στη διεύθυνση 3 μεταφέρεται στη σύνδεση εξόδου κατά τη διάρκεια της εξερχόμενης χρονοθυρίδας 17.

6.3.2.2 Έλεγχος της μνήμης συνδιαλέξεων συσχετισμένος από την έξοδο

Στον έλεγχο αυτό, που φαίνεται στο Σχήμα 6.9 (β) γίνεται εγγραφή των δεδομένων στη μνήμη συνδιαλέξεων κατά τυχαίο τρόπο με διευθύνσεις που δίνει η μνήμη ελέγχου και σειριακή ανάγνωση σύμφωνα με διευθύνσεις που δίνει ο απαριθμητής.

Ο δεύτερος αυτός τρόπος λειτουργίας είναι ακριβώς ο αντίθετος από τον πρώτο. Τα εισερχόμενα δεδομένα είναι εγγεγραμμένα εντός της μνήμης συνδιαλέξεως σε θέσεις που καθορίζονται από τη μνήμη ελέγχου, αλλά τα εξερχόμενα δεδομένα ανακτώνται διαδοχικά κάτω από τον έλεγχο του μετρητή. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα, η λαμβανόμενη πληροφορία κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας 3 εγγράφεται απ' ευθείας στη διεύθυνση 17 εντός της μνήμης συνδιαλέξεων, όπως υπαγορεύεται από τη πληροφορία που είναι εγγεγραμμένη στη μνήμη ελέγχου και η οποία αυτόματα ανακτάται κατά τη διάρκεια του εξερχόμενου καναλιού TDM με αύξοντα αριθμό 17.

6.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Όπως στα δίκτυα SDS έτσι και στα δίκτυα TDS τα ομοειδή επιλογικά όργανα οργανώνονται σε βαθμίδες. Το μικρότερο Δίκτυο Μεταγωγής TDS πρέπει να είναι διβάθμιο (και όχι μοναβάθμιο όπως το SDS) και να εκτελεί λειτουργίες μεταγωγής δεδομένων δύο διαστάσεων, χώρου και χρόνου, που περιλαμβάνει μία βαθμίδα-χώρου και μία βαθμίδα χρόνου.

Γενικά υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διάρθρωσης των Δικτύων Μεταγωγής που να ικανοποιεί την απαίτηση αυτή. Στο Σχήμα 6.10 δείχνεται μια απλή διάρθρωση ενός διβάθμιου Δικτύου Μεταγωγής N-εισερχόμενων αρτηριών σε N-εξερχόμενες αρτηρίες. Το Δίκτυο Μεταγωγής αποτελείται από μία βαθμίδα μεταγωγής χρόνου (T) ακολουθούμενη από μια βαθμίδα χώρου (S). Η βαθμίδα χρόνου αποτελείται από N ανεξάρτητους διακόπτες χρόνου ενώ η βαθμίδα χώρου από ένα διακόπτη χώρου διαστάσεων NxN. Η διάρθρωση αυτή χαρακτηρίζεται ως "διακόπτης χρόνου – χώρου - TS" (time - space switch - TS).

Η βασική λειτουργία της βαθμίδας χρόνου (T) είναι να καθυστερεί τη πληροφορία των χρονοθυρίδων εισόδου μέχρις ότου εμφανιστεί η επιθυμητή χρονοθυρίδα εξόδου στην ενδιάμεση

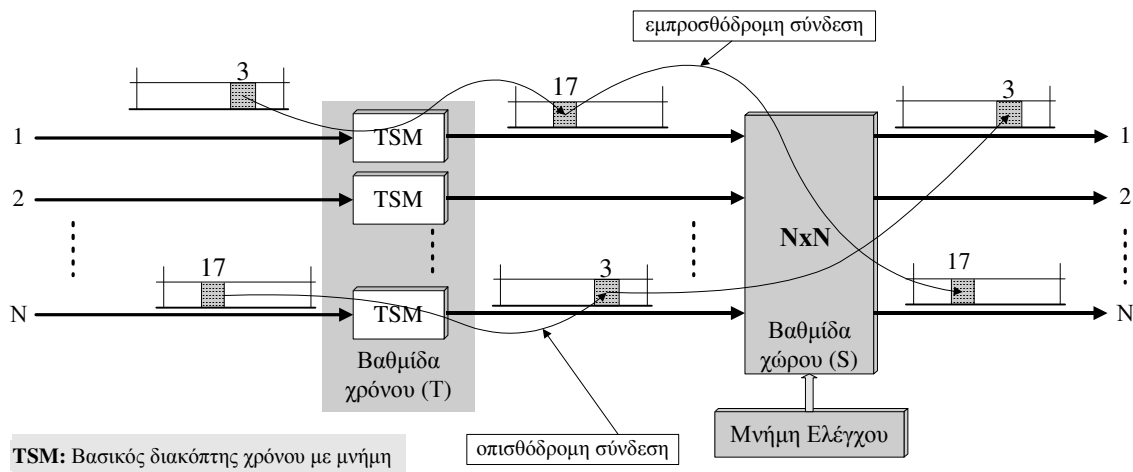
αρτηρία. Κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας αυτής, η καθυστερημένη πληροφορία μεταφέρεται διαμέσου της βαθμίδας χώρου (S) στη επιθυμητή αρτηρία εξόδου. Επισημαίνεται ότι η βαθμίδα χρόνου (T) πρέπει να παρέχει καθυστερήσεις που να ποικίλουν από μία χρονοθυρίδα μέχρι ένα πλήρες πλαίσιο.

Για παράδειγμα, στη διάρθρωση του Σχήματος 6.10:

- στην **εμπροσθόδρομη σύνδεση**, η πληροφορία της χρονοθυρίδας-3 της αρτηρίας εισόδου-1 καθυστερεί στο διακόπτη χρόνου (T) έως ότου εμφανιστεί η εξερχόμενη χρονοθυρίδα-17 της ενδιάμεσης αρτηρίας-1. Κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας-17 η πληροφορία μεταγεται μέσω της βαθμίδας χώρου από την αρτηρία-1 στη αρτηρία-N.
- στην **οπισθόδρομη σύνδεση**, η πληροφορία που φθάνει στη χρονοθυρίδα-17 της αρτηρίας εισόδου-N καθυστερεί έως ότου εμφανιστεί η χρονοθυρίδα-3 του επόμενου εξερχόμενου πλαισίου της ενδιάμεσης αρτηρίας-N. Κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας-3 η πληροφορία μεταγεται μέσω της βαθμίδας χώρου από την αρτηρία- N στη αρτηρία-1.

Η δομή TS του Σχήματος 6.10 εισάγει μερικούς περιορισμούς (συμφόρηση) στην λειτουργία μεταγωγής όταν απαιτείται μια σύνδεση σε ένα κανάλι εξόδου παρά σε ένα κανάλι εισόδου. Για παράδειγμα, αν η χρονοθυρίδα 17 της πρώτης ενδιάμεσης αρτηρίας είναι κατειλημμένη από άλλη σύνδεση (άλλης χρονοθυρίδας της πρώτης αρτηρίας εισόδου) τότε η σύνδεση της χρονοθυρίδας-1 της πρώτης αρτηρίας εισόδου και της χρονοθυρίδας-17 της αρτηρίας εξόδου-N δεν είναι δυνατή.

Αντίθετα, η διάρθρωση του Σχήματος 6.10 δεν παρουσιάζει συμφόρηση αν οι αρτηρίες εξόδου αποτελούν ζευκτικές ομάδες (trunk groups) που συνδέουν το συγκεκριμένο TK με ένα άλλο TK, όπου για την αποκατάσταση της σύνδεσης δεν έχει σημασία το ποια χρονοθυρίδα εξόδου θα καταληφθεί. Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η επιλογή της διάρθρωσης του επιλογικού δικτύου είναι άμεσα συνδεδεμένη με το είδος του TK, τη θέση του TK στο γενικότερο τηλεπικοινωνιακό χάρτη και το είδος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που διαχειρίζεται (π.χ. συνδρομητική, διαβιβαστική, ζευκτική, κλπ).



Σχήμα 6.10: Δίκτυο Μεταγωγής τύπου “χρόνου - χώρου (TS)”.

Έχει αποδειχθεί ότι η μεταγωγή στη βαθμίδα χώρου S είναι γενικά ακριβότερη απ’ ότι η μεταγωγή στη βαθμίδα χρόνου T, λόγω του ότι οι ψηφιακές μνήμες είναι πολύ φθηνότερες από τα ψηφιακά σημεία τομής (ψηφιακές πύλες τύπου AND) και τις θύρες ελέγχου τους. Κατά συνέπεια, είναι επιθυμητή η μεταφορά όσον το δυνατόν περισσότερης μεταγωγής στις βαθμίδες χρόνου.

Η χρήση μόνο διακοπών χρόνου για την υλοποίηση δικτύων TS ή ST είναι δυνατή σε πολλές περιπτώσεις όπου το δίκτυο TS είναι μικρής κλίμακας και οι εξωτερικές αρτηρίες είναι αρτηρίες TDM χαμηλής ταχύτητας (π.χ 2Mbps) και ο αριθμός τους N δεν είναι μεγάλος (π.χ. N=8). Στην περίπτωση

αυτή το δίκτυο TS μπορεί να κατασκευαστεί υπό τη μορφή N-διαφορετικών διακοπών χρόνου που μοιράζονται την ίδια μνήμη συνδιαλέξεων και την ίδια μνήμη ελέγχου. Με βάση τη δομή αυτή σε κάθε χρονοθυρίδα θα γίνονται N-εγγραφές και N-αναγνώσεις στη μνήμη συνδιαλέξεων. Αντίστοιχα στη μνήμη ελέγχου θα περιέχονται οι διευθύνσεις για $N \times (ts)$ διαδικασίες μεταγωγής TSI, όπου ts είναι ο αριθμός των χρονοθυρίδων του πλαισίου της εσωτερικής αρτηρίας.

Η υλοποίηση αυτή απαιτεί οι μνήμες RAM που χρησιμοποιούνται να είναι αρκετά γρήγορες έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στην ταχύτητα μεταγωγής που απαιτείται. Μία ειδική εξελιγμένη έκδοση της δομής αυτής βασίζεται στο διπλασιασμό των δύο μνημών έτσι ώστε κατά τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας να χρησιμοποιείται άλλη μνήμη συνδιαλέξεων για εγγραφή και άλλη για ανάγνωση. Στο τέλος της κάθε χρονοθυρίδας γίνεται εναλλαγή του ρόλου των μνημών και αυτή που στην προηγούμενη χρονοθυρίδα χρησιμοποιείτο για εγγραφή στην επόμενη χρονοθυρίδα χρησιμοποιείται για ανάγνωση και αντίστροφα. Με τη δομή αυτή διπλασιάζεται η ικανότητα μεταγωγής του δικτύου TS με την ανάλογη βέβαια αύξηση του υλικού και της πολυπλοκότητας λειτουργίας του.

6.5 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Όταν κατασκευαστικά προσεγγιστούν τα πρακτικά όρια, τότε είναι δυνατή η παραπέρα μείωση στη πολυπλοκότητα του Δικτύου Μεταγωγής TDS μόνο με τη χρήση πολλαπλών βαθμίδων μεταγωγής. Η βαθύτερη δομή των περισσότερων σύγχρονων (μοντέρνων) πολυβάθμιων Δικτύων Μεταγωγής αποτελούν στην ουσία εξέλιξη της αρχιτεκτονικής των δικτύων Clos που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4. Η εξέλιξη αυτή βασίστηκε στον κλασσικό μετασχηματισμό του Marcus πάνω στην αρχιτεκτονική των τριβάθμιων δικτύων χωρίς συμφόρηση του Clos.

Τα δίκτυα Clos με βάση το μετασχηματισμό του Marcus παρέχουν τους παρακάτω δύο τύπους τριβάθμιων δικτύων TDS:

- *το τριβάθμιο επιλογικό δίκτυο “χώρου - χρόνου – χώρο” (space - time - space switch STS)* όταν διαχωρίζονται οι βαθμίδες χώρου με μία βαθμίδα χρόνου, και
- *το τριβάθμιο επιλογικό δίκτυο “χρόνου - χώρο - χρόνου” (time - space - time switch TST)* όταν διαχωρίζονται οι βαθμίδες χρόνου με μια βαθμίδα χώρου.

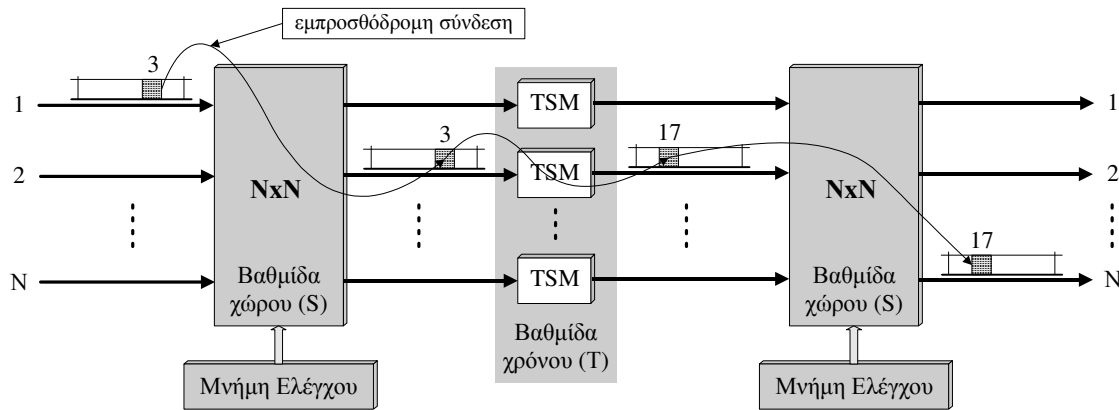
Από τους δύο αυτούς τύπους, το δίκτυο TST είναι το πλέον διαδεδομένο διότι δίνει τις πλέον οικονομικές υλοποιήσεις TK και χρησιμοποιείται από όλους τους μεγάλους κατασκευαστικούς οίκους. Όταν απαιτείται το Δίκτυο Μεταγωγής να είναι ακόμα μεγαλύτερο επιτυγχάνεται επιπρόσθετη ελάττωση του κόστους όταν η μοναδική μήτρα της βαθμίδας χώρου, που έχει συνήθως μεγάλες διαστάσεις, αντικατασταθεί από περισσότερες της μιας βαθμίδες χώρου που περιλαμβάνουν επιλογικές μήτρες επιμερισμού χώρου μικρότερων διαστάσεων. Στην περίπτωση αυτή προκύπτουν πολύπλοκα πολυβάθμια σχήματα Δικτύων Μεταγωγής, όπως για παράδειγμα το TSSST και το TSSSST.

6.5.1 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου STS

Στο λειτουργικό διάγραμμα του Σχήματος 6.11 παρουσιάζεται ένα Δίκτυο Μεταγωγής STS όπου οι δύο βαθμίδες χώρου S αποτελούνται από μια επιλογική μήτρα (διακόπτη S) χωρίς συμφόρηση. Η εγκατάσταση ενός μονοπατιού διαμέσου του STS δικτύου απαιτεί την ανεύρεση μιας συστοιχίας από ελεύθερες χρονοθυρίδες εισόδου (για εγγραφή) και εξόδου (για ανάγνωση) ενός διακόπτη χρόνου της ενδιάμεσης βαθμίδας χρόνου T. Όταν κάθε μια βαθμίδα (S,T,S) του επιλογικού δικτύου STS είναι χωρίς συμφόρηση, η λειτουργία του επιλογικού δικτύου είναι ισοδύναμη (συναρτησιακά) με τη λειτουργία του τριβάθμιου επιλογικού δικτύου χωρίς συμφόρηση (δίκτυο Clos) που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4.

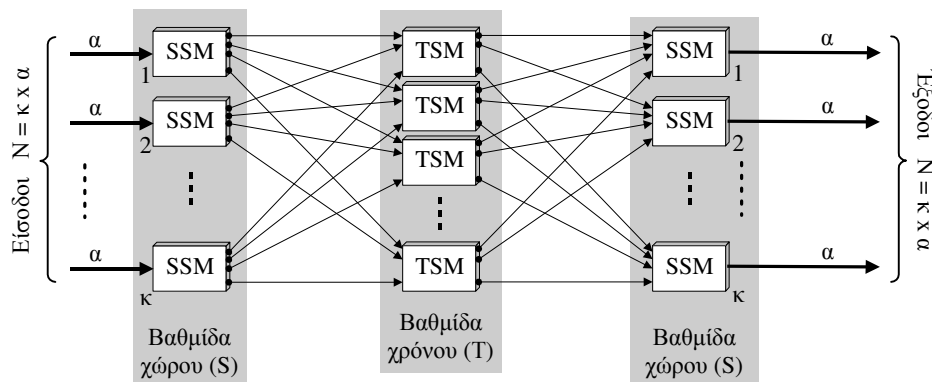
Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η δομή ενός Δικτύου Μεταγωγής STS μεγάλης έκτασης N εισόδων και N εξόδων. Στο δίκτυο αυτό οι βαθμίδες χώρου εισόδου και εξόδου δεν αποτελούνται από

μία μόνο μήτρα μεταγωγής χώρου (S) αλλά από κ ανεξάρτητες μήτρες (διακόπτες) χώρου (S). Κάθε διακόπτης της βαθμίδας χώρου (S) εισόδου εξυπηρετεί α κυκλώματα εισόδου (κανάλια TDM) και έχει διαστάσεις $\alpha \times M$ (σημεία τομής). Αντίστοιχα κάθε διακόπτης της βαθμίδας χώρου (S) εξόδου εξυπηρετεί α κυκλώματα εξόδου και έχει διαστάσεις $M \times \alpha$.



TSM: Βασικός διακόπτης χρόνου με μνήμη

Σχήμα 6.11: Δομή μεταγωγής χώρου - χρόνου - χώρου (STS).



TSM: Βασικός διακόπτης χρόνου με μνήμη
SSM: Βασικός διακόπτης χώρου

Σχήμα 6.12: Δίκτυο μεταγωγής STS μεγάλης έκτασης.

Η ενδιάμεση βαθμίδα χρόνου αποτελείται από M ανεξάρτητους διακόπτες χρόνου (T) που καθένας μετάγει χρονοθυρίδες από κ αρτηρίες εισόδου σε κ αρτηρίες εξόδου. Συνολικά στο δίκτυο STS περιλαμβάνονται $M\kappa$ αρτηρίες μεταξύ πρώτης-δεύτερης βαθμίδας και $M\kappa$ αρτηρίες μεταξύ δεύτερης-τρίτης βαθμίδας. Ο αριθμός χρονοθυρίδων ανά εσωτερική αρτηρία εξαρτάται από την επιθυμητή συγκέντρωση κίνησης και την επιθυμητή συμφόρηση. Σημειώνεται επίσης ότι στα μεγάλα επιλογικά δίκτυα, είναι επιθυμητό να αντικαθίσταται ο κάθε διακόπτης χώρου με ένα πολυβάθμιο δίκτυο χώρου, προκύπτοντας για παράδειγμα δίκτυο τύπου SSSTSSS όταν κάθε διακόπτης χώρου αντικατασταθεί από ένα τριβάθμιο δίκτυο χώρου S.

Συγκρίνοντας την δομή του δικτύου τριών βαθμίδων SDS του Σχήματος 4.9 και του δικτύου STS του Σχήματος 6.12 διαπιστώνεται ότι μέσω της δομής STS επιτυγχάνεται μία δραματική μείωση

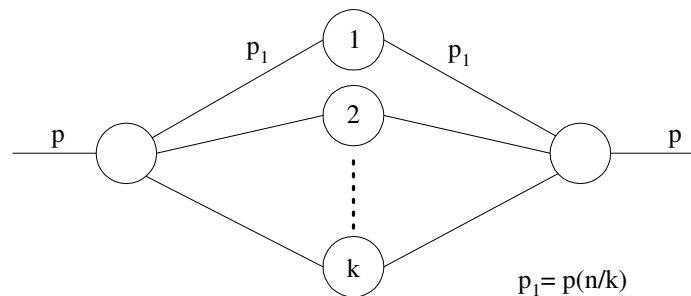
των σημείων τομής. Για παράδειγμα, ας θεωρηθούν 2048 κανάλια (16 αρτηρίες TDM) με μέγιστη επιθυμητή πιθανότητα συμφόρησης 0.002 και πιθανότητα κατάληψης ανά κανάλι 0.1.

Με βάση τον Πίνακα 4.1 το δίκτυο τριών βαθμίδων SDS απαιτεί 41.000 σημεία τομής ενώ το δίκτυο STS απαιτεί 430 αντίστοιχα σημεία. Τα σημεία αυτά αναφέρονται ως αντίστοιχα σημεία λόγω της χρήσης χρονοθυρίδων στην περίπτωση του δικτύου STS και λόγω του διαφορετικού τρόπου υπολογισμού τους. Στην ειδική περίπτωση όπου υπάρχει αναλογικό περιβάλλον (π.χ. αναλογικό συνδρομητικό δίκτυο POTS) και ψηφιακού Δικτύου Μεταγωγής θα πρέπει να υπολογίζεται για το δίκτυο STS και το κόστος ψηφιοποίησης των σημάτων φωνής που γίνεται από τις περιφερειακές μονάδες εισόδου / εξόδου του TK.

Το γράφημα πιθανοτήτων του δικτύου STS του Σχήματος 6.13 είναι ταυτόσημο με αυτό του Σχήματος 4.8 και η πιθανότητα συμφόρησης σε ένα δίκτυο STS είναι:

$$B = (1 - q')^k \quad (6.1)$$

Όπου $q' = 1 - p' = 1 - p/\beta$, όπου $\beta = k/N$ και k είναι ο αριθμός των διακοπών της μεσαίας βαθμίδας.



Σχήμα 6.13: Γράφημα πιθανοτήτων ενός επιλογικού δικτύου STS.

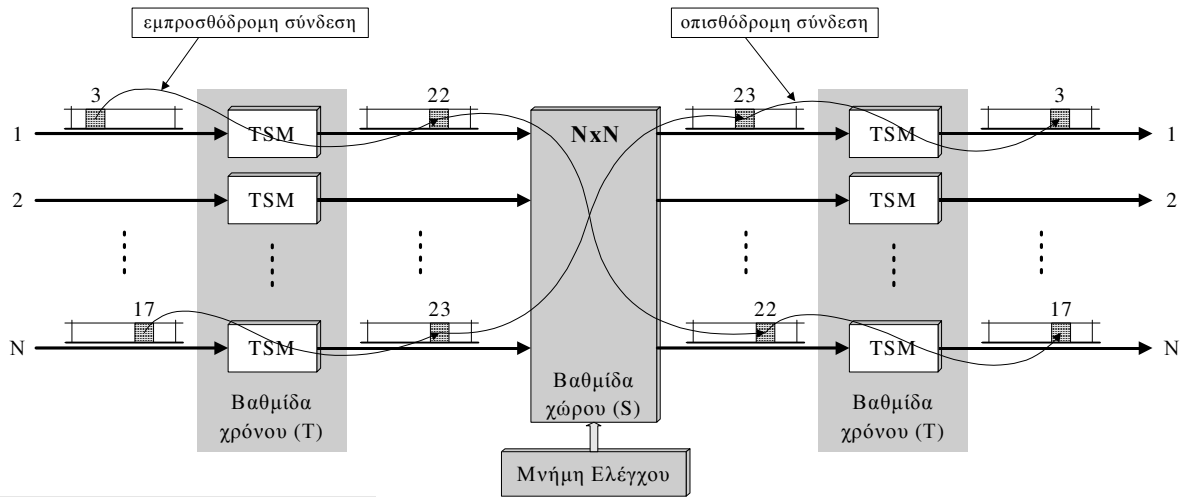
6.5.2 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TST

Στο Σχήμα 6.14 φαίνεται ο τύπος TST των πολυβάθμιων Δικτύων Μεταγωγής χώρου/χρόνου. Σε αυτόν τον τύπο δικτύου, η πληροφορία μιας σύνδεσης που μεταφέρεται από μία χρονοθυρίδα μιας αρτηρίας εισόδου καθυστερεί στην πρώτη βαθμίδα χρόνου (T) έως ότου βρεθεί ένα διαθέσιμο / κατάλληλο μονοπάτι δια μέσου της βαθμίδας χώρου (S). Αυτό απαιτεί τον εντοπισμό και την κατάληψη μιας συγκεκριμένης χρονοθυρίδας των εσωτερικών αρτηριών εισόδου και εξόδου του διακόπτη χώρου. Κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης χρονοθυρίδας η πληροφορία μεταφέρεται δια μέσου της βαθμίδας χώρου στον κατάλληλο διακόπτη χρόνου (TSM) της βαθμίδας εξόδου όπου και μετάγεται στην επιθυμητή χρονοθυρίδα εξόδου του δικτύου.

Η λειτουργία του δικτύου TST βασίζεται στην αρχή του ότι οι βαθμίδες χρόνου παρέχουν πλήρη διαθεσιμότητα, δηλαδή ότι όλες οι εισερχόμενες χρονοθυρίδες (κανάλια) μπορούν να συνδεθούν σε όλα τις εξερχόμενες χρονοθυρίδες (κανάλια). Αυτό έχει σαν συνέπεια οποιαδήποτε χρονοθυρίδα στη βαθμίδα χώρου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση μιας οποιασδήποτε σύνδεσης με δεδομένο ότι από λειτουργικής πλευράς ο διακόπτης χώρου αναδιατάσσεται μια φορά ανά χρονοθυρίδα των εσωτερικών αρτηριών. Λειτουργικά, ένα δίκτυο TST έχει τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

- ο τρόπος λειτουργίας της βαθμίδας χώρου βασίζεται πάντοτε στη διαίρεση χρόνου ανεξάρτητα από τον τρόπο λειτουργίας των εξωτερικών ζεύξεων TDM.

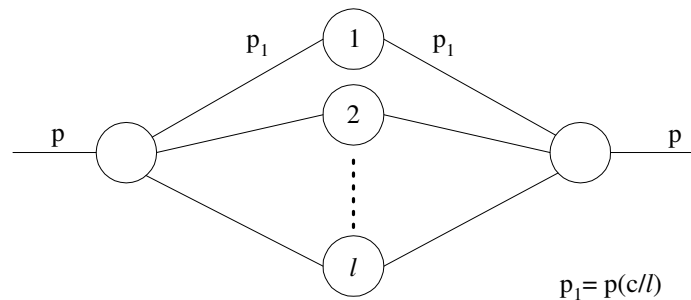
- ο τρόπος διαίρεσης του χρόνου σε χρονοθυρίδες στην βαθμίδα χώρου είναι ανεξάρτητος από τον τρόπο διαίρεσης του χρόνου στις εξωτερικές ζεύξεις TDM. Στην πραγματικότητα, ο αριθμός των χρονοθυρίδων της βαθμίδας χώρου l δεν είναι απαραίτητο να συμπίπτει με τον αριθμό των χρονοθυρίδων c των εξωτερικών ζεύξεων TDM.



TSM: Βασικός διακόπτης χρόνου με μνήμη

Σχήμα 6.14: Δομή δικτύου μεταγωγής τύπου χρόνου - χώρου - χρόνου (TST).

Αν η βαθμίδα χώρου ενός διακόπτη TST είναι χωρίς συμφόρηση, τότε συμφόρηση μπορεί να συμβεί μόνο όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη χρονοθυρίδα στη εσωτερική βαθμίδα χώρου κατά τη χρονική στιγμή όπου επιθυμούν να συνδεθούν δύο ελεύθερα (ανενεργά) κανάλια TDM, των ζεύξεων των διακοπών εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Προφανώς, η πιθανότητα συμφόρησης ελαχιστοποιείται αν ο αριθμός των χρονοθυρίδων της βαθμίδας χώρου l είναι φτιαγμένος ώστε να είναι μεγάλος. Στην πραγματικότητα, σαν μία άμεση αναλογία με την μεταγωγή τριών βαθμίδων χώρου (SSS), η μεταγωγή TST είναι αυστηρά χωρίς συμφόρηση αν $l = 2c - 1$.



Σχήμα 6.15: Γράφημα Πιθανοτήτων ενός Δικτύου Μεταγωγής TST

Στο Σχήμα 6.15 δίνεται το γράφημα πιθανοτήτων του δικτύου μεταγωγής TST. Η γενική σχέση που καθορίζει την πιθανότητα συμφόρησης σε ένα δίκτυο TST, όπου όλες οι επιμέρους βαθμίδες λειτουργούν χωρίς συμφόρηση, δίνεται από τον τύπο:

$$B = [1 - q_l^2]^l \tag{6.2}$$

Όπου $q_1 = 1 - p_1 = 1 - p/a$, όπου $a = l/c$ και l είναι ο αριθμός των διακοπών της μεσαίας βαθμίδας.

Συγκρίνοντας τους δύο τύπους δικτύων μεταγωγής STS και TST συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

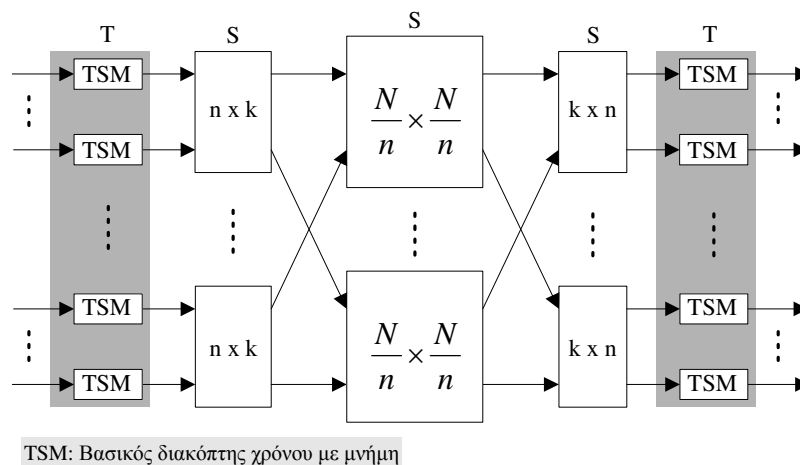
- Ο τύπος TST είναι πιο σύνθετος από τον τύπο STS και εισάγει μεγαλύτερη καθυστέρηση στη μετάδοση των δειγμάτων φωνής λόγω της ύπαρξης δύο βαθμίδων χρόνου.
- Όταν διεκπεραιώνεται μικρό φορτίο κίνησης και όταν απαιτείται συγκέντρωση κίνησης, καθίσταται προτιμητέα η δομή STS λόγω μικρότερης κατασκευαστικής πολυπλοκότητας και σχετικά απλούστερων απαιτήσεων ελέγχου. Ο τύπος TST λειτουργεί με συγκέντρωση χρόνου ενώ αντίθετα ο τύπος STS λειτουργεί με συγκέντρωση χώρου. Επισημαίνεται ότι όταν το φορτίο κίνησης μεγαλώνει και απαιτείται η διατήρηση χαμηλής πιθανότητας συμφόρησης τόσο λιγότερο αποδεκτή είναι η συγκέντρωση στο δίκτυο μεταγωγής.
- Όταν απαιτείται η διεκπεραίωση μεγάλου φορτίου κίνησης, ο τύπος TST έχει έντονο πλεονέκτημα, σε σχέση με τον τύπο STS, λόγω μικρότερης πολυπλοκότητας στον έλεγχο και λόγω του χαμηλότερου κόστους στη χρήση αρτηριών υψηλής ταχύτητας (μεγαλύτερος αριθμός καναλιών ανά αρτηρία).

Το μεγάλο όμως και καθοριστικό πλεονέκτημα της δομής TST έναντι της STS έγκειται στο γεγονός ότι στα μεγάλα TK οι ακριανές βαθμίδες χώρου μπορούν να απομακρυνθούν από το TK και να αποτελέσουν ημιανεξάρτητες μονάδες, ίδιας λογικής λειτουργίας με τα Υπόκεντρα των κλασσικών ηλεκτρομηχανικών TK και των SPC-TK. Οι μονάδες αυτές εμπεριέχουν και τις εξωτερικές μονάδες πολύπλεξης και συγκέντρωσης των συνδρομητικών γραμμών των Μονάδων Εισόδου / Εξόδου του TK και αναφέρονται ως *Ψηφιακοί Συγκεντρωτές Γραμμών*.

Στη συνέχεια του παρόντος Κεφαλαίου παρουσιάζεται η δομή των απομακρυσμένων βαθμίδων αναλογικής συνδρομητικής πρόσβασης (Ψηφιακοί Συγκεντρωτές Γραμμών) στα TK τύπου AXE-10 αναλογικής συνδρομητικής πρόσβασης των TK

6.5.3 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TSSST

Αν σε ένα δίκτυο μεταγωγής τύπου TST η Κοινή βαθμίδα χώρου είναι αρκετά μεγάλη, τότε η βαθμίδα αυτή μπορεί να διασπαστεί σε πολλαπλές βαθμίδες χώρου. Με μια τέτοια διαίρεση επιτυγχάνεται η ελάττωση τόσο της πολυπλοκότητας ελέγχου όσο και του συνολικού αριθμού σημείων τομής στο πεδίο του χώρου.



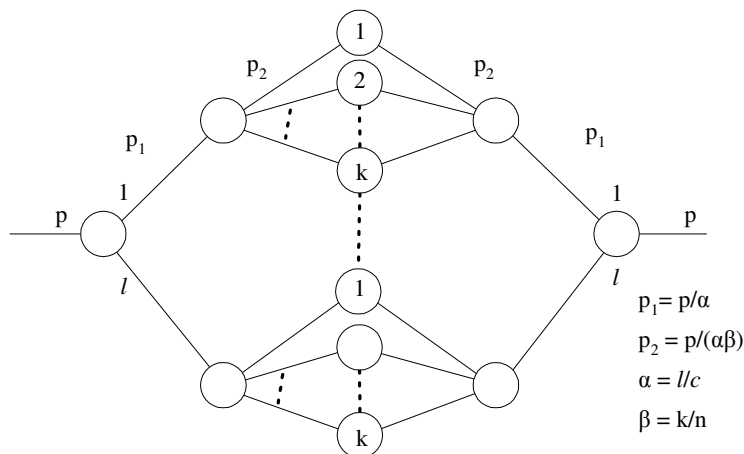
Σχήμα 6.16 Δομή δικτύου μεταγωγής TSSST

Το Σχήμα 6.16 απεικονίζει την αρχιτεκτονική TST με μία τριβάθμια μεταγωγή χώρου. Επειδή οι τρεις μεσαίες βαθμίδες είναι όλες χώρου, η δομή αυτή μερικές φορές χαρακτηρίζεται ως επιλογικό δίκτυο TSSST.

Στο Σχήμα 6.17 δίνεται το γράφημα πιθανοτήτων του δικτύου μεταγωγής TSSST. Η γενική σχέση που καθορίζει την πιθανότητα συμφόρησης στο δίκτυο TSSST, όπου όλες οι επιμέρους βαθμίδες λειτουργούν χωρίς συμφόρηση, δίνεται από τον τύπο:

$$B = \{1 - (q_1)^2 [1 - q_2^2]^k\}^l \quad (5.3)$$

Όπου $q_1 = 1 - p_1 = 1 - p/\alpha$ και $q_2 = 1 - p_2 = 1 - p/\alpha\beta$.



Σχήμα 6.17 Γράφημα πιθανοτήτων ενός επιλογικού δικτύου TSSST

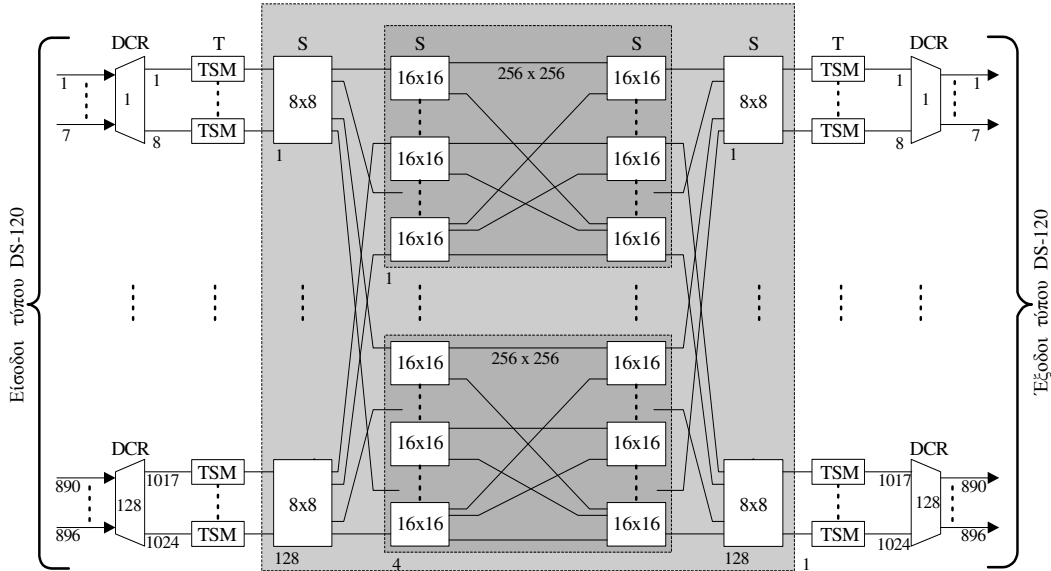
6.5.4 Δίκτυο Μεταγωγής τύπου TSSSST

Στο Σχήμα 6.18 δίνεται η δομή ενός δικτύου μεταγωγής χρόνου - χώρου - χρόνου αποτελούμενο από τέσσερες βαθμίδες χώρου. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η ακριβής δομή του δικτύου μεταγωγής του Κομβικού Κέντρου 4 ESS της AT&T που χρησιμοποιήθηκε κυρίως στις ΗΠΑ. Στην είσοδο του δικτύου συνδέονται ζεύξεις (αρτηρίες TDM) των 120 καναλιών DS0 η καθεμία. Κάθε ζεύξη προκύπτει από την πολύπλεξη 5 αρτηριών DS1 των 24 καναλιών ($5 \times 24 = 120$).

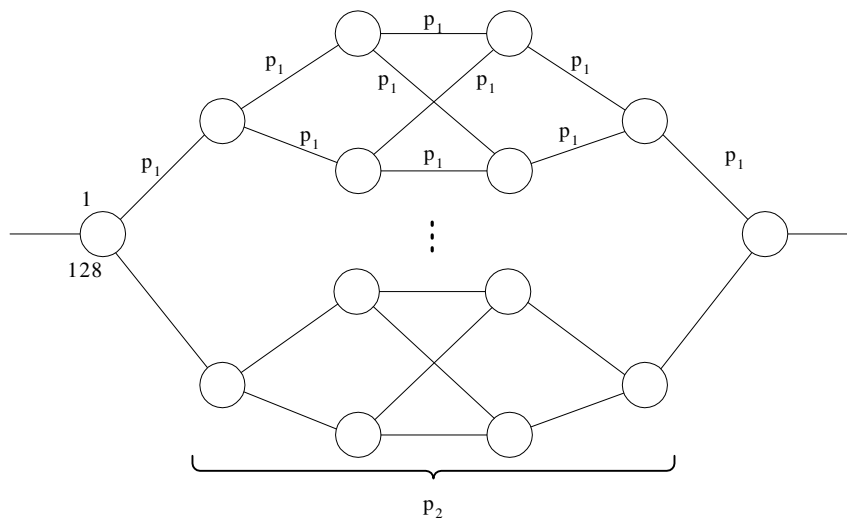
Πριν την είσοδο των ζεύξεων στη βαθμίδα χρόνου χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα αποσυσχετισμού (decorrelator - DCR) των καναλιών που παρέχει παράλληλα τόσο χωρική επέκταση (από 7 σε 8 αρτηρίες εισόδου) όσο και χρονική επέκταση (από 120 σε 128 κανάλια ανά αρτηρία που οδηγείται στη βαθμίδα χρόνου). Ο αποσυσχετισμός των καναλιών επιβάλλεται ώστε να αναμειχθούν κανάλια από διαφορετικές αρτηρίες TDM και να αποφευχθεί η συμφόρηση. Η κίνηση δεν προέρχεται από συνδρομητές, όπου διασφαλίζεται στατιστική ανεξαρτησία των κλήσεων άρα και των μονοπατιών μέσα στο δίκτυο μεταγωγής, αλλά από ζεύξεις όπου η κίνηση παρουσιάζει συσχέτιση με αποτέλεσμα να οδηγούνται πολλές ταυτόχρονα κλίσεις μέσα από συγκεκριμένα μονοπάτια.

Σε πλήρη ανάπτυξη το επιλογικό δίκτυο 4 ESS χρησιμοποιεί 128 αποσυσχετιστές των 7 εισόδων, οπότε συνολικά διαχειρίζεται $(128)(7)(120) = 107.520$ κανάλια και $128 \times 8 = 1024$ βασικούς διακόπτες χρόνου (TSM) στις δύο βαθμίδες χρόνου. Η πρώτη και η τέταρτη βαθμίδα χώρου αποτελούνται από 128 ανεξάρτητες μήτρες η καθεμία. Συνολικά οδηγούνται στην δεύτερη (και εξέρχονται από την τρίτη) βαθμίδα $128 \times 8 = 1024$ αρτηρίες (των 128 καναλιών η κάθε μια). Οι διακόπτες χώρου της δεύτερης και τρίτης βαθμίδας χώρου είναι 16 εισόδων και 16 εξόδων η κάθε μία

και είναι οργανωμένοι σε τέσσερες ομάδες (block) των 256 εισόδων και 256 εξόδων η κάθε ομάδα. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα οργάνωσης τεσσάρων βασικών μονοπατιών μεταξύ της πρώτης και της τέταρτης βαθμίδας χώρου.



Σχήμα 6.18 Δομή δικτύου μεταγωγής 4 ESS (TSSSST)



Σχήμα 6.19 Γράφημα πιθανοτήτων ενός επιλογικού δικτύου 4 ESS (TSSSST)

Στο Σχήμα 6.19 δίνεται το γράφημα πιθανοτήτων του δικτύου μεταγωγής 4 ESS που παράγεται από τον ακόλουθο τύπο που καθορίζει την πιθανότητα συμφόρησης:

$$B = \{1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_1)\}^{128} \quad (5.4)$$

Όπου $p_1 = (7/8)(120/128)p$, p είναι η πιθανότητα κατάληψης ενός εξωτερικού καναλιού και p_2 είναι η πιθανότητα συμφόρησης στις τέσσερες βαθμίδες χώρου και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

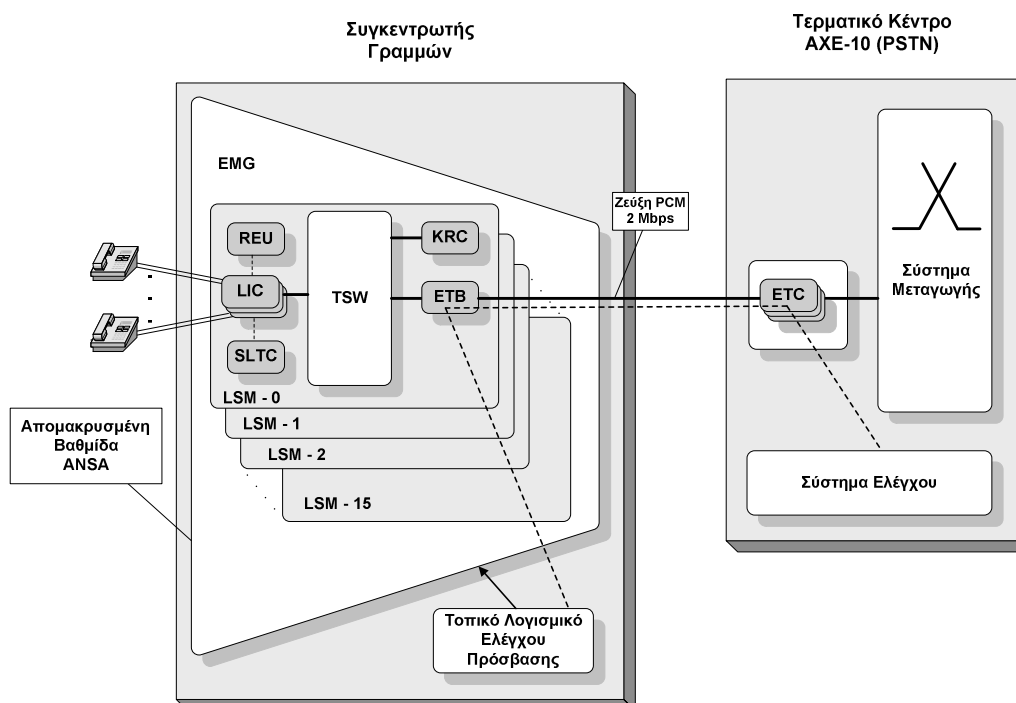
$$p_2 = 2p_1^2q_1^6 + 16p_1^3q_1^5 + 50p_1^4q_1^4 + 52p_1^5q_1^3 + 28p_1^6q_1^2 + 8p_1^7q_1 + p_1^8 \quad (5.5)$$

6.6 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ & ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΝΔΡ/ΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΑ ΤΚ ΑΧΕ-10

Το ΤΚ ΑΧΕ-10 όταν λειτουργεί ως τερματικό ΤΚ έχει τη δυνατότητα να αποκτά κατακεντρωμένη δομή. Ειδικότερα, μερικές μονάδες Εισόδου /Εξόδου μαζί με μέρος του Δικτύου Μεταγωγής απαρτίζουν ημιανεξάρτητους απομακρυσμένους κόμβους (συγκεντρωτές γραμμών), οι οποίοι αναφέρονται ως *Απομακρυσμένες Βαθμίδες Αναλογικής Συνδρομητικής Πρόσβασης (Analogue Subscriber Access – ANSA)*.

Η μονάδα ANSA διαθέτει ένα τμήμα του Δικτύου Μεταγωγής του ΤΚ. Ειδικότερα στην ANSA έχουν μεταφερθεί οι ακραίες βαθμίδες του Δικτύου Μεταγωγής οι οποίες είναι βαθμίδες χρόνου. Το υπόλοιπο μέρος του Δικτύου Μεταγωγής (που στη συνέχεια θα αναφέρεται ως Σύστημα Μεταγωγής) παραμένει στον κύριο κορμό του ΤΚ και αποτελεί ένα δίκτυο τύπου TST.

Μία τέτοια απομακρυσμένη βαθμίδα ANSA απεικονίζεται στο Σχήμα 6.20 και αποτελείται από ένα *Δομοστοιχείο Επέκτασης (Extension Module Groups – EMG)*. Ένα EMG περιλαμβάνει μέχρι και 16 *Δομοστοιχεία Μεταγωγής Γραμμών (Line Switch Modules – LSM)*. Το LSM αντιστοιχεί με τη μονάδα απόληξης ομάδας αναλογικών συνδρομητικών γραμμών (κεφάλαιο 5.2.2). Κάθε LSM περιλαμβάνει μέχρι και 128 *Κυκλώματα Διεπαφής Γραμμής (Line Interface Circuit - LIC)*. Το κάθε LIC αντιστοιχεί με το ατομικό κύκλωμα απόληξης μιας συνδρομητικής αναλογικής γραμμής στο ΤΚ (κεφάλαιο 5.2.1).



Σχήμα 6.20: Απομακρυσμένη Συνδρομητική Βαθμίδα Αναλογικής Πρόσβασης

Κατά προέκταση, ένα EMG με την μέγιστη δυνατή διάρθρωση υλικού εξοπλισμού (αποτελούμενο από 1 έως και 16 LSM των 128 LIC ανάλογα με τον αριθμό των εξυπηρετούμενων συνδρομητών) είναι σε θέση να παρέχει πρόσβαση σε 2048 συνδρομητές. Το EMG συνδέεται με το Σύστημα Μεταγωγής του TK AXE-10 μέσω ζεύξεων PCM. Οι PCM ζεύξεις των 2 Mbps είναι τυπικές E1 PCM γραμμές, όπου το κανάλι 0 χρησιμοποιείται για ανταλλαγή πληροφοριών συγχρονισμού και το κανάλι 15 για την μετάδοση πληροφοριών σηματοδοσίας μεταξύ των δύο κόμβων. Ο αριθμός των PCM ζεύξεων καθορίζει και το ποσοστό της συγκέντρωσης των συνδρομητικών γραμμών.

Το EMG πραγματοποιεί συγκέντρωση των γραμμών προς το Σύστημα Μεταγωγής, μειώνοντας τις απαραίτητες καλωδιακές συνδέσεις μεταξύ της βαθμίδας ANSA και του Συστήματος Μεταγωγής. Οι συνδέσεις μεταξύ ANSA και Συστήματος Μεταγωγής είναι πάντοτε λιγότερες από τον συνολικό αριθμό των συνδρομητών που συνδέονται με την βαθμίδα ANSA, καθώς η πιθανότητα για να βρεθούν ταυτόχρονα όλοι οι συνδρομητές του κέντρου σε μία συνδιάλεξη διασυνδεδεμένη μέσω του Συστήματος Μεταγωγής είναι πολύ μικρή (και η κάλυψή της είναι οικονομικά ασύμφορη).

Για παράδειγμα, σε μία συνδρομητική βαθμίδα ANSA που εξυπηρετεί 2048 συνδρομητές (1 EMG x 16 LSM x 128 LIC) ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων (κανάλια) με το Σύστημα Μεταγωγής είναι 1024 (16 LSM x 2 JTC x 32 PCM κανάλια). Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε συγκέντρωση 50%.

Ο τερματισμός της PCM ζεύξης πάνω στην απομακρυσμένη βαθμίδα ANSA πραγματοποιείται από ειδικές κάρτες τερματισμού (*Exchange Terminal Board - ETB*). Κάθε κύκλωμα EMG περιλαμβάνει επίσης μία Μονάδα Παραγωγής Κουδονισμών (*Ringling Generator Unit - REU*), μία Διάταξη Δοκιμών Συνδρομητικής Γραμμής και Κυκλώματος (*Subscriber Line and Circuit Test - SLCT*) και ένα Κύκλωμα Υποδοχής Κωδικών Πληκτρολογίου (*Key-set Code Reception Circuit - KRC*).

Η μονάδα ANSA εμπεριέχει τοπικό σύστημα ελέγχου, αποτελούμενο από τοπικούς επεξεργαστές, μνήμη και λογισμικό Ελέγχου Πρόσβασης. Το τοπικό σύστημα ελέγχου επικοινωνεί με το κεντρικό σύστημα ελέγχου (Κοινό Έλεγχο) που βρίσκεται στο TK χρησιμοποιώντας το κανάλι σηματοδοσίας (κανάλι 15) μίας PCM ζεύξης που συνδέει το απομακρυσμένο σύστημα με το TK.

Το TK διατηρεί τον κεντρικό έλεγχο των κλήσεων που πραγματοποιούν οι συνδρομητές της απομακρυσμένη βαθμίδας και ρυθμίζει τις σχετικές διεργασίες - όπως η σύνδεση με το Σύστημα Μεταγωγής, η χρέωση των κλήσεων, η ενεργοποίηση συμπληρωματικών υπηρεσιών, κλπ.

Το τοπικό λογισμικό του απομακρυσμένου συστήματος αναλαμβάνει την διεκπεραίωση των εσωτερικών κλήσεων - όταν και ο καλών και ο καλούμενος συνδρομητής είναι συνδεδεμένοι στην ίδια απομακρυσμένη βαθμίδα ANSA.

Ακόμα και στην περίπτωση προσωρινής διακοπής της PCM ζεύξης με το TK, το απομακρυσμένο σύστημα είναι σε θέση να διεκπεραιώνει εσωτερικές κλήσεις (συνήθως χωρίς τη χρέωση των συνδρομητών, και χωρίς τη δυνατότητα χρήσης συμπληρωματικών υπηρεσιών από τους συνδρομητές).

6.6.1 Λειτουργίες Μεταγωγής Χρόνου στο LSM

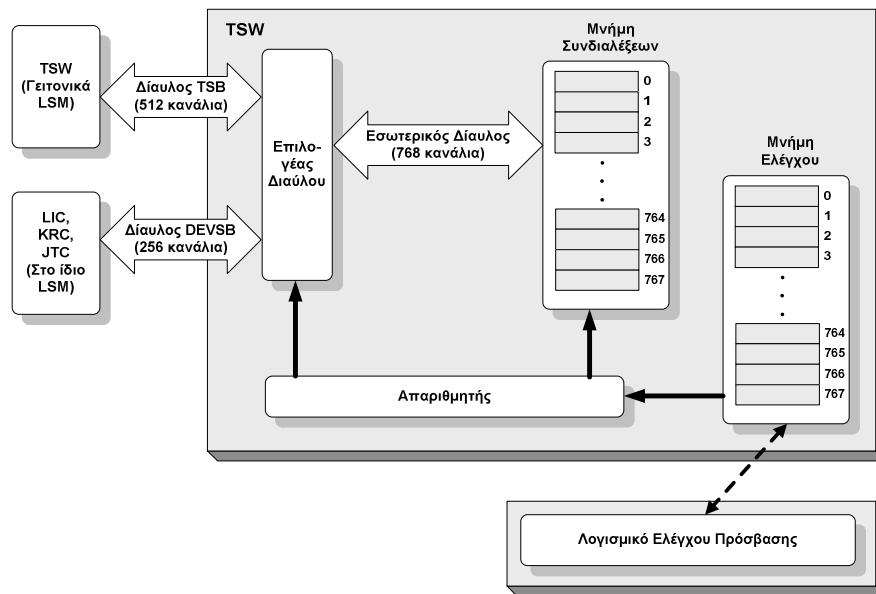
Η διασύνδεση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων κάθε συγκροτήματος LSM, όπως για παράδειγμα η σύνδεση των *Κυκλωμάτων Διεπαφής Γραμμής (Line Interface Circuit - LIC)* με το KRC, ή η σύνδεση ενός κυκλώματος LIC στο Σύστημα Μεταγωγής, καθώς και η σύνδεση μεταξύ των LSM που ανήκουν στο ίδιο EMG, γίνεται μέσω δύο διαύλων μετάδοσης δεδομένων, του *TSB (Time Switch Bus)* και του *DEVSB (Device Speech Bus)*, καθώς και των διακοπτών χρόνου TSW που υπάρχουν σε κάθε LSM (Σχήμα 6.21).

Οι βασικές προδιαγραφές των διαύλων DEVSB, TSB και του διακόπτη χρόνου TSW, περιγράφονται στη συνέχεια.

Δίαυλος DEVSB: Ο δίαυλος DEVSB μεταφέρει 256 χρονοθυρίδες σε κάθε κύκλο επανάληψης πλαισίου, και είναι διπλής κατεύθυνσης - η ίδια χρονοθυρίδα χρησιμοποιείται για την

μεταφορά πληροφοριών και στις δύο κατευθύνσεις του διαύλου (εισερχόμενες και εξερχόμενες πληροφορίες). Κάθε κανάλι του διαύλου DEVSB είναι αντιστοιχισμένο με μοναδικό τρόπο σε κάποια από τις συσκευές του LSM και συγκεκριμένα:

- κάθε κύκλωμα LIC χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο κανάλι του DEVSB
- το κύκλωμα KRC χρησιμοποιεί 8 συγκεκριμένα κανάλια του DEVSB (το KRC είναι σε θέση να λαμβάνει ταυτόχρονα DTMF τόνους από 8 διαφορετικές κλήσεις)
- το κύκλωμα JTC χρησιμοποιεί 32 συγκεκριμένα κανάλια του διαύλου DEVSB (ένα κανάλι DEVSB για κάθε κανάλι της σύνδεσης PCM 2 Mbps προς το Σύστημα Μεταγωγής).



Σχήμα 6.21: Ο Διακόπτης Χρόνου (TSW) του LSM

Δίαυλος TSB: Ο δίαυλος TSB μεταφέρει 512 χρονοθυρίδες σε κάθε κύκλο επανάληψης πλαισίου. Όμως, ο δίαυλος TSB είναι απλής κατεύθυνσης και για την αποκατάσταση αμφίδρομης επικοινωνίας μέσω του TSB απαιτούνται 2 κανάλια (ένα κανάλι για τις εισερχόμενες πληροφορίες και ένα για τις εξερχόμενες). Συνεπώς ο δίαυλος TSB είναι σε θέση να υποστηρίξει 256 ταυτόχρονες συνδιαλέξεις (αμφίδρομη επικοινωνία). Κάθε συγκρότημα LSM είναι αντιστοιχισμένο με μοναδικό τρόπο σε 32 συγκεκριμένα κανάλια του διαύλου TSB.

Διακόπτης Χρόνου TSW: Ο διακόπτης χρόνου TSW αποτελείται από μία μνήμη συνδιαλέξεων και μία μνήμη ελέγχου, 768 θέσεων η καθεμία. Στην μνήμη συνδιαλέξεων καταχωρούνται προσωρινά τα εισερχόμενα ψηφιακά δείγματα ήχου που λαμβάνονται από τους διαύλους DEVSB (256 κανάλια) και TSB (512 κανάλια).

Τα περιεχόμενα (χρονοθυρίδες) κάθε πλαισίου των διαύλων DEVSB και TSB οδηγούνται μέσω μίας διάταξης επιλογής διαύλου στον εσωτερικό δίαυλο του TSW (δίαυλος BISS) και στην συνέχεια προωθούνται στην μνήμη συνδιαλέξεων όπου και εγγράφονται με την σειρά που ελήφθησαν.

Ο εσωτερικός δίαυλος BISS μεταφέρει 768 χρονοθυρίδες σε κάθε κύκλο επανάληψης πλαισίου. Η μνήμη ελέγχου υποδεικνύει την σειρά με την οποία θα διαβαστούν τα εξερχόμενα δεδομένα από την μνήμη συνδιαλέξεων, υποδεικνύοντας την θέση μνήμης συνδιαλέξεων που πρέπει να διαβαστεί και να προωθηθεί σε κάθε μία από τις εξερχόμενες χρονοθυρίδες του εσωτερικού διαύλου BISS.

Έτσι, εάν θέση- j της μνήμης ελέγχου έχει την τιμή i , τότε τα περιεχόμενα της θέσης- i της μνήμης συνδιαλέξεων θα διαβαστούν και θα προωθηθούν στην εξερχόμενη χρονοθυρίδα- j του εσωτερικού διαύλου BISS (στη συνέχεια, μέσω του επιλογέα διαύλου θα καταλήξουν στην επιθυμητή χρονοθυρίδα του διαύλου TSB ή του διαύλου DEVSB).

Το λογισμικό Ελέγχου Πρόσβασης, προκειμένου να αποκαταστήσει μία σύνδεση, διαμορφώνει κατάλληλα τα περιεχόμενα της Μνήμης Ελέγχου του διακόπτη χρόνου TSW. Στη συνέχεια, για την υλοποίηση της αμφίδρομης επικοινωνίας, ο διακόπτης χρόνου TSW αναλαμβάνει την εναλλαγή των περιεχομένων (ψηφιοποιημένων δειγμάτων ήχου) μεταξύ:

- διαφορετικών χρονοθυρίδων του διαύλου DEVSB. Στην περίπτωση αυτή, με την εναλλαγή των χρονοθυρίδων μεταξύ διαφορετικών καναλιών του διαύλου DEVSB, ο διακόπτης TSW αποκαθιστά επικοινωνία μεταξύ δύο διαφορετικών LIC (δηλαδή μεταξύ δύο συνδρομητών που συνδέονται πάνω στο ίδιο δομοστοιχείο LSM), μεταξύ LIC και KRC (για την λήψη DTMF ψηφίων) και μεταξύ LIC και ενός *Κυκλώματος Τερματισμού Συνδέσεως (Juncitor Terminal Circuit - JTC)* (για την διασύνδεση του συνδρομητή προς το Συστήματος Μεταγωγής).
- χρονοθυρίδων των διαύλων DEVSB και TSB. Στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιούνται συνδέσεις μεταξύ συνδρομητών των οποίων οι γραμμές καταλήγουν σε διαφορετικά LSM που ανήκουν όμως στο ίδιο EMG, καθώς και συνδέσεις μεταξύ γειτονικών LSM για την χρήση κυκλωμάτων KRC και JTC (όταν το LSM του συνδρομητή δεν διαθέτει τέτοιου τύπου κυκλώματα).

Η σύνδεση μέσω του Συστήματος Μεταγωγής είναι απαραίτητη στην περίπτωση όπου ο καλούμενος συνδρομητής είναι συνδεδεμένος σε διαφορετικό EMG ή σε διαφορετικό τερματικό κέντρο (μεταγωγή διαβιβαστικής κίνησης).

Εάν ο καλών και ο καλούμενος είναι συνδεδεμένοι σε κυκλώματα LIC που ανήκουν στο ίδιο EMG, τότε η μεταξύ τους σύνδεση γίνεται χωρίς την χρήση του Συστήματος Μεταγωγής. Στην περίπτωση αυτή η μεταγωγή γίνεται εσωτερικά στο EMG, μέσω των διακοπών χρόνου TSW που υπάρχουν σε κάθε LSM. Η δυνατότητα πραγματοποίησης συνδιαλέξεων εσωτερικά μέσα σε ένα EMG (χωρίς την χρήση του Συστήματος Μεταγωγής) εξοικονομεί σημαντικούς πόρους υλικού εξοπλισμού (μικρότερο μέγεθος του Συστήματος Μεταγωγής και μικρότερος αριθμός καλωδιακών συνδέσεων μεταξύ EMG και Συστήματος Μεταγωγής).

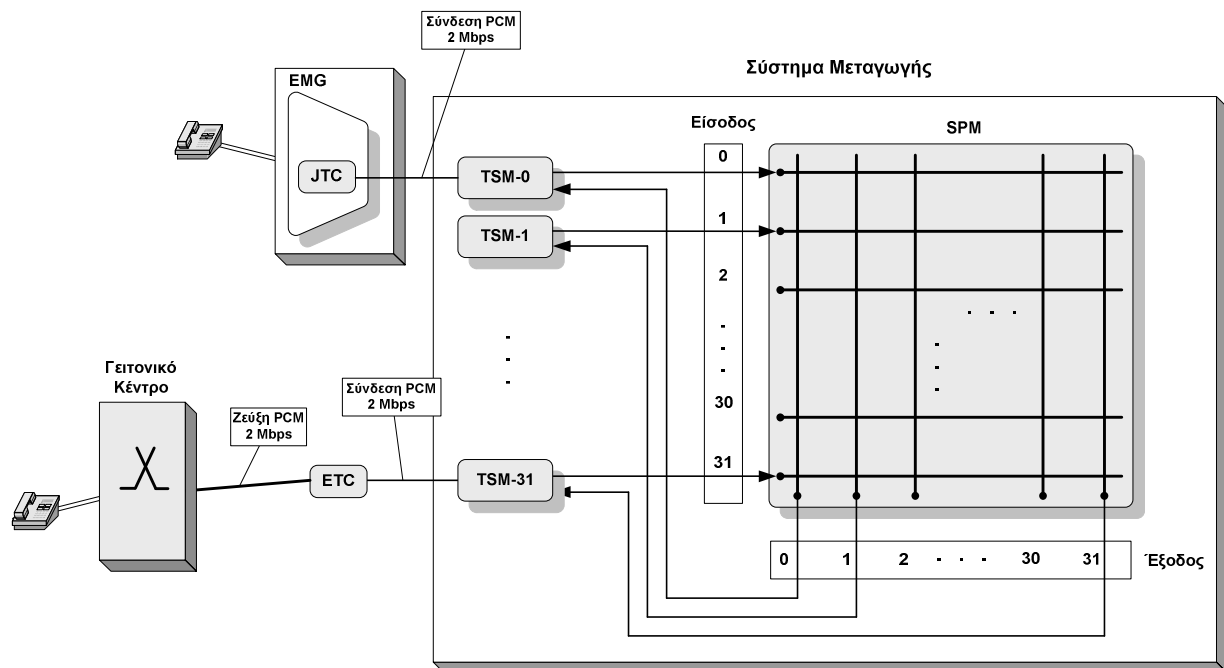
6.6.2 Δομή του Συστήματος Μεταγωγής του AXE-10

Το Σύστημα Μεταγωγής του AXE-10 (Group Switch) απεικονίζεται σε απλουστευμένη μορφή στο Σχήμα 6.22. Πρόκειται για ένα σύστημα μεταγωγής πολλαπλών βαθμίδων, το οποίο πραγματοποιεί ψηφιακή μεταγωγή κυκλώματος σύμφωνα με το μοντέλο Χρόνου – Χώρου – Χρόνου (Time – Space – Time, TST). Αποτελείται από Δομοστοιχεία Διακοπών Χρόνου (Time Switch Modules – TSM) και από Δομοστοιχεία Διακοπών Χώρου (Space Switch Modules – SSM), κατάλληλα διασυνδεδεμένα ώστε να πραγματοποιούν μεταγωγή TST.

Τα δομοστοιχεία TSM συνδέονται μέσω PCM γραμμών των 2 Mbps με κυκλώματα JTC (στην περίπτωση σύνδεσης του Συστήματος Μεταγωγής με τις βαθμίδες συνδρομητικής πρόσβασης) καθώς και με κυκλώματα ETC (στην περίπτωση σύνδεσης του Συστήματος Μεταγωγής με κάποια εξωτερική ζεύξη PCM των 2 Mbps μεταξύ γειτονικών κέντρων) και αποτελούν τις εισόδους και τις εξόδους του Συστήματος Μεταγωγής. Αποθηκεύουν προσωρινά τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα ψηφιακά δείγματα ήχου, πριν και μετά από την μεταγωγή τους μέσω της βαθμίδας χώρου SSM.

Ένα TSM υποστηρίζει την σύνδεση μέχρι και 16 γραμμών PCM των 32 καναλιών (χρονοθυρίδων) - συνεπώς είναι σε θέση να αποθηκεύσει $16 \times 32 = 512$ εισερχόμενες χρονοθυρίδες και 512 εξερχόμενες χρονοθυρίδες σε κάθε κύκλο επανάληψης του PCM πλαισίου.

Κάθε δομοστοιχείο SSM αποτελείται από μία επιλογική μήτρα χώρου, διαστάσεων 32×32 (32 εισοδοί και 32 εξοδοί).



Σχήμα 6.22: Το Σύστημα Μεταγωγής του AXE-10

Το Σύστημα Μεταγωγής του AXE-10 παρέχει πλήρη διαθεσιμότητα (full availability) - κάθε κανάλι εισόδου μπορεί να διασυνδεθεί με οποιοδήποτε κανάλι εξόδου. Η πλήρης διαθεσιμότητα επιτυγχάνεται με την παρακάτω διάταξη των δομοστοιχείων TSM και SSM:

Το δομοστοιχείο TSM με αύξοντα αριθμό N (TSM-N) συνδέεται με την είσοδο N του SSM, και στην συνέχεια, η έξοδος N του SSM επιστρέφει και συνδέεται με το TSM-N.

Ο αριθμός των δομοστοιχείων χρόνου TSM που αποτελούν το Σύστημα Μεταγωγής συμπίπτει με τον αριθμό εισόδων του δομοστοιχείου χώρου SSM. Στο Σύστημα Μεταγωγής που απεικονίζεται στο Σχήμα 6.23 ο διακόπτης χώρου έχει 32 εισόδους και για τον λόγο αυτό υπάρχουν 32 δομοστοιχεία TSM.

Το συγκεκριμένο σύστημα υποστηρίζει την σύνδεση $512 \times 32 = 16.384$ καναλιών (16.384 εισοδοί και 16.384 έξοδοι) και ονομάζεται Σύστημα Μεταγωγής χωρητικότητας (capacity) 16K.

Κάθε αμφίδρομο PCM κανάλι που συνδέεται στο Σύστημα Μεταγωγής, αποτελεί μία θέση εισόδου και εξόδου που ονομάζεται *Πολλαπλή Θέση (Multiple Position – MUP)*. Ένα Σύστημα Μεταγωγής με χωρητικότητα 16K έχει 16.384 τέτοιες θέσεις MUP, ενώ κάθε δομοστοιχείο TSM περιλαμβάνει 512 θέσεις MUP. Οι MUP με αύξοντα αριθμό από 0 έως 511 αντιστοιχούν στο TSM-0, οι MUP από 512 έως 1023 αντιστοιχούν στο TSM-1, κλπ.

Τα δομοστοιχεία TSM και SSM αποτελούν τις μονάδες επέκτασης του Συστήματος Μεταγωγής. Έτσι, η χωρητικότητα του συστήματος μεταγωγής του κέντρου AXE-10 μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη περισσότερων δομοστοιχείων TSM και SSM, με την κατάλληλη σύνδεσή τους ώστε η μεταγωγή να ακολουθεί το πρότυπο TST.

Στο Σχήμα 6.23 παρουσιάζεται ένα Σύστημα Μεταγωγής χωρητικότητας 32K, το οποίο αποτελείται από 4 δομοστοιχεία χώρου SSM (32×32) και 64 συγκροτήματα χρόνου TSM ($512 \times 64 = 32.768$). Η εσωτερική διασύνδεση, που απεικονίζεται στο Σχήμα 6.23, παρέχει μεταγωγή τύπου TST και είναι ισοδύναμη με την διασύνδεση 64 δομοστοιχείων TSM πάνω σε ένα μοναδικό διακόπτη χώρου διαστάσεων 64×64 .

Η χωρητικότητα του Συστήματος Μεταγωγής ενός σύγχρονου κέντρου AXE-10, μπορεί να

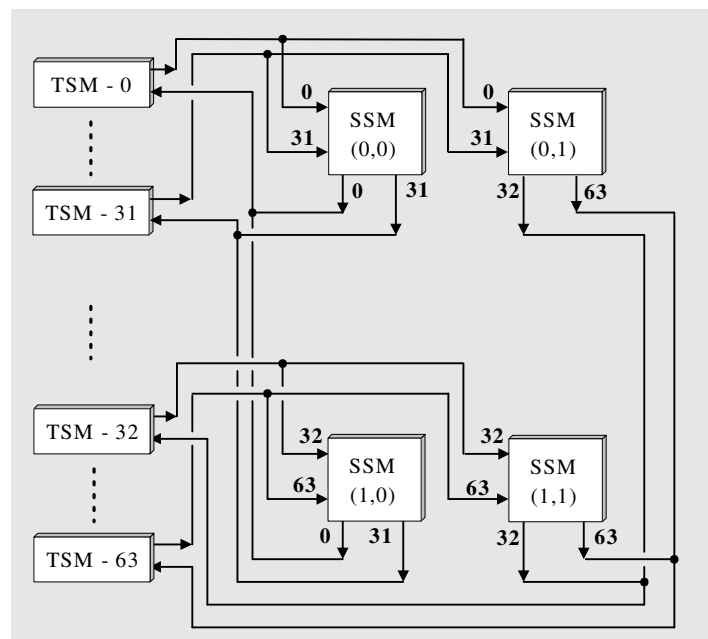
φτάσει μέχρι και τα 128K.

Η χωρητικότητα του Συστήματος Μεταγωγής αφορά συνδέσεις απλής κατεύθυνσης (σύνδεση μίας χρονοθυρίδας εισόδου με μία χρονοθυρίδα εξόδου).

Με δεδομένο ότι η μεταγωγή μίας 4-σύρματης ψηφιακής σύνδεσης διπλής κατεύθυνσης (PCM) μέσω της βαθμίδας χώρου SSM απαιτεί 2 συνδέσεις χώρου (μία σύνδεση χώρου για το εισερχόμενο κανάλι της συνδιάλεξης και μία σύνδεση για το εξερχόμενο), ένα Σύστημα Μεταγωγής των 16K είναι σε θέση να εξυπηρετήσει $16.384 / 2 = 8.192$ ταυτόχρονες συνδιαλέξεις διπλής κατεύθυνσης.

Στα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας, το Σύστημα Μεταγωγής του AXE-10 πραγματοποιεί μεταγωγή συνδιαλέξεων που χρησιμοποιούν τον βασικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 64 Kbps (όπως μια τυπική PSTN κλήση), καθώς και ευρυζωνικών (wideband) συνδέσεων που χρησιμοποιούν ρυθμούς μετάδοσης της μορφής $N \times 64$ Kbps.

Για χρήση σε δίκτυα ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας (όπως το GSM), το Σύστημα Μεταγωγής του AXE-10 έχει την δυνατότητα μεταγωγής συνδέσεων χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης, της μορφής $N \times 8$ Kbps. Στα δίκτυα αυτά, τα ψηφιακά δείγματα ήχου συμπιέζονται και μεταδίδονται με χαμηλούς ρυθμούς (π.χ. 16 Kbps) εξ' αιτίας του περιορισμένου εύρους ζώνης της ραδιοδιαπαφής (radio interface bandwidth).



Σχήμα 6.23: Σύστημα Μεταγωγής 32K

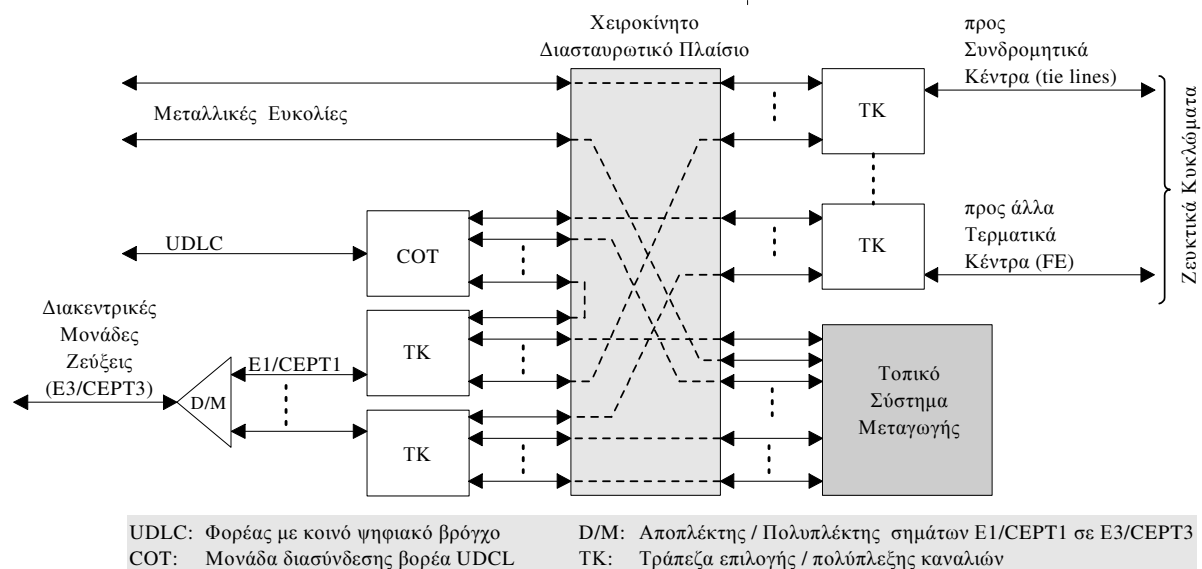
6.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τα ψηφιακά συστήματα διασταυρωτικής σύνδεσης (digital cross-connect system - DCS) είναι βασικοί τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση και οργάνωση καθαρά διαβιβαστικής κίνησης. Συγκεκριμένα, σε πρώτο βήμα αναλαμβάνουν τη συλλογή τηλεπικοινωνιακής κίνησης που προέρχεται από πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις και είναι πολυπλεγμένη σε μορφή σημάτων σύμφωνα με:

- την Ευρωπαϊκή ιεραρχία ασύγχρονης μετάδοσης (π.χ. CEPT1, CEPT2, CEPT3). Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η πολύπλεξη να είναι *τύπου πλέξης από bytes (byte-interleaved)*, δηλαδή πλήρης διαδοχή των bytes χωρίς τεμαχιοποίησή των.
- την Αμερικάνικη ιεραρχία ασύγχρονης μετάδοσης (π.χ. τύπου DS2, DS3, DS4). Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η πολύπλεξη να είναι *τύπου πλέξης από bits (bit-interleave)* απαιτεί συνεχείς και διαδοχικές λειτουργίες πολύπλεξης και αποπολύπλεξης πριν δημιουργηθεί η μεταγωγή.

Σε δεύτερο βήμα τα σήματα αυτά αποπολυπλέκονται και απελευθερώνονται τα πολυπλεγμένα κανάλια. Με τη βοήθεια ενός επιλογικού δικτύου τα κανάλια αυτά δρομολογούνται σε νέες κατευθύνσεις (εξόδους). Σε ένα τρίτο βήμα η κίνηση που κατευθύνεται σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση πολυπλέκεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου σήματος (π.χ. DS3 ή CEPT2).

Τα DCS είναι βασικά μήτρες ψηφιακής μεταγωγής με μία διεπαφή λειτουργιών (operations interface) για την αποκατάσταση στατικών συνδέσεων μεταξύ των σημάτων ή των καναλιών εισόδου και εξόδου. Αντί της αποκατάστασης συνδέσεων που πραγματοποιείται με τη χρήση της πληροφορίας σηματοδοσίας, που χαρακτηρίζει τις αιτήσεις συνδέσεων κλήση προς κλήση (call-by-call connections), οι διασταυρωτικές συνδέσεις (cross-connections) εγκαθίστανται κυρίως με βάση τις ανάγκες διάρθρωσης του δικτύου.

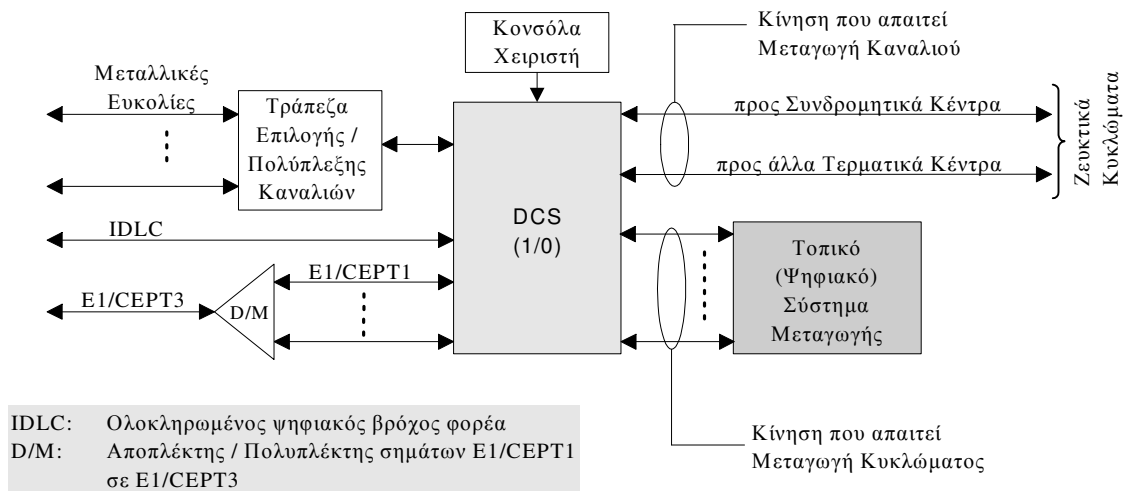


Σχήμα 6.24: Χειροκίνητο διασταυρωτικό σύστημα

Το Σχήμα 6.24 δείχνει ένα χαρακτηριστικό χειροκίνητο περιβάλλον διασταυρωτικής σύνδεσης ενώ το Σχήμα 6.25 δείχνει ένα αντίστοιχο DCS. Οι χειροκίνητες διασταυρωτικές συνδέσεις πραγματοποιούνται με διαφόρων τύπων γεφυρωτικές συνδέσεις (bridging clips, punch down wires). Τα χειροκίνητα διασταυρωτικά πλαίσια εγκαθίστανται σε:

- τηλεφωνικά κέντρα σαν σημεία οριοθέτησης (demarcation points) μεταξύ των δικτύων μετάδοσης και των δικτύων μεταγωγής (π.χ. κατανεμητές γραμμών) και σε
- κέντρα ενσυρμάτωσης σαν σημεία οριοθέτησης μεταξύ γραμμών τροφοδοσίας (feeder cables) και διανεμητών.

Και στις δύο περιπτώσεις η ύπαρξη του διασταυρωτικού πλαισίου επιτρέπει την αναδιάρθρωση των κυκλωμάτων μετάδοσης και την πρόσβασή τους για διενέργεια δοκιμών και προς τις δύο κατευθύνσεις.



Σχήμα 6.25: Ηλεκτρονικό ψηφιακό διασταυρωτικό σύστημα (DCS)

Αντίθετα, η βασικότερη λειτουργία ενός DCS είναι να δρα σαν ένα ηλεκτρονικό πλαίσιο διασύνδεσης (patch panel) αντί μιας χειροκίνητης διασταυρωτικής δυνατότητας. Οι διασταυρωτικές συνδέσεις εντός του DCS εγκαθίστανται με την εισαγωγή εντολών στην κονσόλα διαχείρισης (τοπικά ή εξ' αποστάσεως). Όπως φαίνεται στα δύο σχήματα, ένα βασικό χαρακτηριστικό του DCS είναι η ελαχιστοποίηση των λειτουργιών επιλογής και πολύπλεξης κατά τη διασταυρωτική σύνδεση μεμονωμένων καναλιών μέσα σε αρτηρίες TDM. Γενικότερα τα συστήματα DCS παρέχουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

1. Αυτόματη πληροφόρηση καταχωρήσεων. Επειδή οι διασταυρωτικές συνδέσεις υπόκεινται σε έλεγχο από υπολογιστή, οι αναφορές που αφορούν τις συνδέσεις κυκλωμάτων είναι άμεσα διαθέσιμες διαμέσου της διεπαφής (κονσόλας) διαχείρισης. Αντιθέτως, οι ενδείξεις στα χειροκίνητα συστήματα είναι επιρρεπείς σε λάθη και συχνά ανεπίκαιρες.
2. Εξ' αποστάσεως και ταχεία παροχή υπηρεσιών σε ένα συγκεκριμένο χρήστη. Τέσσερις είναι οι κύριες λειτουργίες που εμπεριέχονται:
 - προγραμματισμός εξωτερικών διασταυρωτικών συνδέσεων,
 - προγραμματισμός εσωτερικών διασταυρωτικών συνδέσεων,
 - αλλαγές διάρθρωσης στη βάση δεδομένων των συστημάτων μεταγωγής και
 - ενημέρωση των αρχείων των χρηστών που ευρίσκονται στα συστήματα χρέωσης του παροχέα (τηλεπικοινωνιακού οργανισμού).

Προφανώς, όσο πιο αυτοματοποιημένες είναι οι λειτουργίες αυτές τόσο πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια εκτελούνται.

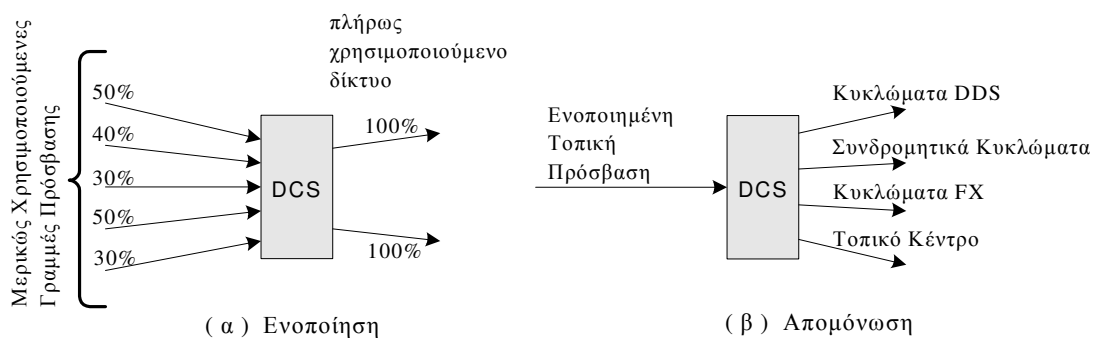
3. Αυτοματοποιημένη πρόσβαση δοκιμών. Οι δοκιμές καλής λειτουργίας ενός κυκλώματος απαιτεί τη φυσική κατάταμσή του, μετακινώντας ειδικούς γεφυρωτές (bridging clips) και την προσαρμογή ειδικού εξοπλισμού ελέγχου στο μέρος του κυκλώματος που είναι για δοκιμή. Όλες αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται αυτόματα μέσα από την ηλεκτρονική κονσόλα διαχείρισης με την εισαγωγή εντολών κατάλληλων για τη σύνδεση των επιθυμητών τόνων δοκιμής και των καναλιών μέτρησης (DSP) με το κύκλωμα που είναι υπό δοκιμή.

Το DCS που δείχνεται στο Σχήμα 6.25 διαχειρίζεται δύο τύπους κίνησης δικτύου, αυτή που απαιτεί μεταγωγή κυκλωμάτων (κίνηση που μεταγεται τοπικά στο DCS και παράγεται κυρίως από αρτηρίες ταχύτητας 64Kbps (DS0 ή TS/CEPT) και αυτή που απαιτεί μεταγωγή καναλιών (κίνηση που δημιουργείται από μισθωμένες γραμμές που ισοδυναμούν με ψηφιακά κανάλια). Η κίνηση μεταγωγής

καναλιών μπορεί να τερματίζει σε άλλα τερματικά κέντρα του δημόσιου δικτύου μέσω εξωκείμενων κυκλωμάτων (foreign exchange circuit - FX) ή να τερματίζεται σε συνδρομητικά κέντρα μέσω γραμμών σύνδεσης (tie lines).

Στην περίπτωση αυτή περισσότερα από ένα κανάλια DS0 ή TS συναλυσώνονται (concatenate) και σχηματίζουν ένα κανάλι υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης, που συνήθως αναφέρεται σαν ένα κλασματικό κύκλωμα T1 (1.544Mbps) ή E1/CEPT1 (2.048Mbps) ή σαν ένα κανάλι τύπου Nx64kbps. Η διαδικασία διαχωρισμού των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος και των υπηρεσιών μεταγωγής καναλιών συνήθως αναφέρεται ως *προεργασία (grooming)*. Το Σχήμα 6.24 δείχνεται επίσης πως ένας φορέας με κοινό ψηφιακό βρόγχο (universal digital loop carrier – UDLC) απαιτεί ειδικού τύπου μονάδα διασύνδεσης (COT), ενώ σε ένα ψηφιακό περιβάλλον (Σχήμα 6.25) μετατρέπεται σε ένα φορέα με ενοποιημένο ψηφιακό βρόγχο (integrated digital loop carrier – IDLC) που συνδέεται άμεσα στο DCS.

Στο Σχήμα 6.26 παρουσιάζονται δύο βασικές λειτουργίες “grooming”, η λειτουργία *ενοποίησης (consolidation)* και η λειτουργία *απομόνωσης /διαχωρισμού (segregation)*. Όταν πολλές γραμμές πρόσβασης που μεταφέρουν κίνηση σε έναν κοινό απομακρυσμένο κόμβο δεν απασχολούνται πλήρως (μεταφορά χαμηλού φορτίου) τότε λειτουργούν με υψηλό κόστος. Το συνολικό κόστος μετάδοσης μειώνεται εάν ενοποιηθεί η κίνηση σε λιγότερες (ή σε μια) γραμμές μέσω ενός DCS.



Σχήμα 6.26: Βασικές λειτουργίες Ενοποίησης και Απομόνωσης Κίνησης σε ένα DCS

Αντίθετα, όταν σε έναν κόμβο η κίνηση που δημιουργείται είναι διαφόρων τύπων τότε είναι επιθυμητό η κίνηση αυτή να πολυπλέκεται και με τη χρήση ενός τύπου κυκλώματος (π.χ. μια γραμμή E1) να μεταφέρεται σε ένα DCS. Το DCS αναλαμβάνει να διαχωρίσει (απομονώσει) τους διαφόρους τύπους κίνησης και να τους μεταφέρει πάνω από ειδικού τύπου κυκλώματα, όπου κάθε τύπος κυκλώματος θα μεταφέρει ένα συγκεκριμένο τύπο κίνησης.

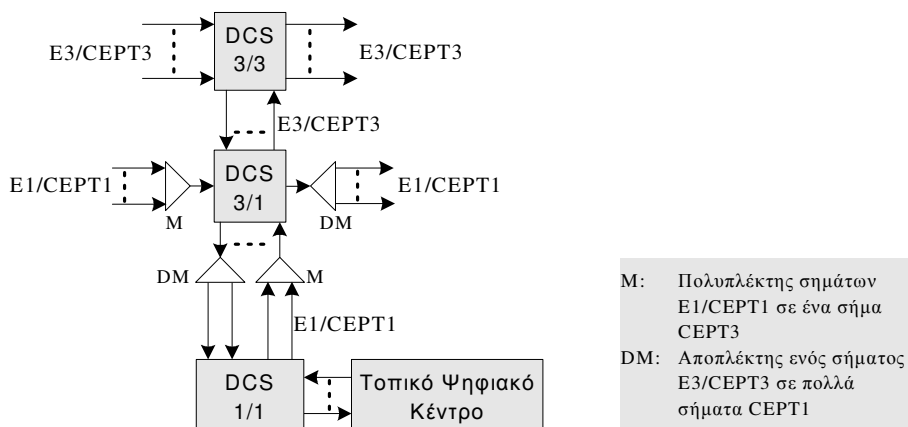
Σαν παράδειγμα διαφορετικών τύπων κίνησης αναφέρονται τα κυκλωματικά μεταγόμενα κανάλια, τα κανάλια DDS (data-phone digital service) που παρέχουν μετάδοση δεδομένων με ρυθμό μέχρι 56kbps πάνω από αρτηρίες T1, οι συνδρομητικές γραμμές (tie lines), τα κυκλώματα FX, τα πολυτερματικά κυκλώματα δεδομένων (multidrop data circuit), καθώς και οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία (π.χ. τηλεματική) που μπορεί να είναι διαθέσιμη σε έναν απομακρυσμένο κόμβο.

Το DCS του Σχήματος 6.25 τερματίζει αρτηρίες που μεταφέρουν σήματα τύπου CEPT1 και εσωτερικά ανταλλάσσει σήματα τύπου TS/CEPT, οπότε προσδιορίζεται σαν DCS 1/0. Αυτό σημαίνει ότι τα σήματα TS/CEPT που μεταφέρονται μέσα από τα πλαίσια των εισερχόμενων σημάτων CEPT1 αποδεσμεύονται και χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα από το DCS 1/0. Τα σήματα TS/CEPT υφίστανται επαναδιευθέτηση (rearrangement) από το DCS 1/0 με σκοπό να δημιουργηθούν νέα πλαίσια με σήματα CEPT1 που θα μεταφέρονται από τις εξερχόμενες αρτηρίες του DCS 1/0. Στην περίπτωση

όπου απαιτείται μεταγωγή των σημάτων TS/CEPT (π.χ. για να επιτευχθεί χρονική καθυστέρησή τους ή για να οδηγηθούν σε διαφορετική ομάδα αρτηριών / ζευκτική ομάδα) τότε τα σήματα αυτά οδηγούνται στο τοπικό σύστημα μεταγωγής του DCS 1/0.

Ομοίως αν το DCS τερματίζει αρτηρίες τύπου CEPT3 (34.368Kbps) και εσωτερικά αντάλλασε σήματα τύπου CEPT1 (2.048Kbps) θα προσδιοριζόταν σαν DCS 3/1. Σημειώνεται ότι αν ένα DCS, όπως το DCS 3/0, παρέχει επαναδιευθέτηση σε σήματα χαμηλής τάξης, όπως τα TS/CEPT, δεν σημαίνει ότι παρέχει διασταυρωτικές συνδέσεις στα σήματα ενδιάμεσων τάξεων, όπως τα CEPT1 και CEPT2 (8.448Kbps). Η διασταυρωτική σύνδεση σημάτων CEPT1 απαιτεί διαφανή απεικόνιση ολοκλήρου του πλαισίου (2.048Kbps), που περιλαμβάνει 30 κανάλια ομιλίας και το κανάλι συγχρονισμού του πλαισίου. Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση των σημάτων TS/CEPT όπου δεν υπάρχουν πλαίσια. Όταν ένα DCS παρέχει διασταυρωτικές συνδέσεις σε σήματα πολλών τάξεων τότε απαιτείται οι ενδιάμεσες τάξεις να προσδιορίζονται, όπως για παράδειγμα το DCS 3/1/0. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητο να παρέχονται διασταυρωτικές υπηρεσίες σε όλες τις τάξεις της ιεραρχίας των ψηφιακών σημάτων.

Το Σχήμα 6.27 δείχνει μία ιεραρχία από τρία επίπεδα DCS που επαναδιευθετεί σήματα χαμηλής τάξης (CEPT1) σε ένα υποσύνολο (και όχι στο σύνολο) σημάτων υψηλής τάξης (CEPT3). Τα σήματα υψηλότερου επιπέδου οδηγούνται πάντα στο ανώτατο ιεραρχικό επίπεδο DCS 3/3 και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, α) σε αυτά που πρέπει να διασταυρωθούν χωρίς επαναδιευθέτηση (καθαρά διαβιβαστική κίνηση) και β) σε αυτά που πρέπει να διασταυρωθούν με επαναδιευθέτηση. Η διασταύρωση των σημάτων της πρώτης κατηγορίας γίνεται μόνο από το DCS 3/3 με μεγάλη ταχύτητα (34.368Mbps για τα σήματα CEPT3) και οδηγούνται χωρίς καθυστέρηση να τερματίσουν σε ένα απομακρυσμένο DCS 3/1 ή DCS 3/0.



Σχήμα 6.27: Ιεραρχία DCS

Αντίθετα τα σήματα της δεύτερης κατηγορίας διαβιβάζονται μέσω του DCS 3/3 στο αμέσως κατώτερο επίπεδο DCS (DCS 3/1). Το DCS 3/1 έχει τη δυνατότητα να διασταυρώνει σήματα τάξης CEPT1 και αναλαμβάνει να επαναδιευθετήσει τα σήματα τάξης CEPT1 στα πλαίσια των σημάτων CEPT3, και στη συνέχεια τα αποστέλλει τα νέα σήματα CEPT3 στο DCS 3/3. Η βασική ιδιότητα του DCS 3/3 είναι η επαναφορά του δικτύου, η προστασία των σημάτων CEPT3 κατά τη μεταγωγή καθώς επίσης η επαναδιευθέτηση της χρονικής καθυστέρησης που δημιουργείται κατά τη διαδικασία επαναδιευθέτησης των σημάτων τάξης CEPT1.

Είναι φανερό ότι η διαδικασία επαναδιευθέτησης των σημάτων CEPT1 εισάγει καθυστερήσεις αλλά είναι αναγκαία για τη μείξη, μέσα σε ένα σήμα υψηλότερης τάξης (όπως το σήμα CEPT3), διαφόρων τύπων κίνησης, όπως π.χ. διαβιβαστική κίνηση ή κίνηση από τοπικά κέντρα, που στην ουσία εκφράζεται μέσα από τα διαφορετικά σήματα CEPT1.

Το DCS 3/1, πέρα από την επαναδιευθέτηση των πλαισίων των σημάτων CEPT3 αναλαμβάνει να συλλέγει τα σήματα CEPT1 που αφορούν την τοπική κίνηση και μέσω πολυπλεκτών (M) και αποπλεκτών (DM) να οργανώνει σήματα CEPT3. Το κατώτερο επίπεδο DCS 1/1 αναλαμβάνει τη διασταυρωτική σύνδεση σημάτων CEPT1 στην περίπτωση που υπάρχει ένα τοπικό ψηφιακό σύστημα μεταγωγής (τερματικό κέντρο).

