

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

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

ΨΗΦΙΑΚΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΚΕΝΤΡΑ

(Κεφάλαιο 4)

ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
Καθηγητής

Πάτρα 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΕΝΤΑΜΙΕΥΜΕΝΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ (SPC).....	1
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
4.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	2
4.2.1 Επεξεργαστής και Μνήμη	2
4.2.2 Λογισμικό	3
4.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΙΣΟΔΟΥ / ΕΞΟΔΟΥ	3
4.4 ΔΙΑΤΑΞΗ / ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ.....	4
4.5 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ESS – 1.....	4
4.6 ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ / ΔΙΚΤΥΑ SDS.....	7
4.6.1 Μονοβάθμια Διάταξη SDS.....	7
4.6.2 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS	9
4.6.3 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS χωρίς συμφόρηση	11
4.6.4 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS με συμφόρηση – Γραφήματα τύπου Lee	12
4.6.5 Διάταξη Ζευγών Σύνδεσης σε Δίκτυα SDS	16
4.6.6 Βασικοί τύποι Δικτύων SDS	18
4.6.6.1 Ανοιγμένα Δίκτυα SDS.....	18
4.6.6.2 Διπλωμένα Δίκτυα Μεταγωγής SDS	21
4.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ SDS	21
4.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ.....	23
4.9 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ SDS	25

ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΕΝΤΑΜΕΥΜΕΝΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ (SPC)

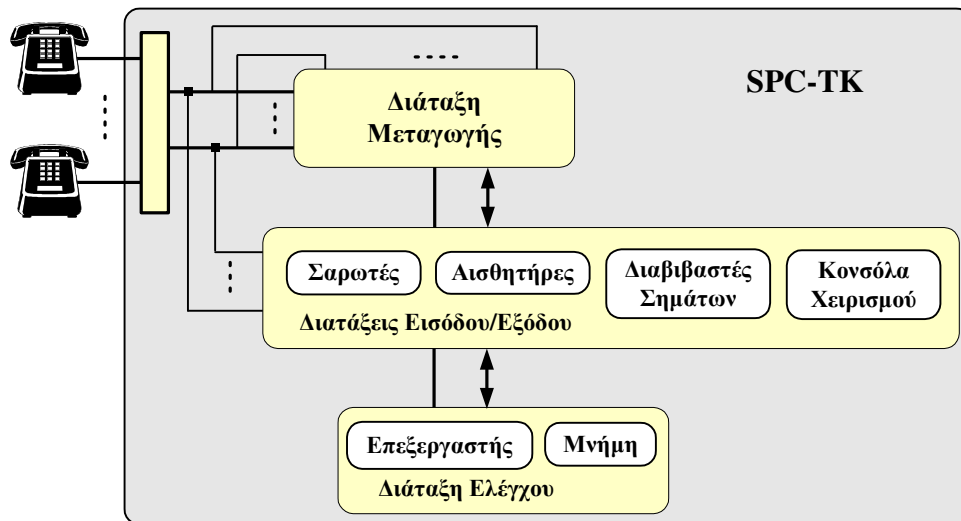
4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το 1950, τα Bell Laboratories ξεκίνησαν στις ΗΠΑ ένα πρόγραμμα μελέτης και κατασκευής ενός αυτόματου TK το οποίο θα χρησιμοποιούσε ψηφιακό ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον έλεγχο της μεταγωγής και της διασύνδεσης των κλήσεων. Στόχος του προγράμματος ήταν η αντικατάσταση της αναλογικής ηλεκτρομηχανικής Διάταξης Καθοδήγησης των ραβδεπαφικών TK της εποχής, με μία ψηφιακή υπολογιστική διάταξη παρόμοια με τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές που έκαναν σιγά-σιγά την εμφάνισή τους στα τέλη της δεκαετίας του 1940.

Μετά από αρκετά χρόνια ερευνών, ανάπτυξης και δοκιμών, το πρώτο αναλογικό TK με ηλεκτρονικό έλεγχο λειτούργησε στο New Jersey των ΗΠΑ, το 1965 και ονομάστηκε ESS-1 (Electronic Switching System - Number 1). Το ESS-1 αποτέλεσε το πρώτο TK με έλεγχο ενταμιευμένου προγράμματος (Stored Program Control - SPC). Οι διατάξεις ελέγχου των κέντρων αυτών αποτελούν τους προγόνους των σύγχρονων ενσωματωμένων συστημάτων ελέγχου (embedded systems), όπου μία υπολογιστική διάταξη ελέγχει και καθοδηγεί αυτόνομα τη λειτουργία μίας συσκευής (π.χ. κινητό τηλέφωνο, πλυντήριο, κλπ.).

Ο χαρακτηρισμός ενός TK με ηλεκτρονικό έλεγχο ως TK ενταμιευμένου προγράμματος (SPC-TK), προκύπτει από το γεγονός ότι όλες οι λειτουργίες της Διάταξης Καθοδήγησης του TK βασίζονται σε πρόγραμμα (λογισμικό) το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο (ενταμιευμένο) σε μνήμη υπολογιστή. Η τυπική δομή ενός SPC-TK παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1 και αποτελείται από τη Διάταξη Μεταγωγής, τη Διάταξη Ελέγχου και τις Διατάξεις Εισόδου / Εξόδου.

Τα SPC-TK διακρίνονται σε αναλογικά και ψηφιακά ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη Διάταξη Μεταγωγής. Τα αναλογικά SPC-TK, όπως το ESS 1, χρησιμοποιούν μία ψηφιακή Διάταξη Ελέγχου και μια αναλογική (ηλεκτρομηχανική) Διάταξης Μεταγωγής. Τα σήματα φωνής είναι αναλογικά και μεταδίδονται μέσα από το SPC-TK πάνω από δισύρματα κυκλώματα. Για το λόγο αυτό τα συγκεκριμένα SPC-TK θεωρούνται αναλογικά παρά το γεγονός ότι λειτουργούν με ψηφιακό έλεγχο.



Σχήμα 4.1: Δομή TK Ενταμιευμένου Προγράμματος

Τα ψηφιακά SPC-TK, εκτός από τη ψηφιακή Διάταξη Ελέγχου, διαθέτουν και ψηφιακή Διάταξη Μεταγωγής. Στα κέντρα αυτά, η φωνή των συνδρομητών ψηφιοποιείται (π.χ. με τη μέθοδο PCM) και στη συνέχεια γίνεται μεταγωγή των ψηφιοποιημένων δειγμάτων φωνής κάνοντας χρήση τετρασύρματων κυκλωμάτων. Στα παλαιότερα κέντρα η ψηφιακή Διάταξη Μεταγωγής πραγματοποιούταν με βάση τη διαίρεση χώρου (Space Division Switching – SDS) ενώ στα σύγχρονα κέντρα με βάση τη διαίρεση χρόνου (Time Division Switching – TDS) Στο παρόν Κεφάλαιο αναλύονται οι Διατάξεις Μεταγωγής που βασίζονται στο SDS ενώ στο Κεφάλαιο-6 οι Διατάξεις Μεταγωγής που βασίζονται στο TDM.

4.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η Διάταξη Ελέγχου περιλαμβάνει έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που ελέγχει και καθοδηγεί τη Διάταξη Μεταγωγής του TK. Οι λειτουργίες της ηλεκτρονικής Διάταξης Ελέγχου, που σχετίζονται με τη διασύνδεση τοπικών και διαβιβαστικών κλήσεων, είναι ίδιες με τις αντίστοιχες λειτουργίες της Διάταξης Καθοδήγησης των TK ενσυρματωμένης λογικής που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Η Διάταξη Ελέγχου είναι μία ψηφιακή διάταξη, η οποία αποτελείται από έναν επεξεργαστή (CPU), μνήμη, διάφορες διατάξεις εισόδου / εξόδου, διαύλους μεταφοράς δεδομένων και από λογισμικό.

4.2.1 Επεξεργαστής και Μνήμη

Ο επεξεργαστής της Διάταξης Ελέγχου λειτουργεί και χειρίζεται τη Διάταξη Μεταγωγής σύμφωνα με τις εντολές που λαμβάνει από το πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο σε ηλεκτρονική μνήμη.

Η μνήμη της Διάταξης Ελέγχου, εκτός από το λογισμικό λειτουργίας του SPC-TK, διατηρεί και κάποιες μόνιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τους συνδρομητές του SPC-TK (π.χ. αριθμοί κλήσης), καθώς και όλα τα στοιχεία που αφορούν κλήσεις που ευρίσκονται σε εξέλιξη (π.χ. ποια σημεία διασταυρώσεως είναι κατειλημμένα για κάθε τρέχουσα συνδιάλεξη).

Το λογισμικό και οι μόνιμες πληροφορίες του συστήματος, αποθηκεύονται σε ημιμόνιμη μνήμη μόνο ανάγνωσης (semi-permanent read-only memory), τα περιεχόμενα της οποίας μεταβάλλονται μόνο μέσω ειδικής διάταξης προγραμματισμού του SPC-TK.

Τα δεδομένα των ενεργών κλήσεων, τα οποία μεταβάλλονται δυναμικά κατά την διάρκεια λειτουργίας του SPC-TK, αποθηκεύονται σε μνήμη τυχαίας προσπέλασης (Random Access Memory

– RAM), στην οποία ο επεξεργαστής είχε πλήρη πρόσβαση ανάγνωσης και εγγραφής.

4.2.2 Λογισμικό

Το λογισμικό ελέγχου του συστήματος διαθέτει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

1. Είναι λογισμικό πραγματικού χρόνου (real time). Συντονίζει τη λειτουργία του SPC-TK με τέτοιο τρόπο, ώστε το SPC-TK να ανταποκρίνεται στα αιτήματα των συνδρομητών μέσα σε συγκεκριμένες χρονικές προθεσμίες, εξυπηρετώντας τους σε πραγματικό χρόνο.

Για παράδειγμα, το SPC-TK οφείλει να αποκαταστήσει την κλήση και να στείλει σήμα αναμονής απάντησης στον καλούντα συνδρομητή (ή σήμα κατειλημμένου, εάν η αποκατάσταση της συνδιάλεξης είναι ανεπιτυχής) μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα από την στιγμή που αυτός ολοκλήρωσε την κλήση του καλούμενου αριθμού – διαφορετικά, εάν η αποκατάσταση της κλήσης καθυστερήσει, ο καλών συνδρομητής ενδέχεται να τερματίσει τη κλήση, θεωρώντας ότι το SPC-TK αντιμετωπίζει πρόβλημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια κίνησης για τον φορέα εκμετάλλευσης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

2. Χειρίζεται ταυτόχρονα πολλαπλές διεργασίες (multi-tasking). Κάθε συνδιάλεξη μεταξύ συνδρομητών αποτελεί μία ξεχωριστή διεργασία λογισμικού, ενώ υπάρχουν και διεργασίες του συστήματος που εκτελούνται ανεξάρτητα από τις τηλεφωνικές κλήσεις που εξυπηρετεί το SPC-TK. Παράδειγμα τέτοιων διεργασιών είναι η τακτική σάρωση των ελεύθερων συνδρομητικών γραμμών για τον εντοπισμό νέων προσπαθειών κλήσης, η σάρωση των ζευκτικών γραμμών για τον εντοπισμό τυχόν εισερχόμενων διαβιβαστικών κλήσεων, κλπ.

Το λογισμικό της Διάταξης Ελέγχου, ρυθμίζει την κατανομή του χρόνου του επεξεργαστή ανάμεσα στις ενεργές διεργασίες. Η βασική αρχή κατανομής του επεξεργαστή είναι η εκτέλεση κάθε διεργασίας για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (μερικών ms) έτσι ώστε στην κλίμακα χρόνου που αντιλαμβάνονται οι συνδρομητές, να δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι όλες οι διεργασίες εκτελούνται ταυτόχρονα (παράλληλα).

Βέβαια, στην κατανομή της επεξεργαστικής ισχύος του συστήματος υπεισέρχονται διάφοροι πρακτικοί παράγοντες, οι οποίοι αυξάνουν την πολυπλοκότητα του χειρισμού πολλαπλών διεργασιών. Σαν παραδείγματα, αναφέρονται η προτεραιότητα κάποιων σημαντικών διεργασιών του συστήματος έναντι των υπολοίπων, καθώς και η ανάγκη για την εξισορρόπηση του αριθμού των ενεργών διεργασιών με την απόρριψη νέων προσπαθειών κλήσης όταν το φορτίο του SPC-TK υπερβεί κάποιο προκαθορισμένο όριο.

4.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΙΣΟΔΟΥ / ΕΞΟΔΟΥ

Ο έλεγχος του συστήματος μεταγωγής του SPC-TK, βασίζεται στις εξής διατάξεις εισόδου/εξόδου:

1. τους σαρωτές (scanners) και τους αισθητήρες (sensors), οι οποίοι μεταφέρουν δεδομένα από τη Διάταξη Μεταγωγής προς τον επεξεργαστή (είσοδος).
 - Οι σαρωτές ελέγχουν την κατάσταση των ηλεκτρομηχανικών διατάξεων, μετρώντας τη διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, μόνο μετά από σχετική εντολή του κεντρικού επεξεργαστή.,
 - οι αισθητήρες, αντίθετα με τους σαρωτές, ανιχνεύουν τις μεταβολές στην κατάσταση των ηλεκτρομηχανικών διατάξεων, λαμβάνοντας τα αναλογικά ηλεκτρικά σήματα που παράγονται αυτόματα από αυτές όταν συμβεί κάποιο γεγονός το οποίο μεταβάλλει την κατάστασή τους (π.χ. ο τερματισμός της κλήσης από τον συνδρομητή-Α).

Τόσο οι σαρωτές, όσο και οι αισθητήρες, μετατρέπουν τις αναλογικές πληροφορίες που λαμβάνουν από την ηλεκτρομηχανική διάταξη μεταγωγής σε ψηφιακά δεδομένα, τα οποία και διαβιβάζουν στον επεξεργαστή της διάταξης ελέγχου.

2. τους διαβιβαστές σημάτων, οι οποίοι μεταφέρουν εντολές από τον επεξεργαστή του συστήματος προς τη Διάταξη Μεταγωγής (έξοδος). Οι διαβιβαστές σημάτων, είναι ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες λαμβάνουν τις εντολές ελέγχου από τον επεξεργαστή (με τη μορφή ψηφιακών σημάτων) και στη συνέχεια, τις προωθούν στις ηλεκτρομηχανικές διατάξεις του συστήματος μεταγωγής με τη μορφή αναλογικών ηλεκτρικών σημάτων – π.χ. εντολή ενεργοποίησης ενός σημείου διασταυρώσεως σε κάποιο ραβδεπαφικό επιλογήα.
3. κατάλληλες διατάξεις εισόδου / εξόδου, οι οποίες διεκπεραιώνουν την επικοινωνία του SPC-TK με τον χειριστή, μέσω ειδικά διαμορφωμένης κονσόλας χειρισμού. Η κονσόλα χειρισμού περιλαμβάνει φωτεινές ενδείξεις για την κατάσταση λειτουργίας των επιμέρους υποσυστημάτων του SPC-TK, ενδείξεις συναγερμών, καθώς και τερματικές διατάξεις εισόδου/εξόδου μέσω των οποίων ο χειριστής πραγματοποιεί τον προγραμματισμό του SPC-TK.

4.4 ΔΙΑΤΑΞΗ / ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Η Διάταξη Μεταγωγής αποκαθιστά τις φυσικές συνδέσεις μεταξύ συνδρομητών που ανήκουν στο ίδιο SPC-TK, καθώς και τις διαβιβαστικές συνδέσεις προς γειτονικά TK. Η Διάταξη Μεταγωγής μπορεί να είναι είτε μονοβάθμια είτε πολυβάθμια, ανάλογα με το μέγεθος του TK. Όταν είναι πολυβάθμια αναφέρεται συνήθως και ως Δίκτυο Μεταγωγής.

Η Διάταξη Μεταγωγής είναι ένα πολλαπλό πεδίο χώρου όπου η μεταγωγή γίνεται με βάση την διαίρεση χώρου (*Space Division Switching – SDS*). Η Διάταξη Μεταγωγής υλοποιείται με ζευκτικά πεδία τα οποία, ανάλογα με τον τύπο του SPC-TK, περιλαμβάνουν αναλογικά ή ψηφιακά σημεία διασταύρωσης τα οποία ενεργοποιούνται σύμφωνα με τις εντολές που λαμβάνουν από τον υπολογιστή της Διάταξης Ελέγχου.

Στα αναλογικά SPC-TK η Διάταξη Μεταγωγής (που αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.6) αποτελείται από ηλεκτρομηχανικά ραβδεπαφικά πλαίσια τα οποία αποκαθιστούν δυσύρματες συνδέσεις μέσα από τη Διάταξη Μεταγωγής. Αντίθετα, στα ψηφιακά SPC-TK η Διάταξη Μεταγωγής (που αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.7) αποτελείται από ψηφιακές μήτρες μεταγωγής οι οποίες αποκαθιστούν τετρασύρματες συνδέσεις.

4.5 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ESS – 1

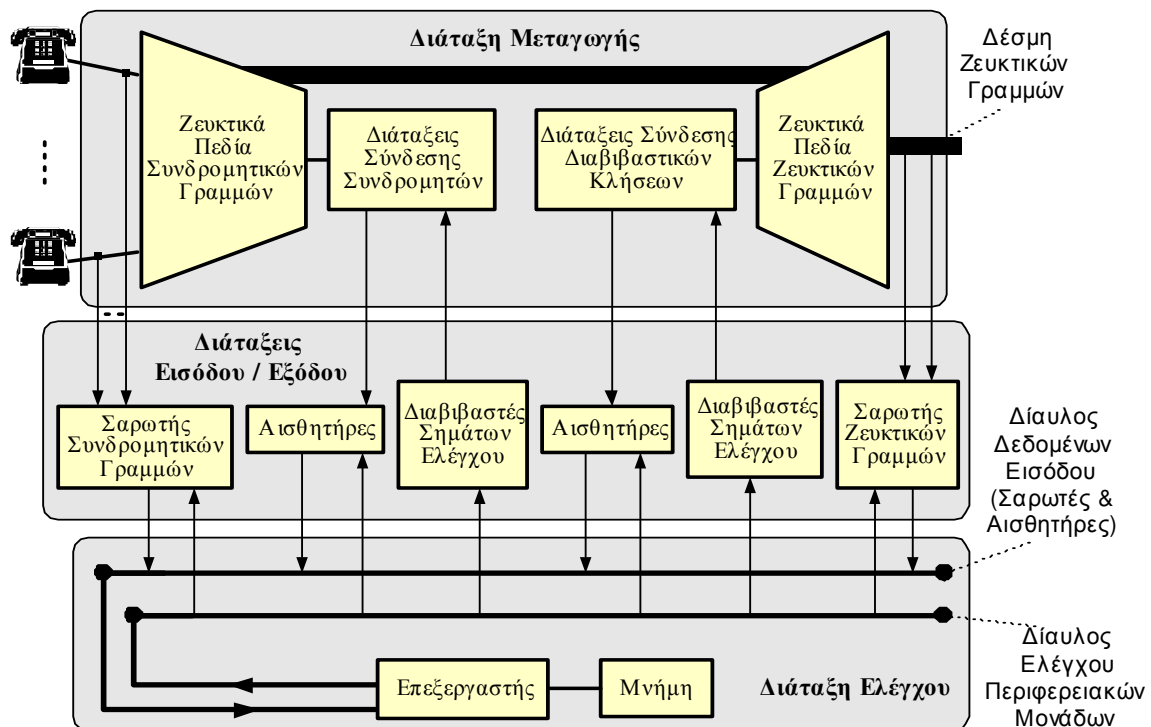
Η βασική δομή του ESS-1, απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2. Το ESS-1, ως τυπικό αναλογικό SPC-TK, αποτελείται από μία αναλογική (ηλεκτρομηχανική) Διάταξη Μεταγωγής αποτελούμενη από ραβδεπαφικά ζευκτικά πεδία και από μία ηλεκτρονική Διάταξη Ελέγχου. Η Διάταξη Μεταγωγής εκτελεί αντίστοιχες λειτουργίες και έχει παρόμοια δομή με τη Διάταξη Μεταγωγής των ραβδεπαφικών TK ενσυρματωμένου ελέγχου. Για λόγους όμως καλύτερης εποπτείας, η Διάταξη Μεταγωγής που φαίνεται στο Σχήμα 4.2 είναι διαχωρισμένη στις εξής επιμέρους μονάδες:

1. Ζευκτικά πεδία συνδρομητικών γραμμών, τα οποία αναλαμβάνουν τη φυσική διασύνδεση των τοπικών κλήσεων, μεταξύ συνδρομητών που ανήκουν στο ίδιο TK
2. Διατάξεις σύνδεσης συνδρομητών, που περιλαμβάνουν όλες τις συσκευές, διατάξεις και κυκλώματα που χρησιμοποιούνται από το TK από την αρχή έως το τέλος των κλήσεων – π.χ. ταμειυτές καλούμενων αριθμών, κυκλώματα παραγωγής σημάτων ειδοποίησης συνδρομητών (σήμα επιλογής, σήμα κουδουνισμού, σήμα κατειλημμένου και άλλα), κυκλώματα επίβλεψης, κλπ.
3. Ζευκτικά πεδία ζευκτικών γραμμών, τα οποία διασυνδέουν τις εισερχόμενες και εξερχόμενες διαβιβαστικές κλήσεις
4. Διατάξεις σύνδεσης διαβιβαστικών κλήσεων, που αντίστοιχα με τις διατάξεις σύνδεσης

συνδρομητών, περιλαμβάνουν όλες τις διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση διαβιβαστικών κλήσεων – όπως για παράδειγμα, οι πομποί και οι δέκτες των παλμών πολλαπλής συχνότητας που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του καλούμενου αριθμού μεταξύ γειτονικών ΤΚ, κλπ.

Οι Διατάξεις Εισόδου / Εξόδου αποτελούνται από τις παρακάτω ειδικές διατάξεις:

1. Σαρωτές, οι οποίοι ελέγχουν όλες τις αδρανείς συνδρομητικές γραμμές με σκοπό να ανιχνεύσουν τις απόπειρες κλήσεων. Κάθε σαρωτής ελέγχει μία ομάδα γραμμών και κάθε γραμμή ελέγχεται κάθε 100 ms. Εκτός από τους σαρωτές των συνδρομητικών γραμμών, υπάρχει κι ένα σύνολο σαρωτών το οποίο ελέγχει τις εισερχόμενες ζευκτικές γραμμές, εντοπίζοντας τις εισερχόμενες διαβιβαστικές κλήσεις.
2. Αισθητήρες, που λαμβάνουν διάφορα ηλεκτρικά σήματα από τις διατάξεις και τα κυκλώματα του συστήματος μεταγωγής – όπως για παράδειγμα το σήμα τερματισμού της κλήσης από το κύκλωμα επίβλεψης – και στη συνέχεια τα προωθούν στον επεξεργαστή.
3. Διαβιβαστές σημάτων ελέγχου, που μεταφέρουν τις εντολές του επεξεργαστή στις ηλεκτρομηχανικές διατάξεις του ΤΚ, αφού τις μετατρέψουν σε αναλογικά ηλεκτρικά σήματα.



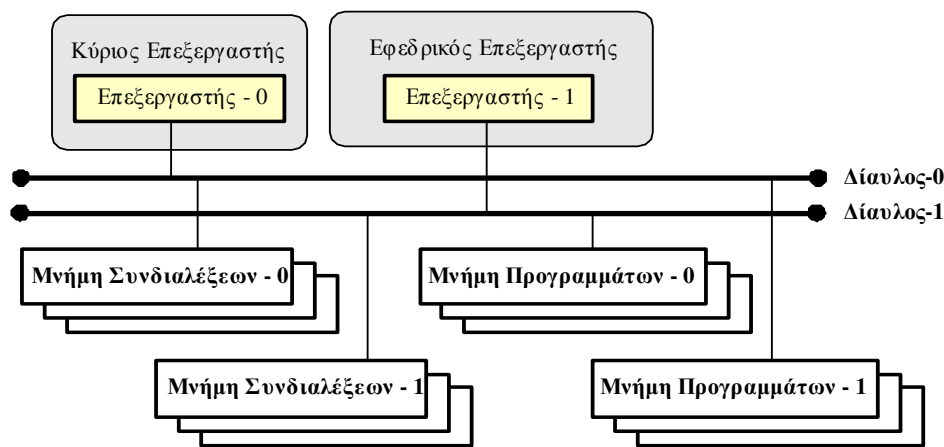
Σχήμα 4.2: Δομή του ESS 1

Η Διατάξη Ελέγχου, είναι μία τυπική διάταξη ελέγχου που χρησιμοποιείται στα SPC-TK και αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία:

1. Δίαυλο δεδομένων εισόδου. Μέσω αυτού του διαύλου, οι αισθητήρες και οι σαρωτές μεταβιβάζουν στον επεξεργαστή τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τις τηλεφωνικές γραμμές και τις διατάξεις που ελέγχουν – αφού προηγουμένως τις μετατρέψουν σε ψηφιακές.
2. Δίαυλο ελέγχου περιφερειακών μονάδων. Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί αυτό το δίαυλο για να στείλει εντολές σε όλες τις περιφερειακές του μονάδες – όπως οι σαρωτές, οι αισθητήρες και οι διαβιβαστές σημάτων.

3. *Επεξεργαστή και μνήμη.* Ο επεξεργαστής λειτουργεί με συχνότητα κύκλου λειτουργίας 1 MHz και διαθέτει ένα σύνολο 36 εντολών (36-bit instruction set). Η μνήμη του συστήματος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τη μνήμη συνδιαλέξεων στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα που αφορούν όλες τις ενεργές κλήσεις που διαχειρίζεται το TK (μνήμη τυχαίας προσπέλασης) και μνήμη προγραμμάτων, στην οποία αποθηκεύονται τα μόνιμα δεδομένα των συνδρομητών και το λογισμικό λειτουργίας του TK (ημιμόνιμη μνήμη μόνο-ανάγνωσης). Ο επεξεργαστής, επικοινωνεί με τη μνήμη συνδιαλέξεων και τη μνήμη προγραμμάτων μέσω ειδικού διαύλου προσπέλασης μνήμης.

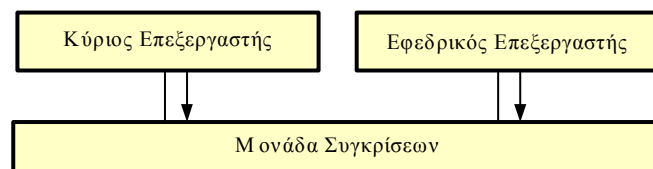
Ο επεξεργαστής του ESS 1 διασυνδέεται με τη μνήμη της διάταξης ελέγχου με τον τρόπο που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3. Για λόγους ασφαλείας και αξιοπιστίας, το σύστημα επεξεργασίας είναι διπλασιασμένο. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο πανομοιότυποι επεξεργαστές, δύο τράπεζες μνήμης με κοινά περιεχόμενα και δύο δίαυλοι επικοινωνίας επεξεργαστή - μνήμης.



Σχήμα 4.3: Σύστημα Επεξεργαστών του TK ESS 1

Από τους δύο επεξεργαστές, ο ένας έχει το ρόλο του κύριου (master) επεξεργαστή και ο άλλος του εφεδρικού (backup). Οι δύο επεξεργαστές διασυνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα εισόδου και εκτελώντας πάντα τον ίδιο κώδικα, όμως μόνο ο κύριος επεξεργαστής έχει πρόσβαση και στέλνει εντολές στις περιφερειακές μονάδες.

Στο Σχήμα 4.3, απεικονίζεται μία πιθανή διαμόρφωση του διπλασιασμένου συστήματος. Ο επεξεργαστής-0 έχει τον ρόλο του κύριου επεξεργαστή και συνδέεται (με συνεχή γραμμή σύμφωνα με το σχήμα) με τη μνήμη συνδιαλέξεων-0 και τη μνήμη προγραμμάτων-1, μέσω του διαύλου-0. Στη περίπτωση αυτή, ο επεξεργαστής-1 είναι ο εφεδρικός και συνδέεται (με διακεκομμένη γραμμή) με τη μνήμη συνδιαλέξεων-1 και τη μνήμη προγραμμάτων-0 μέσω του διαύλου-1.



Σχήμα 4.4: Λειτουργία της Μονάδας Συγκρίσεων

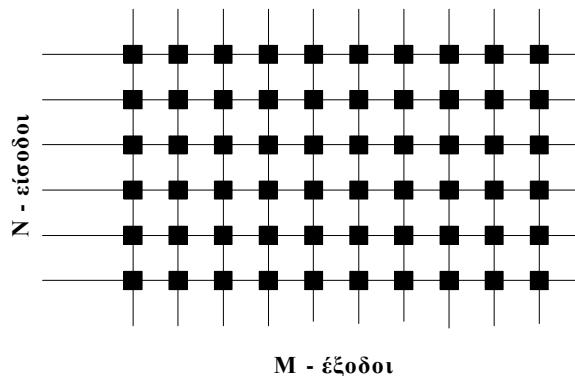
Εάν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα στη λειτουργία του κύριου επεξεργαστή, τότε αυτός τίθεται εκτός λειτουργίας και ο εφεδρικός επεξεργαστής αναλαμβάνει τον έλεγχο του TK. Επίσης, η λειτουργία των δύο επεξεργαστών ελέγχεται από μία μονάδα συγκρίσεων (Σχήμα 4.4) η οποία

συγκρίνει τα δεδομένα εξόδου των δύο επεξεργαστών και σε περίπτωση διαφοροποίησης, ενημερώνει τον χειριστή του συστήματος με σχετική ένδειξη συναγερμού. Η διαδικασία αποκατάστασης τοπικών και διαβιβαστικών κλήσεων (εισερχόμενων και εξερχόμενων) στο ESS-1, είναι σχεδόν ίδια με τη διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί στη περίπτωση των ραβδεπαφικών TK.

4.6 ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ / ΔΙΚΤΥΑ SDS

4.6.1 Μονοβάθμια Διάταξη SDS

Η απλούστερη μονοβάθμια δομή μεταγωγής SDS που θα μπορούσε να φανταστεί κανείς σε ένα SPC-TK είναι η ορθογώνια μήτρα σημείων διασταύρωσης (crosspoint), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5 και αναφέρεται ως *μεταγωγή με επιμερισμό χώρου (space division switching)*. Αυτού του τύπου η μήτρα μεταγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση οποιασδήποτε από τις εισόδους N με οποιαδήποτε από τις εξόδους M . Στα αναλογικά SPC-TK η κάθε είσοδος (inlet) και η κάθε έξοδος (outlet) είναι ένα δισύρματο κύκλωμα, τότε απαιτείται μόνο μία διασταύρωση για κάθε σύνδεση.



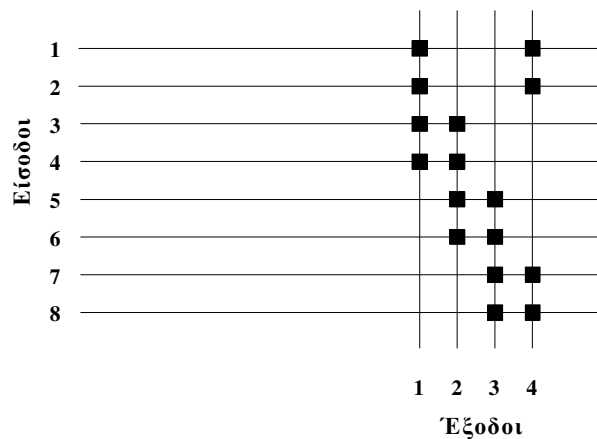
Σχήμα 4.5: Ορθογώνια μήτρα σημείων διασταύρωσης.

Οι ορθογώνιες μήτρες σημείων διασταύρωσης είναι σχεδιασμένες να παρέχουν μόνο διαομαδικές (διαβατικές) συνδέσεις, δηλαδή από μία ομάδα εισόδων σε μία ομάδα εξόδων. Οι μήτρες αυτές βρίσκουν εφαρμογές σε:

1. απομακρυσμένους Συγκεντρωτές Γραμμών (remote line concentrators).
2. διανομείς Κλήσεων (ACD).
3. ένα τμήμα του διακόπτη ενός PBX ή ενός TK που παρέχει διαβατική μεταγωγή.
4. επιμέρους βαθμίδες των πολυβάθμιων δικτύων μεταγωγής.

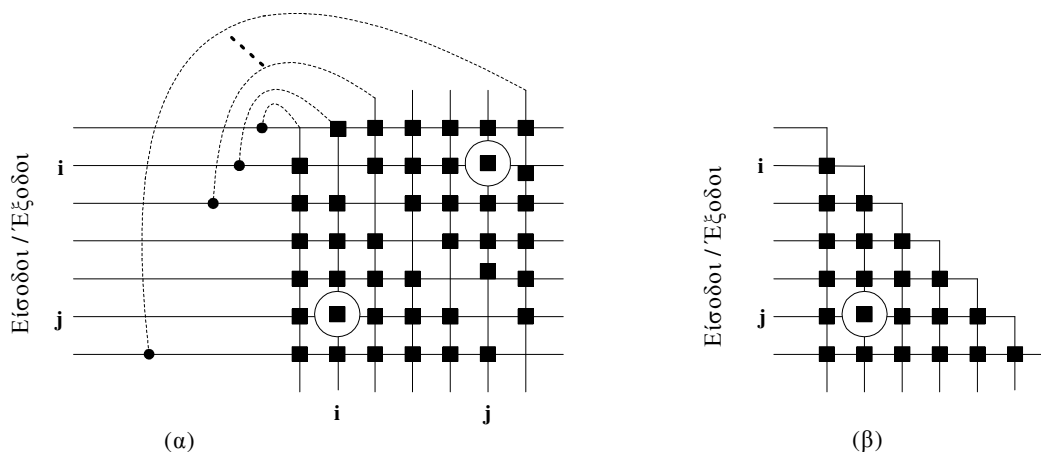
Στις περισσότερες από τις πιο πάνω εφαρμογές δεν είναι απαραίτητο κάθε είσοδος να συνδέεται σε κάθε έξοδο. Ειδικότερα όταν οι εξοδοί οργανώνονται σε μεγάλες ομάδες, μπορεί να επιτευχθεί αξιοσημείωτη οικονομία στο συνολικό αριθμό των σημείων διασταύρωσης, αν κάθε είσοδος έχει πρόσβαση σε περιορισμένο αριθμό εξόδων μιας ομάδας. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται σαν "*περιορισμένη διαθεσιμότητα*" (*limited availability*).

Παράλληλα χρησιμοποιώντας μία τεχνική σύνδεσης που αποκαλείται "*ταξινόμηση*" (*grading*), οι διαθέσιμες ομάδες εξόδων μπορούν να επικαλύπτονται από πολλές ομάδες εισόδων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Εάν δε οι συνδέσεις εξόδου είναι συνετά επιλεγμένες, τότε το δυσμενές αποτέλεσμα της περιορισμένης διαθεσιμότητας μειώνεται σημαντικά. Για παράδειγμα, εάν οι εισοδοί 1 και 8 στο Σχήμα 4.6 αιτούν μία σύνδεση με την ομάδα εξόδου, τότε θα πρέπει να επιλεγθούν οι εξοδοί 1 και 3 αντί των εξόδων 1 και 4 για την αποφυγή πιθανής συμφόρησης της εισόδου 2.



Σχήμα 4.6: Ταξινομημένη ορθογώνια μήτρα μεταγωγής.

Ταξινομημένες δομές μονοβάθμιων επιλογικών μητρών έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την προσπέλαση μεγάλου αριθμού ζεύξεων στα ηλεκτρομηχανικά επιλογικά συστήματα τα οποία ελέγχονται από αναλογικές Διατάξεις Καθοδήγησης και τα σημεία διασταύρωσης είναι πολύ ακριβά και περιορισμένα σε μέγεθος. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή επιμέρους επιλογικών βαθμίδων στα μεγάλα πολυβάθμια επιλογικά δίκτυα των SPC-TK (όπως αυτά αναλύονται στη συνέχεια του Κεφαλαίου) όπου μεταξύ μίας εισόδου και μιας εξόδου οδηγούνται περισσότερα του ενός μονοπάτια.



Σχήμα 4.7: Δισύρματες μήτρες μεταγωγής. (α) Τετραγωνική μήτρα. (β) Τριγωνική μήτρα (αναδιπλωμένη).

Μια άλλη ειδική κατηγορία μονοβάθμιας μεταγωγής είναι η ενδο-ομαδική μεταγωγή, που αφορά την σύνδεση μεταξύ δύο εισόδων κάνοντας χρήση μίας ή περισσότερων γραμμών εξόδου (σύνδεση από βρόχο σε βρόχο). Στην περίπτωση αυτή οι γραμμές εξόδου χρησιμοποιούνται απλά σαν γέφυρες διασύνδεσης των εισόδων. Για το λόγο αυτό απαιτείται μεγάλη διαθεσιμότητα από όλες τις εισόδους σε όλες τις εξόδους της μήτρας μεταγωγής, έτσι ώστε η κάθε είσοδος να είναι σε θέση να συνδέεται με οποιονδήποτε άλλη είσοδο.

Το Σχήμα 4.7 δείχνει δύο δομές μεταγωγής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλήρη ενδοομαδική μεταγωγή δισύρματων εισόδων, μία τετραγωνική (α) και μία τριγωνική (β). Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν ότι οι αντίστοιχες εισοδοί και έξοδοι των διακοπτικών μητρών είναι στην πραγματικότητα μαζί συνδεδεμένες για να παρέχουν δικατευθυντήρια μετάδοση πάνω από τους

δισύρματους βρόχους. Πάντως, για την καλύτερη περιγραφή των διακοπτικών μητρών είναι βολικό να είναι πλήρως διακριτές οι εισοδοί και οι εξοδοί των μήτρων.

Οι δύο δομές του Σχήματος 4.7 επιτρέπουν την αποκατάσταση οποιαδήποτε σύνδεσης, επιλέγοντας ένα σημείο διασταύρωσης. Ωστόσο η τετραγωνική μήτρα, η οποία καλείται και *μήτρα δύο πλευρών*, επιτρέπει σε οποιαδήποτε σύνδεση να πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Για παράδειγμα, αν η γραμμή εισόδου i πρέπει να συνδεθεί με τη γραμμή εισόδου j το επιλεγμένο σημείο διασταύρωσης μπορεί να βρίσκεται στη τομή της εισόδου i και της εξόδου j ή στη τομή της εισόδου j και της εξόδου i . Για λόγους απλούστευσης τα σημεία αυτά διασταύρωσης καλούνται (i, j) και (j, i) αντίστοιχα. Το ζεύγος (i, j) χρησιμοποιείται όταν η είσοδος i ζητά εξυπηρέτηση ενώ το (j, i) όταν η είσοδος j ζητά εξυπηρέτηση.

Στην τριγωνική μήτρα του Σχήματος 4.7 (β) τα υπεράριθμα σημεία διασταύρωσης περιορίζονται. Ωστόσο η μείωσή τους δεν επέρχεται χωρίς περιπλοκές. Πριν γίνει η σύνδεση μεταξύ της εισόδου i και της εισόδου j το στοιχείο ελέγχου των διακοπών πρέπει να προσδιορίσει ποια είσοδος είναι μεγαλύτερη: η i ή η j . Αν η i είναι η μεγαλύτερη επιλέγεται το σημείο διασταύρωσης (i, j) , αλλιώς επιλέγεται το σημείο διασταύρωσης (j, i) . Στις επιλογικές μήτρες που έχουν υπολογιστικό έλεγχο η σύγκριση των γραμμών δεν εισάγει ιδιαίτερη επιβάρυνση, κάτι που συμβαίνει στις μήτρες άμεσης καθοδήγησης χωρίς έλεγχο, όπως οι ηλεκτρομηχανικοί επιλογείς.

Στις μονοβάθμιες δομές μεταγωγής SDS, μία είσοδος συνδέεται απευθείας σε μία έξοδο δια μέσου ενός σημείου διασταύρωσης. Για αυτό το λόγο, κάθε μεμονωμένο σημείο διασταύρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση ενός συγκεκριμένου ζεύγους εισόδου και εξόδου. Δεδομένου ότι ο αριθμός των ζευγών εισόδου-εξόδου για μία τριγωνική μήτρα είναι ίσος με $N(N-1)/2$ και για μία τετραγωνική μήτρα ίσος με $N(N-1)$, ο αριθμός των σημείων διασταύρωσης που απαιτούνται για έναν μεγάλο διακόπτη είναι απαγορευτικός.

Επιπρόσθετα, ο μεγάλος αριθμός των σημείων διασταύρωσης πάνω σε κάθε γραμμή εισόδου και εξόδου συνεπάγεται μεγάλο φορτίο στα κανάλια σηματοδοσίας. Μία άλλη θεμελιώδης ατέλεια των μονοβάθμιων διακοπών είναι ότι για κάθε συγκεκριμένη σύνδεση χρειάζεται ένα συγκεκριμένο σημείο διασταύρωσης. Αν το συγκεκριμένο σημείο διασταύρωσης αποτύχει, τότε η επικείμενη σύνδεση δεν μπορεί να επιτευχθεί ποτέ.

4.6.2 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS

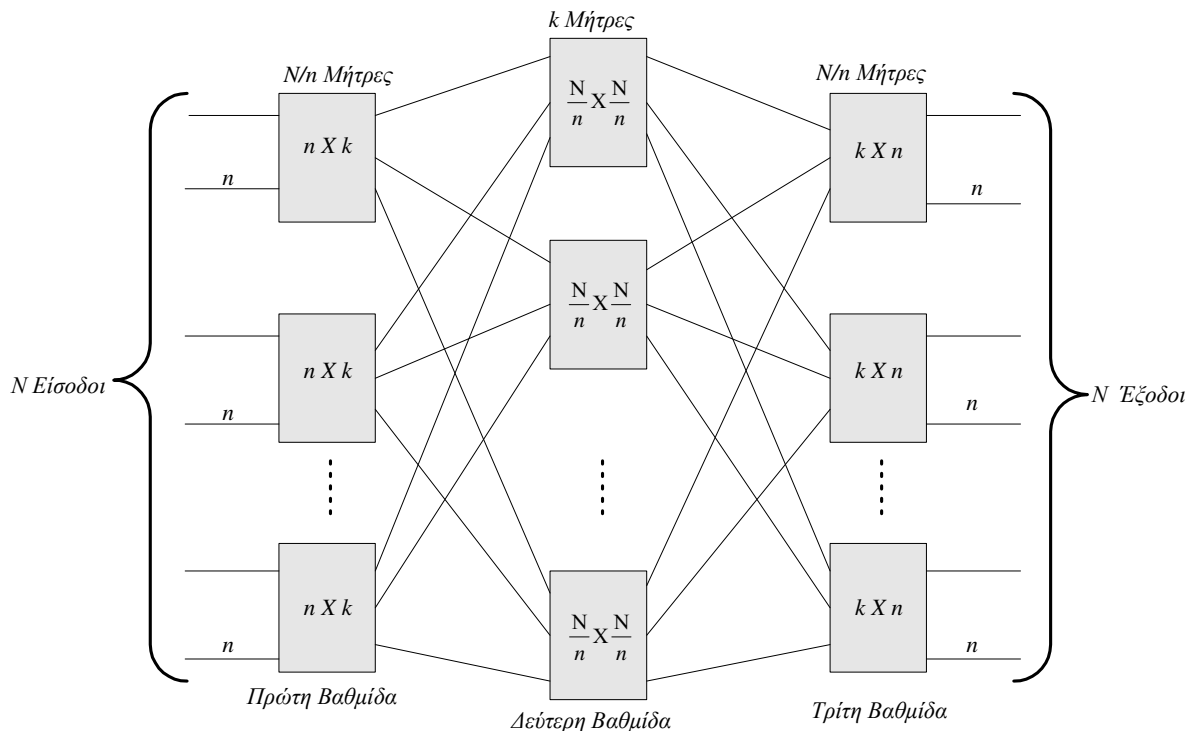
Η ανάλυση μιας μεγάλης μονοβάθμιας Διάταξης Μεταγωγής αποκαλύπτει ότι τα σημεία διασταύρωσης δεν χρησιμοποιούνται αποδοτικά. Μόνο ένα σημείο διασταύρωσης σε κάθε σειρά ή στήλη του τετράγωνου διακόπτη χρησιμοποιείται διαρκώς, ακόμα και όταν όλες οι γραμμές είναι ενεργές. Για να γίνει πιο αποδοτική η χρήση και να μειωθεί ο συνολικός αριθμός των σημείων διασταύρωσης, είναι απαραίτητο το οποιοδήποτε σημείο διασταύρωσης να μπορεί να χρησιμοποιείται σε περισσότερες από μία ενδεχόμενες συνδέσεις.

Ωστόσο, αν τα σημεία διασταύρωσης πρέπει να μοιραστούν, είναι απαραίτητο περισσότερα από ένα μονοπάτια να είναι διαθέσιμα για οποιαδήποτε ενδεχόμενη σύνδεση έτσι ώστε να μην συμβαίνει συμφόρηση. Τα εναλλακτικά μονοπάτια περιορίζουν ή εξαλείφουν τη συμφόρηση και έτσι παρέχουν προστασία σε ενδεχόμενες αποτυχίες. Το μοίρασμα των σημείων διασταύρωσης σε πολλά διαφορετικά μονοπάτια δια μέσου του διακόπτη πραγματοποιείται από τη *μεταγωγή πολλαπλών βαθμίδων (multiple stage switching)*.

Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός πολυβάθμιου (τριβάθμιου) Δικτύου Μεταγωγής SDS. Η πραγματοποίηση μιας σύνδεσης απαιτεί την δημιουργία ενός μονοπατιού (path) μεταξύ μιας εισόδου και μιας εξόδου. Κάθε μονοπάτι πραγματοποιείται με την κατάληψη δύο ενδιάμεσων γραμμών (ζευκτικές συνδέσεις $-ZZ$), μιας μεταξύ πρώτης – δεύτερης βαθμίδας και μιας μεταξύ δεύτερης – τρίτης βαθμίδας. Οι N εισοδοί είναι διαιρεμένες σε υποομάδες των n εισόδων και οι N εξοδοί σε υποομάδες των n εξόδων. Οι εισοδοί της κάθε υποομάδας εξυπηρετούνται από μία ορθογώνια μήτρα (συστοιχία) σημείων διασταύρωσης.

Οι μήτρες της πρώτης βαθμίδας (είσοδοι) είναι $n \times k$ όπου κάθε μια από τις k εξόδους είναι συνδεδεμένη σε μία από τις k μήτρες της κεντρικής (μεσαίας) βαθμίδας. Η τρίτη βαθμίδα αποτελείται από $k \times n$ ορθογώνιες μήτρες οι οποίες παρέχουν συνδέσεις από κάθε μήτρα της κεντρικής βαθμίδας στις ομάδες των n εξόδων. Όλες οι μήτρες της κεντρικής βαθμίδας έχουν διαστάσεις $N/n \times N/n$ και παρέχουν ΖΣ από οποιαδήποτε μήτρα της πρώτης βαθμίδας σε οποιαδήποτε μήτρα της τρίτης βαθμίδας.

Σημειώνεται ότι αν όλες οι μήτρες παρέχουν πλήρη διαθεσιμότητα, δια μέσου του διακόπτη υπάρχουν k πιθανά μονοπάτια για την πραγματοποίηση μίας συγκεκριμένης σύνδεσης μεταξύ των εισόδων και των εξόδων. Κάθε ένα από τα k μονοπάτια χρησιμοποιεί μία διαφορετική μήτρα της κεντρικής βαθμίδας. Έτσι η πολυβάθμια δομή παρέχει εναλλακτικά μονοπάτια δια μέσου του διακόπτη σε περιπτώσεις αποτυχίας. Επίσης, αφού η κάθε μεταγόμενη διαδρομή είναι συνδεδεμένη σε περιορισμένο αριθμό σημείων διασταύρωσης, το φορτίο σηματοδοσίας μειώνεται αισθητά.



Σχήμα 4.8: Δίκτυο Μεταγωγής SDS τριών βαθμίδων.

Ο συνολικός αριθμός των σημείων διασταύρωσης Nx που απαιτούνται από ένα τριβάθμιο Δίκτυο Μεταγωγής όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.8 είναι:

$$Nx = 2Nk + k (N / n)^2 \tag{4.1}$$

- όπου: N = ο αριθμός των εισόδων / εξόδων
- n = το μέγεθος της κάθε ομάδας εισόδου / εξόδου
- k = ο αριθμός των μητρών της κεντρικής βαθμίδας

Ο αριθμός των σημείων διασταύρωσης που καθορίζονται στην Εξίσωση 4.1 είναι σημαντικά χαμηλότερος από τον αριθμό των σημείων διασταύρωσης που απαιτούνται για τις μονοβάθμιες μήτρες.

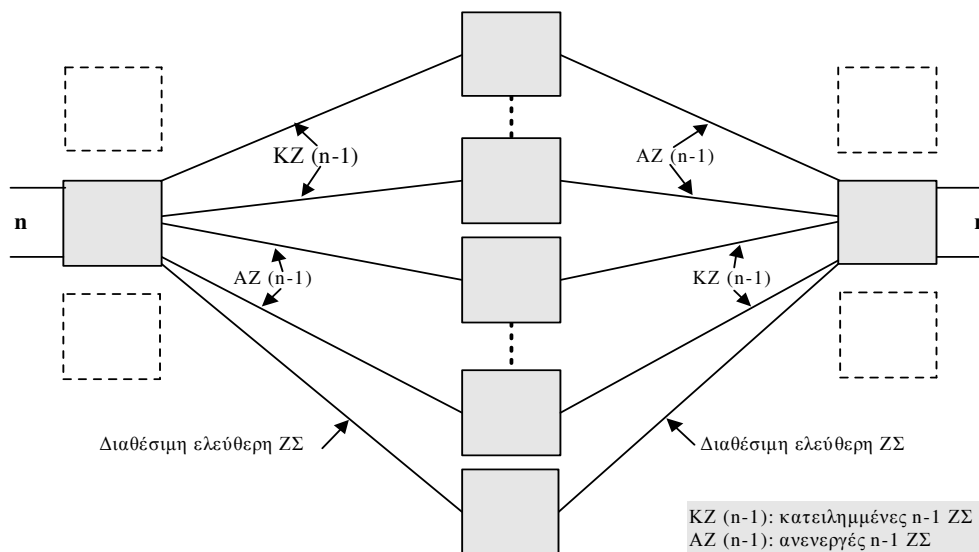
4.6.3 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS χωρίς συμφόρηση

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των μονοβάθμιων Δικτύων Μεταγωγής είναι ότι δεν παρουσιάζουν συμφόρηση. Εάν η καλούμενη έξοδος είναι σε ηρεμία, η σύνδεση μπορεί να αποκατασταθεί πάντοτε επιλέγοντας το κατάλληλο σημείο διασταύρωσης που είναι αφιερωμένο στο συγκεκριμένο ζεύγος εισόδου-εξόδου. Το 1953 ο Charles Clos των Bell Laboratories δημοσίευσε μια ανάλυση τριβάθμιων Δικτύων Μεταγωγής που υπολογίζει πόσες μήτρες πρέπει να εμπεριέχει η κεντρική βαθμίδα ώστε να εξασφαλίζεται λειτουργία χωρίς συμφόρηση. Η ανάλυση έδειξε ότι δεν παρουσιάζεται συμφόρηση αν:

- κάθε μήτρα (όλων των βαθμίδων) είναι διακόπτης χωρίς συμφόρηση,
- ο αριθμός των μητρών της πρώτης και της τρίτης βαθμίδας είναι ίσος με n και
- ο αριθμός των μητρών της κεντρικής βαθμίδας είναι ίσος με $2n-1$.

Η λειτουργία χωρίς συμφόρηση είναι δυνατή αν πάντοτε βρίσκεται μία μήτρα της ενδιάμεσης βαθμίδας που να εξασφαλίζει ταυτόχρονα έναν ελεύθερο δρόμο με τη μήτρα της πρώτης βαθμίδας (όπου είναι συνδεδεμένη η είσοδος) και έναν ελεύθερο δρόμο με τη μήτρα της τρίτης βαθμίδας (όπου είναι συνδεδεμένη η έξοδος).

Παρατηρείται ότι κάθε μήτρα της πρώτης βαθμίδας έχει n εισόδους, από τις οποίες οι $n-1$ μπορεί να είναι κατειλημμένες όταν η είσοδος που επιθυμεί την σύνδεση είναι σε ηρεμία. Εάν το k είναι μεγαλύτερο του $n-1$, τότε κατά μέγιστο $n-1$ γραμμές που οδηγούν στη μεσαία βαθμίδα θα είναι κατειλημμένες. Ομοίως, κατά μέγιστο $n-1$ γραμμές που οδηγούν στην τρίτη βαθμίδα θα είναι κατειλημμένες όταν η έξοδος που πρέπει να συνδεθεί είναι σε ηρεμία.



Σχήμα 4.9: Δίκτυο Μεταγωγής SDS τριών βαθμίδων χωρίς συμφόρηση.

Η χειρότερη περίπτωση όπου μπορεί να συμβεί συμφόρηση είναι όταν όλες οι $n-1$ κατειλημμένες γραμμές από τη μήτρα της πρώτης βαθμίδας οδηγούνται σε ένα σύνολο από μήτρες της μεσαίας βαθμίδας και όλες οι $n-1$ κατειλημμένες γραμμές προς τη μήτρα της τρίτης βαθμίδας προέρχονται από ένα άλλο ξεχωριστό σύνολο από μήτρες της μεσαίας βαθμίδας (Σχήμα 4.9).

Έτσι και τα δύο σύνολα μητρών της μεσαίας βαθμίδας είναι μη διαθέσιμα για τη νέα σύνδεση. Εντούτοις, αν υπάρχει μία επιπλέον μήτρα στην μεσαία βαθμίδα τότε αυτή θα παρέχει από μία ελεύθερη γραμμή στις μήτρες όπου είναι συνδεδεμένες η είσοδος και η έξοδος. Κατά συνέπεια εάν $k=(n-1)+(n-1)+1=2n-1$ τότε το τριβάθμιο επιλογικό δίκτυο λειτουργεί χωρίς συμφόρηση. Αντικαθιστώντας την τιμή του k στην εξίσωση 4.1 προκύπτει ότι:

$$N_x = 2N(2n-1) + (2n-1) (N / n)^2 \quad (4.2)$$

Όπως φαίνεται από την Εξίσωση 4.2, ο αριθμός των σημείων διασταύρωσης σε ένα τριβάθμιο Δίκτυο Μεταγωγής χωρίς συμφόρηση εξαρτάται από το πως οι εισοδοί και εξοδοί είναι χωρισμένες σε υποομάδες μεγέθους n . Παραγωγίζοντας την Εξίσωση 4.2 ως προς το n και θέτοντας την προκύπτουσα εξίσωση ίση με 0 (με σκοπό τον καθορισμό του ελάχιστου αριθμού σημείων διασταύρωσης) προκύπτει ότι (όταν το N είναι πολύ μεγάλο) η βέλτιστη τιμή του n είναι ίση με $(N/2)^{1/2}$. Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή του n στην Εξίσωση 4.2 προκύπτει ότι για Δίκτυο Μεταγωγής τριών βαθμίδων στο οποίο δεν παρουσιάζεται συμφόρηση ο ελάχιστος αριθμός σημείων διασταύρωσης που χρειάζονται δίνεται από τον τύπο:

$$N_x (\min) = 4N (\sqrt{2} N - 1) \quad (4.3)$$

όπου N = ο συνολικός αριθμός εισόδων / εξόδων.

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι τιμές του $N_x (\min)$ για διάφορα μεγέθη διακοπών τριών βαθμίδων και συγκρίνονται οι τιμές αυτές με τον αριθμό των σημείων διασταύρωσης μιας αντίστοιχης μονοβάθμιας τετραγωνικής μήτρας. Όπως φαίνεται, μία επιλογική μήτρα τριών βαθμίδων παρέχει σημαντική ελάττωση στα σημεία διασταύρωσης. Όμως παρόλα αυτά ο αριθμός των σημείων διασταύρωσης παραμένει σημαντικά μεγάλος στους μεγάλους διακόπτες, όπου περαιτέρω ελάττωση είναι δυνατή μόνο με την αύξηση του αριθμού των βαθμίδων. Πάντως η πλέον σημαντική ελάττωση επιτυγχάνεται μόνο με την αποδοχή μιας μικρής πιθανότητας συμφόρησης στις νέες συνδέσεις.

Πίνακας 4.1: Αριθμός σημείων διασταύρωσης μητρών μεταγωγής χωρίς συμφόρηση

Αριθμός Γραμμών	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε τριβάθμια μήτρα	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε μονοβάθμια τετραγωνική μήτρα
128	7.680	16.256
512	63.488	261.632
2.048	516.096	4.2 εκατ
8.192	4.2 εκατ	67 εκατ
32.768	33 εκατ	1 δισ
131.072	268 εκατ	17 δισ

4.6.4 Πολυβάθμια Δίκτυα SDS με συμφόρηση – Γραφήματα τύπου Lee

Τα Δίκτυα Μεταγωγής χωρίς συμφόρηση χρησιμοποιούνται σπάνια στα τηλεφωνικά δίκτυα. Τα συστήματα μεταγωγής και ο αριθμός των κυκλωμάτων διασύνδεσης των τερματικών κέντρων (ζευκτικές γραμμές) πρέπει να είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να εξυπηρετούν άμεσα όλες τις αιτήσεις για νέες συνδέσεις. Οικονομικοί όμως λόγοι υπαγορεύουν την ανάπτυξη δικτύων με περιορισμένες δυνατότητες, τις οποίες σποραδικά μόνο να υπερβαίνουν και μόνο κατά τη διάρκεια καταστάσεων αιχμών κίνησης.

Ο εξοπλισμός για το υπάρχον δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο έχει σχεδιαστεί να παρέχει μία συγκεκριμένη μεγίστη πιθανότητα συμφόρησης για την πιο απασχολημένη ώρα της ημέρας (ώρα αιχμής). Η τιμή αυτής της πιθανότητας συμφόρησης είναι ένα μέτρο για την αξιολόγηση της ποιότητας των παρεχομένων υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών. Άλλοι παράγοντες αξιολόγησής τους είναι: η διαθεσιμότητα σε γραμμές και κυκλώματα, η ποιότητα μετάδοσης και η καθυστέρηση στην αποκατάσταση μιας νέας κλήσης.

Ένα τυπικό οικιακό τηλέφωνο είναι απασχολημένο κατά 5 με 10% του χρόνου κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής. Τα τηλέφωνα των επιχειρήσεων είναι συνήθως απασχολημένα για μεγαλύτερο ποσοστό κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής (η οποία μπορεί να μην συμπίπτει με αυτή

των τηλεφώνων κατοικίας). Και στις δύο περιπτώσεις η συμφόρηση ενός δικτύου σε 1% κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής δεν αντιπροσωπεύει μία σημαντική μείωση της δυνατότητας επικοινωνίας αφού ο καλούμενος συνδρομητής έχει πολλές πιθανότητες να είναι απασχολημένος ούτως ή άλλως. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι διακόπτες των τερματικών κέντρων, και σε μικρότερο βαθμό τα PBXs, μπορούν να σχεδιαστούν με συγκεκριμένες μειώσεις στα σημεία διασταύρωσης των επιλογικών μητρών των βαθμίδων τους που να επιτρέπουν αποδεκτές πιθανότητες συμφόρησης.

Υπάρχει ποικιλία όσον αφορά τις τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της πιθανότητας συμφόρησης στη μήτρα ενός διακόπτη. Οι τεχνικές ποικίλουν ανάλογα με τη πολυπλοκότητα, την ακρίβεια και την εφαρμοστικότητα τους στις διάφορες δικτυακές δομές. Μία από τις πιο χρήσιμες και ευθείς προσεγγίσεις υπολογισμού της πιθανότητας συμφόρησης, περιέχει τη χρήση γραφημάτων πιθανοτήτων όπως προτείνονται από τον C. Y. Lee.

Αν και αυτή η τεχνική απαιτεί πολλές απλοποιήσεις προσεγγίσεων, μπορεί να δώσει λογικά και ακριβή αποτελέσματα, ειδικά όταν οι συγκρίσεις μεταξύ εναλλακτικών δομών είναι περισσότερο σημαντικές από τους απόλυτους αριθμούς. Η μεγάλη αξία αυτής της προσέγγισης έγκειται στην ευκολία της διατύπωσης και στο γεγονός ότι οι τύποι που προκύπτουν έχουν άμεση σχέση με τη δομή του δικτύου.

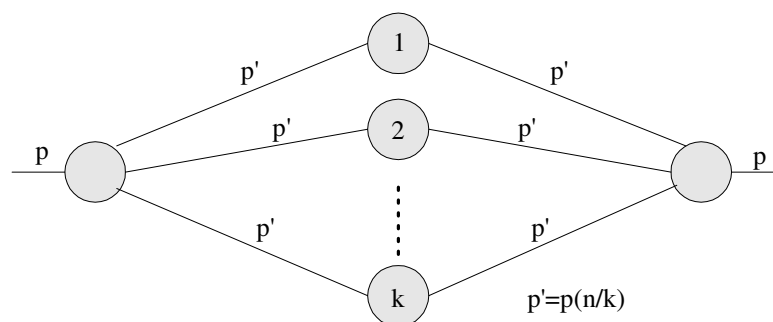
Στην ανάλυση που ακολουθεί καθορίζονται οι πιθανότητες συμφόρησης για διάφορες δομές Δικτύων Μεταγωγής κάνοντας χρήση ποσοστών φορτίου στις συνδέσεις. Ο όρος p αναπαριστά το κλάσμα του χρόνου όπου χρησιμοποιείται μία γραμμή (π.χ. p είναι η πιθανότητα μία γραμμή να είναι κατειλημμένη). Η πιθανότητα μια γραμμή να είναι ελεύθερη αναπαριστάται με $q = 1 - p$.

Όταν σε μια δέσμη μία από τις n παράλληλες γραμμές μπορεί να δεσμευτεί για να αποκατασταθεί μια σύνδεση, σαν σύνθετη πιθανότητα συμφόρησης B ορίζεται η πιθανότητα να είναι όλες οι γραμμές κατειλημμένες (θεωρούμε ότι η κατάσταση της κάθε γραμμή είναι στατιστικά ανεξάρτητη από την κατάσταση των άλλων γραμμών). Τότε:

$$B = p^n \quad (4.4)$$

Όταν για την συμπλήρωση μιας σύνδεσης απαιτείται η χρήση των n γραμμών, τότε:

$$B = 1 - q^n \quad (4.5)$$



Σχήμα 4.10: Γράφημα Πιθανοτήτων ενός Τριβάθμιου Δικτύου Μεταγωγής SDS.

Στο Σχήμα 4.10 δίνεται το γράφημα πιθανοτήτων ενός τριβάθμιου Δικτύου Μεταγωγής. Το γράφημα αυτό θεωρεί ότι κάθε σύνδεση μπορεί να αποκατασταθεί μέσα από k διαφορετικούς δρόμους, όπου κάθε δρόμος περνά μέσα από ένα ανεξάρτητο διακόπτη της μεσαίας βαθμίδας. Η πιθανότητα μία γραμμή μεταξύ δύο βαθμίδων να είναι κατειλημμένη ορίζεται σαν p' . Εάν k είναι ο αριθμός των διακοπών της μεσαίας βαθμίδας και $q' = 1 - p'$, τότε η πιθανότητα συμφόρησης στο δίκτυο ορίζεται σαν:

$$\begin{aligned}
 B &= \text{η πιθανότητα να είναι όλες οι γραμμές κατειλημμένες} \\
 &= (\text{η πιθανότητα ένας δρόμος να είναι κατειλημμένος})^k \\
 &= (\text{η πιθανότητα μία γραμμή ενός δρόμου να είναι κατειλημμένη})^k \\
 &= (1 - q')^k
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Εάν η πιθανότητα p είναι γνωστή και $\beta = k / n$ τότε :

$$p' = p / \beta \quad (p < \beta) \tag{4.7}$$

Η Εξίσωση 4.7 δείχνει ότι όταν ένας αριθμός εισόδων (ή εξόδων) είναι κατειλημμένες τότε ο ίδιος αριθμός εξόδων της πρώτης βαθμίδας (ή της τρίτης βαθμίδας) είναι επίσης κατειλημμένος. Όμως υπάρχουν $\beta = k / n$ περισσότερες γραμμές μεταξύ των βαθμίδων απ' ότι εισοδοί ή εξοδοί. Άρα, το ποσοστό να είναι κατειλημμένη μια ενδιάμεση γραμμή μειώνεται κατά το συντελεστή β .

Εαν ο συντελεστής β ορίζεται θεωρώντας ότι $k > n$ ($\beta > 1$) τότε η πρώτη βαθμίδα δημιουργεί χωρική επέκταση μετάγοντας έναν αριθμό εισόδων σε μεγαλύτερο αριθμό δρόμων. Σε αυτή τη κατηγορία επιλογικών δικτύων υπάγονται τα μεγάλα διαβιβαστικά κέντρα όπου οι εισερχόμενες γραμμές μεταφέρουν σημαντική κίνηση.

Αν όμως απαιτείται συγκέντρωση γραμμών στην πρώτη βαθμίδα τότε $\beta < 1$, όπως για παράδειγμα στα μεγάλα PBX όπου οι εξωτερικές γραμμές χρησιμοποιούνται πολύ λίγο σε σχέση με τις εσωτερικές. Έτσι αντικαθιστώντας στην Εξίσωση 4.6 την 4.7 προκύπτει μία έκφραση της πιθανότητας συμφόρησης ενός τριβάθμιου Δικτύου Μεταγωγής σε σχέση με το βαθμό χρησιμοποίησης των εισόδων:

$$B = [1 - (1 - p/\beta)^2]^k \tag{4.8}$$

Πίνακας 4.2: Τριβάθμια Δίκτυα Μεταγωγής με Πιθανότητα Συμφόρηση 0.002 και κατάληψη εισόδων 0.1

Αριθμός Γραμμών N	n	k	β	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε σχεδίαση με συμφόρηση	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε σχεδίαση χωρίς συμφόρηση
128	8	5	0.625	2.560	7.680 (k=15)
512	16	7	0.438	14.336	63.488 (k=31)
2.048	32	10	0.313	81.920	516.096 (k=63)
8.192	64	15	0.234	491.520	4.2 εκατ. (k=127)
32.768	128	24	0.188	3.1 εκατ.	33 εκατ. (k=255)
131.072	256	41	0.160	21.5 εκατ.	268 εκατ. (k=511)

Πίνακας 4.3: Τριβάθμια Δίκτυα Μεταγωγής με Πιθανότητα Συμφόρηση 0.002 και κατάληψη εισόδων 0.7

Αριθμός Γραμμών N	n	k	β	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε σχεδίαση με συμφόρηση	Αριθμός σημείων διασταύρωσης σε σχεδίαση χωρίς συμφόρηση
128	8	14	1.75	7.168	7.680 (k=15)
512	16	22	1.38	45.056	63.488 (k=31)
2.048	32	37	1.16	303.104	516.096 (k=63)
8.192	64	64	1.0	2.1 εκατ.	4.2 εκατ. (k=127)
32.768	128	116	0.91	15.2 εκατ.	33 εκατ. (k=255)
131.072	256	215	0.84	113 εκατ.	268 εκατ. (k=511)

Ο Πίνακας 4.2 δείχνει τον αριθμό των σημείων διασταύρωσης που προκύπτουν από την Εξίσωση 4.1 για τα ίδια μεγέθη Δικτύων Μεταγωγής του Πίνακα 4.1. Ο αριθμός των σημείων διασταύρωσης της μεσαίας βαθμίδας έχει επιλεγεί έτσι ώστε η πιθανότητα συμφόρησης στη βαθμίδα αυτή να είναι της τάξης του 0.002. Επίσης θεωρείται ότι το 10% των εισόδων είναι κατά μέσο όρο κατειλημμένες. Στον Πίνακα 4.2 φαίνεται η σημαντική μείωση των σημείων διασταύρωσης όταν αυξάνει σημαντικά ο συντελεστής συγκέντρωσης ($1/\beta$). Στον Πίνακα 4.3 δίνονται τα σημεία διασταύρωσης όταν η πιθανότητα συμφόρησης είναι 0.002 και 70% των εισόδων είναι κατειλημμένες (π.χ. σε ζεύξεις). Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι δυνατή η σημαντική μείωση των σημείων διασταύρωσης.

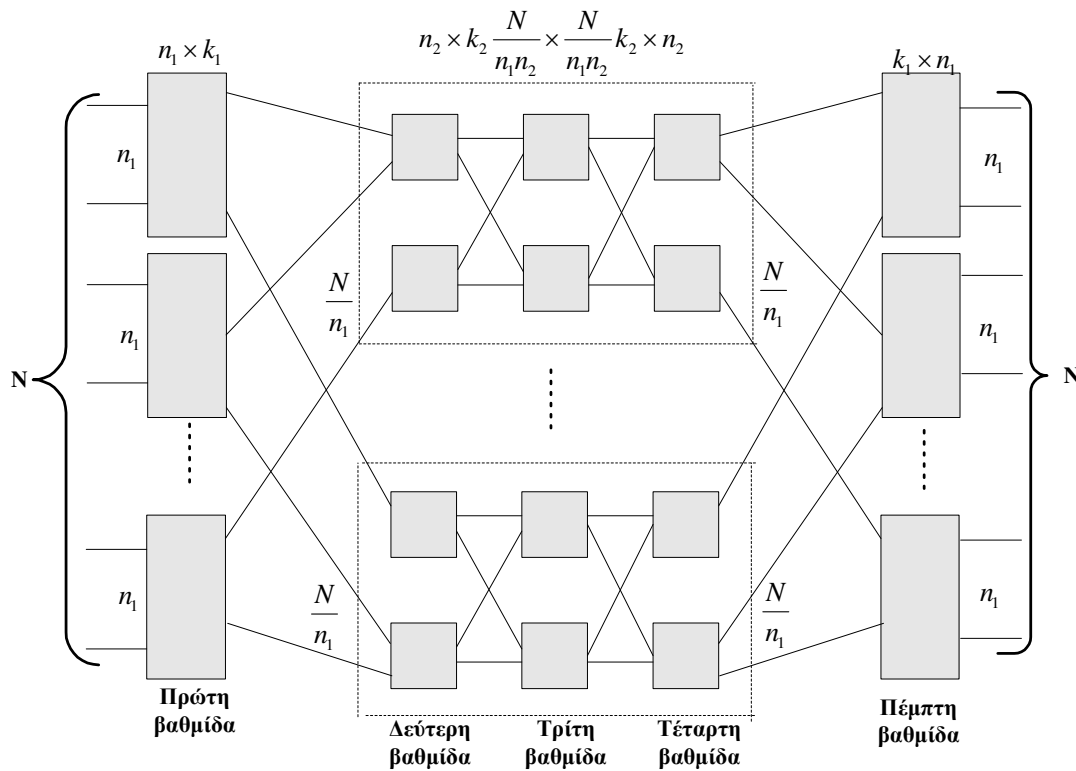
Το Σχήμα 4.11 δείχνει το σχηματικό διάγραμμα ενός Δικτύου Μεταγωγής πέντε-βαθμίδων, το οποίο έχει προκύψει από το διάγραμμα του Σχήματος 4.8 όπου η κάθε μήτρα της μεσαίας βαθμίδας έχει αντικατασταθεί με ένα τριβάθμιο επιλογικό δίκτυο. Εάν οι τρεις μεσαίες βαθμίδες είναι χωρίς συμφόρηση τότε $k_2 = 2n_2 - 1$.

Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται το γράφημα πιθανοτήτων όταν το Δίκτυο Μεταγωγής είναι σχεδιασμένο να δέχεται συμφόρηση. Από αυτό το γράφημα προκύπτει ότι η πιθανότητα συμφόρησης είναι:

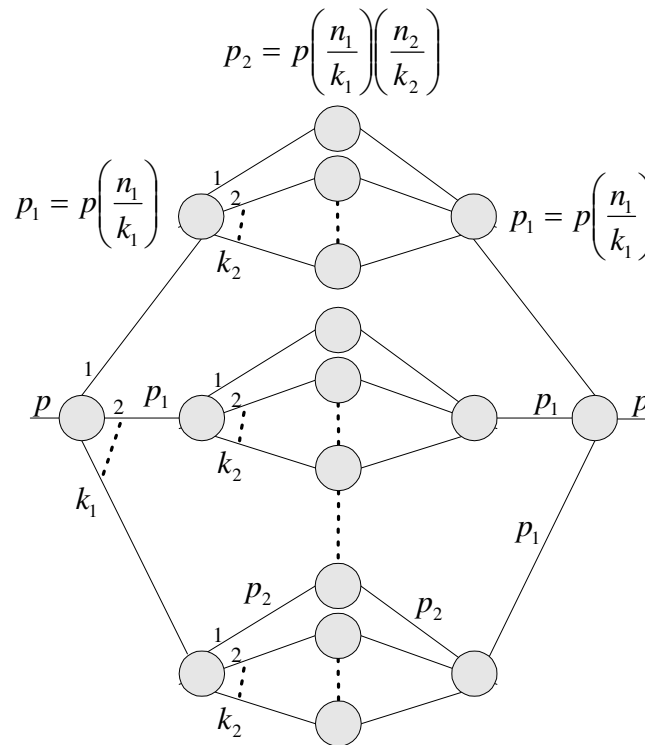
$$B = \{1 - (q_1)^2 [1 - ((1 - (q_2)^2)^{k_2})]k_1 \tag{4.9}$$

όπου $q_1 = 1 - p_1$ και $q_2 = 1 - p_2$.

Πέρα από τη μέθοδο Lee, μία άλλη ακριβής αλλά όχι πιστή (μεθοδική) ανάλυση των πιθανοτήτων συμφόρησης των μήτρων μεταγωγής πολλαπλών βαθμίδων έχει παρουσιαστεί από τον C. Jacobaeus. Αν και η ανάλυση αυτή είναι απλή στη σύλληψη της, εντούτοις απαιτεί ένα αξιοσημείωτο ποσό επιδέξιου χειρισμού και πράξεων.



Σχήμα 4.11: Δίκτυο Μεταγωγής SDS πέντε βαθμίδων.



Σχήμα 4.12: Γράφημα πιθανοτήτων ενός Δικτύου Μεταγωγής SDS πέντε βαθμίδων.

4.6.5 Διάταξη Ζευγών Σύνδεσης σε Δίκτυα SDS

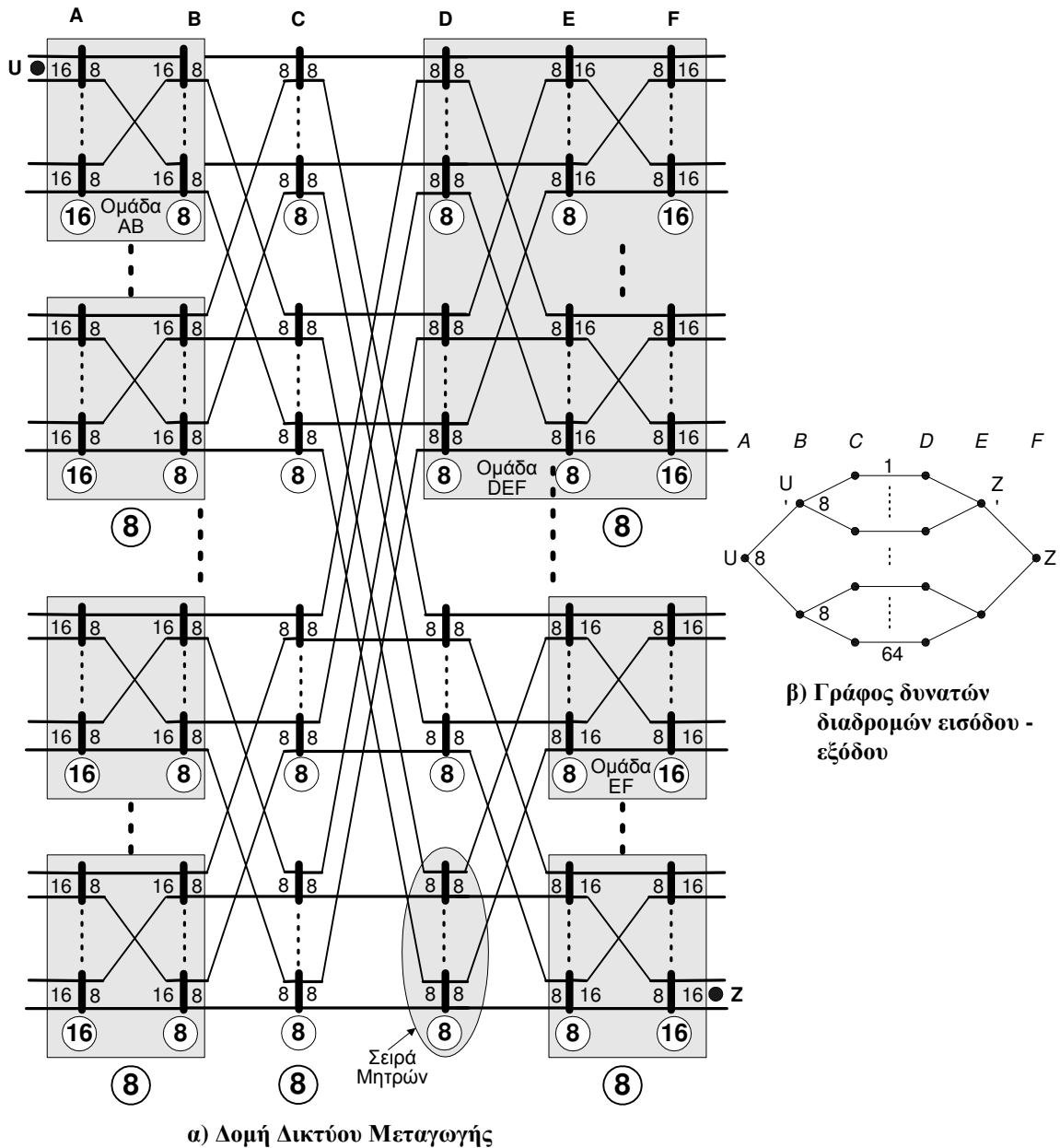
Τα πολυβάθμια Δίκτυα Μεταγωγής, που αναλύθηκαν προηγουμένως, διακρίνονται επίσης ανάλογα με τη συστηματική ή μη συστηματική διάταξη των ενδιάμεσων γραμμών (ζεύξεων σύνδεσης – ΖΣ) που συνδέουν τις μήτρες των διαφόρων βαθμίδων.

Στο Σχήμα 4.13 δείχνεται ένα Δίκτυο Μεταγωγής έξι βαθμίδων με συστηματική διάταξη των ενδιάμεσων ΖΓ. Από μία είσοδο U υπάρχουν 64 διαφορετικοί δρόμοι που οδηγούν σε μία έξοδο Z. Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από μια μήτρα της βαθμίδας-A της εισόδου μπορούν να επιλεγούν 8 διαφορετικές μήτρες της βαθμίδας-B, μέσω 8 ενδιάμεσων ΖΓ_{AB}.

Από κάθε μήτρα της βαθμίδας-B ξεκινούν πάλι 8 δρόμοι (ΖΓ_{BC}) που οδηγούν σε 8 διαφορετικές μήτρες της βαθμίδας-C. Μεταξύ των βαθμίδων-C και D δεν γίνεται αύξηση των διαδρομών, αλλά διακρίνεται πλέον η κατεύθυνση της σύνδεσης. Δηλαδή, σημαδεύεται μια μήτρα D μέσω της οποίας μπορεί να καταλήξει η σύνδεση στην επιθυμητοί έξοδο Z. Στις βαθμίδες-D και E συγκεντρώνονται οι διαδρομές που είχαν προηγουμένα αναπτυχθεί.

Λόγω της συστηματικής διάταξης των ενδιάμεσων γραμμών, ο αύξων αριθμός κάθε γραμμής που εγκαταλείπει τη μήτρα της βαθμίδας-A είναι ίδιος με τον αριθμό της αντίστοιχης γραμμής που φθάνει στη μήτρα της βαθμίδας-F. Το ίδιο ισχύει και για τον αριθμό της μήτρας της βαθμίδας-B, που έχει επιλεγεί, τον αριθμό της ενδιάμεσης ΖΓ μεταξύ των βαθμίδων-B και C και τον αριθμό της μήτρας της βαθμίδας-C, τα οποία έχουν τους ίδιους αριθμούς με τα κατοπτρικά τους στοιχεία στο πεδίο.

Η διάταξη των ενδιάμεσων ΖΓ έχει ιδιαίτερη σημασία κατά την αναζήτηση ελεύθερης διαδρομής στο Δίκτυο Μεταγωγής. Γενικά, όσο πιο απλή είναι η σχέση που συνδέει τα διάφορα στοιχεία του Δικτύου Μεταγωγής μεταξύ τους, τόσο πιο εύκολος είναι ο έλεγχος του δικτύου και η αναζήτηση διαδρομής σε αυτό.

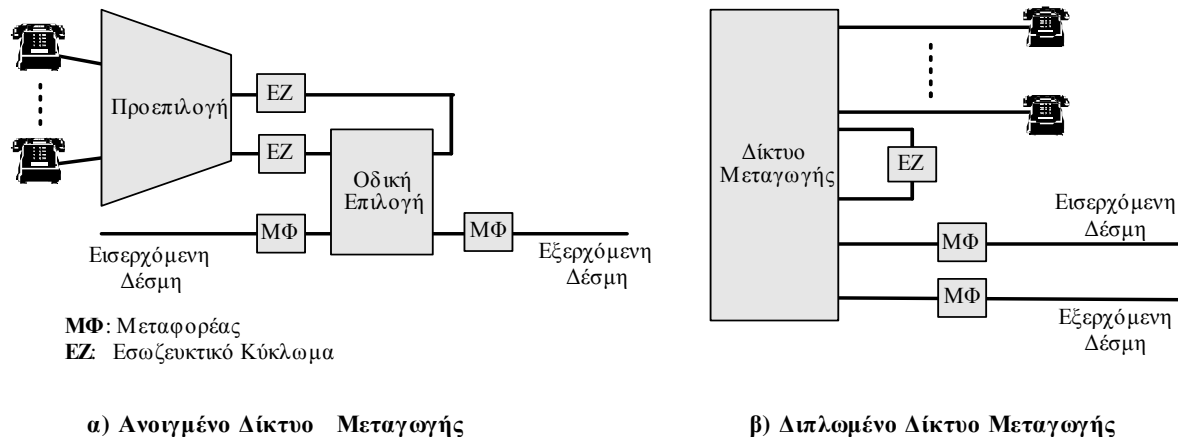


Σχήμα 4.13: Πολυβάθμιο Δίκτυο Μεταγωγής SDS με συστηματική διάταξη των ενδιάμεσων ζευκτικών γραμμών.

Στο Δίκτυο Μεταγωγής του Σχήματος 4.13 χαρακτηρίζεται ένα διβάθμιο πεδίο αποτελούμενο από 16 μήτρες της βαθμίδας-A και από 8 μήτρες της βαθμίδας-B ως “ομάδα μητρών-AB”, όπως επίσης και ένα αντίστοιχο διβάθμιο πεδίο αποτελούμενο από μήτρες των βαθμίδων-A και B. Οκτώ μήτρες της βαθμίδας-C που βρίσκονται απέναντι από μια ομάδα μητρών AB χαρακτηρίζονται ως “σειρά μητρών”, όπως επίσης και οι απέναντί τους 8 μήτρες της βαθμίδας-D. Ένα σύνολο από 8 ομάδες μητρών-AB και 8 σειρές μητρών C, όπως και οι ανάλογες διατάξεις των βαθμίδων D, E και F, χαρακτηρίζονται ως “ομάδα μητρών ABC και DEF”.

4.6.6 Βασικοί τύποι Δικτύων SDS

Από πλευράς μεταγωγής κλήσεων τα Δίκτυα Μεταγωγής SDS διακρίνονται σε δύο τύπους: το ανοιγμένο ή ευθύ δίκτυο και το διπλωμένο δίκτυο. Στο ανοιγμένο δίκτυο του Σχήματος 4.14α πραγματοποιούνται συνδέσεις μεταξύ εισερχομένων γραμμών που βρίσκονται στη μία πλευρά του δικτύου και εξερχομένων γραμμών που βρίσκονται στην άλλη πλευρά του δικτύου, όπως σε μια ορθογωνική μήτρα. Στο διπλωμένο δίκτυο του Σχήματος 4.14β όλες οι γραμμές βρίσκονται στην ίδια πλευρά του δικτύου, όπως σε μία τριγωνική μήτρα.



Σχήμα 4.14: Βασικοί τύποι Δικτύων SDS: α) ανοιγμένο ή ευθύ δίκτυο και β) διπλωμένο δίκτυο.

Η διάκριση ενός δικτύου σε ανοιγμένο ή διπλωμένο γίνεται με βάση τις εισερχόμενες και εξερχόμενες εξωτερικές συνδέσεις που αποτελούν το μεγαλύτερο όγκο της κίνησης και όχι με βάση τις εσωτερικές συνδέσεις. Σημειώνεται ότι στα περισσότερα SPC-TK οι προεπιλογικές μονάδες (που κατά βάση είναι και μονάδες συγκέντρωσης της κίνησης) έχουν τη δομή διπλωμένου δικτύου.

4.6.6.1 Ανοιγμένα Δίκτυα SDS

Τα ανοιγμένα δίκτυα διακρίνονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες, στα δίκτυα μονής κατεύθυνσης και στα δίκτυα διπλής κατεύθυνσης.

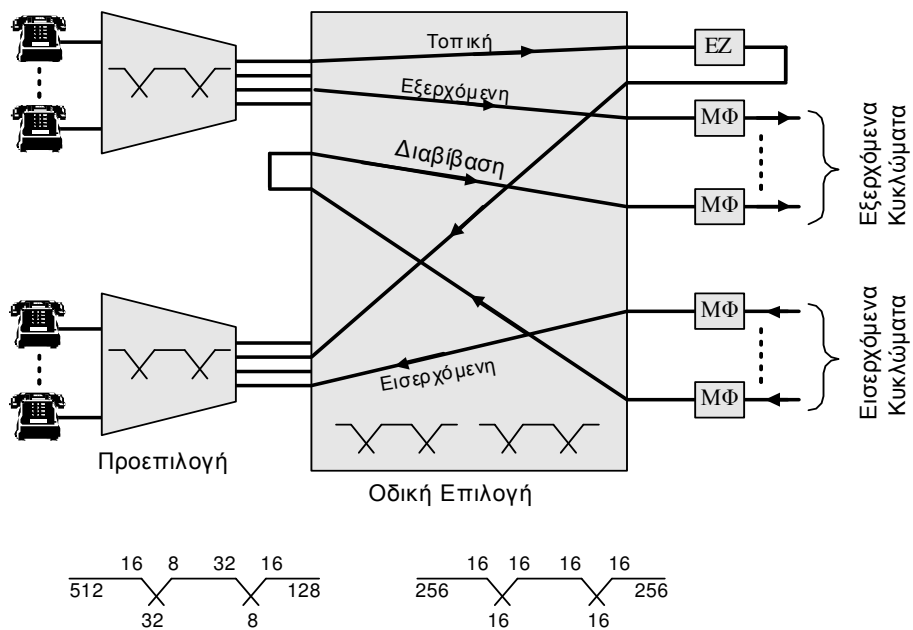
Στα δίκτυα μονής κατεύθυνσης η κίνηση διεκπεραιώνεται πάντοτε σε μία κατεύθυνση (Σχήμα 4.15α). Παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα δίκτυα των διαβιβαστικών κέντρων στα οποία οι γραμμές διακρίνονται σαφώς σε 'εισερχόμενες' και 'εξερχόμενες'.

Στα δίκτυα διπλής κατεύθυνσης η κίνηση διεκπεραιώνεται πάντοτε και στις δύο κατευθύνσεις (Σχήμα 4.15β). Παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι:

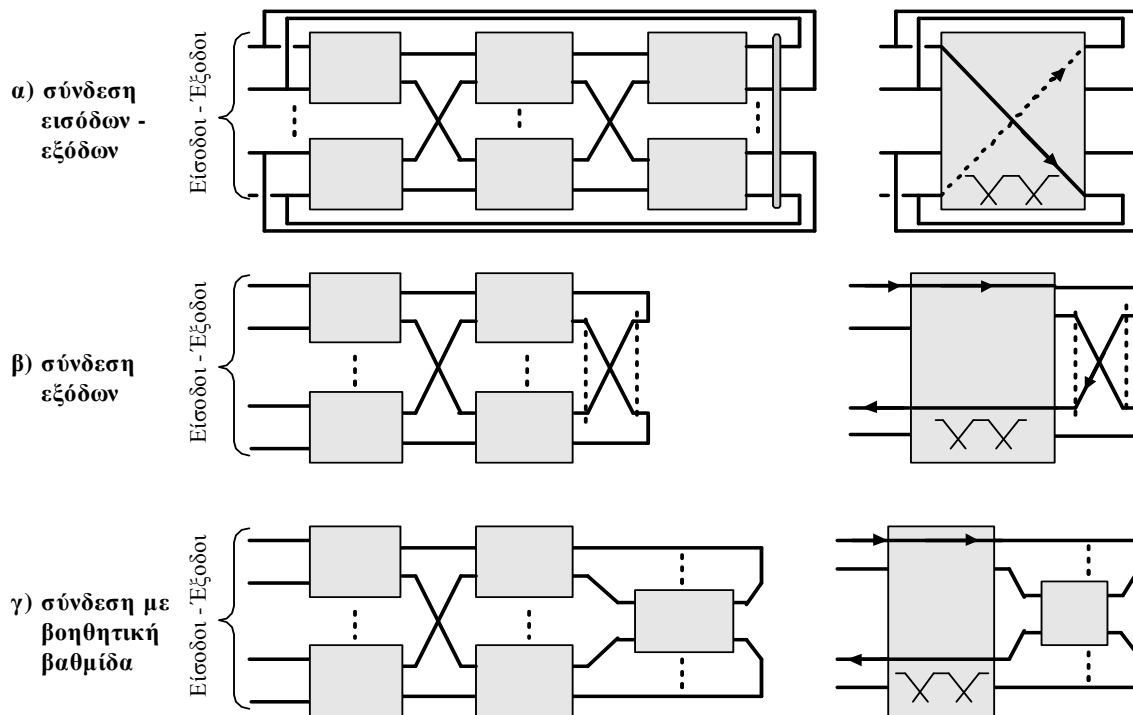
1. τα δίκτυα των συγκεντρωτών γραμμών που εξασφαλίζουν τη συγκέντρωση της κίνησης πολλών συνδρομητικών γραμμών σε μικρότερο αριθμό γραμμών πόλης (εσωτερική τοπική ζεύξη) και
2. οι βαθμίδες συγκέντρωσης της κίνησης στο ίδιο το SPC-TK, όπως για παράδειγμα οι βαθμίδες προεπιλογής.

Και στις δύο περιπτώσεις η συγκέντρωση (4:1 ή 8:1 ανάλογα με την κίνηση) πραγματοποιείται με ορθογώνιες μήτρες που έχουν μεγαλύτερο αριθμό εισόδων από εξόδους ενώ μία τοπική σύνδεση απατεί την αποκατάσταση δύο διαδρομών στο δίκτυο.

Στη συνέχεια δίνονται οι δομές δύο SPC-TK, το AXE που περιλαμβάνει ουσιαστικά ένα ανοιγμένο δίκτυο μονής κατεύθυνσης (Σχήμα 4.16) και το PETACONTA που περιλαμβάνει ένα ανοιγμένο δίκτυο διπλής κατεύθυνσης (Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17: Δομή Δικτύου Μεταγωγής SDS του TK PETACONTA



Σχήμα 4.18: Βασικές Δομές διπλωμένων Δικτύων Μεταγωγής SDS

Το δίκτυο μεταγωγής του PETACONTA του Σχήματος 4.17 αποτελείται από ένα υποδίκτυο προεπιλογής / συγκέντρωσης δύο βαθμίδων και ένα υποδίκτυο οδικής επιλογής τεσσάρων βαθμίδων. Ανάλογα με το είδος της σύνδεσης μεταβάλλεται ο αριθμός των βαθμίδων που χρησιμοποιούνται και

ειδικότερα 12 για τοπική σύνδεση, 6 για εισερχόμενη ή εξερχόμενη σύνδεση και 8 για διαβιβαστική σύνδεση.

4.6.6.2 Διπλωμένα Δίκτυα Μεταγωγής SDS

Στα διπλωμένα δίκτυα υπάρχει η δυνατότητα αποκατάστασης συνδέσεως μεταξύ δύο οποιωνδήποτε γραμμών που βρίσκονται στην ίδια πλευρά του δικτύου. Το διπλωμένο δίκτυο προκύπτει από ένα ευθύ δίκτυο στο οποίο γίνονται συμπληρωματικές συνδέσεις είτε στις γραμμές εισόδου του, είτε στις γραμμές εξόδου του, ή με τη βοήθεια μιας βοηθητικής βαθμίδας (Σχήμα 4.18).

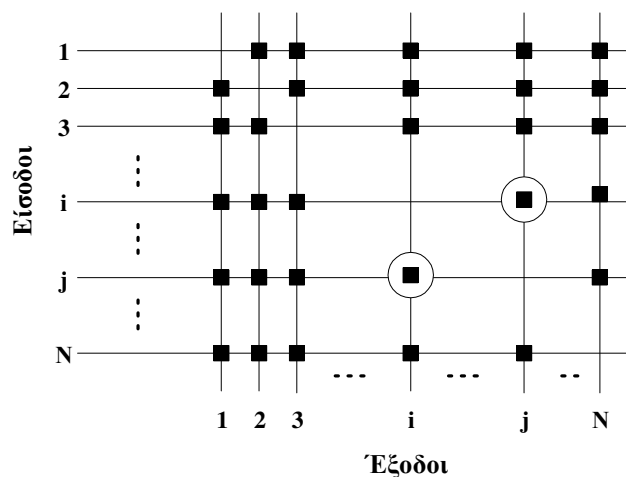
4.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ SDS

Όπως στα αναλογικά SPC-TK, έτσι και στα ψηφιακά χρησιμοποιούνται μονοβάθμια ή πολυβάθμια Δίκτυα Μεταγωγής SDS ανάλογα με το μέγεθός του κέντρου. Τα δίκτυα αυτά έχουν, σε γενικές γραμμές, την ίδια αρχιτεκτονική δομή με αυτή που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4.6.

Όταν χρησιμοποιούνται μονοβάθμια Δίκτυα SDS, τότε απαιτούνται δύο διασταυρώσεις για κάθε σύνδεση δεδομένου ότι η σύνδεση γίνεται με ένα τετρασύρματο κύκλωμα. Τα μονοβάθμια ψηφιακά συστήματα μεταγωγής τετρασύρματων κυκλωμάτων απαιτούν ξεχωριστές συνδέσεις για τους κλάδους που πηγαίνουν προς μία κατεύθυνση και για αυτούς που επιστρέφουν.

Συνεπώς, θα πρέπει να εγκατασταθούν δύο ξεχωριστές συνδέσεις για κάθε μία αίτηση σύνδεσης. Το Σχήμα 4.19 απεικονίζει μία μονοβάθμια τετραγωνική δομή μήτρας μεταγωγής που εξασφαλίζει και τις δύο συνδέσεις. Η δομή αυτή είναι ταυτόσημη με αυτή του Σχήματος 4.7 για δισύρματα κυκλώματα. Η διαφορά εντούτοις είναι ότι οι αντίστοιχες εισοδοί και εξοδοί δεν είναι συνδεδεμένες σε μία κοινή δισύρματη είσοδο.

Όλες οι εισοδοί του τετρασύρματου διακόπτη είναι συνδεδεμένες στα ζεύγη γραμμών που μεταφέρουν την εισερχόμενη κίνηση, και όλες οι εξοδοί είναι συνδεδεμένες στα ζεύγη γραμμών που μεταφέρουν την εξερχόμενη κίνηση. Όταν γίνεται η αποκατάσταση συνδέσεων μεταξύ τετρασύρματων γραμμών i και j , ο έλεγχος της μήτρας του Σχήματος 4.19 πρέπει να επιλέξει και τα δύο σημεία διασταύρωσης (i,j) και (j,i) . Σε λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες τα σημεία διασταύρωσης πρέπει να επιλέγονται και να τίθενται σε εφαρμογή με έναν κοινό τρόπο.



Σχήμα 4.19: Μονοβάθμια μήτρα μεταγωγής τετρασύρματων κυκλωμάτων

Τα ψηφιακά Δίκτυα Μεταγωγής πολλαπλών βαθμίδων, για τη μεταγωγή κάθε κλήσης, αποκαθιστούν ζευκτικές συνδέσεις (ΖΣ) τεσσάρων αγωγών (ψηφιακά σήματα φωνής) από βαθμίδα σε

βαθμίδα. Το Σχήμα 4.20 απεικονίζει μία σύνδεση τεσσάρων αγωγών δια μέσου ενός δικτύου τεσσάρων βαθμίδων. Για μία πλήρη σύνδεση εγκαθίστανται δύο μονοπάτια (path), ένα για την εμπροσθόδρομη (forward) και ένα για την ανάστροφη (reverse) προώθηση των δειγμάτων φωνής. Κάθε ένα μονοπάτι αποτελείται από τρεις ανεξάρτητες ΖΣ, μία μεταξύ πρώτης-δεύτερης βαθμίδας, μία μεταξύ δεύτερης-τρίτης βαθμίδας και μία μεταξύ τρίτης-τέταρτης βαθμίδας.

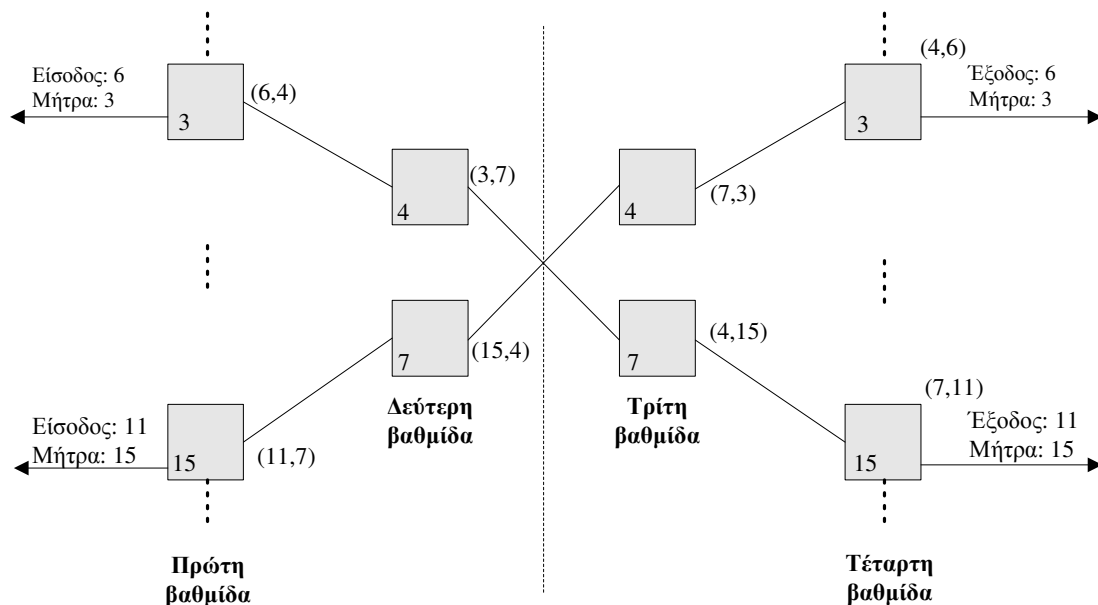
Τα δύο μονοπάτια που φαίνονται στο Σχήμα 4.20 επιδεικνύουν μία ιδιαίτερα χρήσιμη σχέση: το ένα μονοπάτι είναι ένα κατοπτρικό είδωλο του άλλου μονοπατιού. Αν το διάγραμμα του διακόπτη είναι αναδιπλωμένο (folded) γύρω από την κατακόρυφη κεντρική γραμμή, τα μονοπάτια συμπίπτουν. Για το λόγο αυτό η μέθοδος αποκατάστασης κατοπτρικών μονοπατιών καλείται *αναδιπλωμένη λειτουργία (folded operation)*.

Όταν όλες οι συνδέσεις στο επιλογικό δίκτυο είναι αποκατεστημένες με βάση την αναδιπλωμένη λειτουργία, προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαδικασία μεταγωγής. Πρώτα απ' όλα, χρειάζεται μόνο μία διαδικασία για την εύρεση ενός μονοπατιού, αφού το αντίστροφο μονοπάτι είναι αυτομάτως διαθέσιμο σαν ένα κατοπτρικό είδωλο του εμπροσθόδρομου μονοπατιού.

Στην ουσία, κάθε σημείο διασταύρωσης στη μία πλευρά ζευγαρώνει με ένα άλλο σημείο διασταύρωσης στη συμμετρική του πλευρά στο Δίκτυο Μεταγωγής. Άρα όταν σε μία σύνδεση χρησιμοποιείται το ένα σημείο διασταύρωσης, από ένα ζεύγος συμμετρικών σημείων διασταύρωσης, τότε και το άλλο σημείο του ζευγαριού χρησιμοποιείται υποχρεωτικά.

Για παράδειγμα, η τρίτη μήτρα εισόδου στη πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιεί το σημείο διασταύρωσης (6,4) για τη σύνδεση της έκτης εισόδου της στην τέταρτη έξοδο της (οδηγώντας στην τέταρτη μήτρα της δεύτερης βαθμίδας). Το αντίστοιχο σημείο διασταύρωσης στην τρίτη μήτρα εξόδου της τελευταίας βαθμίδας συνδέει την τέταρτη της είσοδο (προερχόμενη από την τέταρτη μήτρα της τρίτης βαθμίδας) στην έκτη της έξοδο.

Γενικά, το σημείο διασταύρωσης (i,j) στη μία μήτρα ζευγαρώνει με το σημείο διασταύρωσης (j,i) στην αντίστοιχη μήτρα της αντίθετης πλευράς του διακόπτη. Αφού η διαθεσιμότητα του ενός σημείου διασταύρωσης στο ζεύγος εγγυάται τη διαθεσιμότητα του άλλου σημείου, το αντίστροφο μονοπάτι είναι αυτομάτως συγκεκριμένο και διαθέσιμο.



Σχήμα 4.20: Σύνδεση τεσσάρων συρμών δια μέσου διακόπτη τεσσάρων βαθμίδων.

Το δεύτερο πλεονέκτημα της αναδιπλωμένης λειτουργίας σχετίζεται με το ποσό της πληροφορίας που καθορίζει την κατάσταση του επιλογικού δικτύου. Επειδή για να βρεθεί το διαθέσιμο μονοπάτι δια μέσου του διακόπτη απαιτείται η γνώση μόνο του ενός από τα δύο σημεία τομής του κάθε χρησιμοποιούμενου ζεύγους, τότε η πληροφορία αυτή είναι η μισή της πραγματικής.

Ένα τρίτο κέρδος, είναι ότι η πιθανότητα συμφόρησης είναι η μισή της αντίστοιχης πιθανότητας όταν βρίσκονται δύο ανεξάρτητα μονοπάτια. Κανονικά, θα μπορούσε να φανεί ότι το ζευγάρι των σημείων διασταύρωσης με τον περιγραφόμενο τρόπο θα μείωνε τα διαθέσιμα μονοπάτια για μία συγκεκριμένη σύνδεση. Αντιθέτως, τα ζευγάρια των σημείων διασταύρωσης εγγυώνται ότι το αντίστροφο μονοπάτι είναι αυτομάτως διαθέσιμο για κάθε επιλεγμένο μονοπάτι στην εμπροσθόδρομη διεύθυνση.

Τέλος, ένα τέταρτο πλεονέκτημα αφορά στην αποστολή από τον κεντρικό έλεγχο του Δικτύου Μεταγωγής των ίδιων λογικών σημάτων επιλογής και ενεργοποίησης των συμμετρικών σημείων τομής στις αντίστοιχες μήτρες του Δικτύου Μεταγωγής. Για παράδειγμα, το ίδιο σήμα ελέγχου το οποίο επιλέγει το σημείο τομής (6,4) της τρίτης μήτρας στη πρώτη βαθμίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή του σημείου (4,6) της τρίτης μήτρας στην τελευταία βαθμίδα.

Η αναδιπλωμένη λειτουργία του Σχήματος 4.20 αναφέρεται σε Δίκτυο Μεταγωγής με ζυγό αριθμό βαθμίδων μεταγωγής. Επιλέχθηκε ζυγός αριθμός επειδή η γενική ιδέα είναι ευκολότερο να επιδειχθεί όταν δεν υπάρχει μια κεντρική βαθμίδα. Η βασική προσέγγιση μπορεί να επεκταθεί και σε Δίκτυα Μεταγωγής με μονούς αριθμούς βαθμίδων αν η κεντρική βαθμίδα περιέχει ένα ζυγό αριθμό μητρών και είναι αναδιπλωμένο γύρω από μία οριζόντια γραμμή στο κέντρο της βαθμίδας. Με τον τρόπο αυτό, το σημείο τομής (i,j) στη κορυφαία μήτρα της μεσαίας βαθμίδας ζευγαρώνει με το σημείο τομής (j,i) στη κατώτατη μήτρα της μεσαίας βαθμίδας και ούτω καθ' εξής.

4.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ

Όταν προσδιοριστεί ένα διαθέσιμο μονοπάτι δια μέσου του Δικτύου Μεταγωγής, ο Διάταξη Ελέγχου μεταφέρει την απαραίτητη πληροφορία στο Δίκτυο Μεταγωγής (υπό τη μορφή σημάτων ελέγχου) για την ενεργοποίηση των απαραίτητων σημείων διασταύρωσης. Η επιλογή και η ενεργοποίηση του σημείου διασταύρωσης σε μία μήτρα πραγματοποιείται με έναν από τους δύο παρακάτω τρόπους ελέγχου:

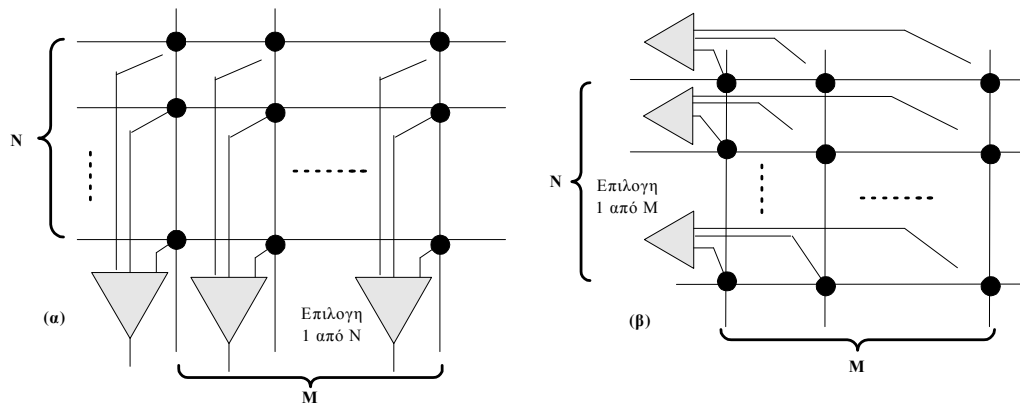
- τα κυκλώματα ελέγχου είναι στις γραμμές εξόδου και ο έλεγχος καθορίζει ποιες εισοδοί πρέπει να συνδεθούν στις σχετικές εξόδους. Η προσέγγιση αυτή καλείται "*έλεγχος σχετιζόμενος με την έξοδο*" (*output associated control*) (Σχήμα 4.21α).
- τα κυκλώματα ελέγχου είναι στις γραμμές εισόδου και ο έλεγχος καθορίζει ποιες έξοδοι θα πρέπει να συνδεθούν στις αντίστοιχες εισόδους. Η προσέγγιση αυτή καλείται "*έλεγχος σχετιζόμενος με την είσοδο*" (*input associated control*) (Σχήμα 4.21β).

Ο έλεγχος σχετιζόμενος με την είσοδο είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε στα κλασσικά ηλεκτρομηχανικά βηματοπορικά TK (step by step switches) όπου η πληροφορία σηματοδότης (επιλογικοί παλμοί) φθάνει στην είσοδο της κάθε βαθμίδας και χρησιμοποιείται για την απευθείας επιλογή των εξόδων που οδηγούν στην επόμενη βαθμίδα.

Ωστόσο, στα SPC-TK οι διευθύνσεις των γραμμών εισόδου και εξόδου σε κάθε βαθμίδα (συγκεκριμένη επιλογική μήτρα) που χρησιμοποιείται από το επιλεγμένο μονοπάτι είναι διαθέσιμες ταυτόχρονα. Έτσι, η σύνδεση σε κάθε βαθμίδα μπορεί να αποκατασταθεί είτε αρχίζοντας από την επιθυμητή έξοδο και επιλέγοντας συγκεκριμένη είσοδο, προχωρώντας προς τα πίσω δια μέσου της μήτρας, είτε αντίστροφα.

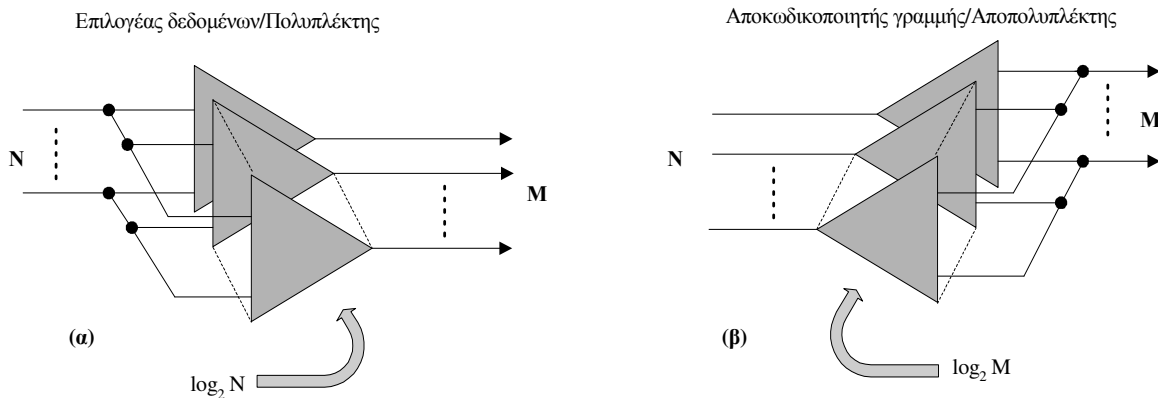
Στο Σχήμα 4.22 δείχνεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται και οι δύο τύποι μητρών μεταγωγής. Ο έλεγχος σχετιζόμενος με την έξοδο χρησιμοποιεί έναν συμβατικό επιλογέα / πολυπλέκτη δεδομένων για κάθε έξοδο της μήτρας. Ο αριθμός των bits που απαιτούνται για τον

έλεγχος κάθε τέτοιου επιλογέα/ πολυπλέκτη δεδομένων είναι $\log_2 N$, όπου N είναι ο αριθμός των εισόδων της μήτρας.



Σχήμα 4.21: Έλεγχος μήτρας μεταγωγής. (α) Έλεγχος σχετιζόμενος με έξοδο (β) Έλεγχος σχετιζόμενος με είσοδο.

Ο συνολικός αριθμός των bits που απαιτούνται για τον πλήρη έλεγχο της μήτρας είναι $M \log_2 N$. Αντίστοιχα, ο έλεγχος σχετιζόμενος με την είσοδο υλοποιείται χρησιμοποιώντας ένα συμβατικό αποκωδικοποιητή / αποπλέκτη γραμμών. Οι έξοδοι ομαδοποιούνται χρησιμοποιώντας "ενσυρματωμένη" λογική ή λογικά κυκλώματα (π.χ. στοιχεία TTL τριών καταστάσεων). Ο συνολικός αριθμός των bits που απαιτούνται για τον πλήρη έλεγχο της μήτρας είναι $N \log_2 M$.



Σχήμα 4.22: Τυποποιημένη υλοποίηση επιλογικής μήτρας με ψηφιακό έλεγχο: (α) Έλεγχος σχετιζόμενος με έξοδο, (β) Έλεγχος σχετιζόμενος με είσοδο.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του ελέγχου σχετιζόμενου με την είσοδο αφορά στην ανάγκη απενεργοποίησης των αχρησιμοποίητων εισόδων έτσι ώστε να αποτρέπονται διασταυρωτικές συνδέσεις (cross-connections) όταν μία άλλη είσοδος επιλέγει την ίδια έξοδο. Αντίθετα, με τον έλεγχο σχετιζόμενο με την έξοδο οι αχρησιμοποίητες έξοδοι μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένες σε μία είσοδο η οποία παράλληλα να έχει επιλεγθεί από μίαν άλλη έξοδο.

Για το λόγο αυτό και γενικότερα για λειτουργίες υψηλής ταχύτητας, τα δίκτυα ψηφιακής μεταγωγής χρησιμοποιούν έλεγχο σχετιζόμενο με την έξοδο. Παρατηρούμε ωστόσο ότι αν ο αριθμός των εισόδων N είναι κατά πολύ μικρότερος από τον αριθμό των εξόδων M ($N \log_2 M < M \log_2 N$) τότε η συνολική πληροφορία που χρειάζεται για να διαμορφωθεί μια σύνδεση με έλεγχο σχετιζόμενο με

την είσοδο είναι λιγότερη από αυτή που χρειάζεται για έλεγχο σχετιζόμενο με την έξοδο. Επίσης, ο έλεγχος σχετιζόμενος με την είσοδο είναι πιο ευέλικτος από την άποψη της καλωδιακής επέκτασης.

4.9 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ SDS

Η εύρεση ενός μονοπατιού δια μέσου ενός μονοβάθμιου Δικτύου Μεταγωγής είναι στην πραγματικότητα αυτόματη αφού το απαραίτητο σημείο διασταύρωσης είναι μοναδικά καθορισμένο από το ζευγάρι εισόδου / εξόδου που είναι προς σύνδεση. Αντίθετα, η διαθεσιμότητα περισσοτέρων του ενός μονοπατιών σε ένα πολυβάθμιο Δίκτυο Μεταγωγής περιπλέκει τη διαδικασία επιλογής. Κατά πρώτον, ο κεντρικός ελέγχος του SPC-TK θα πρέπει να ελέγχει ποια ενδεχόμενα μονοπάτια είναι διαθέσιμα για μία συγκεκριμένη σύνδεση.

Στα SPC-TK, η πληροφορία ως προς το ποια μονοπάτια μεταγωγής είναι διαθέσιμα συγκεντρώνεται σε έναν ταμιευτή και αναφέρεται ως *αποθηκευμένη κατάσταση* (*state store*). Ένας υπολογιστικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της πληροφορίας της αποθηκευμένης κατάστασης και την επιλογή ενός διαθέσιμου μονοπατιού. Όταν μία νέα σύνδεση εγκαθίσταται ή μία παλιά απολύεται, η αποθηκευμένη κατάσταση ανανεώνεται με την είσοδο της κατάλληλης πληροφορίας.

Οι λειτουργίες ανεύρεσης μονοπατιού απαιτούν τη χρήση κοινού υπολογιστικού εξοπλισμού (*κοινός έλεγχος* δικτύου μεταγωγής). Το μέγεθος της πληροφορίας που απαιτείται ανά σύνδεση και οι δυνατότητες του κοινού ελέγχου καθορίζουν το ρυθμό των απαιτήσεων σύνδεσης που μπορούν να εξυπηρετηθούν. Ο απαιτούμενος χρόνος για την εύρεση του διαθέσιμου μονοπατιού είναι άμεσα εξαρτημένος από τον αριθμό των ενδεχόμενων δρόμων που έχουν δοκιμαστεί πριν βρεθεί ένα μονοπάτι ανενεργό.

Μερικά συστήματα κοινού ελέγχου μπορούν να δοκιμάσουν έναν αριθμό μονοπατιών σε παράλληλη διάταξη μειώνοντας έτσι το χρόνο της διαδικασίας εύρεσης. Ο αριθμός των αιτήσεων που είναι σε αναμονή και πρέπει να δοκιμαστούν, για να βρεθεί ένα ανενεργό μονοπάτι νέων μονοπατιών, είναι μία συνάρτηση των δυνατοτήτων σύνδεσης, οι δε χρόνοι ανεύρεσης δρόμου δυστυχώς αυξάνουν όταν ο κοινός έλεγχος είναι πολύ απασχολημένος.

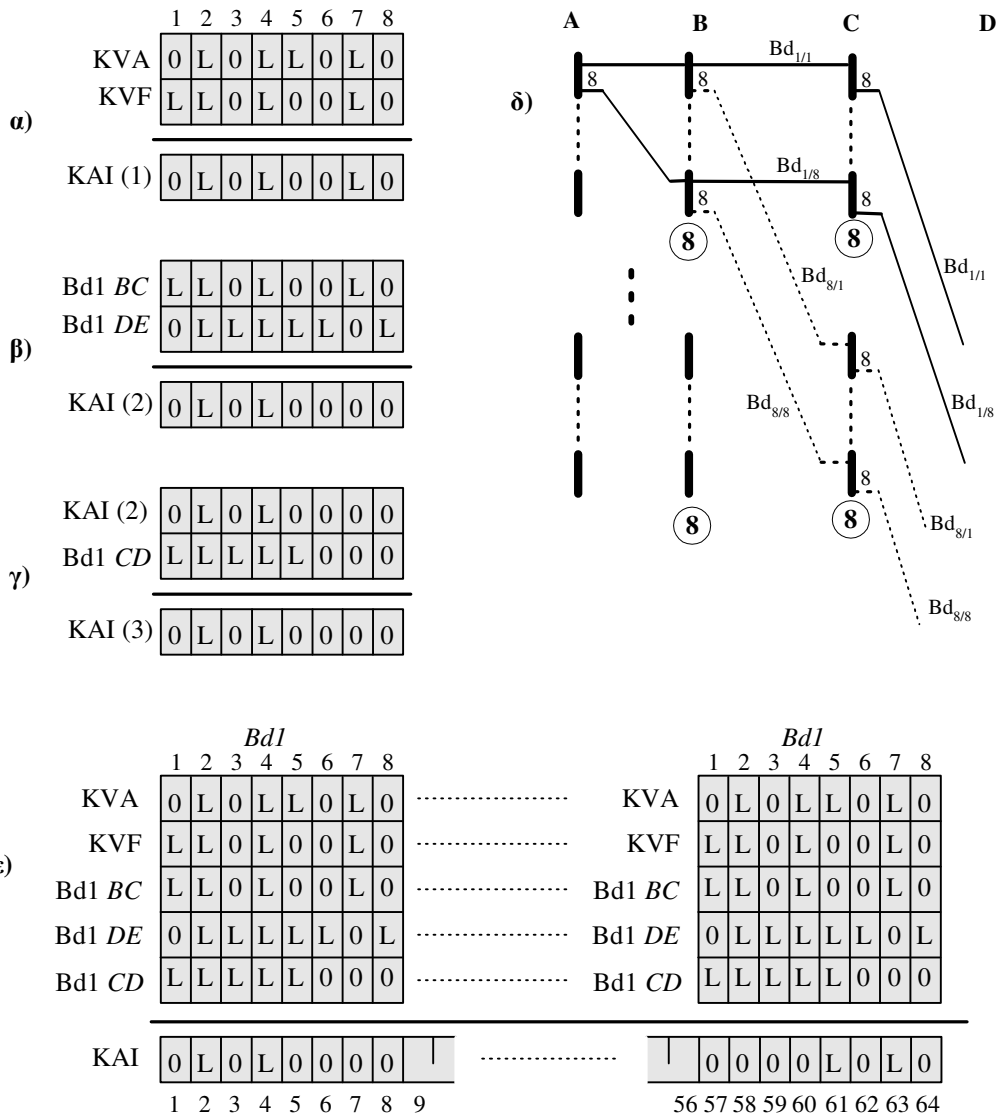
Έστω p η πιθανότητα ενός ολοκληρωμένου μονοπατιού να είναι απασχολημένο δια μέσου του διακόπτη. Αν καθένα από τα k πιθανά μονοπάτια δια μέσου του διακόπτη έχει μία ίση και ανεξάρτητη πιθανότητα να είναι απασχολημένο, τότε ο αναμενόμενος αριθμός N_p των δρόμων που πρέπει να δοκιμαστούν πριν βρεθεί ένα ανενεργό μονοπάτι είναι:

$$N_p = \frac{1 - p^k}{1 - p} \quad (4.11)$$

Στη συνέχεια, με βάση το Δίκτυο Μεταγωγής έξι βαθμίδων (A, B, C, D, E και F) του Σχήματος 4.13 και της πληροφορίας του ταμιευτή, περιγράφεται η αρχή (αλγόριθμος) βάση της οποίας γίνεται ο προσδιορισμός του μονοπατιού.

Υποθέτουμε ότι η κατάσταση των ενδιάμεσων ΖΓ ενταμιεύεται σε ένα ταμιευτή με θέσεις μνήμης των 8 bit. Μια ελεύθερη ενδιάμεση ΖΓ χαρακτηρίζεται με L και μια κατειλημμένη ΖΓ με O (Σχήμα 4.23a). Έτσι, οι καταστάσεις των 8 ενδιάμεσων γραμμών που εγκαταλείπουν μια μήτρα της βαθμίδας-A (που χαρακτηρίζεται ως KVA) ενταμιεύεται ακριβώς σε μια θέση στον ταμιευτή. Σε κάθε μήτρα της βαθμίδας-A δίνεται μια θέση μνήμης.

Ανάλογα χορηγείται σε κάθε μήτρα της βαθμίδας-F (που χαρακτηρίζεται ως KVF). Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.6.5, σε κάθε σύνδεση ο αύξων αριθμός της ενδιάμεσης ΖΓ που χρησιμοποιείται στην KVA είναι ίδιος με τον αύξοντα αριθμό της ενδιάμεσης ΖΓ που χρησιμοποιείται στην KVF.



Σχήμα 4.23: Επιλογή μονοπατιού.

Η ανεύρεση των ελεύθερων ενδιάμεσων ΖΓ γίνεται με την εφαρμογή της αλγεβρικής πράξης “ΚΑΙ” στο περιεχόμενο των bits της ίδιας στήλης των μνημών του ταμειυτή που αφορούν τις εξόδους της ΚVA και τις εισόδους της ΚVF (Σχήμα 4.23α).

Κάθε μια από τις 8 ενδιάμεσες ΖΓ που εγκαταλείπουν την ΚVA φθάνει σε μια μόνο ξεχωριστή μήτρα ΚVB και από κάθε ΚVB υπάρχουν 8 νέοι δρόμοι (γράφος δυνατών διαδρομών στο Σχήμα 4.13β). Για να προσδιορίσουμε τις δυνατές διαδρομές με σύγκριση των θέσεων μνήμης μέσω απλών συνδυασμών “ΚΑΙ”, θεωρούμε κατ’ αρχήν μόνο ένα δρόμο από αυτούς που εγκαταλείπουν μια μήτρα ΚVB, αλλά ταυτόχρονα και στις 8 μήτρες ΚVB.

Οι 8 αυτές ενδιάμεσες ΖΓ με ίδιο αύξοντα αριθμό, που εγκαταλείπουν τις μήτρες ΚVB, χαρακτηρίζονται ως “δέσμη” (π.χ. δέσμη Bd1 με τις ενδιάμεσες ΖΓ Bd1/1 ;έως Bd1/8 στο Σχήμα 4.23δ). Με τον όρο Bd1BC χαρακτηρίζονται οι βαθμίδες του ζευκτικού πεδίου, μεταξύ των οποίων βρίσκονται οι ενδιάμεσες γραμμές. Οι καταστάσεις των ενδιάμεσων αυτών ΖΓ συγκρίνονται, μέσω απλών συνδυασμών “ΚΑΙ”, με τις καταστάσεις των μητρών ΚVA και ΚVF.

Οι αριθμοί των δεσμών των ενδιάμεσων ΖΓ των βαθμίδων Β και C αντιστοιχούν στους αριθμούς μεταξύ των μητρών DE. Στη συνέχεια, οι καταστάσεις των ενδιάμεσων αυτών ΖΓ

συγκρίνονται, μέσω απλών συνδυασμών “ΚΑΓ”, με τις καταστάσεις της αντίστοιχης δέσμης των μητρών DE (Σχήμα 4.23β).

Για να συμπληρωθεί μια διαδρομή εισόδου-εξόδου απαιτούνται ακόμα οι καταστάσεις των ενδιάμεσων γραμμών CD. Η δέσμη CD προσδιορίζεται:

- από την αρχή U και το τέλος Z της σύνδεσης. Για παράδειγμα, όλες οι ενδιάμεσες ΖΓ που ενώνουν τις ομάδες μητρών ABC-1 και DEF-8 εγκαταλείπουν τη μήτρα KVC της πρώτης ομάδας πεδίων ABC, που έχει αριθμό 8, και φθάνουν στη μήτρα KVD της τελευταίας ομάδας πεδίων DEF με αριθμό 1.
- Από τον αριθμό της δέσμης BC. Για παράδειγμα, όλες οι ενδιάμεσες ΖΓ της δέσμης Bd1BC φθάνουν στις μήτρες της βαθμίδας-C της σειράς μητρών C που ανήκει στην ομάδα μητρών ABC (Σχήμα 4.23δ).

Στη συνέχεια, οι καταστάσεις των ενδιάμεσων ΖΓ CD συγκρίνονται, μέσω απλών συνδυασμών “ΚΑΓ”, με τα αποτελέσματα των προηγούμενων συγκρίσεων (Σχήμα 4.23γ). Με τον τρόπο αυτό ελέγχονται ταυτόχρονα 8 διαδρομές από τις 64 που δείχνει ο γράφος του Σχήματος 4.13β).

Για να ελεγχθούν ταυτόχρονα και οι 64 διαδρομές πρέπει να αναγνωστούν από τον ταμειυτή οι καταστάσεις όλων των δεσμών, που συνδέουν την αρχή με το τέρμα, και να τοποθετηθούν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.23ε. Οι καταστάσεις των ενδιάμεσων γραμμών AB και EF επαναλαμβάνονται 8 φορές.

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται μια διαδρομή από 64. Από τον αριθμό της διαδρομής πρέπει να προσδιοριστούν τα ζευκτικά σημεία που θα ενεργοποιηθούν. Παίρνοντας σαν παράδειγμα τη διαδρομή 2, που έχει επιλεγεί, περιγράφουμε πως πραγματοποιείται αυτό:

- Η είσοδος στη μήτρα KVA ορίζεται από την αρχή U, η έξοδος από τη μήτρα KVF, από το τέρμα Z.
- Η έξοδος της μήτρα KVA και η είσοδος της KVF ορίζονται από την ενδιάμεση γραμμή 2, που επιλέχθηκε.
- Ο αριθμός της KVB (KVE) ορίζεται από τη γραμμή 2 και την αρχή U (τέρμα Z).
- Η είσοδος στην KVB ορίζεται από τον αριθμό της KVA εισόδου, ανάλογα η έξοδος από την KVE από τη μήτρα KVF εξόδου.
- Η έξοδος από την KVB ορίζεται από τον αριθμό της δέσμης BC, στη συγκεκριμένη περίπτωση 1. Ανάλογα ισχύουν για την είσοδο στην KVE.
- Ο αριθμός της KVC μέσα στη σειρά μητρών C αντιστοιχεί στον αριθμό της KVB. Η σειρά μητρών ορίζεται από τον αριθμό της δέσμης BC. Ανάλογα ορίζεται η θέση της KVD.
- Η είσοδος της KVC ορίζεται από τον αριθμό της ομάδας μητρών εισόδου-στην περίπτωση αυτή 1. Ανάλογα ορίζει ο αριθμός της ομάδας μητρών εξόδου την έξοδο από την KVD.
- Η έξοδος από την KVC και η είσοδος στην KVD προκύπτουν από τις ομάδες συνδρομητών αρχής και τέρματος.

