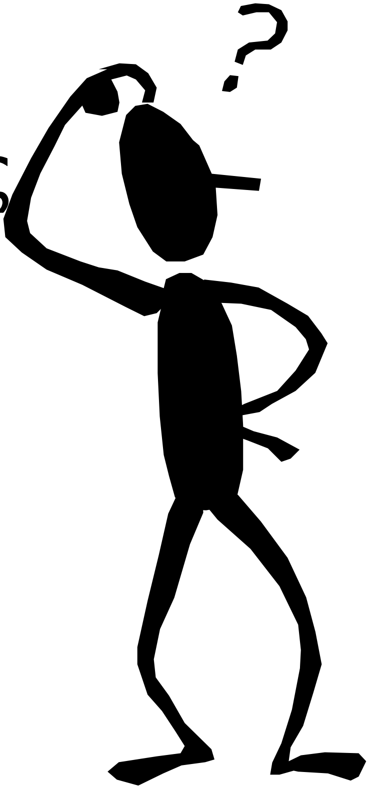
Τηλεφωνία

Μεταγωγή

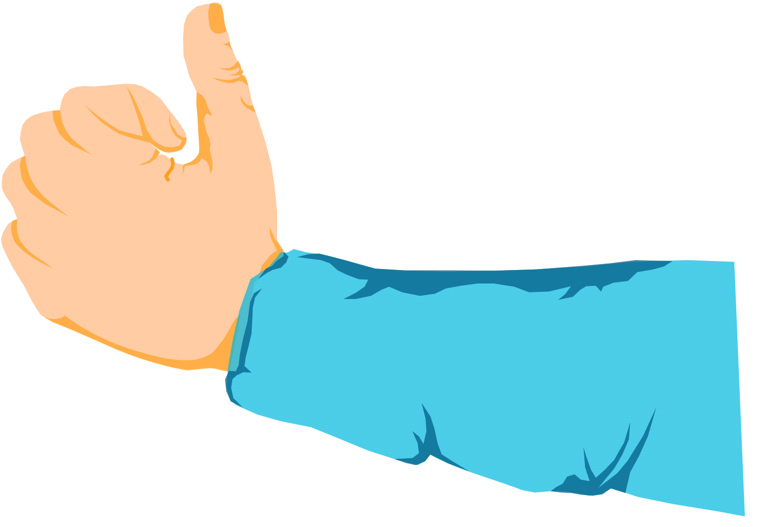
Μεταγωγή

- (ορισμός) Η εγκατάσταση, όταν ζητηθεί (on demand), μιας ανεξάρτητης σύνδεσης από την επιθυμητή είσοδο στην επιθυμητή έξοδο, εντός ενός συνόλου εισόδων και εξόδων, για όσο διάστημα απαιτείται από την μεταφορά της πληροφορίας



Μεταγωγή

- (ορισμός) Ότι εισέρχεται στο δίκτυο, εξέρχεται για όσο διάστημα είναι επιθυμητό, μέχρι η μία πλευρά να εγκαταλείψει

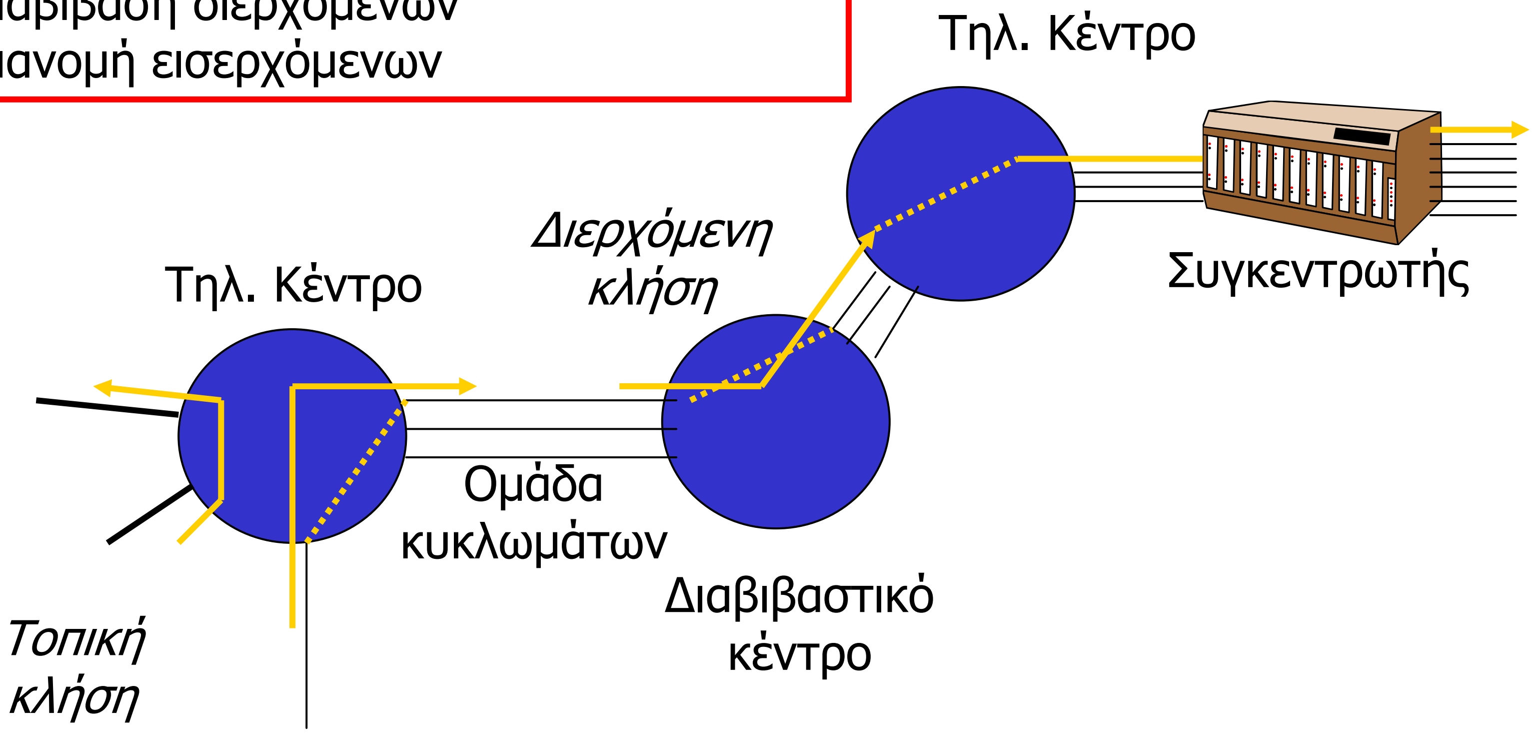


Εισαγωγή στην Μεταγωγή

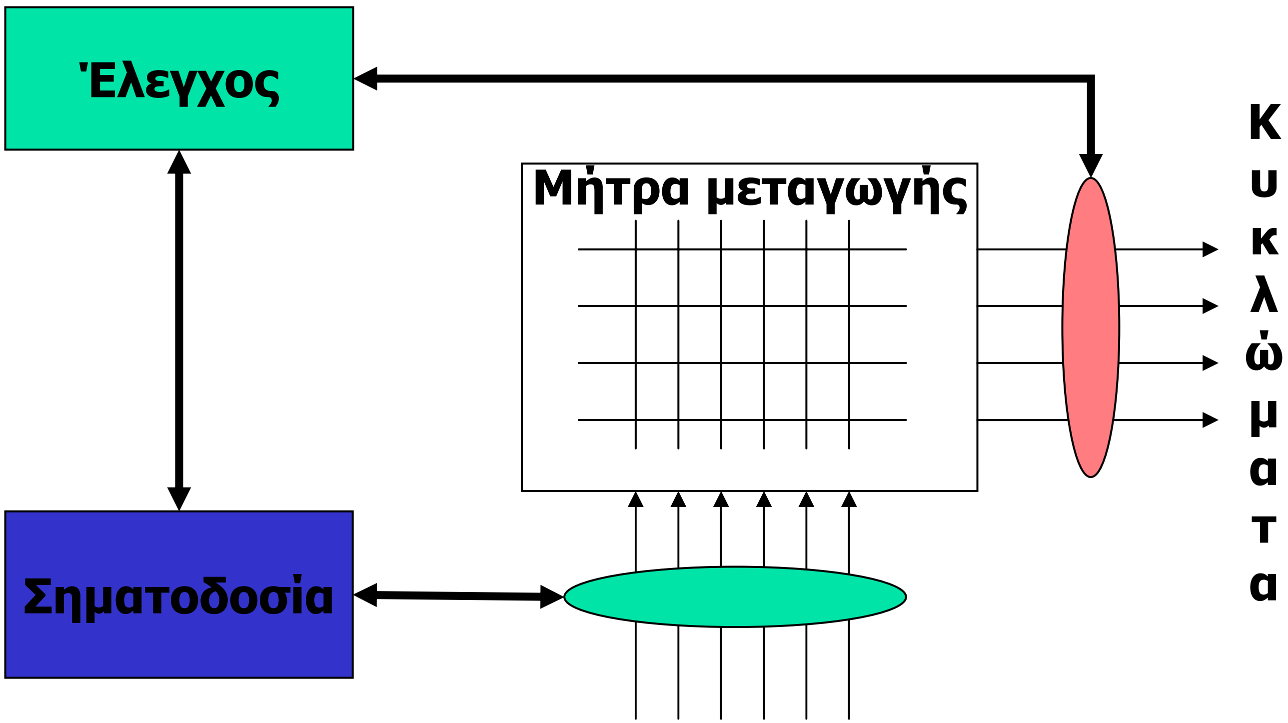
- Το τηλεφωνικό κέντρο δρομολογεί τις κλήσεις βάσει του σχεδίου αριθμοδότησης
  - π.χ. 1 302 369 6923
  - κωδικός χώρας
    - κωδικός περιοχής
    - κωδικός κέντρου
    - κωδικός πελάτη

Εισαγωγή στην Μεταγωγή

- Τοπική (γραμμή προς γραμμή) μεταγωγή
- Διαβίβαση διερχόμενων
- Διανομή εισερχόμενων



Σύστημα Μεταγωγής



Βασικές λειτουργίες μεταγωγής

- Διασύνδεση
- Έλεγχος
- Ειδοποίηση
- Πληροφόρηση
- Λήψη πληροφορίας
- Αποστολή πληροφορίας
- Έλεγχος κατάληψης
- Επιτήρηση

Βασικές λειτουργίες μεταγωγής

- Σηματοδοσία
  - Επιτήρηση της λειτουργίας συνδρομητικών γραμμών
  - Αποστολή της εισερχόμενης πληροφορίας ελέγχου στην μονάδα ελέγχου
  - Αποστολή σημάτων ελέγχου στις εξερχόμενες γραμμές
- Έλεγχος
  - Επεξεργασία σηματοδοσίας
  - Εγκατάσταση και απόλυση συνδέσεων
- Μεταγωγή
  - Η διασύνδεση μεταξύ εισόδων και εξόδων

Βασικές απαιτήσεις μεταγωγής

- Ο διακόπτης πρέπει να συνδέει οποιαδήποτε εισερχόμενη κλήση σε οποιαδήποτε από τις (ίσως πολλές) εξόδους
- Ο διακόπτης πρέπει να συγκρατεί τις κλήσεις (κατά τη διάρκεια τους) και να τις απολύει όταν τερματίσουν
- Ο διακόπτης πρέπει να αποτρέπει νέες κλήσεις σε κυκλώματα που ήδη χρησιμοποιούνται

Βασικές απαιτήσεις μεταγωγής

- Η ταχύτητα εγκατάστασης πρέπει να είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τη διάρκεια της κλήσης
- Ο βαθμός εξυπηρέτησης πρέπει να είναι υψηλός
  - 0,99 συνολικά
- ΥΨΗΛΗ διαθεσιμότητα!
  - 0,99999

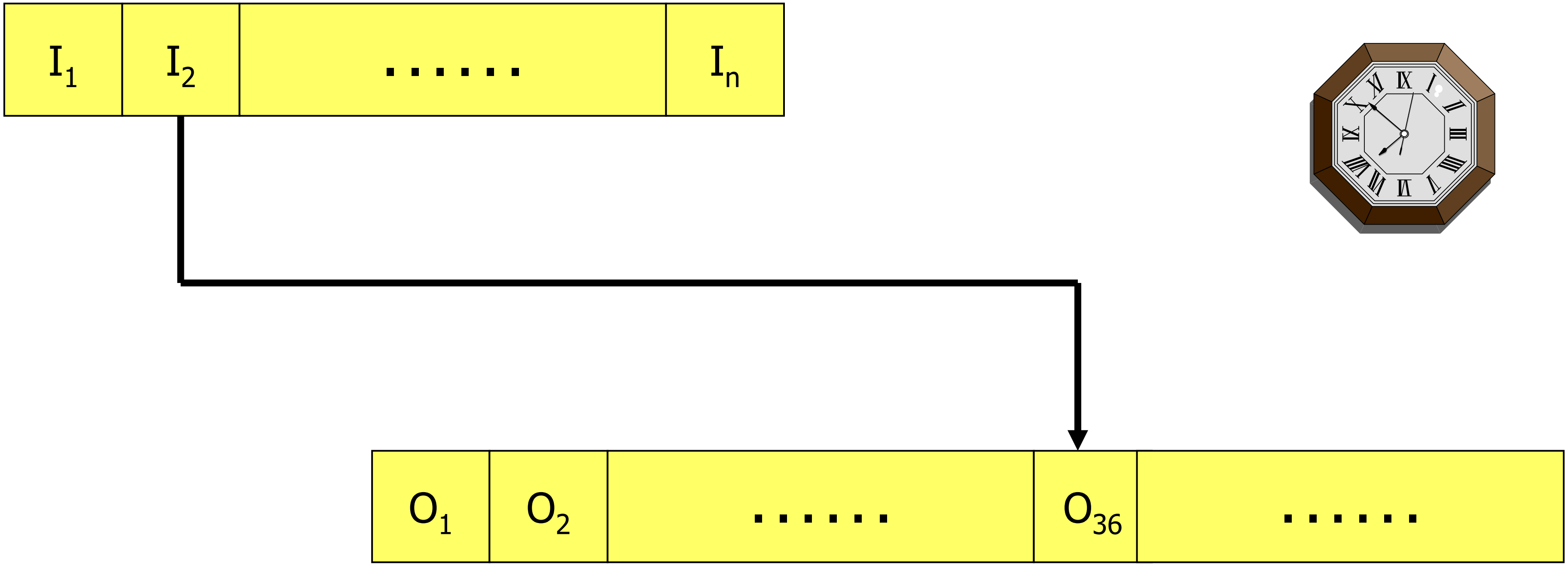
Βασικές απαιτήσεις μεταγωγής

- Συνδεσιμότητα
  - πλήρης: οποιαδήποτε είσοδος σε οποιαδήποτε έξοδο
- Αποκλεισμός
  - Blocking: υπάρχει το ενδεχόμενο η εγκατάσταση κλήσης να αποτύχει επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμη πόροι
  - Non-blocking: Εάν η είσοδος και η έξοδος είναι ελεύθερες, τότε μπορούν να συνδεθούν

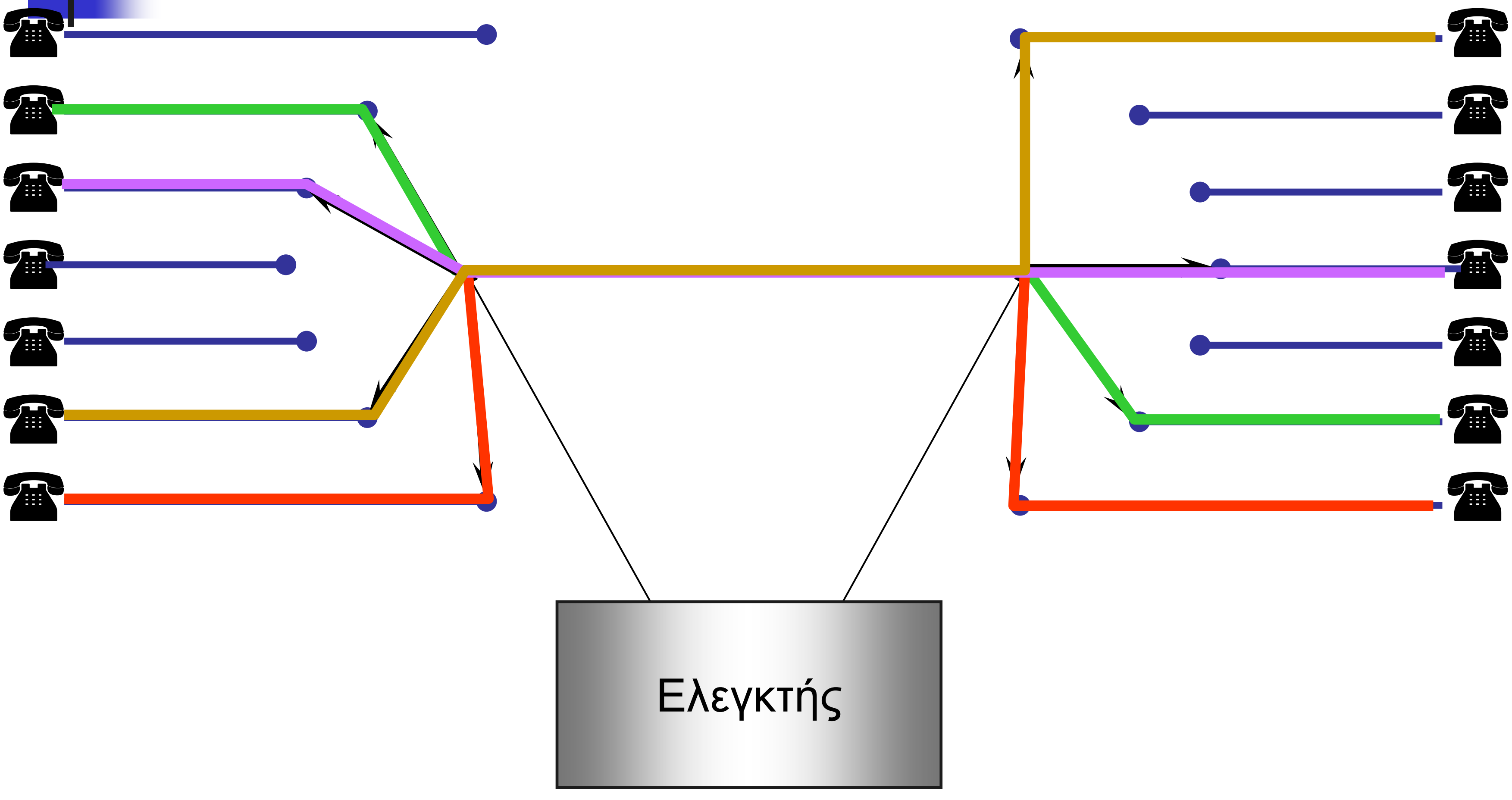
Μέθοδοι μεταγωγής

Μεταγωγή διαίρεσης χρόνου

- Χρονική αντιστοιχία εισόδων σε εξόδους

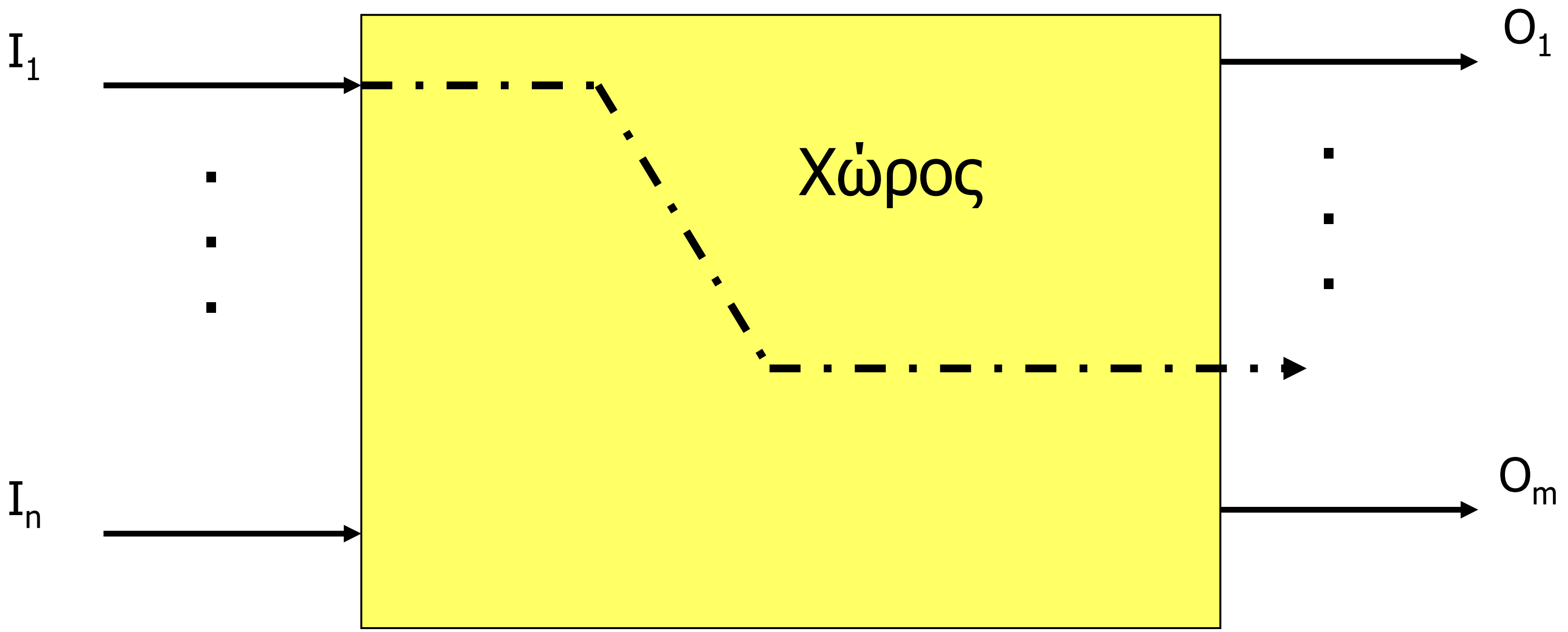


Μεταγωγή διαίρεσης χρόνου

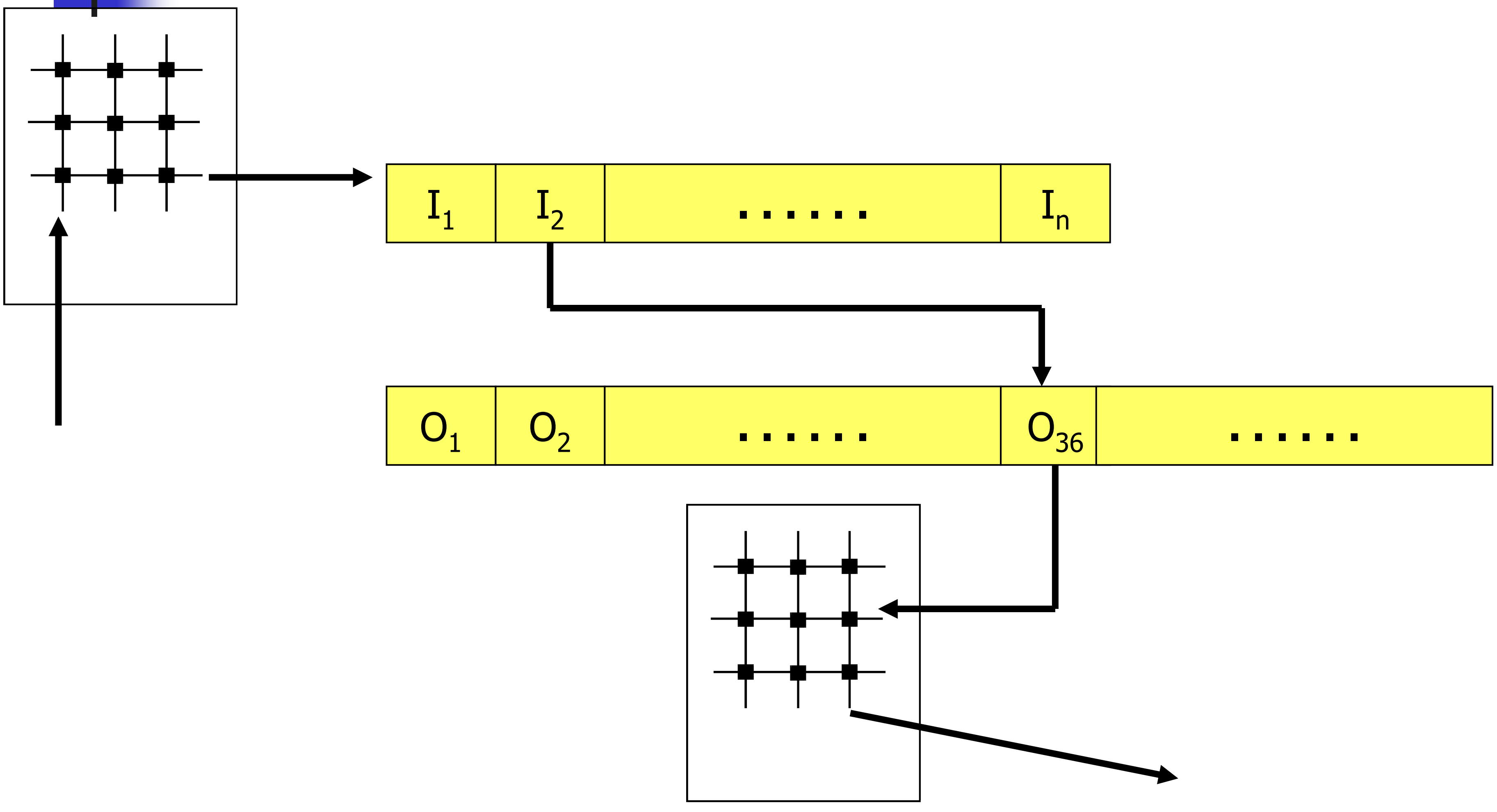


Μεταγωγή διαίρεσης χώρου

- Χωρική αντιστοιχία εισόδων σε εξόδους



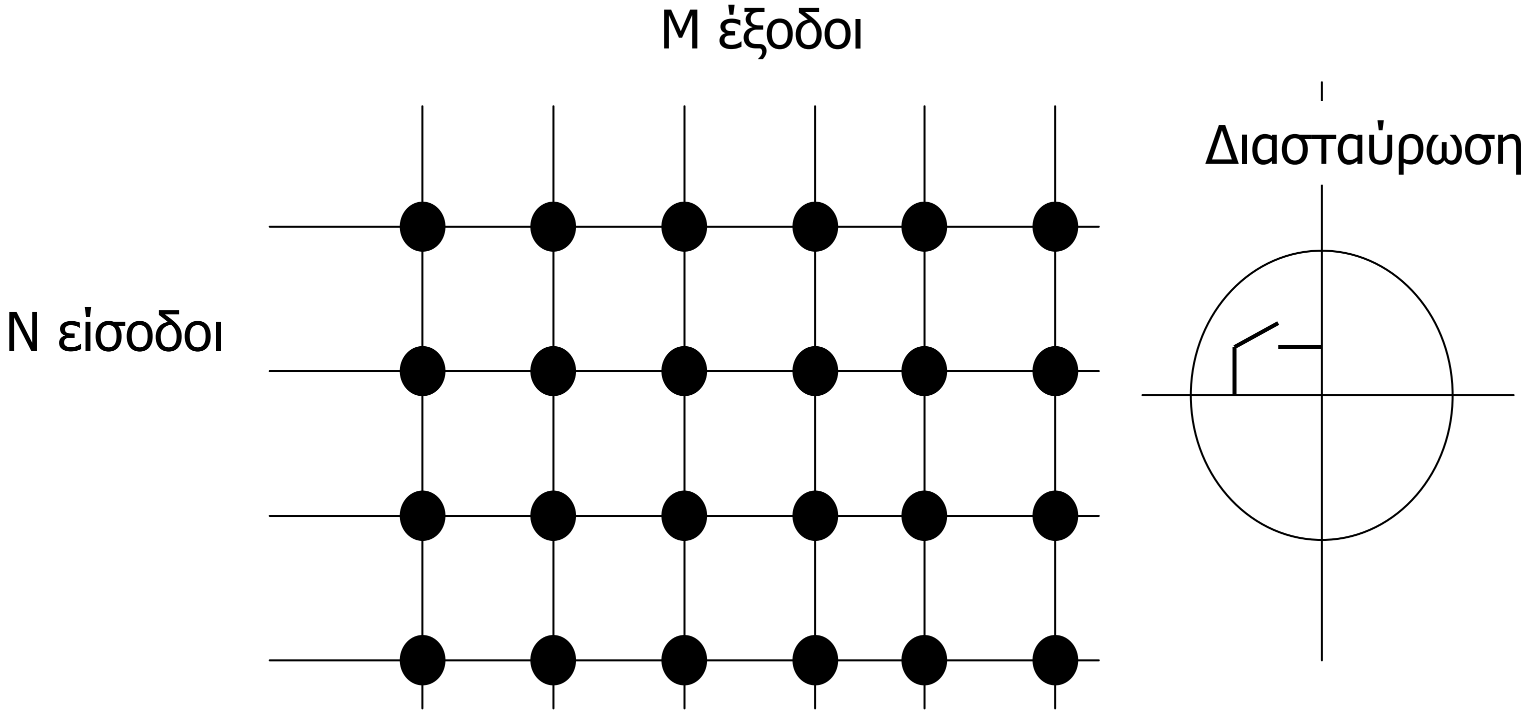
Μεταγωγή χώρου-χρόνου-χώρου (STS)



Διακόπτες μίας βαθμίδας

- Διακόπτες διασταύρωσης (crosspoint)
  - Πολύπλοκοι
  - Πολλές διασταυρώσεις - ($M \times N$)
  - Κάθε μία συνδέει 2 γραμμές

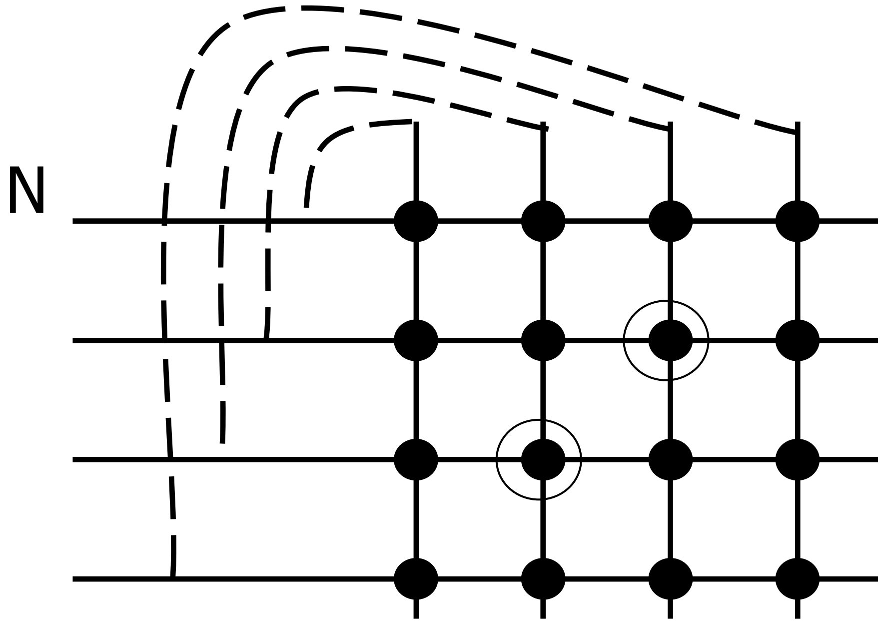
Διακόπτες μίας βαθμίδας

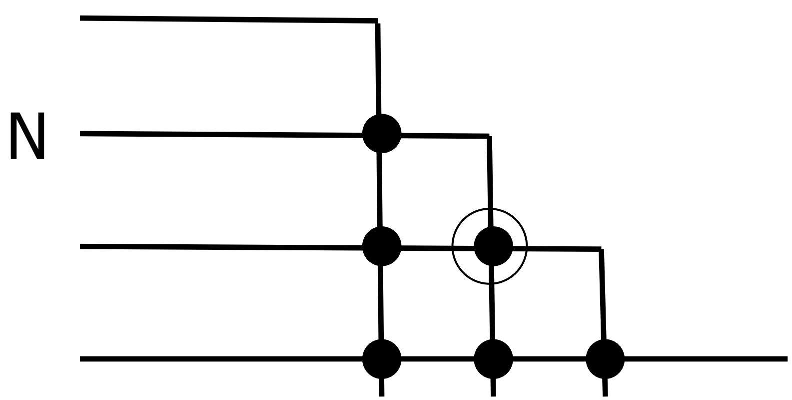


Διακόπτες μίας βαθμίδας

- N είσοδοι και M έξοδοι $N \times M$ διασταυρώσεις
  - M < N: συγκεντρωτής
  - M > N: αποσυγκεντρωτής (expander)
  - M = N: διανομέας
- Αναδιπλωμένος διακόπτης
  - Εάν οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι ταυτόσημες (και αμφίδρομες) η πλήρης μήτρα μεταγωγής είναι περιττή
- Αναγκαίος αριθμός διασταυρώσεων: $\frac{1}{2}N(N-1)$

Αναδιπλωμένος διακόπτης μίας βαθμίδας





Διακόπτες μίας βαθμίδας

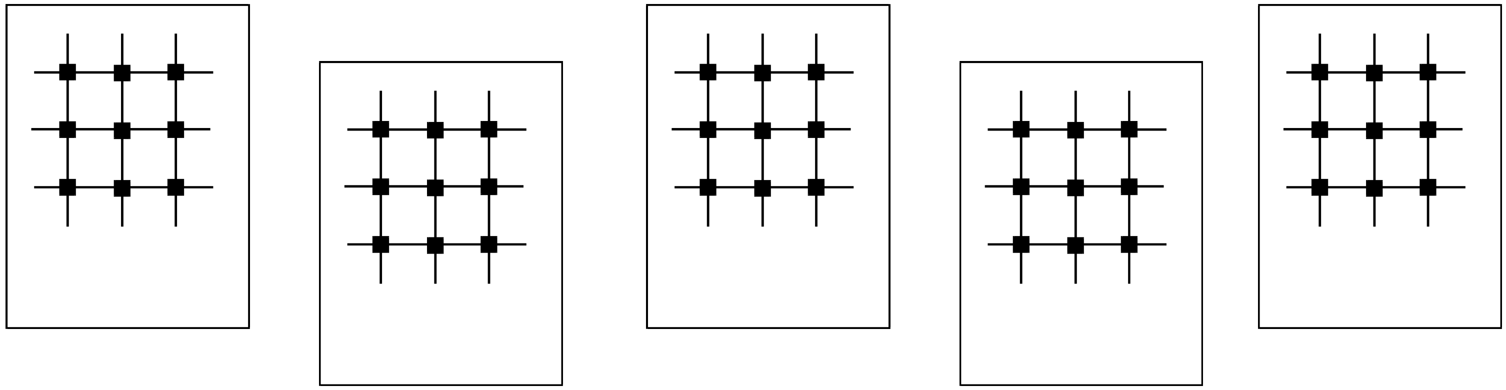
- Ο αριθμός των διασταυρώσεων του διακόπτη μιας βαθμίδας για μεγάλο αριθμό εισόδων είναι τεράστιος
- Επίσης υπάρχει μόνο ΜΙΑ διαδρομή από μια είσοδο σε μια έξοδο
- Προβλήματα
  - Κακή εκμετάλλευση των διασταυρώσεων
  - Δεν αντέχει σε σφάλματα
- Λύση: διακόπτες με πολλές βαθμίδες

Διακόπτες πολλών βαθμίδων

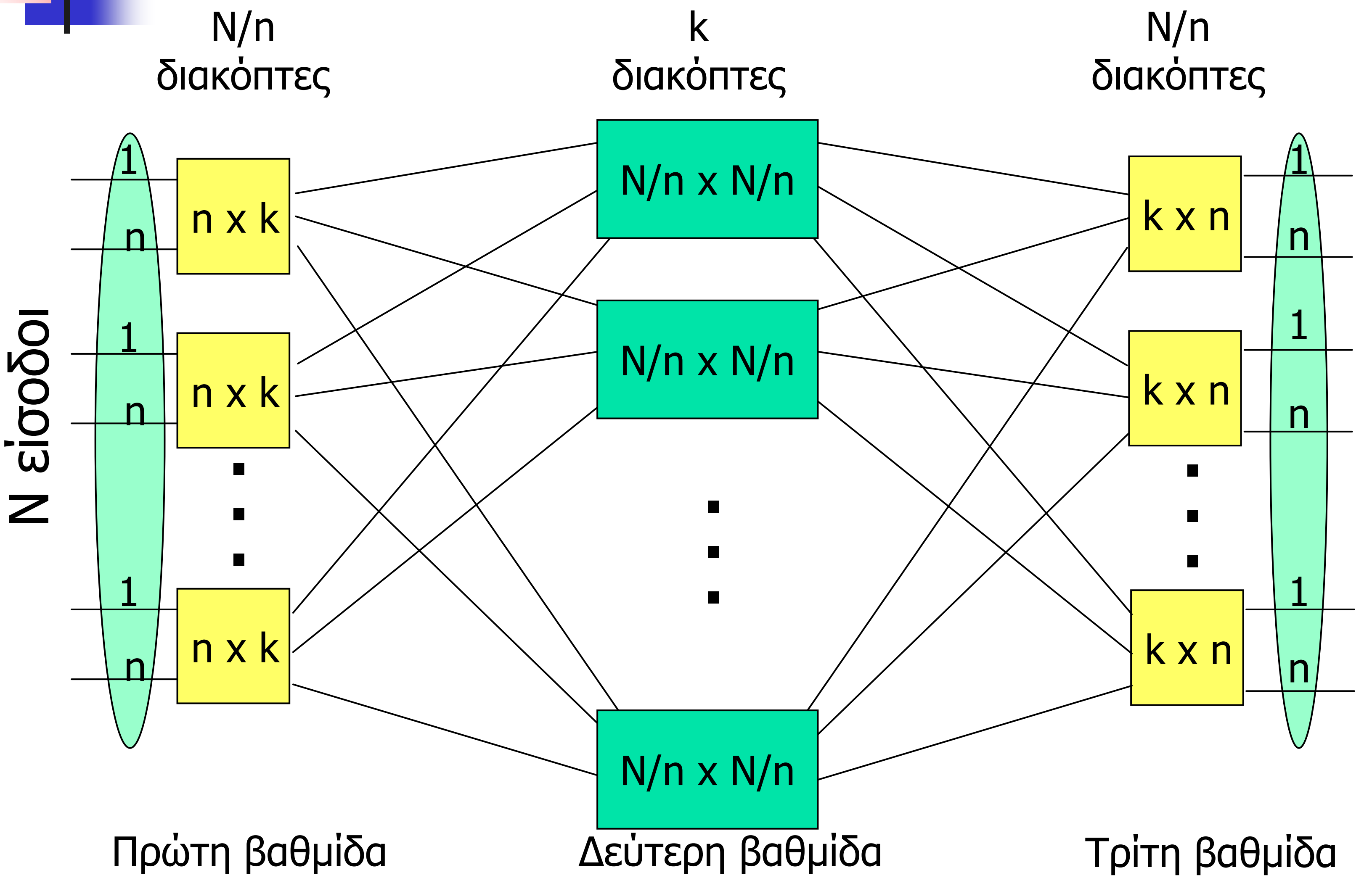
- Η είσοδος συνδέεται με την έξοδο μέσω δύο ή περισσότερων βαθμίδων (διακοπτών)
- Οι διασταυρώσεις μοιράζονται μεταξύ πολλών συνδέσεων (δυνητικά υπάρχει αποκλεισμός)
- Υπάρχει η δυνατότητα να παρέχονται πολλαπλές διαδρομές μεταξύ δύο οποιωνδήποτε θυρών

Μείωση σημείων μεταγωγής

- Αύξηση του πλήθους βαθμίδων
- Επιτρέπεται αποκλεισμός
- Μεταγωγή σε πολλές (περισσότερες της μίας) διαστάσεις



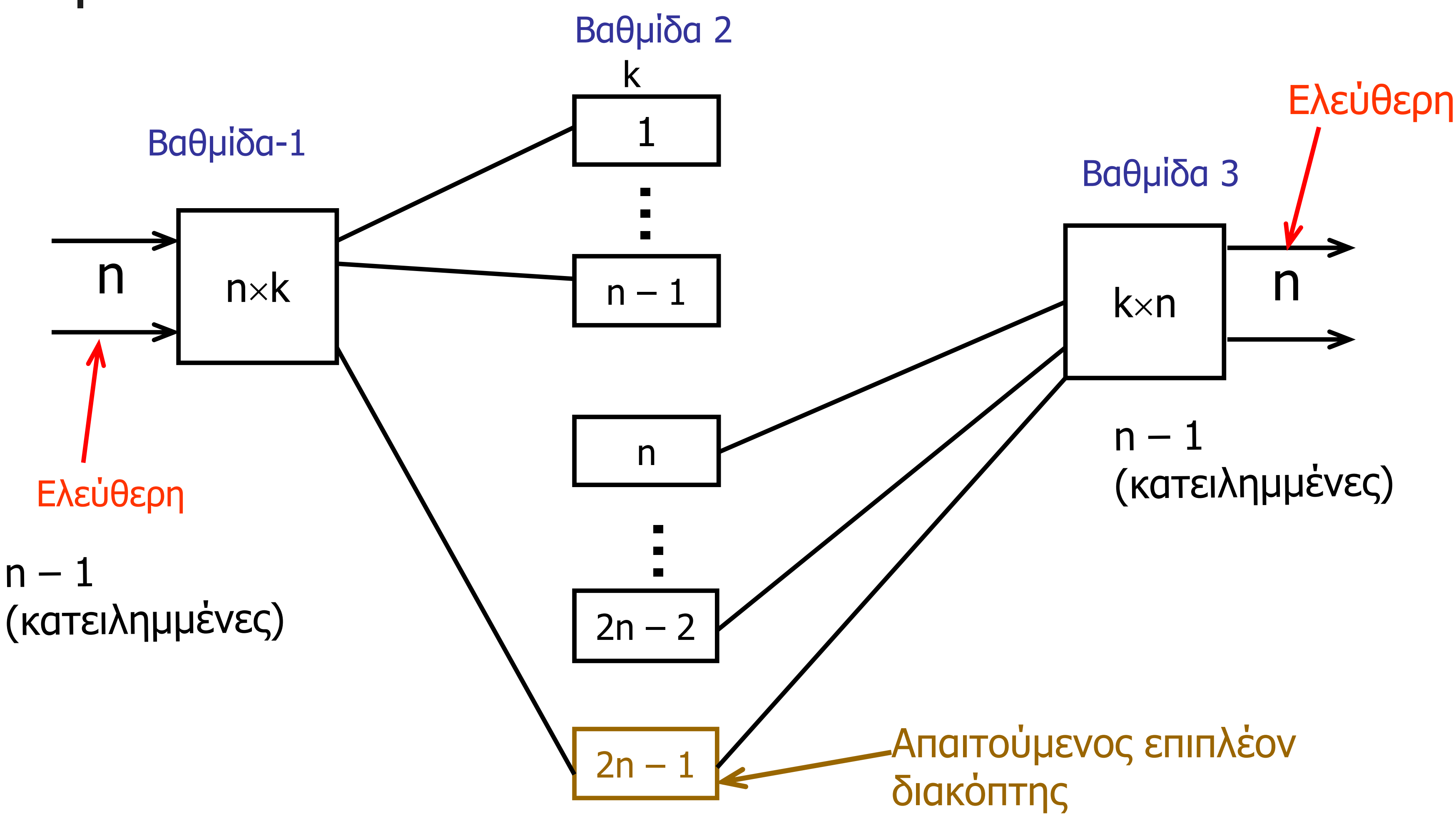
Διακόπτες τριών βαθμίδων



Θεώρημα του Clos

- Ένας διακόπτης που δεν παρουσιάζει αποκλεισμό (strictly non-blocking) επιτρέπει τη σύνδεση:
  - ενός ζεύγους ελεύθερης εισόδου και εξόδου
  - χωρίς διατάραξη των υπαρχουσών συνδέσεων
  - ανεξάρτητα από την προηγούμενη κατάσταση του διακόπτη
- Θεώρημα Clos: Για ένα τέτοιο διακόπτη ο ελάχιστος αριθμός ενδιάμεσων βαθμίδων είναι
- $k=2n-1$

Διακόπτης τριών βαθμίδων χωρίς αποκλεισμό



Διακόπτης τριών βαθμίδων χωρίς αποκλεισμό

- Αριθμός διασταυρώσεων $N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2$
- Αριθμός ενδιάμεσων βαθμίδων k = 2n–1

$$N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2 = (2n-1)\left(2N + \frac{N^2}{n^2}\right)$$

- Για μεγάλες τιμές n $n = \sqrt{\frac{N}{2}} \Rightarrow N_x = 4N\left(\sqrt{2N} - 1\right)$

Παράδειγμα διακόπτη Clos

- Σχεδιάστε ένα διακόπτη τριών βαθμίδων χωρίς αποκλεισμό για 200 χρήστες
- $N = 200$, τότε ένα καλό n είναι η τετραγωνική ρίζα του $N/2$, άρα $n = 10$ και $k = 2n - 1 = 19$
- Ο διακόπτης θα έχει
  - 20 (N/n) βαθμίδες εισόδου 10×19 θυρών ($n \times k$)
  - 19 (k) ενδιάμεσες βαθμίδες 20×20 ($N/n \times N/n$)
  - 20 (N/n) βαθμίδες εξόδου 19×10 θυρών ($k \times n$)
- Σύνολο διασταυρώσεων 15.200
  - Πρώτη βαθμίδα : $2\times10\times19 = 3.800$
  - Μεσαία βαθμίδα: $19\times20\times20 = 7.600$
  - Τρίτη βαθμίδα: $20\times19\times10 = 3.800$
- Ο διακόπτης μιας βαθμίδας έχει 19.900 διασταυρώσεις

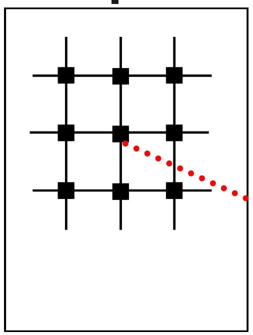
Μείωση σημείων μεταγωγής

$$N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2 = (2n-1)\left(2N + \frac{N^2}{n^2}\right)$$

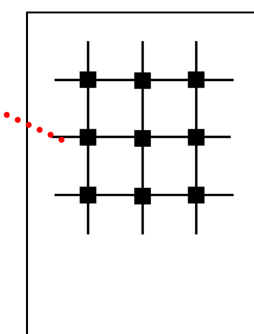
$$\frac{dN_x}{dn} = 2n^3 - nN + N = 0 \Leftrightarrow \boxed{N = \frac{2n^3}{n-1}}$$

- Δύο ακέραιες λύσεις
  - n=2, N=16 οπότε N^2 =256, N_x = 288
  - n=3, N=27 οπότε N^2 =729, N_x = 675

Μείωση σημείων μεταγωγής



Γραμμές	3-Βαθμίδες	1-Βαθμίδα
128	7.680	16.256
512	63.488	261.635
2K	516.096	4,2M
8K	4,2M	67M
32K	33M	1B
128K	268M	17B

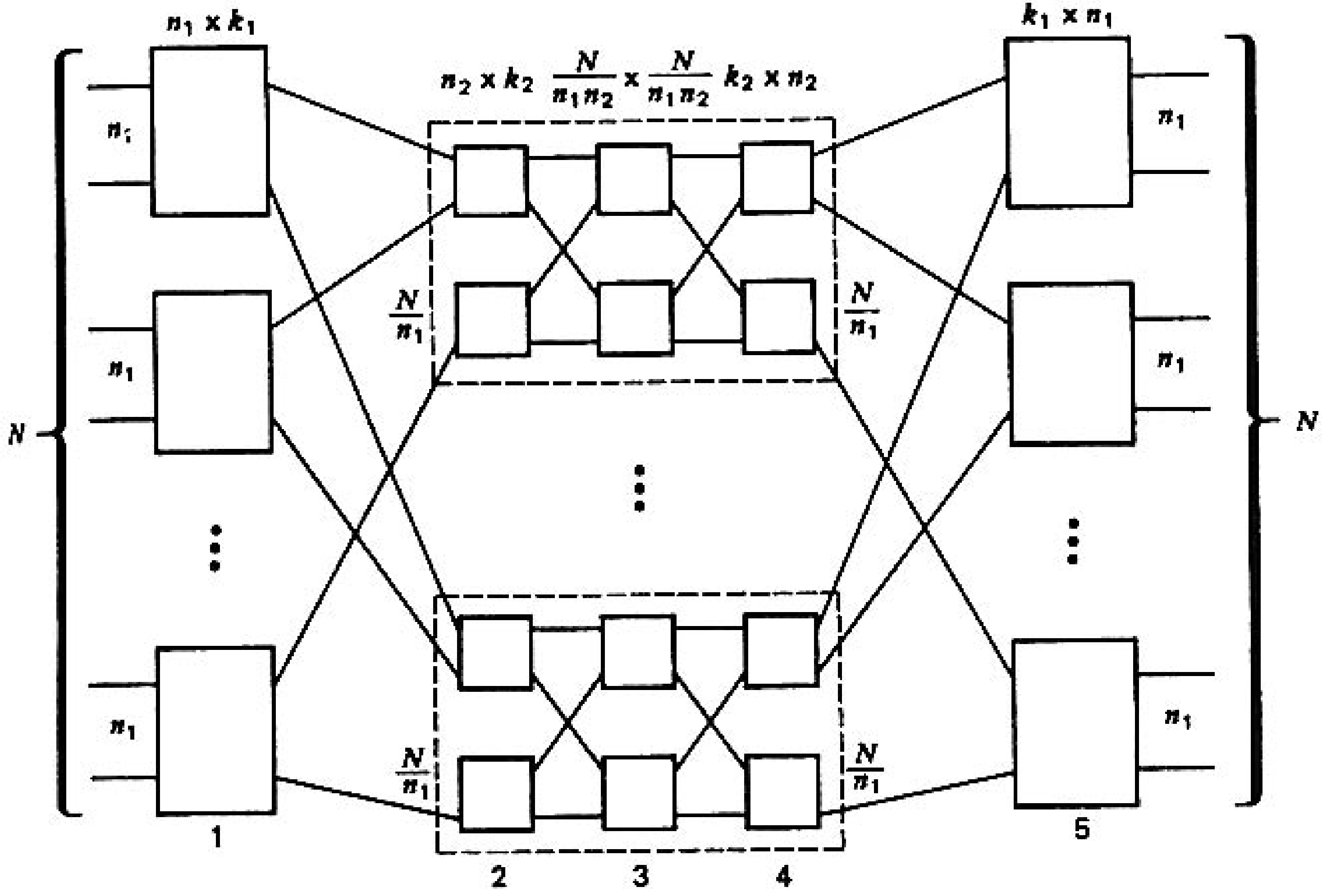


Έχουμε οικονομία αλλά και πάλι η μήτρα μεταγωγής χωρίς αποκλεισμό είναι μεγάλη

Μείωση σημείων μεταγωγής

- Ο διακόπτης Clos έχει k διακόπτες $N/n \times N/n$ (της μίας βαθμίδας) ως ενδιάμεσες βαθμίδες
  - Μπορούμε να μετατρέψουμε κάθε ενδιάμεση βαθμίδα σε διακόπτη Clos για μεγαλύτερη εξοικονόμηση
- Μπορούμε να επιτρέψουμε τον αποκλεισμό και να μειώσουμε ακόμη περισσότερο τις διασταυρώσεις
  - Οι τηλεφωνικές συσκευές δε χρησιμοποιούνται συνεχώς (περίπου το 10% του χρόνου), άρα η πιθανότητα όλες οι διασταυρώσεις να χρησιμοποιούνται είναι πολύ μικρή
  - Ο αποκλεισμός εντός του διακόπτη θα ήταν αποδεκτός εάν είναι μικρότερος από την πιθανότητα να είναι ο καλούμενος απασχολημένος (~10%), να μην απαντήσει (~20%), κλπ

Διακόπτης πέντε βαθμίδων



Πιθανότητα αποκλεισμού

- Οι διακόπτες χωρίς αποκλεισμό (strictly non-blocking) δεν χρειάζονται σε πολλά πραγματικά συστήματα σχεδιασμένα για τηλεφωνία
  - Μια πιθανότητα αποκλεισμού της τάξης του 1% στην ώρα αιχμής θα ήταν ικανοποιητική

Πιθανότητα αποκλεισμού

- Η πιθανότητα ένα στοιχείο να είναι κατειλημμένο: p
- Η πιθανότητα ένα στοιχείο να είναι ελεύθερο: $q=1-p$

Πιθανότητα αποκλεισμού

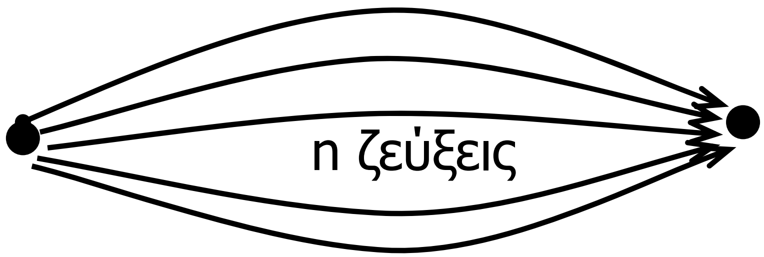
- Η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού ενός συνόλου k παράλληλων ζεύξεων, όπου η πιθανότητες αποκλεισμού p_i των ζεύξεων είναι ανεξάρτητες μεταξύ των, είναι

$$p = p_1 p_2 \cdots p_k$$

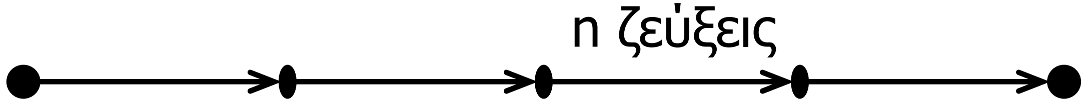
- Η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού ενός συνόλου k ζεύξεων εν σειρά, όπου η πιθανότητες αποκλεισμού p_i των ζεύξεων είναι ανεξάρτητες μεταξύ των, είναι

$$p = 1 - q_1 q_2 \cdots q_k \, , q_i = 1 - p_i$$

Ζεύξεις εν σειρά και παράλληλες



$B = p^n$



$B = 1 - q^n$

Υπολογισμός πιθανοτήτων αποκλεισμού

- Ο Lee πρότεινε μια απλή μέθοδο υπολογισμού της πιθανότητας αποκλεισμού διακοπτών πολλών βαθμίδων
- Υπόθεση: οι πιθανότητες αποκλεισμού των διαδρομών είναι ανεξάρτητες
- Ο γράφος Lee (γράφος πιθανοτήτων) από μια τυπική είσοδο σε μια τυπική έξοδο
  - Πιθανότητα αποκλεισμού για κάθε διαδρομή
  - Συνολική πιθανότητα αποκλεισμού ως ζεύξεις εν σειρά και εν παραλλήλω

Πιθανότητα αποκλεισμού διακοπτών 3-βαθμίδων

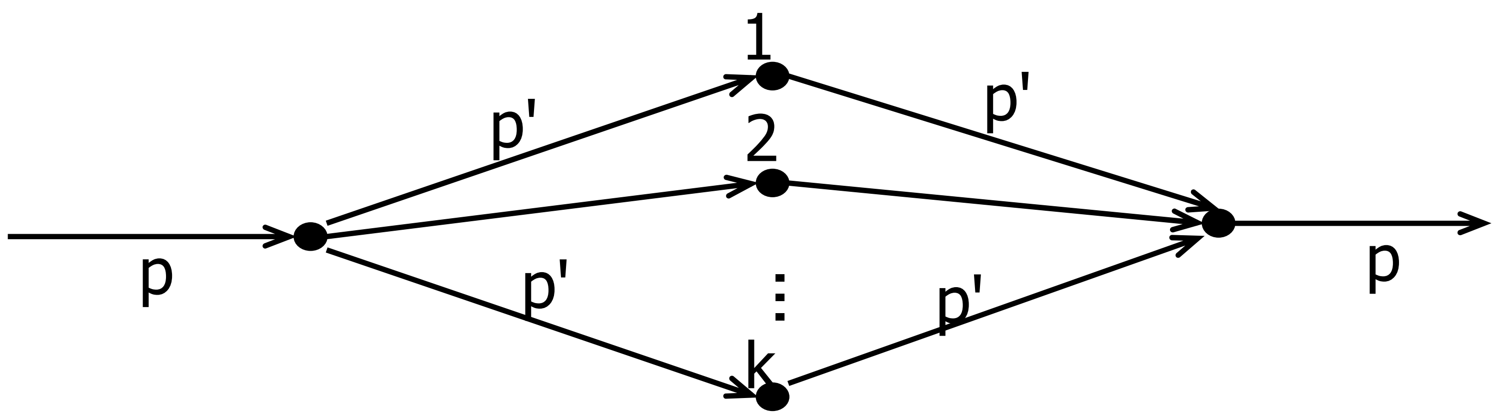
- Πιθανότητα μια είσοδος ή έξοδος να είναι κατειλημμένη, p
- Πιθανότητα μια ενδιάμεση βαθμίδα να είναι κατειλημμένη = $p' = pn/k$

Πιθανότητα αποκλεισμού διακοπτών 3-βαθμίδων

πιθανότητα όλες οι διαδρομές κατειλημμένες

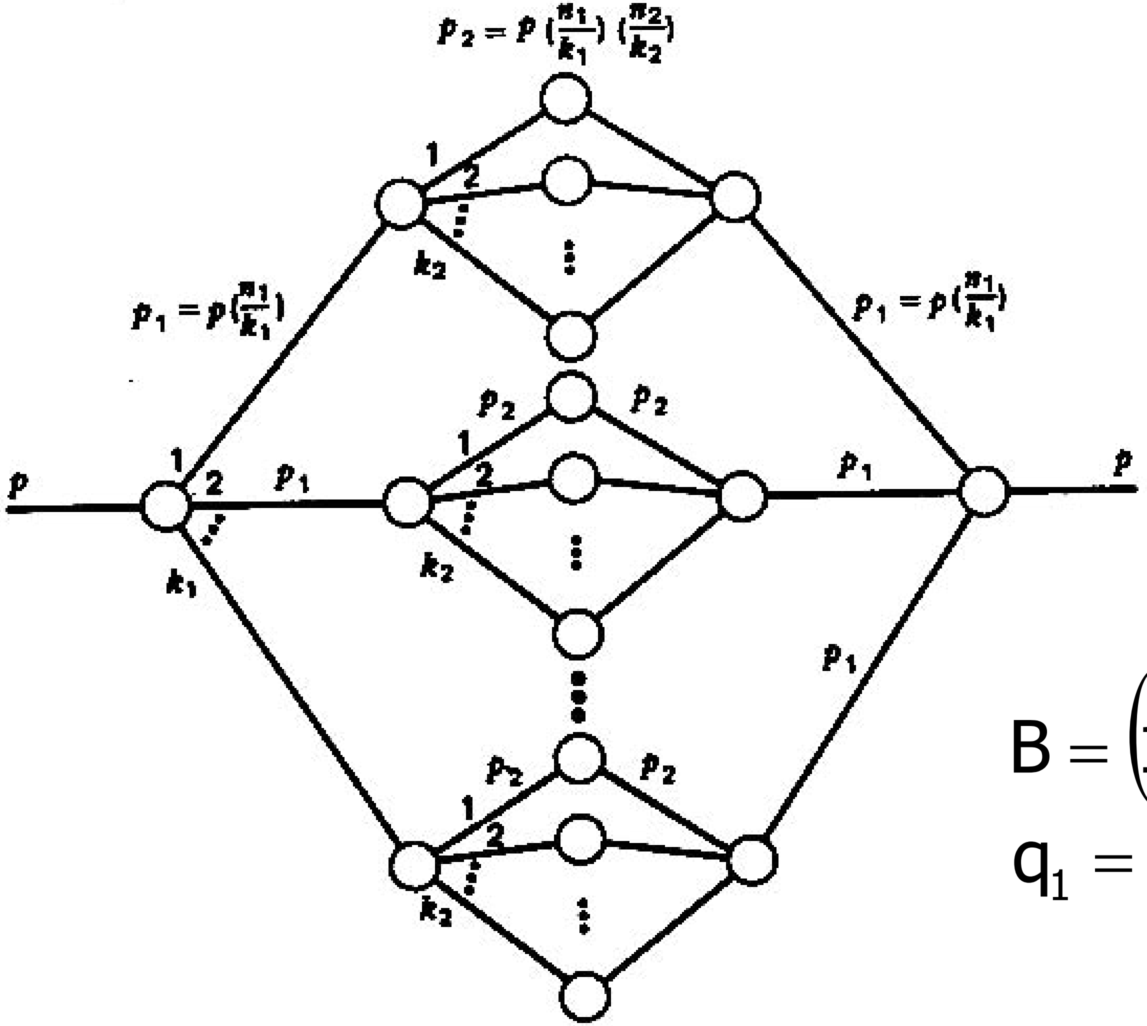
(πιθανότητα μια διαδρομή κατειλημμένη)^k

(πιθανότητα τουλάχιστον μια ζεύξη κατειλημμένη)^k



$$B = \left(1 - q'^2\right)^k = \left(1 - \left(1 - pn/k\right)^2\right)^k$$

Πιθανότητα αποκλεισμού διακοπτών 5-βαθμίδων



$$B = \left(1 - q_1^2\left(1 - \left(1 - q_2^2\right)^{k_2}\right)\right)^{k_1}$$

$$q_1 = 1 - p_1, q_2 = 1 - p_2$$

Παράδειγμα

- Πρόβλημα: σχεδιάστε ένα διακόπτη με 2.048 εισόδους με βαθμό απασχόλησης 20% που να παρουσιάζει πιθανότητα αποκλεισμού < 0,1%
- Έστω $n = (N/2)^{½} = (2048/2)^{½} = 32$

$$B = 0{,}001 = \left(1-\left(1-p\times n/k\right)^2\right)^k = \left(1-\left(1-0{,}2\times 32/k\right)^2\right)^k$$

- Για k=16, B=0,0008
- Διασταυρώσεις $N_X = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2 = 131.072$

Διακόπτες 3 βαθμίδων με αποκλεισμό

p = 0,1   B < 0,2%

N	n	k	β (k/n)	Διασταυρώσεις	non blocking
128	8	5	0,625	2.560	7.680 (k=15)
512	16	7	0,438	14.336	63.488 (k=31)
2048	32	10	0,313	81.920	516.096 (k=63)
8192	64	15	0,234	491.520	4,2 M (k=127)
32768	128	24	0,188	3,15 M	33 M (k=255)
131072	256	41	0,160	21,5 M	268 M (k=511)

Διακόπτες 3 βαθμίδων με αποκλεισμό

p = 0,7   B < 0,2%

N	n	k	β (k/n)	Διασταυρώσεις	non blocking
128	8	14	1,75	7.168	7.680 (k=15)
512	16	22	1,38	45.056	63.488 (k=31)
2048	32	37	1,16	303.104	516.096 (k=63)
8192	64	64	1,0	2,1 M	4,2 M (k=127)
32768	128	116	0,91	15,2 M	33 M (k=255)
131072	256	215	0,84	113 M	268 M (k=511)

Ανάλυση Jacobaeus

- Η προσέγγιση του Lee δεν λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι εάν μια ζεύξη είναι κατειλημμένη, τότε μειώνεται η πιθανότητα οι άλλες ζεύξεις να είναι κατειλημμένες (αφού είναι λιγότερο πιθανό να χρησιμοποιούνται)
- Μια πιο καλή (αλλά και πάλι προσεγγιστική ανάλυση) έγινε από τον Jacobaeus το 1950

$$B = \frac{(n!)^2}{k!(2n-k)!} p^k (2-p)^{2n-k}$$

Σύγκριση Lee - Jacobaeus

p = 0,7   N = 512   n=16

k	β (k/n)	Lee	Jacobeaus
14	0,875	5,65E-01	5,98E-01
16	1	2,21E-01	2,21E-01
20	1,25	1,35E-02	6,98E-03
24	1,5	3,25E-04	2,73E-05
28	1,75	3,74E-06	7,86E-09
31	1,94	8,77E-08	1,09E-12

k=31 non-blocking

Σύγκριση Lee - Jacobaeus

p = 0,1   N = 512   n=16

k	β (k/n)	Lee	Jacobeaus
6	0,375	9,75E-03	2,67E-02
8	0,5	2,82E-04	8,57E-04
10	0,625	4,89E-06	1,46E-05
12	0,75	5,65E-08	1,41E-07
14	0,875	4,66E-10	8,17E-10
16	1	2,88E-12	2,88E-12