



Τηλεφωνία

Μεταγωγή

Μεταγωγή

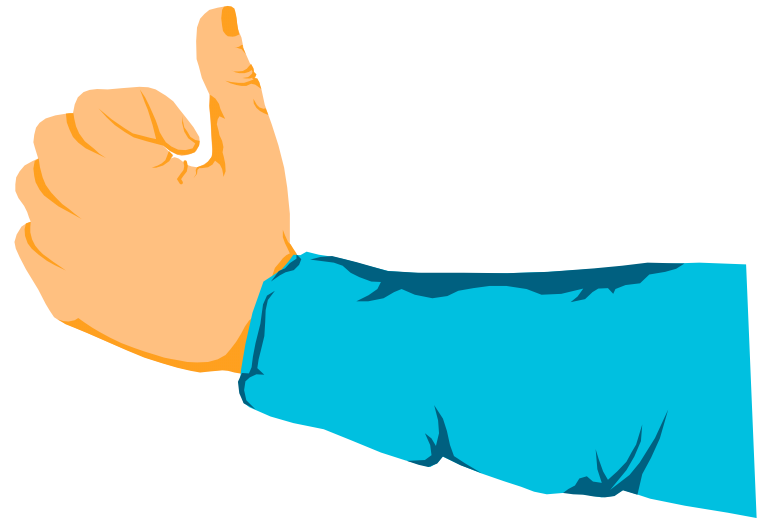
- (ορισμός) Η εγκατάσταση, όταν ζητηθεί (on demand), μιας ανεξάρτητης σύνδεσης από την επιθυμητή είσοδο στην επιθυμητή έξοδο, εντός ενός συνόλου εισόδων και εξόδων, για όσο διάστημα απαιτείται από την μεταφορά της πληροφορίας





Μεταγωγή

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



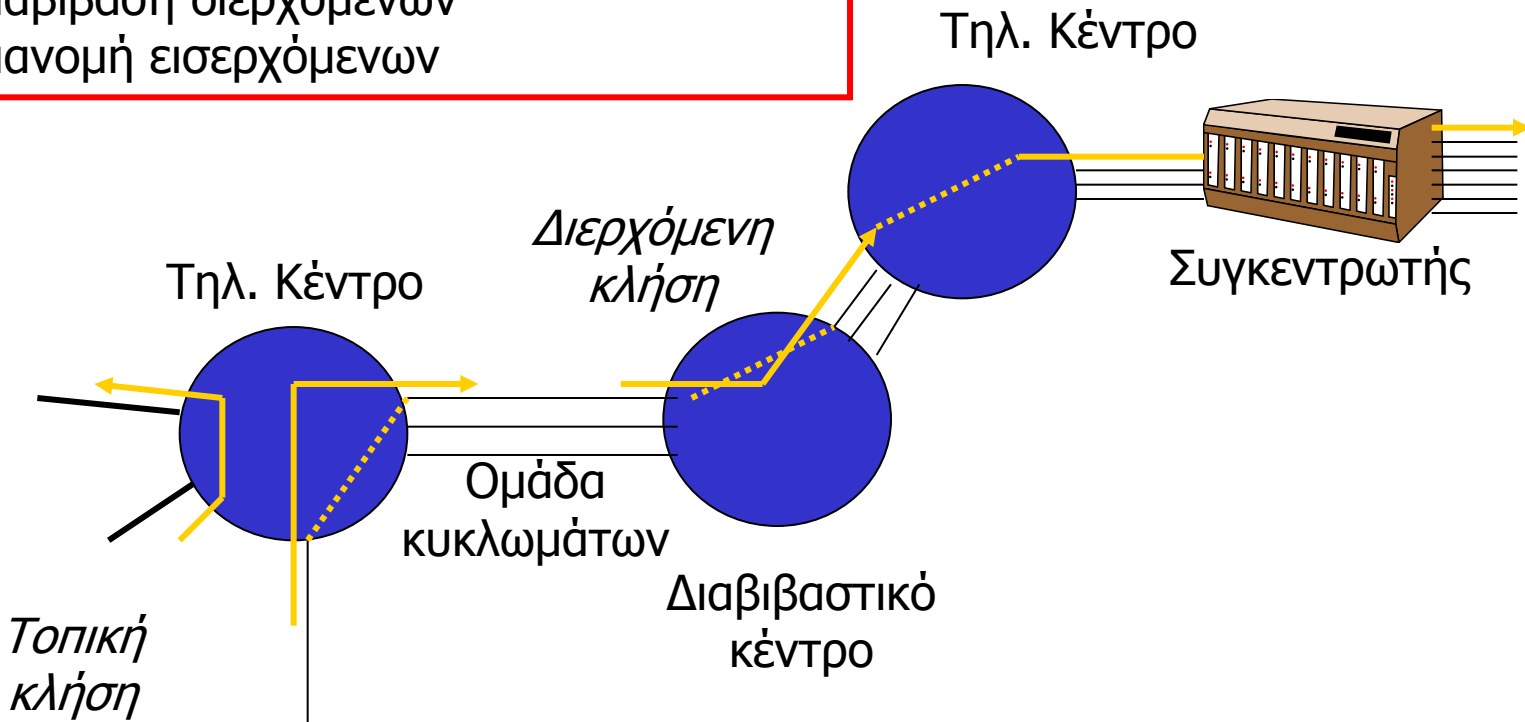


Εισαγωγή στην Μεταγωγή

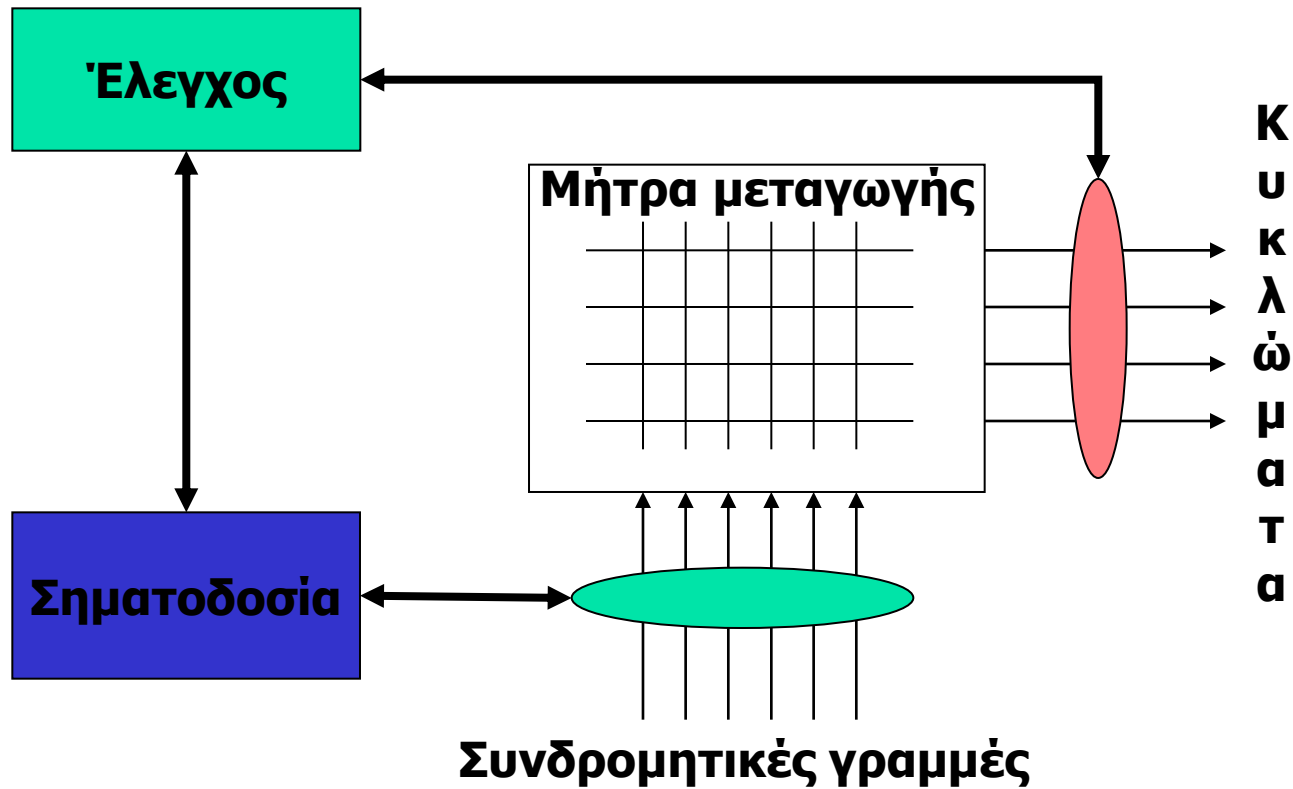
- Το τηλεφωνικό κέντρο δρομολογεί τις κλήσεις βάσει του σχεδίου αριθμοδότησης
 - π.χ. 1 302 369 6923
 - κωδικός χώρας
 - κωδικός περιοχής
 - κωδικός κέντρου
 - κωδικός πελάτη

Εισαγωγή στη Μεταγωγή

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



Σύστημα Μεταγωγής





Σύστημα Μεταγωγής

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



Βασικές λειτουργίες μεταγωγής

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



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



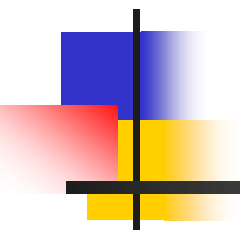
Βασικές απαιτήσεις μεταγωγής

- 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

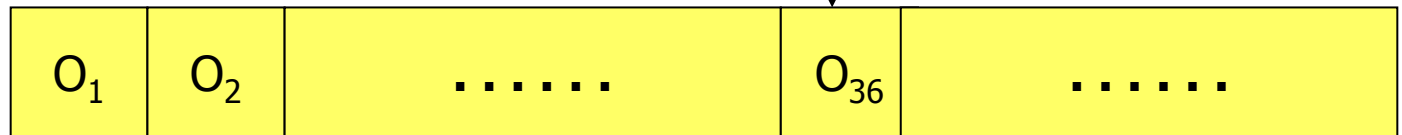
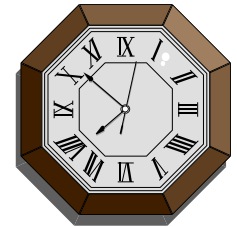
- Συνδεσιμότητα
 - πλήρης: οποιαδήποτε είσοδος σε οποιαδήποτε έξοδο
- Αποκλεισμός
 - Blocking: υπάρχει το ενδεχόμενο η εγκατάσταση κλήσης να αποτύχει επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι
 - Non-blocking: Εάν η είσοδος και η έξοδος είναι ελεύθερες, τότε μπορούν να συνδεθούν



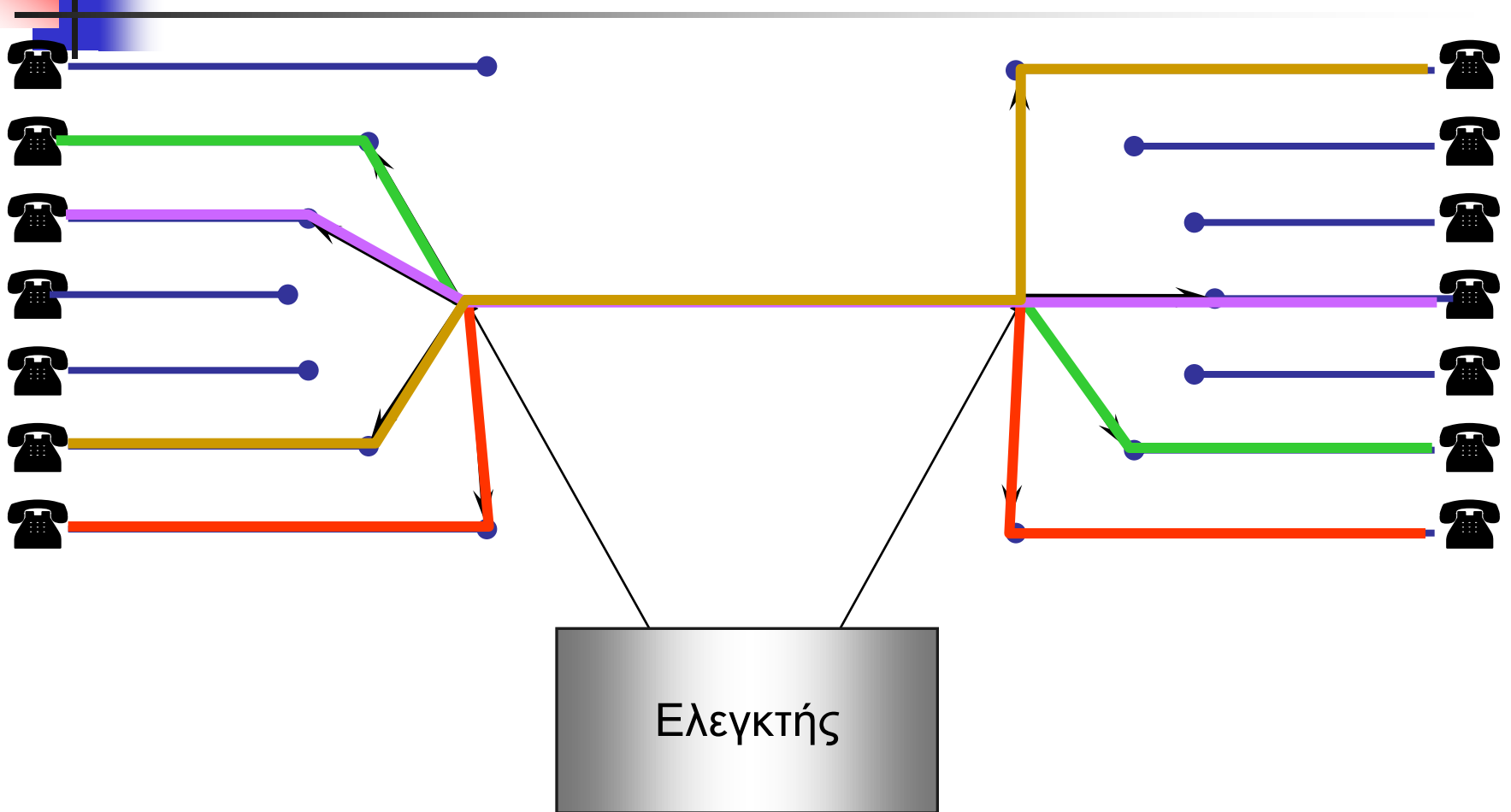
Μέθοδοι μεταγωγής

Μεταγωγή διαίρεσης χρόνου

- Χρονική αντιστοιχία εισόδων σε εξόδους

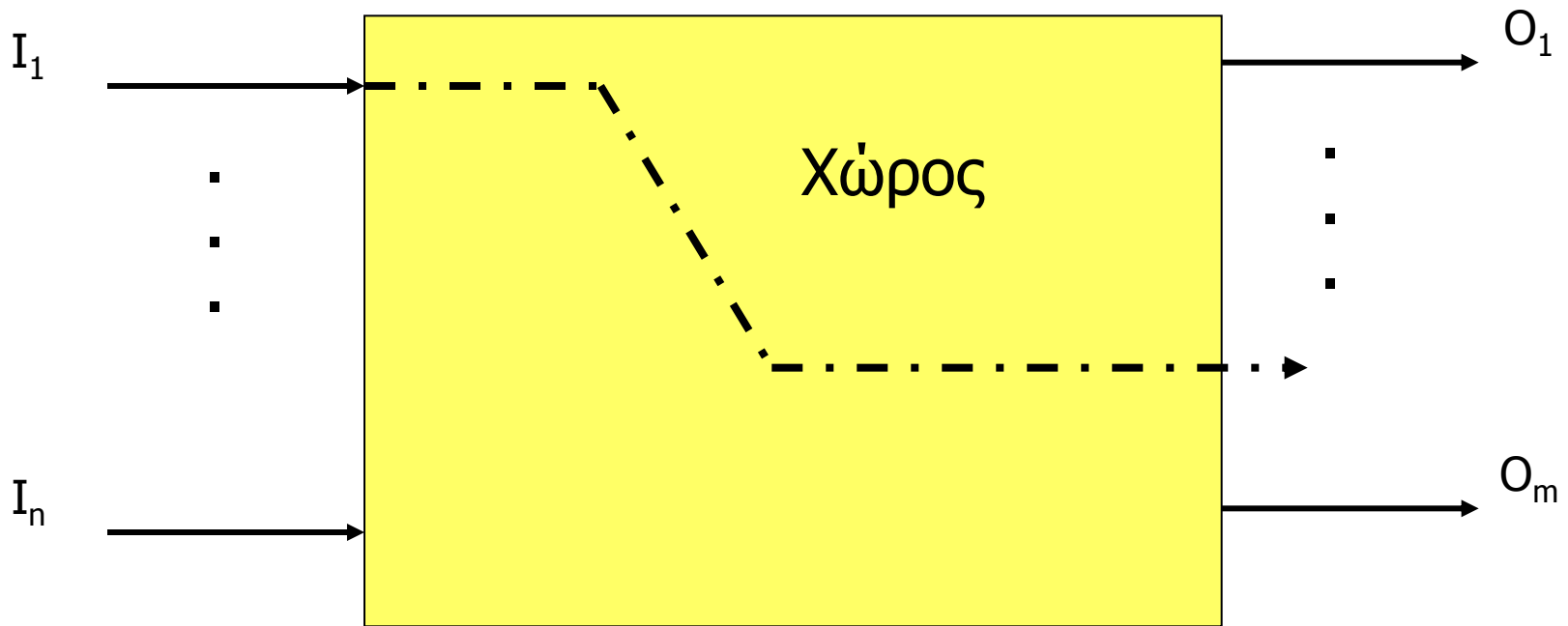


Μεταγωγή διαίρεσης χρόνου

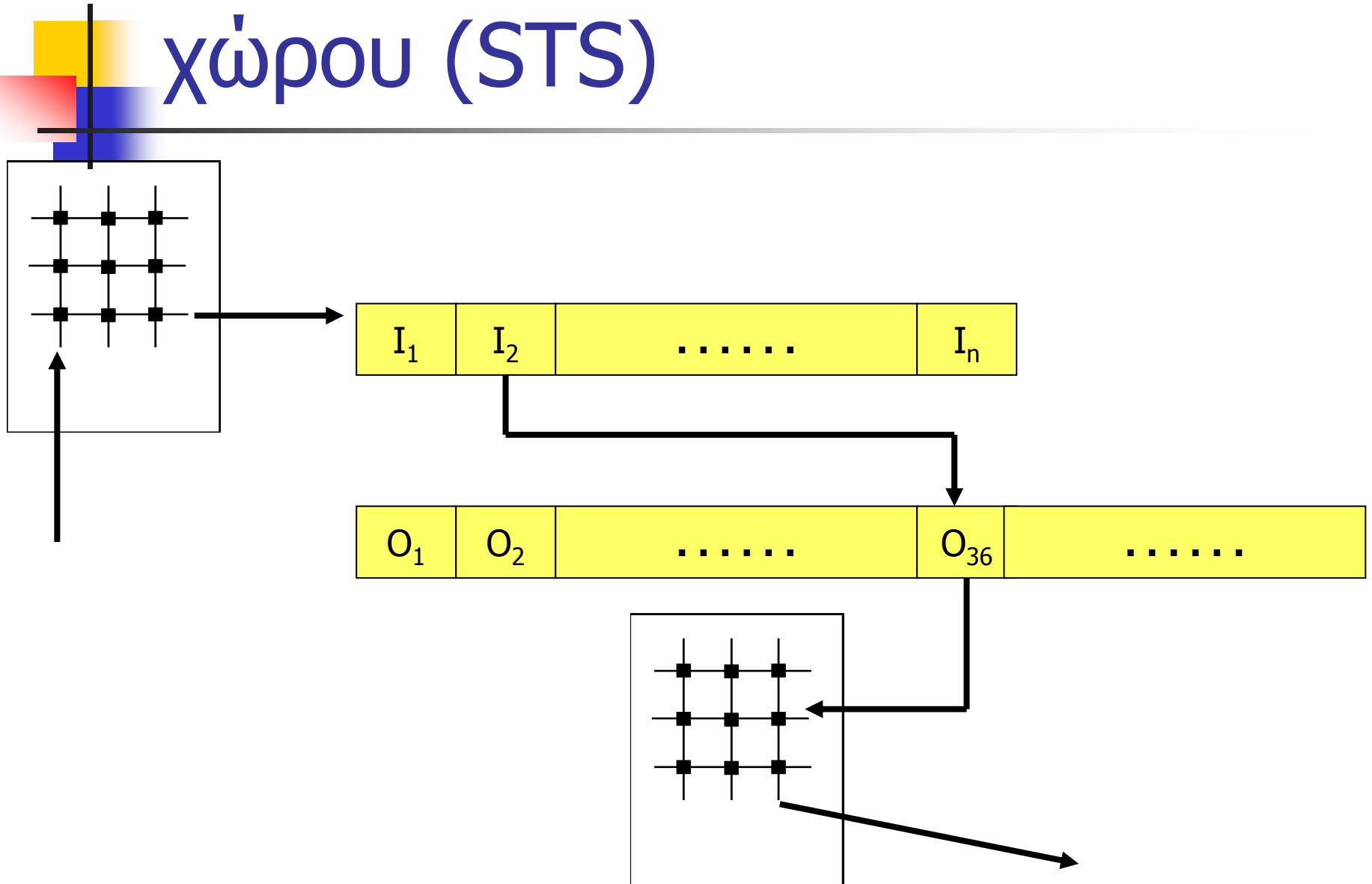


Μεταγωγή διαίρεσης χώρου

- Χωρική αντιστοιχία εισόδων σε εξόδους



Μεταγωγή χώρου-χρόνου- χώρου (STS)





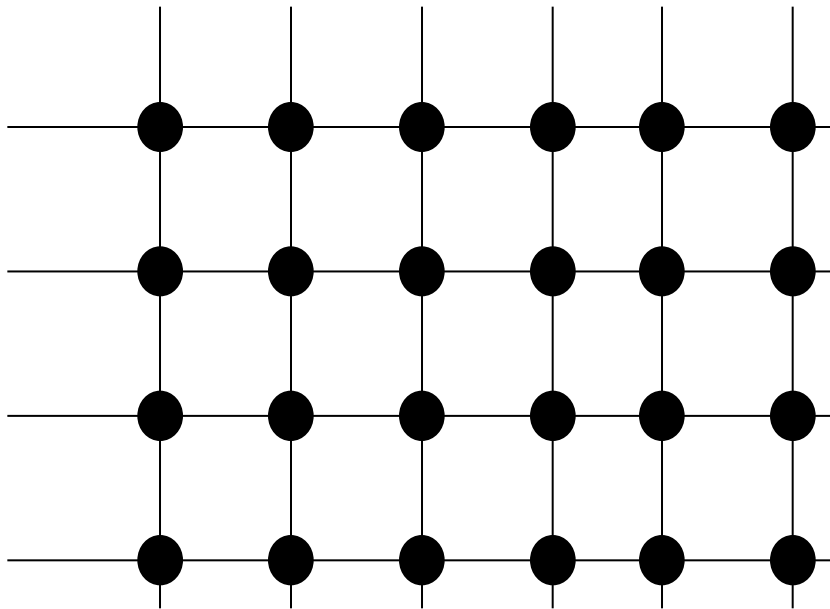
Διακόπτες μίας βαθμίδας

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

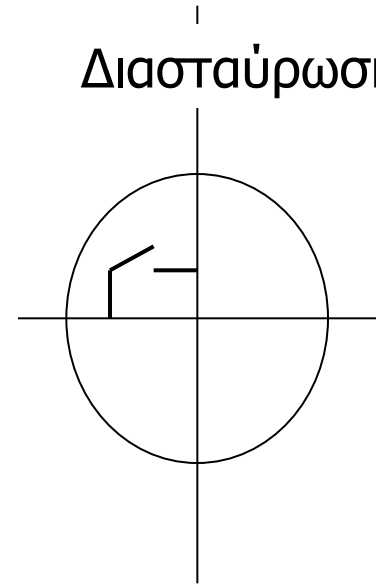
Διακόπτες μίας βαθμίδας

M έξοδοι

N εισοδοι



Διασταύρωση

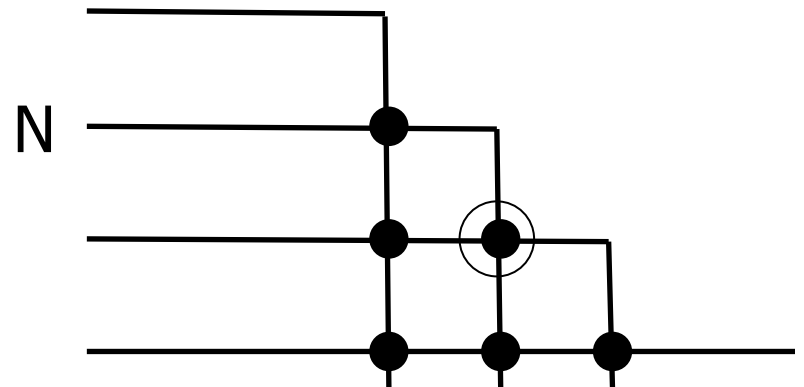
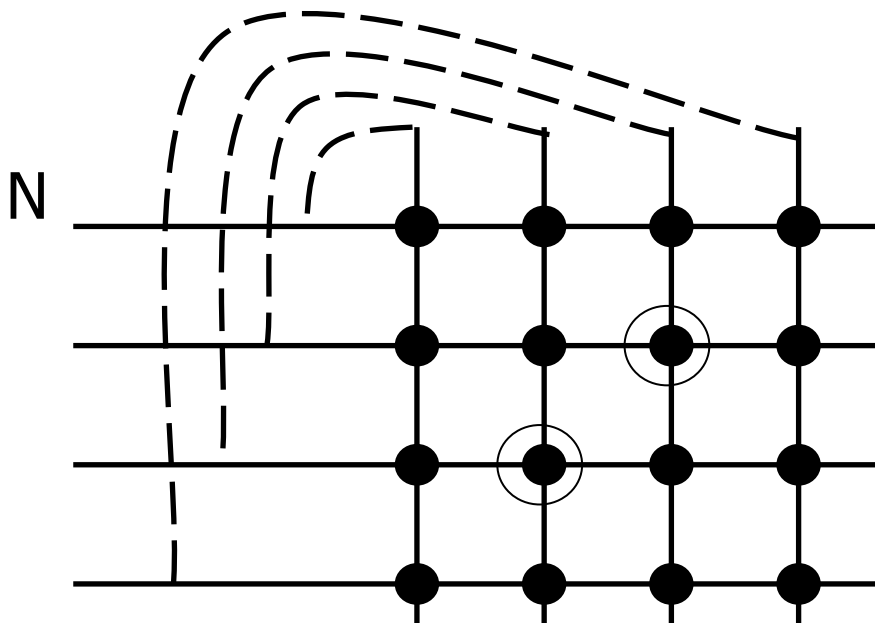




Διακόπτες μίας βαθμίδας

- 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

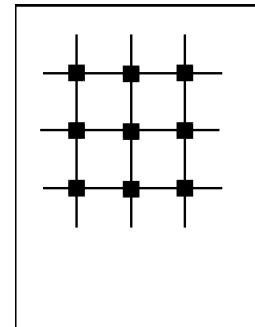
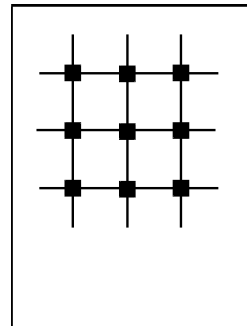
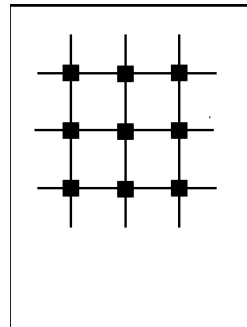
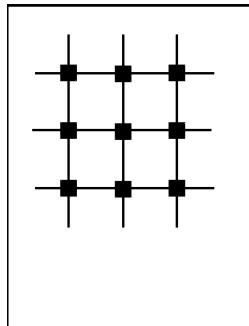
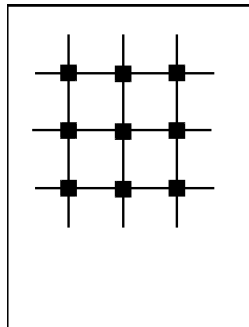


Διακόπτες πολλών βαθμίδων

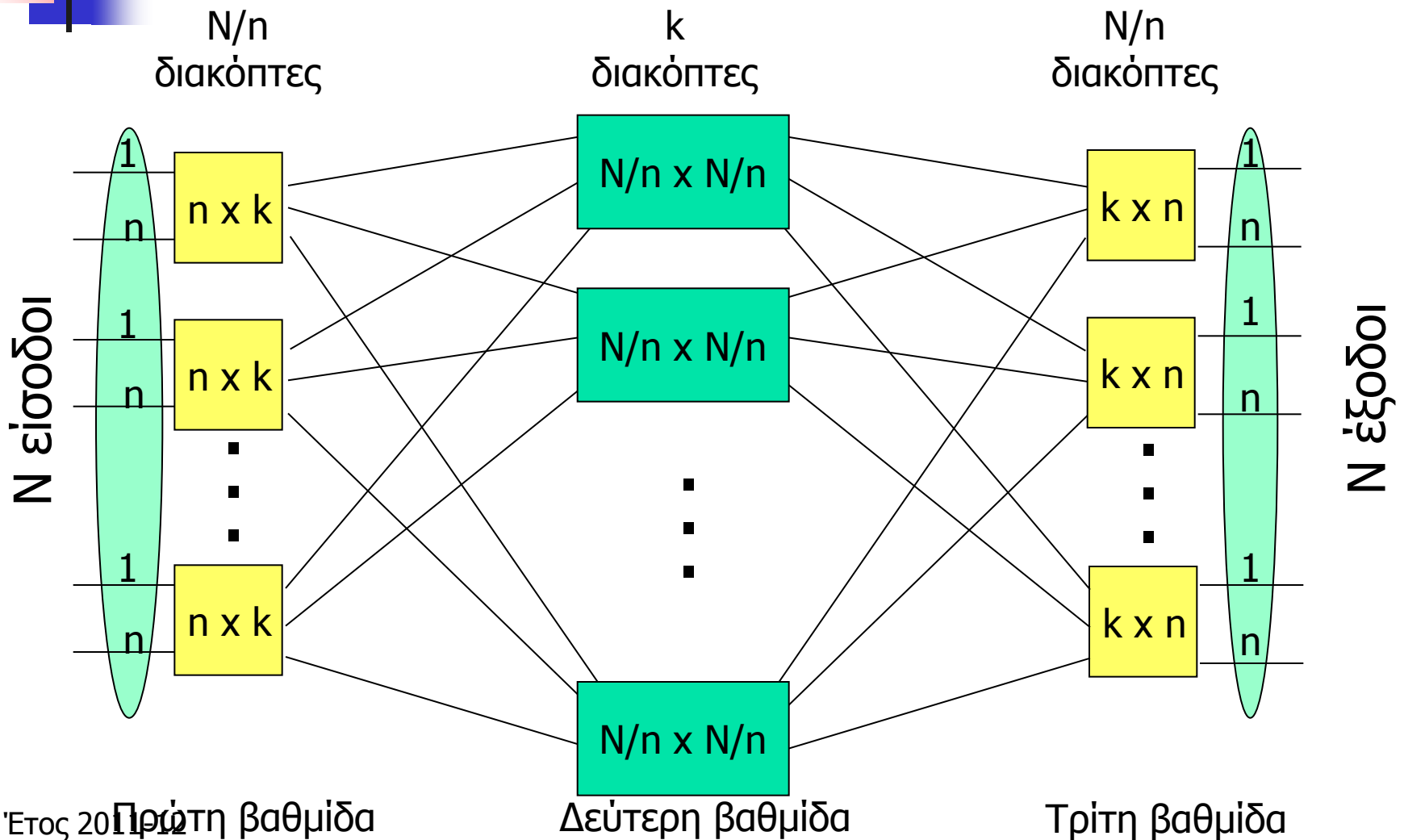
- Η είσοδος συνδέεται με την έξοδο μέσω δύο ή περισσότερων βαθμίδων (διακοπών)
- Οι διασταυρώσεις μοιράζονται μεταξύ πολλών συνδέσεων (δυσνητικά υπάρχει αποκλεισμός)
- Υπάρχει η δυνατότητα να παρέχονται πολλαπλές διαδρομές μεταξύ δύο οποιωνδήποτε θυρών

Μείωση σημείων μεταγωγής

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



Διακόπτες τριών βαθμίδων

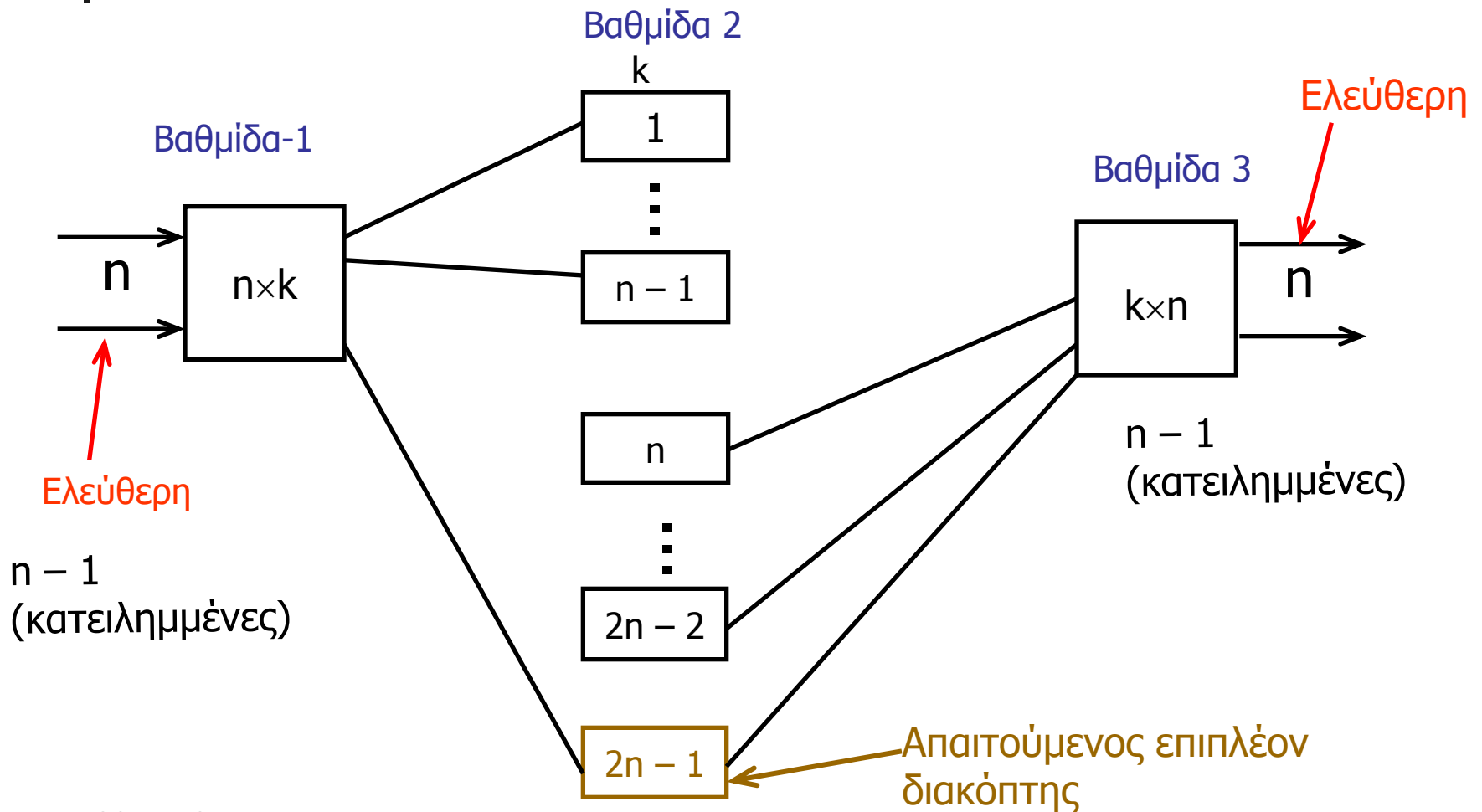




Θεώρημα του Clos

- Ένας διακόπτης που δεν παρουσιάζει αποκλεισμό (strictly non-blocking) επιτρέπει τη σύνδεση:
 - ενός ζεύγους ελεύθερης εισόδου και εξόδου
 - χωρίς διατάραξη των υπάρχουσών 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 $n = \sqrt{\frac{N}{2}} \Rightarrow N_x = 4N(\sqrt{2N} - 1)$



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 : $2 \times 10 \times 19 = 3.800$
 - Μεσαία βαθμίδα: $19 \times 20 \times 20 = 7.600$
 - Τρίτη βαθμίδα: $20 \times 19 \times 10 = 3.800$
- Ο διακόπτης μιας βαθμίδας έχει 19.900 διασταυρώσεις



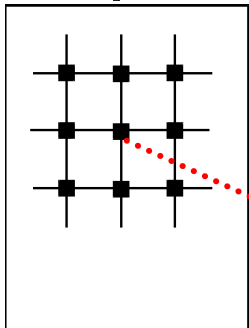
Μείωση σημείων μεταγωγής

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

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

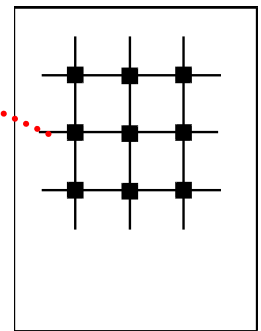
- Δύο ακέραιες λύσεις
 - $n=2$, $N=16$ οπότε $N^2 = 256$, $N_x = 288$
 - $n=3$, $N=27$ οπότε $N^2 = 729$, $N_x = 675$

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

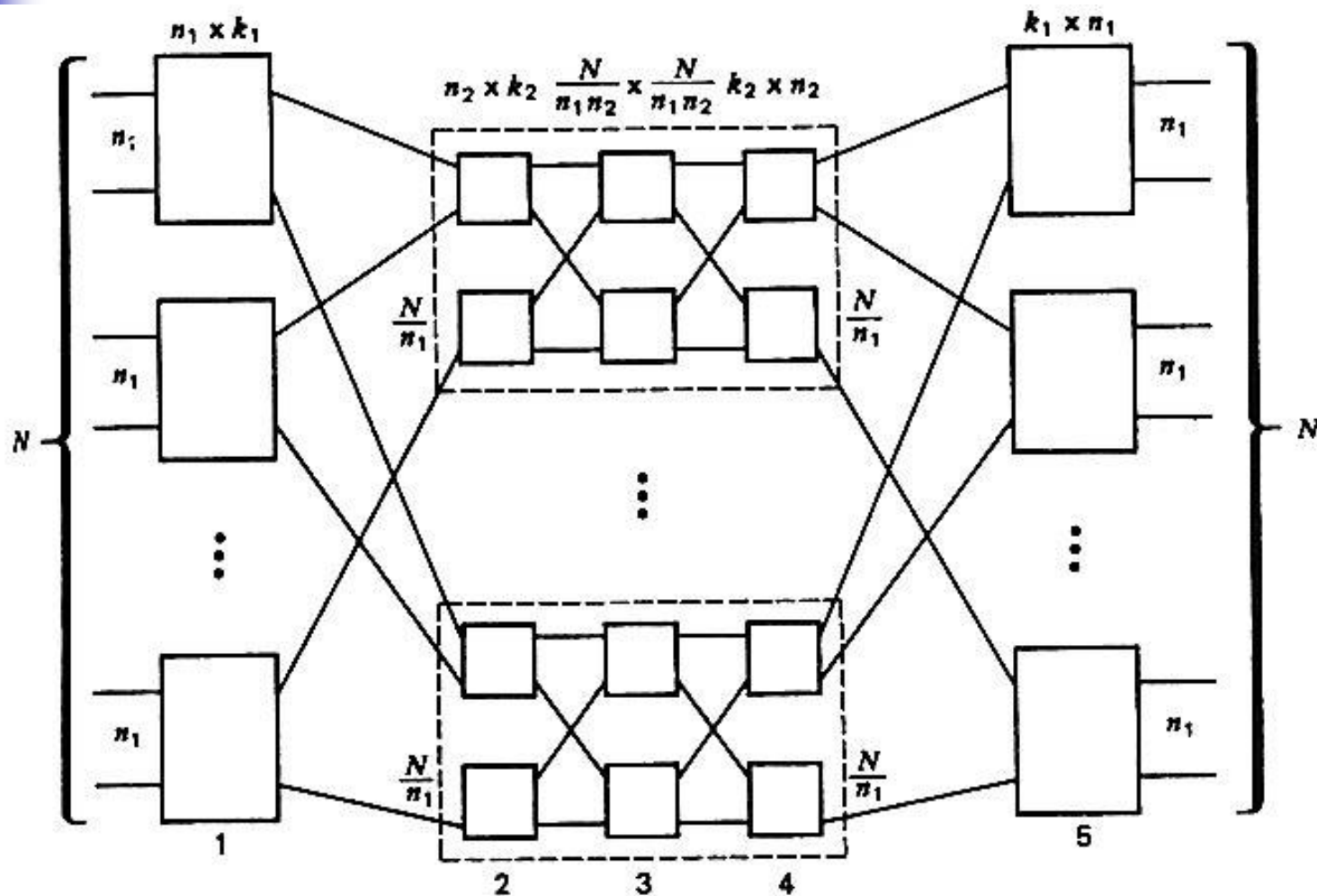




Μείωση σημείων μεταγωγής

- 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

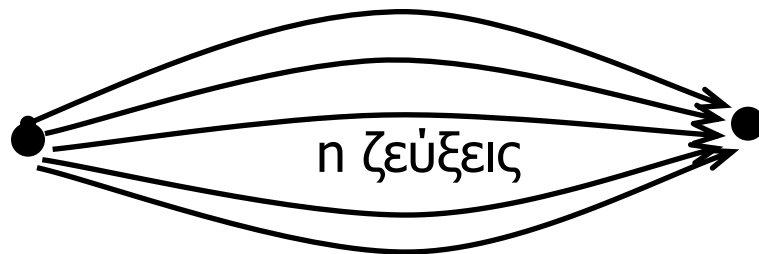
- Η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού ενός συνόλου k **παράλληλων** ζεύξεων, όπου η πιθανότητες αποκλεισμού p_i των ζεύξεων είναι ανεξάρτητες μεταξύ των, είναι

$$p = p_1 p_2 \cdots p_k$$

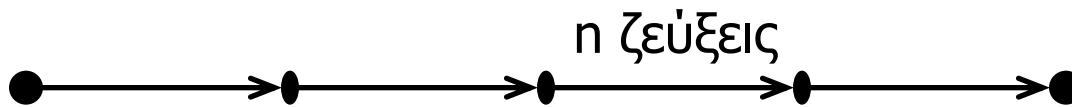
- Η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού ενός συνόλου k ζεύξεων **εν σειρά**, όπου η πιθανότητες αποκλεισμού p_i των ζεύξεων είναι ανεξάρτητες μεταξύ των, είναι

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

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 διακοπών 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

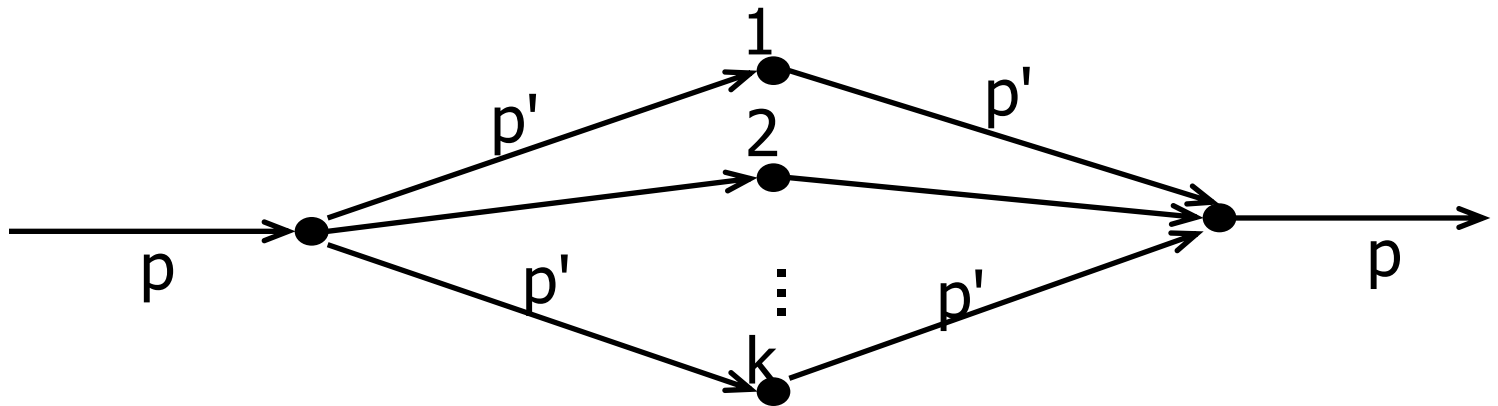


Πιθανότητα αποκλεισμού διακοπών 3-βαθμίδων

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

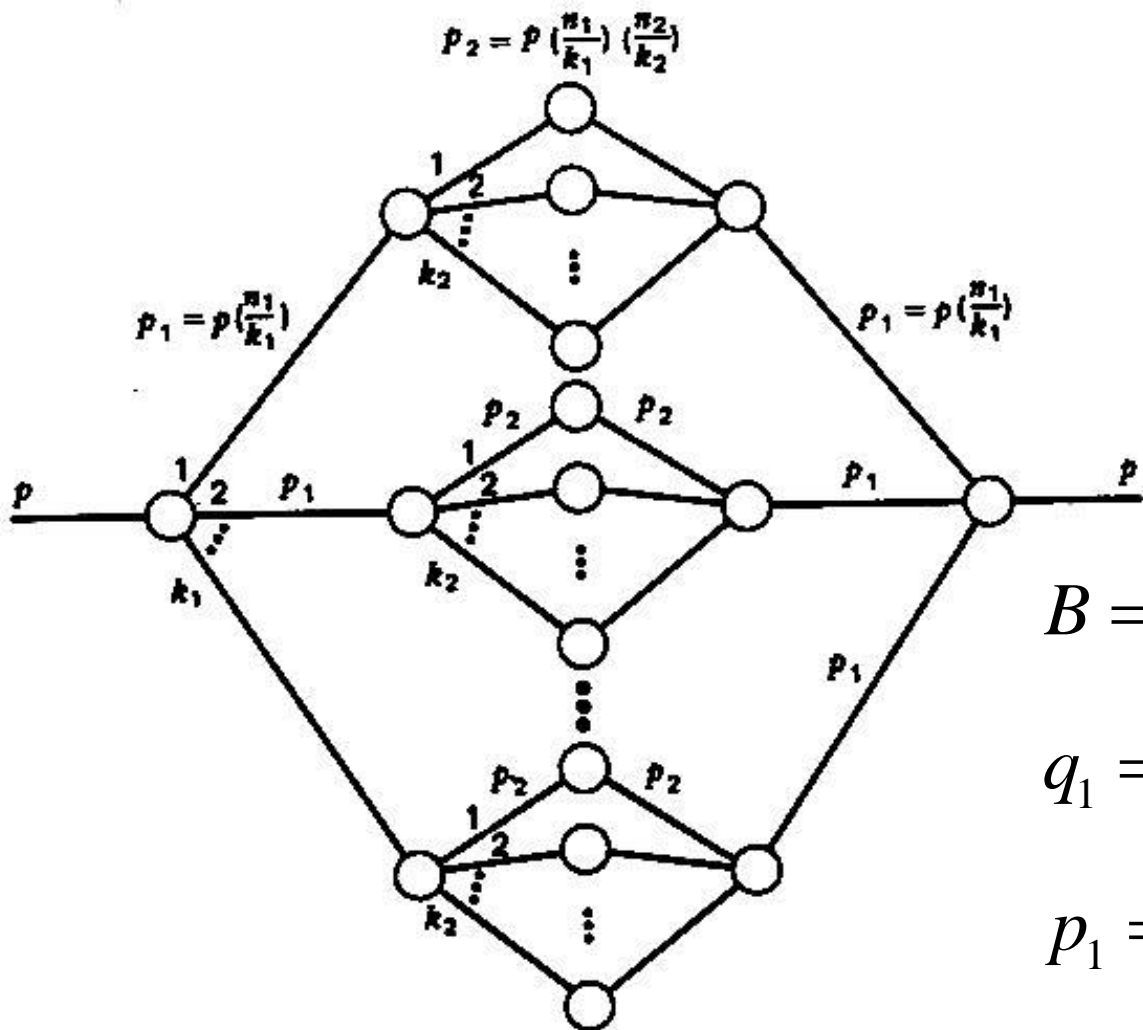
Πιθανότητα αποκλεισμού διακοπών 3-βαθμίδων

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 διακοπών 5-βαθμίδων



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

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

$$p_1 = p \frac{n_1}{k_1}, \quad p_2 = p \frac{n_1}{k_1} \frac{n_2}{k_2}$$



Παράδειγμα

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

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

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

Διακόπτες 3 βαθμίδων με αποκλεισμό

$$p = 0,1 \quad B < 0,2\%$$

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

$$p = 0,7 \quad B < 0,2\%$$

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	Jacobaeus
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	Jacobaeus
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