

# ΤΛ2002 Ψηφιακά Κυκλώματα Ι

## Μάθημα 0: Εισαγωγή

Λευτέρης Καπετανάκης



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Άνοιξη 2011

## Περιεχόμενα Μαθήματος

- Εισαγωγή στη σχεδίαση των **ψηφιακών** κυκλώματων
  - Εισαγωγή στη θεωρία της **Άλγεβρας Boole** και των **Λογικών Συναρτήσεων**, που αποτελούν το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την μελέτη και τη σχεδίαση των ψηφιακών κυκλωμάτων. Τεχνολογία και χρήση των **Λογικών Πυλών**, που είναι τα βασικά συστατικά για την κατασκευή των ψηφιακών κυκλωμάτων. Βασικές αρχές της ψηφιακής σχεδίασης και τρόποι για τη **σχεδίαση απλούστερων κυκλωμάτων**. Λειτουργία και εφαρμογές βασικών **συνδυαστικών** (combinational) ψηφιακών κυκλωμάτων. Μέθοδος ανάλυσης και σχεδίασης **ακολουθιακών** λογικών κυκλωμάτων. Μελέτη σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων **απαριθμητών και καταχωρητών**. **Αλγοριθμικές μηχανές κατάστασης**.
- Σκοπός του μαθήματος
  - Εμπειρία σχεδιασμού και υλοποίησης λογικών κυκλωμάτων και δυνατότητα βελτιστοποίησης αυτών όσον αφορά διάφορους περιορισμούς: μέγεθος (κόστος), ταχύτητα, αξιοπιστία.

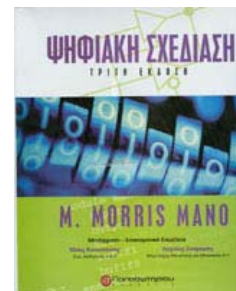
## Βιβλίο

### ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Περιλαμβάνει υποκεφάλαια που περιγράφουν τη γλώσσα περιγραφής υλικού Verilog HDL (Hardware Description Language)

Περιέχει CD-ROM, στο πίσω μέρος του βιβλίου, με λογισμικό τυπικού προσομοιωτή της Verilog

**Συγγραφέας:** MANO MORRIS  
**Εκδότης:** ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ  
**Έτος Έκδοσης:** 2010 (2005)



ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 3

## Θεωρίες: ΠΟΥ & ΠΟΤΕ

- ❑ **Θεωρία:** Ενθαρρύνεται και αναμένεται η παρακολούθηση και η συμμετοχή από όλους σας.
  - Υπολογίζεται να γίνουν 12-13 μαθήματα ?????
  - Τόπος → Αίθουσα 8
  - Ημέρα → Τετάρτη
  - Ώρα → 16:00-19:00

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 4

## Δομή Μαθήματος

### □ Διαλέξεις:

- 1 εβδομάδα στη Δυαδική Κωδικοποίηση (αριθμητικά συστήματα, κώδικας BCD, Gray, Humming)
- 2 εβδομάδες στην άλγεβρα Boole και στις Λογικές Πύλες
- 2 εβδομάδες στην απλοποίηση σε επίπεδο πυλών (χάρτης Karnaugh)
- 2 εβδομάδες στην συνδυαστική λογική (Αθροιστές, Συγκριτές, Κωδικοποιητές/Αποκωδικοποιητές, Πολυπλέκτες/Αποπλέκτες)
- 1 εβδομάδα στη μνήμη και την προγραμματίσιμη λογική (RAM, ROM, PLA PAL, PLDs, FPGAs)
- 1 εβδομάδα σε ανασκόπηση και συζήτηση προβλημάτων
- 2 εβδομάδες στη σύγχρονη ακολουθιακή λογική (Μανδαλωτές, Flip-Flop, ανάλυση και σχεδίαση ακολουθιακών κυκλωμάτων με ρολόι)
- 1 εβδομάδα στους μετρητές και καταχωρητές
- 1 εβδομάδα σε ανασκόπηση και συζήτηση προβλημάτων

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 5

## Βαθμολογία

### □ Τελικός βαθμός

- |                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| – Ασκήσεις (Εργασία στο σπίτι)    | 20%         |
| – Ενδιάμεση Εξέταση (προαιρετική) | 30%         |
| – Τελική Εξέταση                  | 50% (ή 80%) |

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 6

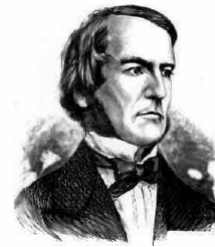
## 1854

- **George Boole**: έδειξε ότι η **λογική επιστήμη** είναι μαθηματικά, όχι μόνο φιλοσοφία
  - Άλγεβρα Boole: τα μαθηματικά των **δύο τιμών**
- Δίτιμο αριθμητικό σύστημα
  - Δύο στοιχεία: 0/1  $\Leftrightarrow$  ψευδές/αληθές
  - Συμβολική λογική

Χρησιμοποίηση συμβόλων αντί για πλήρεις προτάσεις, για την αναπαράσταση των λογικών προτάσεων, και χειρισμός των συμβόλων αυτών σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες.

- 3 πράξεις:

AND	OR	NOT

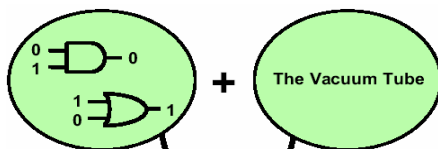


Όλοι οι υπολογιστές χρησιμοποιούν άλγεβρα Boole

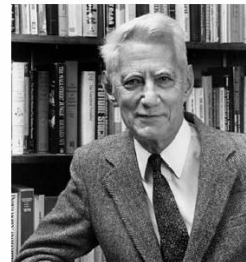
ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 7

## 1938 Θεμελιώδης συσχέτιση μεταξύ λογικής και κυκλωμάτων



Lee de Forest, 1906



Παρά την ύπαρξη των ηλεκτρομηχανικών **ρελέ** (ηλεκτρονόμων) και την εισαγωγή της **λυχνίας κενού** το 1906, τα **ψηφιακά** ηλεκτρονικά ήταν στην αφάνεια για τριάντα χρόνια

- **Claude Shannon (MIT master thesis)**
  - Υλοποίησε την άλγεβρα Boole χρησιμοποιώντας **διακόπτες**
  - Περιέγραψε την πληροφορία χρησιμοποιώντας δυαδικά ψηφία (**binary digits, bits**)

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 8

## Αντιστοιχία με διακόπτες

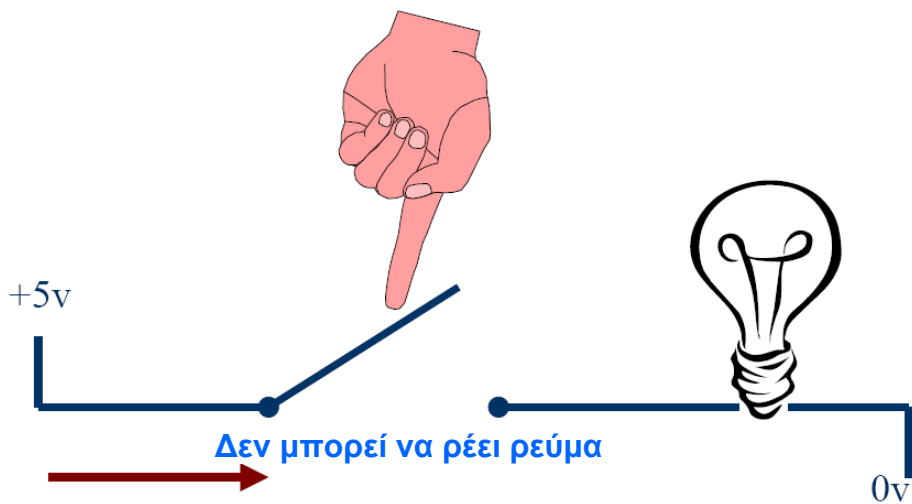


ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 9

## «Κυκλώματα Διακοπών»

- Για παράδειγμα, ένας διακόπτης μπορεί να ελέγξει, όταν ένα φως ανάβει ή δεν ανάβει.

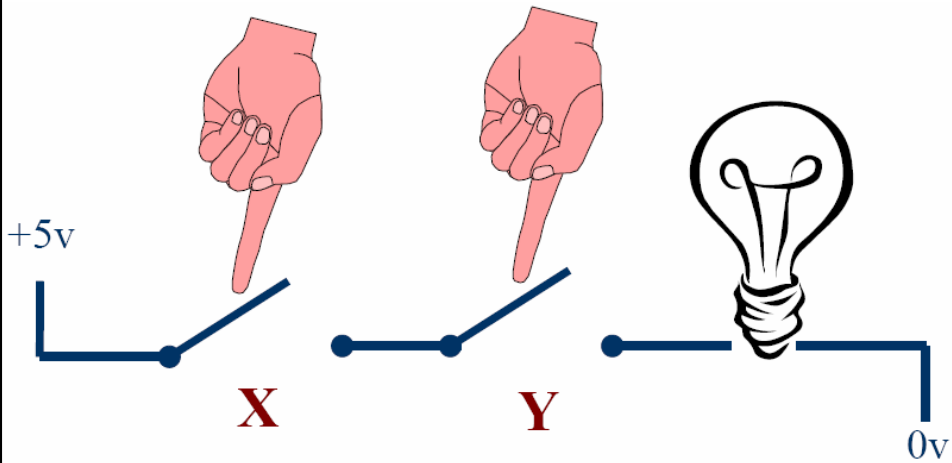


ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 10

## Πύλη "AND"

- ❑ Το φως ανάβει όταν και οι δύο διακόπτες είναι κλειστοί : (διακόπτης **X**) **AND** (διακόπτης **Y**).

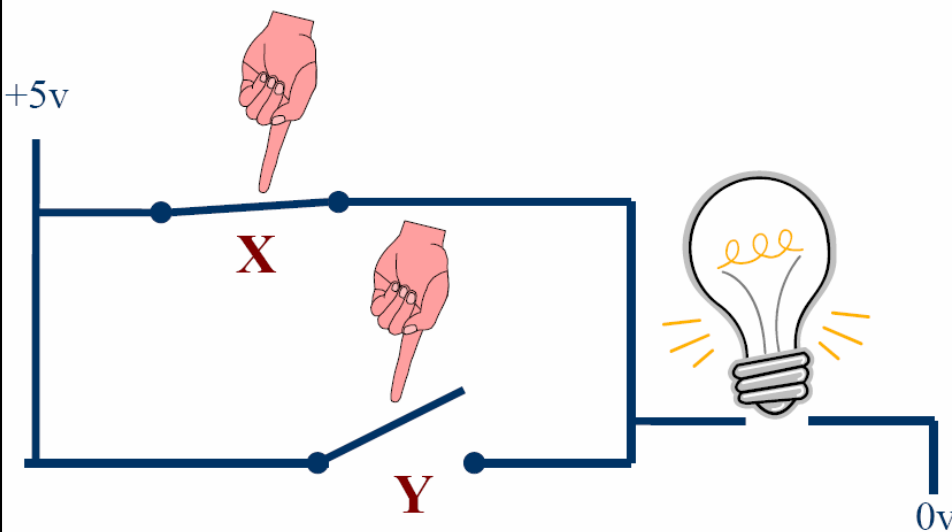


ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 11

## Πύλη "OR"

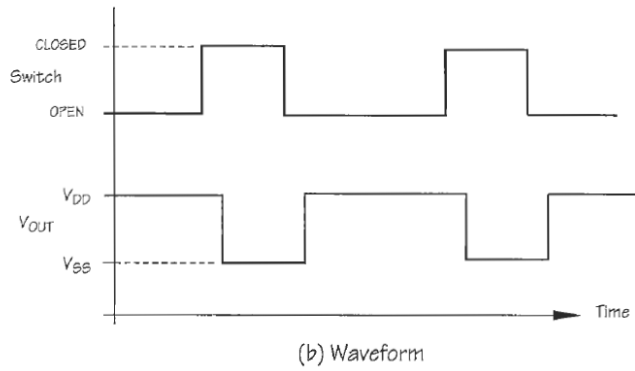
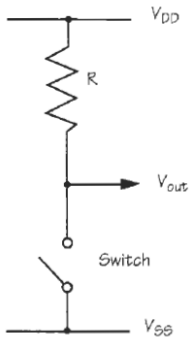
- ❑ Το φως ανάβει αν είτε ο διακόπτης **X** **OR** ο διακόπτης **Y** είναι κλειστοί.



ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 12

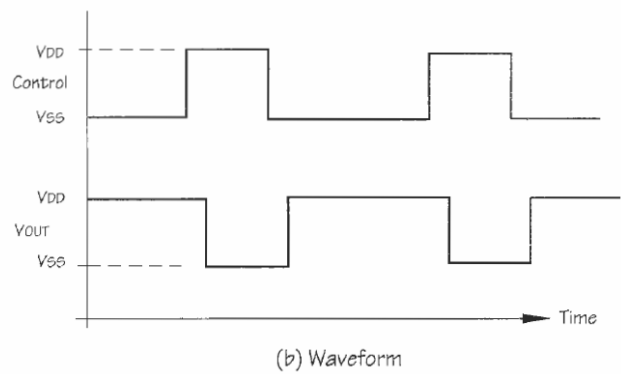
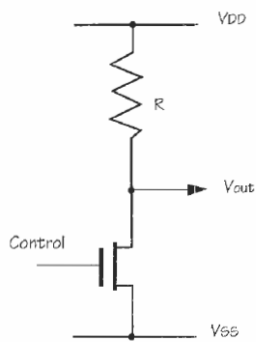
## Κύκλωμα αντιστάτη-διακόπτη



TA2002 L0: Εισαγωγή

Slide 13

## Κύκλωμα αντιστάτη-τρανζίστορ NMOS



TA2002 L0: Εισαγωγή

Slide 14

**Οι σχεδιαστές  
ψηφιακών  
συστημάτων δεν  
έχουν έγνοια του τι  
βρίσκεται στο  
εσωτερικό της  
πύλης**



ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 15

## Ορολογία

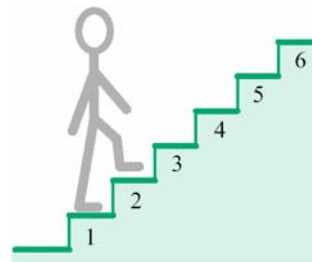
**Αναλογικά** είναι τα μεγέθη που οι καταστάσεις τους μπορούν να πάρουν *συνεχείς τιμές* και σε κάθε τιμή του μεγέθους αντιστοιχεί μία πληροφορία.

Όλα τα μεγέθη της κλασικής φυσικής, όπως απόσταση, ταχύτητα, θερμοκρασία, πίεση, ένταση ηλεκτρικού ρεύματος κ.λπ. είναι αναλογικά.



**Ψηφιακά** είναι τα μεγέθη, και τα αντίστοιχα συστήματα, που οι καταστάσεις τους παίρνουν *διακριτές τιμές*.

- Συνήθως δύο τιμές
- Οι διακόπτες έχουν δύο τιμές (ανοιχτός-κλειστός, ναι-όχι)



ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

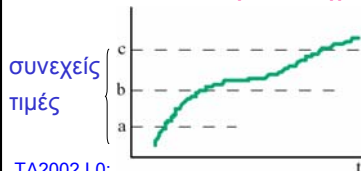
Slide 16



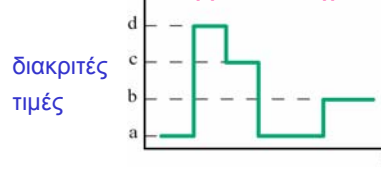
## Ψηφιακό και αναλογικό σήμα

- ❑ Η **πληροφορία** καθαυτή είναι ιδεατό αντικείμενο και, για να μεταδοθεί, πρέπει να πάρει φυσική μορφή.
  - Αυτό γίνεται με την **κωδικοποίηση** της πληροφορίας και κατόπιν την **εγγραφή** της σε κάποιο φυσικό μέσο, που αποτελεί το φορέα μετάδοσής της
- ❑ Η **φυσική μορφή της πληροφορίας ονομάζεται σήμα**.
  - Παραδείγματα σημάτων
  - ο ήχος (διαμόρφωση πίεσσης αέρα)
  - η εικόνα της τηλεόρασης (διαμόρφωση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων)
  - το γραπτό κείμενο (διαμόρφωση της φωτεινότητας του χαρτιού με κωδικοποιημένα σχήματα, που ονομάζονται γράμματα)

### Αναλογικό σήμα



### Ψηφιακό σήμα



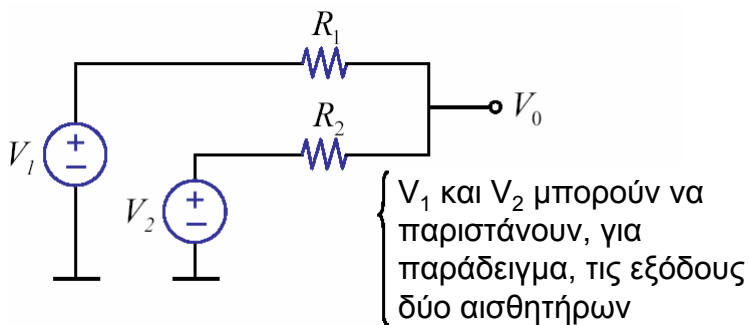
ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 17

## Γιατί χρησιμοποιούμε ψηφιακά σήματα;

- ❑ Στο παρελθόν ...

Επεξεργασία αναλογικού σήματος



Με επαλληλία: 
$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2$$

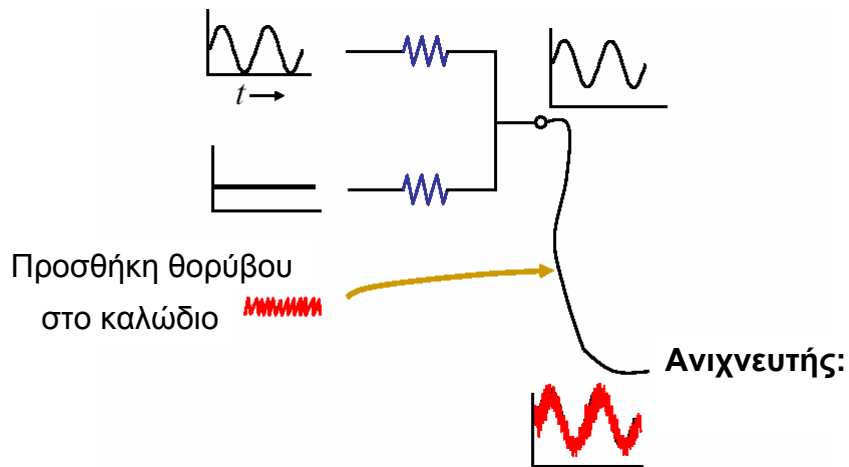
Αν  $R_1 = R_2$  : 
$$V_0 = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Το άνω είναι ένα κύκλωμα “αθροιστή”

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 18

## Πρόβλημα θορύβου



...ο θόρυβος εμποδίζει την ικανότητά μας να διακρίνουμε τιμές με μικρές διαφορές μεταξύ τους- π.χ. ανάμεσα 3.1 V και 3.2 V

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 19

## Διακριτές τιμές

Περιορισμός του αριθμού των τιμών σε δύο:

**Δυαδικό σήμα**

**ΥΨΗΛΗ**

**ΧΑΜΗΛΗ**

5V

0V

**ΑΛΗΘΗΣ**

**ΨΕΥΔΗΣ**

1

0

Η κατάσταση "0" και "1" ενός δυαδικού σήματος ονομάζεται διεθνώς **bit**

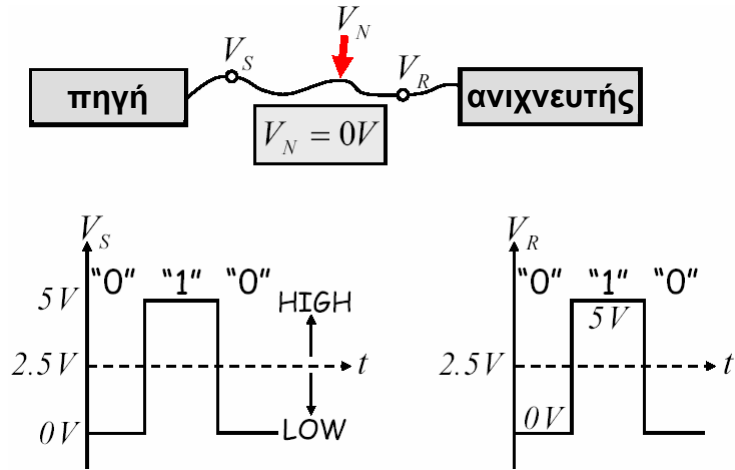
**Γιατί είναι χρήσιμη τέτοια διακριτικοποίηση**

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 20

## Ψηφιακό σύστημα

Χωρίς θόρυβο

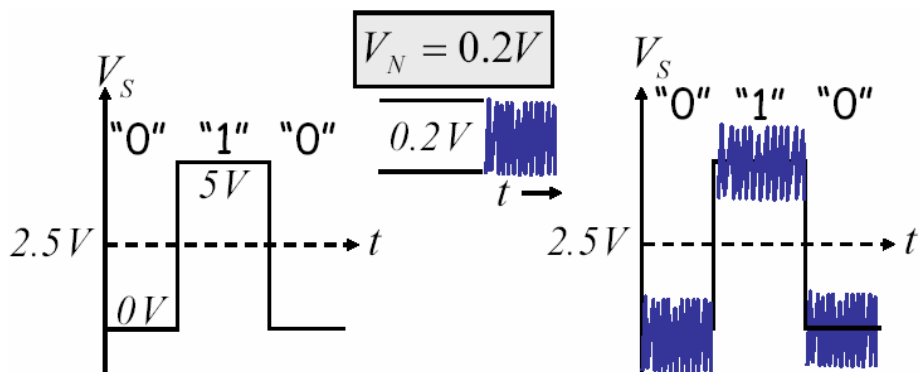


ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 21

## Ψηφιακό σύστημα

Με θόρυβο



ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 22

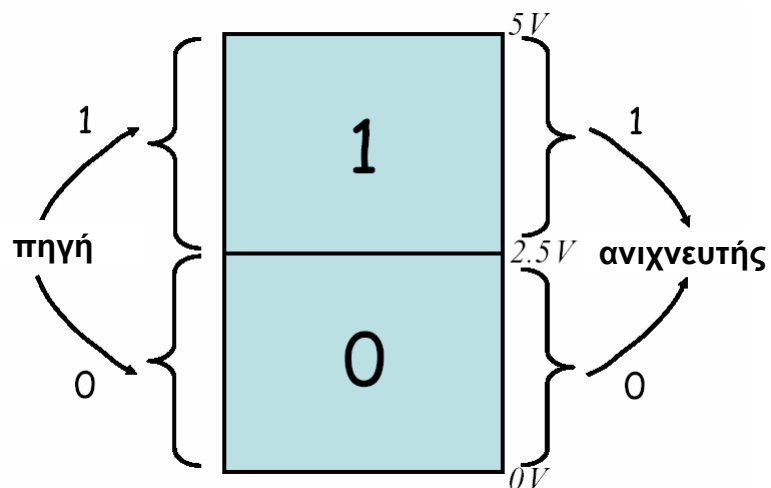
## Ψηφιακό σύστημα

Για καλύτερη ανοσία στο θόρυβο  
Πολύ μεγάλα περιθώρια θορύβου

Για “1” περιθώριο θορύβου: από 5 V έως 2.5V = 2.5 V

Για “0” περιθώριο θορύβου: από 0 V έως 2.5V = 2.5 V

## Τάσεις κατωφλιού και λογικές τιμές

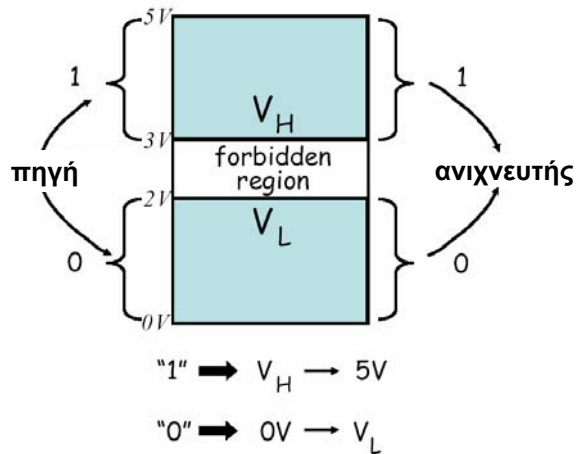


## Όμως, όμως, όμως .....

Τι γίνεται με την τιμή 2.5 V

Εντάξει ... δημιουργία απαγορευμένης περιοχής

Για παράδειγμα



TA2002 L0: Εισαγωγή

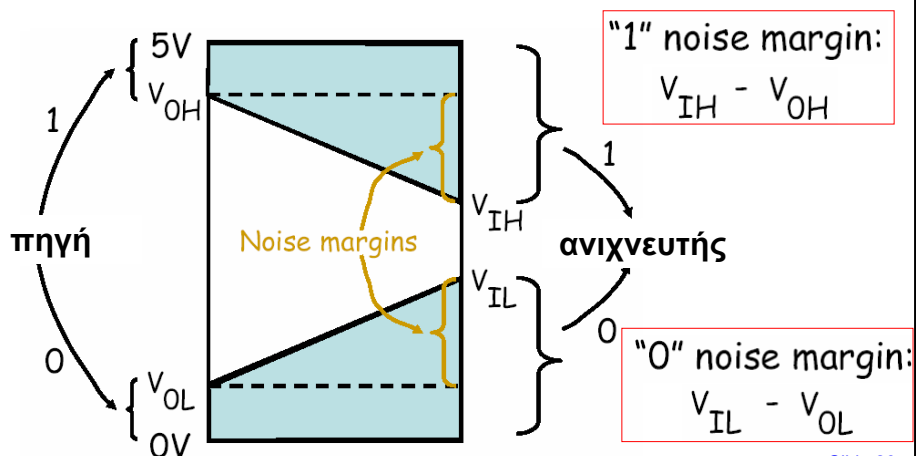
Slide 25

## Αλλά, αλλά, αλλά .....

Που βρίσκονται τα περιθώρια του θορύβου;

Εντάξει ... δημιουργία απαγορευμένης περιοχής

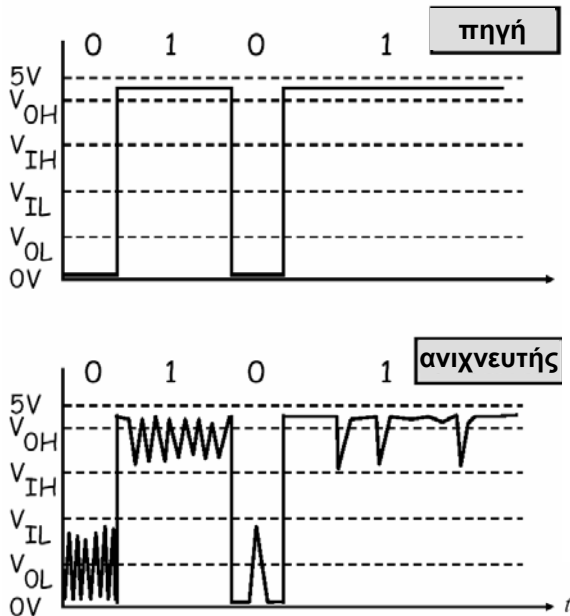
Τι συμβαίνει όταν η πηγή στέλνει 1:  $V_H$ ;



TA2002 L0: Εισαγωγή

Slide 26

## Τα ψηφιακά συστήματα έχουν αυστηρή πειθαρχία



Όταν όλες οι εισοδοί του ψηφιακού συστήματος ικανοποιούν τις έγκυρες τάσεις κατωφλίου εισόδου, τότε το σύστημα εγγυάται ότι όλες οι έξοδοί του θα ικανοποιούν τις σωστές τάσεις κατωφλίου εξόδου.

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 27

## Επεξεργασία ψηφιακών σημάτων

Να θυμάστε ότι έχουμε δύο τιμές

$1, 0 \Rightarrow$  Άμεση συσχέτιση με το λογισμό των προτάσεων: Αληθές, Ψευδές  
 $\Rightarrow$  Μπορεί να απεικονίζει αριθμούς

*Κάθε πληροφορία μπορεί να κωδικοποιηθεί σαν ένας συνδυασμός δυαδικών σημάτων.*

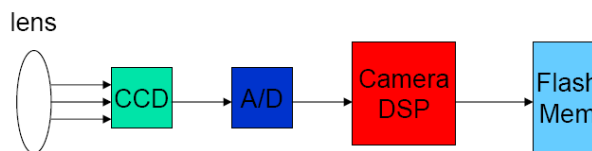
*Κ δυαδικά σήματα καλύπτουν (κωδικοποιούν) μέχρι  $2^K$  διακριτές πληροφορίες.*

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 28

## Ψηφιακό Σύστημα

- ❖ Πλεονέκτημα: εγγενή ικανότητα να διαχειρίζεται την υποβάθμιση του ηλεκτρικού σήματος
- ❖ Συνύπαρξη
  - Ψηφιακή λογική για τον αλγοριθμικό έλεγχο και τη διαχείριση δεδομένων
  - Αναλογική λογική διασύνδεση των ψηφιακών συστημάτων με τον πραγματικό κόσμο με την αίσθηση και το χειρισμό του γύρω περιβάλλοντος



Digital Camera

ΤΑ2002 Λ0: Εισαγωγή

Slide 29

## Δίτιμη Άλγεβρα Boole

Η μεθοδική μελέτη των ψηφιακών κυκλωμάτων βασίζεται στην άλγεβρα Boole, οι βασικές αρχές της οποίας θεμελιώθηκαν από τον G. Boole στη δεκαετία του 1850.

- Μία συνάρτηση Boole είναι μια μαθηματική συνάρτηση η οποία μπορεί να πάρει **μόνο δύο τιμές**: το λογικό “0” ή “1”
- Μία συνάρτηση Boole” περιλαμβάνει:

- α) **δυναδικές “λογικές” μεταβλητές** (πχ,  $x, y, z$ , οι οποίες μπορούν να πάρουν μόνο τις λογικές τιμές “0” ή “1”)
- β) **λογική πρόσθεση** (“+”, καλείται επίσης και ως πράξη OR)
- γ) **λογικό πολλαπλασιασμό** (“.”, καλείται επίσης και ως πράξη AND)
- δ) **λογική αντιστροφή** (“’” ή “ $\bar{\phantom{x}}$ ”, καλείται επίσης και ως πράξη NOT)

ΤΑ2002 Λ0: Εισαγωγή

Slide 30

## Βασικοί Λογικοί Τελεστές

- AND (επίσης:  $\cdot, \wedge$ )
  - OR (επίσης:  $+, \vee$ )
  - NOT (επίσης:  $' , -$ )
- Διαδικοί (Binary)
- Μοναδιαίος (Unary)
- $F(a,b) = a \cdot b$ , διαβ.  $F = 1$  αν και μόνο αν  $a=b=1$
  - $G(a,b) = a+b$ , διαβ.  $G = 1$  αν  $a=1$  ή αν  $b=1$
  - $H(a) = a'$ , διαβ.  $H = 1$  αν  $a = 0$

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 31

## Συναρτήσεις Δυαδικής Λογικής

$F(\text{vars}) = \text{έκφραση}$

↓

Σύνολο δυαδικών μεταβλητών

- Τελεστές ( $+, \cdot, '$ )
- Μεταβλητές
- Σταθερές ( $0, 1$ )
- Ομαδοποίηση (παρενθέσεις)

Παράδειγμα:  $F(a,b) = a' \cdot b + b'$   
 $G(x,y,z) = x \cdot (y+z')$

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 32



## Συναρτήσεις Boole

- ❑ Όλες οι συναρτήσεις Boole μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας λογικά κυκλώματα τα οποία περιέχουν **ΜΟΝΟ** τις τρεις βασικές θεμελιώδεις λογικές πύλες, AND, OR και NOT
- ❑ **Λογικές πύλες** ονομάζουμε τα λογικά κυκλώματα, τα οποία υλοποιούν τις βασικές πράξεις της άλγεβρας Boole.

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 33

## Πίνακας Αλήθειας των Πράξεων:

**Πίνακας Αληθείας:** μορφή πίνακα που εκφράζει μοναδικά τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών εισόδου μιας συνάρτησης και των εξόδων της

AND 2-Εισόδων

A	B	$F=A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

OR 2-Εισόδων

A	B	$F=A+B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

NOT

A	$F=A'$
0	1
1	0

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 34

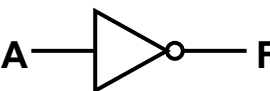

## Πίνακας Αλήθειας των Πράξεων (συν.)

- **Ερώτηση:** Η συνάρτηση  $F( )$  εξαρτάται από  $n$  μεταβλητές. Πόσες γραμμές υπάρχουν στον αληθοπίνακα του  $F( )$ ;
- **Απάντηση:**  $2^n$  γραμμές, αφού υπάρχουν  $2^n$  πιθανοί δυαδικοί συνδυασμοί (patterns) για  $n$  μεταβλητές

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 35

## Θεμελιώδεις Λογικές Πύλες

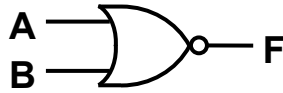
<u>ΟΝΟΜΑ</u>	<u>ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΣΥΜΒΟΛΟ</u>	<u>ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ</u>	<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΛΗΘΕΙΑΣ</u>															
“NOT”		$F = \bar{A}$	<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>F</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	A	F	0	1	1	0									
A	F																	
0	1																	
1	0																	
“OR”		$F = A+B$	<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>F</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	A	B	F	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	F																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
“AND”		$F = A \cdot B$	<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>F</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	A	B	F	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	F																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 36

## Άλλες βασικές λογικές πύλες

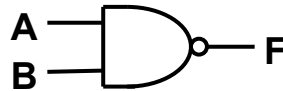
“NOR”



$$F = \overline{A+B}$$

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

“NAND”

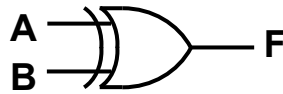


$$F = \overline{A \cdot B}$$

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

“XOR”

(exclusive-OR)

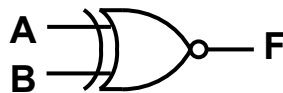


$$F = A \oplus B$$

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

“XNOR”

(exclusive-NOR  
ή  
Ισοδυναμία)



$$F = \overline{A \oplus B}$$

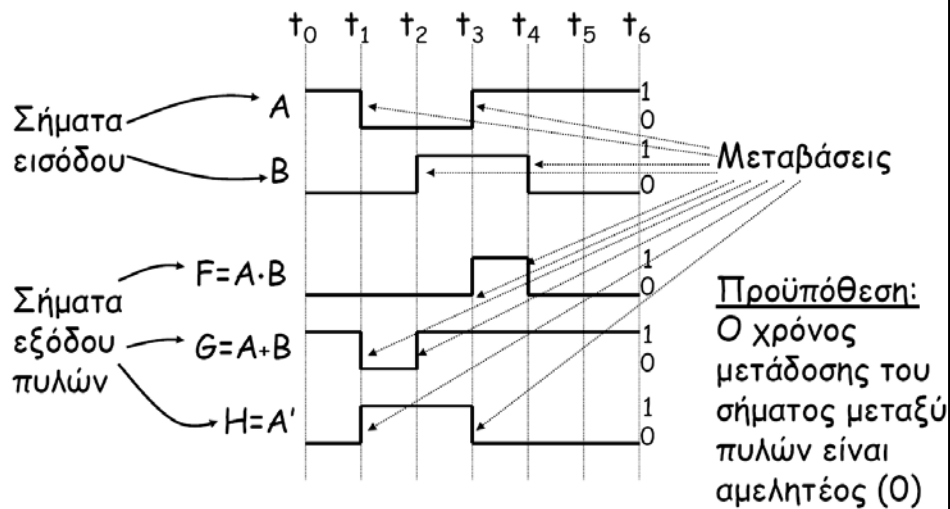
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 37

## Χρονικό Σχεδιάγραμμα

(Κυματομορφή -- Waveform)

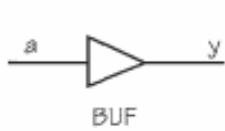


ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

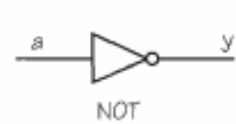
Slide 38

## Πραγματικές Κυματομορφές μετάδοσης σημάτων

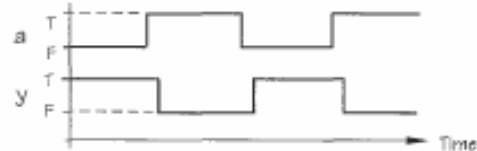
F = λογικό "0", T = λογικό "1",



a	y
F	F
T	T

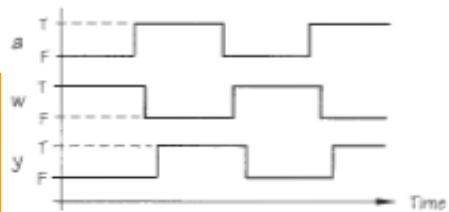


a	y
F	T
T	F



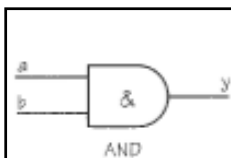
a	w	y
F	T	F
T	F	T

Ο χρόνος μετάδοσης του σήματος μεταξύ πυλών είναι πεπερασμένος

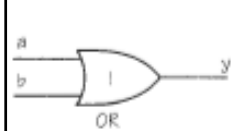
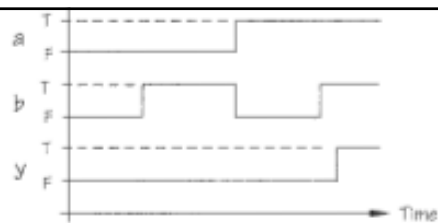


ΤΛ2002 L0: Εισαγωγή

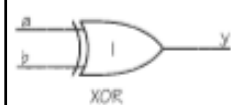
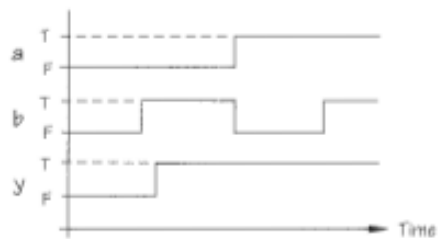
Slide 39



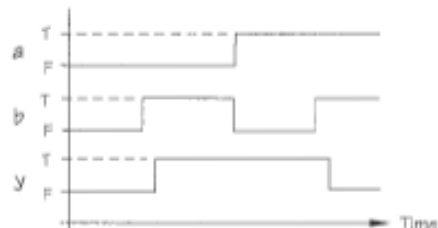
a	b	y
F	F	F
F	T	F
T	F	F
T	T	T

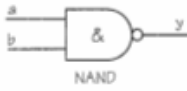


a	b	y
F	F	F
F	T	T
T	F	T
T	T	T



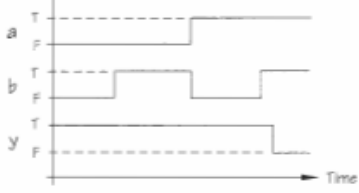
a	b	y
F	F	F
F	T	T
T	F	T
T	T	F



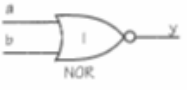


NAND

a	b	y
F	F	T
F	T	T
T	F	T
T	T	F

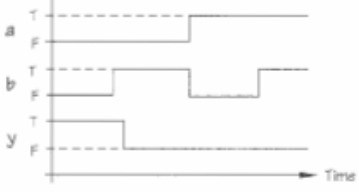


Time




NOR

a	b	y
F	F	T
F	T	F
T	F	F
T	T	F

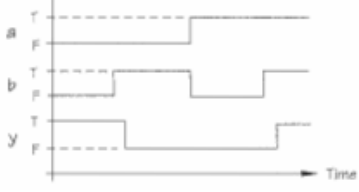


Time



XNOR

a	b	y
F	F	T
F	T	F
T	F	F
T	T	T

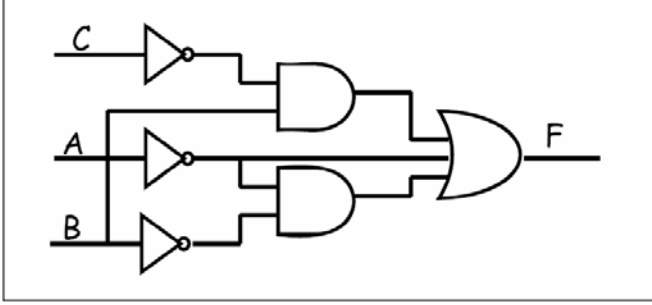


Time

TA20
Slide 41

### Συνδυαστικά Λογικά Κυκλώματα από Λογικές Συναρτήσεις

- Θεωρήστε την συνάρτηση  $F = A' + B \cdot C' + A' \cdot B'$
- Ένα συνδυαστικό κύκλωμα μπορεί να κατασκευαστεί για την υλοποίηση της  $F$ , με την κατάλληλη ένωση σημάτων εισόδου και λογικών πυλών:
  - Σήματα εισόδου → από τις μεταβλητές της συνάρτησης ( $A, B, C$ )
  - Σήματα εξόδου → συνάρτηση εξόδου ( $F$ )
  - Λογικές Πύλες → από λογικές πράξεις



TA2002 L0: Εισαγωγή
Slide 42

## Συνδυαστικά Λογικά Κυκλώματα από Λογικές Συναρτήσεις

(συν.)

- Για να σχεδιάσουμε ένα αποδοτικό κύκλωμα πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε το μέγεθος του κυκλώματος (circuit size) και την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay = χρόνος που χρειάζεται ένα σήμα εισόδου να αλλάξει και να γίνει αντιληπτό στην έξοδο)
- Στον πίνακα αληθείας δίπλα:  
 $F = A' + B \cdot C' + A' \cdot B'$  και  
 $G = A' + B \cdot C'$
- Οι πίνακες για τις  $F$  και  $G$  είναι οι ίδιοι  $\rightarrow$  ίδια συνάρτηση ( $F = G$ )
- Η  $G$  υλοποιεί την λογική του κυκλώματος (με λιγότερα στοιχεία)

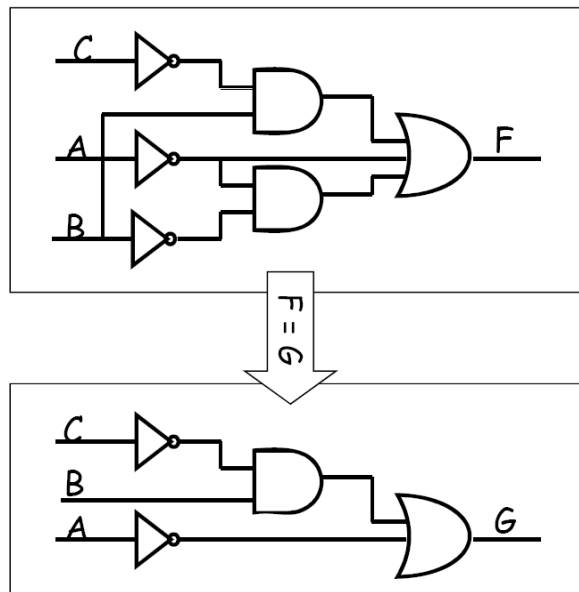
A	B	C	F	G
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0

ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 43

## Συνδυαστικά Λογικά Κυκλώματα από Λογικές Συναρτήσεις

(συν.)



ΤΑ2002 L0: Εισαγωγή

Slide 44

3. (6 μ) Υποθέστε ότι γνωρίζετε ότι  $A \text{ XOR } B = 1$
- α) Ποια είναι η τιμή του  $A \text{ OR } B$
  - β) Ποια είναι η τιμή του  $A \text{ AND } B$
  - γ) Ποια είναι η τιμή του  $[(\text{NOT } A) \text{ AND } (\text{NOT } B)] \text{ OR } (A \text{ AND } B)$

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>XOR</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1

*I.*      *1*  
*II.*     *0*  
*III.*    *0*