

Κεφάλαιο Τρία: Ψηφιακά Ηλεκτρονικά

3.1 Τι είναι αναλογικό και τι ψηφιακό μέγεθος

Αναλογικό ονομάζεται το μέγεθος που μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών π.χ. η ταχύτητα ενός αυτοκινήτου.

Ψηφιακό ονομάζεται το μέγεθος που μπορεί να πάρει διακριτές τιμές σε μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών.

Δυαδικό ονομάζεται το ψηφιακό μέγεθος που μπορεί να πάρει μόνο δυο διακριτές τιμές.

3.2 Στοιχεία λογικών συναρτήσεων και άλγεβρας Boole.

Στα ψηφιακά ηλεκτρονικά υπάρχουν δυο αριθμοί το 0 και το 1 ή 2 καταστάσεις on και off ή συνθήκες κυκλώματος ανοικτό ή κλειστό. Οι είσοδοι και οι έξοδοι των ψηφιακών κυκλωμάτων μπορούν να χαρακτηρισθούν από τις δυο αυτές καταστάσεις και επομένως να παρασταθούν συμβολικά με μεταβλητές από γράμματα του λατινικού αλφαβήτου A, B, C, D, Y οι οποίες λαμβάνουν δυο μόνο λογικές τιμές την λογική τιμή 1 και την λογική τιμή 0.

Οι λογικές αυτές μεταβλητές μπορούν να συνδυασθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν λογικές συναρτήσεις. Έτσι μπορούμε να έχουμε συναρτήσεις της μορφής:

$$F = A + BC, G = A \bullet B, X = \bar{A} + C$$

Οι λογικές συναρτήσεις ακολουθούν ορισμένους βασικούς νόμους και κανόνες οι οποίοι ακολουθούν μια άλγεβρα γνωστή ως άλγεβρα Boole.

Η άλγεβρα Boole ακολουθεί ορισμένα αξιώματα και θεωρήματα και έχει συγκεκριμένες μαθηματικές πράξεις και ιδιότητες.

3.2.1 Βασικά αξιώματα και πράξεις άλγεβρας Boole

Κάθε μεταβλητή στην άλγεβρα Boole έχει 2 τιμές τις 0 και 1 ή “High” και “Low” ή Ναι και Όχι. Στην επεξεργασία των λογικών συναρτήσεων θα χρησιμοποιηθεί η θετική λογική δηλαδή:

0 → ανοικτό διακόπτη → Low → Όχι

1 → κλειστό διακόπτη → High → Ναι

Οι βασικές πράξεις της άλγεβρας Boole είναι τρεις:

*Θεωρητικό Μέρος
Ψηφιακά Ηλεκτρονικά*

- ✓ Λογική Πράξη AND με σύμβολο (\cdot)
- ✓ Λογική Πράξη OR με σύμβολο (+)
- ✓ Λογική Πράξη NOT με σύμβολο (-)

Αν παραστήσουμε το αποτέλεσμα μιας λογικής πράξης με την μεταβλητή Y και τις μεταβλητές με A, B, C θα ισχύει για κάθε λογική πράξη και μια λογική συνάρτηση, όπως,

Πράξη AND	$Y = A \bullet B$
Πράξη OR	$Y = A + B$
Πράξη NOT	$Y = \bar{A}$

Πίνακας 1: Πράξεις στην άλγεβρα Boole

3.2.2 Πίνακας Αληθείας

Ο πίνακας αληθείας είναι ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις δυνατές καταστάσεις των μεταβλητών μιας λογικής συνάρτησης. Π.χ. ο πίνακας αληθείας της συνάρτησης $F = A + B$, δηλαδή της πράξης OR, είναι ο ακόλουθος

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

Πίνακας 2: Πίνακας αληθείας της πράξης OR

Ο παρακάτω πίνακας αληθείας περιλαμβάνει τις συναρτήσεις $D = A \bullet B, E = \bar{A} + B, H = \bar{A} \bullet \bar{B}$.

Έτσι έχουμε:

A	B	\bar{A}	\bar{B}	$A \bullet B$	$\bar{A} + B$	$\bar{A} \bullet \bar{B}$
0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	1	1	0

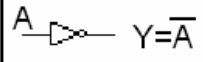
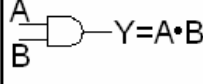
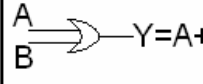
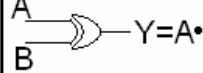
Πίνακας 3

3.3 Λογικές Πύλες

Τα ψηφιακά κυκλώματα αποτελούνται από λογικές πύλες δηλαδή στοιχειώδη λογικά κυκλώματα τα οποία πραγματοποιούν τις λογικές πράξεις της άλγεβρας Boole.

*Θεωρητικό Μέρος
Ψηφιακά Ηλεκτρονικά*

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται τα κυκλωματικά σύμβολα των βασικών λογικών πυλών οι συναρτήσεις τους καθώς και οι πίνακες αληθείας τους. Από τους πίνακες αληθείας χρειάζεται να θυμόμαστε μόνο αυτούς των βασικών πυλών NOT, AND, OR, XOR.

Λογική Πύλη	Λογικό Διάγραμμα
NOT	 $Y = \bar{A}$
AND	 $Y = A \cdot B$
OR	 $Y = A + B$
XOR	 $Y = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$

Είσοδος		Έξοδος Y			
A	B	AND	OR	NOT	XOR
0	0	0	0		0
0	1	0	1		1
1	0	0	1		1
1	1	1	1		0
A = 0				1	
A = 1				0	

Σχήμα 1: Τα κυκλωματικά σύμβολά των βασικών τεσσάρων πυλών, οι συναρτήσεις τους και οι πίνακες αληθείας τους.

Πύλη AND με NOT στην έξοδο της μας δίνει την πύλη NAND και πίνακα αληθείας αντίστροφο από αυτόν της AND όπως φαίνεται και στον πίνακα 4. Ομοίως και για τις υπόλοιπες πύλες που προκύπτουν με την εισαγωγή της πύλης NOT στην έξοδο τους.

Είσοδος		Έξοδος		
A	B	NAND	NOR	XNOR
0	0	1	1	1
0	1	1	0	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	1

Πίνακας 4: Οι πίνακες αληθείας των λογικών πυλών που προκύπτουν μετά τον συνδυασμό τους με την λογική πύλη NOT

Πιο αναλυτικά το τι κάνει η κάθε μία από τις λογικές πύλες αναλύεται στις παρακάτω παραγράφους.

3.3.1 Λογική Πύλη AND

Η πύλη AND πραγματοποιεί τη λογική πράξη του πολλαπλασιασμού δυο ή περισσότερων μεταβλητών. Πρέπει και οι δυο μεταβλητές εισόδου της λογικής πύλης να έχουν την τιμή 1, για να έχει η έξοδος τιμή 1. Όταν μια ή και οι δύο μεταβλητές εισόδου είναι 0, τότε η έξοδος είναι 0.

Θεωρητικό Μέρος
Ψηφιακά Ηλεκτρονικά

Αν οι εισοδοί της λογικής πύλης είναι 2 και συμβολίζονται με τα γράμματα A και B, και η έξοδος με το γράμμα Y, τότε η πύλη AND συμβολίζεται με την λογική συνάρτηση

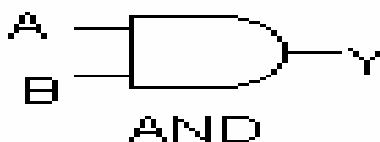
$$Y = A \bullet B$$

Ο πίνακας αληθείας της πύλης AND δυο εισόδων είναι ο κάτωθι:

A	B	$Y = A \bullet B$
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

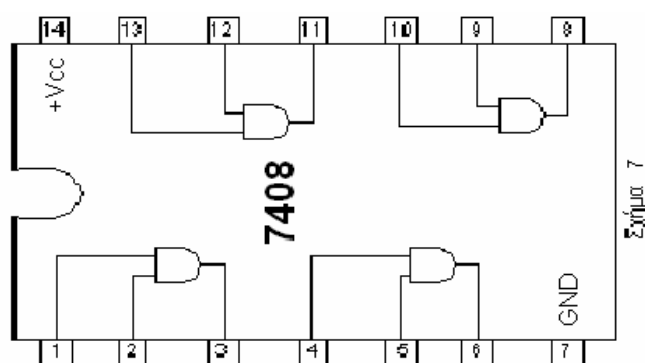
Πίνακας 5: Πίνακας αληθείας λογικής πύλης AND

Το κυκλωματικό σύμβολο της AND είναι το ακόλουθο



Σχήμα 2: Κυκλωματικό σύμβολο της πύλης AND

Η πύλη AND υπάρχει σε ολοκληρωμένο κύκλωμα που περιέχει 4 πύλες AND με κωδικό αριθμό 7408. Οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου αυτού κυκλώματος απεικονίζονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Το ολοκληρωμένο κύκλωμα της λογικής πύλης AND 7408

Το ολοκληρωμένο αυτό κύκλωμα έχει 14 ακροδέκτες. Η τροφοδοσία του ολοκληρωμένου πρέπει να συνδεθεί στον ακροδέκτη 14 ενώ ο ακροδέκτης 7 πρέπει να συνδεθεί με την γείωση της τροφοδοσίας.

3.3.2 Λογική Πύλη OR

Η πύλη OR πραγματοποιεί την λογική πρόσθεση και εκφράζεται από την λογική συνάρτηση

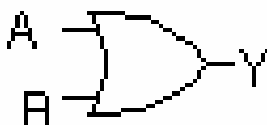
$$Y = A + B$$

Ονομάζεται πύλη OR γιατί η έξοδος Y είναι 1 (High) όταν η είσοδος A είναι 1 (High) ή η είσοδος B είναι 1 (High). Ο πίνακας αληθείας της πύλης OR είναι ο παρακάτω.

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

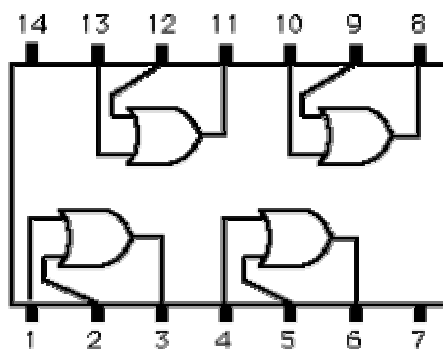
Πίνακας 6: Πίνακας αληθείας της λογικής πύλης OR

Το κυκλωματικό σύμβολο της λογικής πύλης OR απεικονίζεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Κυκλωματικό σύμβολο της λογικής πύλης OR

Η πύλη OR κατασκευάζεται υπό την μορφή του ολοκληρωμένου κυκλώματος 7432, το οποίο περιέχει 4 OR πύλες 2 εισόδων. Οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου αυτού κυκλώματος απεικονίζεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5: Ολοκληρωμένο κύκλωμα της λογικής πύλης OR 7432

Ομοίως όπως και στην περίπτωση του IC 7408 οι ακροδέκτες 14, 7 πρέπει να συνδεθούν με το τροφοδοτικό και με την γείωση αντίστοιχα.

3.3.3 Λογική Πύλη NOT

Η λογική πύλη NOT πραγματοποιεί την λογική πράξη της αντιστροφής και περιγράφεται από την λογική συνάρτηση

$$Y = \bar{A}$$

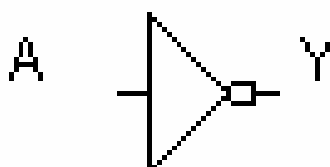
Δηλώνει ότι η έξοδος είναι η αντίστροφη της εισόδου. Ο πίνακας αληθείας της είναι ο ακόλουθος.

A	$Y = \bar{A}$
0	1
1	0

Πίνακας 7: Πίνακας αληθείας λογικής πύλης NOT

Δηλαδή όταν η είσοδος είναι το λογικό 1 (High) η έξοδος είναι το λογικό 0 (Low) και όταν η είσοδος είναι το λογικό 0 (LOW) η έξοδος είναι το λογικό 1 (High). Η πύλη NOT καλείται αντιστροφέας.

Το κυκλωματικό σύμβολο της λογικής πύλης NOT απεικονίζεται στο σχήμα 6.

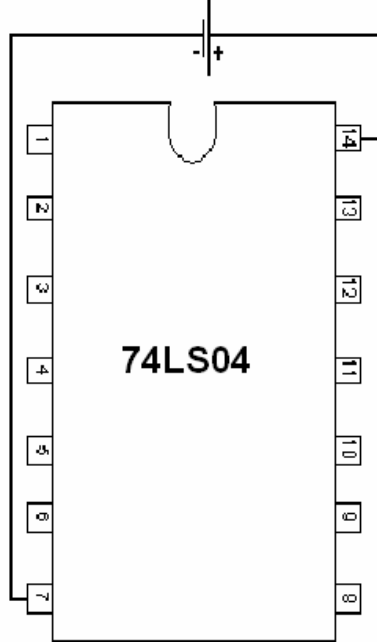


Σχήμα 6: Κυκλωματικό σύμβολο της λογικής πύλης NOT

Η πύλη NOT αντίθετα με τις άλλες λογικές πύλες έχει μόνο μια είσοδο και μία έξοδο.

Η πύλη NOT κατασκευάζεται υπό μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος το οποίο περιέχει 6 πύλες NOT. Έχει την κωδική ονομασία 7404 και το κύκλωμα του είναι το παρακάτω.

Χρησιμοποιώντας τις λογικές πύλες OR, AND, NOT είναι δυνατόν να υλοποιηθεί οποιαδήποτε λογική συνάρτηση.

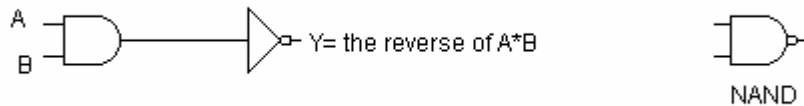


Σχήμα 5

Σχήμα 7: Ολοκληρωμένο κύκλωμα της λογικής πύλης NOT

3.3.4 Λογική Πύλη NAND

Μια ακόμα χρήσιμη λογική πύλη είναι η NAND. Αυτή δημιουργείται εάν συνδέσουμε σε σειρά μια πύλη AND και μια πύλη NOT και συμβολίζεται όπως η πύλη AND με ένα όμως κύκλο στο άκρο της που δηλώνει άρνηση.



Σχήμα 8: Κυκλωματικό σύμβολο της πύλης NAND

Ο πίνακας αληθείας της λογικής πύλης NAND αναγράφεται στον πίνακα 8 και η λογική συνάρτηση την περιγράφει είναι

$$Y = \overline{A \bullet B}$$

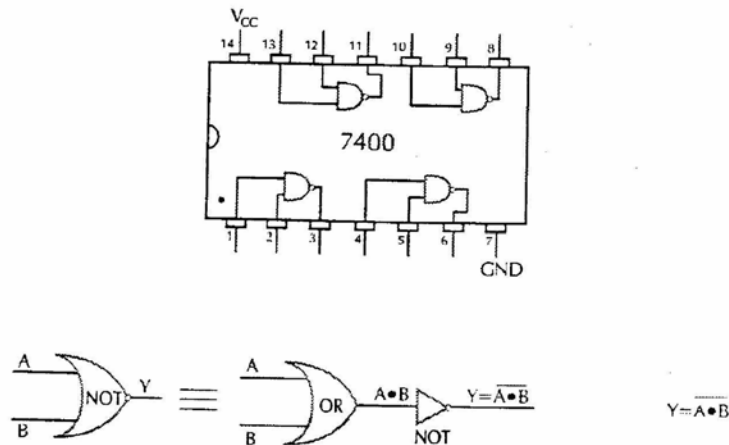
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Πίνακας 8: Πίνακας αληθείας της λογικής πύλης NAND

Η πύλη NAND είναι πολύ εύχρηστη και μπορούμε να κατασκευάσουμε τις πύλες AND, OR, NOT χρησιμοποιώντας μόνο πύλες NAND. Για τον λόγο αυτό η πύλη NAND λέγεται πύλη γενικής χρήσης ή παγκόσμια πύλη.

3.3.5 Η λογική πύλη NOR

Η λογική πύλη NOR είναι συνδυασμός της πύλης OR και της πύλης NOT. Το σύμβολο της είναι το ίδιο με αυτό της OR αλλά προστίθεται ένας μικρός κύκλος που δηλώνει άρνηση. Το σύμβολο της και η λογική της συνάρτηση απεικονίζονται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Ολοκληρωμένο κύκλωμα της λογικής πύλης NOR και το κυκλωματικό της σύμβολο (τελευταίο σχήμα)

Ο πίνακας αληθείας της πύλης NOR είναι ο ακόλουθος

A	B	OR	NOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Πίνακας 9: Πίνακας αληθείας της πύλης NOR

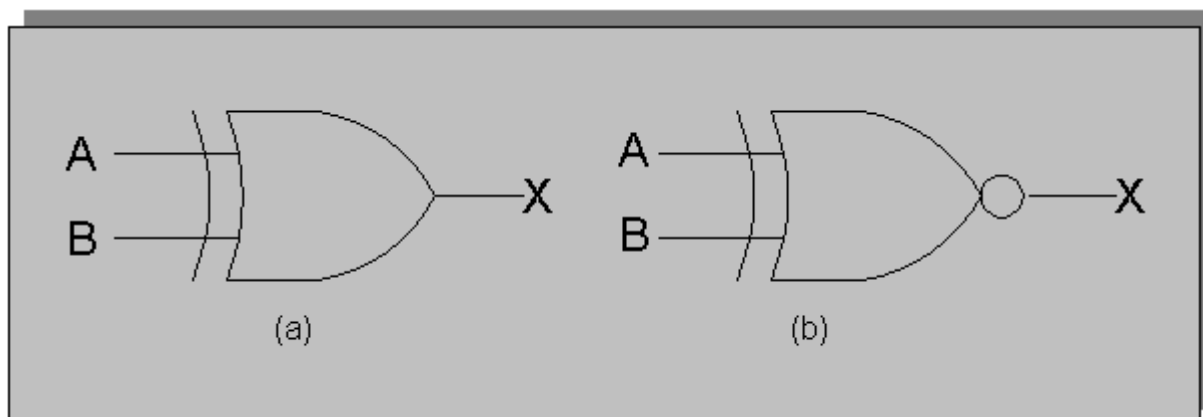
Η έξοδος της λογικής πύλης NOR είναι High μόνο όταν όλες οι εισοδοί της είναι Low.

3.3.6 Άλλες Λογικές Πύλες

Η πύλη XOR είναι πύλη με δυο εισόδους και μια έξοδο. Η έξοδος της πύλης XOR γίνεται '1' μόνο στις περιπτώσεις εκείνες όπου το άθροισμα των εισόδων της είναι περιττός αριθμός. Έτσι για π.χ. αν έχουμε A=1 και B=0 τότε η έξοδος Y της XOR θα δώσει Y=1 γιατί A+B=1 περιττό πλήθος '1'. Για A=1 και B=1 θα έχουμε Y=0 γιατί A+B=2 είναι άρτιος αριθμός.

Η πύλη XNOR είναι πύλη με δυο εισόδους και μια έξοδο. Η πύλη XNOR είναι το συμπλήρωμα (αντίθετο) της XOR. Γι' αυτό και συμβολίζεται σαν την XOR αλλά μ' ένα μικρό κυκλάκι στην έξοδο. Ονομάζεται και πύλη ισοδυναμίας γιατί η έξοδος της δίνει '1' μόνο στις περιπτώσεις εκείνες όπου οι εισοδοί της έχουν την ίδια τιμή (ισοδύναμες) π.χ. A=0, B=0 έξοδος Y=1 και A=1, B=1 έξοδος Y=1.

Τα κυκλωματικά ισοδύναμα των δυο αυτών λογικών πυλών απεικονίζονται στο σχήμα 10.



Σχήμα 10: (α) Η λογική πύλη XOR και (β) η λογική πύλη XNOR

Οι πίνακες αληθείας των δυο αυτών λογικών πυλών αναγράφονται στον πίνακα 10.

INPUT		XOR	XNOR
A	B	$X = A \oplus B$	$X = \overline{A \oplus B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Πίνακας 10: Πίνακες αληθείας των λογικών πυλών XOR και XNOR

3.4 Οι οικογένειες Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα ταξινομούνται σε κατηγορίες με διάφορα κριτήρια. Έτσι ανάλογα με τον αριθμό των transistor ανά chip κατατάσσονται σε κατηγορίες ως εξής :

- ✓ Μικρής κλίμακας ολοκλήρωσης (Small Scale Integration – SSI). Τα ολοκληρωμένα αυτά περιέχουν μέχρι 100 transistor ανά συσκευασία.
- ✓ Μεσαίας κλίμακας ολοκλήρωσης (Medium Scale Integration – MSI). Τα ολοκληρωμένα αυτά περιέχουν από 100 μέχρι και 1000 transistor ανά συσκευασία.
- ✓ Μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης (Large Scale Integration – LSI). Τα ολοκληρωμένα αυτά περιέχουν 1000 μέχρι και 10000 transistor ανά συσκευασία.
- ✓ Πολύ μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης (Very Large Scale Integration – VLSI). Τα ολοκληρωμένα αυτά περιέχουν πάνω από 10000 transistor ανά chip.

Μια άλλη ταξινόμηση των ICs είναι η ταξινόμηση τους σε οικογένειες . Με τον όρο οικογένεια εννοούμε IC που χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία και είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να μπορούν

να συνδεθούν απ' ευθείας μεταξύ τους και το κύκλωμα να εργάζεται χωρίς προβλήματα. Οι διάφορες οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι οι παρακάτω.

- ✓ Οικογένεια RTL (Resistor Transistor Logic)
Τα κυκλώματα αυτά κατασκευάζονται από αντιστάσεις και transistor.
- ✓ Οικογένεια DTL (Diode Transistor Logic)
Τα κυκλώματα αυτά κατασκευάζονται από διόδους και transistor.
- ✓ Οικογένεια HTL (High Threshold Logic)
Παρουσιάζουν μεγάλη αναισθησία στον θόρυβο άλλα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες ταχύτητες.
- ✓ Οικογένεια TTL (Transistor Transistor Logic)
Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται διπολικά transistor. Στην πλειοψηφία των εργαστηριακών ασκήσεων θα χρησιμοποιήσουμε TTL ολοκληρωμένα κυκλώματα της σειράς 74LS00. Στην σειρά αυτή οι ακροδέκτες τροφοδοσίας συμβολίζονται με V_{cc} και GRD. Τα TTL IC τροφοδοτούνται με 5 V. Ο ακροδέκτης V_{cc} συνδέεται στο + της τροφοδοσίας, ενώ ο ακροδέκτης GRD στο - της τροφοδοσίας.
- ✓ Οικογένεια CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
Χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά transistor MOSFET
- ✓ Οικογένεια ECL (Emmitter Coupled Logic)
Η οικογένεια αυτή χρησιμοποιείται σε συστήματα με μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας.

3.5 Επαναληπτικές ερωτήσεις – ασκήσεις

1. Η λογική πράξη.....μας πληροφορεί ότι αν και μόνο αν όλες οι είσοδοι μιας λογικής πύλης είναι 1, η έξοδος θα είναι 1.
(α) OR (β) NAND (γ) NOR (δ) AND
2. Η λογική πράξημας πληροφορεί ότι αν οποιαδήποτε από τις εισόδους της λογικής πύλης είναι 1 τότε και η έξοδος της θα είναι 1.
(α) NOT (β) OR (γ) NOR (δ) XOR
3. Εάν όλες οι είσοδοι είναι 1, η έξοδος θα είναι μηδέν. Αυτό καλείται.....
(α) NOR (β) NAND (γ) Πίνακας αληθείας (δ) Τίποτα από τα παραπάνω
4. Αν τα σήματα στις εισόδους μιας λογικής πύλης είναι διαφορετικά και το άθροισμα τους είναι περιττός αριθμός τότε η έξοδος της είναι 1. Η λογική αυτή πύλη είναι η.....
(α) AND (β) NAND (γ) NOR (δ) XNOR

*Θεωρητικό Μέρος
Ψηφιακά Ηλεκτρονικά*

5. Γράψτε τον πίνακα αληθείας της λογικής πύλης XNOR
6. Γράψτε τον πίνακα αληθείας των λογικών πυλών AND, OR, NOT, NAND
7. Η λογική πύλη που μας πληροφορεί ότι εάν οποιαδήποτε από τις εισόδου είναι 1, η έξοδος θα είναι 0 είναι η
(α) NOR (β) NOT (γ) AND (δ) OR
8. Η λογική πύλη.....μας πληροφορεί ότι εάν οι εισοδοι παίρνουν τις ίδιες τιμές τότε η έξοδος είναι 1.
(α) NXOR (β) XOR (γ) AND (δ) OR
9. Η λογική πύλη.....αναστρέφει την είσοδο της
(α) AND (β) OR (γ) NOT (δ) XNOR
10. Γράψτε τον πίνακα αληθείας της παρακάτω συνδεσμολογίας

