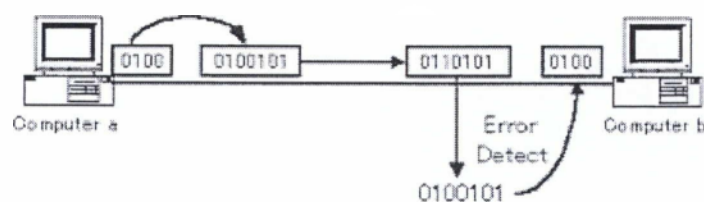


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

“ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ / ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ HAMMING”



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΑΡΟΓΙΑΝΝΗ
ΑΜ 2007267

ΣΠΑΡΤΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	8
1.1 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ.....	8
1.2 RICHARD HAMMING.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	10
2.1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ.....	10
2.1.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	10
2.1.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ.....	12
2.2 ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	12
2.2.1 ΘΟΡΥΒΟΣ.....	13
2.2.1.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΓΕΝΟΥΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΣ ΑΝΑΛΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	14
2.2.2 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΟΥΝ ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.....	15
2.2.2.1 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ.....	15
2.2.2.2 ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΒΑΝΤΙΣΗΣ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	17
3.1 ΔΙΚΤΥΑ.....	17
3.2 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	17
3.2.1 ΑΙΤΙΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Ο ΚΩΔΙΚΑΣ HAMMING.....	19
4.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	19

4.2	Ο ΚΑΝΟΝΑΣ HAMMING	20
4.3	ΚΩΔΙΚΕΣ HAMMING	20
4.4	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΛΓΕΒΡΑ.....	22
4.5	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΟΝΤΑΣ - ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ HAMMING (7,4) ΣΕ ΒΗΜΑΤΑ	23
4.5.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	24
4.5.2	ΔΙΑΔΙΑΚΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	24
4.6	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HAMMING	25
4.6.1	ΛΟΓΙΚΕΣ ΠΥΛΕΣ	26
4.6.1.1	ΠΥΛΗ ΧΟR.....	26
4.6.1.2	ΠΥΛΗ AND.....	27
4.6.1.3	ΠΥΛΗ NOT.....	27
4.6.2	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ	28
4.6.3	ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ	30
	ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	33
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	34
5.1	ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ.....	35
5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	36
5.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιείται στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πελοποννήσου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή εφαρμογών κ. Ιωάννη Λιαπέρδο για την συνεργασία, όχι μόνο κατά την συγγραφή της πτυχιακής αλλά και κατά την διάρκεια όλων των σπουδών μου στο Τ.Ε.Ι.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές που συνάντησα στο σχολή, οι οποίοι ήταν πάντα πρόθυμοι να ακούσουν και να συζητήσουν τυχόν απορίες, βοηθώντας έτσι στην καλύτερη κατανόηση και επαφή με το αντικείμενο της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από δύο μέρη, το Θεωρητικό και το Πρακτικό. Στο Θεωρητικό μέρος γίνεται μια βιβλιογραφική αναφορά σχετική την μετάδοση της πληροφορίας, τα προβλήματα και την λύση που έδωσε ο Richard Hamming σχεδιάζοντας τον ομώνυμο κώδικα. Στο Πρακτικό μέρος γίνεται αναφορά στον τρόπο σχεδίασης του κυκλώματος Hamming (7,4), εισαγωγή πληροφορίας τεσσάρων (4) bit λέξεων, την δημιουργία κωδικολέξης με την εισαγωγή των επιπλέον bit και δημιουργίας επτά (7) bit λέξεων, την εισαγωγή σφάλματος ενός (1) bit στην αρχική λέξη και την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που δίνει η προσομοίωση συγκρίνοντας την είσοδο με την έξοδο. Να σημειώσουμε πως το κύκλωμα Hamming (7,4) δύναται να ανιχνεύσει και διπλά σφάλματα αλλά όχι να τα διορθώσει καθώς δεν μπορεί να υπολογίσει την θέση τους και έτσι η έξοδος που δίνεται είναι λανθασμένη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που συνάντησε μέχρι σήμερα ο άνθρωπος είναι η μετάδοση της πληροφορίας σε μεγάλες αποστάσεις. Η μεταφορά της ορθά και με αξιοπιστία υπήρξε μείζονος σημασίας καθώς από αυτήν εξαρτιόντουσαν ακόμα και ανθρώπινες ζωές. Σε πολλές περιπτώσεις έπρεπε να γίνει με άκρα μυστικότητα, ολόκληρη και σε καμία περίπτωση δεν έπρεπε να φτάνει στα χέρια του εχθρού, ο οποίος θα μπορούσε να την καταστρέψει ή ακόμα και να την αλλοιώσει προς συμφέρον του. Η μόνη όμως ένδειξη μη παραβίασης, υπήρξε η σφραγίδα με το βουλοκέρι. Ο τρόπος αυτός επικράτησε για πάρα πολλά χρόνια και σιγά σιγά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορίας εγκαταλείφτηκε. Αυτό συνέβη γιατί η πληροφορία έπρεπε να φτάνει ακόμα πιο γρήγορα και με ασφάλεια στον αποδέκτη. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι αποστολής και λήψης της πληροφορίας ώστε αυτή να φτάνει στον παραλήπτη έγκυρη και χωρίς σφάλματα. Έτσι ο τρόπος μετάδοσης εξελίχθηκε φθάνοντας στην ψηφιακή μετάδοση, αλλά όπως είναι γνωστό για κάθε καινούργιο επίτευγμα, προκειμένου να μπορέσουμε να την εκμεταλλευτούμε με αξιοπιστία, πρέπει να αντιμετωπίσουμε όλα τα πιθανά προβλήματα που μπορούν να συμβούν κατά τη χρήση της. Ας φανταστούμε το μέγεθος μίας βλάβης σε μία επανδρωμένη διαστημική αποστολή όπου δεν υπάρχει η πολυτέλεια να συμβούν σφάλματα ούτε και ο χρόνος να αντιμετωπιστούν. Έτσι η μετάδοση της πληροφορίας με αξιοπιστία είναι κάτι που η επιστημονική κοινότητα καλείται να αντιμετωπίσει καθημερινά προκειμένου να στηρίξει και να αναπτύξει νέους, γρήγορους αλλά συγχρόνως ασφαλείς τρόπους επικοινωνίας.

Στην μετάδοση σήματος, προκειμένου να φτάνει στο παραλήπτη χωρίς λάθη, έπρεπε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του θορύβου (noise). Οι πηγές θορύβου δεν είναι μια καθώς αυτό δεν θα συνιστούσε πρόβλημα και θα αποτελούσε την εύκολη αντιμετώπιση του.

Δεδομένα που στέλνονται και αποτελούν την πληροφορία μπορούν να αλλοιωθούν ή να καταστραφούν κατά την αποστολή ή λήψη. Αυτό σημαίνει ότι σε μια σειρά από διαδοχικά bits τα οποία αποτελούν την πληροφορία, κάποια από αυτά

μπορούν να χαθούν ή να αλλάξουν τιμή (κατάσταση), καθιστώντας την πληροφορία μη έγκυρη χωρίς να το γνωρίζει ο αποστολέας και ο παραλήπτης.

Ένα άλλο πρόβλημα που προκαλεί σφάλματα στις επικοινωνίες είναι η διαφορετική συμπεριφορά των καναλιών στις διαφορετικές συχνότητες μετάδοσης που έχει σχέση με την εξασθένηση του πλάτους, την ταχύτητα διάδοσης και η στροφή της φάσης των σημάτων. Συγκεκριμένα, τα προηγούμενα μεγέθη έχουν διαφορετικές τιμές στην κάθε συχνότητα στην οποία αναλύεται ένα σήμα.

Η ανίχνευση σφαλμάτων στην ψηφιακή τεχνολογία καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει τα προβλήματα από τις διάφορες μόνιμες ή τυχαίες πηγές θορύβου που μπορούν να εμφανιστούν κατά την μετάδοση και έτσι να ζητείται η επανεκπομπή ολόκληρου του μηνύματος ή τμήματος αυτού και ακόμη να γίνεται έλεγχος της θέσης του λάθους και τη πιθανή διόρθωσή του χωρίς να απαιτείται άλλη ενέργεια.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλυθεί ένας τρόπος ελέγχου σφαλμάτων που βασίζεται στην προσθήκη bits ισοτιμίας (parity) ελέγχου στην πληροφορία, έτσι ώστε κατά τη λήψη της πληροφορίας, πριν την αποδοχή της στον παραλήπτη να γίνεται ένας συγκριτικός έλεγχος ισοτιμίας όπως ονομάζεται, να ανιχνεύονται τυχόν λάθη, να διορθώνονται τα δυαδικά ψηφία που έχουν αλλοιωθεί και να αποδίδεται με αξιοπιστία το μήνυμα.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στηρίζεται στην ιδέα που είχε ένας μαθηματικός ο Richard Hamming το 1950, ο οποίος κατασκεύασε έναν κώδικα αναγνώρισης σφαλμάτων στην μετάδοση της πληροφορίας. Εργαζόταν, δίνοντας πληροφορίες με διάτρητες κάρτες σε υπολογιστές, οι οποίοι κάποιες στιγμές έκαναν αναπόφευκτα λάθος στην ανάγνωση. Απελπισμένος και ενοχλημένος από την επανέναρξη των υπολογισμών κάθε φορά που γινόταν λάθος στην ανάγνωση των καρτών, δούλεψε σκληρά προσπαθώντας να βρει λύση σε αυτό το πρόβλημα. Έτσι κατέληξε στην δημιουργία ενός δυναμικού αλγόριθμου και το 1950 παρουσιάζει την μελέτη του με τίτλο "Hamming Code" η οποία βρίσκει εφαρμογή ακόμα και σήμερα.⁽⁸⁾

1.1 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ

Πριν την παρουσίαση και εφαρμογή του κώδικα Hamming υπήρχαν και άλλοι κώδικες που έβρισκαν χρήση ώστε να ανιχνεύονται τα σφάλματα στην λήψη τους αλλά αδυνατούσαν να τα διορθώσουν με ακρίβεια. Μερικοί από αυτούς παρουσιάζονται παρακάτω.

Parity (Ισοτιμία): Σε αυτόν τον κώδικα προστίθεται ένα μοναδικό bit ισοτιμίας που υποδεικνύει εάν ο αριθμός των 1bit είναι άρτιος ή περιττός. Μπορεί να ανιχνεύσει το σφάλμα αλλά η μετάδοση πρέπει να γίνει από την αρχή.

Two out of five code (Δυο από πέντε): Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί τρία 0 και δυο 1. Έτσι δίνει την δυνατότητα να παρουσιάσει τα ψηφία 0-9. Ανιχνεύει τα περιττά σφάλματα και κάποια άρτια αλλά δεν τα διορθώνει.

Reception (Πολλαπλή επανάληψη): Σε αυτόν τον κώδικα γίνεται πολλαπλή επανάληψη των δεδομένων ώστε να είναι βέβαιη η λήψη τους. Δεν έχει την δυνατότητα να διορθώνει όλα τα σφάλματα και η αξιοπιστία του μειώνεται όσο αυξάνονται οι επανεκπομπές.⁽¹⁹⁾

1.2 RICHARD HAMMING

Ο Richard Hamming γεννήθηκε στο Σικάγο των Η.Π.Α, στις 11 Φεβρουαρίου του 1915. Σπούδασε μαθηματικά στο Πανεπιστήμιο του Σικάγου και ολοκλήρωσε τις σπουδές του λαμβάνοντας διδακτορικό από το Πανεπιστήμιο του Illinois. Τον Απρίλιο του 1945 είχε συμμετοχή στο "Manhattan Project", όπου προγραμμάτιζε υπολογιστικές μηχανές της IBM οι οποίες υπολόγιζαν την λύση εξισώσεων για προβλήματα φυσικής. Το 1946, εγκαταλείπει το πρόγραμμα για να ξεκινήσει να εργάζεται για την "Bell Telephone Laboratories".



Εικ. 1 Richard Hamming⁽¹⁵⁾

Τριάντα χρόνια αργότερα, το 1976 συνταξιοδοτείται και για 20 περίπου χρόνια καταλαμβάνει θέση βοηθού καθηγητή και αργότερα αναπληρωτή καθηγητή στο "Naval Postgraduate School" στο Μόντερεϋ της Καλιφόρνιας. Το Δεκέμβριο του 1997 δίνει την τελευταία του διάλεξη και περίπου ένα μήνα μετά, στις 7 Δεκεμβρίου του 1998 σε ηλικία 82 ετών, αφήνει την τελευταία του πνοή από καρδιακή προσβολή.

Το έργο του Richard Hamming είναι μεγάλο είναι ιδιαίτερα γνωστό για:

- Τον κώδικα Hamming (Hamming code)
- Την απόσταση Hamming (hamming distance)
- Το Παράθυρο Hamming (Hamming window)
- Τους αριθμούς Hamming (Hamming Numbers)

(15)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε όμως το γιατί συμβαίνουν τα σφάλματα πρέπει να κατανοήσουμε την έννοια της πληροφορίας και τα προβλήματα της.

Ένα σήμα προκειμένου να αποσταλεί θα πρέπει να λάβει την πληροφορία, να μετατραπεί σε αναλογικό, να ψηφιοποιηθεί και στη συνέχεια να αποκωδικοποιηθεί ξαναμετατρέποντας σε αναλογικό και ύστερα να αποδοθεί στον δέκτη.

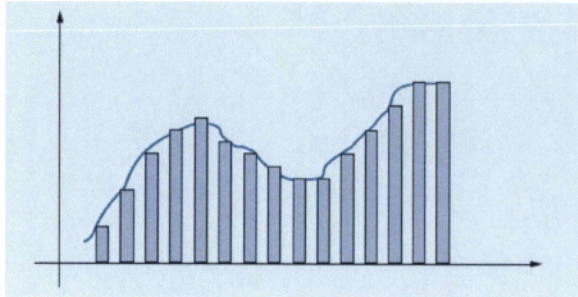
2.1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ

Αναλογικό σήμα καλείται η ρέουσα πληροφορία που λαμβάνει συνεχείς τιμές σε ένα μέσο μετάδοσης συναρτήσει του χρόνου αντικατοπτρίζοντας την διακύμανση μίας ποσότητας που μεταβάλλεται όμοια στο χρόνο. Ο όρος συνήθως αναφέρεται σε ηλεκτρικά σήματα, φορείς όμως αναλογικών σημάτων είναι μηχανικά, αέρια, υδραυλικά και αλλά μέσα.⁽¹⁶⁾

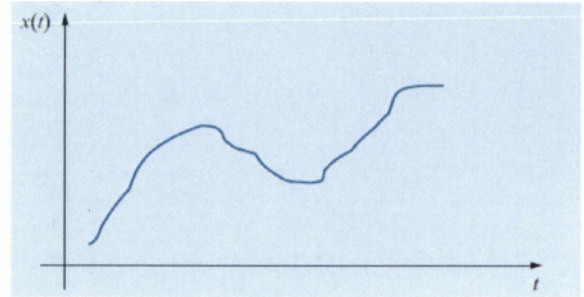
2.1.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Ένα ψηφιακό σήμα είναι μία ακολουθία παλμών τάσης που είναι δυνατόν να μεταδοθούν πάνω σε ένα μέσον. Το αναλογικό σήμα προκειμένου για να ψηφιοποιηθεί πρέπει να περάσει από τα εξής στάδια:

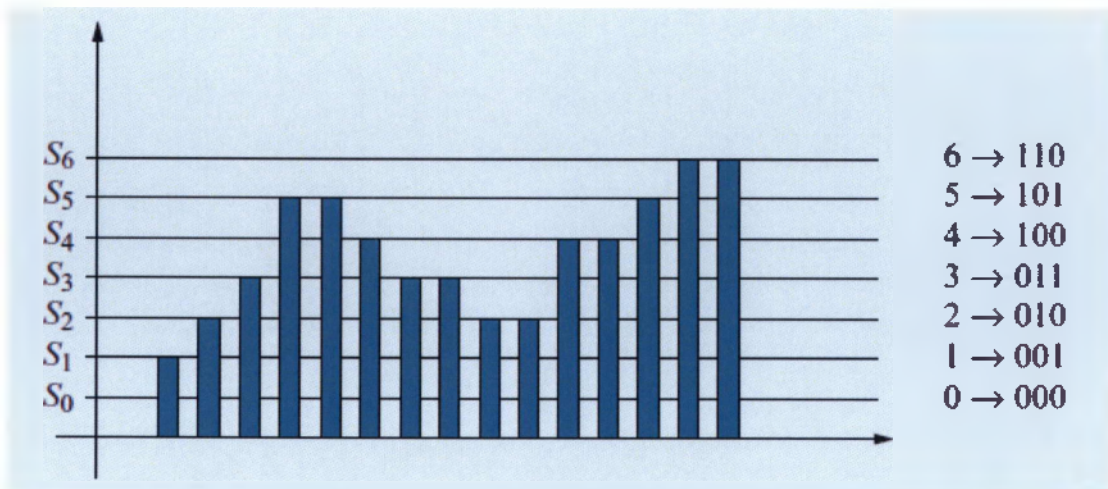
1. **Δειγματοληψία (sampling):** Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε διακριτές τιμές (σχ. 1 και σχ. 2).
2. **Κβαντισμός (quantization):** Η επεξεργασία των διακριτών τιμών ενός σήματος, αντιστοιχίζοντας τες σε λιγότερες και στρογγυλοποιημένες διακριτές τιμές (σχ. 3).
3. **Κωδικοποίηση:** η αντιστοίχιση των κβαντισμένων τιμών σε σύμβολα και η αντιστοίχιση των συμβόλων σε μίαν ακολουθία δυαδικών ψηφίων (bits) (σχ. 4).



Σχ. 1 Αναλογικό σήμα⁽⁵⁾



Σχ. 2 Δειγματοληψία⁽⁵⁾



Σχ. 3 Κβάντιση⁽⁵⁾

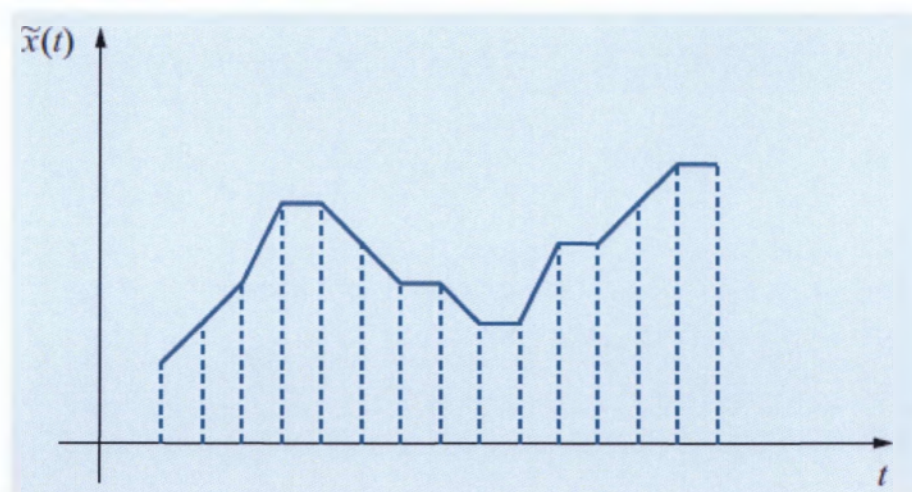
001 010 011 101 101 100 011 011 010 010 100 100 101 110 110

Σχ. 4. Κωδικοποίηση (μετατροπή στο δυαδικό σύστημα)⁽⁵⁾

(5)(11)

2.1.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ

Για να γίνει αντιληπτή η ψηφιοποιημένη πληροφορία, θα πρέπει να μετατραπεί σε αναλογική μορφή. Το κωδικοποιημένο σήμα που έχει την μορφή μιας ακολουθίας bits, αποκωδικοποιείται και μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα. Στο σχ. 5 βλέπουμε την επαναδόμηση του σήματος.⁽⁵⁾



Σχ. 5 Το επαναδομημένο σήμα⁽⁵⁾

2.2 ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τους παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση στα ηλεκτρικά σήματα. Αυτά μπορούν να προέρχονται από φυσικές αιτίες αλλά και από τεχνητές αιτίες.

2.2.1 ΘΟΡΥΒΟΣ

Σαν θόρυβο ονομάζουμε την ανεπιθύμητη παρεμβολή και αλλοίωση στο σήμα πληροφορίας. Η παρουσία θορύβου είναι πιο σημαντικό πρόβλημα στα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας παρά στα ενσύρματα συστήματα.

Ο θόρυβος κατηγοριοποιείται σε δύο μορφές:

Τεχνητός θόρυβος: Προέρχεται από ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται κοντά στα σημεία από όπου περνάει το σήμα, όπως π.χ., ηλεκτρικοί μετασχηματιστές, ηλεκτρικοί κινητήρες, καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος, λυχνίες φθορισμού, πομποί telex, κ.ά. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να αντιμετωπιστεί εξοπλίζοντας κατάλληλα τις ηλεκτρικές συσκευές με καταστολείς θορύβου. Επιπρόσθετα, μπορούμε να προφυλάξουμε τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης θωρακίζοντας κατάλληλα το εξωτερικό τους περίβλημα.

Φυσικός θόρυβος: Προέρχεται από διάφορα φυσικά φαινόμενα και διακρίνεται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- α. Ατμοσφαιρικός θόρυβος
- β. Κοσμικός θόρυβος και
- γ. Κυκλωματικός θόρυβος

Ατμοσφαιρικός θόρυβος: προέρχεται από τις φυσικές ηλεκτρικές διαταραχές της ατμόσφαιρας

Κοσμικός Θόρυβος: προέρχεται από την ενέργεια που ακτινοβολούν ο Ήλιος και οι αστέρες λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών τους. Έχει κυρίως επίδραση στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες και αντιμετωπίζεται με κατάλληλο προσανατολισμό της κεραίας του δέκτη ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση της.

Κυκλωματικός θόρυβος: προέρχεται από την τυχαία κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στις διατάξεις του τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Προκύπτει επίσης από τα φαινόμενα που σχετίζονται με τη ροή ρεύματος διαμέσου ημιαγωγικών επαφών.

Υπάρχει και μία άλλη κατηγορία θορύβου που δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με τα παραπάνω και ονομάζεται θόρυβος βολής.

Θόρυβος βολής: το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εισόδου δύο διαδοχικών φορέων φορτίου, ηλεκτρονίων ή οπών, σ' ένα ενεργό στοιχείο του τηλεπικοινωνιακού συστήματος δεν είναι σταθερό αλλά υπόκειται σε μία τυχαία στατιστική διακύμανση, η οποία αντιστοιχεί σε θόρυβο.⁽⁵⁾⁽¹⁾

2.2.1.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΓΕΝΟΥΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΣ ΑΝΑΛΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Σε χαμηλές συχνότητες, όπως π.χ., τα 300 kHz, ο τεχνητός και ο ουράνιος θόρυβος έχουν πολύ σημαντικότερη επίδραση απ' ότι σε υψηλές συχνότητες, όπως π.χ., τα 300 MHz. Στις υψηλές συχνότητες, ο κυκλωματικός θόρυβος αποκτά πολύ μεγαλύτερη σημασία απ' ότι στις χαμηλές συχνότητες, καθώς αυξάνεται σημαντικά η επίδρασή του στην ποιότητα αναπαραγωγής του αρχικού σήματος.

Ο θόρυβος μπορεί επίσης να προστίθεται στο αρχικό μας σήμα, οπότε ονομάζεται προσθετικός θόρυβος, ενώ αν ο θόρυβος πολλαπλασιάζει το σήμα μας τότε ονομάζεται πολλαπλασιαστικός.

Πέρα από την εύρεση και διόρθωση των σφαλμάτων της ψηφιακής τεχνολογίας που θα αναπτύξουμε παρακάτω, σκοπός είναι να ελαχιστοποιήσουμε την επίδραση του θορύβου χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που επηρεάζονται ελάχιστα από τις διάφορες πηγές θορύβου όπως τη χρήση οπτικών ινών.⁽⁵⁾

2.2.2 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΟΥΝ ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

2.2.2.1 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ

Πέρα από τις παραπάνω πηγές θορύβου, αλλοίωση στο παραγόμενο σήμα μπορεί να προκληθεί και από άλλες αιτίες όπως το φαινόμενο της εξασθένησης που μπορεί να οφείλεται στην παρεμβολή μεταξύ δύο κυμάτων που φεύγουν από την ίδια πηγή αλλά φτάνουν στον προορισμό τους από διαφορετική οδό.

Το σήμα που λαμβάνεται κάθε χρονική στιγμή είναι το διανυσματικό άθροισμα όλων των κυμάτων που λαμβάνονται, εξουδετερώσεις και ενισχύσεις θα λάβουν χώρα μεταξύ των κυμάτων (κάθε χρονική στιγμή) των οποίων η διαφορά των διαδρομών από τον πομπό στον δέκτη θα είναι μεγαλύτερη από μισό μήκος κύματος. Αυτό σημαίνει ότι η εξασθένηση είναι πιο πιθανή με μικρότερα μήκη κύματος δηλαδή σε υψηλότερες συχνότητες.

Η εξασθένηση μπορεί να προκληθεί από διάφορα αίτια, όπως :

- Εξασθένηση λόγω των ατμοσφαιρικών αερίων
- Εξασθένηση λόγω περίθλασης που οφείλεται σε εμπόδια ή μερική παρεμπόδιση στη διεύθυνση διάδοσης
- Εξασθένηση λόγω της πολλαπλών οδεύσεων, διασποράς της δέσμης και σπινθηρισμού
- Εξασθένηση λόγω της μεταβολής της γωνίας εκπομπής / λήψης
- Εξασθένηση λόγω συμπύκνωσης υδρατμών(υγρασίας)
- Εξασθένηση λόγω των θυελλών άμμου και σκόνης.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

2.2.2.2 ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΒΑΝΤΙΣΗΣ

Μια άλλη αιτία πρόκλησης σφάλματος μπορεί να συμβεί και από την ίδια την τεχνική που χρησιμοποιούμε μετά την δειγματοληψία, κατά την διαδικασία της **κβάντισης** - στρογγυλοποίησης των δειγμάτων του αναλογικού σήματος το οποίο αναφέρεται και ως θόρυβος κβάντισης. Πρόκειται για την απόκλιση μεταξύ της στρογγυλοποιημένης τιμής και της πραγματικής τιμής του δείγματος. Με κατάλληλη επιλογή του αριθμού των σταθμών κβάντισης ο θόρυβος κβάντισης μπορεί να περιοριστεί, όχι όμως και να εξαλειφθεί πλήρως.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 ΔΙΚΤΥΑ

Δίκτυο είναι μια ομάδα αυτόνομων συσκευών συνδεδεμένων μεταξύ τους με στόχο την κοινή πρόσβαση σε πληροφορίες και πόρους. Το πιο μικρό δίκτυο πραγματοποιείται με την σύνδεση δύο υπολογιστών. Ωστόσο, σε ένα δίκτυο μπορούμε να συναντήσουμε πολλές διαφορετικές συσκευές (εκτυπωτές, δρομολογητές, μεταγωγείς, δορυφόρους κτλ.). Αυτά μπορούν να βρίσκονται στον ίδιο χώρο ή να είναι γεωγραφικά κατανεμημένα με μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Η φύση των πληροφοριών που μεταδίδονται μέσω των δικτύων είναι φωνή, δεδομένα και εικόνα.

Στόχος ενός δικτύου είναι να μοιράσει με βέλτιστο τρόπο στους χρήστες του δικτύου τη χρήση των γραμμών, την δυνατότητα επεξεργασίας και την μνήμη των διαφόρων μηχανημάτων και εφαρμογών.

Το είδος της πληροφορίας στην οποία παρέχεται κοινή πρόσβαση καθορίζει το είδος του δικτύου, έτσι μπορούν να διαχωριστούν σε δίκτυα μεταφοράς δεδομένων (δεδομένα) και τηλεπικοινωνιακά (φωνή, δεδομένα και εικόνα).

Τα σημαντικότερα στοιχεία ενός δικτύου είναι η δυνατότητα διαχείρισης της κοινής πρόσβασης, της ασφάλειας (ποιος έχει πρόσβαση σε τι), της απόδοσης (ταχύτητα πρόσβασης) και της αξιοπιστίας (λάθη πρόσβασης και βλάβες).⁽²⁾

3.2 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Για να θεωρείται ένα δίκτυο αξιόπιστο, πρέπει να μπορεί να μεταφέρει την πληροφορία από τον πομπό στον δέκτη χωρίς σφάλματα. Λόγω όμως των επιδράσεων θορύβου και των άλλων παραγόντων αλλοίωσης του σήματος που έχουν περιγραφεί παραπάνω πρέπει να θεωρήσουμε πως τα σφάλματα είναι αναπόφευκτα ακόμα και στις πιο ιδανικές συνθήκες. Έτσι οι μηχανισμοί ανίχνευσης και αντιμετώπισης σφαλμάτων

πρέπει να θεωρηθούν υποχρεωτικοί ακόμα και αν η κατασκευή του δικτύου είναι τέτοια που θεωρούμε πως στο κανάλι μετάδοσης δεν μπορούν να προκληθούν σφάλματα.

3.2.1 ΑΙΤΙΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Ως σφάλμα θεωρούμε την αντιστροφή της τιμής σε ένα ή περισσότερα δυαδικά ψηφία δηλαδή από 0 σε 1 ή και το αντίστροφο.

Άλλες αιτίες πρόκλησης σφαλμάτων είναι:

- η απόρριψη πακέτων στους κόμβους, έτσι κατά την άφιξη της πληροφορίας σε έναν κόμβο που είναι γεμάτος μπορεί να απορριφθεί η αποθήκευση της και να χαθεί η πληροφορία.
- Βλάβες τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού,
- Λανθασμένες παραμετροποιήσεις δικτυακού εξοπλισμού όπου τα δεδομένα δεν έχουν δρομολογηθεί σωστά και μπορεί να αποστέλλονται σε ανύπαρκτο ή λάθος προορισμό.

Προκειμένου να μεταδοθεί σωστά η πληροφορία και ένα δίκτυο να θεωρείται αξιόπιστο, πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να διορθώνει τα σφάλματα που προκαλούνται πριν αυτά παραδοθούν στον προορισμό τους. Για να μπορεί να γίνει ο έλεγχος στην πληροφορία, πρέπει να προστεθούν επιπλέον bits πληροφορίας πριν την μεταφορά του και έτσι είναι δυνατόν ο έλεγχος από το ίδιο το δίκτυο για σφάλματα. Τα επιπλέον bits που προστίθενται στην πληροφορία, ελέγχουν κατά τη λήψη αν η ισοτιμία των bits είναι άρτια ή περιπτή και ονομάζονται bits ισοτιμίας. Έτσι ο κώδικας ελέγχει, εντοπίζει και διορθώνει το σφάλμα. Στην περίπτωση που η ισοτιμία του έλεγχου είναι εσφαλμένη, εντοπίζεται η θέση του σφάλματος και γίνεται αναστροφή του συγκεκριμένου bit.⁽²⁾

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Ο ΚΩΔΙΚΑΣ HAMMING

4.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Κατά την διάρκεια αναμετάδοσης ενός μηνύματος, υπάρχει το ενδεχόμενο να έχουμε απώλεια της πληροφορίας. Με την χρήση διάφορων τεχνικών αναπαράγουμε το κατεστραμμένο τμήμα της πληροφορίας. Η αρχή στους κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων είναι ο διαχωρισμός των κωδικολέξεων (codewords) με την περαιτέρω επέκταση του κώδικα προσθέτοντας bits ελέγχου. Όταν ληφθεί μια λανθασμένη κωδικολέξη, ο δέκτης επιδιορθώνει το σφάλμα, χωρίς κάποια άλλη ανθρώπινη παρέμβαση.

Η τεχνική κωδικοποίησης ώστε να ελαχιστοποιήσει τα σφάλματα και να είναι χρήσιμη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή και να μπορεί να κωδικοποιήσει και να αποκωδικοποιήσει την πληροφορία με αξιοπιστία.

Ο κωδικοποίηση με τον κώδικα Hamming, έχει σκοπό να αυξήσει την αξιοπιστία μετάδοσης και λήψης της πληροφορίας ώστε και στην περίπτωση που αυτή χάνεται η καταστρέφεται, θα είναι δυνατή να ανακτηθεί και να παρουσιαστεί στο δέκτη επαναλαμβάνοντας την πληροφορία. Αντί όμως να κάνουμε επανάληψη των bits που στάλθηκαν μπορούμε να προσθέσουμε bits που ελέγχουν αν η πληροφορία που στάλθηκε είναι έγκυρη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εισάγοντας bits ελέγχου με τα οποία μπορούμε να κάνουμε έλεγχο ισοτιμίας. Τα bits ελέγχου εξαναγκάζουν την ισοτιμία κάποιου συνόλου bits να είναι άρτια ή περιττή. Όταν λαμβάνεται μία κωδικολέξη στην οποία έχουν προστεθεί και τα bits ισοτιμίας, ο παραλήπτης υπολογίζει τα bit ελέγχου που έλαβε. Αυτά αποκαλούνται αποτελέσματα ελέγχου. Αν τα bits ελέγχου είναι σωστά, δηλαδή το αποτέλεσμα είναι άρτιο, τότε το κάθε αποτέλεσμα ελέγχου θα πρέπει να είναι μηδέν (0). Στην περίπτωση αυτή η κωδικολέξη γίνεται αποδεκτή ως έγκυρη. Αν όμως τα αποτελέσματα ελέγχου δεν είναι όλα μηδενικά έχει ανιχνευθεί ένα σφάλμα. Το σύνολό του των αποτελεσμάτων ελέγχου σχηματίζει το σύνδρομο σφάλματος (syndrome vector) που χρησιμοποιείται για κατάδειξη και διόρθωση σφάλματος. Έτσι μπορεί πολύ εύκολα να προσδιοριστεί το λάθος και να διορθωθεί αντιστρέφοντας την τιμή του bit (0) σε (1)

και αντίστοιχα. Να σημειώσουμε πως η δυνατότητα ορθής διόρθωσης προϋποθέτει πως τα λάθη είναι το πολύ ίσα με τη διορθωτική ικανότητα του χρησιμοποιούμενου κώδικα ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων.⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

4.2 Ο ΚΑΝΟΝΑΣ HAMMING

Για να βρεθεί ο αριθμός των bits ισοτιμίας που είναι απαραίτητος, προκειμένου να μπορεί να ελεγχθεί με ασφάλεια ένα σφάλμα, ο Richard Hamming όρισε έναν κανόνα. Έτσι ορίζοντας (k) τα bits δεδομένων και (m) τα bits ισοτιμίας που είναι απαραίτητα, πρέπει να ισχύει:

$$2^m \geq m+k+1$$

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια πληροφορία τεσσάρων $k=4$ bit,

Έχουμε $2^m \geq m+4+1$, αν θεωρήσουμε ότι θα χρειαζόμασταν 2 bits ισοτιμίας $m=2$, και αντικαταστήσουμε έχουμε $4 \geq 7$, κάτι που δεν ισχύει.

Για $m=3$, έχουμε $8 \geq 8$, η σχέση επαληθεύεται άρα χρειαζόμαστε 3 bits ισοτιμίας.⁽⁸⁾⁽¹⁹⁾

4.3 ΚΩΔΙΚΕΣ HAMMING

Στους κώδικες Hamming τα bit της κωδικολέξης αριθμούνται διαδοχικά , αρχίζοντας με το bit 1 στο αριστερό άκρο, το bit 2 ακριβώς στα δεξιά του κ.ο.κ. Τα bits που είναι δυνάμεις του 2 (1,2,4,8,16,32 κτλ) είναι bits ελέγχου. Τα υπόλοιπα (3,5,6,7,9 κτλ) συμπληρώνονται από τα bits δεδομένων. Με τα bits ελέγχου, υπολογίζεται η ισοτιμία του συνόλου bit τα οποία ελέγχει για το είναι άρτια ή περιπτή. Τα κάθε ένα bit μπορεί να περιλαμβάνεται σε έναν η περισσότερους από έναν υπολογισμούς ισοτιμίας

Όταν καταφθάνει μία κωδικολέξη, ο παραλήπτης πραγματοποιεί τους υπολογισμούς των bits ελέγχου που έλαβε. Αν ο υπολογισμός των bit ελέγχου είναι άρτιος στο κάθε αποτέλεσμα, τότε η κωδικολέξη γίνεται αποδεκτή ως έγκυρη. Αν όμως

τα αποτελέσματα ελέγχου δεν είναι όλα άρτια έχει ανιχνευθεί ένα σφάλμα. Ύστερα ανιχνεύεται η θέση του λάθους και διορθώνεται το σφάλμα.⁽¹²⁾

Με την βοήθεια διαγράμματος Venn, μπορούμε εύκολα να σχεδιάσουμε και να προσδιορίσουμε την θέση των bits ελέγχου (P1,P2,P3) και δεδομένων (d1,d2,d3,d4) ώστε να γνωρίζουμε ποια bits δεδομένων καλύπτονται από το κάθε bit ελέγχου όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.⁽¹⁸⁾



Σχ. 6 Διάγραμμα Venn. Αριστερά φαίνονται οι θέσεις των bits δεδομένων (d) και τα bits ελέγχου ισοτιμίας (P). Δεξιά έχουν τοποθετηθεί οι τιμές στο διάγραμμα για την ορθή μετάδοση της πληροφορίας 1010.⁽¹⁸⁾

Με διαγράμματα Venn σχηματοποιούμε την αναπαράσταση της κωδικοποίησης Hamming και συγκεκριμένα με τρεις τριχοτομημένους κύκλους. Στο σχήμα βλέπουμε πως τα τέσσερα μεταδιδόμενα bits $d_1d_2d_3d_4$ τοποθετούνται ισότιμα με τα bit ελέγχου ισοτιμίας bits P1,P2,P3 έτσι ώστε η ισοτιμία σε κάθε κύκλο να είναι άρτια.⁽⁶⁾

Μια λέξη τεσσάρων (4) bits μπορεί να δημιουργήσει $2^4=16$ κωδικολέξεις όπως φαίνεται στο πίνακα 1 και κάθε ζευγάρι κωδικολέξεων διαφέρει από την άλλη τουλάχιστον τρία bits. Ο αριθμός των bits που διαφέρουν οι κωδικολέξεις ονομάζεται απόσταση Hamming.⁽¹²⁾

s	t	s	t	s	t	s	t
0000	0000000	0100	0100110	1000	1000101	1100	1100011
0001	0001011	0101	0101101	1001	1001110	1101	1101000
0010	0010111	0110	0110001	1010	1010010	1110	1110100
0011	0011100	0111	0111010	1011	1011001	1111	1111111

Πίνακας. 1 Οι δεκαέξι κωδικολέξεις τους κώδικα Hamming (7,4)⁽⁶⁾

4.4 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΛΓΕΒΡΑ

Επειδή ο κώδικας Hamming είναι ένας γραμμικός κώδικας, δηλαδή είναι ένας κώδικας ελέγχου όπου κάθε γραμμικός συνδυασμός είναι επίσης μία κωδικολέξη, μπορεί να γραφτεί ως πίνακας . Η μεταδιδόμενη κωδικολέξη x λαμβάνεται από την αλληλουχία πληροφοριών της πηγής μέσω της γραμμικής λειτουργίας.

Ας υποθέσουμε πως θέλουμε να στείλουμε την λέξη 1011.

Ο πίνακας G μπορεί να χαρακτηριστεί ως γεννήτορας πίνακας (generator matrix):

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

και ο πίνακας (H) ο πίνακας ελέγχου ισοτιμίας (parity check):

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

έτσι, ο πολλαπλασιασμός των πινάκων μας δίνει την κωδικολέξη x

$$x = Gp = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Στην διαδικασία της αποκωδικοποίησης γίνεται ο έλεγχος ισοτιμίας της κωδικολέξης σύμφωνα με τον παρακάτω πολλαπλασιασμό:

$$Z = Hx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ άρτια ισοτιμία}$$

(18)(19)

4.5 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΟΝΤΑΣ - ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ HAMMING (7,4) ΣΕ ΒΗΜΑΤΑ

Για να κατανοήσουμε με σχήματα και πράξεις σε βήματα τα παραπάνω ας υποθέσουμε πως θέλουμε να μεταδώσουμε την λέξη 4 bits (1010).

Έτσι έχουμε:

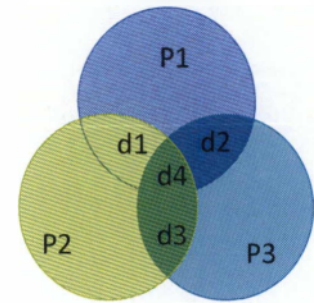
1	2	3	4
d1	d2	d3	d4
1	0	1	0

Τοποθετώντας τα δεδομένα στο διάγραμμα Venn στις αντίστοιχες θέσεις βλέπουμε ποιά bits δεδομένων καλύπτονται από τα bits ισοτιμίας και υπολογίζουμε επίσης την θέση που έχουν μέσα στην κωδικολέξη:

4.5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

Πριν ξεκινήσουμε, υπολογίζουμε τον αριθμό των bits ισοτιμίας (P) που θα χρησιμοποιήσουμε σύμφωνα με τον κανόνα Hamming και ύστερα τις θέσεις τους μέσα στην κωδικολέξη.

$2^m \geq m+k+1$, όπου $m=3$ και $k=4$, $8 \geq 8$, **αρα 3 bits ισοτιμίας** και οι θέσεις τους $P1 = 2^0 = 1$, $P2 = 2^1 = 2$ και $P3 = 2^2 = 4$



Σχ. 7 Διάγραμμα Venn

Ύστερα υπολογίζουμε την τιμή που έχει κάθε bit (P) ισοτιμίας σύμφωνα με τα δεδομένα που θέλουμε να μεταδώσουμε και τα τοποθετούμε μέσα στο διάγραμμα Venn:

$$P1 = d1 + d2 + d4 = 1 + 0 + 0 = 1$$

$$P2 = d1 + d3 + d4 = 1 + 1 + 0 = 0$$

$$P3 = d2 + d3 + d4 = 0 + 1 + 0 = 1$$



Σχ. 8 Διάγραμμα Venn για την πληροφορία τεσσάρων (4) bit 1010

Έτσι η κωδικολέξη που αποστέλλεται είναι:

1	2	3	4	5	6	7
P1	P2	d1	P3	d2	d3	d4
1	0	1	1	0	1	0

Πίνακας. 2 Σχηματισμός Κωδικολέξης

4.5.2 ΔΙΑΔΙΑΚΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

Κατά τη λήψη της κωδικολέξης γίνεται ο έλεγχος ισοτιμίας (Z):

$$Z1 = P1 + d1 + d2 + d4 = 1 + 1 + 0 + 0 = 0$$

$$Z2 = P2 + d1 + d3 + d4 = 0 + 1 + 1 + 0 = 0$$

$$Z3 = P3 + d2 + d3 + d4 = 1 + 0 + 1 + 0 = 0$$

Έπειτα γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αν η ισοτιμία είναι άρτια, η λέξη αποδίδεται, ενώ η περιττή ισοτιμία υποδεικνύει την ύπαρξη σφάλματος και συνεχίζεται η διαδικασία εύρεσης της θέσης σφάλματος και αντιστροφή της τιμής του δυαδικού της ψηφίου.

Ας υποθέσουμε ότι κατά την μετάδοση έγινε αντιστροφή του b3.

Στον έλεγχο ισοτιμίας (Z) θα είχαμε:

$$Z1=P1+d1+d2+d4=1+1+0+0=0$$

$$Z2=P2+d1+d3+d4=0+1+0+0=1$$

$$Z3=P3+d2+d3+d4=1+0+0+0=1$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα στον έλεγχο Z2 και Z3 παρουσιάζεται περιττή ισοτιμία άρα ένδειξη σφάλματος. Προκειμένου να διορθωθεί το σφάλμα πρέπει να εντοπιστεί με ακρίβεια η θέση του και να αναστραφεί το δυαδικό ψηφίο.

Τα δεδομένα που ελέγχονται από τις bit ισοτιμίας P2 και P3 ελέγχουν το σφάλμα. Για τον υπολογισμό της θέσης του σφάλματος αρκεί να αθροίσουμε το $Z3=2^0$ και $Z2=2^1$ (στην περίπτωση μας το $Z1=2^2$ είναι άρτιο και δεν το λαμβάνουμε υπόψη)

$$Z3+Z2= 2^0+2^1=1+2=3$$

άρα το σφάλμα που δημιουργήθηκε και πρέπει να αντιστραφεί, βρίσκεται στη θέση d3.

1	2	3	4	5	6	7
P1	P2	d1	P3	d2	d3	d4
1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0
-	-	1	-	0	1	0

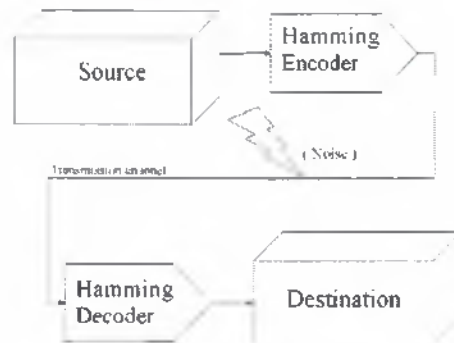
Πίνακας. 3 Αντιστροφή στη θέση d3

(3)(7)

4.6 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HAMMING

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω προκειμένου να σχεδιάσουμε το κύκλωμα, πρέπει να δίνουμε δεδομένα σε μία είσοδο (πηγή της πληροφορίας) και αυτή με την σειρά της να τα διαβιβάζει σε έναν κωδικοποιητή ο οποίος προσθέτει στις κατάλληλες θέσεις τα bits ισοτιμίας στην πληροφορία και αποστέλλεται μέσα από ένα κανάλι

επικοινωνίας. Η πληροφορία αυτή φθάνοντας στον προορισμό της, λαμβάνεται από έναν αποκωδικοποιητή ο οποίος ελέγχει την ληφθείσα πληροφορία για την ορθότητά της, την διορθώνει εάν υπάρχει πρόβλημα και ύστερα την αποδίδει στον προορισμό (δέκτη), όπως φαίνεται στην Εικ.2.



Εικ. 2 Σχηματική αναπαράσταση μετάδοσης πληροφορίας με την επίδραση θορύβου (Πηγή: Αγνωστη)

4.6.1 ΛΟΓΙΚΕΣ ΠΥΛΕΣ

Για την σχεδίαση θα χρησιμοποιηθούν οι λογικές πύλες XOR δύο εισόδων, AND τριών εισόδων και η NOT. Θα αναφερθούμε λίγο στις συγκεκριμένες λογικές πύλες προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι πράξεις που συμβαίνουν πραγματοποιούνται στο κύκλωμα.

4.6.1.1 ΠΥΛΗ XOR

Η πύλη XOR εκτελεί την λογική πράξη XOR (exclusive OR) μεταξύ των εισόδων της. Η πύλη XOR της Εικ.3, έχει 2 εισόδους (A και B) και μία έξοδο (C). Η πράξη που γίνεται είναι η: $C = AB' + A'B$ και ο πίνακας αληθείας της λογικής πύλης XOR συμπληρώνεται ως εξής χρησιμοποιώντας την λογική modulo-2:



Είσοδοι		Έξοδος
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

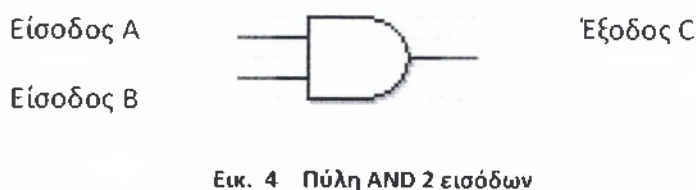
Πιν. 4 Πίνακας αληθείας XOR

Σημείωση: Modulo-2: Κάθε πράξη με την λογική modulo 2, πραγματοποιείται ανεξάρτητα, χωρίς να μεταφέρει κρατούμενα ή να δανείζεται από γειτονικά ψηφία.⁽²¹⁾

4.6.1.2 ΠΥΛΗ AND

Η πύλη **AND** εκτελεί την λογική πράξη AND (πολλαπλασιασμό) μεταξύ των εισόδων της. Για η πύλη έχει 2 και περισσότερους εισόδους (a,b,c,... κοκ) και μία έξοδο (c). Η πράξη που πραγματοποιεί είναι $c = a * b$

Ο πίνακας αληθείας της λογικής πύλης AND συμπληρώνεται ως εξής στον πίνακα:

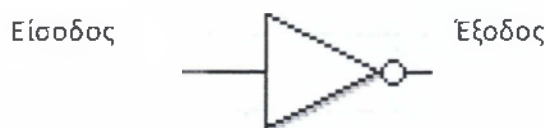


Είσοδοι		Έξοδος
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Πιν. 5 Πίνακας αληθείας AND

4.6.1.3 ΠΥΛΗ NOT

Η πύλη **NOT** έχει μόνο μία είσοδο και δίνει μόνο μία έξοδο. Η λειτουργία της είναι η αντιστροφή του λογικού σήματος της εισόδου. Ο πίνακας αληθείας της πύλης είναι:



Εικ. 5 Πύλη NOT

Είσοδος	Έξοδος
0	1
1	0

Πιν. 6 Πίνακας αληθείας NOT

(17)

4.6.2 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ

Ο κωδικοποιητής, λαμβάνει την πληροφορία που πρόκειται να σταλεί και την κωδικοποιεί σύμφωνα με το σύστημα κωδικοποίησης Hamming. Εκεί εισάγει σε κατάλληλες θέσεις και ανάλογα με το μέγεθος της πληροφορίας τα bits ελέγχου ισοτιμίας και δημιουργεί την κωδικολέξη.

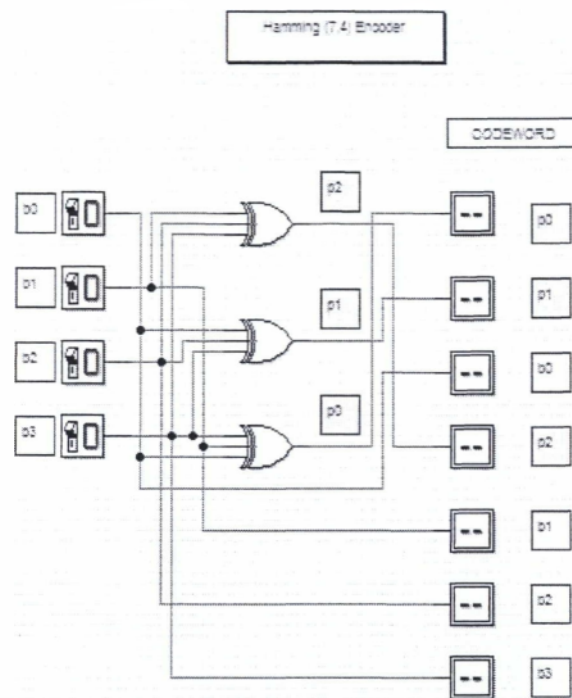
Στον παρακάτω πίνακα (7) παρουσιάζεται ο αριθμός των bits ελέγχου ισοτιμίας που χρειάζεται ανάλογα με το μέγεθος της πληροφορίας.

Μέγεθος πληροφορίας (bits)	Αριθμός (bits) ελέγχου ισοτιμίας που απαιτούνται	Μέγεθος κωδικολέξης (bits)
2-4	3	5-8
5-11	4	9-15
12-26	5	17-31
27-57	6	33-63
58-64	7	65-71
Κ.Ο.Κ	Κ.Ο.Κ	Κ.Ο.Κ

Πιν. 7 Συγκριτικός πίνακας που εμφανίζει τις σχέσεις των bits δεδομένων, bits ελέγχου και της κωδικολέξης που δημιουργείται κατά την κωδικοποίηση Hamming.

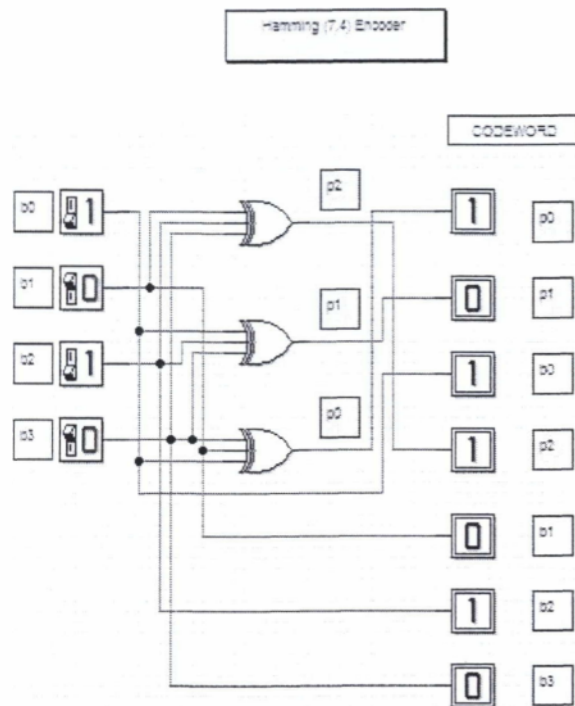
Σε σημείο αυτό το κύκλωμα μας, για την κωδικοποίηση Hamming (7,4) αποτελείται από τέσσερις εισόδους, μία για κάθε bit, οι οποίες πηγαίνουν κατευθείαν σε εξόδους διατηρώντας την αρχική τους τιμή και επίσης αποστέλλονται σε 3 πύλες XOR, οι οποίες αθροίζονται συνδυαστικά με τις εισόδους σύμφωνα με τον έλεγχο που έχουν

στα bits εισόδου σχηματίζοντας την άρτια ισοτιμία. Οι τιμές τους προστίθεται στην 1^η, 2^η και 4^η θέση, σχηματίζοντας μαζί με τις εξόδους που περιέχουν την αρχική πληροφορία στις θέσεις 3^η, 5^η, 6^η και 7^η την κωδικολέξη. Έτσι το κύκλωμα θα παρουσιάζεται με επτά (7) εξόδους.



Σχ. 9 Κωδικοποιητής κυκλώματος Hamming

Δίνοντας τιμές στις εισόδους, βλέπουμε πως σχηματίζεται μια κωδικολέξη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του σχ. 10 κάναμε εισαγωγή μίας πληροφορίας τεσσάρων bits 1010 και δημιουργήθηκε η κωδικολέξη 1011010, όπου στην θέση p0, p1 και p2 προστέθηκαν τα bit ελέγχου ισοτιμίας.



Σχ. 10 Δημιουργία κωδικολέξης για την πληροφορία 1010

4.6.3 ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ

Ο αποκωδικοποιητής λαμβάνει την πληροφορία με εισαγωγή της κωδικολέξης. Σκοπός του είναι να ελέγξει πως η πληροφορία δεν έχει υποστεί κάποιο σφάλμα, να διαχωρίσει τα bit ισοτιμίας και να αποδώσει το αποτέλεσμα.

Κατά την κατασκευή του αποκωδικοποιητή, θα πρέπει να έχουμε 7 εισόδους, 6 εισόδους XOR που συνδέονται με τις εισόδους και καταλήγουν σε άλλες 3 συνδυάζοντας τες. Από εκεί ξεκινάει η αποκωδικοποίηση με αποκωδικοποιητή 3x8, ο οποίος, έχει 3 εισόδους και 8 εξόδους.

Σε κάθε συνδυασμό όπως φαίνεται από στον πίνακα αληθείας, γίνεται κάθε δυνατός συνδυασμός και μόνο μία έξοδο μας δίνει την τιμή 1.

Η σχεδίαση του μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τρεις (3) πύλες NOT οι οποίοι θα υπολογίσουν την συμπληρωματική τιμή των εισόδων και οκτώ (8) πύλες AND τριών (3) εισόδων, όπως φαίνεται στο Σχ. 11.

Από τον Πίνακα Αληθείας του αποκωδικοποιητή 3x8 προκύπτουν οι ακόλουθες συναρτήσεις εξόδου:

$$S0=C' \cdot B' \cdot A'=1$$

$$S1=C' \cdot B' \cdot A=1$$

$$S2=C' \cdot B \cdot A'=1$$

$$S3=C' \cdot B \cdot A=1$$

$$S4=C \cdot B' \cdot A'=1$$

$$S5=C \cdot B' \cdot A=1$$

$$S6=C \cdot B \cdot A'=1$$

$$S7=C \cdot B \cdot A=1$$

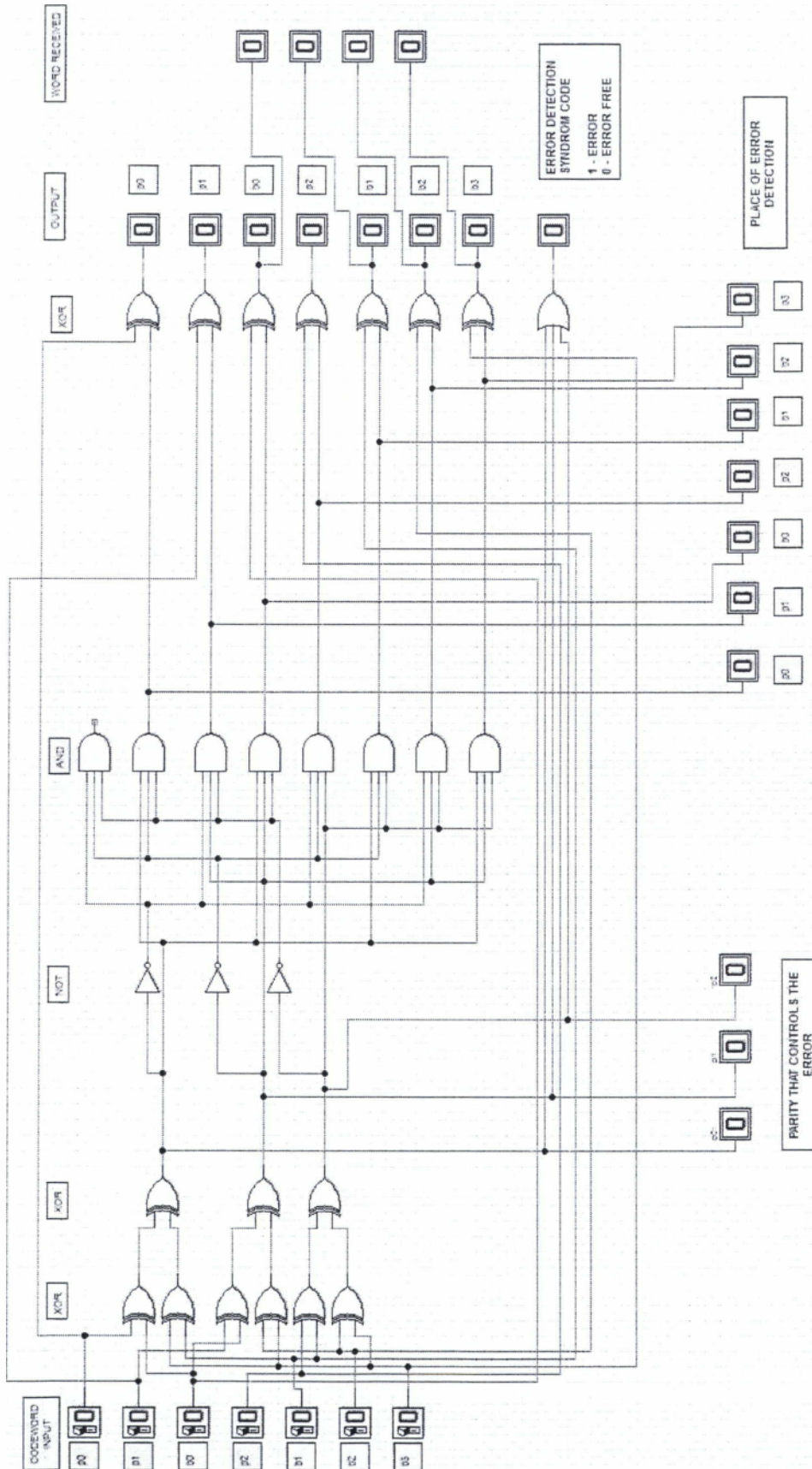
C	B	A	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Πιν. 8 Πίνακας αληθείας αποκωδικοποιητή 3 x 8

Από εκεί φεύγουν οι έξοδοι που καταλήγουν σε μία πύλη XOR και κατά την διαδρομή τους έχει προστεθεί μία έξοδος που υποδεικνύει την θέση του σφάλματος εάν υπάρχει. Μόλις το σήμα φτάνει στη πύλη XOR εάν είναι εσφαλμένο, τότε αυτό αντιστρέφεται και μας παρουσιάζεται το σωστό αποτέλεσμα. ⁽¹⁰⁾

Παρακάτω δίνεται ο κωδικοποιητής στην τελική του μορφή όπως έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση, τα αποτελέσματα του οποίου θα παρουσιαστούν στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας.

Σχ. 11 Σχεδίαση αποκωδικοποιητή Hamming (7,4)

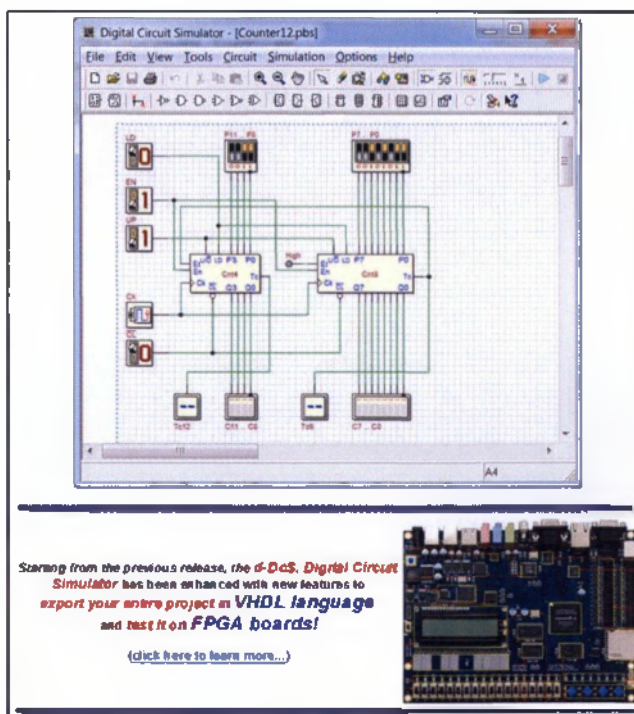
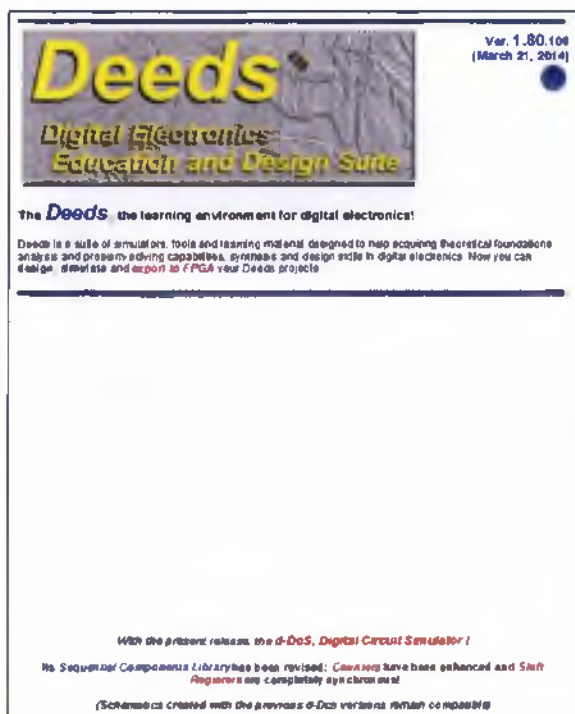


ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για την σχεδίαση του κυκλώματος, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης Deeds “ Digital Electronics Education and Design suit, “d-DcS - Digital Circuit Simulator” το οποίο διατίθεται δωρεάν για εκπαιδευτικούς σκοπούς και τα δικαιώματα ανήκουν στο Πανεπιστήμιο της Γένοβας στην Ιταλία. Deeds ver. 1.80.100 (21 Μαρτίου, 2014)

Το Deeds, είναι μία συλλογή προσομοιωτών, εργαλείων και εκπαιδευτικού υλικού για την απόκτηση θεωρητικών γνώσεων, αναλύσεων και επίλυσης προβλημάτων, συνθέσεων και σχεδιαστικών δεξιοτήτων στα ψηφιακά ηλεκτρονικά.



Εικ. 6 Εικόνες από την οθόνη έναρξης του προγράμματος προσομοίωσης Deeds “ Digital Electronics Education and Design suit, “d-DcS - Digital Circuit Simulator”

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πρόγραμμα προσομοίωσης Deeds “ Digital Electronics Education and Design suit και την διάθεση του υπάρχουν στην σελίδα του Πανεπιστήμιο της Γενεύης στο <http://www.esng.dibe.unige.it/deeds/> ⁽²⁰⁾

5.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ

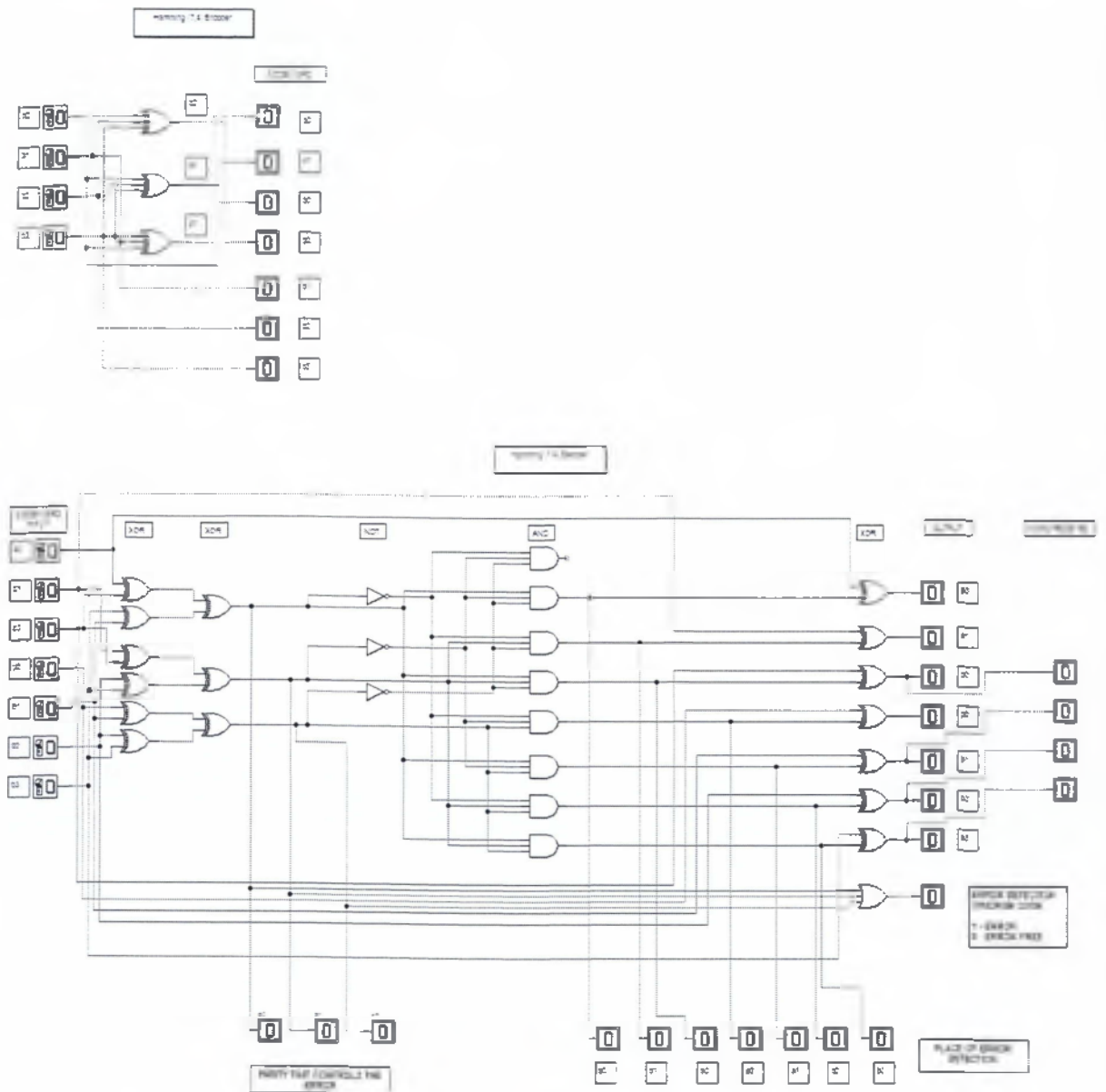
Η προσομοίωση του κώδικα Hamming (7,4) που θα παρουσιαστεί παρακάτω στα σχήματα 1 έως 16 επαληθεύεται για πληροφορία 4 bit σε $2^4=16$ περιπτώσεις και οι καταστάσεις που μπορεί να βρεθεί το σύστημα μας τις οποίες θέλουμε να επαληθεύουμε, προκειμένου να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία του κυκλώματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στις πληροφορίες αυτές θα προστεθούν τρία (3) bits ελέγχου ισοτιμίας στις θέσεις 1,2 και 4 δημιουργώντας κωδικολέξεις των επτά (7) bits. Κατά την αποκωδικοποίηση ελέγχονται τα bits και αν το άθροισμα τους είναι περιττό τότε ο κώδικας επεμβαίνει, εντοπίζοντας τη θέση και αντιστρέφοντας το εσφαλμένο bit από 0 σε 1 η αντίστροφα προκειμένου να είναι άρτια η ισοτιμία. Στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε έχουν προστεθεί εξόδοι που αλλάζουν κατάσταση από 0 σε 1, ώστε να μας υποδεικνύουν το σφάλμα (syndrome code), από ποια bit ισοτιμίας ελέγχεται και την ακριβή του θέση. Να σημειωθεί πως το κύκλωμα Hamming (7,4) μπορεί να ανιχνεύσει και να διορθώσει σφάλματα του ενός (1) bit, ενώ εντοπίζει διπλά σφάλματα τα οποία όμως δεν μπορεί να προσδιορίσει και να διορθώσει

/	b0	b1	b2	b3
1 ⁿ	0	0	0	0
2 ⁿ	0	0	0	1
3 ⁿ	0	0	1	0
4 ⁿ	0	0	1	1
5 ⁿ	0	1	0	0
6 ⁿ	0	1	0	1
7 ⁿ	0	1	1	0
8 ⁿ	0	1	1	1

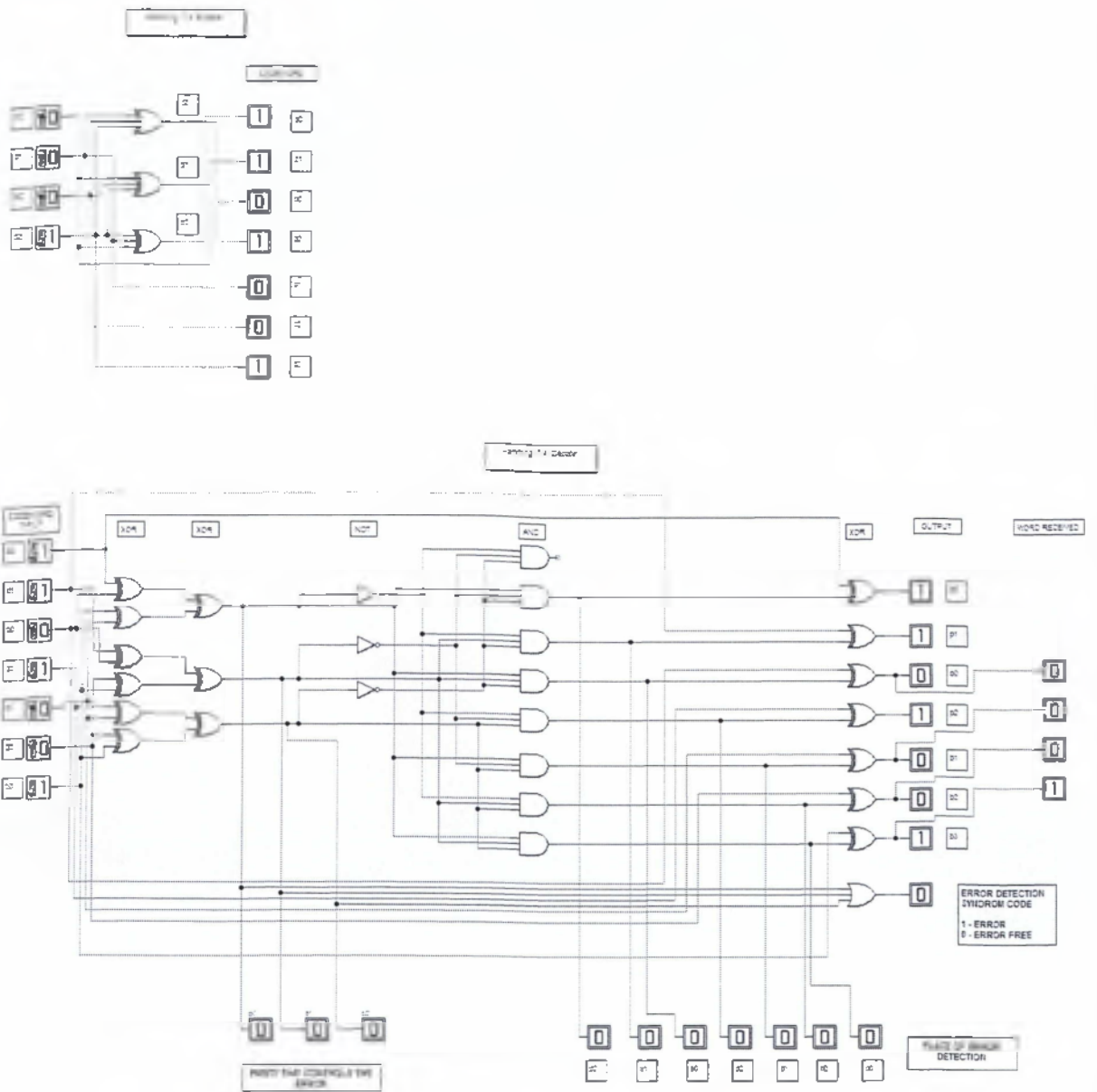
/	b0	b1	b2	b3
9 ⁿ	1	0	0	0
10 ⁿ	1	0	0	1
11 ⁿ	1	0	1	0
12 ⁿ	1	0	1	1
13 ⁿ	1	1	0	0
14 ⁿ	1	1	0	1
15 ⁿ	1	1	1	0
16 ⁿ	1	1	1	1

Πίνακας. 9 Οι δεκαέξι (16) καταστάσεις που μπορούν να ληφθούν για μια πληροφορία τεσσάρων (4) bits

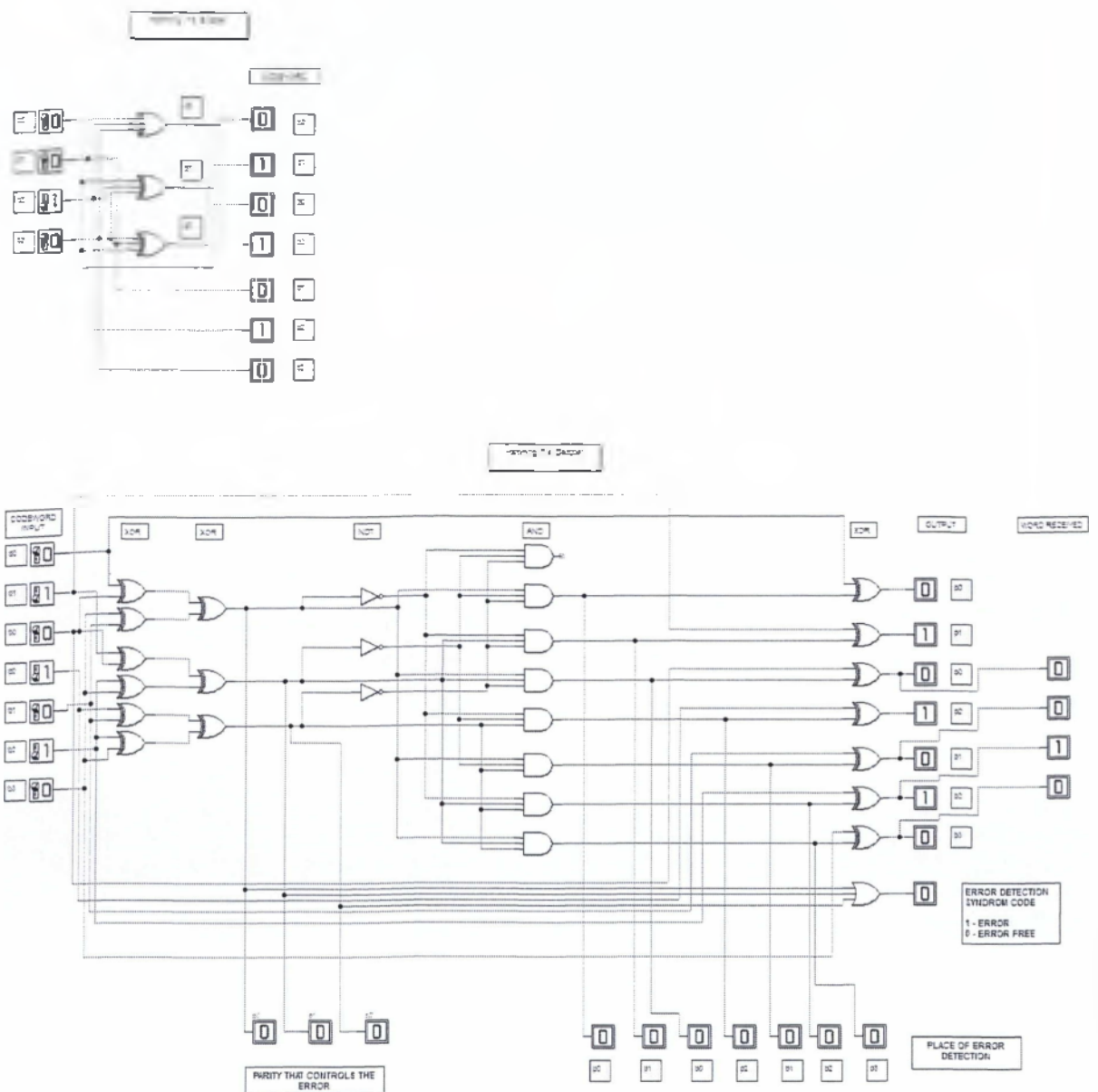
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



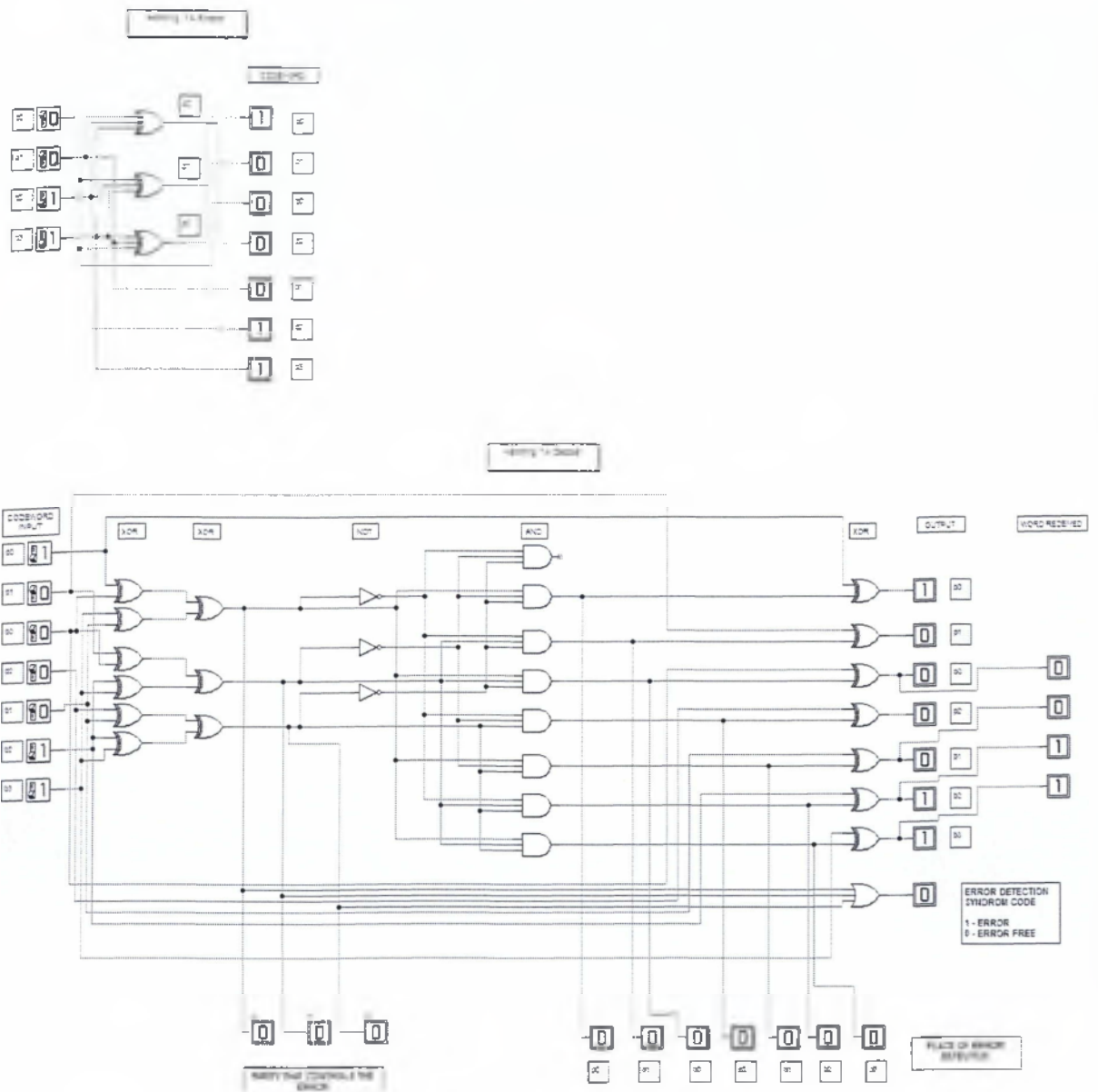
Σχ. β.1 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0000 το κύκλωμα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές ή στην έξοδο. Άρα το κύκλωμα επαληθεύει την κατάσταση αυτή.



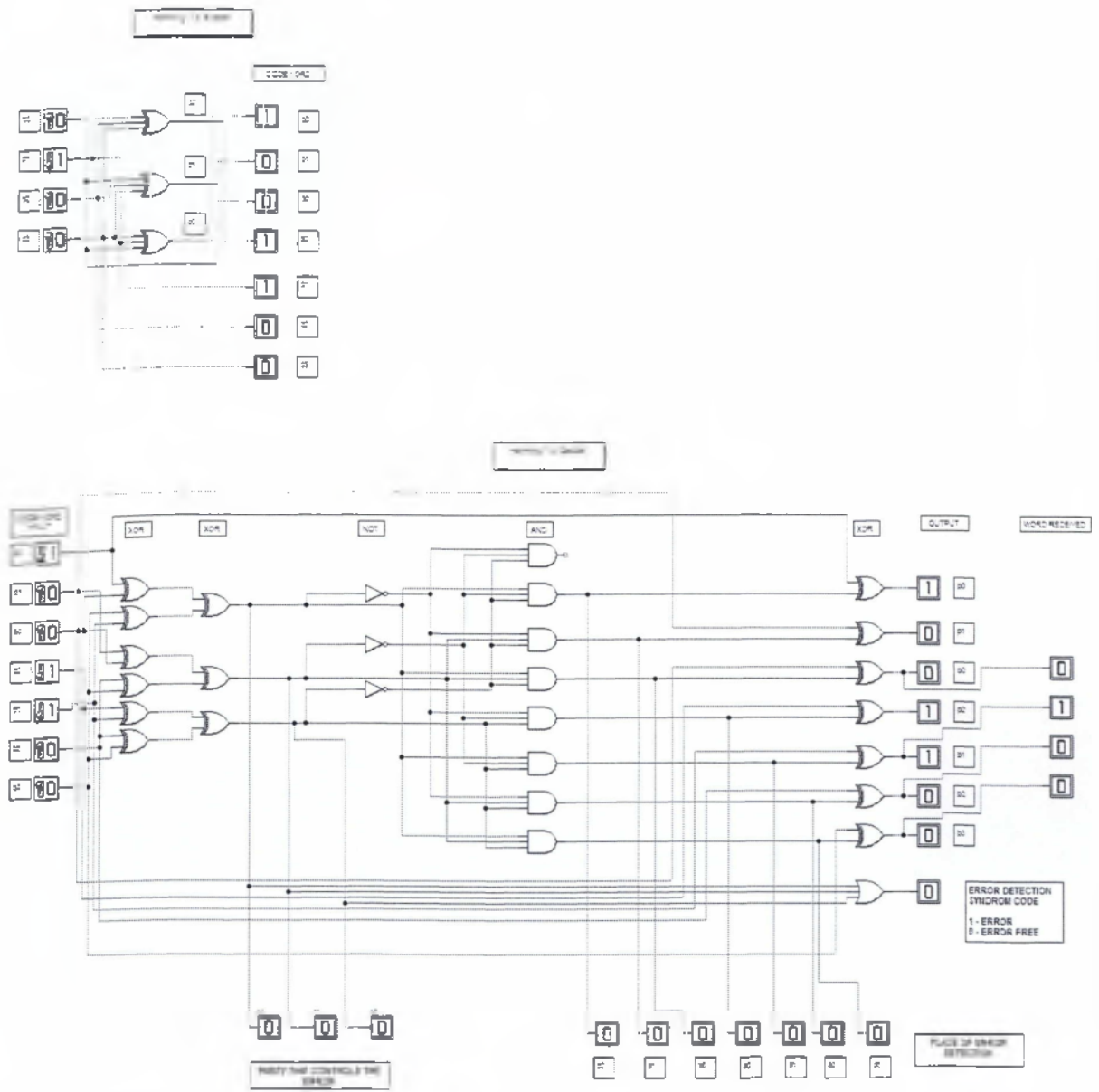
Σχ. β.2 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0001 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



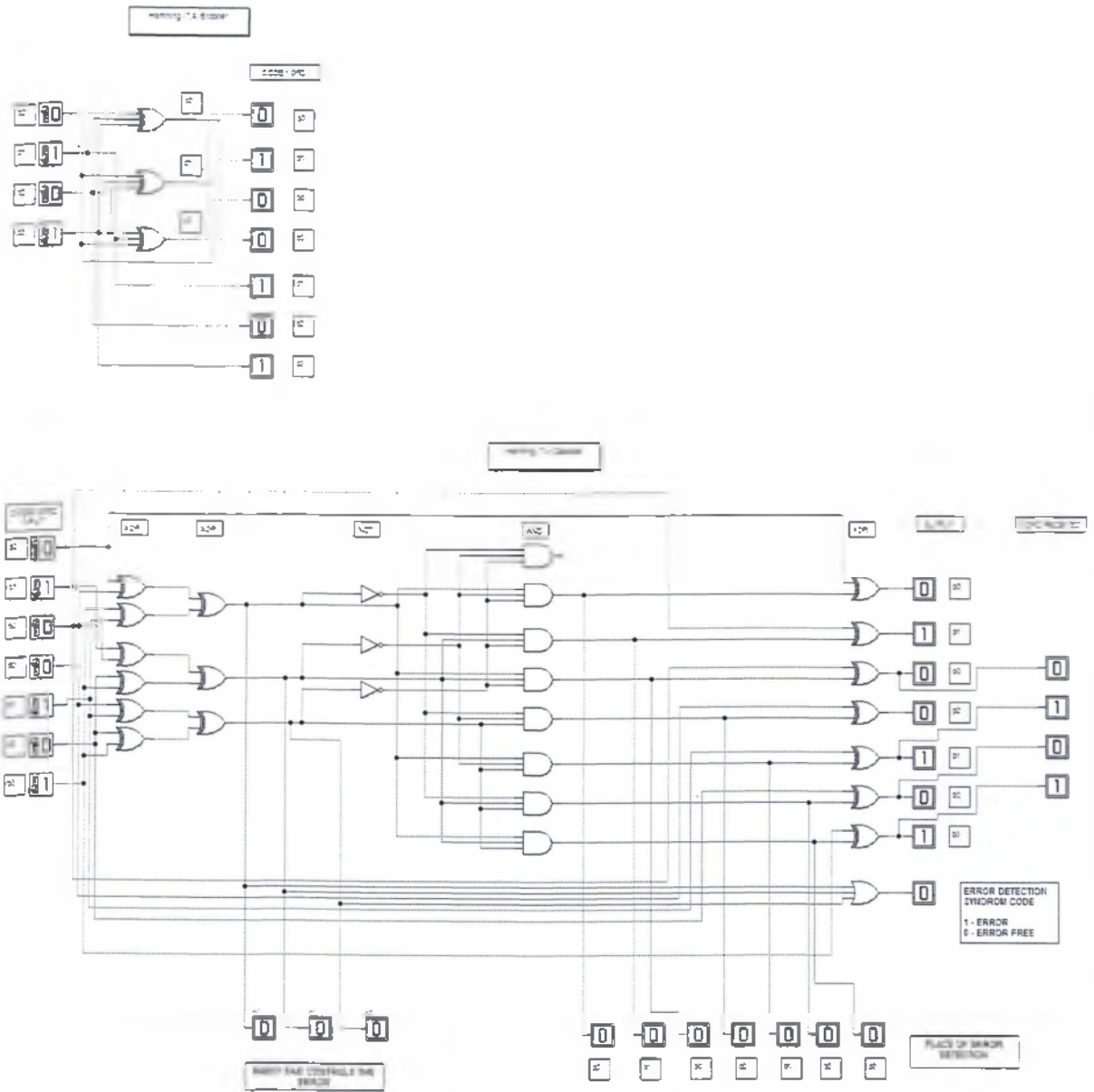
Σχ. β.3 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0010 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



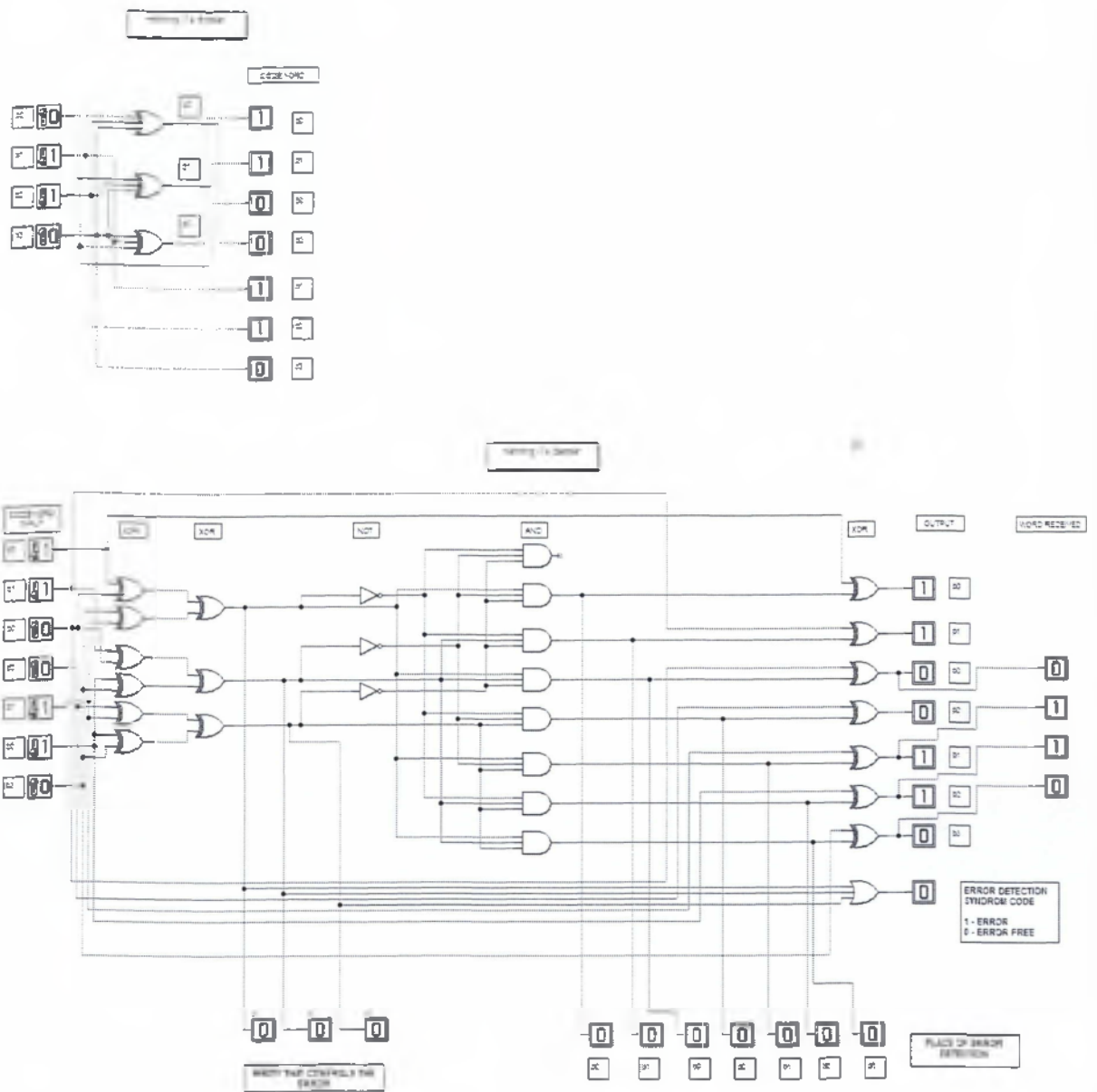
Σχ. β.4 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0011 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



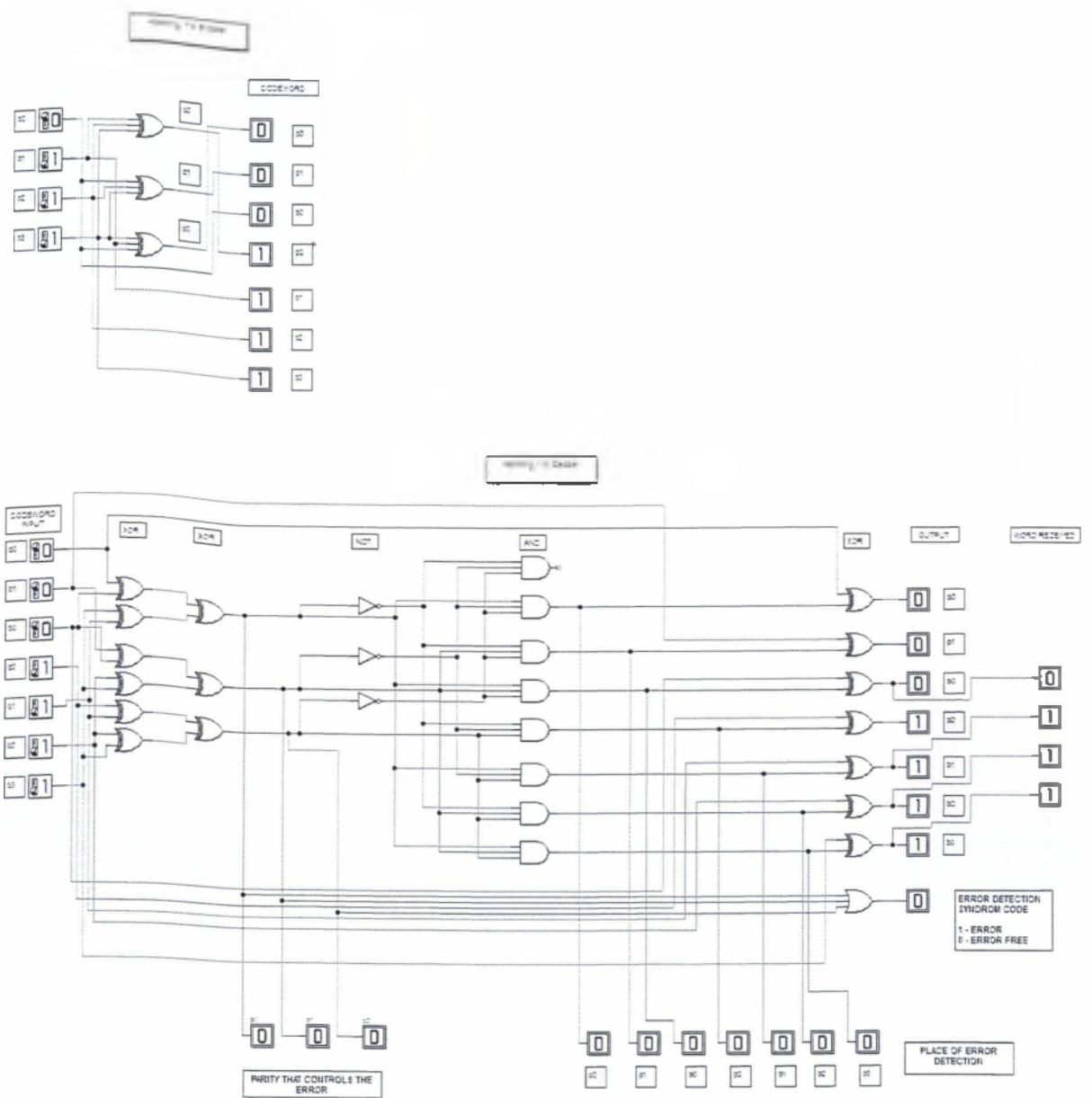
Σχ. β.5 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0100 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



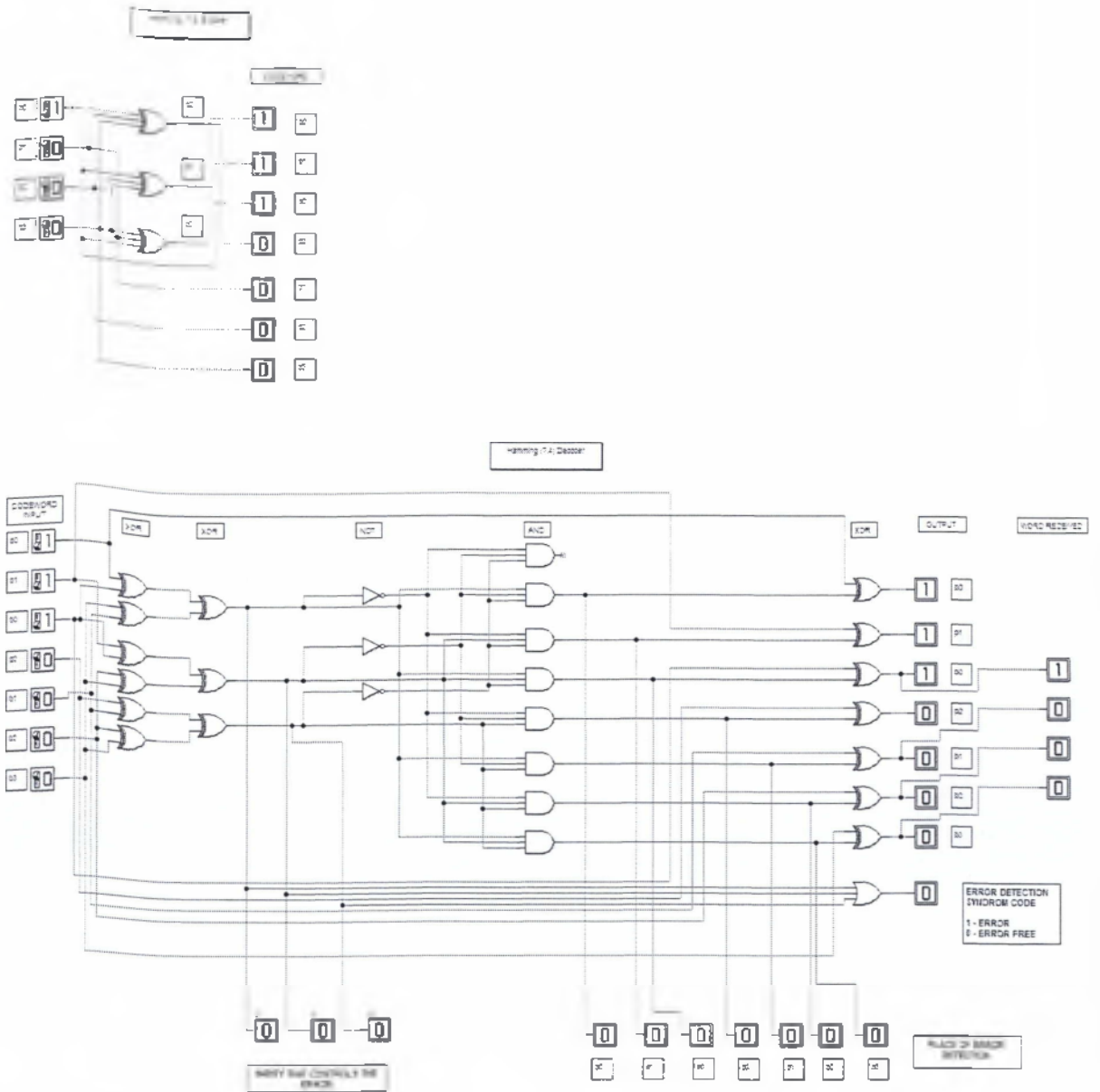
Σχ. β.6 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0101 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



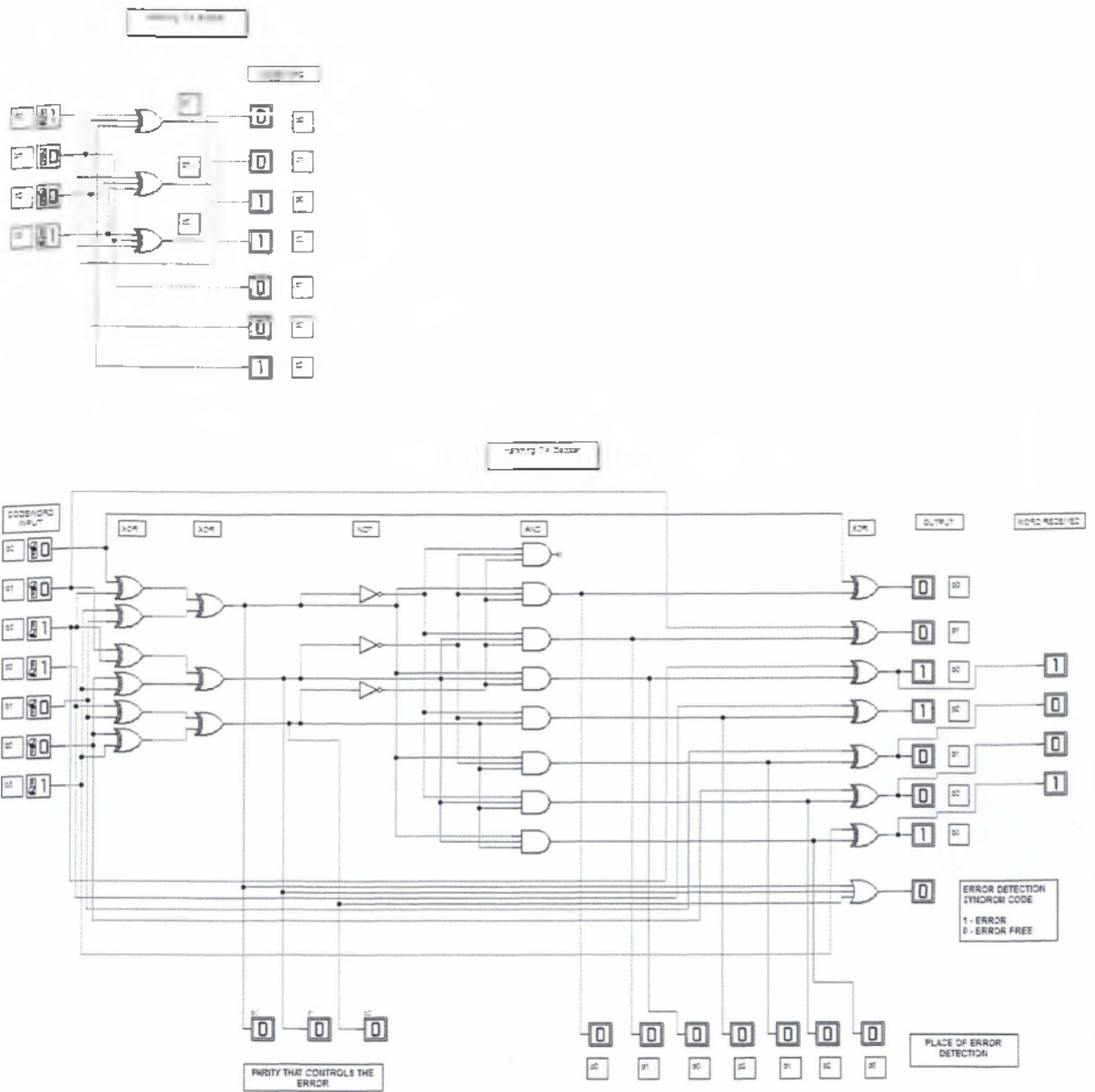
Σχ. β.7 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0110 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



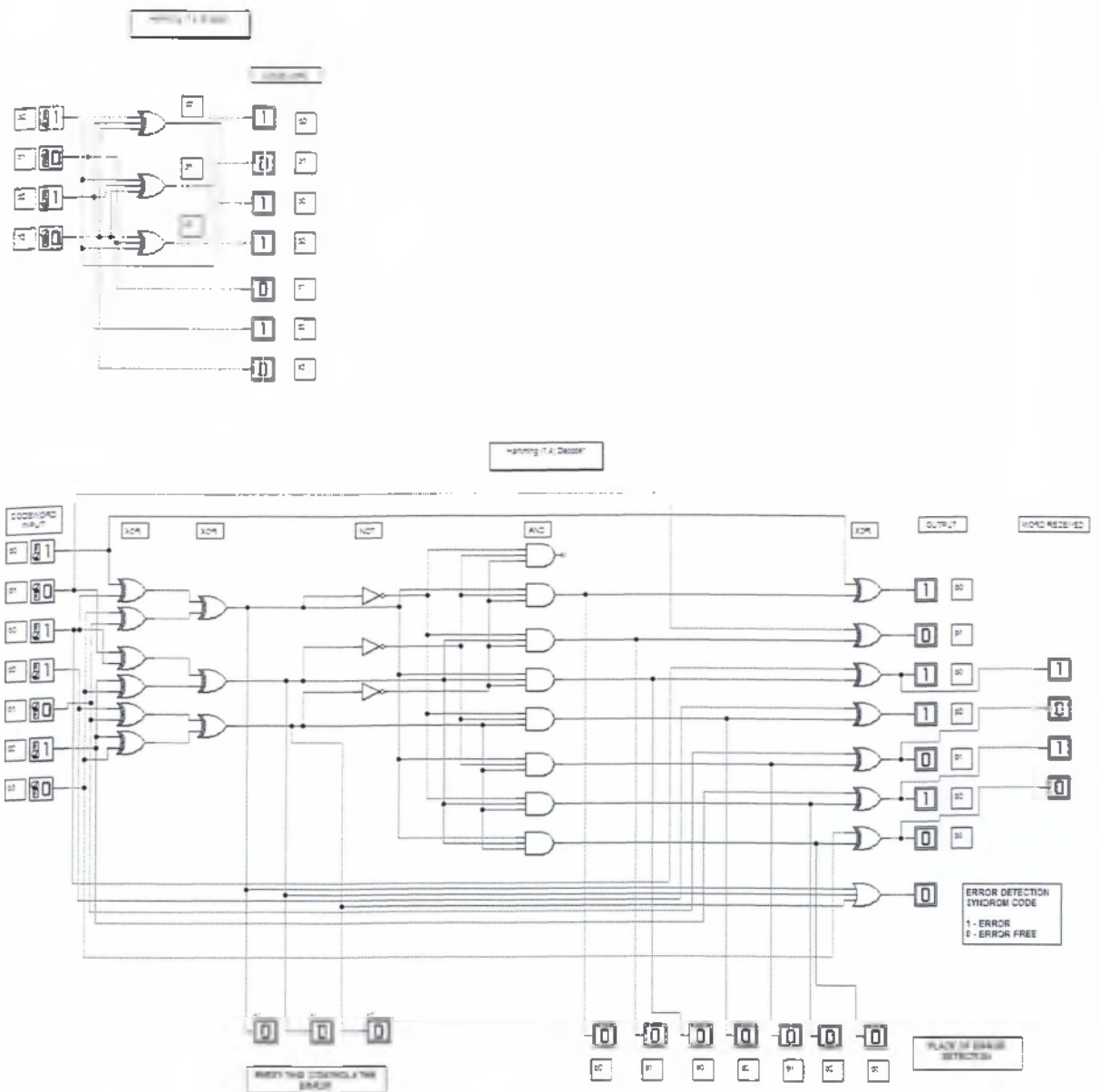
Σχ. β.8 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 0111 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



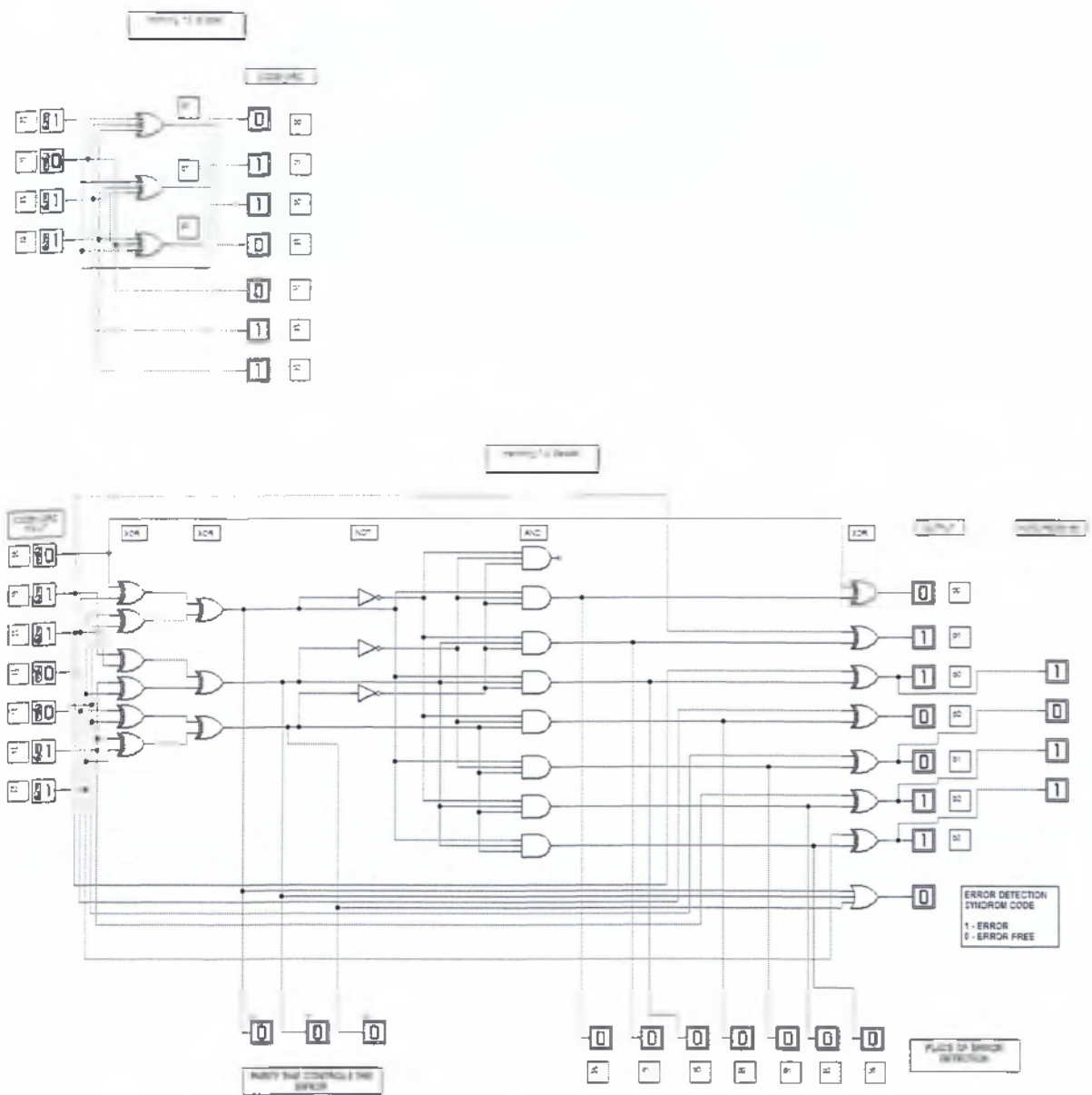
Σχ. β.9 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1000 το κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



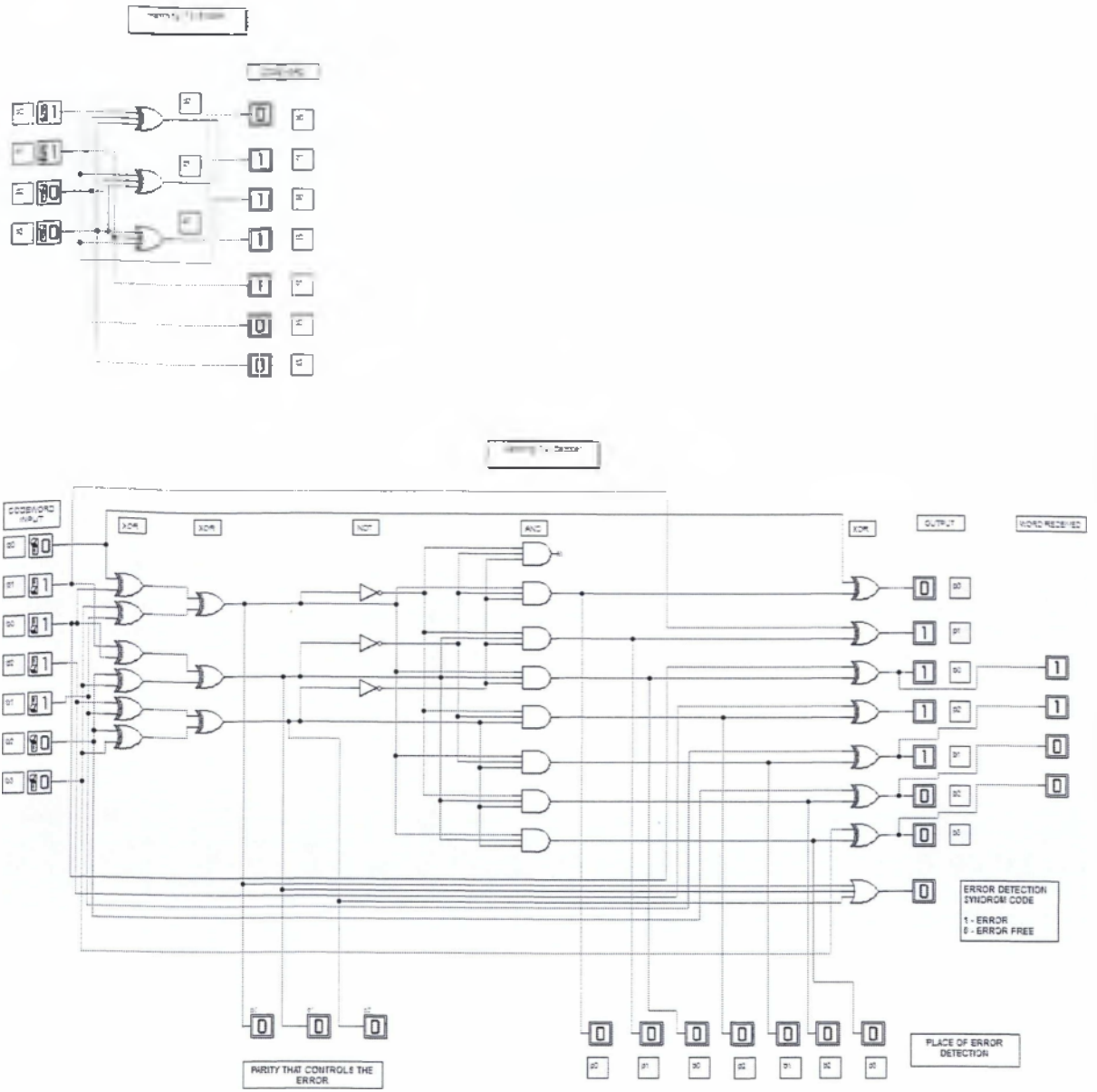
Σχ. β.10 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1001 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



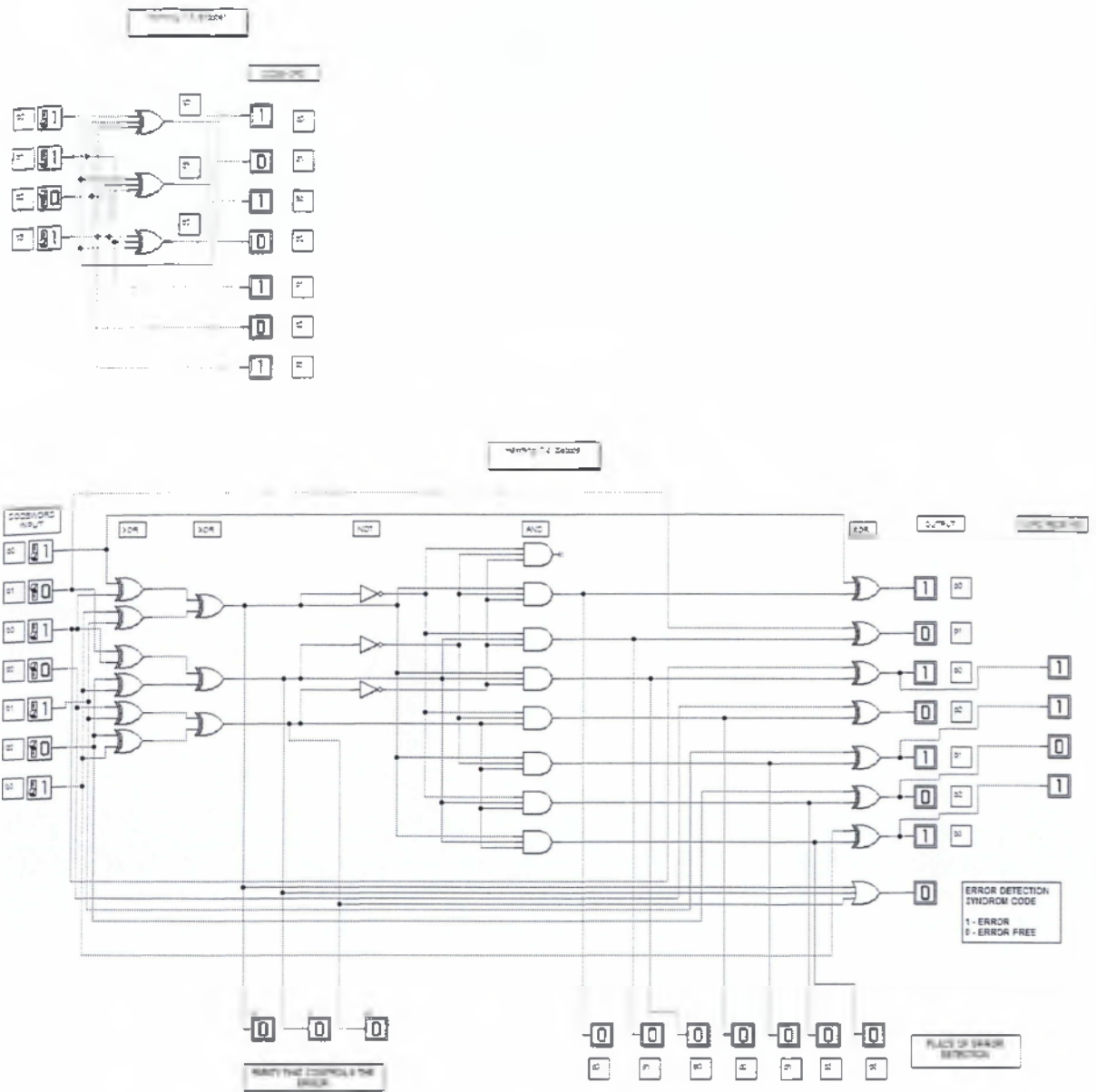
Σχ. β.11 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1010 το κύκλωμα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



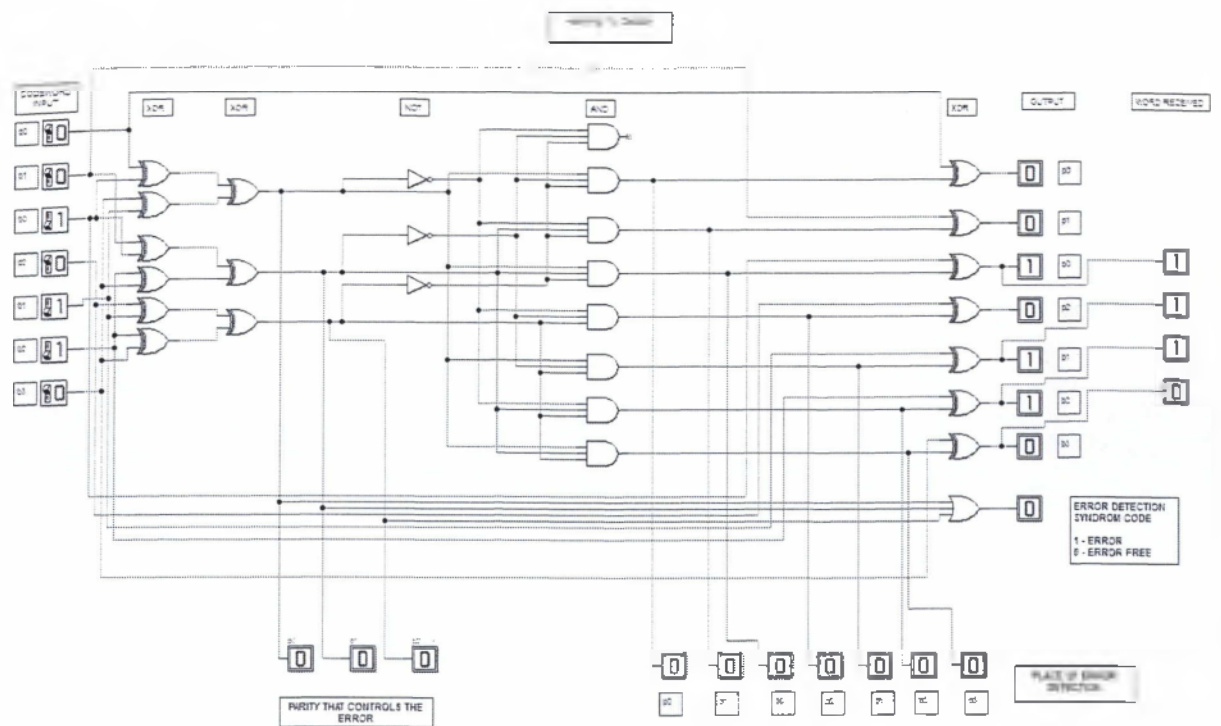
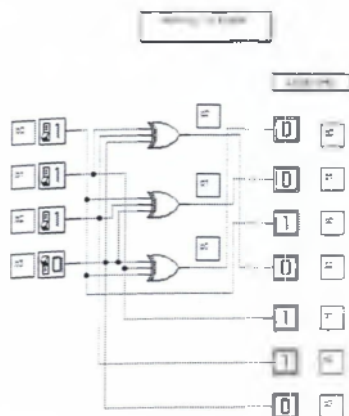
Σχ. β.12 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1011 το κύκλωμα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



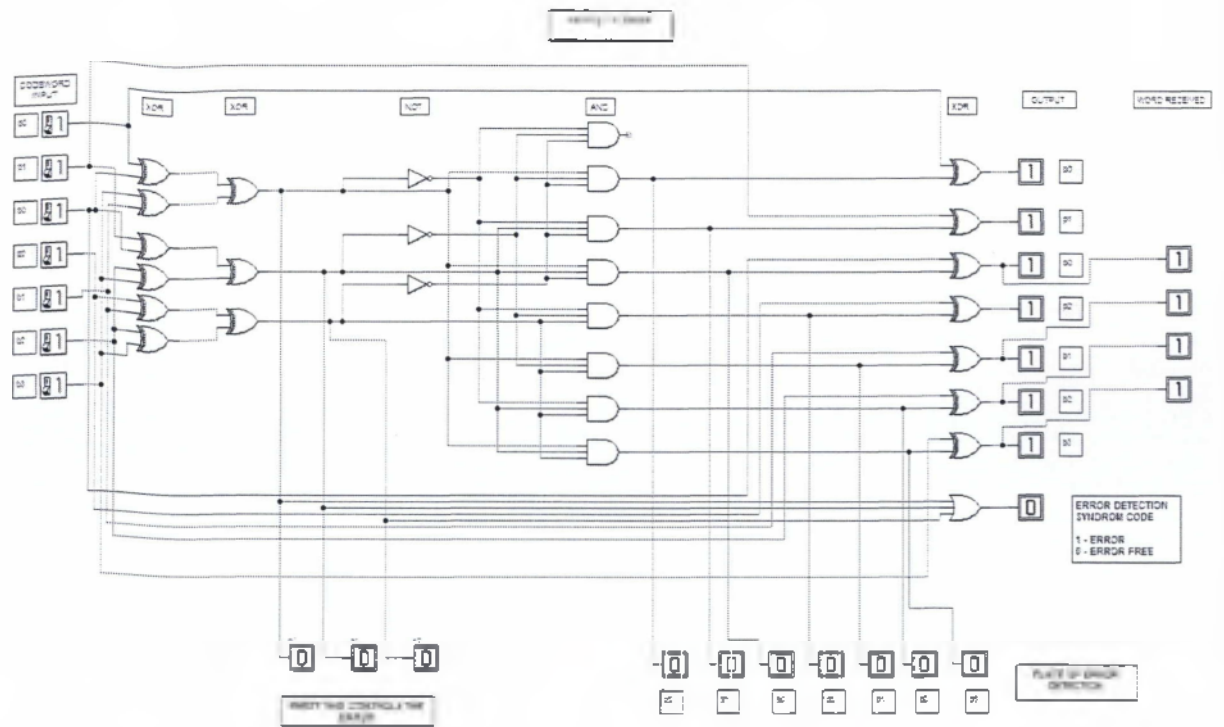
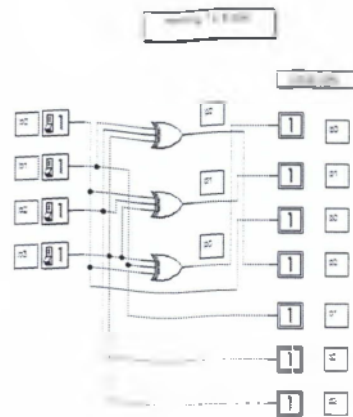
Σχ. β.13 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1100 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



Σχ. β.14 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1101 το κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



Σχ. β.15 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1110 το κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.

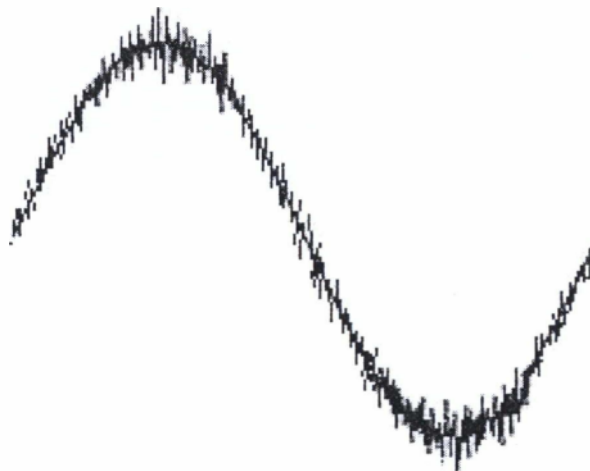


Σχ. β.16 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1111 στο κύκλωμα δεν παρουσιάζεται κανένα σφάλμα στους ελεγκτές που έχουν τοποθετηθεί και το αποτέλεσμα της εξόδου είναι το ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.

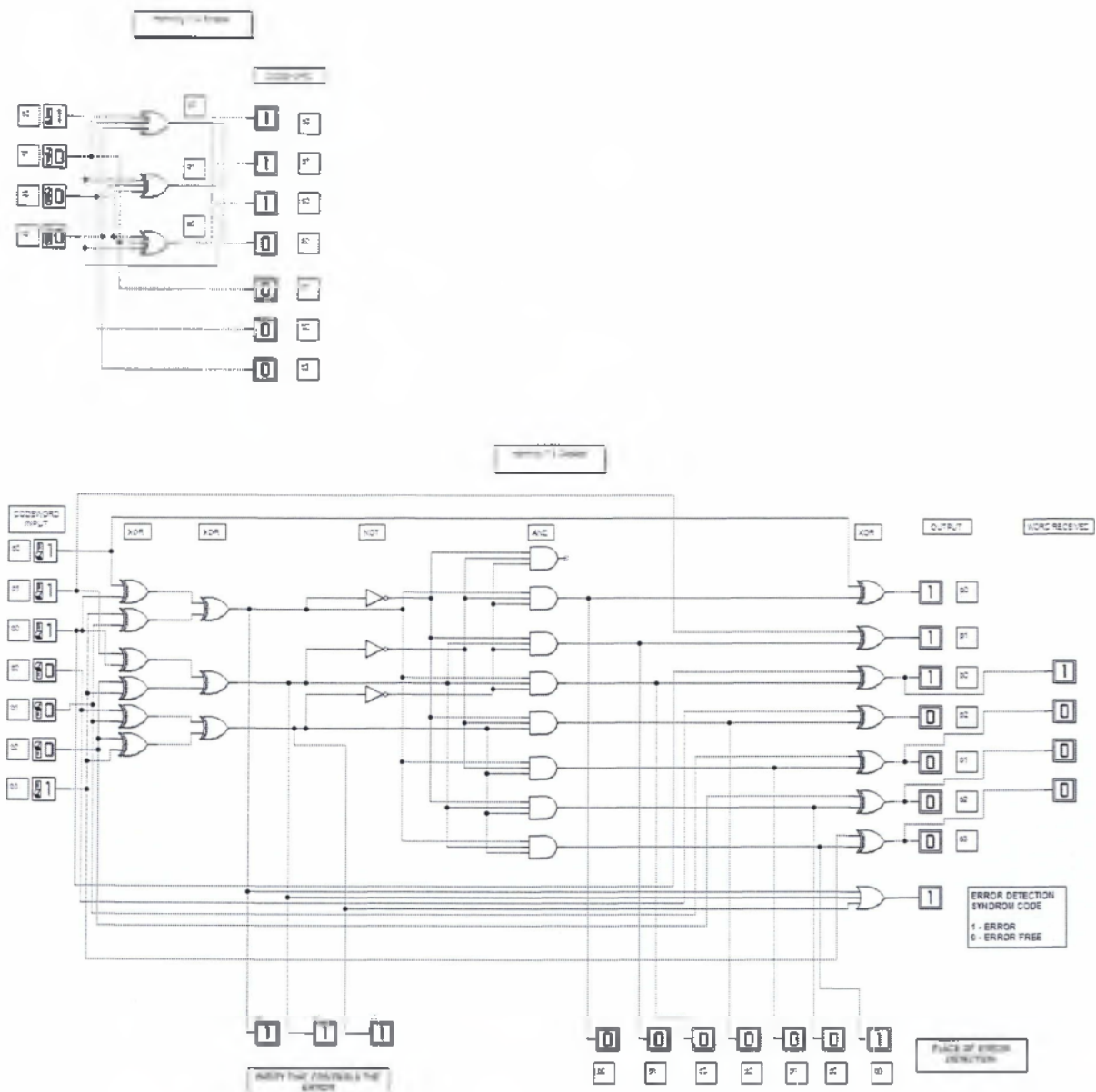
Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κύκλωμα Hamming επαληθεύει όλες τις καταστάσεις του πίνακα β.1, χωρίς να παρουσιάζει σφάλμα κατά την ομαλή λειτουργία του. Τι θα συμβεί όμως όταν η επίδραση του θορύβου προκαλέσει αλλοίωση στην μεταδιδόμενη πληροφορία;

Παρακάτω δίνονται πέντε παραδείγματα αλλαγής ενός (1) bit από την κωδικολέξη, είτε αυτή προέρχεται από τα δεδομένα b0,b1,b2,b3 είτε από τα ίδια τα bit ελέγχου ισοτιμίας. Το κώδικας Hamming θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει το σφάλμα, να το εντοπίζει και να το αναστρέφει.

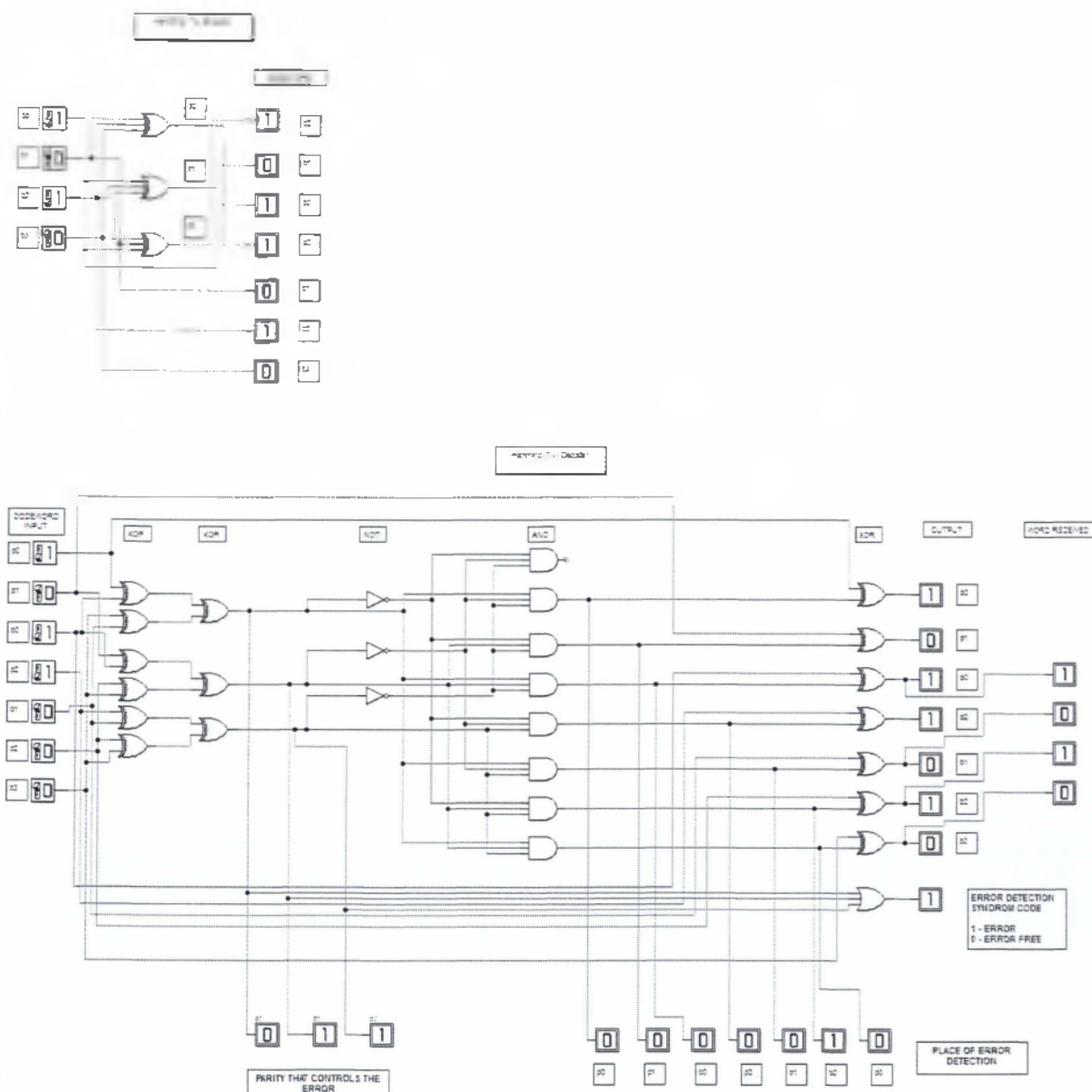
Στα σχ. 22 και 23 δίνονται παραδείγματα διπλών σφαλμάτων, δηλαδή αντιστροφή δύο bit. Ο κώδικας Hamming είναι σε θέση να κάνει έλεγχο για την ύπαρξη σφάλματος αλλά αδυνατεί να εντοπίσει την θέση τους και παρουσιάζει εσφαλμένο αποτέλεσμα.



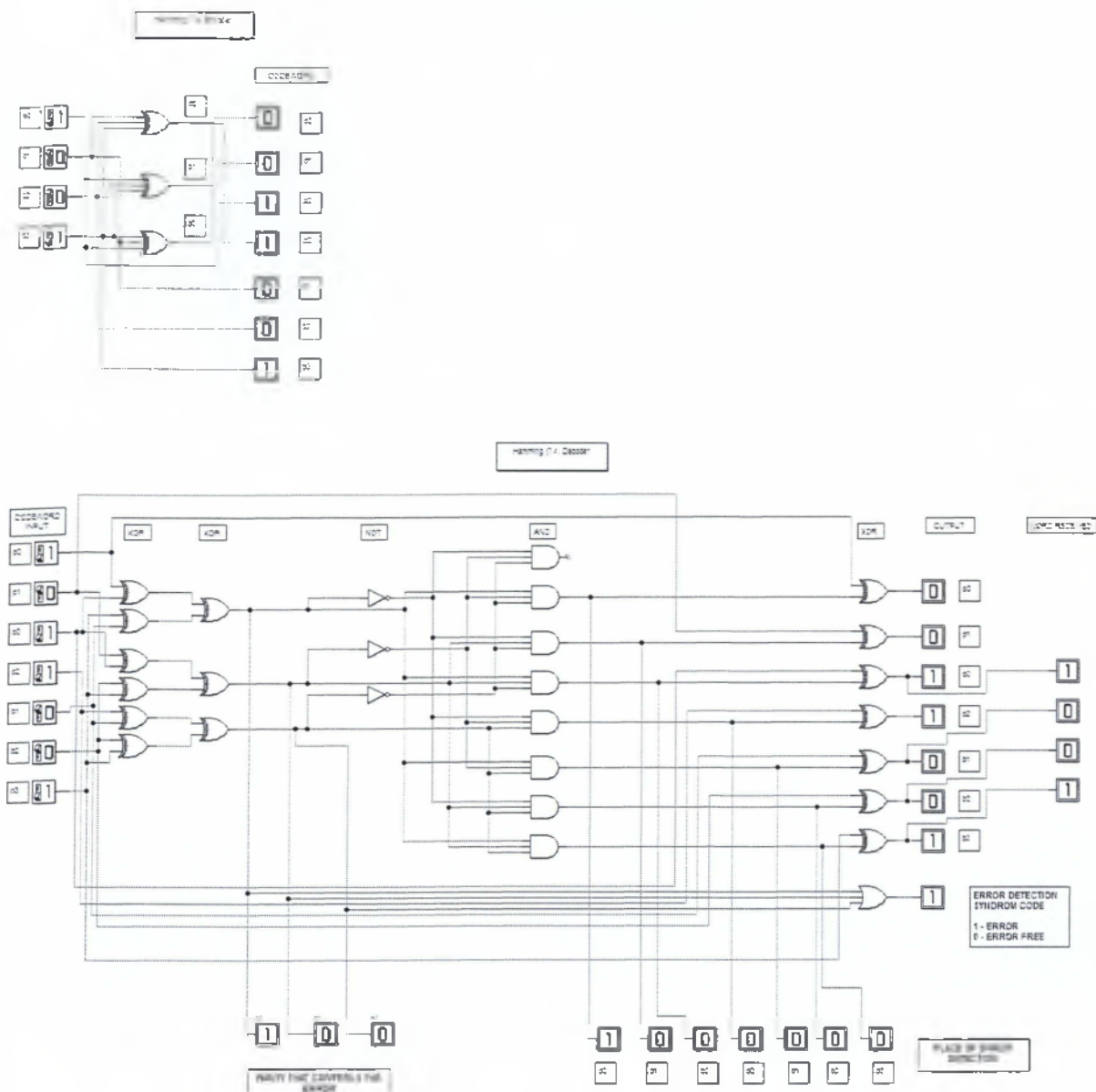
Εικ. 7 Παρουσία θορύβου σε ηλεκτρικό σήμα (πηγή: Άγνωστη)



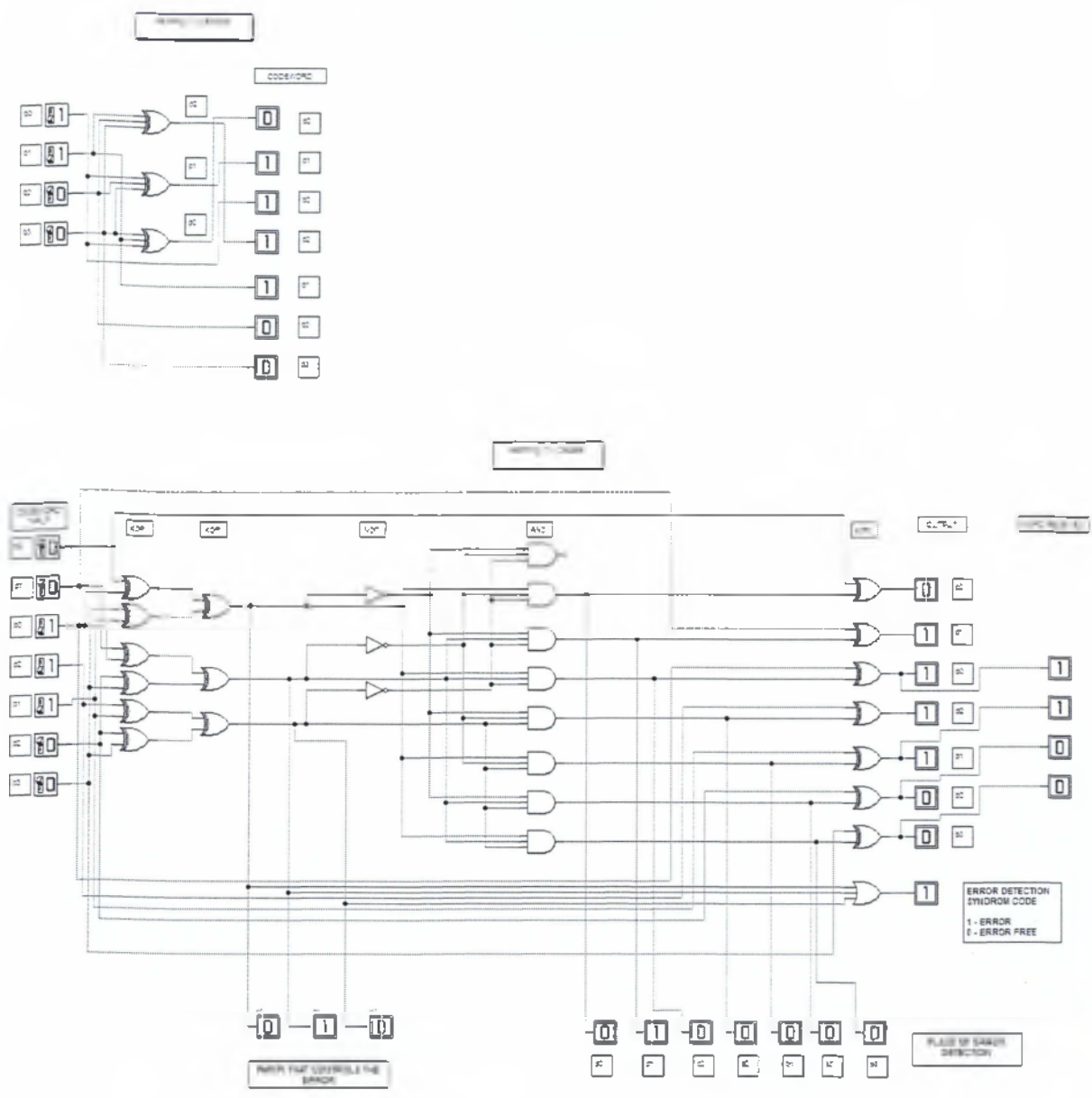
Σχ. β.17 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας **1000** στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε bit της κωδικολέξης που βρίσκεται στη θέση b3. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Οι τρεις έξοδοι που δείχνουν από ποιο bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα αλλάζουν κατάσταση από 0 σε 1 και η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση b3. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται και το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



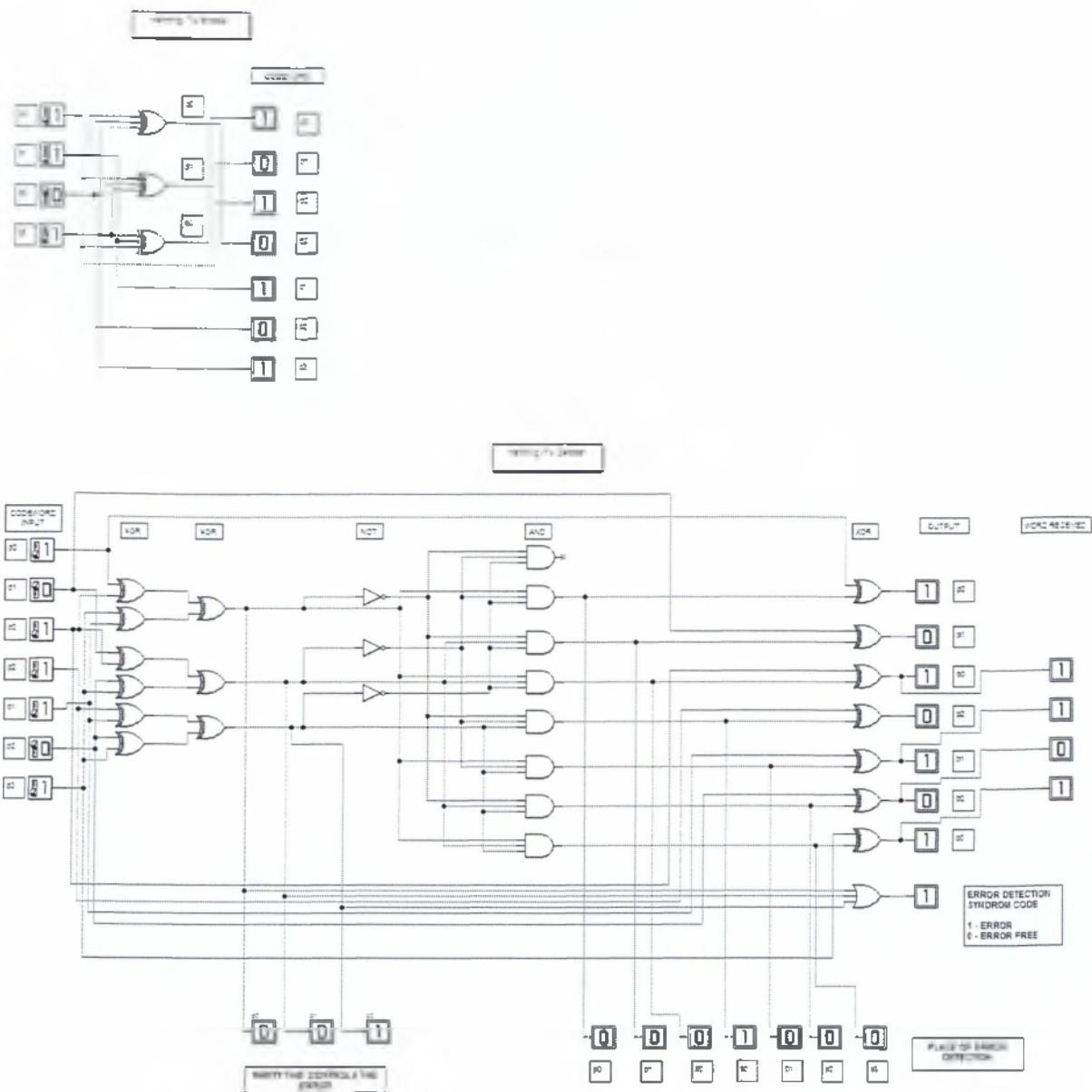
Σχ. β.18 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας **1010** στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε bit της κωδικολέξης που βρίσκεται στη θέση b2. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Οι έξοδοι r2 και r3 δείχνουν από ποια bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζουν κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση b2. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται και το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται.



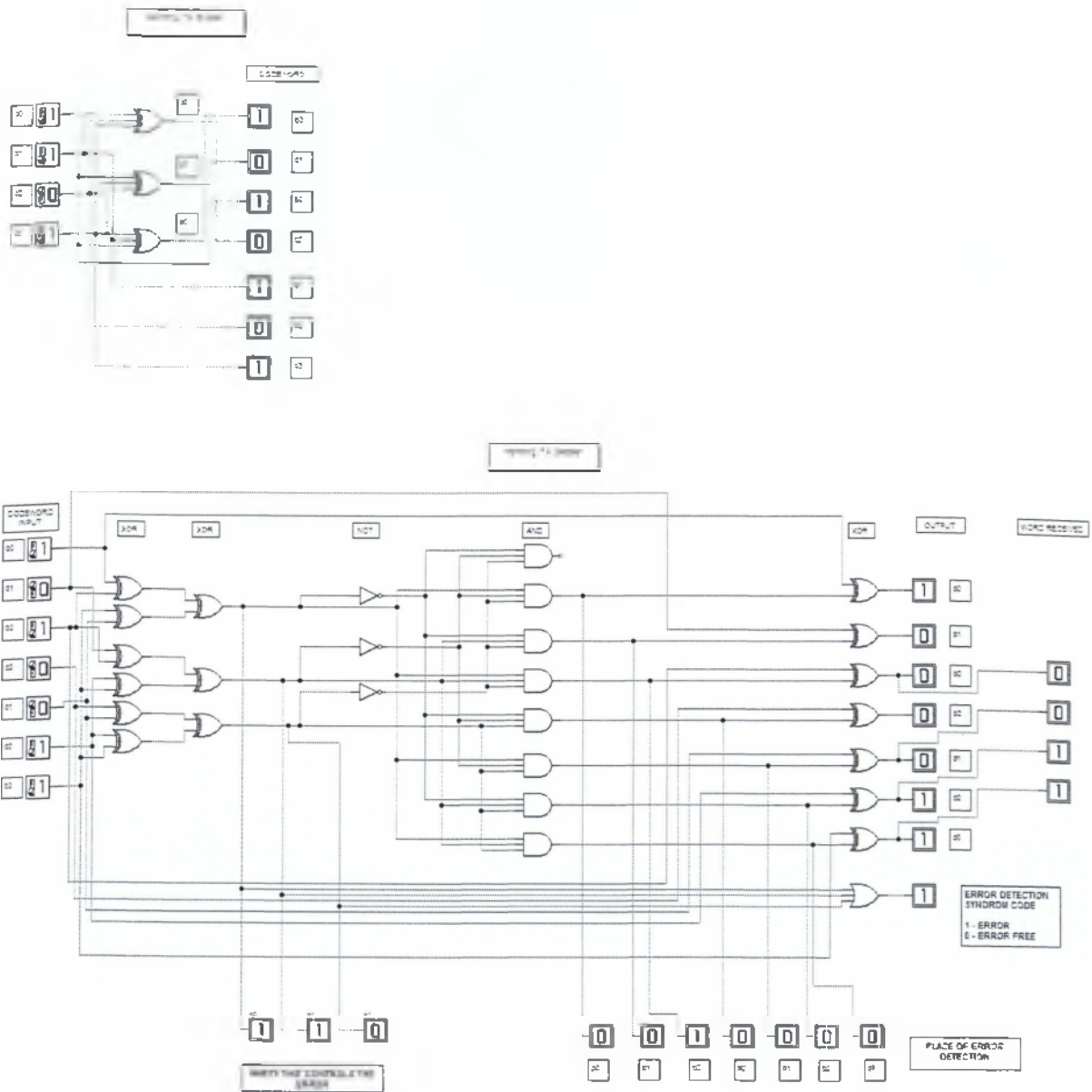
Σχ. β.19 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας **1001** στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε bit της κωδικολέξης που βρίσκεται στη θέση $p1$. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος $p1$ δείχνει από ποιο bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση $p1$. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται και το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται. Στην περίπτωση αυτή σφάλμα είχε προκληθεί σε bit ελέγχου ισοτιμίας.



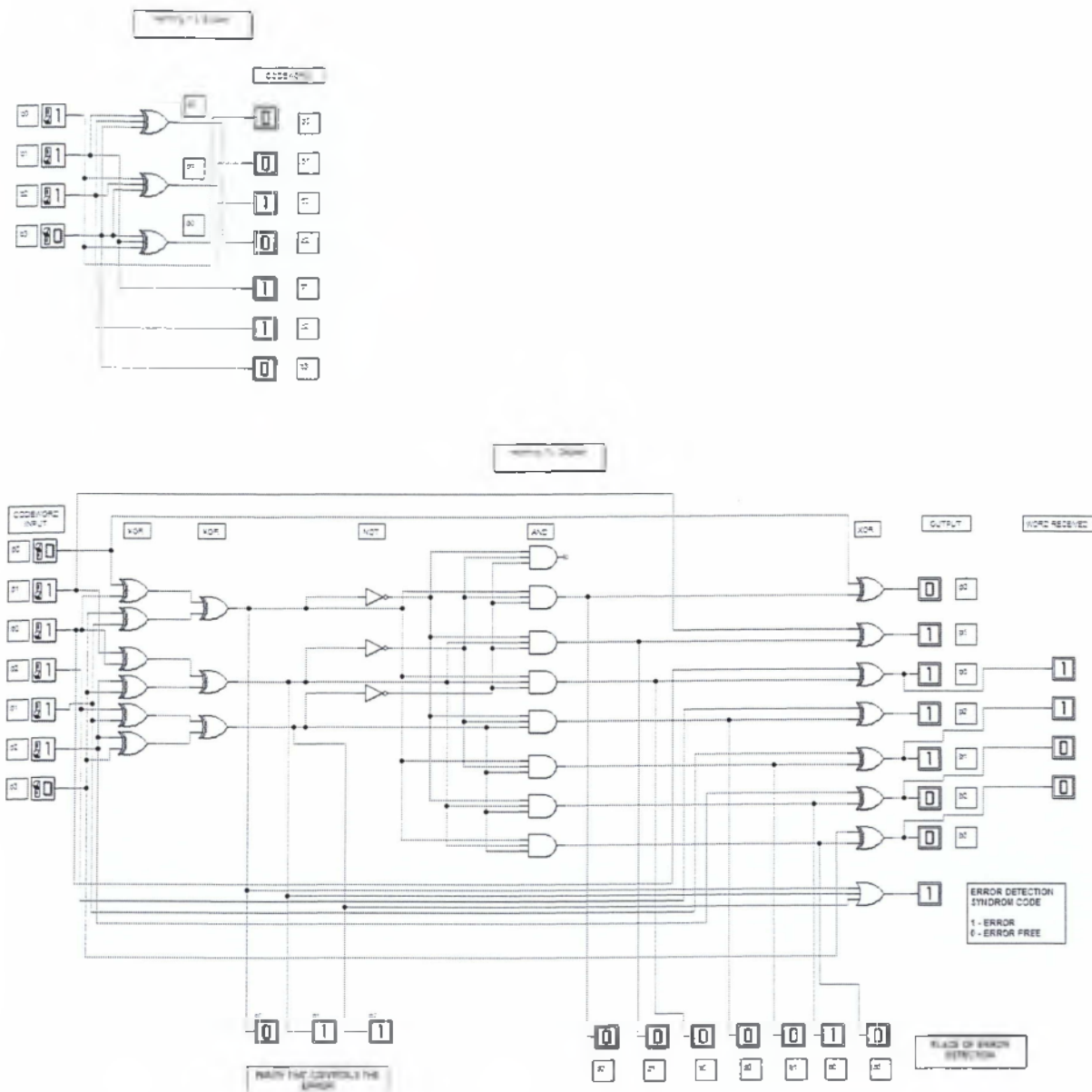
Σχ. β.20 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1100 στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε bit της κωδικολέξης που βρίσκεται στη θέση r2. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος r2 δείχνει από ποιο bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση r2. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται και το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται. Στην περίπτωση αυτή σφάλμα είχε προκληθεί σε bit ελέγχου ισοτιμίας.



Σχ. β.21 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας **1101** στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε bit της κωδικολέξης που βρίσκεται στη θέση r3. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος r3 δείχνει από ποιο bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση r3. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται και το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Άρα η λειτουργία του κυκλώματος για την κατάσταση αυτή επαληθεύεται. Στην περίπτωση αυτή σφάλμα είχε προκληθεί σε bit ελέγχου ισοτιμίας.



Σχ. β.22 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας 1101 στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε δύο bit της κωδικολέξης που βρίσκονται στη θέση b2 και b3. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος p0 και p1 δείχνει από ποιο bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζουν κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση b0. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται αλλά το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο δεν είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Το κύκλωμα, αδυνατεί για διπλό σφάλμα να εντοπίσει την θέση τους και να τα διορθώσει.



Σχ. β.23 Κατά την εισαγωγή της πληροφορίας **1110** στο κύκλωμα η επίδραση θορύβου προκαλεί αντιστροφή σε δύο bit της κωδικολέξης που βρίσκονται στη θέσεις $p1$ και $p2$. Η έξοδος ανίχνευσης σφάλματος αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1. Οι εξόδοι $p2$ και $p3$ δείχνουν από ποια bit ισοτιμίας ελέγχεται το σφάλμα και αλλάζουν κατάσταση από 0 σε 1. Η έξοδος που παρουσιάζει την θέση του σφάλματος γίνεται από 0 σε 1 στη θέση $b2$. Το σφάλμα που εντόπισαν οι ελεγκτές διορθώνεται αλλά το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στην έξοδο δεν είναι ίδιο με αυτό της εισόδου. Το κύκλωμα, αδυνατεί για διπλό σφάλμα να εντοπίσει την θέση τους και να τα διορθώσει.

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κώδικας Hamming (7,4), μετατρέπει πληροφορία που αποτελείται από τέσσερα (4) bits σε κωδικολέξεις των επτά (7), προσθέτοντας τρία (3) επιπλέον bits τα οποία ονομάζονται bits ισοτιμίας που σε συνδυασμό με τα bit πληροφορίας είναι σε θέση να αναγνωρίζει, να εντοπίζει και να διορθώνει σφάλματα που συμβαίνουν σε ένα (1) bit, με ακρίβεια και αξιοπιστία. Έχει την δυνατότητα να αναγνωρίζει σφάλματα που μπορεί να συμβούν και σε bit που έχουν προσθέσει για τον έλεγχο ισοτιμίας. Στην περίπτωση όμως που ο θόρυβος αντιστρέψει ταυτόχρονα δύο (2) bit, δεν είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να εντοπίζει τη σωστή θέση του σφάλματος και θα δώσει λανθασμένο αποτέλεσμα.

Το πλεονέκτημα που έχει ο κώδικας είναι πως είναι απλός τόσο στην κατασκευή όσο και στην κυκλωματική υλοποίησή του για την επαναφορά της αρχικής πληροφορίας σε περίπτωση που έχει υποστεί αλλοίωση. Επίσης σύμφωνα με τον Κανόνα Hamming, μπορεί να εφαρμοστεί σε πληροφορία οποιουδήποτε μεγέθους αυξάνοντας τα bits ελέγχου ισοτιμίας

Οι κώδικες Hamming βρίσκουν εφαρμογή στις μνήμες RAM, στον έλεγχο σφαλμάτων, στη διόρθωση χαρακτήρων ASCII και στις ασύρματες επικοινωνίες.⁽¹⁹⁾

Πριν τον κώδικα Hamming υπήρχαν και άλλοι κώδικες που δεν ήταν τόσο αποτελεσματικοί, γιατί είχαν μόνο τη δυνατότητα να ανιχνεύουν σφάλματα, χωρίς ωστόσο να μπορούν να τα διορθώνουν. Μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί ένας πιο αποτελεσματικός κώδικας ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων και δεν φαίνεται να υπάρχει και η ανάγκη αλλαγής του γιατί προσφέρει μία πολύ καλή σχέση μεταξύ εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων, σύμφωνα με τις σημερινές απαιτήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αλεξίου Γ., Ασύρματα Τηλεπικοινωνιακά συστήματα Πανεπιστήμιο Πατρών,2012,(σελ. κ.2, 1-4)
2. Αρσένης Δ. Σπύρος,"Σχεδιασμός και υλοποίηση δικτυων από μικρά δίκτυα γραφείου μέχρι μεγάλα δίκτυα επιχειρήσεων", Εκδόσεις κλειδάριθμος, 2005, (σελ 13-14)
3. Βίδρα Μ., Παπαδόπουλος Ε., "Κώδικες Hamming", ΑΠΘ, Πτυχιακή Εργασία, 2011,(σελ 8-10)
4. Γιάχο Χριστίνα, "Τεχνικές Ανίχνευσης και Διόρθωσης Ψηφιακών Σφαλμάτων", ΤΕΙ Καλαμάτας Παρ. Σπάρτης, Πτυχιακή Εργασία, 2011, σελ (36-38,51)
5. Φούσκας Γεώργιος,"Ψηφιακές Επικοινωνίες", Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2002, (σελ.18-21,58,59)

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

6. David J.C Mackey,"Information Theory, Inference and Learning Algorithms", Cambridge University Press, 2003,(σελ 9-21)
7. Lin Shu, Costello D.J."Error Control Coding Fundamentals and Applications", 1983,(σελ 73-76)
8. Hamming W. R. "Error Detection and Error Correction Codes" Bell Systems Tech. Journal, vol 29, April, 1950
9. Solomon D. Motta G. "Springer Hand book of Data Compression",5th Edition,2010,(σελ. 201)
10. STMicroelectronics, M74HC238, 3 to 8 line decoder, Italy, July 2001
11. Stallings William, Επικοινωνίες Υπολογιστών και δεδομένων. 8η Εκδόσεις, Τζιόλα,2012,(σελ. 84)
12. Δίκτυα Υπολογιστών, Andrew S Tanenbaum, 4η έκδοση Κλειδάριθμος 2003 (σελ, 236-244)
13. Δίκτυα Υπολογιστών, Tanenbaum, Wetherall, 5η έκδοση Κλειδάριθμος 2011 (σελ, 61-65)

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

14. http://en.wikipedia.org/wiki/Hamming_code
15. http://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Hamming
16. http://el.wikipedia.org/wiki/Αναλογικό_σήμα
17. http://el.wikipedia.org/wiki/Λογική_πύλη
18. [http://en.wikipedia.org/wiki/Hamming\(7,4\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Hamming(7,4))
19. <http://btechzone.com/mini-project-on-design-of-hamming-code-using-verilog-hdl#axzz3EXiFF8T4>
20. <http://www.esng.dibe.unige.it/deeds/>
21. http://en.wikibooks.org/wiki/Data_Coding_Theory/Modulo-2_Arithmetic