

**Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ, ΤΡΟΠΟΣ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟ  
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΥΟΔΕΥΣΗΣ.**

---

### **ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:**

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΝΤΕΤΣΙΚΑΣ                      ΑΜ:1770**

**ΝΙΚΟΣ ΝΤΕΤΣΙΚΑΣ                         ΑΜ: 1994**

**Επιβλέπων καθηγητής: Βασίλειος Τσακανίκας**

Αντίρριο Μάρτιος 2018

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή  
Αντίρριο, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

# Ευχαριστίες

---

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές μας για τις πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μας που ολοκληρώνονται με την παρούσα εργασία. Πολλές ευχαριστίες οφείλουμε στους γονείς μας που χωρίς την αμέριστη υλική και ηθική τους υποστήριξη θα ήταν αδύνατον να καταφέρουμε τον σκοπό μας. Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Βασίλειο Τσακανίκα για την καθοδήγηση και την επίβλεψη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	9
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ .....	13
2.1 FDM .....	13
2.2 TDM .....	16
2.3 CDMA.....	17
2.4 WDM.....	18
2.5 STDM .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΥΟΔΕΥΣΗΣ.....	20
3.1 Πολυόδευση.....	20
3.1.1 Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας .....	21
3.1.2 Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας .....	22
3.2 Ανάκλαση .....	22
3.3 Σκέδαση.....	23
3.4 Περίθλαση .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (OFDM) .....	25
4.1 Ιστορική Αναδρομή .....	25
4.2 Εισαγωγή στην OFDM .....	25
4.3 Περιγραφή Πολυπλεξίας Ορθογώνιας Διαίρεσης Συχνοτήτων .....	27
4.4 Ενθόρυβο Κανάλι AWGN στην OFDM.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	34
5.1 Προσομοίωση σήματος 64QAM με διαμόρφωση OFDM με παρουσία θορύβου (AWGN).....	34
5.2 Επεξήγηση Blocks που χρησιμοποιήθηκαν.....	34
5.3 Αποτελέσματα -BER για επίπεδα Λευκού θορύβου(AWGN) από -10 εως +10 .....	39
5.4 Πειραματική διάταξη χωρίς τη χρήση OFDM.....	50
5.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης χωρίς την χρήση OFDM για επίπεδα θορύβου από -10 εως 10 db.....	50
5.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	61

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... 62

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση της τεχνικής ορθογωνικής πολυπλεξίας, τρόπος λειτουργίας, φασματικά χαρακτηριστικά και το πρόβλημα της πολυόδευσης. Αρχικά, θα κάνουμε μια εισαγωγή στις ψηφιακές επικοινωνίες αναφέροντας τον τρόπο λειτουργίας τους ,κάνοντας μια ιστορική ανάδρομη και θα αναφέρουμε διάφορες εφαρμογές των ψηφιακών επικοινωνιών. Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε στις τεχνικές πολυπλεξίας, στον τρόπο ανάπτυξης τους, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει η κάθε τεχνική πολυπλεξίας. Τέλος, θα αναφέρουμε το πρόβλημα της πολυόδευσης, τον τρόπο λειτουργίας την καθώς και στα φαινόμενα που συμβάλουν σε αυτήν .

## ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to study and introduction of the technique of Orthogonal rectangular multiplexing (OFDM), mode of operation, spectral characteristics and the problem of multipath losses. Initially, we will introduce an introduction to digital communications by indicating how they work, making a historical retrospective and reporting various applications of digital communications. Next, we will refer to multiplexing techniques, their way of deploying, the advantages and disadvantages of each multiplexing technique. Finally, we will mention the problem of multidimension, how it works and the phenomena that contribute to it. Finally we will apply a simulation of an OFDM system using the AWR Simulation toolkit and study the results in the BER of the system in the presence of AWGN noise.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από αρχικές ανάγκες των ανθρώπων πέρα από τα υλικά αγαθά είναι η ανάγκη του για επικοινωνία και για ανταλλαγή πληροφοριών με τον υπόλοιπο κόσμο. Η ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια σε σχέση με την παλαιά εποχή έχει ως αποτέλεσμα να επιβάλουν την πρόσβαση του ανθρώπου σε ένα πλήθος από αξιόπιστα, αποδοτικά, ασφαλή και οικονομικά μέσα επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να μεταδώσουν την πληροφορία με πολλούς τρόπους. Μερικά παραδείγματα από τα μέσα επικοινωνίας είναι τα τηλέφωνα στα χέρια μας ,τα ραδιόφωνα και οι τηλεοράσεις στα σπίτια μας, οι Η/Υ που συνδέονται στα γραφεία και στα σπίτια μας επιτρέπουν την γρηγορότερη επικοινωνία σε κάθε γωνία του πλανήτη. Οι ψηφιακές επικοινωνίες αποτελούν τα αισθητήρια όργανα για τα πλοία στους ωκεανούς, για τα αεροπλάνα όταν ταξιδεύουν και βρίσκονται στον αέρα και για τα διαστημόπλοια και για τους δορυφόρους που βρίσκονται στο διάστημα .

Η επικοινωνία συνίσταται στην μετάδοση πληροφορίας από μια περιοχή σε μια άλλη. Περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες:

- Δημιουργία σήματος πληροφορίας
- Παράσταση μηνύματος με μορφή σύμβολων με χρονική ακρίβεια.
- Κωδικοποίηση των συμβόλων σε κατάλληλη μορφή για μετάδοση στο μέσο (κυματομορφές)
- Μετάδοση των κυματομορφών στον προορισμό
- Αποκωδικοποίηση και αναπαραγωγή των αρχικών συμβόλων.

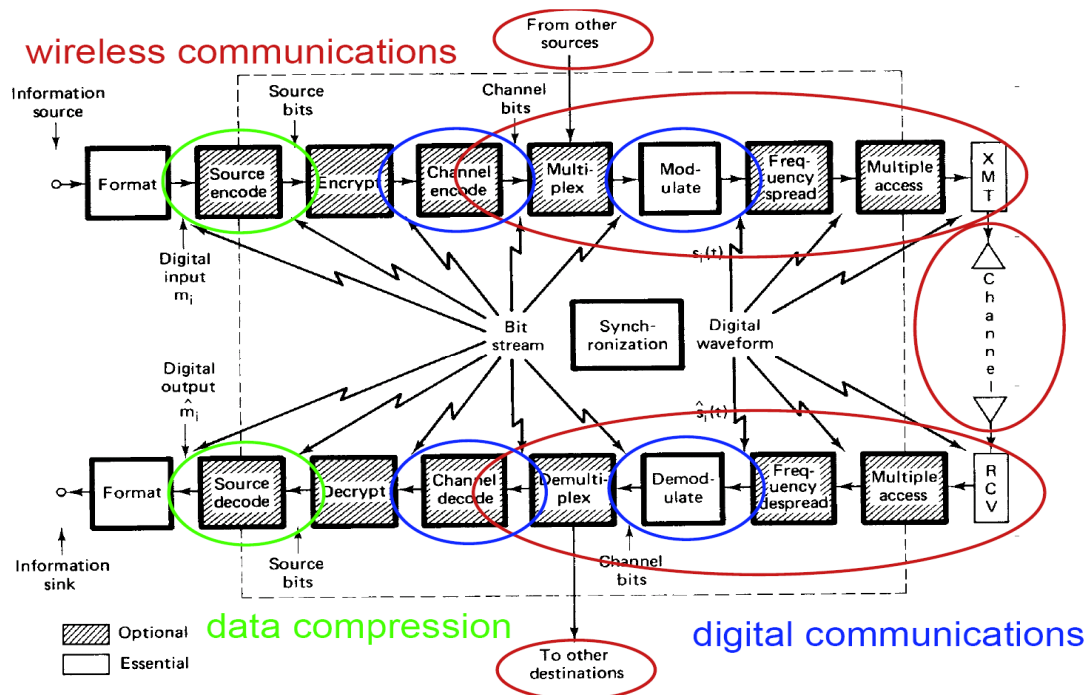
Ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας αποστέλλει την πληροφορία από μία ψηφιακή πηγή στους προορισμούς της. Αντίστοιχα, ένα αναλογικό σύστημα επικοινωνίας αποστέλλει την πληροφορία από μία αναλογική πηγή στους προορισμούς της.

Τα σύγχρονα ψηφιακά επικοινωνιακά συστήματα διαθέτουν τα εξής πλεονεκτήματα έναντι των αναλογικών συστημάτων:

- είναι πιο αξιόπιστα, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανοχή στην παρουσία θορύβου

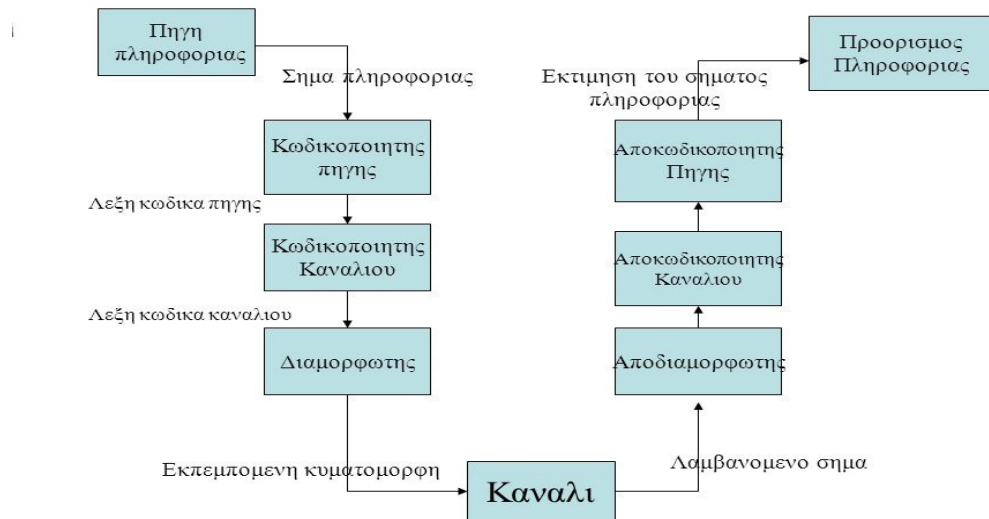
και χρησιμοποιούν εξελιγμένες τεχνικές εντοπισμού και αντιμετώπισης σφαλμάτων,

- είναι πιο αποδοτικά, καθώς μπορούν να μεταδώσουν πολύ μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας ανά χρονική μονάδα,
- είναι πιο ασφαλή, γιατί μπορούν να εκμεταλλευτούν πλήρως τα σύγχρονα συστήματα κρυπτογραφίας και, τέλος,
- είναι πιο οικονομικά, γιατί, αφενός, διαθέτουν πιο αποδοτικές τεχνικές διαμοιρασμού επικοινωνιακών πόρων, αφετέρου υιοθετώντας σύγχρονα συστήματα κωδικοποίησης, αφαιρούν την περιττή πληροφορία και συμπιέζουν τη μεταβιβαζόμενη κυκλοφορία. .



Σχήμα 1. Ψηφιακές επικοινωνίες





Σχήμα 2. Ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Κατά την διάρκεια ανάπτυξης της τεχνολογίας από το 1844 μέχρι το 1941 έγιναν οι σημαντικότερες ανακαλύψεις και τα πιο σημαντικότερα επιτεύγματα στο χώρο της επιστήμης και των τεχνολογιών.

1844: Ο Samuel Morse παρουσιάζει με τεχνητά μέσα μετάδοσης, το οποίο συνέδεε τις πόλεις των ΗΠΑ Baltimore και Washington, DC. Αυτό το πρώτο επικοινωνιακό σύστημα ήταν ψηφιακό, καθώς η παραμικρή πληροφορία αναπαρίστατο ως μια ακολουθία από τέσσερα σύμβολα: την τελεία, την παύλα, το κενό μεταξύ γραμμάτων και το κενό μεταξύ λέξεων.

1876: Ανακαλύπτεται το τηλέφωνο από τον Alexander Graham Bell. Με αυτή τη συσκευή η φωνή μετατρέπεται απευθείας σε αναλογικά ηλεκτρικά σήματα.

1901: Ο Guglielmo Marconi ανακαλύπτει το ασύρματο τηλεγραφικό σύστημα και εισάγει την έννοια των ραδιοεπικοινωνιών.

1905: Πραγματοποιείται η πρώτη μεταβίβαση φωνής και μουσικής σε ειδικές απομακρυσμένες συσκευές, οι οποίες θα μείνουν γνωστές ως ραδιόφωνα, από τον Reginald Fessenden.

1920: Εμφανίζονται οι πρώτες προγραμματισμένες ραδιοφωνικές εκπομπές στο Pittsburgh των ΗΠΑ.

1931: Διατίθεται και καθιερώνεται η τηλετυπική υπηρεσία.

1937: Ο Alex Reeves παρουσιάζει την τεχνική PCM, η οποία αποτελεί τη βασική τεχνική διαμόρφωσης στα σημερινά ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών.

1939: Ξεκινάνε οι εκπομπές τηλεοπτικών προγραμμάτων από το BBC.

1940-1945: Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου σημειώθηκαν ραγδαίες εξελίξεις στο χώρο των επικοινωνιών, κυρίως στους τομείς των ραδιοεντοπιστών (radars), των μικροκυματικών συστημάτων, της κρυπτογραφίας και των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

1950: Χρησιμοποιείται η πολύπλεξη χρόνου στην τηλεφωνία, η οποία συντελεί στον αποδοτικό διαμοιρασμό των επικοινωνιακών συνδέσμων σε περισσότερα του ενός κυκλώματα φωνής.

1953: εφαρμόζεται το πρώτο υπερατλαντικό υποβρύχιο τηλεφωνικό καλώδιο, το οποίο εξυπηρετούσε 36 κανάλια φωνής.

1962: Εκτοξεύεται ο TELSTAR I, ο πρώτος επικοινωνιακός δορυφόρος, ο οποίος μετέφερε το σήμα τηλεόρασης μεταξύ ΗΠΑ και Ευρώπης.

1966: Οι Kao και Hockman ανέπτυξαν το πρώτο σύστημα επικοινωνίας μέσω οπτικών ινών.

1969: Δημιουργείται το ARPANET, το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτων σε ευρεία περιοχή, το οποίο αποτέλεσε τον πρόγονο του Διαδικτύου.

1981: Από τον ιαπωνικό οργανισμό NHK παρουσιάζεται η πρώτη τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV, HDTV). Τέτοιες πρωτοεμφανιζόμενες υπηρεσίες εισάγουν στο χώρο των επικοινωνιών τις απαιτήσεις για δίκτυα υψηλών ταχυτήτων και για δίκτυα εγγυημένης ποιότητας εξυπηρέτησης.

1985: Στο Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζεται για πρώτη φορά το τυποποιημένο ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network, ISDN).

1986: Στις ΗΠΑ παρουσιάζεται η τεχνολογία SDH/SONET, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων.

1991: Δημιουργείται το σύστημα κυψελωτής επικοινωνίας GSM (Global System for Mobilecommunications), πάνω στο οποίο βασίστηκε η υπηρεσία της κινητής τηλεφωνίας στην Ευρώπη.

### **2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ**

Από το 1990 μέχρι και σήμερα η τεχνολογία αναπτύσσεται με αποτέλεσμα την αναγκαία δημιουργία ψηφιακών εφαρμογών για να καλυφθεί η ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων.

Μερικά παραδείγματα ανάπτυξης ψηφιακών εφαρμογών είναι :

- FACEBOOK
- TWITTER
- MSN
- SKYPE
- WINDOWS LIVE MESSANGER
- E-MAIL(Gmail, Hotmail, yahoo)
- FLICKR
- INSTAGRAM

Η ψηφιακές εφαρμογές δεν σταματάνε μόνο στις επικοινωνίες των ανθρώπων επεκτείνονται και σε άλλους τομείς της ζωής των ανθρώπων. Σε τομείς όπως στην ιατρική με την βοήθεια τηλειατρικής όπου οι άνθρωποι μπορούν να εξετάστον από το σπίτι ψηφιακά.Στις επιχειρήσεις όπου μέσω της τηλεματικής υπηρεσίας οι μέτοχοι μπορούν να συνεδριάσουν χωρίς να πάνε στην εταιρεία.Στις τράπεζες όπου οι πελάτες μέσω του e-banking, Atm και web banking να εξυπηρετούνται.Στις αγορές μέσω site(ηλεκτρονικά) όπου οι άνθρωποι μπορούν να αγοράζουν πράγματα χωρίς να πάνε στα καταστήματα.Μπορούν να κάνουν αγοροπωλησίες μέσω internet ή να ιδρύσουν ηλεκτρονικό κατάστημα.Μπορούν να πληρώνουν ηλεκτρονικά τις αγορές τους,τους λογαριασμούς του μέσω αντικαταβολής, μέσω τράπεζης και πολλά άλλα πράγματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ

Η πολυπλεξία επιτρέπει παράλληλα την μετάδοση δεδομένων από διαφορετικές πηγές χωρίς αλληλοπαρεμβολές. Για να συμβεί αυτό η πολυπλεξία βασίζεται σε κάποιες τεχνικές πολυπλεξίας οι οποίες είναι:

A) Η πολυπλεξία στην συχνότητα FDM/FDMA(Frequency Division Multiple Access),

B) Η πολυπλεξία στο χρόνο TDM/TDMA( Time Division Multiple Access).

Γ) Η πολυπλεξία κώδικα CDMA(Code Division Multiple Access).

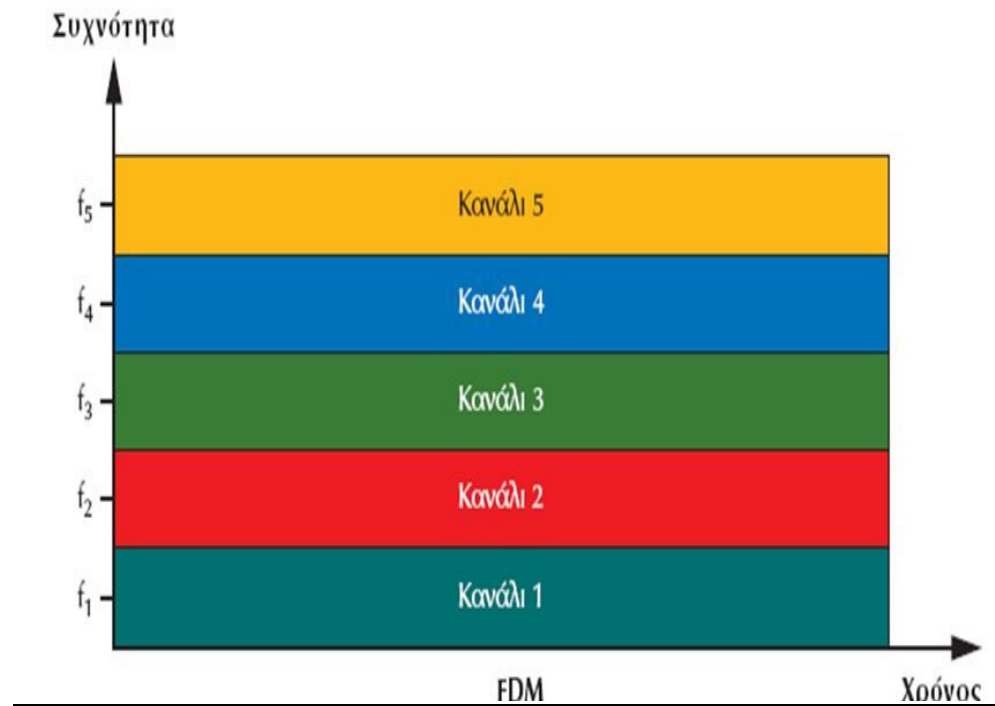
Δ)WDM(Wavelength Division Multiplexing) Ειδική περίπτωση FDM που ισχύει μόνο για οπτικές ίνες.

E) STDM(Statistical time division multiplexing)στατική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

ΣΤ)Η Τεχνική της ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητων η OFDM(ORTHOAGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING).

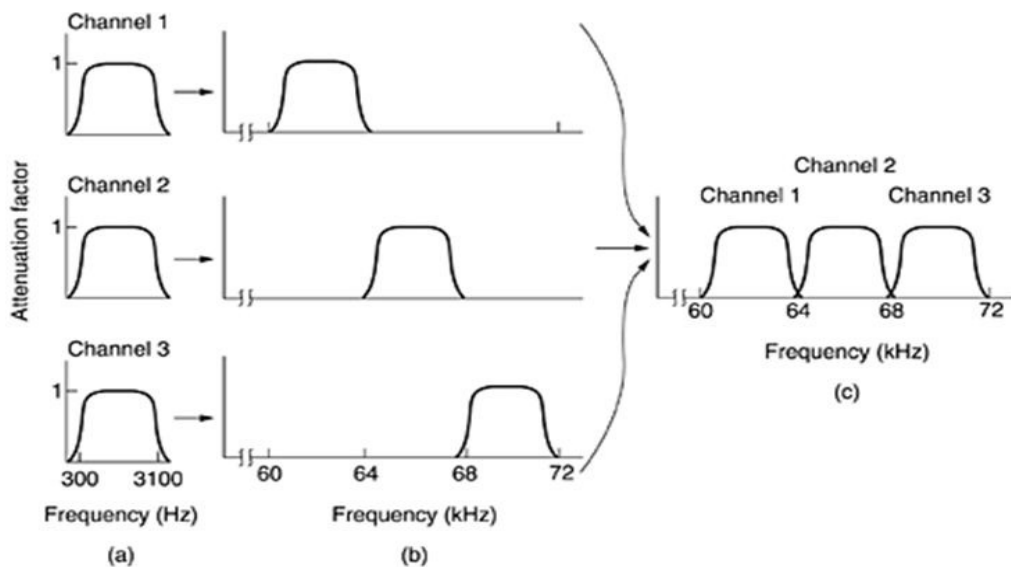
### 2.1 FDM

Η FDM/FDMA (Frequency Division Multiple Access) είναι η πολυπλεξία στην συχνότητα όπου η πληροφορία διοχετεύεται σε κανάλια που διαφοροποιούνται μεταξύ τους στη συχνότητα φέροντος. Έτσι, πολλές συνομιλίες είναι δυνατόν να λάβουν χώρα ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας κάποιες από τις συχνότητες του συστήματος. Χρησιμοποιείται κατά την μετάδοση αναλογικών σημάτων και κάθε σήμα καταλαμβάνει διαφορετική ζώνη συχνοτήτων.



Σχήμα 3 . Πολυπλεξία Διάρθρωσης Συχνότητας

Οι ραδιοφωνικές εκπομπές AM επεξηγούν και τα δυο είδη πολύπλεξης. Το φάσμα που εκπέμπει έχει μέγεθος περίπου 1MHz, από 500 έως 1500 KHz. Διαφορετικές συχνότητες κατανέμονται σε διαφορετικούς σταθμούς, λειτουργώντας το καθένα σε ένα τμήμα του φάσματος, με διαχωριστική ζώνη μεταξύ των καναλιών για να αποφεύγεται η αλληλεπίδραση. Αυτό το σύστημα είναι ένα κλασικό παράδειγμα FDM πολυπλεξίας. Σε μερικές χώρες οι ανεξάρτητοι σταθμοί έχουν δυο λογικά υποκανάλια την μουσική και διαφημίσεις. Αυτά ανα χρονική περίοδο αλλάζουν στην ίδια συχνότητα πρώτα μουσική, μετά διαφήμιση, μετά περισσότερη μουσική κ.ο.κ. Αυτή η κατάσταση είναι πολυπλεξία διάρθρωσης χρόνου.

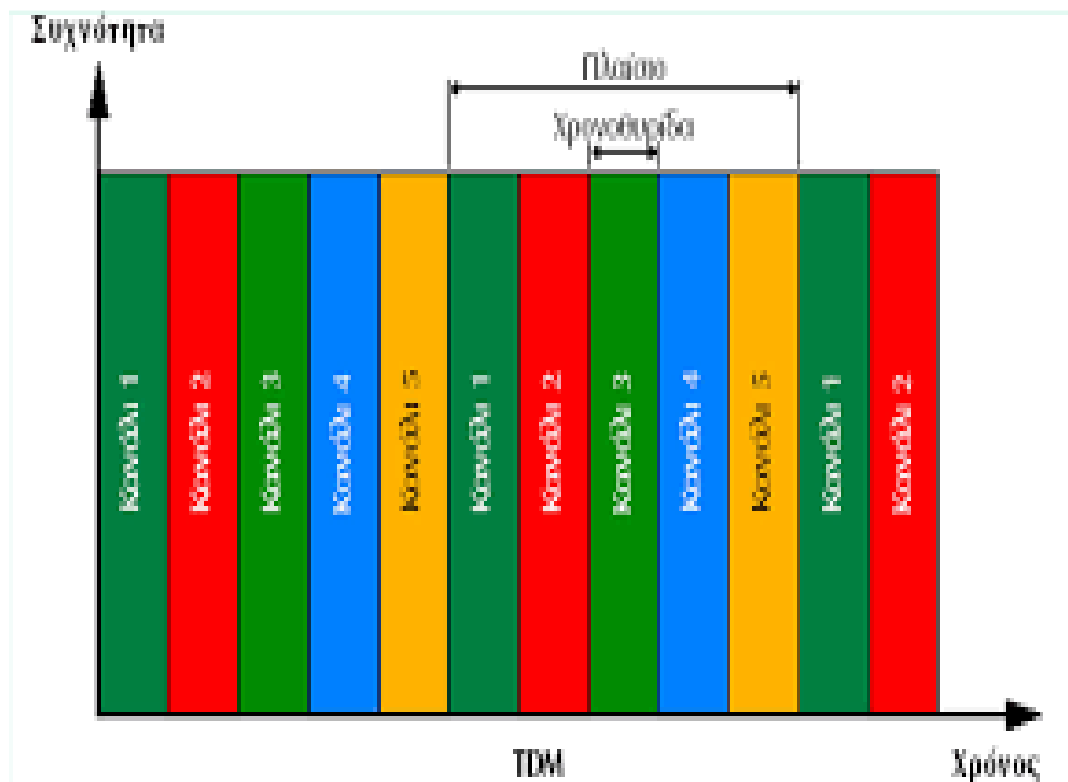


Σχήμα 4. FDMA a) Τα αρχικά εύρη ζώνης . b) Τα εύρη ζωνης ανεβαίνουν σε συχνότητα. C) Το πολύπλεγμενο κανάλι

Το σχήμα δείχνει ότι τρία τηλεφωνικά κανάλια για μετάδοση φωνής πολυπλέκονται χρησιμοποιώντας FDM. Τα φίλτρα περιορίζουν το εύρο ζώνης σε 300 HZ ανά κανάλι μετάδοση φωνής . Πολλά κανάλια πολυπλέκονται μαζί, σε κάθε κανάλι κατανέμονται 4000 HZ για να είναι πλήρως διαχωρισμένα μεταξύ τους. Πρώτα τα κανάλια φωνής ανεβαίνουν στις συχνότητες, καθένα σε διαφορετική περιοχή. Στη συνέχεια μπορούν να συνδυαστούν, επειδή δεν υπάρχει τώρα ζεύγος καναλιών που να απασχολεί το ίδιο τμήμα του φάσματος. Αν και υπάρχουν χάσματα (ζώνες ασφαλείας) ανάμεσα στα κανάλια, υπάρχει κάποια υπερκάλυψη μεταξύ διαδοχικών καναλιών, επειδή τα φίλτρα δεν διαθέτουν απότομα άκρα. Τα σχήματα FDM που χρησιμοποιούνται στον κόσμο έχουν σε κάποιο βαθμό τυποποιηθεί. Ένα διαδεδομένο πρότυπο είναι 12 κανάλια φωνής (3000 HZ για το χρήστη συν δύο ζώνες ασφαλείας των 500 HZ η κάθε μία) πολυπλεγμένα στη ζώνη 60 έως 108 KHZ. Αυτή η μονάδα ονομάζεται μια ομάδα (group). Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως στη μετάδοση αναλογικών σημάτων (Τηλεφωνία, Ραδιοφωνία, Τηλεόραση), αλλά και σε σύγχρονα συστήματα όπως το σύστημα κινητής τηλεφωνίας GSM που λειτουργεί στη χώρα μας.

## 2.2 TDM

Η TDM/TDMA(Time Division Multiple Access) είναι η πολυπλεξία στο χρόνο όπου η πληροφορία που διοχετεύεται σε τμήματα που διαδέχονται το ένα με το άλλο στον χρόνο. Κάθε χρήστης μεταδίδει συγκεκριμένη χρονική στιγμή που καλείται χρονοθυρίδα. Έτσι, πολλές συνομιλίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα με μία συχνότητα. Η ταχύτητα κάθε καναλιού υποβιβάζεται κατά τον αριθμό των χρονοθυρίδων.



Σχήμα 5 . TDM (Πολυπλεξία στο Χρόνο)

Η TDM είναι η καταλληλότερη για σύγχρονη επικοινωνία πχ. σταθερή τηλεφωνία, κινητή τηλεφωνία (GSM). Η TDM τεχνική δεσμεύει συχνότητα ή χρονοθυρίδες με στατικό τρόπο και λόγω της στατικής δέσμευσης δεν είναι αποδοτική για εκρηκτική κίνηση (bursty traffic). Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου χρησιμοποιείται για την μετάδοση ψηφιακών σημάτων. Κάθε σήμα χρησιμοποιεί την



γραμμή μεταφοράς για ελάχιστο χρόνο αλλά αυτό γίνεται τόσο γρήγορα που εμείς νομίζουμε ότι τα σήματα στέλνονται παράλληλα. Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές η μετάδοση δεδομένων γίνεται σποραδικά, άρα η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου είναι καταλληλότερη.

## 2.3 CDMA

Η CDM/CDMA (Code Division Multiple Access) είναι η πολυπλεξία κώδικα όπου η πληροφορία πολλαπλασιάζεται με μία κωδική ακολουθία, που είναι μοναδική για κάθε χρήστη. Στον δέκτη, γίνεται νέος πολλαπλασιασμός με τον ίδιο κώδικα. Οι κώδικες είναι τέτοιοι ώστε να μπορεί ο δέκτης να αγνωρίσει το μήνυμα του αποστολέα, χωρίς να τον επηρεάζουν οι μεταδόσεις άλλων χρηστών που επίσης λαμβάνει. Άρα μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα χωρίς πρόβλημα. Η πολλαπλή πρόσβαση με κώδικες (Code Division Multiple Access-CDMA) στηρίζεται στην χρήση ορθογώνιων κωδικών όπου σε κάθε υπολογιστή ανατίθεται ένας κώδικας. Ο κώδικας συνδυάζεται με το σήμα πληροφορίας και το σήμα που προκύπτει μεταδίδεται στο κανάλι και ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του κώδικα χωρίζονται σε συστήματα:

- αναπήδησης συχνότητας
- ευθείας ακολουθίας

Βασίζεται στο DS spread spectrum:

- Κάθε σταθμός μετάδοσης παίρνει ένα κωδικό (chip sequence) που αντιπροσωπεύει την μετάδοση του 1 (το συμπληρωματικό αντιπροσωπεύει το 0)

▪ Π.χ. 1=000110110=11100100 (8-chip code)

- Την μετάδοση του 0 αντιπροσωπεύεται με -1 και το 1 με +1 (π.χ. τάση σε volts).

A:00011011                      A:(-1-1-1+1+1-1+1+1)

B:00101110                      B:(-1-1+1-1+1+1+1-1)

C:01011100                      C:(-1+1-1+1+1+1-1-1)

D:01000010

D:(-1+1-1-1-1-1+1-1)

Όλοι οι κώδικες (chip sequences) πρέπει να είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, δηλαδή για κάθε ζευγάρι να ισχύει:

$$S \bullet T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (\text{Walsh codes})$$

Για κάθε κώδικα ισχύει:

$$S \bullet S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = 1/m \sum_{i=1}^m S_i^2 = 1/m \sum_{i=1}^m (\pm 1) = 1$$

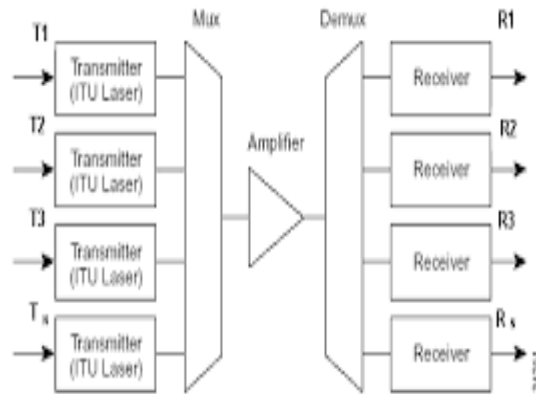
$$S \bullet S = -1$$

Η μέθοδος CDMA παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα σε θόρυβο και παραμόρφωση ενώ παράλληλα προσφέρει ασφάλεια στην επικοινωνία. Όμως εμφανίζει και κάποια μειονεκτήματα όπως :

- Δυσκολία κατασκευής και χρήσης μεγάλου πλήθους ορθογώνιων κωδίκων.
- Πολυπλοκότητα υλοποίησης.
- Όριο στο πλήθος των εξυπηρετούμενων υπολογιστών υπηρεσίας
- Περιορισμούς από το μέγεθος των ορθογώνιων κωδίκων που καθορίζεται σε επίπεδα παρεμβολών

## 2.4 WDM

Η πολυπλεξία με διαίρεση με μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing) χρησιμοποιείται σε δίκτυα οπτικών ινών όπου αποτελεί μια παραλλαγή της πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας

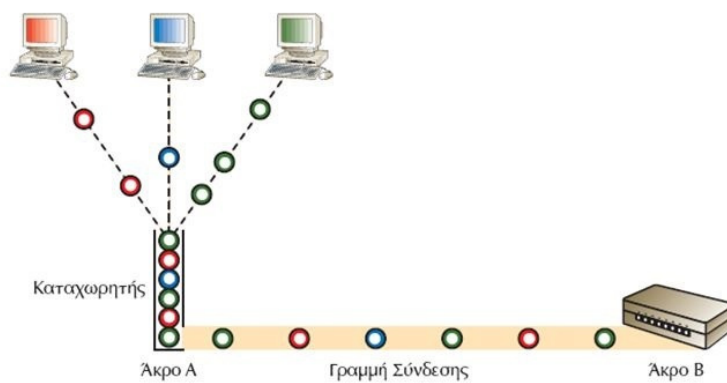


Σχήμα 6 . Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος

## 2.5 STDM

Η στατική πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Statistical Time Division Multiplexing, STDM) επιλύει το ζήτημα της ευελιξίας.

- χρονοθυρίδες που δεν χρησιμοποιούνται μπορούν να ανατεθούν σε άλλες ροές δεδομένων.
- η ανάθεση γίνεται δυναμικά.

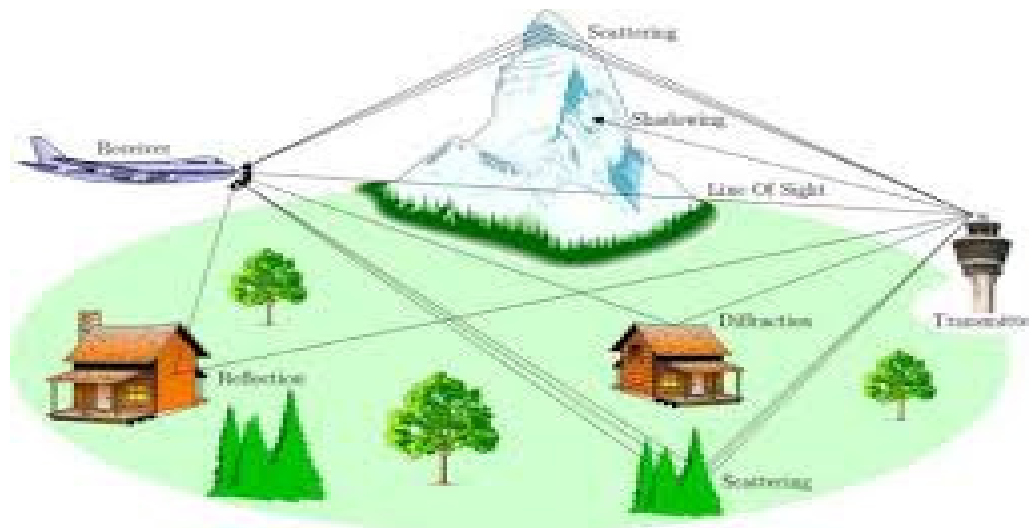


Σχήμα 7 . Παράδειγμα Στατιστικής Πολυπλεξίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΥΟΔΕΥΣΗΣ

### 3.1 Πολυόδευση

Βασικός παράγοντας απωλειών είναι η πολυόδευση ή διάδοση με διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών(multipath fading). Η πολυόδευση οδηγεί σε ραγδαίες διακυμάνσεις της φάσης και του πλάτους του σήματος. Το σήμα που λαμβάνει ο δέκτης δεν περιέχει μόνο το κύμα της άμεσης οπτικής ευθείας, αλλά και μεγάλο αριθμό ραδιοκυμάτων που φτάνουν μέσω ανάκλασης και περίθλασης. Τα πολλαπλά επίπεδα κύματα συνδυάζονται στην κεραία του δέκτη για να παράγουν ένα σύνθετο λαμβανόμενο σήμα.



Σχήμα 8 . Πολυόδευση

Το περιβάλλον που υπάρχει μεταξύ του πομπού και του δέκτη αποτελείται από αντικείμενα, κτίρια, αυτοκίνητα και ανθρώπους. Μερικά από αυτά, όπως και ο δέκτης, αλλάζουν θέση κατά τη διάρκεια μιας τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης δημιουργώντας ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον, που περιλαμβάνει κινητά εμπόδια και σκεδαστές του σήματος. Έτσι, το σήμα φθάνει στο δέκτη από πολλές διαφορετικές διευθύνσεις, έχοντας ακολουθήσει διαφορετικές διαδρομές. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται πολυδιαδρομική διάδοση. Στην πολυδιαδρομική διάδοση συμβάλλουν τα φαινόμενα της ανάκλασης, της περίθλασης και της σκέδασης. Οι

πολυδιαδρομικές συνιστώσες που φθάνουν στο δέκτη διαφέρουν ως προς το πλάτος, τη φάση, τη γωνία άφιξης και το χρόνο άφιξης σε σχέση με την απευθείας συνιστώσα. Η πολυδιαδρομική διάδοση έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση ή την ενίσχυση του σήματος ανάλογα με τον τρόπο συμβολής των πολυδιαδρομικών συνιστωσών στο δέκτη. Όπως αναφέραμε παραπάνω ένας από τους βασικούς παράγοντες είναι πολυόδευση ή διάδοση με διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών. Με τον όρο διαλείψεις στις τηλεπικοινωνίες εννοούμε διακυμάνσεις του σήματος στο δέκτη όσον αφορά το πλάτος ή τη φάση ή τη γωνία αφίξεώς του. Η αιτία αυτών των διακυμάνσεων είναι η πρόσθεση των συνιστωσών πολλαπλών διαδρομών του σήματος, εφόσον το κύμα κατά τη διάδοσή του στο ασύρματο κανάλι δύναται να ακολουθήσει πολλές και διαφορετικές διαδρομές στη μετάδοση από τον πομπό στο δέκτη, υπόκειται δηλαδή στο φαινόμενο της πολυόδευσης (multipath). Υπάρχουν δύο είδη διαλείψεων:

- διαλείψεις μεγάλης κλίμακας
- διαλείψεις μικρής κλίμακας

### 3.1.1 Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας

Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας πραγματεύονται την εξασθένηση της μέσης τιμής της ισχύος του σήματος λήψης εξαιτίας απώλειας στη διαδρομή και τη μεταβολή της τιμής αυτής λόγω της σχετικής κίνησης μεταξύ πομπού-δέκτη. Η ύπαρξη αυτού του φαινομένου είναι αποτέλεσμα της παρεμβολής μεταξύ πομπού και δέκτη, καθώς αλλάζει η σχετική τους θέση, διαφόρων εμποδίων (κτίρια, λόφοι, δασώδεις εκτάσεις κ.λ.π.). Έχουμε λοιπόν μια συνεχή αλλαγή του χώρου που παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη που οδηγεί σε μια μεταβαλλόμενη «σκίαση» του δέκτη. Για τον λόγο αυτό, η μεταβολή της μέσης τιμής του σήματος λήψης αναφέρεται ως διαλείψεις σκίασης (Shadow Fading). Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας χαρακτηρίζονται από μία lognormal συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας παρέχοντας έναν τρόπο εκτίμησης των απωλειών διάδοσης ως συνάρτηση του χρόνου.

### 3.1.2 Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας

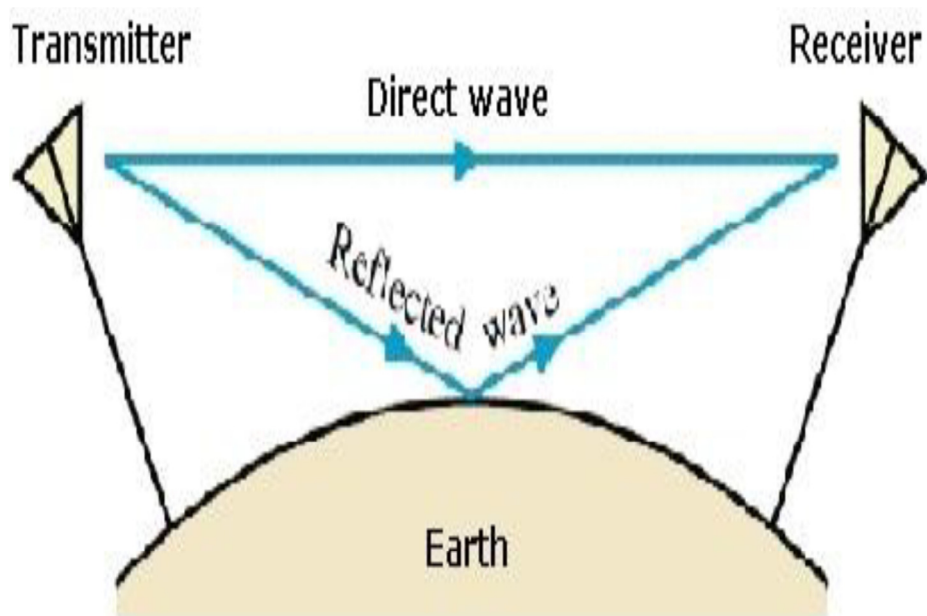
Στις διαλείψεις μικρής κλίμακας έχουμε απότομες μεταβολές του πλάτους και της φάσης του λαμβανόμενου σήματος που μπορούν να θεωρηθούν ως αποτέλεσμα μικρών αλλαγών (της τάξης του μισού μήκους κύματος) της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη ή ως αποτέλεσμα της αλλαγής θέσης, ταχύτητας ή πυκνότητας των σωμάτων που επηρεάζουν έμμεσα τις επικοινωνίες. Τέτοια σώματα είναι τα διάφορα κτίρια, οχήματα και ζωντανοί οργανισμοί που συναντιούνται στις πόλεις, καθώς επίσης και τα διάφορα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας εκδηλώνονται με δύο μηχανισμούς όσον αφορά την παραμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος, τη χρονική διασπορά του σήματος (signal dispersion) και τη χρονική διακύμανση της συμπεριφοράς του καναλιού (variance). Η διασπορά είναι ο μηχανισμός που εκφράζεται με τον διασκορπισμό της χρονικής διάρκειας των συμβόλων πληροφορίας στη λήψη του σήματος πληροφορίας λόγω των πολλαπλών διαδρομών που μεσολαβούν. Η διακύμανση είναι ο μηχανισμός που εκφράζεται ως η διαφορετική από στιγμή σε στιγμή συμπεριφορά του καναλιού εξαιτίας της σχετικής κίνησης πομπού-δέκτη ή της κίνησης σωμάτων του περιβάλλοντα χώρου. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας καλούνται διαλείψεις Rayleigh, εάν υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδρομές και δεν υπάρχει ισχυρή συνιστώσα λόγω οπτικής επαφής. Στην περίπτωση που υπάρχει μία ισχυρή LOS συνιστώσα, η κατανομή των διαλείψεων μικρής κλίμακας περιγράφεται από μια Rice σ.π.π.

### 3.2 Ανάκλαση

Με τον όρο ανάκλαση περιγράφουμε το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει πάνω σε εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το μήκος κύματος. Παραδείγματα ανάκλασης έχουμε από την επιφάνεια του εδάφους, από την επιφάνεια της γης, από τα κτίρια, από βουνά, από τοίχους κλπ. Τα ανακλώμενα κύματα μπορούν ανάλογα με τη φάση και το μέτρο τους, να συμβάλουν είτε θετικά είτε αρνητικά στο συνολικό σήμα. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα περάσει από ένα μέσο σε ένα άλλο με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, ένα ποσοστό του κύματος ανακλάται ενώ ένα άλλο διαδίδεται. Αν τα σώματα αυτά είναι διηλεκτρικά, μέρος της ακτινοβολίας μεταδίδεται από το

ένα στο άλλο σώμα και μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στο αρχικό σώμα, ενώ δεν υπάρχει καθόλου απώλεια ενέργειας ή απορρόφηση. Αν όμως το δεύτερο σώμα είναι τέλειος αγωγός, τότε όλη η ενέργεια ανακλάται πίσω στο πρώτο σώμα. Το ποσοστό του κύματος που ανακλάται ορίζει τον συντελεστή ανάκλασης ο οποίος ονομάζεται και συντελεστής ανάκλασης Fresnel. Ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται από την πόλωση, την γωνία πρόσπτωσης και την συχνότητα του διαδιδόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Τέλος αν  $\Gamma$  είναι ο συντελεστής ανάκλασης και  $T$  ο συντελεστής μετάδοσης, οι δύο συντελεστές συνδέονται μεταξύ τους μέσω της παρακάτω βασικής σχέσης η οποία εξασφαλίζει ότι δεν έχουμε απώλεια ενέργειας :

$$T = 1 + \Gamma$$



Σχήμα 9 . Ανάκλαση

### 3.3 Σκέδαση

Το φαινόμενο της σκέδασης συμβαίνει όταν το μέσο στο οποίο ταξιδεύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από μεγάλο πλήθος εμποδίων ανά μονάδα όγκου, τα οποία κατά τη συνήθη θεώρηση έχουν ίσες ή μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με το μήκος κύματος. Αποτέλεσμα της σκέδασης είναι η μεταβολή του λαμβανόμενου σήματος στον δέκτη, η οποία δεν δικαιολογείται από τις μεθόδους

διάδοσης της ανάκλασης ή της περίθλασης. Με τη σκέδαση έχουμε επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα κύματα που οφείλονται στην σκέδαση παράγονται συνήθως από αιχμηρές επιφάνειες, μικρά αντικείμενα. Μερικά από αυτά, που επηρεάζουν τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στους εξωτερικούς χώρους, είναι για παράδειγμα τα σήματα οδικής κυκλοφορίας, οι λαμπτήρες φωτισμού των δρόμων καθώς και το φύλλωμα των δέντρων. Η λαμβανόμενη ισχύς σε περιβάλλοντα όπου τον ρόλο του σκεδαστή παίζουν αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων όπως κτίρια μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους, μπορεί να προβλεφθεί με το μοντέλο της ραδιοτομής (Radar Cross Section, RCS). Ο παράγοντας RCS έχει διαστάσεις επιφανείας ( $m^2$ ) και ορίζεται από το λόγο της πυκνότητας ισχύος του σκεδαζόμενου σήματος κατά τη διεύθυνση του δέκτη, προς την πυκνότητα ισχύος του προσπίπτοντος ραδιοκύματος στο αντικείμενο που προκαλεί την σκέδαση. Σε αυτή την περίπτωση το σκεδαζόμενο πεδίο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την γεωμετρική θεωρία της περίθλασης ή ανάλογες θεωρίες της οπτικής.

### 3.4 Περίθλαση

Με τον όρο περίθλαση περιγράφουμε το φαινόμενο κατά το οποίο ένα αδιαπέραστο και συνήθως αιχμηρό σώμα, παρεμβάλλεται μεταξύ της ασύρματης ζεύξης πομπού και δέκτη. Με βάση την αρχή του Huygen, πίσω από το εμπόδιο παράγονται δευτερογενή κύματα τα οποία φτάνουν στον δέκτη, ακόμα και αν δεν υπάρχει καμία οπτική επαφή με τον πομπό. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι το πλέον συχνό σε αστικές, πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σε υψηλές συχνότητες το φαινόμενο της περίθλασης εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμποδίου, όπως και από το πλάτος, την φάση και την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος στο σημείο στο οποίο λαμβάνει χώρα η περίθλαση. Όπως φαίνεται από τον ορισμό της, η περίθλαση αφορά την εκτροπή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση. Θεωρητικά οι χαμηλές συχνότητες υφίστανται εντονότερη περίθλαση από τις πιο υψηλές συχνότητες με ακριβώς το αντίθετο να συμβαίνει στην διάθλαση. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένας πολύ βασικός μηχανισμός διάδοσης και λόγω αυτού καθίσταται δυνατή η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών, αλλά και άλλων ειδών κυμάτων, γύρω από εμπόδια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (OFDM)

### 4.1 Ιστορική Αναδρομή

Η OFDM είναι ένας συνδυασμός διαμόρφωσης και πολυπλεξίας. Παρόλο που ήταν γνωστή από το 1960, μετά από αρκετές έρευνες γύρω από το αντικείμενο έφτασε σε στάδιο ωριμότητας και ανάπτυξης από το 1990 και μετά. Η πολυπλεξία ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM). Είναι η πιο διάσημη τεχνολογία στον χώρο των τηλεπικοινωνιών την τελευταία δεκαετία σε συστήματα τηλεπικοινωνιών υψηλού ρυθμού, παρότι έχει τις ρίζες την δεκαετία του 1950. Η OFDM έγινε ευρέως γνωστή με την ανάπτυξη της ψηφιακής ευρυεκπομπής ήχου (Digital Audio broadcasting-dab). Η επίγεια ψηφιακή ευρυεκπομπή (Terrestrial digital video broadcasting-DVB-T) στην Ευρώπη είναι μια εφαρμογή της OFDM. Όμως τα συστήματα εκπομπής αυτά δεν είναι πολύ καλά για αμφίδρομες επικοινωνίες καθότι απαιτούσαν ακριβούς πομπούς. Την δεκαετία του 1960 η OFDM χρησιμοποιήθηκε σε στρατιωτικά προγράμματα τα οποία λειτουργούσαν σε ζώνες υψηλής συχνότητας. Στην συνέχεια, το 1980 μελετήθηκε για την αποδοτικότητά της σε modems για υψηλών συχνοτήτων ψηφιακές κινητές επικοινωνίες, καθώς και σε εγγραφές υψηλής πυκνότητας. Το 1990 η OFDM χρησιμοποιήθηκε για ευρεία ζώνης επικοινωνίας πάνω από κινητά ραδιοφωνικά κανάλια FM, καθώς και σε τεχνολογίες όπως το ADSL, VDSL και HDTV.

### 4.2 Εισαγωγή στην OFDM

Η OFDM είναι μία τεχνική μετάδοσης η οποία μεταδίδει ένα συρμό πληροφορίας με χρήση πολλαπλών υποφερουσών. Η OFDM μπορεί να θεωρηθεί τόσο ως τεχνική διαμόρφωσης και ως τεχνική πολυπλεξίας. Ένας από τους βασικούς λόγους χρήσης της OFDM είναι η αντιμετώπιση των δυο βασικών προβλημάτων που χαρακτηρίζουν τα ασύρματα κανάλια της παρεμβολής και του fading. Σε ένα σύστημα απλού φορέα, μια πολυόδευση ή παρεμβολή μπορεί να οδηγήσει σε ολική κατάρρευση του συστήματος. Αντίθετα, όταν έχουμε ένα σύστημα πολλών φορέων μόνο ένα μικρό ποσοστό από αυτούς θα επηρεαστεί μόνο από παρεμβολές ή από

πολυόδευση. Τα σφάλματα που προκύπτουν μπορούν να αντιμετωπιστούν από κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης. Η OFDM έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Χωρίζει το διαθέσιμο φάσμα στο οποίο μεταδίδει τα δεδομένα σε έναν αριθμό περιοχών και μεταδίδονται γύρω από κάθε υποφέρουσα. Η μετάδοση γίνεται συγχρόνως, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης πάνω από κάθε υποφέρουσα είναι χαμηλότερος σε σχέση με τον αρχικό. Δεδομένου ότι η μετάδοση σε κάθε περιοχή γίνεται πιο αργή, μειώνεται η διασυμβολική παρεμβολή που προκαλείται από το φαινόμενο της πολευόδευσης. Η διασυμβολική παρεμβολή μπορεί να περιοριστεί εντελώς εάν προσθέσουμε ένα χρονικό όριο “φύλαξης”(guard time)σε κάθε σύμβολο OFDM. Από την άλλη για την υλοποίηση του συστήματος χρειάζονται φίλτρα και απόστασεις ασφαλείας στο φάσμα(ζώνες φύλαξης –guard bands).Η υλοποίηση οδηγεί σε απώλεια μέρους του διαθέσιμου φάσματος. Προκειμένου λοιπόν να εκμεταλλευτούμε καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα μειώνουμε την απόσταση μεταξύ των υποφερουσών. Τότε οι φασματικές περιοχές (κανάλια) επικαλύπτονται και η μετάδοση γίνεται με μεγαλύτερο ρυθμό για δεδομένο εύρο ζώνης. Εμφανίζεται δηλαδή, διακαναλική παρεμβολή. Στο χρονικό περιθώριο “φύλαξης” το σύμβολο της OFDM επεκτείνεται κυκλικά προς αποφυγή της διακαναλικής παρεμβολής. Προκειμένου να επιτύχουμε διακαναλική παρεμβολή ίση με μηδέν κάνουμε χρήση ορθογώνιων συναρτήσεων.

Κατά την δημιουργία ενός συστήματος OFDM πρέπει να προσέξουμε κάποιες παραμέτρους όπως:

- Τον χρόνο φύλαξης
- Την διάρκεια του συμβόλου
- Τις αποστάσεις ανάμεσα στις υποφερουσες
- Τον τύπο της διαμόρφωσης αλλά και τον Κώδικα διόρθωσης σφάλματος που χρησιμοποιούμε.

Η μετάδοση με διαμόρφωση OFDM έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της πολυόδευσης του σήματος.
- Απλούστευση την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης κάθε φορέα στο λόγο σήματος προς θόρυβο της υποφέρουσας με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε κανάλια που μεταβάλλονται σταδιακά στον χρόνο.
- Αποτελεί τρόπο αντιμετώπισης της παρεμβολής αφού αυτή επηρεάζει σταδιακά ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.
- Επιτρέπει την υλοποίηση των δικτύων με απλές συχνοτήτες τα οποία είναι πρόσφορα για τις εφαρμογές ευρεκπομπής.

Επίσης ένα μεγάλο πλεονέκτημα της OFDM και η κύρια διαφορά της από την FDM είναι η ορθογωνιότητα των παράλληλα μεταδιδόμενων παλμών .Η ορθογωνιότητα είναι μια ιδιότητα που επιτρέπει σε πολλαπλά σήματα πληροφορίας να μεταδίδονται σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας και να ανιχνεύονται χωρίς μεταξύ τους παρεμβολή. Βέβαια υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα σε σχέση με την διάμορφωση απλού φορέα:

- Η OFDM είναι ευαίσθητη ως τεχνική στο θόρυβο φάσης αλλά και στις αποκλίσεις συχνότητας φορέα
- Ζητάει μεγάλο λόγο μέγιστης προς μέση ισχύ στον πομπό, γεγονός που τείνει να μειώσει έως ένα βαθμό, την αποδοτικότητα του ενισχυτή στον πομπό.

### 4.3 Περιγραφή Πολυπλεξίας Ορθογώνιας Διαίρεσης Συχνοτήτων

Η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως Ορθογωνική Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (ή αλλιώς Πολυπλεξία Ορθογωνικής Διαίρεσης Συχνότητας). Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην ιδέα του διαχωρισμού μίας ροής δεδομένων (data stream) σε περισσότερες παράλληλες ροές δεδομένων μικρότερης ταχύτητας. Αυτές οι παράλληλες ροές δεδομένων μεταφέρονται από σήματα ορθογωνικά μεταξύ τους. Τα σήματα αυτά είναι όλα ημίτονα ή συνημίτονα και παράγονται μέσω δειγματοληψίας (σχήμα 1.1). Η δειγματοληψία διεξάγεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και περιγράφεται από τη

συχνότητά της η οποία ονομάζεται συχνότητα δειγματοληψίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας τόσο ομαλότερο είναι το παραγόμενο ημιτονικό σήμα αφού αποτελείται από περισσότερα διακριτά σημεία (δείγματα). Συνεπώς ο υπολογισμός του αριθμού σημείων της δειγματοληψίας ανά περίοδο σήματος προκύπτει από τη διαίρεση της συχνότητας δειγματοληψίας με την συχνότητα του παραγόμενου σήματος. Ορθογωνικότητα δύο συναρτήσεων  $x_i(t)$  και  $x_j(t)$  έχουμε όταν το ολοκλήρωμα του γινομένου τους (σε μία περίοδο  $T$ ) είναι μηδενικό και περιγράφεται από τη σχέση 4.1. Στην OFDM οι συχνότητες των συναρτήσεων  $x_i(t)$  και  $x_j(t)$  επιλέγονται σύμφωνα με την σχέση 4.2, οπότε είναι και ορθογωνικές. Επομένως, επειδή όλοι οι OFDM υποφορείς είναι ημίτονα ή συνημίτονα μπορεί να αποδειχθεί εύκολα ότι π.χ. το ολοκλήρωμα (μίας περιόδου) του πολλαπλασιασμού ενός ημιτόνου συχνότητας  $f_1$  με ένα ημίτονο συχνότητας  $f_2$  (των οποίων η συχνότητα υπολογίζεται μέσω της σχέσης 4.1) είναι μηδενικό. Π.χ. για συχνότητα φορέα ίση με 1000 Hz και συχνότητα συμβόλων 100 Hz (δηλ. περίοδο συμβόλου  $T = 1/100$  sec) οι παραγόμενοι υποφορείς θα είναι ίσοι με  $(1000+50)$  Hz,  $(1000+2 \cdot 50)$  Hz,  $(1000+3 \cdot 50)$  Hz, κλπ. Όλες οι συχνότητες αυτές, είναι ορθογωνικές μεταξύ τους.

$$\int_0^{T_s} x_i(t) \cdot x_j(t) \cdot dt = 0 \quad (4.1)$$

$$x(t) = \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi m t \left( \frac{f_s}{2} \right) \right] \quad (4.2)$$

Όπως προαναφέρθηκε, η αρχική ροή ψηφιακών δεδομένων έχει υψηλότερο bit-rate (ρυθμό μετάδοσης) συγκρινόμενη με κάθε μία από τις παράλληλες ροές. Ο βασικός στόχος αυτής της διεργασίας δηλαδή της μείωσης του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας είναι η ελαχιστοποίηση της διασυμβολικής παρεμβολής ISI (Intersymbol Interference). Αυτό συμβαίνει διότι μικραίνοντας τον ρυθμό επιτυγχάνεται αύξηση του χρόνου  $T_s$  που διαρκεί κάθε bit πληροφορίας. Η τιμή αυτού του χρόνου πρέπει να είναι τόσο μεγάλη ώστε όλες οι καθυστερήσεις του καναλιού (προερχόμενες π.χ. από ανακλάσεις, διαφορετικές διαδρομές, κλπ) να εμφανίζονται πολύ μικρότερες του (μικρότερες του 10% του  $T_s$ ). Η οικογένεια των τεχνικών μετάδοσης, η οποία αναφέρεται στην πολυπλεξία πολλαπλών διαμορφωμένων φορέων, αποτελεί μέρος διαφόρων συστημάτων υψηλής μετάδοσης δεδομένων πληροφορίας (π.χ. ADSL και VDSL). Αυτά τα συστήματα έχουν πολύ

μικρή διάρκεια συμβόλων η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ρυθμό μετάδοσης. Όταν η πληροφορία διασπαστεί σε πολλαπλούς υποφορείς (subcarriers), τότε η διάρκεια συμβόλου της κάθε ροής είναι αυξημένη. Τελικά, επιλέγεται η διάρκεια των συμβόλων  $T_s$  αυτής της ροής ώστε να είναι σημαντικά μεγάλη συγκρινόμενη με την εξάπλωση καθυστέρησης (delay spread). Η OFDM έχει επίσης εισάγει τον όρο της φασματικής απόδοσης (spectral efficiency) στις μεταδόσεις με τη χρήση πολλαπλών φορέων πληροφορίας. Αυτές οι μεταδόσεις, όπως ήδη αναφέρθηκε, γίνονται με τη βοήθεια ορθογωνικών υποφορέων. Η ορθογωνικότητα των υποφορέων συνεπάγεται ότι δεν θα προκύψει παρεμβολή μεταξύ τους. Επιπροσθέτως, ελαχιστοποιείται και η πιθανότητα των αλληλοεπικαλυπτόμενων υποφορέων (overlapping subcarriers) γιατί σε αντίθετη περίπτωση θα παρατηρούνταν παρεμβολές μεταξύ των υποφορέων (intercarrier interference). Ακόμη, οι υποφορείς (ο ολικός αριθμός τους ισούται με  $L$ ) έχουν ένα εύρος ίσο με  $B_{SUB}$ , το οποίο είναι ανάλογο με το ονομαστικό εύρος ζώνης (nominal bandwidth)  $B$ . Ο αριθμός των υποφορέων  $L$  ισούται με το μέγεθος μπλοκ (block)  $L$  διότι θα μεταφερθεί ένα σύμβολο από κάθε υποφορέα. Το μπλοκ δηλαδή είναι μία σταθερή ποσότητα δεδομένων μεγέθους  $L$ :

$$B_{SUB} = B / L \quad (4.3)$$

Η παραγωγή των παραπάνω ορθογωνικών συχνοτήτων οι οποίες είναι υποφορείς μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα με τη χρήση του Αντίστροφου Γρήγορου Μετασχηματισμού Fourier (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) σε διακριτό χρόνο ή αλλιώς με τον Αντίστροφο Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Inverse Discrete Fourier Transform - IDFT) της ροής πληροφορίας. Επίσης, οι πομποί και δέκτες OFDM μπορούν να υλοποιηθούν σε διακριτούς χρόνους με τη χρήση IFFT and FFT αντίστοιχα. Ένας δέκτης OFDM έχει τη δυνατότητα με σχετικά απλό τρόπο να αντιμετωπίσει διάφορες εξασθενήσεις του καναλιού (channel impairments). Ως γνωστόν, τα σήματα τα οποία φθάνουν στο δέκτη μέσω ενός καναλιού έχουν αλλοιωθεί. Αυτό συμβαίνει έντονα σε ένα ραδιοκάνάλι λόγω της χρονικά μεταβαλλόμενης εξασθένησης. Αυτή η εξασθένηση μπορεί να διαχωριστεί σε δύο τύπους. Ο ένας είναι μικρής κλίμακας (small-scale fading) ενώ ο άλλος είναι η εξασθένηση μεγάλης κλίμακας (large-scale fading). Η τελευταία προκαλείται με την κίνηση του χρήστη σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, δημιουργώντας αλλαγή στη μέση τιμή της απώλειας διαδρομής (average path loss). Η εξασθένηση αυτή είναι

εφικτό να μοντελοποιηθεί ακόμη και με ένα πειραματικό μοντέλο. Όμως, η εξασθένηση μικρής κλίμακας προκαλεί γρήγορες αλλαγές στην στάθμη του σήματος, οι οποίες οφείλονται στη συμβολή σημάτων που προέρχονται από πολλαπλές διαδρομές. Επίσης, αυτή η εξασθένηση δημιουργείται από αλλαγές της θέσης του δέκτη σε τάξη μεγέθους του μισού μήκους κύματος. Η διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών (Multipath propagation) καταλήγει στην διασυμβολική παρεμβολή (ISI) λόγω της επιλεκτικής διάλειψης συχνότητας (frequency selective fading). Επειδή με την OFDM χωρίζεται το εύρος ζώνης του καναλιού σε πολλά κανάλια πολύ μικρότερου εύρους ζώνης, θεωρείται ότι το κάθε ένα από αυτά τα πολύ μικρότερα κανάλια έχει επίπεδη εξασθένηση-διάλειψη (flat fading). Στην πράξη θεωρούμε ότι έχουμε επίπεδη εξασθένηση και για ένα εύρος ζώνης που ονομάζεται εύρος ζώνης συνοχής (ή αλλιώς ζωνικό εύρος συμφωνίας – coherence bandwidth) καναλιού και το οποίο είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του κάθε υποφορέα. Επομένως δεδομένου ότι έχουμε επίπεδη εξασθένηση αποφεύγεται και η χρήση αντισταθμιστών- εξισορροπητών (equalizers) για την ελαχιστοποίηση της ISI. Αυτό καταλήγει σε πιο απλή αρχιτεκτονική δέκτη συγκρινόμενη με εκείνες των συστημάτων 2G και 3G με έναν φορέα (single carrier). Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται αντισταθμιστές για την εξάλειψη της ISI. Επίσης για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ μπλοκ (ποσότητες σταθερού μεγέθους  $L$  δειγμάτων) δεδομένων (inter-block interference - IBI) γίνεται η χρησιμοποίηση μίας τεχνικής που ονομάζεται κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix – CP). Το CP έγκειται στην αντιγραφή κάποιων τελευταίων δειγμάτων του συμβόλου στην αρχή του.. Το CP πρέπει να είναι μεγαλύτερο και από το μέγιστο όριο καθυστέρησης σε παρακείμενα OFDM μπλοκ. Το CP αποτελεί την πιο συνήθη τεχνική προστασίας. Γενικά, η παρουσία κάποιου χρονικού διαστήματος προστασίας (Guard interval) που περιέχει και το CP είναι απαραίτητη στα συστήματα OFDM. Αυτό το διάστημα προστασίας επιφέρει την ελαχιστοποίηση της ISI επειδή παρεμβάλλεται μεταξύ διαδοχικών OFDM συμβόλων. Η ζώνη προστασίας (Guard band) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την εκτιμώμενη εξάπλωση καθυστέρησης πολλαπλών διόδευσεων (multipath delay spread). Επίσης η ζώνη προστασίας πρέπει να επιλεγθεί προσεκτικά. Αυτή η ζώνη προστασίας περιέχεται στη συνολική διάρκεια του τελικού συμβόλου. Αν η ζώνη προστασίας αυξηθεί τότε η απαιτούμενη ενέργεια εκπομπής συμβόλων αυξάνεται και ταυτόχρονα το εύρος δεδομένων (data bandwidth) μειώνεται. Είναι επίσης σαφές ότι εάν ο αριθμός των υποφορέων αυξηθεί, η πολυπλοκότητα για την υλοποίηση του

συστήματος αυξάνεται, το μέγεθος του FFT που απαιτείται αυξάνεται και επιπρόσθετα οι υποφορείς γίνονται πιο ευαίσθητοι σε φαινόμενα πολλαπλής διάδοσης και στην μετατόπιση Doppler (Doppler shift). Αυτό συμβαίνει διότι αν το συνολικό εύρος (bandwidth) παραμείνει σταθερό και ο αριθμός των υποφορέων αυξηθεί, τότε η απόσταση μεταξύ των υποφορέων μειώνεται και ο χρόνος συμβόλου αυξάνεται. Αυτό ενισχύει την προστασία ως προς στην εξάπλωση καθυστέρησης πολλαπλών διόδευσεων. Όμως, η μειωμένη απόσταση μεταξύ των υποφορέων επιφέρει αδυναμία του συστήματος να αντεπεξέλθει στην μεταξύ τους παρεμβολή (Intercarrier interference) εξαιτίας της μετατόπισης Doppler (κινητές επικοινωνίες – mobile communications). Επομένως πρέπει να βρεθεί η καλύτερη λύση ως προς την καθυστέρηση και τη μετατόπιση Doppler κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος OFDM. Τα συστήματα τα οποία βασίζονται σε OFDM αρχιτεκτονική είναι ευαίσθητα σε λάθη συγχρονισμού. Η παρεμβολή μεταξύ των υποφορέων είναι αναμενόμενη αν τυχόν υπάρξει πρόβλημα συγχρονισμού συχνότητας. Άλλο ένα πρόβλημα είναι ο μεγάλος λόγος μέγιστης προς μέσης ισχύς (peak-to-average power ratio – PAPR). Στη συνέχεια, θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στην αρχή λειτουργίας της OFDM, στην ιστορική της διαδρομή, στις μετατροπές FFT και IFFT, στο λόγο μέγιστης προς μέση ισχύ (PAPR), στον αστερισμό συμβόλων (symbol mapping), στην κωδικοποίηση καναλιού και στο κανάλι επικοινωνίας.

#### 4.4 Ενθόρυβο Κανάλι AWGN στην OFDM

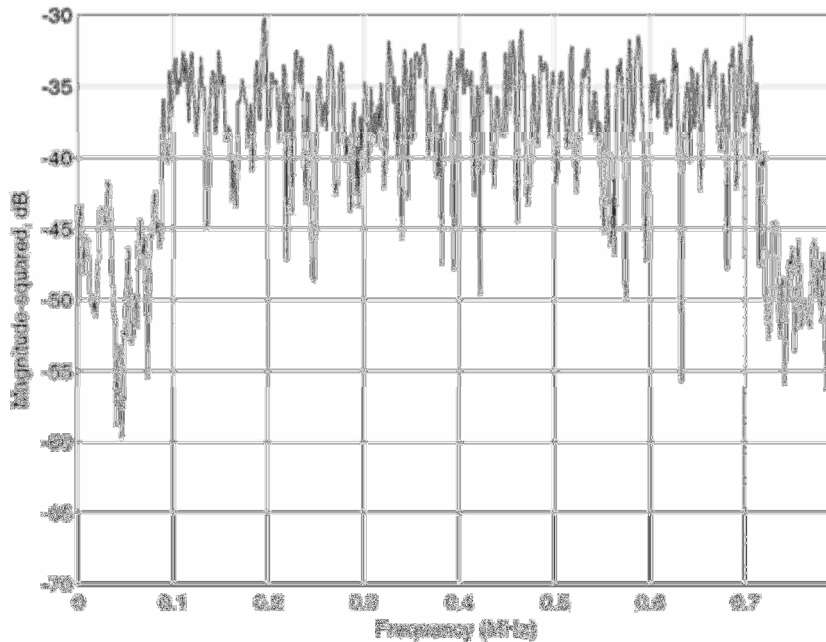
Τα πραγματικά συστήματα διαμόρφωσης περιλαμβάνουν σε κάθε περίπτωση ως βασικό τύπο θορύβου ένα κανάλι Προσθετικού Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN). Ο όρος "Προσθετικός" σημαίνει ότι ο θόρυβος που προστίθεται βασίζεται στη σχέση 4.4. Ο χαρακτηρισμός του ως "Λευκός" υποδεικνύει ότι έχει επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος και ο χαρακτηρισμός "Γκαουσιανός" δηλώνει τον τύπο της κατανομής της ισχύος του θορύβου. Ο πομπός στέλνει ψηφιακά δεδομένα μέσω αυτού του καναλιού. Δεδομένου ότι, η διάρκεια συμβόλου ήταν ίση με  $T$ , η πληροφορία θα μπορούσε να μεταφερθεί στο διάστημα  $0 \leq t \leq T$ . Αυτό το κανάλι μεταβάλλει το μεταδιδόμενο σήμα προσθέτοντας μια μεγάλη ποσότητα δειγμάτων θορύβου AWGN. Το τελικό σήμα που φθάνει στο δέκτη δίνεται από την εξίσωση 4.5. Π.χ. οι καμπύλες προσομοίωσης οι οποίες παρουσιάζονται

στα Σχήματα 13 και 14 αντιπροσωπεύουν το φάσμα του OFDM σήματος με και χωρίς AWGN θόρυβο για 5184 υποφορείς εξόδου.

$$r(t) = s_m(t) + n(t) \quad , \quad 0 \leq t \leq T \quad (4.4)$$

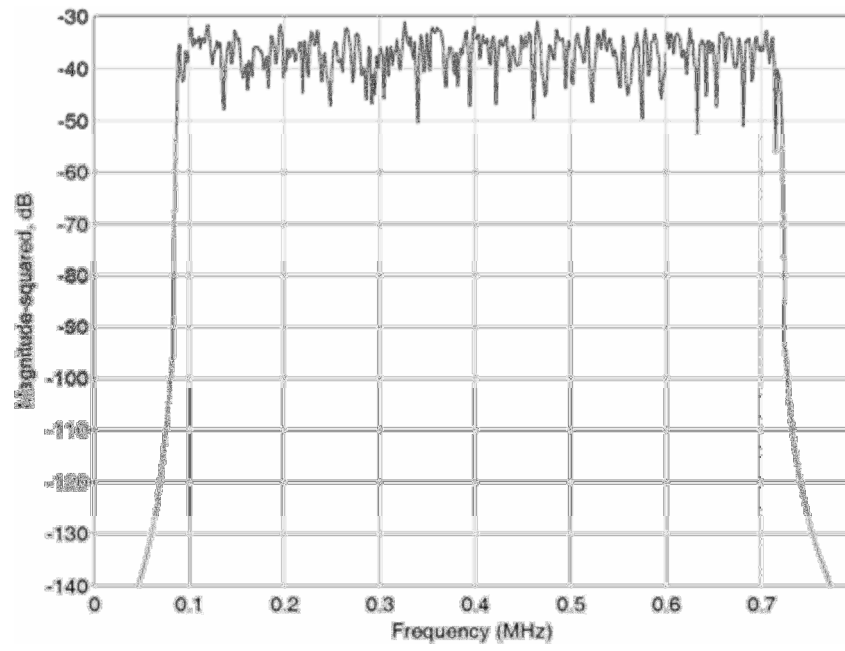
όπου το  $s_m(t)$  είναι το εκπεμπόμενο σήμα και το  $n(t)$  είναι ο AWGN θόρυβος με την φασματική πυκνότητα ισχύος που δίνεται στη σχέση 4.5 :

$$\Phi_m(f) = \frac{1}{2} N_0 \quad \text{W/Hz}$$



Σχήμα 10 . Φάσμα OFDM αποτελούμενο από 5184 φορείς, με 10 dB SNR, κανάλι AWGN





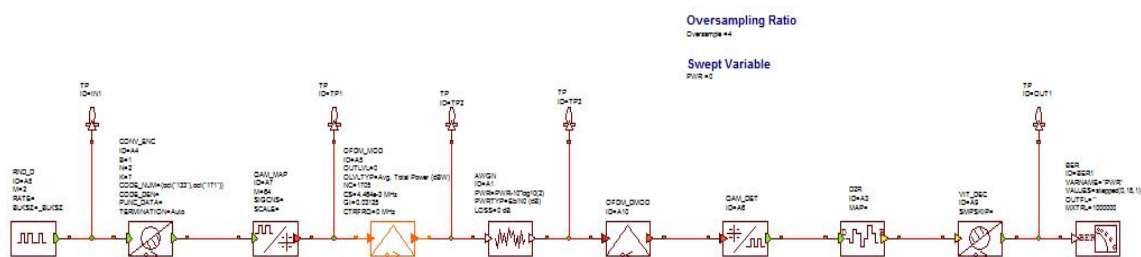
Σχήμα 11 . Φάσμα OFDM αποτελούμενο από 5184 υποφορείς χωρίς την παρουσία θορύβου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 5.1 Προσομοίωση σήματος 64QAM με διαμόρφωση OFDM με παρουσία θορύβου (AWGN)

Στο παρακάτω παράδειγμα θα παρουσιάσουμε τη συνελκτική κωδικοποίηση για την απόδοση BER καθώς και τη χρήση της 64QAM mapper και OFDM μεταφορέα με χρήση του προσομοιωτή AWR.

Αρχικά δημιουργήσαμε την τοπολογία της προσομοίωσης:

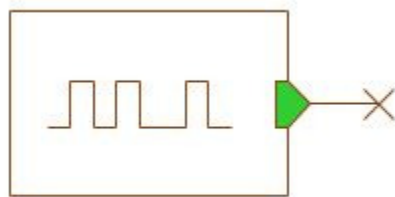


Σχημα 12. Τοπολογία προσομοίωσης (OFDM BER SYSTEM)

### 5.2 Επεξήγηση Blocks που χρησιμοποιήθηκαν

#### ➤ Γεννήτρια τυχαίων Σημάτων

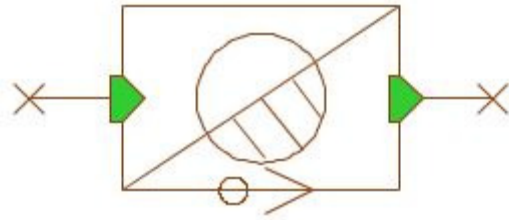
Χρησιμοποιήσαμε αρχικά μια γεννήτρια που παράγει ψευδοτυχαίες ακολουθίες δυαδικών συμβόλων (RND\_D)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements-System** ➔ **Blocks-Sources** ➔ **Random** ➔ **RND\_D**

#### ➤ Συνελκτικός Κωδικοποιητής

Είναι ένας δυαδικός συνελκτικός κωδικοποιητής με προαιρετική διάτρηση κώδικα. Αυτή η μονάδα υποστηρίζει επίσης αναδρομικούς συνελκτικούς κώδικες. (CONV\_ENC)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel:: **Elements**→**System Blocks**→**Coding/Mapping**→**Channel Encoding**→**CONV\_ENC**

➤ **Μετρητής σημείου**

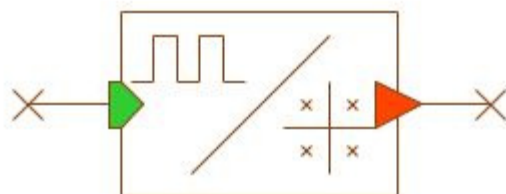
Το λογισμικό προσομοίωσης μας επιτρέπει σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος να τοποθετήσουμε μετρητές (test points, TP) τα οποία μετρούν χαρακτηριστικά των σημάτων όπως την ισχύ, το φάσμα, τη συχνότητα, την αντίσταση της γραμμής κ.ο.κ. (TP)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel:: **Elements**→**System Blocks**→**Meters**→**TP**

➤ **64QAM Mapper**

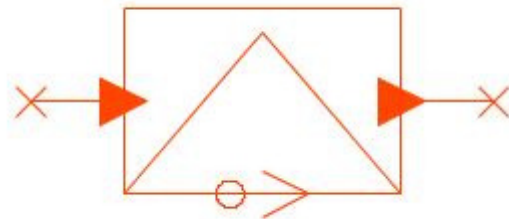
Παράγει ένα Quadrature Amplitude Modulation (QAM) σύνολο I/Q συντελεστών από ένα σήμα εισόδου. Οι συντελεστές μπορούν να τροφοδοτηθούν σε έναν διαμορφωτή για την παραγωγή μιας αναλογικής κυματομορφής. Το μπλοκ δέχεται δυο δυαδικές εισόδους (bits) και M-ary ψηφιακά σύμβολα. Αν η είσοδος είναι δυαδική τα bits ομαδοποιούνται σε σύνολα των  $\log_2 M$  προτού χαρτογραφηθούν σε ένα από τα σημεία M στον αστερισμό έξοδου.(QAM\_MAP)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Modulation**→**QAM**→**QAM\_MAP**

➤ **Διαμορφωτής OFDM**

Προσομοιώνει μια ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) διαμορφωτή. Μεταμορφώνει μια ακολουθία μιγαδικών συμβόλων σε μια πολλαπλή OFDM συγκρότημα-φάκελο (CE) κυματομορφή. (OFDM\_MOD)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Modulation**→**OFDM**→**OFDM\_MOD**

➤ **Στοιχείο προσθήκης Αθροιστικού Λεύκου Γκαουσιανού Θορύβου**

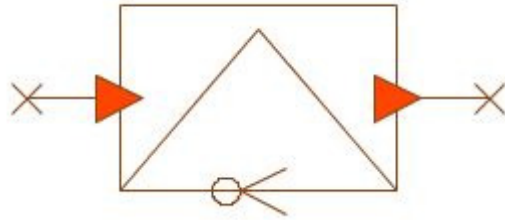
Με το στοιχείο AWGN προσθέτουμε στο σημάδι Λευκό Προσθετικό Θόρυβο. Το μοντέλο αυτό προσθέτει πραγματικό ή μιγαδικό θόρυβο στο σημάδι εισόδου. (AWGN)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Channels**→**AWGN**

➤ **OFDM Αποδιαμορφωτής**

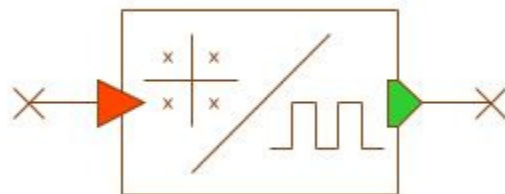
Προσομοιώνει έναν αποδιαμορφωτή OFDM. Λειτουργεί σε μια θορυβώδη συγκρότημα-φάκελο (CE) κυματομορφή δεδομένων δειγματοληψίας για την αποδιαμόρφωση πολυμεταφορικού σήματος. (OFDM\_DMOD)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Modulation**→**OFDM**→**OFDM\_DMOD**

➤ **Ανιχνευτής QAM**

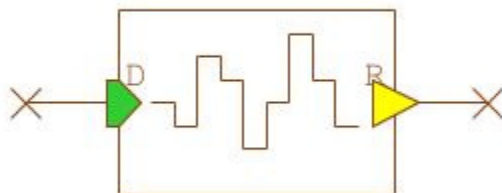
Παράγει μια αλληλουχία ψηφιακών ή δυαδικών συμβόλων από ένα Quadrature Amplitude Modulation (QAM) αποδιαμορφωμένο σήμα I/Q. (QAM\_DET)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Modulation**→**QAM**→**QAM\_DET**

➤ **Μετατροπέας ψηφιακού σε πραγματικό**

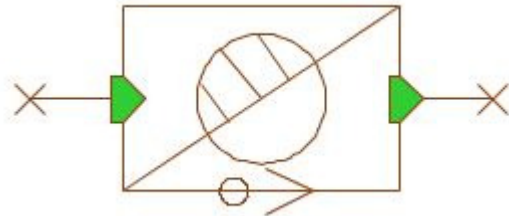
Μετατρέπει μια ψηφιακή είσοδο σε πραγματική έξοδο. Η ψηφιακή είσοδος μπορεί να είναι  $\{0,1,\dots,M-1\}$  όπου το  $M$  μέγεθος ψηφιακού αλφαβήτου. Αυτό διαφέρει από ένα ψηφιακό σε αναλογικό μετατροπέα από το ο'τι το σήμα εξόδου δεν είναι μια αναλογική κυματομορφή δειγματοληψίας. (D2R)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: **Elements**→**System Blocks**→**Converters**→**Data Type**→**D2R**

### ➤ Viterbi Αποκωδικοποιητής

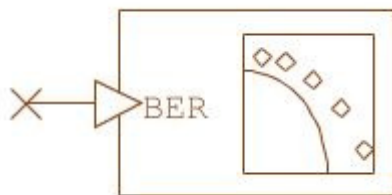
Εκτελεί Viterbi αποκωδικοποίηση των συνελκτικά κωδικοποιημένων δεδομένων. Το μοντέλο δέχεται κανονικές τιμές δεδομένων από την έξοδο του αποδιαμορφωτή για λειτουργία με είσοδο απλών αποφάσεων ή ψηφιακών δεδομένων για λειτουργία πολύπλοκων αποφάσεων. (VIT\_DEC)



Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: [Elements](#)➔[System Blocks](#)➔[Coding/Mapping](#)➔[Channel Encoding](#)➔[VIT\\_DEC](#)

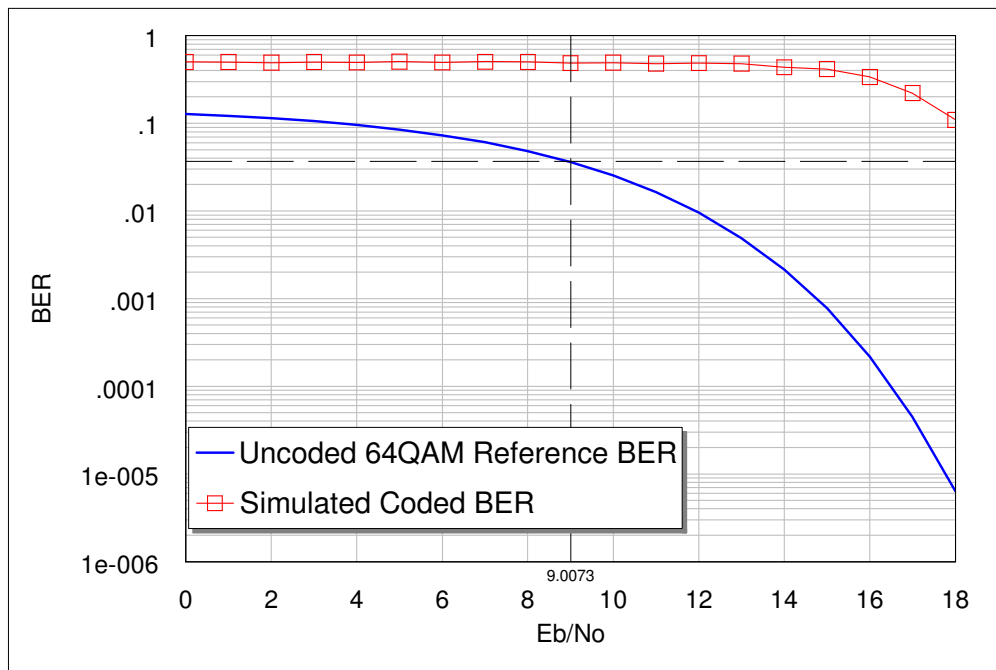
### Μετρητής BER ( BER meter)

Ο μετρητής BER υπολογίζει το the bit error rate (BER) ενός ψηφιακού σήματος . Το μπλοκ αυτό χρησιμοποιείται για την δημιουργία της γραφικής απεικόνισης του BER καθώς και για την παρουσίαση του σε μορφή παραθύρου τιμών. Ο μετρητής BER εντοπίζει αυτόματα την διαμόρφωση του σήματος αναφοράς αν πρόκειται για πηγές QAM\_SRC, QAM\_TX ή QPSK\_TX. Για οποιαδήποτε άλλη πηγή ο μετρητής επιχειρεί την αναγνώριση της διαμόρφωσης . Τα πεδία VARNAME , VALUES και OUTFL παραμένουν κενά διότι η αναγνώριση γίνεται αυτομάτως. (BER)

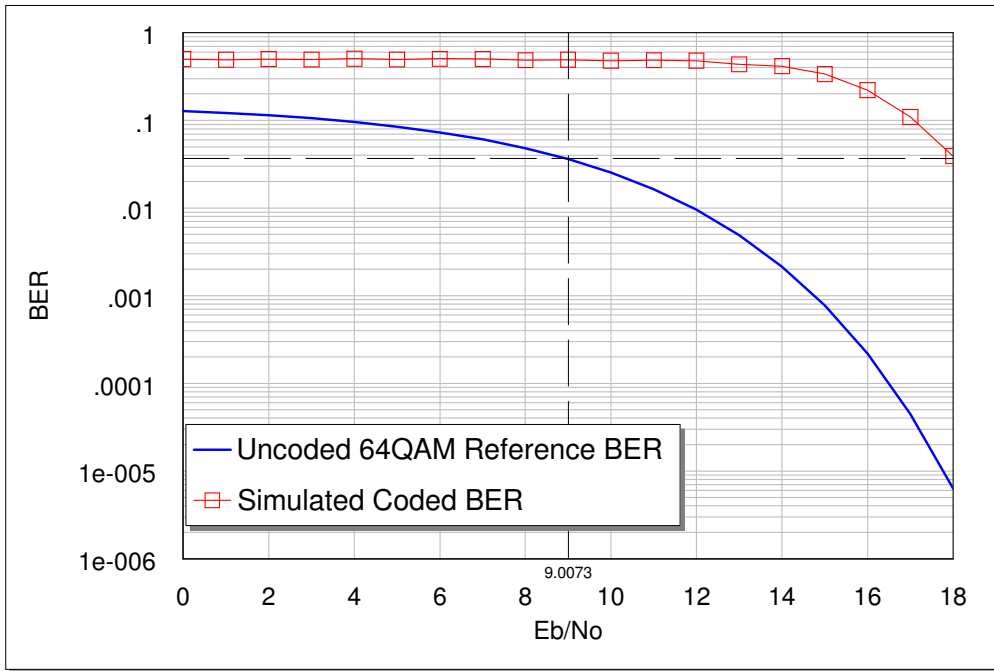


Διαδικασία επιλογής block από το AWR Panel: [Elements](#)➔[System Blocks](#)➔[Meters](#)➔[BER](#)

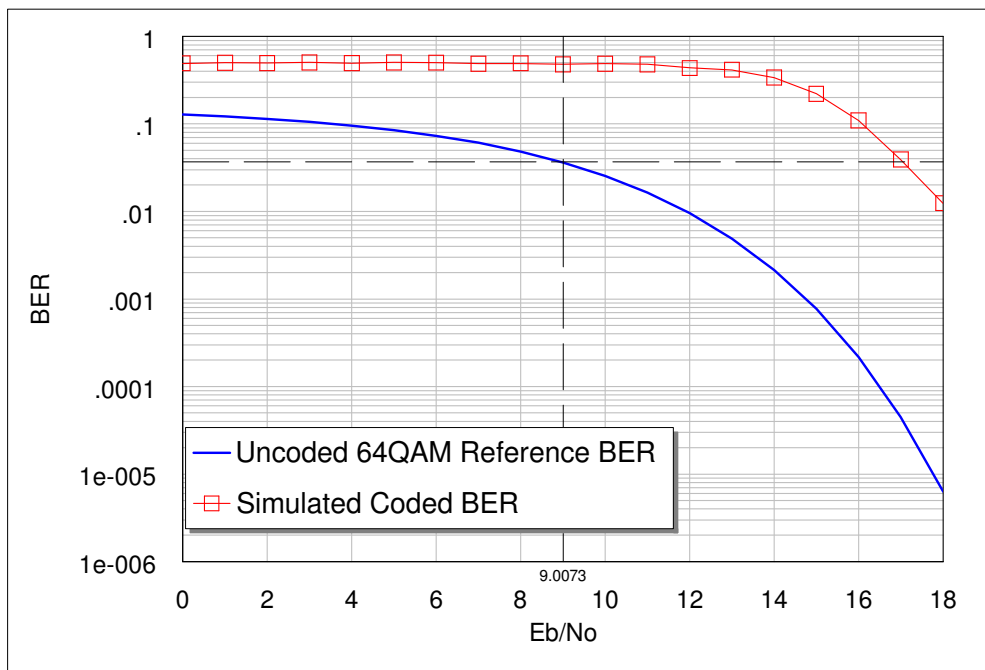
### 5.3 Αποτελέσματα -BER για επίπεδα Λευκού θορύβου(AWGN) από -10 εως +10



Σχήμα 1 : Για Loss = -10 db

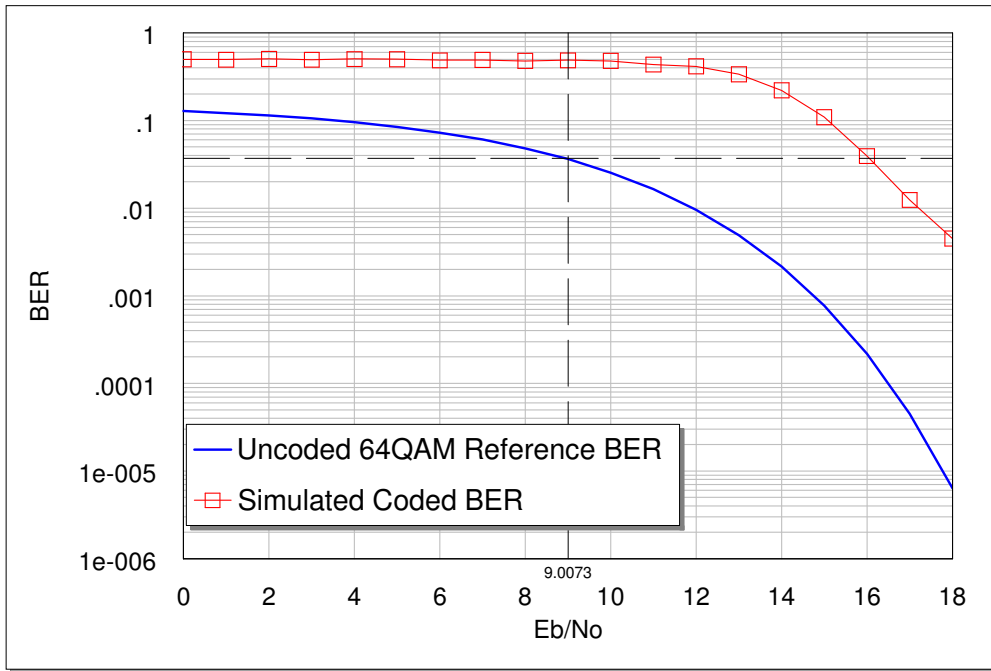


Σχήμα 2 : Για Loss = -9 db

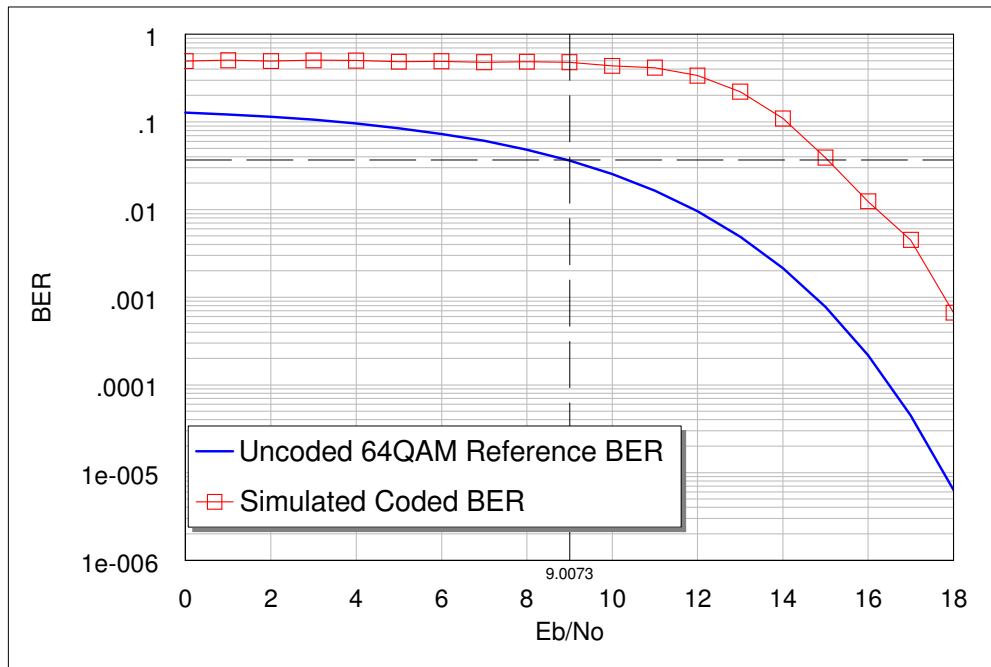


Σχήμα 3 : Για Loss = -8 db

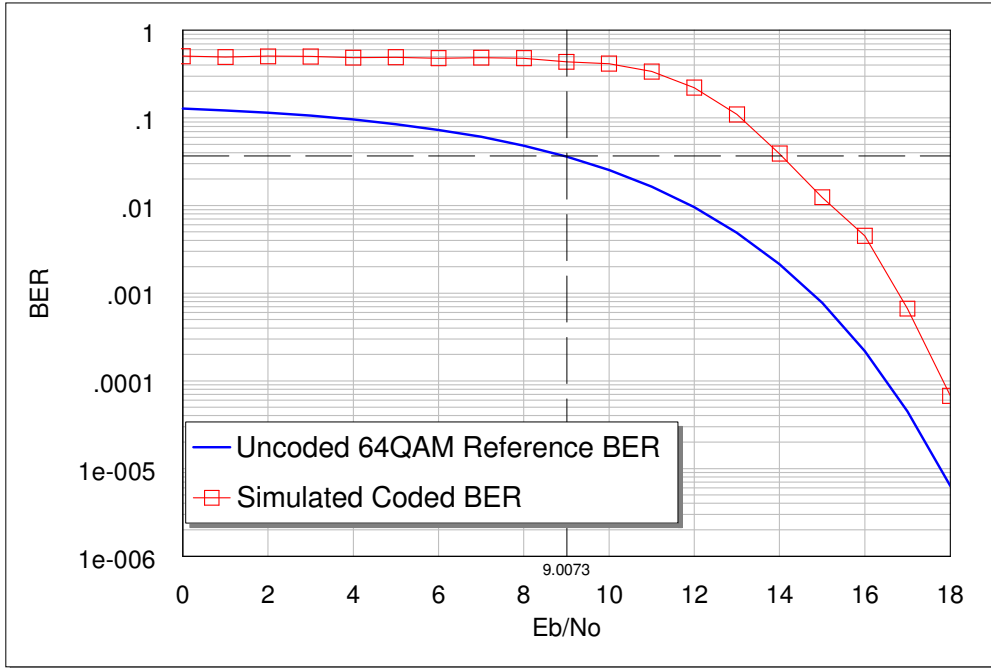




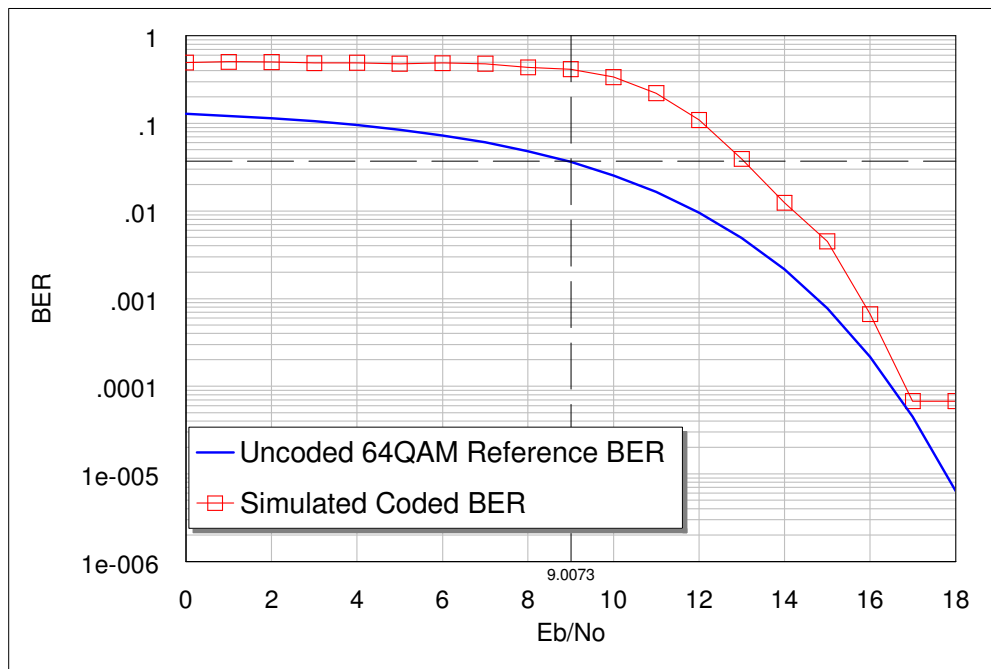
Σχήμα 4 : Για Loss = -7 db



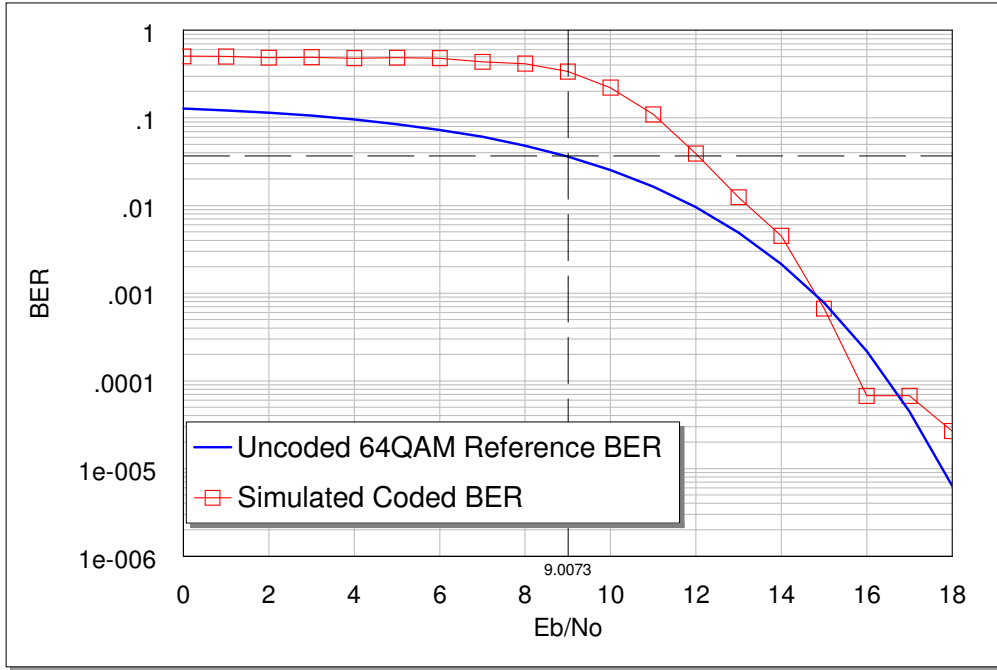
Σχήμα 5 : Για Loss = -6 db



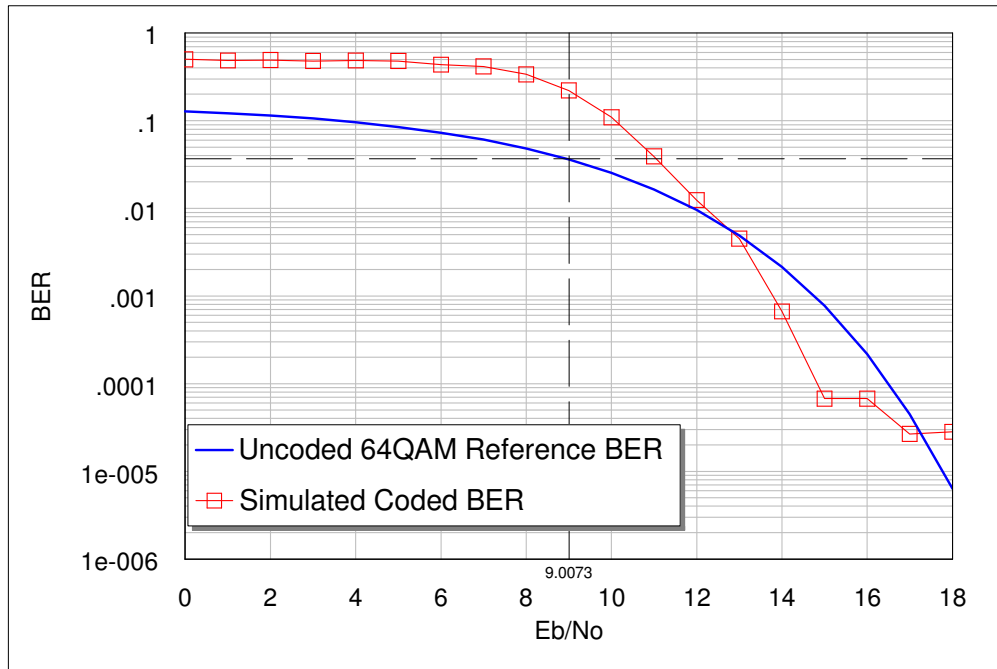
Σχήμα 6 : Για Loss = -5 db



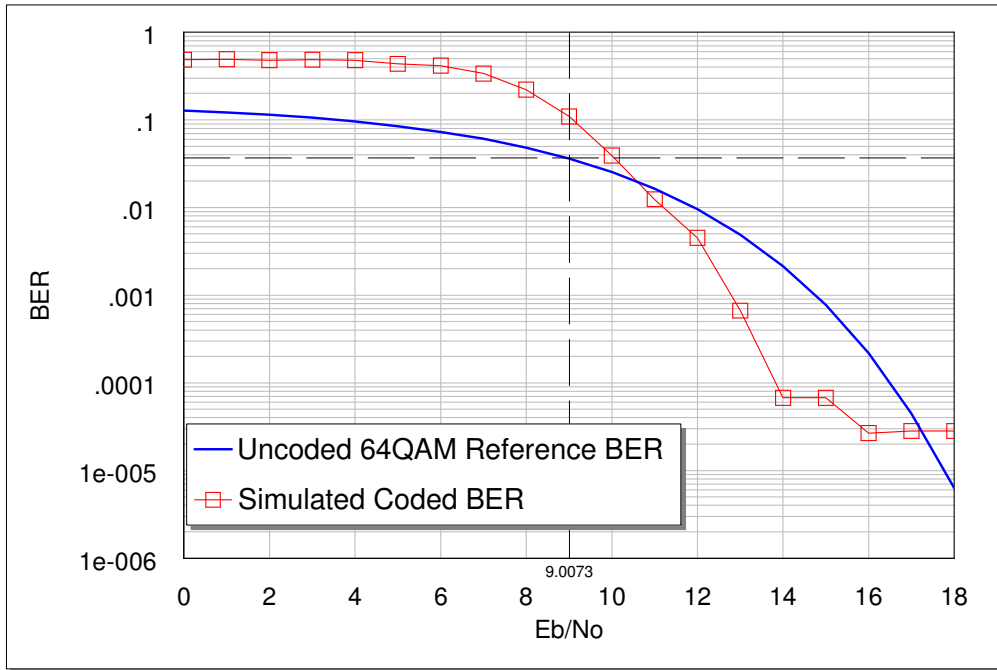
Σχήμα 7 : Για Loss = -4 db



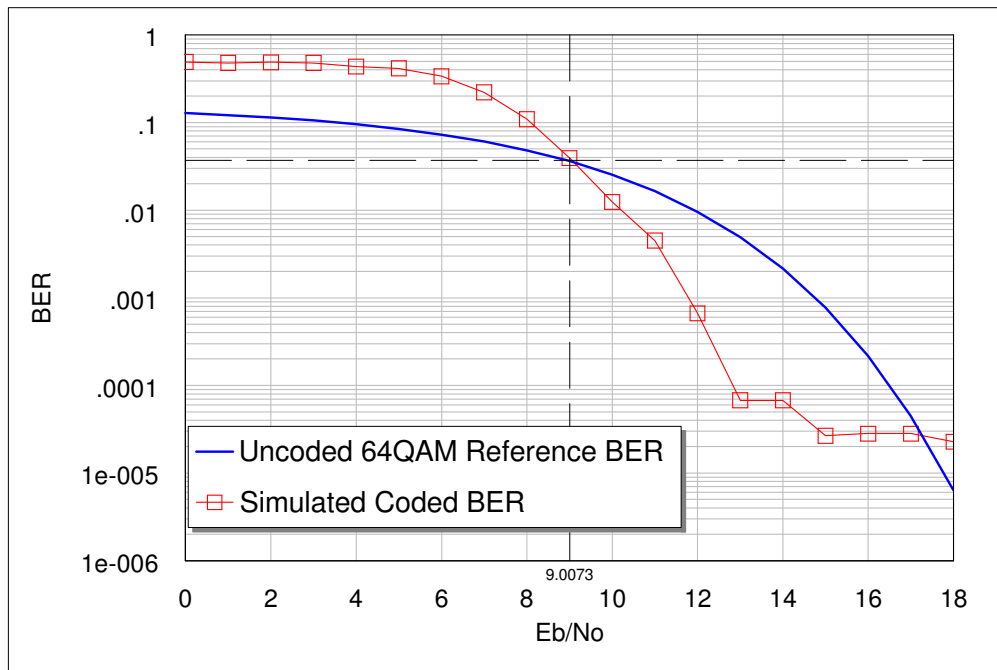
Σχήμα 8 : Για Loss = -3 db



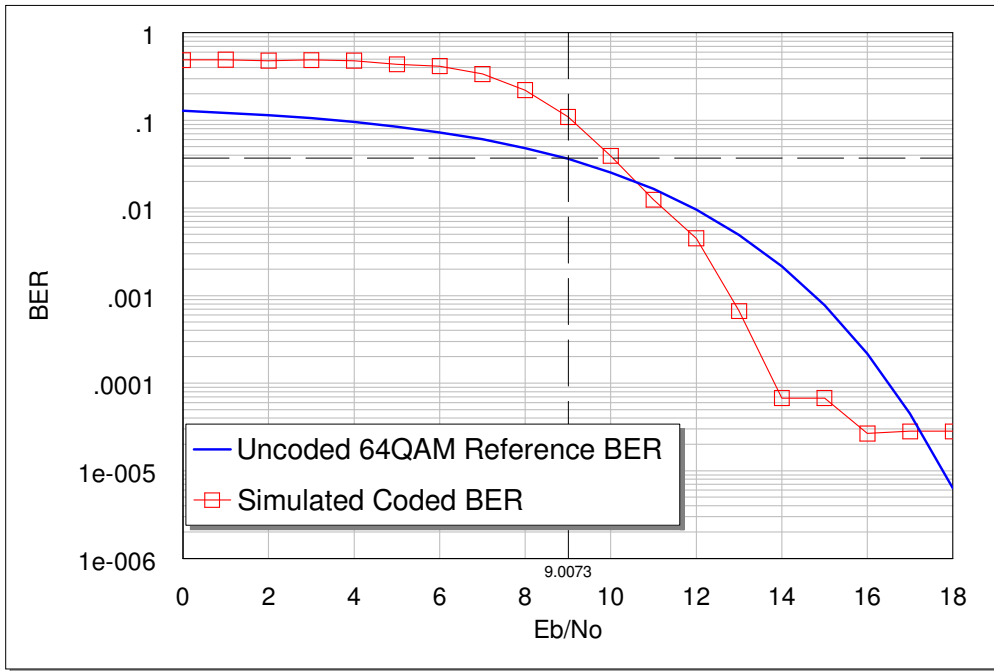
Σχήμα 9 : Για Loss = -2 db



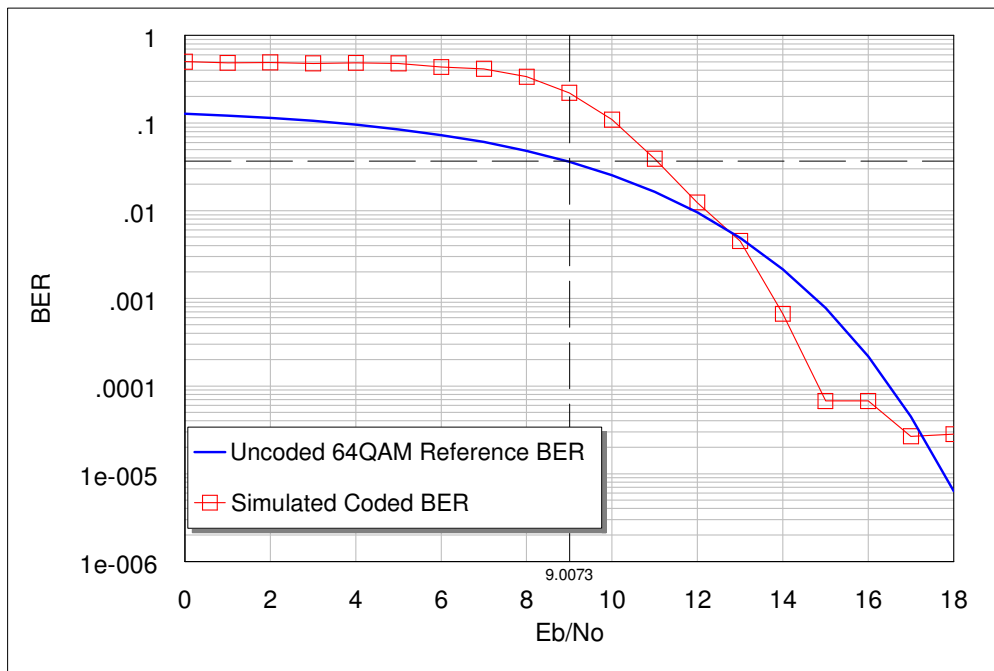
Σχήμα 10 : Για Loss = -1 db



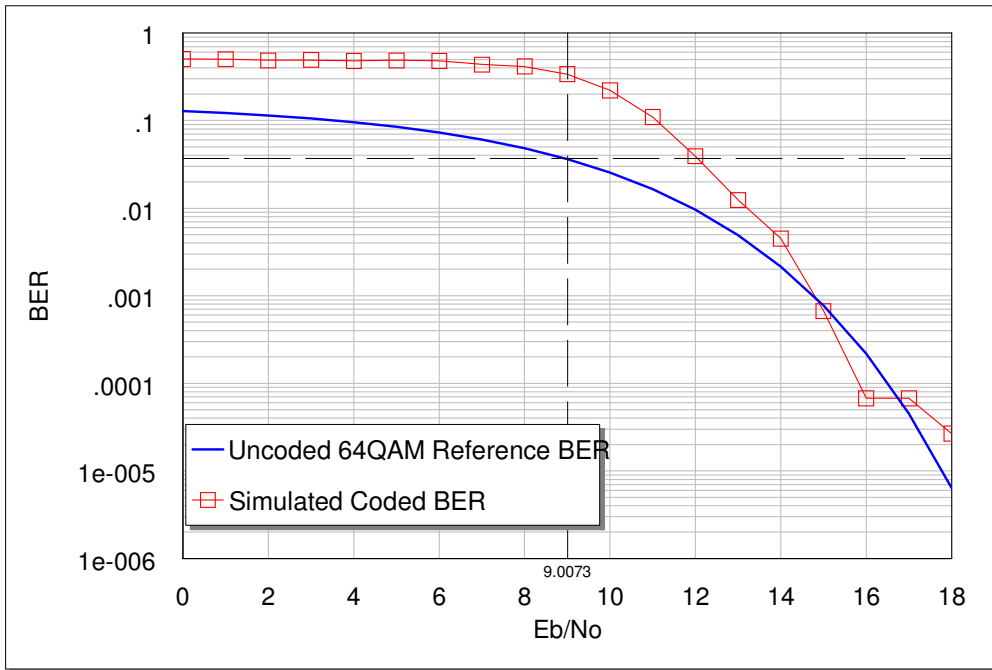
Σχήμα 11 : Για Loss = 0 db



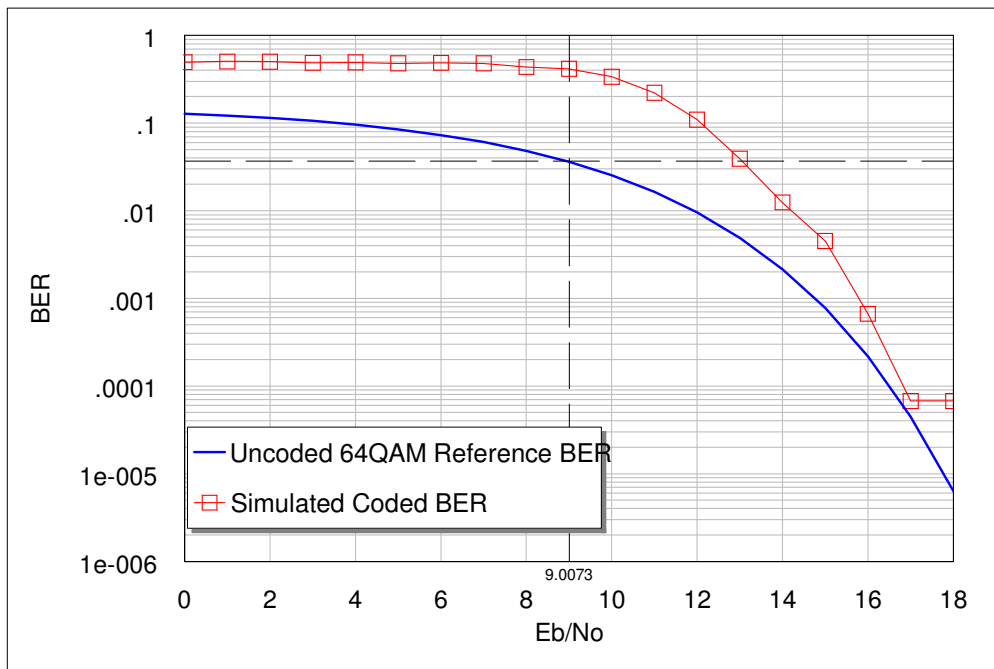
Σχήμα 12 : Για Loss = 1 db



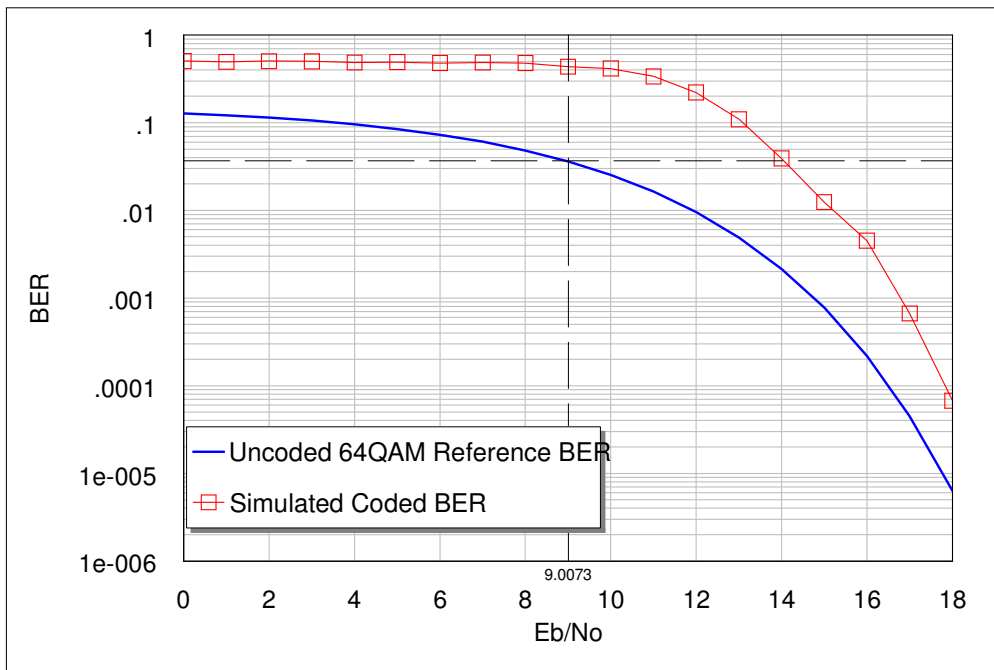
Σχήμα 13 : Για Loss = 2 db



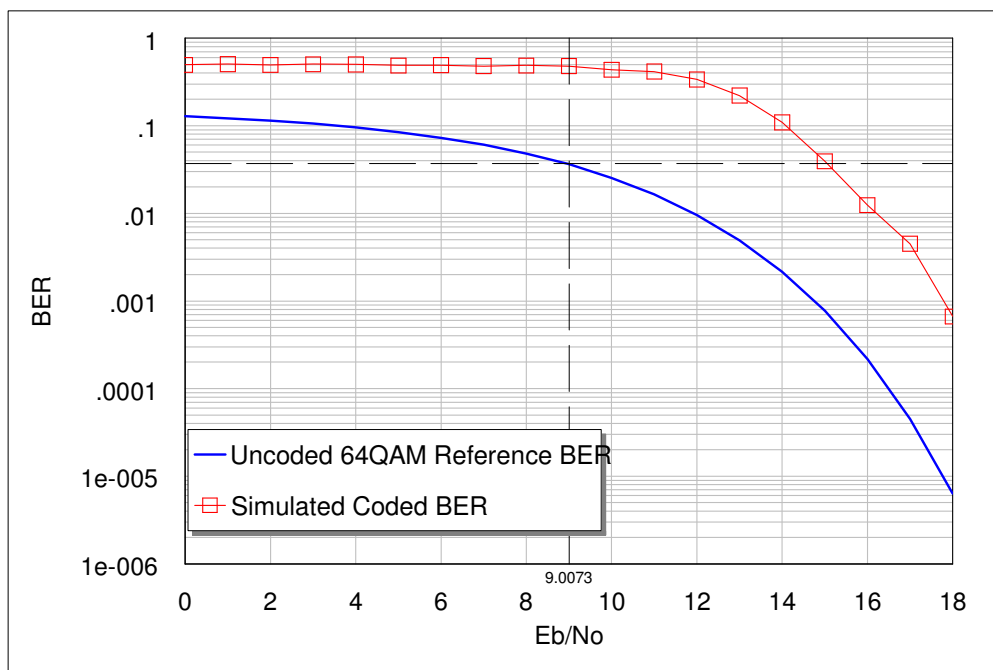
Σχήμα 14 : Για Loss = 3 db



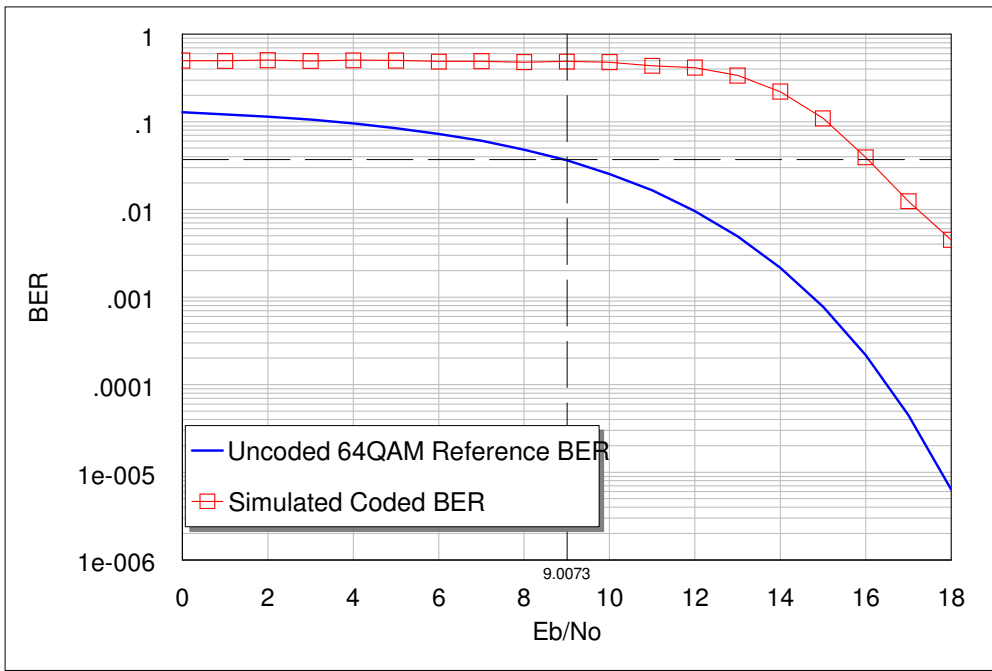
Σχήμα 15 : Για Loss = 4 db



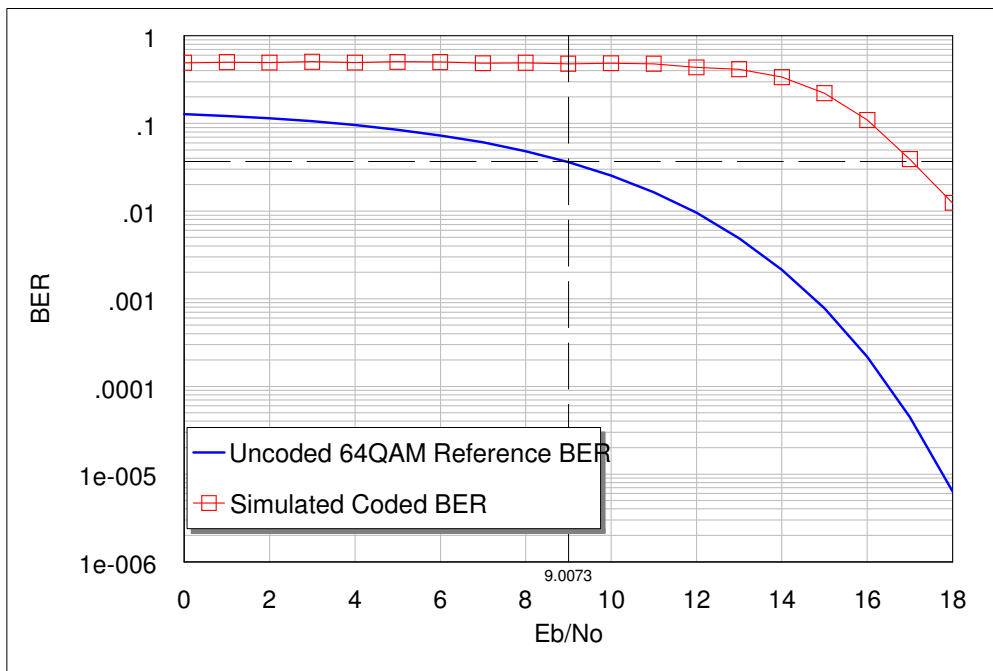
Σχήμα 16 : Για Loss = 5 db



Σχήμα 17 : Για Loss = 6 db

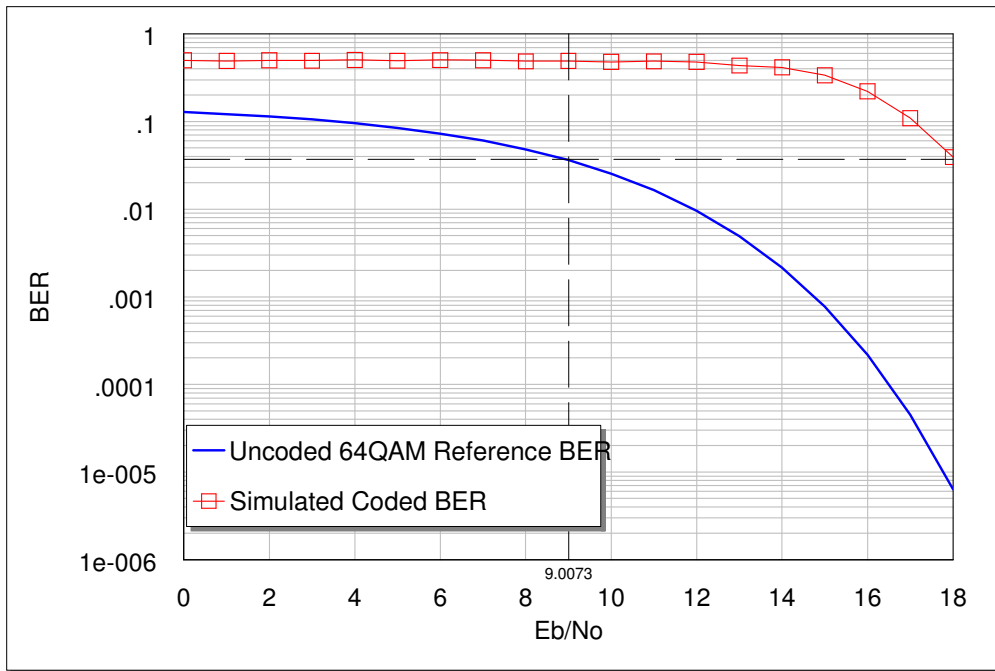


Σχήμα 18 : Για Loss = 7 db

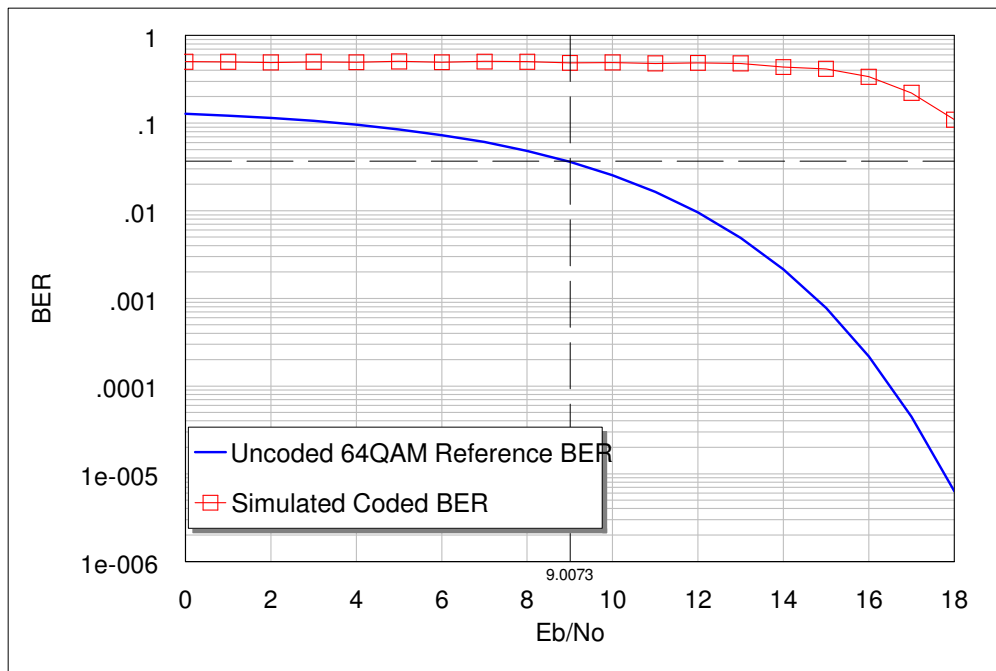


Σχήμα 19 : Για Loss = 8 db





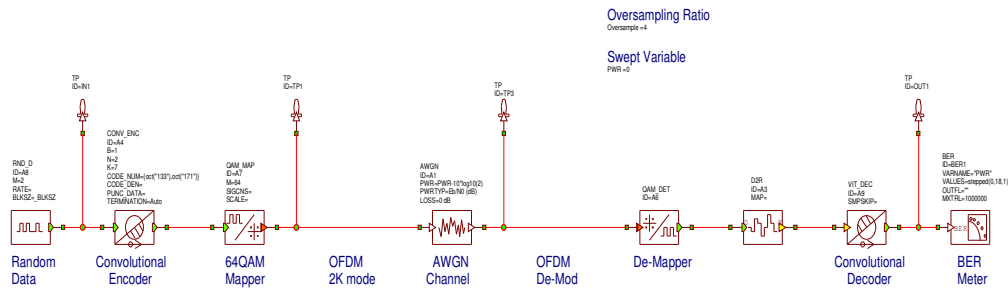
Σχήμα 20 : Για Loss = 9 db



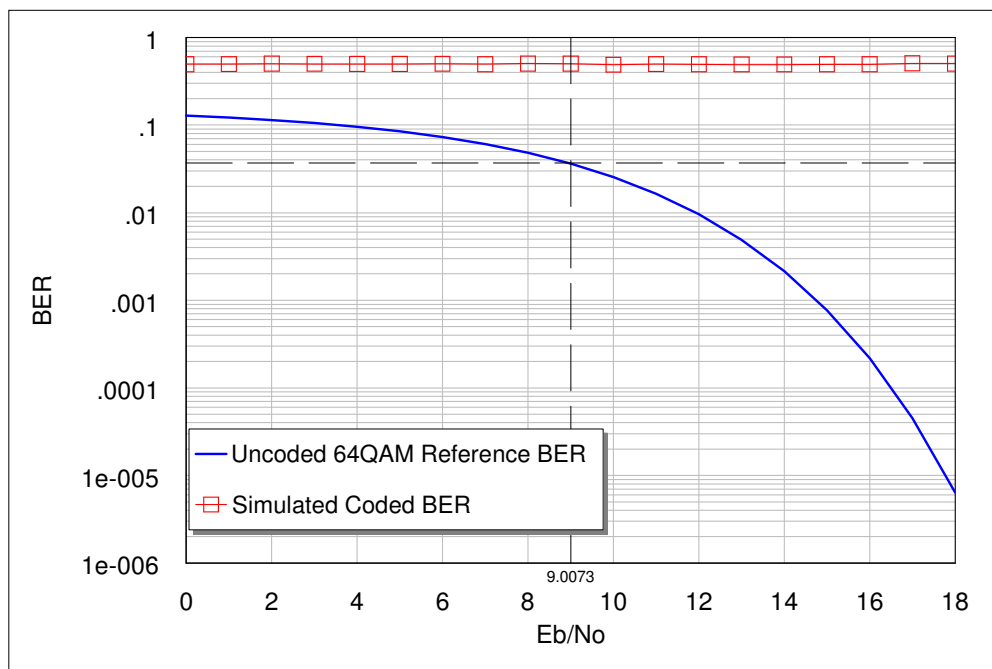
Σχήμα 21 : Για Loss = 10 db

## 5.4 Πειραματική διάταξη χωρίς τη χρήση OFDM

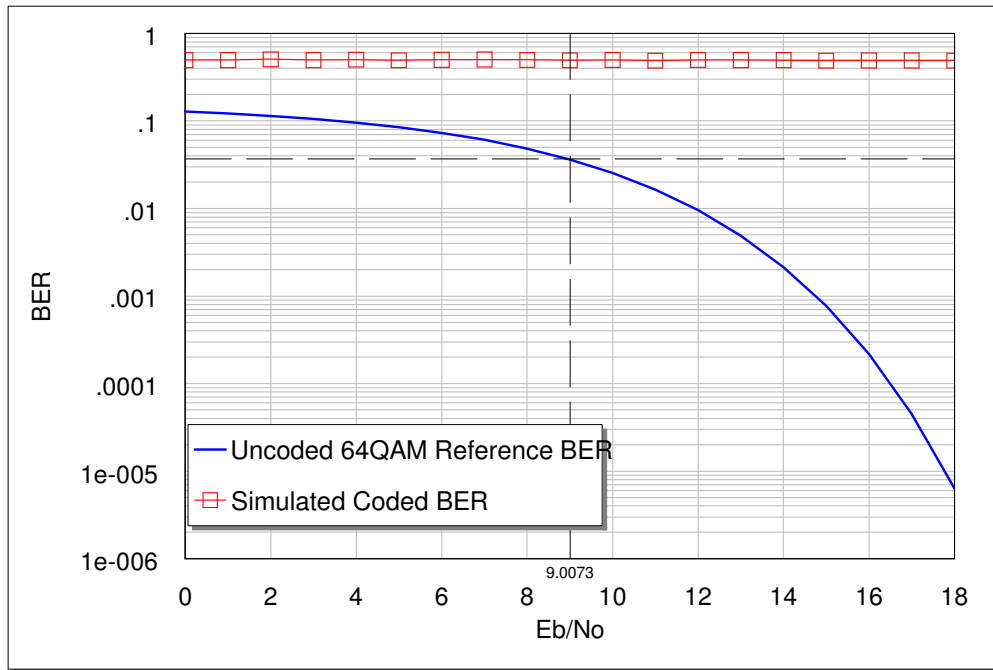
Επαναλαμβάνουμε το πείραμα χωρίς την χρήση του OFDM διαμορφωτή , εξετάζοντας τη επίδραση του λευκού θορύβου στην QAM διαμόρφωση. Η διάταξη που θα χρησιμοποιήσουμε φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



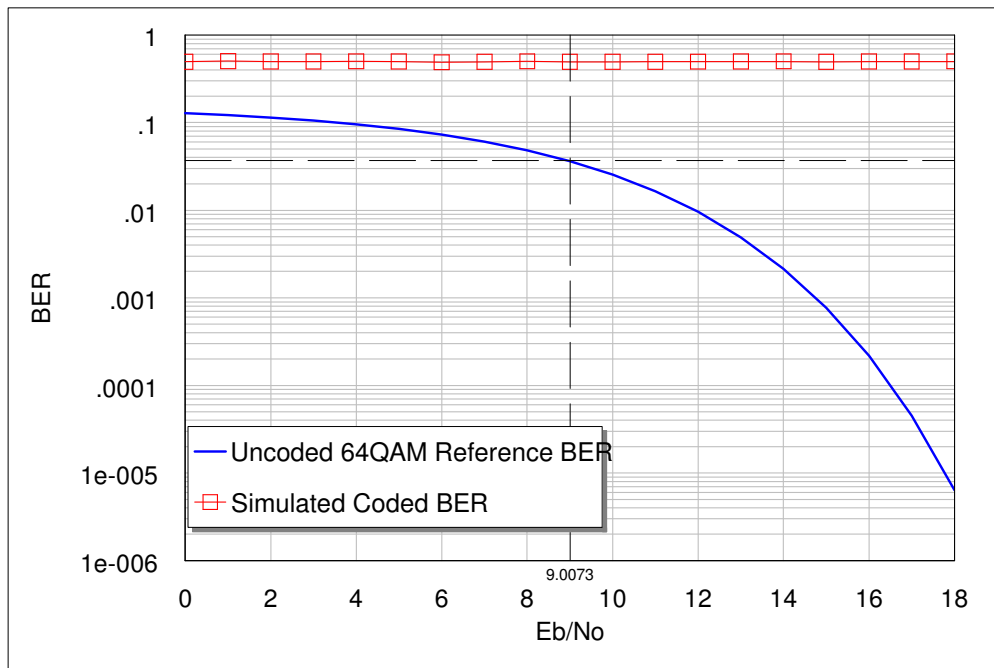
## 5.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης χωρίς την χρήση OFDM για επίπεδα θορύβου από -10 εως 10 db.



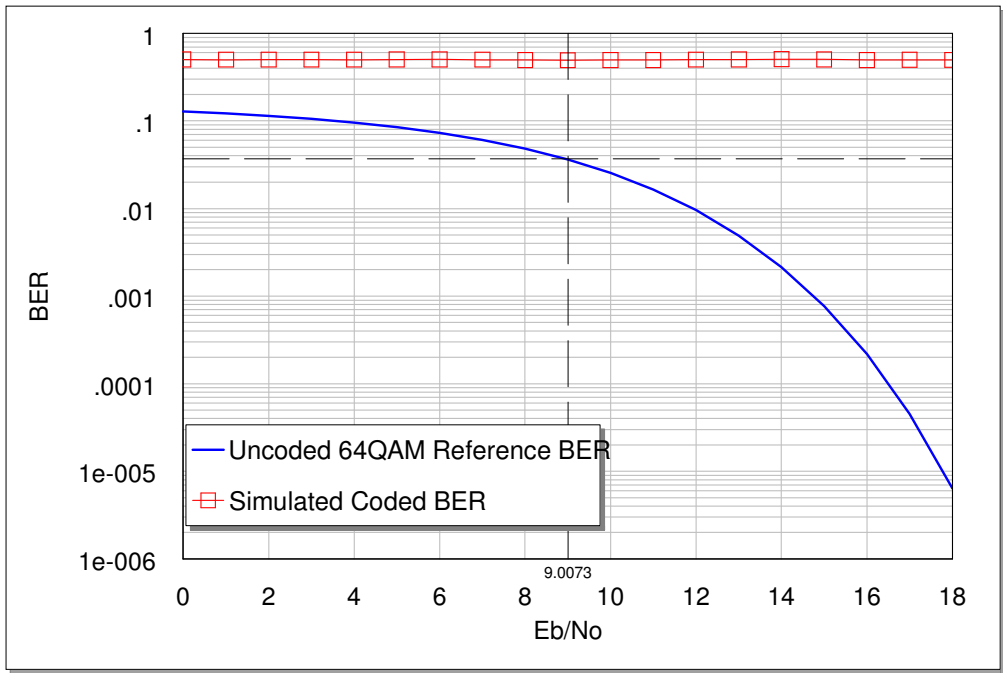
Σχήμα 22 : Για Loss = -10 db



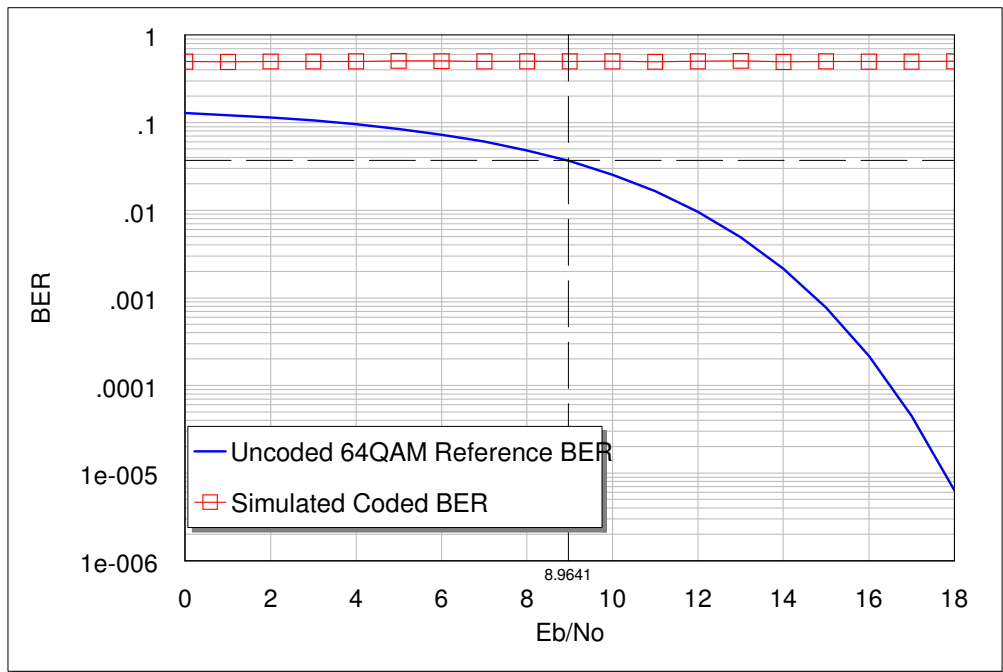
Σχήμα 23 : Για Loss =-9 db



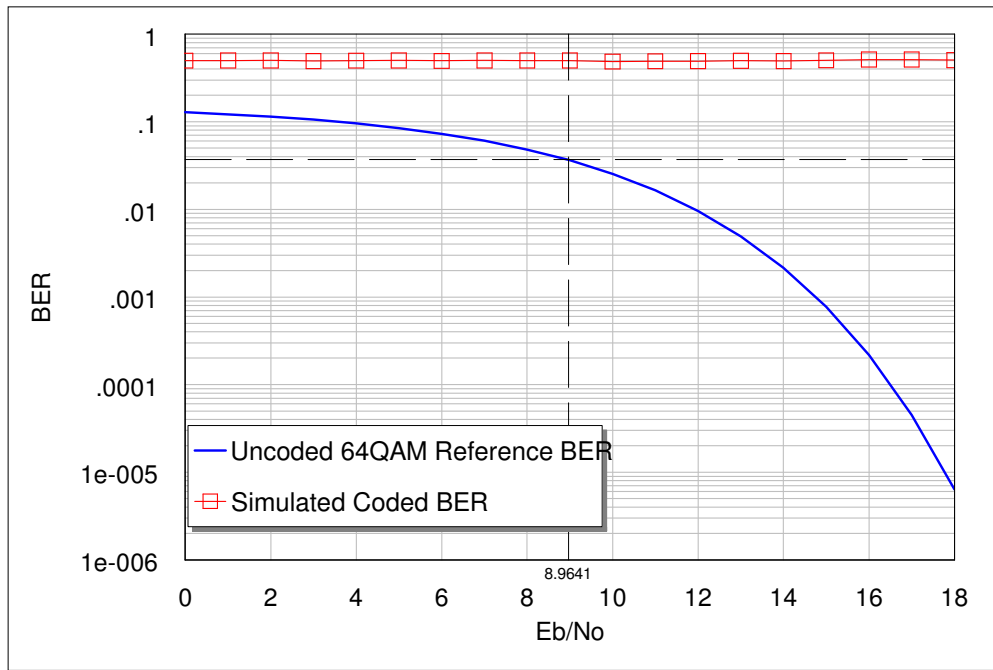
Σχήμα 24 : Για Loss =-8 db



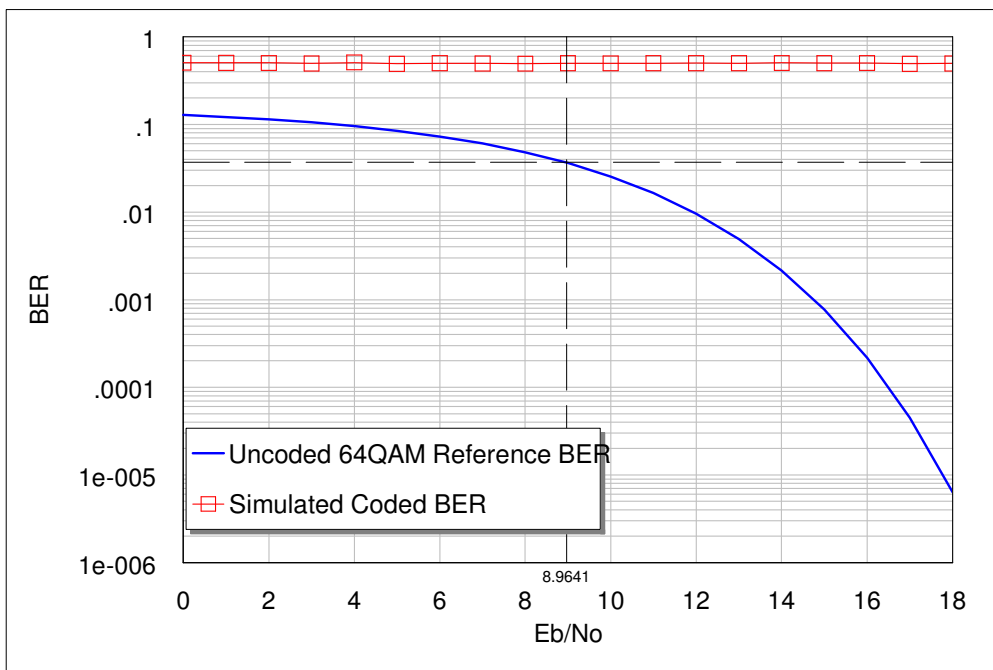
Σχήμα 25 : Για Loss = -7 db



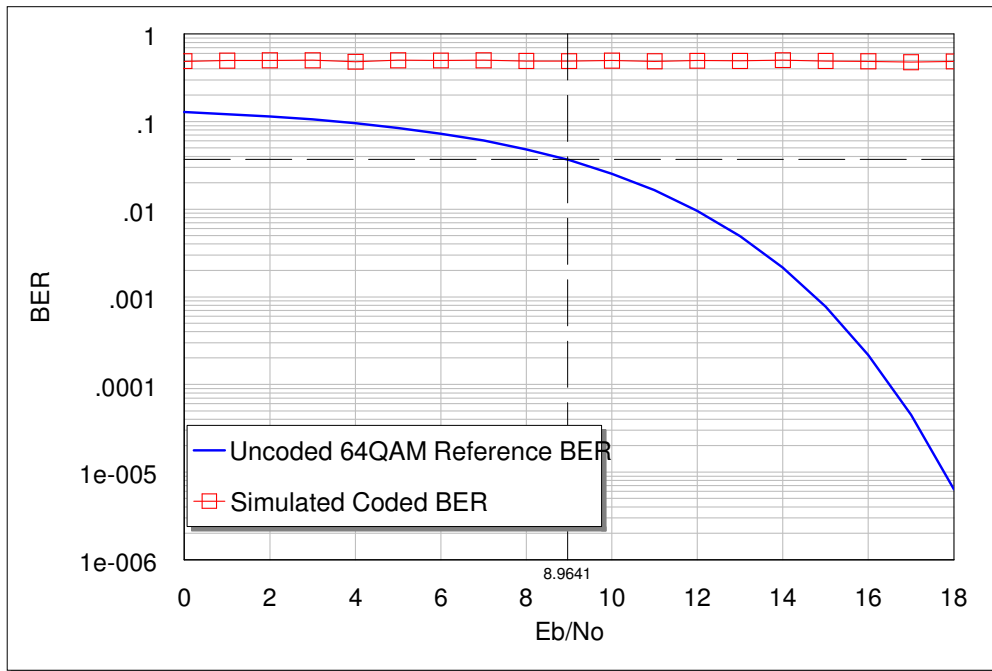
Σχήμα 26 : Για Loss = -6 db



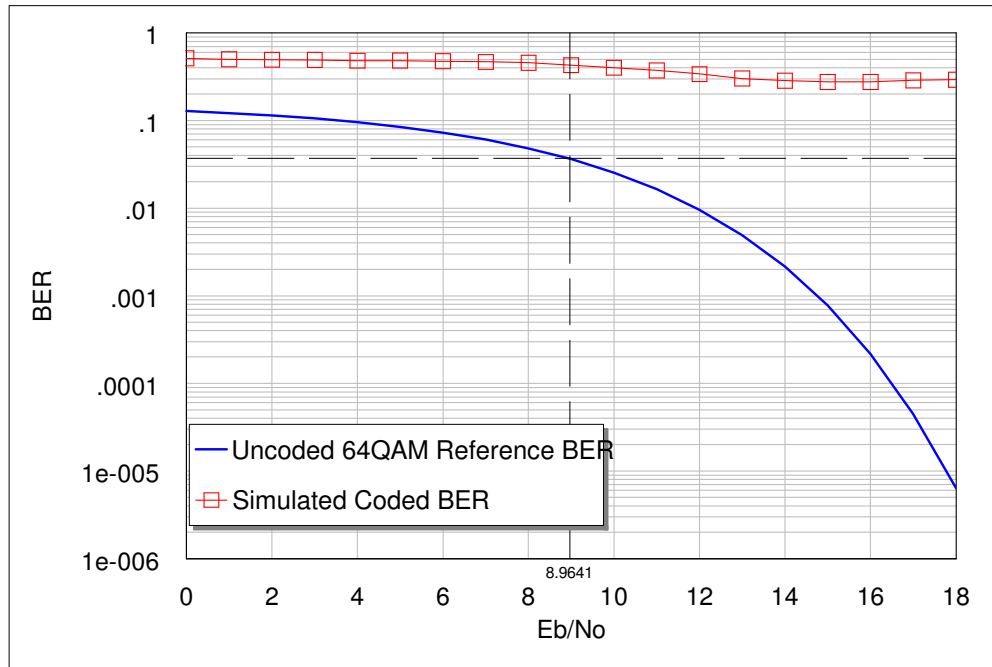
Σχήμα 27 : Για Loss =-5 db



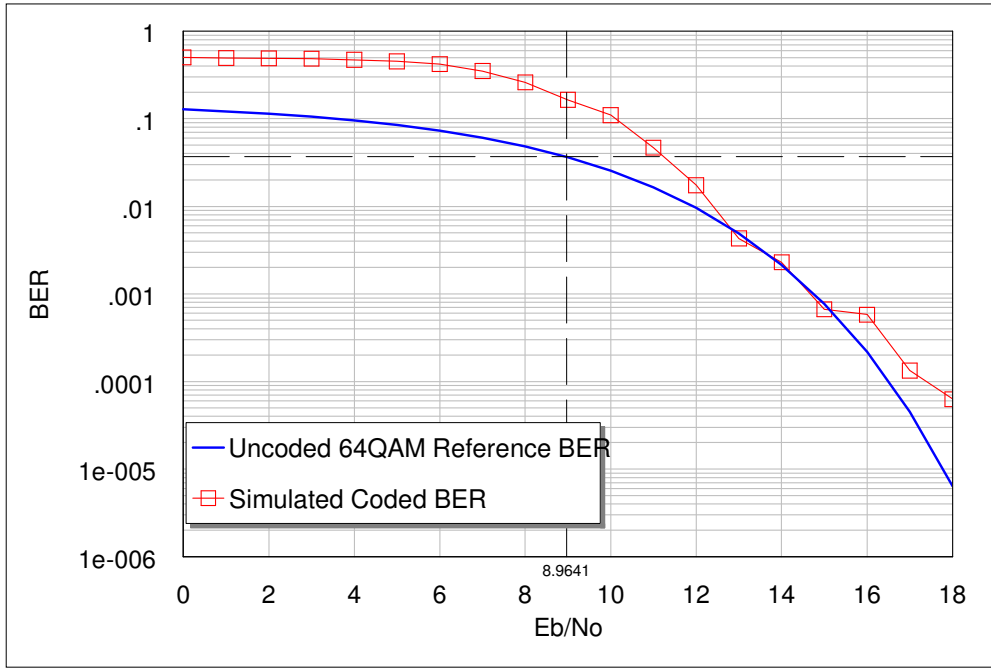
Σχήμα 28 : Για Loss =-4 db



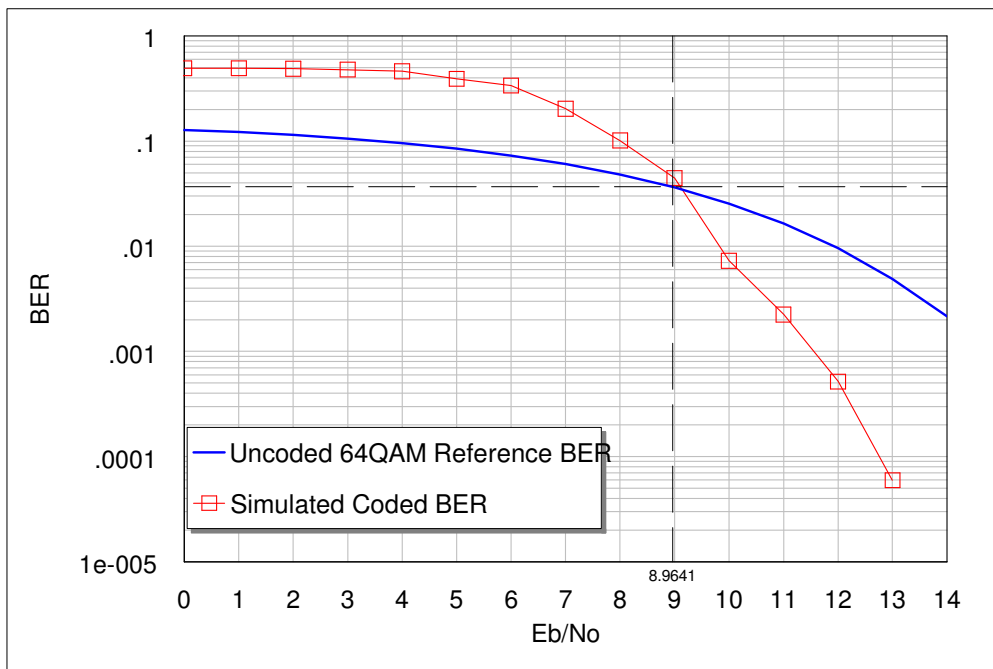
Σχήμα 29 : Για Loss = -3 db



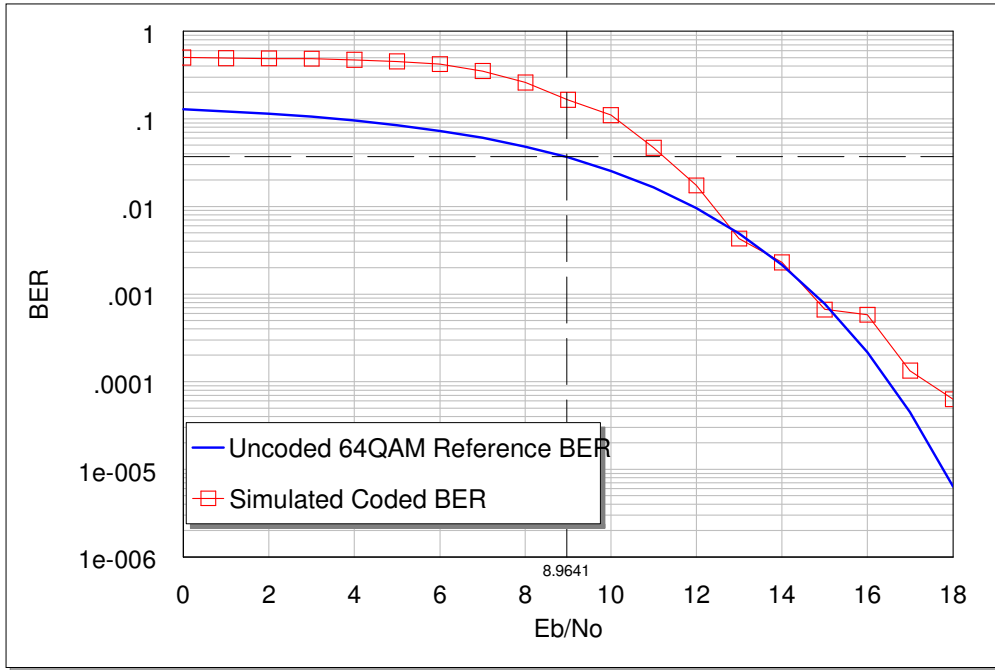
Σχήμα 30 : Για Loss = -2 db



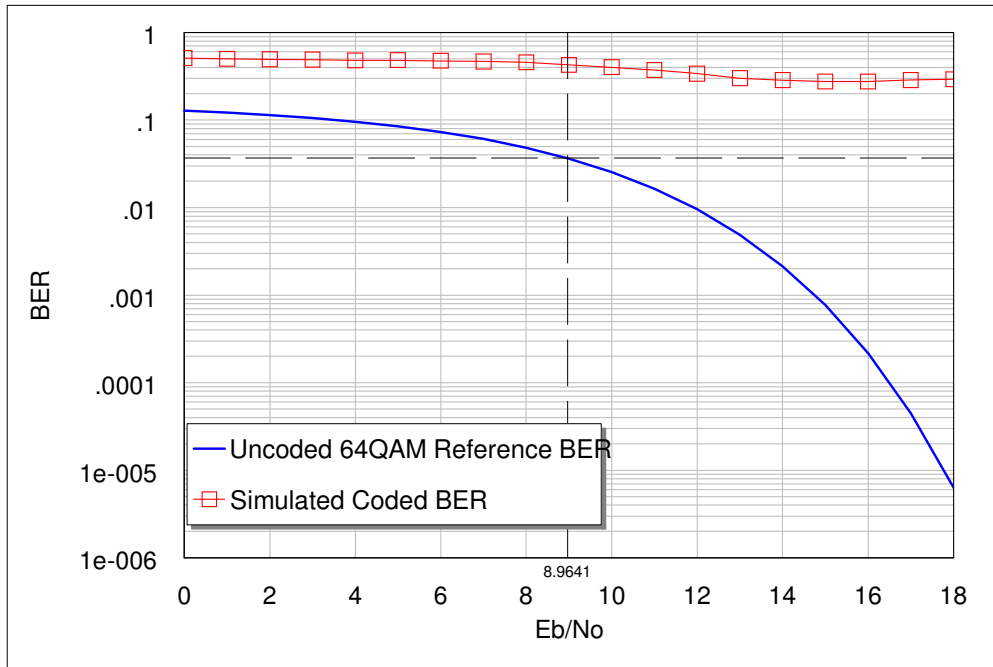
Σχήμα 31 : Για Loss =-1 db



Σχήμα 32 : Για Loss =0 db

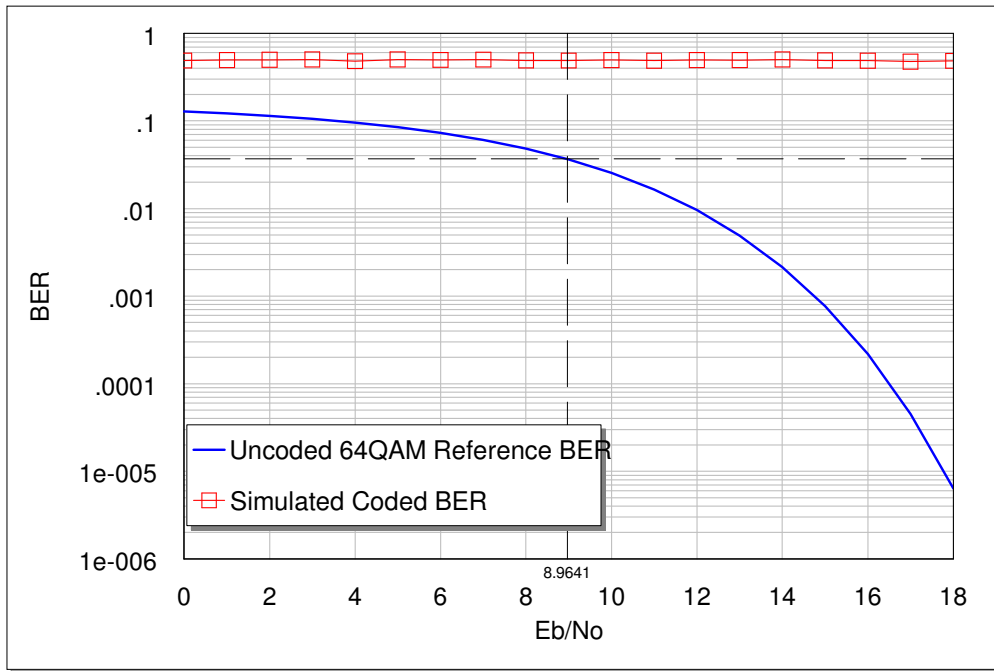


Σχήμα 33 : Για Loss =1 db

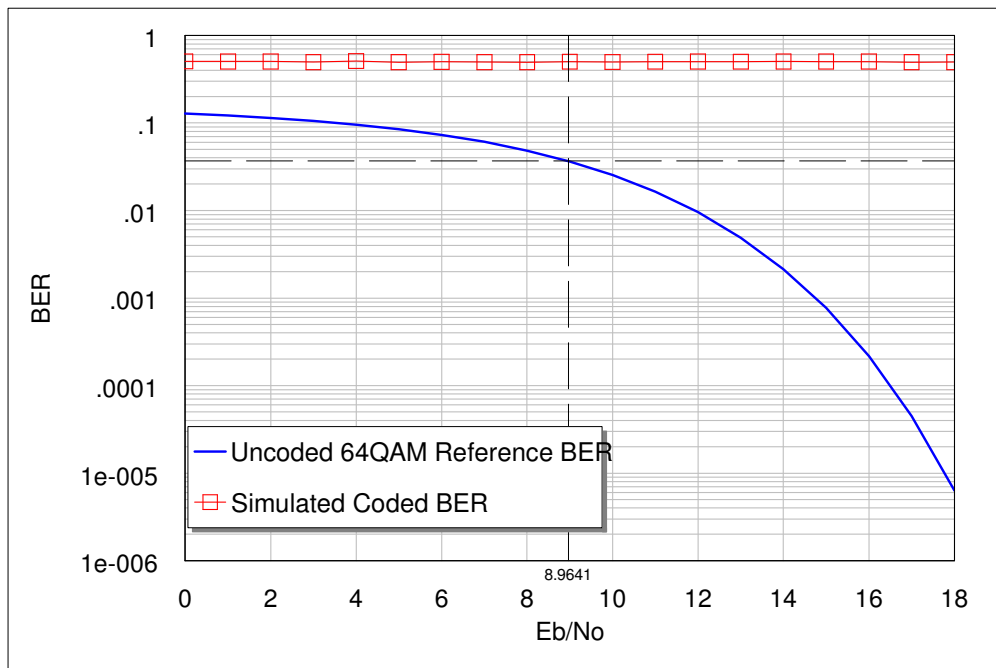


Σχήμα 34 : Για Loss =2 db

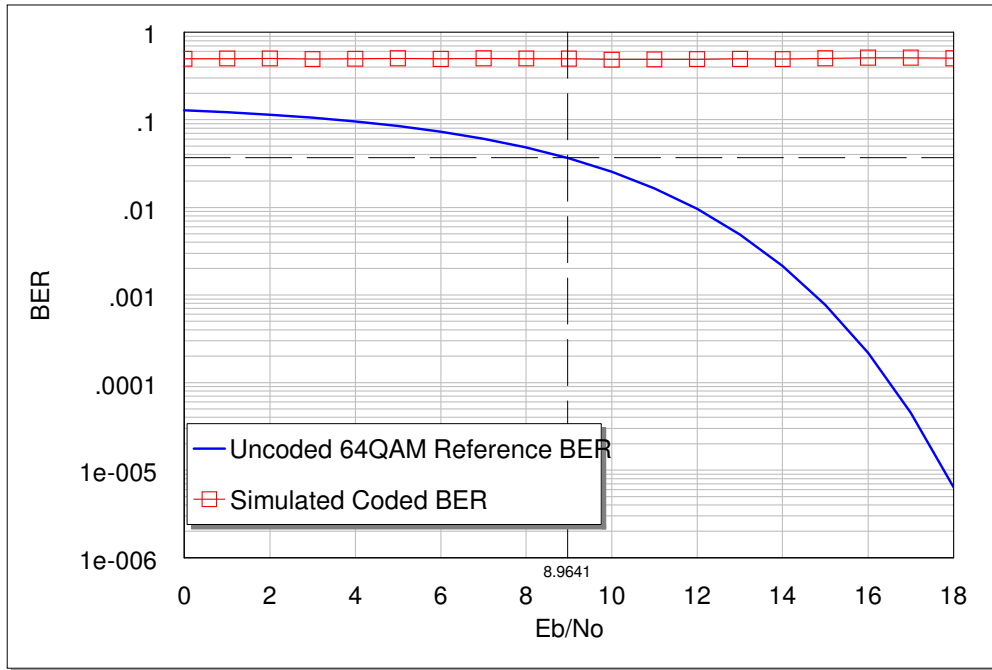




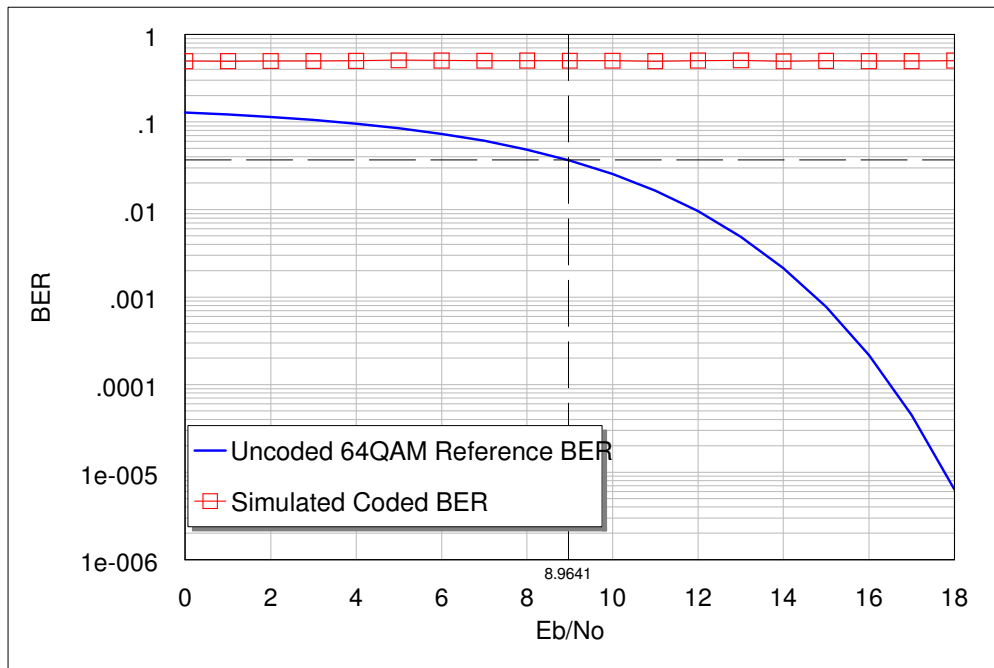
Σχήμα 35 : Για Loss =3 db



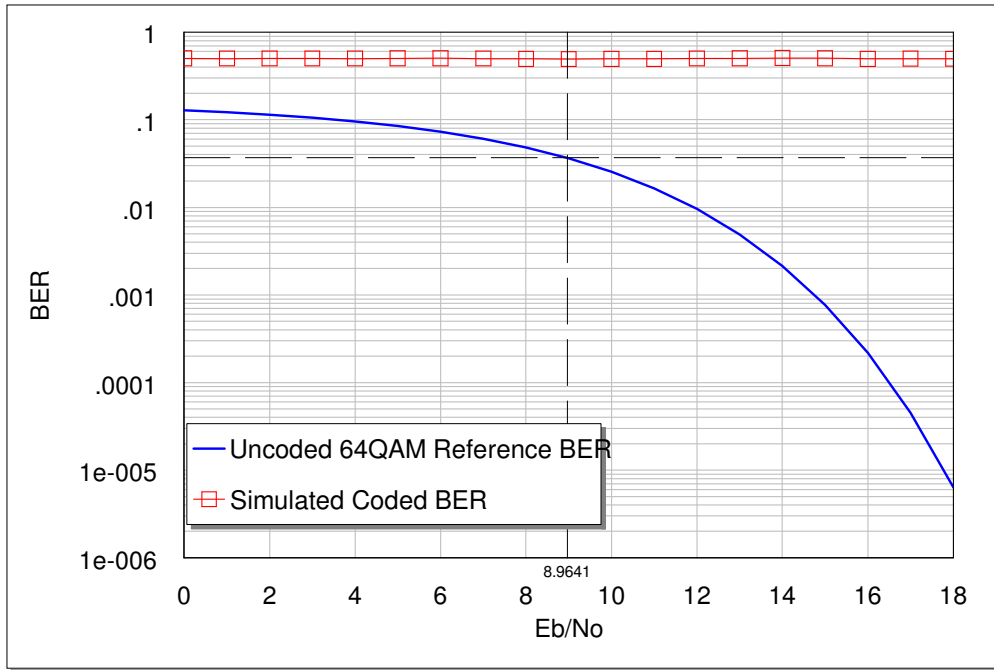
Σχήμα 36 : Για Loss =4 db



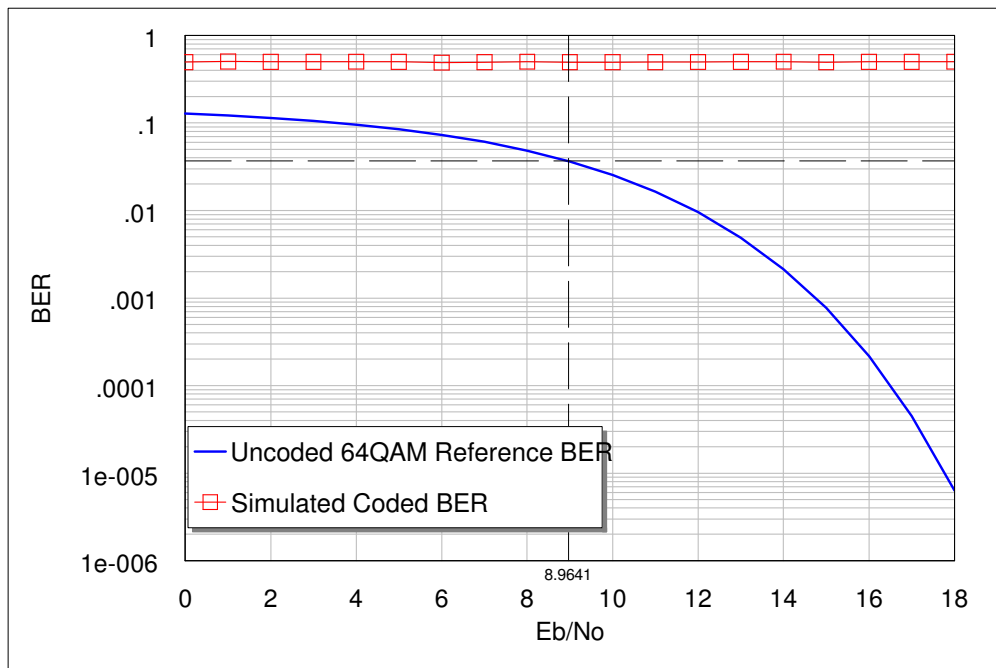
Σχήμα 37 : Για Loss =5 db



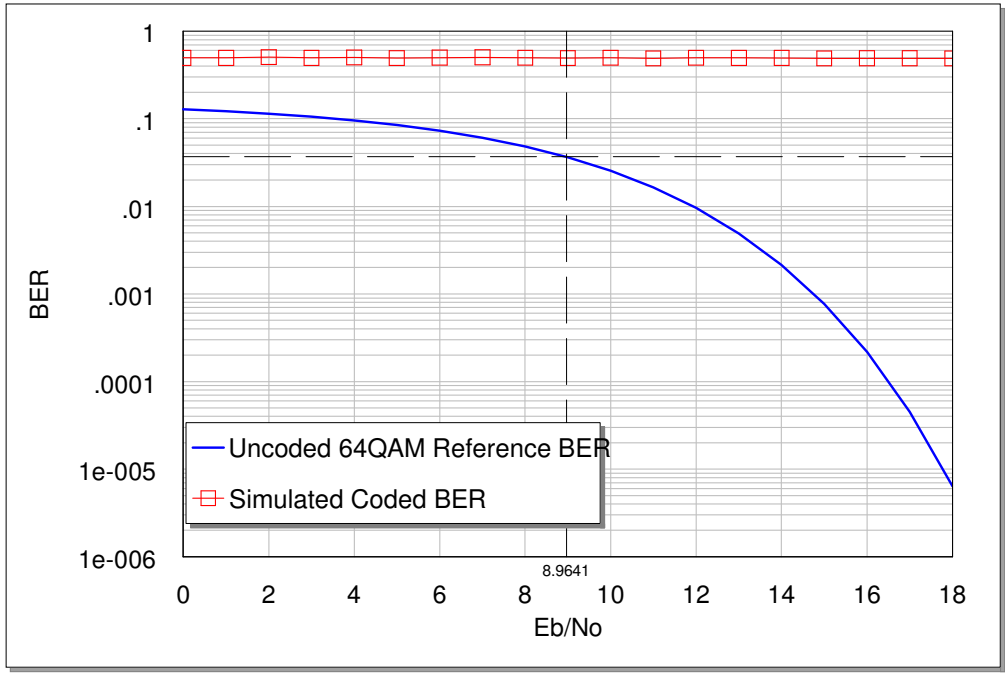
Σχήμα 38 : Για Loss =6 db



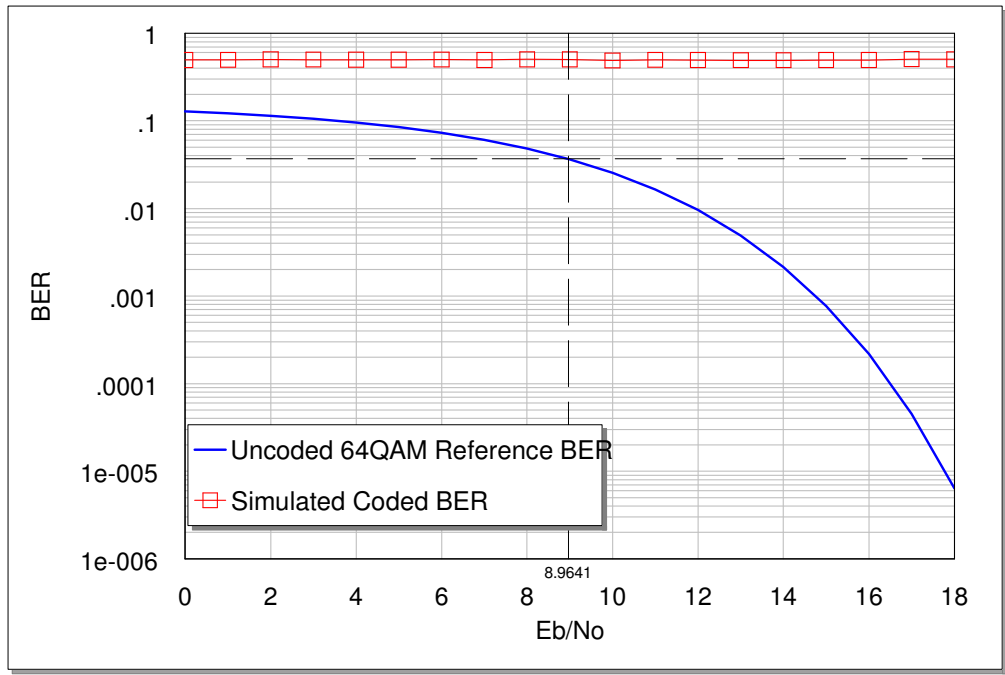
Σχήμα 39 : Για Loss =7 db



Σχήμα 40 : Για Loss =8 db



Σχήμα 41 : Για Loss =9 db



Σχήμα 42 : Για Loss =10 db

## 5.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Μελετώντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το εύρος επιπέδου απώλειας από -10 έως 10 db, λόγω λευκού προσθετικού θορύβου (AWGN) παρατηρούμε τα εξής. Για επίπεδα θορύβου από -10 έως -5 db και από 4 έως 10 db , το κωδικοποιημένο σήμα προσομοίωσης παρουσιάζει απόκλιση από το μη κωδικοποιημένο σήμα αναφοράς. Στα όρια αυτά το κωδικοποιημένο σήμα έχει υψηλό BER (Bit Error Rate) το οποίο για να βελτιωθεί απαιτεί μεγαλύτερο επίπεδο ισχύος. Στο υπόλοιπο εύρος επιπέδου θορύβου, το σήμα προσομοίωσης παρουσιάζει βελτιωμένες επιδόσεις BER σε σχέση με το μη κωδικοποιημένο σήμα. Όσον αφορά την προσομοίωση χωρίς την χρήση διαμόρφωσης OFDM , παρατηρούμε ότι η επίδραση του θορύβου είναι πολύ έντονη στην απόδοση του BER για όλα τα επίπεδα θορύβου. Η παρατήρηση αυτή μας εξηγεί την χρησιμότητα της OFDM καθώς τα αποτελέσματα της χρήσης της είναι πολύ αποδοτικότερα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bingham, J.A.C., *Multicarrier Modulation for Data Transmission: An idea whose time has come*, IEEE Communications Magazine, Vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [2] J.M. Cioffi, *A Multicarrier Primer*, in ANSI T1E1.4 Committee Contribution, No. 91-157, Boca Raton, FL, Nov. 1991.
- [3] Weinstein, S.B., Ebert, P.M., *Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform*, IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, no. 5, pp. 628-634, October 1971.
- [4] J. Stott, *The Effects of Phase Noise in COFDM*, EBU Technical Review, Summer 1998
- [5] P. Shelswell *The COFDM Modulation System, The Heart of Digital Audio Broadcasting*, BBC Research and Development Report, BBC RD 1996/8
- [6] Τεχνικές Ψηφιακής Διαμόρφωσης , Διαφάνειες Σεμιναρίου , 2012
- [7] Andy Bateman , Ψηφιακές Επικοινωνίες , Εκδόσεις Τζιόλα
- [8] Χρονόπουλος Σπ. , Μελέτη και κατασκευή συστήματος πολυπλεξίας ορθογωνικών ημιτονικών σημάτων , Διδακτορική Διατριβή , Ιωάννινα 2014
- [9] Λιάβας Αθ, Σημειώσεις Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα ΙΙ, Χανιά , Απρίλιος 2005
- [10] Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα ΙΙ (Θεωρία) , Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων , ΤΕΙ Μεσσολογίου
- [11] Taub Herbert 1918-,Schilling Donald L , Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, Εκδόσεις Τζιόλα 2006