

**ΤΕΙ ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**<<ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ UWB OFDM ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ>>**



**ΤΣΙΑΚΑ ΒΑΪΑ**

**ΑΜ: 0505**

**ΒΟΥΛΓΑΡΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

**ΑΜ: 0367**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΛΕΣΣΑΣ ΦΩΤΙΟΣ**

**Ναύπακτος, 2013**

## **Ευχαριστίες**

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Φ. Πλέσσα για τις πολύτιμες συμβουλές και χρήσιμες διορθώσεις του. Χωρίς την ουσιαστική βοήθεια του θα ήταν αδύνατη η περάτωση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ (UWB).....	10
3.1 Τι είναι η UWB; .....	10
3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ UWB .....	14
3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ UWB .....	22
3.4 ΜΕΓΑΛΟ ΑΠΟΛΥΤΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ .....	25
3.5 ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ.....	30
3.6 ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ .....	31
3.7 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΣΩ UWB .....	34
4.1 UWB ΚΕΡΑΙΕΣ .....	34
4.2 ΚΙΝΗΤΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ UWB ΚΕΡΑΙΩΝ .....	35
4.3 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	36
4.3.1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΔΕΚΤΗΣ.....	37
4.3.1.1 PPM.....	38
4.3.1.2 BPM.....	39
4.3.1.3 PAM, ΟΟΚ.....	40
4.3.1.4 OPM/PSM .....	41
4.3.1.5 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	41
4.3.2 ΠΟΜΠΟΣ UWB .....	41
4.4 ΣΧΗΜΑΤΑ MULTIBAND ΚΑΙ SINGL-BAND .....	43
4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	47
5.1 ADVANCED DESIGN SYSTEM .....	47
5.2 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ADS .....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΔΙΑΦΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	53
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	53
6.1.1 ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΜΠΑΝΤΑΣ .....	54
6.1.2 TRANSMIT PSD MASK.....	55
6.1.3 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΕΚΤΗ.....	56
6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	57
6.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΟΜΠΟΥ .....	57

6.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	73
7.1ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ UWB_OFDM_TxSpectrum. ....	73
7.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ UWB_OFDM_RxSensitivity.dsn.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ .....	82
8.1 ΠΟΜΠΟΣ.....	82
8.2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ.....	86
8.2.1 ΠΟΜΠΟΣ.....	86
8.3 ΔΕΚΤΗΣ .....	95
8.3.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ .....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή ξεκινάμε κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στο παρελθόν για το πώς φτάσαμε στην δημιουργία της ασύρματης επικοινωνίας, αναφέροντας τα σημαντικότερα σημεία – σταθμούς στην πορεία της εξέλιξης της ασύρματης επικοινωνίας. Στην συνέχεια δίνουμε τους απαραίτητους σχετικούς ορισμούς έτσι ώστε ο χρήστης να καταλάβει τι είναι το UWB (Ultra Wide Band - Τεχνολογία Υπερευρείας Ζώνης). Ακολουθεί μια εκτενής ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της τεχνολογίας UWB σε σχέση με τις άλλες ήδη υπάρχουσες «ανταγωνιστικές» ασύρματες τεχνολογίες έτσι ώστε ο αναγνώστης να είναι σε θέση να συγκρίνει τα οφέλη με τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας σε σχέση με τις υπόλοιπες ήδη υπάρχουσες. Επίσης αναφέρουμε και κάποιες εφαρμογές των UWB στην ασύρματη επικοινωνία.

Τέλος έχουμε την περιγραφή του πειραματικού μέρους. Σκοπός του πειραματικού κομματιού είναι η ανάλυση του κυκλώματος του πομποδέκτη UWB (Ultra Wide Band) όπου θα δούμε τις προσομοιώσεις και τα χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης ενώ μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους του συστήματος συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

## ABSTRACT

Our analysis begins by making a historical flashback on how we arrived at the creation of wireless communication, citing the major points – in the course of evolution stations of wireless communication. Then do the necessary relevant definitions so that the user can understand what is UWB (Ultra Wide Band, ultra-wideband Technology). Following an extensive analysis of the advantages and disadvantages of UWB technology in relation to other existing "competitive" wireless technologies so that the reader is able to compare the benefits with the disadvantages of this technology compared with other already existing. As well mention some UWB applications in wireless communication.

Finally we present the experimental part. The purpose of this part is to analyze the UWB (Ultra Wide Band) transceiver circuit, where we'll perform simulations and evaluate the obtained results.

**Key words:** Πομπός, δέκτης, κεραία, ισχύς φάσματος, Ultra Wide Band, ασύρματη επικοινωνία.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Από τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του στη γη ο άνθρωπος αναζήτησε πολλές διαφορετικές μεθόδους επικοινωνίας με τους ανθρώπους γύρω του αλλά και γενικότερα με το περιβάλλον στο οποίο ζούσε. Έκανε πολλά βήματα προόδου, ξεκινώντας από τις κραυγές και στην συνέχεια μεταβαίνοντας στην νοηματική γλώσσα και έφτασε σήμερα μέχρι τις δορυφορικές επικοινωνίες, που του δίνουν δυνατότητα για επικοινωνία με ανθρώπους σε ολόκληρο τον πλανήτη. Ο άνθρωπος όμως από την φύση του, ποτέ δεν είναι ικανοποιημένος και αυτή η «δίψα» του για το κάτι παραπάνω, τον οδήγησε σε πολλές χρήσιμες ανακαλύψεις, που βελτίωσαν τη ζωή του σε πολλούς τομείς.

Ένας απ' αυτούς τους τομείς είναι και η δημιουργία ασύρματων επικοινωνιών. Με τον όρο ασύρματες επικοινωνίες, εννοούμε την δυνατότητα επικοινωνίας χωρίς την ύπαρξη καλωδίων μεταξύ των ατόμων τα οποία προσπαθούν να επικοινωνήσουν. Έτσι, οι ασύρματες επικοινωνίες δίνουν στον άνθρωπο μια σημαντική ελευθερία αφού τον απαλλάσσουν από τον «μπελά» των καλωδίων με ότι αυτό συνεπάγεται (βλάβες, αγορά/επιδιόρθωση καλωδίων, εντοπισμός προβλημάτων κλπ). Παλιότερα η χρήση καλωδιακών ζεύξεων και κάθε είδους επικοινωνία μέσω ενσύρματων καναλιών περιόριζαν τις δυνατότητες του ανθρώπου, μέχρι τα σημεία εκείνα τα οποία μπορούν να φτάσουν τα καλώδια. Έτσι ενώ πριν από μερικές δεκαετίες πασχίζαμε για μερικά Kbps σήμερα η ταχύτητα των επικοινωνιών μετράται με δεκάδες Mbps.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε την συμπεριφορά ενός πομποδέκτη Ultra Wide Band ασύρματων δικτύων.

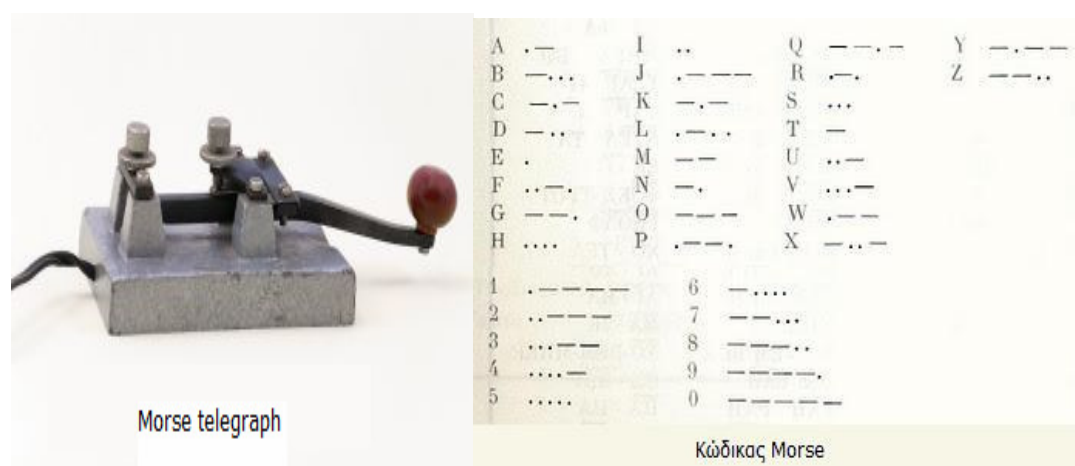
Ultra Wide δικτύωση είναι μια ασύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για υψηλής ταχύτητας μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε μικρή απόσταση. Εξαιρετικά ευρεία δικτύωση συνήθως αναφέρεται ως: Ultra Wide Band (UWB) δικτύωσης. Η UWB χρησιμοποιεί πολλαπλές συχνότητες (ζώνες) για τη μεταφορά δεδομένων. Δεδομένου ότι αυτή η χρήση θα μπορούσε να παρέμβει σε άλλες μεταδόσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα, η ισχύς του σήματος πρέπει να είναι χαμηλή, και ως εκ τούτου, σε ευρύ φάσμα. Περισσότερη ανάλυση για το UWB θα κάνουμε παρακάτω.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

---

Όταν ο Heinrich Rudolf Hertz ανακάλυψε το 1886 την διπολική κεραία και επιβεβαίωσε την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δήλωσε ότι «Δεν νομίζω ότι τα ασύρματα κύματα τα οποία ανακάλυψα θα έχουν καμία πρακτική εφαρμογή. Αφού δεν μπορείς καν να τα δεις» μάλλον έπεσε έξω. Ο Nikola Tesla πήγε ένα βήμα παρακάτω, όταν κατασκεύασε τις πρώτες πρακτικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος και δημιούργησε το 1893, το πρώτο ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας τα περίφημα σήματα Morse, για τα οποία έλαβε και το αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σε συνδυασμό με την δημιουργία μιας τηλεκατευθυνόμενης βάρκας το 1898.



Σχήμα 2.1:Σήματα Morse

Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών έγινε από τον Alexander Stepanovich Popov, το 1894 όταν δημιούργησε ένα δέκτη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και πέτυχε την μετάδοση ραδιοκυμάτων.

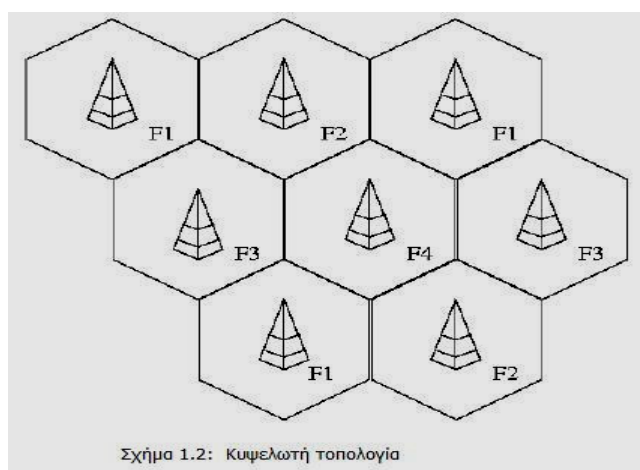
- Μεταξύ κοντινών κτιρίων το 1896,
- Μεταξύ 6 μιλίων το 1898,
- Μεταξύ 30 μιλίων το 1899.

Ο Gulielmo Marconi ήταν αυτός ο οποίος έστειλε το πρώτο υπερατλαντικό σήμα το 1901, ενώ την ίδια χρονιά ο Reginald Fessenden πέτυχε την πρώτη μετάδοση ήχου (της δικής του φωνής). Ο ίδιος άνθρωπος πέτυχε και την πρώτη αμφίδρομη υπερατλαντική ασύρματη επικοινωνία το 1906 καθώς επίσης την ίδια χρονιά και την εκπομπή της πρώτης ραδιοφωνικής εκπομπής με μουσικό περιεχόμενο.

Οι ραγδαίες εξελίξεις δεν σταμάτησαν όμως εδώ: Την 40ετία 1900-1940, έχουμε την ευρεία χρήση του τηλεγράφου κατά την διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου, την πλοήγηση αεροσκαφών με την βοήθεια ράδιο-βοηθημάτων και την ευρεία χρήση ασυρμάτων από την αμερικανική αστυνομία (μετά το 1930).

Μετά από αυτή την 40ετία έχουμε την δημιουργία από «γενιές» ασύρματης επικοινωνίας με κοινά χαρακτηριστικά ξεκινώντας από την ασύρματη επικοινωνία 1ης γενιάς, η οποία γεννήθηκε στην Αμερική και είχε σαν βασικό της συστατικό την ύπαρξη μιας πολύ μεγάλης κεραίας σε κάθε μεγάλη αμερικανική πόλη. Το βασικό πρόβλημα το οποίο δημιουργήθηκε και το οποίο οδήγησε ουσιαστικά στην αναζήτηση άλλων και περισσότερων λύσεων ήταν ότι υπήρχε περιορισμένος αριθμός καναλιών επικοινωνίας και σύντομα τα συστήματα, λόγω και της μεγάλης ζήτησης, κορέστηκαν.

Φτάνοντας στην 20ετία από το 1980 – 2000 είχαμε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία της κυψελωτής τοπολογίας η οποία είχε σαν σκοπό της μια κεραία να εξυπηρετεί κάποιες συγκεκριμένες συσκευές (κινητά, υπολογιστές) οι οποίες βρίσκονται μέσα στο εύρος της εμβέλειάς της, οι χρήστες να επικοινωνούν αποκλειστικά με τους σταθμούς βάσης και τα κινητά τηλέφωνα να έχουν περιορισμένες δυνατότητες και αρμοδιότητες.



**Σχήμα 2.2:Κυψελωτή τοπολογία**

Η ασύρματη επικοινωνία 2<sup>ης</sup> γενιάς είχε σαν βάση της την ψηφιακή μετάδοση (σε αντίθεση με την αναλογική η οποία επικρατούσε μέχρι τώρα), τον υψηλό ρυθμό

μετάδοσης (>1Mbps σε αποστάσεις <100 m) και την δημιουργία κάποιων standards τα οποία θα έπρεπε να «υπακούουν» τα ασύρματα δίκτυα όπως το GSM, IS-95, IS-136, PDC. Με τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς είχαμε σαν αποτέλεσμα αύξησης του ρυθμού μετάδοσης φωνής (σε σχέση με τα κυψελοειδή δίκτυα) κατά περίπου 300%.

Το πέρασμα στην 2.5 γενιά έγινε με την δημιουργία των GPRS καθώς επίσης και του EDGE τα οποία βέβαια είναι αυτά στα οποία βρισκόμαστε σήμερα.

Όσον αφορά το μέλλον αρκετά πράγματα έχουν γραφτεί για τις δυνατότητες οι οποίες υπάρχουν και ακόμα μένουν ανεκμετάλλευτες μεταξύ των οποίων η επικοινωνία των χρηστών απευθείας μεταξύ τους και όχι με τον σταθμό βάσης, καθώς επίσης και την επικοινωνία χρηστών μέσω δορυφόρου με την χρήση αισθητήρων.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ (UWB)

---

Καθώς η ζήτηση για μεγαλύτερη χωρητικότητα, ταχύτερη εξυπηρέτηση και ασφαλέστερες ασύρματες συνδέσεις αυξάνεται, νέες βελτιωμένες τεχνολογίες πρέπει να πάρουν τη θέση τους στο υπερπλήρες και “ανεπαρκές” φάσμα ραδιοσυχνοτήτων και αυτό, επειδή κάθε ράδιο-τεχνολογία καταλαμβάνει ένα συγκεκριμένο τμήμα του φάσματος, π.χ. τα τηλεοπτικά, τα ραδιοφωνικά ή τα σήματα κινητής τηλεφωνίας εκπέμπονται σε διαφορετικές συχνότητες, για να αποφευχθεί μεταξύ τους παρεμβολή. Επομένως, οι περιορισμοί στη διαθεσιμότητα του ραδιοφάσματος γίνονται όλο και πιο αυστηροί με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών.

Η τεχνολογία υπερευρείας ζώνης (Ultra Wideband (UWB) Technology) προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη λύση στο πρόβλημα του “ανεπαρκούς” ραδιοφάσματος επιτρέποντας σε νέες υπηρεσίες να “συμβιώνουν” με τα ήδη υπάρχοντα ραδιοσυστήματα με ελάχιστη ή καθόλου μεταξύ τους παρεμβολή.

### **3.1 Τι είναι η UWB:**

Το κλασματικό εύρος ζώνης είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των σημάτων ως στενής ζώνης, ευρείας ζώνης ή υπερευρείας ζώνης, και ορίζεται από το λόγο του εύρους ζώνης στο σημείο των 10dB προς την κεντρική συχνότητα (στο σημείο των 10dB) [1] του φάσματος ενός UWB παλμού.

Παρακάτω παρουσιάζεται η ταξινόμηση των σημάτων με βάση το κλασματικό εύρος ζώνης τους:

- Στενής ζώνης (Narrowband)  $B_f < 1\%$
- Ευρείας ζώνης (Wideband)  $1\% < B_f < 20\%$
- Υπερευρείας ζώνης (Ultra-wideband)  $B_f > 20\%$

Η UWB είναι μία ασύρματη ράδιο-τεχνολογία που δημιουργήθηκε αρχικά με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά αργότερα αποφασίστηκε ότι θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμη για τη μετάδοση δεδομένων ανάμεσα σε καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές, σε περιφερειακούς προσωπικούς υπολογιστές

και φορητές συσκευές σε μικρή εμβέλεια και σε πολύ υψηλές ταχύτητες, καταναλώνοντας παράλληλα, μικρή ενέργεια. Είναι ιδανική για την ασύρματη διακίνηση περιεχομένου πολυμέσων υψηλής ποιότητας[2].

Χρησιμοποιεί πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (της τάξης GHz) για να μεταδώσει τα δεδομένα[3][4]. Αυτό είναι η βασική αρχή του UWB και πάνω σε αυτή την αρχή έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για να μπορέσει αυτό να γίνει αποδοτικό.

Το πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συνεπάγεται και πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Ιστορικά, σαν UWB χαρακτηρίζεται το σύστημα που χρησιμοποιεί μετάδοση εξαιρετικά σύντομων παλμών απευθείας στο ασύρματο κανάλι. Έχουμε δηλαδή μετάδοση βασικής ζώνης. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε στις αρχές του αιώνα λόγω της απλότητάς της για μετάδοση σημάτων Morse από το Marconi (όπως αναφέραμε και στην ιστορική αναδρομή). Επίσης το μεγάλο εύρος ζώνης έχει και μια ξεχωριστή ικανότητα διάδοσης και διείσδυσης στα υλικά, γεγονός που οδήγησε στρατιωτικές δυνάμεις από τη δεκαετία του 60 μέχρι και τη δεκαετία του 90 στο να εκμεταλλεύονται την ιδιότητα αυτή και να κατασκευάσουν ειδικά ραντάρ που διαπερνούν τοίχους και τη γη.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ημιαγωγών οδήγησαν στην πρόταση για χρήση του UWB στα "consumer electronics" τηλεπικοινωνιακά συστήματα, δηλαδή για καταναλωτικούς καθαρά σκοπούς. Η τάση είναι για χρήση σε εσωτερικούς χώρους, καθώς το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί είναι νόμιμο μόνο για χαμηλή ισχύ μετάδοσης. Με αυτό τον περιορισμό, έχουν γίνει πολλές έρευνες για την καταλληλότερη χρήση του σαν τρόπο μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων και σαν μικρής ισχύος ραντάρ κοντινών αποστάσεων[5].

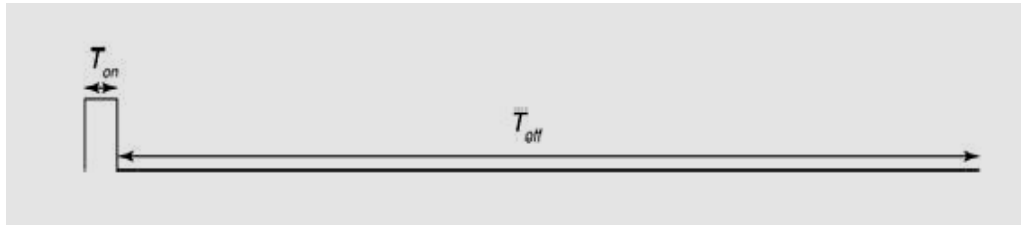
Αυτό που συμβαίνει στο UWB είναι ότι χρησιμοποιούνται παλμοί πολύ μικρής διάρκειας (της τάξης των nanosecond), οι οποίοι έχουν μεγάλο φασματικό εύρος. Λόγω των πολύ στενών παλμών που χρησιμοποιούνται ονομάζουμε αυτού του είδους την επικοινωνία Impulse radio (IR) [6].

Τα παραδοσιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα στενής ζώνης (narrowband) διαμορφώνουν συνεχούς κυματομορφής (CW, continuous-waveform) RF παλμούς με μία συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος (carrier frequency) για την εκπομπή και λήψη πληροφορίας. Ένα σήμα συνεχούς κυματομορφής έχει μια καλά ορισμένη ενέργεια σε μια στενή ζώνη συχνοτήτων, κάτι που το καθιστά εύκολα ανιχνεύσιμο και εύάλωτο σε παρεμπόδιση ή παρεμβολή.

Όπως προαναφέρθηκε, τα UWB συστήματα χρησιμοποιούν μικρής χρονικής διάρκειας (της τάξης των picoseconds-nanoseconds) παλμούς χωρίς χρήση φέροντος, με πολύ μικρό κύκλο λειτουργίας (μικρότερο από 0,5%) για εκπομπή και λήψη πληροφορίας. Ένας απλός ορισμός του *κύκλου λειτουργίας* είναι ο λόγος του χρόνου κατά τον οποίο είναι εμφανής ο παλμός προς το συνολικό χρόνο εκπομπής, όπως περιγράφουν η παρακάτω εξίσωση και το Σχήμα 3.1.

**Κύκλος Λειτουργίας = Χρόνος εμφάνισης παλμού / Συνολικός χρόνος εκπομπής**

όπου ο συνολικός χρόνος εκπομπής είναι το άθροισμα του χρόνου που είναι εμφανής ο παλμός συν το χρόνο που δεν είναι εμφανής.



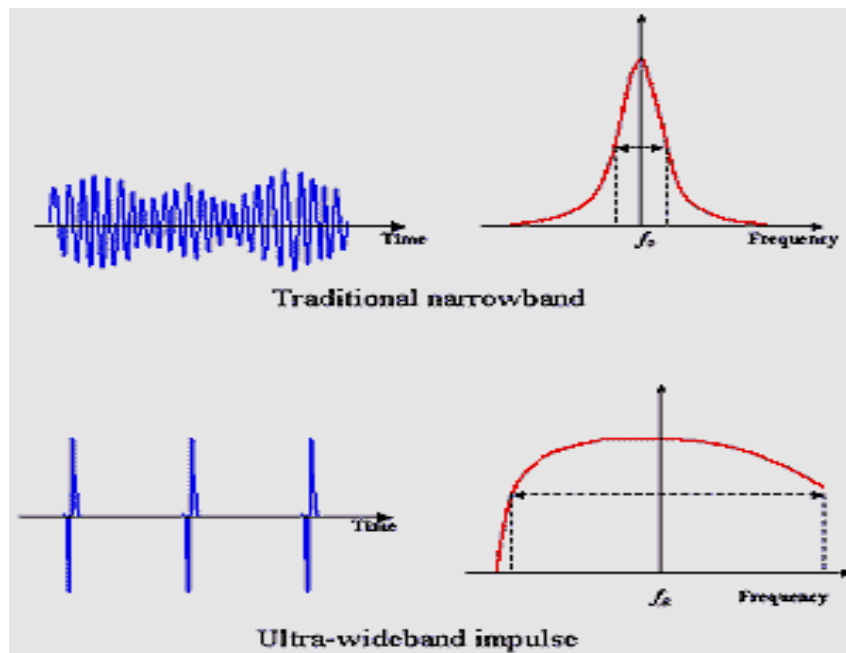
**Σχήμα 3.1: Παλμός μικρού κύκλου λειτουργίας**

Ο μικρός κύκλος λειτουργίας προσφέρει μικρή μέση ισχύ εκπομπής στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα, η οποία είναι της τάξης των  $\mu\text{W}$ , δηλαδή χίλιες φορές μικρότερη από την ισχύ εκπομπής των κινητών τηλεφώνων! Ωστόσο, η μέγιστη ή η στιγμιαία ισχύς κάποιων UWB παλμών μπορεί να είναι σχετικά μεγάλη[7], αλλά επειδή εκπέμπονται για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα ( $<1\text{ns}$ ), η μέση ισχύς θα γίνεται αισθητά χαμηλή. Κατά συνέπεια, οι UWB συσκευές απαιτούν χαμηλή εκπεμπόμενη ισχύ χάρη σ' αυτόν τον έλεγχο του κύκλου λειτουργίας, το οποίο ευθύς μεταφράζεται σε μεγαλύτερης διάρκειας ζωής μπαταρία για φορητό εξοπλισμό. Εφόσον η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου, οι μικρής διάρκειας UWB παλμοί “απλώνουν” την ενέργειά τους σε μία μεγάλη ζώνη συχνοτήτων, από σχεδόν συνεχή μέχρι μερικά GHz με πολύ μικρή πυκνότητα φασματικής ισχύος.

Στη συνηθισμένη ασύρματη τεχνολογία η αποστολή πληροφορίας πραγματοποιείται με τη διαμόρφωση ημιτονικών κυμάτων, όπου η αύξηση του εύρους ζώνης πρέπει να συνοδεύεται και με αύξηση της συχνότητας του φέροντος σήματος. Το UWB μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τεχνική απλωμένου φάσματος που χρησιμοποιεί πολύ ευρύ φάσμα ακόμη και με την απουσία διαμόρφωσης. Έτσι η ενέργεια του σήματος είναι πολύ απλωμένη και το φάσμα του UWB θυμίζει πολύ αυτό του θορύβου[6].

Τα σήματα UWB μπορούν να οριστούν ως σήματα που έχουν εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το 25% της κεντρικής τους συχνότητας, ή αλλιώς σήματα που έχουν συνολικό bandwidth μεγαλύτερο από 1,5 GHz. Οι συσκευές UWB συχνά εκπέμπουν σε συχνότητες μεταξύ 1,5 και 4 GHz[6].





**Σχήμα 3.2:** Το εύρος ζώνης ενός συστήματος UWB, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα στενής ζώνης

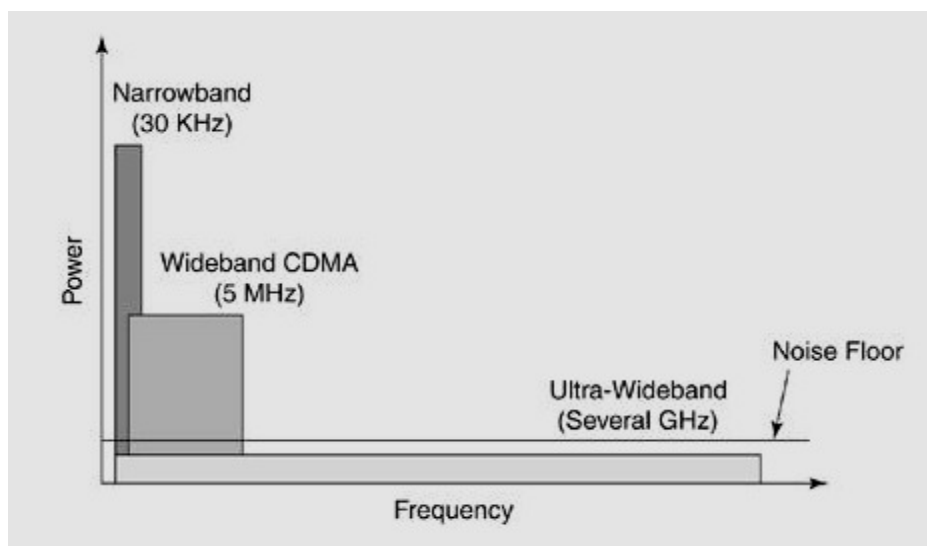
Η τεχνολογία UWB φαντάζει ως ένας από τους αντιπάλους του Bluetooth. Η στήριξη του από την βιομηχανία είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού εταιρίες όπως η Intel, η Motorola κ.ά. έχουν ήδη προχωρήσει στην κατασκευή των δικών τους ομάδων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που ενσωματώνουν τεχνολογία UWB. Οι USB συσκευές που έχουμε όλοι μας έχουν γεμίσει τα σπίτια μας με καλώδια. Το ασύρματο USB έρχεται να μας απελευθερώσει από όλα αυτά τα καλώδια. Δημιουργεί μια αόρατη σφαίρα γύρω από τις συσκευές που θέλουμε να συνδέουμε και επιτρέπει να “μιλάνε” μεταξύ τους, στην ίδια περίπου απόσταση που θα το έκαναν και με το καλώδιο. Μπορούμε να το συνδέσουμε σε ένα φορητό υπολογιστή και να μεταφέρουμε εικόνες σε μια οθόνη ή σε 5 οθόνες ταυτόχρονα ή να στέλνουμε μια ταινία στην τηλεόραση. Θα μπορούμε επίσης να στέλνουμε φωτογραφίες από το κινητό μας ή μια φωτογραφική μηχανή κατευθείαν σε μια οθόνη. Θα μπορέσουμε έτσι να ξεφορτωθούμε όλα αυτά τα καλώδια που χρησιμοποιούμε να συνδέουμε το ποντίκι, τους εξωτερικούς σκληρούς δίσκους, τη φωτογραφική μηχανή, το mp3 player και γενικά όλα αυτά τα USB καλώδια που βρίσκονται γύρω από τον υπολογιστή μας.

## **3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ UWB**

Το UWB έχει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία το καθιστούν προτιμητέο έναντι των άλλων ασύρματων επικοινωνιών. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματά του είναι:

### **1. Δυνατότητα από κοινού χρήσης του φάσματος συχνοτήτων**

Η απαίτηση ισχύος της FCC (Federal Communications Commission) στα 75nW/MHz για τα UWB συστήματα, τα κατατάσσει στην κατηγορία των αυθόρμητων ακτινοβολητών (unintentional radiators), όπως π.χ. οι τηλεοράσεις. Αυτός ο περιορισμός ισχύος επιτρέπει στα UWB σήματα να παραμένουν κάτω από το επίπεδο θορύβου ενός τυπικού δέκτη στενής ζώνης και τους δίνει τη δυνατότητα να συνυπάρχουν με τα ήδη υπάρχοντα ραδιοσήματα με ελάχιστη ή καθόλου μεταξύ τους παρεμβολή. Βεβαίως, όλα αυτά εξαρτώνται από τον τύπο της διαμόρφωσης (modulation) που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων σ' ένα UWB σύστημα. Το Σχήμα 3.3 δείχνει τη γενική ιδέα της συνύπαρξης της UWB με τις τεχνολογίες στενής και ευρείας ζώνης.



Σχήμα 3.3: Συνύπαρξη της UWB με τις τεχνολογίες στενής και ευρείας ζώνης

## **2. Μεγάλη χωρητικότητα καναλιού**

Είναι συνεχώς αυξανόμενες οι ανάγκες της αγοράς για υπηρεσίες ευρείας ζώνης και αναμένεται ότι η ζήτηση για μεγαλύτερο φασματικό εύρος θα αυξάνεται εκθετικά καθώς οι περισσότερες από τις νέες υπηρεσίες απαιτούν υψηλές ταχύτητες δεδομένων. Για την εκπομπή υψηλότερων bit rates είναι απαραίτητο μεγαλύτερο εύρος ζώνης, κάτι που οδηγεί στην χρησιμοποίηση μεγάλης φέρουσας συχνότητας, που έρχεται σε σύγκρουση με το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες φέρουσες συχνότητες υφίστανται σημαντική απορρόφηση στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας αλλά και με το γεγονός ότι τα μέρη ενός πομπού ή δέκτη (κεραίες, ενισχυτές) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές συχνότητες. Αυτό συμβαίνει γιατί ανεβαίνει εκθετικά το κόστος των συστημάτων επεξεργασίας (π.χ. ενισχυτών) με την αύξηση της φέρουσας συχνότητας. Έτσι συμφέρει η επεξεργασία σε χαμηλότερες συχνότητες.

Η *χωρητικότητα καναλιού* (channel capacity) ή *ρυθμός δεδομένων* (data rate) ορίζεται ως η μέγιστη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να μεταδοθεί ανά δευτερόλεπτο σ' ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Η μεγάλη χωρητικότητα καναλιού των UWB τηλεπικοινωνιακών συστημάτων γίνεται προφανής από την εξίσωση των Hartley-Shannon:

$$C = B \log_2(1+SNR) \text{ [8]}$$

όπου  $C$  η μέγιστη χωρητικότητα καναλιού,  $B$  το εύρος ζώνης και  $SNR$  ο λόγος σήματος προς θόρυβο.

Όπως προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, η χωρητικότητα καναλιού  $C$  αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του εύρους ζώνης  $B$ . Συνεπώς, με μερικά GHz εύρους ζώνης διαθέσιμα για UWB σήματα, αναμένεται ένας ρυθμός δεδομένων της τάξης των gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Ωστόσο, λόγω του πρόσφατου περιορισμού εκπομπής UWB σημάτων από την FCC, αυτός ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων επιτυγχάνεται σε μικρή εμβέλεια, έως 10m. Αυτό καθιστά τα UWB συστήματα τέλειους υποψήφιους για μικρής εμβέλειας υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ασύρματες εφαρμογές, όπως τα WPANs (Wireless Personal Area Networks). Το trade-off ανάμεσα στην εμβέλεια και το ρυθμό δεδομένων κάνει την UWB τεχνολογία ιδανική για μια μεγάλη σειρά εφαρμογών στο στρατιωτικό, πολιτικό και εμπορικό τομέα.

Μια σύγκριση του UWB με άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες θα μας δώσει μια εικόνα για την υπεροχή του UWB:[9]

**IEEE 802.11b:** Αυτή η τεχνολογία έχει εμβέλεια 100 μέτρων σε ελεύθερο χώρο. Σε ένα κύκλο με ακτίνα 100 μέτρων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα 3 συστήματα IEEE 802.11b καθένα από αυτά προσφέροντας μια μέγιστη ταχύτητα 11Mbps. Η

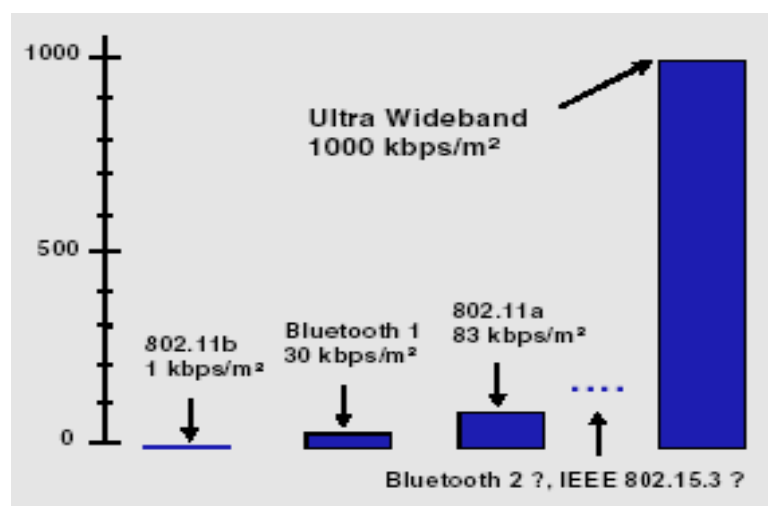
συνολική λοιπόν ταχύτητα είναι 33 Mbps που διαιρούμενη με την επιφάνεια του κύκλου δηλώνει μια χωρητικότητα (spatial capacity) 1Kbps/m<sup>2</sup>.

**Bluetooth:** Με χαμηλή σχετικά ισχύ το Bluetooth έχει εμβέλεια 10 μέτρων σε ελεύθερο χώρο. Μέσα σε έναν κύκλο ακτίνας 10 μέτρων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα 10 Bluetooth piconets με 5 από αυτά να προσφέρουν συνολική ταχύτητα 10Mbps. Διαιρώντας την ταχύτητα με την επιφάνεια του κύκλου έχουμε χωρητικότητα (spatial capacity) 30Kbps/m<sup>2</sup>.

**IEEE 802.11a:** Αυτή η τεχνολογία έχει εμβέλεια 50 μέτρων σε ελεύθερο χώρο. Σε έναν κύκλο ακτίνας 50 μέτρων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα 10 IEEE802.11a συστήματα καθένα από αυτά προσφέροντας ταχύτητα 54Mbps. Η συνολική λοιπόν ταχύτητα είναι 648 Mbps που διαιρούμενη με την επιφάνεια του κύκλου δηλώνει μια χωρητικότητα (spatial capacity) περίπου 83Kbps/m<sup>2</sup>.

**UWB:** Αυτή η τεχνολογία έχει εμβέλεια 10 μέτρων σε ελεύθερο χώρο. Σε έναν κύκλο ακτίνας 10 μέτρων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα 6 UWB συστήματα καθένα από αυτά προσφέροντας ταχύτητα 5Mbps. Η συνολική λοιπόν ταχύτητα είναι 300 Mbps, που διαιρούμενη με την επιφάνεια του κύκλου, δηλώνει μια χωρητικότητα (spatial capacity) περίπου 1000Kbps/m<sup>2</sup>.

Είναι λοιπόν προφανής η φασματική υπεροχή του UWB που μπορούμε να δούμε και πιο παραστατικά και στο παρακάτω Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4:Φασματική υπεροχή του UWB

Στον παρακάτω Πίνακα 3.1, παρατίθενται για κάθε τρόπο επικοινωνίας (π.χ. UWB, Bluetooth κτλ) συγκριτικά στοιχεία που αφορούν στην εμβέλεια (Range), στο ρυθμό πληροφορίας (Bit rate), στο επίπεδο της εκπεμπόμενης ισχύος (Power Level-EIRP),

στο τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται (Modulation Type) και σε άλλα χαρακτηριστικά.

Type of device	Data rate	Range	Freq uency band	Pow er level (e.i.r.p)	Modulat ion type	Classifica tion	Spread ing techni que	Specifica tion
Ultra-Wideband communication	Up to 500Mbits/s	15m	TBD	TBD	PPM/ Others	Personal Area Network, e.t.c (See section 2)	Implus e transm ission	IEEE 802.15.3 a*
Bluetooth	700Kbits /s	15m	ISM 24G HZ	Class 1:20 dBm Class 2:0d Bm	GMSK	Personal Area Network	Freque ncy Hoppin g	IEEE 802.15.1
80211a,RL AN	Up to 54Mbits /s	50m	5GHz 1	Max 1:20 0mW to up to 1w	16QAM, 64QAM, BPSK, QPSK	Local Area Network	OFDM	IEEE 802.11a Rec ITU-R M.1450
802.11b,RL AN	Up to 11Mbits /s	100m	ISM 24G HZ	Max 100 mW to up to 2w	CCK(8 Comple x Clip Spreadi ng)	Local Area Network	DSSS	IEEE 802.11b Rec ITU-R M.1450 ETSI EN 300 328
802.11g RLAN	Up to 54Mbits /s	100m	ISM 24G HZ	Max 100 mW to up to 2w	16QAM, 64QAM, BPSK, QPSK	Local Area Network	OFDM, DSSS	IEEE 802.11g ETSI EN 300 328
802.15.4 Zigbee Alliance	<250Kbits/s	10-75m	ISM 24G HZ,9 15M Hz,8 68M Hz	TBD	Prelim spec: early 2003	Low Power Personal Area Network	DSSS	IEEE 802.15.4

HiSWANa	Up to 54Mbits /s	50m	5.15-5.25 GHz	Max: 200 mW	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	Local Area Network	OFDM	MMAC HSWA HiSWAN a Rec ITU-R M.1450
Cordless Telephones								Rec ITU-R M.1033
Infra-red		<3	IR	N/A	Pulse	Point to Point		
HiperLAN 1,RLAN	23Mbits /s and 14Mbits /s	100m	5GHz 1	Up to 200 mW	FSK and GMSK	Local Area Network	N/A	ETSI EN 300 652 V1.2.1(1998-07) Rec ITU-R M.1450
Hiperlan2, RLAN	Up to 54Mbits /s	50m	5GHz 1	Max 1:20 0mW to up to 1w	16QAM, 64QAM, BPSK, QPSK	Local Area Network	OFDM	ETSI EN 301 893
<p>1.The 5GHz band consists of several sub-bands(5150 -5350MHz,5470-5725MHz and5725-5875MHz), which are used in part , or in their entirety ,depending on national or regional arrangements . There may be additional restrictions imposed (e.g. on the power level) depending on the sub-b and used.</p> <p>*UWB is a candidate technology for IEEE standards 820.11 and802.15</p>								

**Πίνακας 3.1: Σύγκριση των χαρακτηριστικών διαφόρων τεχνολογιών ασύρματων δικτύων[10]**

### **3. Δυνατότητα λειτουργίας σε κανάλια με χαμηλό SNR**

Η παραπάνω εξίσωση των Hartley-Shannon για τη μέγιστη χωρητικότητα καναλιού δείχνει επίσης ότι η χωρητικότητα καναλιού εξαρτάται μόνο λογαριθμικά από τη σηματοθορυβική σχέση (SNR). Επομένως, τα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα δύνανται να λειτουργούν σε κανάλια με χαμηλό SNR και παρόλα αυτά να προσφέρουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης τους.

### **4. Χαμηλή πιθανότητα ανίχνευσης και χαμηλή πιθανότητα παρεμπόδισης**

Λόγω της χαμηλής μέσης εκπεμπόμενης ενέργειάς τους, τα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν μια εγγενή “ανοσία” στην παρεμπόδιση και ανίχνευση. Με τόσο χαμηλή ισχύ εκπομπής, ο “ωτακουστής” πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στον πομπό (περίπου 1m) για να μπορεί να ανιχνεύσει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Επιπλέον, οι UWB παλμοί διαμορφώνονται στο χρόνο με κώδικες μοναδικούς για κάθε ζεύγος πομπού/δέκτη. Η χρονική διαμόρφωση εξαιρετικά στενών παλμών προσδίδει περισσότερη ασφάλεια στην UWB εκπομπή, αφού η ανίχνευση παλμών διάρκειας της τάξης των psec χωρίς να γνωρίζουμε πότε θα φτάσουν είναι σχεδόν αδύνατη. Επομένως, τα UWB συστήματα υπόσχονται την επίτευξη υψηλής ασφάλειας επικοινωνιών με μικρή πιθανότητα παρεμπόδισης και ανίχνευσης κάτι που είναι απολύτως απαραίτητο σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως κρυφή επικοινωνία μέσα σε εχθρικό περιβάλλον.

## **5. Αντίσταση σε παρεμβολές (jamming)**

Αντίθετα με το καλά ορισμένο στενής ζώνης συχνοτήτων φάσμα, το UWB φάσμα καλύπτει μια τεράστια ζώνη συχνοτήτων από σχεδόν συνεχή μέχρι μερικά gigahertz και προσφέρει μεγάλο κέρδος επεξεργασίας για UWB σήματα. Το *κέρδος επεξεργασίας* (processing gain, PG) είναι ένα μέτρο για την αντίσταση του συστήματος σε παρεμβολές και ορίζεται ως ο λόγος του RF εύρους ζώνης (RF bandwidth) προς το εύρος ζώνης της πληροφορίας του σήματος (information bandwidth):

$$PG = Rf \text{ Bandwidth} / \text{Information Bandwidth}$$

Ο διαφορισμός στη συχνότητα που προκαλείται από το μεγάλο κέρδος επεξεργασίας καθιστά τα UWB σήματα σχετικά ανθεκτικά σε σκόπιμες ή απρόσκοπτες παρεμβολές, γιατί κανένας δεν μπορεί να παρεμβάλλει σε κάθε συχνότητα του UWB φάσματος ταυτόχρονα. Συνεπώς, αν κάποιες συχνότητες υποστούν παρεμβολή, υπάρχει ακόμη μεγάλη γκάμα συχνοτήτων που παραμένει ανέπαφη.

## **6. Υψηλή αντίσταση σε πολύδρομη διάδοση (multipath)**

Το φαινόμενο των πολλαπλών οδεύσεων είναι αναπόφευκτο σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά κανάλια. Προκαλείται από τις πολλαπλές ανακλάσεις του εκπεμπόμενου σήματος σε διάφορες επιφάνειες, όπως κτίρια, δέντρα κ.α. Η ευθεία γραμμή μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη είναι η γραμμή οπτικής επαφής (line of sight, LOS). Τα ανακλώμενα σε επιφάνειες σήματα δεν είναι γραμμής οπτικής επαφής (non-line of sight, NLOS). Οι επιπτώσεις του φαινομένου των πολλαπλών διαδρομών είναι μάλλον σοβαρές στα σήματα στενής ζώνης: μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση του σήματος μέχρι 40dB λόγω της πρόσθεσης των διαφορετικής φάσης LOS και NLOS. Από την άλλη πλευρά, η πολύ μικρή χρονική διάρκεια των UWB παλμών, τους καθιστά λιγότερο ευαίσθητους στις επιδράσεις του φαινομένου. Καθώς η διάρκεια εκπομπής ενός UWB παλμού είναι μικρότερη από 1ns στις περισσότερες

περιπτώσεις, ο ανακλώμενος παλμός έχει υπερβολικά μικρή πιθανότητα να συγκρουστεί με τον LOS παλμό και να προκαλέσει εξασθένηση.

Παρόλο που η μικρή διάρκεια των UWB παλμών, τους καθιστά λιγότερο ευαίσθητους στις επιδράσεις του φαινομένου των πολλαπλών οδεύσεων συγκριτικά με τους παλμούς στενής ζώνης, αυτό δε σημαίνει ότι οι UWB επικοινωνίες είναι απολύτως ασφαλείς από την παραμόρφωση λόγω των πολλαπλών διαδρομών. Έρευνα πάνω στη μοντελοποίηση UWB καναλιών έχει αποδείξει ότι ανάλογα με το είδος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, χαμηλής ισχύος UWB παλμοί μπορούν να υποστούν σημαντική παραμόρφωση σε κανάλια εσωτερικού χώρου, όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός αντικειμένων. Παρόλα αυτά οι παλμοί UWB συνεχίζουν να είναι περισσότερο αξιόπιστοι από τους παλμούς στενής ζώνης όσον αφορά τις παραμορφώσεις.

## **7. Άριστες ιδιότητες διεισδυτικότητας**

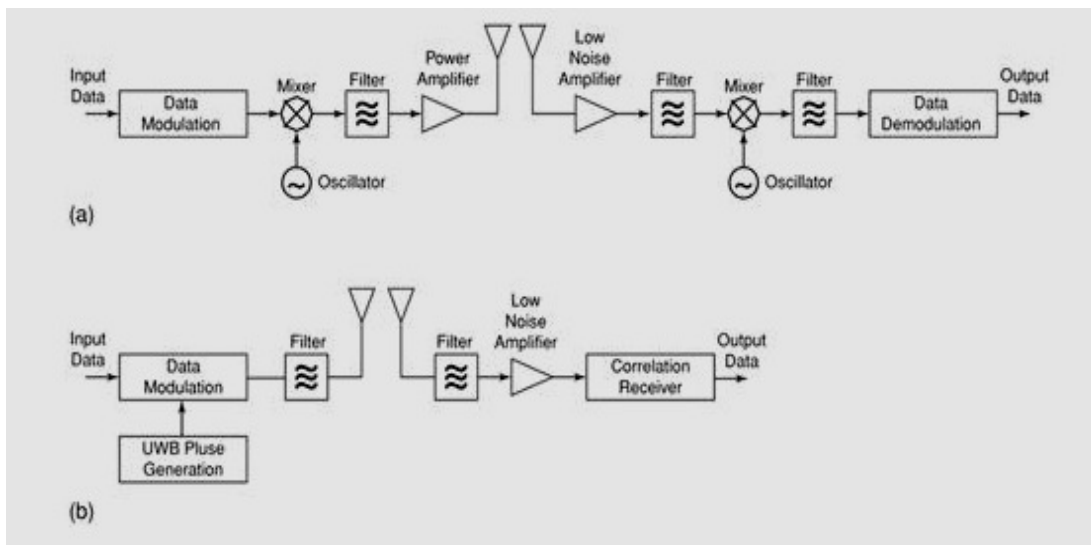
Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία οι χαμηλές συχνότητες έχουν καλύτερες διεισδυτικές ιδιότητες. Η χρησιμοποίηση μεγάλου φάσματος σε συνδυασμό με την χαμηλή συχνότητα καταλήγει στις επιθυμητές ιδιότητες. Σε αντίθεση με τα στενής ζώνης, τα UWB συστήματα μπορούν να διεισδύουν αποτελεσματικά σε διάφορα υλικά. Οι χαμηλές συχνότητες που περιλαμβάνονται στο ευρύ UWB φάσμα αντιστοιχούν σε μεγάλα μήκη κύματος, κάτι που επιτρέπει στα UWB σήματα να διεισδύουν σε πολλά υλικά συμπεριλαμβανομένων και τοίχων. Αυτή η ιδιότητα κάνει την UWB τεχνολογία κατάλληλη για επικοινωνίες διά μέσου τοίχων (through-the-wall communications) για την ανίχνευση του επιπέδου υγρών σε σωλήνες αλλά και την εύρεση κρυμμένων αντικειμένων πίσω από τοίχους και για ραντάρ διείσδυσης στο έδαφος (ground-penetrating radars, GPR) για την ανίχνευση θαμμένων αντικειμένων. Ωστόσο, η ιδιότητα διεισδυτικότητας των UWB σημάτων είναι χρήσιμη μόνο όταν επιτρέπεται να εκπέμπονται στις χαμηλές συχνότητες του ραδιοφάσματος.

## **8. Απλή και άρα φθηνή αρχιτεκτονική του πομποδέκτη**

Όπως προαναφέρθηκε, η UWB εκπομπή γίνεται χωρίς τη χρήση φέροντος, που σημαίνει ότι τα δεδομένα δε διαμορφώνουν κάποια συνεχή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος, όπως στις στενής και ευρείας ζώνης τεχνολογίες. Η απαλλαγμένη φέροντος εκπομπή προϋποθέτει λιγότερες RF συνιστώσες απ' ό, τι η εκπομπή με χρήση φέροντος. Γι' αυτό το λόγο, η δομή του UWB ζεύγους πομπού/δέκτη είναι σημαντικά πιο απλή κι επομένως φθηνότερη. Το Σχήμα 3.5 συγκρίνει τα διαγράμματα ενός τυπικού στενής ζώνης πομποδέκτη και ενός UWB.



Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η δομή του UWB πομποδέκτη είναι αισθητά λιγότερο σύνθετη. Η εκπομπή των χαμηλής ισχύος παλμών περιορίζει την ανάγκη για ενισχυτή ισχύος (power amplifier, PA) στους UWB πομπούς. Επιπλέον, αφού η UWB εκπομπή είναι απαλλαγμένη φέροντος, δεν υπάρχει ανάγκη για μείκτες (mixers) και τοπικούς ταλαντωτές (local oscillators). Κατά συνέπεια, παρακάμπτεται το στάδιο ανάκτησης φέροντος στο τέλος του δέκτη. Αυτή η απλότητα καθιστά πιθανή μια εξολοκλήρου CMOS (complementary metal-oxide semiconductors) εφαρμογή των UWB πομποδεκτών, αντί για την ακριβή GaAs MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit). Επομένως το UWB είναι αρκετά υποσχόμενο για αρκετές εφαρμογές χαμηλού κόστους. Συστήματα αποφυγής πρόσκρουσης, αισθητήρες για αερόσακους και αισθητήρες για επίπεδο ροής υγρών είναι μόνο παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών. Μια ήδη υπάρχουσα και ανταγωνιστική προς το UWB τεχνική είναι το Bluetooth. Για να γίνει εμφανής η διαφορά των 2 τεχνολογιών στο κόστος έχουμε ένα απλό παράδειγμα. Για τη δημιουργία ενός κυκλώματος Bluetooth το κόστος είναι 5\$ ενώ εκτιμάται ότι για τη δημιουργία αυτού του κυκλώματος με UWB θα απαιτούνται λιγότερα από 1\$[6].



**Σχήμα 3.5:** α) Δομή τυπικού στενής ζώνης πομποδέκτη και β) Παράδειγμα αρχιτεκτονικής ενός UWB πομποδέκτη

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα πλεονεκτήματα του UWB και τα οφέλη που αποκομίζει κάποιος από την χρήση του.

<b>Πλεονέκτημα</b>	<b>Όφελος</b>
Συνύπαρξη με ήδη υπάρχουσες narrowband και wideband ραδιο-υπηρεσίες	Αποφυγή καταβολής των αντιτίμων των ακριβών αδειών
Μεγάλη χωρητικότητα καναλιού	Το μεγάλο εύρος ζώνης μπορεί να υποστηρίξει real-time βίντεο
Λειτουργία σε κανάλια με χαμηλό SNR	Πολύ καλή λειτουργία σε περιβάλλον θορύβου
Μικρή εκπεμπόμενη ισχύς	Μεγάλη ασφάλεια με μικρή πιθανότητα ανίχνευσης και παρεμπόδισης
Αντίσταση στο jamming	Αξιοπιστία σε “εχθρικό” περιβάλλον
Καλή λειτουργία σε multipath channels	Μεγαλύτερη αντίσταση του σήματος σε δυσμενείς συνθήκες
Απλή και άρα φθηνή δομή πομπού/δέκτη	Δυνατότητα εκπομπής μικρής ισχύος, καλύτερος μέσος χρόνος μεταξύ σφαλμάτων, μειωμένο κόστος

### **3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ UWB**

Αρχικά, η κύρια ανησυχία για το UWB ήταν εάν θα προκαλούσε ή όχι παρεμβολές στα υπάρχοντα συστήματα RF που παρέχουν υπηρεσίες για στρατιωτικές, αεροπορικές, πυροσβεστικές, αστυνομικές εφαρμογές, καθώς και σε επιχειρήσεις διάσωσης. Λόγω αυτού, η FCC πέρασε δύο χρόνια αξιολογώντας τις προτεινόμενες προδιαγραφές του UWB και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δεν θα

υπάρξει καμία παρεμβολή καθώς και εξέδωσε μια μελέτη στην οποία δηλώνει ότι είναι ικανοποιημένη με τους περιορισμούς που τέθηκαν στο UWB.

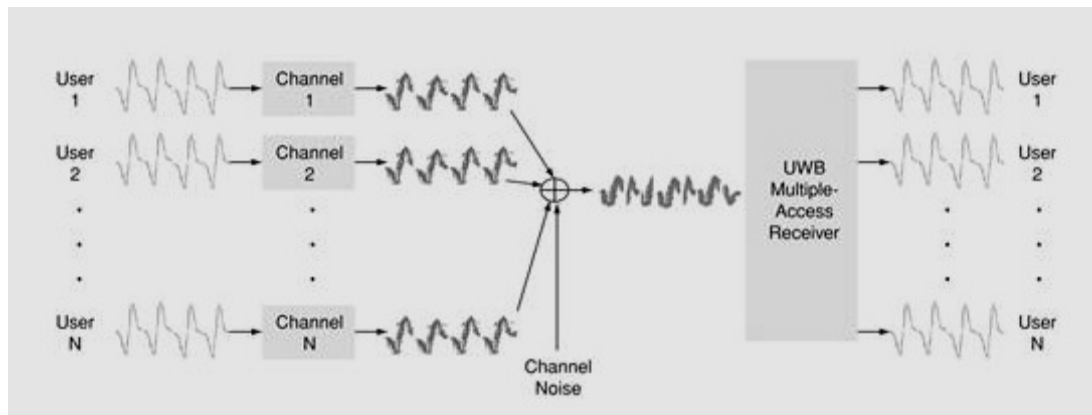
Παρά όλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι UWB εφαρμογές, υπάρχουν διάφορα θεμελιώδη και πρακτικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά για να εξασφαλίσουν την επιτυχία αυτής της τεχνολογίας στην αγορά της ασύρματης επικοινωνίας. Μερικά από τα ζητήματα τα οποία απαιτούν ακόμα πολύ έρευνα, είναι τα εξής:

- **Ο σχεδιασμός κώδικα για πολλαπλή πρόσβαση**
- **Οι παρεμβολές από τα σήματα στενής ζώνης**
- **Η ακριβής διαμόρφωση των UWB καναλιών**
- **Ο σχεδιασμός κατάλληλων πομποδεκτών.**

Τρία ακόμα από τα βασικά μειονεκτήματα τα οποία αναλύουμε παρακάτω είναι επίσης:

### **1. Οι παρεμβολές λόγω πολλαπλής πρόσβασης**

Σε ένα πολλαπλών χρηστών (multi-user) ή πολλαπλής πρόσβασης τηλεπικοινωνιακό σύστημα, διάφοροι χρήστες ή συσκευές αποστέλλουν πληροφορία ανεξάρτητα και ταυτόχρονα σε ένα κοινό μέσο διάδοσης (όπως ο αέρας στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες). Στο σημείο λήψης, ένας ή περισσότεροι δέκτες πρέπει να είναι σε θέση να ξεχωρίζουν τους χρήστες και να ανιχνεύουν την πληροφορία από τον κατάλληλο χρήστη. Η παρεμβολή από άλλους χρήστες ονομάζεται *παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (multiple-access interference, MAI)* και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη χωρητικότητα του καναλιού και τη λειτουργία τέτοιων δεκτών. Η πρόσθεση της MAI στον αναπόφευκτο θόρυβο καναλιού και στην παρεμβολή στενής ζώνης μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά τους χαμηλής ισχύος UWB παλμούς και να κάνει τη διαδικασία ανίχνευσης πολύ δύσκολη. Το Σχήμα 3.6 δείχνει ένα UWB κανάλι πολλαπλής πρόσβασης.



**Σχήμα 3.6: UWB κανάλι πολλαπλής πρόσβασης**

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η διάκριση της πληροφορίας κάθε χρήστη από το συνδυασμό των πολύ παραμορφωμένων και χαμηλής ισχύος UWB παλμών όλων των χρηστών είναι μια διαδικασία γεμάτη προκλήσεις.

## **2. Ο συγχρονισμός του δέκτη σε εξαιρετικά στενούς παλμούς**

Ο συγχρονισμός στο χρόνο είναι μια βασική πρόκληση και μια πλούσια περιοχή έρευνας στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Όπως με οποιοδήποτε άλλο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, ο συγχρονισμός στο χρόνο μεταξύ πομπού και δέκτη είναι επιτακτικός στα UWB συστήματα. Όμως, η δειγματοληψία και ο συγχρονισμός παλμών διάρκειας των nanoseconds θέτει σοβαρό περιορισμό στο σχεδιασμό των UWB συστημάτων. Προκειμένου να δειγματοληπτήσουμε αυτούς τους στενούς παλμούς, χρειάζονται πολύ γρήγοροι (της τάξης των gigahertz) μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (analog-to-digital converters, ADCs). Επιπλέον, οι αυστηροί περιορισμοί ισχύος και η μικρή χρονική διάρκεια των παλμών καθιστούν τη λειτουργία των UWB συστημάτων εξαιρετικά ευαίσθητη σε λάθη συγχρονισμού. Αυτό αποτελεί κρίσιμο θέμα για την επιτυχία των δεκτών διαμόρφωσης θέσης παλμών (pulse-position modulation, PPM), που βασίζονται στην ανίχνευση της ακριβούς θέσης του λαμβανόμενου σήματος.

## **3. Η εκτίμηση των καθυστερήσεων λόγω πολλαπλών διαδρομών και των συντελεστών**

Η εκτίμηση καναλιού είναι βασικό θέμα για τη σχεδίαση του δέκτη στα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Επειδή είναι αδύνατη η μέτρηση κάθε ασύρματου καναλιού στο χώρο, είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε πιλοτικές αλληλουχίες για την εκτίμηση των παραμέτρων του καναλιού, π.χ. εξασθενήσεις και καθυστερήσεις της διαδρομής διάδοσης. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι UWB δέκτες συσχετίζουν το λαμβανόμενο σήμα με ένα σήμα προκαθορισμένης μορφής, η εκ των

προτέρων γνώση των παραμέτρων του ασύρματου καναλιού είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της μορφής του προκαθορισμένου σήματος που προσαρμόζεται στο λαμβανόμενο. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα του μεγάλου εύρους ζώνης και της μειωμένης ισχύος του σήματος, οι UWB παλμοί υφίστανται σοβαρή παραμόρφωση. Έτσι, η εκτίμηση καναλιού στα UWB τηλεπικοινωνιακά συστήματα γίνεται πολύ περίπλοκη.

Εκτός από τα ανωτέρω ζητήματα, που έχουν να κάνουν με το φυσικό στρώμα, ο θεμελιώδης ρόλος της UWB τεχνολογίας στα ασύρματα δίκτυα είναι ακόμα ανοικτός και ένα ευρύ φάσμα ερευνητικών ερωτήσεων συνεχίζει να παρουσιάζει προκλήσεις, όπως ο ιδιαίτερος ρόλος των UWB στα ad-hoc ασύρματα δίκτυα και στα δίκτυα αισθητήρων.

Μεταξύ των προκλήσεων που καλούνται να αντιμετωπιστούν, αξίζει να σημειωθούν οι παρακάτω:

- Συνύπαρξη με τις άλλες συσκευές και κατάλληλος χειρισμός των παρεμβολών από τα στενής ζώνης σήματα.
- Σχηματισμός – προσαρμογή του φάσματος των μεταδιδόμενων σημάτων (multiband, OFDM – based UWB)
- Πρακτικοί, απλοί και χαμηλής ισχύος πομποδέκτες
- Ακριβής συγχρονισμός και εκτίμηση των παραμέτρων του διαύλου
- Υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας για τις ψηφιακές εφαρμογές.
- Ισχυρές ικανότητες επεξεργασίας για υψηλή απόδοση και συνεκτικές δομές ψηφιακών δεικτών
- Ευρείας ζώνης RF εξαρτήματα (όπως οι κεραιές, οι χαμηλού θορύβου ενισχυτές κλπ).
- Πολλαπλή πρόσβαση, κώδικας για πολλαπλή πρόσβαση και παρεμβολές πολλών χρηστών.
- Ακριβής διαμόρφωση του διαύλου ευρείας ζώνης στα διάφορα περιβάλλοντα.
- Προσαρμοστικός σχεδιασμός των συστημάτων και cross-layer προσαρμογή για UWB.
- Προσαρμοσμένος σχεδιασμός δικτύων UWB.

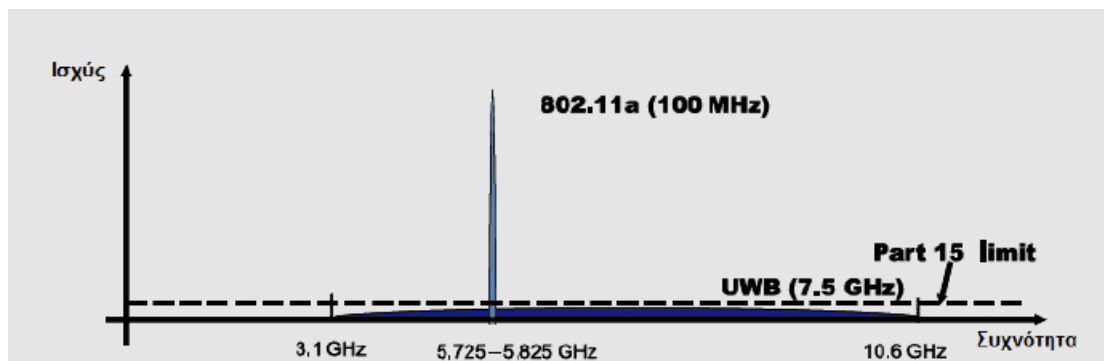
### **3.4 ΜΕΓΑΛΟ ΑΠΟΛΥΤΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ**

Τα UWB συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν είτε από ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης, είτε από ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης. Κάθε ένας από

αυτούς τους χαρακτηρισμούς έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα καθώς επίσης και μειονεκτήματα τα οποία θα αναφέρουμε ενδεικτικά παρακάτω:

- **Μεγάλο απόλυτο εύρος**

Με τον όρο ‘μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης’ (large absolute bandwidth), αναφερόμαστε συνήθως σε συστήματα με εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 MHz, σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δώσει η FCC σχετικά με την UWB ακτινοβολία. Ένα τόσο μεγάλο εύρος ζώνης προσφέρει την δυνατότητα πολύ μεγάλων συντελεστών διάδοσης. Με άλλα λόγια, η αναλογία του εύρους ζώνης σημάτων προς τον ρυθμό διάδοσης είναι πολύ μεγάλη. Για μια τυπική εφαρμογή δικτύων αισθητήρων με την ρυθμιάδοση στα 5ksymbols/sec, ένας συντελεστής διάδοσης (spreading factor) της τάξης του  $10^5$  έως  $10^6$  επιτυγχάνεται για την μετάδοση με εύρος ζώνης στα 500MHz και 5 GHz, αντίστοιχα. Η εξάπλωση σε ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης σημαίνει ότι η φασματική πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, δηλ. η ισχύς ανά μονάδα εύρους ζώνης, είναι πολύ χαμηλή. Ένας ‘νόμιμος’ δέκτης σημάτων στενής ζώνης (victim legacy narrowband receiver) θα δει μόνο την ισχύ του θορύβου μέσα στο εύρος ζώνης του συστήματός του, δηλ. ένα μικρό μέρος από την συνολική ισχύ που μεταδίδεται, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

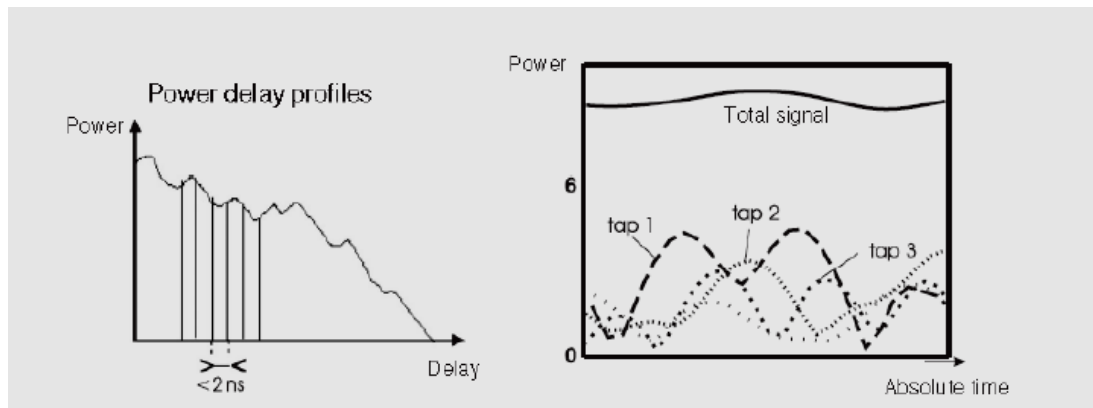


**Σχήμα 3.7: Παρεμβολές μεταξύ ενός συστήματος και ενός συστήματος στενής ζώνης σε τοπικό δίκτυο**

Αυτό υπονοεί ότι οι παρεμβολές στο νόμιμο στενής ζώνης σύστημα (legacy (narrowband) system) είναι ανεπαίσθητες. Επιπλέον, ένας δέκτης UWB μπορεί να καταστείλει την παρεμβολή από το σύστημα περιορισμένης ζώνης κατά έναν παράγοντα που είναι περίπου ίσος με τον συντελεστή διάδοσης (spreading factor). Αυτές οι αρχές γίνονται κατανοητές από την γενική θεωρία των συστημάτων με ευρύ

φάσμα (spread spectrum systems). Το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τα UWB συστήματα είναι ότι ο συντελεστής διάδοσης πηγαίνει στα άκρα και φέρνει έτσι τη φασματική πυκνότητα ισχύος σε τόσο χαμηλά επίπεδα, που ως επί το πλείστον, δεν παρεμβάλλει καθόλου στα νόμιμα συστήματα. Ιδανικά η ακτινοβολία απλά αυξάνει το επίπεδο θορύβου που φαίνεται από τον δέκτη – θύμα του στενής ζώνης συστήματος κατά ένα αμελητέο ποσό. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι αυτή η ακτινοβολία είναι σχεδόν μη ανιχνεύσιμη για τους αυθαίρετους ακροατές (unauthorised listeners). Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο συντελεστής διάδοσης είναι μια συνάρτηση του εύρους ζώνης μετάδοσης και του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων. Συνεπώς, τα UWB συστήματα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (>100 Mbits/sec) δεν εμφανίζουν έναν τόσο μεγάλο συντελεστή διάδοσης όπως αυτός στο ανωτέρω παράδειγμα και είναι έτσι πιο ευαίσθητα στις παρεμβολές.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρουν τα UWB συστήματα με μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης, είναι η υψηλή ανθεκτικότητα ενάντια στην εξασθένηση. Στα συμβατικά περιορισμένης ζώνης συστήματα, η λαμβανόμενη ισχύς των σημάτων υπόκεινται στις διακυμάνσεις, που προκαλούνται από τις συνιστώσες πολλαπλών διαδρομών δηλ. την ηχώ από διαφορετικούς σκεδαστές όπου παρεμβάλλει το ένα σήμα με το άλλο άλλοτε με αύξηση και άλλοτε με μείωση του πλάτους των σημάτων, σε συνδυασμό με την ακριβή θέση του πομπού, του δέκτη και του σκεδαστή. Το πλάτος του συνολικού λαμβανόμενου σήματος είναι συνήθως σύνθετες γκαουσιανές κατανομές, επειδή ένας μεγάλος αριθμός από MPC's προστίθεται στον δέκτη. Ένας UWB πομποδέκτης όταν λαμβάνει ένα σήμα με ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης, τότε μπορεί να επιλύσει αυτό τον συνδυασμό από MPC's. Με χωριστή επεξεργασία των διαφορετικών MPC's, ο δέκτης μπορεί να σιγουρευτεί ότι όλες εκείνες οι συνιστώσες προστίθενται με έναν βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι πιθανότητες για εξασθένηση (deep fades) του σήματος. Με άλλα λόγια, τα περισσότερα επιλύσιμα MPC's, παρέχουν ένα υψηλό βαθμό ποικιλίας όσον αφορά στην καθυστέρηση. Σαν πρόσθετη επίδραση, αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των πραγματικών MPC's που προστίθενται σε ένα επιλύσιμο πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών είναι μικρός. Για αυτόν τον λόγο οι πιθανότητες εξασθένησης κάθε επιλύσιμης συνιστώσας του προβλήματος πολλαπλών διαδρομών δεν έχουν μία σύνθετη γκαουσιανή κατανομή, αλλά παρουσιάζουν μια χαμηλότερη πιθανότητα εξασθένησης. Λόγω αυτού, και της ποικιλίας στην καθυστέρηση, τα UWB συστήματα με το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης σπάνια χρειάζονται κάποιο περιθώριο εξασθένησης για να αντισταθμίσουν την εξασθένηση, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα συστήματα περιορισμένης ζώνης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8



**Σχήμα 3.8: Ποικιλία στην καθυστέρηση σε ένα UWB σύστημα**

Τέλος το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης οδηγεί επίσης σε μια μεγάλη βελτίωση της ακρίβειας του εύρους έκτασης (ranging) και της γεωγραφικής θέσης (geolocation). Τα περισσότερα συστήματα που χαρακτηρίζονται από το εύρος (ranging systems) προσπαθούν να καθορίσουν τον χρόνο που κάνει η ακτινοβολία να διαδοθεί μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Προκύπτει από τις στοιχειώδεις εκτιμήσεις Fourier ότι η ακρίβεια στην έκταση βελτιώνει το εύρος ζώνης του εκτεινόμενου συστήματος. Κατά συνέπεια, ακόμη και χωρίς περίπλοκους, υψηλής ευκρίνειας αλγορίθμους για τον προσδιορισμό του χρόνου άφιξης του πρώτου μονοπατιού, ένα UWB σύστημα μπορεί να επιτύχει ακρίβεια εκατοστόμετρων στην έκταση. Φυσικά, αυτή η ακρίβεια μπορεί να βελτιωθεί από πρόσθετες πληροφορίες, όπως η λαμβανόμενη ισχύς.

Ενώ το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα, παρ' όλα αυτά υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπιστούν. Από την άποψη του υλικού (hardware), η ακρίβεια των τοπικών ταλαντωτών ή και των κυκλωμάτων συγχρονισμού πρέπει να είναι πολύ υψηλή. Όταν το απόλυτο εύρος ζώνης είναι 1 GHz, ένας συγχρονισμός παραμόρφωσης σήματος 1 nsec μπορεί, προφανώς, να έχει τις καταστροφικές συνέπειες. Μια άλλη συνέπεια της υψηλής ανάλυσης της καθυστέρησης είναι ότι ένας μεγάλος αριθμός συνιστωσών (MPC's) πρέπει να ληφθεί και να υποβληθεί σε επεξεργασία. Παραδείγματος χάριν, ο αριθμός των εισόδων σε ένα δέκτη τύπου Rake receiver που απαιτείται για να συλλέξει το 90% της διαθέσιμης ενέργειας μπορεί εύκολα να φθάσει σε μερικές δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες. Τέλος η λεπτή ανάλυση της καθυστέρησης μπορεί επίσης να έχει μειονεκτήματα στην έκταση: η συνιστώσα που έχει να κάνει με οπτική επαφή (line – of – sight - component) που πρέπει να ανιχνευθεί από τους αλγορίθμους για την έκταση (ranging algorithms) μπορεί να περιέχει λίγη ενέργεια, και μπορεί έτσι να έχει μια φτωχή αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR).



- **Μεγάλο σχετικό εύρος**

Πάλι ακολουθώντας αυτά που έχει καθορίσει η FCC, συστήματα με ένα σχετικό εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 20% θεωρούνται ως UWB. Ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης μπορεί να ενισχύσει πολύ την σθεναρότητα των σημάτων στην μετάδοση δεδομένων, και μπορεί να παρουσιάζει σημαντικότερα πλεονεκτήματα για τα ραντάρ και την έκταση εύρος (ranging). Διαισθητικά, τα τμήματα του σήματος με διαφορετική συχνότητα 'βλέπουν' διαφορετικές καταστάσεις διάδοσης. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια υψηλή πιθανότητα τουλάχιστον μερικά από αυτά τα τμήματα του σήματος να διαπεράσουν τα εμπόδια ή να βρουν ένα δρόμο να φτάσουν από τον πομπό στον δέκτη. Αυτό το πλεονέκτημα είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό σε συστήματα ζώνης βάσης (baseband system), όπου οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται ξεκινούν από δεκάδες Megahertz και φτάνουν μέχρι 1 Gigahertz. Τα χαμηλής συχνότητας τμήματα μπορεί να διαπεράσουν ευκολότερα τους τοίχους και το έδαφος, ενώ τα υψηλής συχνότητας τμήματα δίνουν τα έντονα ανακλώμενα σήματα. Συνεπώς, το σήμα είναι πιο ισχυρό ενάντια στα φαινόμενα σκίασης (shadowing effects) (σε αντίθεση με τα συστήματα μεγάλου – απόλυτου – εύρους ζώνης, τα οποία είναι πιο ισχυρά στις παρεμβολές μεταξύ των MPCs). Η ικανότητα της διείσδυσης σε τοίχους και πατώματα είναι επίσης πολύ χρήσιμη για τα συστήματα ραντάρ και για τα συστήματα εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης (geolocation systems).

Σε πολλές πρακτικές περιπτώσεις, τα συστήματα μεγάλου-σχετικού-εύρους ζώνης είναι καθαρά συστήματα ζώνης βάσης, δηλ. συστήματα όπου οι παλμοί ζώνης βάσης εφαρμόζονται άμεσα στις κεραίες (καμία συνιστώσα συνεχούς ρεύματος δεν μπορεί να μεταδοθεί). Τέτοια συστήματα έχουν επίσης πλεονεκτήματα και όσον αφορά στην εφαρμογή. Συγκεκριμένα, προλαμβάνουν την ανάγκη για RF τμήματα όπως οι τοπικοί ταλαντωτές και οι αναμίκτες .

Από την άλλη, ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης μπορεί να οδηγήσει σε αξιόλογες περιπλοκές κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων. Οι περισσότερες συσκευές όπως οι κεραίες, οι ενισχυτές κλπ έχουν εγγενή χαρακτηριστικά όμοια με αυτά των συστημάτων περιορισμένης ζώνης που προκύπτουν τόσο από πρακτικούς περιορισμούς, όσο και από θεμελιώδεις αρχές.

Για τις εφαρμογές στα ραντάρ, καθώς επίσης και στα συστήματα επικοινωνιών καταστροφής (disaster communication systems), ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης είναι το σημαντικότερο επιχείρημα για την χρησιμοποίηση UWB. Για άλλα συστήματα επικοινωνιών, ένα μεγάλο εύρος ζώνης είναι κατά κύριο λόγο σημαντικότερο.

### **3.5 ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ**

Οι υπερασπιστές του UWB κάνουν θέμα το γεγονός ότι μία μόνη συσκευή τυπικά χρησιμοποιεί υπερβολικά χαμηλή ενέργεια και το εύρος ζώνης της ελαχιστοποιεί την πιθανότητα της παρεμβολής σε έναν συμβατικό στενής ζώνης (narrowband) δέκτη, στον οποίο το σήμα UWB φαίνεται σαν θόρυβος. Υπάρχουν όμως πολλές αδυναμίες σε αυτά τα επιχειρήματα:

Έχει αποδειχτεί ότι μία μοναδική συσκευή μπορεί να διακόψει τη λειτουργία ενός κοντινού τηλεοπτικού δέκτη. Η πολλαπλασιαστική ενέργεια από έναν μεγάλο αριθμό τέτοιων συσκευών απειλεί κάθε δέκτη στην ευθεία οπτικής επαφής και ειδικά ένα αεροσκάφος σε πτήση και ένα διαστημόπλοιο που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη γη τα οποία μπορούν να “βλέπουν” εκατομμύρια συσκευές που βρίσκονται σε εκατοντάδες χιλιάδες τετραγωνικών μέτρων ή περισσότερα.

Μια συσκευή UWB που απασχολεί περιοδικούς παλμούς, μπορεί να δημιουργήσει μεγαλύτερη παρεμβολή από ότι η μέση πυκνότητα ενεργειακού φάσματος της συσκευής.

Αν το εύρος του παλμού της συσκευής UWB είναι αρκετά χαμηλό συγκριτικά με το εύρος ζώνης του δέκτη της επηρεαζόμενης συσκευής, ο συνεπαγόμενος θόρυβος θα τείνει να ελαττωθεί γρήγορα και το αποτέλεσμα του θα ελαχιστοποιείται. Η προτεινόμενη χρήση του UWB για μεταδόσεις υψηλού ρυθμού δεδομένων, παρόλα αυτά, επιτρέπει τη χρήση παλμών υψηλού εύρους που θα έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή εμφάνιση θορύβου στο δέκτη της επηρεαζόμενης συσκευής.

Το UWB προωθείται για λειτουργία χωρίς άδεια υπό το Part 15 των κανόνων της FCC. Αυτό το Part καλύπτει καταναλωτικά αγαθά όπως συσκευές που ανοίγουν τις πόρτες του γκαράζ και παιχνίδια ράδιο-ελεγχόμενα που δεν μπορούν να πάρουν άδεια όπως τα συμβατικά παιχνίδια.

Για να ελαχιστοποιηθεί η παρεμβολή σε υπηρεσίες, οι συσκευές του Part 15 υπόκεινται σημαντικούς περιορισμούς, όπως περιορισμούς στην ενέργεια ή στην κεραία και λειτουργία σε μία βάση όπου δεν θα υπάρχουν παρεμβολές (non-interference basis ή NIB). Ένας πιο σημαντικός περιορισμός είναι ότι πρέπει να αποφεύγουν καθορισμένες “απαγορευμένες ζώνες” οι οποίες περιλαμβάνουν σημαντικά συστήματα, όπως δορυφόροι και η αεροναυτική ράδιο-πλοήγηση.

Από τη λειτουργία τους, οι συσκευές UWB απασχολούν συνεχόμενες μπάντες του φάσματος. Οι κατασκευαστές έχουν διαβεβαιώσει ότι είναι τεχνικά απραγματοποίητο και απαγορευτικά ακριβό να φιλτράρουν αυτές τις απαγορευμένες μπάντες, κάνοντας το προϊόν τους πλήρως ασύμβατο με το Part 15.

Συγκεκριμένες εφαρμογές του UWB, ιδιαίτερα τα ραντάρ διείσδυσης στο έδαφος, λειτουργούν καλύτερα σε συχνότητες VHF και UHF. Αυτές οι χρήσεις είναι περιορισμένες, τόσο σε αριθμό πιθανών πελατών όσο και στο ποσοστό του χρόνου στο οποίο μία συγκεκριμένη συσκευή θα λειτουργεί. Άλλες εφαρμογές, ειδικά πολλές ευρείας κατανάλωσης χρήσεις, δεν είναι τόσο περιορισμένες. Παρόλα αυτά, αυτές λειτουργούν εξίσου καλά και σε μπάντες κάτω από τα 3 GHz, όπου είναι λιγότερο πιθανό να βλάψουν μετεωρολογικές και άλλες δορυφορικές ζεύξεις, ή σε GPS και σχετικά RNSS συστήματα των οποίων οι χρήστες είναι οι κύριοι αντίπαλοι του UWB.

### **3.6 ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ**

Ολοένα και περισσότερα παγκόσμια ρυθμιστικά σωματεία επεξεργάζονται πιθανούς κανονισμούς και περιορισμούς εκπομπής που θα βοηθούσαν στη λειτουργία UWB συσκευών παγκοσμίως. Η Intel συνεργάζεται με προσπάθειες αρχών στην Ιαπωνία, την Ευρώπη και την Κίνα προκειμένου να επιτύχει ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές της FCC. Οι εναρμονισμένες ρυθμίσεις παγκοσμίως θα παρείχαν ένα σημαντικό όφελος για την UWB τεχνολογία, επιτρέποντας τη μετακίνηση συσκευών ανά τον κόσμο χωρίς διακοπή των υπηρεσιών. Παρόλο που τα ρυθμιστικά σωματεία εκτός των Η.Π.Α. είναι περισσότερο σκεπτικά σχετικά με τη βιωσιμότητα και τη νομιμοποίηση της UWB τεχνολογίας, διεξάγονται πολλές προσπάθειες ώστε αυτό να αλλάξει. Οι οδηγίες της FCC διαμορφώνουν το πλαίσιο για τους παγκόσμιους ρυθμιστικούς κανονισμούς, με τον Καναδά, την Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Κορέα και τη Σιγκαπούρη να εμμένουν σ' αυτούς. Η αποδοχή των ρυθμίσεων αναμένεται σύντομα στην Ευρώπη και την Ασία χάρη στις πειστικές προσπάθειες των Intel, Philips, Sony, Sharp, Panasonic, STMicroelectronics, Texas Instruments, Motorola/XtremeSpectrum και Wisair.

- Ευρώπη

Στην Ευρώπη υπάρχουν αρκετά UWB προγράμματα σε εξέλιξη, όπως τα Ultra-wideband Concepts for Ad hoc Networks (UCAN), Ultra Wideband Audio Video Entertainment System (ULTRAWAVES) και Pervasive Ultra-wideband Low Spectral Energy Radio Systems (PULSERS). Αυτές οι προσπάθειες καθοδηγούνται από εταιρείες, όπως οι STMicroelectronics, Philips, Wisair και XtremeSpectrum. Το πρόγραμμα UCAN έχει εκδώσει αναφορές που επικεντρώνονται στην απώλεια διάδοσης στο UWB κανάλι, στον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο διάδοσης (medium access control, MAC) και στη δρομολόγηση πρωτοκόλλων καθώς και στρατηγικών για επιλογή της διαδρομής διάδοσης. Κάποια μέλη του UCAN συμμετέχουν στην

προετοιμασία ενός προηγμένου προγράμματος, του FP6 (6th Framework of the EU-IST Program) Integrated Project: PULSERS. Οι Philips και Wisair ηγούνται των προγραμμάτων PULSERS και ULTRAWAVES. Η προοπτική του ULTRAWAVES είναι να παρέχει λύσεις υψηλής ποιότητας λειτουργίας και χαμηλού κόστους για ασύρματες οικιακές συνδέσεις, που να υποστηρίζουν εφαρμογές υψηλής ποιότητας βίντεο και ευρυζωνικών πολυμέσων (broadband multimedia). Ένας από τους κύριους στόχους είναι να επικυρωθούν οι προσεγγίσεις του ULTRAWAVES, τα θέματα της συνύπαρξης και άλλα λειτουργικά ζητήματα, σε διάφορα επίπεδα.

Παρόλο που η UWB τεχνολογία δεν ταιριάζει στο σύνηθες ρυθμιστικό παράδειγμα, η τακτική της Ευρωπαϊκής Κοινότητας είναι να είναι ανεκτική και να μην παρεμποδίζει ή να καθυστερεί τις τεχνολογίες. Το European Resuscitation Council (ERC) αναπτύσσει ένα σχέδιο για το πότε μικρής εμβέλειας συσκευές (συμπεριλαμβανομένων των UWB συστημάτων) μπορούν να λειτουργούν υπό ειδικές συνθήκες.

Το Σεπτέμβριο του 2002, μετά από παρακίνηση από εταιρείες όπως οι XtremeSpectrum, Texas Instruments, Intel, Sony, Sharp και Panasonic, το υπουργείο Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications (MPHPT), στην Ιαπωνία, με το Συμβούλιο Τηλεπικοινωνιών (Telecommunications Council ) ξεκίνησε μια έρευνα με θέμα «Τεχνικές Συνθήκες για UWB Ραδιο-συστήματα» («Technical Conditions for UWB Radio Systems.»). Το Συμβούλιο έπρεπε να την εκδώσει ένα χρόνο αργότερα. Ωστόσο, η κατάσταση δεν είναι ακόμα γνωστή. Τον Απρίλιο του 2003, οι ερευνητές της Intel επεξεργάζονταν τις ρυθμίσεις του υπουργείου MPHPT προκειμένου να επιτραπεί η πρώτη δημόσια UWB εκπομπή στην Ιαπωνία, η οποία, τελικά, έλαβε χώρα στο Intel Developer Forum.

Το φθινόπωρο του 2005, οι Ιάπωνες και Ευρωπαίοι αρμόδιοι για τη ρύθμιση της συχνότητας συνέταξαν ένα προσχέδιο κανονισμών. Αυτοί προέβλεπαν ότι η λειτουργία επιτρέπεται στις ζώνες συχνοτήτων 3,1-4,8GHz και 7-10GHz, παραλείποντας τη ζώνη γύρω από τα 5GHz.

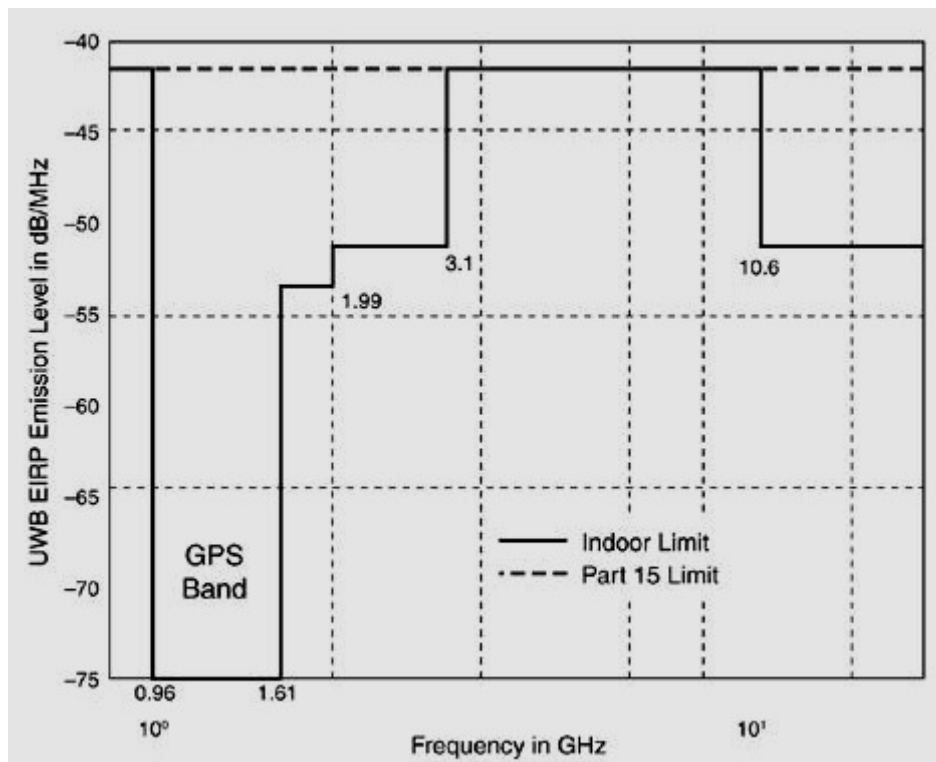
- Σιγκαπούρη

Από το Φεβρουάριο του 2003, η αρχή Infocomm Development Authority (IDA) της Σιγκαπούρης έχει ξεκινήσει ένα UWB πρόγραμμα. Ο στόχος αυτού του διετούς προγράμματος ήταν να ενθαρρύνει τον πειραματισμό στην UWB τεχνολογία μέσω της εισαγωγής πιλοτικών ρυθμίσεων, να συλλέξει πειραματικά αποτελέσματα για να καθορίσει ρυθμίσεις που θα επέτρεπαν μελλοντική εμπορική εκμετάλλευση, και να δημιουργήσει ένα “οικοσύστημα” UWB παικτών και χρηστών. Η IDA θα εισάγει

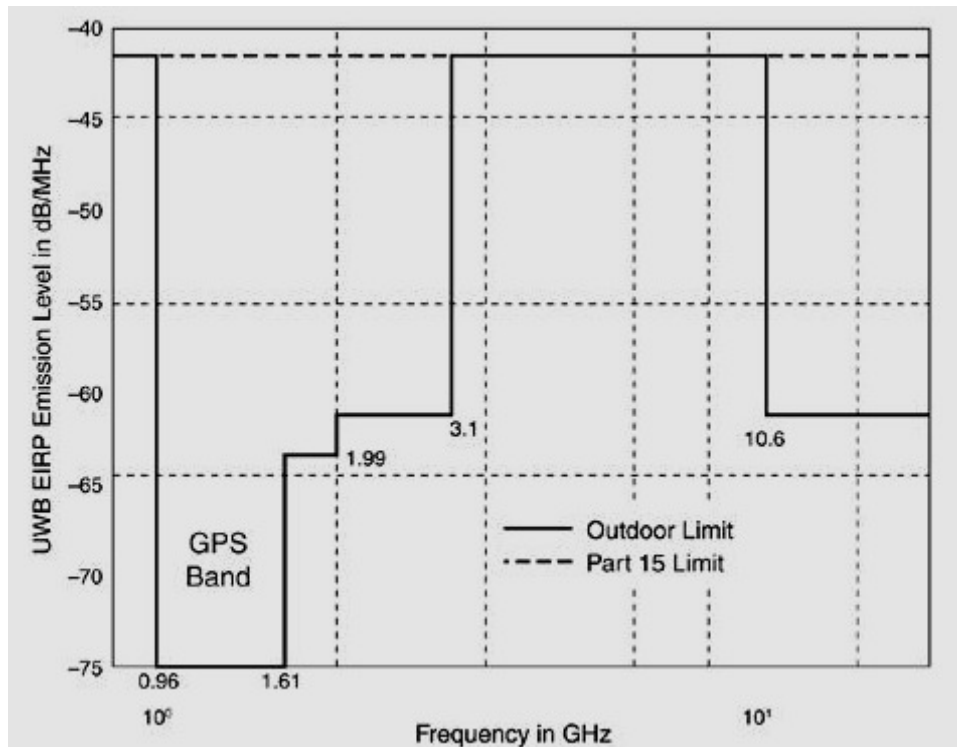
ρυθμίσεις για να επιτρέψει ελεγχόμενες UWB εκπομπές στα όρια ενός Πάρκου Επιστημών (Science Park) καθώς και τη φιλοξενία μιας σειράς μελετών πάνω στην UWB συμβατότητα. Το πρόγραμμα επιτρέπει πειραματισμούς με πιο χαλαρούς κανόνες από αυτούς της FCC στα θέματα των ορίων εκπομπής και του τύπου λειτουργίας. Για παράδειγμα, πιλοτικές άδειες θα έχουν την ελευθερία να θέτουν σε λειτουργία τις συσκευές τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, χωρίς κανέναν περιορισμό στο αν αυτές θα τροφοδοτηθούν από μπαταρίες ή από ac παροχές.

### **3.7 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της FCC, οι UWB συσκευές ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες: επικοινωνιών, απεικόνισης και ραντάρ. Για τις συσκευές τηλεπικοινωνιών, η FCC έχει καθορίσει διαφορετικά όρια εκπομπής για τις περιπτώσεις των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Το φασματικό περιεχόμενο για τις συσκευές εξωτερικού χώρου είναι 10dB χαμηλότερο από το αντίστοιχο των εσωτερικού χώρου, στην περιοχή 1.61-3.1GHz, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. [2]



Σχήμα 3.9 : Περιορισμοί εκπομπής για απεικονιστικά συστήματα διαμέσου τοίχων



Σχήμα 3.10: Περιορισμοί εκπομπής για συστήματα ραντάρ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΣΩ UWB

### 4.1 UWB ΚΕΡΑΙΕΣ

Για τις πιθανές UWB συσκευές, ο σχεδιασμός των κεραιών είναι ένα προκλητικό ζήτημα. Αφ' ενός, για να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί δεδομένων στην ασύρματη μετάδοση, τα συστήματα UWB καταλαμβάνουν συνήθως εξαιρετικά μεγάλα εύρη ζώνης, συνήθως της τάξης GHz. Μέσα στα λειτουργικά εύρη ζώνης, οι UWB κεραιές πρέπει να έχουν σταθερή απόκριση όσον αφορά στο ταίριασμα σύνθετης αντίστασης, στο κέρδος, στα διαγράμματα ακτινοβολίας, στη φάση, και στην πόλωση. Επίσης, οι απαιτήσεις για τις κεραιές περιλαμβάνουν μικρό μέγεθος, σύμμορφο σχήμα, χαμηλότερο κόστος και εύκολη ένταξη σε άλλα RF κυκλώματα. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για τα μεγάλα εύρη ζώνης συνδέονται με άλλους κρίσιμους περιορισμούς όπως το μικρό μέγεθος και το χαμηλότερο κόστος επειδή οι περισσότερες UWB εφαρμογές θα είναι φορητές συσκευές.

Από την άλλη, προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές inband/outband παρεμβολές μεταξύ των UWB συστημάτων και των υπαρχόντων ηλεκτρονικών συστημάτων, οι υπεύθυνοι για τις ρυθμίσεις συχνότητας, πρέπει να καθορίσουν τα όρια εκπομπής για τις εφαρμογές.

## **4.2 ΚΙΝΗΤΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ UWB ΚΕΡΑΙΩΝ**

Η έξαρση της UWB τεχνολογίας είχε και έχει σημαντική επίδραση στη σχεδίαση κεραιών, δεδομένου ότι η έρευνα πάνω στις κεραίες για τα περισσότερα narrowband συστήματα είναι σχετικά ώριμη και συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι οι κεραίες ήταν και είναι μια θεμελιώδης πρόκληση των UWB ραδιοσυστημάτων. Η κυριότερη πρόκληση στη σχεδίαση UWB κεραιών είναι η επίτευξη του μεγάλου εύρους ζώνης σύνθετης αντίστασης (impedance bandwidth) διατηρώντας υψηλή αποδοτικότητα εκπομπής. Καλύπτοντας 7.5GHz φάσματος, αυτό το εύρος ζώνης ξεφεύγει από τον τυπικό ορισμό της ευρυζωνικής κεραίας. Οι UWB κεραίες τυπικά πρέπει να διατηρούν ένα εύρος ζώνης που ξεπερνά το 100% της κεντρικής συχνότητας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική προσαρμογή σύνθετης αντίστασης σ' όλο το εύρος προκειμένου να περιοριστεί η απώλεια ισχύος, λόγω ανακλάσεων, σε λιγότερο από 10% στις τερματικές κεραίες.

Εκτός αυτού, απαιτείται γραμμική φάση για βέλτιστη λήψη του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, η οποία αντιστοιχεί σε σχεδόν σταθερή καθυστέρηση ομάδας (group delay). Αυτό ελαχιστοποιεί και την παραμόρφωση του παλμού κατά τη διάρκεια της διάδοσης. Επίσης, ιδιαίτερα απαραίτητη είναι η μεγάλη αποδοτικότητα, για τις UWB εφαρμογές. Εφόσον η ισχύς εκπομπής είναι τόσο χαμηλή (κάτω από το επίπεδο του θορύβου), η απώλεια ισχύος λόγω διηλεκτρικών και οι απώλειες αγωγών πρέπει να ελαχιστοποιηθούν. Τυπικά, οι κεραίες του εμπορίου επιτυγχάνουν αποδοτικότητα της τάξης του 50-60% λόγω των απωλειών που οφείλονται στα διηλεκτρικά υλικά. Απώλεια ισχύος κατά 50% είναι απαράδεκτη στην UWB τεχνολογία, αφού κάτι τέτοιο επιβάλλει εξαιρετική ευαισθησία δέκτη (πολύ μικρή) ώστε να λαμβάνεται το εκπεμπόμενο σήμα. Επιπλέον απώλειες υποβαθμίζουν τη λειτουργικότητα του συστήματος. Οι φυσικοί περιορισμοί απαιτούν συμβατότητα με φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Συνεπώς, χρειάζεται μια μικρή, συμπαγής και επίπεδη κεραία. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των UWB κεραιών.

Δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετοί επιπρόσθετοι περιορισμοί και προκλήσεις για τη σχεδίαση μιας UWB κεραίας, το κίνητρο της σχεδίασης είναι προφανές.[11]

VSWR Bandwidth	3.1-10.6 GHz
Αποδοτικότητα	Υψηλή (>70%)

Φάση	Σχεδόν γραμμική => σταθερή καθυστέρηση ομάδας
Διάγραμμα ακτινοβολίας	Παγκατευθυντικό (omnidirectional)
Κατευθυντικότητα και κέρδος	Χαμηλά
Εύρος ζώνης ημίσειας ισχύος (HPBW)	Μεγάλο (> 60%)
Φυσικά χαρακτηριστικά	Μικρή, συμπαγής, επίπεδη

**Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των UWB κεραιών**

### **4.3 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

Με τον όρο διαμόρφωση όταν αναφερόμαστε στο UWB εννοούμε την ενσωμάτωση των δεδομένων στους παλμούς. Καθώς βρισκόμαστε σε βασική ζώνη, αυτή η διαμόρφωση μπορεί να επηρεάσει τη χρονική θέση ή το πλάτος του παλμού. Κάποιες τεχνικές επίσης προτείνουν μεταβολή μιας τρίτης παραμέτρου, του σχήματος του παλμού. Συνοπτικά, στη βιβλιογραφία αναφέρονται οι τεχνικές:

1. PPM (Pulse Position Modulation)

Διαμόρφωση Θέσης Παλμού

2. BPM (Bi-Phase Modulation)

Διφασική διαμόρφωση. Αυτό είναι το αντίστοιχο του BPSK (σήματα διαμορφωμένου φορέα ημιτόνου)

3. OPM / PSM (Orthogonal Pulse Modulation, Pulse Shape Modulation)

Διαμόρφωση Ορθογώνιων Παλμών, Διαμόρφωση Σχήματος Παλμού

4. PAM (Pulse Amplitude Modulation)

Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού

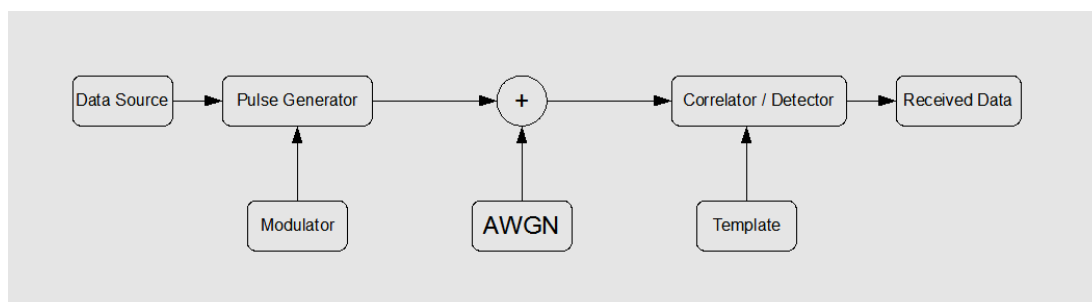
5. OOK (On-Off Keying)



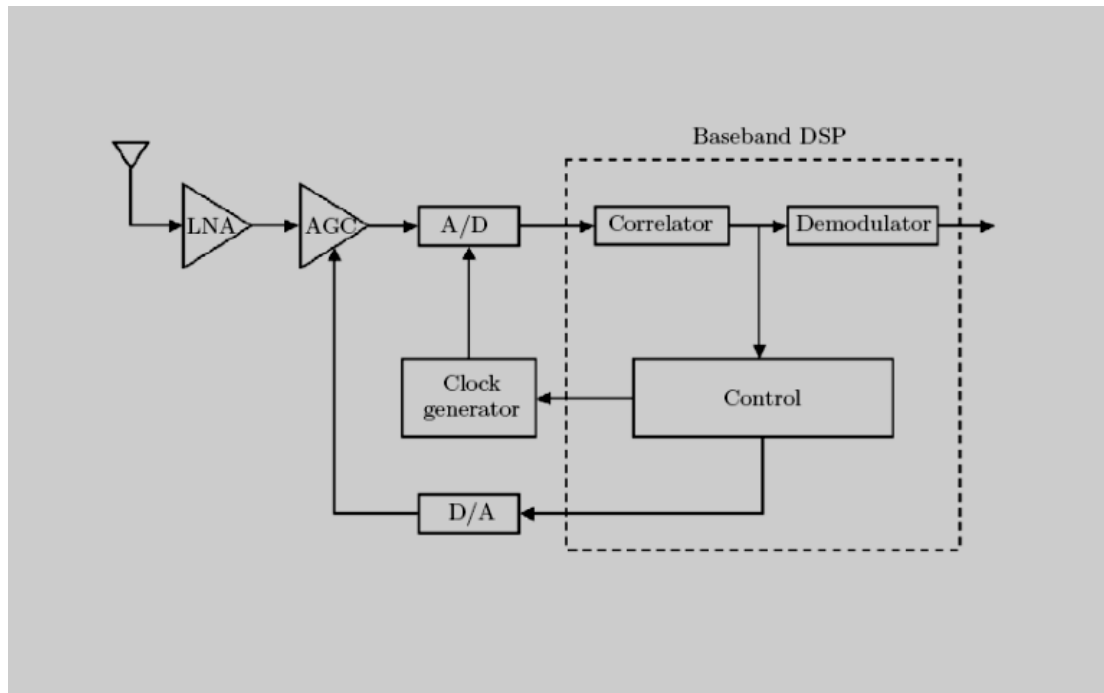
### 4.3.1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΔΕΚΤΗΣ

Όποια και αν είναι η διαμόρφωση του UWB σήματος, πρέπει να αναφέρουμε ότι ο δέκτης θα είναι ο βέλτιστος ML δέκτης συσχετιστών (correlator detector). Αυτός ο δέκτης είναι βέλτιστος για το AWGN κανάλι[12].

Η θεωρία Ψηφιακών Επικοινωνιών αναφέρει πως για τη μετάδοση πληροφορίας με την ελάχιστη επίδραση του θορύβου στο κανάλι AWGN, αρκεί να πολλαπλασιάσουμε το σήμα μας (διάρκειας ενός συμβόλου) με κάποιες συναρτήσεις βάσης και να ολοκληρώσουμε το αποτέλεσμα (correlator). Το αποτέλεσμα αυτό το τοποθετούμε πάνω στον αστερισμό και εντοπίζουμε το σύμβολο του αστερισμού που έχει την ελάχιστη απόσταση από αυτό. Η επιλογή των συναρτήσεων βάσης εξαρτάται από την τεχνική διαμόρφωσης. Εδώ θα σημειώσουμε ότι με τον όρο αστερισμός ονομάζουμε τη γραφική παράσταση όλων των πιθανών συμβόλων ενός συστήματος στο χώρο των σημάτων[13].



Σχήμα 4.1: Απλοποιημένο Block Διάγραμμα για σύστημα μετάδοσης UWB



Σχήμα 4.2: Ψηφιακός Δέκτης UWB

#### 4.3.1.1 PPM

- Σηματοδοσία

Η τεχνική PPM είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές για UWB. Οι λόγοι σύμφωνα με τα [14][3], είναι η απλότητα της υλοποίησής του και το γεγονός ότι σε ένα σύστημα PPM μπορούμε εύκολα να ενσωματώσουμε ψευδό-τυχαία μετακίνηση των παλμών, που εξομαλύνει το φάσμα. Αυτή η τεχνική βασίζεται στη χρονική μετακίνηση των παλμών η οποία παλαιότερα ήταν πιο εύκολη από τον πολλαπλασιασμό του πλάτους των παλμών[15], και έτσι διαδόθηκε η μέθοδος. Ορίζονται κάποια χρονικά διαστήματα τα οποία ονομάζονται chips και μέσα σε αυτά ορίζεται μια θέση για καθένα από τα σύμβολα που θέλει να μεταδώσει το σύστημα. Ο χρόνος ενός chip ( $T_c$ ) ορίζει την περίοδο συμβόλων και η ταχύτητα μετάδοσης bit θα είναι:

$$R = \log_2 M / T_c.$$

- Δέκτης

Το λαμβανόμενο σήμα στο δέκτη είναι:

$$r(t) = s(t) + n(t),$$

όπου  $n(t)$  είναι θόρυβος AWGN.

Από πρακτικής απόψεως, για κάθε σύμβολο θα έχουμε και ένα ξεχωριστό correlator. Στην περίπτωση όμως που  $M = 2$ , τότε αρκεί ένας correlator που θα έχει ως template τη διαφορά των δύο συναρτήσεων βάσης. Στη συνέχεια, από τη σύγκριση της εξόδου του correlator με το 0 καταλαβαίνουμε αν το λαμβανόμενο δεδομένο ήταν 0 ή 1.

- Απόδοση Συστήματος

Παρατηρώντας τον αστερισμό του συστήματος (για το 2-PPM) η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου-bit ( $P_e$ ) δίνεται από τον τύπο:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{2\sigma^2}}\right)$$

όπου:

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

και

$$E_b = \int_{-\infty}^{\infty} s^0(t)^2 dt$$

είναι η ενέργεια σήματος ενός bit,  $\sigma^2$  είναι η διασπορά του AWGN. Η  $P_e$  ισούται με το Bit Error Rate καθώς ένα σύμβολο έχει την πληροφορία ενός bit.

#### 4.3.1.2 BPM

- Σηματοδοσία

Το σύστημα διφασικής διαμόρφωσης πολλαπλασιάζει τον παλμό με την τιμή +1 όταν το bit που μεταδίδεται είναι '1' και με την τιμή -1 όταν μεταδίδεται '0'. Προφανώς, αυτό το σύστημα λειτουργεί μόνο με ένα σύμβολο ανά bit, δηλαδή  $M = 2$ .

Πλέον, η υλοποίηση πολλαπλασιασμού των παλμών γίνεται ευκολότερα λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και μέθοδοι διαμόρφωσης πλάτους εξετάζονται σαν εναλλακτικές περιπτώσεις αντί για το PPM.

Η εξίσωση του σήματος είναι:

$$s(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} A_{a_j} w(t - jT_c)$$

όπου  $w(t)$  είναι ο παλμός,  $T_c$  η διάρκεια του chip,  $a_j$  τα δεδομένα με τιμές 0 ή 1 και  $A_{a_j}$  είναι το πλάτος που αντιστοιχεί στα δεδομένα μας.

- Δέκτης

Εδώ έχουμε μόνο μία συνάρτηση βάσης και το template μας αποτελείται απλώς από τον παλμό, ο οποίος είναι ταυτόχρονα και η συνάρτηση βάσης.

Η συνάρτηση απόφασης είναι:

$$Decide'1' \iff H_1 > 0 \iff \int_{jT_c}^{(j+1)T_c} r(t)w(t - jT_c)dt > 0$$

- Απόδοση Συστήματος

Παρατηρώντας τον ασταρισμό του συστήματος και σύμφωνα με το [12] η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου-bit ( $P_e$ ) δίνεται από τον τύπο:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{\sigma^2}}\right)$$

#### **4.3.1.3 PAM, OOK**

Σε αυτές τις περιπτώσεις, το μόνο που αλλάζει από το BPM είναι ότι η ποσότητα  $A_{a_j}$  παίρνει διαφορετικές τιμές.

Στο OOK το '0' αντιστοιχεί σε  $A = 0$  και το '1' σε  $A = 1$ , γεγονός που κάνει δύσκολο το συγχρονισμό, καθώς όταν μεταδίδεται μια σειρά από '0' το σήμα εξόδου θα είναι ανύπαρκτο. Το PAM είναι η περίπτωση όπου έχουμε μια μόνο συνάρτηση βάσης και θέλουμε να μεταδώσουμε  $M$  σύμβολα. Αναγκαστικά θα πολλαπλασιάσουμε τον

παλμό μας με διαφορετικές τιμές πλάτους. Αυτό αυξάνει όμως την ενέργεια εκπομπής γεγονός που δεν συνάδει με τη χαμηλή ενέργεια που απαιτούν τα πρότυπα του UWB.

#### **4.3.1.4 OPM/PSM**

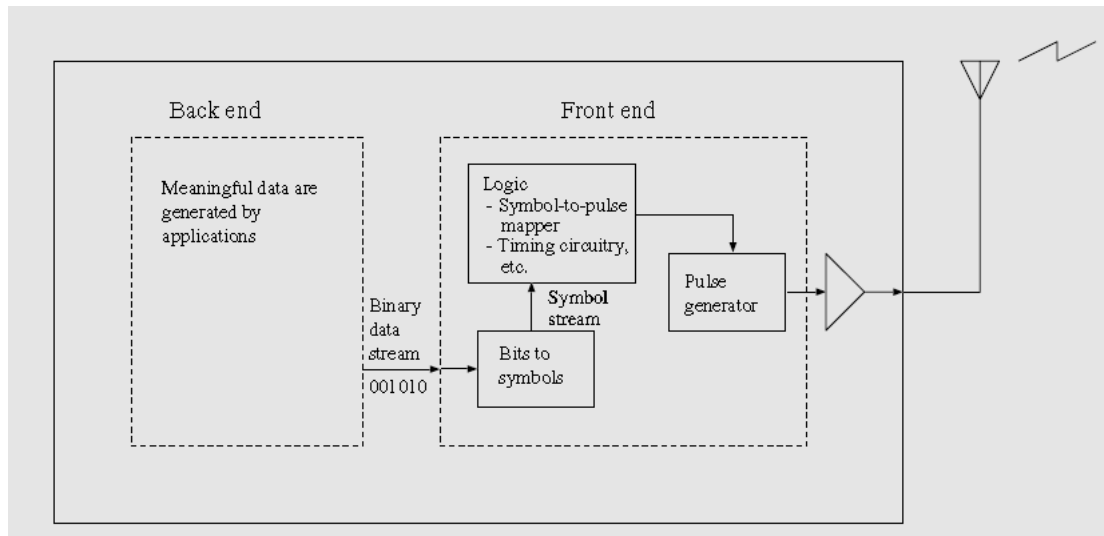
Στην τεχνική διαμόρφωσης ορθογωνίων παλμών, όλοι οι υπολογισμοί είναι ίδιοι με το PPM, με τη μόνη διαφορά ότι οι ορθογωνιότητα των συναρτήσεων έγκειται στο σχήμα των παλμών. Ενώ στο PPM οι δύο συναρτήσεις είναι ορθογώνιες επειδή η μία είναι μετατόπιση της άλλης, στο OPM οι δύο συναρτήσεις έχουν επικάλυψη στο χρόνο, είναι όμως ορθογώνιες. Στη βιβλιογραφία για αυτό το σκοπό αναφέρονται οι συναρτήσεις Hermite και οι Prolate Spheroidal WaveFunctions [3].

#### **4.3.1.5 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ**

Πολλοί συνδυασμοί των παραπάνω τεχνικών έχουν εμφανιστεί σε ερευνητικές εργασίες, με σκοπό να δημιουργηθεί μια τεχνική που να κρατά χαμηλά τη μέση ενέργεια και ταυτόχρονα να μειώσει την πιθανότητα λάθους συμβόλου.

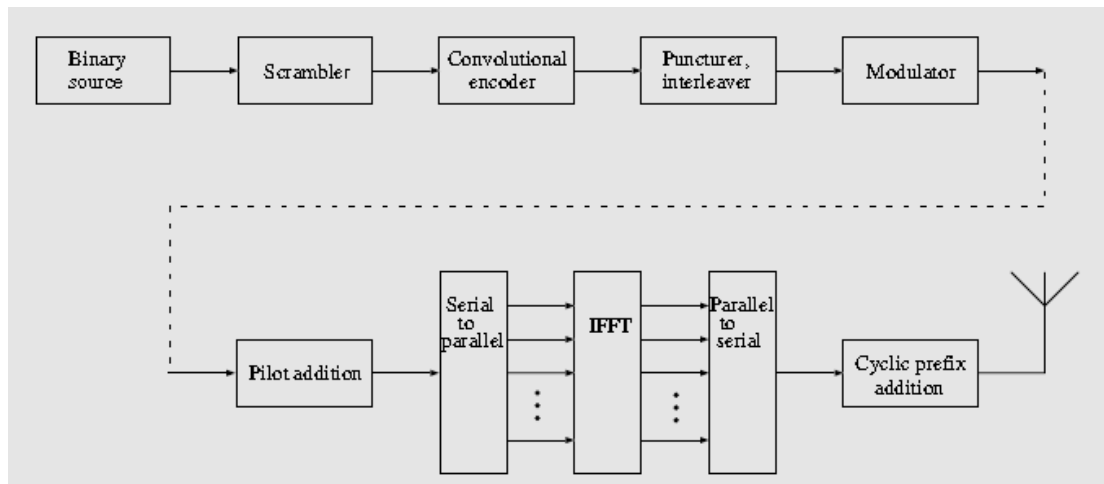
#### **4.3.2 ΠΟΜΠΟΣ UWB**

Ένα γενικό σχηματικό διάγραμμα UWB πομπού παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Κατ' αρχάς, τα σημαντικά δεδομένα παράγονται από εφαρμογές που είναι ξεχωριστές από τον φυσικού στρώματος πομπό. Οι εφαρμογές μπορεί να είναι πελάτες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μια μηχανή αναζήτησης ιστού σε έναν προσωπικό υπολογιστή, μια ημερολογιακή εφαρμογή σε έναν προσωπικό ψηφιακό βοηθό (PDA) ή μια ψηφιακή ροή δεδομένων από ένα DVD player. Αυτό το μέρος της ασύρματης συσκευής καλείται συχνά “back end” και έχει αυτή την ορολογία εξαιτίας της θέσης που βλέπει ο δέκτης τον πομπό.



**Σχήμα 4.3: Σχηματικό διάγραμμα πομπού**

Η δυαδική ροή πληροφοριών περνά έπειτα στο “front end”, το οποίο είναι το μέρος του πομπού το οποίο χρήζει και μεγαλύτερου ενδιαφέροντος. Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν υψηλότερου επιπέδου σχήματα διαμόρφωσης, οι δυαδικές πληροφορίες πρέπει να τροποποιηθούν από ψηφία σε σύμβολα, με κάθε σύμβολο να αντιπροσωπεύει έναν αριθμό από ψηφία. Αυτά τα σύμβολα κατόπιν αντιστοιχίζονται σε μια μορφή αναλογικού παλμού. Οι παλμοί αυτοί παράγονται από την γεννήτρια παλμών (pulse generator). Απαιτούνται ακριβή κυκλώματα συγχρονισμού προκειμένου να σταλούν παλμοί έξω σε διαστήματα. Εάν το PPM υιοθετείται, τότε ο συγχρονισμός πρέπει να είναι ακόμη πιο ακριβής, συνήθως λίγο λιγότερο από το πλάτος ενός παλμού. Προαιρετικά, οι παλμοί μπορούν να ενισχυθούν πριν φτάσουν στον πομπό. Γενικά εν τούτοις, το να επιτευχθούν οι απαιτήσεις της φασματικής ισχύος για μεγάλο κέρδος δεν είναι αναγκαίο. Αν και αυτό είναι ένα εξαιρετικά απλοϊκό μοντέλο πομπού, το οποίο δεν απαιτεί κανένα σχήμα διόρθωσης σφάλματος (forward error – correcting scheme), και έτσι αποδεικνύει την απλοϊκότητα κατασκευής UWB πομπών. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα πομπού OFDM από το οποίο διακρίνεται ότι αυτού του είδους ο πομπός είναι πολύ πιο πολύπλοκος από τον UWB.



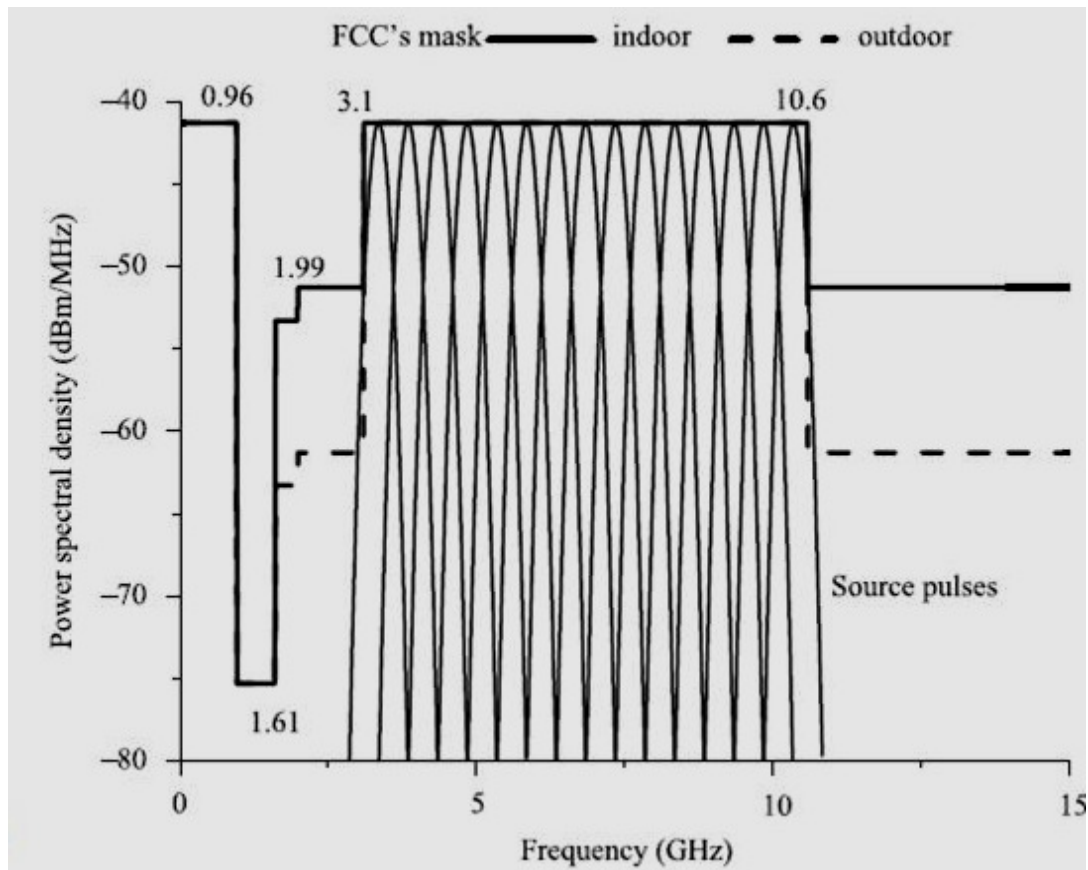
Σχήμα 4.4 : Σχηματικό διάγραμμα OFDM πομπού

#### **4.4 ΣΧΗΜΑΤΑ MULTIBAND ΚΑΙ SINGL-BAND**

Τα UWB συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την UWB ζώνη με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα έχουν προταθεί τα σχήματα πολλαπλής ζώνης (single/multicarrier) και μονής ζώνης (single-band) για τα UWB συστήματα. Προκειμένου να συμβαδίζουν με τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής, ο σχεδιασμός των παλμών της πηγής και οι κεραίες μετάδοσης υπόκεινται σε συγκεκριμένα σχέδια συστημάτων.

Κάτω από τα σχήματα πολλαπλής ζώνης, η διαθέσιμη UWB ζώνη μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες υπό-ζώνες. Κάθε ένας από τους παλμούς της πηγής διαμορφώνεται έτσι ώστε να καταλάβει μόνο μία υπό-ζώνη.

Παραδείγματος χάριν στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η μορφή 15 ομοιόμορφων υπό-ζωνών για την UWB ζώνη των 7.5 GHz, όπου τα εύρη ζώνης των 10dB είναι των 500MHz.



Σχήμα 4.5: Παλμοί και φάσμα σε multiband σχήμα στο πεδίο της συχνότητας

Εναλλακτικά είχε προταθεί αρχικά το μονής ζώνης σχήμα για την UWB τεχνολογία. Οι μονοί ή οι λίγοι παλμοί που παράγονταν από την πηγή, που έχουν συνήθως μια πολύ σύντομη διάρκεια, διαμορφώνονται έτσι ώστε τα φάσματά τους να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος μέσα στην UWB ζώνη για τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μεγάλο S/N. Οι σύντομοι παλμοί μπορούν να μεταδοθούν με ένα φέρον. [2]

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο τρόποι να ικανοποιηθούν οι μάσκες των ορίων εκπομπής. Ο πρώτος είναι να βελτιστοποιηθούν τα φάσματα και ο δεύτερος τρόπος προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μάσκες των ορίων εκπομπής, είναι η προσαρμογή του φάσματος. Χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο, η κεραία μετάδοσης ενεργεί όχι μόνο ως μια συσκευή εκπομπής αλλά και ως φίλτρο, το οποίο σχεδιάζεται για να καταστείλει την ανεπιθύμητη ακτινοβολία εξωτερικά της UWB ζώνης ή μέσα στην συγκεκριμένη ζώνη. Αυτός ο τρόπος καθιστά τον σχεδιασμό των κεραιών πολύπλοκο.



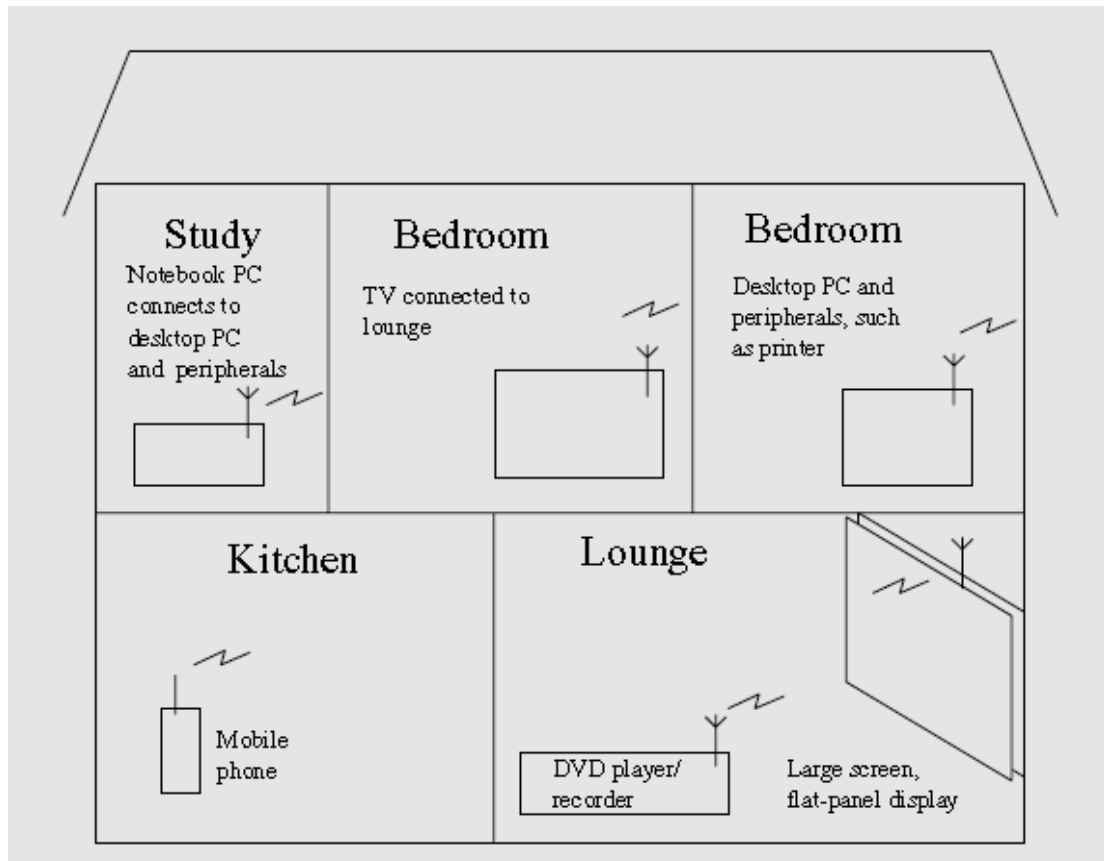
## **4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Πριν αρχίσει η κατασκευή μιας κεραίας ή οποιασδήποτε UWB συσκευής, είναι σημαντικό να διατυπωθεί η εφαρμογή για όποια κατασκευή χρησιμοποιείται. Η χρήση των συστημάτων καθορίζει την θέση τους (η οποία έχει μεγάλη επίδραση στις συνθήκες διάδοσης) και το μέγεθός τους (το οποίο καθορίζει π.χ. το αποδεκτό μέγεθος των κεραιών).

Μια από τις δημοφιλέστερες UWB εφαρμογές είναι η μετάδοση δεδομένων με ένα πολύ υψηλό ρυθμό, συγκεκριμένα μεγαλύτερο από 100Mbit/sec. Τέτοιοι υψηλοί ρυθμοί μπορούν να επιτευχθούν εύκολα λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο εύρος ζώνης των UWB, παρόλα αυτά ο παράγοντας διάδοσης παραμένει μικρός. Ο συνδυασμός του μικρού παράγοντα διάδοσης και της χαμηλής αποδεκτής φασματικής πυκνότητας ισχύος περιορίζει το εύρος τέτοιων συστημάτων στα 10 μέτρα περίπου. Τα δίκτυα που καλύπτουν ένα τέτοιο περιορισμένο εύρος καλούνται συχνά προσωπικά δίκτυα περιοχής (personal area networks, PANS). Τα PANS με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, χρησιμοποιούνται κυρίως για τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και τις προσωπικές εφαρμογές υπολογισμού. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν τη μετάδοση της HDTV (τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας) από ένα μετασχηματιστή ή ένα DVD Player στη τηλεόραση που απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και ασύρματο USB το οποίο μεταδίδει τα δεδομένα στα 480 Mbit /sec μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων ενός υπολογιστή. Για αυτές τις εφαρμογές, οι UWB βρίσκονται σε ανταγωνισμό με τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANS) τα οποία είναι βασισμένα στην πολλαπλής προσπέλασης τεχνολογία κεραιών, όπως τα πρότυπα 802.11n, τα οποία επίσης στοχεύουν στην επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Οι UWB έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους σε συνδυασμό με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ενώ τα WLANS μπορούν να πετύχουν πιο μεγάλο εύρος κάλυψης. Προκειμένου να αυξηθεί ακόμη περισσότερο ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η πιο πιθανή λύση είναι ο συνδυασμός των UWB με πολλαπλές κεραιές.

Οι ασύρματες τεχνικές προσδιορισμού θέσης με χρήση των UWB μπορούν να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο μεγάλη ακρίβεια εντοπισμού θέσης για πολλές εφαρμογές. Μερικές πιθανές χρήσεις περιλαμβάνουν τοπικούς σταθμούς μετάδοσης σήματος για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, την προστασία προσωπικών και περιουσιακών στοιχείων και την πλοήγηση με υψηλή ακρίβεια που έχει εφαρμογή στα οχήματα και στο βιομηχανικό και γεωργικό εξοπλισμό. Τα χαρακτηριστικά των σημάτων UWB παρέχουν την δυνατότητα εντοπισμού μιας τοποθεσίας με ακρίβεια και εκτίμηση της θέσης. Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (global positioning system- GPS) είχε γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα τυποποιημένος τρόπος έρευνας και πλοήγησης, που αντικατέστησε τα μικροκύματα και άλλους τύπους συστημάτων διάδοσης. Ο συνδυασμός των UWB με το GPS δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης.

Τέλος, είναι η εφαρμογή των UWB στην ασύρματη επικοινωνία, η οποία είναι αναμφισβήτητα ο λόγος για τον οποίο τα UWB έγιναν μέρος του ασύρματου κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης εγχώριας δικτύωσης, της χρήσης σε κτίρια γραφείων και τους επιχειρησιακούς πυρήνες, τους ασύρματου USB ποντικιού, του πληκτρολογίου, των ασύρματων ομιλητών, του ασύρματου USB, της μεγάλης ταχύτητας WPAN/WBAN, των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, της ασύρματης τηλεμετρίας και της τηλεϊατρικής.



**Σχήμα 4.6:** Ένα πιθανό οικιακό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί UWB

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

### 5.1 ADVANCED DESIGN SYSTEM

Η σύγχρονη πρακτική έχει αποδείξει ότι για τη σωστή σχεδίαση, προσομοίωση και κατασκευή κυκλωμάτων και συστημάτων, πολύ χρήσιμα έως απαραίτητα είναι τα σχεδιαστικά πακέτα-εργαλεία σε μορφή λογισμικού. Από τα πλέον γνωστά υπολογιστικά πακέτα αυτού του τύπου είναι το Advanced Design System (ADS). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, η σχεδίαση των επιθυμητών κυκλωμάτων και μια πρώτη προσομοίωση της συμπεριφοράς τους έγινε εξ' ολοκλήρου με το εργαλείο αυτό.

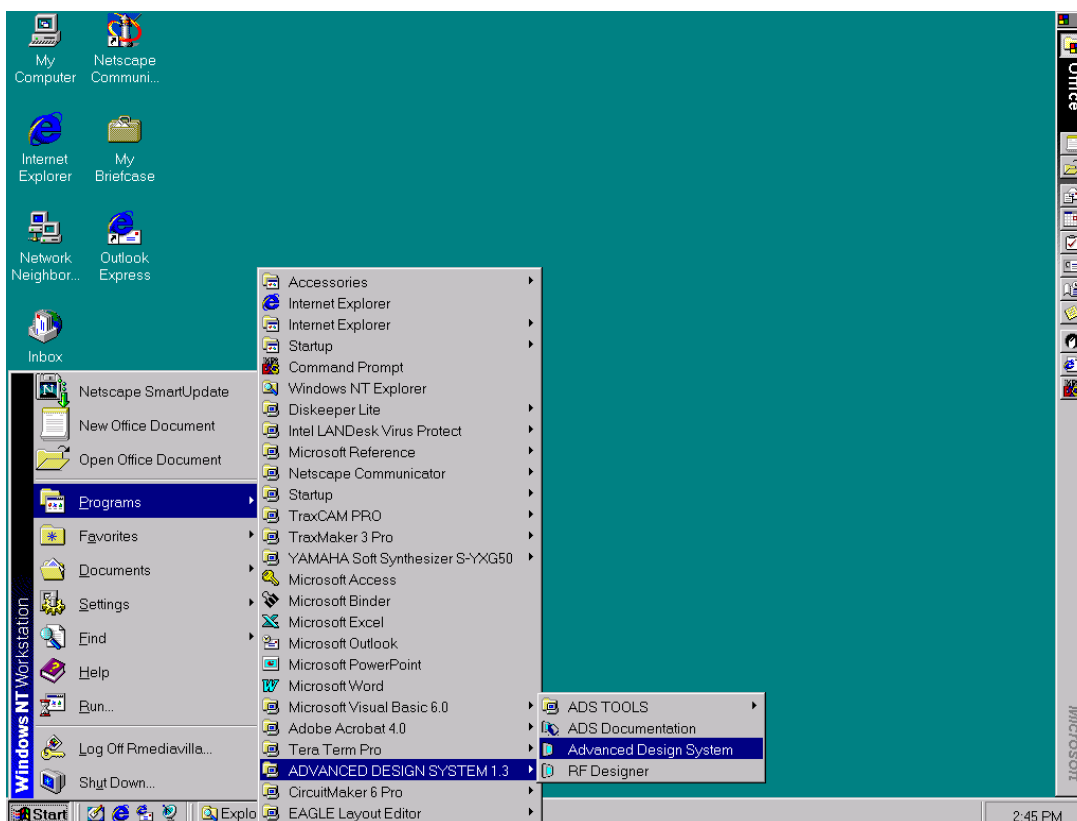
Το ADS είναι ένα λογισμικό, που δημιουργήθηκε εκτός των άλλων, για την εξομοίωση ολόκληρου του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Ενσωματώνει μια πληρέστατη ποικιλία από δοκιμασμένα, σχεδιαστικά εργαλεία, για όλο το φάσμα των τηλεπικοινωνιών, σε ένα απλό και ευέλικτο περιβάλλον εργασίας. Η έκδοση, που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας, είναι αυτή του 2008, που κατέχει όλες τις ιδιότητες των προγενέστερων πακέτων ADS, προσφέροντας έτσι ολοκληρωμένες δυνατότητες, υψηλής πιστότητας σχεδιασμού. Εργαζόμενοι με το ADS είναι δυνατόν να εξερευνηθούν πολλαπλές, σχεδιαστικές ιδέες.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναλύσουμε το κύκλωμα ενός δέκτη και ενός πομπού UWB (Ultra Wide Band) στο οποίο θα δούμε τις προσομοιώσεις του κυκλώματος και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα. Αυτά τα πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοηθούν και να αξιολογηθούν διάφορες πτυχές της λειτουργίας συστημάτων UWB. Στη σχεδίαση που θα ακολουθήσει χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα στοιχεία από βιβλιοθήκες του προγράμματος.

## 5.2 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ADS

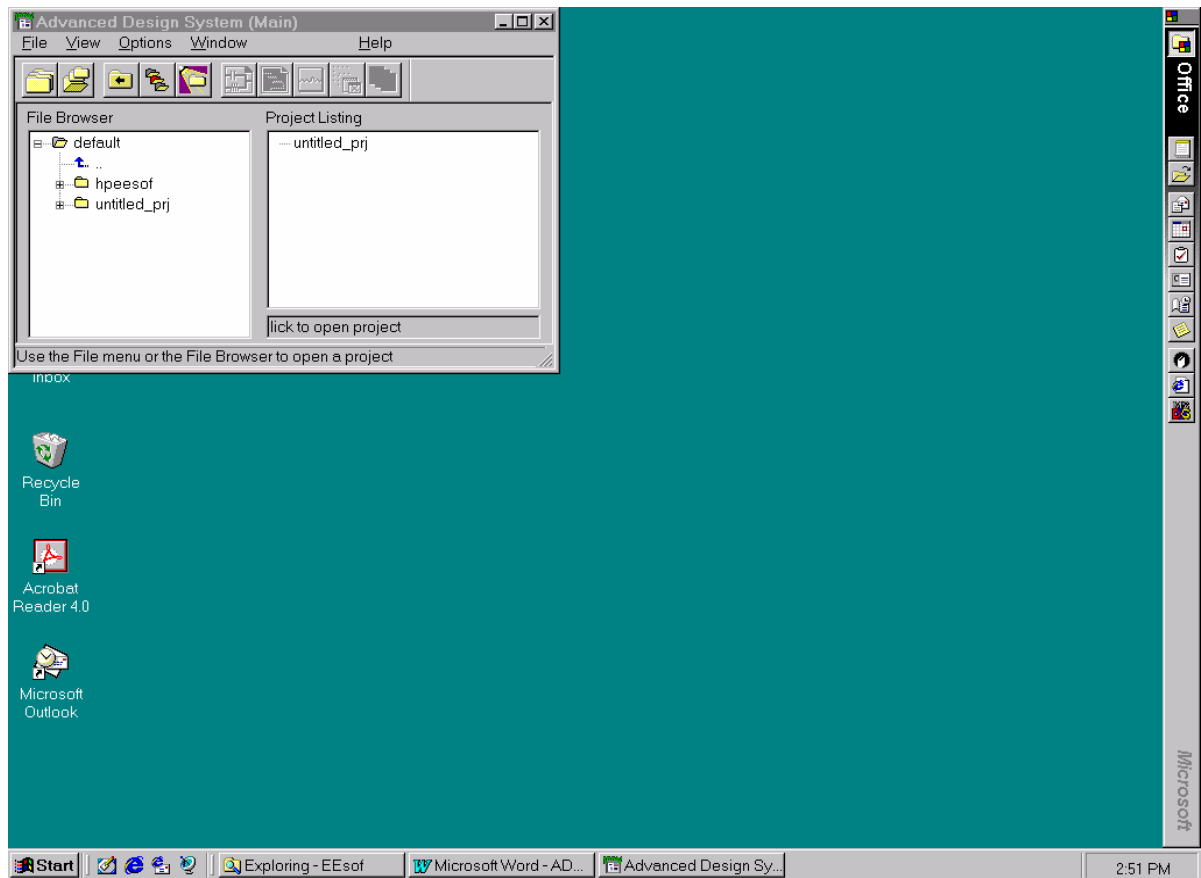
Στις επόμενες παραγράφους θα δούμε αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούμε όταν θέλουμε να ξεκινήσουμε το εργαλείο και να δημιουργήσουμε ένα νέο project.

Το πρώτο βήμα είναι να ξεκινήσουμε την εφαρμογή. Το Σχήμα 5.1. δείχνει πώς μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση στο ADS.



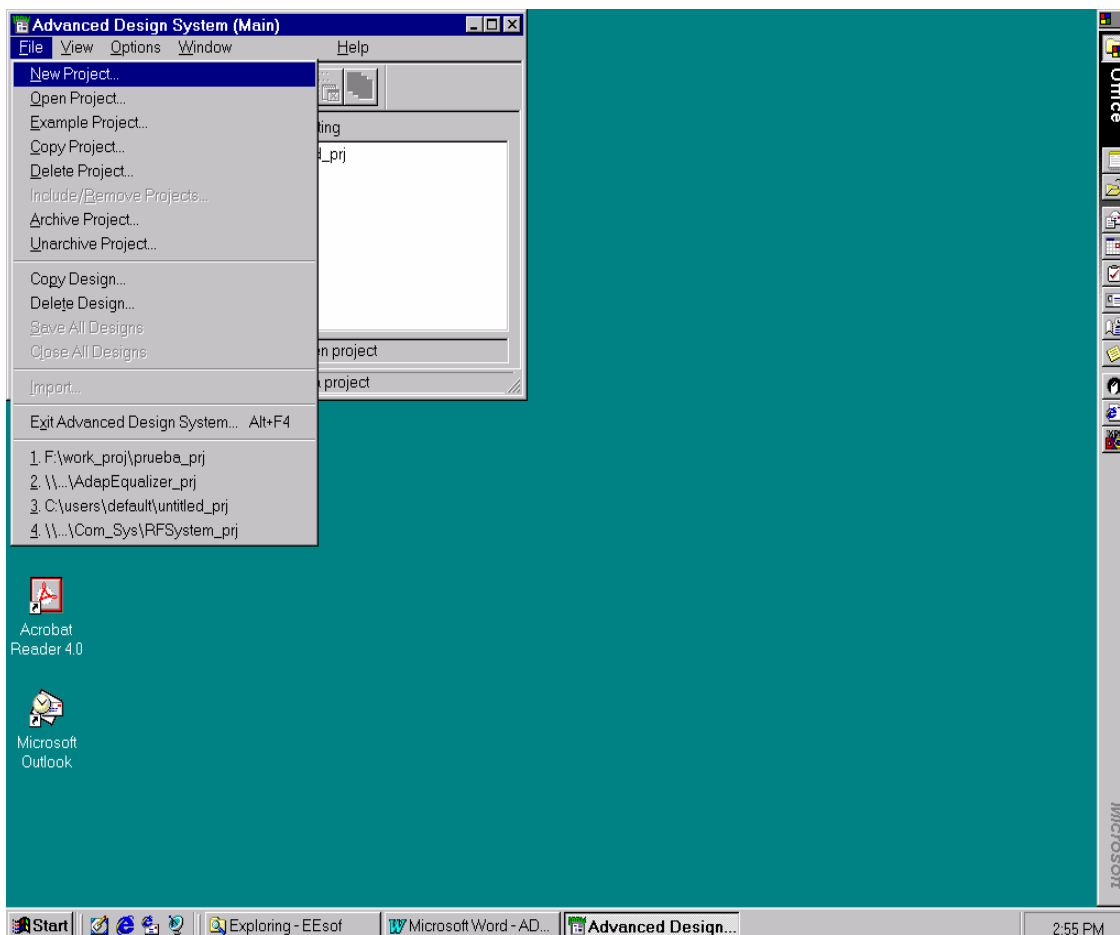
Σχήμα 5.1:Πρόσβαση στην εφαρμογή

Μόλις φορτωθεί η εφαρμογή, βλέπουμε την οθόνη που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2



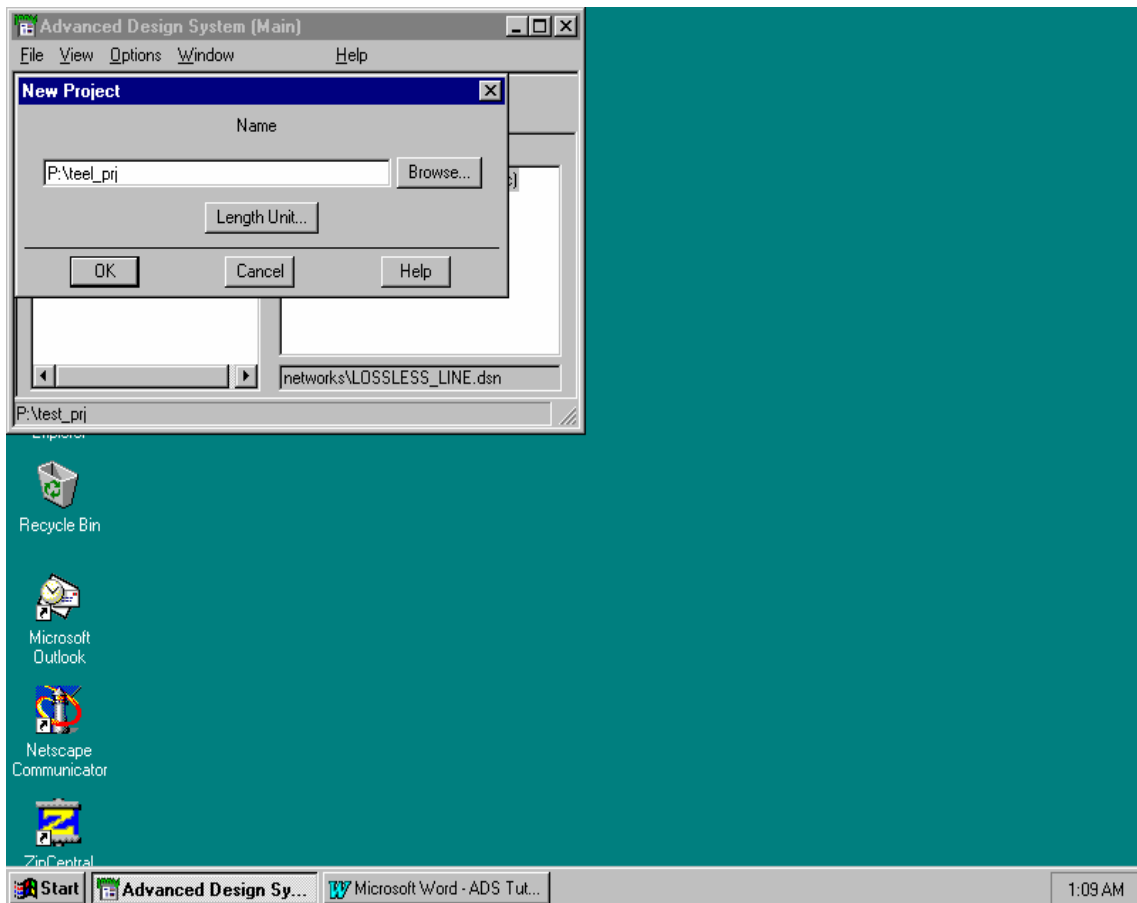
Σχήμα 5.2: Αρχική οθόνη

Για να δημιουργήσουμε ένα νέο project όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3, κάνουμε αριστερό κλικ στο File -> New Project.



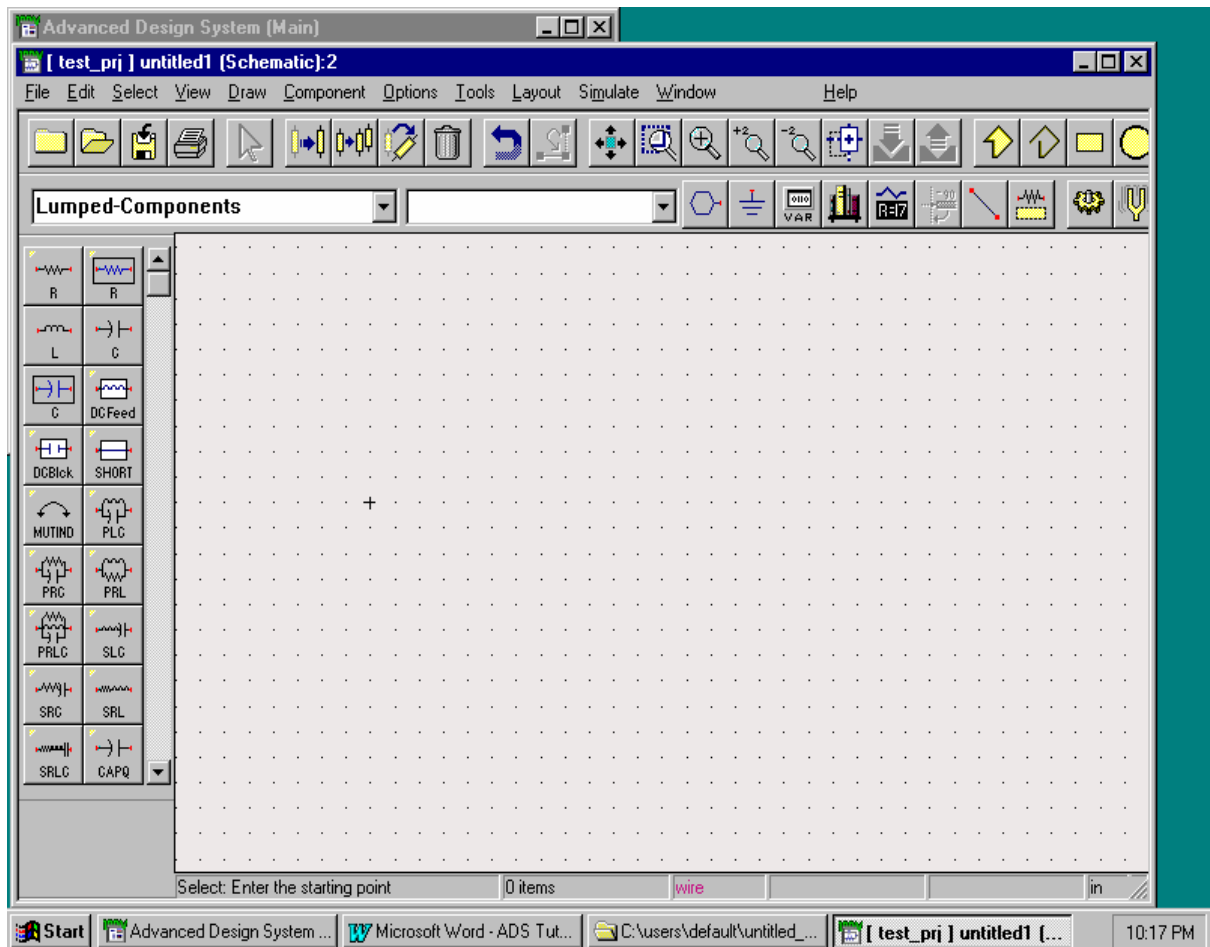
**Σχήμα 5.3: Δημιουργία νέου project**

Το σύστημα θα μας ζητήσει να ορίσουμε το μονοπάτι (διαδρομή) του νέου project. Η προεπιλογή είναι C:\Users\default, αλλά μπορούμε προφανώς να επιλέξουμε οποιαδήποτε άλλη διαδρομή. Όλα τα ονόματα ή οι τίτλοι των project πρέπει να τελειώνουν σε \_prj. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το όνομα του project είναι teel\_prj. Επομένως, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4, η επιλεγμένη διαδρομή είναι P:\teel\_prj (Σημείωση: Την επόμενη φορά που θα μπούμε στην εφαρμογή για να δημιουργήσουμε ένα νέο πρόγραμμα, θα πρέπει να ορίσουμε ένα διαφορετικό όνομα για το νέο project μας).



**Σχήμα 5.4:** Ορισμός της διαδρομής σε νέο project

Ως αποτέλεσμα, το σύστημα θα ανταποκριθεί ανοίγοντας ένα παράθυρο για τη δημιουργία του σχηματικού όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Παράθυρο δημιουργίας σχηματικού



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΔΙΑΦΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

---

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρότυπο MULTIBAND OFDM καθορίζει ένα UWB φυσικό επίπεδο (PHY) για ένα ασύρματο δίκτυο προσωπικής περιοχής (PAN). Χρησιμοποιεί χωρίς άδεια τις συχνότητες από 3100-10600 MHz και υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων στα 53.3, 80, 106.7, 160, 200, 320, 400, 480, 640, 800, 960 και 1024 Mb/s. Η υποστήριξη για τη μετάδοση και παραλαβή δεδομένων πρέπει να είναι υποχρεωτική με τιμές στα 53.3, 106.7 και 200 Mb/s χρησιμοποιώντας ένα συνελκτικό κώδικα. Αν παρέχεται η κωδικοποίηση LDPC για κάθε μια από τις τιμές 160, 200, 320, 400 και 480, τότε και η συνελκτική κωδικοποίηση θα πρέπει επίσης να παρέχεται.

Το φάσμα UWB διαιρείται σε 14 ζώνες, όπου η κάθε μια έχει εύρος ζώνης 528 MHz. Στη συνέχεια οι πρώτες 12 μπάντες ομαδοποιούνται σε 4 ομάδες οι οποίες αποτελούνται από 3 μπάντες η καθεμία. Οι δύο τελευταίες μπάντες ομαδοποιούνται σε μια πέμπτη ομάδα και η έκτη ομάδα ορίζεται εντός του φάσματος που καταλαμβάνουν οι μπάντες 9, 10, 11. Τουλάχιστον μία από τις ομάδες (BG1 - BG6) πρέπει να υλοποιείται.

Το πρότυπο αυτό καθορίζει ένα MultiBand Orthogonal Frequency Division Modulation (MBOFDM) σύστημα για τη μετάδοση πληροφοριών. Ένα σύνολο από 110 sub-carriers (100 φορείς δεδομένων και 10 guard carriers) χρησιμοποιούνται ανά μπάντα για να μεταδώσουν τις πληροφορίες. Επιπλέον, 12 πιλοτικοί subcarriers επιτρέπονται για τη συνεκτική ανίχνευση (coherent detection). Η εξάπλωση στο πεδίου συχνότητας, η εξάπλωση στο πεδίου του χρόνου, η διαμόρφωση και η διόρθωση σφαλμάτων (FEC) χρησιμοποιούνται για την μεταβολή των ρυθμών δεδομένων.

Τα κωδικοποιημένα δεδομένα εξαπλώνονται χρησιμοποιώντας έναν κώδικα χρόνου-συχνότητας (TFC). Το πρότυπο αυτό καθορίζει τρεις τύπους κωδικών συχνότητας χρόνου (TFCs): ο πρώτος τύπος είναι ο Time-Frequency Interleaving (TFI) όπου τα κωδικοποιημένα δεδομένα παρεμβάλλονται πάνω από τρεις μπάντες, ο δεύτερος τύπος αναφέρεται ως two-band TFI ή TFI2 όπου τα κωδικοποιημένα δεδομένα παρεμβάλλονται πάνω από δύο μπάντες, και ο τρίτος τύπος είναι ο Fixed Frequency Interleaving (FFI) όπου τα κωδικοποιημένα δεδομένα μεταδίδονται σε μια

μόνο μπάντα. Επιπλέον, η υποστήριξη για TFI, TFI2 και FFI θα πρέπει να είναι υποχρεωτική.

Εντός των τεσσάρων πρώτων και της έκτης μπάντας, ορίζονται τέσσερις κώδικες χρόνου-συχνότητας όπου χρησιμοποιούν TFI και τρεις κώδικες χρόνου-συχνότητας όπου χρησιμοποιούν την TFI2 και την FFI. Έτσι παρέχεται υποστήριξη για έως και δέκα κανάλια σε κάθε μπάντα. Για την πέμπτη μπάντα ορίζονται δύο κώδικες χρόνου-συχνότητας όπου χρησιμοποιούν FFI και ένας που χρησιμοποιεί TFI2. Για την έκτη ομάδα, τα FFI κανάλια και ένα από τα TFI2 κανάλια επικαλύπτονται πλήρως με τα κανάλια της τρίτης και τέταρτης ομάδας. Όλα τα κανάλια δεν έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι μεταξύ τους ορθογώνια.

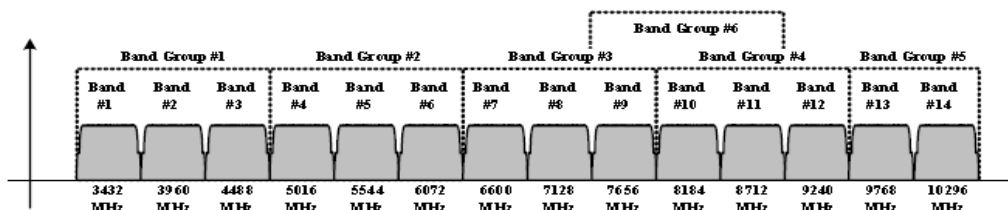
Προβλέπεται ένας μηχανισμός που επιτρέπει στους μεμονωμένους OFDM subcarriers να μηδενίζονται. Αυτό, σε συνδυασμό με την επιλογή της μπάντας των συχνοτήτων και των TFI, TFI2 και FFI κωδικών χρόνου-συχνότητας, παρέχει ουσιώδη έλεγχο στη χρήση του φάσματος από το σήμα που μεταδίδεται, επιτρέποντας το PHY να χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά ρυθμιστικών και ραδιοφωνικών σεναρίων συνύπαρξης. [16]

### 6.1.1 ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΜΠΑΝΤΑΣ

Η σχέση μεταξύ κεντρικής συχνότητας,  $f_c$ , και του αριθμού BAND\_ID, nb, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f_c(nb) = 2904 + 528 * nb \text{ (MHz) } nb = 1, \dots, 14$$

Ο ορισμός αυτός παρέχει ένα μοναδικό σύστημα αρίθμησης για όλα τα κανάλια που έχουν μια απόσταση των 528 MHz και βρίσκονται εντός της μπάντας στις συχνότητες από 3100-10600 MHz. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ορίζονται έξι ομάδες. Όπου οι ομάδες 1 έως 4 αποτελούνται από τρεις μπάντες η καθεμιά, οι οποίες εκτείνονται στις μπάντες 1 έως 12. Η ομάδα 5 περιέχει τις δύο μπάντες 13, 14 και η ομάδα 6 περιέχει τις μπάντες, 9, 10, 11. Η κατανομή από όλες τις μπάντες συνοψίζεται στο σχήμα 6.1. [16]

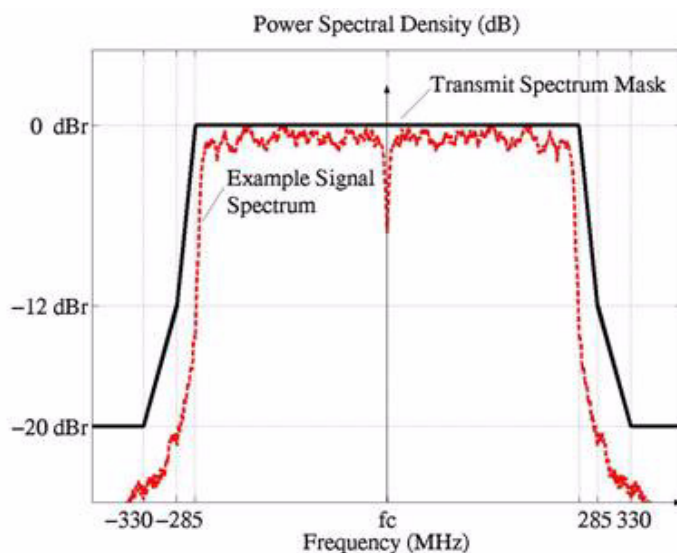


Σχήμα 6.1: Μπάντες και Ομάδες[16]

## 6.1.2 TRANSMIT PSD MASK

Η μεταδιδόμενη φασματική μάσκα πρέπει να έχει τα ακόλουθα σημεία αλλαγής: Ένα επίπεδο εκπομπής όπου η ισχύς θα είναι στα 0 dB<sub>r</sub> (dB σε σχέση με την μέγιστη φασματική πυκνότητα του σήματος) και η συχνότητα θα μεταβάλλεται κατά -260 MHz έως 260 MHz γύρω από την κεντρική, ένα επίπεδο εκπομπής όπου η ισχύς θα είναι στα -12dB<sub>r</sub> και η συχνότητα θα μεταβάλλεται κατά  $\pm 285$  MHz και ένα επίπεδο όπου η ισχύς θα είναι στα -20 dB<sub>r</sub> και η συχνότητα θα μεταβάλλεται κατά  $\pm 330$  MHz και άνω. Για όλες τις ενδιάμεσες συχνότητες το επίπεδο εκπομπών θεωρείται ότι είναι γραμμικό στην κλίμακα dB. Η μεταδιδόμενη φασματική πυκνότητα του σήματος πρέπει να βρίσκεται εντός της φασματικής μάσκας όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2.

Στα παραπάνω μπορεί να εφαρμοστούν επιπλέον περιορισμοί, ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς, τους πρόσθετους περιορισμούς στις επιτρεπόμενες μεταδόσεις και τα επίπεδα απόλυτης μετάδοσης ισχύος. Οι εν λόγω κανονισμοί δεν περιγράφονται σε αυτό το πρότυπο. [16]



Σχήμα 6.2: Φασματική πυκνότητα ισχύος [16]

### **6.1.3 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΕΚΤΗ**

Με ένα PSDU 1024 bytes, οι ελάχιστοι αριθμοί για την ευαισθησία του δέκτη στο AWGN για τους διάφορους ρυθμούς και τρόπους παρατίθενται στον Πίνακα 6.3, όπου έχει ληφθεί υπόψη ένας παράγοντας θορύβου 6.6dB (στην κεραία), απώλειες υλοποίησης 2.5 dB και ένα περιθώριο 3 dB.

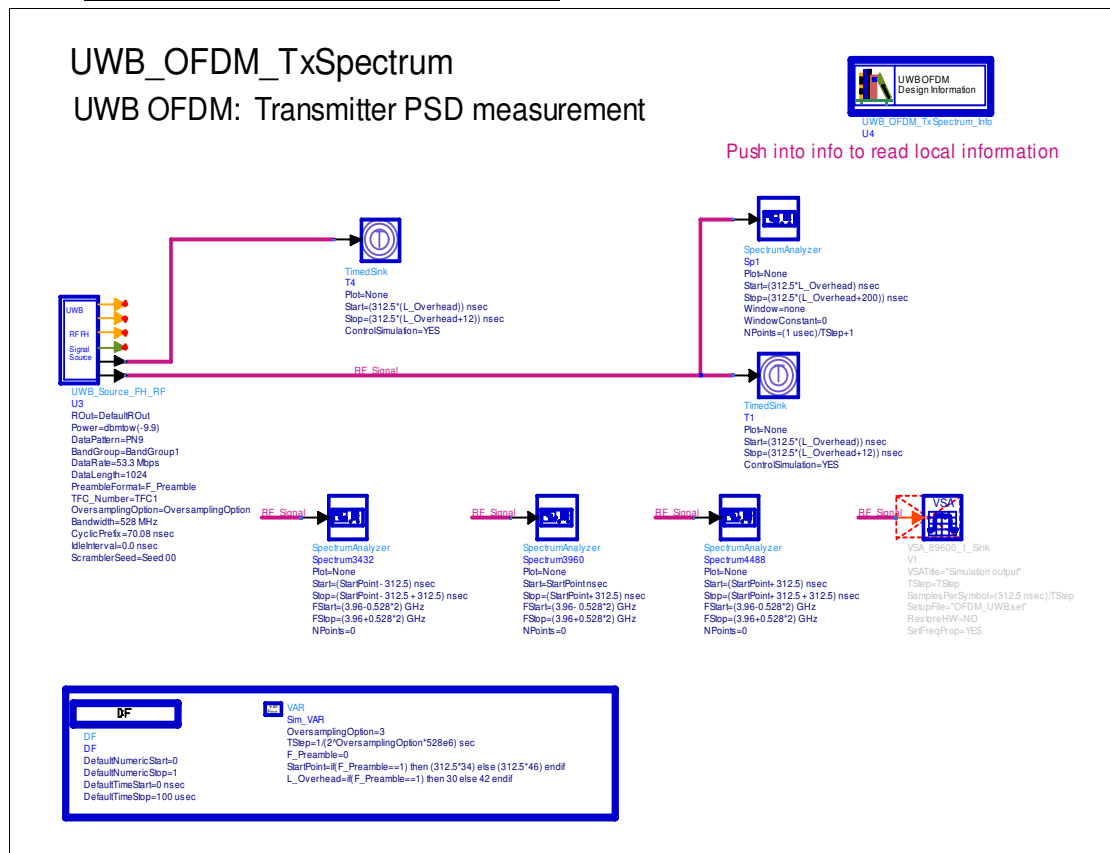
Για τις ομάδες 2 έως 6 μπορεί να αναμένεται μια επιπλέον υποβάθμιση του παράγοντα θορύβου από 1 έως 2 dB. Επιπλέον, η ευαισθησία υπόκειται σε διακυμάνσεις όσον αφορά στον παράγοντα θορύβου σχέση με την τεχνολογία, την τάση και την θερμοκρασία. [16]

Data Rate (Mb/s)	Packet Error Rate (PER) (%)	Minimum Receiver Sensitivity (dBm)
53.3	8	-80.8
80	8	-78.9
106.7	8	-77.8
160	8	-75.9
200	8	-74.5
320	8	-72.8
400	8	-71.5
480	8	-70.4
640	1	-67.6
800	1	-66.2
960	1	-64.3
1024	1	-63.5

**Πίνακας 6.1: Ελάχιστη ευαισθησία δέκτη [16]**

## 6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

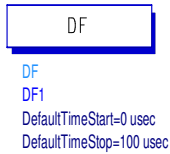
### 6.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΟΜΠΟΥ



Σχήμα 6.3:Κύκλωμα πομπού UWB που θα υλοποιηθεί

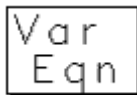
- DF

Ο DF ελεγκτής απαιτείται για όλες τις προσομοιώσεις. Χρησιμοποιούμε τον DF ελεγκτή για να ελέγξουμε τη ροή των μικτών αριθμητικών και χρονομετρημένων σημάτων για όλες τις προσομοιώσεις επεξεργασίας ψηφιακού σήματος μέσα στο ADS. Αυτός ο ελεγκτής παρέχει την ευελιξία να ελέγχει τη διάρκεια της προσομοίωσης συνολικά ή τοπικά.



- Var

Ένα VAR στοιχείο μπορεί να ορίσει πολλαπλές μεταβλητές ή εξισώσεις. Μια σημαντική σημείωση είναι ότι υπάρχει ένας περιορισμός των 1800 χαρακτήρων σε μια μεταβλητή εξίσωση.

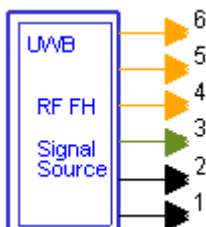


### Παράμετροι

Name	Description	Units	Default
X	Name of variable or equation	None	1.0

- UWB πηγή FH RF

Αρχικά για τη δημιουργία του κυκλώματος χρησιμοποιούμε το component UWB πηγή FH RF από τη βιβλιοθήκη UWB, πηγή σημάτων του προγράμματος μας. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για να παραγάγει το σήμα RF για UWB με αναπήδηση συχνότητας. Περιλαμβάνει δύο μέρη. Το ένα μέρος αποτελείται από το UWB\_SignalSource, το οποίο παράγει το σήμα βασικής ζώνης του συστήματος UWB. Και το άλλο μέρος είναι το QAM\_ModExtOsc, το οποίο εφαρμόζει το πολλαπλής ζώνης σύστημα OFDM RF. Το UWB\_Freq\_Hopping μπορεί να υποστηρίξει όλες τις συχνότητες όλων των ομάδων.



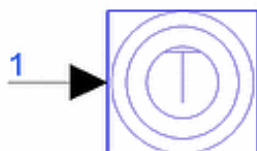
## Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
ROut	Source resistance	DefaultROut	Ohm	Real	(0, ∞)
RTemp	Temperature	DefaultRTemp	Celsius	Real	[-273.15, ∞)
TStep	Expression showing how TStep is related to the other source parameters	1/Bandwidth/ (2 <sup>OversamplingOption</sup> )		string	
Power	Power	0.01	W	Real	[0, ∞)
GainImbalance	Gain imbalance, Q vs I	0.0	dB	Real	(∞, ∞)
PhaseImbalance	Phase imbalance, Q vs I	0.0	deg	Real	(∞, ∞)
DataPattern	Data pattern: PN9, PN15, FIX4, _4_1_4_0, _8_1_8_0, _16_1_16_0, _32_1_32_0, _64_1_64_0	PN9		enum	
BandGroup	BandGroup: BandGroup1, BandGroup2, BandGroup3, BandGroup4, BandGroup5, BandGroup6	BandGroup1		enum	
DataRate	Data rate: _53.3 Mbps, _55 Mbps, _80 Mbps, _106.67 Mbps, _110 Mbps, _160 Mbps, _200 Mbps, _320 Mbps, _400 Mbps, _480 Mbps	_53.3 Mbps		enum	
DataLength	Octet number of PSDU	100		Int	[1:4095]

PreambleFormat	PLCP preamble format: Standard Format, Burst Format	Standard Format		enum	
TFC_Number	Time frequency code: TFC1, TFC2, TFC3, TFC4, TFC5, TFC6, TFC7	TFC1		enum	
OversamplingOption	Oversampling ratio: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8, Ratio 16, Ratio 32	Ratio 2		enum	
Bandwidth	Bandwidth	528 MHz	Hz	Real	(0, ∞)
CyclicPrefix	Cyclic prefix with zero padding	70.08 nsec	sec	Real	[0, ∞)
IdleInterval	Idle Interval	0.0 nsec	sec	Real	[0, ∞)
ScramblerSeed	Scrambler seed selection: Seed 00, Seed 01, Seed 10, Seed 11	Seed 00		enum	
MAC_Header	10-byte MAC header	{0XD3, 0XC2, 0X36, 0X8C, 0X8F, 0X36, 0X0D, 0XBB, 0XED, 0XBA}		int array	(0:255)

- TimedSink

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το component TimedSink της βιβλιοθήκης Sinks. Χρησιμοποιείται για να γίνουν οι κατάλληλες χρονικές μετρήσεις. Συλλέγει χρονομετρημένα (baseband ή complex envelope) δεδομένα από την έξοδο των συνδεδεμένων συσκευών και τα αποθηκεύει στο σύνολο δεδομένων προσομοίωσης.



#### Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range



Plot	If simulation is setup to open data display after simulation and if Plot is not set to 'None', then plot the data for this sink: None, Rectangular	None		enum	
RLoad	Load resistance. DefaultRLoad will inherit from the DF controller.	DefaultRLoad	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Resistor physical temperature, in degrees C. DefaultRTemp will inherit from the DF controller.	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
Start	Start time for data recording. DefaultTimeStart will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStart	sec	real	[0, ∞)
Stop	Stop time for data recording. DefaultTimeStop will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStop	sec	real	[Start, ∞)
ControlSimulation	if set to YES, 'Stop' time determines how long the simulation will run: NO, YES	YES		enum	

- SpectrumAnalyzer

Έπειτα από τη βιβλιοθήκη Sinks χρησιμοποιούμε το component SpectrumAnalyzer. Ο Αναλυτής Φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει το φάσμα ενός baseband ή ενός RF signal.



#### Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
------	-------------	---------	------	------	-------

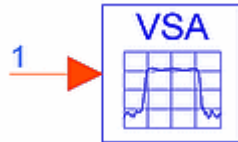
Plot	If simulation is setup to open data display after simulation and if Plot is not set to 'None', then plot the data for this sink: None, Rectangular	None		enum	
RLoad	Load resistance. DefaultRLoad will inherit from the DF controller.	DefaultRLoad	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Resistor physical temperature, in degrees C. DefaultRTemp will inherit from the DF controller.	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
Start	Start time for data recording. DefaultTimeStart will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStart	sec	real	[0, ∞)
Stop	Stop time for data recording. DefaultTimeStop will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStop	sec	real	[Start+16×TStep, ∞)†
Window	Window with default constant applied to collected data (default constant is used when WindowConstant is 0.0): none, Hamming 0.54, Hanning 0.50, Gaussian 0.75, Kaiser 7.865, _8510 6.0, Blackman,	none		enum	

	Blackman-Harris				
WindowConstant	Window constant used for windows of type Hamming, Hanning, Gaussian, Kaiser, 8510	0.0		real	[0, ∞)
Bias	Spectrum normalization bias type to correct for effects of windowing and/or averaging: no bias, power	power		enum	
FStart	Start frequency for spectrum calculation	0.0	Hz	real	[0, ∞)
FStop	Stop frequency for spectrum calculation	100e9	Hz	real	(FStop, ∞)
NumFreqs	Number of frequencies uniformly spaced from FStart to FStop; NumFreqs=0 results in default frequency resolution	0		int	[0, ∞)
NPoints	Number of points to be used in a segment; NPoints=0 results in one segment of (Stop-Start)/TStep+1 points and Overlap is ignored	0		int	[0, (Stop-Start)/TStep+1)†
Overlap	Number of overlapping points between two adjacent segments	0		int	[0, NPoints - 1\] <b>Σφάλμα! Η αναφορά της υπερ-σύνδεσης</b>

					<b>δεν είναι έγκυρη.</b>
† TStep is the simulation time step for the component input signal.					

- VSA\_89600\_1\_Sink

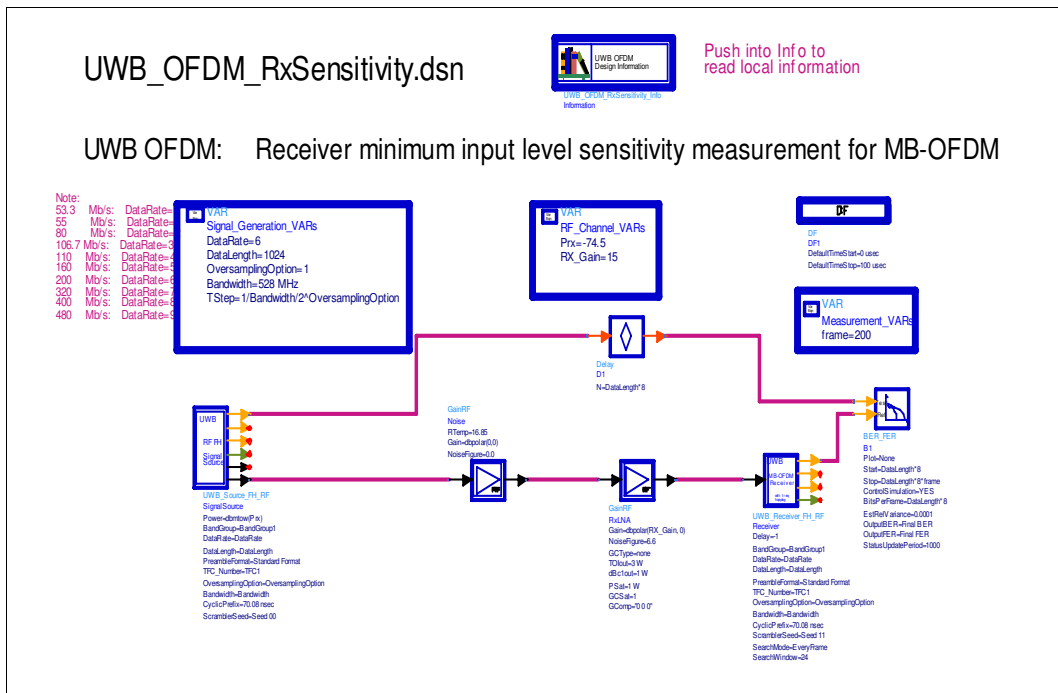
Τα πρότυπα VSA\_89600 παρέχουν μια δυναμική σύνδεση για να ενσωματώσουν τις 89600 σειρές λογισμικού VSA με το ADS.



### Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type
VSAtitle	Text for VSA title bar	Simulation output		string
TStep	Simulation time step; use a value of 0 for time step synchronization with other network timed signals	0	sec	real
SamplesPerSymbol	Digital demodulation samples per symbol; NOT to be confused with VSA points per symbol	0.0		real
SetupFile	Name of measurement setup file to recall			filename
RestoreHW	YES to restore VSA hardware selection at end of simulation; NO to not: NO, YES	NO		enum
SetFreqProp	Set VSA 89600 frequency properties (center, span, zoom): NO, YES	YES		enum

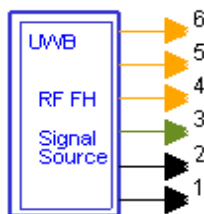
## 6.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ



Σχήμα 6.4:Κύκλωμα δέκτη UWB που θα υλοποιηθεί

- UWB πηγή FH RF

Αρχικά για τη δημιουργία του κυκλώματος χρησιμοποιούμε το component UWB πηγή FH RF από τη βιβλιοθήκη UWB, πηγή σημάτων του προγράμματος μας. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για να παραγάγει το σήμα RF για UWB με αναπήδηση συχνότητας. Περιλαμβάνει δύο μέρη. Το ένα μέρος αποτελείται από το UWB\_SignalSource, το οποίο παράγει το σήμα βασικής ζώνης του συστήματος UWB. Και το άλλο μέρος είναι το QAM\_ModExtOsc, το οποίο εφαρμόζει το πολλαπλής ζώνης σύστημα OFDM RF. Το UWB\_Freq\_Hopping μπορεί να υποστηρίξει όλες τις συχνότητες όλων των ομάδων.



## Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
ROut	Source resistance	DefaultROut	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Temperature	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
TStep	Expression showing how TStep is related to the other source parameters	1/Bandwidth/(2 <sup>OversamplingOption</sup> )		string	
Power	Power	0.01	W	real	[0, ∞)
GainImbalance	Gain imbalance, Q vs I	0.0	dB	real	(∞, ∞)
PhaseImbalance	Phase imbalance, Q vs I	0.0	deg	real	(∞, ∞)
DataPattern	Data pattern: PN9, PN15, FIX4, _4_1_4_0, _8_1_8_0, _16_1_16_0, _32_1_32_0, _64_1_64_0	PN9		enum	
BandGroup	BandGroup: BandGroup1, BandGroup2, BandGroup3, BandGroup4, BandGroup5, BandGroup6	BandGroup1		enum	
DataRate	Data rate: _53.3 Mbps, _55 Mbps, _80 Mbps, _106.67 Mbps, _110 Mbps, _160 Mbps, _200 Mbps, _320 Mbps, _400 Mbps, _480 Mbps	_53.3 Mbps		enum	
DataLength	Octet number of PSDU	100		int	[1:4095]
PreambleFormat	PLCP preamble format: Standard Format, Burst Format	Standard Format		enum	
TFC_Number	Time frequency	TFC1		enum	

	code: TFC1, TFC2, TFC3, TFC4, TFC5, TFC6, TFC7				
OversamplingOption	Oversampling ratio: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8, Ratio 16, Ratio 32	Ratio 2		enum	
Bandwidth	Bandwidth	528 MHz	Hz	real	(0, ∞)
CyclicPrefix	Cyclic prefix with zero padding	70.08 nsec	sec	real	[0, ∞)
IdleInterval	Idle Interval	0.0 nsec	sec	real	[0, ∞)
ScramblerSeed	Scrambler seed selection: Seed 00, Seed 01, Seed 10, Seed 11	Seed 00		enum	
MAC_Header	10-byte MAC header	{0XD3, 0XC2, 0X36, 0X8C, 0X8F, 0X36, 0X0D, 0XBB, 0XED, 0XBA}		int array	(0:255)

- GainRF

To component GainRF το βρίσκουμε από τη βιβλιοθήκη Timed. Το GainRF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει έναν ενισχυτή.



### Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
RIn	input resistance	DefaultRIn	Ohm	real	(0, ∞)
ROut	output resistance	DefaultROut	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	physical temperature, in degrees C	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15,



					$\infty$ )
Gain	Complex voltage gain; with form $re+j*im$ ; to specify gain in dB use <code>dbpolar( dB, degree)</code>	1		complex	$(-\infty, \infty)$
NoiseFigure	input noise figure, in dB	0		real	$[0, \infty)$
GCType	Gain compression type: none, TOI, dBc1, TOI+dBc1, PSat+GCSat+TOI, PSat+GCSat+dBc1, PSat+GCSat+TOI+dBc1, Gain compression data points vs input power	none		enum	
TOIout	Third order intercept power	3	W	real	$(-\infty, \infty)^\dagger$
dBc1out	1 dB gain compression power	1	W	real	$(-\infty, \infty)^\dagger$
PSat	Saturation power	1	W	real	$(-\infty, \infty)^\dagger$
GCSat	Gain compression at saturation; dB	1		real	$[3, 7]^\dagger$
GComp	Array of triple values for large signal gain change vs signal power. Input Power in dBm, Gain change from small signal in dB, and Phase change from small signal in degree	0 0 0		real array	$^\dagger^\dagger$

- Delay

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το component Delay που βρίσκεται στη βιβλιοθήκη Numeric, Control. Αυτό το component καθυστερεί την έξοδο κατά N δείγματα. Τα πρώτα N δείγματα στην έξοδο έχουν μηδενική τιμή.



### Παράμετροι

Name	Description	Default	Type	Range
N	N	1	int	[0, ∞)

- UWB Δέκτης RF FH

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το component UWB Δέκτης RF FH που βρίσκουμε στη βιβλιοθήκη UWB, δέκτης. Αυτό μοντελοποιεί τον δέκτη UWB-OFDM RF με αναπήδηση συχνότητας. Αρχικά, το λαμβανόμενο σήμα RF με αναπήδηση συχνότητας αποδιαμορφώνεται από το QAM\_DemodExtOsc, κατόπιν το αποδιαμορφωμένο σήμα τροφοδοτείται στον δέκτη βασικής ζώνης.



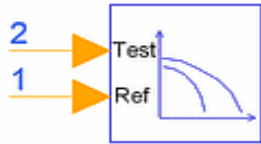
### Παράμετροι

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
RLoad	Input resistance	DefaultRLoad	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Temperature	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
GainImbalance	Gain imbalance, Q vs I	0.0	dB	real	(∞, ∞)
PhaseImbalance	Phase imbalance, Q vs I	0.0	deg	real	(∞, ∞)
Sensitivity	voltage output sensitivity, Vout/Vin	1		real	(∞, ∞)
Delay	Frequency synthesizer delay	1.8939 nsec	sec	real	[0, ∞)

BandGroup	BandGroup: BandGroup1, BandGroup2, BandGroup3, BandGroup4, BandGroup5, BandGroup6	BandGroup1		enum	
DataRate	Data rate: _53.3 Mbps, _55 Mbps, _80 Mbps, _106.67 Mbps, _110 Mbps, _160 Mbps, _200 Mbps, _320 Mbps, _400 Mbps, _480 Mbps	_53.3 Mbps		enum	
DataLength	Octet number of PSDU	100		int	[1:4095]
PreambleFormat	PLCP preamble format: Standard Format, Burst Format	Standard Format		enum	
TFC_Number	Time frequency code: TFC1, TFC2, TFC3, TFC4, TFC5, TFC6, TFC7	TFC1		enum	
OversamplingOption	Oversampling ratio: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8, Ratio 16, Ratio 32	Ratio 2		enum	
Bandwidth	Bandwidth	528 MHz	Hz	real	(0, ∞)
CyclicPrefix	Cyclic prefix with zero padding	70.08 nsec	sec	real	[0, ∞)
IdleInterval	Idle Interval	0.0 nsec	sec	real	[0, ∞)
ScramblerSeed	Scrambler seed selection: Seed 00, Seed 01, Seed 10, Seed 11	Seed 11		enum	
SearchMode	Searching mode synchronization: EveryFrame, Once	EveryFrame		enum	
SearchWindow	Searching window synchronization	24		int	†

- BER FER

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το component BER\_FER που βρίσκουμε στη βιβλιοθήκη Sinks. Το BER\_FER μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του BER (bit error rate) και του FER (frame error rate) ενός συστήματος.



### Παράμετροι

Name	Description	Default	Type	Range
Plot	Plot data when set to 'Rectangular' and Simulation Setup set to 'Open Data Display when simulation completes': None, Rectangular	None	enum	
Start	Data collection start index	DefaultNumericStart	int	[0, $\infty$ )
Stop	Data collection stop index when EstRelVariance is not met	DefaultNumericStop	int	(Start, $\infty$ )
ControlSimulation	Let sink control how long the simulation will run? NO, YES	YES	enum	
BitsPerFrame	Bits per frame	100	int	[1, $\infty$ )
EstRelVariance	BER estimation relative variance	0.01	real	[0, 1)
OutputBER	BER output: BER vs index, BER vs index every 10 bits, BER vs index every 100 bits, BER vs index every 1000 bits, BER vs index every BitsPerFrame bits, Final BER	Final BER	enum	
OutputFER	FER output: FER vs frame, FER vs frame every 10 frames, Final FER, No FER	Final FER	enum	
StatusUpdatePeriod	Status update period in number of bits	1000	int	[1, $\infty$ )

---

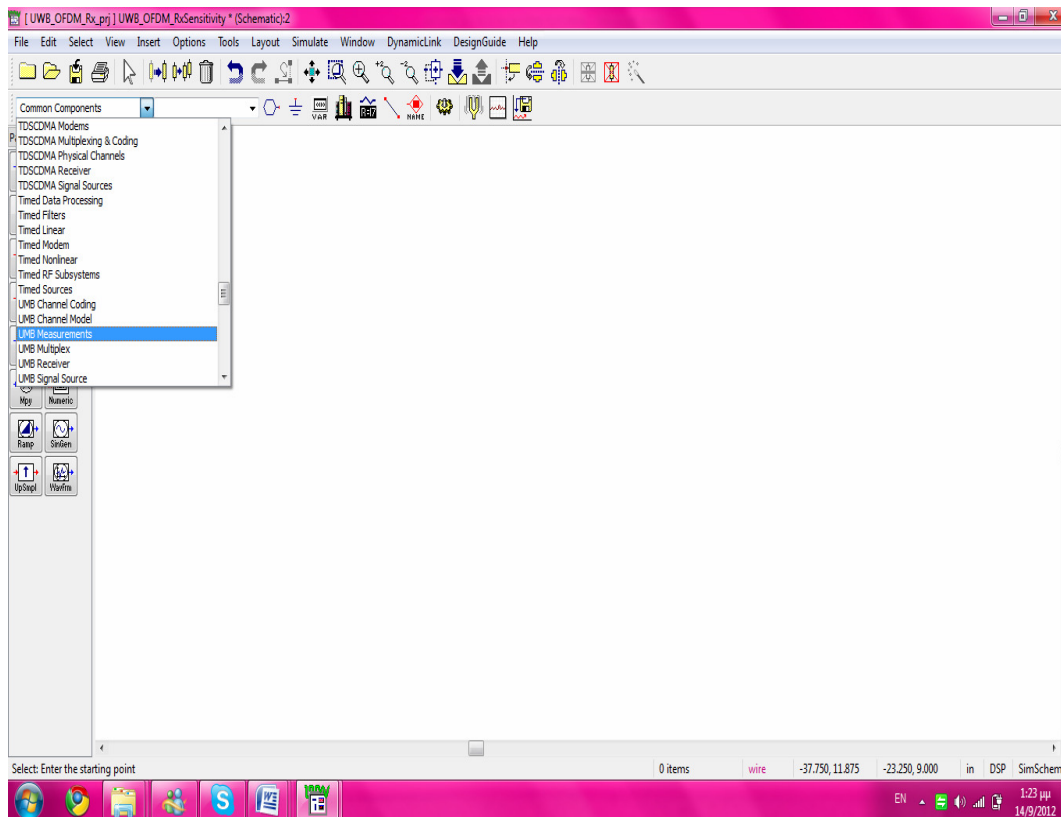
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ**

---

### **7.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ UWB OFDM TxSpectrum.**

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά πως δημιουργήθηκε το κύκλωμα του πομπού

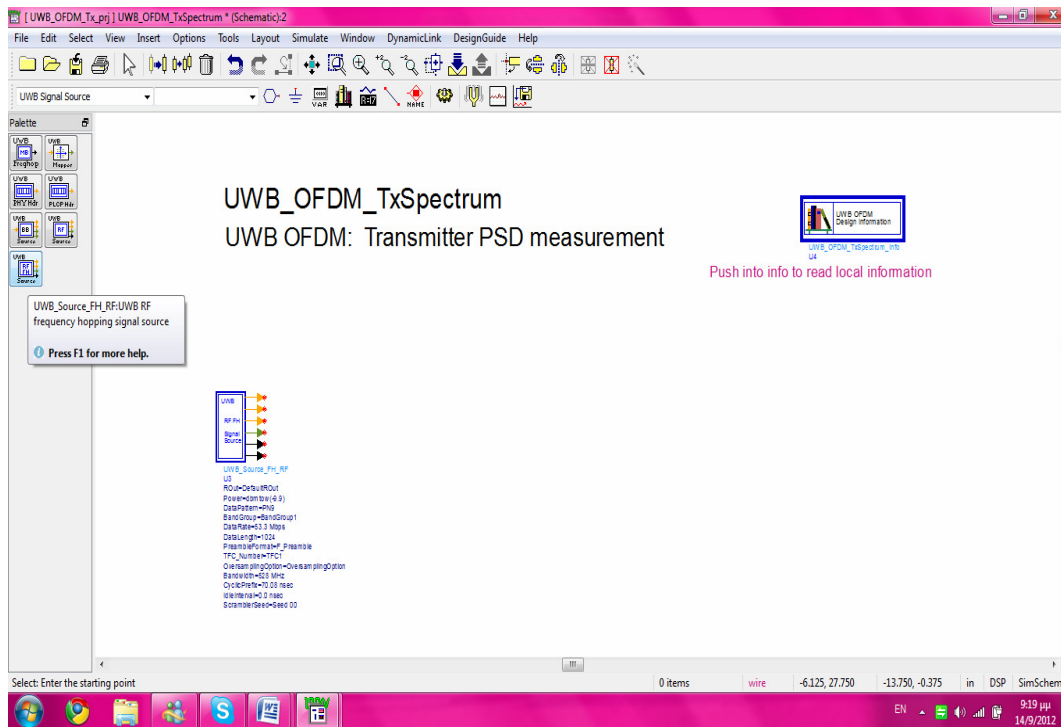
Αφού δημιουργήσουμε ένα καινούργιο σχηματικό, κάνουμε κλικ στο κουμπί αριστερά από το τμήμα συγκεντρωμένων στοιχείων και βλέπουμε τη μεγάλη ποικιλία των διαθέσιμων components (Σχήμα 7.1)



**Σχήμα 7.1:** Λίστα των διαθέσιμων συγκεντρωμένων components

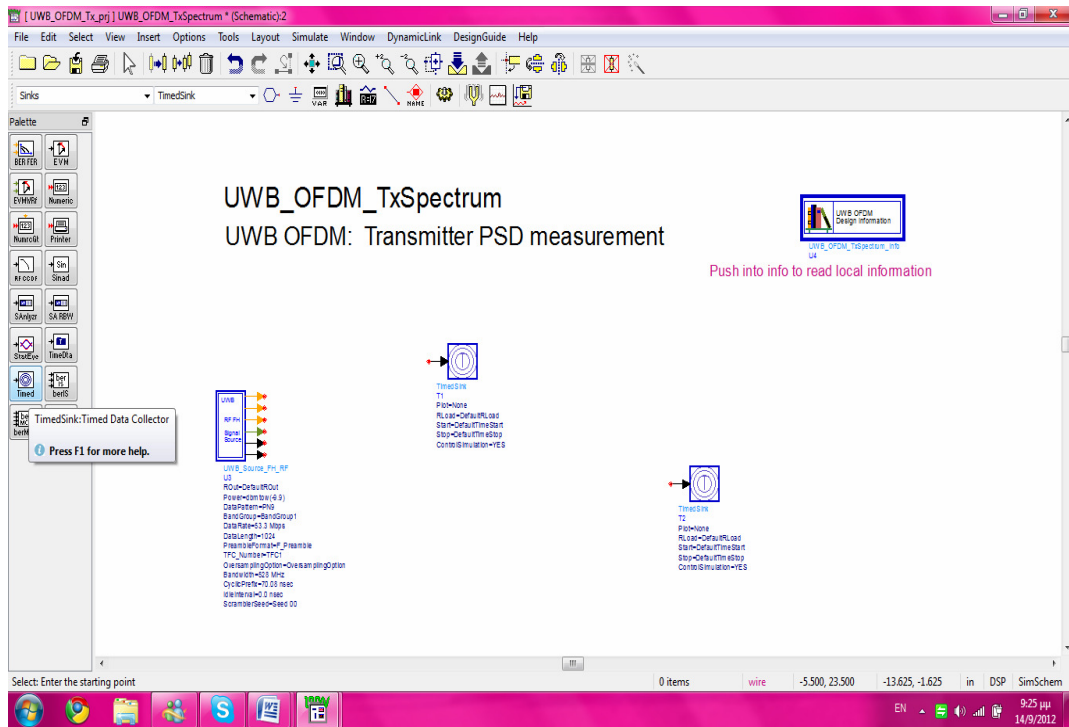
Σύρουμε στην επιθυμητή θέση στη σχηματική αναπαράσταση. Για να το απελευθερώσει στην επιθυμητή θέση, απλά κάνουμε κλικ αριστερά. Εάν σε οποιοδήποτε σημείο κάνουμε λάθος, απλά πατάμε το πλήκτρο Esc, και το επιλεγμένο στοιχείο (component) θα εξαφανιστεί. Μόλις τελειώσουμε με αυτό το στοιχείο (component), πατάμε το πλήκτρο Esc για να απελευθερώσουμε αυτό το στοιχείο(component).

Για να βρούμε την UWB πηγή FH RF πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη UWB Signal Source και επιλέγουμε το component UWB Source FH RF όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2.



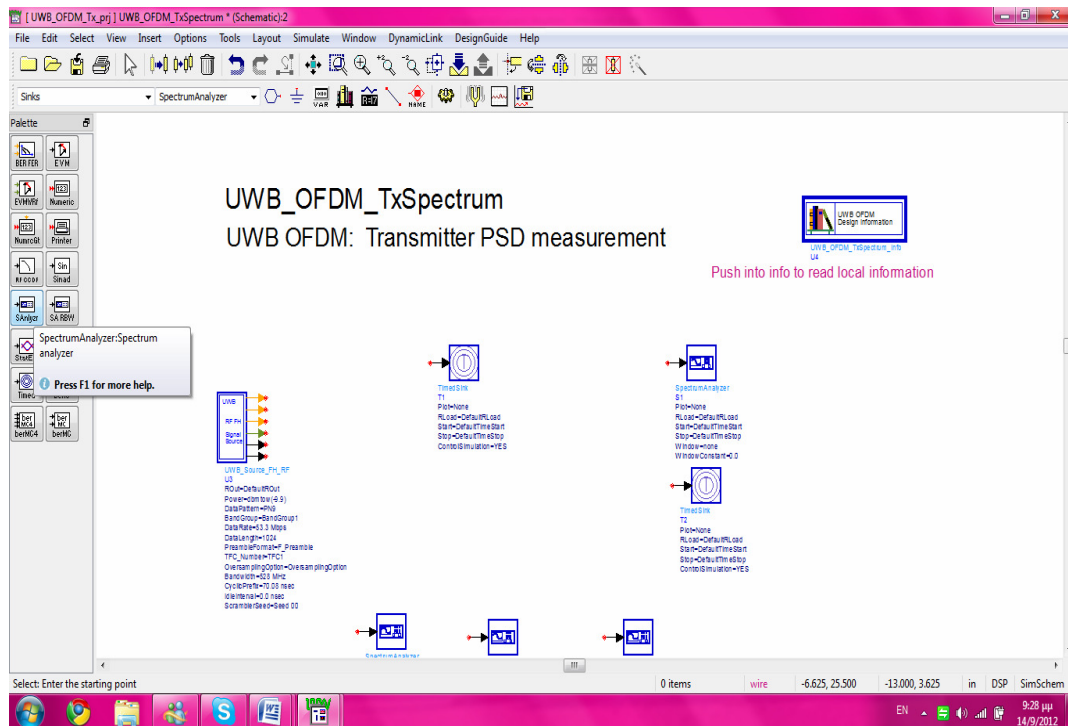
**Σχήμα 7.2: UWB\_OFDM\_TxSpectrum.dsn\_πηγή FH RF**

Για το component Timed Sink πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη Sinks όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.3



Σχήμα 7.3:UWB\_OFDM\_TxSpectrum.dsn\_Timed Sink

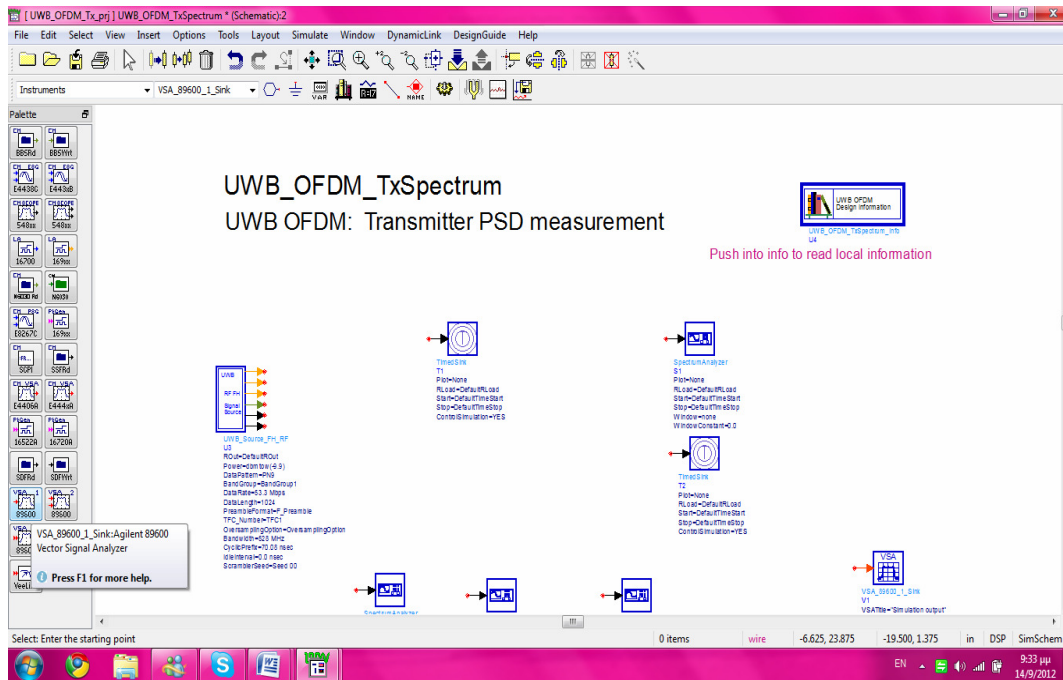
Στη συνέχεια βρίσκουμε το component Spectrum Analyzer πηγαίνοντας στη βιβλιοθήκη Sinks όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.4



Σχήμα 7.4:UWB\_OFDM\_TxSpectrum.dsn\_ Spectrum Analyzer

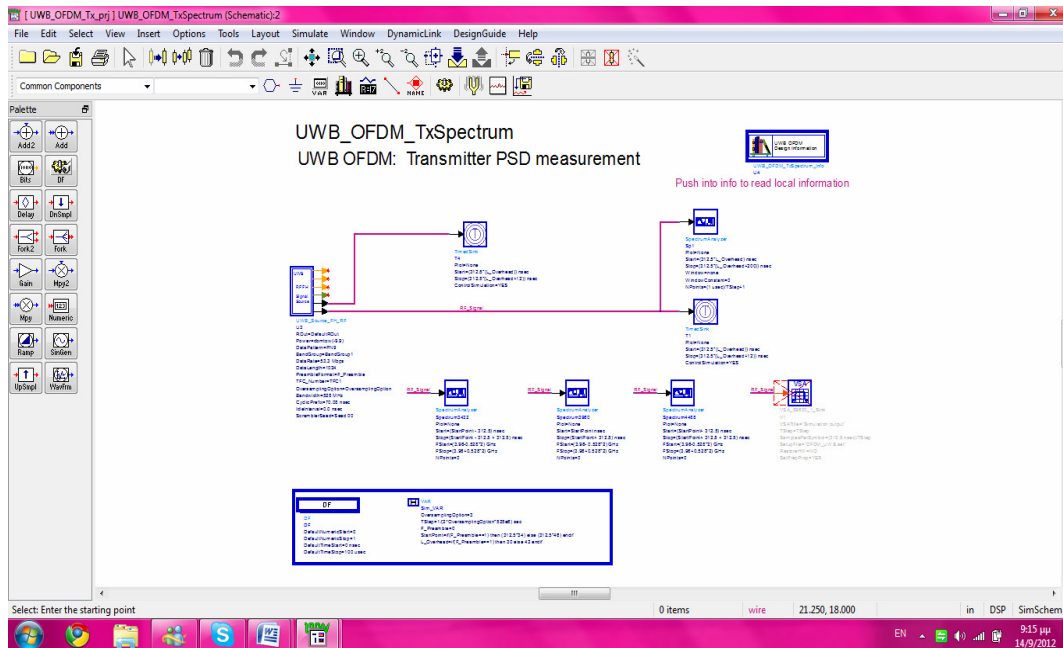


Και τέλος για το component VSA πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη Instruments. Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.5



Σχήμα 7.5:UWB\_OFDM\_TxSpectrum.dsn\_VSA

Το επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν με καλώδιο μαζί όλα τα στοιχεία (component) στη σχηματική αναπαράσταση όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.6

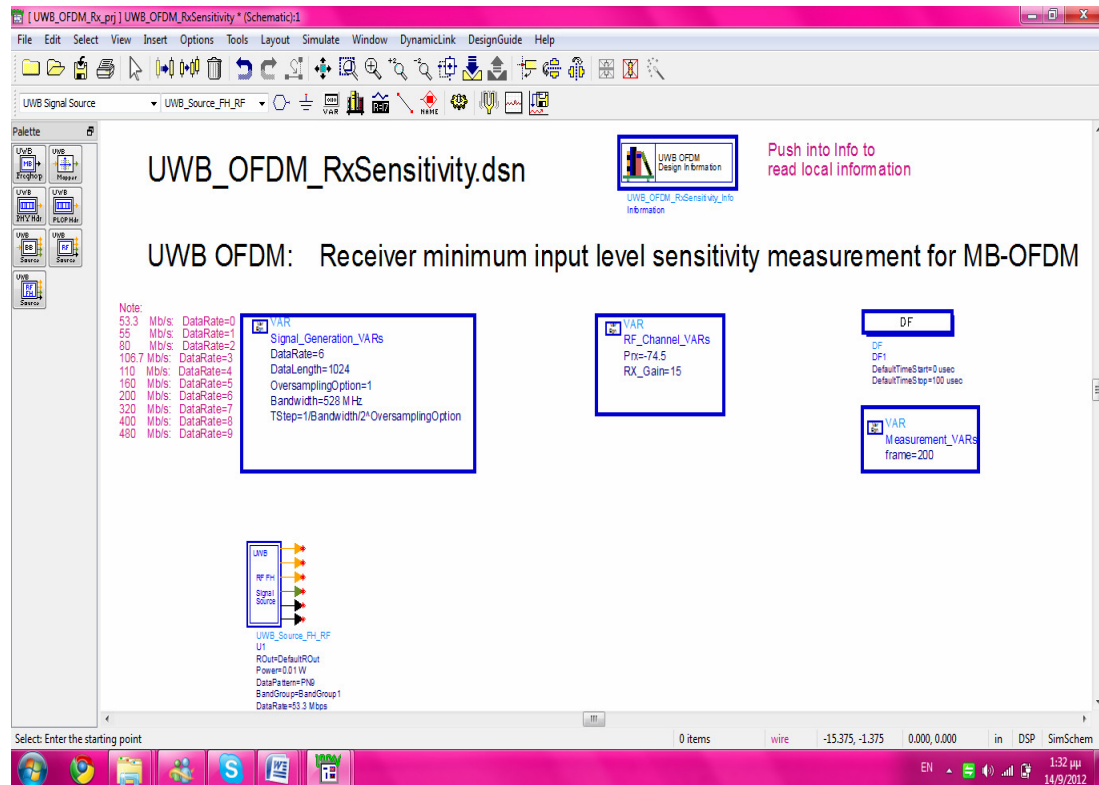


Σχήμα 7.6:Σύνδεση με καλώδια

## 7.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ UWB OFDM RxSensitivity.dsn

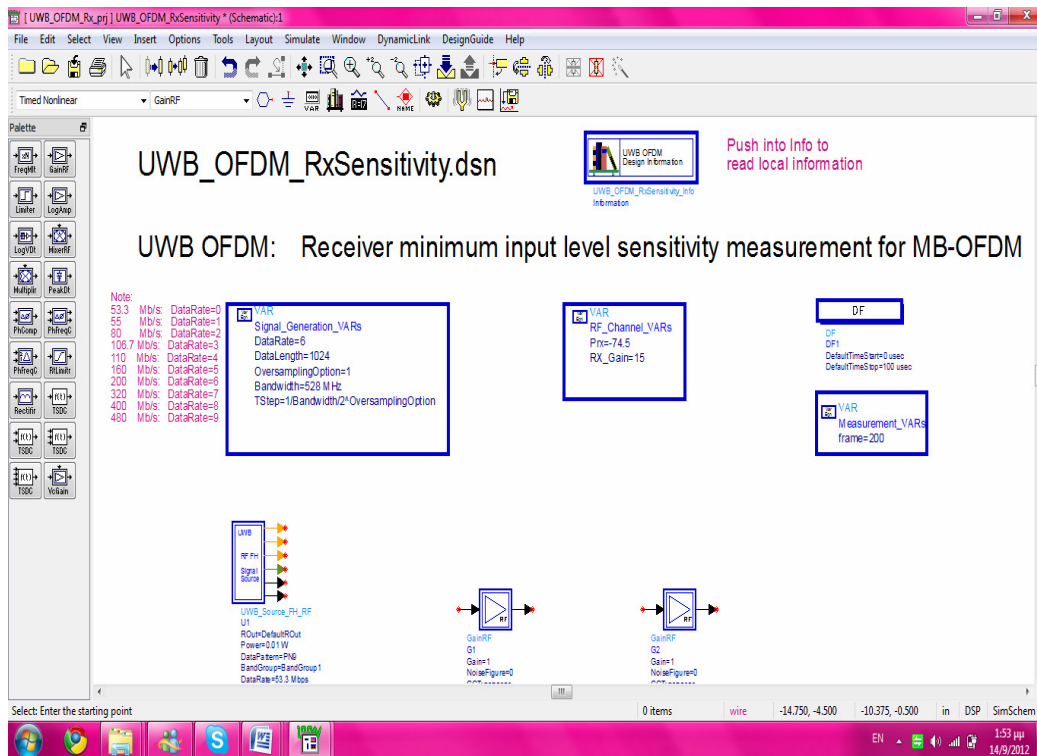
Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά πως δημιουργήθηκε το κύκλωμα του πομπού.

Για να βρούμε την UWB πηγή FH RF πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη UWB Signal Source και επιλέγουμε το component UWB Source FH RF όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.7.



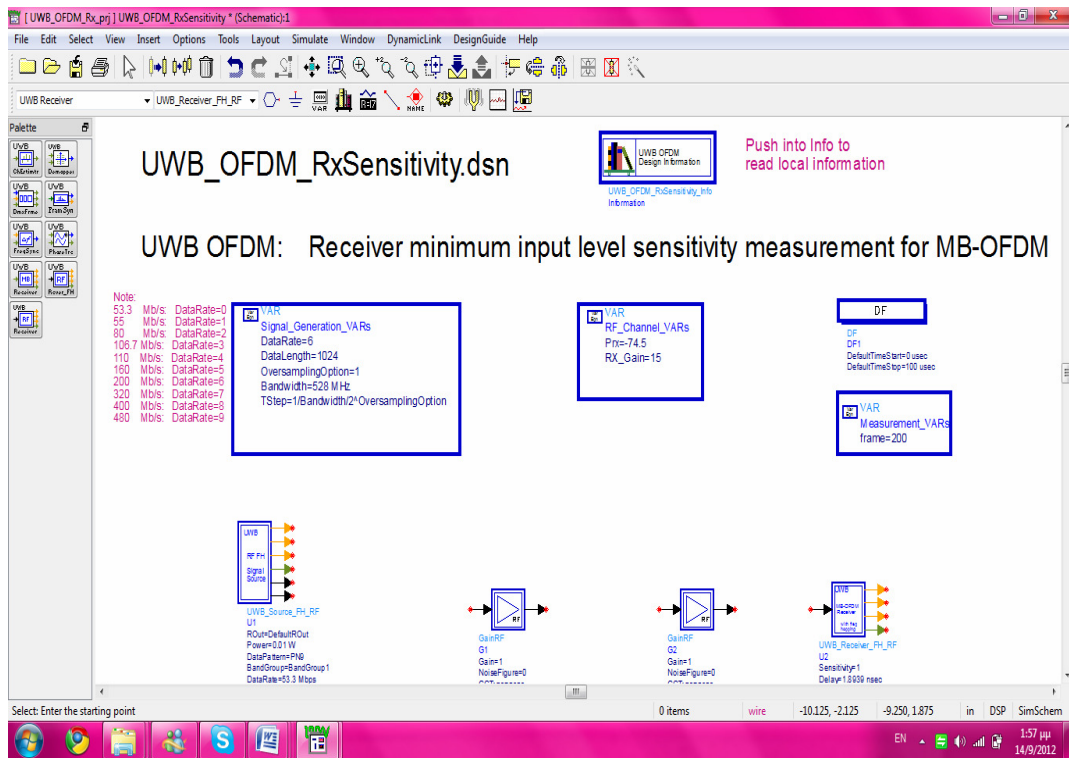
Σχήμα 7.7:UWB\_OFDM\_RxSensitivity\_Source FH RF

Επίσης για το component GainRF πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη Timed Nonlinear όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.8.



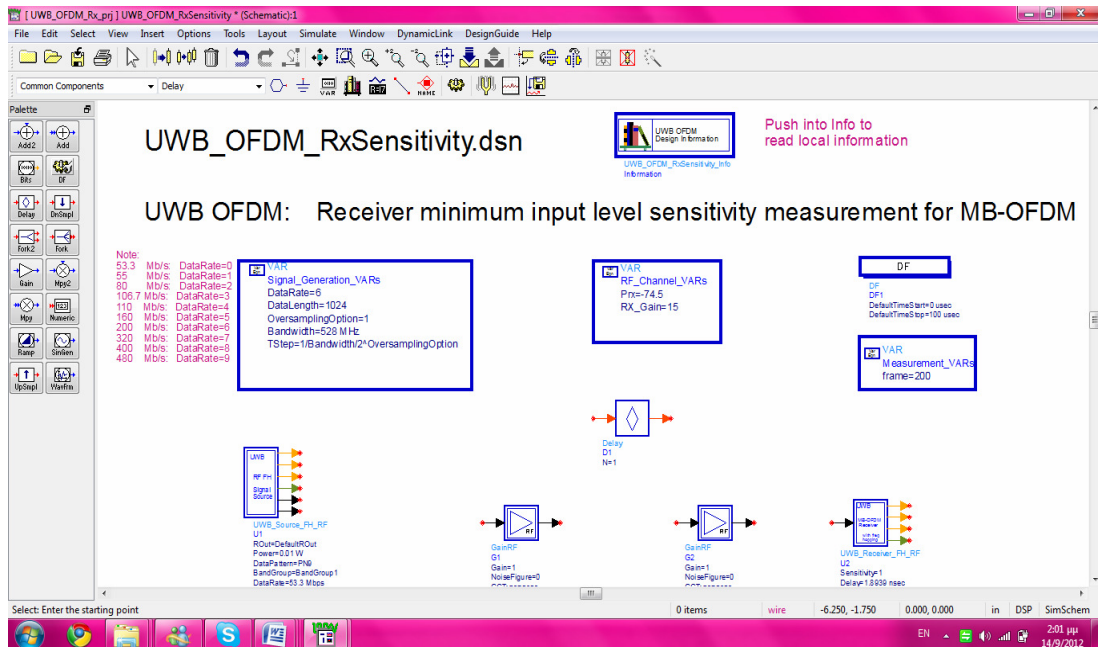
**Σχήμα 7.8:UWB\_OFDM\_RxSensitivity\_GainRF**

Στη συνέχεια για να βρούμε το component UWB Δέκτης RF FH πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη UWB receiver όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.9.



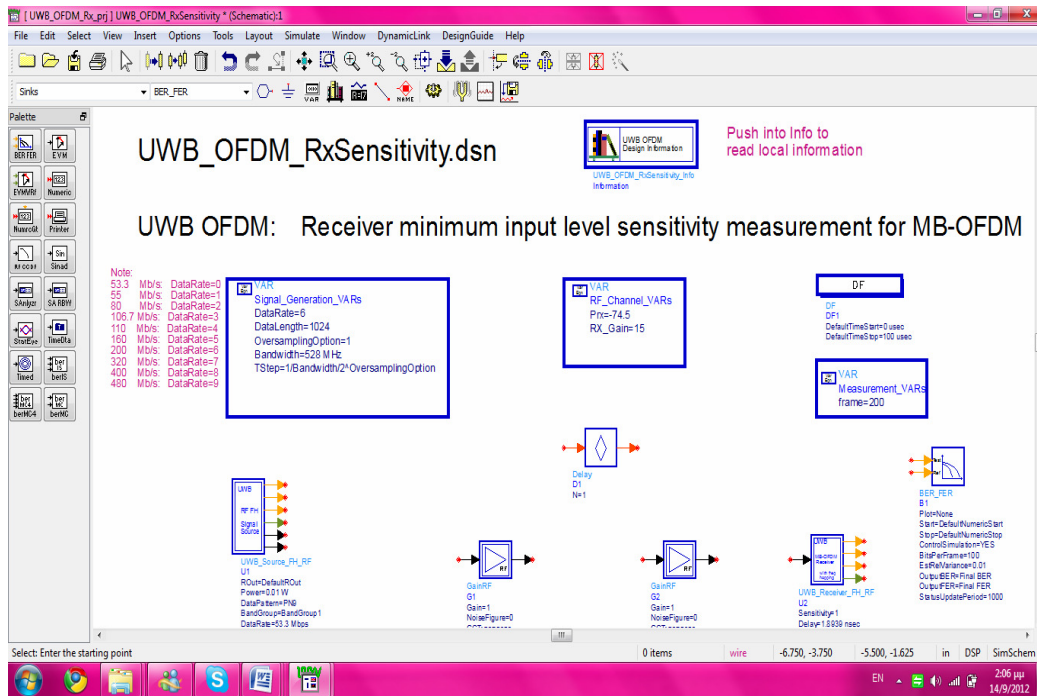
Σχήμα 7.9: UWB\_OFDM\_RxSensitivity\_Δέκτης RF FH

Όπως και για το Delay έτσι και για το DF πηγαίνουμε στη βιβλιοθήκη Common components όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.10.



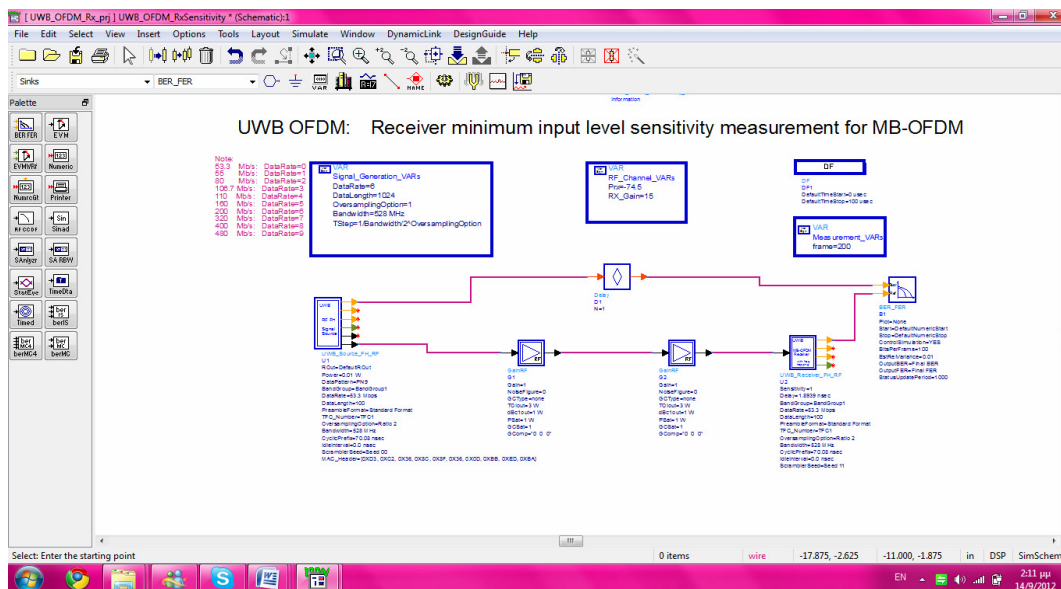
Σχήμα 7.10: UWB\_OFDM\_RxSensitivity\_Delay

Στη βιβλιοθήκη Sinks βρίσκουμε το component BER\_FER όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.11.



Σχήμα 7.11: UWB\_OFDM\_RxSensitivity\_Ber\_Fer

Το επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν με καλώδιο μαζί όλα τα στοιχεία (component) στη σχηματική αναπαράσταση. Αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.12.



Σχήμα 7.12: Σύνδεση με καλώδια

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

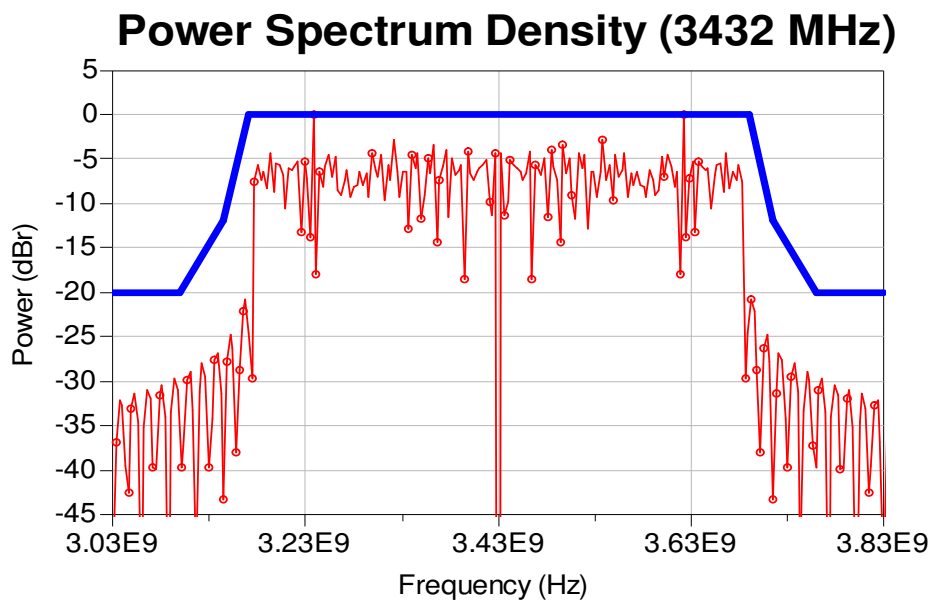
---

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του πομπού και του δέκτη και στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις προδιαγραφές του αντίστοιχου προτύπου [16].

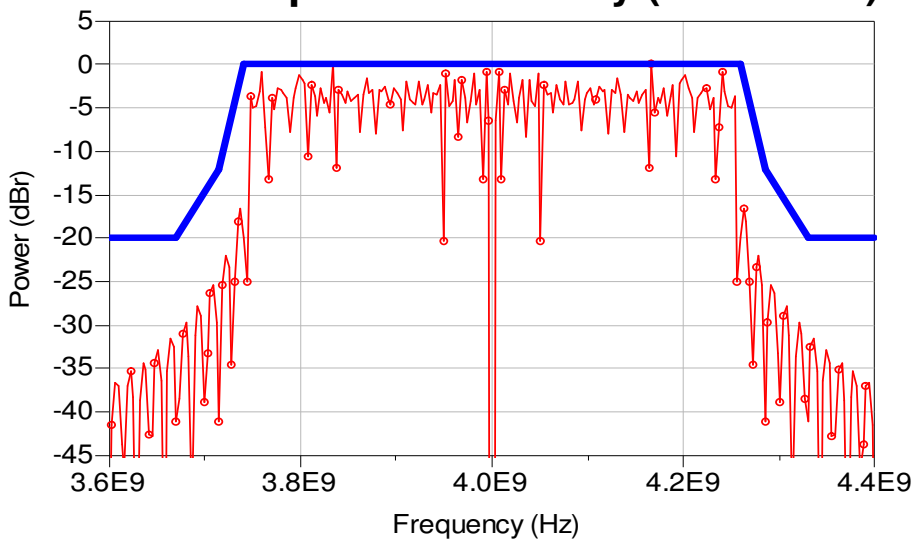
### 8.1 ΠΟΜΠΟΣ

Αυτό το παράδειγμα μετρά την φασματική πυκνότητα ισχύος (PSD) του πομπού, έχει σχεδιαστεί για δεδομένα 480Mbps ρυθμού και για TFC Number1. Ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει άλλα σχήματα με τον καθορισμό Sim\_VAR σε κατάλληλες τιμές.

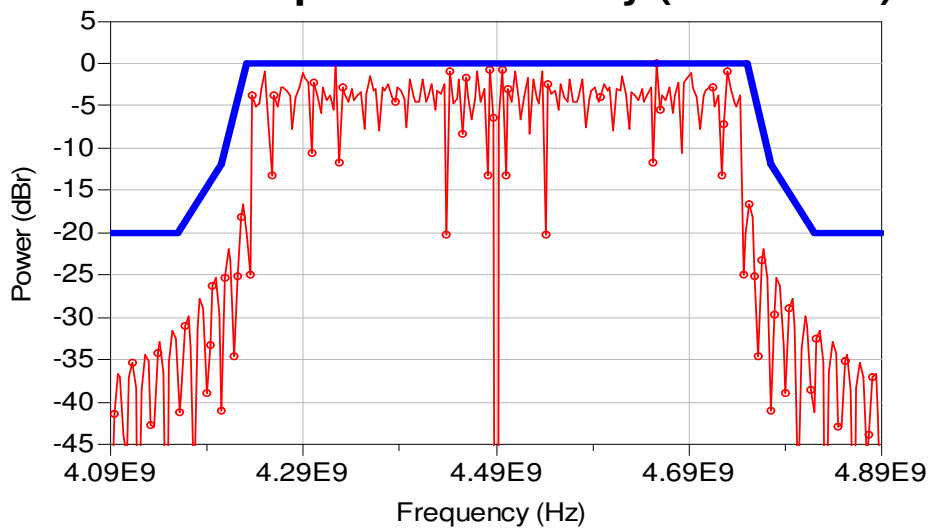
- Πεδίο συχνότητας



### Power Spectrum Density (3960 MHz)

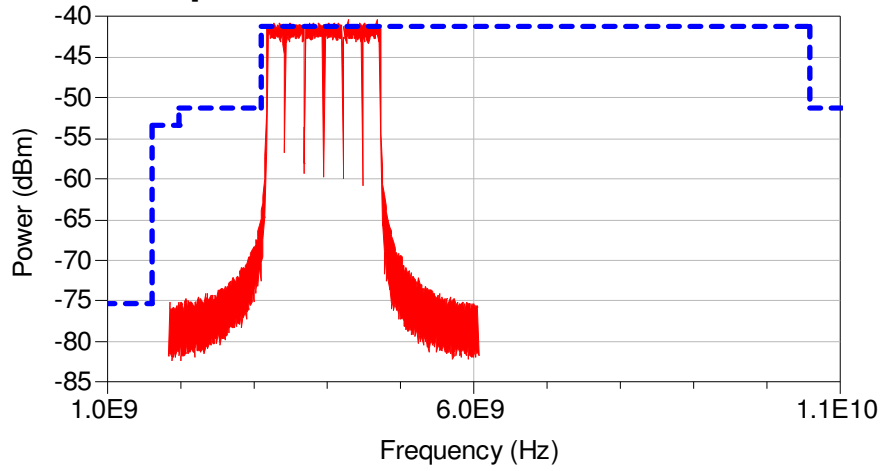


### Power Spectrum Density (4488 MHz)





## Power Spectrum at 1MHz RBW and FCC Mask



Power_dBmPerMHz
-41.743

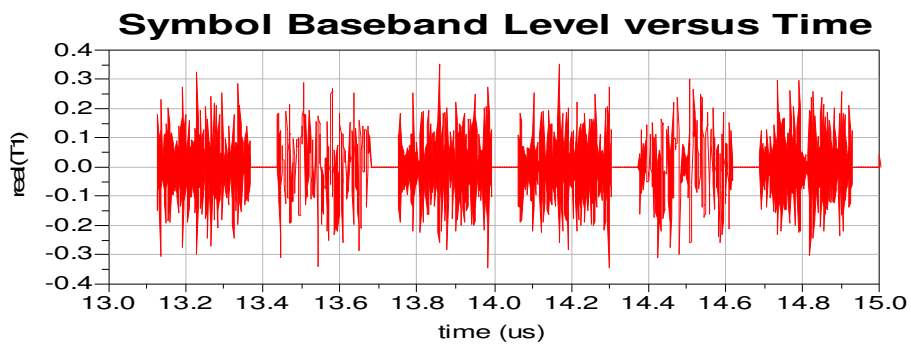
User can change the mask by modifying the values of the arrays Mask and MaskOffsets in the Equations page.

- Mask
- Measurement result

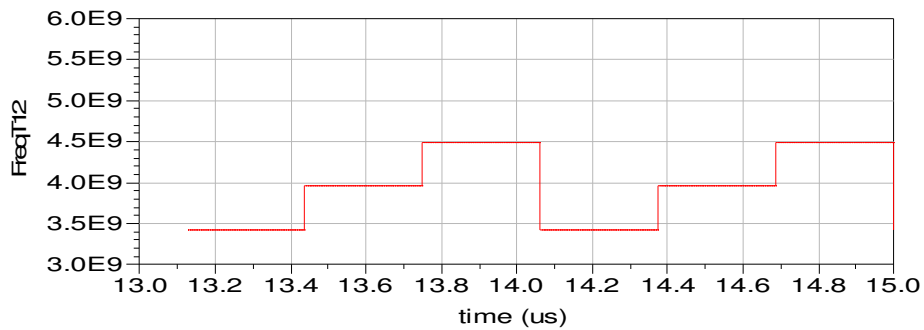


- Πεδίο χρόνου

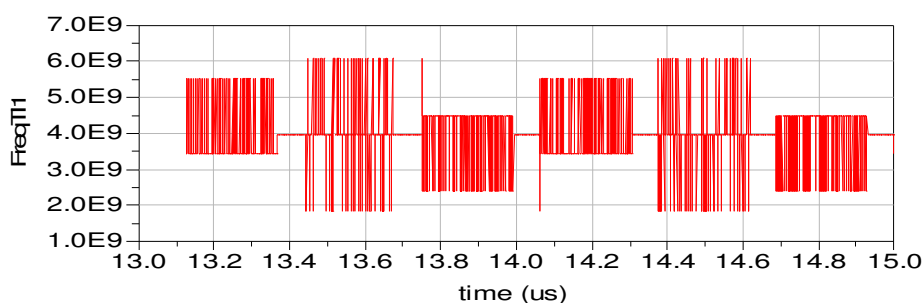
✓ επίπεδο ζωνών βάσης συμβόλων σε σχέση με το χρόνο



✓ hopped συχνότητα ή στιγμιαία συχνότητα LO σε σχέση με το χρόνο



✓ hopped συχνότητα η στιγμιαία συχνότητα συμβόλων Tx σε σχέση με το χρόνο

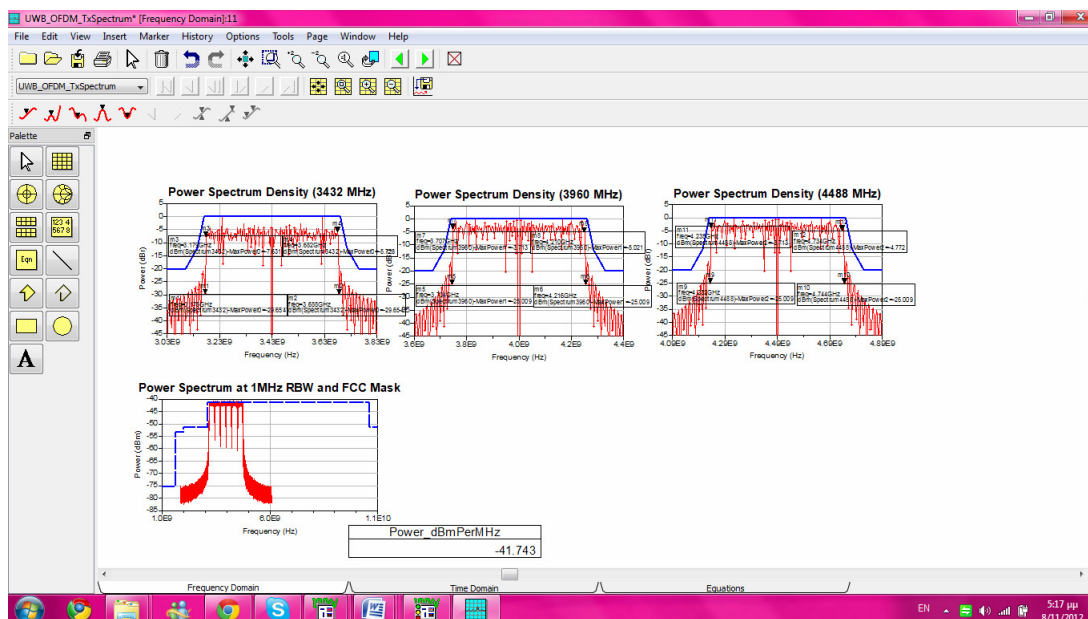


## 8.2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

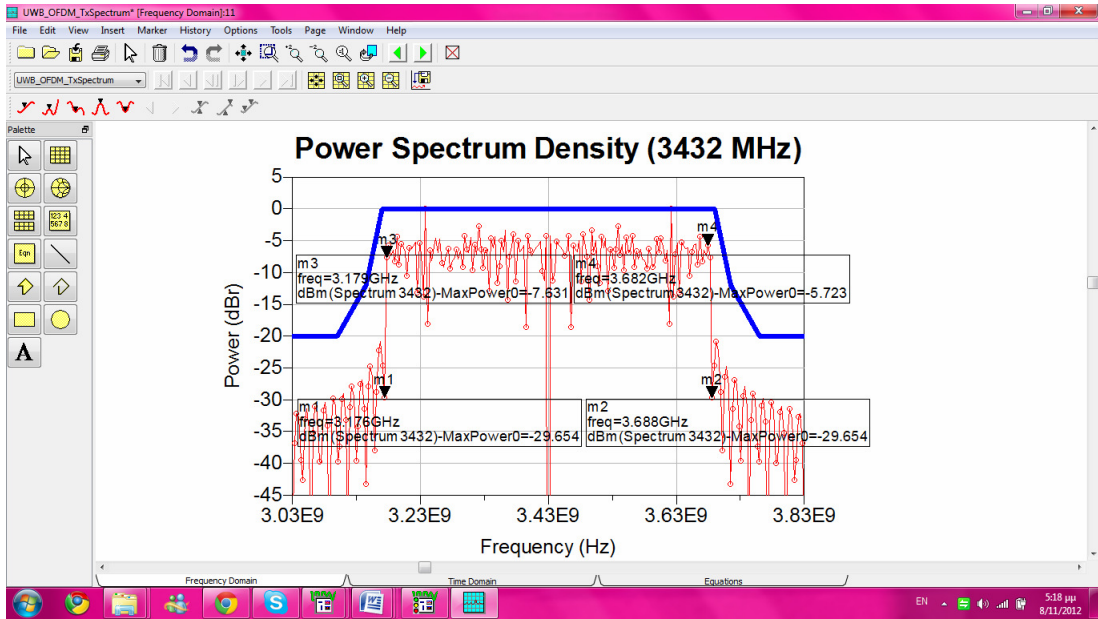
### 8.2.1 ΠΟΜΠΟΣ

Στην ενότητα αυτή θα παρατεθούν οι προσομοιώσεις του πομπού UWB. Θα ασχοληθούμε με την πρώτη ομάδα συχνοτήτων η οποία αποτελείται από 3 μπάντες (3432MHz, 3960MHz, 4488MHz). Θα αλλάξουμε τις τιμές του Datarate και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

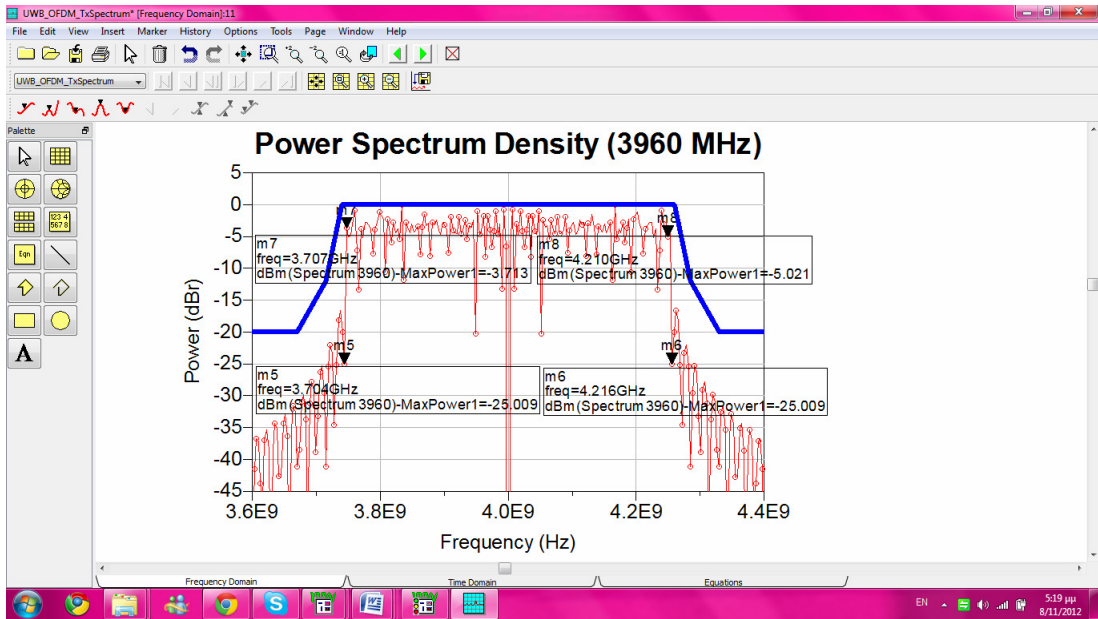
- Για Datarate=53.3Mbps



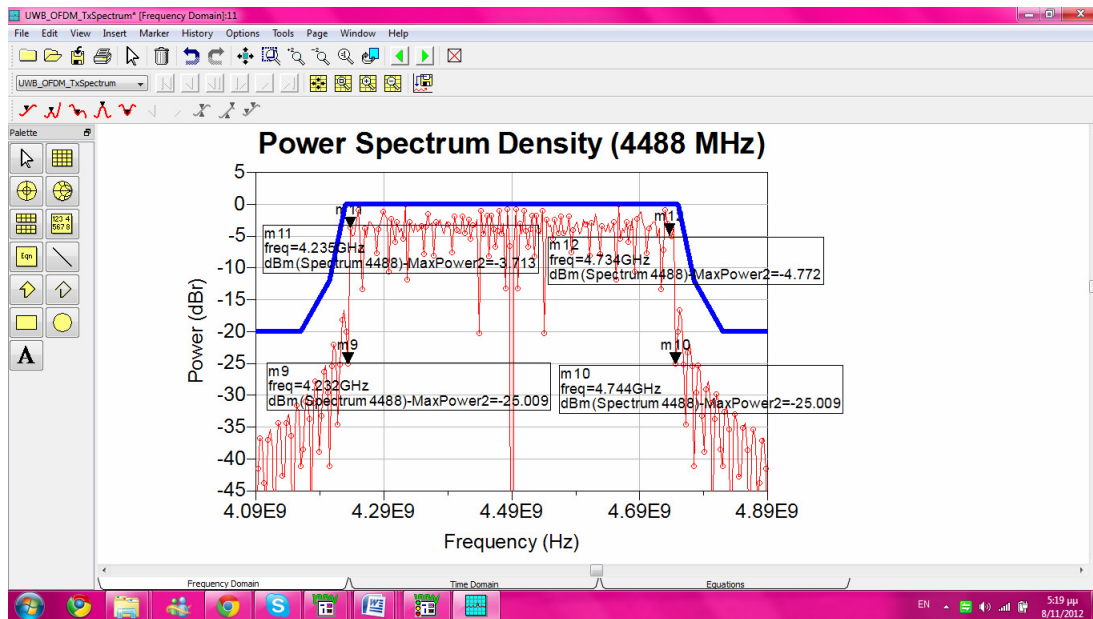
Εικόνα 8.1: Αποτελέσματα προσομοιώσεων πομπού



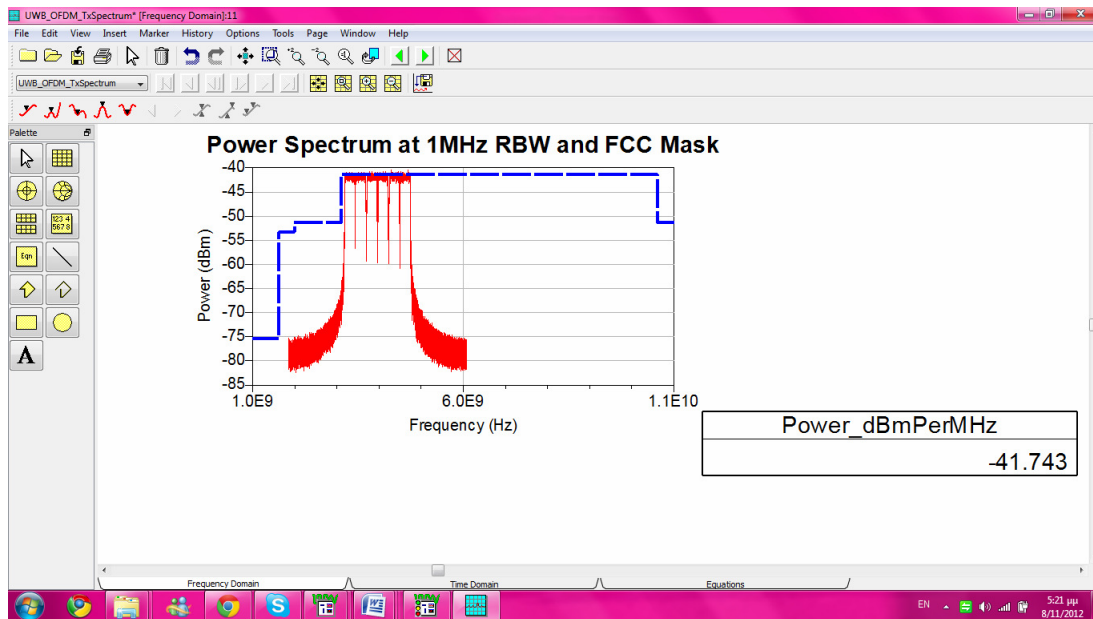
**Εικόνα8.2:Power Spectral Density (3432MHz)**



**Εικόνα8.3:Power Spectral Density (3960MHz)**

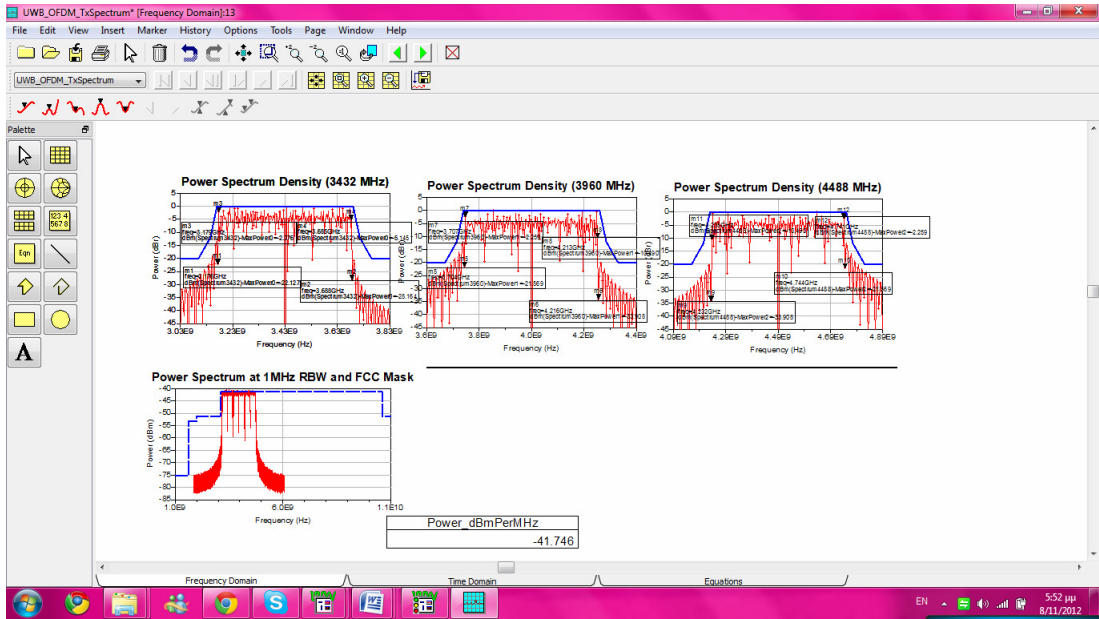


**Εικόνα8.4:Power Spectral Density (4488MHz)**

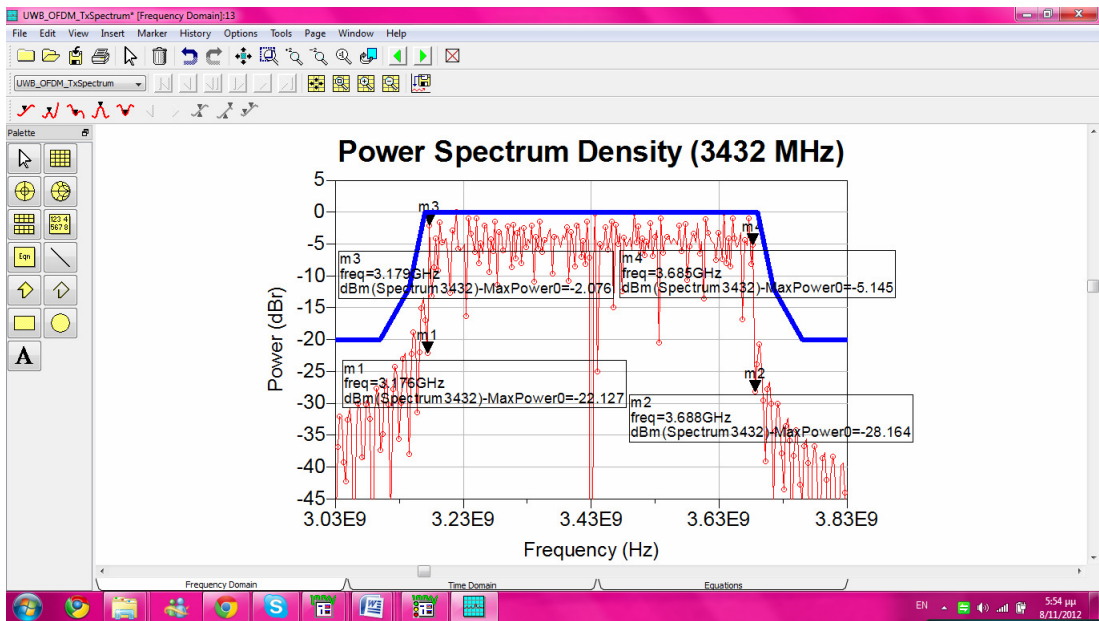


**Εικόνα8.5:Power Spectrum σε 1MHz RBW και FCC Mask**

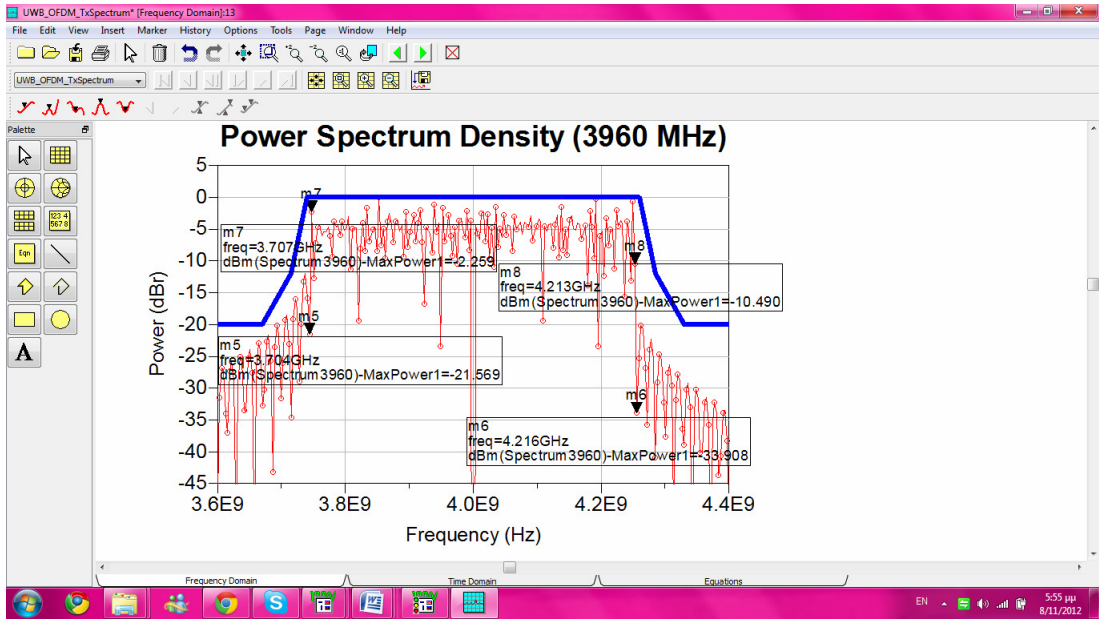
- Για Datarate=110Mbps



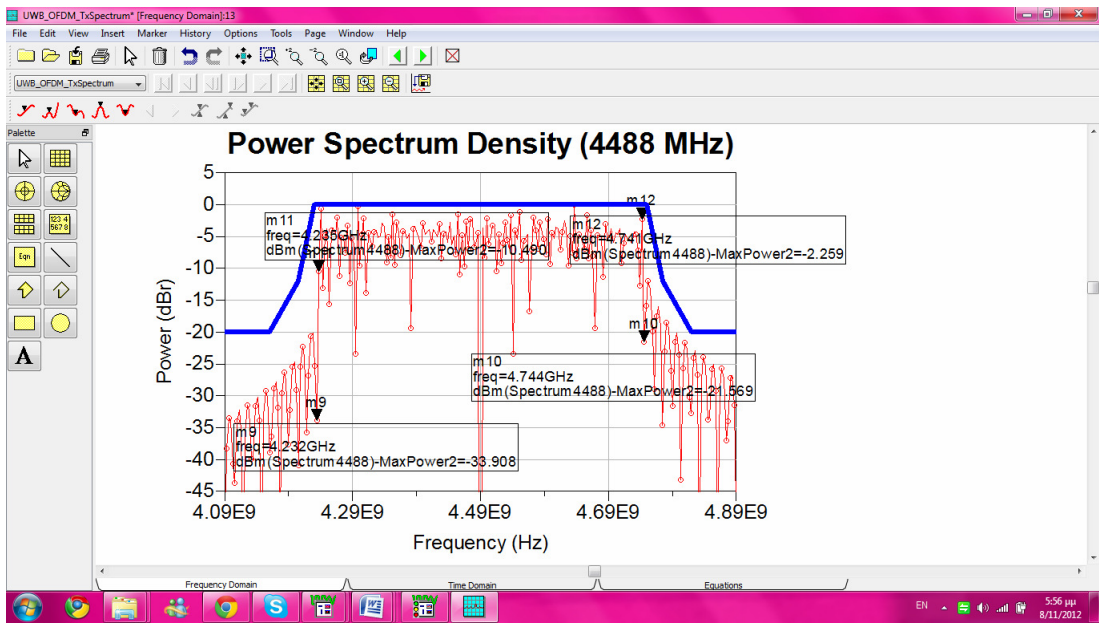
Εικόνα 8.6: Αποτελέσματα προσομοιώσεων πομπού



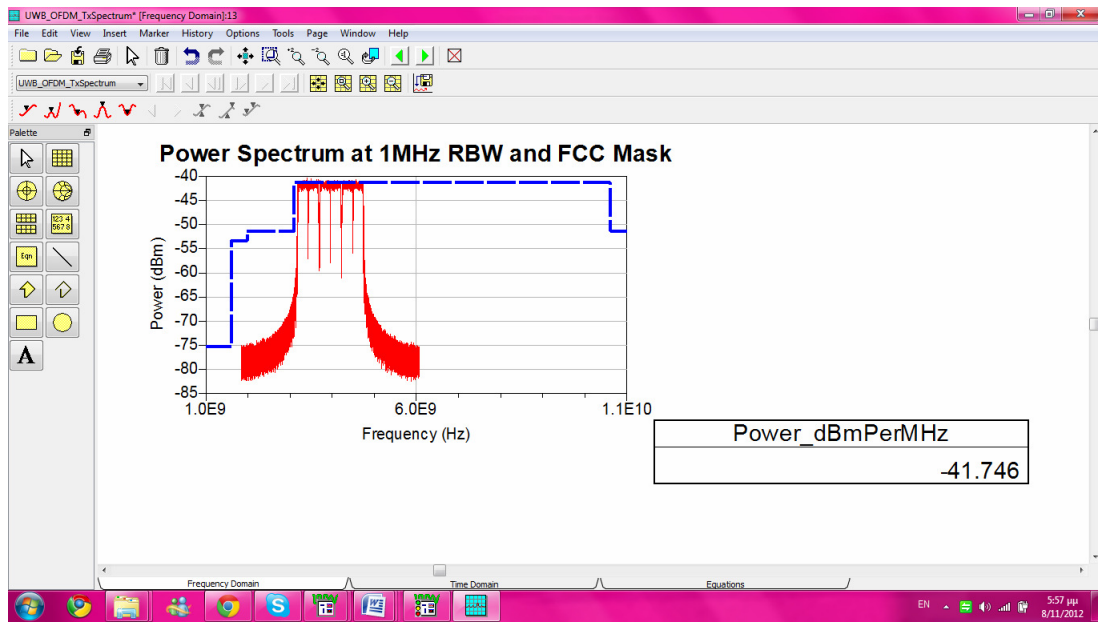
Εικόνα 8.7: Power Spectral Density (3432MHz)



Εικόνα 8.8: Power Spectral Density (3960MHz)



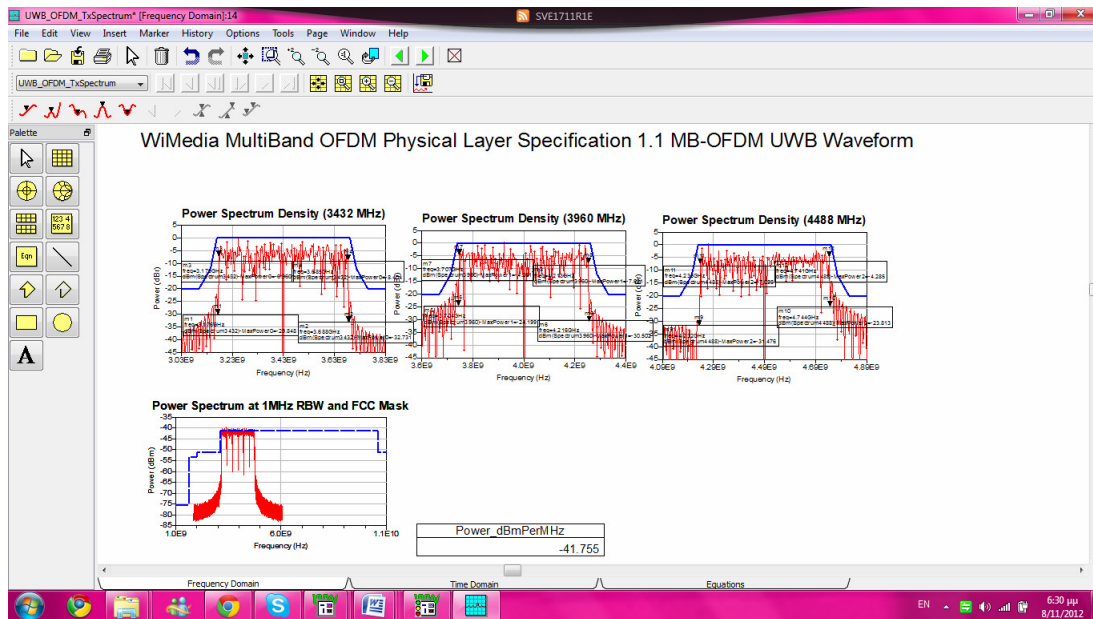
Εικόνα 8.9: Power Spectral Density (4488MHz)



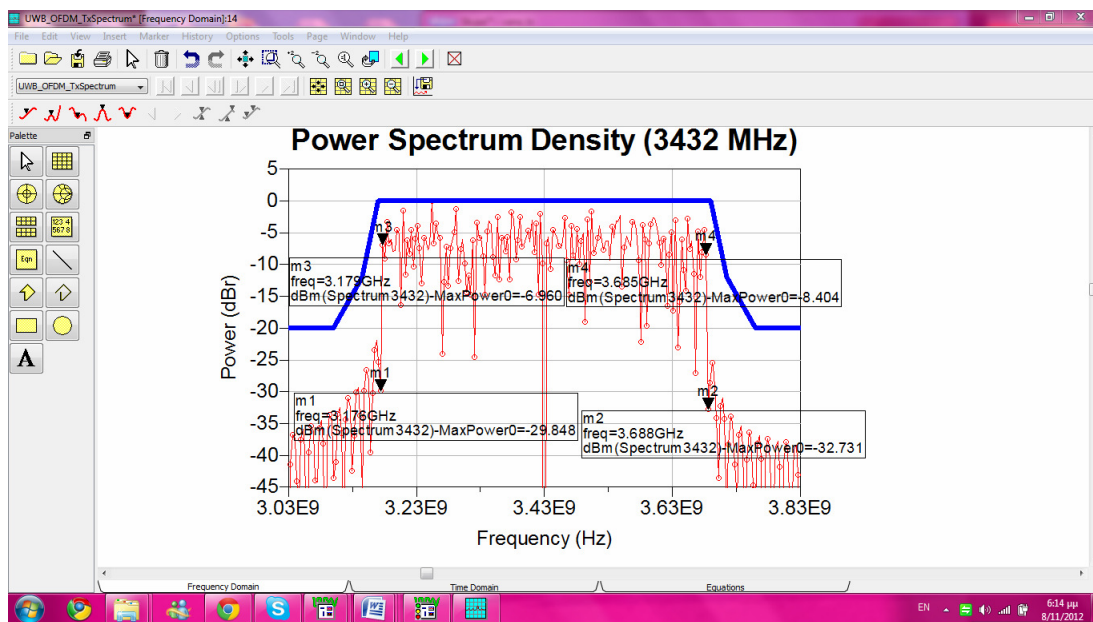
**Εικόνα 8.10: Power Spectrum στο 1MHz RBW και FCC Mask**

- Για Datarate=480Mbps



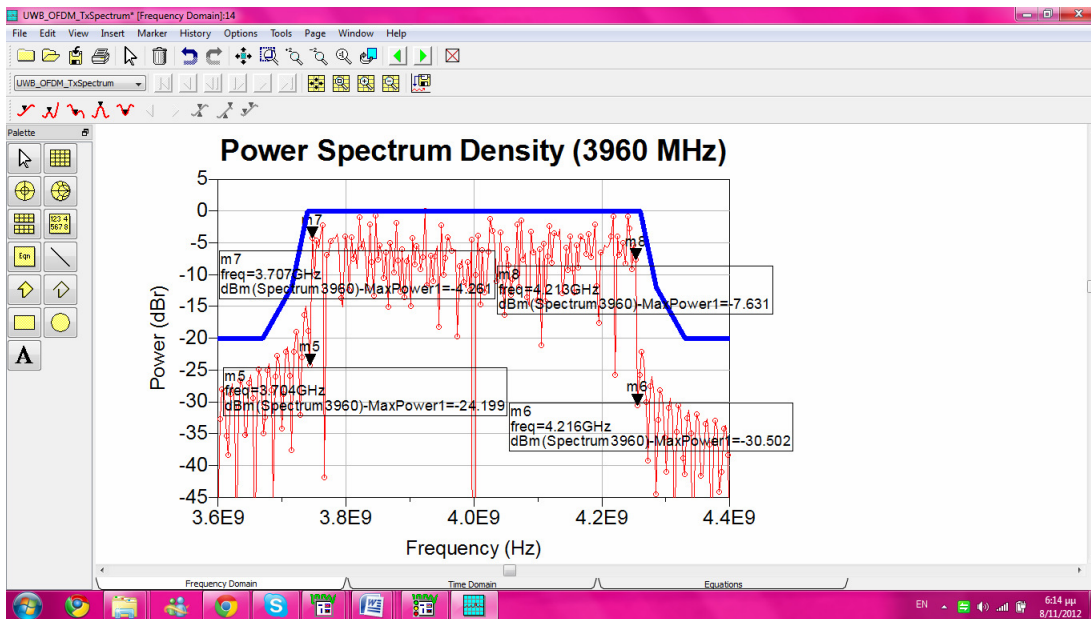


Εικόνα 8.11: Αποτελέσματα προσομοιώσεων πομπού

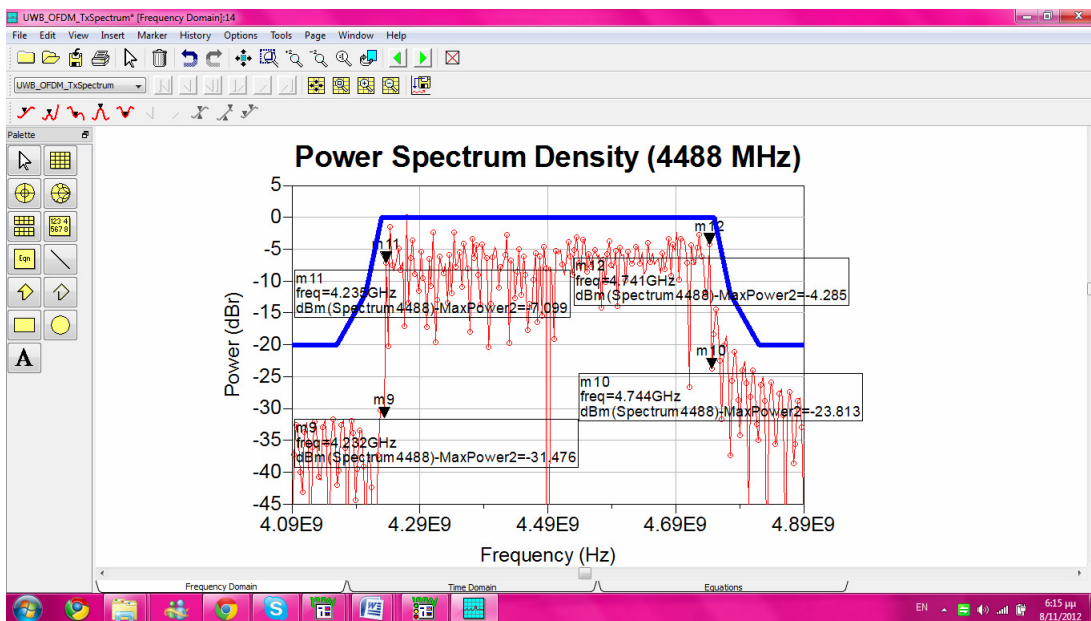


Εικόνα 8.12: Power Spectral Density (3432MHz)

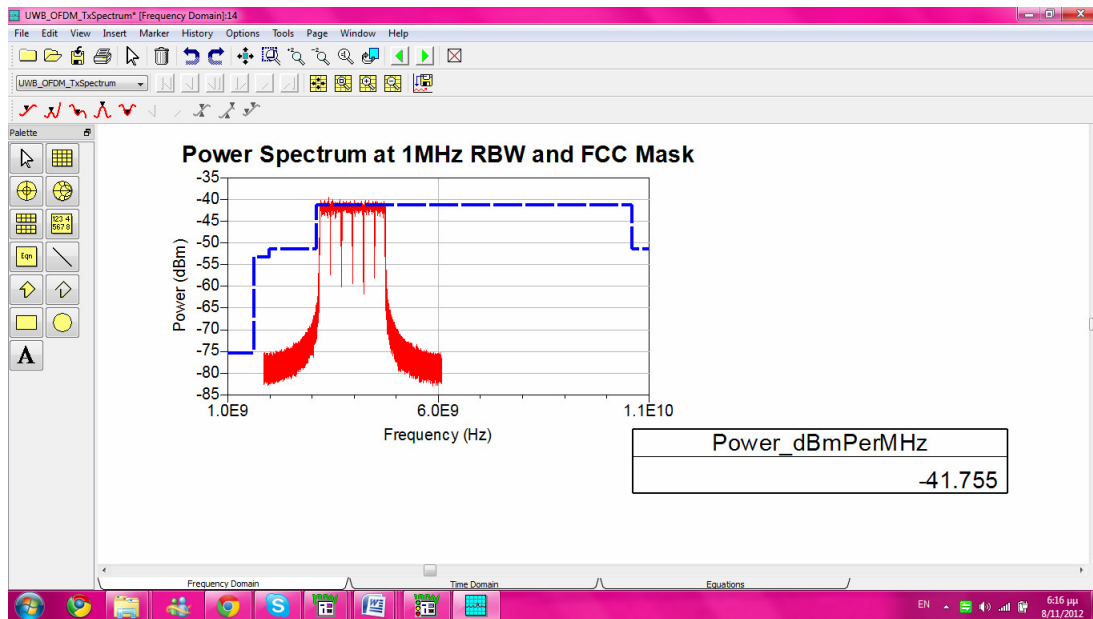




Εικόνα 8.13: Power Spectral Density (3960MHz)



Εικόνα 8.14: Power Spectral Density (4488MHz)



**Εικόνα 8.15: Power Spectrum στο 1MHz RBW και FCC Mask**

## Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα και χρησιμοποιώντας 4 marker αποδεικνύεται ότι η φασματική πυκνότητα είναι εντός των προδιαγραφών, οι οποίες είναι -12dBm σε 285MHz, -20dBm σε 330MHz και άνω. Αυτό ισχύει και στις δύο περιπτώσεις αφού η ισχύς του φάσματος πέφτει σχεδόν κατακόρυφα μεταξύ  $m_i$ - $m_j$  και  $m_x$ - $m_y$ . Επίσης η μπλε γραμμή/μάσκα οριοθετεί ακριβώς το φάσμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

### **8.3 ΔΕΚΤΗΣ**

Στη συνέχεια ακολουθούν οι προσομοιώσεις του δέκτη UWB. Έγινε προσομοίωση του κυκλώματος στο ADS όπου μεταβάλλουμε μερικές βασικές παραμέτρους όπως το Datarate και το Prx και θα δούμε τα αποτελέσματα που ακολουθούν.

#### **8.3.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ**

Στην παράγραφο 9.1 του προτύπου [16], αναφέρεται ότι ο ρυθμός σφαλμάτων πακέτων (PER) πρέπει να είναι μικρότερο από 8% με ένα PSDU 1024 bytes, ο ελάχιστος αριθμός ευαισθησίας του δέκτη για τους διάφορους ρυθμούς και τους τρόπους παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Data Rate (Mb/s) (Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων)	Minimum sensitivity (dBm) ( Ελάχιστη ευαισθησία)
53.3	-80.8
80	-78.9
106.7	-77.8
160	-75.9
200	-74.5
320	-72.8
400	-71.5
480	-70.4

**Πίνακας 8.16: Ελάχιστη ευαισθησία δέκτη για τους διάφορους ρυθμούς μετάδοσης**

Ο πίνακας αυτός ο οποίος εισήχθη και στο ADS χρησιμοποιήθηκε για τη ρύθμιση των μεταβλητών Datarate και Prx του κυκλώματος.

Note:

53.3 Mb/s: DataRate=0  
55 Mb/s: DataRate=1  
80 Mb/s: DataRate=2  
106.7 Mb/s: DataRate=3  
110 Mb/s: DataRate=4  
160 Mb/s: DataRate=5  
200 Mb/s: DataRate=6  
320 Mb/s: DataRate=7  
400 Mb/s: DataRate=8  
480 Mb/s: DataRate=9

Για Datarate=2 και Prx=-78.9 έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα όπου το BER και το FER έχουν τιμή μηδέν. Επομένως δεν υπάρχουν σφάλματα αφού ο συνδυασμός των παραμέτρων που έχουν καθοριστεί με χρήση των πινάκων αυτών είναι σωστός.

The screenshot shows the 'UWB\_OFDM\_RxSensitivity' software window. It features a menu bar (File, Edit, View, Insert, Marker, History, Options, Tools, Page, Window, Help), a toolbar, and a palette on the left. The main content area displays a table with the following data:

Index	BER	PER
0	0.000	0.000

Eqn PER=FER

**Specification requirements**

In Section 9.1, WiMedia MultiBand OFDM Physical Layer Specification Release 1.1, it is mentioned that for a Packet Error Rate (PER) of less than 8% with a PSDU of 1024 bytes, the minimum receiver sensitivity number for the various rates and modes are listed in below Table.

Data Rate (Mb/s)	Minimum sensitivity (dBm)
53.3	-80.8
80	-78.9
106.7	-77.8
160	-75.9
200	-74.5
320	-72.8
400	-71.5
480	-70.4

The software interface also shows a Windows taskbar at the bottom with the system clock set to 11:01 AM on 8/11/2012.

## Παράδειγμα 1

Ακολουθούν δύο παραδείγματα όπου έχουμε αλλάξει τις τιμές των παραμέτρων του Datarate και του Prx χρησιμοποιώντας τιμές που δεν ανήκουν στο σωστό συνδυασμό που έχει καθοριστεί στους πίνακες που αναφέραμε παραπάνω.

- Για Datarate=5 και Prx=-78.9

The screenshot shows the 'Receiver minimum input level sensitivity' window in the UWB\_OFDM\_RxSensitivity software. It includes a table for BER and PER values, a section for specification requirements, and a table of minimum sensitivity values for various data rates.

Index	BER	PER
0	0.004	0.955

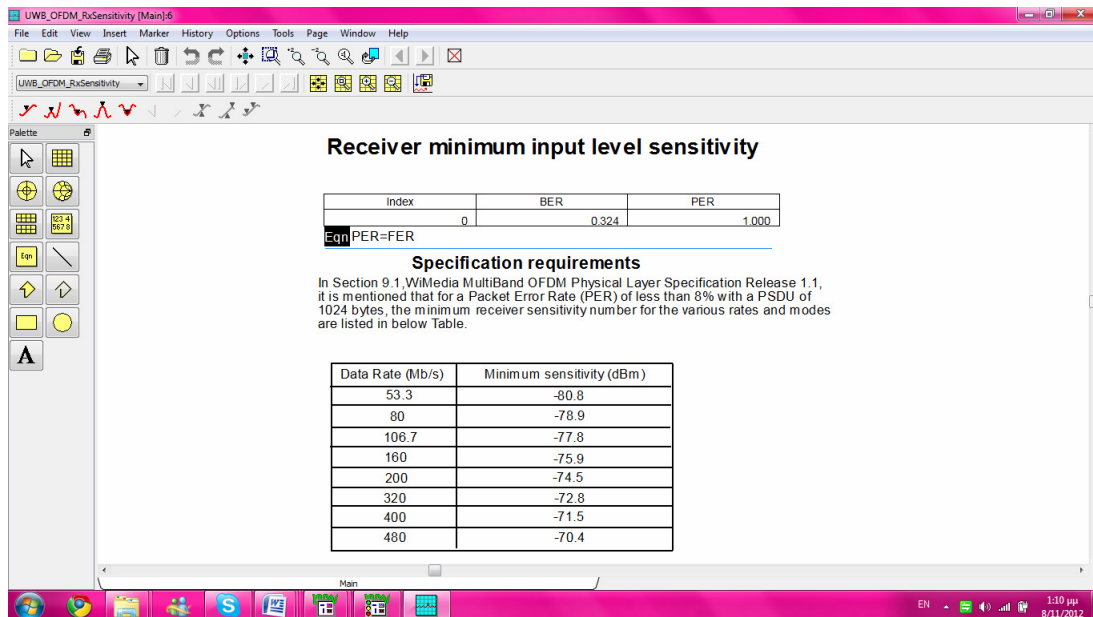
Eqn PER=FER

**Specification requirements**  
 In Section 9.1 WiMedia MultiBand OFDM Physical Layer Specification Release 1.1, it is mentioned that for a Packet Error Rate (PER) of less than 8% with a PSDU of 1024 bytes, the minimum receiver sensitivity number for the various rates and modes are listed in below Table.

Data Rate (Mb/s)	Minimum sensitivity (dBm)
53.3	-80.8
80	-78.9
106.7	-77.8
160	-75.9
200	-74.5
320	-72.8
400	-71.5
480	-70.4

## Παράδειγμα 2

- Για Datarate=9 και Prx=-74.5



### Παράδειγμα 3

Επομένως βλέπουμε και στα δύο παραδείγματα τα BER και FER δεν έχουν μηδενική τιμή. Οπότε υπάρχουν σφάλματα λόγω του ότι έχουμε επιλέξει διαφορετικές τιμές από αυτές που έχουν καθοριστεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς ενός UWB OFDM πομποδέκτη. Αρχικά έγινε μια ιστορική αναδρομή στο παρελθόν για τη δημιουργία της ασύρματης επικοινωνίας, καθώς και την εξέλιξη της. Στη συνέχεια αναλύσαμε την τεχνολογία υπερευρείας ζώνης UWB, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. Στο πειραματικό κομμάτι με τη βοήθεια του προγράμματος ADS (Advanced Design System) έγιναν οι προσομοιώσεις του πομπού και του δέκτη. Αλλάζοντας τις παραμέτρους στην πηγή των δεδομένων (πομπός) παρατηρήσαμε τα χαρακτηριστικά της εκπομπής και καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ακόμη και με μεγάλη μεταβολή του data rate (ρυθμό δεδομένων) η ισχύς του σήματος σε όλες τις περιπτώσεις μεταβάλλεται ελάχιστα. Στη συνέχεια ακολούθησαν οι προσομοιώσεις του δέκτη κυρίως όσον αφορά στην ευαισθησία. Αλλάζοντας τις παραμέτρους του datarate (ρυθμό δεδομένων) και του Prx (ευαισθησία δέκτη) σύμφωνα με το συνδυασμό των παραμέτρων που είχαν καθοριστεί

από τους πίνακες του αντίστοιχου προτύπου, παρατηρήσαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν ειδικότερα όσον αφορά στην εμφάνιση σφαλμάτων. Γενικά παρατηρώντας τον τρόπο υλοποίησης του πομπού και του δέκτη για τη χρήση σε επικοινωνίες υπερευρείας ζώνης μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί πως πρόκειται για μια τεχνολογία φθηνή και αρκετά εύκολη στην υλοποίηση της, η οποία όμως τεχνολογία δεν κάνει κανένα συμβιβασμό σε θέματα ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και ευχρηστίας. Ίσως αυτό να αποτελεί και το λόγο που μεγάλες εταιρίες παραγωγής υψηλής τεχνολογίας καθώς και πλήθος πανεπιστημίων και ερευνητικών οργανισμών έχουν στρέψει με ιδιαίτερο ενδιαφέρον το βλέμμα τους σε αυτόν το νέο και πολλά υποσχόμενο τρόπο ασύρματης μετάδοσης δεδομένων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] Ultra-Wideband Wireless Communications and Networks, Edited by Xuemin (Sherman)Shen, University of Waterloo, Canada, Moshen Guizani, Western Michigan University, USA, Robert Caiming Qiu, Tennessee Technological University, USA, Tho Le-Ngoc, McGill University, Canada, 2006 John Wiley & Sons, Ltd.

[2] Ultra-Wideband Communications Systems Multiband OFDM Approach W. Pam Siri Wongpairat Meteor Communications Corporation K. J. Ray Liu University of Maryland

[3] M. Ghavami, L.B. Michael, R. Kohno. Ultra Wideband signals and systems in communication engineering, Second Edition, 2007

[4] Faranak Nekoogar. Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications, 2005

[5] <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>

[6] Analysis for Indoor geolocation Torbjorn Carlberg

[7] Ultra-Wideband Communications: Fundamental and Applications by Faranak

Nekoogar, Prentice Hall, August 31, 2005.

[8] Ultrawideband Band-Notched Folded Strip Monopole Antenna, Tzyh-Chuang Ma, Member, IEEE, and Sung-Jung Wu, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No.9, September 2007.

[9] ultra wideband(a brief description of the wave of the future) John schell university of Maryland University College March 12 2002

[10] International Telecommunication union radio communication Study Groups Document 1-8/Temp/17-E 23 January 2003 English only

[11] Antenna Design for Ultra Wideband Radio by Johnna Powel, B.S., Electrical Engineering, New Mexico State University, 2001, Submitted to the Department of Electrical Engineering in Partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology, May 7, 2004.

[12] Proakis, Salehi. Digital Communications, 5th Ed, 2009

[13] J.M. Cioffi. Digital Communications Lecture Notes, Department of Electrical Engineering, Stanford University, 2009

[14] Moe Z. Win, Robert A. Scholtz. Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications. IEEE Fourth International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, 1996

[15] Yang, Giannakis. Ultra-Wideband Communications, An Idea Whose Time Has Come, IEE Signal Processing Magazine, November 2004

[16] Multiband Ofdm Physical Layer Specification *Making High-Speed Wireless A Reality ...* PHP Specification: Final Deliverable 1.5 August 11,2009