



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός multiband 4G πομποδέκτη
με συνάθροιση φερόντων

Τριανταφυλλίδης Β. Γεώργιος

Επιβλέπων: Πλέσσας Φώτιος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Βόλος, Οκτώβριος 2015

Σχεδιασμός multiband 4G πομποδέκτη
με συνάθροιση φερόντων

Design of multiband 4G transceiver employing
carrier aggregation

Triantafillidis Georgios

A THESIS

Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Diploma of Science

In Computer and Communication Engineering

University of Thessaly

2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ MULTIBAND 4G ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ
ΜΕ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ

Διπλωματική εργασία του:
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΗ Β. ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Επιβλέπων: Πλέσσας Φώτιος

Επίκουρος καθηγητής Τ.Η.Μ.Μ.Υ.

Εγκρίθηκε από τη διμελή επιτροπή στις /10/2015.

.....

(Υπογραφή)

Πλέσσας Φώτιος

Επίκουρος καθηγητής Τ.Η.Μ.Μ.Υ.

.....

(Υπογραφή)

Σταμούλης Γεώργιος

Καθηγητής Τ.Η.Μ.Μ.Υ

.....

(Υπογραφή)

Τριανταφυλλίδης Β. Γεώργιος

Διπλωματούχος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © Τριανταφυλλίδης Β. Γεώργιος, 2015 – All rights reserved

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Ο Γεώργιος Τριανταφυλλίδης μέσω του παρόντος βεβαιώνει ότι τόσο αυτή η διατριβή με τίτλο « Σχεδιασμός multiband 4G πομποδέκτη με συνάθροιση φερόντων» όσο και το έργο που παρουσιάζεται σε αυτή, έχει συνταχθεί από τον ίδιο και βασίζεται στην δική του προσωπική εργασία, εκτός από όπου αναφέρεται κάτι διαφορετικό. Η έρευνα διεξήχθη όλως ή μερικώς στο πλαίσιο της υποψηφιότητάς του για το πτυχίο « Μηχανικός Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων ». Σε οποιοδήποτε σημείο έχουν εισαχθεί πληροφορίες από δουλειά τρίτων γίνεται πάντοτε η απαραίτητη μνεία και η πηγή δίνεται. Οι κύριες πηγές βοήθειας επισημαίνονται στην βιβλιογραφική ενότητα της παρούσας διατριβής.

Περίληψη

Στόχος της διπλωματικής έρευνας ήταν η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός RF πομποδέκτη με χρήση διακριτών στοιχείων (ενισχυτών, φίλτρων, ταλαντωτών και μεικτών). Στην υλοποίηση της εργασίας δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη λειτουργία της συνάθροισης φερόντων – carrier aggregation.

Γίνεται επιπλέον θεωρητική προσέγγιση της έννοιας του πομποδέκτη καθώς και της τεχνολογίας LTE και LTE-advanced, όπου εφαρμόζεται και η τεχνολογία του carrier aggregation.

Στα πλαίσια της εργασίας επιλέχθηκαν μπάντες του LTE καθώς και οι συχνότητες εκπομπής του WiFi, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Για την προσομοίωση του εν λόγω πομποδέκτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ADS (Advanced Design System). Στη συνέχεια της εργασίας παραθέτονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και ο σχολιασμός τους.

Abstract

The main purpose/aim of this thesis is the study and design of an RF transceiver using discrete components (amplifiers, filters, oscillators and mixers). During the implementation of this thesis particular emphasis was given to the operation of the carrier aggregation.

In addition, a Theoretical approach is made not only to the concept of the transceiver but also to the technology LTE and LTE-advanced, where the technology of carrier aggregation takes place.

To be able to implement a case study specific LTE and WiFi bands have been used. The Advanced Design System (ADS) tool has been used for simulation and characterization purposes. Results and the commentaries are coming forward.

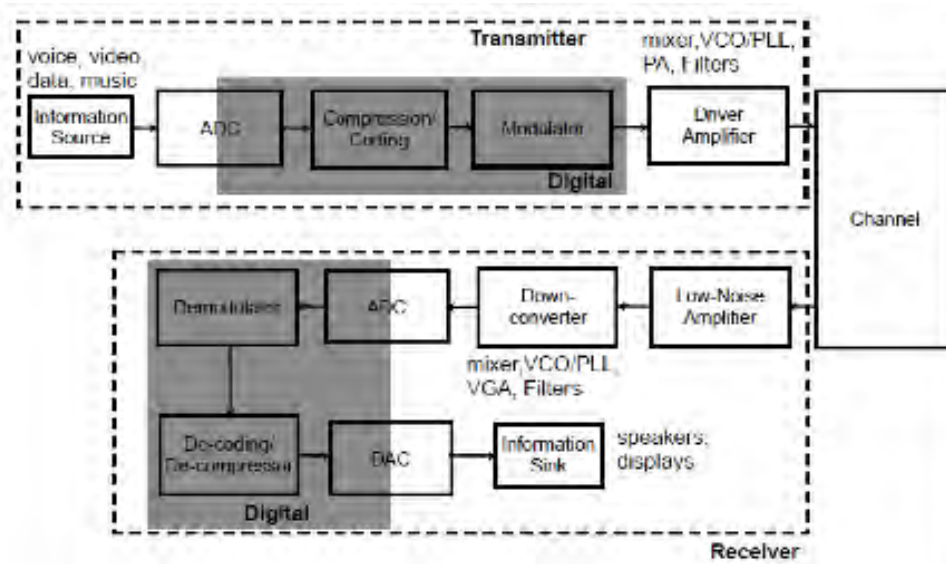
Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή στους ασύρματους πομποδέκτες.....	12
2.1 Βασικά στοιχεία ενός πομπού.....	14
2.2 Βασικά στοιχεία ενός δέκτη.....	17
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την επικοινωνία.....	20
2. LTE και Carrier Aggregation.....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Συνάθροιση Φερόντων.....	27
2.3 Κατηγορίες Συνάθροισης Φερόντων.....	30
2.4 Αρχιτεκτονικές.....	33
2.5 Τα πλεονεκτήματα του Carrier Aggregation.....	37
3. Υλοποίηση Κυκλωμάτων.....	38
3.1 Περιγραφή Υλοποίησης.....	38
3.2 LMS 6002 D.....	39
3.3 AD 9361.....	41
3.4 Παρουσίαση αλυσίδων πομποδέκτη.....	42
3.5 Πομποδέκτης συνάθροισης μπάντας 20 & μπάντας 3.....	48
3.6 Πομποδέκτης συνάθροισης μπάντας 7 & Wifi.....	54
4. Συμπεράσματα και Μελλοντικές προσθήκες.....	61
Βιβλιογραφία.....	62

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή στους ασύρματους πομποδέκτες

Πομποδέκτης ονομάζεται οποιαδήποτε συσκευή που περιλαμβάνει έναν πομπό και έναν δέκτη, οι οποίοι μοιράζονται το ίδιο κύκλωμα. Η εικόνα παρακάτω δείχνει το σχηματικό διάγραμμα από έναν ασύρματο πομποδέκτη RF στο οποίο φαίνονται ο πομπός, το κανάλι μέσω του οποίου γίνεται η μετάδοση καθώς και ο δέκτης [1].



Σχήμα 1 - Ασύρματος Πομποδέκτης

- **Πομπός**

Ο πομπός παράγει το σήμα το οποίο έχει αρκετή ισχύ σε μια πολύ ακριβή συχνότητα και ένα αρκετά καθαρό φάσμα. Οι πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν εκφράζονται με ένα ημιτονοειδές φέρον σήμα [1].

- **Κανάλι**

Το κανάλι στο σύστημα επικοινωνίας αναφέρεται στο μέσο μέσω του οποίου οι πληροφορίες μεταφέρονται από το υποσύστημα του πομπού στο υποσύστημα του δέκτη. Αυτό θα μπορούσε να είναι είτε αέρας είτε οπτικές ίνες είτε χαλκός.

Παράγοντες που επηρεάζουν την εμβέλεια είναι η κεραία, η ευαισθησία και το περιβάλλον. Το κέρδος του πομποδέκτη μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας την ισχύ της εξόδου, με αύξηση της ευαισθησίας είτε με τη χρήση κεραιών υψηλού κέρδους [2].

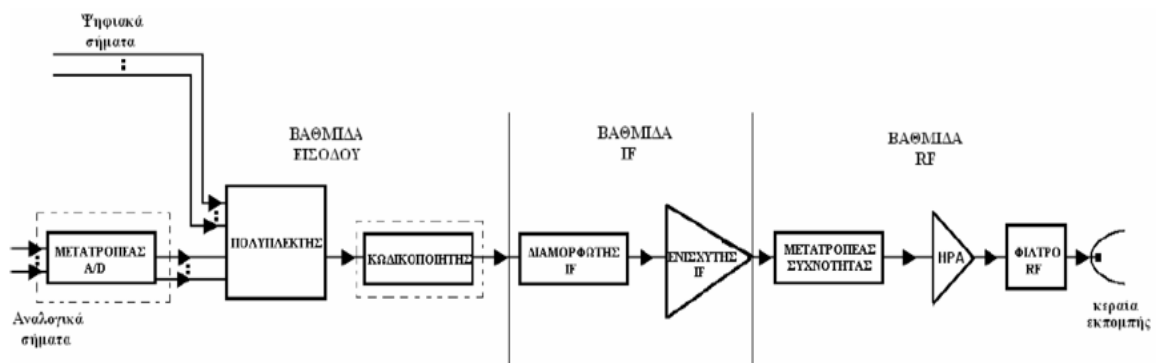
- **Δέκτης**

Ο δέκτης λαμβάνει το σήμα και το μετατρέπει στην αρχική του μορφή. Ένας δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να επιλέξει το επιθυμητό σήμα και να κάνει τη διάκριση από τα σήματα θορύβου και από άλλα ανεπιθύμητα σήματα που βρίσκονται στην ζώνη συχνοτήτων.

Στην συνέχεια ακολουθεί αναλυτικότερη παρουσίαση των βαθμίδων από τις οποίες αποτελείται ο πομπός και ο δέκτης.

1.1 Βασικά στοιχεία ενός πομπού

Ο πομπός είναι το σύστημα που έχει σχεδιαστεί με απώτερο στόχο την αποδοτική εκπομπή ενός σήματος. Αποτελείται από τις τρεις βασικές βαθμίδες. Αναλυτικότερα, απαρτίζεται από την βαθμίδα εισόδου, τη βαθμίδα επεξεργασίας ενδιάμεσων ή χαμηλών συχνοτήτων IF (Intermediate Frequencies) και τη βαθμίδα ραδιοσυχνοτήτων RF (Radio Frequencies), οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Παρακάτω φαίνονται οι βαθμίδες του πομπού και οι αλληλεξάρτησή που υπάρχει μεταξύ τους. Ορισμένες βαθμίδες ενδέχεται να μην υπάρχουν σε ορισμένους πομπούς [1].



Σχήμα 2 - Βασικές μονάδες ενός πομπού

Βαθμίδα εισόδου

Οι μονάδες από τις οποίες αποτελείται η βαθμίδα εισόδου είναι οι παρακάτω:

- *A/D Converter*: Μετατρέπει τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά.
- *Multiplexer (Πολυπλέκτης)*: Στη περίπτωση αναλογικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων τα αναλογικά σήματα πολυπλέκονται με σκοπό τη δημιουργία του συνολικού προς μετάδοση σήματος. Ενώ, στην περίπτωση ψηφιακών

τηλεπικοινωνιακών συστημάτων πολυπλέκονται με σκοπό τη δημιουργία συνολικής ακολουθίας ψηφίων προς μετάδοση.

- *Encoder (Κωδικοποιητής)*: Παράγει το σήμα βασικής ζώνης, το οποίο πρόκειται να εκπεμφθεί στην περίπτωση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Βαθίδα επεξεργασίας IF

Η βαθίδα αυτή περιλαμβάνει:

- *Modulator (Διαμορφωτής)*: διαμορφώνει το σήμα βασικής ζώνης κατά γωνία στην ενδιάμεση συχνότητα του πομπού. Το σήμα που πρόκειται να εκπεμφθεί από την περιοχή βασικής ζώνης μετατοπίζεται φασματικά στην περιοχή της ενδιάμεσης συχνότητας.
- *Amplifier IF (Ενισχυτής IF)*: Ενισχύει το σύνθετο σήμα στην ενδιάμεση συχνότητα του πομπού. Η ενδιάμεση συχνότητα εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής για την οποία έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί ο πομπός [1].

Βαθίδα ραδιοσυχνότητων

Η βαθίδα αυτή περιλαμβάνει:

- *Μετατροπέας συχνότητων*: Το συγκεκριμένο τμήμα της βαθίδας μετατοπίζει το σήμα προς εκπομπή στην ραδιοσυχνότητα εκπομπής από την περιοχή της ενδιάμεσης συχνότητας.
- *Ενισχυτής ισχύος HPA*: ενισχύει το σήμα παρέχοντας στην έξοδο την τελική ισχύ εκπομπής.

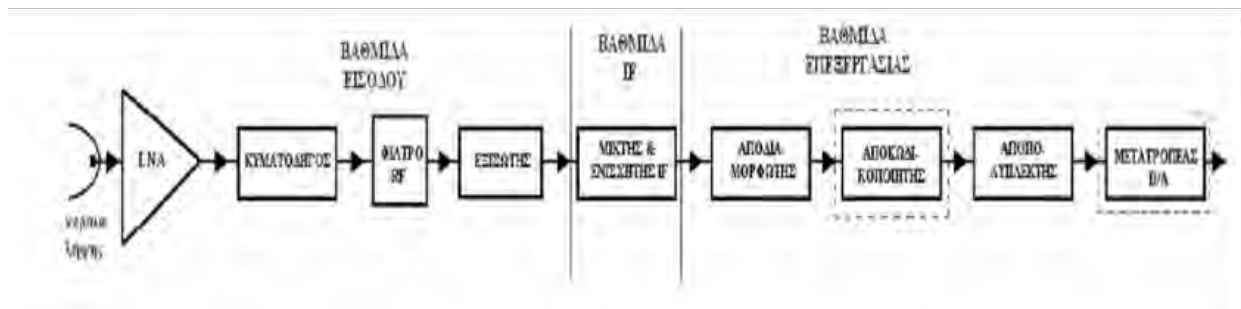
- *Φίλτρο ραδιοσυχνότητων*: Αποκόπτει το φασματικό μέρος του προς εκπομπή σήματος το οποίο βρίσκεται εκτός της ζώνης συχνοτήτων που απαιτεί η εφαρμογή.
- *Διάταξη σύζευξης*: πρόκειται για την κεραία εκπομπής από την στιγμή που πρόκειται για ασύρματες επικοινωνίες [3].

1.2 Βασικά στοιχεία ενός δέκτη

Το σύστημα που λαμβάνει και επεξεργάζεται το σήμα ονομάζεται δέκτης. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα ασύρματων δεκτών αποτελούν οι ραδιοφωνικοί, οι τηλεοπτικοί κ.ο.κ. Οι δέκτες μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες με βάση τη συχνότητα λειτουργίας τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν οι παρακάτω κατηγορίες [4]:

- Ομόδουνοι: όταν η συχνότητα λειτουργίας συμπίπτει με τη συχνότητα του σήματος που λαμβάνουν.
- Ετερόδουνοι: όταν το ληφθέν σήμα μετατοπίζεται φασματικά περί την ενδιάμεση συχνότητα.

Παρακάτω φαίνονται οι βαθμίδες του δέκτη και η αλληλεξάρτηση που υπάρχει μεταξύ τους:



Σχήμα 3 - Βασικές μονάδες ενός δέκτη

Βαθμίδα εισόδου

Οι μονάδες από τις οποίες αποτελείται η βαθμίδα εισόδου είναι οι παρακάτω:

- *Κεραία*: συλλέγει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την οπτική στο ενδεχόμενο οπτικών επικοινωνιών.
- *Ενισχυτής χαμηλού θορύβου LNA*: λειτουργεί σε όλο το εύρος λειτουργίας του δέκτη με σκοπό την πρώτη ενίσχυση στο ληφθέν σήμα.
- *Γραμμή μεταφοράς ή Κυματοδηγός*: μεταδίδει το ενισχυμένο σήμα (μετά το στάδιο της πρώτης ενίσχυσης) στο επιμέρους τμήματα στο εσωτερικό του δέκτη.
- *Φίλτρα ραδιοσυχνοτήτων RF*: αποκόπτουν τον θόρυβο και τις παρεμβολές που εκτείνονται εκτός των συχνοτήτων που περιλαμβάνουν πληροφορία.
- *Εξισωτικά κυκλώματα*: αντισταθμίζουν την επίδραση του διαύλου επικοινωνίας λόγω της μεταβολής των χαρακτηριστικών τους με τη συχνότητα.

Η βαθμίδα εισόδου του δέκτη επιτελεί σημαντική λειτουργία καθώς διαχωρίζει σήματα από διαφορετικούς πομπούς. Στόχος της εκάστοτε σχεδίασης είναι η μέγιστη μεταφορά ισχύος ανάμεσα στις επιμέρους βαθμίδες του δέκτη. Ορισμένες από τις προαναφερθείσες μονάδες της βαθμίδας υπάρχει περίπτωση να μην υπάρχουν σε κάθε δέκτη, όμως πρέπει να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται από χαμηλό εσωτερικό θόρυβο. Για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μικρότερη παρεμβολή θορύβου σε επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων ο ενισχυτής χαμηλού θορύβου προηγείται του ενσύρματου μέσου μετάδοσης, το οποίο δεν πρέπει να έχει μεγάλο μήκος, καθώς και του φίλτρου RF. Οι

περισσότεροι δέκτες χαρακτηρίζονται από ένα μέγεθος που ονομάζεται CNR_T, κάτω από το οποίο είναι αδύνατη η ορθή λειτουργία του δέκτη, δηλαδή σύμφωνα με τις προδιαγραφές βάσει των οποίων σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε [4].

Βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας IF

Η βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας αποτελεί βασικό στάδιο του δέκτη, διότι σε αυτήν δίνεται το μεγαλύτερο μέρος της ενίσχυσης στο ληφθέν σήμα. Η συχνότητα του σήματος υποβιβάζεται στην συχνότητα του δέκτη. Η συχνότητα του δέκτη διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή του βάσει της οποίας έχει σχεδιαστεί [4].

Βαθμίδα Επεξεργασίας

Η βαθμίδα επεξεργασίας είναι το στάδιο στη λειτουργία του δέκτη που ακολουθεί την IF επεξεργασίας στην περίπτωση της ετερόδυνας λειτουργίας ή στην περίπτωση της ομόδυνας ακολουθεί τη βαθμίδα εισόδου απευθείας. Βασικά υπομνήματα της συγκεκριμένης βαθμίδας είναι ο αποδιαμορφωτής, ο ενισχυτής βασικών συχνοτήτων και ο μετατροπέας D/A ή ο πολυπλέκτης ανάλογα με το είδος των σημάτων που δέχεται ο δέκτης.

Η ορθή λειτουργία ενός δέκτη προϋποθέτει την ύπαρξη διαφόρων συστημάτων που συνεργάζονται με όλες τις βαθμίδες. Τέτοιου είδους συστήματα είναι το σύστημα ανάκτησης του φέροντος και το κύκλωμα ανάκτησης του ρυθμού μετάδοσης. Το πρώτο υποβοηθά τον τοπικό ταλαντωτή να αναπαράγει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος. Ενώ το δεύτερο σύστημα υπάρχει μόνο σε ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα και ελέγχει το κύκλωμα συγχρονισμού του δέκτη, με απώτερο στόχο τη λειτουργία στον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης ψηφίων του πομπού [4].

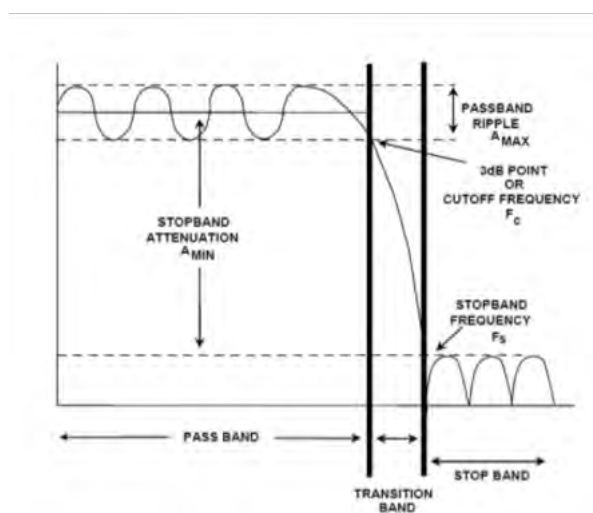
1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την επικοινωνία

Υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν την επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη οι οποίοι προκαλούν μείωση της ταχύτητας της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί είτε να προέρχονται από το μέσο μέσω του οποίου γίνεται η επικοινωνία (π.χ. αέρας) είτε από τις αστοχίες στην κατασκευή των ηλεκτρονικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται στα επιμέρους τμήματα του πομποδέκτη.

Παραμόρφωση

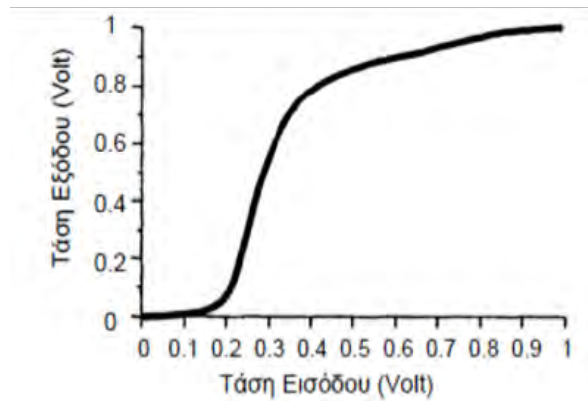
Η πλειονότητα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων από τα οποία αποτελούνται οι πομποδέκτες (π.χ. μείκτες, φίλτρα, ενισχυτές) παραμορφώνουν το σήμα.

- Η παραμόρφωση στα φίλτρα οφείλεται στην φυσική αδυναμία κατασκευής τελείως επίπεδης ζώνης διέλευσης με αποτέλεσμα να προκύπτει μεταβολή στη συχνότητα.



Σχήμα 4 – Παραμόρφωση προερχόμενη από τα φίλτρα

- Οι ενισχυτές προσθέτουν επιπλέον παραμόρφωση στο σήμα λόγω της μη-γραμμικότητας της εξόδου με την ισχύ εισόδου.



Σχήμα 5 - Παραμόρφωση λόγω ενίσχυσης

- Το κανάλι επικοινωνίας με τη σειρά του παραμορφώνει το σήμα στην απολαβή. Τα ενσύρματα κανάλια προκαλούν μείωση τους πλάτους με την αύξηση της συχνότητας, εξαιτίας της χωρητικής συμπεριφοράς των καλωδίων [3].

Παρεμβολή

Το φαινόμενο της παρεμβολής προκύπτει όταν γίνεται παράλληλη εκπομπή στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται το σήμα λόγω των υπόλοιπων μεταδιδόμενων σημάτων. Παρεμβολή μπορεί να προκύψει και λόγω ηλεκτρικών γραμμών ισχύος. Για να μειωθεί το συγκεκριμένο φαινόμενο χρησιμοποιείται κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο στην είσοδο του δέκτη με σκοπό την αποκοπή των ανεπιθύμητων συχνοτήτων [4].

Θόρυβος

Το φαινόμενο του θορύβου (noise) προκαλεί απρόβλεπτη διακύμανση ως προς το πλάτος και τη συχνότητα μετάδοσης του σήματος. Το συγκεκριμένο φαινόμενο μπορεί να προκληθεί είτε μέσα στο κανάλι επικοινωνίας είτε μέσα στο σύστημα του πομπού ή του δέκτη.

Τα είδη του θορύβου είναι δύο: ο προσθετικός, ο οποίος προστίθεται στο σήμα και ο πολλαπλασιαστικός, ο οποίος πολλαπλασιάζεται με το αρχικό μας σήμα.

Ο θόρυβος μπορεί να προκύψει για διάφορους λόγους και από τον λόγο από τον οποίο προκύπτει παίρνει και την ονομασία του. Τα κυριότερα είδη θορύβου, τα οποία εμφανίζονται στα επικοινωνιακά συστήματα, είναι ο θερμικός θόρυβος, ο θόρυβος βολής, ο θόρυβος αναλαμπής και ο ατμοσφαιρικός θόρυβος.

- Θερμικός θόρυβος (θόρυβος Johnson): Προκαλείται από την κίνηση των ηλεκτρονίων σε έναν αγωγό και είναι ανάλογος της θερμοκρασίας του αγωγού. Το είδος αυτού του θορύβου δε γίνεται να αποφευχθεί πλήρως για φυσικούς λόγους, διότι υπάρχει είτε με την ύπαρξη ρεύματος είτε χωρίς, μπορεί να μειωθεί με την κατάλληλη ψύξη του συστήματος.

Υπολογίζεται μέσω του παρακάτω μαθηματικού τύπου:

$N = k * T * B$, όπου k είναι η σταθερά Boltzmann, T είναι η απόλυτη θερμοκρασία και B είναι το εύρος ζώνης.

- Θόρυβος βολή (shot noise): Εμφανίζεται στις επαφές των ημιαγωγών κατά τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Ο θόρυβος είναι ανάλογος του ρεύματος πόλωσης του ημιαγωγού.
- Θόρυβος αναλαμπής ή flicker: Παρατηρείται σε ημιαγωγούς όμοια με τον θόρυβο βολής αλλά αντίθετα με τον θόρυβο βολής μειώνεται με τη συχνότητα. Η ονομασία του προκύπτει από το flickering – τρεμόπαιγμα των πυρακτωμένων ινών των λυχνίων κενού. Η ισχύς του συγκεκριμένου θορύβου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη συχνότητα, για το

συγκεκριμένο λόγο ονομάζεται και «θόρυβος $1/f$ ». Παρατηρείται κυρίως σε συχνότητες μικρότερες των 100Hz.

- Ατμοσφαιρικός θόρυβος: Προκαλείται εξαιτίας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον ήλιο. Η ισχύς της συγκεκριμένης κατηγορίας θορύβου είναι γενικά μικρότερη από του θερμικού θορύβου [4].

Κεφάλαιο 2

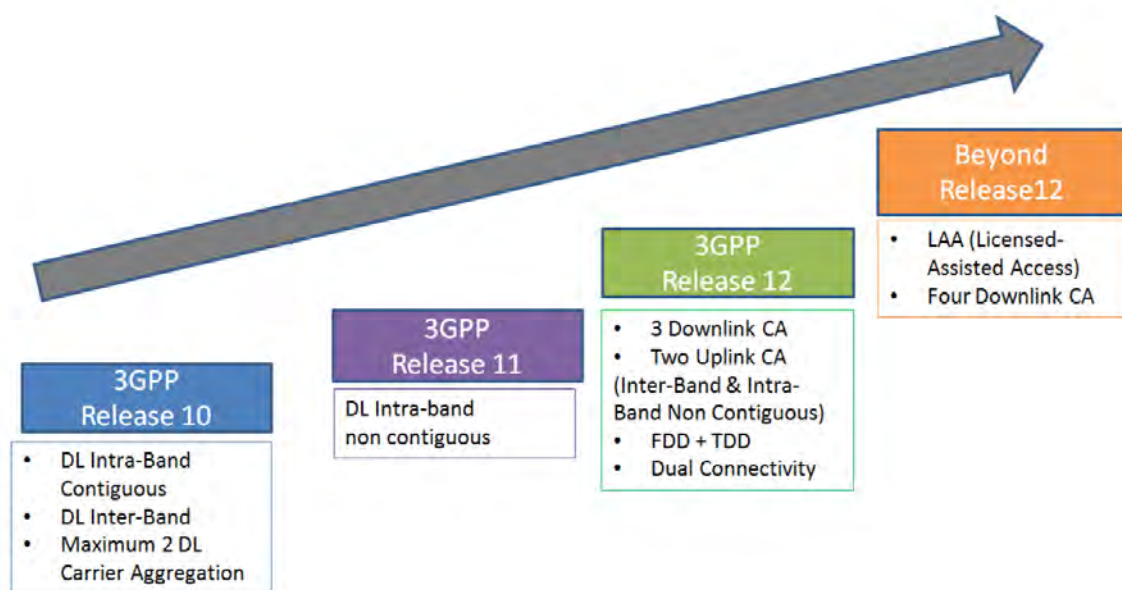
2. LTE και Carrier Aggregation

2.1 Εισαγωγή

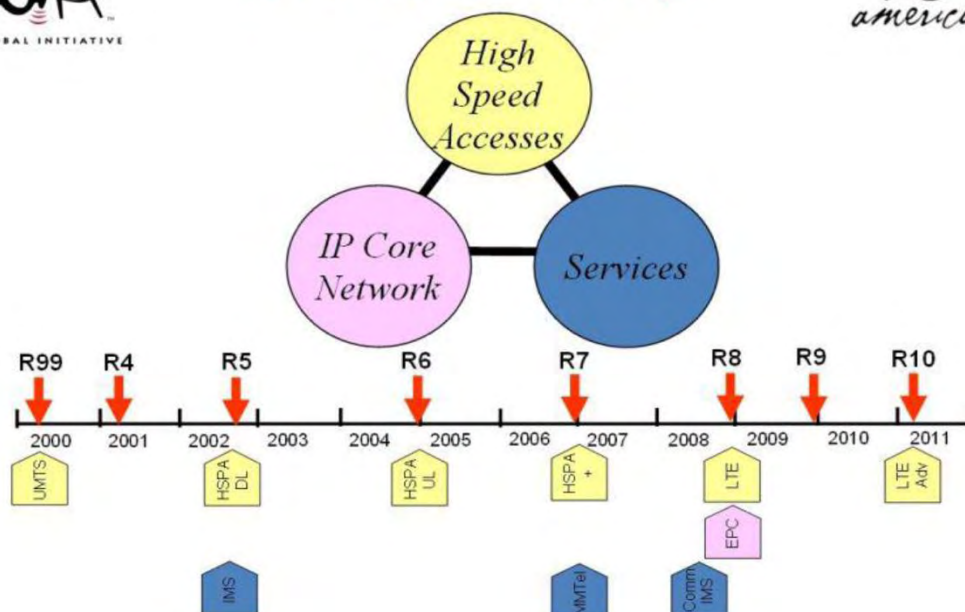
Η πρώτη έκδοση του LTE ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2009 στον πλαίσιο του Third Generation Partnership Program (3GPP), release-8. Το LTE είναι βασισμένο σε επίπεδη αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου επικοινωνίας χωρίς την ύπαρξη ενός κεντρικού δικτύου. Η βασική διαφορά του LTE είναι ότι προσφέρει ευέλικτες επιλογές εύρους ζώνης που κυμαίνονται από 1,4MHz έως και 20MHz χρησιμοποιώντας ορθογώνια διαίρεση συχνότητας με δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης στο downlink και στο uplink [5,7].

Τον Μάρτιο του 2008, το 3GPP ξεκίνησε ένα νέο πεδίο μελέτης με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη του LTE για να καλυφθούν οι νέες απαιτήσεις που έθεσε η Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU). Η μελέτη του νέου προηγμένου LTE ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2010. Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν μια σειρά από νέα χαρακτηριστικά τα οποία ενσωματώθηκαν στο LTE-advanced. Ένα από τα βασικά νέα χαρακτηριστικά αποτελεί το Carrier Aggregation, το οποίο παρέχει στους χρήστες ένα συνολικό εύρος ζώνης έως 100MHz, release-10. Το καινοτόμο χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το εύρος ζώνης μπορεί να είναι είτε συνεχόμενο είτε να αποτελείται από πολλά τμήματα μη-συνεχών συχνοτήτων. Επιπλέον, το CA έχει σχεδιαστεί με κατάλληλο τρόπο ώστε το LTE-advanced να μπορεί να συνεργαστεί και με την απλή έκδοση του LTE, τουλάχιστον σε ένα μέρος του συνολικού εύρους ζώνης [5].

Για να επιτευχθεί η βελτίωση της απόδοσης στην επικοινωνία εκτός από την συνάθροιση φερόντων χρησιμοποιούνται και πολλαπλές κεραιές εκπομπής, οι οποίες είναι σχεδιασμένες βάσει των τεχνικών MIMO, η ανάλυση των οποίων δεν είναι στα πλαίσια της παρούσας έρευνας - ανάλυσης. Στις εικόνες που παραθέτονται στη συνέχεια παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των εκδόσεων του LTE [5].



Σχήμα 6 - Η εξέλιξη του LTE



Σχήμα 7 - Οι εκδόσεις του LTE στην πάροδο του χρόνου

Η σημαντική διαφορά μεταξύ του LTE και του LTE-advanced μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή παρατηρώντας τον παρακάτω πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει τις προδιαγραφές σχεδίασης των δύο πρωτοκόλλων. Το LTE δεν μπόρεσε να καλύψει τις υψηλές προδιαγραφές στο downlink που είχε θέσει ο ITU, όπου είχε θέσει ως όριο τα 1000Mbps ενώ στην πράξη άγγιζε μόνο τα 300Mbps.

	LTE	LTE-advanced
Downlink	300Mbps	1000Mbps
Uplink	75Mbps	500Mbps
Bandwidth	1.4 – 20 MHz	40 – 100 MHz
FDD	Υποστηρίζεται	Υποστηρίζεται
TDD	Υποστηρίζεται	Υποστηρίζεται

Σχήμα 8 - Διαφορές LTE με LTE-advanced

2.2 Συνάθροιση Φερόντων (Carrier Aggregation)

Για να επιτευχθούν τα όρια στο downlink και το uplink που έθεσε η ITU, ήταν αναγκαίο να μεγαλώσει το εύρος ζώνης του καναλιού επικοινωνίας. Η αύξηση επιτεύχθηκε στην 10^η έκδοση του LTE με την εφαρμογή της μεθόδου της συνάθροισης φερόντων – carrier aggregation (CA) [5].

Το ιδανικό σενάριο θα ήταν τα φέροντα να μπορούσαν να βρίσκονται σε συνεχείς θέσεις συχνοτήτων, χωρίς την παρεμβολή άλλων κενών, και φυσικά να ανήκουν στην ίδια μπάντα. Το σενάριο αυτό δεν είναι εφικτό στην πράξη, εξαιτίας του γεγονότος ότι μεγάλα τμήματα του φάσματος συχνοτήτων είναι κατειλημμένα από άλλες ασύρματες επικοινωνίες. Επομένως, ήταν ανέφικτο στην πράξη να βρεθεί φάσμα με το απαιτούμενο εύρος, δηλαδή τα 100MHz. Λύση στο πρόβλημα βρέθηκε μέσω της συνάθροισης φερόντων [5].

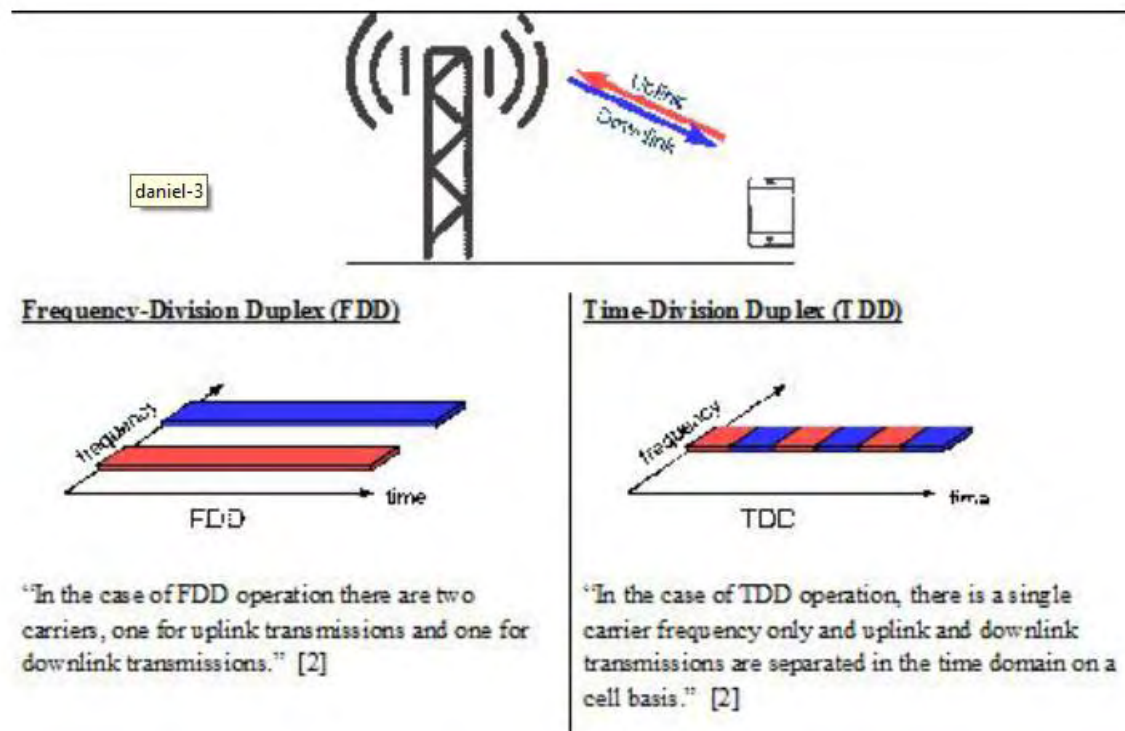
Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να έχει εύρος έως τα 20 MHz, επιλέγοντας έως 5 φέροντα με σκοπό το εύρος (bandwidth) του καναλιού να μπορεί να φτάσει τα 100MHz. Τα 5 επιλεγμένα φέροντα υπάρχει η δυνατότητα να μην ανήκουν στην ίδια μπάντα αλλά να επιλεγούν από διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων. Το γεγονός ότι μπορούμε να αθροίζουμε φέροντα που ανήκουν σε διαφορετικές μπάντες προσφέρει τη σημαντική δυνατότητα να συγκεντρωθεί το επιθυμητό φάσμα των 100MHz. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι δυνατές – επιτρεπτές μπάντες συχνοτήτων [7].

FDD LTE BANDS & FREQUENCIES					
LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)	DUPLEX SPACING (MHZ)	BAND GAP (MHZ)
1	1920 - 1980	2110 - 2170	60	190	130
2	1850 - 1910	1930 - 1990	60	80	20
3	1710 - 1785	1805 - 1880	75	95	20
4	1710 - 1755	2110 - 2155	45	400	355
5	824 - 849	869 - 894	25	45	20
6	830 - 840	875 - 885	10	35	25
7	2500 - 2570	2620 - 2690	70	120	50
8	880 - 915	925 - 960	35	45	10
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	35	95	60
10	1710 - 1770	2110 - 2170	60	400	340
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9	20	48	28
12	698 - 716	728 - 746	18	30	12
13	777 - 787	746 - 756	10	-31	41
14	788 - 798	758 - 768	10	-30	40
15	1900 - 1920	2600 - 2620	20	700	680
16	2010 - 2025	2585 - 2600	15	575	560
17	704 - 716	734 - 746	12	30	18
18	815 - 830	860 - 875	15	45	30
19	830 - 845	875 - 890	15	45	30
20	832 - 862	791 - 821	30	-41	71
21	1447.9 - 1462.9	1495.5 - 1510.9	15	48	33
22	3410 - 3500	3510 - 3600	90	100	10
23	2000 - 2020	2180 - 2200	20	180	160
24	1625.5 - 1660.5	1525 - 1559	34	-101.5	135.5
25	1850 - 1915	1930 - 1995	65	80	15
26	814 - 849	859 - 894	30 / 40		10
27	807 - 824	852 - 869	17	45	28
28	703 - 748	758 - 803	45	55	10
29	n/a	717 - 728	11		
30	2305 - 2315	2350 - 2360	10	45	35
31	452.5 - 457.5	462.5 - 467.5	5	10	5

Σχήμα 9 - Οι μπάντες του LTE [8]

Η τεχνική της συνάθροισης φερόντων μπορεί να υλοποιηθεί είτε με την τοπολογία Frequency Division Duplexing (FDD) είτε με την Time Division Duplexing (TDD).

Διαφορές μεταξύ τοπολογίας FDD και TDD



Σχήμα 10 - Τοπολογία FDD & TDD

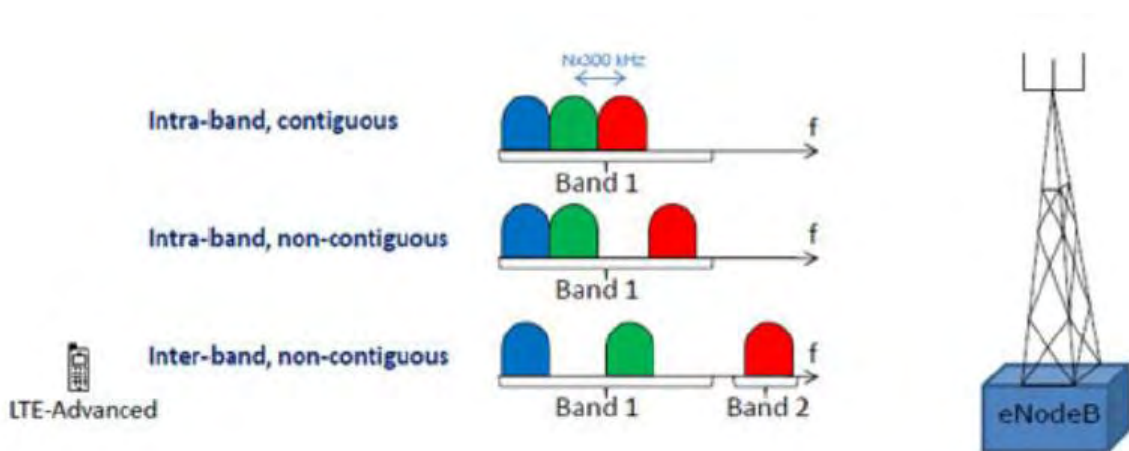
Στην τοπολογία FDD μπορούμε να έχουμε διαφορετικό πλήθος φερόντων στο downlink σε σύγκριση με το uplink. Επιπλέον τα επιμέρους φέροντα μπορούν να έχουν και διαφορετικό εύρος ζώνης. Ο μοναδικός περιορισμός που υπάρχει στη συγκεκριμένη τοπολογία είναι ότι το πλήθος των φερόντων στο downlink πρέπει να είναι μεγαλύτερο από ότι στο uplink [7].

Αντιθέτως, στην τοπολογία TDD σε αντίθεση με την FDD το πλήθος των φερόντων στο downlink πρέπει να συμπίπτει με το πλήθος στο uplink. Παρόλο τον συγκεκριμένο περιορισμό δεν είναι υποχρεωτικό να έχουν το ίδιο εύρος μεταξύ τους. Μία ακόμη βασική διαφορά είναι ότι στην TDD τα φέροντα στο downlink πρέπει να έχουν το ίδιο εύρος ζώνης (bandwidth) με τα φέροντα στο uplink [7].

2.3 Κατηγορίες Συνάθροισης Φερόντων

Υπάρχουν 3 βασικές κατηγορίες συνάθροισης φερόντων, οι οποίες είναι επιγραμματικά οι εξής:

- Intra-band Contiguous
- Intra-band non-Contiguous
- Inter-Band non-Contiguous



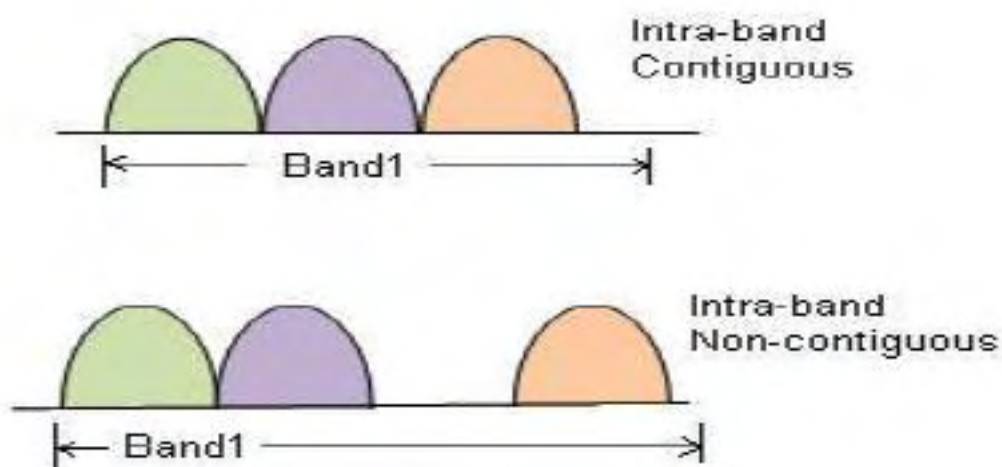
Σχήμα 11 - Κατηγορίες συνάθροισης φερόντων

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί φερόντων με σκοπό την επίτευξη του carrier aggregation. Οι συγκεκριμένοι συνδυασμοί προσφέρουν μεγάλη ευελιξία για την αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος συχνοτήτων και επαναχρησιμοποιούν συχνότητες που ήταν δεσμευμένες από παλαιότερα συστήματα, όπως το GSM και UMTS [7].

Intra-band

Με το τρέχον όριο για το μέγιστο εύρος ζώνης να είναι στα 20 MHz, όπως έχει οριστεί από το 3GPP, στο LTE και στο LTE-advanced το intra-band carrier aggregation παρέχει ένα «μονοπάτι» με μεγαλύτερο πλάτος στο εύρος ζώνης. Αναλυτικότερα, το intra-band συναθροίζει φέροντα που βρίσκονται στην ίδια μπάντα είτε συνεχόμενα είτε όχι.

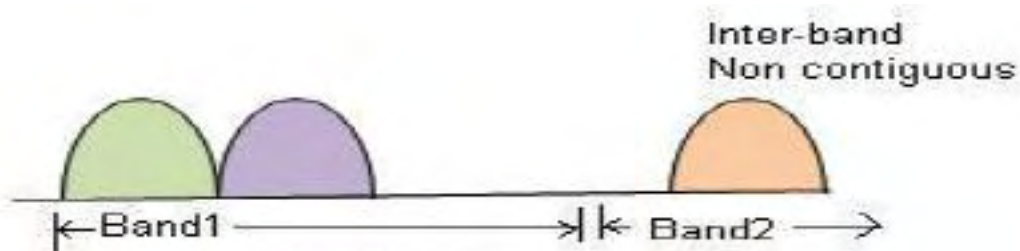
Λόγω των κοινών χαρακτηριστικών των συχνοτήτων διάδοσης το intra-band CA χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της χωρητικότητας και όχι τόσο για την αύξηση της κάλυψης. Το intra-band διαχωρίζεται σε συνεχόμενο (contiguous) ή ως συνδυασμός συνεχόμενων και μη συνεχόμενων (non-contiguous), όπως εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα [5,7].



Σχήμα 12 - Οι κατηγορίες του Intra-band

Inter-band

Η βασική διαφορά του Inter-band σε σχέση με το Intra-band είναι ότι τα συναθροισμένα φέροντα βρίσκονται σε διαφορετικές μπάντες, το οποίο δικαιολογεί και το γεγονός ότι η συγκεκριμένη κατηγορία διαθέτει μόνο μία υποκατηγορία μη-συνεχούς (non-contiguous).



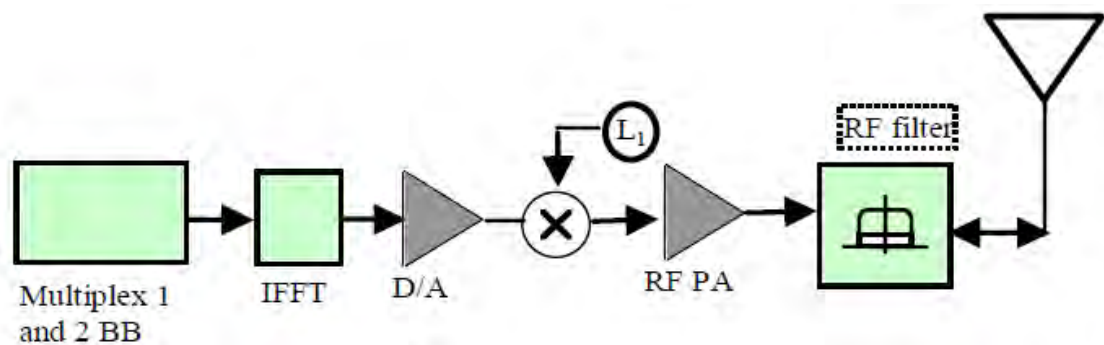
Σχήμα 13 - Inter-band non-contiguous

Οι πιο δημοφιλείς μέθοδοι συνάθροισης φερόντων είναι του intra-band non-contiguous και του inter-band non-contiguous λόγω της μη-εύρεσης συνεχόμενου φάσματος [5,7].

2.4 Αρχιτεκτονικές

Υπάρχουν αρχιτεκτονικές σχεδίασης του πομπού, η επιλογή των οποίων γίνεται με βάση το σενάριο που έχει επιλεγεί προς υλοποίηση. Αναλυτικότερα, σε κάθε αρχιτεκτονική η συνάθροιση φερόντων γίνεται με διαφορετικό τρόπο, δηλαδή σε διαφορετικό τμήμα του πομπού. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν οι τέσσερις βασικότερες αρχιτεκτονικές και θα αναλυθεί ποια από τις αρχιτεκτονικές μπορεί να υποστηριχθεί από τα παραπάνω σενάρια υλοποίησης της συνάθροισης φερόντων [5].

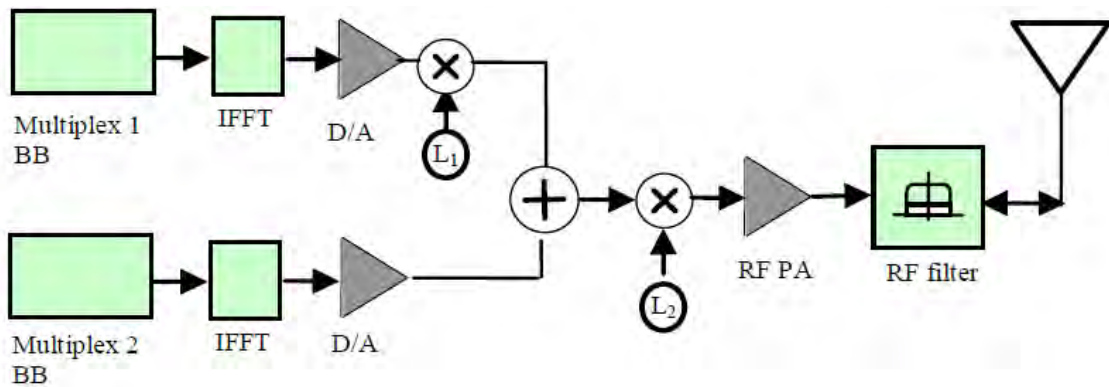
- **Αρχιτεκτονική I** – Η συνάθροιση φερόντων επιτυγχάνεται πριν τη εκπομπή του σήματος στο αναλογικό κανάλι επικοινωνίας [5].



Single (baseband + IFFY + DAC + mixer + PA)

Σχήμα 14 - Αρχιτεκτονική I

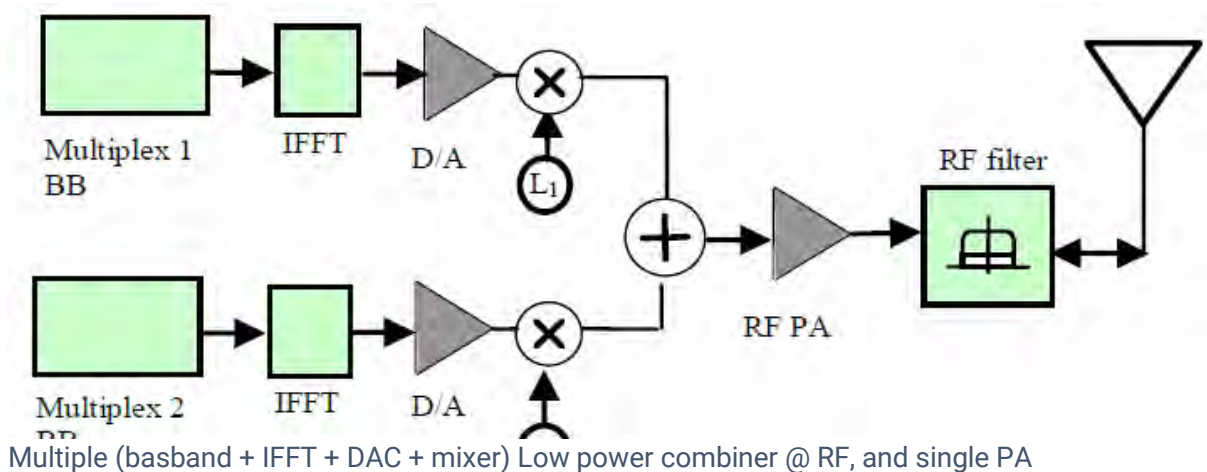
- **Αρχιτεκτονική II** – η συνάρθρωση φερόντων υλοποιείται πριν τον μείκτη RF [5].



Multiple (baseband + IFFT + DAC) Single (stage1 IF mixer + combiner IF + stage2 RF mixer + PA)

Σχήμα 15 - Αρχιτεκτονική II

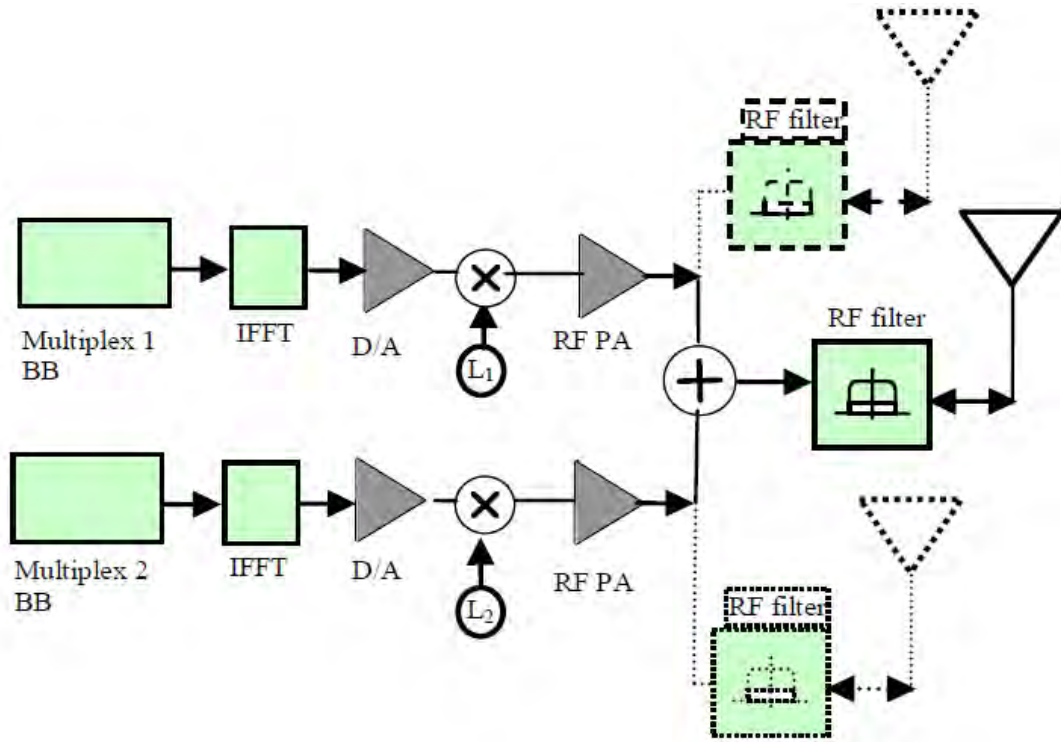
- **Αρχιτεκτονική III** – Η διαδικασία του carrier aggregation γίνεται στο στάδιο μετά τον μείκτη RF και πριν από την ενίσχυση [5].



Multiple (baseband + IFFT + DAC + mixer) Low power combiner @ RF, and single PA

Σχήμα 16 - Αρχιτεκτονική III

- **Αρχιτεκτονική IV** – Η διαδικασία της συνάθροισης υλοποιείται μετά την ενίσχυση. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί είτε με μία όσο και με δύο κεραιές εκπομπής [5].



Multiple (baseband + IFFT + DAC + mixer + PA), high-power combiner to single antenna OR dual antenna (MIMO) 3GPP TR 36.815 further advancements for E-ULTRA

Σχήμα 17 - Αρχιτεκτονική IV

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται ποιες αρχιτεκτονικές μπορούν να υποστηρίξουν ποιες κατηγορίες του carrier aggregation [7].

Αρχιτεκτονική	Intra-band contiguous	Intra-band non-contiguous	Inter-band non-contiguous
<i>I</i>	OK	-	-
<i>II</i>	OK	OK	-
<i>III</i>	OK	OK	-
<i>IV</i>	OK	OK	OK (με μπάντες που ανήκουν σε ορισμένα φέροντα)

Σχήμα 18 - Αρχιτεκτονικές Carrier Aggregation

Η δημοφιλέστερη τοπολογία που χρησιμοποιείται στις υλοποιήσεις είναι η αρχιτεκτονική IV, διότι μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε intra-band contiguous είτε σε intra-band non-contiguous είτε σε inter-band. Για αυτό το λόγο επιλέχτηκε η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική στις προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας [6].

2.5 Τα πλεονεκτήματα του Carrier Aggregation

Συνοψίζοντας, το Carrier Aggregation είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο το οποίο μπορεί να συνδυάσει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και ταυτόχρονα κατακερματισμό στο φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιεί για την επικοινωνία. Επιπλέον, το CA έχει πολλά πρόσθετα οφέλη:

- **Υψηλότερες ταχύτητες:** Η συνάθροιση φερόντων αυξάνει τους πόρους που μπορούν να εκμεταλλευτούν με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων σε όλη τη κάλυψη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας.
- **Υψηλότερη χωρητικότητα:** Η ομαδοποίηση πολλών φερόντων επιτυγχάνει την αύξηση του φάσματος και επιπλέον λόγω των πολλών καναλιών επικοινωνίας είναι εφικτός ο δυναμικός προγραμματισμός σε όλο το φάσμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποτελεσματικότητας του δικτύου και τη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών.
- **Βέλτιστη εκμετάλλευση των πόρων των φερόντων.** Η πλειονότητα των παρόχων έχουν διαχωρίσει τις μπάντες ώστε να καλύπτουν όλο το εύρος ζώνης. Το CA βοηθά στην αποτελεσματικότερο συνδυασμό όλων των παραπάνω [5,6].

Κεφάλαιο 3

3. Υλοποίηση Κυκλωμάτων

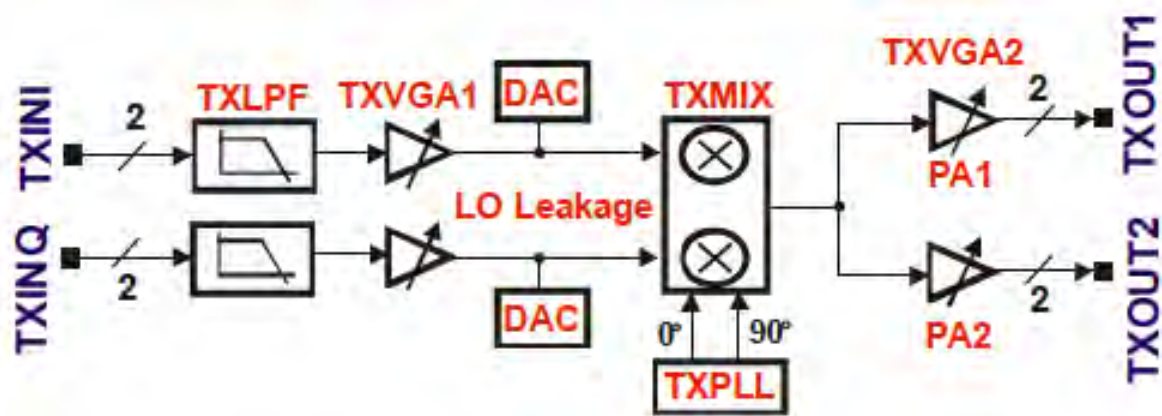
3.1 Περιγραφή υλοποίησης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν όλα τα σενάρια προσομοίωσης που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας. Τα κυκλώματα που υλοποιήθηκαν ήταν συστήματα ασυρμάτων πομποδεκτών RF και προσομοιώθηκαν στο εργαλείο ADS (Advanced Design System). Σχεδιάστηκαν 5 αυτόνομες αλυσίδες με βάση τις προδιαγραφές που θέτουν οι μπάντες του LTE και μία υλοποιήθηκε με βάση το πρωτόκολλο εκπομπής του Wifi. Αναλυτικότερα, επιλέχθηκαν οι παρακάτω μπάντες:

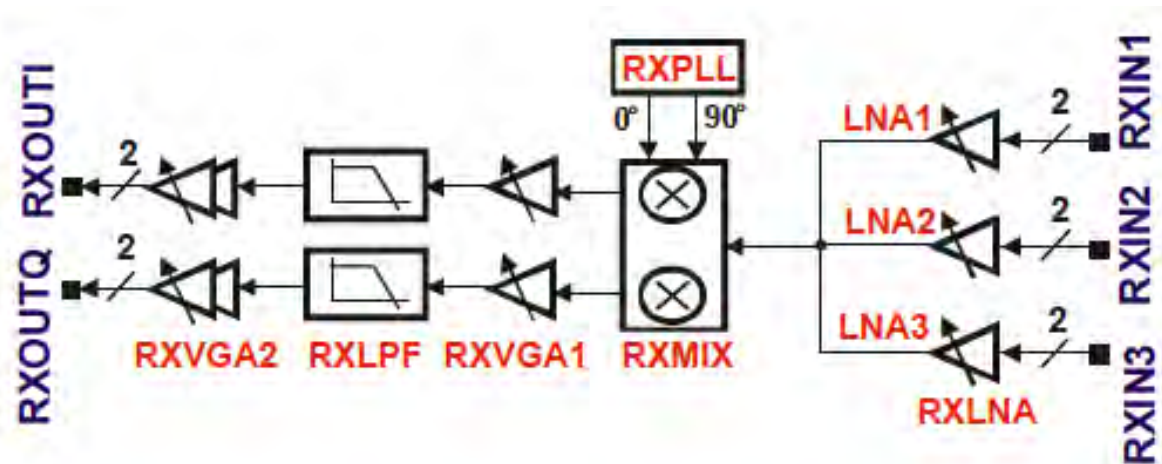
Band	Συχνότητες (MHz)	Κεντρική Συχνότητα (MHz)	Bandwidth (MHz)
3	1710 – 1785	1673	75
7	2500 – 2570	2535	70
20	832 – 862	847	30
38	2570 – 2620	2595	50
WiFi	4900 – 6000	5450	1100

Αρχικά, υλοποιήθηκαν 5 αυτόνομες αλυσίδες πομπού – δέκτη με την απόσταση στο κανάλι εκπομπής μεταξύ πομπού και δέκτη να είναι στο 1 χιλιόμετρο. Οι αυτόνομες αλυσίδες υλοποιήθηκαν με τη χρήση ιδανικών κυκλωματικών μοντέλων (ενισχυτές, ταλαντωτές, μείκτες και φίλτρα). Οι αλυσίδες στην αρχική φάση της σχεδίασης υλοποιήθηκαν σύμφωνα με το απλό πρότυπο υλοποίησης πομποδεκτών. Εν συνεχεία, χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα σχεδίασης οι πομποδέκτες LMS6002D για τις τέσσερις μπάντες του LTE και

Ο δέκτης και ο πομπός του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου περιλαμβάνουν δύο στάδια ενίσχυσης με διαφορά φάσης 90° και δύο εξόδους ανάλογα με τη φάση. Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζεται η παραπάνω σημαντική λεπτομέρεια.



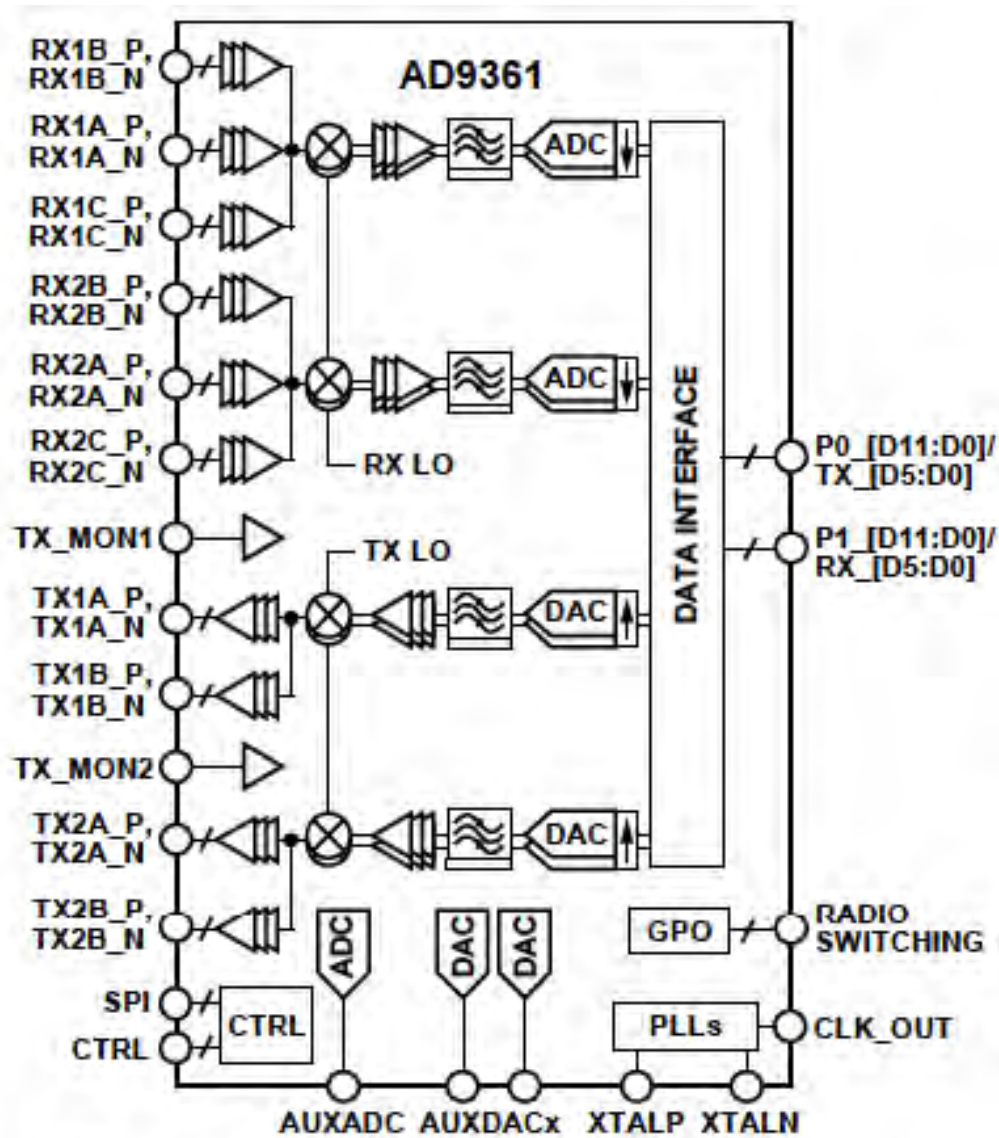
Σχήμα 20 – Πομπός [9]



Σχήμα 21 – Δέκτης [9]

3.3 AD 9361

Αντίστοιχο ολοκληρωμένο για το Wifi είναι το AD 9361. Το συγκεκριμένο μπορεί να καλύψει συχνότητες από 70MHz έως και 6GHz, το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να το χρησιμοποιήσουμε για εφαρμογές Wifi, το οποίο απαιτεί συχνότητες από 4900MHz έως 6000MHz. Διαθέτει και αυτό και πομπό και δέκτη. Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζονται αναλυτικά τα κυκλωματικά μοντέλα που απαιτούνται για την υλοποίηση του [10].

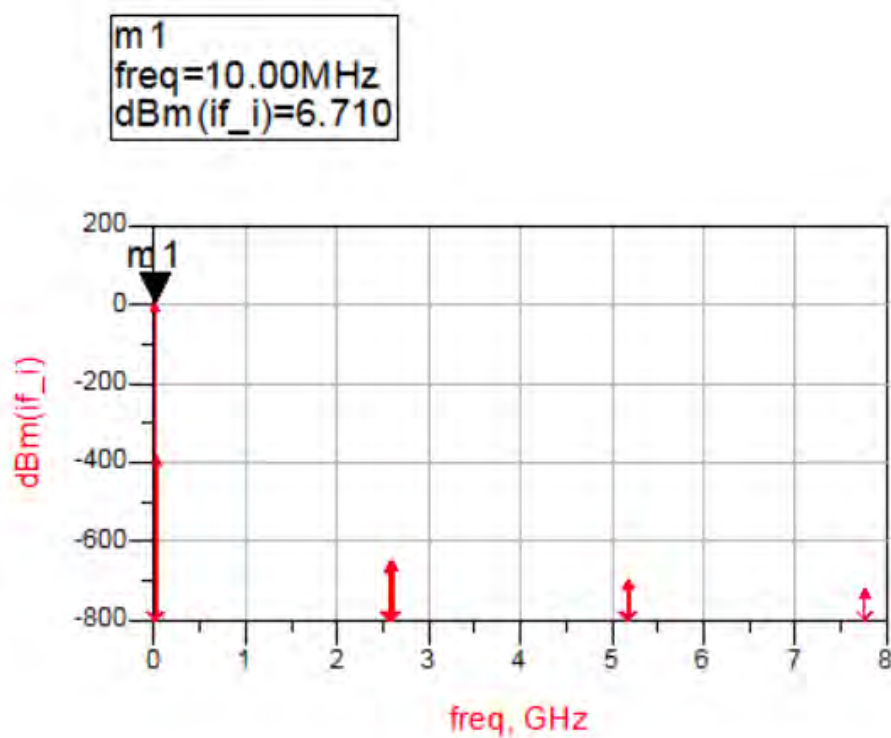


NOTES

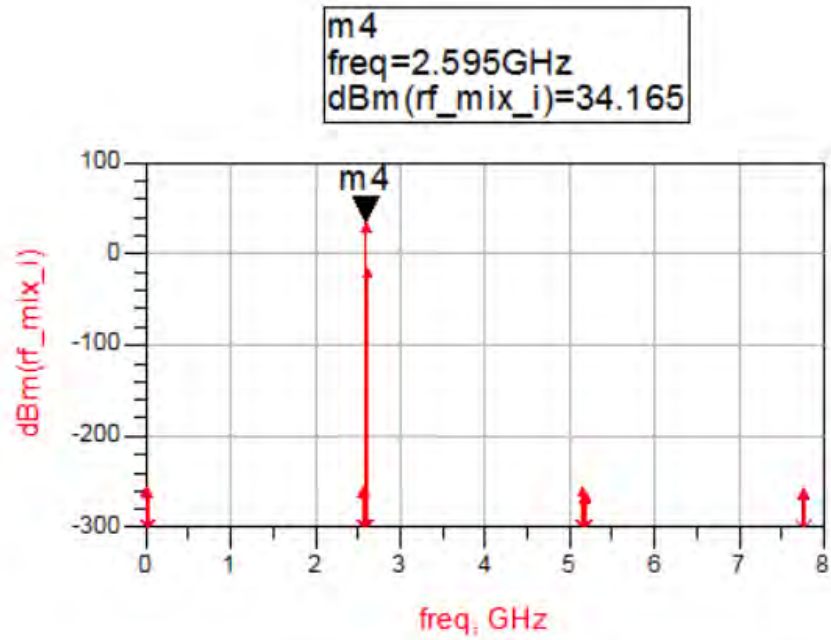
1. SPI, CTRL, P0 [D11:D0]/TX [D5:D0], P1 [D11:D0]/RX [D5:D0], AND RADIO SWITCHING CONTAIN MULTIPLE PINS.

Σχήμα 22 - Σχηματικό διάγραμμα των λειτουργιών [10]

Όπως παρατηρείται στις παραπάνω εικόνες ότι η κεντρική συχνότητα εκπομπής είναι 2595MHz. Επιλέχθηκε η μέση τιμή του εύρους που μας παρέχει τη συγκεκριμένη μπάνα συχνοτήτων.

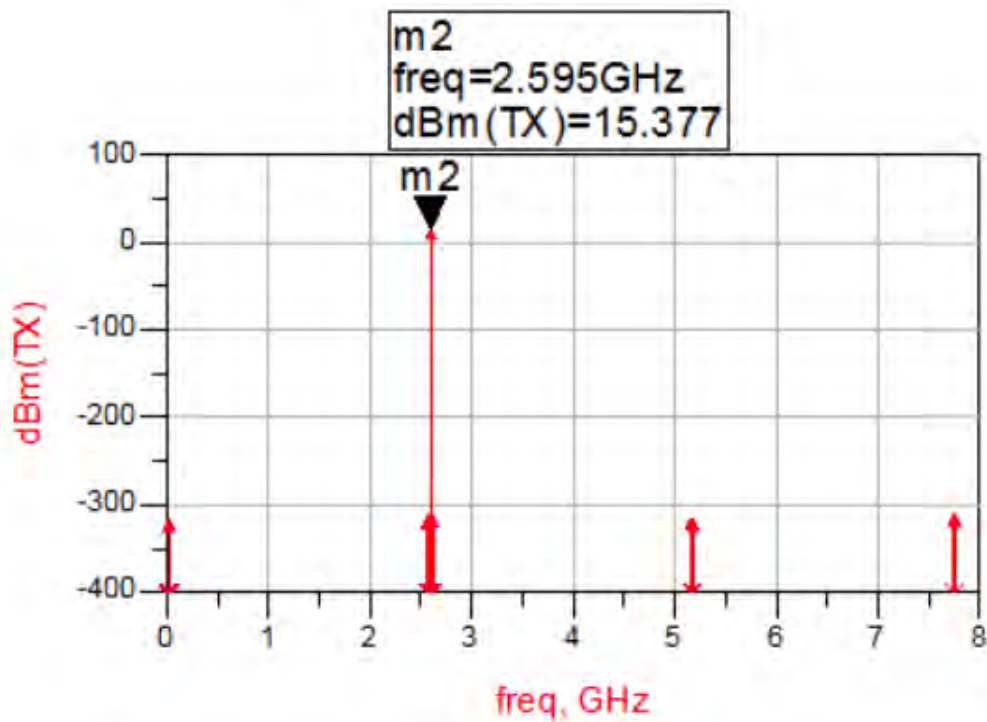


Σχήμα 25 - Το σήμα που εισάγεται στον πομπό

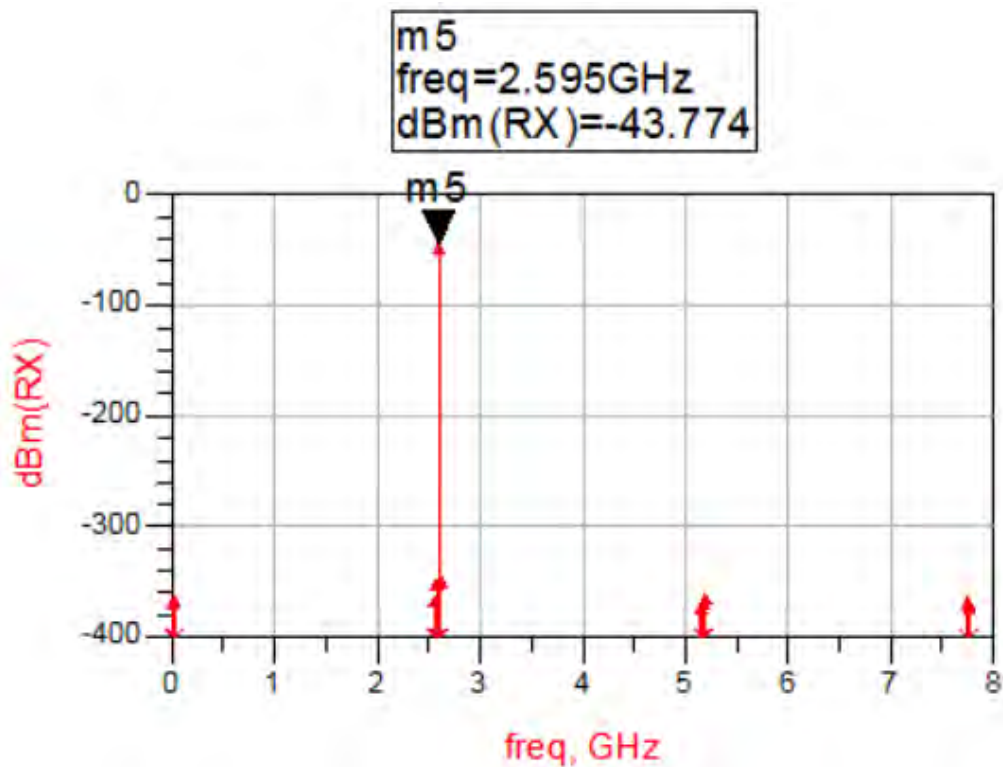


Σχήμα 26 - Το up-converted σήμα

Στην παραπάνω εικόνα (Σχήμα 24) είναι το σήμα που έχει περάσει από τον μείκτη και έχει αποκτήσει πλέον τη συχνότητα που επιθυμούμε για την εκπομπή. Στην εικόνα που ακολουθεί (Σχήμα 25) απεικονίζεται το σήμα ενισχυμένο και έτοιμο για εκπομπή.

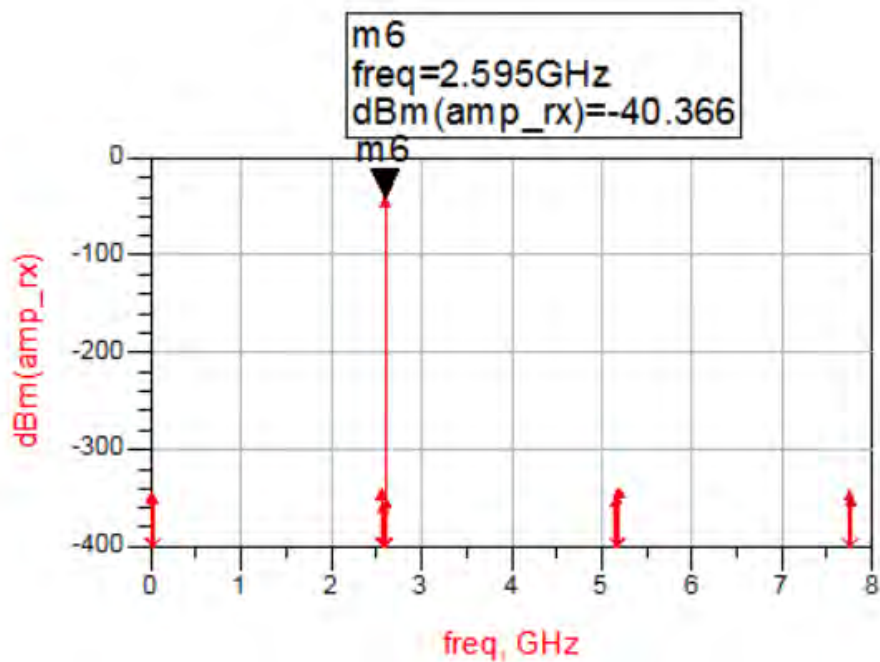


Σχήμα 27 - Το σήμα πριν την εκπομπή στο κανάλι



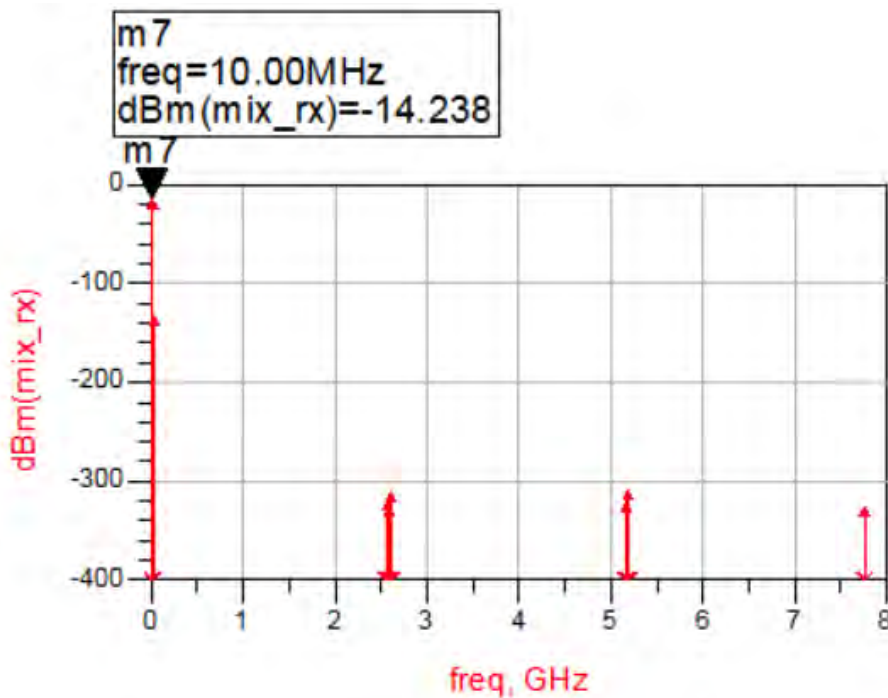
Σχήμα 28 – Το ληφθέν σήμα

Στο σχήμα που απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα (Σχήμα 26) παρατηρείται μείωση στην ισχύ του λόγω της εκπομπής του μέσω του καναλιού του 1 χιλιομέτρου.



Σχήμα 29 – Το ληφθέν σήμα μετά την πρώτη ενίσχυση

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται το ληφθέν σήμα ελαφρώς ενισχυμένο μετά την λήψη του. Στην εικόνα που ακολουθεί μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό ότι πρόκειται για την αναπαραγωγή του αρχικού σήματος πριν την εκπομπή. Το συγκεκριμένο σήμα προέκυψε μετά το down-conversion που υπέστη.



Σχήμα 30 – Το down-converted σήμα

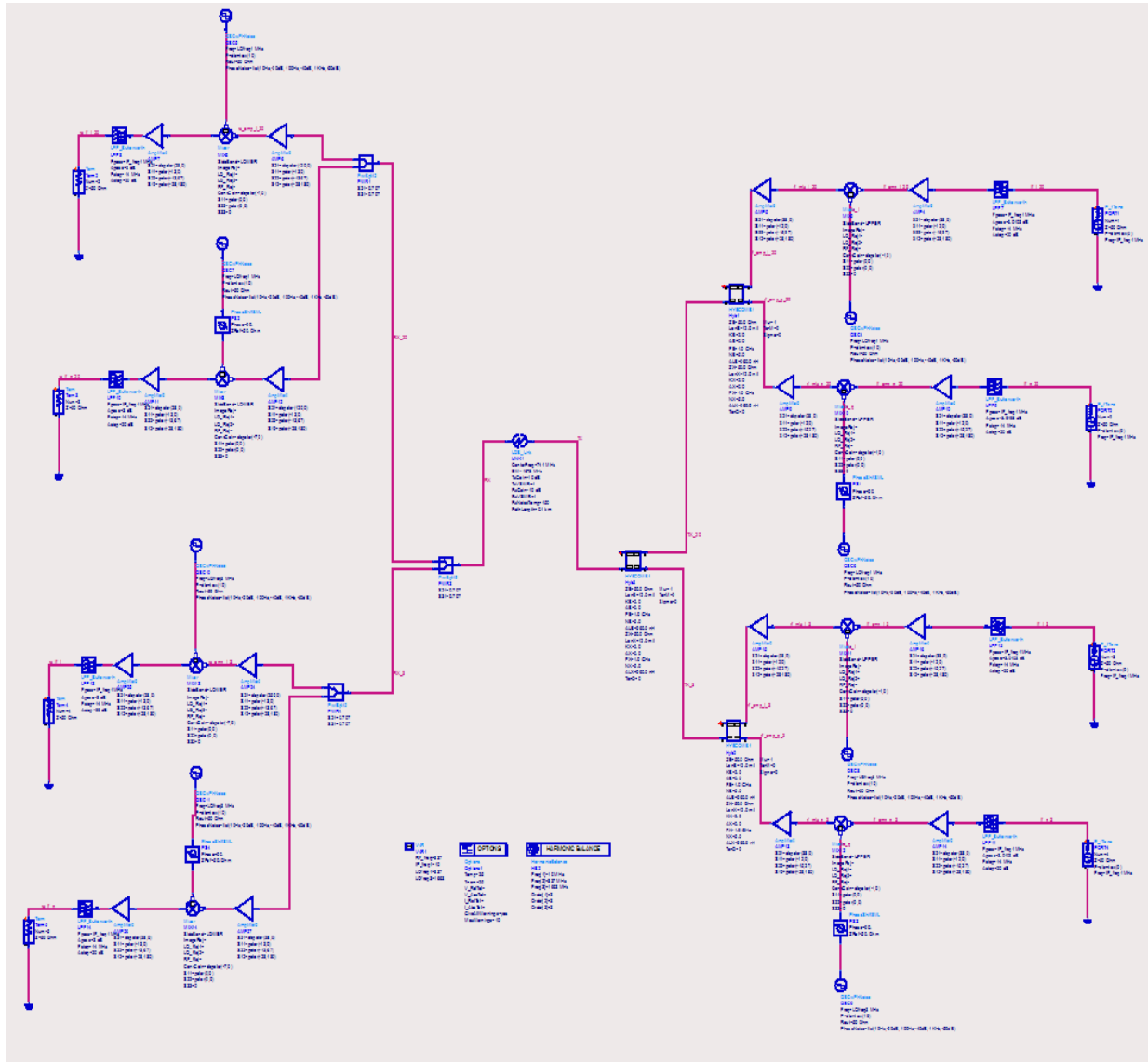
Στη συνέχεια της έρευνας υλοποιήθηκαν δύο αλυσίδες πομποδέκτη, οι οποίες συνδύαζαν δύο μπάντες συχνοτήτων ταυτόχρονα. Αναλυτικότερα, σχεδιάστηκαν οι αλυσίδες που υποστηρίζουν τις μπάντες 3 και 20 ταυτόχρονα και η δεύτερη το wifi με την 7. Με την υλοποίηση των παραπάνω προσομοιώσεων επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή παρουσίαση των δυνατοτήτων που μας παρέχει η συνάθροιση φερόντων καθώς και η πραγματική υλοποίηση της παραπάνω τεχνολογίας.

Η προσομοίωση της σύνθετης αλυσίδας πομποδεκτών ξεκινάει από το αρχικό σήμα το baseband το οποίο στη συνέχεια ενισχύεται και μέσω του up-conversion είναι έτοιμο προς εκπομπή όπως παραπάνω η αλυσίδα για την μπάντα 8 και πάντα σύμφωνα με το LMS 6002 D για τις 4 μπάντες του LTE και σύμφωνα με το AD 9361 για το Wifi.

Συνεχίζοντας, θα γίνει παρουσίαση της σχεδίασης των συγκεκριμένων αλυσίδων καθώς και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, παραθέτοντας τις αντίστοιχες εικόνες.

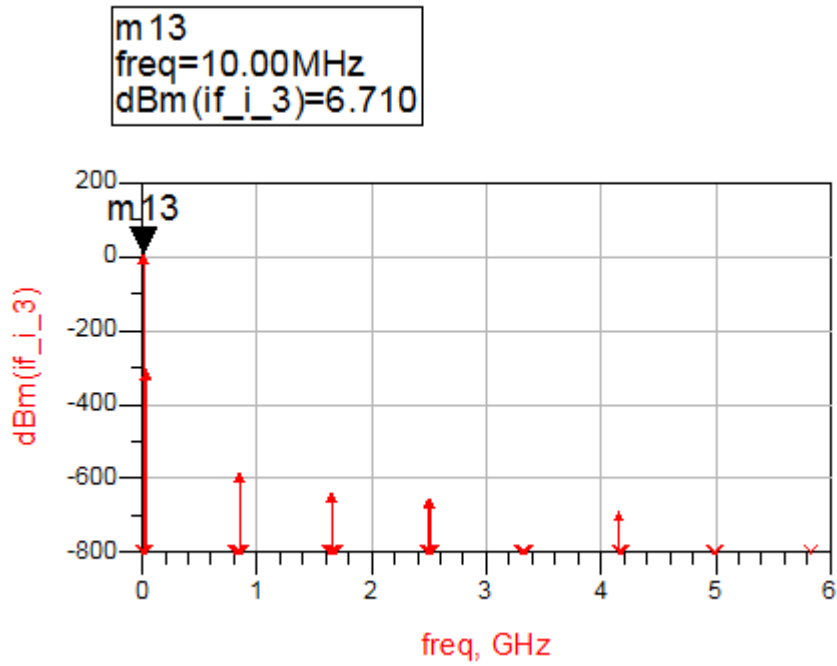
Αρχικά, θα παρουσιαστεί η αλυσίδα που αποτελείται από τον συνδυασμό της μπάντας 20 με την μπάντα 3. Λόγω της πολυπλοκότητας και της συμμετρίας που υπάρχει στην υλοποίηση θα παρουσιαστούν αντιπροσωπευτικά κάποια από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

3.5 Πομποδέκτης συνάθροισης μπάντας 20 & μπάντας 3



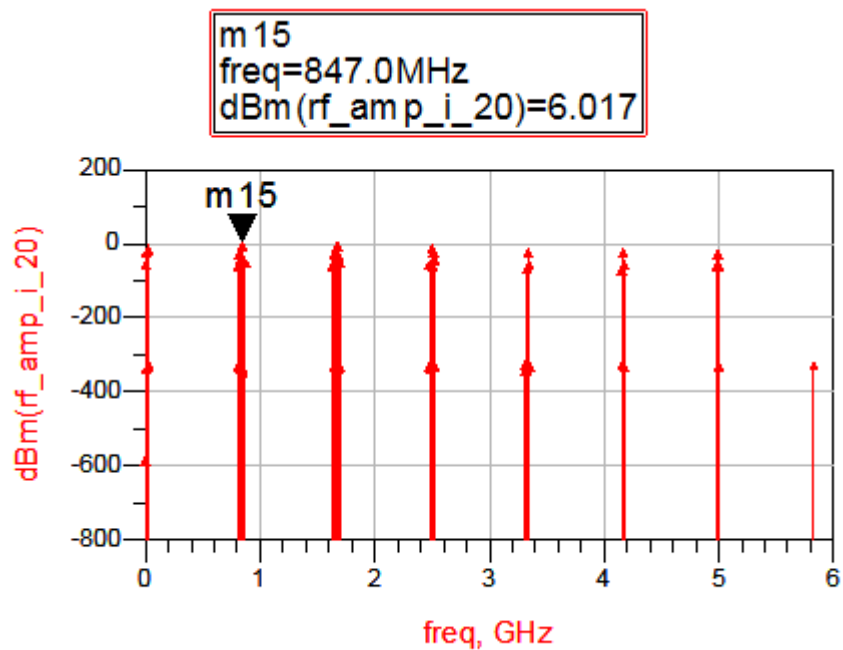
Σχήμα 31 - Η αλυσίδα του πομποδέκτη με μπάντες 20 & 3

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της αλυσίδας του πομποδέκτη. Στο δεξί μέρος βρίσκεται ο πομπός και στο αριστερό ο δέκτης. Επιπλέον, στο επάνω τμήμα τοποθετήθηκε η αλυσίδα που αφορά την μπάντα 20 και στο κάτω τμήμα η μπάντα 3.

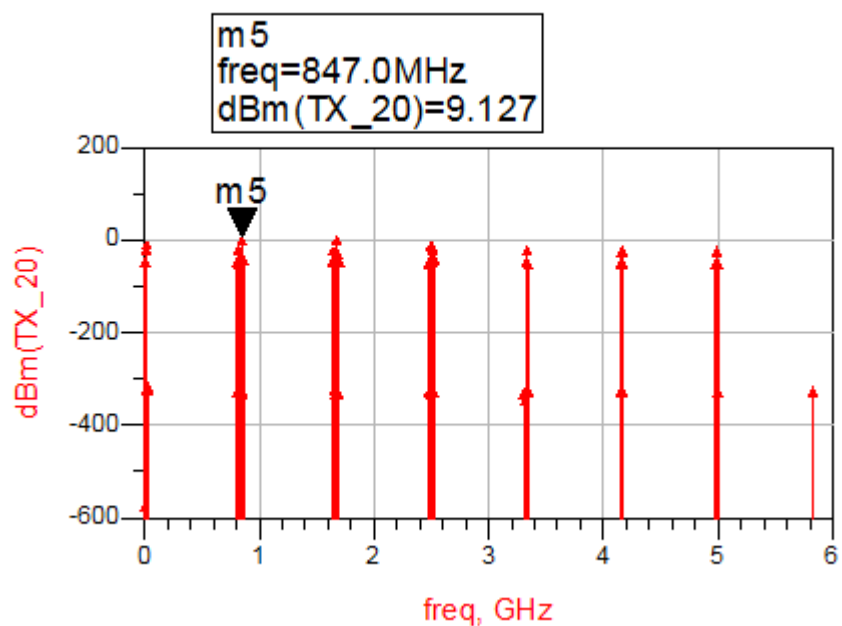


Σχήμα 32 - Το αρχικό σήμα προς εκπομπή

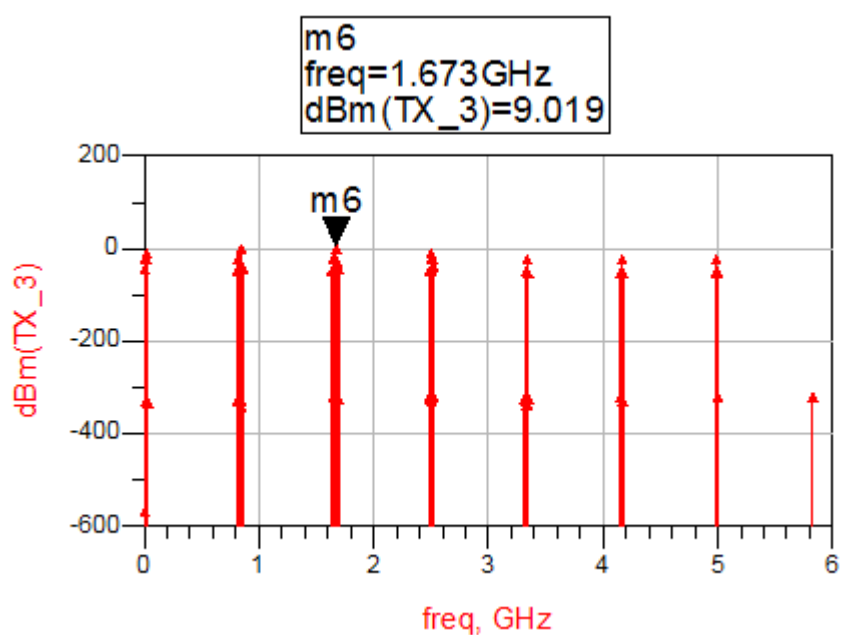
Στην παραπάνω εικόνα παρατίθεται το αρχικό σήμα που εισάγεται στον πομπό με σκοπό το up-conversion του πριν την εκπομπή.



Σχήμα 33 - Το up-converted σήμα

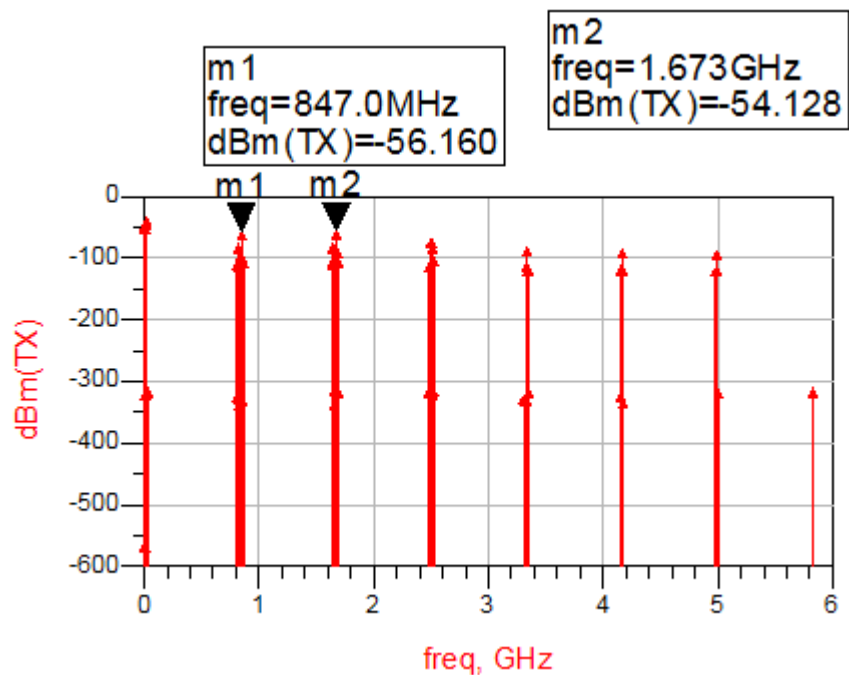


Σχήμα 34 - Η μπάντα 20 πριν την εκπομπή



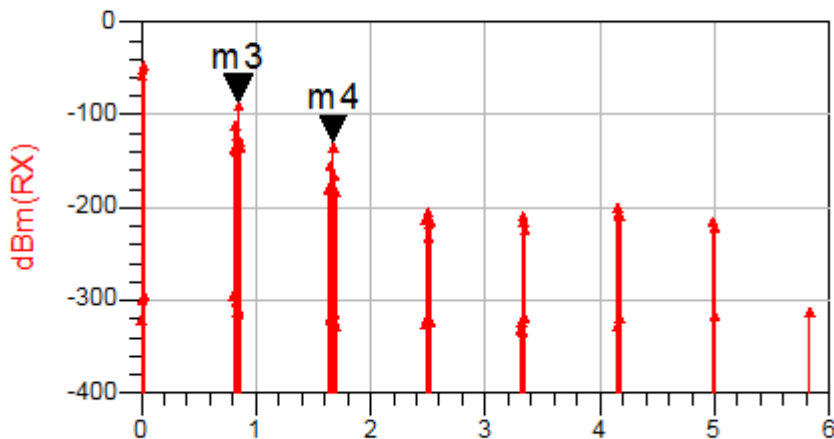
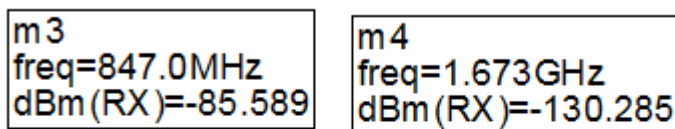
Σχήμα 35 - Η μπάντα 3 πριν την εκπομπή

Στις δύο παραπάνω εικόνες (Σχήμα 32 και Σχήμα 33) παρουσιάζονται τα σήματα που προέρχονται από την μπάντα 3 και την μπάντα 20 πριν συνενωθούν με σκοπό την κοινή εκπομπή τους στο κανάλι.



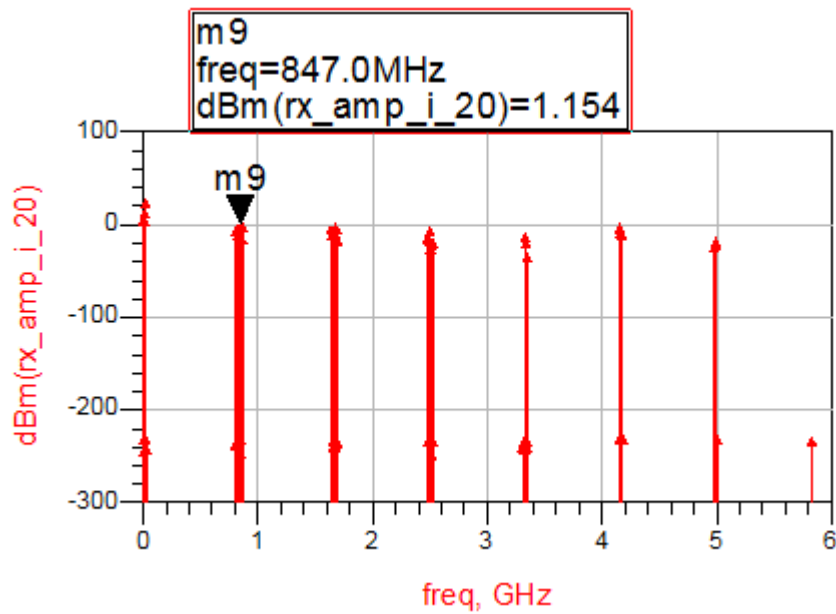
Σχήμα 36 - Το σήμα πριν την εκπομπή

Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται το σήμα πριν την εκπομπή του στο κανάλι. Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα δύο σήματα έχουν περίπου την ίδια ισχύ πριν την εκπομπή ενώ μετά το κανάλι παρατηρείται και στα δύο μείωση ισχύος αλλά όχι στα ίδια επίπεδα και για τα δύο σήματα.

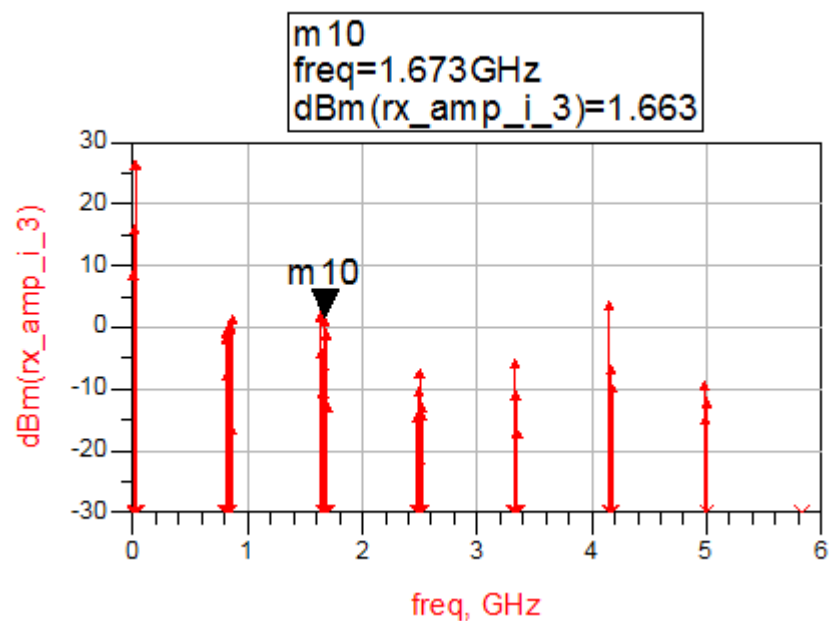


Σχήμα 37 - Το ληφθέν σήμα

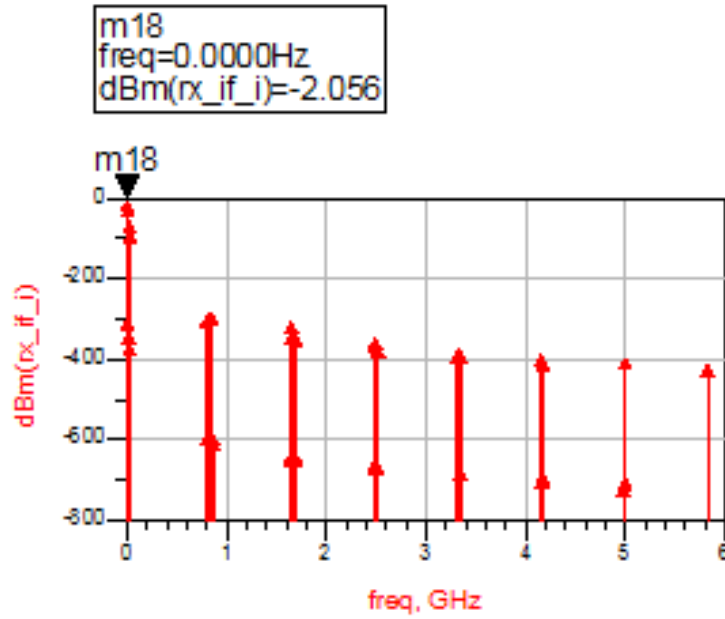
Το προαναφερθέν γεγονός μπορεί να ξεπεραστεί με την ύπαρξη επιπλέον ενίσχυσης στις δύο αλυσίδες που κάνουν το down-conversion του σήματος (Σχήμα 36 και Σχήμα 37).



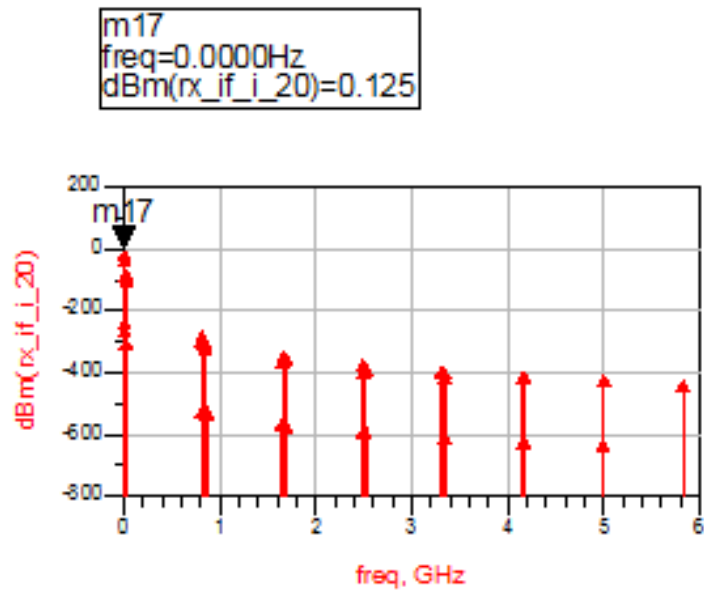
Σχήμα 38 - Το ενισχυμένο σήμα της μπάντας 20



Σχήμα 39 - Το ενισχυμένο σήμα της μπάντας 3



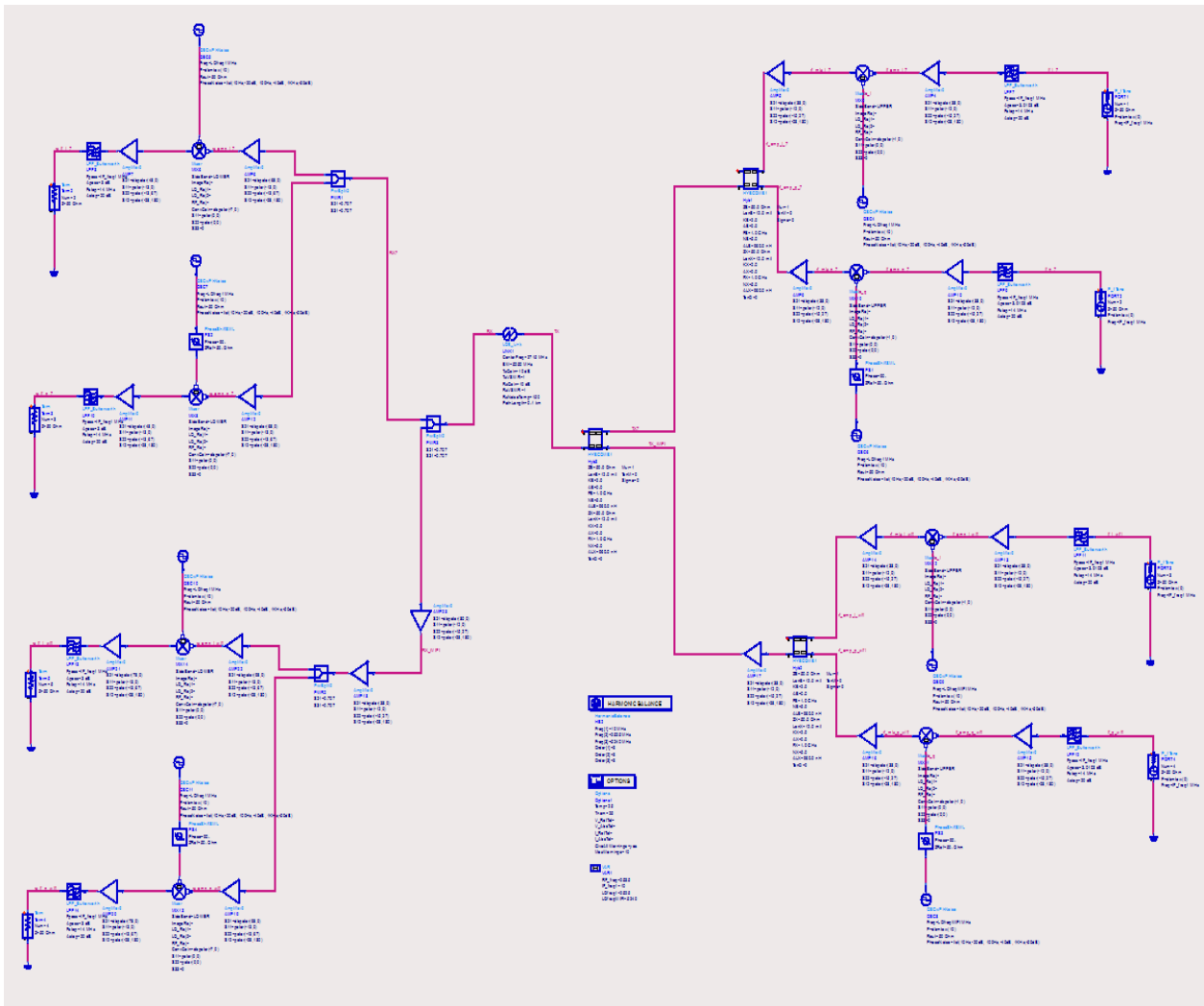
Σχήμα 40 - Το down-converted σήμα στην μπάντα 3



Σχήμα 41 - Το down-converted σήμα στην μπάντα 20

Στις παραπάνω εμφανίζονται το αρχικό σήμα όπως ήταν πριν να γίνει η ενίσχυση, το up-conversion, η συνάθροιση με το άλλο σήμα και τέλος το down-conversion του. Κατά τα διάφορα στάδια παρατηρούνται διάφορα άλλα σήματα που δημιουργούνται σε άλλες συχνότητες τα οποία προέρχονται από τον θόρυβο. Τα συγκεκριμένα σήματα αποκόπτονται με την ορθή χρήση των φίλτρων.

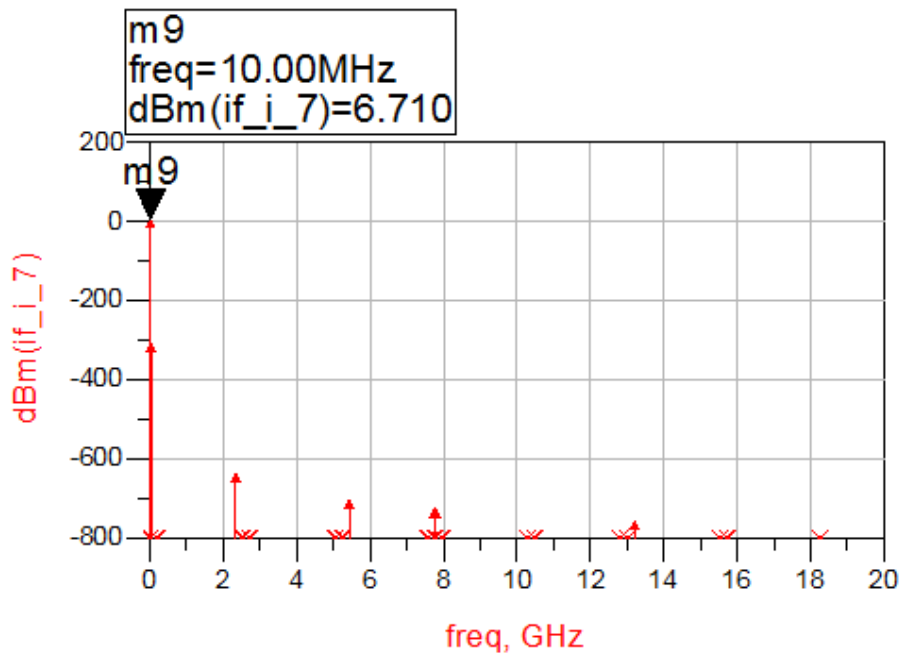
3.6 Πομποδέκτης συνάθροισης μπάντας 7 & Wifi



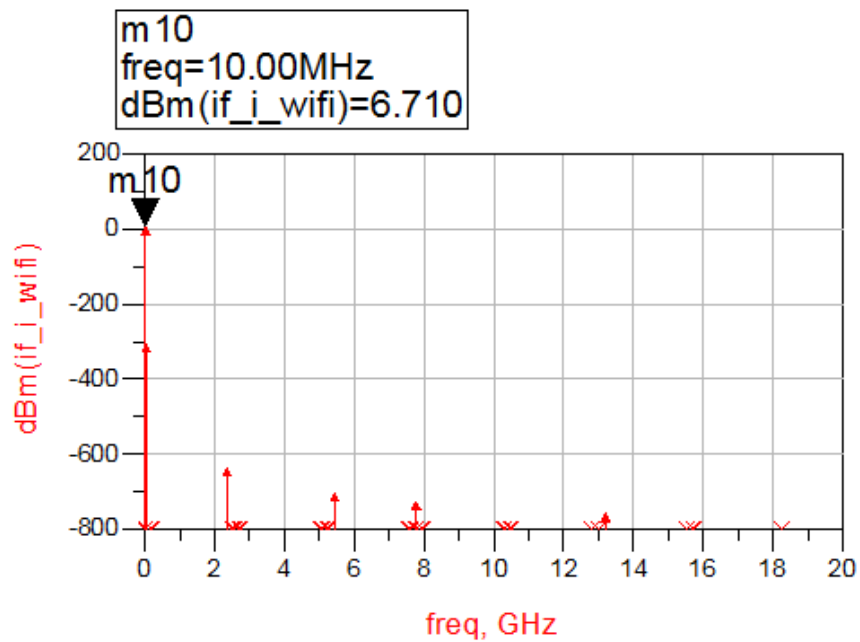
Σχήμα 42 - Η αλυσίδα πομποδέκτη 7 & Wifi

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η αλυσίδα του πομποδέκτη με συνάθροιση φερόντων της μπάντας 7 και του Wifi. Στο επάνω μέρος και δεξιά υπάρχει ο πομπός της μπάντας 7 και στο κάτω δεξιά τμήμα ο πομπός του Wifi. Από την αριστερά πλευρά διακρίνονται οι δέκτες της μπάντας 7 και του Wifi παρατηρώντας από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.

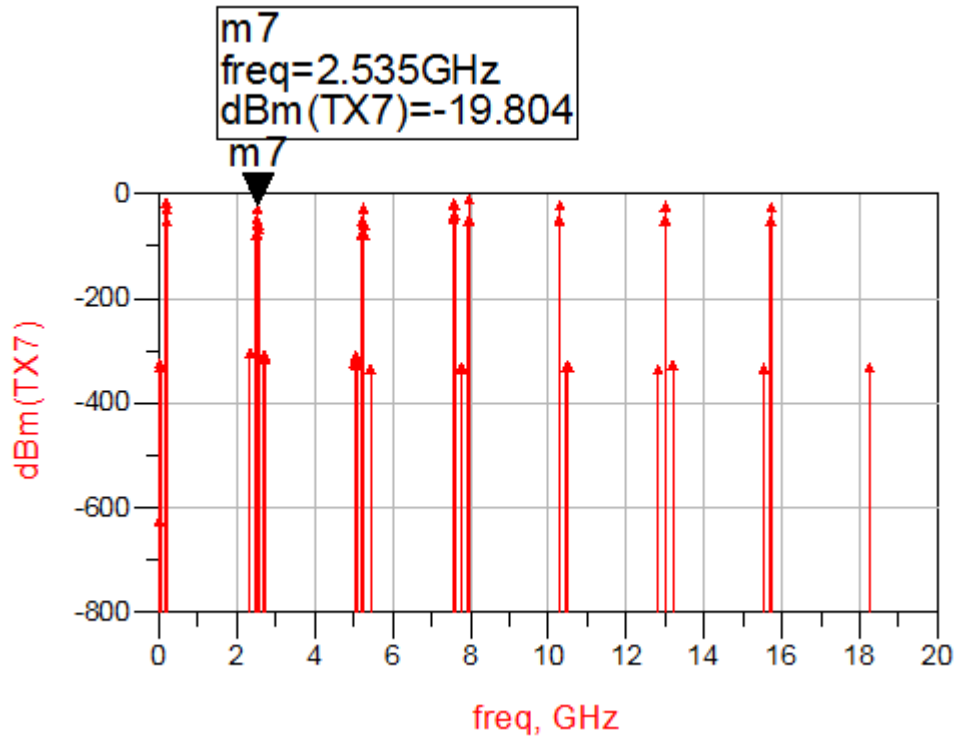
Στη συνέχεια θα παρατεθούν ενδεικτικά κάποια από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Δεν παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα λόγω της συμμετρίας που παρουσιάζουν οι δύο κλάδοι και στον πομπό και στον δέκτη.



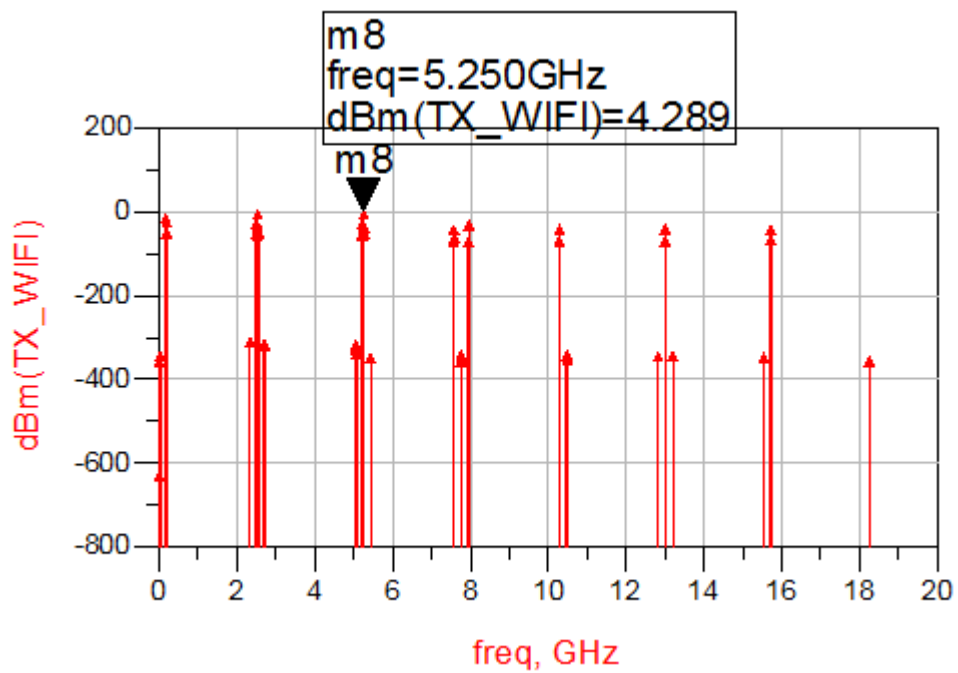
Σχήμα 43- Το αρχικό σήμα στην μπάντα 7



Σχήμα 44- Το αρχικό σήμα του Wifi

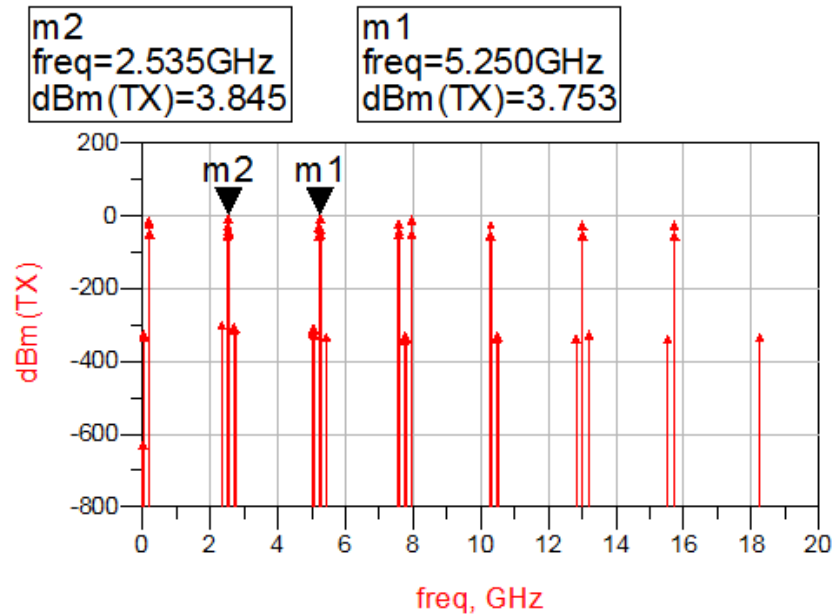


Σχήμα 45 - Το up-converted σήμα της μπάντας 7



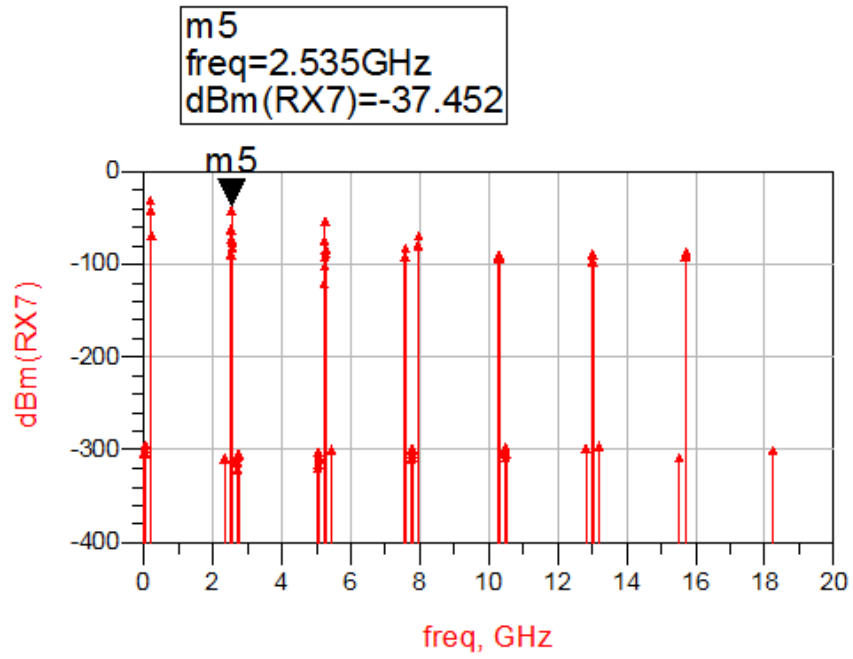
Σχήμα 46 - Το up-converted σήμα του Wifi

Στις παραπάνω εικόνες παρατηρείται το up-conversion που έχει υποστεί το αρχικό σήμα με σκοπό την ένταξη του στις επιθυμητές συχνότητες. Υπάρχει μείωση στην ισχύ των σημάτων, το γεγονός αυτό οφείλεται στις αρμονικές συχνότητες που εισάγουν τα διάφορα στάδια του up-conversion.

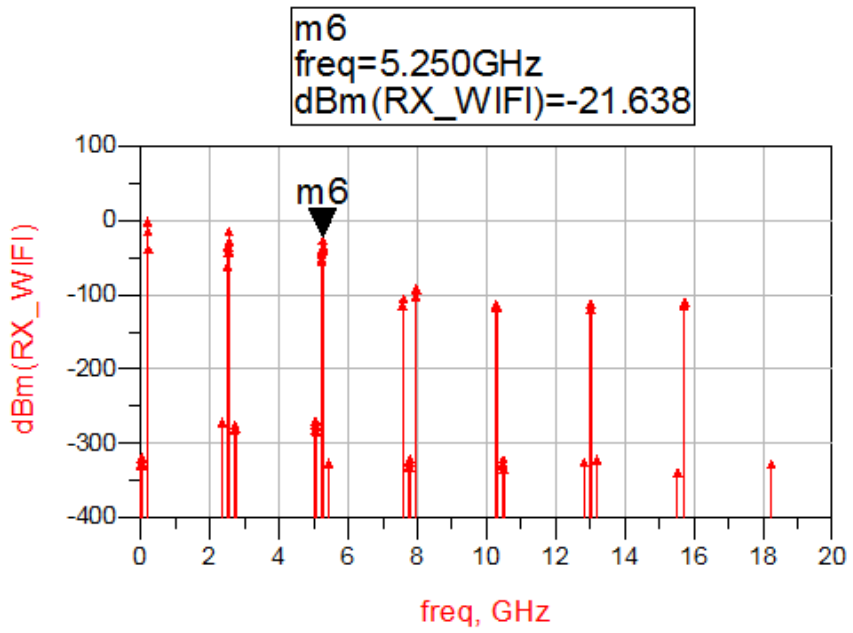


Σχήμα 47 - Το τελικό σήμα πριν την εκπομπή

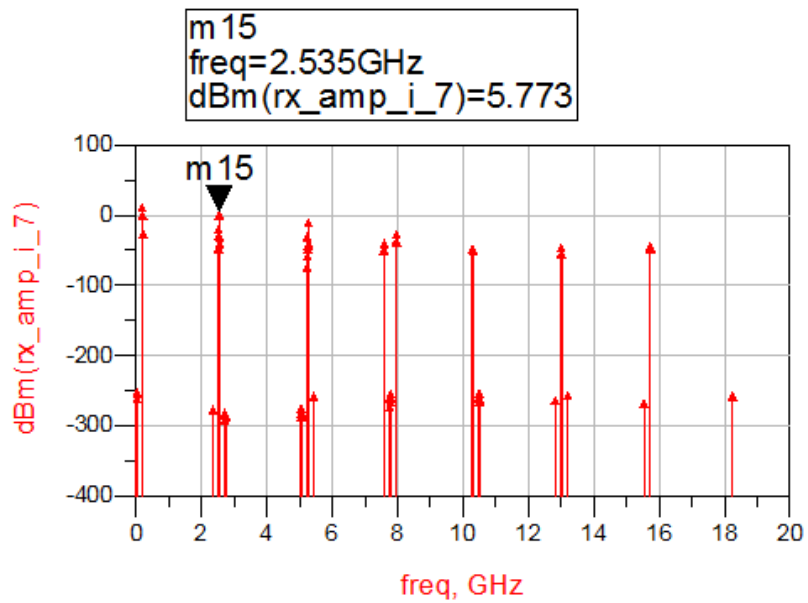
Παρόλο που τα σήματα εκπέμπονται με την ίδια ισχύ εξαιτίας του καναλιού επικοινωνίας φτάνουν στον πομπό με διαφορετικές και αισθητά μειωμένες. Στην συνέχεια, τα σήματα που θα παρουσιαστούν εμφανίζουν την διαδικασία του down-conversion του σήματος με σκοπό την κατάληξη στα αρχικά σήματα.



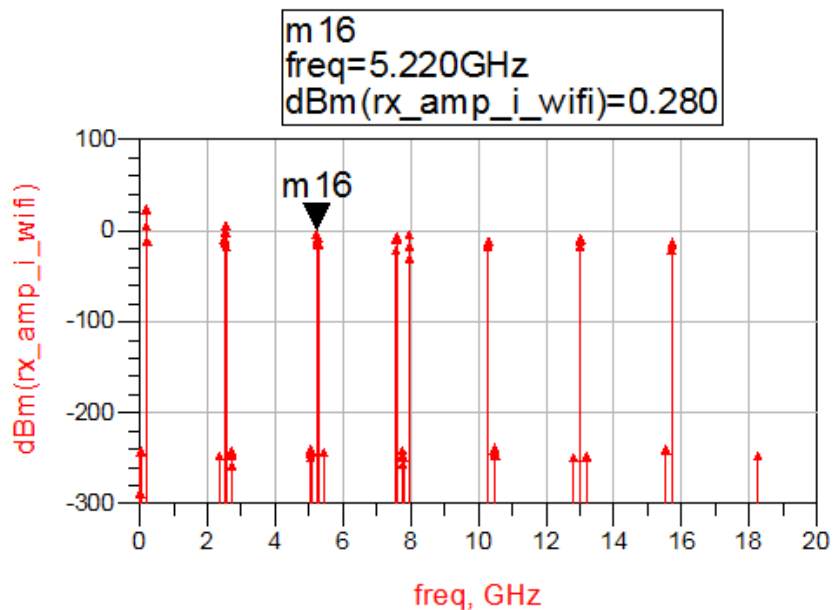
Σχήμα 48 - Το ληφθέν σήμα της μπάντας 7



Σχήμα 49 - Το ληφθέν σήμα του Wifi

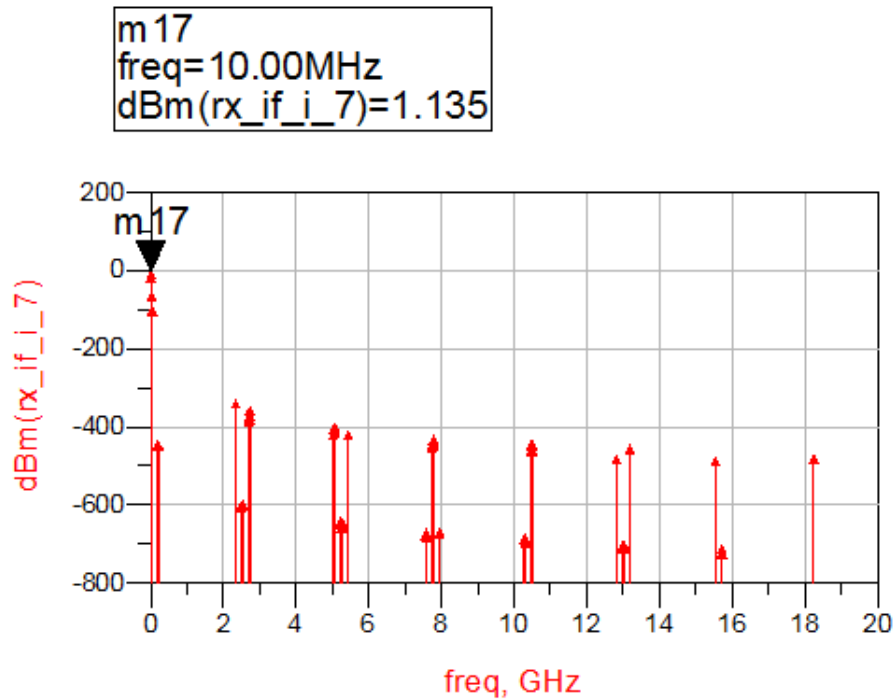


Σχήμα 50 - Το ενισχυμένο ληφθέν σήμα της μπάντας 7

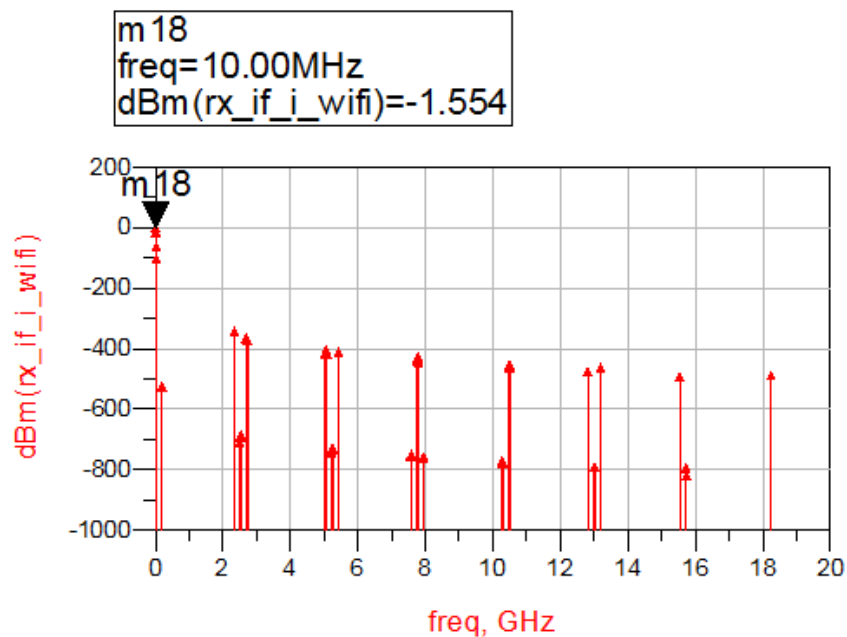


Σχήμα 51 - Το ενισχυμένο ληφθέν σήμα του Wifi

Εξαιτίας της εξασθένησης του σήματος λόγω της εκπομπής του, τα σήματα ενισχύονται επιπλέον με σκοπό μετά το down-conversion να αποκτήσει το σήμα όσο γίνεται περισσότερο την αρχική του ισχύ.



Σχήμα 52 - Το down-converted σήμα της μπάντας 7



Σχήμα 53 - Το down-converted σήμα του Wifi

Στις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε το τελικό σήμα του λαμβάνει ο δέκτης μετά από όλα τα στάδια της επεξεργασίας. Κατά τη διάρκεια του up-conversion και του down-conversion δημιουργήθηκαν διάφορα παρασιτικά σήματα των οποίων η ισχύς μειώθηκε με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων για να μην υπάρχουν παρεμβολές στην πληροφορία που μεταδόθηκε.

Κεφάλαιο 4

4. Συμπεράσματα και Μελλοντικές προσθήκες

Μετά τον σχεδιασμό και την προσομοίωση των παραπάνω πομποδεκτών προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα. Παρατηρείται στις προσομοιώσεις το γεγονός της μείωσης ισχύος κατά την εκπομπή του σήματος μέσα στο κανάλι, όπως ήταν αναμενόμενο. Επιπλέον, εύκολα γίνονται αντιληπτά τα ανεπιθύμητα σήματα (αρμονικές συχνότητες), που προκύπτουν στη φάση του up-conversion των σημάτων στη συχνότητα εκπομπής. Σήματα τέτοιου είδους είναι εύκολο να αποκοπούν με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων. Συνεχίζοντας, ερευνήθηκε η δυνατότητα υλοποίησης ενός πομποδέκτη ο οποίος μπορεί να υποστηρίξει Wifi και ταυτόχρονα να μεταφέρει και δεδομένα από το ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας. Το γεγονός αυτό μπορεί να φανεί ιδιαιτέρως χρήσιμο στην περίπτωση που το Wifi αποσυνδεθεί, δηλαδή ο χρήστης θα συνεχίσει να λαμβάνει τα δεδομένα που επιθυμεί από το 4G δίκτυο παρόλο που θα έχει διακοπεί η σύνδεση με το Wifi.

Ως μελλοντικές προσθήκες – επεκτάσεις στη συγκεκριμένη έρευνα που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μπορούν να θεωρηθούν τα εξής:

- τα παραπάνω σενάρια που μελετήθηκαν και προσομοιώθηκαν θα ήταν χρήσιμο να υλοποιηθούν και εργαστηριακά σε επίπεδο hardware.
- επιπλέον, θα μπορούσε να ερευνηθεί περαιτέρω η κατανάλωση ενέργειας σε ένα τέτοιο σύστημα, διότι είναι πολύ πιθανή η χρήση του σε κάποια φορητή συσκευή (κινητό τηλέφωνο, tablet κ.ο.κ.).

Βιβλιογραφία

- [1] RF Wireless Transceiver – Simulation and Analysis, Akoma – Chiemele Ogechukwu, London Metropolitan University
- [2] Introduction to GSM and GSM Mobile RF Transceiver Derivation, Dallas Semiconductor Maxim
- [3] Understanding LTE-Advanced, Anritsu, [Online], Available: <http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/Network-Testing-Understanding-Carrier-Aggregation-web.pdf>
- [4] Μελέτη και προσομοίωση ψηφιακών φίλτρων για δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό πομποδέκτη με χρήση διαμόρφωσης 16-QAM, Γκόγκου Ανθούλας, [Online], Available: <http://apothesis.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/795/gkogkou.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] LTE Carrier Aggregation – Technology Development and Deployment Worldwide, 4G Americas, [Online], Available: http://www.4gamericas.org/files/8414/1471/2230/4G_Americas_Carrier_Aggregation_FINALv1_0_3.pdf
- [6] Introducing LTE-A, Agilent technologies [Online]. Available: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-6706EN.pdf>
- [7] Design of an LTE transceiver with carrier aggregation, Antonopoulos Emmanouil, [Online]. Available: http://www.inf.uth.gr/wp-content/uploads/formidable/Antonopoulos_emmanouil_aris.pdf
- [8] LTE Frequency Bands & Spectrum Allocations, Radio-Electronics.com, [Online], Available: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-frequency-spectrum.php>

[9] LMS 6002 D, Multi-band Multi-standard Transceiver with intergrated Dual DACs and ADCs, Lime microsystems, [Online], Available:

<http://www.limemicro.com/download/LMS6002Dr2-DataSheet-1.2r0.pdf>

[10] AD 9361, RF Agile Transceiver, Analog Devices, [Online], Available:

<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9361.pdf>