

## **Μελέτη και Προσομοίωση 802.11n πομπού για ασύρματη πρόσβαση**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

# Στόχοι της πτυχιακής εργασίας

- A) Προσομοίωση του φάσματος του καναλιού του προτύπου για να φανεί ότι πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις
- B) Παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών του προτύπου έτσι ώστε να δούμε τις διαφοροποιήσεις που προκαλούν στις μετρήσεις CCDF και EVM.

# Επισκόπηση της Πτυχιακής Εργασίας

## Θεωρητικό Μέρος

- Μελέτη Φυσικού επιπέδου
  - OFDM - πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα
  - Τι είναι το MIMO;
  - Εύρος Ζώνης και Δομή καναλιού
  - Ταχύτητα και τρόπος λειτουργίας
  - Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων και Beamforming
  - Λογισμικό Προσομοίωσης

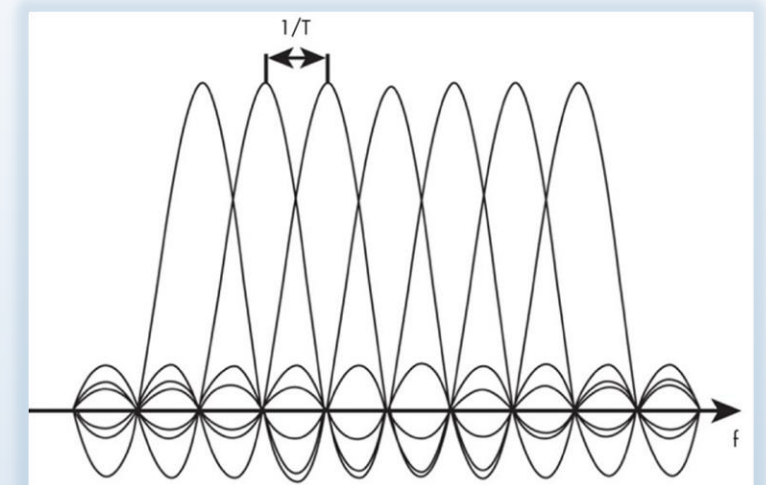
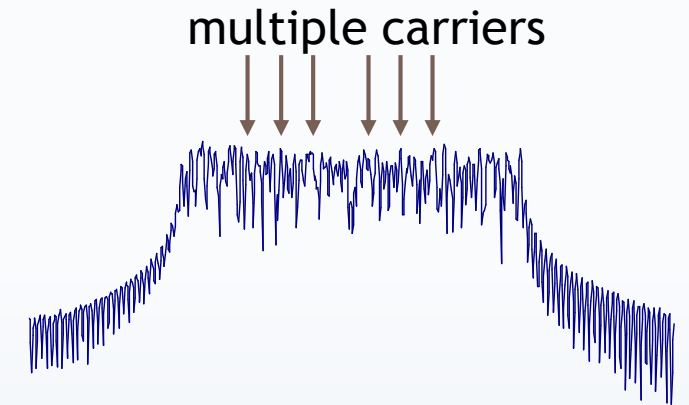
## Προσομοιώσεις και αποτελέσματα

- Μετρήσεις Φάσματος 802.11n
- Μέτρηση Complementary cumulative distribution function
- Μετρήσεις Error vector magnitude
- Συμπεράσματα εργασίας

# Φυσικό επίπεδο 802.11n

## Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

- Διαμόρφωση πολλαπλού φέροντος - μικρός ρυθμός συμβόλων
- Ένα σύμβολο ανά υποφορέα
- 1 σύμβολο=4  $\mu\text{sec}$
- Ορθογώνιοι υποφορείς
- Στην κεντρική συχνότητα κάθε υποφορέα, το φάσμα των υπολοίπων φορέων είναι μηδενικό



# Orthogonal frequency-division multiplexing

## Πλεονεκτήματα

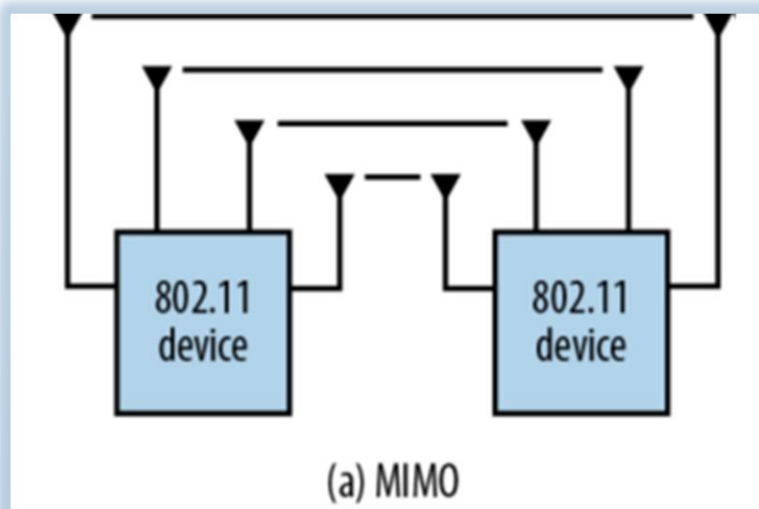
- Είναι ανθεκτικό στην πολυδιαδρομική μετάδοση λόγω της αυξημένης διάρκειας των OFDM συμβόλων κάθε υποφορέα.
- Μεγαλύτερη πιθανότητα ανάκτησης συμβόλου
- Ανθεκτικό σε παρεμβολές
- Εκμεταλλεύεται το φάσμα
- Η υλοποίησή του στο ψηφιακό πεδίο είναι εύκολη

## Μειονεκτήματα

- Υψηλό Peak to Average Power Ratio (PAPR)

Το OFDM σήμα αποτελείται από  $N$  ανεξάρτητα διαμορφωμένα σήματα τα οποία, όταν προστίθενται με την ίδια φάση, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ισχύος εξόδου  $N$  φορές μεγαλύτερη από τη μέση. Αυτές οι διακυμάνσεις του σήματος ισχύος αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στον σχεδιασμό τόσο των RF ενισχυτών όσο και των AD/DA μετατροπών

# Multiple input-output



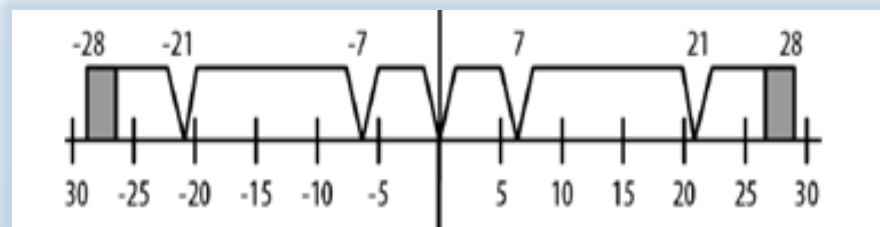
- Έως 4 κεραίες
- Κάθε χωρική ροή είναι ικανή να στείλει διαφορετικά δεδομένα
- Προσφέρει σημαντική αύξηση στην έξοδο δεδομένων χωρίς πρόσθετο εύρος ζώνης ή ισχύ μετάδοσης
- Μετατρέπει το φαινόμενο της πολλαπλής διαδρομής του σήματος, το οποίο αποτελεί κύριο πρόβλημα για τα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας, σε πλεονέκτημα

# Εύρος Ζώνης και Δομή καναλιού

➤ 20 MHz

56 υποφορείς - 52 χρησιμοποιήσιμοι

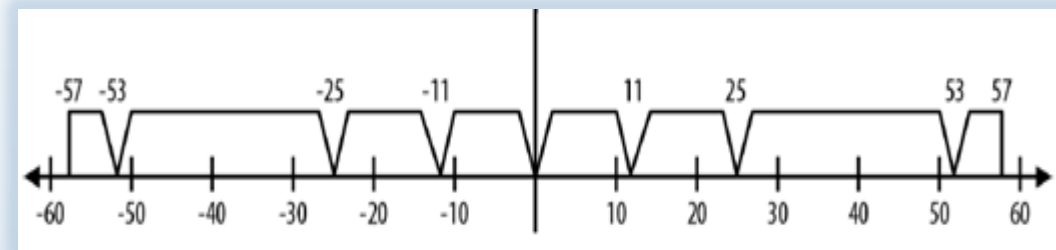
Πιλότοι στις θέσεις -21,-7,7,21



➤ 40 MHz

114 υποφορείς - 108 χρησιμοποιήσιμοι

Πιλότοι στις θέσεις -53,-25,-11,11,25,53



# Ταχύτητα και τρόπος λειτουργίας

## Ταχύτητα

- 150 Mbps (δύο χωρικές ροές χρησιμοποιώντας 20 MHz κανάλι, σύντομο διάστημα φύλαξης και 64-QAM)
- 300 Mbps (δύο χωρικές ροές χρησιμοποιώντας 40 MHz κανάλι, σύντομο διάστημα φύλαξης και 64-QAM)
- 450 Mbps (τρεις χωρικές ροές χρησιμοποιώντας 20 MHz κανάλι, σύντομο διάστημα φύλαξης και 64-QAM)
- 600 Mbps (τέσσερις χωρικές ροές χρησιμοποιώντας 40 MHz κανάλι, σύντομο διάστημα φύλαξης και 64-QAM)

## Τρόπος λειτουργίας

### 1. Non - HT mode (Legacy)

*Όλες οι συσκευές 802.11n απαιτούνται να υποστηρίζουν μια κατάσταση «non-11n»*

### 2. HT Mixed mode

*Όλες οι συσκευές 802.11n απαιτούνται να υποστηρίζουν αυτήν την κατάσταση*

### 3. HT Greenfield mode

*Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα περιβάλλον όπου μόνο οι συσκευές 802.11n έχουν αναπτυχθεί*



# Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων (Forward Error Correction)

## 1. Convolutional Code

Code Rate: 1/2, 3/4, 5/6

## 2. Low-Density Parity Check

Κέρδος κωδικοποίησης σε σύγκριση με τους συνελκτικούς κώδικες. Ανάλογα με το μοντέλο του καναλιού, οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι το LDPC αυξάνει την αναλογία σήματος προς θόρυβο κατά 1.5 έως 3 dB.

- Code Word Length: 648, 1296, 1944

Code rate	Data bits per code word
R=1/2	324, 648, or 972
R=2/3	432, 864, or 1296
R=3/4	486, 972, or 1458
R=5/6	540, 1080, or 1620

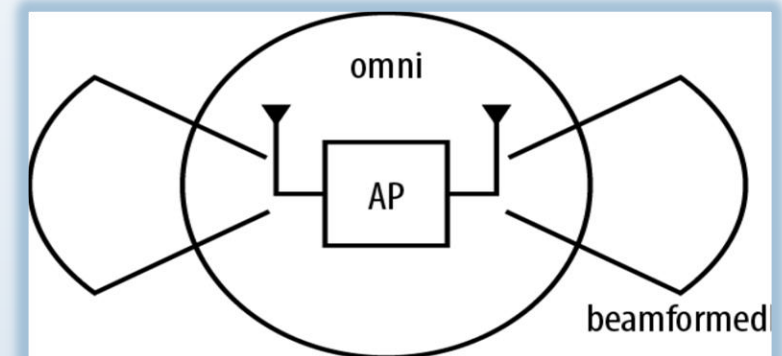
# Beamforming

## 1. Explicit beamforming

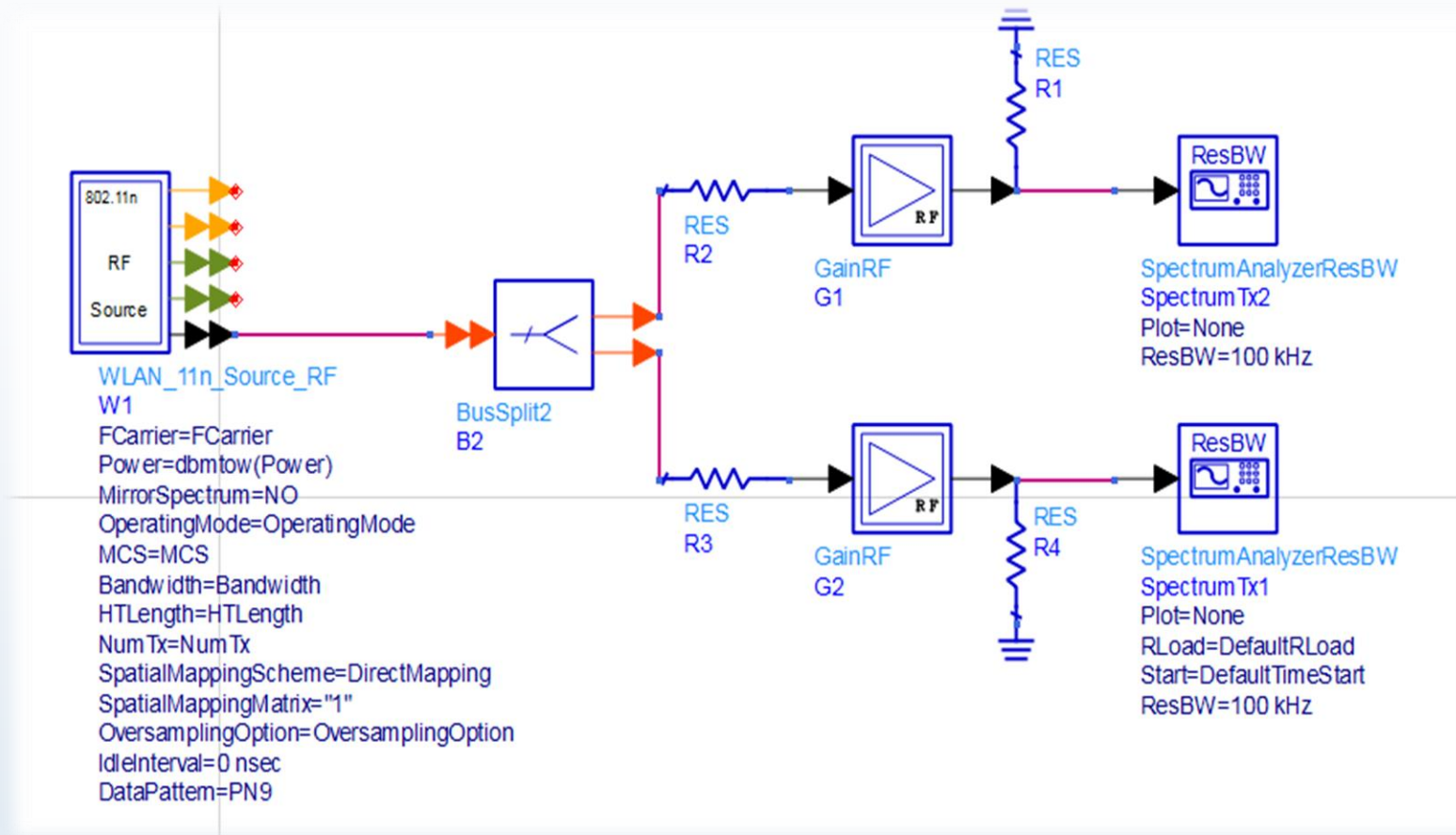
Πριν τη μετάδοση, μια συσκευή μετρά ενεργά το κανάλι, και χρησιμοποιεί την μέτρηση για τον υπολογισμό της διεύθυνσης

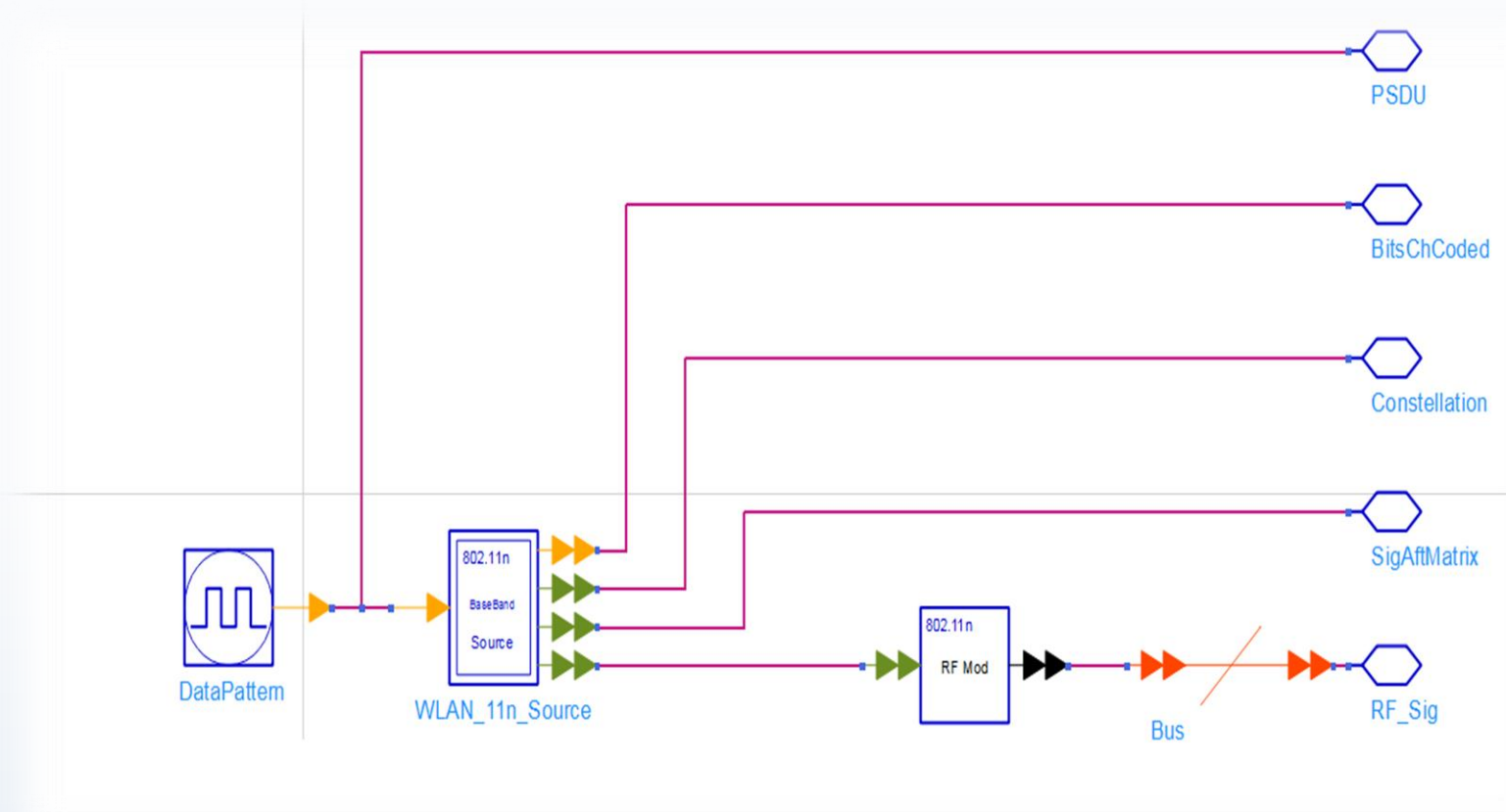
## 2. Implicit Beamforming

Οι συσκευές κάνουν τους υπολογισμούς σύμφωνα με τα πλαίσια που λαμβάνουν ή από συμπεράσματα των πλαισίων που έχουν χαθεί



# Λογισμικό προσομοίωσης

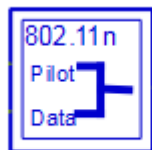




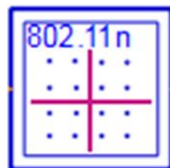
*Δημιουργία σήματος βασικής ζώνης και διοχέτευση του στα κατάλληλα Pin*



WLAN\_11n\_Scrambler



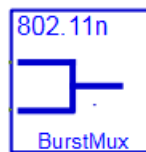
WLAN\_11n\_MuxOFDMSym



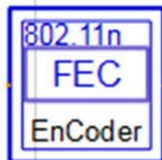
WLAN\_11n\_Mapper



WLAN\_11n\_Preamble



WLAN\_11n\_BurstMux



WLAN\_11n\_ChCoder

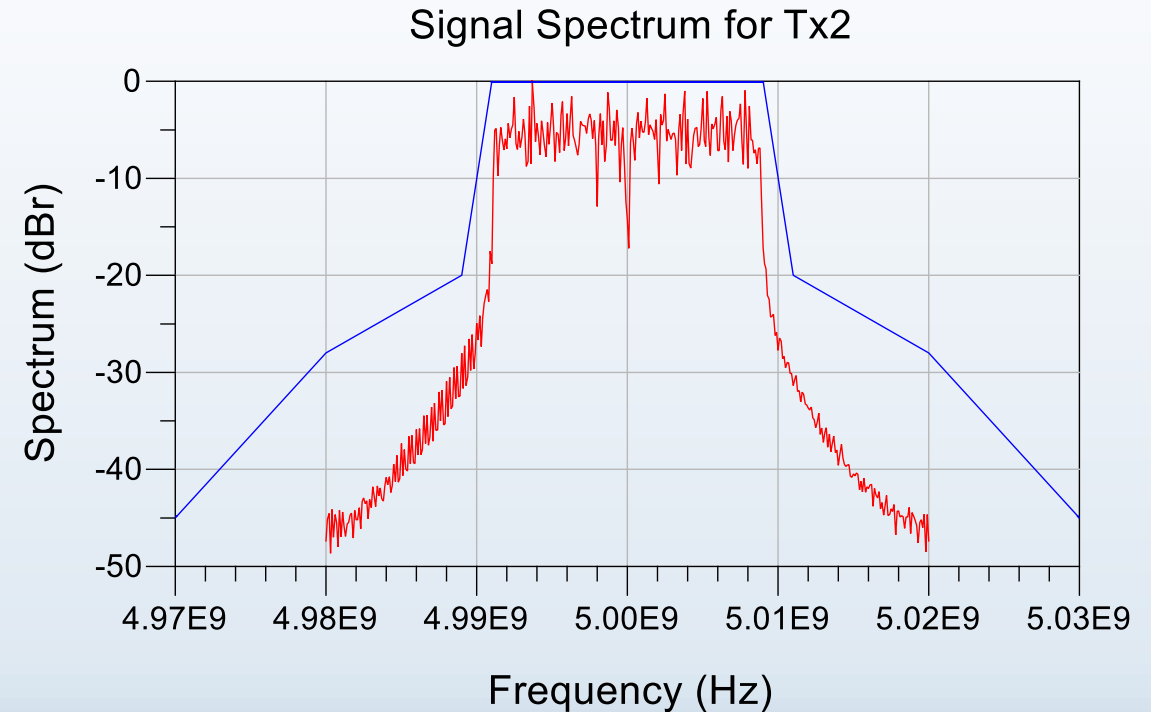
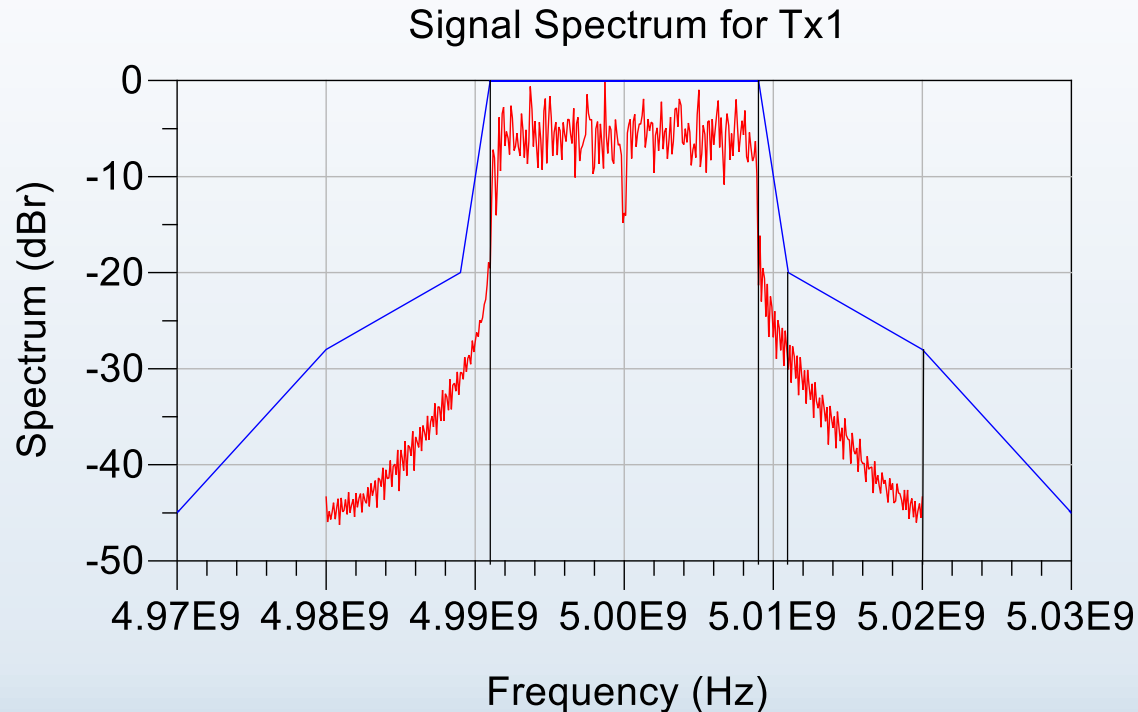


WLAN\_11n\_OFDMMod

# Μετρήσεις Φάσματος 802.11n

Συγκεκριμένα για εκχωρημένο κανάλι μετάδοσης με εύρος ζώνης 20 MHz να μην ξεπερνά τα 0 dBr στα 18MHz , για συχνοτική μετατόπιση 11 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά τα -20 dBr, για συχνοτική μετατόπιση 20 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά τα -28 dBr και για συχνοτική μετατόπιση μεγαλύτερη ή ίση των 30 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά τα -45dBr.

## 20 MHz

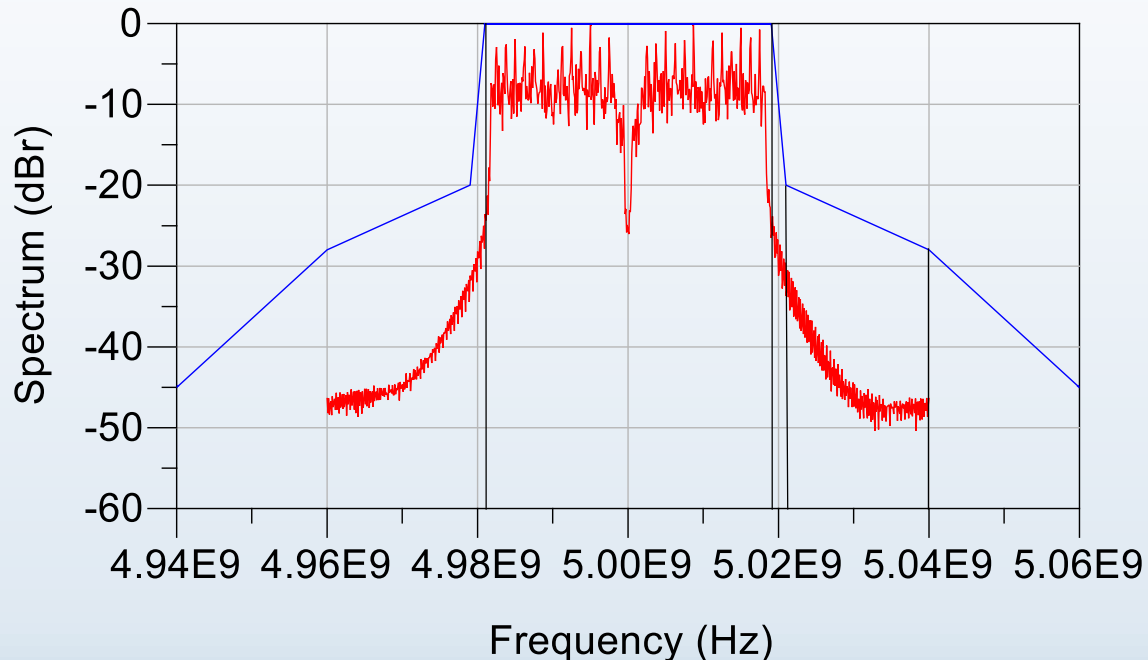


# Μετρήσεις Φάσματος 802.11n

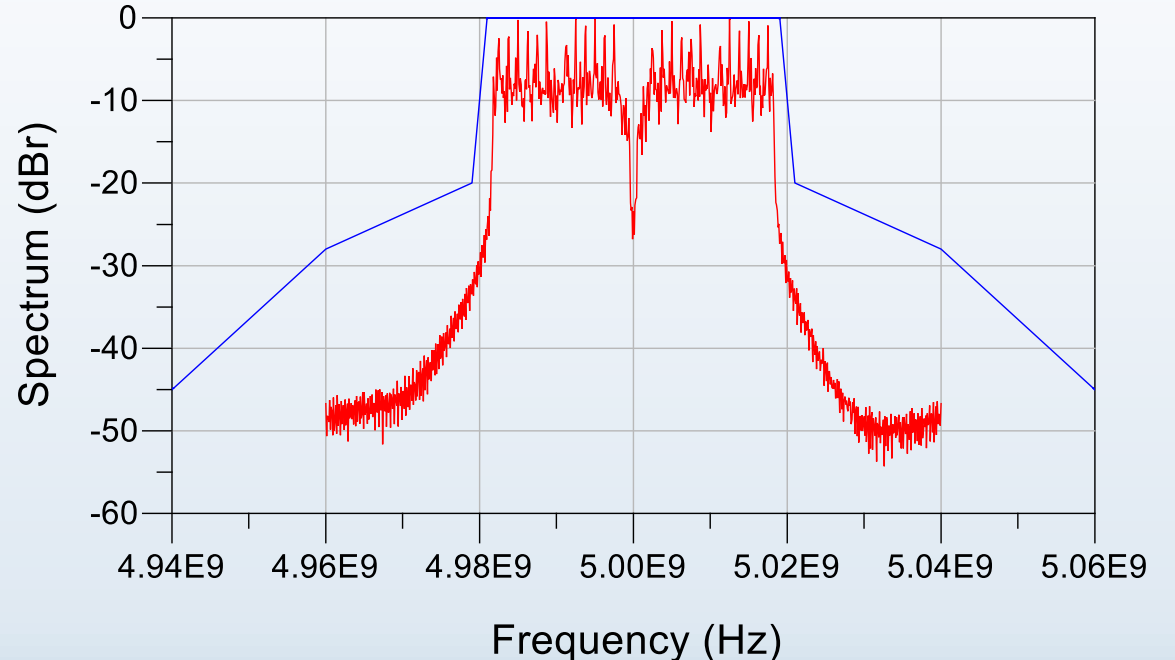
Ενώ για εκχωρημένο κανάλι μετάδοσης με εύρος ζώνης 40 MHz να μην ξεπερνά τα 0 dBr στα 38MHz, για συχνοτική μετατόπιση 21 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά τα -20 dBr, για συχνοτική μετατόπιση 40 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά στα -28 dBr και για συχνοτική μετατόπιση μεγαλύτερη ή ίση των 60 MHz από τη συχνότητα του φέροντος να μην ξεπερνά τα -45dBr.

## 40 MHz

Signal Spectrum for Tx1

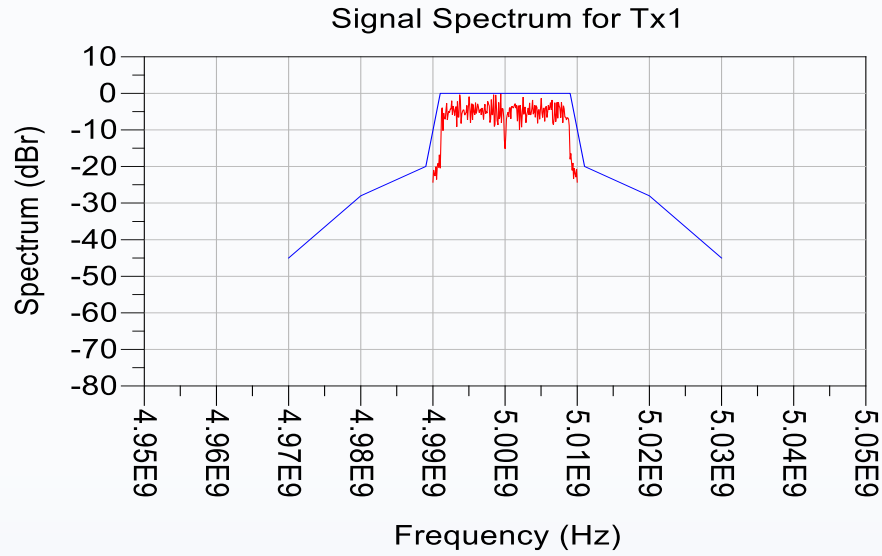


Signal Spectrum for Tx2

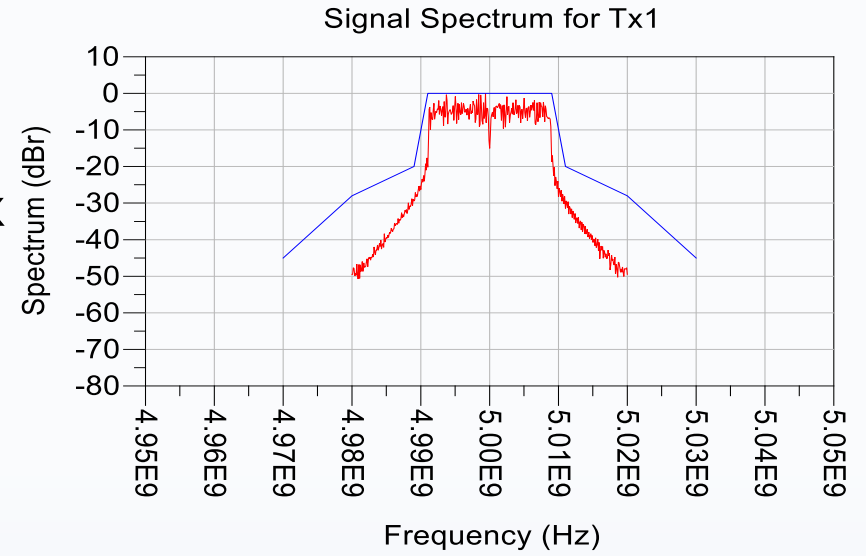


# Υπερδειγματοληψία

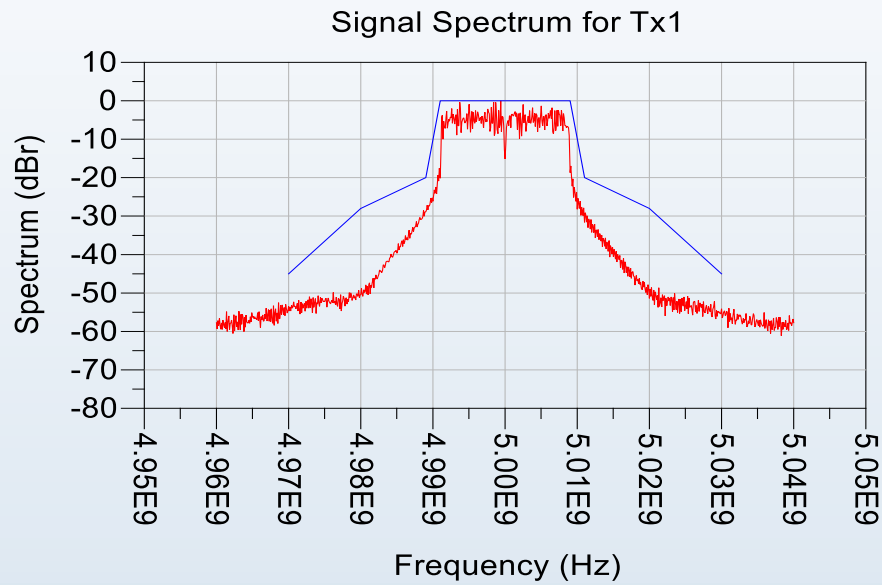
1x



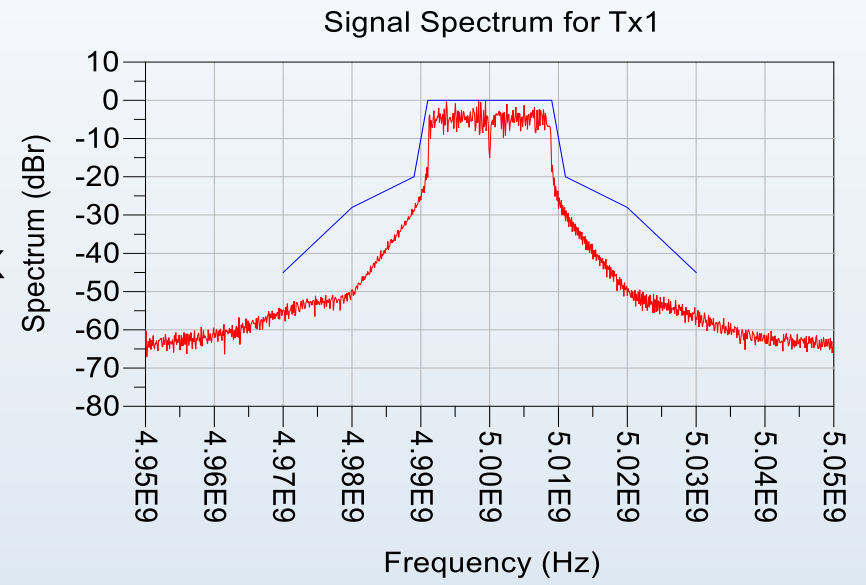
2x



4x

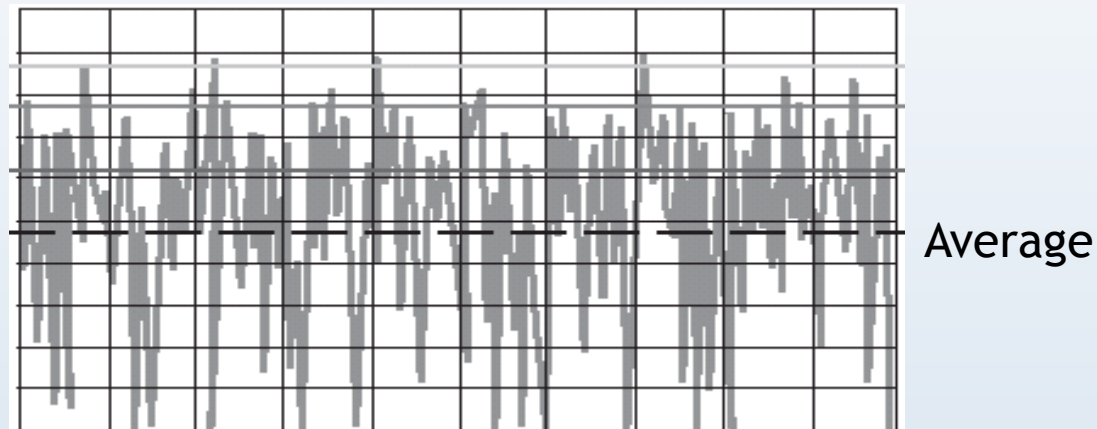


8x



# Μέτρηση Complementary cumulative distribution function (CCDF)

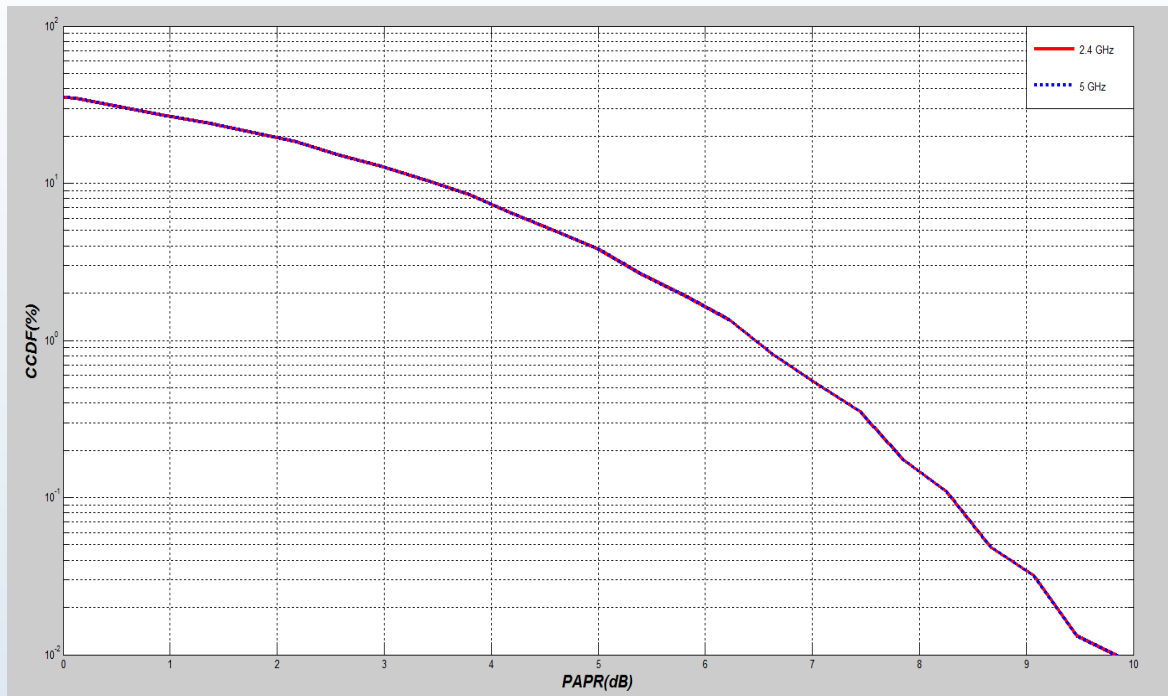
Η μέτρηση CCDF (complementary cumulative distribution function) είναι μια χρήσιμη καμπύλη η οποία βοηθάει τους κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακών συστημάτων να κατανοήσουν τα στατιστικά της ισχύος ενός σήματος. Συχνά χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση μη γραμμικότητας των ενισχυτών. Το διάγραμμα CCDF δείχνει την πιθανότητα ή το ποσοστό μιας συγκεκριμένης τιμής αναλογίας κορυφής προς μέσο όρο το οποίο είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό υψηλής ισχύος γραμμικών ενισχυτών.



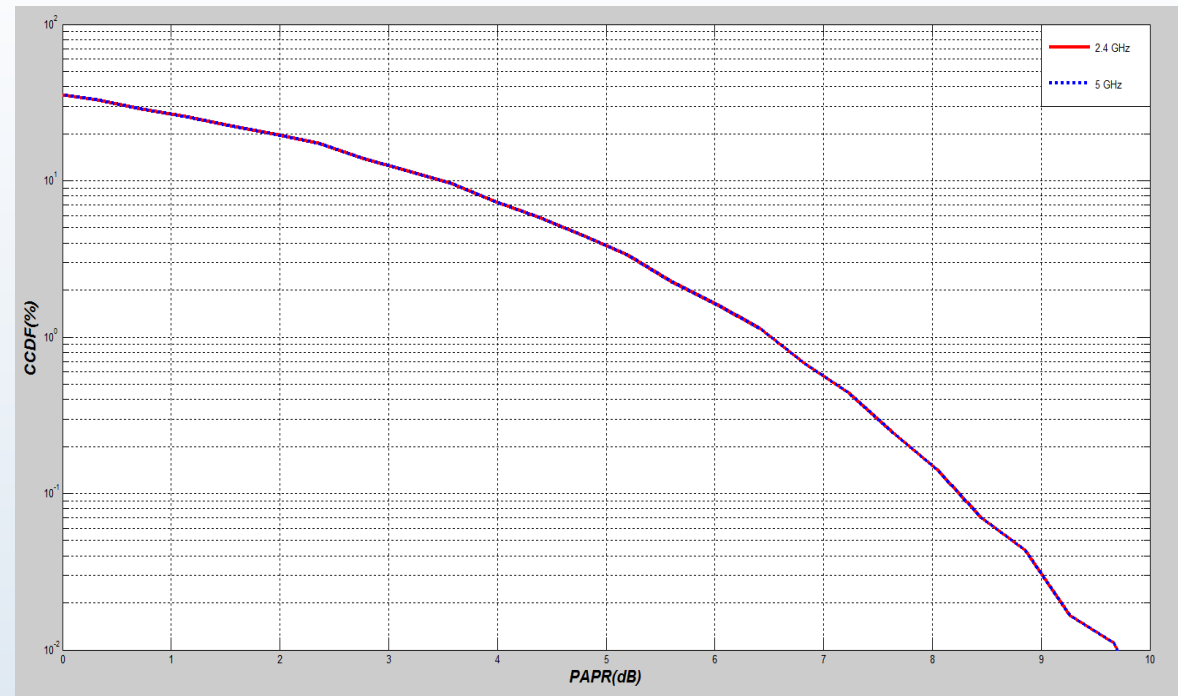


# Συχνότητα Φορέα

1<sup>ος</sup> πομπός

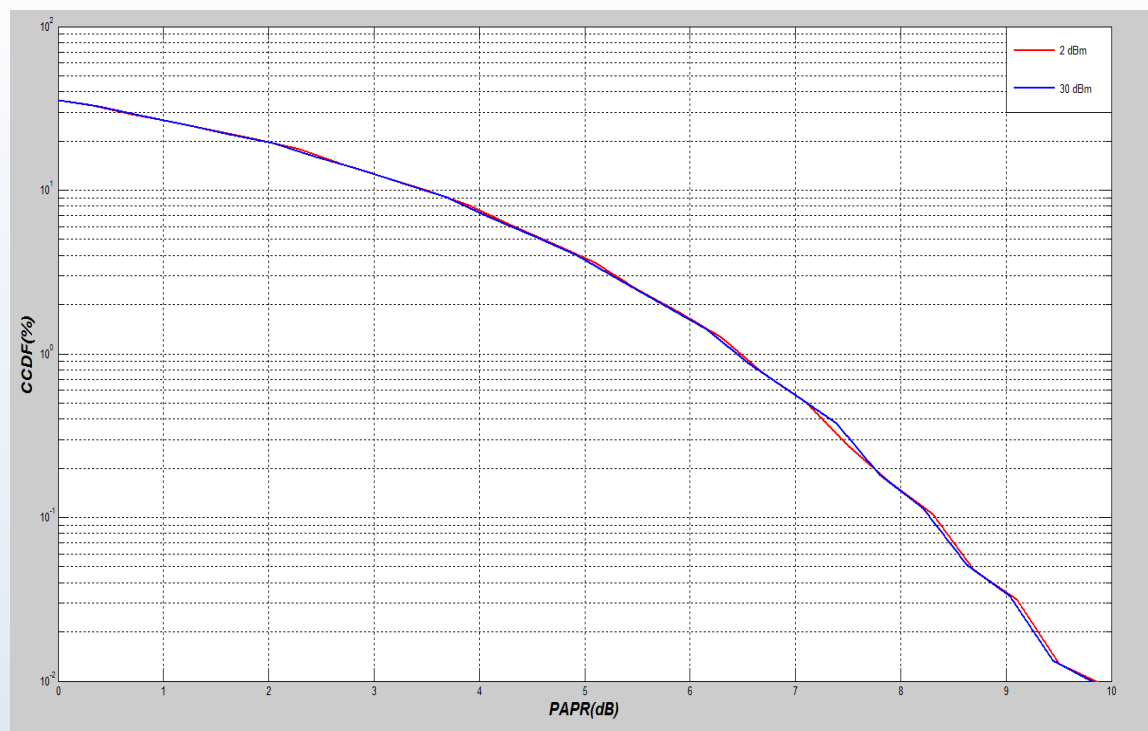


2<sup>ος</sup> πομπός

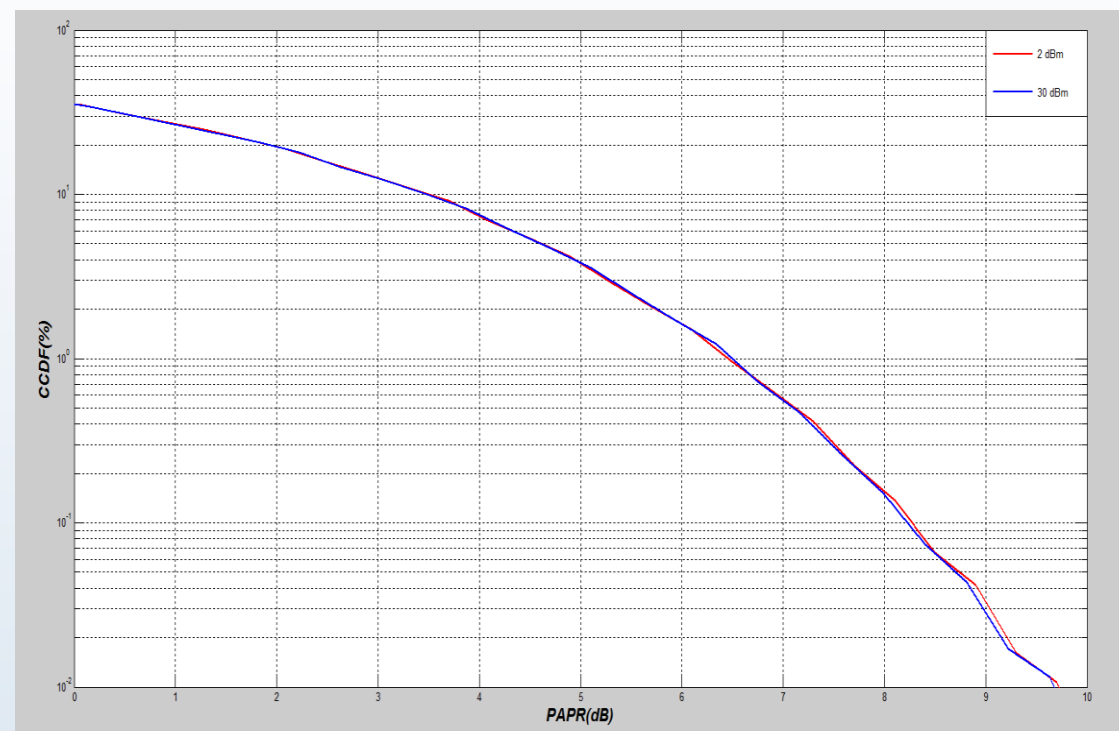


# Ισχύς

## 1<sup>ος</sup> πομπός

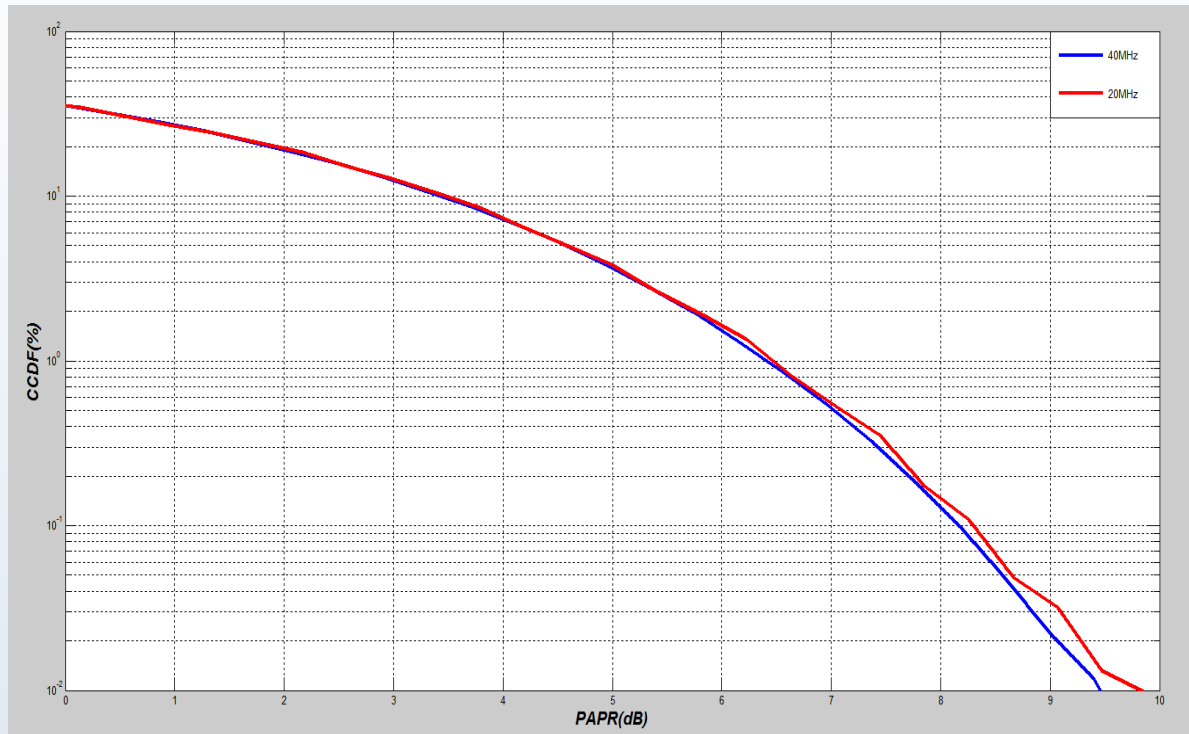


## 2<sup>ος</sup> πομπός

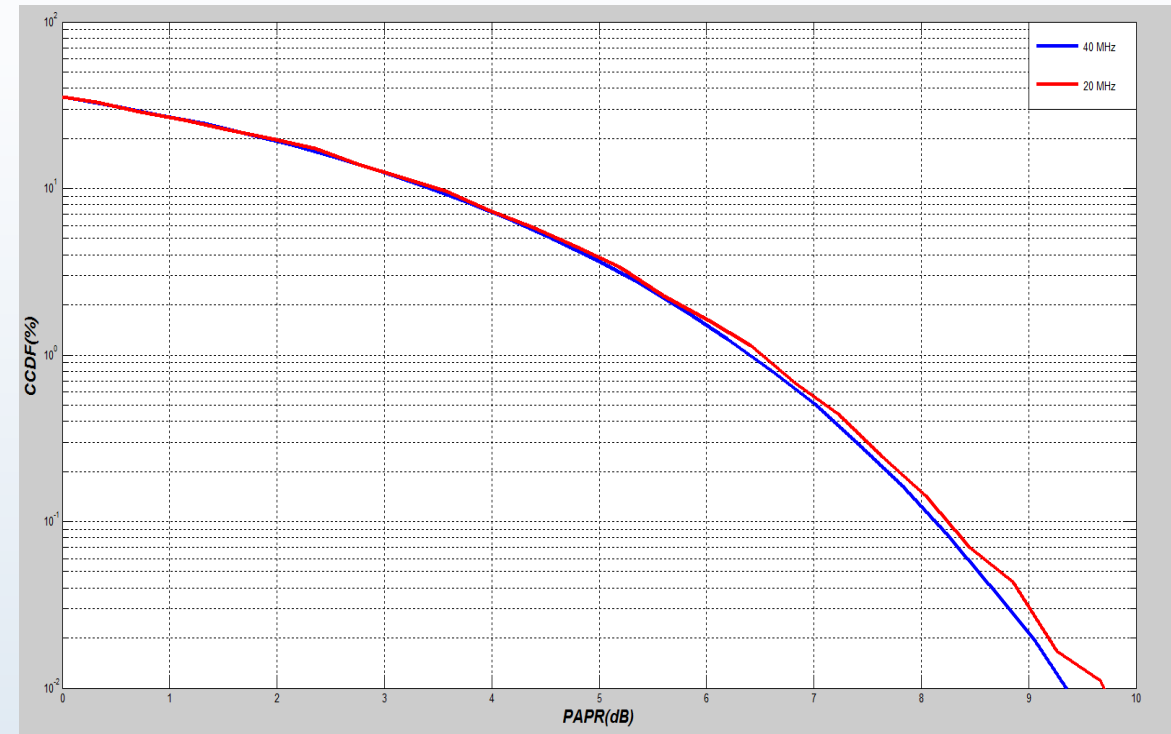


# Εύρος ζώνης

1<sup>ος</sup> πομπός

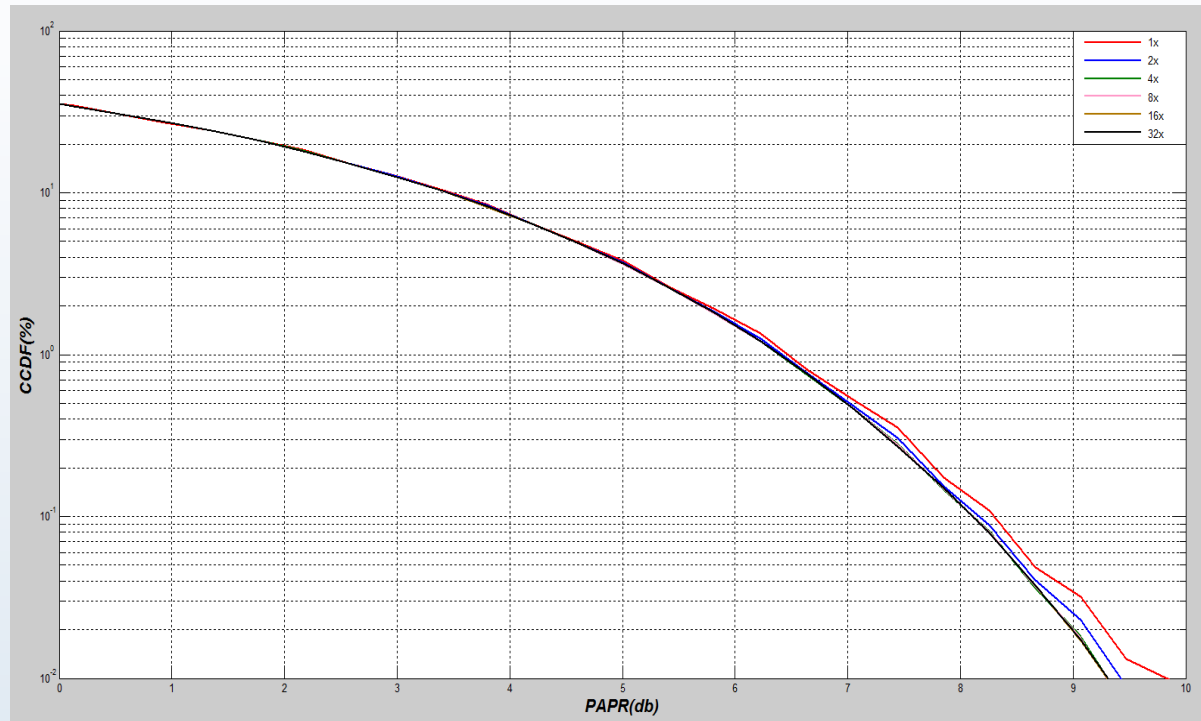


2<sup>ος</sup> πομπός

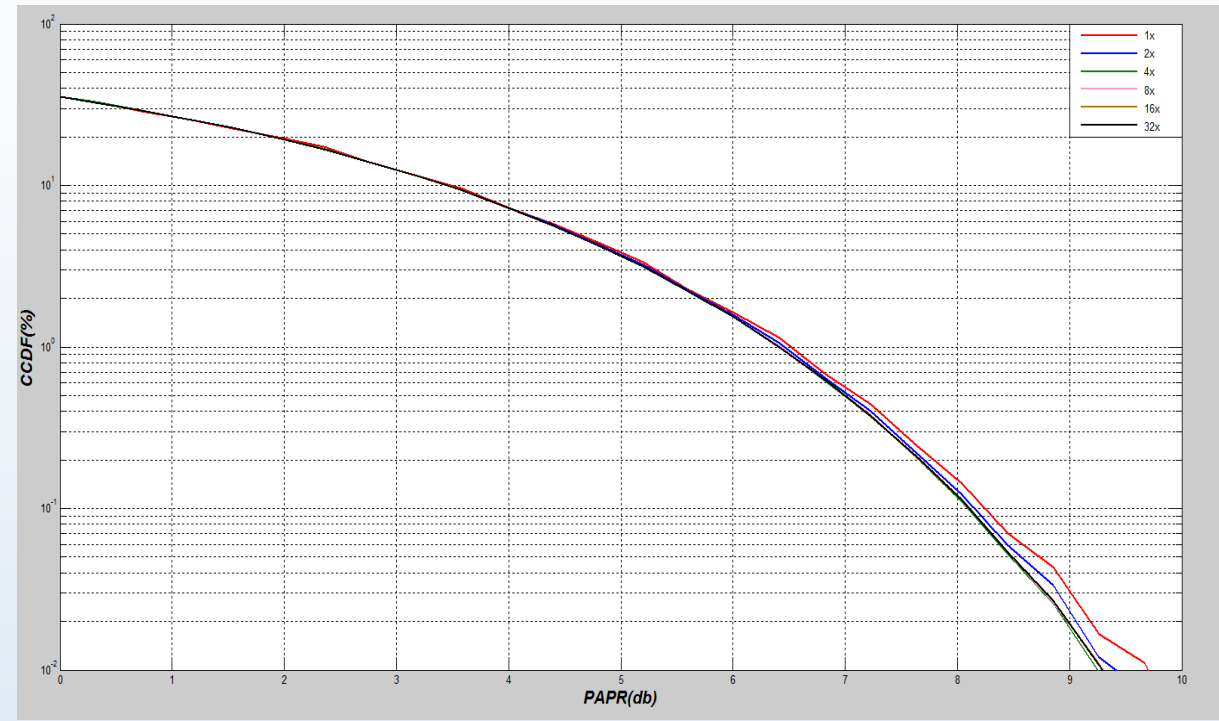


# Υπερδειγματοληψία

1<sup>ος</sup> πομπός

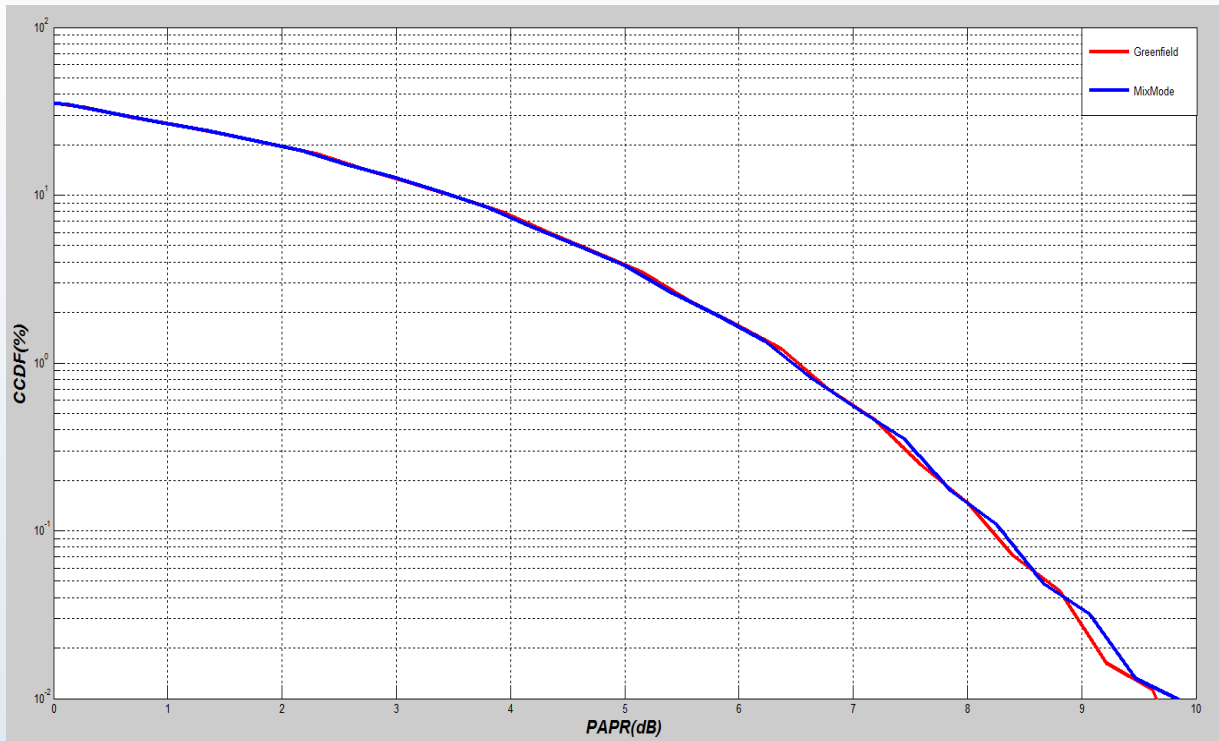


2<sup>ος</sup> πομπός

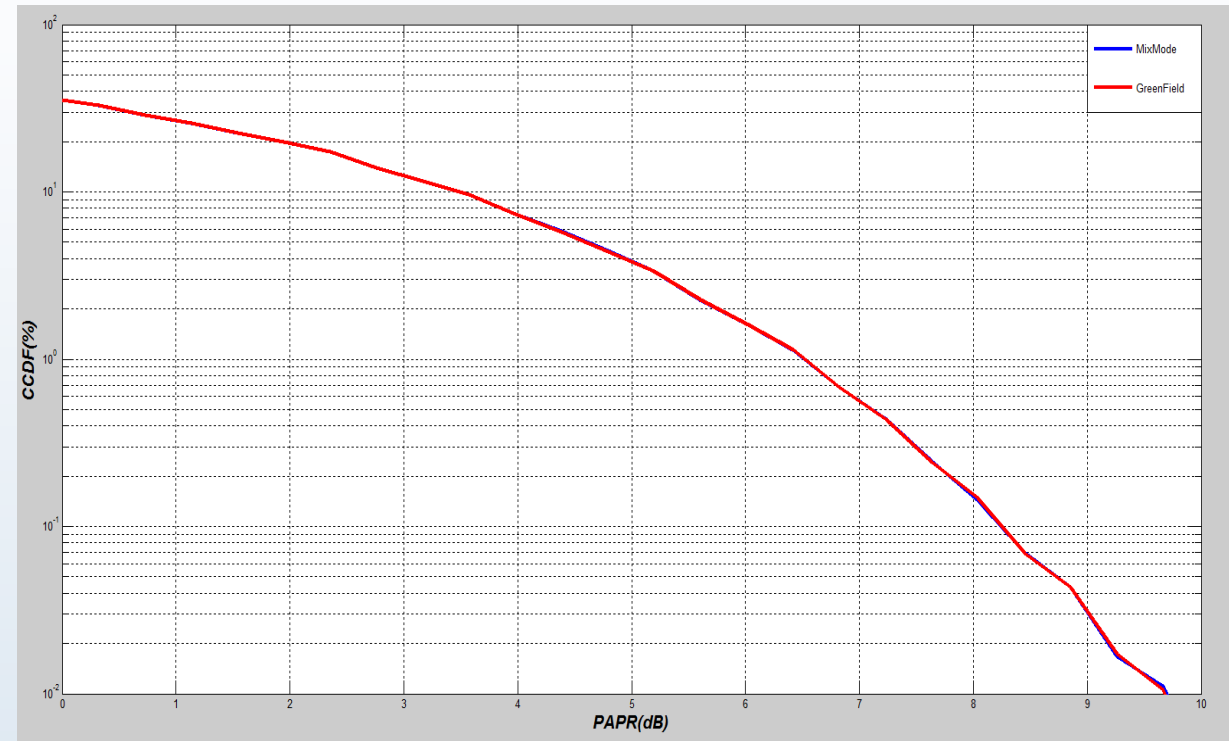


# Τρόπος λειτουργίας

1<sup>ος</sup> πομπός



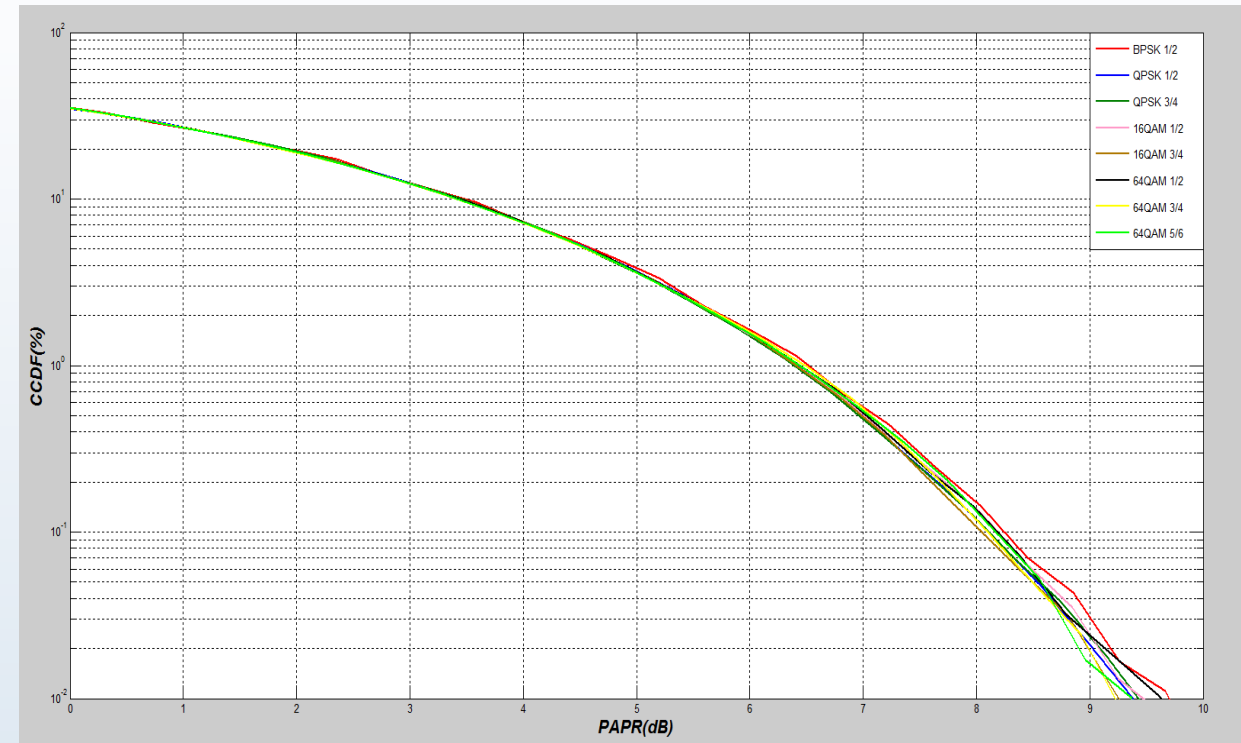
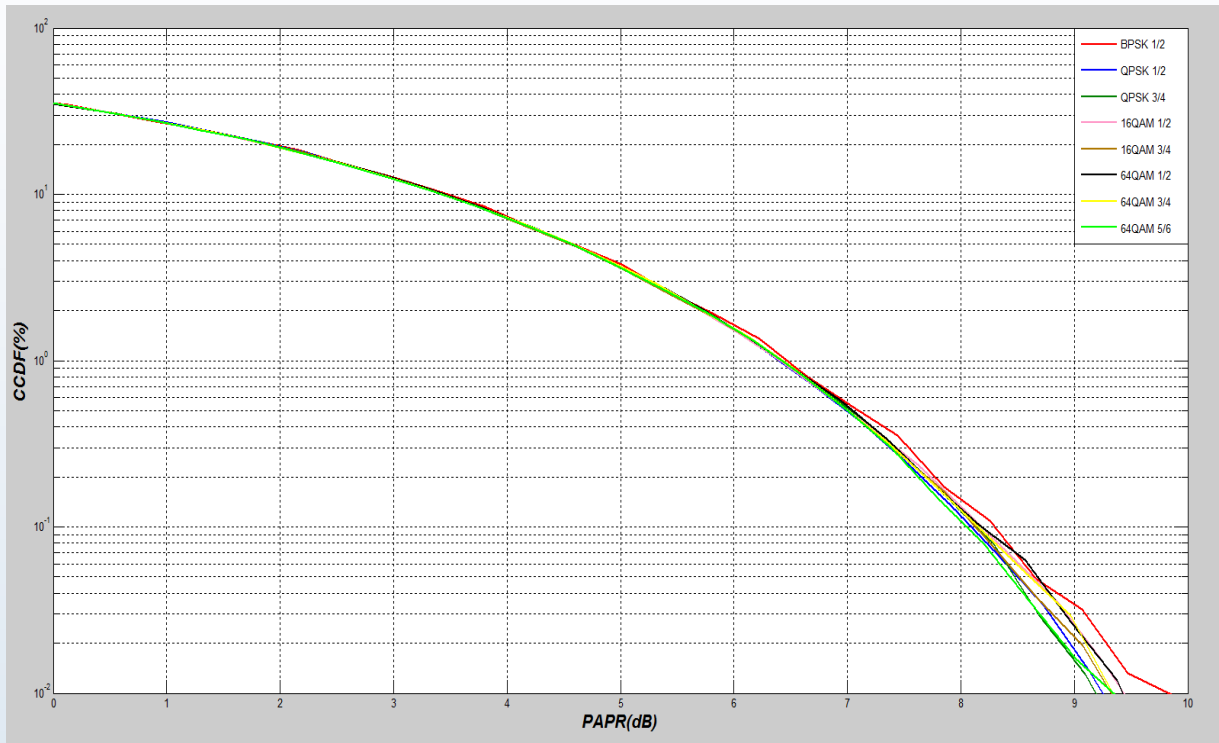
2<sup>ος</sup> πομπός



# Διαμόρφωση και κωδικοποίηση

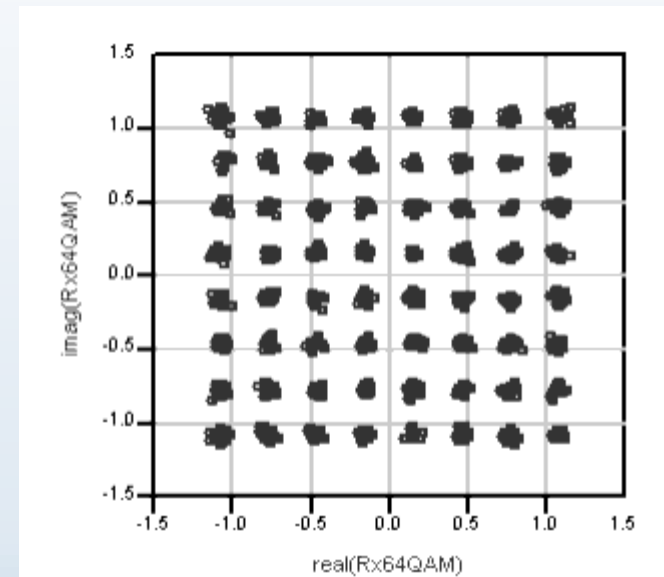
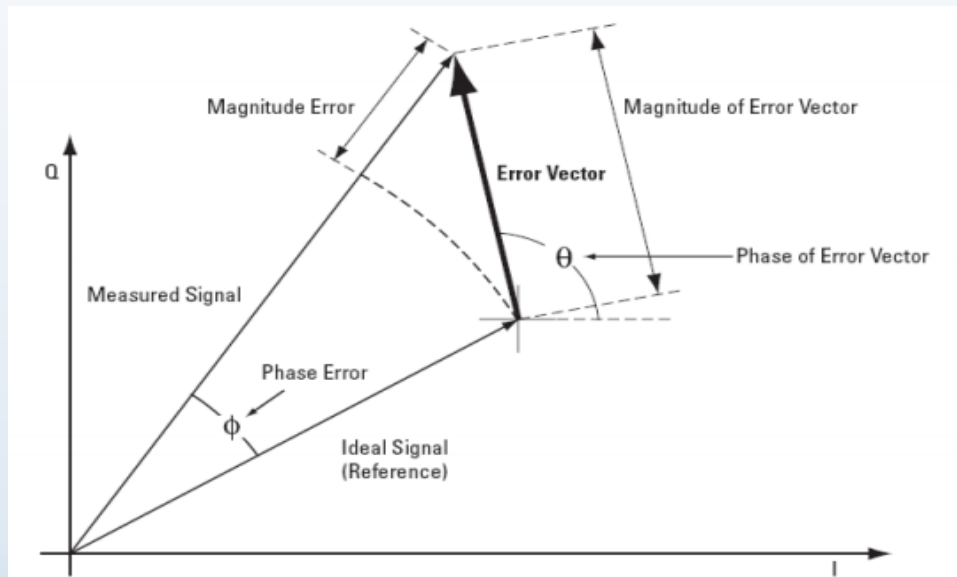
1<sup>ος</sup> πομπός

2<sup>ος</sup> πομπός



# Μετρήσεις Error vector magnitude (EVM)

- Ο όρος EVM (ERROR VECTOR MAGNITUDE) αποτελεί ένα μέγεθος με το οποίο αξιολογούμε την ποιότητα ψηφιακά διαμορφωμένων τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Όταν εκτελούμε μετρήσεις με τη μέθοδο EVM ο αναλυτής παίρνει δείγματα από την έξοδο του πομπού για να καταφέρει να πιάσει την τροχιά του πραγματικού σήματος. Το διάνυσμα σφάλματος είναι η διανυσματική διαφορά σε μία δεδομένη στιγμή μεταξύ του ιδανικού σήματος αναφοράς και του μετρημένου σήματος.



**Τα σφάλματα που μετριούνται και ποσοτικοποιούνται κατά τη μέτρηση EVM περιέχουν όλες τις πηγές σφαλμάτων που εισάγονται κατά τη διαδικασία της διαμόρφωσης και εκπομπής , περιλαμβάνοντας:**

- Τυχαίος θόρυβος (πλάτος και φάση) που εισαγάγεται από ενισχυτές, μίκτες και ταλαντωτές
- Σφάλματα μετατροπών στους αναλογικούς σε ψηφιακούς (D/A) μετατροπείς
- Παραμόρφωση σε όλη την αλυσίδα του RF
- Ατέλειες φίλτρων όπως κυμάτωση στην ζώνης διέλευσης
- Ψευδή σήματα μίκτη
- Σφάλματα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος
- Μετατοπίσεις και ανισορροπία στους τετραγωνικούς μίκτες



# Συχνότητα Φορέα

Preambles and Data		
Carrier Frequency	Tx1 EVM (dB)	Tx2 EVM (dB)
5 GHz	-61.396	-61.425
2.4 GHz	-61.396	-61.425

Data		
Carrier Frequency	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM (dB)
5 GHz	-61.381	-61.408
2.4 GHz	-61.381	-61.408

Pilot		
Carrier Frequency	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
5 Ghz	-61.596	-61.653
2.4 GHz	-61.596	-61.653

# Εύρος ζώνης

Preambles and Data		
Bandwidth	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
20 MHz	-61.396	-61.425
40 MHz	-61.769	-61.722

Data		
Bandwidth	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
20 MHz	-61.381	-61.408
40 MHz	-61.735	-61.690

Pilot		
Bandwidth	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
20 MHz	-61.596	-61.653
40 MHz	-62.439	-62.342

# Τρόπος λειτουργίας

Preambles and Data		
Operating Mode	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
MixMode	-61.396	-61.425
GreenField	-61.406	-61.430

Data		
Operating Mode	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
MixMode	-61.381	-61.408
GreenField	-61.392	-61.412

Pilot		
Operating Mode	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
MixMode	-61.596	-61.653
GreenField	-61.589	-61.682

Το **preamble** είναι το μέρος των δεδομένων στο header του πακέτου όπου χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό της επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο συστήματα.

Το **Data** είναι η πληροφορία που πρέπει να αποσταλεί.

Το **pilot** χρησιμοποιείται για την παροχή μετρήσεων στο κανάλι και προσαρμογή του σε τυχών αλλαγές κατεύθυνσης.

## Χρονικό διάστημα φύλαξης

Preambles and Data		
Guard Interval	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
400ns	-61.396	-61.425
800ns	-61.396	-61.425

Data		
Guard Interval	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
400ns	-61.381	-61.408
800ns	-61.381	-61.408

Pilot		
Guard Interval	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
400ns	-61.596	-61.653
800ns	-61.596	-61.653

## Υπερδειγματοληψία

Preambles and Data		
Oversampling	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
1x	-36.647	-35.596
2x	-61.396	-61.425
4x	-61.395	-61.425
8x	-61.395	-61.425
16x	-61.395	-61.425
32x	-61.395	-61.425

Data		
Oversampling	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
1x	-36.457	-35.416
2x	-61.381	-61.408
4x	-61.380	-61.408
8x	-61.381	-61.408
16x	-61.380	-61.408
32x	-61.380	-61.408

Pilot		
Oversampling	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
1x	-40.440	-39.058
2x	-61.596	-61.653
4x	-61.596	-61.653
8x	-61.596	-61.653
16x	-61.596	-61.653
32x	-61.596	-61.653

# Κέρδος

Preambles and Data		
Gain (dBi)	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
0	-62.831	-62.883
5	-53.389	-53.418
10	-43.355	-43.384
15	-33.242	-33.271
20	-22.903	-22.933
25	-14.254	-14.285
30	-10.036	-10.061
50	-9.258	-9.250

Data		
Gain (dBi)	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
0	-62.753	-62.805
5	-53.374	-53.401
10	-43.340	-43.367
15	-33.228	-33.255
20	-22.889	-22.918
25	-14.238	-14.269
30	-10.012	-10.037
50	-9.460	-9.447

Pilot		
Gain (dBi)	Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
0	-64.017	-64.050
5	-53.589	-53.646
10	-43.554	-43.611
15	-33.436	-33.493
20	-23.083	-23.141
25	-14.474	-14.511
30	-10.368	-10.388
50	-7.249	-7.275

## Διαμόρφωση και κωδικοποίηση

Preambles and Data			
Modulation and Coding Set		Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
BPSK	1/2	-61.396	-61.425
QPSK	1/2	-60.960	-61.079
QPSK	3/4	-60.900	-60.983
16QAM	1/2	-60.830	-60.882
16QAM	3/4	-61.083	-60.938
64QAM	1/2	-61.138	-60.848
64QAM	3/4	-60.862	-60.811
64QAM	5/6	-60.915	-60.784

Pilot			
Modulation and Coding Set		Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
BPSK	1/2	-61.596	-61.653
QPSK	1/2	-62.055	-62.186
QPSK	3/4	-62.106	-62.148
16QAM	1/2	-62.015	-62.048
16QAM	3/4	-62.310	-62.064
64QAM	1/2	-62.215	-62.135
64QAM	3/4	-62.122	-62.226
64QAM	5/6	-62.405	-62.032

Data			
Modulation and Coding Set		Tx1 EVM(dB)	Tx2 EVM(dB)
BPSK	1/2	-61.381	-61.408
QPSK	1/2	-60.887	-61.005
QPSK	3/4	-60.820	-60.905
16QAM	1/2	-60.751	-60.804
16QAM	3/4	-61.002	-60.863
64QAM	1/2	-61.066	-60.764
64QAM	3/4	-60.780	-60.720
64QAM	5/6	-60.820	-60.702

### Μέγιστο EVM για τις διαφορετικές διαμορφώσεις

Modulation	Coding Rate	802.11n EVM(dB)
BPSK	1/2	-5
QPSK	1/2	-10
QPSK	3/4	-13
16QAM	1/2	-16
16QAM	3/4	-19
64QAM	2/3	-22
64QAM	3/4	-25
64QAM	5/6	-28

# Συμπεράσματα εργασίας

## CCDF

- Η διακύμανση της ισχύος δεν έχει σημαντικές διαφορές από τις παραμετροποιήσεις των χαρακτηριστικών. Όλες είναι αρκετά κάτω από 1dB
- Οι αλλαγές ξεκινάνε από 5% του χρόνου και κάτω που αυτό σημαίνει ότι διαφοροποιούνται κυρίως οι κορυφές του σήματος
- Παρά την αύξηση των υποφορέων στο κανάλι των 40 MHz, ο λόγος μέσης τιμής ισχύος προς μέγιστη στιγμιαία τιμή ισχύος μειώνεται
- Το 802.11n μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιούμε διαφορετικές διαμορφώσεις ανά χωρική ροή κάτι το οποίο φαίνεται να είναι χρήσιμο αφού βλέπουμε διαφορετικά αποτελέσματα ανάμεσα στις προσομοιώσεις των πομπών

## EVM

- Στην πλειοψηφία των ρυθμίσεων το μέγεθος του διανύσματος σφάλματος είναι πολύ λιγότερο από 1% και ειδικά στα σύμβολα pilot
- Το διανυσματικό σφάλμα δεν εξαρτάται από την ποσότητα των συμβόλων και των bits