

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.

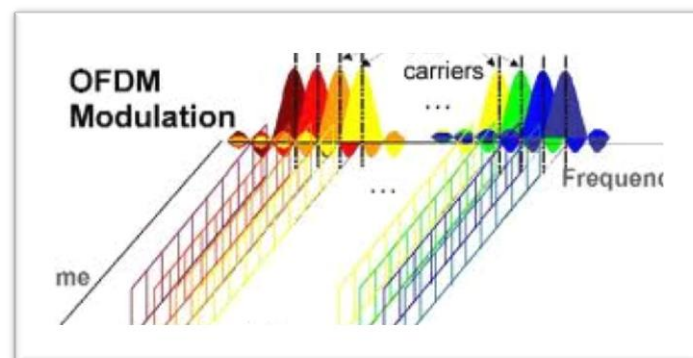
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

Εργαστηριακή Άσκηση 8

Ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας *OFDM*



Διδάσκων

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς

Επίκουρος Καθηγητής

Μάιος 2014

Πίνακας περιεχομένων

1. Σκοπός	2
2. Προσδοκώμενα αποτελέσματα	2
3. Τι θα χρειαστείτε	2
4. Έννοιες κλειδιά	2
5. Περιβάλλον Εργασίας AWR	2
6. Σύστημα Ορθογωνικής πολύπλεξης διαίρεσης χρόνου	4
6.1 Θεωρία	4
6.2 Πείραμα: Σύστημα ορθογωνικής πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας	4
7. Δραστηριότητες	10
8. Λίστα ελέγχου γνώσεων	13
9. Βιβλιογραφία-Οδηγός για περαιτέρω μελέτη	13
10. Χρήσιμοι σύνδεσμοι	13

Έκδοση: 1.0

Επιμέλεια φυλλαδίου: Καν Αρτουρ, Γεωργακοπουλος Ιωάννης, Βασίλης Τσακανίκας

1. Σκοπός

Το AWR Design Environment (AWRDE) είναι ένα προηγμένο περιβάλλον προσομοίωσης και μοντελοποίησης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη του σχήματος Ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας.

2. Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει την παρούσα εργαστηριακή άσκηση, θα μπορείτε να:

- Δημιουργείτε ένα νέο Project
- Πλοηγηθείτε στις εργαλειοθήκες και να χρησιμοποιείτε τα στοιχεία που διατίθενται
- Παραμετροποιείτε διάφορες μεταβλητές του περιβάλλοντος προσομοίωσης
- Προσομοιώνετε το σχήμα διαμόρφωσης Ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας.

3. Τι θα χρειαστείτε

Για την επιτυχή εκτέλεση της άσκησης θα χρειαστείτε τα παρακάτω:

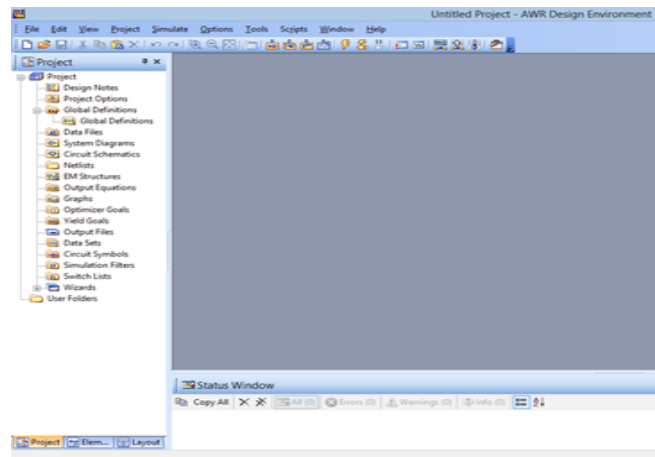
- Η/Υ με εγκατεστημένο το λογισμικό AWR 10.08

4. Έννοιες κλειδιά

- Σήμα
- Συχνότητα
- Κυματομορφή
- Διαμόρφωση Πλάτους
- Διαμόρφωση Φάσης
- Ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας

5. Περιβάλλον Εργασίας AWR

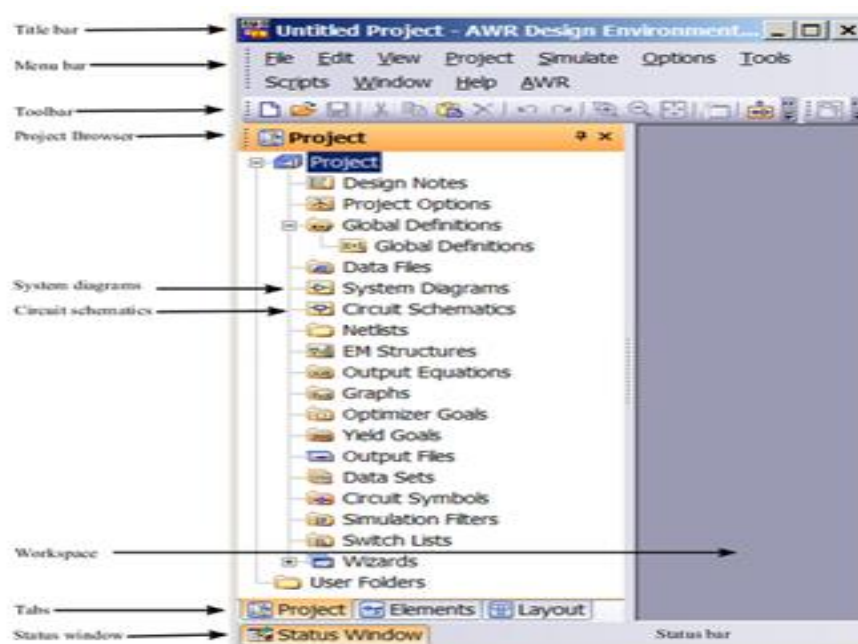
Στην **Εικόνα 1** φαίνεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού AWR. Ξεκινώντας το λογισμικό AWRDE φορτώνεται ένα προκαθορισμένο κένο Project (Untitled Project). Μόνο ένα project μπορεί να είναι ενεργό κάθε φορά.



Εικόνα 1 – Περιβάλλον εργασίας του AWR Design Environment

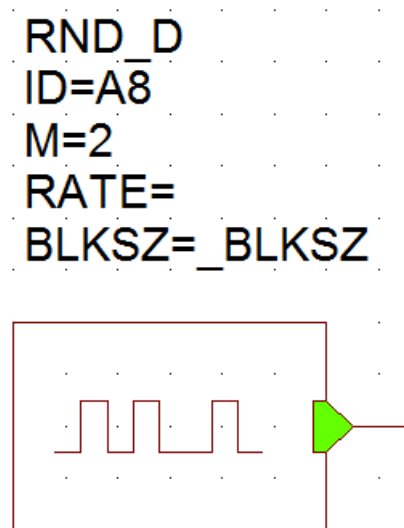
Το περιβάλλον του λογισμικού AWRDE αποτελείται από παράθυρα, διάφορα μενού και εργαλείοθήκες, τον πλοηγό Project και τις βιβλιοθήκες δομικών ηλεκτρονικών στοιχείων και κυκλωμάτων ώστε να καθιστά εύκολη και φιλική προς τον χρήστη την προσομοίωση και μοντελοποίηση επικοινωνιακών συστημάτων.

Στην **Εικόνα 2** βλέπουμε τα διάφορα συστατικά που δομούν το περιβάλλον εργασίας.



Εικόνα 2 – Συνθετικά μέρη του περιβάλλοντος εργασίας

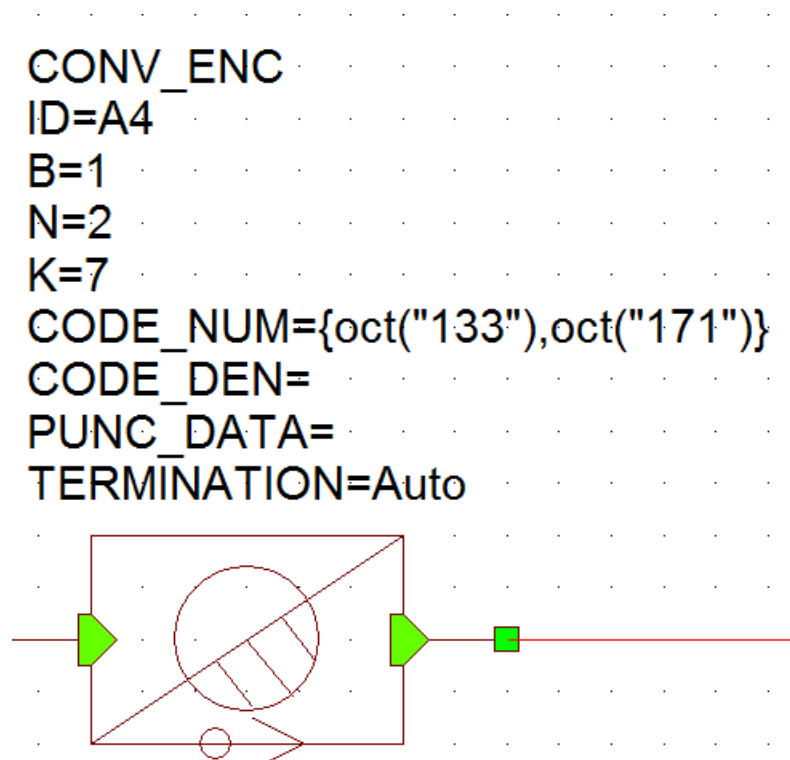
Για την εξοικείωση με το περιβάλλον εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα προσομοίωσης της Διαμόρφωσης Πλάτους και Φάσης (Quadrature amplitude modulation -QAM).



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System](#) [Blocks-Sources-Random-RND_D](#)

➤ Συνελικτικός Κωδικοποιητής

Είναι ένας δυαδικός συνελικτικός κωδικοποιητής με προαιρετική διάτρηση κώδικα. Αυτή η μονάδα υποστηρίζει επίσης αναδρομικούς συνελικτικούς κώδικες. (CONV_ENC)



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System](#) [Blocks-Coding/Mapping-Channel Encoding-CONV_ENC](#)

➤ **Μετρητής σημείου**

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

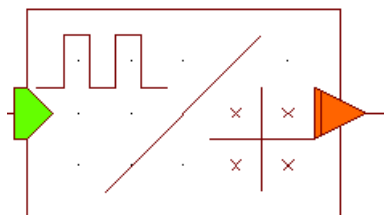


Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Meters-TP](#)

➤ **64QAM Mapper**

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

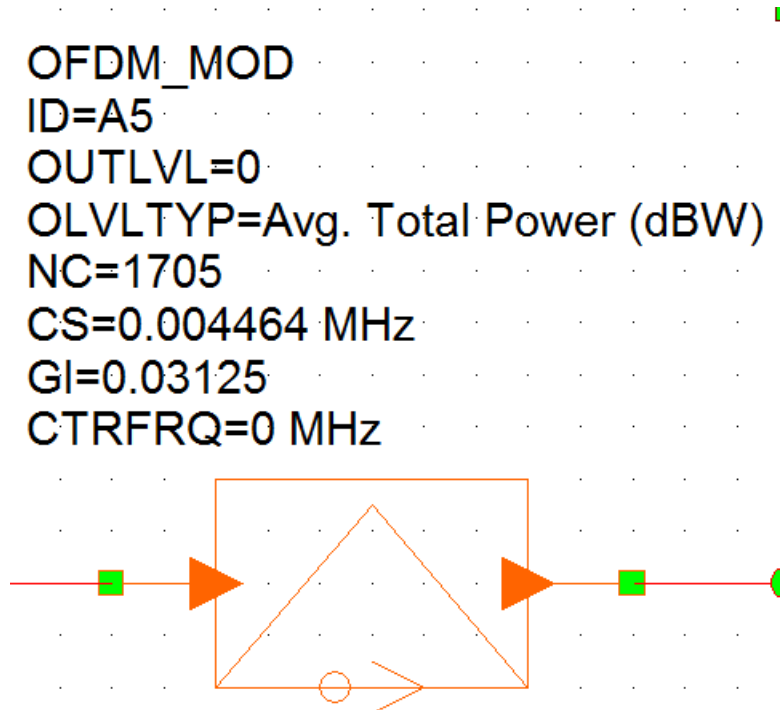
QAM_MAP
ID=A7
M=64
SIGCNS=
SCALE=



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Modulation-QAM-QAM_MAP](#)

➤ **Διαμορφωτής OFDM**

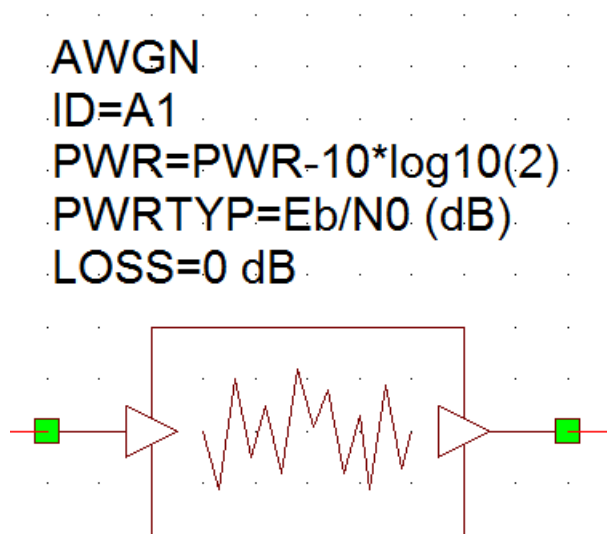
Προσομοιώνει μια ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) διαμορφωτή. Μεταμορφώνει μια ακολουθία μιγαδικών συμβόλων σε μια πολλαπλή OFDM συγκρότημα-φάκελο (CE) κυματομορφή. (OFDM_MOD)



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Modulation-OFDM-OFDM_MOD](#)

➤ Στοιχείο προσθήκης Αθροιστικού Λεύκου Γκαουσιανού Θορύβου

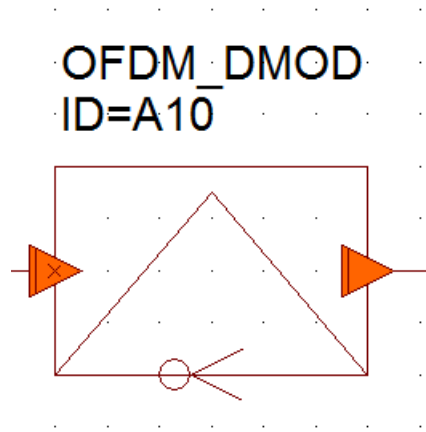
Με το στοιχείο AWGN προσθέτουμε στο σήμα Λευκό Προσθετικό Θόρυβο. Το μοντέλο αυτό προσθέτει πραγματικό ή μιγαδικό θόρυβο στο σήμα εισόδου. (AWGN)



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Channels-AWGN](#)

➤ **OFDM Αποδιαμορφωτής**

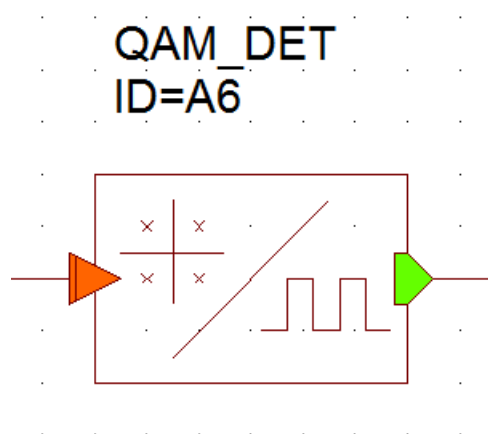
Προσομοιώνει έναν αποδιαμορφωτή OFDM. Λειτουργεί σε μια θορυβωδής συγκρότημα-φάκελο (CE) κυματομορφή δεδομένων δειγματοληψίας για την αποδιαμόρφωση πολυμεταφορικού σήματος. (OFDM_DMOD)



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System](#) [Blocks-Modulation-OFDM-OFDM_DMOD](#)

➤ **Ανιχνευτής QAM**

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

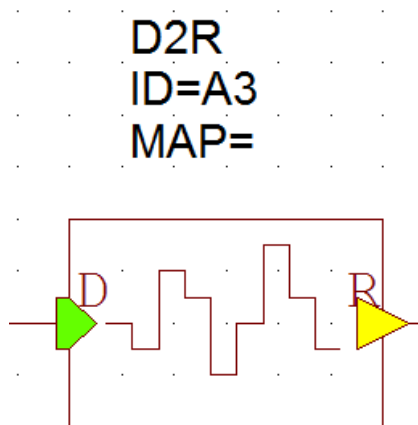


Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System](#) [Blocks-Modulation-QAM-QAM_DET](#)

➤ **Μετατροπέας ψηφιακού σε πραγματικό**

Μετατρέπει μια ψηφιακή είσοδο σε πραγματική έξοδο. Η ψηφιακή είσοδος μπορεί να είναι $\{0, 1, \dots, M-1\}$ όπου το M μέγεθος ψηφιακού αλφαβήτου. Αυτό

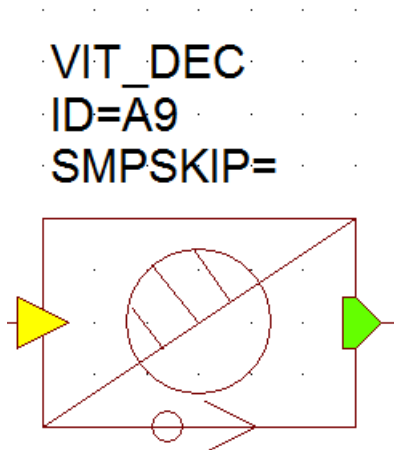
διαφέρει από ένα ψηφιακό σε αναλογικό μετατροπέα από το ότι το σήμα εξόδου δεν είναι μια αναλογική κυματομορφή δειγματοληψίας. (D2R)



Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Converters-Data Type-D2R](#)

➤ Viterbi Αποκωδικοποιητής

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

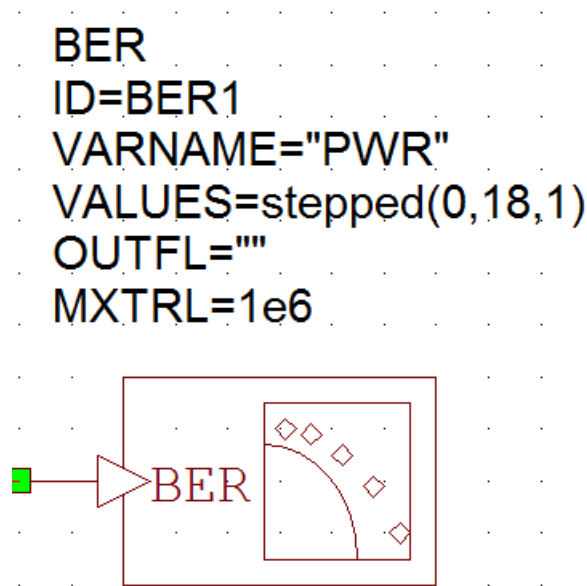


Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Coding/Mapping-Channel Encoding-VIT_DEC](#)

Μετρητής BER (BER meter)

Ο μετρητής BER υπολογίζει το the bit error rate (BER) ενός ψηφιακού σήματος . Το μπλοκ αυτό χρησιμοποιείται για την δημιουργία της γραφικής απεικόνισης του BER καθώς και για την παρουσίαση του σε μορφή παραθύρου τιμών. Ο μετρητής BER εντοπίζει αυτόματα την διαμόρφωση του σήματος αναφοράς αν πρόκειται για πηγές. Για οποιαδήποτε άλλη πηγή ο μετρητής επιχειρεί

την αναγνώριση της διαμόρφωσης . Τα πεδία VARNAME , VALUES και OUTFL παραμένουν κενά διότι η αναγνώριση γίνεται αυτομάτως. (BER)



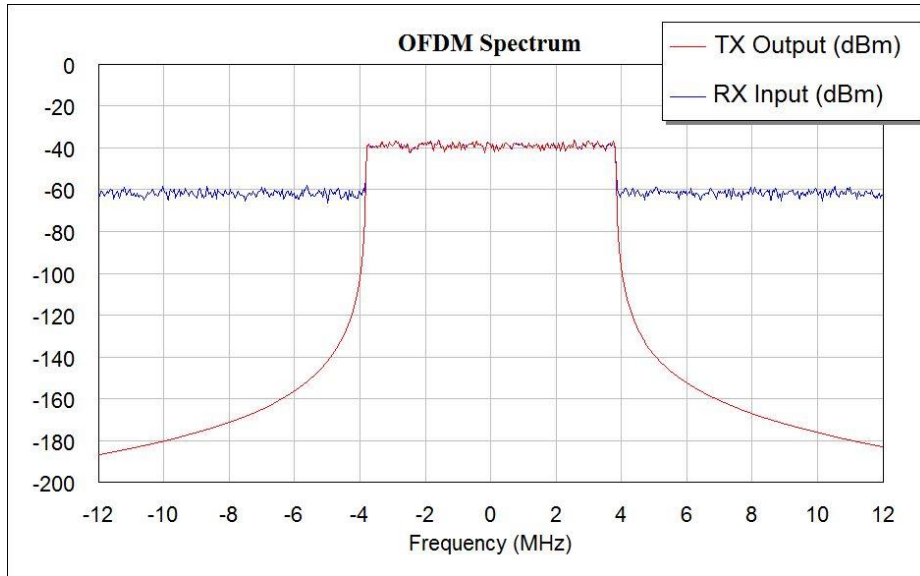
Διαδικασία επιλογής block: [Elements-System Blocks-Meters-BER](#)

7. Δραστηριότητες

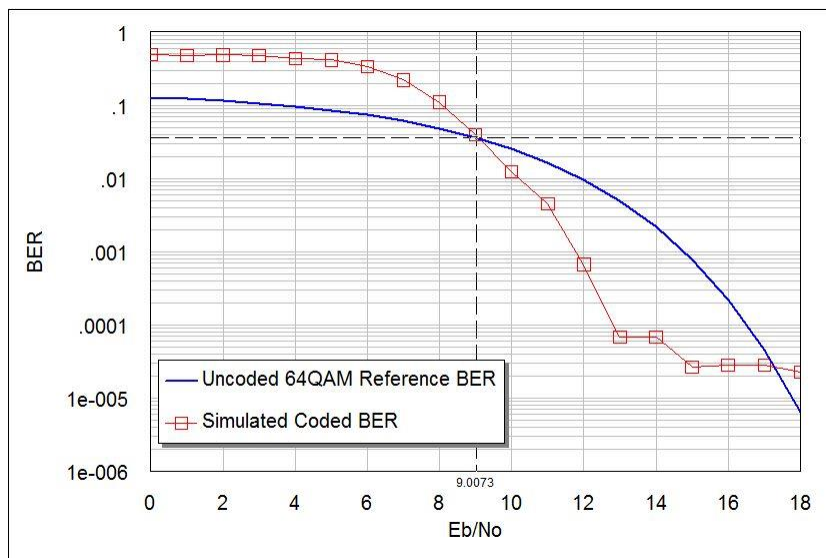
Με την υλοποίηση της προσομοίωσης παράξαμε τα διαγράμματα που παραθέτουμε εδώ. Το πρώτο διάγραμμα παρουσιάζει το φάσμα της OFDM διαμόρφωσης , τόσο στην πλευρά του πομπού όσο και στην πλευρά του δέκτη. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται η συχνότητα του σήματος και στον κάθετο άξονα το επίπεδο ισχύος σε dB.

Στο δεύτερο διάγραμμα παριστάνεται το BER του σήματος στο δέκτη μέσω της προσομοίωσης που δημιουργήσαμε. Το διάγραμμα περιλαμβάνει δύο καμπύλες : Η πρώτη καμπύλη (μπλε τμήμα) αφορά το θεωρητικά αναμενόμενο BER για την 64QAM διαμόρφωση χωρίς κωδικοποίηση. Η δεύτερη καμπύλη (κόκκινο τμήμα) παριστάνει το BER που προέκυψε από την προσομοίωση του συστήματος με τη χρήση κωδικοποιητή.

Παρατηρούμε ότι για επίπεδο σηματοθορυβικού λόγου (E_b/N_0) μικρότερου των 9dB το κωδικοποιημένο σήμα παρουσιάζει χειρότερη επίδοση (μεγαλύτερο BER) από την 64QAM χωρίς κωδικοποίηση. Από τα 9dB όμως και καθώς αυξάνεται ο λόγος σήματος προς θόρυβο, η επιδραση της συνελκτικής κωδικοποίησης παράγει μικρότερο BER και άρα καλύτερης ποιότητας μετάδοση.



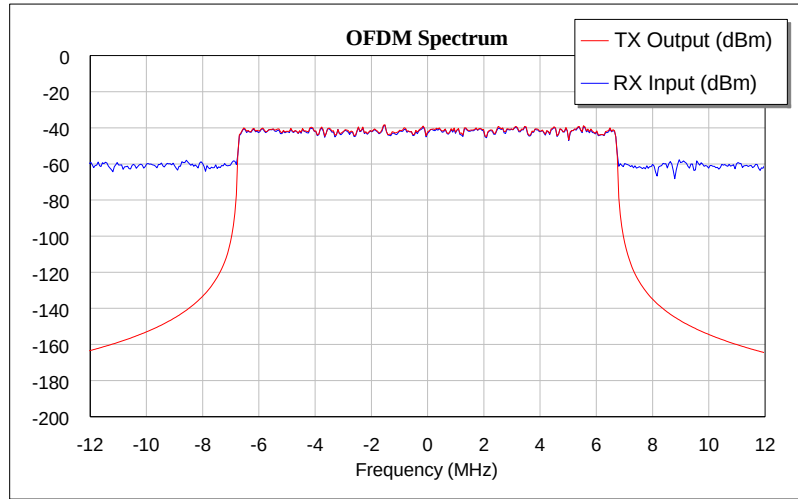
Διάγραμμα 1. OFDM Spectrum graph



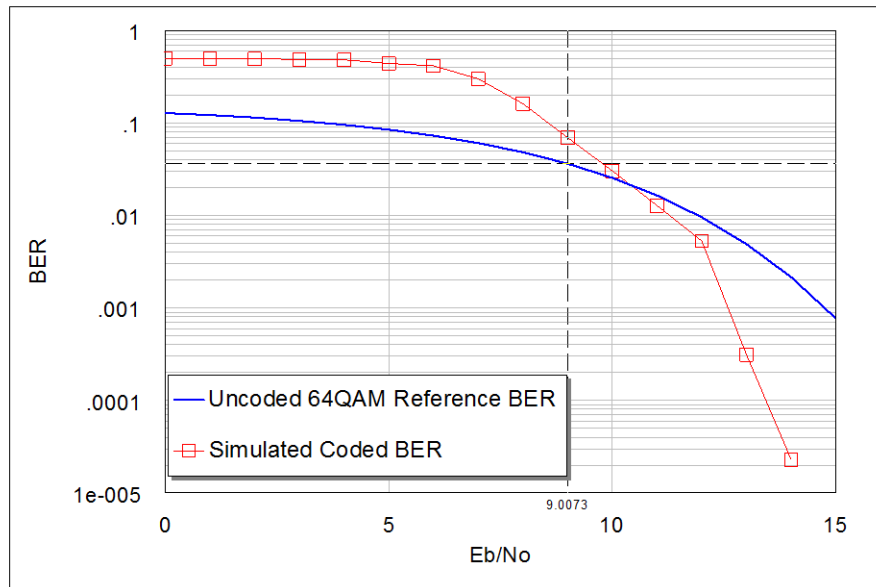
Διάγραμμα 2. BER graph

Σημειώνουμε ότι για την παραγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι στον OFDM διαμορφωτή, τιμές που καθορίζονται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο DVB Standard ETSI-30044. Το πρότυπο αυτό προβλέπει συγκεκριμένο πλήθος υπομεταφορέων $N_C=1705$, φασματική απόσταση μεταξύ των υπομεταφορέων $CS=$ MHz , και μέσο τιμή επιπέδου λευκού προσθετικού θορύβου (AWGN) καναλιού $LOSS=0$ dB.

Επαναλαμβάνουμε την προσομοίωση αυξάνοντας το πλήθος των υπομεταφορέων σε $N_C=3000$ και τη μέση τιμή του θορύβου σε $LOSS=0.5$ dB. Τα διαγράμματα του φάσματος και του BER παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν :



Διάγραμμα 3. OFDM Spectrum για αυξημένο πλήθος υπομεταφορέων



Διάγραμμα 4. BER graph με αυξημένο επίπεδο θορύβου

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 3 διαπιστώνουμε ότι η αύξηση του πλήθους των υποφορέων του OFDM άφησε το φάσμα του σήματος χωρίς να επηρεάσει εν τούτοις την ισχύ η οποία διατηρήθηκε στο ίδιο επίπεδο με αυτή της αρχικής προσομοίωσης

Όσον αφορά το BER η αύξηση της μέσης τιμής του επιπέδου θορύβου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου του σηματοθορυβικού λόγου για τον οποίο εξισώνεται το BER με τη χρήση κωδικοποιητή της 64-QAM και της διαμόρφωσης χωρίς κωδικοποιητή. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση του κωδικοποιητή γίνεται αποδοτικότερη για επίπεδο σηματοθορυβικού λόγου (E_b/N_0) , στην τιμή των 11dB,

αυξημένη κατά 2 περίπου db σε σχέση με τη περίπτωση της προσομοίωσης με χαμηλότερο επίπεδο θορύβου.

8. Λίστα ελέγχου γνώσεων

Αφού ολοκληρώσατε την εκτέλεση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης, επιστρέψτε στα αρχικά προσδοκώμενα αποτελέσματα και ελέγξτε κατά πόσο:

- Έχετε εξοικειωθεί με το περιβάλλον του λογισμικού AWR.
- Μπορείτε να αξιοποιήσετε τις επιμέρους εργαλειοθήκες και βιβλιοθήκες δομικών ηλεκτρονικών στοιχείων του AWR.
- Είστε σε θέση να υλοποιείτε συγκεκριμένες συνδεσμολογίες βάσει καθορισμένων προδιαγραφών και παραμέτρων.
- Μπορείτε να δημιουργήσετε κατάλληλα γραφήματα με βάση τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης.

9. Βιβλιογραφία-Οδηγός για περαιτέρω μελέτη

[1] Bingham, J.A.C., *Multicarrier Modulation for Data Transmission: An idea whose time has come*, IEEE Communications Magazine, Vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.

[2] J.M. Cioffi, *A Multicarrier Primer*, in ANSI T1E1.4 Committee Contribution, No. 91-157, Boca Raton, FL, Nov. 1991.

[3] Weinstein, S.B., Ebert, P.M., *Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform*, IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, no. 5, pp. 628-634, October 1971.

[4] J. Stott, *The Effects of Phase Noise in COFDM*, EBU Technical Review, Summer1998

[5] P. Shelswell *The COFDM Modulation System, The Heart of Digital Audio Broadcasting*, BBC Research and Development Report, BBC RD 1996/8

10. Χρήσιμοι σύνδεσμοι

1. https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Getting_Started/
2. <http://www.awrcorp.com/awrtv-player>