**Εργαστήριο Ασυρμάτων Επικοινωνιών**

**Άσκηση 8: Μελέτη ψηφιακής διαμόρφωσης MQAM**

**Ονοματεπώνυμο:** ………………………………………………….

**ΑΜ (ΚΑΣ):**……………………………………………………………….

**Φύλλο εργασίας – Μέρος Α**

**To Μέρος Α πρέπει να έχει γίνει πριν από το εργαστηριακό δίωρο.**

1. Εκτελέστε την εφαρμογή **Exercise8** επιλέγοντας τις παρακάτω παραμέτρους:

**Μ = 16**

**Ρυθμός συμβόλων = Α**

**Τετραγωνικός παλμός**

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 10**

**Σηματοθορυβική σχέση = 100 dB**

Υπολογίστε το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων και το ρυθμό των bits πληροφορίας. Καταγράψτε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 1.

1. Επαναλάβετε το βήμα 1 θέτοντας:

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 10000**

Αντιγράψτε το **Figure 1** στο τέλος του φύλλου εργασίας. Καταγράψτε το null-to-null εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης και του διαμορφωμένου σήματος. Υπολογίστε το εύρος ζώνης θεωρητικά. Ενημερώστε τον Πίνακα 1.

1. Επαναλάβετε τα βήματα 1 και 2 για: **Ρυθμός συμβόλων = Β**

Πώς μεταβάλλεται το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος συναρτήσει της μεταβολής του ρυθμού συμβόλων;

1. Θέστε για τη δημουργία διαμόρφωσης 16QAM με παλμούς ανυψωμένου συνημιτόνου τις παρακάτω παραμέτρους:

**Μ = 16**

**Ρυθμός συμβόλων = Α**

**Παλμός ανυψωμένου συνημιτόνου**

**Παράγοντας διαπλάτυνσης β = 1**

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 10000**

**Σηματοθορυβική σχέση = 100 dB**

Αντιγράψτε το **Figure 1** στο τέλος του φύλλου εργασίας. Καταγράψτε το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης και του διαμορφωμένου σήματος[[1]](#footnote-2). Υπολογίστε το εύρος ζώνης θεωρητικά. Υπολογίστε τη φασματική απόδοση. Ενημερώστε τον Πίνακα 1.

1. Εκτελέστε την εφαρμογή με τις παρακάτω παραμέτρους

**Μ = 4**

**Ρυθμός συμβόλων = Α**

**Παλμός ανυψωμένου συνημιτόνου**

**Παράγοντας διαπλάτυνσης = 1**

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 20000[[2]](#footnote-3)**

**Σηματοθορυβική σχέση = 5 dB**

Καταγράψτε το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος, το ρυθμό πληροφορίας bits, τον αριθμό εσφαλμένων bits, τον αριθμό συμβόλων προσομοίωσης και τον αριθμό των bits προσομοίωσης στον Πίνακα 2. Υπολογίστε την πιθανότητα σφάλματος bit από την προσομοίωση και με τον ακριβή θεωρητικό τύπο (για Gray κωδικοποίηση) και καταγράψτε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 2.

1. Επαναλάβετε το βήμα 5 θέτοντας **M = 16**. Ενημερώστε τον Πίνακα 2.

**Φύλλο εργασίας – Μέρος Β**

**Το Μέρος Β θα γίνει κατά τη διάρκεια του εργαστηριακού δίωρου, ωστόσο θα ήταν χρήσιμη κάποια προετοιμασία για τους υπολογισμούς της πιθανότητας σφάλματος.**

1. Εκτελέστε την εφαρμογή **Exercise8.** Θέστε για τη δημουργία διαμόρφωσης 16QAM με παλμούς ανυψωμένου συνημιτόνου τις παρακάτω παραμέτρους:

**Μ = 16**

**Ρυθμός συμβόλων = Α**

**Παλμός ανυψωμένου συνημιτόνου**

**Παράγοντας διαπλάτυνσης β:** θα σας δοθεί **από το διδάσκοντα**

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 10000**

**Σηματοθορυβική σχέση = 100 dB**

Καταγράψτε το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης και του διαμορφωμένου σήματος[[3]](#footnote-4). Υπολογίστε το εύρος ζώνης θεωρητικά. Υπολογίστε τη φασματική απόδοση. Ενημερώστε τον Πίνακα 1.

1. Επαναλάβετε το βήμα 7 για: **Ρυθμός συμβόλων = Β**

Ποια η επίδραση του συντελεστή διαπλάτυνσης $β$ στο εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος;

1. Εκτελέστε την εφαρμογή με τις παρακάτω παραμέτρους

**Μ = 4**

**Ρυθμός συμβόλων = Α**

**Παλμός ανυψωμένου συνημιτόνου**

**Παράγοντας διαπλάτυνσης = 1**

**Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης = 20000[[4]](#footnote-5)**

**Σηματοθορυβική σχέση:** θα σας δοθεί **από το διδάσκοντα**

Καταγράψτε το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος, το ρυθμό πληροφορίας bits, τον αριθμό εσφαλμένων bits, τον αριθμό συμβόλων προσομοίωσης και τον αριθμό των bits προσομοίωσης στον Πίνακα 2. Υπολογίστε την πιθανότητα σφάλματος bit από την προσομοίωση και με τον ακριβή θεωρητικό τύπο (για Gray κωδικοποίηση) και καταγράψτε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 2.

1. Επαναλάβετε το βήμα 9 για:

**Μ = 16**

Συγκρίνετε τις πιθανότητες σφάλματος των 4QAM και 16QAM. Τι παρατηρείτε;

**Πίνακας 1**

|  |  |
| --- | --- |
| Διαμόρφωση | **16QAM** |
| Περίπτωση ρυθμού συμβόλων | **Α** | **Β** |
| Ρυθμός συμβόλων $r\_{s}$ (baud) | 1000 | 2000 |
| Ρυθμός bits $r\_{b}$ (bits/s) | 4000 | 8000 |
| **Τετραγωνικός παλμός**  | **Π** | **Θ** | **Π** | **Θ** |
| Null-to-null BW στη βασική ζώνη (Hz)  | 1000 | 1000 | 2000 | 2000 |
| Null-to-null BW διαμορφωμένου σήματος (Hz) | 2000 | 2000 | 4000 | 4000 |
| **Παλμός ανυψωμένου συνημιτόνου** | **Π** | **Θ** | **Π** | **Θ** |
| BW στη βασική ζώνη (Hz) με $β=1$ | 1000 | 1000 | 2000 | 2000 |
| BW διαμορ. σήματος (Ηz) με $β=1$ | 2000 | 2000 | 4000 | 4000 |
| Φασματική απόδοση (bits/s/Hz) με $β=1$ | 2 | 2 | 2 | 2 |
| BW στη βασική ζώνη (Hz) με $β=…$ |  |  |  |  |
| BW διαμορ. σήματος (Ηz) με $β=…$ |  |  |  |  |
| Φασματική απόδοση (bits/s/Hz) με $β=…$ |  |  |  |  |

**Πίνακας 2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Σηματοθορυβική σχέση (dB)** | **5** | **…….**  |
| **Σύνολο συμβόλων** | **Μ = 4** | **Μ = 16** | **Μ = 4** | **Μ = 16** |
| Εύρος ζώνης διαμορφωμένου σήματος (Hz) | 2000 | 2000 |  |  |
| Ρυθμός συμβόλων (baud) | 1000 | 1000 |  |  |
| Ρυθμός πληροφορίας bits (bits/s) | 2000 | 4000 |  |  |
| Αριθμός εσφαλμένων bits | 110 | 1628 |  |  |
| Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης | 20000 | 20000 |  |  |
| Αριθμός bits προσομοίωσης | 40000 | 80000 |  |  |
| Πιθανότητα σφάλματος bit προσομοίωσης | 0,00275 | 0,02035 |  |  |
| Θεωρητική πιθανότητα σφάλματος bit | 0,0104 | 0,0056475 |  |  |

**Μέρος Α**

***Υπολογισμοί βήματος 1***

Ts=1ms

rs=1/ts=rs=1kBaud=1000Baud

*rb=rs\*log2(M)=1000\*log2(16)=1000\*4=4000bps*

***Υπολογισμοί βήματος 2***

Bw(ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ)=1KHz Bw(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ)= 2ΚΗz

rs=1000Hz Bwβ=rs=1000Hz Bwδ=2\*rs=2000Hz

***(Θέση για διαγράμματα βήματος 2)***

**

***Σχόλια βήματος 3***

Ts=0.5ms rs=1/Ts=1/0,5ms=2KBaud=2000Baud

*rb=rs\*log2M=2000\*4=8000bps*

Bw(ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ)=2KHz Bw(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ)= 4ΚΗz

*rs=2000Hz Bw(B)=rs=2000Hz Bw(Δ)=2\*rs=4000Hz*

***(Θέση για διαγράμματα βήματος 3)***

**

***Υπολογισμοί βήματος 4***

β=1 rs=1000baud

Bw(ΒΑΣΙΚΗΣ)=rs\*(1+β)/2=1000\*(1+1)/2=1000Hz

Bw*(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ)*=rs\*(1+β)=1000\*2=2000Hz

rb=rs\*log(2)M=1000\*4=4000bps

η=rb/Bw*(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ)*=4000bps/2000Hz=2 b/s/Hz

rs=2000baud

Bw(ΒΑΣΙΚΗΣ)=rs\*(1+β)/2=2000\*(1+1)/2=2000Hz

Bw*(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ)* = rs\*(1+β)=2000\*2=4000Hz

rb=rs\*log(2)M=2000\*4=4000bps

*η=rb/Bw(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ)=8000bps/4000Hz=2 b/s/Hz*

***(Θέση για διαγράμματα βήματος 4)***

**

***Υπολογισμοί βήματος 5***

*BW (Δ)=2000*

BW(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ)=rs\*(1+β)

rs=BW(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ)/1+β=2000Hz/2=1000Baud

rb= rs\*log2M=1000\*log2(4)=1000\*2=2000bps

M=4=2^2

Αριθμός bits προσομοίωσης= 20000(Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης)\*2=40000

Τα εσφαλμένα bit=110

Pb(προσομοίωσης)=110/40000=0,00275 ή 2,75\*10-3

Θεωριτική πιθανότητα σφάλαματος:

γb=Eb/No=5dB=10^(5/10)=3,16

γs=log2M\*γb=log24\*3,16=2\* 3,16=6,32

Ps =1-[1-(2(sqrtM-1)/sqrtM)Q(sqrt3/M-1\*γs)]^2=

1-[1-(2(sqrt4-1)/sqrt4)Q(sqrt3/4-1\*6,32)]^2

=1-[1-1,732\*6,0366\*10^-03 ]^2=24,367\*10^-3=0,02080

Pb=Ps/ log2M=0,01203/ log24=0,02080/2=0,0104

***Υπολογισμοί βήματος 6***

*BW figure 1 9k-7k=2k*

BW(ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ)=rs\*(1+β)

rs=BWδ/1+β=2000Hz/2=1000Baud

rb= rs\*log2M=1000\*log216=1000\*4=4000bps

M=16=2^4

Αριθμός bits προσομοίωσης= 20000\*(Αριθμός συμβόλων προσομοίωσης)=

=20000\*4=80000

Τα εσφαλμένα bit=1628

Pb(προσομοίωσης)=1628/80000=0,02035

Θεωριτική πιθανότητα σφάλαματος:

γb=Eb/No=5dB=10^(5/10)=3,16

γs=log2M\*γb=log216\*3,16=4\* 3,16=12,64

Ps =1-[1-(2(sqrtM-1)/sqrtM)Q(sqrt3/M-1\*γs)]^2=

=1-[1-(2(sqrt16-1)/sqrt16)Q(sqrt3/15\*γs)]^2=

=1-[1-(1,9365)Q(2,528) ]^2=

=1-[1-(1,9365)\*5,867 10^-3]^2= 0,02259

*Pb=Ps/ log2M=0,10463/ log216=0,02259/4=0,0056475*

**Μέρος Β**

*Υπολογισμοί βήματος 7*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*Σχόλια βήματος 8*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*Υπολογισμοί βήματος 9*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*Σχόλια βήματος 10*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

*………………………………………………………………………………………………………………………………………….*

1. Για την εκτίμηση του εύρους ζώνης από τα διαγράμματα λάβετε τις τιμές στα 30 περίπου dB κάτω από τη μέση τιμή της φασματικής πυκνότητας ισχύος στο DC για σήματα βασικής ζώνης και στη συχνότητα του φέροντος για διαμορφωμένα σήματα. [↑](#footnote-ref-2)
2. Μπορείτε για καλύτερα αποτελέσματα να χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερο αριθμό συμβόλων για την προσομοίωση. Ωστόσο υπάρχει ενδεχόμενο η εφαρμογή να «κολλήσει» αν δεν έχει επαρκή μνήμη ο υπολογιστής σας. [↑](#footnote-ref-3)
3. Για την εκτίμηση του εύρους ζώνης από τα διαγράμματα λάβετε τις τιμές στα 30 περίπου dB κάτω από τη μέση τιμή της φασματικής πυκνότητας ισχύος στο DC για σήματα βασικής ζώνης και στη συχνότητα του φέροντος για διαμορφωμένα σήματα. [↑](#footnote-ref-4)
4. Μπορείτε για καλύτερα αποτελέσματα να χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερο αριθμό συμβόλων για την προσομοίωση. Ωστόσο υπάρχει ενδεχόμενο η εφαρμογή να «κολλήσει» αν δεν έχει επαρκή μνήμη ο υπολογιστής σας. [↑](#footnote-ref-5)