

Εργαστηριακή Άσκηση 5

QAM-PSK

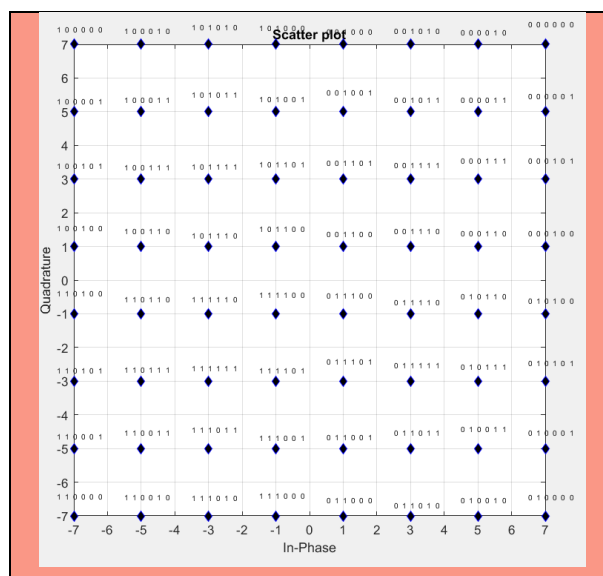
1. Να σχεδιάσετε σηματικό αστερισμό 64-QAM πλήρους ορθογωνικού πλέγματος, με σημειωμένες τις δυαδικές λέξεις δίπλα σε κάθε σημείο του (όπως στο σχήμα 5.4(β) των σημειώσεων) με κωδικοποίηση Gray.

Υπόδειξη: Χρησιμοποιήστε το τμήμα εντολών 26-34 από τον Κώδικα 5.2 (επαναλαμβάνεται παρακάτω, για διευκόλυνση) για την παραγωγή ενός διανύσματος mapping το οποίο περιέχει όλα τα σημεία του σηματικού αστερισμού κατά σειρά αύξουσας κωδικολέξης: mapping(1) -> 00..00, mapping(2) -> 00..01, ... Με την εντολή scatterplot() σχεδιάστε τα σημεία του σηματικού αστερισμού και με κατάλληλες εντολές προσθήκης κειμένου γράψτε κοντά σε κάθε σημείο την αντίστοιχη κωδικολέξη (π.χ. η εντολή `text(3,3,num2str(de2bi(4,3,'left-msb')),'FontSize',6);` γράφει την κωδικολέξη "1 0 0" στο σημείο (3,3) του σχήματος με μέγεθος γραμματοσειράς 6).

```
% Διάνυσμα mapping για την κωδικοποίηση Gray M-QAM
% Αφορά σε πλήρες ορθογωνικό πλέγμα σημείων, διάστασης M=L^2
% l=log2(L): αριθμός bit ανά συνιστώσα (inphase, quadrature)
core=[1+i;1-i;-1+i;-1-i]; % τετριμμένη κωδικοποίηση, M=4
mapping=core;
if(l>1)
    for j=1:l-1
        mapping=mapping+j*2*core(1);
        mapping=[mapping;conj(mapping)];
        mapping=[mapping;-conj(mapping)];
    end
end;
```

Απάντηση

```
>> mapping=qam_scatterplot_gray(8);
```



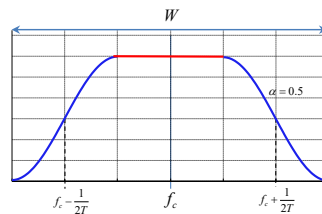
2. Έχουμε στη διάθεσή μας το ζωνοπερατό δίαυλο 8.75-11.25 MHz και θέλουμε να εκπέμπουμε με ρυθμό 12 Mbps. Να επιλεγεί σύστημα **M-QAM πλήρους ορθογωνικού πλέγματος** και σηματοδοσίας Nyquist, κατάλληλο για το σκοπό αυτό. Επιλέξτε το μικρότερο δυνατό M και κατάλληλη τιμή roll-off ώστε να εκμεταλλευτείτε όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Εξομοιώστε πομπό και δέκτη και σχεδιάστε θεωρητικά και πειραματικά την καμπύλη $P_b \leftrightarrow E_b/N_o$. Η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι επαρκώς υψηλή, ώστε τα σήματα όλων των βαθμίδων διαμόρφωσης-αποδιαμόρφωσης να μπορούν να παρασταθούν χωρίς σφάλμα αναδίπλωσης (aliasing).

Σύνδεση με τη θεωρία: Ο ρυθμός μετάδοσης, R (bits/s), συνδέεται με το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων, $1/T$ (baud rate), και το μέγεθος του σηματικού αστερισμού, M , με τη σχέση $\frac{R}{\log_2 M} = \frac{1}{T}$. Εξ άλλου, το απαιτούμενο εύρος ζώνης για ζωνοπερατή μετάδοση με

σηματοδοσία Nyquist, ισούται με $W = \frac{1}{T}(1+\alpha)$, όπου α ο συντελεστής εξάπλωσης (roll-off

factor) του φίλτρου Nyquist. Από το συνδυασμό των παραπάνω σχέσεων, το μέγεθος του σηματικού αστερισμού θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση: $\log_2 M \geq \frac{R}{W}(1+\alpha)$, $0 < \alpha \leq 1$ (βλ.

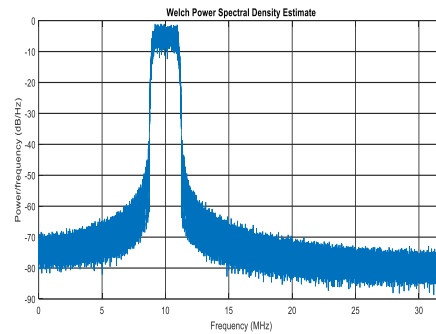
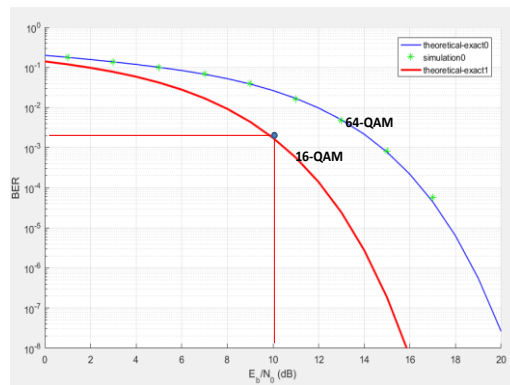
σχήμα)



Απάντηση

Εύρος ζώνης: $W = 11.25 - 8.75 = 2.5 \text{ MHz}$, Ρυθμός μετάδοσης: $R = 12 \text{ Mbps}$. Συνεπώς, $\log_2 M \geq 4.8(1+\alpha)$, $0 < \alpha \leq 1$. Το μικρότερο M (άρτια δύναμη του 2) που ικανοποιεί το παραπάνω είναι το 64. Για αυτήν την τιμή του M , επιλέγουμε το μεγαλύτερο α : $\alpha = (\log_2 M)/(R/W) - 1 = 0.25$ ώστε να εκμεταλλευτούμε όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Οπότε, $1/T = 2 \text{ MHz}$ (το baud rate).

Η συνάρτηση `gam_nyq_band_errors.m` εξομοιώνει το σύστημα QAM και υπολογίζει τα λάθη. Με το BERTOOL, καλείται από τη συνάρτηση `gam_nyq_band_ber_func.m`. Με $f_c = 10 \text{ MHz}$ (ή 5, σε μονάδες $1/T$), η υπερδειγματοληψία με `nsamp=32` δείγματα ανά T ($F_s = 32/T = 64 \text{ MHz}$), είναι επαρκής για αποφυγή aliasing στο ζωνοπερατό σήμα. Το παρακάτω αριστερά σχήμα δείχνει τη θεωρητική καμπύλη $P_b \leftrightarrow E_b/N_o$, καθώς και τα σημεία από την εξομοίωση, για τις παραπάνω τιμές παραμέτρων. Το δεξιά δείχνει το φάσμα του ζωνοπερατού σήματος.



3. Αν ο μέγιστος ανηγμένος σηματοθορυβικός λόγος, E_b/N_o , που μπορείτε να πετύχετε στο δέκτη είναι 10 db και ο κωδικοποιητής διαύλου που έχετε στη διάθεσή σας απαιτεί η πιθανότητα εσφαλμένου bit να μην υπερβαίνει την τιμή 0.002, αναδιπλωθείτε σε σύστημα QAM μικρότερης τάξης, χωρίς να αλλάξετε τις άλλες παραμέτρους σηματοδοσίας. Ποιός είναι τώρα ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης; Σχεδιάστε και πάλι την πυκνότητα φάσματος ισχύος των σημάτων σας και δείτε αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις.

Απάντηση

Στο προηγούμενο σχήμα έχει υπερτεθεί το σημείο $(P_b, E_b/N_o) = (2 \times 10^{-3}, 10 \text{ dB})$. Σχεδιάζοντας την θεωρητική καμπύλη για τιμή $M' = 16$ (την αμέσως μικρότερη της 64, για πλήρες ορθογωνικό πλέγμα QAM) βλέπουμε ότι ικανοποιεί οριακά την απαίτηση.

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης είναι τώρα $R' = \frac{1}{T} \log 2M' = R \frac{\log 2M'}{\log 2M} = 12 \frac{4}{6} = 8 \text{ Mbps}$.

Επειδή οι παράμετροι που επηρεάζουν τα φασματικά χαρακτηριστικά (T , α , W) μένουν ίδιες, δεν περιμένουμε αλλαγή του σχετικού διαγράμματος (επαληθεύεται).

4. Πόσο μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης στο ερώτημα 3, αν μπορεί να μειωθεί στο μισό του το roll-off του φίλτρου Nyquist;

Απάντηση

Με $(\alpha'' =) \text{rolloff} = 0.125$ έχουμε:

$$R'' = \frac{1}{T''} \log 2M' = \frac{W}{1 + \alpha''} \log 2M' = \frac{2.5}{1.125} 4 = 8.89 \text{ Mbps}$$

5. **(Προαιρετικό)** Να εξομοιωθεί σύστημα PSK, ίδιας τάξης διαμόρφωσης και με ίδιο roll-off factor σημάτων Nyquist, όπως το QAM του ερωτήματος 3. Να συγκριθεί με το τελευταίο (α) ως προς το BER, (β) ως προς το εύρος ζώνης, αφού σχεδιαστεί η καμπύλη BER-EbNo και το φάσμα του παραγόμενου σήματος. Να χρησιμοποιηθεί και εδώ κωδικοποίηση Gray, υλοποιώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στο Πλαίσιο 5.10 του τεύχους Σημειώσεων, με τη βοήθεια του κώδικα: