



## ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### Ασκήσεις για το ασύρματο περιβάλλον στις κινητές επικοινωνίες

- 2.1 Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούν αμφιδρόμηση συχνότητας, η ζώνη με τις χαμηλότερες συχνότητες χρησιμοποιείται για τις ζεύξεις ανόδου. Γιατί;

[Απάντηση: Μικρότερες απώλειες διαδρομής, γεγονός που είναι ευνοϊκό για τα κινητά τερματικά που έχουν περιορισμένη ισχύ μπαταρίας]

- 2.2 Το σύστημα GSM χρησιμοποιεί 124 ραδιοδιαύλους με αριθμούς 1-124 και με τις εξής συχνότητες:

- Συχνότητα στη Ζεύξη ανόδου:  $890 + \text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} \cdot 0.2 \text{ MHz}$
- Συχνότητα στη Ζεύξη καθόδου:  $925 + \text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Θεωρώντας απόσταση αναφοράς για διάδοση ελευθέρου χώρου  $d_0$ , βρείτε την διαφορά απωλειών διαδρομής μεταξύ των ζεύξεων ανόδου και καθόδου του ραδιοδιαύλου 30 σε απόσταση  $d$ .

[Απάντηση: 0.35 dB]

- 2.3 Το σύστημα DCS χρησιμοποιεί 375 ραδιοδιαύλους με αριθμούς 512-886 και με τις εξής συχνότητες:

- Συχνότητα στη Ζεύξη ανόδου:  $1710 + (\text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} - 511) \cdot 0.2 \text{ MHz}$
- Συχνότητα στη Ζεύξη καθόδου:  $1805 + (\text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} - 511) \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Θεωρώντας απόσταση αναφοράς για διάδοση ελευθέρου χώρου  $d_0$ , βρείτε την διαφορά απωλειών διαδρομής μεταξύ των ζεύξεων ανόδου και καθόδου του ραδιοδιαύλου 650 σε απόσταση  $d$ .

[Απάντηση: 0.47 dB]

- 2.4 Η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής σε dB συναρτήσει της απόστασης  $d$  από τον πομπό σε μια κυψέλη είναι  $L = L_0 + 10n \log d$  km, όπου  $L_0$  είναι οι απώλειες διαδρομής σε απόσταση 1 km και  $n = 4$  ο εκθέτης απωλειών διαδρομής. Υπάρχει σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή και τυπική απόκλιση  $\sigma = 6$  dB. Οι κυψέλες σχεδιάζονται για κάλυψη 50% στα όριά τους. Αν γίνει αλλαγή στην αρχική σχεδίαση και αυξηθεί το ποσοστό κάλυψης στα όρια των κυψελών σε 90% διατηρώντας την ίδια ισχύ εκπομπής στους σταθμούς βάσης, πόσο τοις εκατό παραπάνω σταθμοί βάσης θα απαιτηθούν για την κάλυψη της ίδιας περιοχής εξυπηρέτησης;

[Απάντηση: 142%]

- 2.5 Κινητό τερματικό ισαπέχει από τρεις όμοιους σταθμούς βάσης δικτύου κινητών επικοινωνιών. Οι κυψέλες θεωρούνται κυκλικές ακτίνας  $R = 15$  km και η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης είναι  $D = 30$  km. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής  $n = 3$  και λόγω σκίασης υπάρχει διακύμανση της ισχύος στη λήψη με τυπική απόκλιση  $\sigma = 12$  dB. Η απόλυτη μέση τιμή των απωλειών διαδρομής σε απόσταση 10 km από τον σταθμό βάσης είναι 127 dB. Η πιθανότητα κάλυψης στα όρια των κυψελών είναι  $\text{Pr}[P_r(15) > \gamma] = 0.62$ , όπου  $\gamma$  η επιθυμητή στάθμη λήψης στο κινητό τερματικό. Υπολογίστε την πιθανότητα κάλυψης κινητού τερματικού στη θέση που ισαπέχει από τους τρεις σταθμούς βάσης.

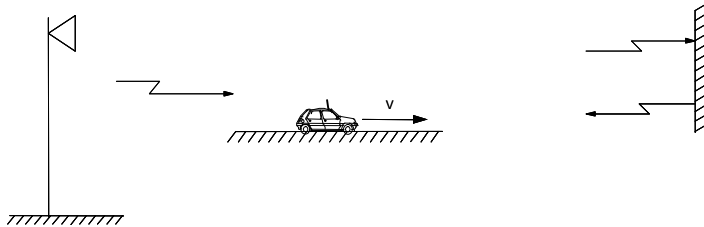
[Απάντηση: 91.4%]

2.6 Σύστημα ασύρματων κινητών επικοινωνιών με συχνότητα λειτουργίας 1.8 GHz χρησιμοποιείται σε αστική περιοχή, όπου υπάρχει το φαινόμενο της σκίασης και η στάθμη λήψης ακολουθεί λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση  $\sigma = 10$  dB. Η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης είναι 20 dBm, η ευαισθησία των τερματικών είναι -100 dBm, το κέρδος των κεραιών των σταθμών βάσης είναι 10 dB και των κεραιών των τερματικών 0 dB. Η μετάδοση οπτικής επαφής στην περιοχή αυτή ισχύει μέχρι 150 m και ο δείκτης απωλειών διαδρομής είναι  $n = 4$ .

- (α) Να προσδιορισθεί η παράμετρος  $K$ , ώστε η μέση στάθμη  $P_r(d)$  του σήματος σε απόσταση  $d > 150$  m από τον σταθμό βάσης να προσδιορίζεται από τη σχέση  $P_r(d) = K - 10n \log d$ .
- (β) Αν αμεληθούν οι διαλείψεις λόγω πολλαπλών διαδρομών και θεωρηθεί ότι ένα κινητό διαγράφει κύκλο ακτίνας  $d$  γύρω από τον σταθμό βάσης, να βρεθεί η τιμή του  $d$ , ώστε το κινητό να λειτουργεί (η στάθμη λήψης να είναι πάνω από την ελάχιστη τιμή) για το 90 % του χρόνου.

[Απάντηση: (α)  $K = 35.97$  dBm, (β)  $d = 1200$  m]

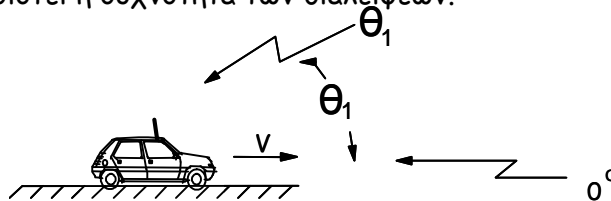
2.7 Κινητό τερματικό κινείται με ταχύτητα  $v$  κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ του σταθμού βάσης και ενός εμποδίου, όπως φαίνεται στο Σχ. Π2.7. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει αδιαμόρφωτο φέρον συχνότητας  $f_c$ . Να βρεθεί έκφραση για την περιβάλλουσα του σήματος που λαμβάνει το τερματικό.



Σχήμα Π2.7

[Απάντηση:  $s_r(t) = 2A \sin(2\pi \frac{v}{\lambda} t)$ ]

2.8 Στην κεραία κινητού τερματικού που κινείται με ταχύτητα  $v$ , εισέρχονται δύο ανακλώμενες εκδοχές εκπεμπόμενου αδιαμόρφωτου φέροντος με γωνίες  $\theta = 0^\circ$  και  $\theta = \theta_1$ , ως προς την κατεύθυνση κίνησης, όπως φαίνεται στο Σχ. Π2.8. Υποθέστε ότι και τα δύο ανακλώμενα κύματα έχουν το ίδιο πλάτος. Να βρεθεί η έκφραση για την περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος και να καθοριστεί η συχνότητα των διαλείψεων.



Σχήμα Π2.8

Ποια είναι η έκφραση για τη συχνότητα διαλείψεων, όταν τα δύο σήματα καταφθάνουν στην κεραία του δέκτη με γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ ;

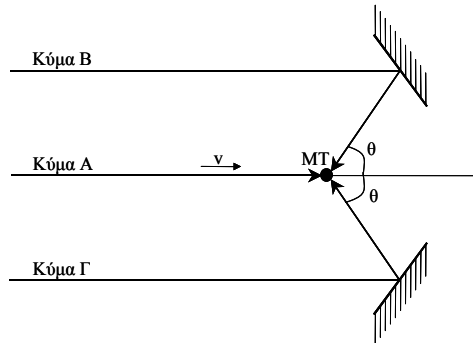
[Απάντηση:  $s_r(t) = 2A \left| \cos\left(\frac{\pi v}{\lambda} - \frac{\pi v}{\lambda} \cos \theta_1\right) t \right|$ ,  $f_d = \frac{v}{2\lambda} (1 - \cos \theta_1)$ ,

$$f_d = \frac{v}{2\lambda} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)]$$

2.9 Θεωρούμε κινητό τερματικό (ΜΤ) το οποίο κινείται με ταχύτητα  $v$  στην περιοχή δύο τοπικών ανακλαστών, όπως φαίνεται στο Σχ. Π2.9. Ο κάθε ανακλαστής έχει συντελεστή ανάκλασης 0.5. Ο συντελεστής ανάκλασης είναι ο λόγος του πλάτους του ηλεκτρικού πεδίου ανακλώμενου προς το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου του προσπίπτοντος κύματος.

(α) Βρείτε μια έκφραση για το σήμα που λαμβάνεται από το κινητό τερματικό.

(β) Σχεδιάστε τη μεταβολή του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος λόγω διαλείψεων πολλαπλών διαδρομών και υπολογίστε την ολίσθηση Doppler.



Σχήμα Π2.9

[Απάντηση:

(α)

$$\tilde{r}(t) = a(t)e^{-j\phi(t)}$$

$$a(t) = A\{[\cos \phi_1(t) + 0.5 \cos \phi_2(t) + 0.5 \cos \phi_3(t)]^2 + [\sin \phi_1(t) + 0.5 \sin \phi_2(t) + 0.5 \sin \phi_3(t)]^2\}^{1/2}$$

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin \phi_1(t) + 0.5 \sin \phi_2(t) + 0.5 \sin \phi_3(t)}{\cos \phi_1(t) + 0.5 \cos \phi_2(t) + 0.5 \cos \phi_3(t)} \right\}$$

$$\phi_i(t) = f_{D,i}(t) - f_c \tau_i$$

(β)  $r(t) = 2A \cos\left[\frac{\pi v}{\lambda}(1 + \cos \theta)t\right], \quad f_D = -\frac{v}{2\lambda}(1 - \cos \theta)$  ]

2.10 Κινητό τερματικό μετακινείται αργά σε εσωτερικό χώρο και λαμβάνει σήμα μέσω πολλαπλών διαδρομών, που καταφθάνουν με τυχαίες γωνίες. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν μεταβολές μεγάλης κλίμακας στο σήμα κατά τη διάρκεια της κίνησης του τερματικού. Η ποιότητα της ζεύξης είναι δεκτή, όταν η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος πέφτει κάτω από δοθέν κατώφλι μόνο στο 1% του χρόνου. Κατά πόσα dB πρέπει να υπερβαίνει η στάθμη του σήματος το κατώφλι, ώστε να εξασφαλίζεται παραδεκτή ποιότητα του σήματος;

[Απάντηση: 20 dB]

2.11 Υπολογίστε τον ρυθμό υπέρβασης στάθμης για στάθμη -20 dB και τη μέση διάρκεια διαλείψεων για σύστημα που λειτουργεί στους 2.2 GHz και για ταχύτητα κινητών τερματικών 100 km/h. Αμελήστε τις επιδράσεις από την κίνηση του περιβάλλοντος. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με εκείνα που λαμβάνονται από προσεγγιστικές εκφράσεις.

[Απάντηση: 50.5 υπερβάσεις/sec (51), 195 μsec]

2.12 Πρόκειται να μετρηθεί η συμπεριφορά ως προς τις διαλείψεις ενός φέροντος συνεχούς κυματομορφής, σε αστική περιοχή. Γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

(α) Ο δέκτης χρησιμοποιεί απλό κατακόρυφο μονόπολο ( $G_r = 3/2$ )

(β) Αγνοούνται οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας

- (γ) Το κινητό τερματικό δεν έχει οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης
- (δ) Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της περιβάλλουσας του σήματος στον δέκτη ακολουθεί κατανομή Rayleigh.
- (1) Να βρεθεί ο λόγος της επιθυμητής στάθμης σήματος προς την στάθμη rms, ο οποίος μεγιστοποιεί τον ρυθμό υπέρβασης στάθμης.
- (2) Υποθέτοντας ότι η μέγιστη ταχύτητα του κινητού είναι 50 km/h και η συχνότητα του φέροντος 900 MHz, καθορίστε τον μέγιστο αριθμό των φορών που η περιβάλλουσα του σήματος θα πέσει κάτω από την ευρεθείσα στο ερώτημα (1) στάθμη κατά τη διάρκεια ενός min.
- (3) Πόσον χρόνο κατά μέσον όρο διαρκεί κάθε διάλειψη στο ερώτημα (2);

[Απάντηση:  $\rho = 1\sqrt{2}$ , 2687 φορές, 8.78 msec]

- 2.13 Κινητό τερματικό λαμβάνει σήμα συχνότητας 900 MHz ενώ κινείται με σταθερή ταχύτητα για 10 sec. Η μέση διάρκεια διαλείψεων για στάθμη αναφοράς 10 dB κάτω από τη στάθμη rms είναι 2 ms. Πόσο διάστημα θα διανύσει το κινητό σε 10 sec; Πόσες διαλείψεις θα εμφανίσει το σήμα σε στάθμη 10 dB κάτω από τη στάθμη rms στο διάστημα των 10 sec; Υποθέστε ότι ο τοπικός μέσος όρος παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της κίνησης.

[Απάντηση: 221 m, 476 διαλείψεις]

- 2.14 Από κινητό που μετακινείται με 80 km/h, λαμβάνεται σήμα με κατανομή Rayleigh και επίπεδες διαλείψεις. Η συχνότητα του φέροντος είναι 1.8 GHz.

- (α) Καθορίστε τον αριθμό των υπερβάσεων στάθμης πάνω από την rms τιμή της στάθμης, που παρατηρούνται σε διάστημα 5 sec.
- (β) Καθορίστε τη μέση διάρκεια διαλείψεων κάτω από την rms τιμή της στάθμης.
- (γ) Καθορίστε τη μέση διάρκεια διαλείψεων σε στάθμη 20 dB κάτω από την rms τιμή της στάθμης.

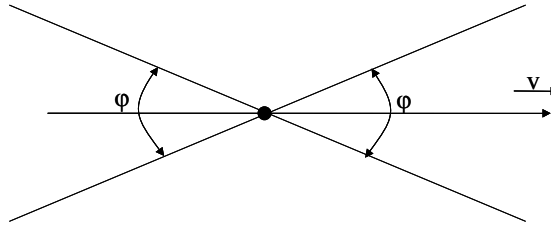
[Απάντηση: (α) 615 υπερβάσεις, (β) 5.14 msec, (γ) 0.3 msec]

- 2.15 Το τοπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος ενός διαύλου αποτελείται από τρεις συνιστώσες με στάθμες 0 dB, -10 dB και -10 dB, και καθυστερήσεις 0, 1 και 2 μs αντίστοιχα.

- (α) Να βρεθεί η μέση επιπρόσθετη καθυστέρηση και η rms εξάπλωση καθυστέρησης.
- (β) Η μέγιστη επιπρόσθετη καθυστέρηση για στάθμη αναφοράς ισχύος -10 dB.
- (γ) Αν ο δίαυλος πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε σχήμα διαμόρφωσης που απαιτεί ισοσταθμιστή όταν η διάρκεια συμβόλου T είναι μικρότερη από 10  $T_d$ , καθορίστε τον μέγιστο ρυθμό συμβόλων RF που μπορεί να υποστηριχθεί χωρίς να απαιτείται ισοσταθμιστής.
- (δ) Αν το κινητό μετακινείται με ταχύτητα 30 km/h και η συχνότητα του φέροντος είναι 1.8 GHz, να καθοριστεί ο χρόνος που ο δίαυλος εμφανίζεται στατικός ή τουλάχιστον με υψηλή συσχέτιση.

[Απάντηση: (α) 0.25 μsec, 0.59 μsec, (β) 2 μsec, (γ) 169.5 ksymbols/sec, (δ) 3.58 msec]

- 2.16 Στην περίπτωση που απεικονίζεται στο Σχ. Π.16, το κινητό τερματικό χρησιμοποιεί κατευθυντική κεραία με εύρος δέσμης  $\phi^\circ$ . Θεωρούμε ότι το περιβάλλον προκαλεί ιστροπική σκέδαση. Όταν η συχνότητα λήψης είναι 850 MHz, παρατηρείται ολίσθηση Doppler 20 έως 60 Hz. Ποιο είναι το εύρος δέσμης της κεραίας του κινητού τερματικού και ποια η ταχύτητα του κινητού;



Σχήμα Π2.16

[Απάντηση:  $\varphi=141^\circ$  και  $u=76$  km/h]

2.17 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος ραδιοδιαύλου συστήματος κινητών επικοινωνιών δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος είναι 1.8 GHz και η συνάρτηση συσχέτισης των περιβαλλουσών των σημάτων και στο πεδίο συχνότητας και στο πεδίο του χρόνου λαμβάνεται μεγαλύτερη από 0.5. Αν η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται επιτρέπει τη μετάδοση 1 bit/Hz και δεν χρησιμοποιείται ισοσταθμιστής, να καθοριστεί η περιοχή ρυθμών μετάδοσης στην οποία μπορεί να μεταδίδει δεδομένα κινητό τερματικό που μετακινείται με μέση ταχύτητα 60 km/h και εξυπηρετείται από τον υπόψη δίαυλο.

Σχετική καθυστέρηση (μs)	Μέση ισχύς (dB)
0.0	-1.0
0.5	0.0
1.0	-3.0
1.5	-6.0
2.5	-7.0
5.0	-11.0

[Απάντηση:  $558.6 \text{ bps} \leq R \leq 203 \text{ kbps}$ ]

2.18 Θεωρήστε ασύρματο περιβάλλον όπου το σήμα καταφθάνει στα κινητά τερματικά μέσω δύο διαδρομών. Ένα τερματικό κινείται με ταχύτητα  $u = 3$  m/s κατά μήκος του άξονα z. Οι γωνίες άφιξης είναι  $\alpha_1 = 0$  και  $\alpha_2 = \pi/3$ . Τη χρονική στιγμή  $t = 0$ , ο χρήστης είναι στη θέση  $z = 0$  και οι καθυστερήσεις είναι  $\tau_1(0) = 1\mu\text{s}$  και  $\tau_2(0) = 2\mu\text{s}$ . Τα κέρδη στις δύο διαδρομές είναι  $\alpha_1 = 1$  και  $\alpha_2 = 1$  και δεν μεταβάλλονται χρονικά. Το μεταδιδόμενο σήμα είναι  $s(t) = f(t)\cos 2\pi f_c t$ , όπου  $f_c = 2$  GHz.

(α) Ποια είναι η έκφραση για το λαμβανόμενο σήμα τη στιγμή  $t$ ;

(β) Ποιες είναι οι χωρικές συχνότητες για τις δύο διαδρομές;

(γ) Γιατί μπορούμε να προσεγγίσουμε το  $\tau_i(t)$  με  $\tau_i(0)$  στους όρους του  $f(t)$  και όχι στους όρους που περιέχουν συνημίτονο;

[Απάντηση: (α)  $r(t) = f(t-\tau_1(t))\cos[2\pi f_c(t-\tau_1(t))] + f(t-\tau_2(t))\cos[2\pi f_c(t-\tau_2(t))]$ ,

όπου  $\tau_i(t) = \tau_i(0) - \frac{ut}{c} \cos \alpha_i$ , (β) 1 κύκλος/λ και 0.5 κύκλος/λ, (γ) Όταν το κινητό

διανύσει απόσταση 1 m, γεγονός που συμβαίνει σε 1/3 sec, η φάση αλλάζει κατά 6.67 και 3.33 κύκλους αντίστοιχα για κάθε διαδρομή, ενώ η καθυστέρηση μεταβάλλεται μόνο κατά 3.33 ns και 1.67 ns, αντίστοιχα.]

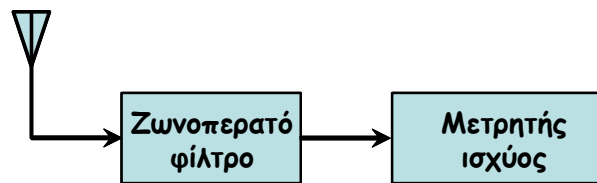
2.19 Κινητό τερματικό κινείται σε περιβάλλον όπου η ενέργεια του σήματος είναι ομοιόμορφα κατανομημένη στο οριζόντιο επίπεδο και το κέρδος της κεραίας του είναι ίσο με 1. Για τη μέτρηση της ισχύος λήψης ενός ημιτονικού σήματος συχνότητας 900 MHz χρησιμοποιείται ο δέκτης του Σχ. Π.19.

Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στην έξοδο της κεραίας, πριν το ζωνοπερατό φίλτρο, είναι  $P$ . Θεωρούμε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο ζωνοπερατά φίλτρα με τις εξής αποκρίσεις συχνότητας

$$\text{Φίλτρο 1: } |H_1(f)| = \begin{cases} 1, & |f - f_c| < f_m \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

$$\text{Φίλτρο 2: } |H_2(f)| = \begin{cases} 1, & f_b < |f - f_c| < 2f_m \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

όπου  $f_m$  είναι η μέγιστη ολίσθηση Doppler.



Σχήμα Π2.19

- (α) Αν χρησιμοποιείται το φίλτρο 1 και το κινητό κινείται με ταχύτητα  $u$ , ποια είναι η έξοδος του φίλτρου συναρτήσει του  $P$ ;
- (β) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α), αν η ταχύτητα του κινητού είναι  $2u$ ;
- (γ) Χρησιμοποιείται το φίλτρο 2 ενώ η ταχύτητα του κινητού παραμένει  $2u$ . Για ποια τιμή του  $f_b$ , η λαμβανόμενη ισχύς στην έξοδο του φίλτρου είναι η ίδια με εκείνη του ερωτήματος (α);

[Απάντηση: (α)  $P$ , (β)  $P/3$ , (γ)  $f_b = \sqrt{3} f_m$ ]

2.20 Για κάποια θέση του κινητού τερματικού σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών, η κρουστική απόκριση του διαύλου δίνεται από τη σχέση:

$$h(t) = V_0 \sum_{j=1}^N c_j \delta(t - t_j)$$

και το εκπεμπόμενο σήμα είναι  $s(t)\cos 2\pi f t$ . Αν  $N = 2$ ,  $c_1 = c_2 = 1$ ,  $t_1 = 1 \mu s$  και  $t_2 = 2 \mu s$

- (α) Βρείτε τη συνάρτηση μεταφοράς  $H(f)$  για σταθερή θέση  $z_0$  του τερματικού.
- (β) Ποια είναι η απόσταση μεταξύ των ελαχίστων στην  $H(f)$ ;
- (γ) Υποθέστε ότι το μεταδιδόμενο σήμα  $s(t)\cos 2\pi f t$  μπορεί να διακρίνει τη διαδρομή με καθυστέρηση  $t_1$  από τη διαδρομή με καθυστέρηση  $t_2$ . Το κινητό μετακινείται κατά μήκος του άξονα  $z$  και η απομάκρυνσή του από τη θέση  $z_0$  έχει ως συνέπεια αλλαγή της φάσης με ρυθμό  $+1$  κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση  $t_1$  και  $-1$  κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση  $t_2$ . Ποιες είναι οι γωνίες άφιξης  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  από τις δύο διαδρομές ως προς την κατεύθυνση της κίνησης;

[Απάντηση: (α)  $H(f) = 2V_0 e^{-2\pi f_c 1.5 \mu s} \cos(2\pi f_c 0.5 \mu s)$ , (β)  $1 \text{ MHz}$ , (γ)  $\alpha_1 = 0^\circ$  και  $\alpha_2 = 180^\circ$ ]

2.21 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος ενός ραδιοδιαύλου είναι το ακόλουθο:

$$D(t) = \delta(t - 3\mu s) + 0.5\delta(t - 8\mu s) + \delta(t - 10\mu s)$$

- (α) Είναι ο διάυλος επίπεδος ή επιλεκτικός ως προς συχνότητα για σύστημα που μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων  $T_s = 3 \mu s$  και γιατί;

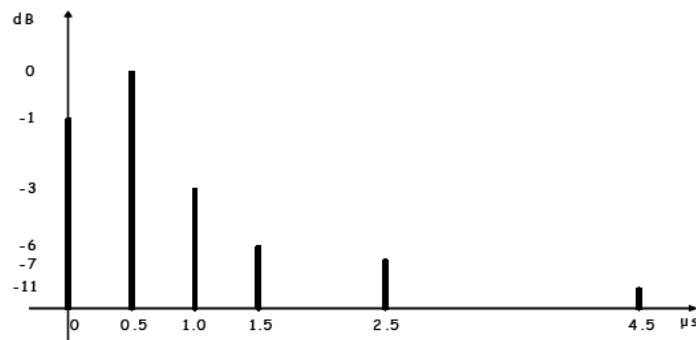
(β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια πρέπει να είναι η διάρκεια των μεταδιδόμενων συμβόλων, ώστε ο δίαυλος να συμπεριφέρεται ως επίπεδος;

$$\text{Υπενθύμιση: } \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \text{ και } \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - \tau) dt = f(\tau)$$

[Απάντηση: (α) Επιλεκτικός ως προς συχνότητα, (β)  $T_s > 16.7 \mu\text{s}$ ]

2.22 Σχεδιάστε το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του παρακάτω διαύλου ευρείας ζώνης. Υπολογίστε τη μέγιστη καθυστέρηση με σχετική στάθμη -10 dB, τη μέση καθυστέρηση και την rms καθυστέρηση. Μπορεί ο δίαυλος να θεωρηθεί δίαυλος ευρείας ζώνης για σύστημα που μεταδίδει με ρυθμό 25 kbps και γιατί;

Σχετική καθυστέρηση ( $\mu\text{s}$ )	Μέση σχετική ισχύς (dB)
0.0	-1.0
0.5	0.0
1.0	-3.0
1.5	-6.0
2.5	-7.0
4.5	-11.0



[Απάντηση:  $\tau_M = 2.5 \mu\text{s}$ ,  $\tau_m = 0.79 \mu\text{s}$ ,  $\tau_d = 0.925 \mu\text{s}$ , είναι δίαυλος στενής ζώνης διότι  $T_s \gg \tau_d$ ]

2.23 Στη γεωγραφική θέση A συστήματος κινητών επικοινωνιών το λαμβανόμενο σήμα  $r_1(t)$  είναι

$$r_1(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2)$$

όπου  $s(t)$  είναι το εκπεμπόμενο σήμα,  $|a_0 / a_1| = |a_2 / a_1| = -5 \text{ dB}$ ,  $\tau_1 = 1 \mu\text{s}$  και  $\tau_2 = 8 \mu\text{s}$ .

Στη γεωγραφική θέση B, το λαμβανόμενο σήμα  $r_2(t)$  είναι

$$r_2(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2) + a_3 s(t - \tau_3)$$

όπου  $|a_0 / a_1| = -1 \text{ dB}$ ,  $|a_2 / a_1| = -3 \text{ dB}$ ,  $|a_3 / a_1| = -6 \text{ dB}$ ,  $\tau_1 = 1 \mu\text{s}$ ,  $\tau_2 = 3 \mu\text{s}$  και  $\tau_3 = 6 \mu\text{s}$ .

(α) Αν το κινητό μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων  $T = 2 \mu\text{s}$ , τι θα παρατηρείται στον δέκτη στις δύο θέσεις A και B;

(β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια θέση πρέπει να προτιμήσει ο χρήστης για την απρόσκοπτη μετάδοση δεδομένων με διάρκεια συμβόλων  $T = 10 \mu\text{s}$ ;

[Απάντηση: (α)  $\tau_{dA} = 2.9 \mu\text{s} > T$  (frequency selective),  $\tau_{dB} = 1.8 \mu\text{s} < T$ , (β)  $B_{cA} = 68.96 \text{ kHz}$ ,  $B_{cB} = 111.42 \text{ kHz}$ ]

**2.24** Θεωρούμε γεωγραφική θέση συστήματος κινητών επικοινωνιών όπου το εκπεμπόμενο σήμα  $s(t)$  καταφθάνει στον δέκτη μέσω πέντε διαδρομών, οπότε το λαμβανόμενο σήμα  $r(t)$  είναι

$$r(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2) + a_3 s(t - \tau_3) + a_4 s(t - \tau_4)$$

όπου  $|a_0 / a_1| = -1$  dB,  $|a_2 / a_1| = -3$  dB,  $|a_3 / a_1| = -6$  dB,  $|a_4 / a_1| = -7$  dB,  $\tau_1 = 1$   $\mu$ s και  $\tau_2 = 2$   $\mu$ s,  $\tau_3 = 3$   $\mu$ s και  $\tau_4 = 5$   $\mu$ s.

- (α) Είναι ο δίαυλος επίπεδος ή επιλεκτικός ως προς συχνότητα για σύστημα που μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων  $T_s = 1$   $\mu$ s και γιατί;  
 (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια πρέπει να είναι η διάρκεια των μεταδιδόμενων συμβόλων, ώστε ο δίαυλος να συμπεριφέρεται ως επίπεδος;

**[Απάντηση: (α) Επιλεκτικός ως προς συχνότητα,  $\tau_d = 1.37$   $\mu$ s  $>$   $T_s$ , (β)  $T_s > 6.85$   $\mu$ s]**

**2.25** Θεωρούμε γεωγραφική θέση συστήματος κινητών επικοινωνιών όπου το εκπεμπόμενο σήμα  $s(t)$  καταφθάνει στον δέκτη μέσω τριών διαδρομών, οπότε το λαμβανόμενο σήμα  $r(t)$  είναι

$$r(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2)$$

όπου  $|a_0 / a_1| = |a_2 / a_1| = -5$  dB,  $\tau_1 = 1$   $\mu$ s και  $\tau_2 = 8$   $\mu$ s.

- (α) Ποια είναι η διαφορά μήκους μεταξύ της μεγαλύτερης και μικρότερης διαδρομής;  
 (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, καθορίστε κατά πόσο εμφανίζονται ή όχι διαλείψεις επιλεκτικές ως προς συχνότητα στην υπόψη γεωγραφική θέση, αν χρησιμοποιείται σύστημα με διαύλους εύρους ζώνης 30 kHz, 200 kHz και 1.73 MHz;

**[Απάντηση: (α) 2.4 km, (β)  $B_c = 69.2$  kHz]**

**2.26** Για κάποια θέση του κινητού τερματικού σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών, η κρουστική απόκριση του διαύλου δίνεται από τη σχέση:

$$h(t) = \delta(t - \tau_1) + \delta(t - \tau_2)$$

όπου  $\tau_1 = 2$   $\mu$ s και  $\tau_2 = 4$   $\mu$ s.

- (α) Βρείτε τη συνάρτηση μεταφοράς  $H(f)$  για σταθερή θέση  $z_0$  του τερματικού.  
 (β) Ποια είναι η απόσταση μεταξύ των ελαχίστων στην  $H(f)$ ;  
 (γ) Το κινητό μετακινείται κατά μήκος του άξονα  $z$  και η απομάκρυνσή του από τη θέση  $z_0$  έχει ως συνέπεια αλλαγή της φάσης με ρυθμό +1 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση  $\tau_1$  και +1/2 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση  $\tau_2$ . Ποιες είναι οι γωνίες άφιξης  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  από τις δύο διαδρομές ως προς την κατεύθυνση της κίνησης;

Υπενθύμιση:  $\mathfrak{I}[\delta(t)] = 1$  και  $\mathfrak{I}[g(t - t_0)] = G(f)e^{-j2\pi f t_0}$

**[Απάντηση: (α)  $H(f) = \mathfrak{I}[h(t)] = 2e^{-j2\pi f_c 3\mu s} \cos(2\pi f_c 1\mu s)$ , (β)  $\Delta f = 500$  kHz, (γ)  $\alpha_1 = 0^\circ$  και  $\alpha_2 = \pi/3$ ]**