

Εργαστηριακή άσκηση 1

Εισαγωγή

Η πρώτη εργαστηριακή άσκηση παρουσιάζει επιγραμματικά βασικές έννοιες που διέπουν τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Ανάμεσα σε αυτές συγκαταλέγονται η ισχύς σήματος, ο θόρυβος, ο λόγος σήματος προς θόρυβο, η χωρητικότητα καθώς επίσης και έννοιες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των κεραιών (απολαβή, απόδοση κτλ).

Η ισχύς εκπομπής και λήψης εκφράζεται σε Watt. Στις τηλεπικοινωνίες, το μέγεθος αυτό εκφράζεται πολύ συχνά σε dBm και σε dBW :

dBm : Εκφράζει την ισχύ σε σχέση με την ισχύ 1 mW

dBW : Εκφράζει την ισχύ σε σχέση με την ισχύ 1 Watt

Για κάθε μέγεθος x η έκφραση του σε dB ακολουθεί τις παρακάτω σχέσεις :

$$X(\text{dB}) = 10 * \log_{10} (X)$$

$$\text{και ισοδύναμα, } X = 10^{X(\text{dB})/10}$$

Συνεπώς,

$$\text{Power}(\text{dBm}) = 10 * \log_{10} (\text{Power}/10^{-3}), \text{Power}(\text{dBW}) = 10 * \log_{10} (\text{Power}/1),$$

$$\text{και ισοδύναμα, } \text{Power}(\text{mW}) = 10^{\text{Power}(\text{dBm})/10}, \text{Power}(\text{W}) = 10^{\text{Power}(\text{dBW})/10}$$

Μία ακόμα βασική έννοια που σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μιας διάταξης ονομάζεται απώλεια ή εξασθένιση και ορίζεται από το λόγο της ισχύος εισόδου προς την ισχύ εξόδου. Για μία διάταξη λοιπόν η απώλεια ή η εξασθένιση είναι ένας καθαρός αριθμός μεγαλύτερος της μονάδος. Εκφράζεται επίσης και σε dB.

Άσκηση 1 :

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε σε dBW τις παρακάτω τιμές ισχύος :

200 Watt

2 Watt

0,08 Watt

1,2 Watt

Άσκηση 2 :

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε σε dBm τις παρακάτω τιμές ισχύος :

1 mWatt, 2 mWatt, 6 mWatt

Άσκηση 3 :

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε σε dB τις παρακάτω τιμές απώλειας διάδοσης :

3, 5/4, 6, 10

Εργαστηριακή άσκηση 2

Εισαγωγή

Ο θόρυβος αποτελεί ένα ανεπιθύμητο σήμα το οποίο «ταξιδεύει» σε μία τηλεπικοινωνιακή διάταξη μαζί με το επιθυμητό σήμα. Ένας από τους βασικότερους τύπους θορύβου είναι ο λευκός.

Η σχέση $P_n = k \cdot T \cdot B$ δίνει την ισχύ του λευκού θορύβου σε Watt, όταν :

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K : Σταθερά Boltzman

T : Η θερμοκρασία σε Kelvin (Προσοχή : $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$)

B : εύρος ζώνης συχνοτήτων σε Hz

Η ισχύς του σήματος του θορύβου και κυρίως ο λόγος της ισχύος του επιθυμητού σήματος προς την ισχύ του σήματος του θορύβου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που καθορίζουν την απόδοση ενός συστήματος επικοινωνίας. Ο λόγος των δύο τιμών ισχύος συμβολίζεται με SNR (signal to noise ratio), είναι καθαρός αριθμός και συναντάται συχνά εκφρασμένος σε dB

Μία ακόμα βασική έννοια που χαρακτηρίζει την απόδοση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος είναι η χωρητικότητα. Εκφράζει το μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης. Δίνεται από τη σχέση :

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2(M),$$

όπου B είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων και M είναι ο αριθμός διαφορετικών καταστάσεων ανά σύμβολο. Για παράδειγμα, στη διαμόρφωση BPSK το $M = 2$, διότι σε κάθε σύμβολο αντιστοιχεί μία από τις δύο δυνατές τιμές φάσης του σήματος (Shannon-Hartley theorem).

Δυστυχώς όμως, η παραπάνω σχέση δεν επιτρέπει να αυξήσουμε τη τιμή της χωρητικότητας, αυξάνοντας την τιμή του M όσο επιθυμούμε. Αυτό γίνεται λόγω της ύπαρξης του θορύβου. Η παρουσία του ανεπιθύμητου αυτού σήματος δυσχεραίνει τη διακριτικότητα του δέκτη στον προσδιορισμό του μεταδιδόμενου συμβόλου. Έτσι, η χωρητικότητα εκφράζεται από τη παρακάτω σχέση :

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

Το B είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων και το SNR ο λόγος σήματος προς θόρυβο (καθαρός αριθμός).

Με βάση αυτή καθορίζεται το όριο μέγιστου ρυθμού μετάδοσης και στη συνέχεια με βάση τη σχέση του θεωρήματος Shannon-Hartley προσδιορίζεται η τιμή του M.

Στις ασύρματες επικοινωνίες εξέχουσα θέση κατέχουν τα στοιχεία ακτινοβολίας, δηλαδή οι κεραίες. Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος μιας κεραίας είναι η απολαβή (gain) της η οποία είναι καθαρός αριθμός (εκφράζεται σε dB ή dBi) και περιγράφει την αποτελεσματικότητα στην ακτινοβολή της προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Για μία κεραία εκπομπής χρησιμοποιείται το σύμβολο G_t και για μία κεραία λήψης το σύμβολο G_r . Συνηθίζεται στα προβλήματα να δίνεται η τιμή της απολαβής της κεραίας μόνο στη κατεύθυνση που μας ενδιαφέρει. Μία κεραία με απολαβή 1 χαρακτηρίζεται ως ιστροπική. Στη πράξη δεν υπάρχει ιστροπική κεραία, αλλά χρησιμοποιείται ως κεραία αναφοράς για τους συνηθισμένους τύπους κεραιών. Η ιστροπική κεραία ακτινοβολεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Συνεπώς, σε μία απόσταση r από αυτή η εκπεμπόμενη ισχύς P_t διαμοιράζεται εξίσου στην επιφάνεια της αντίστοιχης σφαίρας ακτίνας r .

Η πυκνότητα ισχύος δίνεται συνεπώς από τη σχέση :

$$P_D = P_t / 4\pi r^2$$

Για πραγματική κεραία η παραπάνω σχέση γίνεται : $P_D = P_t * G_t / 4\pi r^2$. Το γινόμενο $P_t * G_t$ ονομάζεται ενεργός ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς – EIRP. Στη λήψη ορίζουμε σαν ενεργό επιφάνεια κεραίας A_{eff} (m^2) το λόγο της ισχύος που συλλέγεται από αυτή προς την πυκνότητα ισχύος στο αντίστοιχο σημείο. Για μία κεραία ισχύει :

$$A_{eff} = \lambda^2 * G_r / 4\pi$$

όπου λ το μήκος κύματος και G_r η απολαβή της κεραίας.

Άσκηση 1

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε το P_n σε Watt και το SNR σε dB στις παρακάτω περιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ισχύς του σήματος είναι σταθερή και ίση με 20 mWatt, η θερμοκρασία $T = 300$ K και το εύρος ζώνης συχνοτήτων παίρνει τις παρακάτω τιμές $B_1=30$ Hz, $B_2=60$ Hz, $B_3=120$ Hz και $B_4=240$ Hz

Άσκηση 2

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε τη C για κάθε τιμή του SNR από 0 μέχρι 40, όταν το $B = 40$ MHz. Να κάνετε την αντίστοιχη γραφική παράσταση C και SNR σε dB

Άσκηση 3

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε την ενεργό επιφάνεια της κεραίας (καθαρός αριθμός) αν $G_r = 5$ dBi, $f=1000$ Hz

Άσκηση 4

Αναπτύξτε κατάλληλο κώδικα για να υπολογίσετε την απολαβή της κεραίας (καθαρός αριθμός), την τιμή της EIRP και την πυκνότητα ισχύος σε απόσταση 10 Km, αν $G_t = 5 \text{ dBi}$, $P_t = 100 \text{ Watt}$

Εργαστηριακή άσκηση 3

Εισαγωγή

Η μετάδοση του σήματος πληροφορίας σε ένα σύστημα ασύρματης ζεύξης πραγματοποιείται με τη διάδοση των ραδιοκυμάτων στον ασύρματο δίαυλο. Αυτή αντιμετωπίζει προβλήματα που σχετίζονται με τη παρουσία του θορύβου, τις παρεμβολές, τα φυσικά και τα τεχνητά εμπόδια καθώς και την πολυδιαδρομική διάδοση. Οι επιδράσεις των παραπάνω φαινομένων δυσχεραίνουν περισσότερο την απόδοση των συστημάτων αυτών, αν λάβει κανείς υπόψιν του και τη χρονική μεταβολή τους.

Η εκτίμηση της λαμβανόμενης ισχύος και της εξασθένισης διάδοσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια κατάλληλων ποιοτικών και ποσοτικών μοντέλων τα οποία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες : τα εμπειρικά, τα στατιστικά και τα αναλυτικά. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και υβριδικά μοντέλα διάδοσης.

Αρχικά, το μοντέλο απωλειών ελεύθερου χώρου λαμβάνει υπόψιν του μόνο την απευθείας συνιστώσα από την κεραία εκπομπής στη κεραία λήψης, θεωρώντας ότι το περιβάλλον διάδοσης είναι απαλλαγμένο από φυσικά και τεχνητά εμπόδια και ότι οι κεραίες είναι απομακρυσμένες από το έδαφος και από γειτονικά τους εμπόδια.

Η σχέση που δίνει τη λαμβανόμενη ισχύ σε απόσταση d από τη κεραία εκπομπής είναι :

$$P_r(d) = P_t * G_t * G_r * (\lambda / 4\pi d)^2$$

Η απώλεια διάδοσης σε απόσταση d από τη κεραία εκπομπής είναι ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος προς τη λαμβανόμενη ισχύ.

$$P_L = P_t / P_r$$

Εκφράζεται επίσης και σε dB. Μία πολύ χρήσιμη σχέση που χρησιμοποιείται στη περίπτωση του μοντέλου ελεύθερου χώρου είναι :

$$P_L(\text{dB}) = 32.45 + 20 * \log(d_{\text{km}}) + 20 * \log(f_{\text{MHz}})$$

Η λαμβανόμενη ισχύς σε dBm δίνεται από τη σχέση :

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - P_L(\text{dB})$$

Το μοντέλο επίπεδης γης ή μοντέλο δύο ακτίνων λαμβάνει υπόψιν του την απευθείας συνιστώσα του σήματος αλλά και αυτή από την ανάκλαση του σήματος στο έδαφος. Ισχύει για σχετικά μεγάλες αποστάσεις πομπού-δέκτη. Η παρακάτω σχέση δίνει τη λαμβανόμενη ισχύ σε απόσταση d από τη κεραία εκπομπής, όταν αυτή βρίσκεται σε ύψος h_t και η αντίστοιχη κεραία λήψης σε ύψος h_r :

$$Pr(d) = Pt * Gt * Gr * (\lambda / 4\pi d)^2 * 4 * \sin^2((2\pi * ht * hr) / (\lambda * d))$$

Εμπειρικά, για να ισχύει το παραπάνω μοντέλο θα πρέπει η απόσταση d να είναι μεγαλύτερη από την τιμή $10 * (ht + hr)$.

Η απόσταση $dc = 4 * ht * hr / \lambda$ χαρακτηρίζεται ως σημείο καμπής. Για επιτρεπτές τιμές απόστασης d μικρότερες του dc η εξασθένηση αυξάνει κατά 20 dB για κάθε δεκαπλασιασμό της απόστασης. Για επιτρεπτές τιμές απόστασης d μεγαλύτερες του dc η εξασθένηση αυξάνει κατά 40 dB για κάθε δεκαπλασιασμό της απόστασης.

Τέλος, για αποστάσεις d μεγαλύτερες της τιμής $21 * ht * hr / \lambda$, η σχέση της $Pr(d)$ απλοποιείται στη παρακάτω :

$$Pr(d) = Pt * Gt * Gr * (ht^2 * hr^2) / d^4$$

Η απώλεια διάδοσης σε dB τότε θα δίνεται :

$$PL(dB) = 40 * \log(d) - 10 * \log(Gt) - 10 * \log(Gr) - 20 * \log(hr) - 20 * \log(ht)$$

Άσκηση 1

Αποδείξτε με κατάλληλο κώδικα ότι σύμφωνα με το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου ο δεκαπλασιασμός της απόστασης d ισοδυναμεί με πτώση 20 dB της απώλειας διάδοσης.

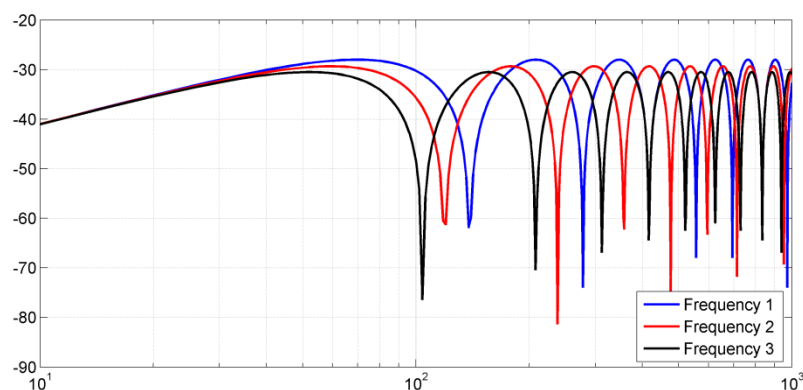
Άσκηση 2

Ένας πομπός εκπέμπει 150 Watt σε συχνότητα 300 MHz. Η απολαβή της κεραίας εκπομπής και λήψης είναι 5 dBi. Η απόσταση πομπού δέκτη είναι 10 Km. Με βάση το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου να βρείτε την απώλεια διάδοσης και τη λαμβανόμενη ισχύ.

Άσκηση 3

Για τιμές $Pt = 100$ Watt, $Gt = Gr = 1$, συχνότητες f από 100 ως 180 MHz με βήμα 20 MHz, $ht = 9$ m και $d = 1$ Km, να κάνετε τη γραφική παράσταση της λαμβανόμενης ισχύος συναρτήσει του ύψους της κεραίας λήψης για τιμές από 1 ως 50 m με βήμα 0.1 m

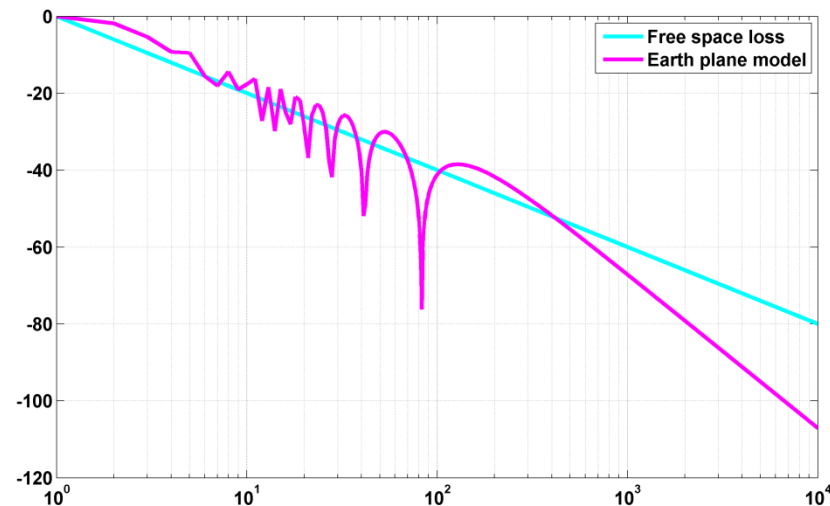
Η γραφική παράσταση θα προκύψει κάπως έτσι :



Άσκηση 4

Να χρησιμοποιήσετε το μοντέλο ελεύθερου χώρου και το μοντέλο επίπεδης γης για να παραστήσετε γραφικά την λαμβανόμενη ισχύ σε σχέση με την ισχύ σε απόσταση 1m (εκφρασμένη σε dB) συναρτήσει της απόστασης d από 1 ως 10000 m. Για την απόσταση χρησιμοποιήστε λογαριθμική κλίμακα. Τι παρατηρείτε στην απόσταση $d=4h_t \cdot h_r / \lambda$; Δίνονται $h_t=9\text{m}$, $h_r=1.5\text{m}$ και $f=920\text{ MHz}$.

Η γραφική παράσταση θα προκύψει κάπως έτσι :



Εργαστηριακή άσκηση 4

Το μοντέλο απλής κλίσης ή εκθετικό μοντέλο διάδοσης προσφέρει ένα σχετικά εύκολο τρόπο εκτίμησης της μέσης λαμβανόμενης ισχύος και της μέσης απώλειας διάδοσης για ένα πλήθος συνθηκών διάδοσης.

$$Pr(d) = Pr(d_0) - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0)$$

και

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0),$$

όπου η απόσταση πομπού – δέκτη d_0 είναι η απόσταση αναφοράς για την οποία προσδιορίζεται συνήθως πειραματικά η λαμβανόμενη ισχύς $Pr(d_0)$ και η απώλεια διάδοσης $PL(d_0)$. Ο n χαρακτηρίζεται ως συντελεστής απωλειών διάδοσης και παίρνει τιμές που εκτείνονται από το 2 (Free space loss) ως περίπου την τιμή 8. Στη περίπτωση που $n=4$ τότε το μοντέλο απλής κλίσης συγκλίνει στο μοντέλο επίπεδης γης.

Το μοντέλο Okumura-Hata είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που βασίστηκε σε πειραματικές μετρήσεις στο Τόκιο από τον Okumura. Ο Hata καθιέρωσε στη συνέχεια μία σειρά

μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες ισχύουν για καθορισμένο εύρος τιμών βασικών παραμέτρων και παρουσιάζουν διαφορές ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης.

Συγκεκριμένα, το μοντέλο ισχύει εφόσον η συχνότητα του σήματος είναι μεταξύ 150 MHz και 1500 MHz, το ύψος της κεραίας εκπομπής μεταξύ των τιμών των 30 m και 200 m, το ύψος της κεραίας του δέκτη μεταξύ των τιμών 1 m και 10 m και για αποστάσεις πομπού – δέκτη μεταξύ 1 km και 20 km.

Η γενική μορφή του μοντέλου περιγράφει την απώλεια διάδοσης για μία σειρά περιπτώσεων ως εξής :

Για αστικό περιβάλλον : $PL(dB) = A + B \cdot \log_{10}(d)$

Για προαστιακό περιβάλλον : $PL(dB) = A + B \cdot \log_{10}(d) - C$

Για αγροτικό περιβάλλον : $PL(dB) = A + B \cdot \log_{10}(d) - D$

όπου,

$$A = 69.55 + 26.16 \cdot \log_{10}(f_c) - 13.82 \cdot \log_{10}(h_t) - a(hr)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(h_t)$$

$$C = 2 \cdot [\log_{10}(f_c/28)]^2 + 5.4$$

$$D = 4.78 \cdot (\log_{10}(f_c))^2 - 18.33 \cdot \log_{10}(f_c) + 40.94$$

$$\text{για μικρές ή μεσαίου μεγέθους πόλεις : } a(hr) = (1.11 \cdot \log_{10}(f_c) - 0.7) \cdot hr - (1.56 \cdot \log_{10}(f_c) - 0.8)$$

$$\text{για μεγάλες πόλεις : } a(hr) = 8.29 \cdot (\log_{10}(1.54 \cdot hr))^2 - 1.1 \text{ για συχνότητα μικρότερη ή ίση των 200 MHz}$$

$$\text{και } a(hr) = 3.2 \cdot (\log_{10}(11.75 \cdot hr))^2 - 4.97 \text{ για συχνότητα μεγαλύτερη ή ίση με 400 MHz}$$

Για περιβάλλον διάδοσης εσωτερικού χώρου ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι το απλό γραμμικό μοντέλο, το οποίο δίνει μία εκτίμηση της απώλειας διάδοσης σε σχέση με αυτή που εκτιμάται από το μοντέλο ελεύθερου χώρου. Μάλιστα, προβλέπει πως η επιπλέον απώλεια διάδοσης είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης πομπού-δέκτη. Συγκεκριμένα :

$$PL(d) = PL_{FSL}(dB) + a \cdot d$$

όπου a μία παράμετρος που εκφράζεται σε dB/m. Για περιβάλλον διάδοσης εμπορικού κέντρου με συχνότητα μεταξύ των ορίων 900 MHz και 4000 MHz και για αποστάσεις πομπού – δέκτη μέχρι 100 m η παράμετρος a παίρνει τιμές από το σύνολο τιμών που εκτείνεται μεταξύ 0.2 και 0.6

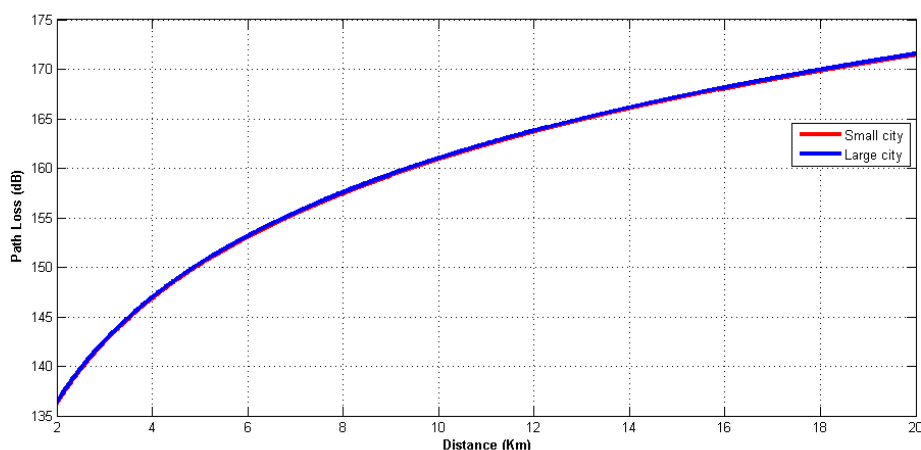
Άσκηση 1

Γράψτε τον απαραίτητο κώδικα για να υπολογίσετε τη μέση απώλεια διάδοσης σε αποστάσεις από 1 ως 1000 m για τιμές του n από 2 ως 6 με βήμα 1, όταν η απόσταση

αναφοράς είναι 1 m και η αντίστοιχη μέση απώλεια διάδοσης 40 dB. Οι γραφικές παραστάσεις να γίνουν σε ημιλογαριθμικό χαρτί.

Άσκηση 2

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο okumura-hata για μικρή και μεγάλη πόλη, να κάνετε γραφική παράσταση της απώλειας διάδοσης σε dB συναρτήσει της απόστασης πομπού – δέκτη d από 2 Km ως 20 km με βήμα 0.01 Km. Δίνονται η συχνότητα 850 MHz, το ύψος της κεραίας του πομπού 32 m και του δέκτη 2 m. Να χρησιμοποιηθεί μιλλιμετρέ χαρτί.



Άσκηση 3

Χρησιμοποιώντας το απλό γραμμικό μοντέλο για εμπορικά κέντρα, να κάνετε γραφική παράσταση της απώλειας διάδοσης σε dB συναρτήσει της απόστασης πομπού – δέκτη d από 2 m ως 80 m με βήμα 0.01 m. Δίνονται η συχνότητα 850 MHz και $\alpha = 0,4$ dB/m, όπου $FSL(d)$ η απώλεια διάδοσης ελεύθερου χώρου σε απόσταση d. (Υπόδειξη : Μεγαλώνοντας η d μεγαλώνει η απόκλιση από το FSL)

Βιβλιογραφία :

1. Συστήματα κινητών επικοινωνιών, Φ. Κωνσταντίνου, Α. Κανάτας και Γ. Πάντος, εκδόσεις Παπασωτηρίου
2. Ασύρματες Επικοινωνίες, T.S. Rappaport, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας
3. Βασικές Αρχές συστημάτων επικοινωνίας, Michael P. Fitz, εκδόσεις Κλειδάριθμος