

ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΧΩΡΟ

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	
Φασική ταχύτητα διάδοσης των Η/Μ κυμάτων στο μέσο διάδοσης	$c \text{ [m s}^{-1}\text{]}$ Για τον αέρα: $c \cong 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Συχνότητα λειτουργίας ζεύξης	$f \text{ ([MHz] ή [GHz])}$
Μήκος κύματος λειτουργίας	$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \text{ ([c]=m s}^{-1}\text{ , [f]=Hz)}$
Κέρδος κεραίας εκπομπής ως προς την ιστροπική κεραία	$\mathcal{G}_T$ (καθαρός αριθμός) $G_T = 10 \log \mathcal{G}_T \text{ [dB]}$
Κέρδος κεραίας λήψης ως προς την ιστροπική κεραία	$\mathcal{G}_R$ (καθαρός αριθμός) $G_R = 10 \log \mathcal{G}_R \text{ [dB]}$
Μεταδιδόμενη ισχύς από την κεραία εκπομπής	$W_T \text{ [W]}$
Προσλαμβανόμενη ισχύς από την κεραία λήψης	$W_R \text{ [W]}$
Ενεργός επιφάνεια κεραίας εκπομπής	$A_T \text{ [m}^2\text{]}$
Ενεργός επιφάνεια κεραίας λήψης	$A_R \text{ [m}^2\text{]}$
Απόσταση ζεύξης (απόσταση κεραιών πομπού – δέκτη)	$d \text{ [m]}$
Εύρος ζώνης συχνοτήτων	$B \text{ [Hz]}$
Σταθερά Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Joule K}^{-1}$
Απόλυτη θερμοκρασία	$T \text{ [K]}$
Θερμοκρασία κεραίας, δέκτη (θερμοκρασία της αντίστασης ακτινοβολίας κεραίας για αμελητέα αντίσταση απωλειών)	$T_a \text{ , } T_R \text{ [K]}$
Δείκτης θορύβου δέκτη ($(SNR)_{inp}$: λόγος σήματος προς θόρυβο στην είσοδο του δέκτη $(SNR)_{out}$: λόγος σήματος προς θόρυβο στην έξοδο του δέκτη)	$NF = 1 + \frac{T_R}{T}$ $NF = \frac{(SNR)_{inp}}{(SNR)_{out}}$

Βασική απώλεια μετάδοσης	$L_\beta = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 122 + 20 \log d - 20 \log \lambda \text{ [dB]}$ ($[d]=\text{km}$, $[\lambda]=\text{cm}$)
Απώλεια μετάδοσης στον ελεύθερο χώρο	$L = L_\beta - G_T - G_R =$ $= 122 + 20 \log d - 20 \log \lambda - G_T - G_R \text{ [dB]}$ ($[d]=\text{km}$, $[\lambda]=\text{cm}$)
Μέγιστη απόσταση μετάδοσης	$d_o = \frac{\sqrt{\mathcal{G}_T \mathcal{G}_R} \lambda^2}{4\pi} \cdot \sqrt{\frac{W_T}{W_{R,min}}}$, όπου $W_{R,min}$ η ελάχιστη ισχύς στους ακροδέκτες της κεραίας λήψης
Εξίσωση Friis (Εξίσωση μετάδοσης στον ελεύθερο χώρο)	$W_R = W_T \cdot \frac{A_R \mathcal{G}_T}{4\pi d^2} = W_T \cdot \frac{A_T A_R}{\lambda^2 d^2}$

Εξίσωση radar για ισοτροπική ανάκλαση της προσπίπτουσας ενέργειας από το αντικείμενο στόχο	$W_R = W_T \cdot \frac{\mathcal{G}_T \mathcal{G}_R \lambda^2 s}{(4\pi)^3 d_1^2 d_2^2}$ όπου s η εγκάρσια διατομή ραντάρ του αντικειμένου-στόχου [m^2] και d_1, d_2 αντίστοιχα οι αποστάσεις του στόχου από την κεραία εκπομπής και την κεραία λήψης $W_R = W_T \cdot \frac{A_T A_R A_{target}}{(\lambda d)^4}$ όπου A_{target} η ενεργός επιφάνεια του αντικειμένου-στόχου
Εμβέλεια radar (Μέγιστη απόσταση ανίχνευσης στόχου)	$d_{\max} = \left(\frac{\mathcal{G}_T \mathcal{G}_R \lambda^2 s}{(4\pi)^3} \cdot \frac{W_T}{W_{R,\min}} \right)^{\frac{1}{4}}$ $d_{\max} = \left(\frac{W_T \mathcal{G}_T \mathcal{G}_R \lambda^2 s}{(4\pi)^3 kTB(SNR)_{\text{inp},\min}} \right)^{\frac{1}{4}}$ όπου $(SNR)_{\text{inp},\min}$ η ελάχιστη σηματοθορυβική σχέση στην είσοδο του δέκτη

ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΧΩΡΟ

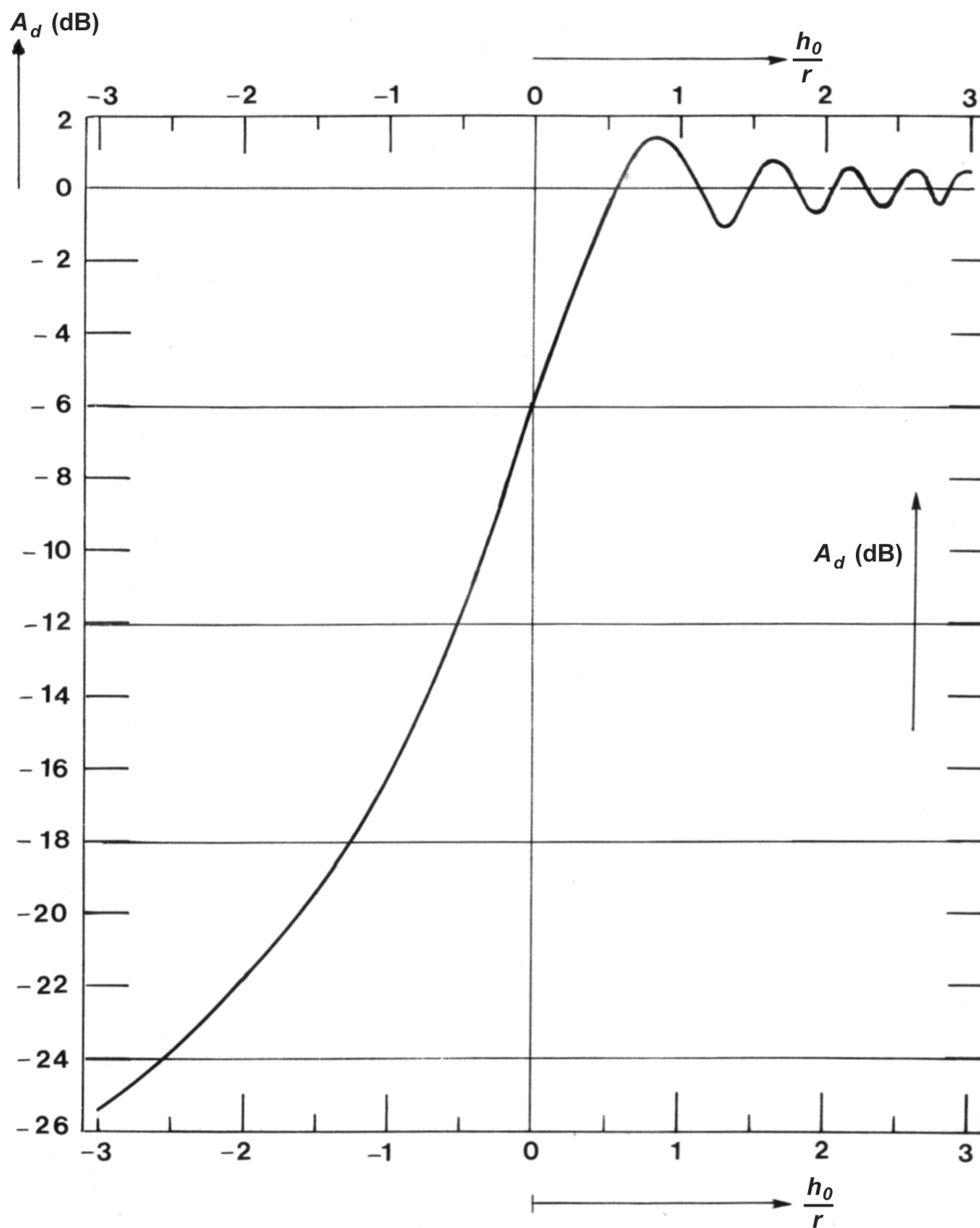
ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	
Φασική ταχύτητα διάδοσης των Η/Μ κυμάτων στο μέσο διάδοσης	c [m s^{-1}] Για τον αέρα: $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Συχνότητα λειτουργίας ζεύξης	f ([MHz] ή [GHz])
Μήκος κύματος λειτουργίας	$\lambda = \frac{c}{f}$ [m] ($[c] = \text{m s}^{-1}$, $[f] = \text{Hz}$)
Κέρδος κεραίας εκπομπής ως προς την ισοτροπική κεραία	$\mathcal{G}_T$ (καθαρός αριθμός) $G_T = 10 \log \mathcal{G}_T$ [dB]
Κέρδος κεραίας λήψης ως προς την ισοτροπική κεραία	$\mathcal{G}_R$ (καθαρός αριθμός) $G_R = 10 \log \mathcal{G}_R$ [dB]
Μεταδιδόμενη ισχύς από την κεραία εκπομπής	W_T [W]
Προσλαμβανόμενη ισχύς από την κεραία λήψης	W_R [W]
Απόσταση ζεύξης (απόσταση κεραιών πομπού – δέκτη)	d [m]
Απόσταση σημείου της διαδρομής της ζεύξης από τη θέση εκπομπής στο έδαφος	d_1 [m]
Απόσταση σημείου της διαδρομής της ζεύξης από τη θέση λήψης στο έδαφος	d_2 [m]
Ύψος κεραίας εκπομπής / λήψης από το έδαφος	h_T , h_R [m]
Ακτίνα της Γης	$\alpha = 6\,370 \text{ km} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$
Διηλεκτρική σταθερά του εδάφους	$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_o$ [F m^{-1}]
Αγωγιμότητα του εδάφους	σ [S m^{-1}]
Μιγαδική διηλεκτρική σταθερά του εδάφους	$\varepsilon' = \varepsilon_o \left(\varepsilon_r + j \frac{\sigma}{2\pi f \varepsilon_o} \right)$

ΚΥΜΑ ΕΔΑΦΟΥΣ Γενική έκφραση για το ηλεκτρικό πεδίο: $E = E_o (1 + RDe^{-j\Delta} + (1 - R)Ae^{-j\Delta})$ με $E_o = \frac{\sqrt{60W_T \mathcal{E}_T}}{d}$ (πλάτος)	
Διαφορά φάσης λόγω διαφοράς διαδρομής απ' ευθείας – ανακλώμενου κύματος (ισχύει για $f > 30$ MHz)	$\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\sqrt{\left(\frac{h_T + h_R}{d}\right)^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{h_T - h_R}{d}\right)^2 + 1} \right] [\text{rad}]$ ή, αν $d > 5(h_T + h_R)$: $\Delta \approx \frac{4\pi h_T h_R}{\lambda d} [\text{rad}]$
Γωνία πρόσπτωσης στο έδαφος μετρημένη υπεράνω του ορίζοντα	$\psi = \tan^{-1} \frac{h_T + h_R}{d}$ Αν ψ πολύ μικρή: $\psi \cong \frac{h_T + h_R}{d} [\text{rad}]$
Συνάρτηση απόσβεσης	$F = 1 + RDe^{-j\Delta} + (1 - R)Ae^{-j\Delta}$ Αν $R \cong -1$, τότε: $\ F\ = 2 \left \sin \frac{\Delta}{2} \right $ Αν $R \cong -1$ και επιπλέον $\Delta < 20^\circ$, τότε: $\ F\ \approx \Delta$
ΚΥΜΑ ΧΩΡΟΥ $E_\chi = E_o (1 + RDe^{-j\Delta})$	
Συντελεστής ανάκλασης στο έδαφος α) οριζόντια πόλωση β) κατακόρυφη πόλωση	$R_o = \frac{\sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}$ $R_k = \frac{(\epsilon_r - j\chi) \sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}{(\epsilon_r - j\chi) \sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}$ με $\chi = \frac{\sigma}{2\pi f \epsilon_o} = 18 \cdot 10^9 \cdot \frac{\sigma}{f}$
Κριτήριο του Rayleigh για τη λειότητα της γήινης επιφάνειας	$\delta = \frac{4\pi \mathcal{D} \sin \psi}{\lambda} [\text{rad}]$, όπου $\mathcal{D}$ η τυπική απόκλιση των ανωμαλιών του εδάφους ως προς το μέσο ύψος της γήινης επιφάνειας [m] Αν $\delta < 0,1$, το έδαφος είναι λείο Αν $\delta > 10$, το έδαφος είναι ανώμαλο Αν $\mathcal{D} \sin \psi < \frac{\lambda}{16}$, ο συντελεστής ανάκλασης ελαττώνεται κατά το μισό ($R' = 0,5R$) Αν $\mathcal{D} \sin \psi < \frac{\lambda}{4}$, ο συντελεστής ανάκλασης ελαττώνεται κατά 90% ($R' = 0,1R$)
Συντελεστής απόκλισης	$D = \left[1 + \frac{2d_1 d_2}{a(h_T + h_R)} \right]^{-\frac{1}{2}} < 1 \quad (\alpha = 6,37 \text{ Mm})$

ΚΥΜΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	
$E_{\epsilon\pi} = E_o(1 - R)Ae^{-jA}$	
Συντελεστής απόσβεσης κύματος επιφάνειας	$A = \frac{-1}{1 + j \frac{2\pi d}{\lambda} (\sin \psi + z)^2} \text{ όπου}$ $z = \begin{cases} \frac{\sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}}{\epsilon} & \text{για κατακόρυφη πόλωση} \\ \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi} & \text{για οριζόντια πόλωση} \end{cases}$ $\epsilon = \epsilon_r - j60\lambda\sigma$
Φασική σταθερά	$b \approx \tan^{-1} \frac{1 + \epsilon_r}{\chi}$
Αριθμητική απόσταση	$p \approx \frac{\pi d}{\lambda \chi} \cos b$
Συντελεστής απόσβεσης κύματος επιφάνειας κατά Van der Pol (εμπειρικές σχέσεις)	$A = A_1 \approx \frac{2 + 0,3p}{2 + p + 0,6p^2} \text{ για } b < 5^\circ$ $A \cong A_1 - e^{-\frac{5}{8}p} \sin b \sqrt{\frac{p}{2}} \text{ για κάθε } b$
Συντελεστής απόσβεσης κύματος επιφάνειας (αναλυτικές εκφράσεις)	$A \cong e^{-0,43p + 0,01p^2} \text{ για } b < 5^\circ \text{ και } p < 4,5$ $A \approx \frac{1}{2p - 3,7} \text{ για } b < 5^\circ \text{ και } p \geq 4,5$

ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΑΦΗ	
Συνθήκη θεώρησης επίπεδης / σφαιρικής γης	$d \leq \frac{80}{\sqrt[3]{f}}, [f]=\text{MHz} : \text{η γη στη διαδρομή της ζεύξης θεωρείται επίπεδη}$ $d > \frac{80}{\sqrt[3]{f}}, [f]=\text{MHz} : \text{η γη στη διαδρομή της ζεύξης θεωρείται σφαιρική}$
Διόρθωση ύψους κεραίας εκπομπής	$h'_T = h_T - \frac{d_1^2}{2a} = h_T - \frac{d_1^2}{12,74} [\text{m}] \text{ (} [d_1]=\text{km} \text{)}$
κεραίας λήψης	$h'_R = h_R - \frac{d_2^2}{2a} = h_R - \frac{d_2^2}{12,74} [\text{m}] \text{ (} [d_2]=\text{km} \text{)}$
Γωνία πρόσπτωσης στο έδαφος μετρημένη υπεράνω του οριζοντα	$\psi = \tan^{-1} \frac{h'_T + h'_R}{d}$ Αν ψ πολύ μικρή: $\psi \cong \frac{h'_T + h'_R}{d} [\text{rad}]$
Συντελεστής απόκλισης	$D = \left[1 + \frac{2d_1d_2}{a(h'_T + h'_R)} \right]^{-\frac{1}{2}} < 1 \text{ (} \alpha = 6,37 \text{ Mm)}$

Διαφορά φάσης λόγω διαφοράς διαδρομής απ' ευθείας – ανακλώμενου κύματος (ισχύει για $f > 30$ MHz)	$\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\sqrt{\left(\frac{h'_T + h'_R}{d} \right)^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{h'_T - h'_R}{d} \right)^2 + 1} \right]$ ή, αν $d > 5(h_T + h_R)$: $\Delta \approx \frac{4\pi h'_T h'_R}{\lambda d}$ [rad]
Μέγιστη απόσταση ζεύξης οπτικής επαφής	$d_{ls,max} = \sqrt{2a}(\sqrt{h_T} + \sqrt{h_R})$ $d_{ls,max} = 3,57(\sqrt{h_T} + \sqrt{h_R})$ [km] ($[h_T],[h_R]=\text{m}$)
Ακτίνα πρώτης ζώνης Fresnel σε ορισμένη θέση πάνω στη διαδρομή της ζεύξης	$r = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}}$, όπου d_1, d_2 οι αποστάσεις του θεωρούμενου σημείου από τις κεραίες εκπομπής – λήψης αντίστοιχα
Γωνία περίθλασης	α_π : η γωνία μεταξύ του προσπίπτοντος στο εμπόδιο κύματος και του δευτερογενούς λόγω περίθλασης κύματος
Συμπληρωματική εξασθένηση ως προς τον ελεύθερο χώρο λόγω περίθλασης επί αιχμηρού εμποδίου	Βλ. σχήμα στην επόμενη σελίδα [1]
Απόσβεση του κύματος επιφάνειας λόγω περίθλασης και διάθλασης στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας	$A = \frac{0,62}{\sqrt[3]{\lambda}}$ [dB km ⁻¹]
Συμπληρωματικές απώλειες λόγω περίθλασης επί σφαιρικού εμποδίου για λείο σφαιρικό εμπόδιο για ανώμαλο σφαιρικό εμπόδιο	$A_{d,σφ} = 11,7a_\pi \sqrt{\frac{\pi R}{\lambda}}$ [dB] $A_{d,σφ} = 7,5a_\pi \sqrt{\frac{\pi R}{\lambda}}$ [dB] όπου R η ακτίνα του σφαιρικού εμποδίου
Συμπληρωματική απόσβεση ως προς τον ελεύθερο χώρο λόγω περίθλασης πάνω στη λεία και σφαιρική επιφάνεια της Γης	$A_{d,\Gamma\eta} = 17 + \frac{260d_o}{\sqrt[3]{\alpha^2 \lambda}}$ [dB] $A_{d,\Gamma\eta} = 17 + \frac{0,756d_o}{\sqrt[3]{\lambda}}$ [dB] ($[d_o],[\alpha]=\text{km}, [\lambda]=\text{m}$) όπου d_o το τμήμα της απόστασης ζεύξης εκτός ορατότητας
Συμπληρωματικές απώλειες λόγω περίθλασης επί σφαιρικού λόφου	$A_{d,λόφος} = \frac{260}{\sqrt[3]{R\lambda}}$ [dB km ⁻¹], όπου R η ακτίνα του σφαιρικού λόφου
Συμπληρωματικές απώλειες λόγω περίθλασης για έναν μέσο τύπο εδάφους (ούτε αιχμηρό ούτε στρογγυλό εμπόδιο)	$A_{d,\mu} = -20 \frac{h}{r} - 10$ [dB], όπου h η απόσταση της κορυφής του εμποδίου από τον οπτικό άξονα



$h_0 > 0$: η κορυφή του εμποδίου είναι κάτω από τον οπτικό άξονα της ζεύξης

$h_0 < 0$: η κορυφή του εμποδίου είναι πάνω από τον οπτικό άξονα της ζεύξης

ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ	
Τροποσφαιρικός δείκτης	K , $0,5 < K < 5$ σε συνθήκες συνθήκες $K=4/3$: αντιστοιχεί στο 50% του χρόνου $K=1$: αντιστοιχεί στο 99% του χρόνου
Δείκτης διάθλασης	n
Διαθλαστικότητα	$N = (n - 1) \cdot 10^6$
Τροποποιημένος δείκτης διάθλασης (h : ύψος από την επιφάνεια της Γης)	$M = \left(n - 1 + \frac{h}{\alpha} \right) \cdot 10^6$
Πρότυπη ατμόσφαιρα Ατμοσφαιρική πίεση Απόλυτη θερμοκρασία Μερική πίεση υδρατμών	$K = 4/3$ $P = 1013 \text{ mb} = 1,013 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}$ $T = 288 \text{ K}$ $e = 10 \text{ mb} = 10^3 \text{ N m}^{-2}$
Μέγιστη απόσταση ζεύξης οπτικής επαφής	$d_{ls, \max} = \sqrt{2K\alpha} (\sqrt{h_T} + \sqrt{h_R})$ $d_{ls, \max} = 4,12 (\sqrt{h_T} + \sqrt{h_R}) [\text{km}]$ ($[h_T], [h_R] = \text{m}$)
Διόρθωση ύψους κεραίας εκπομπής κεραίας λήψης τυχόντος σημείου στη διαδρομή της ζεύξης	$h'_T = h_T - \frac{d_1^2}{2K\alpha} = h_T - \frac{d_1^2}{12,74} [\text{m}]$ ($[d_1] = \text{km}$) $h'_R = h_R - \frac{d_2^2}{2K\alpha} = h_R - \frac{d_2^2}{12,74} [\text{m}]$ ($[d_2] = \text{km}$) $h' = h + \frac{d_1 d_2}{2K\alpha} [\text{m}]$ ($[d] = \text{km}$)
Συντελεστής απόκλισης	$D = \left[1 + \frac{2d_1 d_2}{a(h'_T + h'_R)} \right]^{-\frac{1}{2}} < 1$
ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ – ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΣΚΕΔΑΣΗ	
Μήκος κύματος αποκοπής τροποσφαιρικού κυματοδηγού	$\lambda_C \cong \frac{0,085}{\sqrt[3]{h_C^2}} [\text{cm}]$, όπου h_C το πάχος του κυματοδηγού [m]
Γωνία σκέδασης: η γωνία μεταξύ του άξονα της προσπίπτουσας δέσμης στον όγκο σκέδασης και της διεύθυνσης όπου θεωρείται η σκέδαση	$\theta = \frac{1000}{2K\alpha} (2d - d_1 - d_2) + \frac{h'_1 - h_T}{d_1} + \frac{h'_2 - h_R}{d_2} [\text{mrad}]$ όπου h'_T, h'_R τα ύψη εμποδίων κοντά στις κεραίες εκπομπής και λήψης αντίστοιχα ($[d] = \text{km}$, $[h] = \text{m}$) Αν η ζεύξη γίνεται πάνω από θάλασσα: ($h' = 0$) $\theta = \frac{0,157}{K} d - \frac{0,560}{\sqrt{K}} (\sqrt{h_T} + \sqrt{h_R}) [\text{mrad}]$
Πυκνότητα ισχύος στη θέση σκέδασης	$P(\theta) = \frac{W_T \mathcal{E}_T}{4\pi r_1^2 \theta^4} [\text{W m}^{-2}]$, όπου r_1 το μήκος της ηλεκτρομαγνητικής ακτίνας από την κεραία εκπομπής ως το κέντρο σκέδασης

Γωνία παρατήρησης του όγκου σκέδασης	$\alpha_0 = \frac{2d}{3a} [\text{rad}]$
Απώλειες σκέδασης (τύπος της ITU)	$L_{trsc} = 83 + 0,57\theta + 10 \log f - 0,2N [\text{dB}]$ ($[\theta]=\text{mrad}$, $[f]=\text{MHz}$)
Συνολικές απώλειες σύζευξης με το μέσο (με τον όγκο σκέδασης) (τύπος της ITU)	$L_{coup} = 0,07e^{0,055(G_r+G_R)} [\text{dB}]$

ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)	$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Μάζα ηλεκτρονίου	$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Διηλεκτρική σταθερά ελεύθερου χώρου	$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
Πυκνότητα ηλεκτρονίων	$N [\text{m}^{-3}]$
Ισοδύναμη σχετική διηλεκτρική σταθερά	$\epsilon_r = 1 - \frac{81N}{f^2}$ ($[N]=\text{m}^{-3}$, $[f]=\text{Hz}$)
Συχνότητα πλάσματος	$f_p = 9\sqrt{N} [\text{Hz}]$
Ισοδύναμη σχετική διηλεκτρική σταθερά στην περίπτωση θεώρησης συγκρούσεων των ηλεκτρονίων του πλάσματος με άλλα σωματίδια εντός αυτού	$\epsilon_r = \epsilon'_r + j\epsilon''_r$ $\epsilon'_r = 1 - \frac{Ne^2}{m_e \epsilon_0 (4\pi^2 f^2 + \nu^2)}$ (καθαρός αριθμός) $\sigma_{pl} = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon''_r = \frac{Ne^2 \nu}{m_e (4\pi^2 f^2 + \nu^2)} [\text{S m}^{-1}]$
Ενεργός αγωγιμότητα πλάσματος	
Γωνία πρόσπτωσης κύματος επί ιονοσφαιρικού στρώματος	φ_0 , μετρημένη από την κάθετο στην επιφάνεια του ιονοσφαιρικού στρώματος στο σημείο ανάκλασης
Μέγιστη τιμή	$\varphi_{0,max} = \sin^{-1} \frac{a}{a+h}$, h : ύψος της βάσης του ιονοσφαιρικού στρώματος από την επιφάνεια της Γης
Δείκτης διάθλασης στρώματος	$n = \sqrt{1 - \frac{81N}{f^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_p}{f}\right)^2}$ ($[N]=\text{cm}^{-3}$, $[f]=\text{kHz}$) $\text{Αν } f^2 \gg 81N, n \rightarrow 1$ $\text{Αν } f^2 < 81N, n \in \mathbb{C}$
Συχνότητα αποκοπής ή κρίσιμη συχνότητα στρώματος	$f_c = 9\sqrt{N_{max}}$, N_{max} : μέγιστη πυκνότητα e^- του στρώματος $\text{Αν } f < f_c$, το κύμα κάθετης πρόσπτωσης θα ανακλαστεί και θα επιστρέψει στη Γη

Μέγιστη χρησιμοποιήσιμη συχνότητα (maximum usable frequency)	$MUF = \frac{f_c}{\cos \varphi_0}$
Βέλτιστη συχνότητα λειτουργίας (fréquence optimum du travail)	$FOT \cong 0,85 \cdot MUF$
Υποθετικό ύψος στρώματος από την επιφάνεια της Γης	$h_{virt} = \frac{d}{2 \tan \varphi_0} \text{ [m]}$
Μέγιστη δυνατή απόσταση ιονοσφαιρικής ζεύξης σε σφαιρική γήινη επιφάνεια	$d = 2\alpha \left[\left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) - \sin^{-1} \left(\frac{\alpha}{\alpha + h_{virt}} \cos \beta \right) \right] \text{ [m]}$ $d_{max} = 2\alpha \cos^{-1} \frac{\alpha}{\alpha + h_{virt,max}} \text{ [m]}$
Κρίσιμη συχνότητα του στρώματος E (τύποι του CCIR)	$(f_c E)^4 = (92 + 35 \cos \theta) (1 + 0,0094 \Phi) (\cos \chi_*)^{m_1} \cdot (\cos \chi)^{1,20}, \theta > 32^\circ$ $(f_c E)^4 = (23 + 116 \cos \theta) (1 + 0,0094 \Phi) (\cos \chi_*)^{m_2} \cdot (\cos \chi)^{1,20}, \theta < 32^\circ$ όπου: θ : γεωγραφικό πλάτος της υπ' όψιν περιοχής χ_* : η μεσημβρινή τιμή της ζενίθιας γωνίας χ του Ήλιου $m_1 = 0,11 - 0,49 \cos \theta$ $m_2 = -1,93 + 1,92 \cos \theta$ $\Phi = \Phi^* - 66$, με Φ^* τη ροή του ηλιακού θορύβου στα 10,7 cm
Κρίσιμη συχνότητα του στρώματος F ₁	$f_c F_1 = (4,3 + 0,01R) (\cos \chi)^{0,2}$ όπου: χ η ζενίθια γωνία του Ήλιου R ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων

Βιβλιογραφία:

- [1] Κουρής Σταμάτιος Σ., *Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών και Διαδόσεως Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1985
- [2] Φικιώρης Ιωάννης Γ., *Εισαγωγή εις την Θεωρίαν των Κεραιών και την Διάδοσιν Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων*, Εκδόσεις Σελλούντος, Αθήνα, 1975

