

ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΖΕΥΞΕΙΣ

7^ο Εξάμηνο

Σώζος Κώστας

Άσκηση 1 – Υπολογισμός απλού Link (πχ Downlink)

Ο πομπός ενός επίγειου συστήματος λειτουργεί με έναν ταλαντωτή στα 29 GHz που παρέχει ισχύ 0.2 W και έναν HPA που παρέχει κέρδος κόρου $G_{sat}=38$ dB. Τον ενισχυτή και τον ταλαντωτή, συνδέει κανάλι με απώλειες 2 dB.

Βρείτε το EIRP του επίγειου πομπού αν αυτός λειτουργεί με 32 κανάλια και το BO σημείο για το ένα κανάλι είναι 1 dB κάτω από το P_{sat} . Η κεραία του πομπού έχει ακτίνα 2 m και απόδοση $\eta=0.6$. Κάθε κανάλι έχει $BW=72$ MHz.

$$P_{sat}=G_{sat}*P_{in} \quad P_{in}=P_{osc}-L \quad EIRP_{BO} = EIRP_{sat} - BO \quad BO_{mc} = BO_{sc} + 10\log(k) \quad G_{Tx} = 10 \log_{10}(109.66 f^2 d^2 \eta)$$

Η απόσταση του σταθμού με το δορυφόρο είναι 6000km και οι απώλειες ατμόσφαιρας και βροχής είναι 8 dB. Υπολογίστε τις συνολικές απώλειες στο Uplink.

$$L_{FSup} = 20 \times \log_{10}(6000) + 20 \times \log_{10}(29) + 92.44$$

Η κεραία του δέκτη έχει διάμετρο 1 m και $\eta=0.5$. Υπολογίστε το G/T εάν η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος είναι 390 K.

$$G/T_{sat} = G_{sat} - 10 \times \log_{10}(T_{sat}) \quad G_{Rx} = 10 \log_{10}(109.66 f^2 d^2 \eta)$$

Αν το link χρειάζεται να λειτουργεί με margin 4 dB, πόσο πρέπει να είναι το C/N στο δορυφορικό δέκτη;

$$BW = 72 \text{ MHz} \rightarrow 10 \times \log_{10}(72 \times 10^6) = 78.6 \text{ dB-Hz} \quad C/N = EIRP_{up} + G/T_{sat} - FSPL_{up} - L_{atmup} - k - BW$$

Άσκηση 2 – Υπολογισμός θερμοκρασίας θορύβου συστήματος

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας θορύβου του συστήματος πρέπει να υπολογίσουμε:

- A) τη θερμοκρασία της κεραίας
- B) τη θερμοκρασία των ενισχυτών από την εικόνα θορύβου τους
- Γ) τη θερμοκρασία λόγω απωλειών
- Δ) τη συνολική θερμοκρασία με τον τύπου του Friis

Έστω το παραπάνω σύστημα με:

$L_{\text{rain}}=2 \text{ dB}$

$L_{\text{atm}}=1 \text{ dB}$

$NF_{\text{LNA}}=2 \text{ dB}$

$NF_{\text{DC}}=3 \text{ dB}$

$NF_{\text{IFA}}=5 \text{ dB}$

$NF_{\text{UC}}=3 \text{ dB}$

$NF_{\text{HPA}}=9 \text{ dB}$

$L_1=0.5 \text{ dB}$

$L_2=1 \text{ dB}$

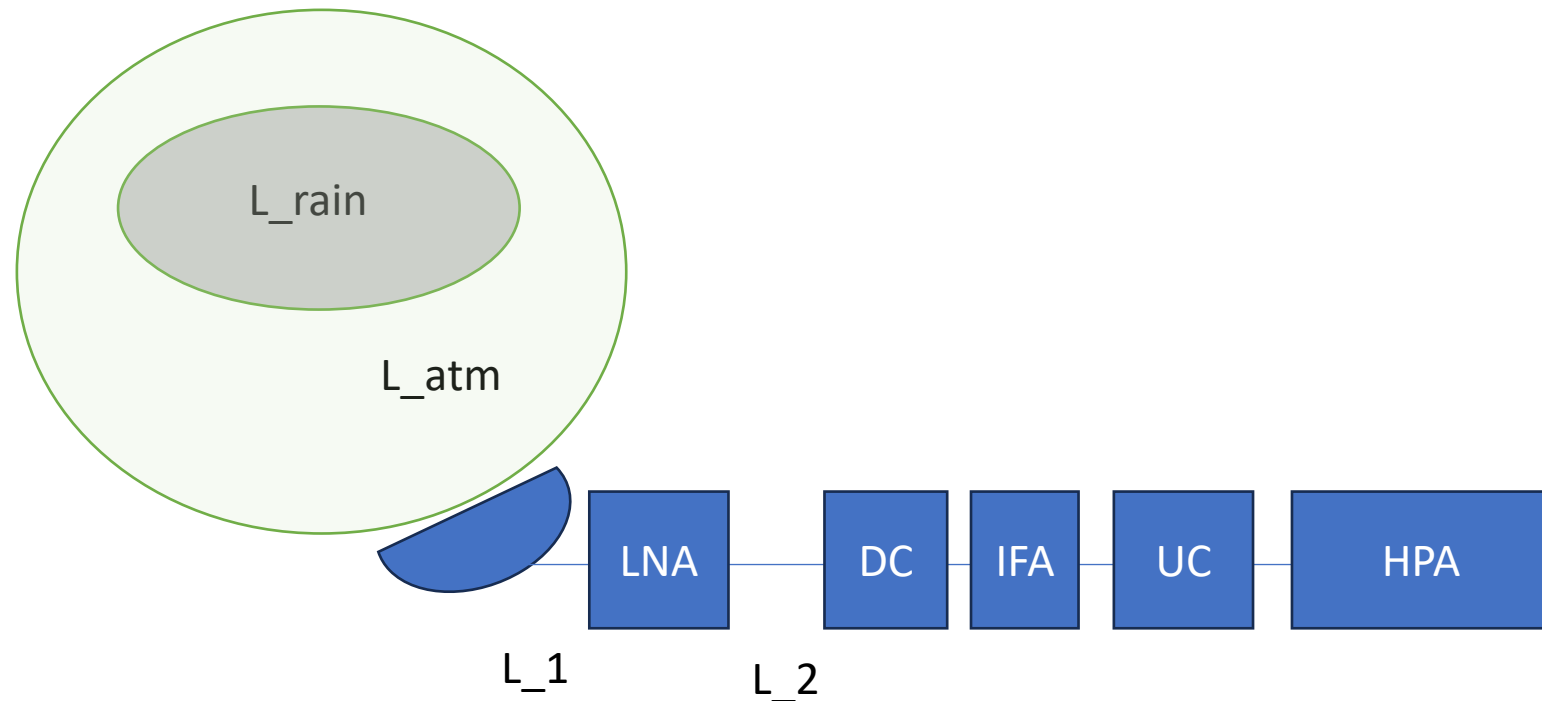
$G_{\text{LNA}}=16 \text{ dB}$

$G_{\text{DC}}=6 \text{ dB}$

$G_{\text{IFA}}=25 \text{ dB}$

$G_{\text{UC}}=3 \text{ dB}$

$G_{\text{HPA}}=33 \text{ dB}$



Άσκηση 2 – Υπολογισμός θερμοκρασίας θορύβου συστήματος

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας θορύβου του συστήματος πρέπει να υπολογίσουμε:

A) τη θερμοκρασία της κεραίας

B) τη θερμοκρασία των ενισχυτών από την εικόνα θορύβου τους και το γραμμικό τους κέρδος

Γ) τη θερμοκρασία λόγω απωλειών και το ανάστροφο κέρδος

Δ) τη συνολική θερμοκρασία με τον τύπου του Friis

A) $T_{\alpha} = T_{\text{rain}} \left(1 - \frac{1}{L_{\text{rain}} * L_{\text{atm}}} \right)$ όπου $T_{\text{rain}} = 275 \text{ K}$

$$T_{\alpha} = 275 \left(1 - \frac{1}{10^{\frac{2}{10}} * 10^{\frac{1}{10}}} \right) = 275 \left(1 - \frac{1}{1.58 * 1.259} \right) = 275 * 0.502 = 138.2 \text{ K}$$

B) $\text{nf}_{LNA} = 10^{\frac{2}{10}} = 10^{0.2} = 1.58$

$$G_{LNA} = 10^{\frac{16}{10}} = 10^{1.6} = 40$$

$$T_{LNA} = (\text{nf}_{LNA} - 1)T_0 = (1.58 - 1) \times 290 = 168.2 \text{ K}$$

$$\text{nf}_{UC/DC} = 10^{\frac{3}{10}} = 10^{0.3} = 2$$

$$G_{UC/DC} = 10^{\frac{3}{10}} = 10^{0.3} = 2$$

$$T_{UC/DC} = (\text{nf}_{UC/DC} - 1)T_0 = (2 - 1) \times 290 = 290 \text{ K}$$

Άσκηση 2 – Υπολογισμός θερμοκρασίας θορύβου συστήματος

B) $nf_{HPA} = 10^{\frac{9}{10}} = 10^{0.9} = 7.95$

$$G_{HPA} = 10^{\frac{33}{10}} = 10^{3.3} = 2000$$

$$T_{HPA} = (nf_{HPA} - 1)T_0 = (7.95 - 1) \times 290 = 2015 \text{ K}$$

$$nf_{IFA} = 10^{\frac{5}{10}} = 10^{0.5} = 3.16$$

$$G_{IFA} = 10^{\frac{25}{10}} = 10^{2.5} = 316$$

$$T_{IFA} = (nf_{IFA} - 1)T_0 = (3.16 - 1) \times 290 = 917 \text{ K}$$

Γ) $L_1 = 10^{\frac{0.5}{10}} = 10^{0.05} = 1.12$

$$G_1 = 1/L_1 = 0.89$$

$$T_1 = (L_1 - 1)T_0 = (1.12 - 1) \times 290 = 34.8 \text{ K}$$

$$L_2 = 10^{\frac{1}{10}} = 10^{0.1} = 1.258$$

$$G_2 = 1/L_2 = 0.795$$

$$T_2 = (L_2 - 1)T_0 = (1.258 - 1) \times 290 = 74.82 \text{ K}$$

$$\Delta) \quad T_{receiver} = T_a + T_1 + \frac{T_{LNA}}{G_1} + \frac{T_2}{G_1 G_{LNA}} + \frac{T_{DC}}{G_1 G_{LNA} G_2} + \frac{T_{IFA}}{G_1 G_{LNA} G_2 G_{DC}} + \frac{T_{UC}}{G_1 G_{LNA} G_2 G_{DC} G_{IF}} + \frac{T_{HPA}}{G_1 G_{LNA} G_2 G_{DC} G_{IF} G_{UC}}$$

$$\begin{aligned} T_{receiver} &= 138.2 + 34.8 + \frac{168.2}{0.89} + \frac{74.82}{35.6} + \frac{290}{28.3} + \frac{917}{56.6} + \frac{290}{17885} + \frac{2015}{35770} \\ &= 138.2 + 34.8 + 189 + 2.1 + 10.24 + 16.2 + 0.016 + 0.056 = 390.612 \text{ K} \end{aligned}$$

$$F_{system} = 1 + \frac{T_{receiver}}{T_0} = 1 + \frac{390.612}{290} = 2.35$$

$$NF_{system} = 10 \log_{10}(2.35) = 3.71 \text{ dB}$$

Άσκηση 3 – Υπολογισμός συνολικού Link Budget

Σε μια ζεύξη υπολογίζεται το Uplink $(C/N)_{UL}=17$ dB, το Downlink $(C/N)_{DL}=17$ dB και ο Transponder πρέπει να μεταδώσει $R_b=72$ Mbps με QPSK διαμόρφωση ενώ χρησιμοποιεί ένα RRC φίλτρο με Roll-off factor $\alpha=0.1$ για να περιορίζει την αλληλεπικάλυψη με γειτονικά κανάλια. Ο Transponder προσθέτει επίσης Intermodulation Noise με $(C/N)_{IM}=20$ dB.

1. Βρείτε το C/N για τη συνολική ζεύξη (Uplink και Downlink).
2. Βρείτε την C/N_0 και την E_b/N_0 . Επαρκεί για επιτυχημένη ζεύξη αν χρειαζόμαστε και 0.5 dB link margin;
3. Αν το Roll-off factor διπλασιαστεί θα προστεθεί στο συνολικό C/N μια νέα συνεισφορά λόγω αλληλεπικάλυψης με τα γειτονικά κανάλια $(C/N)_I=21$ dB. Θα αρκεί η E_b/N_0 σε αυτή τη περίπτωση;

❖ Το QPSK απαιτεί $E_b/N_0=9.6$ dB για $BER=10^{-5}$.

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_c} &= \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{UL}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{DL}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{IM}} \\ \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_c} &= \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{100} = 0.02 + 0.02 + 0.01 = 0.05 \\ \left(\frac{C}{N}\right)_c &= \frac{1}{0.05} = 20 \rightarrow \left(\frac{C}{N}\right)_c = 13 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad bw &= (1 + \alpha)R_s = 1.1 * 36 = 39.6 \text{ MHz} \\ BW &= 10 \log_{10}(bw) = 76 \text{ dBHz} \\ \left(\frac{C}{N_0}\right)_c &= \left(\frac{C}{N}\right)_c + BW = 89 \text{ dBHz} \\ R_b(\text{db}) &= 10 \log_{10}(R_b) = 78.6 \text{ dBHz} \\ \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_c &= \left(\frac{C}{N}\right)_c - R_b(\text{dB}) = 10.4 \text{ dB} \end{aligned}$$

Άσκηση 3 – Υπολογισμός συνολικού Link Budget

3.
$$\frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_c} = \frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_{UL}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_{DL}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_{IM}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_I}$$
$$\frac{1}{\left(\frac{C}{n}\right)_c} = \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{100} + \frac{1}{125.9} = 0.063$$
$$\left(\frac{C}{n}\right)_c = \frac{1}{0.06} = 15.87 \rightarrow \left(\frac{C}{N}\right)_c = 12 \text{ dB}$$

$$bw = (1 + a)Rs = 1.2 * 36 = 43.2 \text{ MHz}$$

$$BW = 10 \log_{10}(bw) = 76.3 \text{ dBHz}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_c = \left(\frac{C}{N}\right)_c + BW = 88.3 \text{ dBHz}$$

$$\left(\frac{Eb}{N_0}\right)_c = \left(\frac{C}{N}\right)_c - Rb(\text{dB}) = 9.7 \text{ dB}$$

Άσκηση 4 - Διαθεσιμότητα

Μια ζεύξη απαιτεί μέγιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας 2 λεπτά ανά μέρα.

- a) Από τον παρακάτω πίνακα βρείτε το ελάχιστο απαιτούμενο C/No για να επιτευχθεί η απαιτούμενη διαθεσιμότητά της.
- b) Πόσο θα ήταν το ελάχιστο δυνατό C/No αν κατά τη διάρκεια του χειρότερου μήνα χρειαζόμασταν link margin 3 dB για να εξασφαλίσουμε διαθεσιμότητα 99.9%;

C/No	Availability
>70 dBHz	90%
>78 dBHz	99%
>83 dBHz	99.9%
>87 dBHz	99.99%
>90 dBHz	99.999%

a) Ετήσια διακοπή λειτουργίας = $2 * 365 = 730 \text{ min} / 525.600 \text{ min} = 0.001389$

$$\text{Διαθεσιμότητα} = (1 - 0.001389) * 100\% = 99.86\%$$

$$C/No = 83 \text{ dB}$$

b) $C/No = 86 \text{ dB}$

Παραδείγματα ερωτήσεων

1. Μια ζεύξη είναι downlink limited. Αξίζει να επενδύσουμε στην αύξηση του μεγέθους της κεραίας εδάφους στο uplink;
2. Αν χρησιμοποιούμε στο κανάλι μας φίλτρο RRC με Roll-off factor $\alpha=0.2$, ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που καλύπτει ένας ADC 60 Msps χωρίς να δημιουργεί αλλοιώσεις;
3. Ένας δορυφόρος θέλει να καλύψει έναν χρήστη που βρίσκεται σε γωνία ίση με την 3-db beamwidth γωνία του δορυφόρου; Αν για έναν χρήστη που βρίσκεται στο επίκεντρο της δέσμης το link margin είναι 7 dB, πόσο είναι το link margin για το πρώτο χρήστη;

Όταν ένας transparent αναμεταδότης έχει είσοδο (άνω ζεύξη) σε συχνότητα 13,85GHz και τοπικό ταλαντωτή 1,244GHz, ποια θα είναι η συχνότητα εξόδου (κάτω ζεύξη);

- A) 15,094GHz.
- B) 12,606GHz.
- Γ) 12,647GHz.
- Δ) 12,729GHz.

Όταν δίνεται το περίγραμμα κάλυψης (ISO-Contour) για το G/T ενός δορυφόρου, για ποια ζεύξη παίρνουμε πληροφορία;

- A) Την άνω ζεύξη.
- B) Την κάτω ζεύξη.
- Γ) Τη συνολική ζεύξη.
- Δ) Δεν μπορεί να κατανοηθεί καμία ζεύξη.

Η μη γραμμικότητα εξόδου του ενισχυτή ενός δορυφορικού αναμεταδότη έχει επίπτωση:

- A) Στην άνω ζεύξη.
- B) Στην κάτω ζεύξη.
- Γ) Δεν έχει επίπτωση στη ζεύξη.

Σε έναν δορυφορικό δέκτη, σε ποιο σημείο πρέπει να τοποθετείται ο ενισχυτής χαμηλού θορύβου, ώστε να έχουμε τη μικρότερη θερμοκρασία θορύβου;

- A) Πριν τον HPA.
- B) Πριν τον μίκτη.
- Γ) Μετά την έξοδο της κεραίας.

Άσκηση 5 – Συνολική άσκηση

Χαρακτηριστικά	Uplink	Downlink
Συχνότητα	14 GHz	12 GHz
Rb για QPSK	60 Mbps	60 Mbps
Roll of Factor του ψηφιακού φίλτρου του επίγειου πομπού (α)	0.4	
Απαιτούμενο BER		10^{-4}
Απόσταση	38000 km	36000 km
Λοιπές απώλειες	5 dB	4 dB
Διάμετροι κεραιών	2 m $\rightarrow$ 4 m	4 m $\rightarrow$ 1 m
Θερμοκρασίες θορύβου κεραιών	300 K	50 K
Θερμοκρασία επίγειου δέκτη		50K
Ισχύς ταλαντωτή	0.01 W	
Απόδοση κεραιών	0.7 $\rightarrow$ 0.65	0.65 $\rightarrow$ 0.55

Εξαρτήματα	Gain _(sat)	NF
HPA επίγειος	20 dB	4 dB
LNA δορυφόρου	30 dB	2 dB
HPA δορυφόρου	46 dB	5 dB
Down Converter	10 dB	3 dB
IFA δορυφόρου	40 dB	3 dB
Απώλειες κεραίας-LNA	-2 dB	

Άσκηση 5 – Συνολική άσκηση

Υπολογίστε όλες τις παραμέτρους της ζεύξης και βρείτε το Link margin για το downlink.
Ποια διαθεσιμότητα μπορώ να πετύχω με βάση τον πίνακα;

Βήματα:

1. EIRP πομπών
2. Gain κεραιών
3. Απώλειες σε κάθε link
4. Θερμοκρασία θορύβου δορυφόρου
5. Συνολικό gain δορυφόρου
6. C/N, C/No και Eb/No για το Uplink το Downlink και το συνολικό link

C/No	Availability
>9 dBHz	90%
>11 dBHz	99%
>13 dBHz	99.9%
>14 dBHz	99.99%
>15 dBHz	99.999%

x	Q(x)
3.10	9.67603516e-04
3.20	6.87137823e-04
3.30	4.83424217e-04
3.40	3.36929198e-04
3.50	2.32629046e-04
3.60	1.59108666e-04
3.70	1.07799707e-04
3.80	7.23480557e-05
3.90	4.80963374e-05
4.00	3.16712418e-05
4.10	2.06575208e-05
4.20	1.33457601e-05
4.30	8.53989099e-06
4.40	5.41254204e-06
4.50	3.39767312e-06
4.60	2.11245470e-06
4.70	1.30080929e-06
4.80	7.93327400e-07
4.90	4.79180057e-07

Άσκηση 5 – Συνολική άσκηση

$$P_{sat} = G_{sat} * P_{in}$$

$$G_{T,Rx} = 10 \log_{10}(109.66 f^2 d^2 \eta)$$

$$t_{e\ in} = 290(nf - 1)$$

$$t_{e\ in} = 290(l - 1)$$

$$L_{FSup} = 20 \times \log_{10}(L) + 20 \times \log_{10}(f) + 92.44$$

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2} - 1}{G_1} + \frac{T_{e3} - 1}{G_1 G_2} \dots$$

$$G/T_{sat} = G_{sat} - 10 \times \log_{10}(T_{sat})$$

$$\frac{C}{N} = EIRP + \frac{G}{T} - L_{FS} + \sum L_o - 228.6 - B_N$$

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{N} + B_N \text{ (dBHz)}$$

$$k = -228.6 \frac{dBw}{KHz}$$

$$\frac{e_b}{n_0} = \frac{1}{R_b} \left(\frac{c}{n_0} \right) = \frac{b_N}{R_b} \left(\frac{c}{n} \right)$$

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2Eb}{N_0}} \right)$$

Άσκηση 6

- Εξετάστε μια δορυφορική σύνδεση με τις ακόλουθες παραμέτρους ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης:
- (α) Ποια είναι η σύνθετη αναλογία (C/N) για τη σύνδεση για καθεμία από τις ακόλουθες περιπτώσεις:
 - 1. AU = 15 dB και AD = 15 dB
 - 2. AU = 0 dB και AD = 15 dB
- (β) Ας υποθέσουμε ότι η σύνδεση απαιτεί σύνθετο C/N 10 dB για να λειτουργήσει. Στην περίπτωση AU = 0, ποια θα ήταν η μέγιστη τιμή AD που θα μπορούσε να προκύψει και να υποστηριχθεί;
- (γ) Αυτή η σύνδεση είναι περιορισμένη στην ανερχόμενη ή στην κατερχόμενη ζεύξη;

	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
Frequency (GHz)	14	12
Noise Bandwidth (MHz)	25	25
Transmit RF Power (watts)	100	20
Transmit Antenna Gain (dBi)	55	38
Free Space Path Loss (dB)	207	206
Total Atmospheric Path Loss (dB)	A _U	A _D
Mean Path Temperature (K)	290	270
Receive Antenna Gain (dBi)	37.5	52.5
Receiver Antenna Temperature (K)	290	50
Receiver Noise Figure (dB)	4	3

Άσκηση 6

1. EIRP Uplink:

$$P_{Tx,u}(\text{dBW}) = 10 \times \log_{10}(100) = 20.0 \text{ dBW}$$

$$\bullet \quad G_{Tx,u} = 10 \log_{10}(109.66 f^2 d^2 \eta) = 55 \text{ dBi}$$

$$P_{Tx,d}(\text{dBW}) = 10 \times \log_{10}(20) = 13.0 \text{ dBW}$$

$$\bullet \quad G_{Tx,d} = 10 \log_{10}(109.66 f^2 d^2 \eta) = 38 \text{ dBi}$$

$$\text{EIRP}_{up} = 20.0 + 55 = 75 \text{ dBW}$$

$$\text{EIRP}_{down} = 13 + 38 = 51 \text{ dBW}$$

2. FSPL :

$$\bullet \quad L_{FS} = 20 \times \log_{10}(L) + 20 \times \log_{10}(14) + 92.44 = 207 \text{ dB}$$

3. C/N:

$$\text{BW} = 20 \text{ MHz} \rightarrow 10 \times \log_{10}(20 \times 10^6) = 73.98 \text{ dB-Hz}$$

$$C/N_{up} = \text{EIRP}_{up} + G/T_{sat} - \text{FSPL}_{up} - L_{atm_{up}} - k - \text{BW} = 75 + 37.5 - 24.6 - 207 - 15 + 228.6 - 73.98 = 20.52 \text{ dB}$$

$$C/N_{down} = \text{EIRP}_{down} + G/T_{Rx} - \text{FSPL}_{down} - L_{atm_{down}} - k - \text{BW} = 51 + 52.5 - 17 - 207 - 15 + 228.6 - 73.98 = 19.12 \text{ dB-Hz}$$

4. Composite C/N

$$(C/N)_{down_lin} = 10^{(19.12/10)} = 81.65 \text{ Hz}$$

$$(C/N_o)_{up_lin} = 10^{(20.52/10)} = 112.7 \text{ Hz}$$

$$1/(C/N_o)_{total} = 0.00887 + 0.0122 = 0.02107$$

$$(C/N_o)_{total} = 1/0.02107 = 47.46 \text{ Hz} = 16.76 \text{ dB-Hz}$$