מגישים: שחף זוהר - 205978000
תום רצון – 209008291

Part 1

<u>חלק תיאורטי :</u>

1.

נתונים $f_c = 2.4GH_z$

$d_0 = 1$

המרחק בין האנטנות הוא $150m$

$transmit\ powr = 1mW$

Distance from Transmitter	$M = P_r/P_t$
10m	$-65\ dB$
50m	$-75\ dB$
100m	$-95\ dB$
200m	$-105\ dB$
500m	$-135\ dB$

$$K\ [dB] = 20\log_{10}\frac{\lambda}{4\pi d_0}$$

We first set up the MMSE error equation for the dB power measurements as

$$F(\gamma) = \sum_{i=1}^{5}[M_{measured}(d_i) - M_{model}(d_i)]^2$$

- $M_{measured}(d_i)$ is the path loss measurement in the Table at distance d_i
- $M_{model}(d_i) = K - 10\gamma\log_{10}(d)$ is the path loss based on simplified path – loss model at d_i ($d_0 = 1m$).

$$\left(P_r\ [dBm] = P_t\ [dBm] + K[dB] - 10\gamma\log_{10}\left[\frac{d}{d_0}\right]\right)$$

נחשב את γ כפי שבוצע בהרצאה

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3\cdot 10^8}{2.4\cdot 10^9} = \frac{1}{8}m \rightarrow K_{[dB]} = 20\cdot\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot d_0}\right) = -40.046_{dB}$$

נציב בנוסחה :

$$F(\gamma) = (-65 + 40.046 + 10\cdot\gamma)^2 + (-75 + 40.046 + 16.9\cdot\gamma)^2 + (-95 + 40.046 + 20\cdot\gamma)^2 + (-105 + 40.046 + 23\cdot\gamma)^2 + (-135 + 40.046 + 26.98\cdot\gamma)^2$$

$$F(\gamma) = (-24.954 + 10\cdot\gamma)^2 + (-34.954 + 16.9\cdot\gamma)^2 + (-54.954 + 20\cdot\gamma)^2 + (-64.954 + 23\cdot\gamma)^2 + (-94.954 + 26.98\cdot\gamma)^2$$

$$F(\gamma) = 2042.53\cdot\gamma^2 - 11990.28\cdot\gamma + 18099.71$$

נגזור את זה ונשווה לאפס נמצא את המינימום :

$$0 = 4085.06\cdot\gamma - 11990.28 \rightarrow \gamma_{min} = 2.954$$

עכשיו לאחר שמצאנו את γ נחשב את עוצמת האות שמתקבל במקלט בעזרת הנוסחה הזאת:

$$\frac{P_r}{P_t} = K\left[\frac{d_o}{d}\right]^{\gamma}$$

$$P_r = P_t\cdot K\cdot\left[\frac{d_0}{d}\right]^{\gamma} \rightarrow K_{dB} = \{-40.046\ to\ watts\ \ K_W = 9.894\cdot 10^{-5}\} \rightarrow$$

$$P_r = 9.894\cdot 10^{-5}\cdot\left[\frac{1}{150}\right]^{2.954}\cdot 2.4\cdot 10^9 = 8.94\cdot 10^{-2}{}_W$$

2. תחת אילו תנאים המודלים זהים (בין ה *free-space path loss* לבין *simplified path loss*).

מהרצאה נוסחה של

free-space path loss: $\frac{P_r}{P_t} = G_tG_r\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ *simplified path loss* : $\frac{P_r}{P_t} = K\left[\frac{d_o}{d}\right]^{\gamma}$

מאחר ו d מופיע בשתי הנוסחאות נקבע את $\gamma = 2$ כך נקבל $\frac{P_r}{P_t} = K\cdot\left[\frac{d_0}{d}\right]^2 = G_t\cdot G_r\cdot\left(\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot d}\right)^2 \leftarrow$ נצמצם ב d^2

ונקבל ש $d_0 = \frac{\lambda}{4\cdot\pi}$ ובנוסף $K = G_t\cdot G_r$

3. עכשיו נתבקש לחשב יחס אות לרעש בהתאם לנתונים החדשים:

$$P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10}\left[\frac{P_W}{1mW}\right]$$

$$P_t = 10 \cdot \log_{10}\left[\frac{0.01}{0.001}\right] = 10\log_{10}10 = 10_{dBm} - 30 = -20_{dB}$$

נשתמש בנוסחה הנ"ל למצוא את P_r כאשר $SNR = 20_{dB},\ P_n = -160_{dBm}$

$$SNR[dB] = 10\log\left(\frac{P_r}{noise}\right) = P_r[dB] - noise[dB] \geq 20$$

נעביר את הרעש להיות ב dB $\leftarrow$

$$-160_{dBm} = noise_{dB} - 30 \rightarrow noise_{dB} = -190$$

$$SNR_{[dB]} = P_{r\,[dB]} - noise_{[dB]} = 20 - (-190) = 210_{[dB]}$$

נחשב את d לפי הנוסחה

$$\mathrm{P_r}(dBm) = P_t(dBm) + K(dB) - 10\,\gamma\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

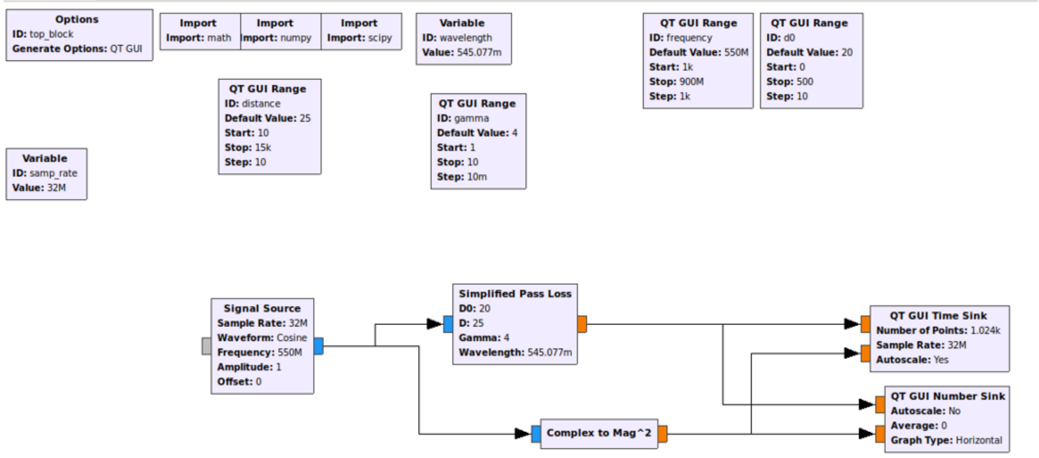
$$P_r(dB) = -20 = -20 - 40.046 - 10 \cdot 4 \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{1}\right)$$

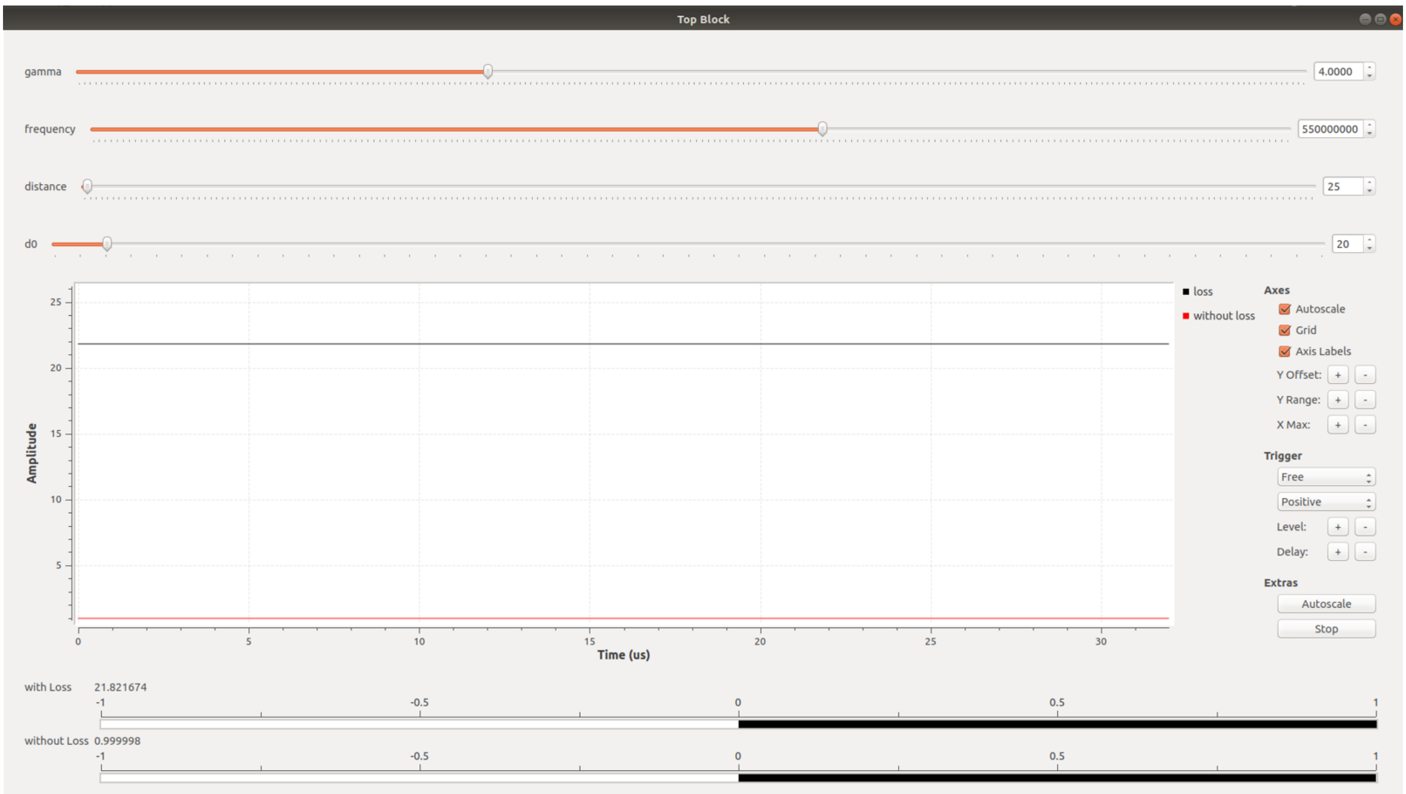
$$40.046 = -10 \cdot 4 \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{1}\right)$$

$$-1.0046 = \log_{10}\left(\frac{d}{1}\right) \rightarrow d = 9.894 \cdot 10^{-2}$$

סימולציה:

הקוד שלנו





קוד Python

```
Each time this file is saved, GRC will instantiate the first class it finds
to get ports and parameters of your block. The arguments to __init__  will
be the parameters. All of them are required to have default values!
"""

import numpy as np
import math
from gnuradio import gr


class blk(gr.sync_block):  # other base classes are basic_block, decim_block, interp_block
    """Embedded Python Block example - a simple multiply const"""

    def __init__(self,d0=20,d=1,gamma=0,wavelength=100):  # only default arguments here
        """arguments to this function show up as parameters in GRC"""
        gr.sync_block.__init__(
            self,
            name='Simplified Pass Loss',   # will show up in GRC
           in_sig=[np.complex64],
           out_sig=[np.float32]
        )

        # if an attribute with the same name as a parameter is found,
        # a callback is registered (properties work, too).
        self.wavelength=wavelength
        self.d0=d0
        self.d=d
        self.gamma=gamma
        self.K=abs(20*math.log10(wavelength/(4*np.pi*d0)))
        #self.K=np.square(wavelength/(4*np.pi*d0))
        print(np.power((self.d0/self.d),self.gamma))
        print(self.K*np.power((self.d0/self.d),self.gamma))

    def work(self,output_items,input_items):
        """example: multiply with constant"""
        output_items[0][:] =abs(input_items[0])*self.K*np.power((self.d0/self.d),self.gamma)
        return len(output_items[0])
```

- החישוב של λ ו K חישבנו בתוך האיתחול בקוד ה Python
- החישוב שלנו עבור ה $P_r = P_t \cdot K \cdot \left[\frac{d_0}{d}\right]^{\gamma}$

4. הסבר על complex to Mag^2 : נרצה לקבל P_r ביחידות של הספק לכן נשתמש בבלוק הנ"ל בכדי להמיר את התוצאה המרוכבת,כלומר לקחת מספר מרוכב ולמצוא את המגניטודה שלו בריבוע. השימוש כאן הוא להעביר מדגימה מרוכבות של האות בזמן להיות ביחידות של הספק.

5. d_0 הוא המרחק הייחוס , מאיזה מרחק עוברים מה אנטנה עם הסביבה הקרובה לאנטנה עם הסביבה הרחוקה , התנהגות הגלים בסביבה הקרובה לאנטנה Scattering של PATH-LOSS לא רלוונטית, ואילו התנהגות הגלים בסביבת האנטנה הרחוקה כן מקבלים דעיכה אקספוננציאלית.
נשים לב שככל שנעלה את ערך ה d_0 המתח האות בנקלט במקלט גדל, (יחס ישיר) אפשר לראות את זה כפי שהצגנו בנוסחה לחישוב ההספק . נסים לב כי לפי הנוסחאות:

$$K = \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)^2, \frac{P_r}{P_t} = K \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^{\gamma} \rightarrow \frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^{\gamma}$$

כלומר,כפי שציינו כבר לפי d_0 נקבע סף ההנחתה הראשוני של הגל , וכל $d > d_0$ אחר נקבל את ההנחת שלו כתלות ב γ של הסביבה. לכן ככל שנגדיל יותר את d_0 נקבל הנחתה מהירה יותר.

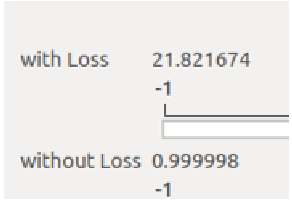
6. כמו כן נזכור כי γ הוא קצב הדעיכה האקספוננציאלי של האות כתלות במרחק, הערך תלוי בהתפשטות האות במרחב מסוים. ניתן להשיג אותה על ידי מציאת מינימום לMSE בהתאם למדידות במרחבים שונים. בנוסף נשים לב כי ככל שנעלה את γ בהנחה $d > d_0$ נקבל כי המתח במקלט קטן, ניתן לראות מטבלת הסביבות שככל שהסביבה קטנה יותר כך γ הנדרש לשידור מותלח קטן יותר .

7. עכשיו נחשב עבור 5 מדידות את ה P_r בעזרת הנוסחה : $P_r = P_t \cdot K \cdot \left[\frac{d_0}{d}\right]^{\gamma}$

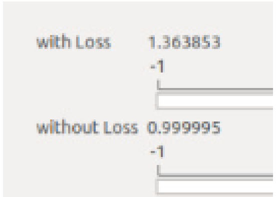
קבועים : $f = 5.5 \cdot 10^{6}_{Hz}\ , K = 20\log_{10}\left[\frac{\frac{3\cdot 10^{8}}{550\cdot 10^{6}}}{4\cdot\pi\cdot 20}\right] = -53.2763 \cdot , \gamma = 4, d_0 = 20_m$

עשינו על K ערך מוחלט בשביל הצגה הפלט

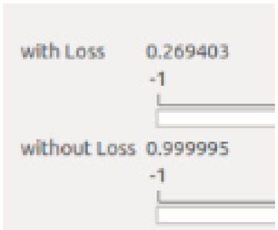
$$d = 25 \to P_r = 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^4 = 21.819$$



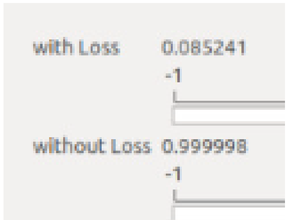
$$d = 50 \to P_r = 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{50}\right]^4 = 1.363$$



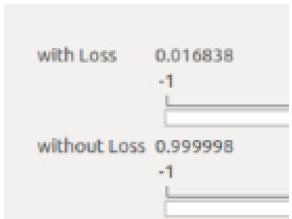
$$d = 100 \to P_r = 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{75}\right]^4 = 0.2694$$



$$d = 100 \to P_r = 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{100}\right]^4 = 0.0852$$

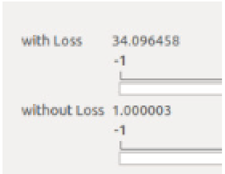


$$d = 150 \to P_r = 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{150}\right]^4 = 0.0168$$

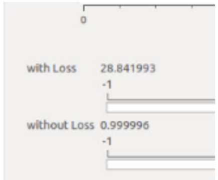


8. עכשיו עם ערכי γ שונים ומרחק קבוע נקבע 25

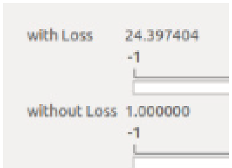
$$\gamma = 2 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{2} = 34.096$$



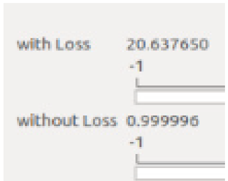
$$\gamma = 2.75 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{2.75} = 28.85$$



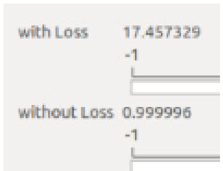
$$\gamma = 3.5 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{3.5} = 24.39$$



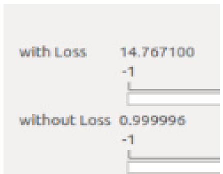
$$\gamma = 4.25 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{4.25} = 20.638$$



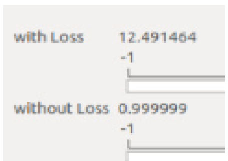
$$\gamma = 5 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{5} = 17.456$$



$$\gamma = 5.75 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{5.75} = 14.77$$



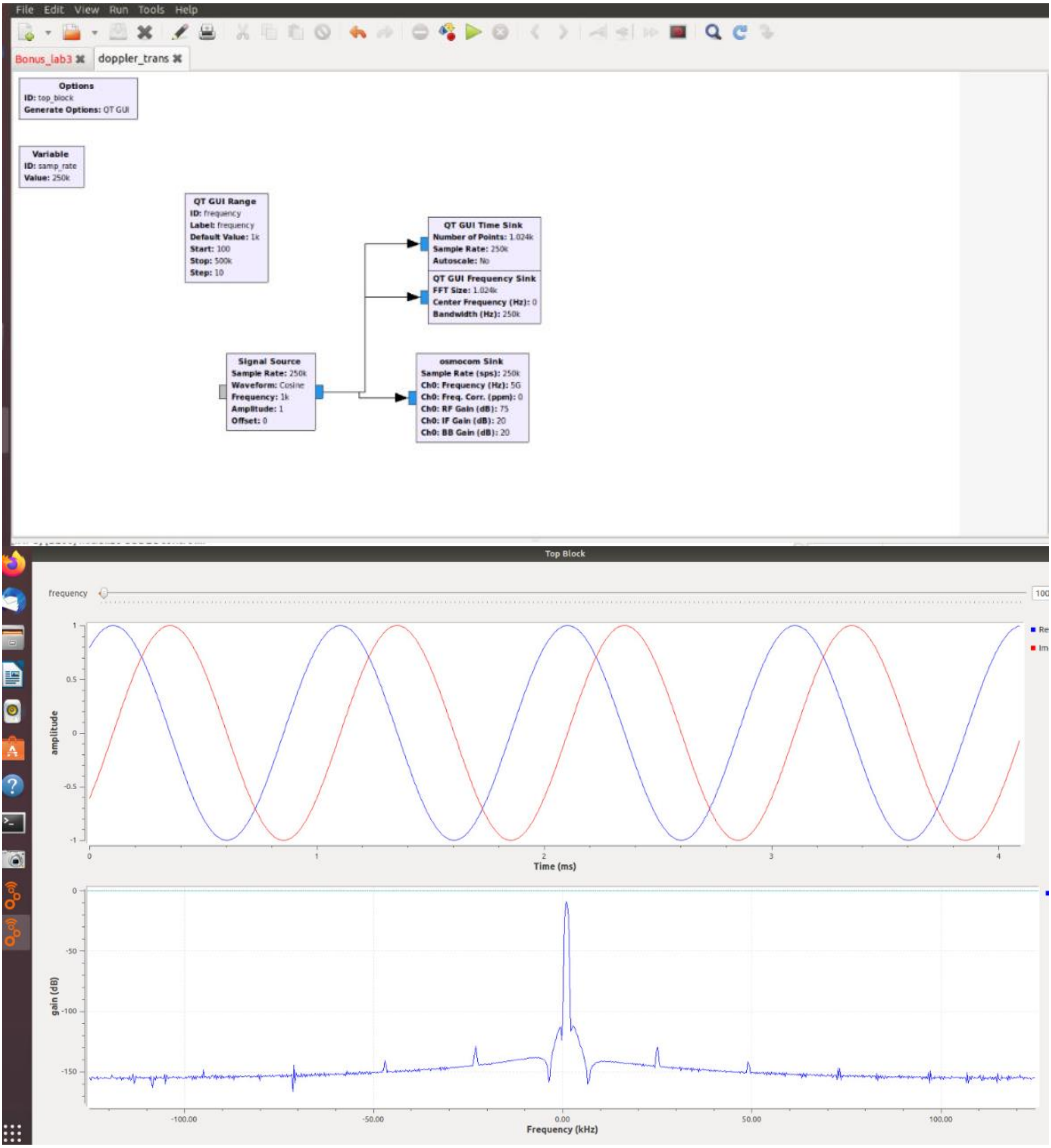
$$\gamma = 6.5 \rightarrow 1 \cdot 53.2763 \cdot \left[\frac{20}{25}\right]^{6.5} = 12.5$$



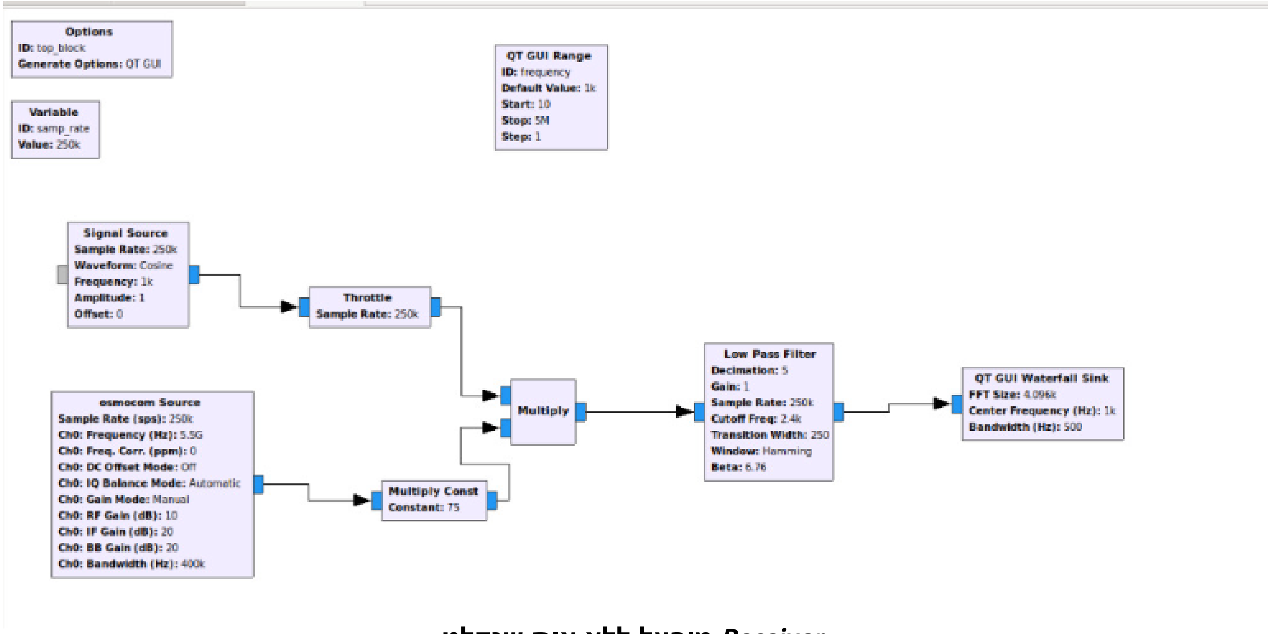
Part 2

9. המערכת שלנו מתבססת על *Continuous-wave radar* אנחנו משדרים גל קוסינוס ובמקלט אנחנו קולטים את גל הקוסינוס ומכפילים אותו ביחידת קוסינוס זהה לגל המשודר עם אותו תדר. מזהויות טריגונומטריות נקבל את הגל בהפרש התדרים ובסכומם. שידרנו את הגל קוסינוס שלנו $1KHz$.

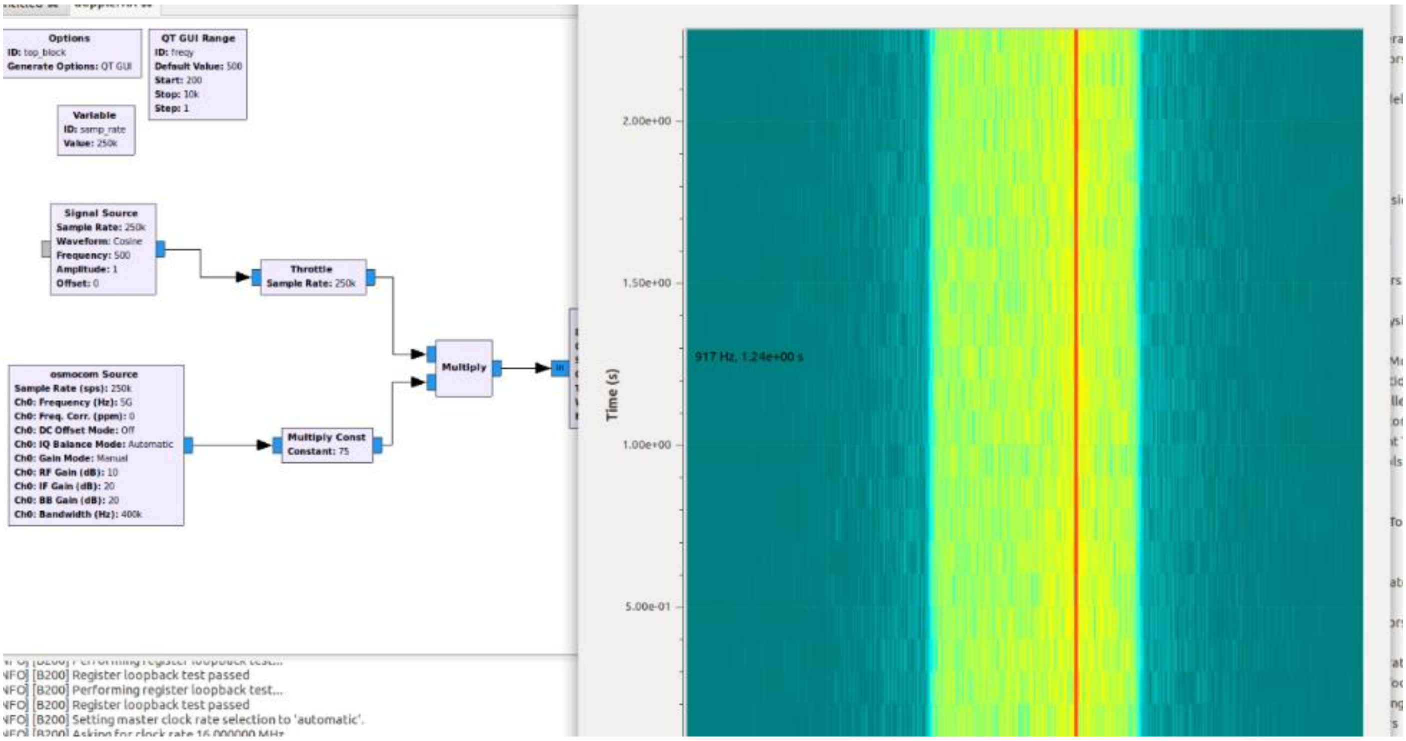
Transfer



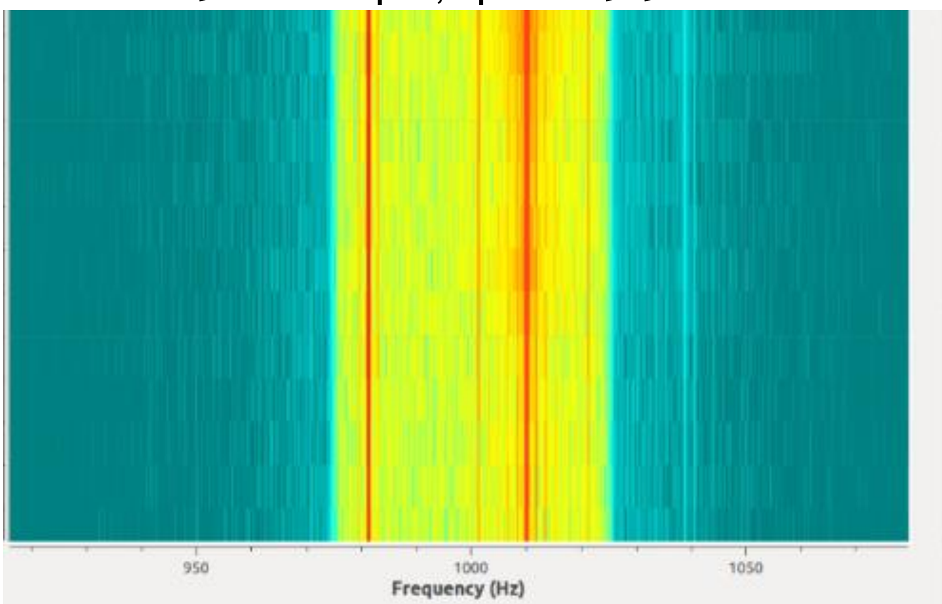
Receiver



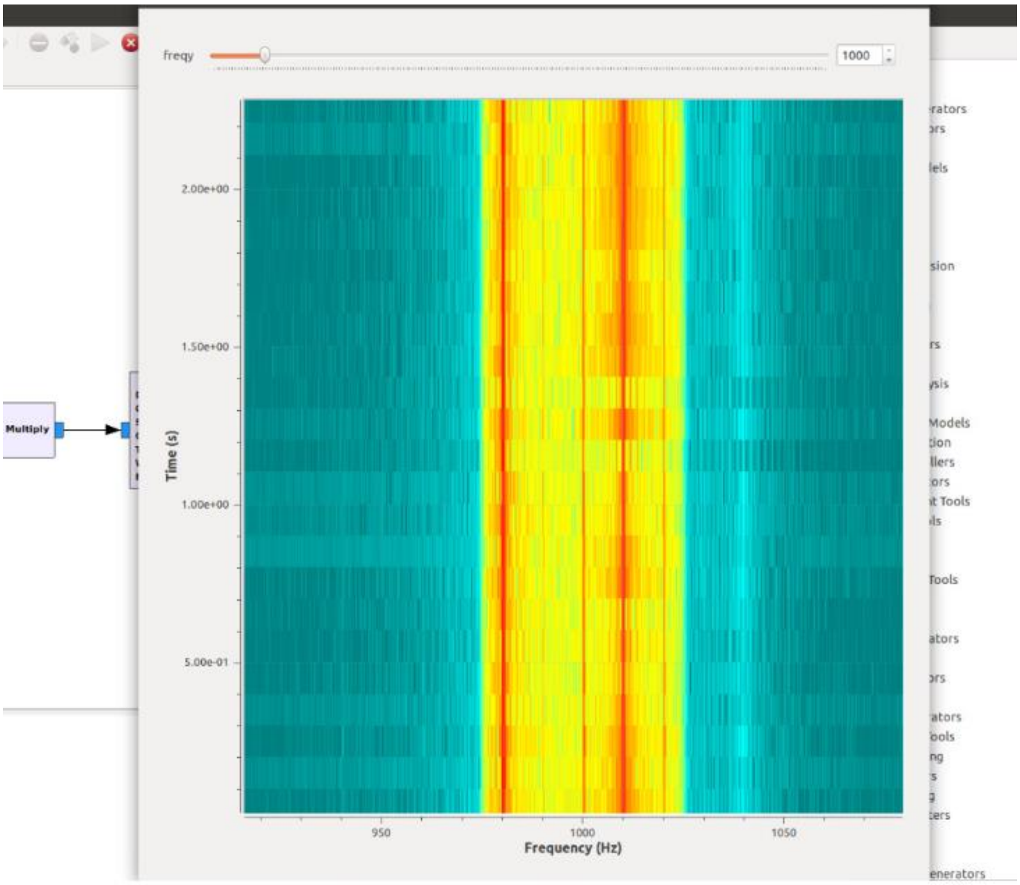
מופעל ללא אות שנקלט *Receiver*



מופעל עם אות שנקלט, ספקטרום ללא תנועה *Receiver*



ספקטרום עם תנועה



- **אפשר לראות מריחות סביב הקווים האדומים, של האות שמתקבל וגם את המהירות וכיוון התנועה.**
- **הסירטונים בקובץ נפרד עם שאר התמונות**

10. איך נגלה את מהירות האובייקט? אז לפי הנוסחא הבאה $f = \frac{(c\pm v_r)}{(c\pm v_s)} \cdot f_0$, כלומר נשתמש בסטיית התדר שנוצר עקב אפקט דופלר בגלל הקשר $f_d = \frac{(v\cos\alpha)}{\lambda}$,
כדי לחשב את המרחק נשתמש בהפרש הפאזות זה יגיד לנו כמה זמן יקח לגל לחזור אליינו $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{d}{c}$
f תדר האות הנקלט
f_0 תדר האות המשודר
v_r מהירות המקלט ביחס לאובייקט
v_s מהירות האובייקט ביחס למקלט

דרך נוספת לגלות את המרחק : כדי לחשב את המרחק נרצה לשלוח פולס בודד ולמדוד את הפרש הזמנים בין השידור לבין קבלת ההאפקט , עכשיו לאחר שחישבנו את המהירות נוכל למצוא את המרחק שלנו על ידי הנוסחא $2d = \Delta t \cdot v_s$.

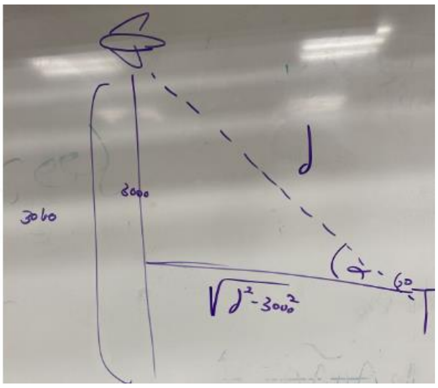
11. נשים לב שככל שהאובייקט המפריע גדול יותר ואו נע במהירות גבוהה יותר הוא יצור יותר אויווטים באות שמתקבל על ידי המקלט. על מנת "לנטרל" את רוב ההפרעות נוכל לבחור תדר שידור גבוהה יותר אך בזבזני יותר ובכך רזולוציית התדר המתקבל תמזער את רזולוצית אפקט הדופלר.
12. ככל שההספק שידור יותר חזק נוכל לקלוט יותר תנועות של גופים במרחב , נקבל יותר מופעים של האפקט מאובייקטים שונים, וגם ההפרעות יהיו יותר ברורות "מדוייקות" . בגלל שיש ניחות מאוד חזקה של גלים בתדר גבוה, ואנחנו רוצים שהגל גם יחזור אלינו אחרי פגיעה בגוף (שם הוא מאבד אנרגיה, ועובר פי 2 מרחק), נהיה צריכים לחזק בהספק גבוה.

Theoretical Questions

13. נתונים: $978MHz \pm 500Hz$ הוא טווח הקליטה של התחנה. מהירות המטוס $V = 700\frac{Km}{h} \sim 194.44\,\frac{m}{s}$, גובה המגדל הוא $H_t = 3060m$ מטר.

a. בהינתן שהמטוס טס בגובה של $H_{air} = 3060m$
נרצה למצוא מרחק בין המטוס למגדל השידור בו האפקט יצור הפרעה אשר תזיז את תדר השידור מחוץ לטווח הקליטה. כלומר ליצור *doppler shift* גדולה מ-*500Hz*.
נשתמש בנוסחא: $\lambda = \frac{c}{f} = 0.3607m\,,\ f_d = \frac{(V\,cos\alpha)}{\lambda} \le 500Hz$
נמצא את α

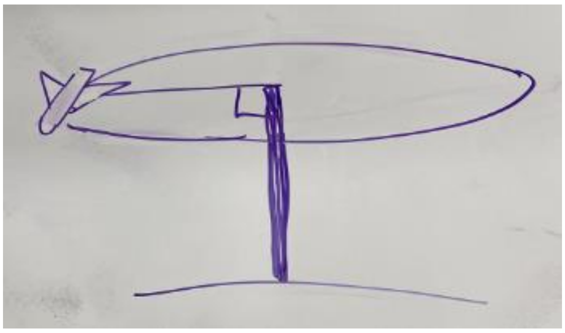
$$500 = \frac{(194.44\ cos\alpha)}{0.3607} \to cos\alpha = 0.78879 \to cos^{-1}(0.78879) = \alpha \to \alpha = 37.926$$



$$\sin\alpha = 0.614 = \frac{\Delta h}{d} = \frac{3000}{d} \to d \ge 4880.824m$$

זהו המרחק הישיר המינימלי מהמטוס עבורו המגדל לא יזהה את המטוס.

b. אם המטוס יטוס במסלול מעגלי סביב המגדל, הזווית בין וקטור המהירות שלו לבין וקטור התנועה של הגל יהיו ניתצבים, ומהעובדה ש $f_d = cos\frac{\pi}{2} = 0$



14. נמצא את כל הפרמטרים ונמיר יחידות

$$h = 50m\,, \lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{5GHz} = 0.06m, V = 140\frac{Km}{h} = 38.88\frac{m}{s}\,, d = 283.55m$$

$$tan\ \alpha = \frac{h}{d} = \frac{50}{283.55} \to \alpha = tan^{-1}\left(\frac{50}{283.55}\right) = 10$$

$$f_d = \frac{(V\ cos\alpha)}{\lambda} \to f_d = \frac{38.88\cos 10}{0.06} = 638.154\ Hz$$