

Εργαστήριο 2: Διαμόρφωση Πλάτους (AM)  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Μάρκος Δελαπόρτας<sup>1</sup>

Μάρτιος 2024

<sup>1</sup>E-mail: ece01316@uowm.gr

## Abstract

Αυτή η εργαστηριακή άσκηση έχει δύο στόχους: Ο πρώτος είναι να αποκτήσετε μια εμπειρία από πρώτο χέρι στον πραγματικό προγραμματισμό του USRP ώστε να λειτουργεί ως πομπός και δέκτης. Το δεύτερο είναι να διερευνήσετε τη κλασική διαμόρφωση αναλογικού πλάτους και τον ανιχνευτή περιβάλλουσας.

## I Εισαγωγή

Η διαμόρφωση πλάτους (AM) είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους διαμόρφωσης. Εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σήμερα σε διάφορα συστήματα, συμπεριλαμβανομένου, φυσικά, του ραδιοφώνου εκπομπής AM. Σε ψηφιακή μορφή είναι η πιο κοινή μέθοδος μετάδοσης δεδομένων μέσω οπτικής ίνας. Αν  $m(t)$  είναι σήμα μηνύματος **βασικής ζώνης** με **μέγιστη τιμή**  $m_p$  και  $A_c \cos(2\pi f_c t)$  είναι το **φέρων σήμα** στη συχνότητα φέροντος  $f_c$ , τότε μπορούμε να γράψουμε το **AM σήμα**  $g(t)$  ως:

$$g(t) = A_c \left[ 1 + \mu \frac{m(t)}{m_p} \right] \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

όπου η παράμετρος  $\mu$  ονομάζεται **δείκτης διαμόρφωσης** και λαμβάνει τιμές:  $0 \leq \mu \leq 1$  σε κανονική λειτουργία. Αν  $m(t) = m_p \cos(2\pi f_m t)$  τότε το AM σήμα θα εκφραστεί ως<sup>1</sup>

$$g(t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{A}{2} \mu \cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \frac{A}{2} \mu \cos(2\pi(f_c + f_m)t) \quad (2)$$

Στην παραπάνω έκφραση ο πρώτος όρος είναι ο **φορέας**, και ο δεύτερος και ο τρίτος όρος είναι οι **κάτω (LSB) και άνω (USB) πλευρικές ζώνες**, αντίστοιχα. Στο γράφημα (1) φαίνεται ένα φέρων σήμα με συχνότητα 20kHz, διαμορφωμένο από ένα ημιτονοειδές με συχνότητα 1kHz στο 50% & 100% δείκτη διαμόρφωσης.

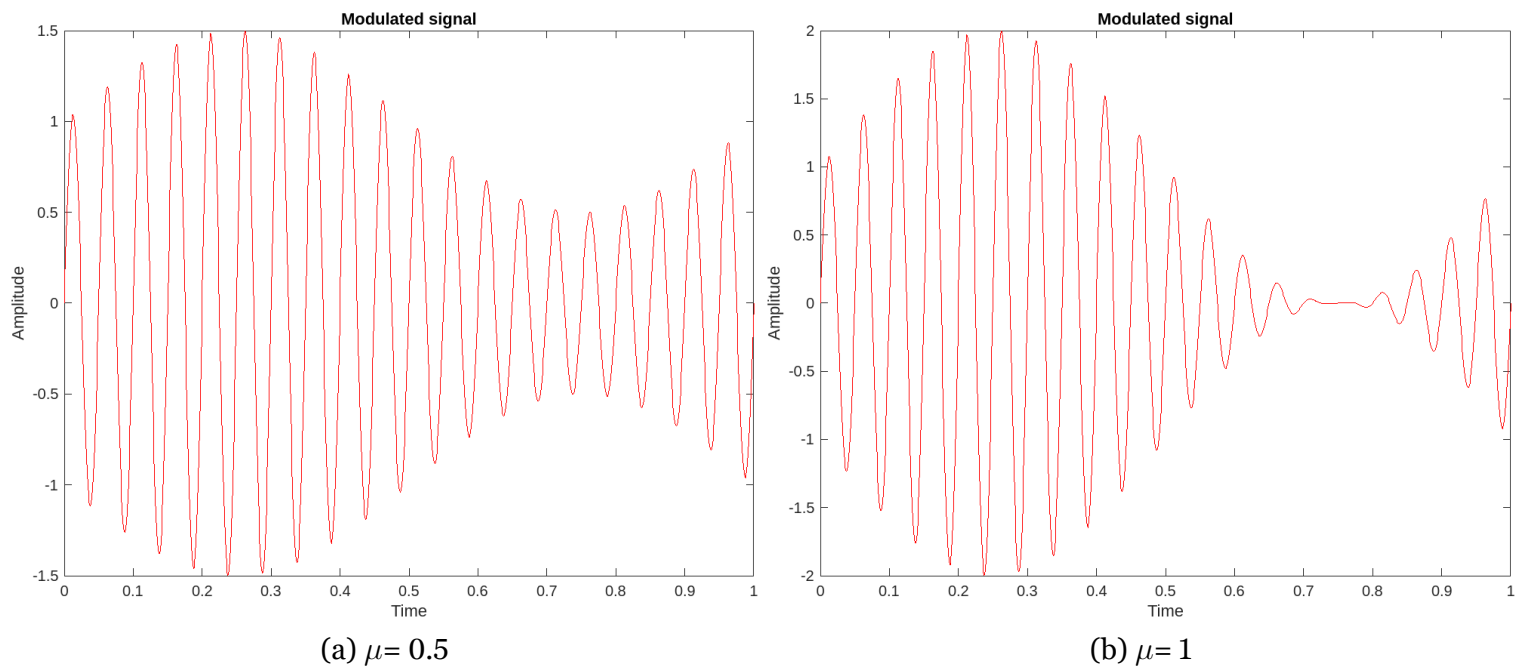


Figure 1: Σήμα Διαμορφωμένο κατά Πλάτος

Όταν το διαμορφωμένο σήμα φτάνει στο δέκτη, έχει τη μορφή:

$$r(t) = \hat{A} \left[ 1 + \mu \frac{m(t)}{m_p} \right] \cos(2\pi f_c t + \theta) + n(t) \quad (3)$$

όπου το πλάτος του φέροντος  $\hat{A}$  είναι συνήθως το πολύ μικρότερο από το πλάτος  $A$  του φέροντος που μεταδόθηκε, η γωνία  $\theta$  αντιπροσωπεύει τη διαφορά φάσης μεταξύ των ταλαντωτών φορέα πομπού και δέκτη και  $n(t)$  αντιπροσωπεύει

<sup>1</sup> $\cos(x) \times \cos(y) = \frac{1}{2}(\cos(x-y) + \cos(x+y))$ ,  $\sin(x) \times \sin(y) = \frac{1}{2}(\cos(x-y) - \cos(x+y))$   
 $\sin(x) \times \cos(y) = \frac{1}{2}(\sin(x+y) + \sin(x-y))$ ,  $\sin(x) \times \sin(y) = \frac{1}{2}(\sin(x+y) - \sin(x-y))$

τον θόρυβο. Θα ακολουθήσουμε μια κοινή πρακτική και θα αντισταθμίσουμε τη συχνότητα ταλαντωτή του δέκτη από τη φέρουσα συχνότητα  $f_c$  του πομπού. Αυτό δίνει το σήμα:

$$\hat{r}(t) = \hat{A} \left[ 1 + \mu \frac{m(t)}{m_p} \right] \cos(2\pi f_{IF}t + \theta) + n(t) \quad (4)$$

όπου η λεγόμενη **ενδιάμεση συχνότητα** δίνεται από:  $f_{IF} = f_c - f_o$ . Στο δέκτη, το σήμα  $\hat{r}(t)$  μπορεί να περάσει μέσα από ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης για να αφαιρεθούν οι παρεμβολές από ανεπιθύμητα σήματα σε συχνότητες κοντά στην  $f_c$ . Συνήθως το σήμα  $\hat{r}(t)$  ενισχύεται επίσης. Η αποδιαμόρφωση του σήματος  $\hat{r}(t)$  μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση φωρατή περιβάλλουσας (envelope detector) είτε με τη χρήση σύγχρονου ανιχνευτή ΑΜ. Ένας φωρατής περιβάλλουσας μπορεί να υλοποιηθεί ως ανορθωτής ακολουθούμενος από ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης. Η περιβάλλουσα  $E(t)$  του  $\hat{r}(t)$  δίνεται από:

$$E(t) = \hat{A} \left[ 1 + \mu \frac{m(t)}{m_p} \right] = \hat{A} + \frac{\hat{A}\mu}{m_p} m(t) \quad (5)$$

## II Διαδικασία Εργαστηρίου

### II.I Προσομοίωση ΑΜ

Αυτή η άσκηση σκοπεύει να προσομοιώσει ένα σήμα ΑΜ και να μελετήσει τις παραμέτρους του.

#### Πομπός ΑΜ

- Ανοίξτε ένα καινούριο διάγραμμα ροής στο GNU Radio
- Ορίστε τις **Επιλογές Δημιουργίας** σε **QT GUI**.
- Ορίστε το **ρυθμό δειγματοληψίας** της **μεταβλητής** σε **200k**.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **freq** και ορίστε το σε **2k**.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **TX\_freq** και ορίστε το σε **20k**.
- Προσθέστε μια **Πηγή Σήματος** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float**, την **Κυματομορφή** σε **συνημίτονο**, την **Συχνότητα** σε **freq**, το **Πλάτος** σε **1** και τέλος **Μετατόπιση** σε **0<sup>2</sup>**.
- Προσθέστε μια **Πολλαπλασιαστή Σταθερά**, ορίστε τη **Σταθερά** σε **0.5**. Αλλάξτε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.
- Προσθέστε μια **Σταθερή Πηγή** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float** αριθμούς, ορίστε **Σταθερά** σε **1**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Πρόσθεσης**. Αλλάξτε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**. Συνδέσετε την **Σταθερή Πηγή** και την **Πολλαπλασιαστή Σταθερά** στο μπλοκ **Πρόσθεσης**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Πολλαπλασιαστή**, ορίστε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.
- Προσθέστε μια **Πηγή Σήματος**, ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float**, την **Κυματομορφή** σε **Συνημίτονο**, την **Συχνότητα** σε **Tx\_freq**, το **Πλάτος** σε **1** και τέλος **Μετατόπιση** σε **0**.
- Προσθέστε ένα **QT GUI Sink** και ορίστε τον **Τύπο** σε **float** και το **FFT Size** σε **2,048 kHz**.

Τα παραπάνω μπλοκ κατασκευάζουν έναν πομπό ΑΜ εφαρμόζοντας την 1. Παρατηρήστε την κυματομορφή στο πεδίο χρόνου και συχνότητας. Κάθε μπλοκ στο GNURadio έχει μια **ενότητα σχολίων**. Για να το βρείτε, κοιτάξτε την καρτέλα για **Προχωρημένους** ενός μπλοκ. Προσδιορίστε τη λειτουργικότητα κάθε μπλοκ στο σχέδιο τοποθετώντας μια μικρή σημείωση. Αυτή η σημείωση θα είναι ορατή στο διάγραμμα ροής.

<sup>2</sup>Ο ρυθμός δειγματοληψίας αναφέρεται επίσης στο ρυθμό με τον οποίο τα δείγματα διέρχονται από το διάγραμμα ροής. Εάν δεν υπάρχει έλεγχος ρυθμού, ρολόι υλικού ή μηχανισμός στραγγαλισμού, τα δείγματα θα παραχθούν, θα περάσουν από το διάγραμμα ροής και θα καταναλωθούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα (δηλαδή το διάγραμμα ροής θα είναι δεσμευμένο από την CPU). Μόνο ένα μπλοκ που αντιπροσωπεύει κάποιο υποκείμενο υλικό με το δικό του ρολόι (π.χ. USRP, κάρτα ήχου) ή το throttle μπλοκ, θα χρησιμοποιήσει το "Sample Rate" για να ρυθμίσει αυτό το ρολόι υλικού και επομένως θα έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή ελέγχου ρυθμού στα δείγματα στο διάγραμμα ροής.

## Δέκτης AM

- Χρησιμοποιήστε το διάγραμμα ροής πομπού AM.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **Rx\_freq** και ορίστε το σε **15k**.
- Προσθέστε μια **Πηγή Σήματος** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float**, την **Κυματομορφή** σε **Συνημίτονο**, την **Συχνότητα** σε **Rx\_freq**, το **Πλάτος** σε **1** και τέλος **Μετατόπιση** σε **0**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Πολλαπλασιαστή**, ορίστε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.
- Προσθέστε ένα **Χαμηλοπερατό Φίλτρο**, ορίστε το **Είδος Πεπερασμένης Κρουστικής Απόκρισης** σε **float**, την **Συχνότητα Αποκοπής** σε **10k** και το **Πλάτος μετάδοσης** σε **1k**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Απόλυτης Τιμής**. Ορίστε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.
- Προσθέστε ένα **Χαμηλοπερατό Φίλτρο**, ορίστε το **Είδος Πεπερασμένης Κρουστικής Απόκρισης** σε **float**, την **Συχνότητα Αποκοπής** σε **2k** και το **Πλάτος μετάδοσης** σε **1k**.
- Προσθέστε ένα **QT GUI Sink** και ορίστε το **Type** σε **float**, και το **FFT Size** σε **2,048 kHz**.

Στο τέλος θα πρέπει να έχετε ένα διάγραμμα ροής όπως φαίνεται στο σχήμα(2). Εκτελείτε το διάγραμμα ροής και λάβετε την έξοδο χρόνου και συχνότητας στα σημεία A, B, C, D, E και F όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Αλλάξτε τον δείκτη διαμόρφωσης σε 0.25, 0.75 και 1. Ποια είναι η διαφορά στην κυματομορφή σήματος AM;

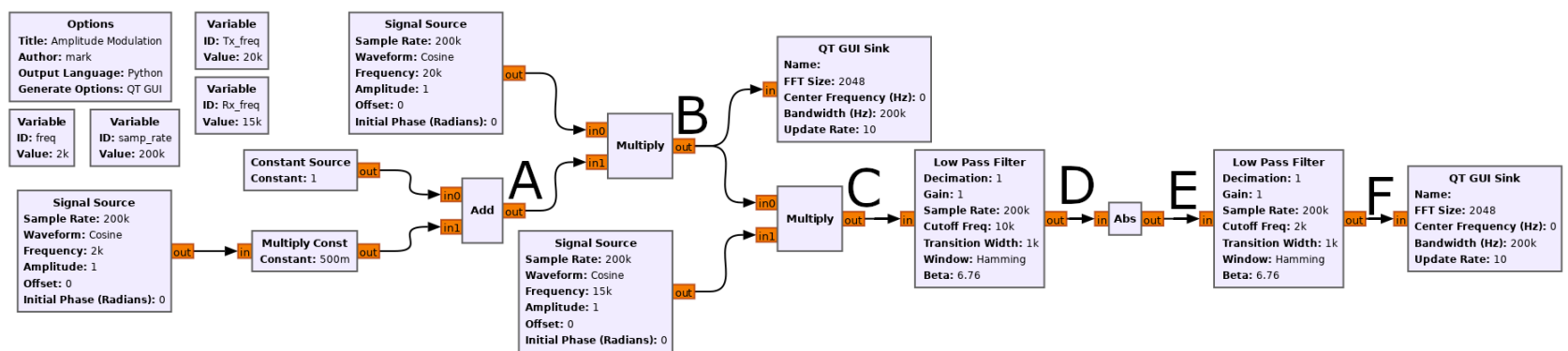


Figure 2: Διαμόρφωση Πλάτους στο GNURadio

## II.II Μετάδοση ενός AM σήματος μέσω USRP

Αυτή η άσκηση είναι να μεταδώσετε και να λάβετε ένα σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος μέσω του USRP.

### Πομπός AM

- Ανοίξτε ένα καινούριο διάγραμμα ροής στο GNU Radio
- Ορίστε τις **Επιλογές Δημιουργίας** σε **QT GUI**.
- Ορίστε το **ρυθμό δειγματοληψίας** της **μεταβλητής** σε **500k**.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **freq** και ορίστε το σε **5k**.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **TX\_freq** και ορίστε το σε **820.1M**.
- Προσθέστε μια **Πηγή Σήματος** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float**, την **Κυματομορφή** σε **συνημίτονο**, την **Συχνότητα** σε **freq**, το **Πλάτος** σε **1** και τέλος **Μετατόπιση** σε **0**.
- Προσθέστε μια **Σταθερή Πηγή** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **float** αριθμούς, ορίστε **Σταθερά** σε **1**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Πρόσθεσης**. Αλλάξτε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.

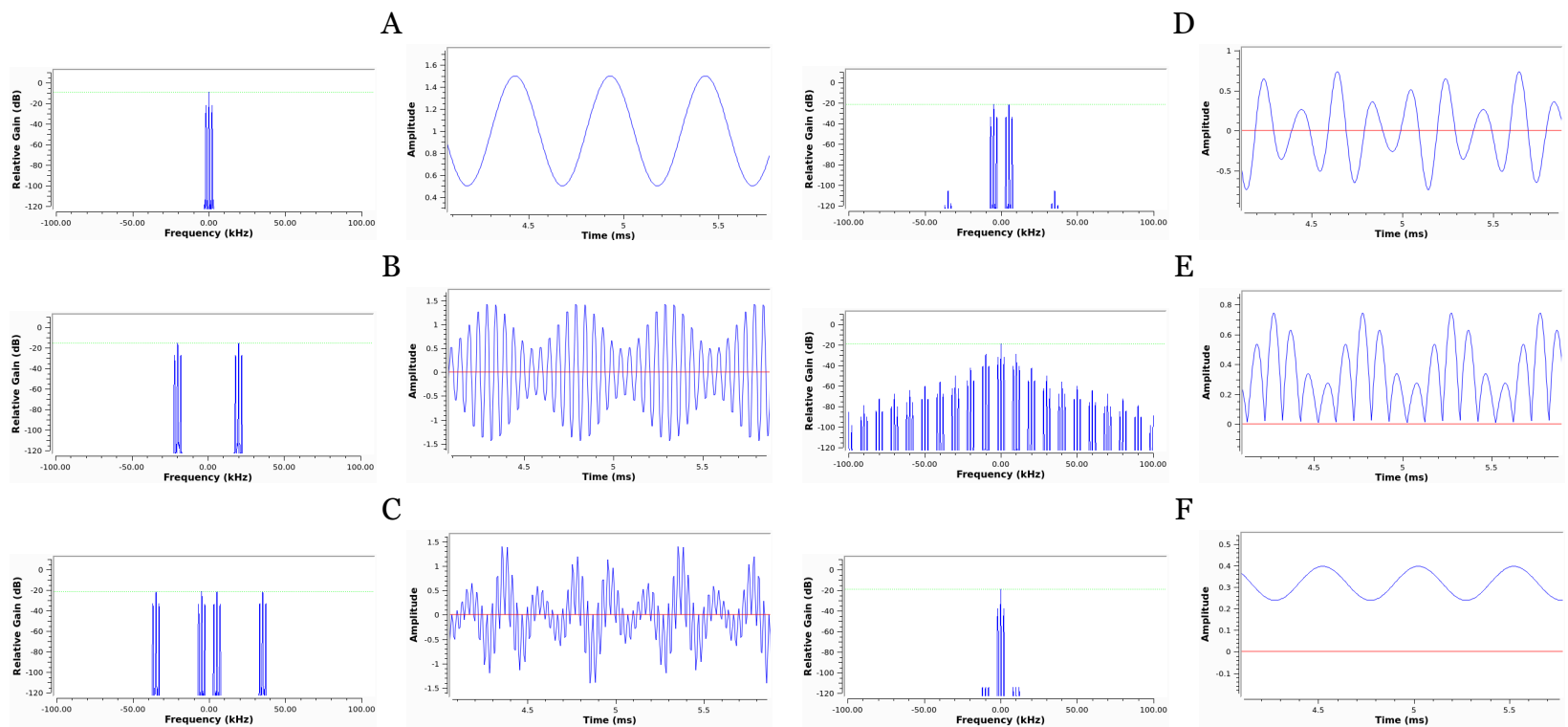


Figure 3: Τα πεδία χρόνου και συχνότητας για κάθε σημείο του γραφήματος (2)

- Προσθέστε μια **Πολλαπλασιαστή Σταθερά**, αλλάξτε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**. Ορίστε τη **Σταθερά** σε **0.5**. Συνδέστε την **Σταθερή Πηγή** και την **Πολλαπλασιαστή Σταθερά** στο μπλοκ **Πρόσθεσης**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Float to Complex**.
- Προσθέστε ένα **QT GUI Sink** και ορίστε τον **Τύπο** σε **float** και το **FFT Size** σε **2,048 kHz**.
- Προσθέστε ένα **UHD: USRP sink** και ορίστε τον **Τύπο Εισόδου** σε **Μιγαδικό float32**, την **Κεντρική Συχνότητα** ως **Tx\_freq** και την **Τιμή Κέρδους** σε **20**.

Συνδέστε τα παραπάνω μπλοκ ώστε να μεταδώσετε ένα AM σήμα μέσω του USRP.

### Δέκτης AM

- Χρησιμοποιήστε το διάγραμμα ροής πομπού AM.
- Προσθέστε ένα άλλο μπλοκ **μεταβλητής**, ονομάστε το **Rx\_freq** και ορίστε το σε **820M**.
- Προσθέστε μια **UHD: USRP source** και ορίστε τον **Τύπο Εξόδου** σε **Μιγαδικό float32**, την **Κεντρική Συχνότητα** σε **RX\_freq** και τη **Τιμή Κέρδους** σε **0**.
- Προσθέστε ένα **Ζωνοπερατό Φίλτρο**, ορίστε την **Χαμηλή Συχνότητα Αποκοπής** σε **90kHz**, την **Υψηλή Συχνότητα Αποκοπής** σε **110k** και το **Πλάτος μετάδοσης** σε **10k**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Μιγαδικό σε Πραγματικό**.
- Προσθέστε ένα μπλοκ **Απόλυτης Τιμής**. Ορίστε τον **Τύπο Εισόδου/Εξόδου** σε **float**.
- Προσθέστε ένα **Χαμηλοπερατό Φίλτρο**, ορίστε το **Είδος Πεπερασμένης Κρουστικής Απόκρισης** σε **float**, την **Συχνότητα Αποκοπής** σε **6k** και το **Πλάτος μετάδοσης** σε **1k**.
- Προσθέστε ένα **QT GUI Sink** και ορίστε το **Type** σε **float**, και το **FFT Size** σε **2,048 kHz**.
- Προσθέστε ένα **File Sink** και ορίστε το **Αρχείο** ως το μονοπάτι προορισμού που θέλετε να αποθηκεύσετε το αρχείο.

Στο τέλος πρέπει να έχετε ένα διάγραμμα ροής όπως φαίνεται στην (). Αλλάξτε την θέση του GUI sink μεταξύ των θέσεων A, B, C, D και E, και καταγράψτε το σήμα για κάθε θέση. **Αλλάξτε τον Δείκτη Διαμόρφωσης** από 0.5 σε 1 και εκτελέστε πάλι.

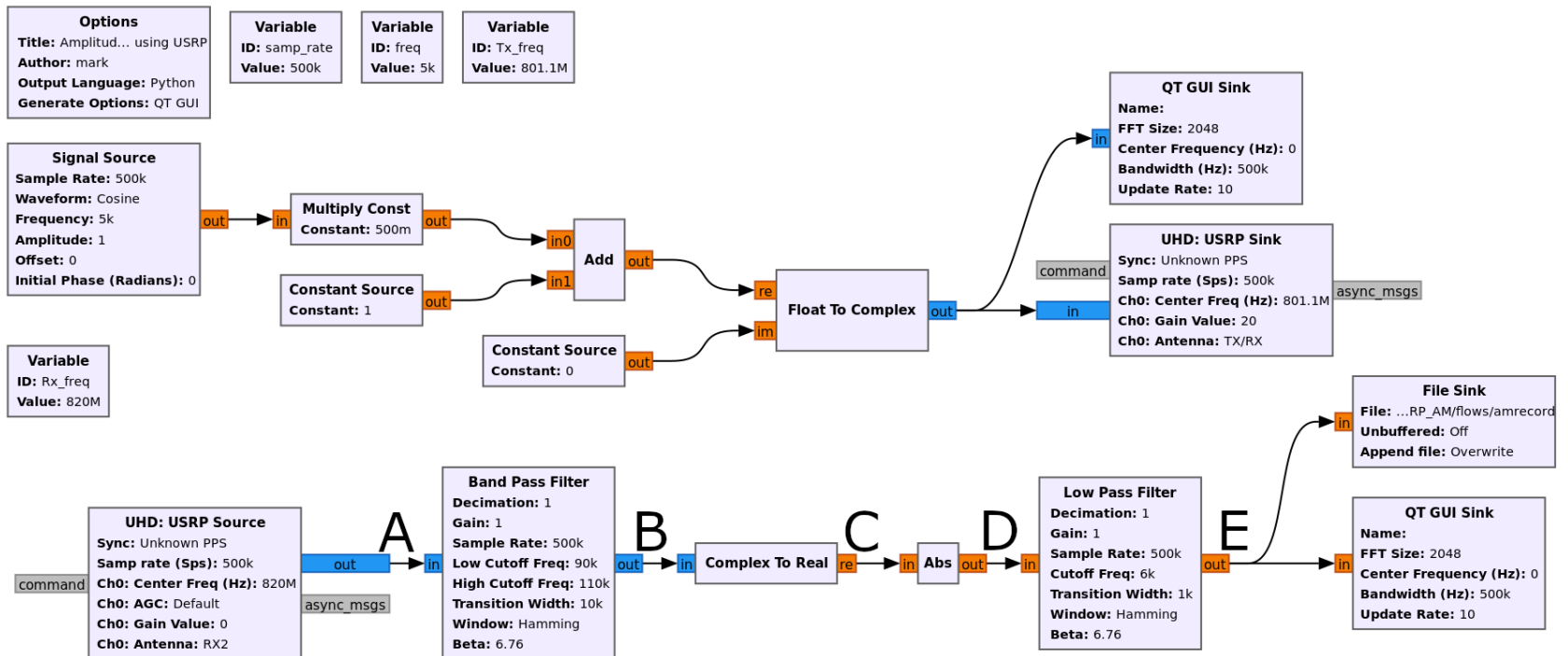


Figure 4: Διαμόρφωση Πλάτους στο GNURadio μέσω USRP

### III Αναφορά Εργαστηρίου

Συνθέστε μια αναφορά κατά την οποία απαντάτε στις επόμενες ερωτήσεις.

- Εστω ότι το σήμα βασικής ζώνης  $m(t)$  δίνεται ως:  $m(t) = \cos(2k\pi t) + \cos(4k\pi t) + \cos(6k\pi t)$   
Υποθέτοντας ότι:

- $\mu = 0.5$
- $f_{IF} = 10kHz$
- $\theta = 0$
- $n(t) = 0$

Κατασκευάστε μια προσομοίωση διαμόρφωσης πλάτους, όπως το πρώτο μέρος της εργαστηριακής διαδικασίας. Αλλάξτε τις τιμές των μπλοκ ώστε να ανακτήσετε το αρχικό σήμα στο τέλος του δέκτη. Παρέχετε εικόνες του διαγράμματος ροής και των εξόδων στα πεδία τις συχνότητας και του χρόνου στις θέσεις A, B, C, D, E και F.

- Εξηγήστε τι είναι η  $f_{IF}$  και γιατί είναι η συγκεκριμένη στο λαμβανόμενο σήμα; Ποιες είναι οι τιμές της  $f_{IF}$  στα μέρη 1,2 της εργαστηριακής διαδικασίας;
- Στην δεύτερη εργαστηριακή διαδικασία, λάβατε από το USRP και αποθηκεύσατε την λήψη με δείκτη διαμόρφωσης 0.5 του:

$$\hat{r}(t) = [1 + 0.5 \cos(10k\pi t)] \cos(200k\pi t) \quad (6)$$

Αποδείξτε μαθηματικά ότι μπορεί να αποδιαμορφωθεί το σήμα **χωρίς** την χρήση ενός ανιχνευτή περιβάλλουσας (δείτε τις τριγωνομετρικές ταυτότητες<sup>1</sup>). Εφαρμόστε αυτή τη μέθοδο στο GNURadio χρησιμοποιώντας το καταγεγραμμένο αρχείο ως είσοδο (βάζοντας **File Source**, αντί για **UHD: USRP source**).