

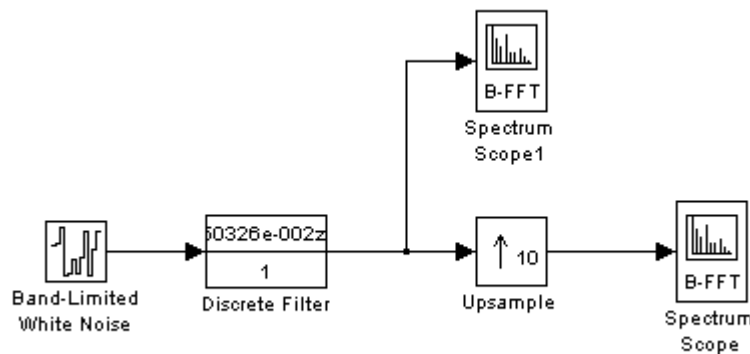
## Συστήματα Αλλαγής Ρυθμού

### A. Εισαγωγή

Σε πολλά συστήματα επεξεργασίας σημάτων υπάρχει η ανάγκη τα επιμέρους υποσυστήματα να λειτουργούν με διαφορετικούς ρυθμούς επεξεργασίας των δεδομένων. Η διασύνδεση των υποσυστημάτων αυτών είναι δυνατή με τη χρήση ειδικών διατάξεων οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν το ρυθμό ενός ψηφιακού σήματος και ονομάζονται **υπερδειγματολήπτες** και **υποδειγματολήπτες**. Με τις διατάξεις αυτές θα ασχοληθούμε στα επόμενα.

### B. Συχνотικό Περιεχόμενο Υπο/Υπερ – δειγματοληπτημένης ακολουθίας

Φορτώστε το μοντέλο από το αρχείο `upsample.mdl` δίνοντας στο command line του Matlab την εντολή `upsample` ενώ βρίσκεστε στον κατάλογο που περιέχει το αρχείο αυτό. Θα ανοίξει έτσι το μοντέλο του ακόλουθου σχήματος:

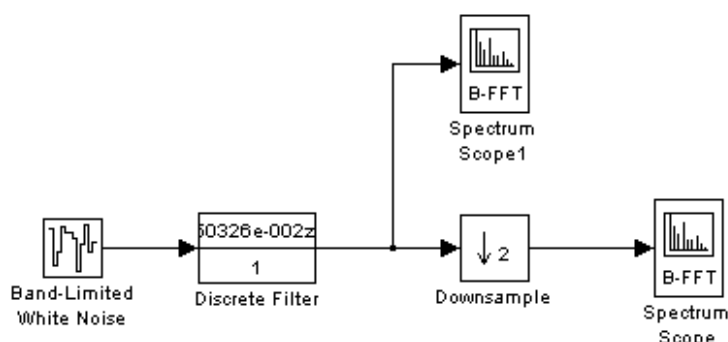


**Εικόνα 27: Μοντέλο επίδειξης του συχνотικού περιεχομένου μιας υπερδειγματοληπτημένης ακολουθίας**

Στο μοντέλο του παραπάνω σχήματος, μια ακολουθία λευκού θορύβου φιλτράρεται από ένα κατωπερατό φίλτρο και δημιουργείται έτσι ένα σήμα το οποίο έχει ενέργεια μόνο σε χαμηλές συχνότητες. Στη συνέχεια, το σήμα αυτό υπερδειγματοληπτείται κατά έναν παράγοντα 10. Το συχνотικό περιεχόμενο του σήματος πριν και μετά τον υπερδειγματολήπτη φαίνεται αν εξομοιώσουμε το μοντέλο μας.

- Εξομοιώστε το παραπάνω μοντέλο και παρατηρήστε το συχνотικό περιεχόμενο του σήματος πριν και μετά τη διάταξη του υπερδειγματολήπτη. Ποια ακριβώς είναι η σχέση ανάμεσα στα δυο συχνотικά περιεχόμενα;
- Με διπλό κλικ πάνω στο block του υπερδειγματολήπτη μας δίνεται η δυνατότητα να αλλάξουμε τον παράγοντα υπερδειγματοληψίας. Πειραματισθείτε με διάφορες τιμές και παρατηρήστε την κατανομή της ενέργειας του σήματος στην έξοδο του υπερδειγματολήπτη.
- Μπορούμε να ανακατασκευάσουμε την αρχική ακολουθία από την υπερδειγματοληπτημένη ακολουθία;

Στη συνέχεια, φορτώστε το μοντέλο από το αρχείο `downsample.m`. Δίνοντας στο `command line` του Matlab την εντολή `downsample` θα ανοίξει το μοντέλο του ακόλουθου σχήματος:



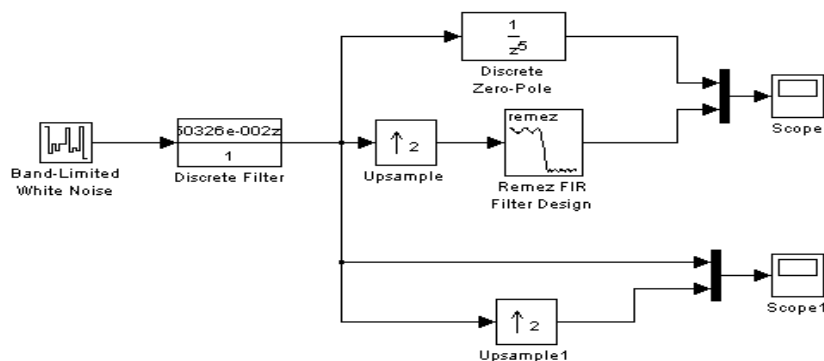
**Εικόνα 28: Μοντέλο επίδειξης του συχνοτικού περιεχομένου μιας υποδειγματοληπτημένης ακολουθίας**

Το μοντέλο του παραπάνω σχήματος, όμοια με το προηγούμενο παρουσιάζει την επίπτωση που έχει η διάταξη ενός υποδειγματολήπτη στο συχνοτικό περιεχόμενο ενός σήματος.

- Εξομοιώστε το παραπάνω μοντέλο και παρατηρήστε το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος πριν και μετά τη διάταξη του υποδειγματολήπτη. Μπορείτε να εξηγήσετε ποια είναι η σχέση ανάμεσα στα δυο συχνοτικά περιεχόμενα;
- Αυξήστε τον παράγοντα υποδειγματοληψίας και εξομοιώστε και πάλι το μοντέλο. Τι παρατηρείτε;
- Μπορείτε πάντα να ανακατασκευάσετε την αρχική ακολουθία από την υποδειγματοληπτημένη; Αν όχι, δώστε μια συνθήκη για το πότε μπορεί και πότε δεν μπορεί να γίνει αυτή η ανακατασκευή.

### Γ. Διατάξεις αποδεκατισμού και παρεμβολής

Για να αποφύγουμε τους δευτερεύοντες «παρασιτικούς» λοβούς που εμφανίζονται στο συχνοτικό περιεχόμενο μιας υπερδειγματοληπτημένης ακολουθίας πρέπει στην έξοδο του υπερδειγματολήπτη να τοποθετήσουμε ένα κατωπερατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής  $f_s/(2 \cdot K)$  όπου  $K$  ο παράγοντας υπερδειγματοληψίας. Το προκύπτον έτσι συνολικό σύστημα ονομάζεται σύστημα παρεμβολής. Φορτώστε το μοντέλο του αρχείου `interpolation.m`. Θα εμφανιστεί τότε το μοντέλο του σχήματος:



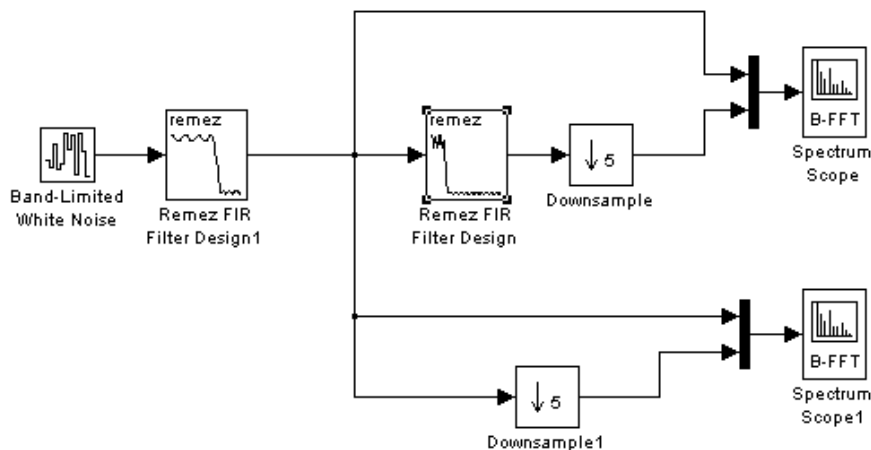
**Εικόνα 29: Διάταξη παρεμβολής**

Το παραπάνω μοντέλο επιδεικνύει την επίδραση που έχει το κατωπερατό φίλτρο στην έξοδο ενός υπερδειγματολήπτη.

- Εξομοιώστε το μοντέλο του συστήματος παρεμβολής και παρατηρήστε την είσοδο και την έξοδο τόσο στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται κατωπερατό φίλτρο όσο και στην περίπτωση όπου δε χρησιμοποιείται κατωπερατό φίλτρο. Τι παρατηρείτε;
- Να συγκρίνετε το συχνотικό περιεχόμενο των δύο σημάτων εξόδου, δηλαδή της περίπτωσης χρησιμοποίησης φίλτρου και μη. Τι παρατηρείτε; (Σημείωση: Χρησιμοποιήστε FFT spectrum scope και κάνοντας διπλό κλικ πάνω του ρυθμίστε μέγεθος buffer 128 δείγματα)
- Δεδομένου πως η τάξη του κατωπερατού φίλτρου στην έξοδο του υπερδειγματολήπτη είναι 20 και πως το φίλτρο έχει στα στοιχεία μνήμης του μόνο 10 κάθε φορά μη μηδενικά στοιχεία, εξηγήστε τη λειτουργία του block Zero-Pole με συνάρτηση μεταφοράς  $1/z^5$ .

Για να αποφύγουμε τα φαινόμενα αναδίπλωσης συχνότητας τα οποία εμφανίζονται όταν υποδειγματοληπτούμε μια ακολουθία πρέπει πριν εκτελέσουμε την υποδειγματοληψία να εφαρμόσουμε ένα κατωπερατό φίλτρο (όμοια με την περίπτωση του φίλτρου αντί-αναδίπλωσης που έχουμε στην περίπτωση δειγματοληψίας αναλογικών σημάτων) με συχνότητα αποκοπής ίση με  $f_s/(2 \cdot M)$  όπου  $M$  ο παράγοντας υποδειγματοληψίας. Το προκύπτον συνολικό σύστημα του κατωπερατού φίλτρου και του υποδειγματολήπτη ονομάζεται αποδεκατιστής.

Φορτώστε το μοντέλο από το αρχείο decimation.mdl. Το μοντέλο του αρχείου αυτού παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



**Εικόνα 30: Διάταξη αποδεκατιστή**

- Εξηγήστε γιατί στο μοντέλο αυτό δεν είναι ανάγκη να καθυστερήσουμε το σήμα πριν από τον αποδεκατιστή για να το συγκρίνουμε (στη συχνότητα) με το σήμα στην έξοδο του αποδεκατιστή.
- Τι διαφορά παρατηρείτε ανάμεσα στο συχνотικό περιεχόμενο του πάνω κλάδου (Scope) και του κάτω κλάδου (Scope1); Γιατί το συχνотικό περιεχόμενο του πάνω κλάδου είναι προτιμότερο;