

## Εργαστηριακή Άσκηση 5 Διαμόρφωση SSB και VSB

Σκοπός της πέμπτης σειράς ασκήσεων είναι η χρήση του MATLAB για επίλυση απλών προβλημάτων αναλογικής διαμόρφωσης. **Προτού ξεκινήσετε την άσκηση θα πρέπει να μελετήσετε με προσοχή τις παραγράφους 2.3 και 2.4 του τεύχους των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος.** Το MATLAB ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)) είναι ένα διαδραστικό εμπορικό πρόγραμμα (Windows, Linux, Unix) με το οποίο μπορείτε να κάνετε εύκολα αριθμητικές πράξεις με πίνακες. Στο Εργαστήριο Προσωπικών Υπολογιστών (ΕΠΥ) της Σχολής θα βρείτε εγκατεστημένη την έκδοση R2009a. Μπορείτε επίσης να έχετε πρόσβαση στο MATLAB μέσω της ιστοσελίδας <https://cloudfront0.central.ntua.gr/sgd/hierarchy.jsp> του Κέντρου Υπολογιστών (ΚΗΥ) του ΕΜΠ (αφού περάσετε έλεγχο ταυτότητας με τον κωδικό και συνθηματικό που σας έχει δοθεί). Εκεί είναι εγκατεστημένη η έκδοση R2010b και το περιβάλλον είναι Linux. Η πρόσβαση μέσω του ΚΗΥ θα σας είναι χρήσιμη για προετοιμασία από το σπίτι.

Για να εισέλθετε στο σταθμό εργασίας του ΕΠΥ, χρησιμοποιείτε το όνομα χρήστη **labuser** και κωδικό πρόσβασης **labuser** ή ότι άλλο σας δοθεί από τους επιτηρητές. Εάν στην οθόνη δεν εμφανίζεται σχετικό παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή στο σύστημα, πιάστε ταυτόχρονα τα πλήκτρα **Alt+Ctrl+Del**. Στις συγκεκριμένες ασκήσεις, το λειτουργικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα Windows XP.

### Μέρος 1: Διαμόρφωση SSB

Το διαμορφωμένο κατά SSB σήμα προκύπτει όταν περάσουμε σήμα DSB μέσα από ζωνοπερατό φίλτρο που διατηρεί την άνω (ή κάτω) πλευρική ζώνη. Το διαμορφωμένο κατά DSB σήμα στο πεδίο του χρόνου είναι

$$r(t) = m(t)A_c \cos 2\pi f_c t = \frac{A_c}{2} m(t)e^{j2\pi f_c t} + \frac{A_c}{2} m(t)e^{-j2\pi f_c t}$$

οπότε το σήμα SSB στο πεδίο του χρόνου προκύπτει με τη βοήθεια του μετασχηματισμού Hilbert ως εξής

$$s(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

με το αρνητικό πρόσημο να αντιστοιχεί σε μετάδοση άνω πλευρικής ζώνης και το θετικό σε μετάδοση της κάτω πλευρικής.

Στο παράδειγμα 2.2, το σήμα SSB υπολογίζεται και με τους δύο τρόπους, πρώτα στο πεδίο του χρόνου και μετά ως αποτέλεσμα φιλτραρίσματος σήματος DSB. Ως εφαρμογή των όσων μάθατε στις προηγούμενες ασκήσεις θα τροποποιήσετε τον κώδικα του παραδείγματος, ώστε να επιτύχετε το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά με τη βοήθεια άλλων συναρτήσεων και τεχνικών.

Αντιγράψτε τον κώδικα του παραδείγματος 2.2 της παραγράφου 2.3.2 από το εργαστηριακό τεύχος σε ένα καινούριο αρχείο M-file και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB).

Ξεκινήστε με τις ακόλουθες μικρές αλλαγές στον κώδικα

1. Θέσατε τη συχνότητα δειγματοληψίας σε 200 Hz και τη συχνότητα του φέροντος στα 50 Hz.
2. Τροποποιείτε το σήμα εισόδου ώστε το πλάτος των συνιστωσών να είναι 2, 4, και 8, αντίστοιχα.
3. Γράψτε freqz αντί FREQZ για να μην εμφανίζει το MATLAB ένα μήνυμα προειδοποίησης “Warning: Could not find an exact (case-sensitive) match for 'FREQZ'”.

4. Προσέξτε ότι ο ορισμός του διανύσματος  $ssb$  αντιστοιχεί σε μετάδοση κάτω πλευρικής ζώνης και ο αντίστοιχος σχολιασμένος ορισμός του  $ssb1$  σε μετάδοση άνω πλευρικής.

Στο παράδειγμα, το σήμα SSB υπολογίζεται αρχικά στο πεδίο του χρόνου. Το σήμα εισόδου διέρχεται μέσω φίλτρου μετασχηματισμού Hilbert. Η έξοδος του φίλτρου υπολογίζεται ως η συνέλιξη του σήματος εισόδου με την κρουστική απόκριση του φίλτρου. Επειδή το φίλτρο Hilbert, που υπολογίζεται με τη βοήθεια της `firpm`, εισάγει καθυστέρηση ίση με `order/2`, το σήμα καθυστερείται αντίστοιχα κατά `order/2`. Η καθυστέρηση υπολογίζεται και αυτή ως συνέλιξη. Η συνέλιξη δύο διακριτών σημάτων παράγει σήμα μήκους  $N_1+N_2-1$ , όπου  $N_1$  και  $N_2$  τα μήκη των δύο συνελισσομένων σημάτων. Επομένως, πρέπει να γίνει περικοπή ουρών, των σημάτων που προκύπτουν (δείτε εντολές που ακολουθούν την κλήση της συνάρτησης `conv`).

Αφού συμβουλευθείτε τη βοήθεια του MATLAB για τη συνάρτηση `conv`, αντικαταστήστε τα κομμάτια του κώδικα όπου γίνεται περικοπή με μια πιο κατάλληλη σύνταξη της συνάρτησης `conv` που να επιτυγχάνει το ίδιο αποτέλεσμα. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του φυλλαδίου.

Προκειμένου να έχετε καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων, προσθέστε κατάλληλο τίτλο σε όσα σχεδιαγράμματα δεν διαθέτουν τίτλο που περιγράφει τη γραφική παράσταση. Συγκρίνετε προσεκτικά το φάσμα του σήματος SSB που προκύπτει μέσω φιλτραρίσματος του σήματος DSB με αυτό που προκύπτει από τις πράξεις στο πεδίο του χρόνου.

Ερώτηση 1: Εξηγήστε τις διαφορές που βλέπετε όσον αφορά στο μέγεθος των κορυφών των συνιστωσών συχνοτήτων. Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου `lab5_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας, χρησιμοποιώντας το Notepad από το μενού των Windows (*Start* → *Programs* → *Accessories* → *Notepad*) και αποθηκεύστε το στον φάκελο My Documents. Θα υποβάλετε το αρχείο αυτό ηλεκτρονικά στο τέλος, αφού απαντήσετε και τις επόμενες ερωτήσεις, οπότε μπορείτε να τα αφήσετε ανοικτά.

Ερώτηση 2: Εάν χρησιμοποιούσατε κατά την αποδιαμόρφωση το σήμα SSB που προκύπτει από φιλτράρισμα του σήματος DSB, θα ήταν τα τελικά αποτελέσματα (σήμα μετά την αποδιαμόρφωση) ίσο με το αρχικό σήμα; Εάν όχι, ποια διόρθωση θα έπρεπε να κάνετε; [*Υπόδειξη: ανατρέξτε στους ορισμούς των σημάτων DSB και SSB*]. Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου `lab5_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Προσθέστε κώδικα ώστε να υπολογίσετε το σήμα SSB με τη βοήθεια της συνάρτησης `hilbert`. Συμβουλευθείτε τη βοήθεια του MATLAB για τη σύνταξη και τα αποτελέσματα που επιστρέφει η συνάρτηση `hilbert`. Στη συνέχεια χρησιμοποιείστε τον υπολογισμό αυτό για την αποδιαμόρφωση του σήματος SSB. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του φυλλαδίου.

Προσθέστε στο σήμα SSB θόρυβο κατάλληλης ισχύος με τη βοήθεια της συνάρτησης `awgn`, ώστε η ισχύς του θορύβου να είναι κατά 20 dB χαμηλότερη αυτής του σήματος και σχεδιάστε το φάσμα του θορυβώδους σήματος.

Ερώτηση 3: Ποια είναι η τιμή της πυκνότητας φάσματος ισχύος θορύβου που προκύπτει; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου `lab5_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Εφαρμόστε κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο εύρους ζώνης 15 Hz ώστε να παραμείνει το σήμα SSB μαζί με τον ζωνοπερατό θόρυβο στο εύρος ζώνης μετάδοσής του. Σχεδιάστε το φάσμα του θορυβώδους σήματος μετά το ζωνοπερατό φιλτράρισμα.

Ερώτηση 4: Για την ανάλυση της επίδοσης συστημάτων διαμόρφωσης υπολογίζουμε το λόγο των σηματοθορυβικών σχέσεων εισόδου και εξόδου. Στην περίπτωση διαμόρφωσης SSB ο λόγος αυτός είναι 1. Επιβεβαιώνεται αυτό από τις γραφικές παραστάσεις; Ποια πρέπει να είναι η σηματοθορυ-

βική σχέση στην έξοδο; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab5\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

### Υποβάλατε την εργασία σας

Αποθηκεύσατε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα lab5\_1\_nnnnn.m, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση ως εξής:

1. Επιλέξτε από την ιστοθέση του μαθήματος την [Εργαστηριακή Άσκηση 5](#) στην ενότητα “Υποβολή αναφορών”.
2. Στη σελίδα που θα εμφανισθεί κάντε κλικ στο κουμπί “Browse”.
3. Αναζητήστε το αρχείο σας στο φάκελο εργασίας (My Documents\MATLAB) και επιλέξτε το.
4. Κάντε κλικ στο κουμπί “Αποστολή του αρχείου” για να ανεβάσετε την εργασία σας στον εξυπηρετητή.
5. Εάν θέλετε να κάνετε κάποια διόρθωση, ακολουθήστε την ίδια διαδικασία ανεβάσματος.
6. Μην οριστικοποιήσετε την υποβολή γιατί μετά δε θα μπορείτε να υποβάλετε την απάντηση του επόμενου μέρους της άσκησης.

## **Μέρος 2: Διαμόρφωση VSB**

Αντιγράψτε τον κώδικα του παραδείγματος 2.3 της παραγράφου 2.4.1 από το εργαστηριακό τεύχος σε ένα καινούριο αρχείο M-file και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Ο κώδικας για τη συνάρτηση vsb\_lb\_filter πρέπει να αποθηκευθεί ως χωριστό αρχείο με όνομα vsb\_lb\_filter.m στον ίδιο φάκελο. Στο παράδειγμα, το σήμα VSB υπολογίζεται στο πεδίο συχνότητας φιλτράροντας το διαμορφωμένο σήμα DSB με τη βοήθεια φίλτρου VSB που υλοποιείται με τη βοήθεια της συνάρτησης vsb\_lb\_filter.

Ξεκινήστε με τις ακόλουθες αλλαγές στον κώδικα

1. Θέσατε τη συχνότητα δειγματοληψίας σε 200 Hz και τη συχνότητα του φέροντος στα 50 Hz.
2. Τροποποιήστε το σήμα εισόδου ώστε το πλάτος των συνιστωσών να είναι 2, 4, και 8, αντίστοιχα.
3. Αντικαταστήστε τα κομμάτια του κώδικα όπου γίνεται περικοπή ουρών με μια πιο κατάλληλη σύνταξη της συνάρτησης conv, όπως κάνατε για το σήμα SSB.
4. Προσθέστε τίτλους σε όσα σχεδιαγράμματα δεν έχουν.
5. Μειώστε τον συντελεστή rolloff στην τιμή 0.1 ώστε να αντιστοιχεί σε ζώνη μετάβασης 10 Hz για το φίλτρο VSB.

Ερώτηση 5: Ποιες συχνότητες του σήματος DSB αποκόπει τελείως το φίλτρο VSB, ποιες αφήνει αναλλοίωτες και ποιες εξασθενεί εν μέρει; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab5\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες του τελευταίου σχεδιαγράμματος, όπου εμφανίζεται το αρχικό σήμα και αυτό μετά την αποδιαμόρφωση, θα παρατηρήσετε ότι το αποδιαμορφωμένο σήμα είναι μια υπό κλίμακα έκδοση του αρχικού σήματος.

Ερώτηση 6: Λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος του φέροντος με το οποίο έγινε η διαμόρφωση και το αντίστοιχο πλάτος του φέροντος κατά την αποδιαμόρφωση, ποια θα έπρεπε να είναι η σχέση μεταξύ αρχικού και αποδιαμορφωμένου σήματος; Είναι πράγματι αυτή η αναλογία που βλέπετε στο σχήμα; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab5\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Τροποποιήστε τον κώδικα ώστε να σχεδιάσετε το πλάτος  $abs(H)$  της απόκρισης του φίλτρου VSB αντί της κανονικοποιημένης τιμής του.

**Ερώτηση 7:** Ποια θα έπρεπε να είναι η μέγιστη απόκριση του φίλτρου και ποια η τιμή που παρατηρείτε; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab5\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Προφανώς, η διαφορά που παρατηρήσατε προηγουμένως οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο κανονικοποιείται το αποτέλεσμα της `vsb_lb_filter`. Κανονικοποιείστε το αποτέλεσμα, ώστε η μέγιστη τιμή της κρουστικής απόκρισης να γίνει 0.5. Λαμβάνετε τώρα το αναμενόμενο αποτέλεσμα όσον αφορά την απόκριση του φίλτρου VSB;

Αντικαταστήστε τώρα το φίλτρο VSB της συνάρτησης `vsb_lb_filter` από ένα φίλτρο που θα κατασκευάσετε με τη βοήθεια της συνάρτησης `firpm` του MATLAB, δηλαδή, ένα με απόκριση που γραμμικά μειώνεται από το 1 στο 0 στη ζώνη 45 έως 55 Hz, όπως φαίνεται στο σχετικό σχεδιάγραμμα που έχετε ήδη παράγει με τη βοήθεια της `vsb_lb_filter`. [Υπόδειξη: Θεωρείστε μια ζώνη διέλευσης (απόκριση 1), μια ζώνη μετάβασης (γραμμική μείωση) και μια ζώνη αποκοπής (απόκριση 0) και τις περιοχές ασάφειας να αντιστοιχούν στο 10% του μήκους της ζώνης μετάβασης.] Τώρα θα παρατηρήσετε ότι το αποδιαμορφωμένο σήμα είναι το 1/2 του αρχικού σήματος ως όφειλε. Κάνετε την αναγκαία τροποποίηση στον κώδικα, ώστε τα σήματα να εμφανίζονται με την ίδια κλίμακα.

Αντικαταστήστε το βαθυπερατό φίλτρο της αποδιαμόρφωσης με ένα άλλο εύρους ζώνης 15 Hz που θα παράγετε με τη βοήθεια της συνάρτησης `fir1` αντί της `firpm`.

### Υποβάλατε την εργασία σας

Αποθηκεύσατε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα lab5\_2\_nnnnn.m, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1 της άσκησης.

## **Μέρος 3: Εφαρμογή**

Θα εφαρμόσετε τώρα ότι μάθατε προηγουμένως στην περίπτωση ενός δειγματοληπτημένου αναλογικού σήματος. Κατεβάστε από την ιστοσελίδα του μαθήματος το αρχείο `sima_lp.mat` και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Το αρχείο περιέχει δείγματα αναλογικού σήματος `sima_lp`, τη συχνότητα δειγματοληψίας  $F_s$  καθώς και διάλυσμα συχνοτήτων αποκοπής  $f_c$ . Το σήμα `sima_lp` είναι βαθυπερατό, έχει συχνότητα δειγματοληψίας 8.192 Hz και διάρκεια περίπου 7 sec.

Τροποποιείστε τον κώδικα που έχετε παράγει και αποθηκεύσει ώστε να κάνετε διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση SSB χρησιμοποιώντας το σήμα `sima_lp` στη θέση του ημιτονικού σήματος. Η συχνότητα φέροντος του διαμορφωμένου κατά SSB σήματος να είναι 5 kHz. Ως εύρος ζώνης θα λάβετε αυτό που ορίζουν οι συχνότητες αποκοπής. Όπως και στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση 4 θα πρέπει να αυξήσετε το ρυθμό δειγματοληψίας, π.χ. στο τετραπλάσιο, ώστε να είναι εφικτή η αναπαράσταση του διαμορφωμένου σήματος χωρίς επικάλυψη. Μετά την αποδιαμόρφωση να επιστρέψετε στον κανονικό ρυθμό δειγματοληψίας. Στο τελικό διάγραμμα σύγκρισης να σχεδιάστε το αρχικό και το αποδιαμορφωμένο σήμα στο διάστημα 3 έως 4 sec. Μπορείτε να παραλείψετε τα μέρη του κώδικα που αφορούν την παραγωγή του διαμορφωμένου σήματος SSB με εναλλακτικούς τρόπους και να διατηρήσετε μόνο τη μέθοδο παραγωγής με τη βοήθεια της συνάρτησης `hilbert`.

### Υποβάλατε την εργασία σας

Αποθηκεύσατε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα lab5\_3\_nnnnn.m, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1 της άσκησης.

Στη συνέχεια τροποποιείστε τον κώδικα που έχετε παράγει και αποθηκεύσει ώστε να κάνετε διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση VSB χρησιμοποιώντας το σήμα `sima_lp` στη θέση του ημιτονικού σήματος. Η συχνότητα του φέροντος να είναι 5 kHz και το φίλτρο VSB να έχει απόκριση που να μειώνεται γραμμικά από το 1 στο 0 ζώνη 4.5 έως 5.5 kHz. Όπως και πριν, θα πρέπει να αυξήσετε το ρυθμό δειγματοληψίας, π.χ. στο τετραπλάσιο, και να επαναφέρετε στον κανονικό μετά την απόδιαμόρφωση. Στο τελικό διάγραμμα σύγκρισης να σχεδιάσετε το αρχικό και το αποδιαμορφωμένο σήμα στο διάστημα 3 έως 4 sec.

### Υποβάλατε την εργασία σας

Αποθηκεύσατε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab5_4_nnnnn.m`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1 της άσκησης.

### Ολοκληρώστε την υποβολή των αρχείων

1. Υποβάλατε το αρχείο `lab5_nnnnn.txt` ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία.
2. Εάν χρειαστεί μπορείτε να κάνετε διορθώσεις υποβάλλοντας εκ νέου τα διορθωμένα αρχεία.
3. Όταν είστε σίγουροι, προχωρήστε στην οριστικοποίηση κάνοντας κλικ στο κουμπί “Αποστολή για βαθμολόγηση” και απαντήστε καταφατικά στην ερώτηση που θα ακολουθήσει.