

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 [Κεφαλαίου 2](#) των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος** που θα βρείτε στην ιστοσελίδα του μαθήματος. Το MATLAB (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 R2012b. 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 το όνομα χρήστη και συνθηματικό που σας έχει δοθεί από το ΚΗΥ). Εκεί είναι εγκατεστημένη η έκδοση R2011b όμως το περιβάλλον είναι Linux. Η πρόσβαση μέσω του ΚΗΥ θα σας είναι χρήσιμη για να προετοιμαστείτε από το σπίτι.

Για να εισέλθετε στο σταθμό εργασίας του ΕΠΥ, χρησιμοποιείτε **το όνομα χρήστη και συνθηματικό για πρόσβαση στις ηλεκτρονικές υπηρεσίες του Ιδρύματος** (που σας έχει δοθεί από το ΚΗΥ). Μετά από επιτυχή ταυτοποίησή σας από τον εξυπηρετητή LDAP, θα αποκτήσετε πρόσβαση στον τοπικό υπολογιστή με όνομα χρήστη `labuser`. Εάν στην οθόνη δεν εμφανίζεται σχετικό παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή στο σύστημα, πέστε 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

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

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

Στο παράδειγμα 2.2 της παραγράφου 2.3.2, 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 2.2, ώστε να επιτύχετε το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά με τη βοήθεια άλλων συναρτήσεων και τεχνικών.

Αντιγράψτε τον κώδικα του παραδείγματος 2.2 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 στα 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 εμφανίζεται το μήνυμα λάθους:

`Cannot find an exact (case-sensitive) match for 'FREQZ'`

`The closest match is: freqz
in C:\Program Files\MATLAB\R2012b\toolbox\signal\signal\freqz.m`

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. Διορθώστε τα αντίστοιχα σχόλια.

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 όλα 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.

Στη συνέχεια το σήμα SSB παράγεται φιλτράροντας το σήμα DSB. 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. Προκειμένου να έχετε καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων, προσθέστε κατάλληλο τίτλο σε όσα σχεδιαγράμματα δεν διαθέτουν τίτλο που περιγράφει τη γραφική παράσταση.

Ερώτηση 1: Εξηγείστε τις διαφορές που βλέπετε όσον αφορά στο μέγεθος των κορυφών των συνιστωσών συχνοτήτων του σήματος SSB όπως αυτό παράγεται με τους δύο τρόπους. 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 ανοικτό.

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.

Υπολογίστε τώρα το σήμα SSB στο πεδίο του χρόνου με τη βοήθεια της συνάρτησης `hilbert`. Συμβουλευθείτε τη βοήθεια του MATLAB για τη σύνταξη και τα αποτελέσματα που επιστρέφει η συνάρτηση `hilbert`. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του φυλλαδίου. Για το υπόλοιπο της άσκησης χρησιμοποιείτε αυτόν τον υπολογισμό του σήματος SSB.

Ακολουθώντας, προσθέστε στο σήμα SSB θόρυβο με τη βοήθεια της συνάρτησης `awgn`, έτσι ώστε η ισχύς του θορύβου να είναι κατά 20 dB χαμηλότερη αυτής του σήματος. Σχεδιάστε το φάσμα του θορυβώδους σήματος θέτοντας κατάλληλο τίτλο που να περιγράφει τη γραφική παράσταση.

Ερώτηση 3: α) Ποια είναι η ισχύς του σήματος SSB χωρίς θόρυβο σύμφωνα με τη θεωρία; β) Ποια πρέπει να είναι η τιμή της πυκνότητας φάσματος ισχύος θορύβου; γ) Επιβεβαιώνεται αυτή η τιμή

από το φάσμα που σχεδιάσατε; δ) Ποια θα έπρεπε να είναι η ισχύς του θορυβώδους σήματος SSB και ποια αυτή που προκύπτει; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab5_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Στη συνέχεια εφαρμόστε κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο Parks-McClellan ώστε να παραμείνει το σήμα SSB μαζί με ζωνοπερατό θόρυβο σε εύρος ζώνης μετάδοσης 15 Hz. Σχεδιάστε το φάσμα του θορυβώδους σήματος μετά το ζωνοπερατό φιλτράρισμα θέτοντας κατάλληλο τίτλο που να περιγράφει τη γραφική παράσταση.

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.

Ερώτηση 4: Επιβεβαιώνεται αυτό από τις γραφικές παραστάσεις; Πώς εξηγείται η διαφορά στάθμης θορύβου στο αποδιαμορφωμένο σήμα με την αντίστοιχη στο ζωνοπερατό θορυβώδες σήμα SSB; 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 υποβάλατε 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. Τροποποιείτε 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 και λεζάντες στους άξονες 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 αποκόπτει 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: α) 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; β) 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 $\text{abs}(H)$ 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`. Κανονικοποιήστε 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 $\frac{1}{2}$ 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 έκδοσή 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 υποβάλατε 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 0.7 sec.

Τροποποιήστε 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 σχεδιάσετε το αρχικό και το αποδιαμορφωμένο σήμα στο διάστημα 0.3 έως 0.4 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 τροποποιείτε 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 στη 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.