



Σχολή Θετικών Επιστημών Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Τηλεπικοινωνιών

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ & ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

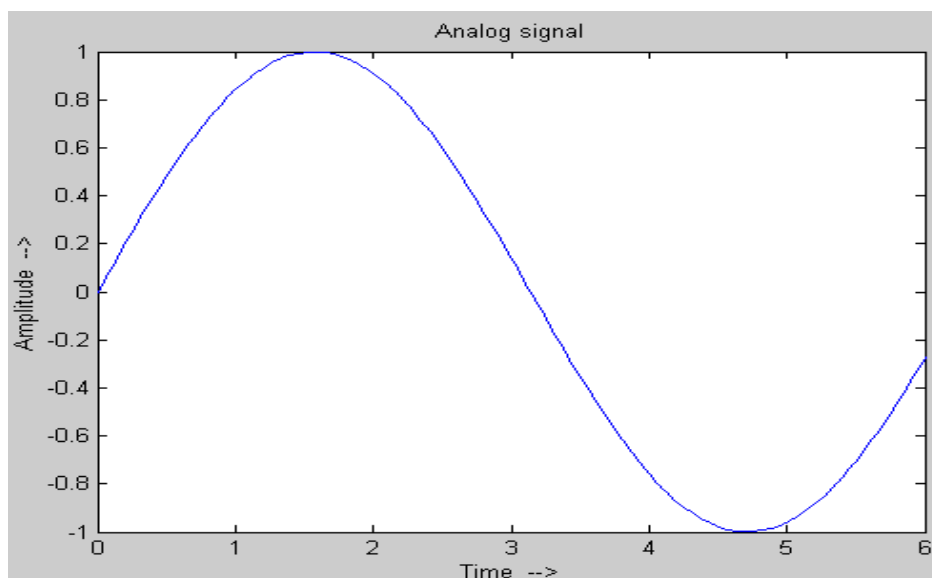
### ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

#### Εργαστήριο 9<sup>ο</sup> : Δειγματοληψία και Ανασύσταση

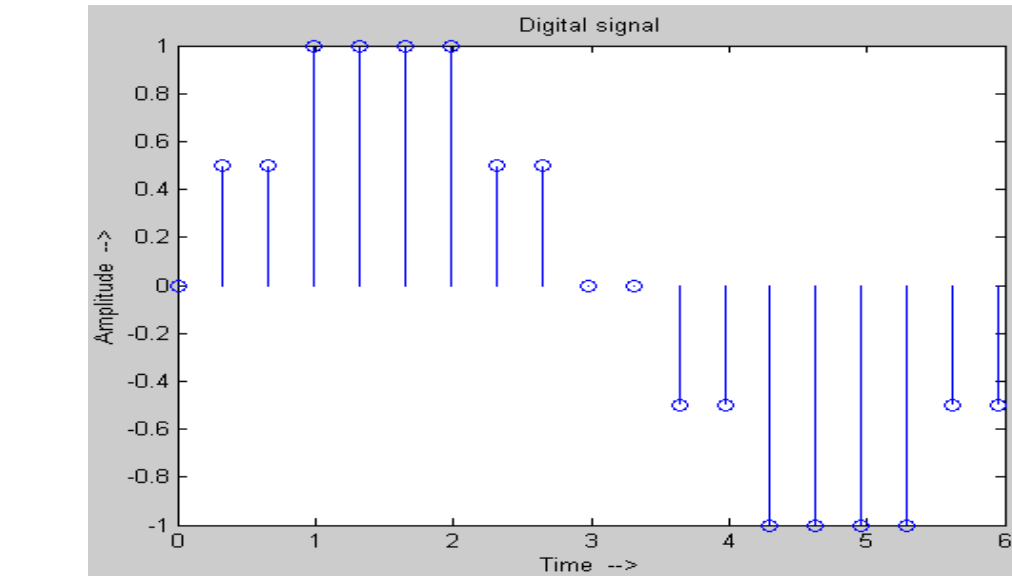
##### Βασική Θεωρία

##### Εισαγωγή

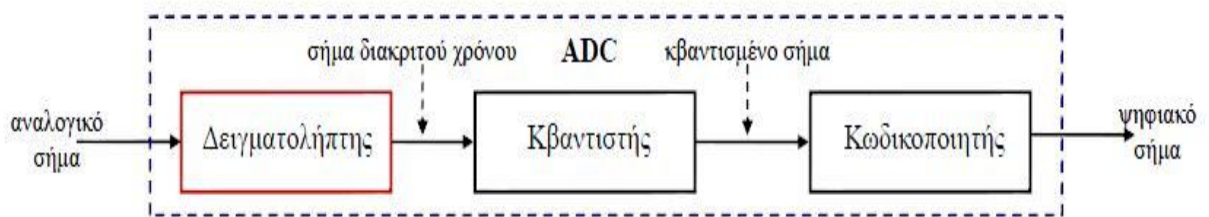
Όλα τα φυσικά σήματα (όπως η ομιλία, το ηλεκτρικό ρεύμα κτλ.) είναι αναλογικά, έχουν δηλαδή συνεχείς τιμές στο πεδίο του χρόνου (εικόνα 1). Για να επεξεργαστούμε όμως αυτά τα σήματα, είναι συχνά βολικό να μετατραπούν σε ψηφιακά, τα οποία είναι διακριτού χρόνου και έχουν διακριτές τιμές (εικόνα 2). Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ονομάζεται αναλογικοψηφιακή (Α/Δ) μετατροπή και περιλαμβάνει τρία στάδια. Τη δειγματοληψία, την κβάντιση και την κωδικοποίηση (εικόνα 3).



Εικόνα 1: Αναλογικό σήμα



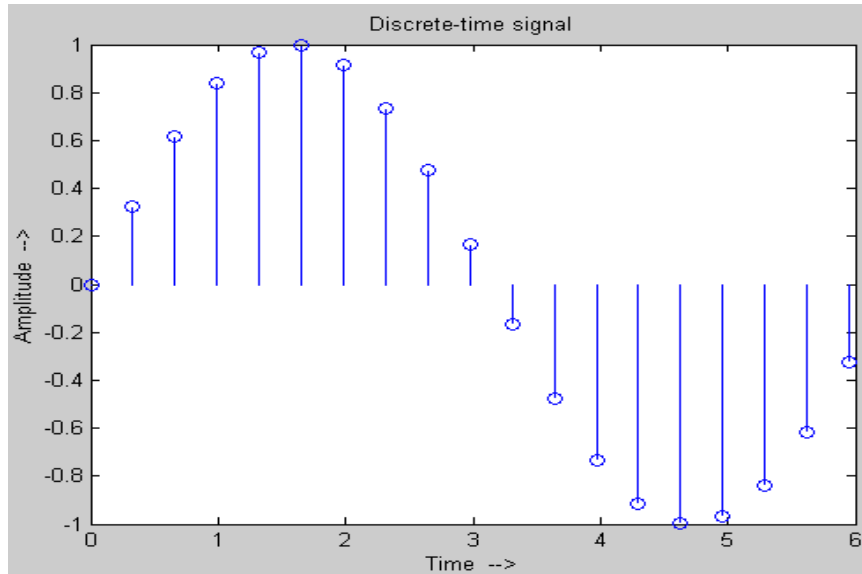
Εικόνα 2: Ψηφιακό σήμα



Εικόνα 3: Αναλογικοψηφιακή μετατροπή (ADC)

### Δειγματοληψία (Sampling)

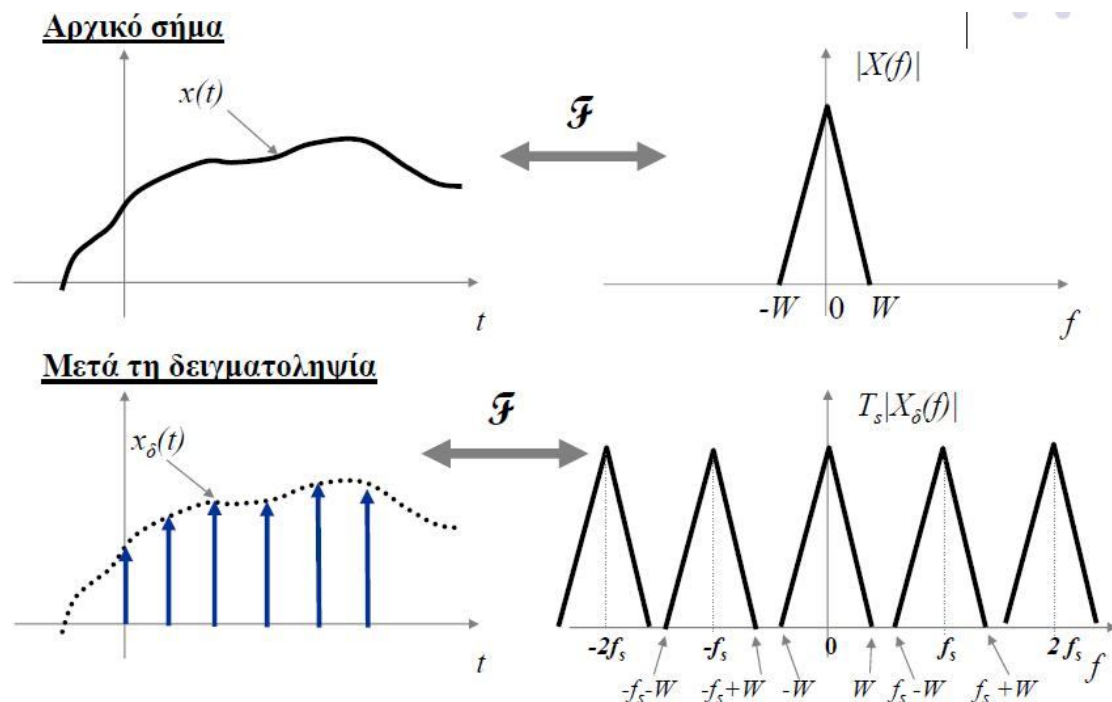
Το πρώτο στάδιο της μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι η δειγματοληψία. Από το σύνολο των άπειρων τιμών του αναλογικού σήματος που μπορούμε να συλλέξουμε στο πεδίο του χρόνου, συλλέγουμε έναν αριθμό δειγμάτων (samples), τα οποία λαμβάνονται συνήθως με ομοιόμορφο ρυθμό, σε χρονικά διαστήματα  $T_s$  (εικόνα 4). Το  $T_s$  ονομάζεται περίοδος δειγματοληψίας και το αντίστροφο  $f_s=1/T_s$  συχνότητα ή ρυθμός δειγματοληψίας.



Εικόνα 4 : δειγματοληψία

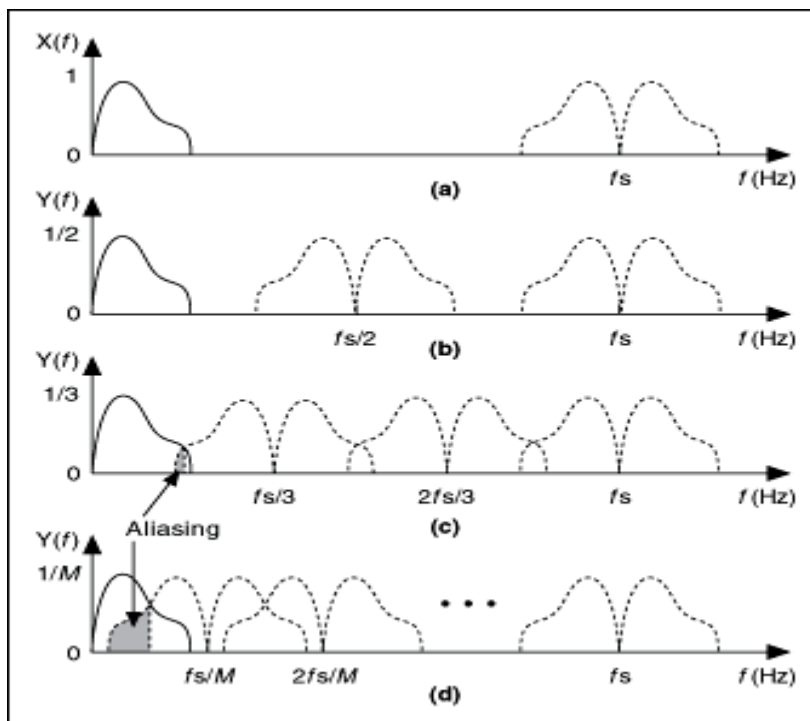
### Ιδανική Δειγματοληψία

Το είδος της δειγματοληψίας, στο οποίο τα δείγματα που συλλέγονται έχουν μηδενική διάρκεια, ονομάζεται ιδανική δειγματοληψία. Το δειγματοληπτημένο σήμα μπορεί να εκφραστεί σαν το γινόμενο του αρχικού αναλογικού σήματος με ένα «τρένο» στιγμιαίων ώσεων και το αποτέλεσμα στο πεδίο των συχνοτήτων είναι ένα επαναλαμβανόμενο φάσμα του αρχικού σήματος, μετατοπισμένο σε συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια του ρυθμού δειγματοληψίας (εικόνα 5).

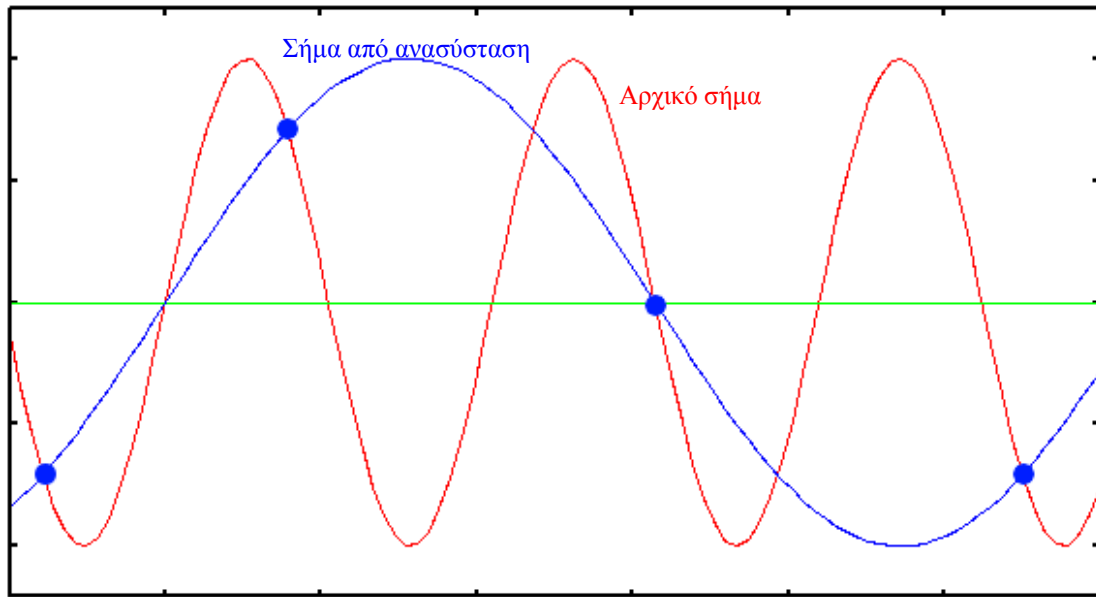


Εικόνα 5: Δειγματοληψία στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων

Με την διαδικασία της δειγματοληψίας, χάνονται ορισμένες πληροφορίες του αρχικού σήματος, καθώς παίρνουμε δείγματα κάθε κάποιο καθορισμένο χρόνο. Για να αναγνωριστεί και να ανακτηθεί το αρχικό αναλογικό σήμα από τα δείγματά του, έχει αποδειχθεί ότι θα πρέπει η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα του χαμηλοπερατού αναλογικού σήματος  $f_s=2W$ , όπου  $W$  το εύρος ζώνης του αρχικού σήματος. Όσο αυξάνεται ο ρυθμός δειγματοληψίας πάνω από το  $2W$  (ρυθμός Nyquist), τα φασματικά αντίγραφα απομακρύνονται μεταξύ τους και έτσι είναι πιο εύκολο να τα ξεχωρίσει ο δέκτης και να ανακατασκευάσει το αρχικό αναλογικό σήμα. Αντίθετα, αν ο ρυθμός δειγματοληψίας μικρύνει, τότε το ένα αντίγραφο εισέρχεται στην περιοχή του άλλου, με αποτέλεσμα υψηλές συχνότητες να παρουσιάζονται σαν χαμηλές (εικόνα 6). Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αλλοίωση (aliasing) και δημιουργεί προβλήματα στην σωστή ανασύσταση του σήματος (εικόνα 7).



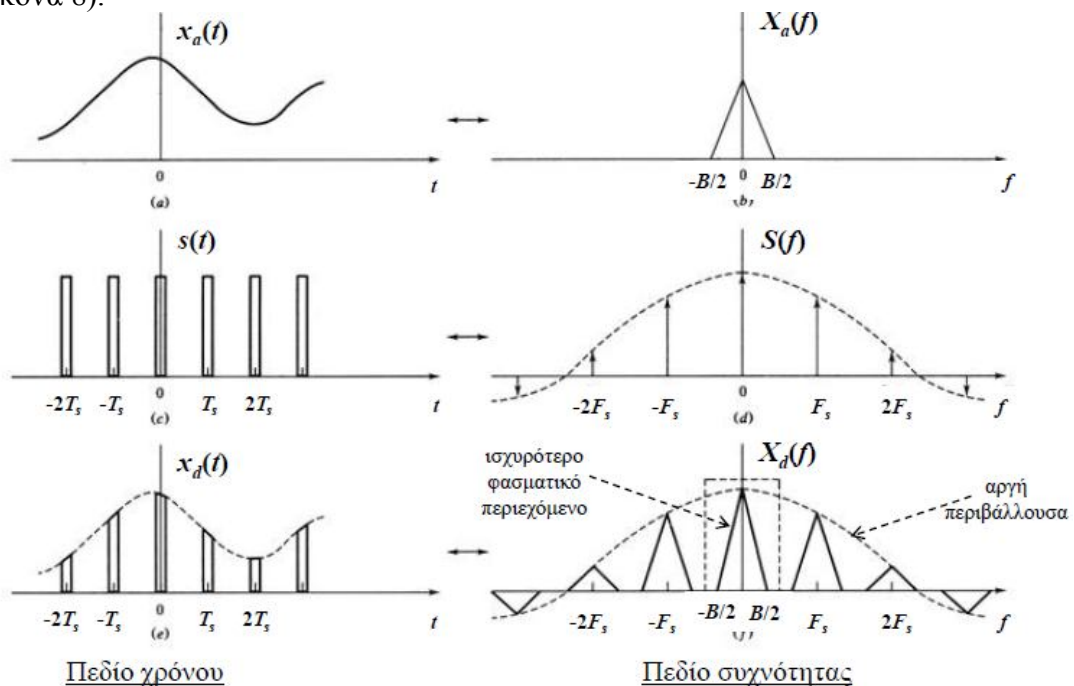
Εικόνα 6: Φαινόμενο αλλοίωσης στο πεδίο των συχνοτήτων



Εικόνα 7: Φαινόμενο αλλοίωσης στο πεδίο του χρόνου

### Πρακτική δειγματοληψία

Στην πράξη, είναι αδύνατον να πραγματοποιήσουμε ιδανική δειγματοληψία, αφού πάντα απαιτείται ένα χρονικό διάστημα (αν και μικρό) για την απόκτηση ενός δείγματος. Μπορούμε να θεωρήσουμε λοιπόν, ότι το αρχικό αναλογικό σήμα πολλαπλασιάζεται όχι με ένα «τρένο» στιγμιαίων ώσεων, αλλά με μια ακολουθία παλμών, διάρκειας  $\tau \ll Ts$ . Το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας είναι δείγματα διάρκειας  $\tau$  στο πεδίο του χρόνου και ολισθημένα φάσματα του αναλογικού σήματος των οποίων το πλάτος ακολουθεί μια αργή περιβάλλουσα στο πεδίο των συχνοτήτων (εικόνα 8).



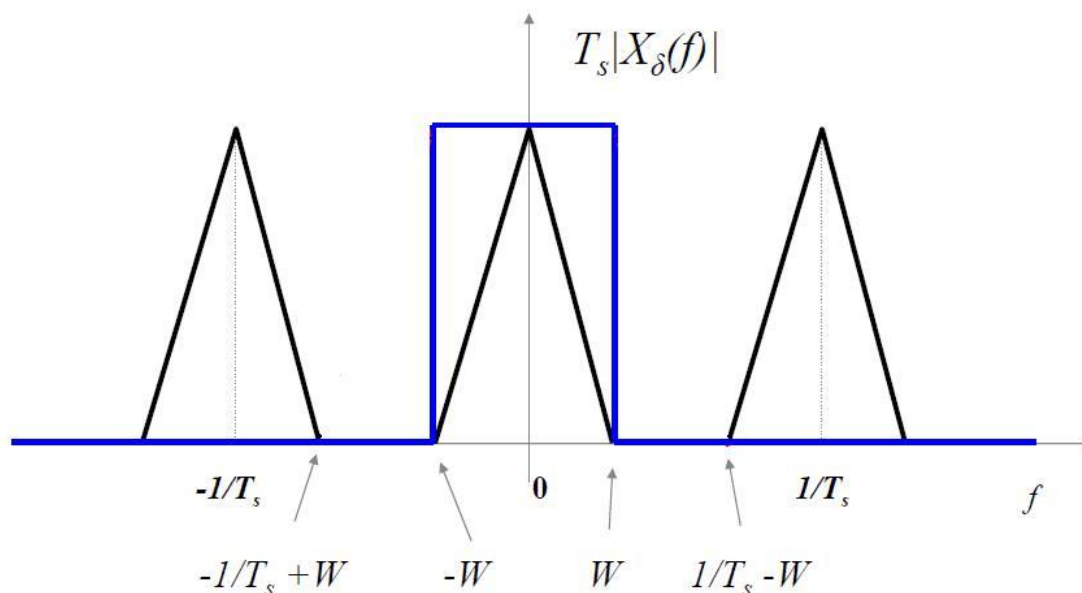
Εικόνα 8: Πρακτική δειγματοληψία

## Ανασύσταση

Τα δείγματα που έχουν αποκτηθεί με την διαδικασία της δειγματοληψίας, αρκούν για να ανασυσταθεί το αρχικό αναλογικό σήμα, εφόσον ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερος ή (θεωρητικά) ίσος με το ρυθμό Nyquist. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλοπερατό φίλτρο, εύρους ζώνης  $W$ , με συνάρτηση μεταφοράς

$$H_R(f) = \begin{cases} 1, & |f| \leq W \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Το φίλτρο απορρίπτει τα πολλαπλά φασματικά αντίγραφα και κρατάει μόνο το κεντρικό, το οποίο είναι το φάσμα του αρχικού αναλογικού σήματος (εικόνα 9).



**Εικόνα 9:** Χρήση φίλτρου στην ανάκτηση του αρχικού σήματος

## Πειραματικό μέρος

Σκοπός αυτής της άσκησης είναι η μελέτη και κατανόηση της δειγματοληψίας. Με την χρήση της πλατφόρμας του Simulink θα προσομοιώσουμε ένα σύστημα δειγματοληψίας και ανακατασκευής, θα μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά του συστήματος και θα παρακολουθήσουμε το σήμα και το φάσμα του σε κάθε σημείο του κυκλώματος.

### Άσκηση 1

Να γίνουν τα παρακάτω:

1. Κατεβάστε και τρέξτε το αρχείο “Sampling.mdl” από την τοποθεσία του εργαστηρίου στο e-class.
2. Περιγράψτε και εξηγήστε την λειτουργία του κάθε στοιχείου του κυκλώματος.
3. Πόση είναι η συχνότητα της πηγής ημιτονικού σήματος;
4. Πόσος είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας και γιατί;
5. Με την βοήθεια του scope 1, παρατηρείστε την μορφή των παλμών (σήμα από την γεννήτρια παλμών). Έχετε ιδανική δειγματοληψία ή όχι; Γιατί;
6. Μεταβάλλετε την διάρκεια των παλμών (pulse width = 4 samples). Τι επίδραση έχει αυτή η μεταβολή στην μορφή του δειγματοληπτημένου σήματος στο χρόνο και πώς αλλάζει το φάσμα του; Έχετε ιδανική δειγματοληψία ή όχι; Γιατί;
7. Επαναφέρετε την διάρκεια των παλμών στην αρχική τιμή. Πόση είναι η χρονική απόσταση των δειγμάτων (scope 1, σήμα μετά την δειγματοληψία) και γιατί;
8. Πόσο είναι το εύρος ζώνης κάθε αντιγράφου φάσματος, μετά την δειγματοληψία;
9. Πόσα Hz απέχουν τα φασματικά αντίγραφα του σήματος μετά την δειγματοληψία; Γιατί;
10. Αυξομειώστε τον ρυθμό δειγματοληψίας και παρατηρήστε τις αλλαγές στο πεδίο του χρόνου και στα φάσματα του σήματος. Τι πλεονέκτημα έχει η μεταβολή της απόστασης των φασματικών αντιγράφων, καθώς αυξάνει ο ρυθμός δειγματοληψίας;
11. Με την βοήθεια του scope 2, παρατηρείστε το ανακατασκευασμένο σήμα. Πότε έχετε καλύτερο αποτέλεσμα σε σχέση με τον ρυθμό δειγματοληψίας;
12. Τι χαρακτηριστικά πρέπει να έχει το φίλτρο, ώστε να έχουμε σωστή ανάκτηση του αρχικού σήματος;
13. Επιλέξτε ρυθμό δειγματοληψίας κοντά στον ρυθμό Nyquist. Πώς πρέπει να ρυθμίσουμε το φίλτρο ώστε να έχουμε ανάκτηση του σήματος και γιατί;

## Άσκηση 2

1. Κατεβάστε και τρέξτε το αρχείο “Sampling voice.mdl” (τίτλος: Δειγματοληψία Φωνής) από την τοποθεσία του εργαστηρίου στο e-class.
2. Τι συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να έχουμε ώστε να γίνει σωστή ανασύσταση της ομιλίας στον δέκτη;
3. Σε ποια συχνότητα αποκοπής πρέπει να ρυθμιστεί ο δέκτης;
4. Παρατηρώντας τα γραφήματα στο πεδίο των συχνοτήτων και του χρόνου απαντήστε στα παρακάτω:
  - A) Τι μορφή έχει το φάσμα της φωνής και ποια είναι η ανώτερη συχνότητα;
  - B) Τι μορφή έχει το φάσμα του τρένου παλμών;
  - Γ) Τι μορφή έχει το φάσμα μετά την δειγματοληψία;
  - Δ) Πώς είναι η κυματομορφή πριν και μετά την δειγματοληψία;
  - E) Τι συμβαίνει όταν μεγαλώσουμε την διάρκεια των παλμών;