

Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

## **Μάθημα: Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου**

Εργαστηριακή Άσκηση 3

**«Ψηφιακή επεξεργασία δυναμικής περιοχής ηχητικού σήματος»**

Διδάσκων: Φλώρος Ανδρέας  
Δρ. Ηλ/γος Μηχ/κός & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Κέρκυρα, 2013

**Πίνακας περιεχομένων**

1. Εισαγωγή .....	3
2. Μεταβολή κέρδους του ηχητικού σήματος και το φαινόμενο του ψαλιδισμού .....	3
2.1. Μεταβολή κέρδους του ηχητικού σήματος.....	3
2.2. Το φαινόμενο του ψαλιδισμού .....	4
3. Συμπίεση και διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος.....	5
3.1. Συμπίεση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος .....	6
3.2. Διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος.....	7
4. Υλοποίηση της άσκησης.....	7
4.1. Μεταβολή του κέρδους και ψαλιδισμός.....	8
4.2. Συμπίεση της δυναμικής περιοχής .....	9
4.3. Διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής.....	9
4.4. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων.....	10
5. Παράδοση της εργασίας .....	10
6. Σημαντικές παρατηρήσεις .....	11

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

### «Ψηφιακή επεξεργασία δυναμικής περιοχής ηχητικού σήματος»

#### 1. Εισαγωγή

Η ανάγκη για αποθήκευση και αναπαραγωγή των ηχητικών γεγονότων, και εν γένει του ήχου, οδήγησε στην ανακάλυψη των συσκευών/μηχανών καταγραφής και αναπαραγωγής του ήχου. Αν και οι πρώτες τέτοιες συσκευές ήταν «αναλογικές» (όπως ο κέρινος κύλινδρος, πάνω στον οποίο χαρασσόταν, με μεταλλική βελόνα, η διαταραχή ενός διαφράγματος πάνω στο οποίο επιδρούσε ο προς καταγραφή ήχος), πλέον οι περισσότερες ηχητικές συσκευές και μηχανήματα είναι ψηφιακά ή κάνουν εκτεταμένη χρήση ψηφιακών επεξεργασιών στο ηχητικό σήμα. Μία από τις βασικές, εάν όχι η βασικότερη, λειτουργίες των συσκευών αυτών είναι ο έλεγχος της στάθμης του ήχου, το λεγόμενο "volume" που έχει κάθε συσκευή με δυνατότητες αναπαραγωγής/καταγραφής ήχου (π.χ. κασετόφωνο, τηλεόραση κ.α.). Επίσης, πολλές φορές υπάρχει η ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία της δυναμικής περιοχής του ήχου, είτε για διατήρηση ενός συγκεκριμένου ορίου στη στάθμη (όπως, ενδεικτικά, στην ραδιοφωνική μετάδοση του ήχου, για την διασφάλιση τόσο της πιστότητας/ποιότητας του μεταδιδόμενου ήχου όσο και της μη καταστροφής των μηχανημάτων) είτε για την αποκοπή από το ηχητικό σήμα τμημάτων όπου δεν θεωρούνται ότι περιέχουν κάποια χρήσιμη πληροφορία (όπως, ενδεικτικά, στην αποθορυβοποίηση ηχητικών σημάτων).

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με τις βασικές τεχνικές μεταβολής κέρδους του ηχητικού σήματος, συμπίεσης και διόγκωσης της δυναμικής περιοχής καθώς και η παρατήρηση των συχνοτικών μεταβολών στο σήμα κατά το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Για τις ανάγκες της εργαστηριακής άσκησης θα χρησιμοποιηθούν οι υπολογιστές του τμήματος «Τεχνών Ήχου και Εικόνας» καθώς και, το εγκατεστημένο σε αυτούς, λογισμικό – πλατφόρμα προγραμματισμού «MATLAB».

#### 2. Μεταβολή κέρδους του ηχητικού σήματος και το φαινόμενο του ψαλιδισμού

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή αλλά και μπορεί να διαπιστωθεί από τις περισσότερες, εάν όχι όλες, τις συσκευές με δυνατότητες αναπαραγωγής ήχου, μία από τις βασικότερες επεξεργασίες του ηχητικού σήματος είναι η αλλαγή του κέρδους. Όμως, παρόλο που αυτή η λειτουργία είναι τόσο κοινή, εάν δεν τηρηθούν ορισμένοι κανόνες και όρια, η αύξηση του κέρδους μπορεί να επιφέρει ανεπιθύμητες, στις πλείστες των περιπτώσεων, αλλαγές στο συχνοτικό περιεχόμενο του αναπαραγόμενου ήχου.

##### 2.1. Μεταβολή κέρδους του ηχητικού σήματος

Κατά την μετατροπή του αναλογικού ηχητικού σήματος σε ψηφιακό, κάθε ένα δείγμα του ψηφιακού ηχητικού σήματος αποθηκεύεται ως μία τιμή στην μνήμη του υπολογιστή ή στο μέσο αποθήκευσης και η τιμή αυτή, και για ένα μη κωδικοποιημένο και συμπιεσμένο ψηφιακό ηχητικό σήμα, είναι η στάθμη του συγκεκριμένου δείγματος. Έτσι, η μεταβολή της τιμής αυτής ισοδυναμεί με την μεταβολή της στάθμης του, αντίστοιχου, δείγματος του ψηφιακού ηχητικού σήματος.

Η μεταβολή του κέρδους σε ένα ψηφιακό ηχητικό σήμα υλοποιείται με τον πολλαπλασιασμό των τιμών των δειγμάτων του σήματος με ένα αριθμό (κέρδος). Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η απλή μεταβολή του κέρδους, ο προαναφερθέν αριθμός είναι μία σταθερά. Στο Σχήμα 1 είναι μία σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μεταβολής του κέρδους, όπου ισχύει και η σχέση:

$$y(n) = G * x(n)$$

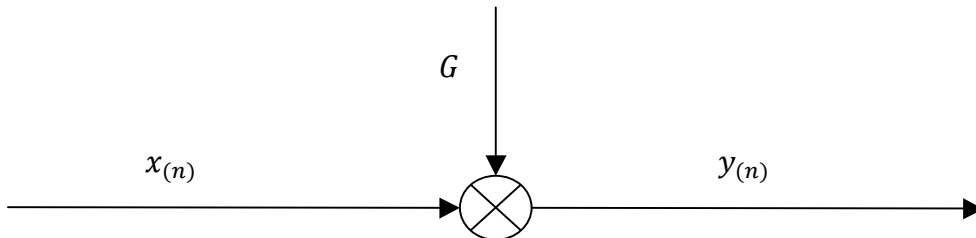
1

όπου:

$x(n)$  το αρχικό ψηφιακό ηχητικό σήμα

$G$  η σταθερά πολλαπλασιασμού και

$y(n)$  το τελικό ψηφιακό ηχητικό σήμα



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μεταβολής του κέρδους.

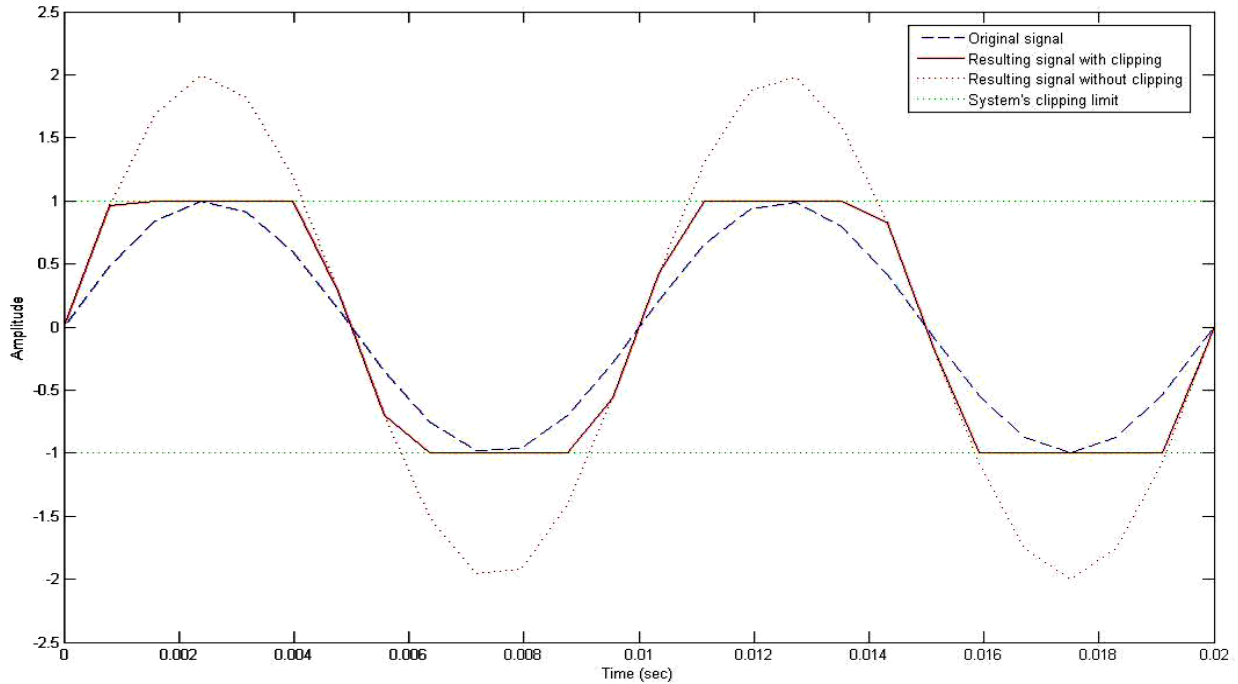
Όμως, εάν η τελική τιμή της στάθμης του δείγματος υπερβεί το άνω όριο των τιμών του μέσου αναπαραγωγής/αποθήκευσης, τότε το σύστημα δεν μπορεί να αποδώσει στο δείγμα τιμή μεγαλύτερη από το άνω όριο του και έτσι οποιαδήποτε τιμή πάνω από αυτό το όριο μεταβάλλεται στην τιμή του ορίου αυτού και το φαινόμενο αυτό καλείται ψαλιδισμός.

## 2.2. Το φαινόμενο του ψαλιδισμού

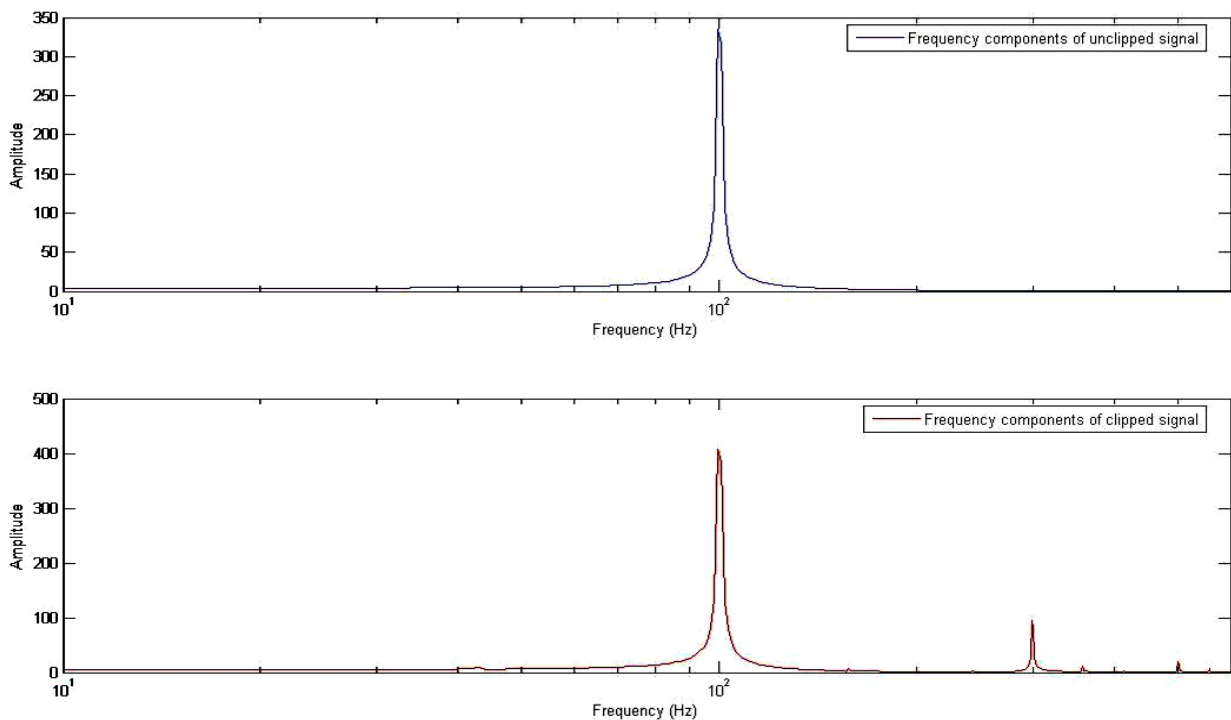
Κατά το φαινόμενο του ψαλιδισμού, πλήθος τιμών των δειγμάτων ενός σήματος υπερβαίνουν το άνω όριο των τιμών που μπορούν να αποδοθούν σε δείγματα σημάτων του συστήματος/μέσου αποθήκευσης/αναπαραγωγής του σήματος, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των τιμών αυτών στην τιμή του ορίου του συστήματος/μέσου. Στα ψηφιακά ηχητικά σήματα, και δεδομένου ότι ο ήχος είναι εκ φύσεως αναλογικός, ο ψαλιδισμός οφείλεται και προκαλείται από το κέρδος. Στην Εικόνα 1 είναι ένα ημιτονικό σήμα χωρίς ψαλιδισμό και το συνεπαγόμενο, από την ρύθμιση/αύξηση του κέρδους, σήμα με ψαλιδισμό.

Η βασικότερη επήρεια του φαινομένου του ψαλιδισμού σε ένα ηχητικό σήμα είναι η αλλοίωση του συχνοτικού περιεχομένου του σήματος. Έτσι, το φαινόμενο του ψαλιδισμού αλλοιώνει το αρχικό συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος εισάγοντας συχνότητες στο σήμα που αρχικά δεν υπήρχαν. Στην Εικόνα 2 είναι η συχνοτική ανάλυση των δύο ημιτονικών σημάτων της Εικόνας 1. Αν και εν πρώτης διαφαίνεται πως είναι ανεπιθύμητος ο ψαλιδισμός, και είναι στις περισσότερες περιπτώσεις, το ηχητικό εφέ της υπεροδήγησης (overdrive) βασίζεται, ακριβώς, στο φαινόμενο του ψαλιδισμού<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ιστορικό στοιχείο: Ένας από τους πρώτους κιθαρίστες που χρησιμοποίησε την υπεροδήγηση (προκαλώντας ψαλιδισμό και, συνεπώς, παραμόρφωση του σήματος) ήταν ο Chuck Berry (18-10-1926) στην δεκαετία του 1950. Καθώς η οικονομική του κατάσταση δεν του επέτρεπε να αγοράσει μεγαλύτερο ενισχυτή από αυτόν που είχε, αναγκαζόταν να υπεροδηγεί τον μικρότερο ενισχυτή του, με σκοπό να ακούγεται πιο δυνατά.



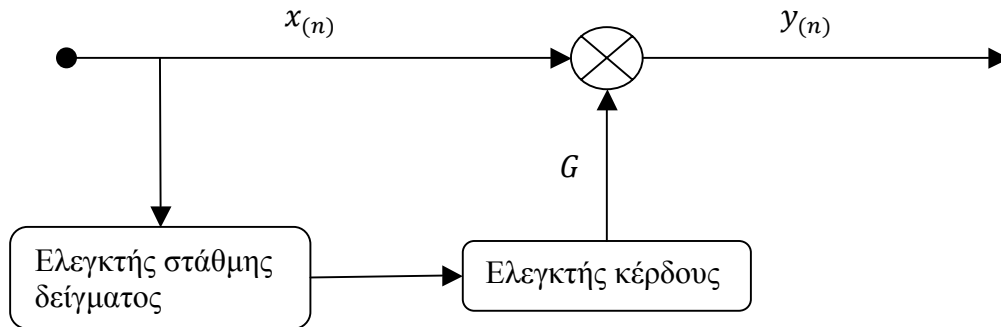
Εικόνα 1. Το φαινόμενο του ψαλιδισμού σε ένα ημιτονικό σήμα.



Εικόνα 2. Συχνотικό περιεχόμενο των ημιτονικών σημάτων της Εικόνας 1.

### 3. Συμπίεση και διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος

Μία ακόμα χρήσιμη μέθοδος επεξεργασίας της δυναμικής περιοχής ενός ηχητικού σήματος είναι η αλλαγή του κέρδους όχι για όλες τις τιμές του σήματος αλλά για εκείνες που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη τιμή/όριο (threshold). Στο Σχήμα 2 είναι μία σχηματική αναπαράσταση αυτής της διαδικασίας.



**Σχήμα 2.** Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας παραμετροποιημένης αλλαγής κέρδους.

Οι συνήθεις υλοποιήσεις αυτής της μεθόδου είναι η συμπίεση της δυναμικής περιοχής του σήματος (compression), και η συσκευή που υλοποιεί την συμπίεση ονομάζεται συμπιεστής (compressor), και η διαστολή/διόγκωση (expansion), και η συσκευή που υλοποιεί την διαστολή/διόγκωση ονομάζεται διαστολέας (expander).

### 3.1. Συμπίεση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος

Κατά την συμπίεση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος, οι τιμές των δειγμάτων του σήματος που είναι μεγαλύτερες από μία τιμή όριο (threshold) μειώνονται κατά ένα σταθερό λόγο (ratio). Έτσι, η μείωση της τιμής των δειγμάτων δεν είναι σταθερή κατά απόλυτη τιμή αλλά κλιμακώνεται αναλόγως της τιμής του προς επεξεργασία δείγματος.

Οι περισσότεροι συμπιεστές που απαντώνται στην μουσική βιομηχανία δεν εφαρμόζουν άμεσα και δείγμα προς δείγμα την μεταβολή των τιμών των δειγμάτων του ηχητικού σήματος αλλά παρέχουν επιπλέον επιλογές για την εφαρμογή της συμπίεσης όπως:

1. Αμεσότητα της έναρξης (attack), όπου καθορίζεται ο χρόνος κατά τον οποίο θα εφαρμοστεί πλήρης συμπίεση (σύμφωνα με τον λόγο συμπίεσης),
2. διάρκεια της συμπίεσης (sustain), όπου καθορίζεται για πόσο χρόνο θα εφαρμοστεί η συμπίεση από την χρονική στιγμή που ανιχνεύτηκε το τελευταίο δείγμα του οποίου η τιμή ήταν μεγαλύτερη από το όριο του συμπιεστή, και
3. έλεγχο της εξασθένησης της συμπίεσης (release), όπου καθορίζεται η χρονική διάρκεια κατά την οποία η συμπίεση θα εξασθενίσει και δεν θα επιδρά πλέον ο συμπιεστής στις τιμές των δειγμάτων του σήματος.

Ο λόγος για την προαναφερθείσα υλοποίηση της συμπίεσης είναι η ομαλή εφαρμογή της συμπίεσης, καθιστώντας την στο ελάχιστο, ή και καθόλου, αντιληπτή. Η ανάγκη της χρήσης του συμπιεστή προκύπτει από την ανάγκη, όπου αυτή υπάρχει, για διατήρηση ομαλότερων μεταβολών της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος. Στην Εικόνα 3 εικονίζεται ένας συμπιεστής της εταιρείας Airfield Audio.

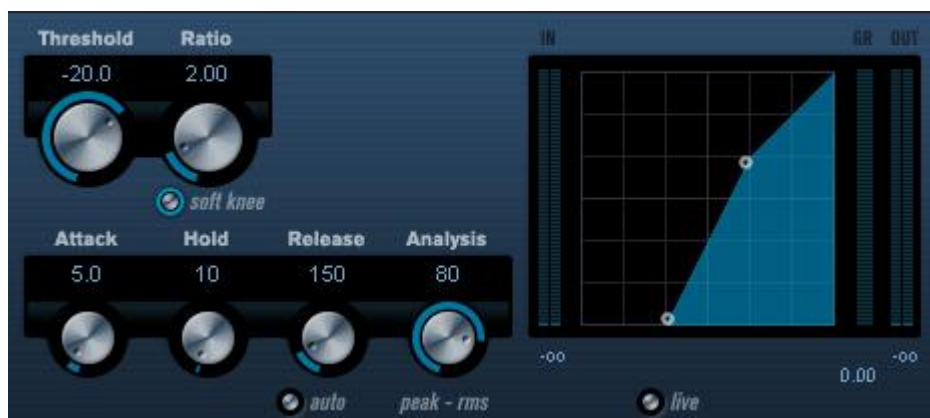


Εικόνα 3. Συμπιεστής της εταιρείας Airfield Audio.

### 3.2. Διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής του ηχητικού σήματος

Κατά την διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής ενός σήματος, οι τιμές των δειγμάτων του σήματος που είναι μικρότερες από το όριο (threshold) του διαστολέα (expander), μειώνονται κατά ένα σταθερό λόγο (ratio). Αν και είναι πιο σπάνιο να συναντήσει κανείς διαστολέα ως αυτόνομο μηχάνημα, εντούτοις υπάρχουν αρκετές υλοποιήσεις διαστολέων σε λογισμικά (software).

Θα πρέπει να σημειωθεί πως και ο διαστολέας, για την ελαχιστοποίηση της δυνατότητας της παρατήρησης της επήρειάς του από τον ακροατή, παρέχει, συνήθως, τις ίδιες επιπλέον επιλογές με τον συμπιεστή. Στην Εικόνα 4 φαίνεται ένα διαστολέας σε μορφή λογισμικού της εταιρείας Steinberg.



Εικόνα 4. Διαστολέας, σε μορφή λογισμικού, της εταιρείας Steinberg.

Η χρήση διαστολέων ενδείκνυται στις περιπτώσεις που παρατηρείται η ανάγκη για την συμπίεση των σταθμών δειγμάτων του σήματος τα οποία δεν περιέχουν χρήσιμη πληροφορία και η στάθμη τους είναι χαμηλότερη από την στάθμη των χρησιμων δειγμάτων (π.χ. θόρυβος).

## 4. Υλοποίηση της άσκησης

Για την υλοποίηση της άσκησης απαιτείται η μεταβολή κέρδους, η συμπίεση και η διαστολή ενός ηχητικού σήματος, μέσω της πλατφόρμας προγραμματισμού MATLAB, καθώς και η παρατήρηση των πιθανών επιρροών των διαδικασιών αυτών στο συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να μεταβληθεί το κέρδος σε ένα ηχητικό σήμα με σκοπό το σήμα αυτό να αποκτήσει κατάλληλες τιμές στα δείγματά του έτσι ώστε να έχει πλάτος 0 dBFS. Επίσης, στο

ίδιο σήμα θα πρέπει να μεταβληθεί το κέρδος έτσι ώστε να παρουσιαστεί ψαλιδισμός. Για τις δύο αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να μελετηθεί το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος.

Επίσης, θα πρέπει για ένα ηχητικό σήμα να συμπιεστεί και να διασταλεί/διογκωθεί η δυναμική του περιοχή και να εξαχθούν συμπεράσματα για την επήρεια των δύο αυτών διαδικασιών τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.

Το απαιτούμενο υλικό (αρχεία ήχου και m-files) της εργαστηριακής άσκησης είναι αναρτημένο στο e-class. Για την χρήση των αρχείων της MATLAB, θα πρέπει αυτά να εισαχθούν στη MATLAB με τη χρήση του Set path (File -> Set path).

Τα παραγόμενα σήματα μπορούν να αναπαραχθούν από την MATLAB με την χρήση της εντολής `sound` (σε περίπτωση που η χρήση της εντολής αυτής είναι άγνωστη, μπορεί να γίνει χρήση της εντολής `help` για την λήψη πληροφοριών της εντολής `sound`). Συνιστάται η ακρόαση όλων των παραγόμενων σημάτων.

#### 4.1. Μεταβολή του κέρδους και ψαλιδισμός

Για τις ανάγκες της παρατήρησης της επήρειας της μεταβολής του κέρδους και του φαινομένου του ψαλιδισμού πρέπει:

1. Να δημιουργηθεί ένα σήμα  $x_1$  συχνότητας 100 Hz, διάρκειας 1 δευτερολέπτου, με κέρδος 0.1 και επιλέγοντας κατάλληλη συχνότητα δειγματοληψίας. Για την υλοποίηση του διαφορετικού κέρδους, θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> x1 = 0.1 .* sin(2 .* pi .* f .* t1);
```

Όπου  $f$  και  $t$  είναι οι μεταβλητές που έχουν οριστεί για την συχνότητα και τον χρόνο, αντίστοιχα, σύμφωνα με το προηγούμενο εργαστήριο. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως πριν την δημιουργία του σήματος  $x_1$  και για τις μετέπειτα ανάγκες της άσκησης, ο πίνακας του χρόνου  $t$  θα πρέπει να δηλωθεί ως:

```
>> t1 = t1(1:1024);
```

Και έπειτα να δημιουργηθεί το σήμα  $x_1$  (και τα υπόλοιπα).

2. Να δημιουργηθεί ένα νέο σήμα,  $x_2$ , το οποίο θα είναι ίδιο με  $x_1$  το αλλά με κέρδος τέτοιο ώστε οι τιμές του να είναι οι μέγιστες δυνατές χωρίς να εμφανίζεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Για την υλοποίηση αυτού του βήματος θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> G = 1 / max(x1);
>> x2 = G .* x1;
```

Όπου  $G$  είναι η μεταβλητή του κέρδους και `max` είναι μία συνάρτηση της MATLAB που επιστρέφει το μέγιστο στοιχείο του ορίσμάτός της.

3. Να δημιουργηθεί ένα νέο σήμα,  $x_3$ , το οποίο θα είναι ίδιο με το σήμα  $x_1$  αλλά με κέρδος τέτοιο ώστε να εμφανίζεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Για την υλοποίηση αυτού του βήματος θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> x3 = 2 .* x2;
```



Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η μέγιστη τιμή των ηχητικών δειγμάτων προς αναπαραγωγή, με την χρήση της MATLAB, είναι  $|1|$ , παρόλο που όταν δημιουργηθεί, αναλυθεί και σχεδιαστεί, χωρίς να αναπαραχθεί, ένα σήμα με τιμές των δειγμάτων του πάνω από  $|1|$  δεν θα παρουσιαστεί το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Για την παρουσίαση του φαινομένου του ψαλιδισμού, θα πρέπει να κατασκευαστεί το αντίστοιχο σήμα. Έτσι, και για το σήμα  $x_3$ , θα πρέπει να δοθεί στην MATLAB:

```
>> for i = 1:length(x3)
if x3(i) >= 1
x3(i) = 1;
elseif x3(i) <= -1
x3(i) = -1;
end
end
```

#### 4.2. Συμπίεση της δυναμικής περιοχής

Για την υλοποίηση της συμπίεσης της δυναμικής περιοχής θα πρέπει:

1. Να εισαχθεί στη MATLAB το αρχείου ήχου (που εμπεριέχεται στον αναρτημένο φάκελο στο e-class με το υλικό της άσκησης), μέσω της εντολής `wavread`.
2. Να συμπίεστεί η δυναμική του περιοχή, χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά όρια και τρεις διαφορετικούς λόγους μείωσης, οι τιμές των οποίων είναι στον Πίνακα 1. Για την υλοποίηση αυτού του βήματος θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> y01_2 = Fx_Compressor(x, 0.1, 2);
>> y01_4 = Fx_Compressor(x, 0.1, 4);
>> y01_8 = Fx_Compressor(x, 0.1, 8);
```

Όπου  $x$  είναι το εισαχθέν στη MATLAB αρχείο ήχου. Η ίδια διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις των τιμών του Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Πίνακας με τα προς χρήση όρια και λόγους μείωσης.

Όρια (Thresholds)		
0.1	0.5	0.8
Λόγοι μείωσης (ratio)		
2	4	8

#### 4.3. Διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής

Για την διαστολή/διόγκωση της δυναμικής περιοχής θα γίνει χρήση του ίδιο αρχείου ήχου με αυτό της ενότητας 4.2. Έτσι, θα πρέπει να γίνουν οι εξής ενέργειες:

1. Να εισαχθεί το αρχείο ήχου στην MATLAB, σε περίπτωση που έχει αλλοιωθεί ή/και διαγραφεί, μέσω της εντολής `wavread`.
2. Να διασταλεί/διογκωθεί η δυναμική του περιοχή χρησιμοποιώντας τις τιμές του Πίνακα 1 για τα όρια και τους λόγους μείωσης. Για την υλοποίηση αυτού του βήματος θα πρέπει να γίνει χρήση της εντολής `Fx_Expander` με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως έγινε χρήση της εντολής `Fx_Compressor` στην ενότητα 4.2. Δηλαδή, θα πρέπει να δοθεί στην MATLAB:

```
>> y01_2 = Fx_Expander(x, 0.1, 2);
>> y01_4 = Fx_Expander(x, 0.1, 4);
>> y01_8 = Fx_Expander(x, 0.1, 8);
```

Όπου  $x$  είναι το εισαχθέν στη MATLAB αρχείο ήχου. Η ίδια διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις των τιμών του Πίνακα 1.

#### 4.4. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, θα πρέπει να παραχθούν διαγράμματα στο πεδίο του χρόνου καθώς και στο πεδίο της συχνότητας. Τα διαγράμματα στο πεδίο του χρόνου υλοποιούνται με την χρήση της εντολής `plot`. Για την σωστή χρήση της μεταβλητής του χρόνου, θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> t2 = 0 : 1/FS : length(x)/FS - (1/FS);
```

όπου  $x$  είναι το ηχητικό σας σήμα με συχνότητα δειγματοληψίας  $FS$  και  $t$  η μεταβλητή του χρόνου.

Για την εξαγωγή του συχνοτικού περιεχομένου των σημάτων θα πρέπει να γίνει χρήση της εντολής `CalculateSpectrum`, για τα σήματα από τις ενότητες 4.2 και 4.3, και της εντολής `fft` για τα σήματα της ενότητας 4.1. Έτσι, για τα σήματα των ενότητων 4.2 και 4.3 θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> [P, f] = CalculateSpectrum(x);
```

Όπου  $P$  είναι ένας μονοδιάστατος πίνακας με τις τιμές του πλάτους έκαστης συχνότητας και  $f$  ένας μονοδιάστατος πίνακας με τις συχνότητες του σήματος  $x$ .

Για την διερεύνηση του συχνοτικού περιεχομένου των σημάτων της ενότητας 4.1, θα πρέπει να δοθεί στη MATLAB:

```
>> y1 = fft(x1, 1024);
>> y2 = fft(x2, 1024);
>> y3 = fft(x3, 1024);

>> Y1 = abs(real(y1));
>> Y2 = abs(real(y2));
>> Y3 = abs(real(y3));

>> f = fs * ( 0 : 1024/2 ) / 1024;
```

Για την σχεδίαση του συχνοτικού περιεχομένου θα πρέπει να δοθεί:

```
>> semilogx(f, Y1(1:513))
>> semilogx(f, Y1(1:513))
>> semilogx(f, Y1(1:513))
```

## 5. Παράδοση της εργασίας

Παραδοτέο της συγκεκριμένης άσκησης αποτελεί αναφορά σε ηλεκτρονική μορφή (τύπου `.doc` ή `.pdf`), στην οποία απαραίτητως θα περιλαμβάνονται οι παρακάτω ενότητες:

1. Εξώφυλλο με τα στοιχεία της εργασίας, τα προσωπικά σας στοιχεία (ονοματεπώνυμο, έτος σπουδών και αριθμός μητρώου) και η ομάδα / ημερομηνία εκτέλεσης της άσκησης.
2. Ενότητα «Εισαγωγή» στην οποία θα εξηγήετε επιγραμματικά τους στόχους της άσκησης.
3. Ενότητα «Θεωρία» στην οποία θα αναπτύσσετε το θεωρητικό υπόβαθρο των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας και της ανάλυσής σας.

4. Ενότητα «Υλοποίηση της άσκησης», στην οποία θα περιγράψετε τη διαδικασία εκτέλεσης της άσκησης που πραγματοποιήσατε.
5. Ενότητα «Αποτελέσματα» στην οποία θα δίνετε τα ζητούμενα από την άσκηση αποτελέσματα υπό μορφή πινάκων ή / και διαγραμμάτων συχνότητας ή / και διαγραμμάτων χρόνου.
6. Ενότητα «Συμπεράσματα» στην οποία θα συνοψίζετε σε μία-δύο παραγράφους τις εργασίες που εκτελέσατε και θα ερμηνεύετε ποιοτικά και ποσοτικά τα αποτελέσματα που λάβατε.

Η κατάθεση της ηλεκτρονικής αναφοράς θα γίνει ηλεκτρονικά μέσω του e-class. Η προθεσμία υποβολής είναι αυστηρή και ορίζεται ως μία εβδομάδα μετά την εκτέλεση της άσκησης στο εργαστήριο. Υπενθυμίζεται ότι η εργασία είναι ατομική.

## 6. Σημαντικές παρατηρήσεις

1. Δεδομένου ότι τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την εκτέλεση της εργαστηριακής άσκησης είναι καθορισμένα, παρακαλούνται οι συμμετέχοντες να προσέλθουν χωρίς καθυστέρηση την προβλεπόμενη ώρα, καθώς θα είναι αδύνατη η προς τα πίσω εξήγηση, η ερμηνεία επιμέρους λεπτομερειών και η παροχή πρόσθετων διευκρινίσεων.
2. Για την εκτέλεση της άσκησης στις συνθήκες του εργαστηρίου, απαραίτητη κρίνεται η χρήση ακουστικών. Για το λόγο αυτό παρακαλούνται όλοι οι φοιτητές να φέρουν μαζί τους το προσωπικό τους ζευγάρι ακουστικών.