



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΟΥ
ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΗΧΟΥ



ΚΑΤΣΑΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

2007

Υπεύθυνος Καθηγητής : Φιτσανάκης Μίνως

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
----------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Πρωτόκολλα Διασύνδεσης και Μεταφοράς του Ψηφιακού Ήχου

Εισαγωγή	5
Κωδικοποίηση Ψηφιακού Ήχου	6
S/PDIF	15
AES/EBU-AES3	19
MADI	23
ADAT	26
TDIF	28
SDIF-2, SDIF-3, MAC-DSD	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φαινόμενα που Προκύπτουν κατά την Μεταφορά, την Αναπαραγωγή και την Αποθήκευση του Ψηφιακού Ήχου

Jitter	31
Ασυμβατότητα Αντιστάσεων	37
Μετατροπή Ανάλυσης, Dithering, Resampling	40
Ταχύτητα Εγγραφής CD-Audio	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πειραματική Διαδικασία

Πείραμα 1 – Τύποι Καλωδίων για Σήμα Χρονισμού (wordclock)	47
Πείραμα 2 – Interface Jitter	52
Πείραμα 3 – Σύγκριση Ψηφιακών Πρωτοκόλλων Μεταφοράς Ήχου	58
Πείραμα 4 – Συχνότητες Δειγματοληψίας, Dithering, Ταχύτητα Εγγραφής CD-Audio	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ψηφιακές Διατάξεις-Συνδεσμολογίες σε Studios Παραγωγής Ηχητικού Υλικού

AES/EBU με Ψηφιακή Κονσόλα	77
AES/EBU με Αναλογική Κονσόλα	79
ADAT με Ψηφιακή Κονσόλα	80
MADI με Ψηφιακή Κονσόλα	81
MADI με Αναλογική Κονσόλα	82
TDIF Tape Recorders	83
Controllers	85
Προτάσεις Διατάξεων	88
Βιβλιογραφία	90

Πρόλογος :

Ο ψηφιακός ήχος βρίσκεται πλέον στην βάση κάθε επαγγελματικού ή μη χώρου παραγωγής ήχου. Από την εποχή που οι υπολογιστές τύπου Atari είχαν τον ρόλο ενός απλού MIDI Sequencer η ψηφιακή τεχνολογία στον χώρο του ήχου έχει κάνει μεγάλα άλματα προόδου με αποτέλεσμα να αντικαταστήσει, σε ορισμένες βέβαια περιπτώσεις, όλες τις άλλοτε αναλογικές λειτουργίες ενός Studio παραγωγής ήχου. Ευνόητο είναι λοιπόν ότι έχει κατασκευαστεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός μηχανημάτων με ψηφιακή λειτουργία για να μπορέσουν να καλυφθούν όλες οι ανάγκες ενός σύγχρονου ψηφιακού Studio. Ο ψηφιακός ήχος, έλυσε πολλά από τα προβλήματα της αναλογικής τεχνολογίας όπως είναι ο θόρυβος και επιτάχυνε πολλές χρονοβόρες διαδικασίες που ήταν απαραίτητες όταν κανείς χρησιμοποιούσε αναλογικά μέσα. Εκ πρώτης όψεως, φαντάζει ως η τέλεια και συνάμα εύκολη λύση για οποιοδήποτε studio παραγωγής ήχου έχοντας υπόψη βέβαια και το κόστος όπου σίγουρα η ψηφιακή τεχνολογία υπερτερεί. Για παράδειγμα μπορεί κάποιος εύκολα να παράγει ένα διαφημιστικό jingle με έναν υπολογιστή που διαθέτει και την ανάλογη κάρτα ήχου και ένα μικρόφωνο χωρίς ιδιαίτερη ανάγκη για αγορά περαιτέρω εξοπλισμού. Με την ψηφιακή τεχνολογία δημιουργήθηκαν νέα θέματα όσον αφορά την διασύνδεση και την σωστή λειτουργία των μηχανημάτων τα οποία λύνονται άλλες φορές εύκολα και άλλες δύσκολα. Επίσης υπάρχουν ακόμα σοβαρά ερωτήματα για το αν η ψηφιακή τεχνολογία είναι πάντοτε η καλύτερη λύση στον χώρο του ήχου.

Η εργασία αυτή έχει σκοπό να δώσει μερικές λύσεις στα σημερινά θέματα γύρω από τον ψηφιακό ήχο εξετάζοντας όλες τις περιπτώσεις διασύνδεσης και λειτουργίας αυτού σε Studio παραγωγής μουσικού υλικού κυρίως, εφόσον οι απαιτήσεις του χώρου αυτού είναι εξαιρετικά μεγάλες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Πρωτόκολλα διασύνδεσης και μεταφοράς του ψηφιακού ήχου

Λόγω της πληθώρας μηχανημάτων και των διαφορετικών λειτουργιών τους ήταν αναπόφευκτο να επινοηθούν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία θα επιτρέπανε την μεταξύ τους σύνδεση και ομαλή λειτουργία. Όπως είναι γνωστό σε ένα Studio παραγωγής μουσικού υλικού, τα ηχητικά σήματα ψηφιακά και μη ακολουθούν περίπλοκες και συχνά μεγάλες διαδρομές μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους. Σκοπός πάντα είναι, το τελικό σήμα που λαμβάνεται να έχει υποστεί όσο το δυνατόν μικρότερη παραμόρφωση σε σχέση με το αρχικό σήμα. Στην ψηφιακή διασύνδεση αυτό είναι πάντα πιο εφικτό αλλά όχι και απόλυτο. Συνήθως επιτυγχάνεται με τον απόλυτο συγχρονισμό των μηχανημάτων μεταξύ τους και την σωστή καλωδίωση και διάταξη. Ο όρος συγχρονισμός στην ψηφιακή διασύνδεση σημαίνει ότι το ένα μηχάνημα πρέπει να λαμβάνει όλα τα ψηφιακά δείγματα στους ίδιους χρόνους και με την ίδια συχνότητα που εκπέμπει το άλλο για να μην υπάρξει παρερμηνεία της ηχητικής πληροφορίας. Οι διάφοροι τρόποι συγχρονισμού θα αναφερθούν και θα αναλυθούν στην συνέχεια. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα πρωτόκολλα διασύνδεσης και μεταφοράς του ψηφιακού ήχου θα πρέπει πρώτα να αναλύσουμε τους βασικούς τρόπους κωδικοποίησης ασυμπίεστου ψηφιακού ήχου.

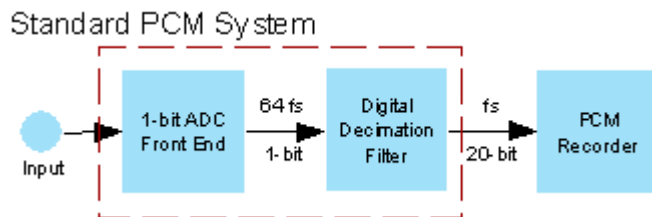
Κωδικοποίηση Ψηφιακού Ήχου

PCM

Το βασικό format (τύπος αρχείου) που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα είναι το PCM το οποίο ανακάλυψε ο Alec Reeves το 1937. Τα αρχικά του σημαίνουν Pulse Code Modulation που μπορεί να μεταφραστεί και ως «Διαμόρφωση Παλμικού Κώδικα» όρος που ωστόσο δεν χρησιμοποιείται. Η κωδικοποίηση PCM πραγματοποιείται λαμβάνοντας περιοδικά δείγματα ήχου από ένα αναλογικό σήμα και συνέχεια μεταφράζοντας τα σε ψηφιακές λέξεις των 4, 8, 16, 20 ή 24 bit. Η ανάλυση σε bits καθώς και η συχνότητα δειγματοληψίας εξαρτώνται πλήρως από τις δυνατότητες του εκάστοτε μηχανήματος. Όπως είναι λογικό όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας και η ανάλυση, τόσο καλύτερη είναι και η ποιότητα της ψηφιακής απεικόνισης του αρχικού σήματος. Μέχρι σήμερα η μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας για κωδικοποίηση PCM που επιτρέπουν τα επαγγελματικά μηχανήματα ήχου είναι τα 192 KHz. Κατά την εφαρμογή της κωδικοποίησης PCM δεν γίνεται συμπίεση δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο όγκος της ψηφιακής πληροφορίας ανάλογα με την τιμή της δειγματοληψίας και της ανάλυσης σε bit. Όπως θα δούμε στην συνέχεια το γεγονός αυτό επηρεάζει την επιλογή των χαρακτηριστικών της κωδικοποίησης PCM που θα γίνεται κάθε φορά από ένα τεχνικό του ήχου.

Η μετατροπή ενός ηχητικού σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα γίνεται από τα μηχανήματα που ονομάζονται ψηφιακοί μετατροπείς (converters). Ο μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό λέγεται ADC (analog to digital converter) ενώ ο μετατροπέας από ψηφιακό σε αναλογικό λέγεται DAC (digital to analog converter). Τα δύο αυτά μηχανήματα έχουν ακριβώς αντίστροφη λειτουργία. Συνήθως ο ADC θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά μηχανήματα σε ένα studio ψηφιακής ηχογράφησης διότι αποτελεί μεγάλο παράγοντα της ποιότητας

εγγραφής του πρωτογενούς σήματος. Για παράδειγμα θα μπορούσε ένα studio να διαθέτει πολύ καλά αναλογικά κυκλώματα προενίσχυσης αλλά με έναν μη ποιοτικό ADC το τελικό σήμα εγγραφής θα υστερούσε πολύ. Για να κατανοήσουμε λοιπόν το πρωτόκολλο PCM θα πρέπει να περιγράψουμε την λειτουργία ενός PCM ADC. Η ηλεκτρονική διάταξη ενός ADC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



PCM ADC converter block diagram.

Όπως φαίνεται στο σχήμα ένας ADC μετατροπέας αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο κομμάτι γίνεται η δειγματοληψία και στο δεύτερο εφαρμόζεται ένα ψηφιακό φίλτρο το οποίο μειώνει την αρχική δειγματοληψία σε αυτήν που έχουμε επιλέξει για την εγγραφή. Αυτή η διαδικασία έχει προκύψει από τον αρχικό σχεδιασμό των ADC μετατροπέων. Οι πρώτοι ADC χρησιμοποιούσαν χαμηλοπερατά αναλογικά φίλτρα στο εισερχόμενο αναλογικό σήμα τα οποία είχαν συχνότητα αποκοπής στην συχνότητα που προκύπτει από το θεώρημα του Nyquist δηλαδή στην $f_s/2$ όπου f_s η συχνότητα δειγματοληψίας. Αυτά τα φίλτρα έπρεπε να έχουν πολύ μικρή απόκλιση (έως μηδενική) στην συχνότητα αυτή έτσι ώστε να μην υπάρχει καθόλου πληροφορία πάνω από το όριο της εκάστοτε θεμιτής συχνότητας (aliasing). Ο σχεδιασμός των φίλτρων αυτών είναι εξαιρετικά δύσκολος και απαιτεί αρκετά ίδια φίλτρα στην σειρά για να επιτευχθεί η κατάλληλη καμπύλη αποκοπής. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται θόρυβος, φασικά προβλήματα και μη απόλυτη απόκριση συχνότητας λόγω των φυσικών ιδιοτήτων των αναλογικών κυκλωμάτων. Επίσης στην συγκεκριμένη περίπτωση οι ADC χρησιμοποιούσαν κυκλώματα που δημιουργούσαν παράλληλα ψηφιακές λέξεις των 16 bit για παράδειγμα, οι οποίοι

θεωρούνται ιδιαίτερα ποιοτικοί αλλά συνάμα πιο δύσκολοι στον σχεδιασμό και πιο ακριβοί σε κόστος. Έτσι δημιουργήθηκαν οι ADC του ενός bit οι οποίοι δειγματοληπτούν το αρχικό σήμα με συχνότητα δειγματοληψίας πολλαπλάσια της τελικής. Για παράδειγμα εάν έχουμε επιλέξει μία συχνότητα δειγματοληψίας 44.100 Hz τότε ένας ADC του ενός bit θα μπορούσε να καταγράφει ψηφιακή πληροφορία του ενός bit με συχνότητα δειγματοληψίας $128 \times 44.100 = 5,64$ MHz. Το αναλογικό φίλτρο όμως υπάρχει και σε αυτήν την περίπτωση έχοντας όμως μικρότερες απαιτήσεις και η συχνότητα αποκοπής του μεταφέρεται στο διπλάσιο της συχνότητας δειγματοληψίας. (Pohlmann Ken C.: Principles Of Digital Audio, Chapter 3, σελ. 51-57)

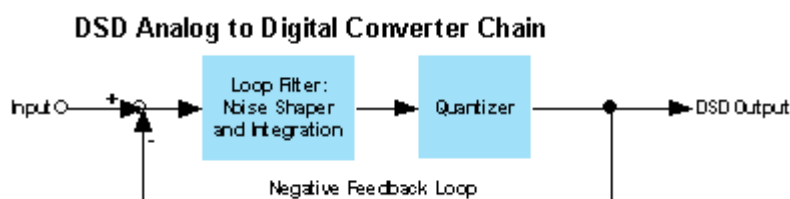
Μετά από τον μετατροπέα του ενός bit το σήμα εισέρχεται σε ένα ψηφιακό φίλτρο (decimation filter) το οποίο αναλαμβάνει την «αλλαγή» της δειγματοληψίας σε αυτήν που έχουμε επιλέξει δηλαδή αφήνοντας ένα ποσοστό των αρχικών δειγμάτων να περάσουν στο επόμενο στάδιο το που περιλαμβάνει την αποθήκευση στο μέσο εγγραφής. Βέβαια όλα αυτά δεν επιτυγχάνονται άπταιστα. Τα ψηφιακά κυκλώματα τέτοιου είδους δημιουργούν πολλές φορές ψηφιακό θόρυβο ή παρερμηνευση του ηχητικού σήματος συμβάλλοντας έτσι σε μία λιγότερο ακριβή συχνοτική απεικόνιση του αρχικού σήματος. Αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίζονται με κυκλώματα που δημιουργούν τεχνητό ψηφιακό θόρυβο (dithering) που βοηθά στην σωστή ερμηνεία του αρχικού σήματος. Επίσης υπάρχουν και κυκλώματα που διαμορφώνουν τον θόρυβο αυτό σύμφωνα με την επιστήμη της Ψυχοακουστικής, έτσι ώστε να μην γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί. Αυτά θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας αυτής.

Έτσι λοιπόν δημιουργείται ένα ψηφιακό ηχητικό σήμα με κωδικοποίηση PCM.

DSD

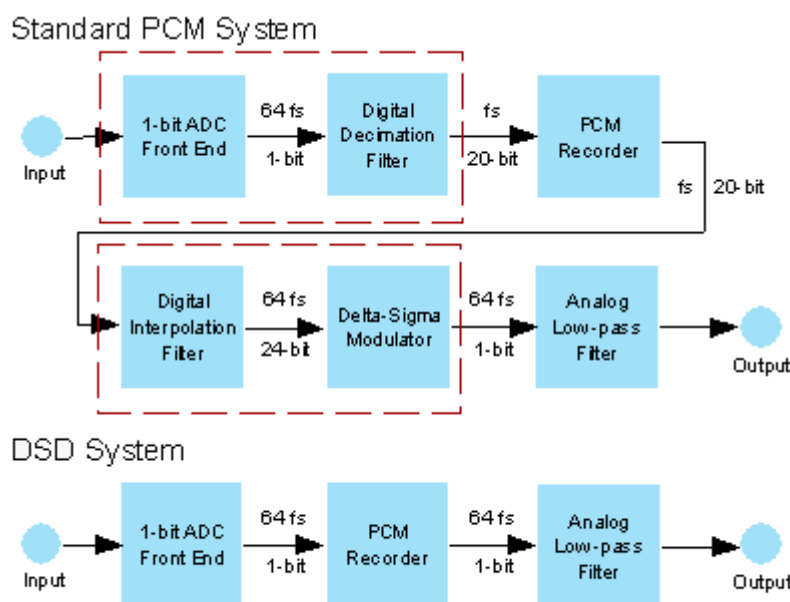
Ένα πολύ πρόσφατο format ασυμπίεστου ψηφιακού ήχου είναι το DSD. Τα αρχικά του σημαίνουν Direct Stream Digital. Το DSD δημιουργείται από έναν ADC μετατροπέα ο οποίος λειτουργεί σε δειγματοληψία 2,822 MHz με ανάλυση δείγματος 1 bit. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνει 64 φορές περισσότερα δείγματα από έναν PCM ADC με δειγματοληψία 44100 Hz ... $64 \times 44100 = 2822400$. Η κωδικοποίηση DSD χρησιμοποιείται αυτήν την στιγμή μόνο στο SACD (super audio cd) σαν μέσο αναπαραγωγής μουσικού υλικού. Το SACD είναι ένα είδος ψηφιακού δίσκου με την μορφολογία του γνωστού σε όλους μας CD και πρόκειται για ένα μέσο που έχει εισάγει στην παγκόσμια αγορά η εταιρία Philips. Παράλληλα έχει εισαχθεί στην αγορά και το DVD-Audio το οποίο είναι ένας ψηφιακός δίσκος τύπου DVD που μπορεί να περιέχει ηχητικό υλικό με κωδικοποίηση PCM και συχνότητα δειγματοληψίας μέχρι 192 KHz όσον αφορά τα stereo σήματα και 96 KHz όσον αφορά τα πολυκάναλα σήματα. Η ανάλυση σε bit φτάνει έως τα 24. (Pohlmann Ken C.: Principles Of Digital Audio, Chapter 9, σελ. 309-314)

Όπως είναι λογικό οι εταιρίες που διαθέτουν τα παραπάνω είδη ηχητικής αναπαραγωγής βρίσκονται σε ισχυρό ανταγωνισμό αυτήν την στιγμή δημιουργώντας όμως σύγχυση στον απλό καταναλωτή. Η ουσιαστική διαφορά είναι αυτή μεταξύ του PCM και του DSD. Η Philips στην διαφημιστική καμπάνια του SACD υποστηρίζει ότι το DSD υπερτερεί σε σχέση με το PCM λόγω της διάταξης των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Ένας ADC τύπου DSD έχει την διάταξη που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



DSD ADC converter block diagram.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ένας DSD ADC δεν περιλαμβάνει τα φίλτρα που περιγράψαμε προηγουμένως στο PCM καθιστώντας έτσι την κατασκευή των κυκλωμάτων απλούτερη και μειώνοντας την διαδρομή του σήματος. Η σύγκριση με το PCM φαίνεται πιο αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα :



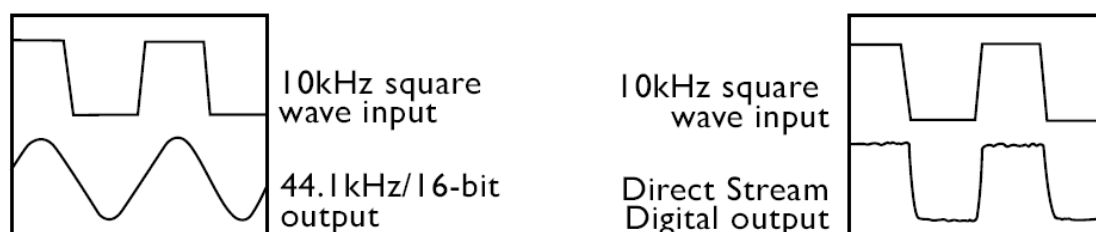
(http://www.dsdproaudio.com/html/dsd_sacd_explained.html)

Αυτό που υποστηρίζει η Philips είναι γεγονός το οποίο όμως φαίνεται να είναι μικρότερης σημασίας από τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την κωδικοποίηση DSD. Οι κύριοι Lipshitz και Vanderkooy δημοσιεύσαν μία ανάπτυξη του συστήματος DSD στο συνέδριο τις AES τον Μάιο του 2001 κατά την οποία υποστηρίζουν ότι ένα DSD σύστημα δεν μπορεί να δεχτεί πλήρης πληροφορία για την διαδικασία του dithering διότι «υπερχειλίζει» (overload) και παύει να λειτουργεί γραμμικά. [Lipshitz Stanley P. and Vanderkooy John: *Why 1-Bit Sigma-Delta Conversion is Unsuitable for High-Quality Applications*, (AES 110th Convention, May 2001)]

Παίρνοντας ως δεδομένο ότι για να μπορούμε να έχουμε πλήρη μετάφραση ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό πρέπει στο πρώτο να προστεθεί ένα ολοκληρωμένο σήμα dither, το DSD δεν μπορεί να επαρκεί. Η Philips για να αντικρούσει τους Lipshitz και Vanderkooy

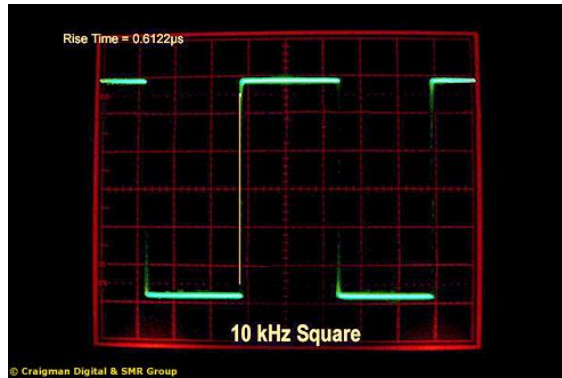
δημοσίευσε επίσης ένα κείμενο στο συνέδριο τις AES τον Μάιο του 2002 λέγοντας ότι με την κωδικοποίηση DSD τα ανεπιθύμητα φαινόμενα ψηφιακής παραμόρφωσης που δημιουργούνται χωρίς την εφαρμογή dither, βρίσκονται σε επίπεδο έντασης κάτω από τα -165 dB. Έτσι με την εφαρμογή λιγότερου σήματος dither από αυτό που χρειάζεται ένα σύστημα PCM, τα φαινόμενα αυτά εξαλείφονται. Βεβαίως όλα αυτά είναι σχετικά θεωρητικά και κανείς θα όφειλε να συγκρίνει τα δύο πρωτόκολλα στην πράξη όπου εισέρχεται και ο παράγοντας της ψυχοακουστικής. [Reefman Derk and Janssen Erwin, Philips Research: Enhanced Sigma Delta Structures for Super Audio CD Applications (AES 112th Convnetion, May 2002)]

Το 2002 στο συνέδριο Surround Professional ο κ. Craig Anderson παρουσίασε ένα αρκετά ενδιαφέρον και συνάμα πρακτικό παράδειγμα σύγκρισης του DSD με το PCM. Αυτό που τον οδήγησε στο πείραμα αυτό ήταν το διάγραμμα που παρουσιάζει η Philips ως συγκριτικό του αποτελέσματος που βγάζει η ψηφιακή μετατροπή ενός τετραγωνικού παλμού μέσα από ένα σύστημα DSD σε σχέση με αυτό που βγάζει ένα σύστημα PCM. Το διάγραμμα της Philips φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

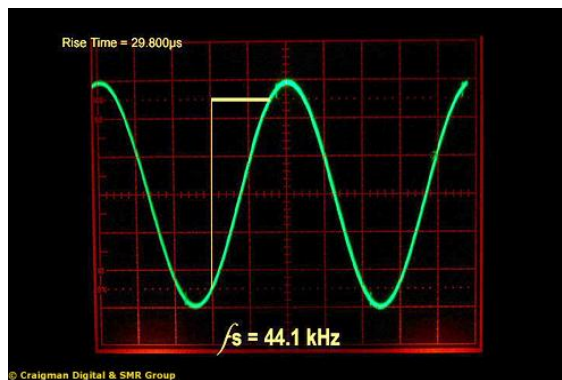


Βλέποντας λοιπόν το παραπάνω διάγραμμα ο κ. Craig Anderson θεώρησε ότι είναι όντως φυσιολογικό να εμφανίζεται έτσι ένας τετραγωνικός παλμός των 10 KHz κατά την κωδικοποίηση PCM με συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και ανάλυση 16 bit λόγω ανεπάρκειας δειγμάτων που μπορούν να περιγράψουν την απότομη μετάβαση του τετραγωνικού παλμού από τις αρνητικές προς τις θετικές τιμές πλάτους και αντίστροφα. Εύλογα όμως διερωτήθηκε τι θα συνέβαινε με μεγαλύτερες τιμές δειγματοληψίας. Για να κάνει το πείραμα ο Anderson επιστράτευσε μία γεννήτρια, έναν PCM ADC, έναν

DSD ADC και έναν αναλογικό παλμογράφο. Έτσι μπορούσε να ελέγχει τις κυματομορφές εξόδου των δύο ADC και στην συνέχεια να τις συγκρίνει. Η κυματομορφές που εμφανίστηκαν σε κάθε περίπτωση φαίνονται παρακάτω :

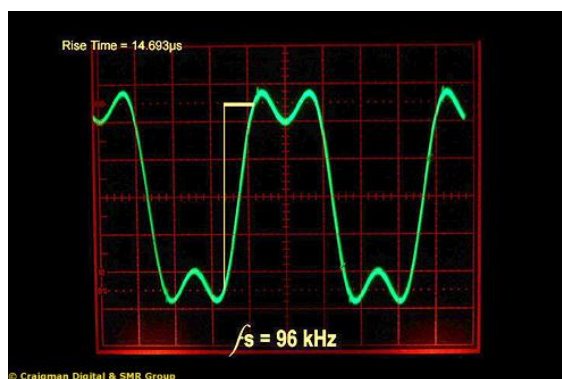


Έξοδος γεννήτριας



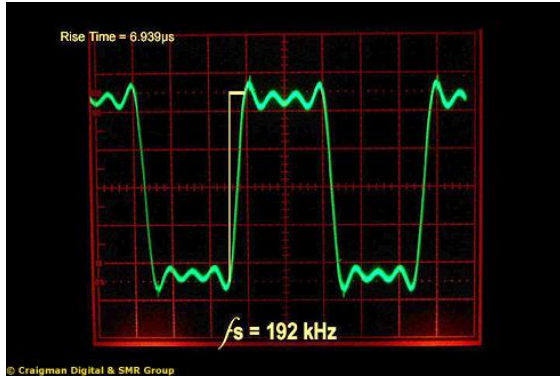
Έξοδος PCM ADC 44.1 KHz, 16 bit

Εδώ επιβεβαιώνεται αυτό που υποστηρίζει η Philips για τα 44100 KHz δειγματοληψίας.



Έξοδος PCM ADC 96 KHz, 16 bit

Βλέπουμε ότι στα 96 KHz ήδη έχει βελτιωθεί η απεικόνιση του τετραγωνικού παλμού.



Έξοδος PCM ADC 192 KHz, 16 bit

Στα 192 KHz εμφανίζεται η τρίτη αρμονική του τετραγωνικού παλμού και βλέπουμε ότι απεικόνιση του τετραγωνικού παλμού είναι πλέον πολύ πιο κοντά στο αρχικό σήμα.



Έξοδος DSD ADC

Παρατηρούμε ότι το σήμα DSD είναι σχεδόν πανομοιότυπο με το σήμα PCM στα 192 KHz με την διαφορά ότι εμφανίζεται με μία θαμπάδα. Αυτό προφανώς οφείλεται σε περαιτέρω ανεπιθύμητη πληροφορία που δημιουργήθηκε κατά την κωδικοποίηση DSD.



Έξοδος PCM 192 KHz και DSD.

Ο Anderson θεωρεί ότι αυτό το φαινόμενο δημιουργείται από τους αλγόριθμους διαμόρφωσης θορύβου που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση DSD και μεταφέρουν τον θόρυβο από το ακουστικό φάσμα στο υπερηχητικό. Στην πράξη όμως φαίνεται ότι το σήμα PCM με 192 KHz δειγματοληψίας υπερτερεί από αυτό του DSD. Το SACD και το DVD-Audio δεν έχουν καταφέρει να απασχολήσουν μέχρι σήμερα σημαντικό μέρος της παγκόσμιας αγοράς. Επίσης η κωδικοποίηση DSD βρίσκεται ακόμα στην πρώτη φάση εφαρμογής της και μπορεί στο μέλλον να εμφανίσει βελτιώσεις και να κερδίσει το καταναλωτικό κοινό. Έτσι φαίνεται ότι προς το παρόν μια επένδυση σε συστήματα DSD από ένα studio παραγωγής ηχητικού υλικού, είναι μάλλον μία βιαστική κίνηση και δεν αποσκοπεί σε τίποτα όσον αφορά τα σημερινά δεδομένα.

(Poking a Round Hole in a Square Wave by Craig Anderson, Surround 2002 page, http://www.smr-home-theatre.org/surround2002/technology/page_07.shtml accessed February 2007)

Στις επόμενες σελίδες περιγράφονται και αναλύονται τα πρωτόκολλα μεταφοράς και επικοινωνίας που υφίστανται μέχρι σήμερα στον ψηφιακό ήχο.

1) S/PDIF

Σημαίνει **Sony/Philips Digital Interface Format** και πρόκειται για ένα πολύ διαδεδομένο πρωτόκολλο διάδοσης ψηφιακού ήχου. Το συναντάμε πολύ συχνά σε συσκευές audio αλλά και video που απευθύνονται στον μέσο καταναλωτή αλλά και σε επαγγελματικά μηχανήματα. Μπορεί να πει κανείς ότι αποτελεί έναν συνδυαστικό κρίκο που ευνοεί την συμβατότητα μεταξύ επαγγελματικών και μη επαγγελματικών μηχανημάτων. Το ηχητικό σήμα μεταφέρεται ομοαξονικά δηλ. ένα stereo σήμα διαδίδεται σε ένα μόνο καλώδιο 75 Ohm με απολήξεις τύπου RCA ή πιο σπάνια BNC. Η ανοχή του εν λόγω καλωδίου ανέρχεται στα 10 περίπου μέτρα απόστασης (για 0.5V σήματος). Υπάρχει και άλλος τρόπος μεταφοράς του ηχητικού σήματος με πρωτόκολλο S/PDIF και λέγεται Optical ή TOSLink. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιεί μία πλαστική οπτική ίνα για την διασύνδεση. Σπάνια συναντάμε και τον τύπο Optical ST ο οποίος χρησιμοποιεί γυάλινη οπτική ίνα και έχει ανοχή για απόσταση καλωδίου μέχρι 1 χιλιόμετρο σε αντίθεση με την πλαστική που η ανοχή της είναι μέχρι τα 15 μέτρα περίπου. Η φωτομεταφορά του ψηφιακού ηχητικού σήματος μέσω οπτικών ινών έχει το πλεονέκτημα ότι δεν εμφανίζει θόρυβο που μπορεί να οφείλεται σε βρόγχους γείωσης ή στο φαινόμενο crosstalk όπως συμβαίνει με τα απλά ηλεκτρονικά καλώδια. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι σαν χαρακτηριστικό εμφανίζει περιορισμένο συχνοτικό εύρος μεταφοράς δεδομένων. Στο εμπόριο μπορεί να βρει κανείς μετατροπείς από TOSLink σε απλό S/PDIF και αντίστροφα.

Η δειγματοληψία που υποστηρίζει το πρωτόκολλο S/PDIF ανέρχεται μέχρι τα 48KHz και η ανάλυση του σήματος σε bit μέχρι τα 24. Κανονικά το εύρος ανάλυσης του πρωτοκόλλου είναι στα 20 bit γι'αυτό και μερικά μηχανήματα παλαιότερης τεχνολογίας κυρίως, ενδέχεται να "αγνοήσουν" τα τελευταία 4 bit αντικαθιστώντας τα με μηδενικά. Ο

συγχρονισμός σε μία S/PDIF σύνδεση γίνεται με επιπλέον πληροφορία για την κατάσταση του ρολογιού που μεταφέρεται μαζί με την ηχητική πληροφορία στο ίδιο καλώδιο. Μια επιπλέον λειτουργία που υποστηρίζει το πρωτόκολλο S/PDIF είναι η μεταφορά κωδικοποιημένου ψηφιακού ήχου. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την μεταφορά πολυκάναλου κωδικοποιημένου ήχου από το ένα μηχάνημα στο άλλο. Μία πολύ διαδεδομένη πλέον εφαρμογή αυτού είναι στην διασύνδεση ενός DVD Player που αναπαράγει πολυκάναλο ήχο τύπου Dolby Digital κ.α., με έναν πολυκάναλο ενισχυτή ήχου. Αυτό βέβαια απαιτεί να υπάρχει και ο ανάλογος αποκωδικοποιητής πολυκάναλου ήχου που αναλαμβάνει την αποκωδικοποίηση του σήματος αυτού για να επέλθει βέβαια στην συνέχεια η σωστή κατανομή του στα ξεχωριστά κανάλια ήχου ενός τέτοιου συστήματος. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιο επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του S/PDIF :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: έως 48KHz / 24 Bit

Καλώδιο: 75 Ohm ομοαξονικό ή Οπτική ίνα (πλαστική, γυάλινη)

Βύσματα: RCA ή BNC

Απόσταση καλωδίου: μέχρι 10m ή μέχρι 15 με την οπτική ίνα.

Ένταση σήματος: 0,5 V

Συγχρονισμός: Επί του ίδιου καλωδίου μέσω ψηφιακής πληροφορίας (Self-Clocking)

Ψηφιακή ανάλυση του πρωτοκόλλου S/PDIF :

Η πληροφορία μεταφέρεται σειριακά στο πρωτόκολλο S/PDIF. Το μέρος που περιγράφεται η πληροφορία των καναλιών του ψηφιακού σήματος (channel status block) αποτελείται από 24 bytes. Η ανάλυση της λειτουργίας του κάθε byte φαίνεται στο σχήμα 1.1 .

BYTE 0	
bit 0	PRO = 0 (consumer)
0	Consumer use of channel status block
1	Professional use of channel status block
bit 1	Audio
0	Digital audio
1	Nonaudio
bit 2	Copy/Copyright
0	Copy inhibited/copyright asserted
1	Copy permitted/copyright not asserted
bits 3 4 5	Pre-emphasis-if bit 1 is 0 (dig. audio)
0 0 0	None-2 channel audio
1 0 0	50/15 µs-2 channel audio
0 1 0	Reserved-2 channel audio
1 1 0	Reserved-2 channel audio
x x 1	Reserved-4 channel audio
bits 3 4 5	If bit 1 is 1 (nonaudio)
0 0 0	Digital data
x x x	All other states of bits 3-5 are reserved
bits 6 7	Mode
0 0	Mode 0 (defines bytes 1-3)
x x	All other states of bits 6-7 are reserved

BYTE 1	
bits 0 1 2 3 4 5 6	Category Code
0 0 0 0	0 0 0 General
	0 0 1 Experimental
	x x x Reserved
0 0 0 1	x x x Solid-state memory
0 0 1 x	x x x Broadcast recep. of digital audio
0 1 0 x	x x x Digital/digital converters
0 1 1 0	0 x x A/D converters w/o copyright
	1 x x A/D converters w/ copyright (using copy and L bits)
0 1 1 1	x x x Broadcast recep. of digital audio
1 0 0 x	x x x Laser-optical
1 0 1 x	x x x Musical instruments, mics, etc.
1 1 0 x	x x x Magnetic tape or disk
1 1 1 x	x x x Reserved
bit 7	L: Generation Status.
	Only category codes: 001xxxx, 0111xxx, 100xxxx
0	Original/Commercially prerecorded data
1	No indication or 1st generation or higher
	All other category codes
0	No indication or 1st generation or higher
1	Original/Commercially prerecorded data
The subgroups under the category code groups listed above are described in tables below. Those not listed are reserved.	
The copy and L bits form a copy protection scheme for original works. Further explanations can be found in the amendment (TC84) to IEC-958.	

BYTE 1-Category Code 001	
bits 3 4 5 6	Broadcast reception of digital audio
0 0 0 0	Japan
0 0 1 1	United States
1 0 0 0	Europe
0 0 0 1	Electronic software delivery
x x x x	All other states are reserved

BYTE 1-Category Code 100	
bits 3 4 5 6	Laser Optical
0 0 0 0	CD-compatible with IEC-908
1 0 0 0	CD-not comp. with IEC-908 (MO)
1 0 0 1	MD-MiniDisc
x x x x	All other states are reserved

BYTE 1-Category Code 101	
bits 3 4 5 6	Musical Instruments, mics, etc.
0 0 0 0	Synthesizer
1 0 0 0	Microphone
x x x x	All other states are reserved

BYTE 1-Category Code 010	
bits 3 4 5 6	Digital/digital conv. & signal processing
0 0 0 0	PCM encoder/decoder
0 0 1 0	Digital sound sampler
0 1 0 0	Digital signal mixer
1 1 0 0	Sample-rate converter
x x x x	All other states are reserved

BYTE 1-Category Code 110	
bits 3 4 5 6	Magnetic tape or disk
0 0 0 0	DAT
1 0 0 0	Digital audio sound VCR
x x x x	All other states are reserved

BYTE 2	
bits 0 1 2 3	Source Number
0 0 0 0	Unspecified
1 0 0 0	1
0 1 0 0	2
1 1 0 0	3
0 0 1 0	4 to
0 1 1 1	14 (binary-0 is LSB, 3 is MSB)
1 1 1 1	15

bit 4 5 6 7 Channel number	
0 0 0 0	Unspecified
1 0 0 0	A (Left in 2 channel format)
0 1 0 0	B (Right in 2 channel format)
1 1 0 0	C to
0 1 1 1	N (binary - 4 is LSB, 7 is MSB)
1 1 1 1	O

BYTE 3	
bits 0 1 2 3	Fs: Sample Frequency
0 0 0 0	44.1 kHz
0 1 0 0	48 kHz
1 1 0 0	32 kHz
1 1 0 0	Sample-rate converter
x x x x	All other states are reserved

bits 4 5 Clock Accuracy	
0 0	Level II, ±1000 ppm (default)
0 1	Level III, variable pitch
1 0	Level I, ±50 ppm-high accuracy
1 1	Reserved

bits 6 7	
x x	Reserved

BYTE 4	
bit 0	Word Length Status
0	Maximum = 20 bits (default)
1	Maximum = 24 bits

bits 1 2 3 (With 24-bit set in bit 0)	
0 0 0	Word length not indicated (default)
0 0 1	23 bits
0 1 0	22 bits
0 1 1	21 bits
1 0 0	20 bits
1 0 1	24 bits
x x x	Reserved

bits 1 2 3 (With 20-bit set in bit 0)	
0 0 0	Word length not indicated (default)
0 0 1	19 bits
0 1 0	18 bits
0 1 1	17 bits
1 0 0	16 bits
1 0 1	20 bits
x x x	Reserved

BYTES 5-23	
Reserved	

2) AES/EBU – AES-3

Τα αρχικά του σημαίνουν **A**udio **E**ngineering **S**ociety / **E**uropean **B**roadcasting **U**nion και πολλές φορές το συναντάμε με το όνομα AES-3. Καθιερώθηκε ως πρωτόκολλο το 1985 από τους δύο παραπάνω οργανισμούς από τους οποίους αντλεί και το όνομά του. Πρόκειται για το πιο σύνηθες πρωτόκολλο μετάδοσης ψηφιακού ήχου στον επαγγελματικό τομέα. Χρησιμοποιείται για την μεταφορά 2 καναλιών ψηφιακού ήχου ή πολυκάναλων σημάτων με κωδικοποίηση όπως και στο S/PDIF. Επίσης μαζί με τον ήχο εκπέμπονται και ψηφιακά δεδομένα που αφορούν την μεταφορά. Το καλώδιο που χρησιμοποιείται για το πρωτόκολλο AES-3 είναι ένα “twisted pair cable” δηλαδή ένα καλώδιο που εσωτερικά περιλαμβάνει τρία μικρότερα τα οποία αντιστοιχούν στην γνωστή balanced λογική : Θετικό, αρνητικό, γείωση. Το καλώδιο αυτό πρέπει να έχει αντίσταση 110 Ohm και η απολήξεις του να είναι βύσματα τύπου XLR. Μια διάταξη που είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολυκάναλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε recording studios είναι αυτή κατά την οποία 8 δικάναλα σήματα AES-3 συνδέονται σε ένα βύσμα τύπου D-SUB με 25 pins, δίνοντας έτσι 16 κανάλια ήχου. Σε σπάνιες περιπτώσεις όπως αυτή της διασύνδεσης σε έναν σταθμό video χρησιμοποιείται ομοαξονικό καλώδιο 75 Ohm με απολήξεις BNC. Το πρωτόκολλο AES-3 είναι πολύ διαδεδομένο στον επαγγελματικό τομέα για τους εξής λόγους :

- 1) Μπορεί να μεταφέρει σήμα χωρίς περαιτέρω ενίσχυση μέχρι και 100 μέτρα.
- 2) Υποστηρίζει συχνότητες δειγματοληψίας μέχρι τα 192 KHz, 24 bit ανάλυση.

Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι και αυτό όπως και το S/PDIF μεταφέρει μαζί με το σήμα και πληροφορία χρονισμού ώστε να μπορούν δύο μηχανήματα να συγχρονιστούν χωρίς περαιτέρω καλωδίωση άλλου σήματος συγχρονισμού.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιο επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του AES/EBU :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: έως 192KHz / 24bit

Καλώδιο: 110 Ohm balanced (twisted pair)

Βύσματα: XLR

Απόσταση καλωδίου: μέχρι 100m ή παραπάνω με ενίσχυση

Ένταση σήματος: 2-7 Vpp

Συγχρονισμός: Επί του ίδιου καλωδίου μέσω ψηφιακής πληροφορίας (Self-Clocking)

Ψηφιακή ανάλυση του πρωτοκόλλου AES/EBU

Σε μία σύνδεση με AES-3 μεταφέρονται 64 bits ανά περίοδο δειγματοληψίας. Δηλαδή ο ρυθμός μεταφοράς (bitrate) είναι 64 φορές την συχνότητα δειγματοληψίας. Για παράδειγμα ένα σήμα AES/EBU που μεταφέρει ένα ηχητικό σήμα 48 KHz έχει ρυθμό μεταφοράς 3.072 Mbps.

Τα 64 bit σχηματίζουν το λεγόμενο πλαίσιο (frame) στο οποίο περιλαμβάνονται ψηφιακές πληροφορίες που περιγράφουν το ηχητικό σήμα και τα χαρακτηριστικά του έτσι ώστε να υπάρχει σωστή ερμηνεία από όλα τα μηχανήματα που παίρνουν μέρος σε μία AES/EBU διάταξη. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από δύο υποπλαίσια (subframes) των 32 bit. Σε ένα στερεοφωνικό σήμα το πρώτο υποπλαίσιο περιλαμβάνει πληροφορίες για το πρώτο κανάλι (left) και αντίστοιχα το δεύτερο υποπλαίσιο για το δεύτερο κανάλι (right). Για μονοφωνικό σήμα όλες η πληροφορίες περιλαμβάνονται στο υποπλαίσιο 1 αλλά το υποπλαίσιο 2 δεν παύει να υπάρχει.

Το τμήμα (block) αποτελείται από ένα σύνολο από channel status bits και ένα σύνολο από user bits, ένα σε κάθε υποπλαίσιο. Τα συνολικά

bits του τμήματος συλλέγονται ανά 192 περιόδους δειγματοληψίας. Το πρώτο μέρος ενός υποπλαισίου (preamble) καθορίζει την αρχή του υποπλαισίου και των τμημάτων channel status. Επίσης συγχρονίζει και αναγνωρίζει τα κανάλια του ήχου. Το preamble απασχολεί τα πρώτα 4 bit του υποπλαισίου. Η ηχητική πληροφορία καταλαμβάνει τα 24 από τα 32 bits του υποπλαισίου. Ακόμα και στην μετάδοση του σήματος AES-3 ισχύει η γνωστή ψηφιακή λογική MSB, LSB με το LSB να μεταδίδεται πρώτο. Αν η ηχητική πληροφορία δεν απαιτεί 24 bits για την περιγραφή της τότε τα υπόλοιπα bits χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά αλλά αυτό καθορίζεται από τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο channel status.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3 υπάρχουν 4 bits στο τέλος του υποπλαισίου. Αν το πρώτο bit έχει την τιμή 0 τότε το συγκεκριμένο δείγμα ήχου δεν έχει λάθη ενώ άμα έχει την τιμή 1 τότε το δείγμα δεν είναι σωστό και κατ' επέκταση δεν είναι κατάλληλο για μετατροπή σε αναλογικό. Το δεύτερο bit (user) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος ενός τμήματος με πληροφορίες που έχει εισάγει ο χρήστης. Το τρίτο bit (channel status) χρησιμοποιείται ως μέρος ενός τμήματος που περιλαμβάνει πληροφορίες συστήματος. Το τέταρτο και τελευταίο bit (parity) παρέχει ζυγή υπόσταση στο υποπλαίσιο και μπορεί να ελέγχει αν υπάρχει μονός αριθμός λαθών στην μετάδοση.

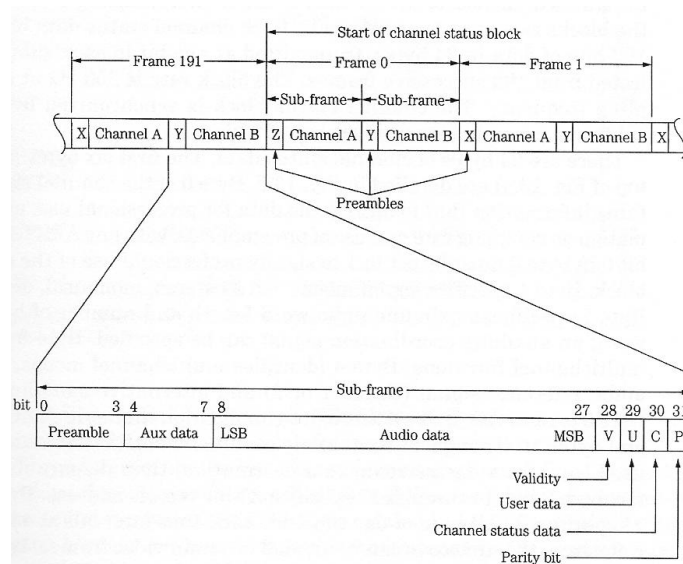
Περαιτέρω ανάλυση Τμήματος (channel status block)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το τμήμα αποτελείται από 192 bits τα οποία συλλέγονται από τα υποπλαίσια μέσα σε 192 περιόδους. Τα 192 bits σχηματίζουν 24 bytes πληροφορίας τύπου channel status και μεταδίδονται με συχνότητα 250 Hz για τα 48 KHz δειγματοληψίας. Στο σχήμα 1.4 παρατηρούμε το περιεχόμενο των 24 bytes. Τα κύρια χαρακτηριστικά του AES-3 σήματος εμπεριέχονται στα πρώτα 5 bits. Το byte 0 με το πρώτο bit δίνει τον χαρακτηρισμό Professional δηλαδή ότι πρόκειται για σήμα AES/EBU αν βέβαια έχει την τιμή 1. Τα υπόλοιπα bits του byte 0 δίνουν πληροφορίες για την δειγματοληψία. Το byte 1

καθορίζει αν το σήμα είναι μονοφωνικό ή στερεοφωνικό ή πολυκάναλο. Το byte 2 καθορίζει το μέγιστο μέγεθος της ψηφιακής ηχητικής λέξης (audio word) και μπορεί να συμπεριλαμβάνεται και ένα βοηθητικό σήμα καθοδήγησης. Το byte 3 είναι κατειλημμένο για περιπτώσεις πολυκάναλου σήματος. Το byte 4 καθορίζει τύπους πολυκάναλων σημάτων και εναλλακτικές συχνότητες δειγματοληψίας.

Υπάρχουν τρία επίπεδα υλοποίησης της πληροφορίας channel status. Το ελάχιστο (minimum), το καθιερωμένο (standard) και το εμπλουτισμένο (enhanced). Στο ελάχιστο επίπεδο το πρώτο bit παίρνει την τιμή 1 και όλα τα υπόλοιπα την τιμή 0. Στο καθιερωμένο επίπεδο μεταδίδονται όλα τα bits των bytes 0,1,2 καθώς και του 23. Στο εμπλουτισμένο επίπεδο μεταδίδονται όλα τα bytes κανονικά.

Όπως γνωρίζουμε ένα ηχητικό σήμα μπορεί να έχει ανάλυση μέχρι 24 bits. Αν το σήμα είναι 20 ή λιγότερα bits τότε τα bits που περισσεύουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα βοηθητικό κανάλι επικοινωνίας που θα συνοδεύει το σήμα.



1.3 AES3 Frame

3) MADl (AES-10)

Τα αρχικά του σημαίνουν **M**ultichannel **A**udio **D**igital **I**nterface και πρόκειται για το πρωτόκολλο AES-10 της ομοσπονδίας AES. Το MADl ουσιαστικά επεκτείνει το AES-3 σε ένα πολυκάναλο πρωτόκολλο. Στο AES-10 προβλέπεται σειριακή μεταφορά μέχρι και 64 καναλιών ψηφιακού ήχου μέσα από ένα απλό καλώδιο 75 Ohm με απολήξεις τύπου BNC. Η ανοχή του καλωδίου για σωστή μεταφορά είναι για μήκος έως 50 μέτρα. Για μεγαλύτερες αποστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οπτική ίνα. Υποστηρίζει ανάλυση σήματος 24 bit και δειγματοληψία μέχρι 48 KHz. Υπάρχει δυνατότητα και για μεγαλύτερες δειγματοληψίες αν μπορεί κανείς να ελέγξει την ψηφιακή ροή δεδομένων (bitrate) χαμηλώνοντας την αλλά και ταυτόχρονα θυσιάζοντας 32 κανάλια ήχου. Το πραγματικά χρήσιμο στον επαγγελματικό τομέα χαρακτηριστικό του MADl είναι η δυνατότητα μεταφοράς πολλών καναλιών ήχου ταυτόχρονα. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι μπορεί κανείς να επεξεργαστεί πολλά κανάλια ήχου χωρίς αυτά να μετατρέπονται από ψηφιακά σε αναλογικά και αντίστροφα γεγονός το οποίο ως γνωστόν υποβαθμίζει την ποιότητα. Για παράδειγμα μπορεί κανείς να κάνει μία πολυκάναλη ηχογράφιση μουσικού υλικού και να συνδέσει έναν πολυκάναλο μετατροπέα (converter) με μία κάρτα MADl ή μια κάρτα ήχου που υποστηρίζει MADl και αφού κάνει την ηχογράφιση, να επιστρέψει τα κανάλια σε μία ψηφιακή κονσόλα για μίξη (με MADl πάλι). Αυτή είναι μία πολύ συνηθισμένη εφαρμογή σε ένα studio ηχογράφησης και παραγωγής και έτσι ο ήχος δεν εγκαταλείπει σε κανένα στάδιο την ψηφιακή μορφή. Επίσης αποφεύγονται και οι πολλές καλωδιώσεις καθώς χρειάζονται μόνο δύο καλώδια για μία σύνδεση 64 καναλιών, ένα send και ένα return.

Το βασικό μειονέκτημα του MADl είναι ότι για να υπάρξει συγχρονισμός πρέπει να υπάρξει ξεχωριστό σήμα συγχρονισμού που μεταφέρεται μέσω ενός άλλου ξεχωριστού καλωδίου. Έτσι όλες οι συσκευές σε μία διάταξη MADl πρέπει να συγχρονίζονται ως προς ένα ξεχωριστό εξωτερικό ρολόι (master clock). Υπάρχουν στο εμπόριο

μηχανήματα που έχουν αυτόν ακριβώς τον ρόλο. Αυτό βέβαια αν δεν υπολογίσει κανείς το παραπάνω χρηματικό ποσό που πρέπει να διαθέσει, είναι πολλές φορές καλύτερο διότι τα master clocks έχουν κατά κανόνα καλύτερα ψηφιακά ρολόγια από έναν συμβατικό μετατροπέα (converter), αξιοποιώντας έτσι καλύτερα το κύκλωμα μετατροπής από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα. Ένα επίσης μειονέκτημα του MADΙ είναι ότι διαθέτει μία σχετικά χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας για τα δεδομένα τις εποχής που περιλαμβάνουν συχνότητες δειγματοληψίας μέχρι και 192 KHz.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιο επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του MADΙ :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: έως 48KHz / 24 Bit για 64 κανάλια

Καλώδιο: 75 Ohm ομοαξονικό ή Οπτική ίνα

Βύσματα: BNC

Απόσταση καλωδίου: 50 μέτρα ή παραπάνω με οπτική ίνα

Ένταση σήματος: 0,3 V με 0,6 V

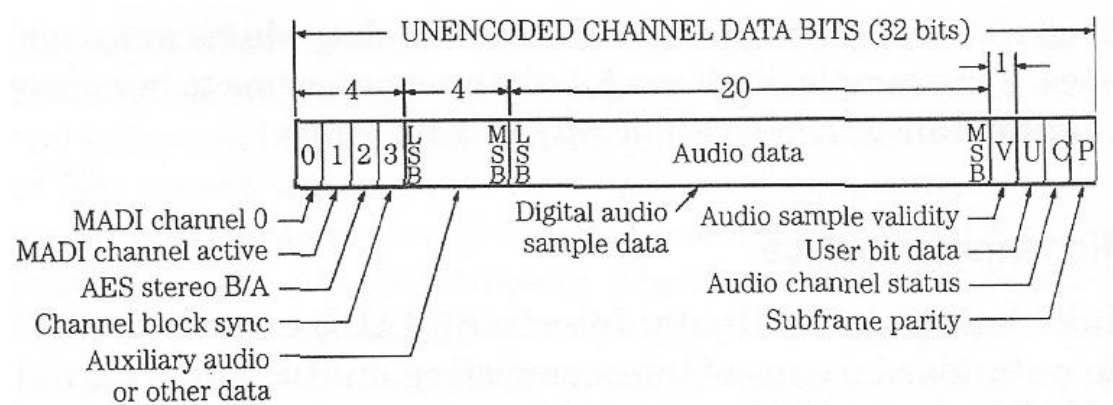
Συγχρονισμός: Μόνο με master clock από άλλη συσκευή.

Ψηφιακή ανάλυση του πρωτοκόλλου MADΙ

Για να μπορέσει να μειωθεί το εύρος ροής δεδομένων το MADΙ χρησιμοποιεί ένα είδος κωδικοποίησης με λόγο 4/5. Κάθε υποπλαίσιο που περιλαμβάνει 32 bits διαιρείται σε λέξεις των τεσσάρων bits που κωδικοποιούνται σε λέξεις καναλιών των 5 bit. Η συχνότητα μεταφοράς πληροφορίας σε μία σύνδεση MADΙ είναι ορισμένη στα 125 Mbps άσχετα από την συχνότητα δειγματοληψίας ή το πλήθος των καναλιών. Έτσι λόγω της κωδικοποίησης που αναφέρθηκε παραπάνω η τελική συχνότητα μεταφοράς είναι 100 Mbps.

Το υποπλαίσιο του πρωτοκόλλου MADΙ βασίζεται στο υποπλαίσιο του AES-3. Μόνο τα τέσσερα πρώτα bit διαφέρουν όπως φαίνεται και στο

σχήμα 1.5. Το πρώτο bit δίνει τον αριθμό του καναλιού. Το δεύτερο bit δίνει την πληροφορία για το αν το συγκεκριμένο κανάλι είναι ενεργό ή όχι. Το τρίτο bit καθορίζει αν η πληροφορία που έπεται αφορά το A ή το B υποπλαίσιο. Το τέταρτο bit καθορίζει αν το συγκεκριμένο υποπλαίσιο συμπίπτει με το πρώτο από το σύνολο των 192 πλαισίων (βλέπε AES-3).



1.5 MADI Subframe

3) ADAT Optical (ADI – Lightpipe)

Τα αρχικά του σημαίνουν : **A**lesis **D**igital **A**udio **T**ape. Πρόκειται και αυτό για ένα πρωτόκολλο μεταφοράς και διασύνδεσης του ψηφιακού ήχου. Θα έλεγε κανείς ότι ο τίτλος του είναι λίγο παράδοξος σε σχέση με την πραγματική λειτουργία του. Αυτό συμβαίνει διότι το πρωτόκολλο αυτό καθιερώθηκε το 1991 από την γνωστή σε όλους τους επαγγελματίες του ήχου ALESIS και αφορούσε την διασύνδεση του ήχου σε ένα από τα οχτακάναλα ψηφιακά κασετόφωνα που είχε βγάλει τότε στην αγορά. Κανονικά λέγεται ADI δηλαδή Alesis Digital Interface και το συναντάμε και ως LIGHTPIPE το οποίο προέκυψε από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται οπτική μεταφορά του ψηφιακού σήματος. Παρόλα αυτά ο όρος ADAT είναι ο επικρατέστερος και τον συναντά κανείς σε πληθώρα μηχανημάτων του σήμερα.

Με το ADAT μπορούμε να μεταφέρουμε σειριακά 8 κανάλια ψηφιακού ήχου ταυτόχρονα μέσω μίας οπτικής ίνας. Το μήκος ασφαλούς μεταφοράς της ίνας εφόσον αυτή είναι πλαστική ορίζεται από το πρωτόκολλο στα 10m. Εάν χρησιμοποιηθεί γυάλινη οπτική ίνα τότε το μήκος ασφαλούς μεταφοράς ανέρχεται στα 30m περίπου. Το ADAT προβλέπει συχνότητα δειγματοληψίας έως 48 KHz και ανάλυση 24 bits. Ο συγχρονισμός σε μία ADAT σύνδεση γίνεται με επιπλέον πληροφορία για την κατάσταση του ρολογιού που μεταφέρεται μαζί με την ηχητική πληροφορία στο ίδιο καλώδιο (self-clocking). Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιο επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του AES/EBU :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: έως 48KHz / 24bit

Καλώδιο: πλαστική ή γυάλινη οπτική ίνα

Βύσματα: Optical

Απόσταση καλωδίου: μέχρι 10m ή 30m με γυάλινη ο. ίνα.

Συγχρονισμός: Επί του ίδιου καλωδίου μέσω ψηφιακής πληροφορίας (Self-Clocking)

Το ADAT χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε μηχανήματα που περιλαμβάνουν πολυκάναλες εφαρμογές όπως οι ψηφιακοί μετατροπείς (convertors) και οι κάρτες ήχου υπολογιστών. Για να έχουμε 8 κανάλια ήχου ως είσοδο και 8 κανάλια ήχου ως έξοδο χρειαζόμαστε δύο οπτικές ίνες. Ένα για IN και ένα για OUT.

Ψηφιακή ανάλυση του πρωτοκόλλου ADAT

Η μεταφορά και κωδικοποίηση του ψηφιακού σήματος κατά την διασύνδεση με ADAT γίνεται ως εξής : Ένα σύνολο 192 bits το οποίο στην ουσία είναι 8 κανάλια ήχου επί 24 bits το καθένα = 192 bits, εκπέμπεται μέσα σε 256 χρονισμούς δημιουργώντας έτσι ένα μοναδικό πλαίσιο με πληροφορία. Κάθε πλαίσιο περιέχει τα εξής ψηφιακά τμήματα : 10 bits για τον συγχρονισμό, 1 bit που σημαίνει το τέλος της πληροφορίας συγχρονισμού όταν παίρνει την τιμή (1), 4 bits για πληροφορία που δίνει ο εκάστοτε χρήστης (user bits), 1 bit που σημαίνει το τέλος της πληροφορίας χρήστη και τέλος τα 192 bits που αναφέραμε προηγουμένως για την ηχητική πληροφορία. Τα 2 bit που βρίσκονται πριν και μετά από τα bits χρήστη λειτουργούν και ως πληροφορία συγχρονισμού διότι το μηχανήμα δέκτης κλειδώνει το ρολόι του με αναφορά αυτά τα δύο bits αναγνωρίζοντας έτσι την δειγματοληψία χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω πληροφορία.

Η συχνότητα του ψηφιακού ρολογιού προβλέπεται στα 12.288 MHz για δειγματοληψία 48 KHz.



4) TDIF

Τα αρχικά του σημαίνουν **T**ascam **D**igital **I**nterface **F**ormat και πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που δημιούργησε η γνωστή εταιρεία ηχητικών μηχανημάτων TASCAM. Το TDIF υποστηρίζει την διαμεταγωγή 16 καναλιών ψηφιακού ήχου μέσω ενός πολυκαλωδίου με απολήξεις D-SUB (25 pins). Στα 16 αυτά κανάλια περιλαμβάνονται 8 είσοδοι και 8 έξοδοι σήματος μίας συνδεδεμένης συσκευής. Τα εσωτερικά καλώδια συνδέονται σε διάταξη unbalanced έτσι το θεωρητικό επιτρεπόμενο μήκος καλωδίου είναι τα 5 m. Όπως είναι λογικό τα μηχανήματα που είναι συνδεδεμένα με TDIF θα πρέπει να είναι σχετικά κοντά μεταξύ τους. Η συχνότητα δειγματοληψίας που υποστηρίζεται είναι μέχρι τα 48 KHz και η ανάλυση σήματος σε bits μέχρι τα 24. Το TDIF συναντάται συνήθως σε ψηφιακούς μετατροπείς (converters), σε ψηφιακές κονσόλες και ως βασικό χαρακτηριστικό των ψηφιακών κασσετοφώνων της TASCAM. Ο συγχρονισμός σε μία TDIF σύνδεση πρέπει να γίνει μέσω ενός ειδικού συστήματος που έχει μόνο το TDIF και λέγεται LRCK το οποίο όμως γίνεται μέσω του ίδιου καλωδίου (self-clocking). Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιά επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του TDIF :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: έως 48KHz / 24bit

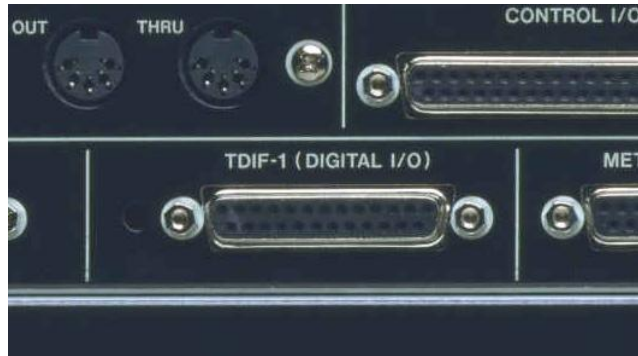
Καλώδιο: Πολυκαλώδιο (multi) 110 Ohm

Βύσματα: D-Sub 25 pin

Απόσταση καλωδίου: μέχρι 5m

Συγχρονισμός: Επί του ίδιου καλωδίου μέσω LRCK
(Self-Clocking)





5) SDIF-2, SDIF-3, MAC-DSD

Τα πρωτόκολλα που αναφέρονται σε αυτήν την παράγραφο είναι λιγότερο διαδεδομένα στον χώρο του επαγγελματικού ήχου αλλά είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα στο προσεχές μέλλον. Το SDIF-2 είναι ένα πρωτόκολλο μετάδοσης του ψηφιακού ήχου που ύδρισε η γνωστή εταιρία SONY και τα αρχικά του ονόματος του σημαίνουν **Sony Digital Interface**. Το SDIF-2 υποστηρίζει την μετάδοση 2 καναλιών ψηφιακού ήχου μέσω 2 ξεχωριστών καλωδίων με αντίσταση 75 Ohm και απολήξεις BNC. Για την σωστή διάταξη χρειάζονται συνολικά 3 καλώδια, 1 για κάθε κανάλι και 1 για την μεταφορά του σήματος Wordclock. Οι προδιαγραφές λένε ότι τα καλώδια αυτά πρέπει να έχουν το ίδιο ακριβώς μήκος. Το «δυνατό» χαρακτηριστικό του SDIF είναι ότι υποστηρίζει απεριόριστη συχνότητα δειγματοληψίας. Η ανάλυση του ψηφιακού σήματος είναι μέχρι τα 20 bits. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πιο επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά του SDIF-2 :

Δειγματοληψία/Ανάλυση: Απεριόριστη / 20 bits

Καλώδιο: 75 Ohm ομοαξονικό (unbalanced)

Βύσματα: BNC

Απόσταση καλωδίου: ίδιο μήκος μεταξύ καλωδίων

Συγχρονισμός: Wordclock (εξωτερικό καλώδιο)

Το SDIF-2 βρίσκει εφαρμογή σε ορισμένα επαγγελματικά συστήματα της SONY που έχουν λειτουργίες Video συνήθως και για αυτό τον λόγο δεν το συναντά κανείς πολύ συχνά στον χώρο του επαγγελματικού ήχου. Υπάρχει και μία πολυκάναλη έκδοση του SDIF-2 που χρησιμοποιεί balanced (twisted pair) καλώδια με απολήξεις D-SUB με 50 pins.

Η SONY έχει παρουσιάσει επίσης και το SDIF-3 το οποίο όπως και το MAC-DSD χρησιμοποιούνται για την μετάδοση σήματος DSD.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φαινόμενα που προκύπτουν κατά την μεταφορά, την αναπαραγωγή και την αποθήκευση του ψηφιακού ήχου

Όταν πραγματοποιείται μία ψηφιακή μεταφορά ήχου υπάρχουν κάποια φαινόμενα που παρατηρούνται και αποτελούν εμπόδιο στην ομαλή εξέλιξη της διαδικασίας. Επίσης φαινόμενα παρουσιάζονται και κατά την τελική αποθήκευση του ψηφιακού ήχου η αλλιώς κατά την επεξεργασία του τελικού υλικού που απευθύνεται στον ακροατή. Αυτά τα φαινόμενα οδηγούν σε μία σειρά από επιλογές που μπορεί να κάνει ένας μηχανικός ήχου και να διεκπεραιώσει την διαδικασία επιτυχώς. Τα παραπάνω αναλύονται στις επόμενες σελίδες.

1) Jitter

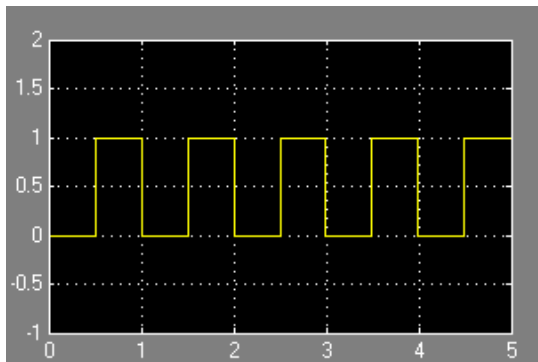
Θεωρητικά θα μπορούσε κανείς να πει ότι εφόσον πραγματοποιηθεί μία επιτυχής καταγραφή ψηφιακού ήχου τότε αυτό το αρχείο θα αναπαράγεται σωστά από οποιοδήποτε μηχάνημα χωρίς απώλεια πληροφορίας. Αυτό που συχνά εμφανίζεται σαν φαινόμενο στη ψηφιακή αναπαραγωγή ήχου είναι η χρονική αστάθεια αναπαραγωγής των δειγμάτων γεγονός το οποίο οφείλει την ύπαρξή του στην μη σωστή πληροφορία χρονικής θέσης που δέχεται το εκάστοτε μηχάνημα. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να οφείλεται σε ένα μη ποιοτικό σήμα χρονισμού (clock signal) ή στην διακύμανση της ταχύτητας της κεφαλής ανάγνωσης ενός CD Player. Αυτά τα φαινόμενα δημιουργούν λάθη στην αρχική πληροφορία και έχουμε σαν αποτέλεσμα ένα ψηφιακό σήμα με παραλλαγμένη πληροφορία.

Το jitter είναι μία λέξη που συναντάμε συχνά στις σελίδες χαρακτηριστικών ενός μηχανήματος όπως επίσης και στις κριτικές που εκδίδουν οι ειδικοί του χώρου της τεχνολογίας ήχου για DAC και ADC μηχανήματα. **Η οποιαδήποτε χρονική διαφορά μίας κυματομορφής από μία κυματομορφή αναφοράς ονομάζεται jitter.** Οι χρονική διαφορά σε μία αναλογική κυματομορφή εκλαμβάνεται από τον ακροατή ως τονική απόκλιση από το αρχικό σήμα. Στον ψηφιακό κόσμο του ήχου αυτό εκλαμβάνεται ως θόρυβος ή παραμόρφωση του τελικού σήματος χωρίς όμως αυτό να γίνεται άμεσα αντιληπτό όπως στην περίπτωση του αναλογικού σήματος. Ωστόσο αυτό το πρόβλημα δημιουργεί πτώση στην ποιότητα του σήματος και αποτελεί πρόκληση για τους μηχανικούς και φυσικά τους κατασκευαστές επαγγελματικών μηχανημάτων ήχου. Ένα σήμα χρονισμού πρέπει να έχει ακρίβεια και ως 20 picoseconds. Όπως καταλαβαίνουμε λοιπόν τα κυκλώματα πρέπει να είναι πολύ καλά σχεδιασμένα για να μην υπάρχουν χρονικές αποκλίσεις. Επίσης λογικό είναι ότι ένα σήμα με ανάλυση 24 bits έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε χρονισμό σε σχέση με ένα σήμα με ανάλυση 16 bits.

Το φαινόμενο jitter διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες : Το **interface jitter** και το **sampling jitter**. Το interface jitter εμφανίζεται κατά την διάρκεια μίας ψηφιακής μεταφοράς ήχου από το ένα μηχανήμα στο άλλο και έχει την βάση του στον κακό συγχρονισμό των δύο μηχανημάτων. Το sampling jitter εμφανίζεται κατά την διάρκεια μίας ψηφιακής μετατροπής που αναλαμβάνει ένας ADC ή ένας DAC και οφείλει τη ύπαρξή του στον κακό σχεδιασμό του κυκλώματος ή στην χαμηλή ποιότητα του σήματος χρονισμού (clock signal) που μπορεί να δέχεται ο converter.

Σε μία ψηφιακή μεταφορά πρέπει οπωσδήποτε ένα από τα μηχανήματα να έχει τον ρόλο master και το άλλο τον ρόλο slave όσον αφορά τον συγχρονισμό τους. Αυτό σημαίνει ότι το ένα εκπέμπει σήμα χρονισμού και το άλλο “κλειδώνει” πάνω σε αυτό το σήμα δηλαδή το λαμβάνει και δέχεται τα δείγματα ήχου σύμφωνα με αυτό. Όπως γνωρίζουμε το σήμα χρονισμού μπορεί να υπάρχει μέσα στο ίδιο το σήμα κωδικοποιημένο (self clocking) ή να είναι ξεχωριστό με την μορφή

wordclock. Το σήμα χρονισμού με το πρωτόκολλο wordclock μπορεί να δημιουργείται από το μηχάνημα που έχει τον ρόλο master ή από ένα ξεχωριστό μηχάνημα που αναλαμβάνει τον ρόλο master clock σε μία ψηφιακή διάταξη και τροφοδοτεί με υψηλής ποιότητας σήμα χρονισμού όλα τα συμβαλλόμενα μηχανήματα. Το σήμα χρονισμού wordclock είναι ένας αναλογικός τετραγωνικός παλμός ο οποίος αλλάζει συχνότητα ανάλογα με την συχνότητα δειγματοληψίας. Κάθε παλμός εκπροσωπεί την περίοδο του ενός δείγματος. Ένας τετραγωνικός παλμός έχει θεωρητικά μηδενικό χρόνο μετάβασης από τον ένα παλμό στον άλλο όπως επίσης και ίδιο πλάτος μεταξύ των παλμών όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1.



2.1 Γραφική Αναπαράσταση Τετραγωνικού Παλμού

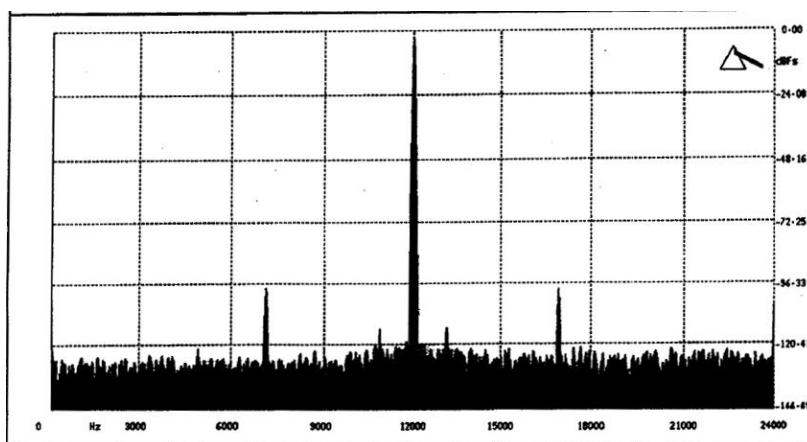
Για να είναι υπαρκτό ένα σήμα χρονισμού wordclock με την μορφή της εικόνας 2.1 θα πρέπει η γεννήτρια που το παράγει να διαθέτει πολύ καλά κυκλώματα τα οποία να πραγματοποιούν της πολύ γρήγορες μεταβάσεις του τετραγωνικού παλμού. Το φαινόμενο jitter δημιουργείται πολλές φορές από ένα κακό σήμα wordclock το οποίο έχει αυξημένους χρόνους μετάβασης από παλμό σε παλμό ή αλλάζει το πλάτος των παλμών δηλαδή η περίοδος τους. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο τότε και στην περίπτωση του interface jitter και στην περίπτωση του sampling jitter τα δείγματα λαμβάνονται σε λάθος χρόνους και δημιουργείται ένα τελικό αρχείο το οποίο είναι χρονικά ασταθές (jittered). Όταν αυτό το αρχείο αναπαραχθεί αργότερα από έναν DAC θα εμφανιστούν όλα τα

χαρακτηριστικά που δημιουργεί το jitter τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω στην συνέχεια. Ένας επίσης παράγοντας που δημιουργεί το φαινόμενο jitter μέσω σήματος χρονισμού wordclock είναι ο τύπος καλωδίου και ο τρόπος διασύνδεσης αυτού. Οι προδιαγραφές που πρέπει να ισχύουν για να μην δημιουργείται jitter λόγω καλωδίου είναι οι εξής :

Το καλώδιο που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση wordclock πρέπει να είναι ομοαξονικό στα 75 Ohm δηλαδή τύπου RG59. Στο εμπόριο κυκλοφορεί και το καλώδιο RG58 το οποίο είναι επίσης ομοαξονικό αλλά έχει αντίσταση στα 50 Ohm. Φαινομενικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντί του RG59 έχοντας επίσης υπόψη ότι κοστίζει λιγότερο. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται το RG58. Επίσης πρέπει τα καλώδια να έχουν το μικρότερο δυνατό μήκος κάτω δηλαδή του ενός μέτρου πράγμα που αναγκάζει τα συμβαλλόμενα μηχανήματα να βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο, κάτι που δεν είναι εφικτό σε όλες τις περιπτώσεις ενός studio παραγωγής ηχητικού υλικού. Τα καλώδια πρέπει να έχουν απολήξεις τύπου BNC και να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότερες ζεύξεις τύπου BNC-T. Η συνολική διασύνδεση πρέπει να είναι ελάχιστης πολυπλοκότητας για να μην έχουμε jitter. Τέλος η τελευταία στη σειρά ζεύξη τύπου BNC-T πρέπει να τερματίζεται σε ένα μηχανήμα. Τα παραπάνω ελέγχθηκαν στην πειραματική διαδικασία αυτής της εργασίας και θα δούμε τα αποτελέσματα στο επόμενο κεφάλαιο.

Το φαινόμενο jitter πρέπει να ελέγχεται σε όλα τα στάδια της μεταφοράς του σήματος αλλά το πιο κρίσιμο σημείο είναι αυτό της μετατροπής από έναν ADC ή έναν DAC. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα σήματα χρονισμού που ελέγχουν τους converters. Ένα σήμα χρονισμού με jitter στην περίπτωση του ADC θα δημιουργήσει ένα αρχείο ήχου με λάθος δείγματα δηλ. λάθος τιμές πλάτους κυματομορφής σε λανθασμένους χρόνους. Ακόμη και αν τα παραπάνω δείγματα τροφοδοτηθούν σε έναν DAC με σωστό σήμα χρονισμού, το αποτέλεσμα θα είναι ένα σήμα με λάθος δείγματα στους σωστούς χρόνους. Το περιθώριο λάθους αυξάνεται στις υψηλές συχνότητες

Αν αναλύσουμε το φαινόμενο *sampling jitter* σε συχνотική απεικόνιση τότε θα παρατηρήσουμε ότι το αποτέλεσμα μοιάζει με αυτό της διαμόρφωσης κατά συχνότητα δηλαδή *fm modulation*. Η συχνότητα του σήματος έχει τον ρόλο του φορέα και το *jittered* σήμα χρονισμού έχει το ρόλο της συχνότητας διαμόρφωσης. Έτσι όπως είναι αναμενόμενο το τελικό σήμα θα αποκτήσει τις γνωστές πλευρικές συχνότητες της *fm*. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός τόνου που έχει αποκτήσει *jitter* κατά την μετατροπή από ψηφιακό σε αναλογικό.



2.2 Οι πλευρικές συχνότητες που προκύπτουν από ένα *jittered clock* στον DAC

Αν έχουμε φαινόμενο *jitter* κατά την μετατροπή τότε εκτός από τις πλευρικές συχνότητες *fm* έχουμε και μείωση του πλάτους του σήματος με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και το δυναμικό εύρος της μετατροπής και συνάμα του εκάστοτε μηχανήματος. Αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό για την απόδοση ενός *converter* και για την ποιότητα μετατροπής γενικότερα. Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε μία επιτυχής μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό χωρίς καθόλου *jitter* τότε μπορεί να εμφανιστεί *jitter* στο σήμα χρονισμού του DAC το οποίο θα δημιουργούσε μετάδοση της σωστής μεν πληροφορίας, σε λάθος όμως χρόνους δε. Αυτό θα δημιουργούσε ένα σήμα με αυξημένο θόρυβο και παραμόρφωση σε σχέση πάντα με το αρχικό. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι ακόμα και αν έχουμε μία επιτυχημένη εγγραφή ψηφιακού ήχου αυτή είναι υπόλογη σε κακή μετάφραση από έναν μέτριο DAC.

Όπως είναι λογικό όλα τα παραπάνω οδήγησαν τους επιστήμονες του χώρου να βρουν μία λύση στο φαινόμενο jitter. Πράγματι υπάρχει ένας βασικός τρόπος καταπολέμησης του jitter και γίνεται μέσω του γνωστού κυκλώματος PLL. Τα αρχικά του σημαίνουν **Phased Locked Loop** και μεταφράζεται ως βρόγχος κλειδωμένης φάσης. Το PLL δέχεται στην είσοδό του το σήμα χρονισμού είτε πρόκειται για σήμα τύπου wordclock είτε για σήμα self clocking από AES/EBU π.χ. και μέσω ενός κυκλώματος συγκρίνει την φάση του με την έξοδο του ρολογιού του μηχανήματος στο οποίο βρίσκεται. Εξυπακούεται ότι είναι ρυθμισμένη η ανάλογη δειγματοληψία και ανάλυση σε bit του μηχανήματος slave. Η έξοδος του συγκριτή φάσης είναι ουσιαστικά η διαφορά φάσης των δύο σημάτων. Αυτή η διαφορά τροφοδοτείται σε έναν VCO (voltage controlled oscillator) ο οποίος με την σειρά του εφαρμόζεται στο αρχικό σήμα δίνοντάς του την νέα σωστή φάση με αποτέλεσμα να γίνεται εξάλειψη του jitter. Επίσης ένα PLL τέτοιου είδους μπορεί να περιλαμβάνει ένα χαμηλοπερατό φίλτρο (low pass) το οποίο «αφήνει» μόνο τις αργές διακυμάνσεις του σήματος χρονισμού να περάσουν στο PLL διότι οι γρήγορες διακυμάνσεις ουσιαστικά εξαλείφονται στον άξονα του χρόνου. Αυτό που συμβαίνει όμως καμιά φορά είναι ότι το PLL συμπεριφέρεται καλύτερα στην περίπτωση του jitter χαμηλής συχνότητας ενώ αν το jitter βρίσκεται κοντά στην συχνότητα αποκοπής του χαμηλοπερατού φίλτρου, το PLL δεν καταφέρνει πλήρη εξάλειψη του jitter. Ευνόητο είναι λοιπόν ότι τα κυκλώματα αυτά θέλουν πολύ προσεκτικό σχεδιασμό και ίσως είναι παράγοντας για το πόσο ποιοτικό είναι ένα μηχάνημα.

Αυτή η τεχνική με το κύκλωμα PLL εφαρμόζεται και στους σερβομηχανισμούς των κεφαλών ανάγνωσης CD και TAPE για να εξαλείφεται το jitter που δημιουργείται λόγω αλλαγής ταχύτητας ανάγνωσης του μέσου αποθήκευσης. Έτσι θα μπορούσε κανείς να πει ότι στην περίπτωση του interface jitter υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μην δημιουργείται προβληματική μεταφορά σήματος εφόσον τα PLL στα συνδεδεμένα μηχανήματα είναι υψηλής ποιότητας και καταφέρνουν ολική εξάλειψη του jitter. Για αυτόν τον λόγο το sampling jitter θεωρείται πιο σοβαρό πρόβλημα σε σχέση με το interface jitter αφού το

πρώτο δεν αντιμετωπίζεται με τέτοιου είδους κυκλώματα. Μερικά παραδείγματα μεταφοράς ψηφιακού ήχου με προσπάθεια αποφυγής του φαινομένου jitter έγιναν κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και αναλύονται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο.

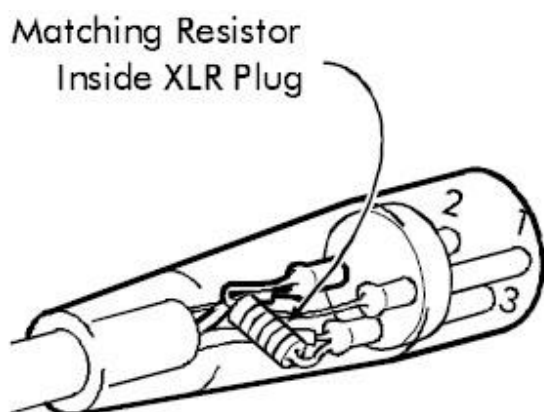
2) Ασυμβατότητα Αντιστάσεων

Στις ψηφιακές μεταφορές έχουμε εύρος συχνότητας πολύ μεγαλύτερο από αυτό του αναλογικού τομέα. Ενώ σε μία αναλογική μεταφορά σήματος μπορούμε να έχουμε συχνότητες στα 20 KHz που είναι το άνω άκρο του ακουστικού φάσματος, στις ψηφιακές μεταφορές έχουμε σήματα τις τάξεως των 5 με 6 MHz. Για να έχουμε σωστή διασύνδεση και συνεπώς επιτυχημένη μεταφορά σήματος θα πρέπει να ισχύουν οι συνθήκες που προβλέπονται για μεταφορά σήματος υψηλής συχνότητας, δηλαδή η ωμική αντίσταση της πηγής, του καλωδίου και του δέκτη, να είναι ίδια. Επειδή ο ψηφιακός κόσμος του ήχου είναι σχετικά νέος και βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη, κανείς συναντά ασυμβατότητες μεταξύ μηχανημάτων νεότερης και παλαιότερης γενιάς. Συγκεκριμένα στην περίπτωση του πρωτοκόλλου AES/EBU συμβαίνει το εξής: Το 1985, το έτος δηλαδή που καθιερώθηκε το AES/EBU, τα χαρακτηριστικά του ήταν διαφορετικά μέχρι που μετατράπηκαν το 1992 και ισχύουν μέχρι σήμερα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου AES/EBU ανά χρονολογία.

	AES3 1985	AES3 1992	AES3 ID
Signal Level	3 to 10 Volts	2 to 7 Volts	1 Volt +/- 20%
Source Impedance	110 Ohms	110 Ohms	75 Ohms
Input Impedance	250 Ohms	110 Ohms	75 Ohms
Cable Impedance	NO SPEC	110 Ohms	75 Ohms
Connector	XLR	XLR	BNC

Αν τυχαίνει να διαθέτουμε μηχανήματα με ημερομηνία κατασκευής από το 1985 έως το 1992 και θέλουμε να τα συμπεριλάβουμε σε μία μεταφορά που περιλαμβάνει νεότερα μηχανήματα τότε θα έχουμε ανεπιθύμητα αποτελέσματα που θα περιλαμβάνουν τα φαινόμενα jitter, clicks and pops και θόρυβο. Αυτή η διασύνδεση είναι πολύ πιθανόν να υπάρχει σε τηλεοπτικά studio που αναγκάζονται πολλές φορές να χρησιμοποιούν παλαιότερα μηχανήματα λόγω συμβατότητας με το αρχείο τους.

Για να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα μπορεί κανείς να μετατρέψει τις συνδέσεις που αφορούν μηχανήματα με το πρωτόκολλο του 1985. Αυτό γίνεται προσθέτοντας μία αντίσταση στους δύο από τους τρεις ακροδέκτες του βύσματος τύπου XLR το οποίο χρησιμοποιείται για την AES/EBU μετάδοση, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.



2.3 Προσθήκη Αντίστασης σε βύσμα XLR για ταίριασμα ωμικής Αντίστασης.

Για παράδειγμα ένα συνηθισμένο καλώδιο των 50 Ohm θα χρειαστεί προσθήκη αντίστασης στα 60 Ohm για να φτάσει τα 110 Ohm των σημερινών προδιαγραφών του AES/EBU. Ένα επίσης φαινόμενο που δημιουργεί ανισότητα στις αντιστάσεις κατά την διαδρομή του σήματος είναι το μήκος των καλωδίων. Για να μπορέσουμε να διαθέτουμε μεγαλύτερα μήκη καλωδίων χωρίς αυτά να επηρεάζουν την μετάδοση του σήματος μπορούμε να εισάγουμε έναν ενισχυτή-ισοσταθμιστή σε ένα σημείο της αλυσίδας του σήματος. Υπάρχουν συγκεκριμένες υλοποιήσεις

τέτοιου είδους στο εμπόριο. Παίρνοντας τα χαρακτηριστικά από μία τέτοια υλοποίηση της εταιρείας Nvision, το NV1021, προκύπτει ενδεικτικά ο πίνακας 2.4.

	No EQ	Max EQ
45 Ohm balanced	76.2 m	304.8 m
100 Ohm balanced	152.4 m	609.6 m
110 Ohm balanced	243.84 m	762 m
75 Ohm coaxial	609.6 m	1220 m

2.4 Επιτρεπτά μήκη καλωδίων με την προσθήκη ενισχυτή-ισοσταθμιστή

Παρατηρούμε στον πίνακα ότι υπάρχουν τιμές που αφορούν ρύθμιση με ενσωμάτωση ισοσταθμιστή και χωρίς. Στις υλοποιήσεις όπως το NV1021 της Nvision περιλαμβάνεται συνήθως ένας ισοσταθμιστής συχνότητας ο οποίος ενισχύει κυρίως της υψηλές συχνότητες που κάνουν ενέργεια λόγω του μήκους του καλωδίου. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερο μήκος καλωδίου από αυτό που επιτρέπει η απλή ενίσχυση. Αυτά τα μήκη μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαντάζουν υπερβολικά για κλειστούς χώρους αν όμως κανείς αναλογιστεί το μήκος του καλωδίου που μπορεί να συνδέει studio μεταξύ τους τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικούς ορόφους ενός κτηρίου, πρακτική που συναντάται πολύ συχνά σε studio παραγωγής ηχητικού ή τηλεοπτικού υλικού για λόγους συνεργασίας δύο οι περισσότερων χώρων, θα καταλάβει την σημασία των παραπάνω εφαρμογών. [Nvision Company: The Book: An Engineer's Guide to Digital Transition (Nvision, 1995) σελ. 35-39]

3) Μετατροπή ανάλυσης, Dithering, Resampling

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1 της εργασίας αυτής, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο format κωδικοποίησης ασυμπίεστου ψηφιακού ήχου είναι το PCM. Η κωδικοποίηση PCM έχει μέγιστες τιμές συχνότητας δειγματοληψίας και ανάλυσης, 192 KHz και 24 bit αντίστοιχα. Τα σύγχρονα επαγγελματικά μηχανήματα υποστηρίζουν τις παραπάνω τιμές προσφέροντας υψηλή πιστότητα στις ψηφιακές μετατροπές και στην ψηφιακή επεξεργασία ήχου. Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο οι εταιρείες ανάπτυξης τεχνολογιών ήχου, έχουν εισάγει τύπους δίσκων που υποστηρίζουν τις μέγιστες τιμές της κωδικοποίησης PCM προσφέροντας στον απλό καταναλωτή την εμπειρία της υψηλής ανάλυσης. Ωστόσο το γνωστό σε όλους CD-Audio κατέχει ακόμα την πρώτη θέση στις προτιμήσεις των εταιριών διανομής μουσικών τίτλων καθώς και των καταναλωτών αφού η αγορά μηχανημάτων με υποστήριξη SACD και DVD-Audio αφορά ακόμα τους «λίγους και εκλεκτούς» λόγω της υψηλής τιμής που έχουν ως καινούργια προϊόντα. Οι προβλέψεις λένε ότι το CD-Audio θα κατέχει για αρκετά χρόνια ακόμα τα ινία στην δισκογραφία.

Οι προδιαγραφές του CD-Audio ορίζουν ότι το περιεχόμενο του δίσκου αφορά κωδικοποίηση PCM με συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και ανάλυση 16 bit. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της χωρητικότητας του CD-Audio το οποίο έχει κατά μέσο όρο 700 Mb διαθέσιμα για την ψηφιακή ηχητική πληροφορία. Έτσι στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη δειγματοληψία ή ανάλυση κατά την διάρκεια της παραγωγής του ηχητικού υλικού, θα πρέπει να γίνει η μετατροπή στις τιμές που υποστηρίζει το CD-Audio πριν σταλεί το τελικό προϊόν στο εργοστάσιο κοπής. Αυτό γίνεται μέσα από της διαδικασίες που λέγονται **resampling** (μετατροπή συχνότητας δειγματοληψίας) και **bit depth conversion** (μετατροπή ανάλυσης σε bit). Όπως είναι λογικό οι παραπάνω διαδικασίες δεν αφήνουν το αρχικό σήμα ανέπαφο αφού επεμβαίνουν στα δύο θεμελιώδη στοιχεία της κωδικοποίησης PCM και ουσιαστικά μειώνουν την ποιότητα του ηχογραφημένου και επεξεργασμένου σήματος υψηλής ανάλυσης. Το θέμα αυτό έχει

απασχολήσει αρκετά τους μηχανικούς ήχου τα τελευταία χρόνια και δεν είναι λίγοι αυτοί που υποστηρίζουν ότι όλη η διαδικασία της παραγωγής πρέπει να γίνεται με κωδικοποίηση στα 44100 Hz και ανάλυση 16 bit εφόσον το τελικό προϊόν θα είναι σε αυτή την μορφή και συνάμα δεν θα χρειαστεί να περάσει από περαιτέρω μετατροπές. Επίσης η παραγωγή με συχνότητα δειγματοληψίας 44100 Hz και 16 bit ανάλυση έχει λιγότερες απαιτήσεις σε χώρο αποθήκευσης πληροφορίας και πόρους συστήματος γενικότερα.

Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τα φαινόμενα που δημιουργούνται κατά την διάρκεια του bit depth conversion και του resampling καθώς και τις επιλογές που έχει ένας μηχανικός ήχου για να τα αποφύγει.

Όπως γνωρίζουμε ένα αναλογικό σήμα είναι συνεχές και η ψηφιακή αναπαράστασή του είναι ένα σήμα με καθορισμένες τιμές πλάτους ανά περίοδο δειγματοληψίας. Ένα σήμα λοιπόν με ανάλυση 16 bit μπορεί να περιγράψει 65536 τιμές πλάτους το οποίο μεταφράζεται σε 96 dB δυναμικού εύρους. Αντίστοιχα ένα σήμα στα 24 bit έχει δυναμικό εύρος 144 dB. Αυτό σημαίνει ότι η χαμηλότερη τιμή πλάτους που μπορεί να περιγράψει το ψηφιακό σήμα στην περίπτωση των 16 bit είναι τα -96 dB. Προφανώς αυτό δεν είναι το δυναμικό εύρος της αρχικής αναλογικής κυματομορφής άρα ακόμα και στο πρώτο στάδιο της ψηφιοποίησης υπάρχει παραμόρφωση σε σχέση με το αρχικό σήμα. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να δημιουργήσει αρμονικές, υποαρμονικές συχνότητες, παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης και αρμονικές που δημιουργούνται από το φαινόμενο aliasing *. Έτσι ανακαλύφθηκε ένας τρόπος να εξαλείφονται αυτά τα φαινόμενα και ονομάζεται dithering. **Το dithering είναι η διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζεται στο πρωτογενές σήμα ένα σήμα θορύβου που αντικαθιστά τα ανεπιθύμητα φαινόμενα παραμόρφωσης που δημιουργούνται κατά την ψηφιοποίηση.** Το σήμα αυτό ονομάζεται dither.

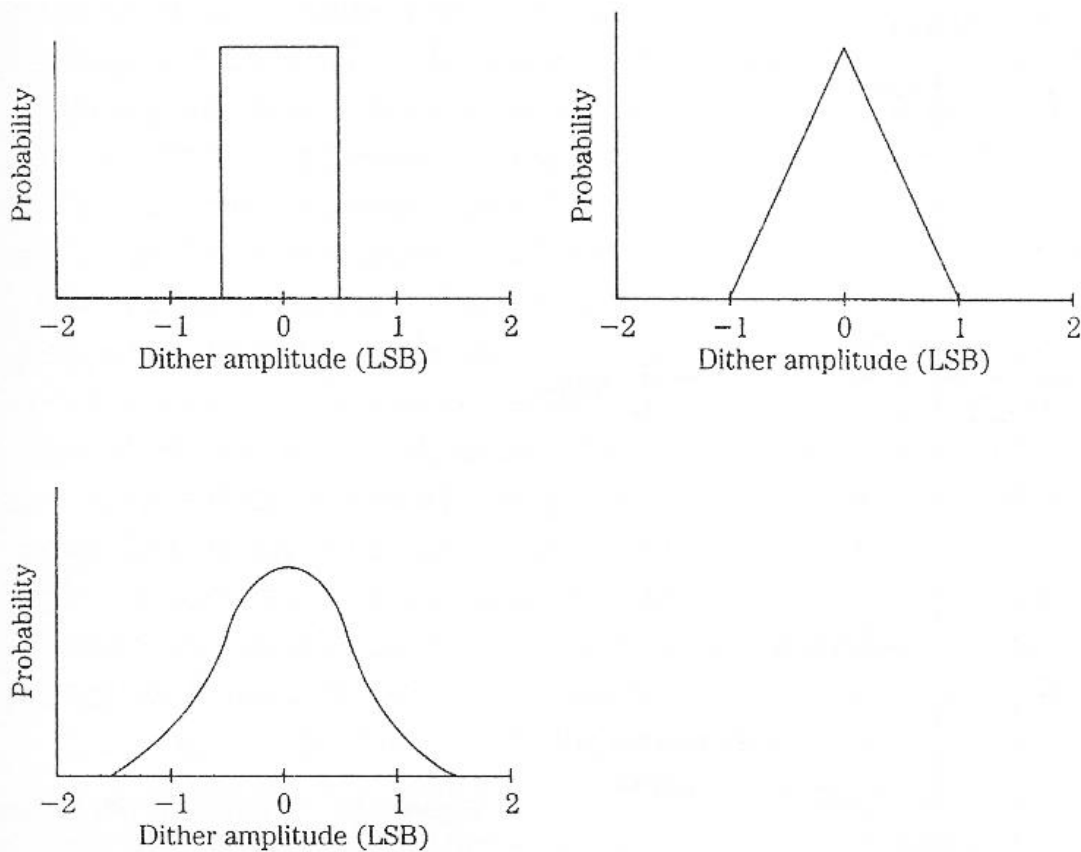
Η λογική του dithering προέκυψε από το γεγονός ότι κατά την διάρκεια της ψηφιοποίησης, οποιαδήποτε πληροφορία βρίσκεται στο αναλογικό σήμα η οποία βρίσκεται κάτω από το όριο του δυναμικού εύρους του ψηφιακού συστήματος παραλείπεται. Έτσι προσθέτοντας ένα

σήμα θορύβου με κορυφές που ξεπερνούν το κατώτατο όριο της ψηφιακής αναπαράστασης, το σύστημα «αναγκάζεται» να διαθέτει μερικά bit για να περιγράψει το μέρος του θορύβου που λαμβάνει. Μέσα στο θόρυβο όμως περιλαμβάνεται και το σήμα που υπό άλλες περιπτώσεις θα παραλείπονταν. Η επιστήμη της Ψυχοακουστικής έχει δείξει ότι το ανθρώπινο αυτί μπορεί να διακρίνει ένα περιοδικό σήμα που βρίσκεται μέσα σε θόρυβο ακόμα και αν ο θόρυβος έχει μεγαλύτερη ενέργεια. Ουσιαστικά με το dithering δημιουργείται μία μερική μετάφραση των σημάτων που βρίσκονται κάτω από το όριο αλλά αυτό επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση του μέσου όρου των bit που διαθέτει το σύστημα (LSB bits). Με αυτόν τον τρόπο διευρύνεται η ανάλυση του ψηφιακού συστήματος. Βέβαια όλα τα παραπάνω αφορούν την περίπτωση ψηφιοποίησης ενός αναλογικού σήματος και αναφέρονται στο dither που εφαρμόζεται σε έναν ADC. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν γίνεται κωδικοποίηση στα 24 bit το dithering δεν είναι πάντα αναγκαία διαδικασία διότι τα 144 dB εύρους καλύπτουν πολλές φορές τον λόγο σήματος προς θόρυβο του αναλογικού σήματος.

Στη περίπτωση της διαδικασίας bit depth conversion εφαρμόζεται επίσης ένα σήμα dither αυτή την φορά ψηφιακό, με παρόμοια όμως λογική. Ας δούμε όμως πρώτα τι συμβαίνει στην ψηφιακή επεξεργασία γενικότερα για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τον ρόλο του dithering. Είναι γνωστό ότι κατά την διάρκεια μίας ηχητικής παραγωγής το ψηφιακό σήμα επεξεργάζεται αρκετές φορές πριν πάρει την τελική του μορφή για αισθητικούς κυρίως λόγους. Αυτές οι ψηφιακές επεξεργασίες γίνονται από κάποιους ψηφιακούς επεξεργαστές οι οποίοι ονομάζονται DSP (digital signal processor). Αν ο DSP κληθεί για παράδειγμα να ελαττώσει την ένταση ενός σήματος κατά 6 dB δηλαδή υποδιπλάσιο, τότε θα δημιουργηθούν παραπάνω δεκαδικά ψηφία στην μαθηματική περιγραφή του πλάτους. Συνεπώς χρειάζονται περισσότερα bit. Για αυτό το λόγο οι DSP συνήθως προσθέτουν bit κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Έτσι ένα σήμα 16 bit που εισέρχεται στον DSP, επεξεργάζεται στα 32 ή 48 bit και πρέπει να εξέλθει πάλι στα 16 bit. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι θα έπρεπε να μην γίνεται μετατροπή σε 16

bit αλλά να διατηρείται το σήμα υψηλής ανάλυσης και μετά την επεξεργασία. Μία τέτοια υπόθεση δεν είναι πάντα άρτια γιατί τα περισσότερα Digital Audio Workstations δεν υποστηρίζουν πολλαπλές αναλύσεις στο ίδιο αρχείο. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται bit depth conversion. Αν δεν γίνει dithering σε αυτό το σημείο τότε οι παραπάνω πληροφορίες του DSP παραλείπονται δηλαδή υπάρχει μείωση της ποιότητας του σήματος και της επεξεργασίας. Το ίδιο ακριβώς γίνεται αν κάνουμε bit depth conversion χωρίς dithering για να γράψουμε το υψηλής ανάλυσης υλικό μας σε CD-Audio. Το dithering σε αυτή την περίπτωση γίνεται με τον εξής τρόπο: **Τυχαίοι αριθμοί προστίθενται σε κάθε δείγμα ξεχωριστά δημιουργώντας έτσι έναν θόρυβο που έχει τον ρόλο του σήματος dither.** Έτσι όπως και στην περίπτωση του αναλογικού σήματος «στογγυλοποιείται» η πληροφορία μέσω του θορύβου και δεν εξαλείφεται.

Το dithering είναι μία τεχνική που αποτρέπει όλα τα φαινόμενα παραμόρφωσης λόγω ψηφιοποίησης ή μετατροπής ανάλυσης ωστόσο δεν παύει να είναι ένα είδος θορύβου που προστίθεται στο σήμα. Ο θόρυβος αυτό είναι πολύ χαμηλός σε σχέση με το σήμα της τάξεως δηλαδή των -91 dB έχει παρατηρηθεί όμως ότι δημιουργεί μία αίσθηση επικάλυψης της διαύγειας του σήματος. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι που διαμορφώνουν τον θόρυβο dither έτσι ώστε να είναι λιγότερο ακουστός. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι αριθμοί που προστίθενται στα δείγματα είναι τυχαίοι. Έτσι οι αλγόριθμοι αυτοί λειτουργούν με βάση την «συνάρτηση πιθανότητας της πυκνότητας των αριθμών μέσα σε μία περίοδο LSB» η αλλιώς Probability Density Function. Σύμφωνα με αυτήν την συνάρτηση έχουν δημιουργηθεί τρεις βασικές καμπύλες που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία σήματος dither. Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στο σχήμα 2.5.



2.5 Καμπύλες διαμόρφωσης σήματος Dither.

Οι τρεις καμπύλες του σχήματος 2.5 χαρακτηρίζουν τα βασικά είδη dither, το **Rectangular**, το **Triangular** και το **Gaussian**. Η επιλογή του τύπου σήματος dither γίνεται με διαφορετικά κριτήρια για κάθε περίπτωση λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών που προσφέρει ο κάθε τύπος ξεχωριστά. Το Triangular και το Rectangular dither προσθέτουν λιγότερο θόρυβο συνολικά από ότι το Gaussian dither. Το Triangular dither προσθέτει 3 dB στον συνολικό θόρυβο, το Rectangular 4,77 dB ενώ το Gaussian 6 dB. Γενικά το πιο δημοφιλές και προτεινόμενο dither είναι το Triangular. Επίσης το Triangular καθώς και το Rectangular dither είναι εύκολα υλοποιήσιμα από τους ψηφιακούς επεξεργαστές. Ωστόσο το Gaussian dither είναι πιο εύκολο να υλοποιηθεί στον αναλογικό τομέα μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται συχνά στο dithering των ADC. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχουν αλγόριθμοι που διαμορφώνουν το σήμα dither έτσι ώστε ο θόρυβος που δημιουργείται να είναι λιγότερο

ακουστός. Κατά βάση αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν τον ρόλο ισοστάθμισης (equalization-shaping) δηλαδή διαμορφώνουν το συχνотικό περιεχόμενο του θορύβου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Highpass Triangular dither το οποίο είναι Triangular dither με ένα φίλτρο Highpass για να μεταφέρεται ο θόρυβος σε υψηλότερες συχνότητες όπου το ανθρώπινο αυτί είναι λιγότερο ευαίσθητο. Ένας πολύ δημοφιλής αλγόριθμος διαμόρφωσης dither είναι και αυτός της εταιρίας Waves με το όνομα Ultra. Κάποια από αυτά τα παραδείγματα dithering θα πραγματοποιηθούν στην πειραματική διαδικασία της εργασίας αυτής και θα αναφερθούν στο επόμενο Κεφάλαιο.

Το κύριο φαινόμενο που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην διαδικασία του resampling είναι το aliasing. * **Το aliasing είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι υψηλές συχνότητες που περιλαμβάνονται στο φάσμα ηχογραφήσεων υψηλής ανάλυσης, εμφανίζονται ως αρμονική παραμόρφωση σε χαμηλότερες συχνότητες.** Αυτό συμβαίνει όταν μία συχνότητα δειγματοληψίας κάνουμε resampling σε μία χαμηλότερη. Το θεώρημα του Nyquist λέει ότι η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να αναπαρασταθεί από μία ψηφιακή κωδικοποίηση είναι η συχνότητα που βρίσκεται στο μισό της συχνότητας δειγματοληψίας. Έτσι λογικό είναι ότι τα σήματα σε ψηλές δειγματοληψίες έχουν πληροφορία για υψηλότερες συχνότητες οι οποίες δεν μπορούν να μεταφραστούν στο φάσμα τις νέας δειγματοληψίας που θα εφαρμόσουμε στο resampling. Αυτές οι συχνότητες εμφανίζονται λοιπόν ως αρμονική παραμόρφωση σε χαμηλότερο μέρος του φάσματος. Η λύση σε αυτό είναι να εφαρμόζεται η τεχνική που λέγεται anti-alias filtering. Κατά την διαδικασία αυτή ουσιαστικά αποκλείονται οι συχνότητες που δεν μπορούν να περιληφθούν στο σήμα λόγω της νέας δειγματοληψίας και αποφεύγεται το aliasing.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλαβαίνει κανείς ότι υπάρχουν αρκετές επιλογές και λύσεις στις οποίες μπορεί να καταφύγει ένας τεχνικός ώστε να παραδώσει ένα τελικό προϊόν σε CD με άρτιο περιεχόμενο, χωρίς τα ψηφιακά κατάλοιπα που μπορούν να εμφανιστούν λόγω των υψηλών αναλύσεων.

4) Ταχύτητα εγγραφής CD-Audio

Είναι γνωστό ότι η εγγραφή ενός αρχείου ψηφιακού ήχου σε CD-Audio είναι πλέον μία απλή υπόθεση που γίνεται μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Επίσης η ταχύτητες εγγραφής που υποστηρίζονται από τα σύγχρονα CD Recorders φτάνουν έως 52 φορές την πραγματική ταχύτητα της κανονικής αναπαραγωγής. Το γεγονός αυτό μειώνει πάρα πολύ τον χρόνο εγγραφής και απαλλάσσει τον χρήστη από την αναμονή της εγγραφής σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο για να επιτύχουν τέτοιες ταχύτητες τα CD-Recorders ουσιαστικά ανεβάζουν την τάση του Laser εγγραφής γεγονός που οδηγεί τα εγγράψιμα CD να υπερθερμαίνονται στην επιφάνειά τους. Επίσης η κωδικοποίηση του ήχου πάνω στο CD είναι διαφορετική από αυτήν του αρχείου σε PCM format. Αυτό σημαίνει ότι ο εγγραφέας πρέπει να κάνει την μετατροπή σε πραγματικό χρόνο εγγραφής. Έτσι στις μεγάλες ταχύτητες εγγραφής υπάρχει μεγάλη περίπτωση να δημιουργηθεί jitter το οποίο να δημιουργήσει έντονα προβλήματα στην αναπαραγωγή με το CD Player. Βέβαια είναι γνωστό ότι στα CD-Players υπάρχει η λειτουργία error correction η οποία διορθώνει την πληροφορία που είναι jittered αλλά αυτό επιτυγχάνεται σχεδόν απόλυτα μόνο σε πολύ ακριβά μηχανήματα επαγγελματικού χαρακτήρα. Το αν η ταχύτητα εγγραφής αποτελεί σοβαρό παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας αναπαραγωγής CD-Audio θα το δούμε με παραδείγματα στην πειραματική διαδικασία της εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πειραματική Διαδικασία

Πείραμα 1.

Τύποι καλωδίων για σήμα χρονισμού (wordclock)

Το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε για να διαπιστωθούν οι καλύτεροι τύποι καλωδίων που μπορούν να φέρουν σήμα χρονισμού τύπου wordclock. Τα καλώδια εξετάστηκαν όσον αφορά το μήκος και τον τύπο. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι ομοαξονικού καλωδίου τους οποίους βρίσκει κανείς με τους κωδικούς RG 58 και RG 59. Τα καλώδια αυτά έχουν αντιστάσεις 50 Ohm και 75 Ohm αντίστοιχα. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μονάδα SYNC I/O του συστήματος Pro Tools της εταιρείας Digidesign και ένας αναλογικός παλμογράφος. Η συνδεσμολογία που πραγματοποιήθηκε ήταν η εξής: Η έξοδος wordclock του SYNC συνδέθηκε στην είσοδο του αναλογικού παλμογράφου χρησιμοποιώντας κάθε φορά το καλώδιο που βρίσκονταν υπό έλεγχο. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 3.1.



3.1. Συνδεσμολογία Πειράματος 1.

Η ρύθμιση των Pro Tools το οποίο είναι το περιβάλλον στο οποίο έγινε το πείραμα, έγινε ως εξής: Δημιουργία ενός νέου session και στην συνέχεια από το μενού setup πάμε στην επιλογή hardware. Εκεί εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 3.2.



3.2 Hardware Setup στην πλατφόρμα Pro Tools

Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου hardware υπάρχει μία επιλογή που λέγεται Ext. Clock Output. Εκεί γίνεται η ρύθμιση της δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιείται για την έξοδο wordclock του συστήματος. Για τον έλεγχο των καλωδίων χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές συχνότητες δειγματοληψίας διότι οι ανοχές των καλωδίων επηρεάζονται από τις συχνότητες διαμεταγωγής δεδομένων. Έτσι από την επιλογή Ext. Clock Output γίνονταν κάθε φορά η επιλογή της δειγματοληψίας. Τα καλώδια RG 58 και RG 59 ελέγχθηκαν σε δύο διαφορετικά μήκη το καθένα, στο 1m και στα 10m. Επίσης οι ακροδέκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου BNC όπως άλλωστε προβλέπει το πρωτόκολλο wordclock.

Καλώδιο RG 58

Ο πίνακας του σχήματος 3.3 περιλαμβάνει τις τιμές πλάτους κυματομορφής της εξόδου wordclock καθώς και τους χρόνους ανόδου του παλμού για όλες τις τιμές δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν, με συνδεδεμένο το καλώδιο RG 58 στα 50 Ohm.

RG 58 1m	SR: 44.1 KHz	SR: 48 KHz	SR: 96 KHz	SR: 192 KHz
Πλάτος (V _{pp})	2	2	2,1	2,1
Rise Time (μs)	0,1	0,1	0,5	0,5

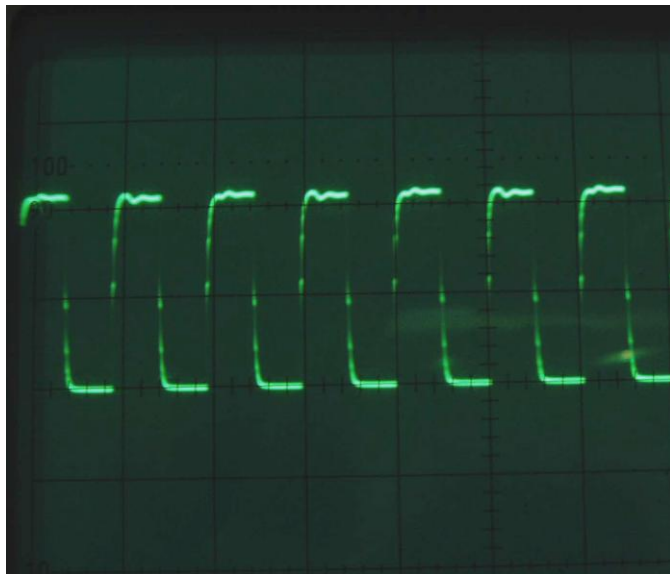
RG 58 10m	SR: 44.1 KHz	SR: 48 KHz	SR: 96 KHz	SR: 192 KHz
Πλάτος (V _{pp})	2,1	2	2,1	2,1
Rise Time (μs)	0,7	0,7	0,8	0,9

3.3 Αποτελέσματα καλωδίου RG58.

Παρατηρούμε ότι όταν το καλώδιο RG 58 χρησιμοποιηθεί με μήκος 10 μέτρων και άνω, υπάρχει μεγάλη απόκλιση στον χρόνο ανόδου. Ενδεικτικά οι παρακάτω φωτογραφίες από την ένδειξη του παλμογράφου δείχνουν ξεκάθαρα πόσο παραμόρφωση έχει υποστεί ο τετραγωνικός παλμός της εξόδου wordclock στην περίπτωση του μήκους 10m.



sr : 96 KHz



sr: 192 KHz

Όπως στην παραπάνω φωτογραφία, έτσι και σε άλλες μετρήσεις του πειράματος αυτού, παρατηρήθηκαν διακυμάνσεις στην τάση της τάξεως των 0,1 Volt μέγιστο, όσο αυτή βρίσκονταν στην τιμή κορυφής. Αυτό βέβαια δεν δημιουργεί πρόβλημα χρονισμού όσο η τάση παραμένει πάνω από το όριο που αναγνωρίζει το μηχάνημα το οποίο χρονίζεται σύμφωνα με αυτό το σήμα. Μέγιστη σημασία έχουν ο χρόνος ανόδου και καθόδου που ουσιαστικά αν είναι μεγάλοι δημιουργούν jitter.

Καλώδιο RG 59

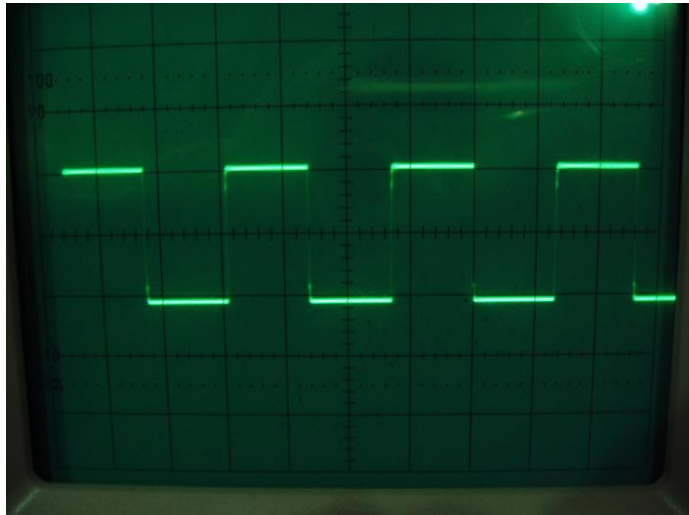
Αντίστοιχα και για το καλώδιο RG 59 στα 75 Ohm πήραμε τις μετρήσεις που φαίνονται στον πίνακα 3.4.

RG 59 1m	SR: 44.1 KHz	SR: 48 KHz	SR: 96 KHz	SR: 192 KHz
Πλάτος (Vpp)	2,1	2	2,1	2
Rise Time (μs)	0	0	0	0,05

RG 59 10m	SR: 44.1 KHz	SR: 48 KHz	SR: 96 KHz	SR: 192 KHz
Πλάτος (Vpp)	2,1	2	2	2,1
Rise Time (μs)	0	0	0,05	0,1

3.4 Αποτελέσματα καλωδίου RG59.

Παρατηρούμε από τις μετρήσεις ότι το καλώδιο RG 59 έχει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα από το RG 58 και ιδιαίτερα στην περίπτωση που το μήκος δεν ξεπερνάει το 1m. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται η απεικόνιση του παλμού wordclock χρησιμοποιώντας το καλώδιο RG 59 με μήκος 1m.



sr: 96 KHz

Ο τετραγωνικός παλμός αυτή τη φορά αναπαράγεται άρτια μέσω του καλωδίου RG 59 όπως ξεκάθαρα βλέπουμε στην παραπάνω φωτογραφία.

Τέλος προσθέτοντας έναν BNC-T connector παρατηρήσαμε ότι η τάση V_{pp} μειώθηκε στο μισό. Γι'αυτό τον λόγο συνιστάται η περιορισμένη χρήση BNC-T στην συνδεσμολογία wordclock.

Πείραμα 2.

Interface Jitter

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2 το interface jitter εμφανίζεται κατά την διάρκεια μίας ψηφιακής μεταφοράς ήχου από το ένα μηχάνημα στο άλλο και έχει την βάση του στον κακό συγχρονισμό των δύο μηχανημάτων. Σε αυτό το πείραμα θα δούμε πώς μπορεί το interface jitter να επηρεάσει την ποιότητα του σήματος μας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να πραγματοποιήσουμε κάποιες ψηφιακές μεταφορές ήχου χρησιμοποιώντας διατάξεις που είναι πιθανό να προκαλέσουν interface jitter. Οι διατάξεις αυτές θα περιλαμβάνουν τα καλώδια που κρίθηκαν ακατάλληλα από το πείραμα 1 καθώς και διατάξεις που θα αφορούν μεταφορές χωρίς συγχρονισμό. Για το πείραμα θα χρησιμοποιηθεί το CD Player-Recorder “Burn It plus” της εταιρείας HNB το οποίο είναι ένα πάρα πολύ καλό μηχάνημα για επαγγελματική χρήση και διαθέτει

εξόδους AES/EBU, S/PDIF, OPTICAL, Analog Balanced καθώς και είσοδο wordclock. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί το 192 I/O της εταιρείας Digidesign σε συνδυασμό με την πλατφόρμα εργασίας Pro Tools καθώς και το ADDA 2402 της εταιρείας Digital Audio Denmark το οποίο πρόκειται για έναν πολύ καλό και ακριβό 24 bit convertor. Το ADDA θα χρησιμοποιηθεί ως master clock στο συγκεκριμένο πείραμα. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 3.5. Για τους σκοπούς των πειραμάτων της εργασίας αυτής δημιουργήθηκε ένα Test CD-Audio με ταχύτητα εγγραφής 1x που περιλαμβάνει τα εξής tracks:

8 ημιτονοειδείς τόνους στα 40 Hz, 80 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 1 KHz, 5 KHz, 16 KHz, 19 KHz

Pink Noise, White Noise

Drums Sample

Drums Μπάσο και ηλ. κιθάρα Sample

Drums Μπάσο ηλ. Κιθάρα και φωνή Sample.



3.5 Συνδεσμολογία Πειράματος 2

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5 το ADDA 2402 έχει τον ρόλο master clock δηλαδή τροφοδοτεί με σήμα wordclock το 192 I/O και αυτό με την σειρά του τροφοδοτεί με το ίδιο σήμα το Burn It plus. Έτσι επιτυγχάνεται συγχρονισμός μεταξύ του 192 I/O και του Burn It plus. Ο λόγος που επελέγη το ADDA 2402 για master clock είναι διότι διαθέτει πολύ καλό εσωτερικό ρολόι και διότι με αυτό τον τρόπο περιπλέκεται η συνδεσμολογία καθώς και υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να δημιουργηθεί interface jitter χρησιμοποιώντας το καλώδιο RG 58.

Τα στάδια του πειράματος ήταν η ηχογράφηση του σήματος AES/EBU που εξέρχεται από το Burn It plus κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής του Test CD, στο περιβάλλον των Pro Tools και η εναλλαγή τρόπων συγχρονισμού με την προσθήκη διαφορετικών καλωδίων. Η Ηχογράφηση έγινε βέβαια με δειγματοληψία 44100 Hz και ανάλυση 16 bit όπως άλλωστε είναι και το σήμα της πηγής δηλαδή του Test CD. Η ρυθμίσεις που έγιναν στην πλατφόρμα των Pro Tools ήταν από το μενού Setup και στην επιλογή Hardware Setup που φαίνεται στο σχήμα 3.6.



3.6 Hardware Setup στην πλατφόρμα Pro Tools

Στο παράθυρο αυτό στο αριστερό μέρος υπάρχει μία επιλογή που λέγεται Clock Source η οποία μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε την πηγή του ρολογιού με την οποία θα «τρέχει» το σύστημα των Pro Tools. Με άλλα λόγια επιλέγουμε την είσοδο του σήματος χρονισμού.

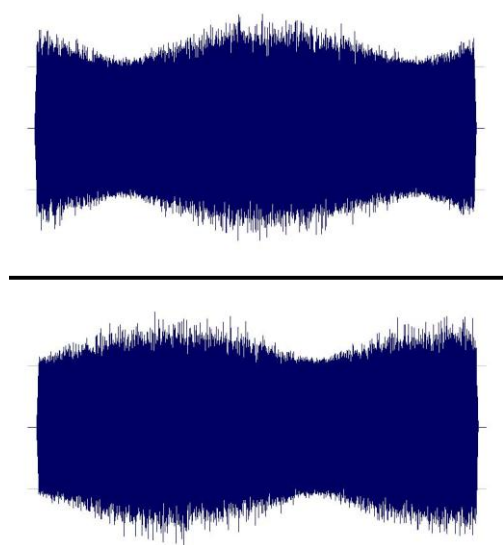
Έτσι στην επιλογή Clock Source επιλέγουμε Wordclock. Μετά την επιλογή αυτή τα Pro Tools κλειδώνουν στο σήμα wordclock από το ADDA 2402 και ουσιαστικά παρακάμπτουν το εσωτερικό τους ρολόι (επιλογή internal).

Με αυτές τις ρυθμίσεις έγιναν δύο ηχογραφήσεις μία με το καλώδιο RG 58 των δέκα μέτρων και μία με το καλώδιο RG 59 του ενός μέτρου για να υπάρχει και αρχείο σύγκρισης. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ακόμη μία ηχογράφηση χωρίς κανέναν συγχρονισμό παρακάμπτοντας δηλαδή το ADDA 2402 και ρυθμίζοντας την επιλογή Clock Source των Pro Tools σε internal.

Αποτελέσματα

Η ηχογραφήσεις περιλαμβάνονται στο CD που θα συνοδεύει την εργασία.

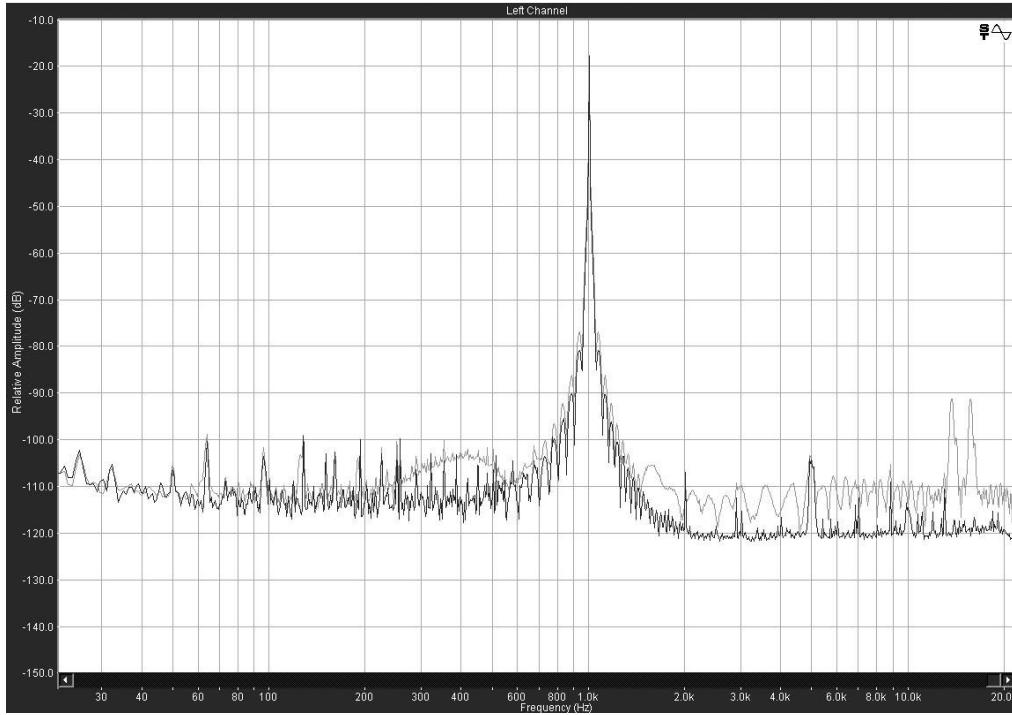
Οι ηχογραφήσεις με τα καλώδια RG 58 και RG 59 προέκυψαν πανομοιότυπες όσον αφορά την συχνотική τους ανάλυση. Ωστόσο παρατηρήθηκαν κάποιες φασικές διαφορές ειδικά στην περίπτωση του λευκού θορύβου. Η ψηφιακή απεικόνιση της κυματομορφής του λευκού θορύβου φαίνεται στο σχήμα 3.7.



3.7 Φασική διαφορά Λευκού Θορύβου μεταξύ των καλωδίων RG58 και RG59. Πάνω RG59 κάτω RG58.

Αυτό που όπως ήταν αναμενόμενο δημιούργησε σοβαρό πρόβλημα ήταν η ηχογράφηση χωρίς συγχρονισμό. Το σήμα απέκτησε αρμονικές σε σχέση με το αρχικό και εμφάνισε σε όλες τις περιπτώσεις pops και glitches τα οποία είναι λάθος ερμηνεύσεις του σήματος από τα Pro Tools λόγω interface jitter. Αυτά εμφανίζονται στην συχνотική ανάλυση ως κορυφές στις υψηλές συχνότητες. Ενδεικτικά στο σχήμα 3.8 φαίνεται η συχνотική ανάλυση του τόνου με συχνότητα 1 KHz στην περίπτωση της ηχογράφησης χωρίς συγχρονισμό και στην περίπτωση της ηχογράφησης με το καλώδιο RG59 του 1m. Η γκριζα απεικόνιση είναι για το ασυγχρόνιστο σήμα ενώ η μαύρη απεικόνιση είναι για το συγχρονισμένο με το RG59.

Το πείραμα αυτό μας έδειξε ότι στην περίπτωση των επαγγελματικών μηχανημάτων με καλό σχεδιασμό και επαρκή κυκλώματα τύπου PLL εξαλείφουν το interface jitter που μπορεί να δημιουργηθεί λόγω ακατάλληλης καλωδίωσης. Ωστόσο είναι καλύτερο κανείς να ακολουθεί αυστηρά τις προδιαγραφές για να υπάρχει συμβατότητα με όλα τα μηχανήματα. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στον σωστό συγχρονισμό για να αποφεύγονται προβλήματα τύπου pops και glitches. Επίσης αποδείχθηκε ότι μια ψηφιακή μεταφορά δεν αποτελεί πάντα πιστό αντίγραφο του αρχικού σήματος εάν δεν τηρούνται πιστά οι προδιαγραφές.

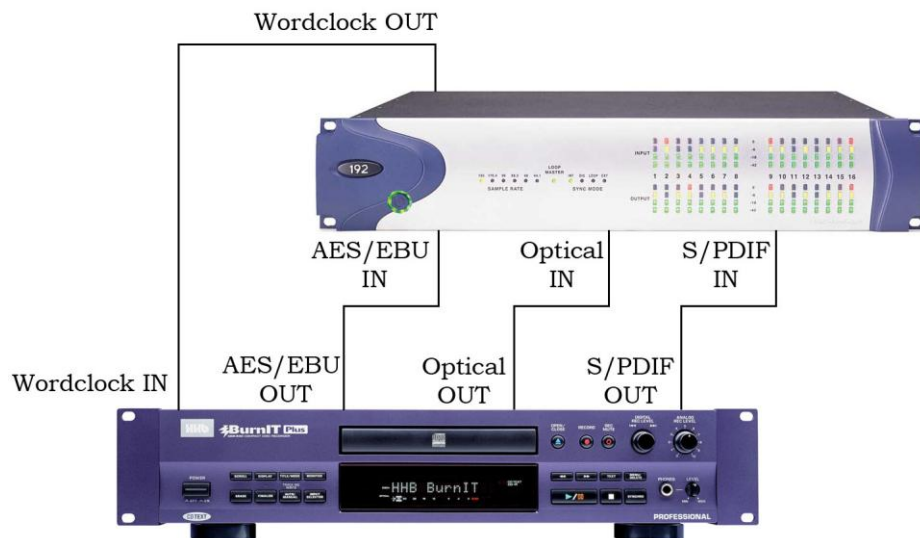


3.8 Glitches στον τόνο 1KHz λόγω απώλειας συγχρονισμού.

Πείραμα 3

Σύγκριση ψηφιακών πρωτοκόλλων μεταφοράς ήχου

Το πείραμα αυτό έχει σκοπό την σύγκριση των πρωτοκόλλων μεταφοράς ψηφιακού ήχου. Λόγω των δυνατοτήτων μηχανημάτων που υπήρχαν διαθέσιμα για αυτήν την εργασία, η σύγκριση των πρωτοκόλλων περιορίστηκε στα εξής πρωτόκολλα: AES/EBU, S/PDIF, Optical-TOSLink. Η σύγκριση αφορά την ποιότητα της μεταφοράς που επιτυγχάνει κάθε πρωτόκολλο ξεχωριστά και το αν τελικά υπάρχει κάποια διαφορά. Επίσης θα γίνει σύγκριση της ποιότητας του σήματος όταν αυτό μεταφέρεται με συγχρονισμό τύπου self clocking δηλαδή με την πληροφορία από την ψηφιακή είσοδο καθώς και με συγχρονισμό μέσω του σήματος wordclock. Η συνδεσμολογία που πραγματοποιήθηκε φαίνεται στο σχήμα 3.9.



3.9 Συνδεσμολογία Πειράματος 3

Το σχήμα 3.9 περιλαμβάνει την συνδεσμολογία στο σύνολο της δηλαδή φαίνονται όλες οι συνδέσεις που έγιναν στο πείραμα. Αυτό που άλλαξε σε κάθε ηχογράφιση ήταν οι ρυθμίσεις δρομολόγησης σήματος εισόδου και σήματος χρονισμού στην πλατφόρμα των Pro Tools. Αυτό

γίνονται πάλι από το μενού hardware setup όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10.



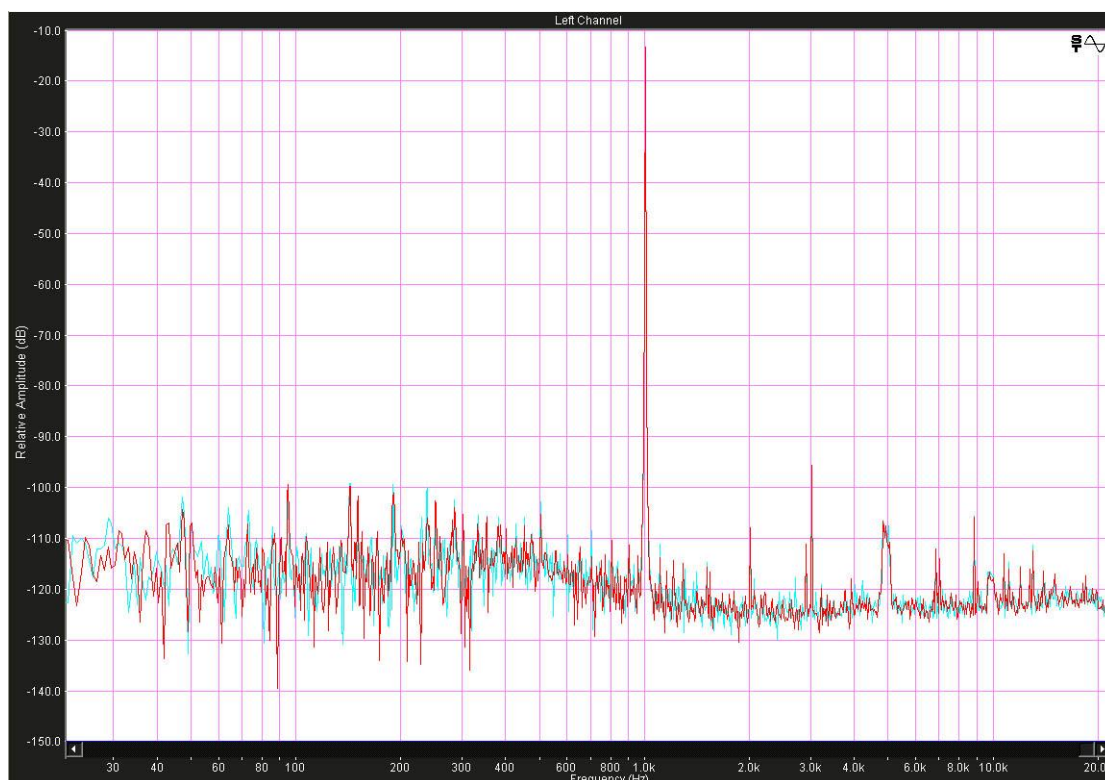
3.10 Hardware Setup στην πλατφόρμα Pro Tools

Στο κεντρικό σημείο του μενού Hardware Setup μπορεί κανείς να επιλέξει τις εισόδους και τις εξόδους που θα χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει διότι μέσα στο session των Pro Tools μπορεί κανείς να επιλέξει 16 εισόδους στο σύνολο. Το ποια θύρα εκπροσωπεί κάθε είσοδος ρυθμίζεται από το Hardware Setup. Έτσι κάθε φορά ρυθμιζόνταν η ανάλογη ψηφιακή είσοδος που εξυπηρετούσε το πείραμα. Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν όταν κανείς διαθέτει μόνο μία μονάδα 192 I/O. Στην περίπτωση των παραπάνω μονάδων 192 I/O υπάρχουν και παραπάνω δυνατότητες δρομολόγησης. Για την πηγή χρονισμού ρυθμιζόνταν κάθε φορά η επιλογή Clock Source. Οι ψηφιακές ηχογραφήσεις έγιναν με το Test CD που χρησιμοποιήθηκε και στα προηγούμενα πειράματα.

Αποτελέσματα

Οι μεταφορές έγιναν τηρώντας αυστηρά τις προδιαγραφές του κάθε πρωτοκόλλου. Το αποτέλεσμα ήταν να πραγματοποιηθούν τέλειες ψηφιακές μεταφορές ανεξάρτητα από τον τύπο του πρωτοκόλλου. Έτσι οι ηχογραφήσεις προέκυψαν πανομοιότυπες ακόμα και στην περίπτωση

του συγχρονισμού μέσω του πρωτοκόλλου wordclock. Ενδεικτικά βλέπουμε το σχήμα 3.11 στο οποίο φαίνονται οι συχνοτικές αναλύσεις του τόνου στο 1KHz στην περίπτωση AES/EBU και στην περίπτωση Optical-TOSLink με μέθοδο συγχρονισμού self clocking.



3.11 Πανομοιότητες Αποκρίσεις AES/EBU και Optical.

Η απόκριση με το κόκκινο χρώμα είναι αυτή του AES/EBU και η απόκριση με το μπλέ χρώμα είναι αυτή του Optical. Αυτό που συμπεραίνουμε από αυτό το πείραμα είναι ότι εφόσον τηρούνται οι προδιαγραφές δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των ψηφιακών πρωτοκόλλων μεταφοράς σήματος όσον αφορά την ποιότητα καθαυτή. Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται διαφορετικά πρωτόκολλα είναι λόγω των προδιαγραφών ανοχής αυτών καθώς και για την συμβατότητα μεταξύ επαγγελματικών και μη μηχανημάτων. Σε κάθε studio υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες καλωδίωσης και συνδεσιμότητας γενικότερα και γ' αυτό χρησιμοποιείται κάθε φορά το ανάλογο πρωτόκολλο.

Πείραμα 4

Συχνότητες Δειγματοληψίας, Dithering, Ταχύτητα Εγγραφής CD

Στο πρώτο μέρος του πειράματος αυτού θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση ηχογραφήσεων ηχητικού υλικού σε πολλαπλές συχνότητες δειγματοληψίας, με σκοπό τον έλεγχο του τελικού υλικού που δεν είναι άλλο από το CD-Audio με συχνότητα δειγματοληψίας 44100 Hz και ανάλυση 16bit. Επίσης οι ηχογραφήσεις θα γίνουν σε ανάλυση 24bit και στη συνέχεια θα μετατραπούν σε 16bit χρησιμοποιώντας την μέθοδο dithering συγκρίνοντας τους διαφορετικούς αλγόριθμους διαμόρφωσης dither. Η διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε αυτό το πείραμα αφορούν το τελικό στάδιο παραγωγής ηχητικού υλικού σε ένα ψηφιακό περιβάλλον και αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα της τελικής ποιότητας του υλικού. Στο δεύτερο μέρος θα δημιουργηθούν CD-Audio με διαφορετική ταχύτητα εγγραφής το καθένα και θα συγκριθεί η επίπτωση που μπορεί να έχει η ταχύτητα εγγραφής στην ποιότητα του ήχου.

1^ο Μέρος

Οι πηγές ηχογράφησης ήταν η ανθρώπινη φωνή και η ακουστική κιθάρα. Η συνδεσμολογία ήταν σχετικά απλή και περιλάμβανε τα μικρόφωνα, μία αναλογική κονσόλα και τον υπολογιστή με την εξωτερική κάρτα ήχου. Η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Nuendo της εταιρίας Steinberg. Οι δύο πηγές ηχογραφήθηκαν με τα εξής χαρακτηριστικά:

Sr: 44100, Bit:16

Sr: 44100, Bit:24

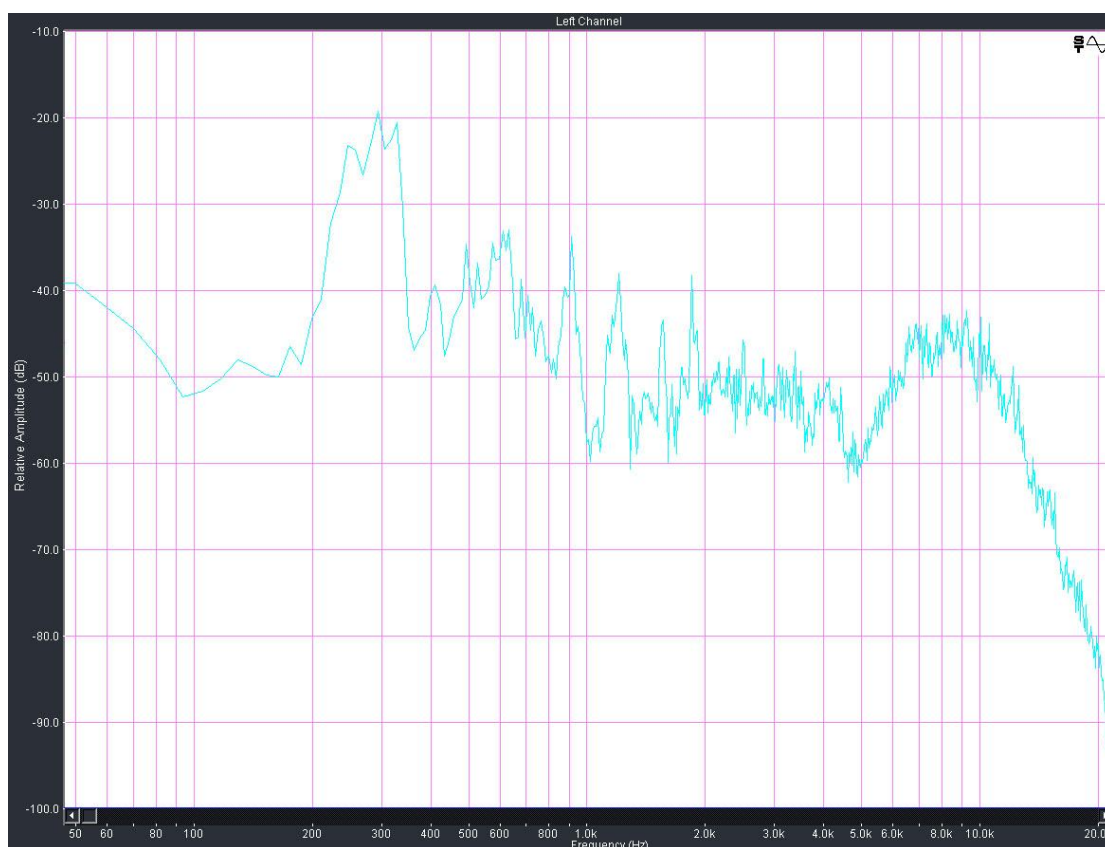
Sr: 48000, Bit:24

Sr: 96000, Bit:24

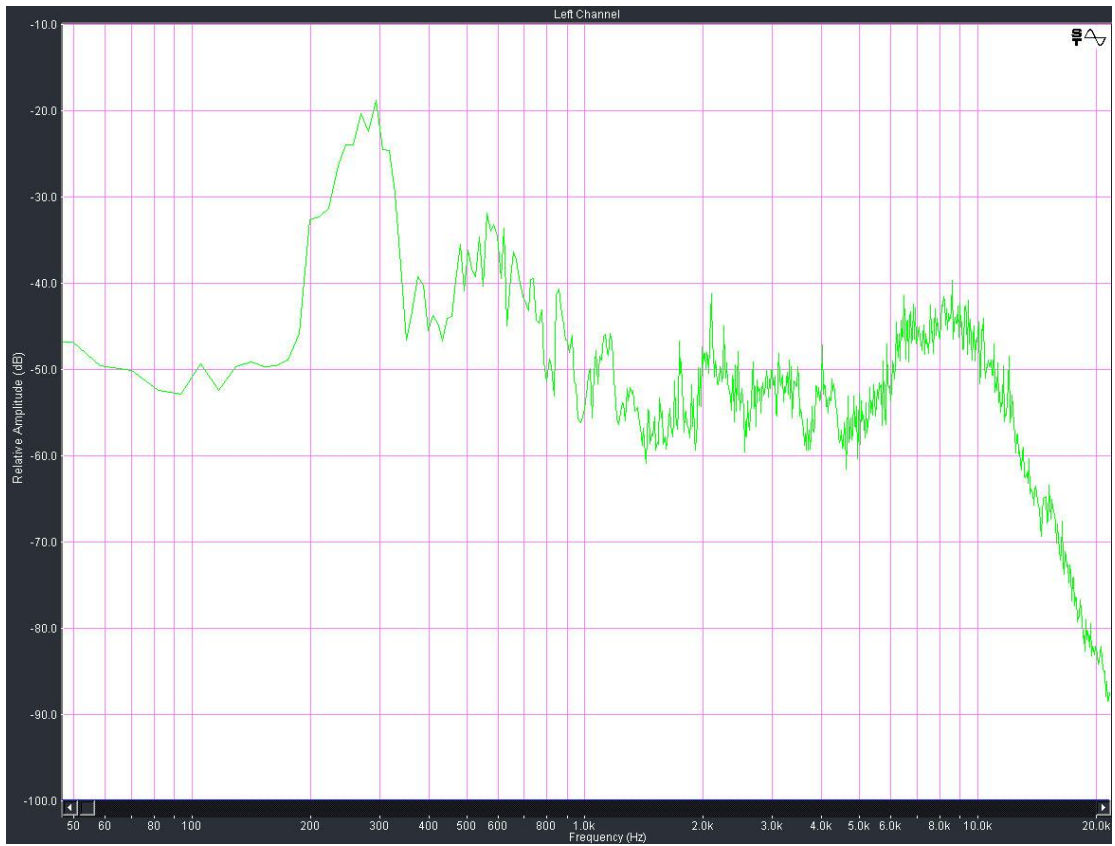
Όπου Sr = Sample Rate (Hz)

Η Ηχογράφιση με δειγματοληψία 44100 Hz και ανάλυση 16 bit έγινε για να δούμε αν συμφέρει τελικά να ηχογραφεί τις πηγές του με τα χαρακτηριστικά που θα έχει το τελικό CD εξαλείφοντας τις υπόλοιπες επεξεργασίες.

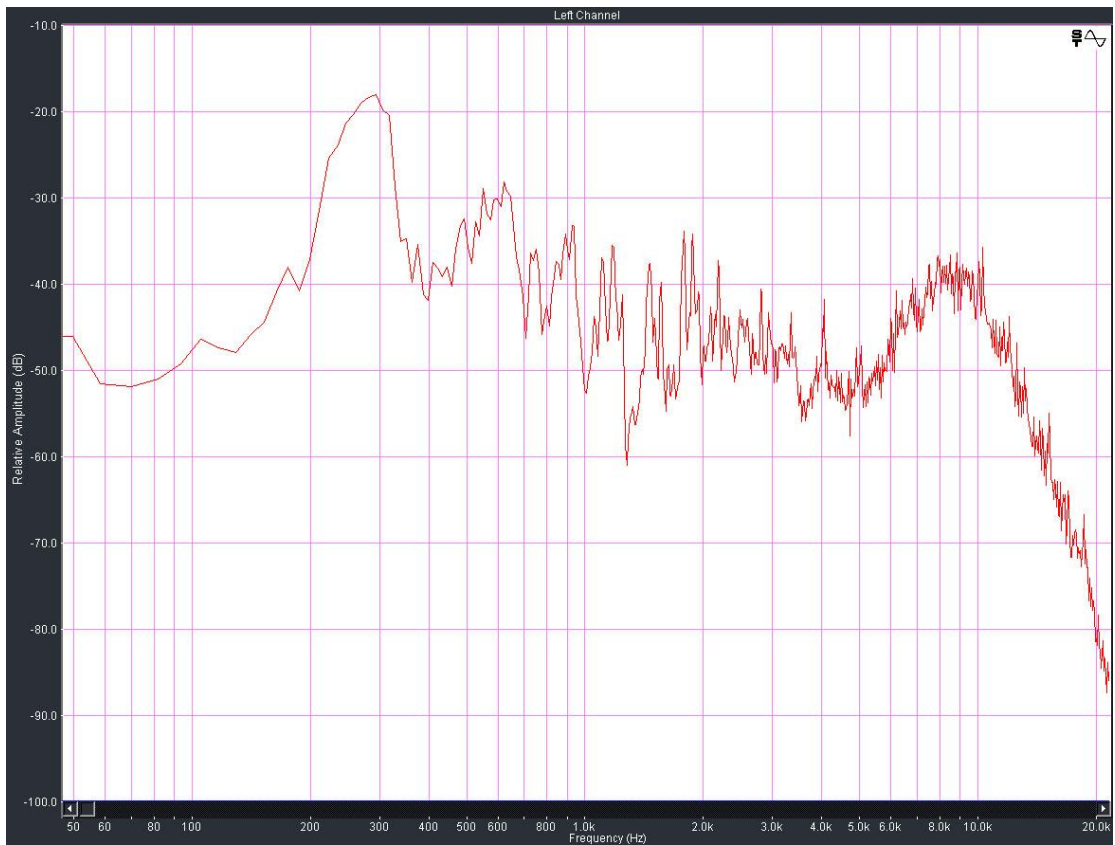
Τα μικρόφωνα ήταν: για την φωνή ένα Neumann U87 με καρδιοειδές διάγραμμα και για την κιθάρα ένα Schoeps CMC 5 με την καρδιοειδή κάψα MK 4g. Η κονσόλα ήταν το μοντέλο Dream της Εγγλέζικης εταιρείας Trident και η κάρτα ήχου ήταν το μοντέλο Saffire της εταιρείας Focusrite. Με τα παραπάνω μηχανήματα τα οποία είναι πολύ καλής ποιότητας διασφαλίστηκε η καλύτερη δυνατή καταγραφή του ήχου. Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε με την σειρά της συχνοτικές αναλύσεις των ηχογραφήσεων ξεχωριστά αλλά και μαζί για καλύτερη σύγκριση.



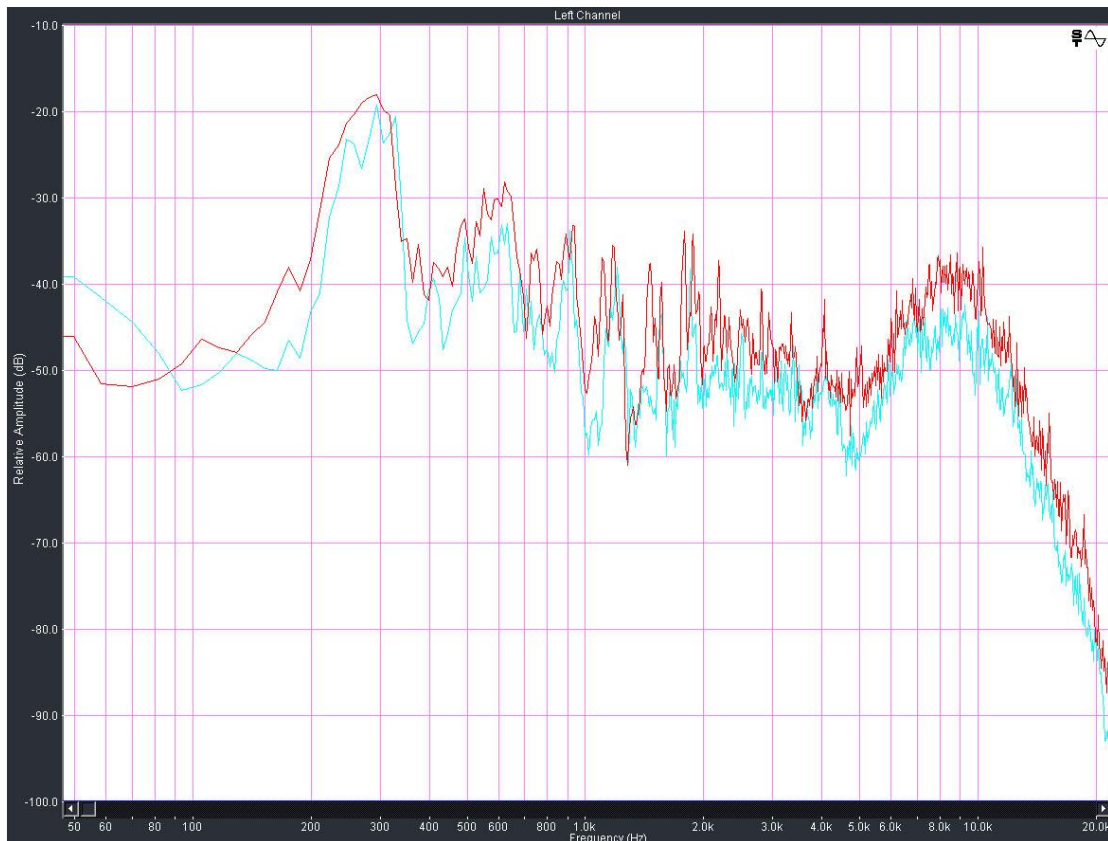
Φωνή: 44100 Hz, 24bit



Φωνή: 48000 Hz, 24bit



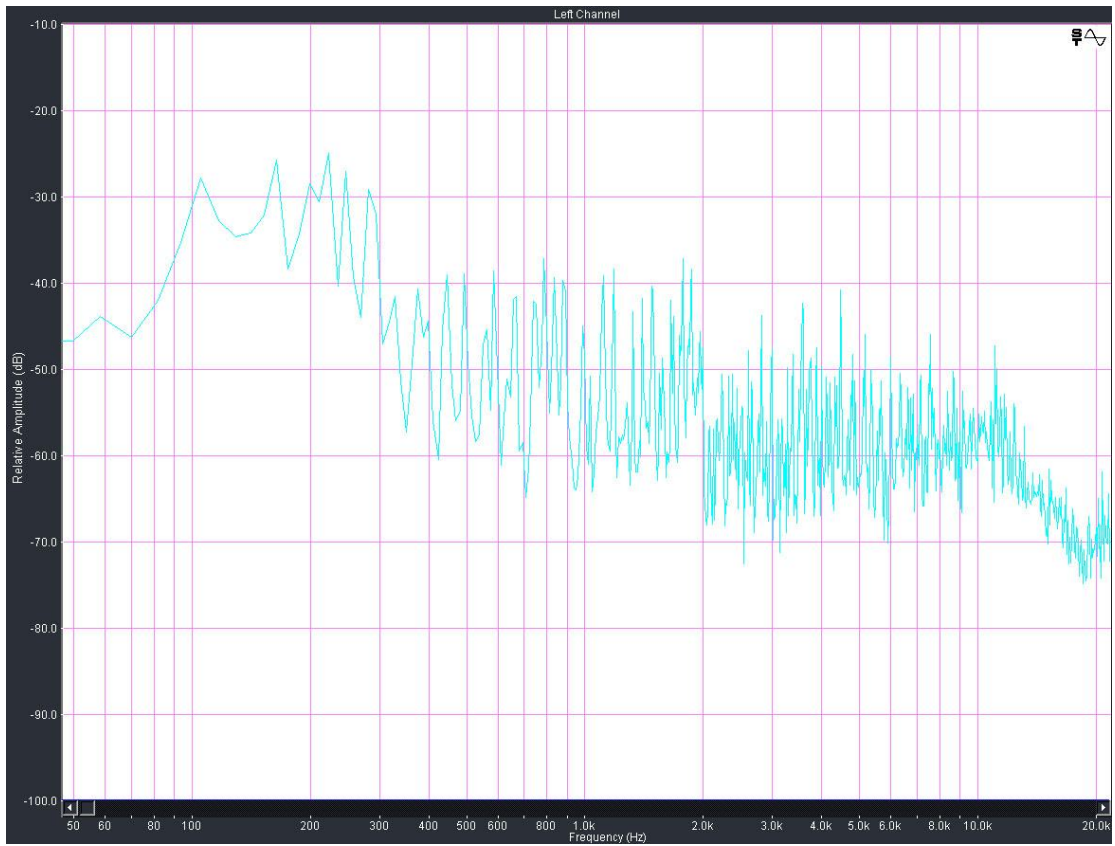
Φωνή: 96000 Hz, 24bit



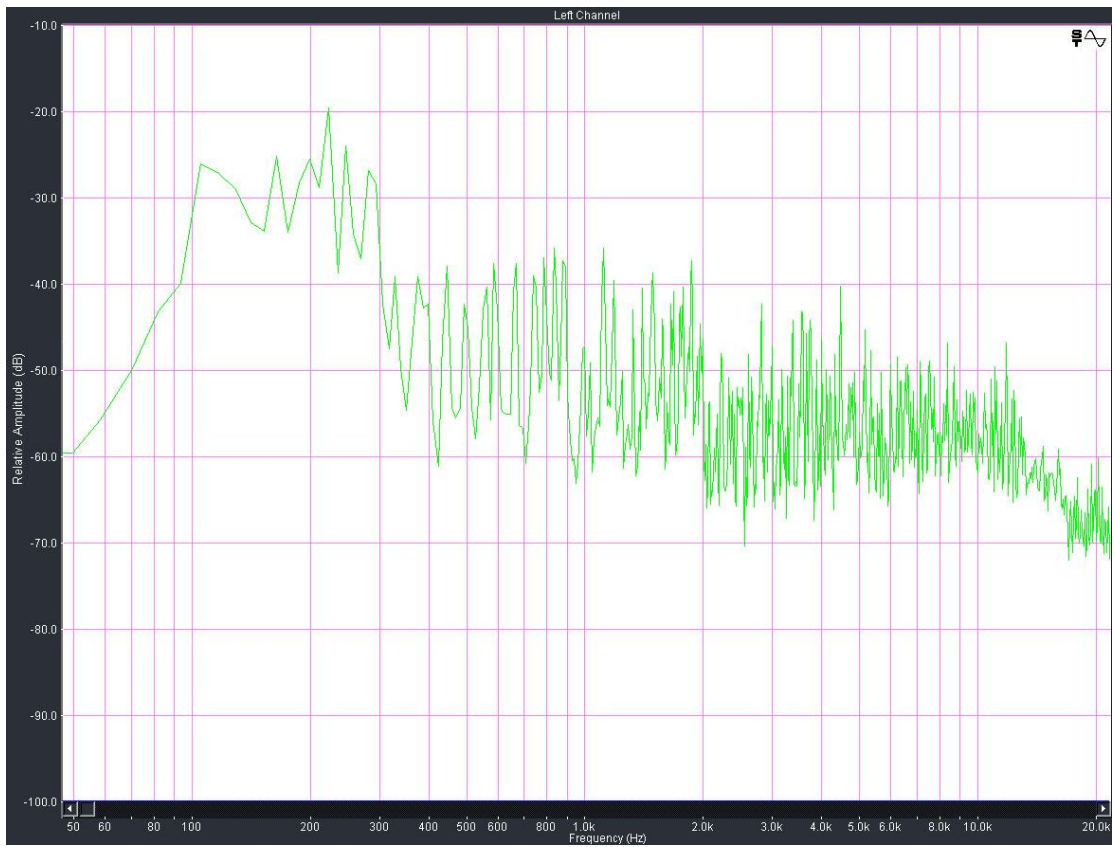
Φωνή: 44100 + 96000 Hz, 24bit

Από την ηχογράφιση της φωνής παρατηρούμε ξεκάθαρα ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των δειγματοληψιών ιδιαίτερα στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων όπου ουσιαστικά βρίσκονται οι αρμονικές της ανθρώπινης φωνής. Επίσης στην περίπτωση των 96 KHz έχουμε πολύ καλύτερη απεικόνιση των κορυφών των αρμονικών και γενικότερα το η συχνοτική απόκριση είναι πιο ομαλή. Αν κανείς ακούσει τις ηχογραφήσεις που περιλαμβάνονται στο CD που παραδίδεται μαζί με την εργασία θα παρατηρήσει ότι στα 96KHz η φωνή είναι πιο φυσική και οι υψηλές συχνότητες πιο ξεκάθαρες. Ωστόσο η διαφορά μεταξύ 44.1KHz και 48KHz δεν είναι μεγάλη. Αυτό φαίνεται και στην συχνοτική ανάλυση των δύο ηχογραφήσεων.

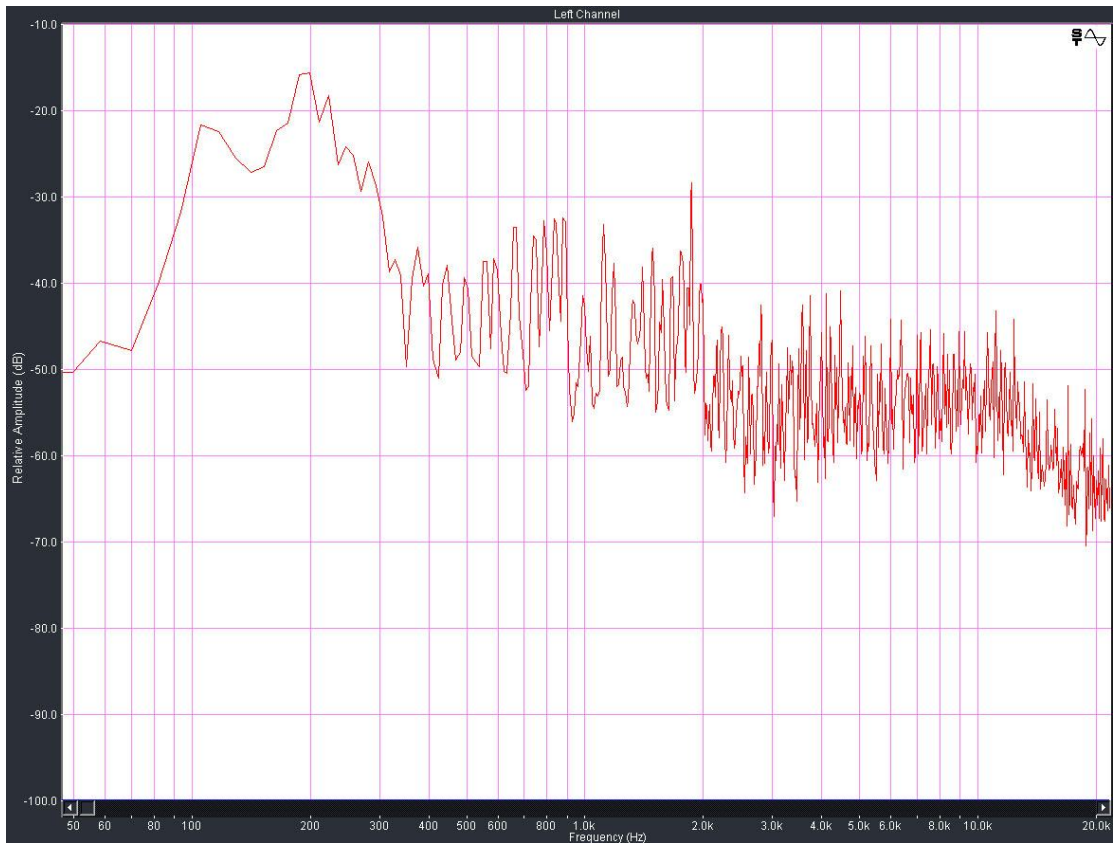
Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι συχνοτικές αναλύσεις των ηχογραφήσεων της ακουστικής κιθάρας η οποία έχει και πιο πλούσιο αρμονικό περιεχόμενο από την φωνή.



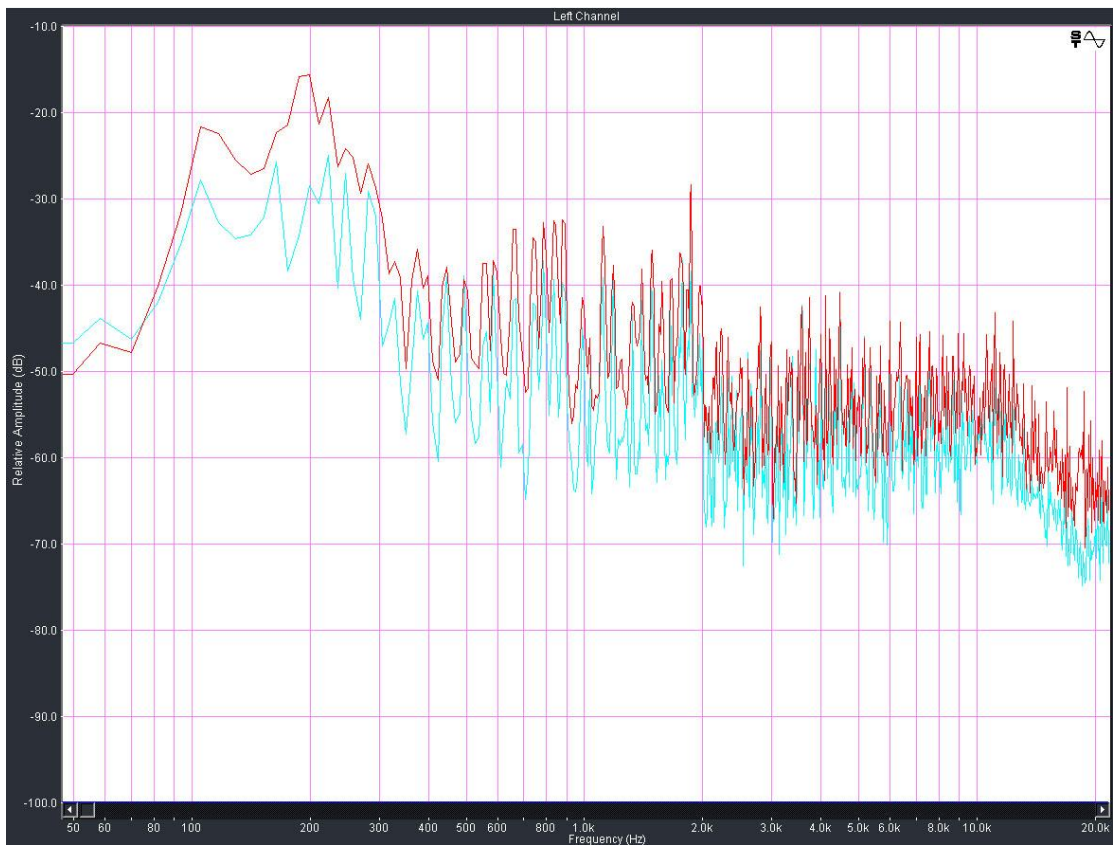
Ακ. Κιθάρα: 44100 Hz, 24bit



Ακ. Κιθάρα: 48000 Hz, 24bit



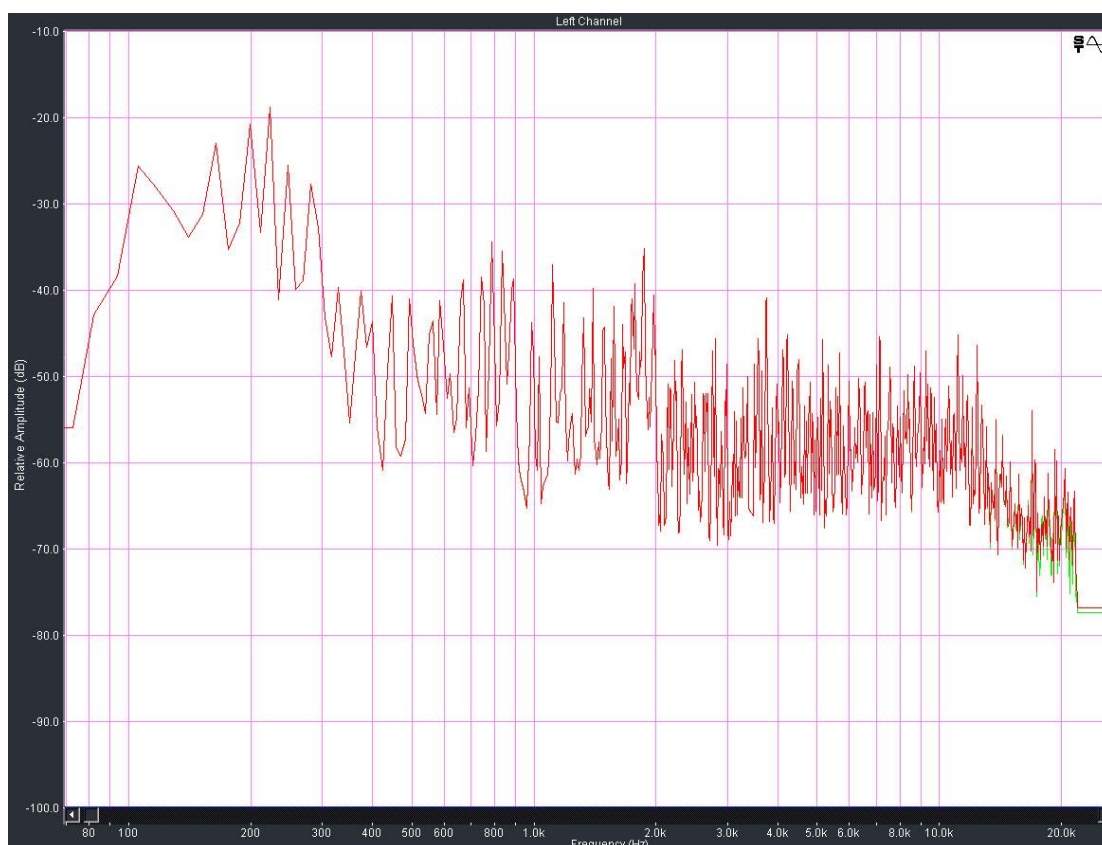
Ακ. Κιθάρα: 96000 Hz, 24bit



Ακ. Κιθάρα: 44100 + 96000 Hz, 24bit

Όπως και στην φωνή έτσι και στην ακουσική κιθάρα παρατηρούμε ότι στα 96 KHz η συχνοτική απόκριση είναι πολύ πιο αναλυτική στις υψηλές αρμονικές συχνότητες και ότι η απόκριση είναι πιο ομαλή. Το γεγονός ότι υπάρχει περισσότερη πληροφορία στις αρμονικές συχνότητες βοηθάει ιδιαίτερα στο να αναδεικνύεται η φυσικότητα του οργάνου και αυτό είναι πολύ ξεκάθαρο στο άκουσμα.

Αυτό που πρέπει να εξετάσουμε και το οποίο είναι και ο σκοπός του πειράματος είναι το αν το σήμα των υψηλότερων δειγματοληψιών θα μπορέσει να κρατήσει τα θεμιτά χαρακτηριστικά του μετά την διαδικασία του resampling στα 44100 Hz. Σημειώνουμε ότι θα γίνει resampling με anti-alias filtering αλλά και χωρίς. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συχνοτική ανάλυση της ηχογράφησης κιθάρας μετά το resampling από τα 96 KHz στα 44,1 KHz.



Ακ. Κιθάρα: Resampling 96 to 44,1 KHz Red: Normal Green: Anti-alias filtering

Παρατηρούμε ότι η διαφορά με το anti-alias filtering είναι πάρα πολύ μικρή και αφορά μόνο τις πολύ υψηλές συχνότητες του ακουστικού

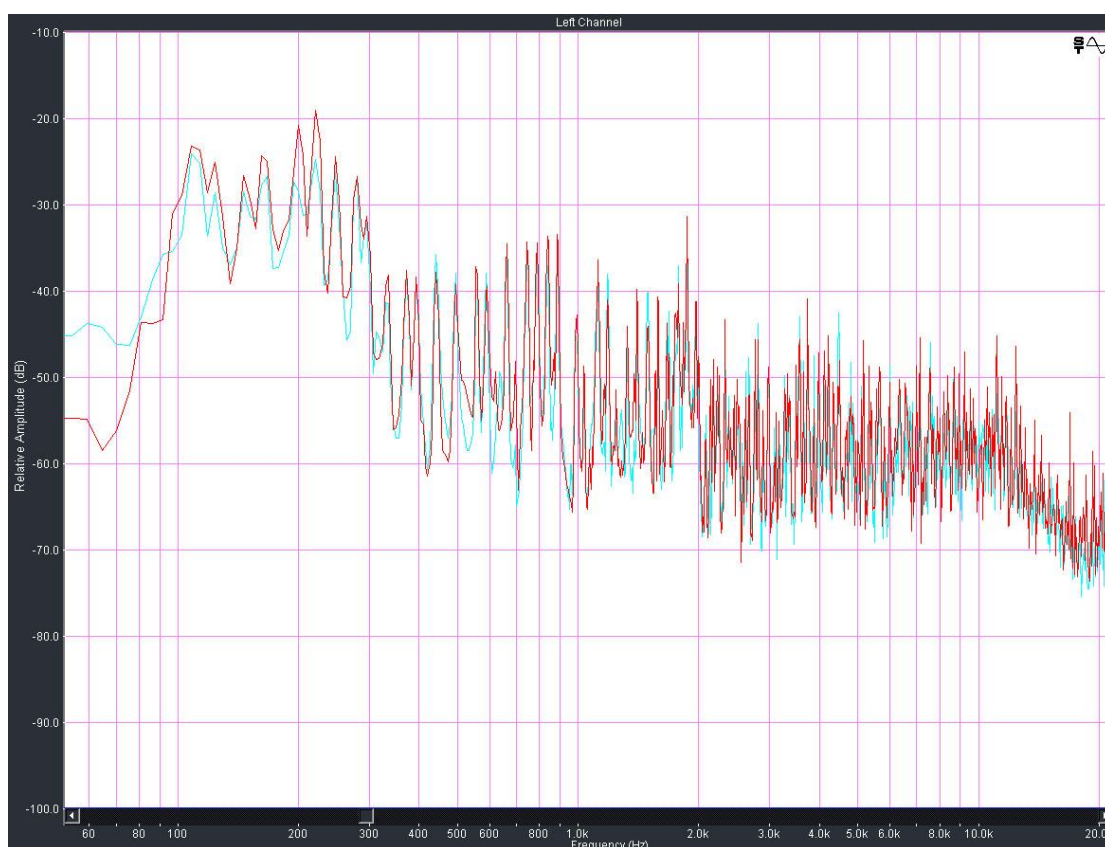
φάσματος. Σε αυτές τις συχνότητες φαίνεται η αρχή της καμπύλης του χαμηλοπερατού φίλτρου που χρησιμοποιείται για το anti-alias filtering. Βέβαια η ακουστική κιθάρα ουσιαστικά δεν έχει ιδιαίτερο συχνотικό φάσμα μετά τα 20KHz και γι' αυτό το anti-alias filtering δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο. Αν όμως η ίδια τεχνική εφαρμόζονταν σε μία μίξη με πολλά όργανα τότε σίγουρα θα υπήρχε μεγαλύτερη διαφορά. Ας δούμε τώρα την επίπτωση που έχει το resampling στο αρχικό σήμα.



Ακ. Κιθάρα: Resampling 96 to 44,1 KHz Red: Normal Blue: Original Recording

Στην συχνотική ανάλυση φαίνεται καθαρά ότι το αρχικό σήμα έχει υποστεί μεγάλη αλλαγή δηλαδή η ποιότητα έχει υποβαθμιστεί αισθητά. Αυτό βέβαια είναι αρκετά ακουστό αν ακούσει κανείς τα δύο αρχεία το ένα μετά από το άλλο. Σημασία βέβαια έχει αν το αρχείο που έχει υποστεί resampling από τα 96 KHz στα 44.1 KHz ακούγεται καλύτερα από αυτό που ηχογραφήθηκε εξ αρχής στα 44.1 KHz. Μετά από προσεκτική ακρόαση καταλαβαίνει κανείς ότι το resampled αρχείο είναι καλύτερο.

Από το πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι **είναι καλύτερο να ηχογραφεί κανείς σε υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας και να εφαρμόζει την επεξεργασία του resampling στο τελικό προϊόν**. Οι υψηλές δειγματοληψίες βέβαια δημιουργούν μεγαλύτερα αρχεία και αυτό θέτει στην κρίση του κάθε μηχανικού το αν είναι προς το συμφέρον του να τις χρησιμοποιεί. Στην παρακάτω συχνοτική ανάλυση φαίνεται η σύγκριση μεταξύ του σήματος που ηχογραφήθηκε κατευθείαν με συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και του σήματος που ηχογραφήθηκε στα 96 KHz και μετατράπηκε στην συνέχεια στα 44.1 KHz.



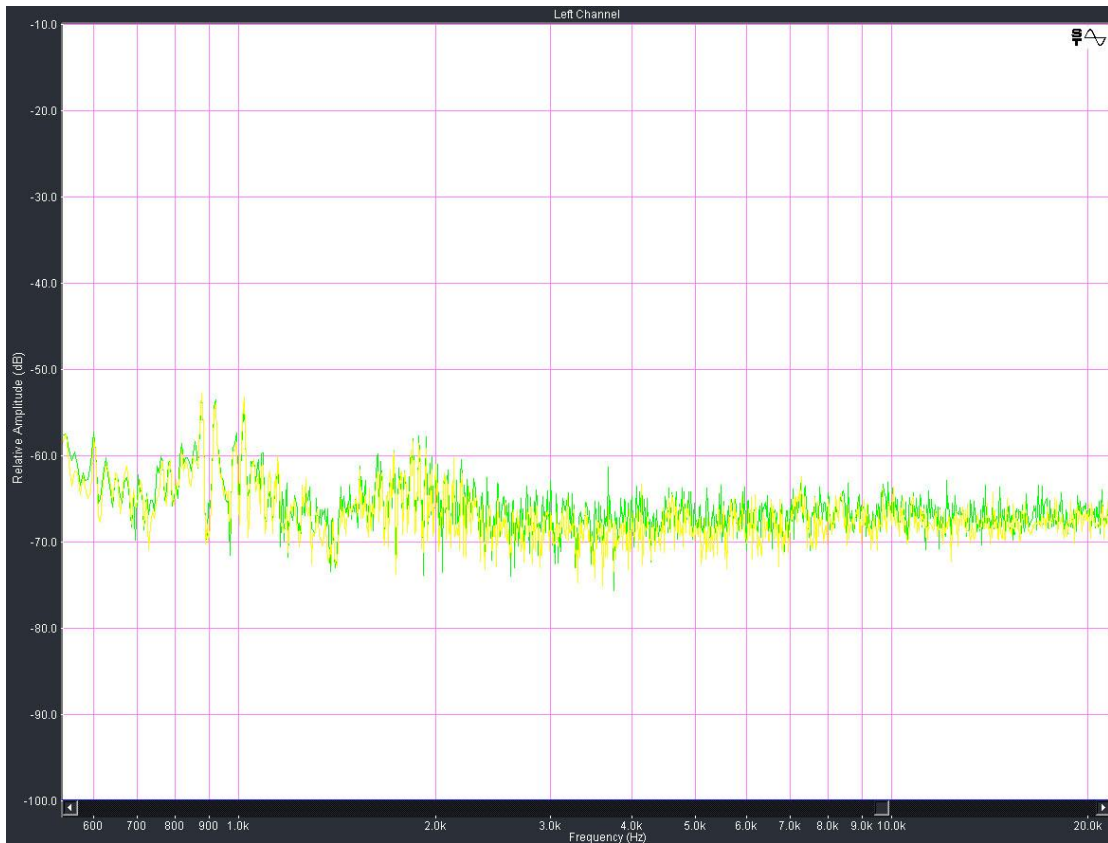
Ακ. Κιθάρα Red: Resampling 96 to 44,1 KHz Blue: Recording at 44,1 KHz

Παρατηρούμε ότι η διαφορά φαίνεται ξεκάθαρα και στην συχνοτική ανάλυση. Οι κορυφές των αρμονικών και γενικότερα οι υψηλές συχνότητες είναι πολύ πιο σωστά αποδομένες από την ηχογράφιση που έγινε αρχικά με συχνότητα δειγματοληψίας στα 96 KHz.

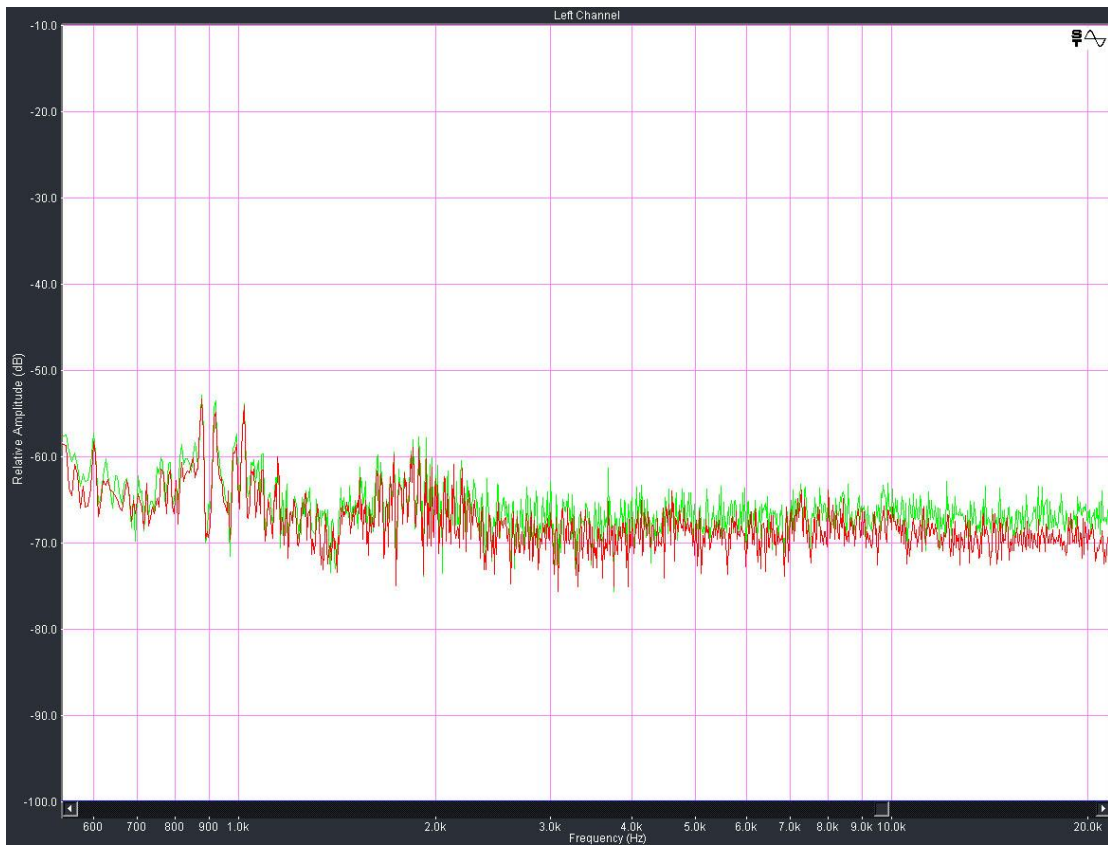
Η επόμενη διαδικασία που δοκιμάστηκε σε αυτό το πείραμα είναι το **bit depth conversion**. Όπως μάθαμε στο θεωρητικό μέρος της εργασίας αυτής η μετατροπή της ανάλυσης πρέπει να γίνεται με την μέθοδο dithering για να μην υπάρχει απώλεια πληροφορίας. Επίσης μάθαμε ότι υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι που δημιουργούν θόρυβο dither. Έτσι σε αυτό το σημείο θα συγκρίνουμε την μετατροπή της ανάλυσης χρησιμοποιώντας dither με την απλή μετατροπή καθώς και τους αλγόριθμους μεταξύ τους. Για πηγές χρησιμοποιήθηκαν οι ηχογραφήσεις της φωνής και της ακουστικής κιθάρας με συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και ανάλυση 24 bit. Η διαδικασία bit depth conversion έγινε για κάθε πηγή ξεχωριστά με τους εξής αλγόριθμους dither:

Rectangular, Triangular, Highpass Triangular, Waves Ultra.

Ο αλγόριθμος Ultra είναι ένας πολύ ποιοτικός και συνάμα δημοφιλής τρόπος διαμόρφωσης του dither noise και για αυτό συμπεριλήφθηκε στο πείραμα. Αφού έγινε η διαδικασία bit depth conversion χρησιμοποιήθηκε ένα δείγμα από κάθε περίπτωση το οποίο περιείχε κομμάτι του θορύβου καθαυτού για να γίνει συχνοτική ανάλυση. Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα συχνοτικής ανάλυσης.



Φωνή: Dithering Yellow: Highpass Triangular Green: Rectangular



Φωνή: Dithering Red: Waves Ultra Green: Rectangular

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι οι διαφορές μεταξύ των αλγορίθμων είναι ελάχιστες σε επίπεδο συχνότητας. Ο αλγόριθμος Waves Ultra έχει ωστόσο μεγαλύτερη διαφορά και θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχει και λίγο μικρότερη ενέργεια ειδικότερα στις υψηλές συχνότητες γεγονός το οποίο θα μπορούσε να κάνει τον θόρυβο λιγότερο ακουστό. Για να γίνει ακρόαση των αλγορίθμων χρησιμοποιήθηκε ένα δείγμα από τις ηχογραφήσεις το οποίο περιλάμβανε ένα μέρος από το σήμα και ένα μέρος του θορύβου. Με πιο απλά λόγια κόπηκε το αρχικό αρχείο στο σημείο που το σήμα σβήνει μέσα στον θόρυβο. Αυτό στην συνέχεια ενισχύθηκε με την επεξεργασία Normalize με ρύθμιση στα -10 dB για να είναι πιο εύκολη η κατανόηση της διαφοράς.

Μετά από πολύ προσεκτική ακρόαση ο λιγότερο ακουστός θόρυβος ήταν αυτός που δημιουργήθηκε με τον αλγόριθμο Ultra της Waves. Αυτό βέβαια είχε σαν αποτέλεσμα να είναι πιο ευδιάκριτο το σήμα. Επίσης καλό ήταν και το Highpass Triangular. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι είχαν παρόμοια απόδοση με λίγο διαφορετική χροιά. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι η επιλογή του αλγορίθμου θα μπορούσε να αφορά και το είδος χροιάς που έχει το σήμα. Είναι πιθανό ότι ανάλογα με το είδος μουσικής ταιριάζει ανάλογα και ένας αλγόριθμος χωρίς βέβαια αυτό να αποτελεί κανόνα. Τέλος η διαφορά με την περίπτωση του bit depth conversion χωρίς dithering ήταν ότι υπήρχε λιγότερη αίσθηση του χώρου της ηχογράφησης που σημαίνει ότι η πληροφορία με πολύ μικρή ενέργεια είχε μερικώς εξαλειφθεί.

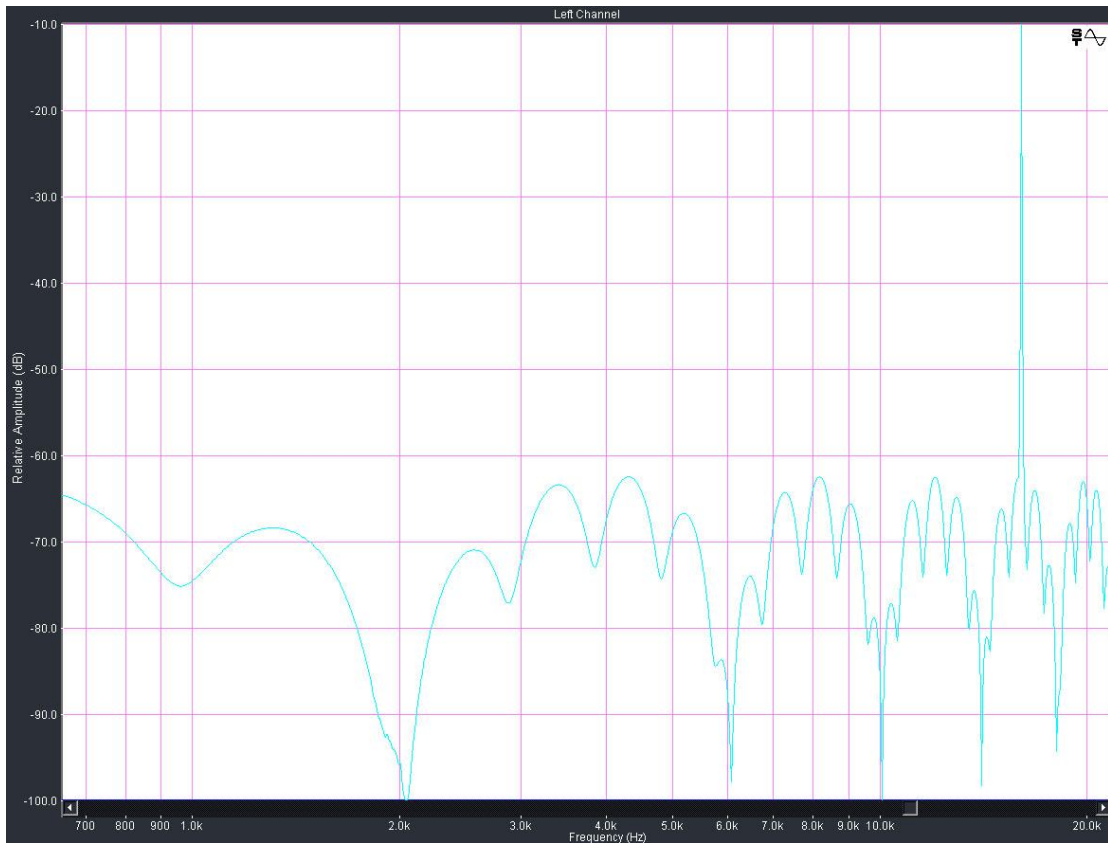
2ο Μέρος

Σε αυτό το μέρος του πειράματος θα ελέγξουμε αν η ταχύτητα εγγραφής CD-Audio δημιουργεί επίπτωση στην ποιότητα του αρχικού σήματος. Οι ταχύτητες που θα ελεγχθούν είναι 4X, 12X, 20X. Επίσης θα γραφτεί και ένα CD στον πραγματικό χρόνο 1X για αναφορά. Πρέπει να σημειωθεί ότι το CD-Recorder που χρησιμοποιήθηκε για την εγγραφή ήταν το PLEXTOR 24/10/40A το οποίο θεωρείται από τα πιο ποιοτικά

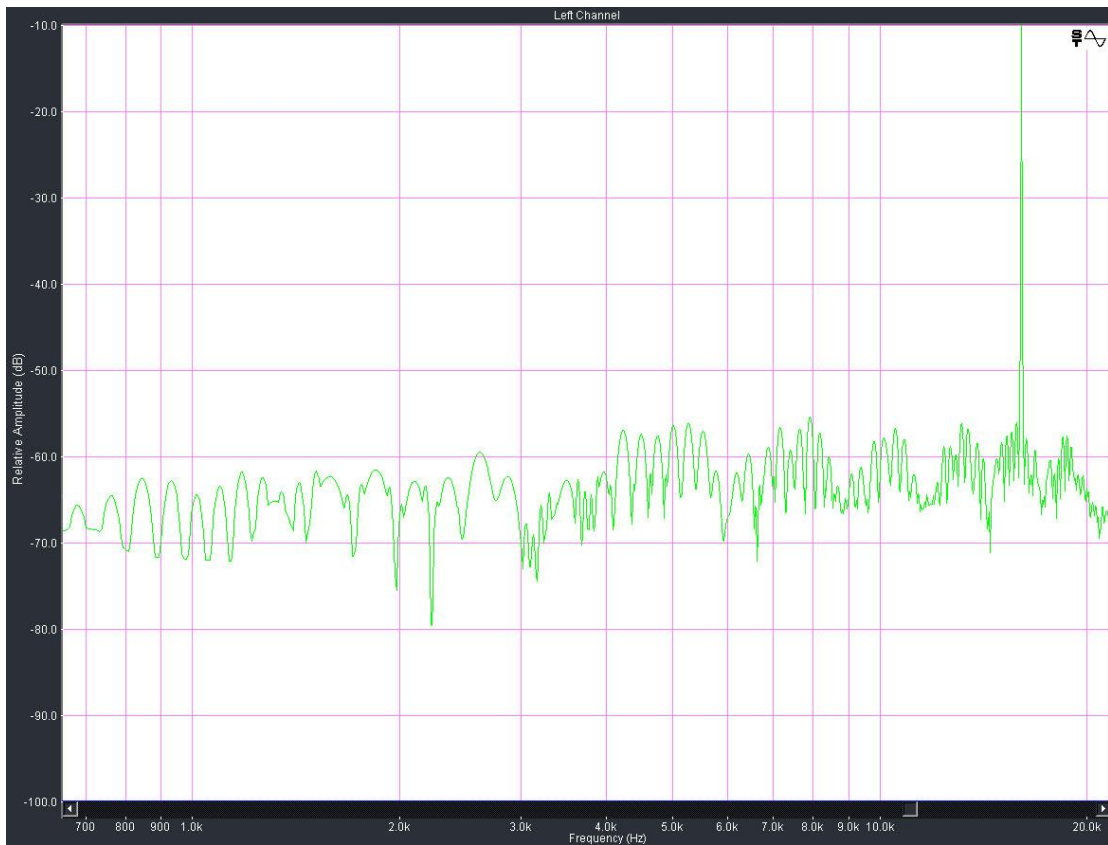
στην κατηγορία του. Η ηχητική πληροφορία είναι αυτή του Test CD που χρησιμοποιήθηκε στα υπόλοιπα πειράματα.

Χρησιμοποιώντας το HNB Burn It για την αναπαραγωγή και ηχογράφηση το αποτέλεσμα στον υπολογιστή παρατηρήσαμε ότι το σήμα ήταν ανέπαφο σε όλες τις ταχύτητες εγγραφής. Αυτό βέβαια δεν είναι απόλυτα ανορθόδοξο διότι το HNB Burn It είναι ένα πολύ ακριβό και σύγχρονο επαγγελματικό μηχάνημα το οποίο έχει μεγάλες ανοχές και περίπλοκους αλγόριθμους αποκατάστασης πληροφορίας. Έτσι δοκιμάσαμε την αναπαραγωγή σε ένα επιτραπέζιο CD Player μέσης κατηγορίας τιμής και μάρκας Technics. Σε αυτή την περίπτωση υπήρξε μεγάλη διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων εγγραφής. Στην ταχύτητα 4X υπήρξαν μερικά glitches αλλά σχεδόν ανεπαίσθητα. Στην ταχύτητα 12X υπήρξαν έντονα glitches και pops ειδικότερα καθώς ανέβαινε η τιμή της συχνότητας. Στην ταχύτητα 20X η αναπαραγωγή ήταν ουσιαστικά μη αποδεκτή διότι εκτός από τα glitches και pops χανόντουσαν και ολόκληρα κομμάτια από το υλικό δηλαδή τα δεδομένα έφταναν στην έξοδο ασυγχρόνιστα. Τα παρακάτω διαγράμματα συχνοτικών αναλύσεων δείχνουν τα φαινόμενα αυτά της αναπαραγωγής. Βέβαια για πραγματική αναφορά μπορεί κανείς να αναζητήσει τα αρχεία αυτά στο CD που παραδίδεται μαζί με την εργασία αυτή.

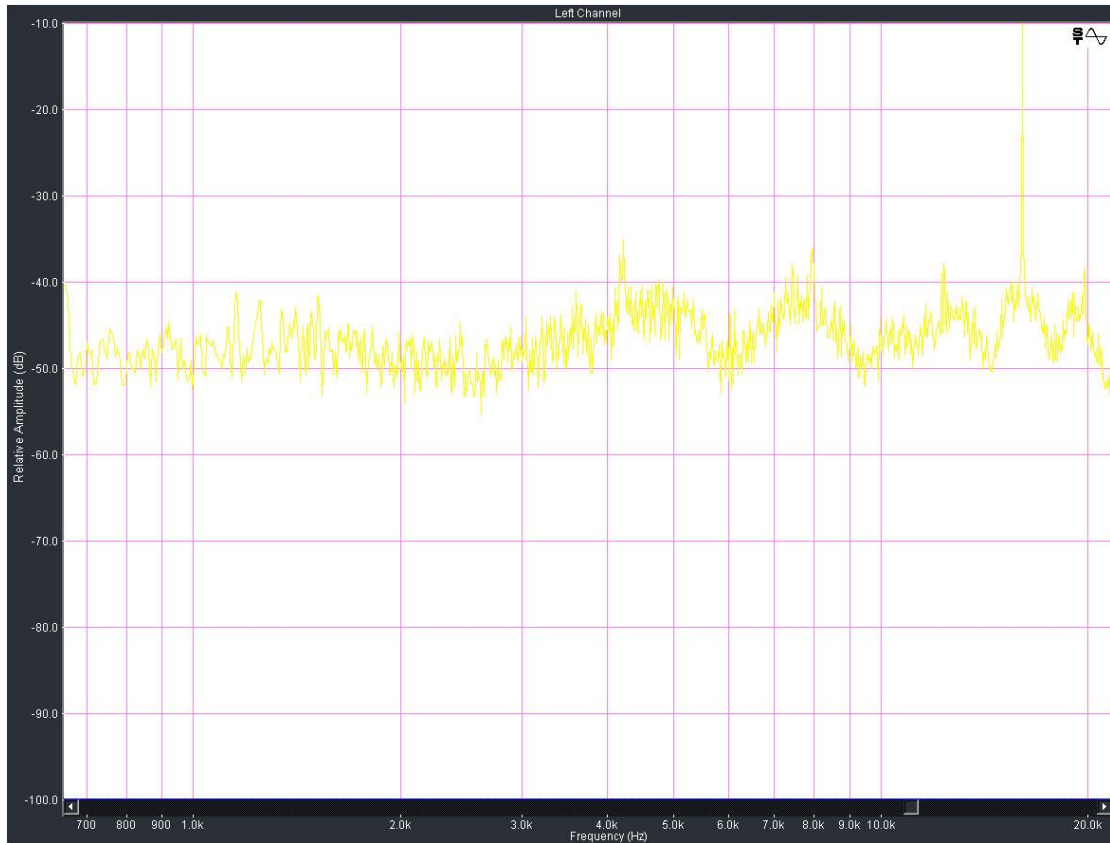
Το πόρισμα αυτού του πειράματος είναι ότι ουσιαστικά η ποιότητα που δίνει μία εγγραφή CD-Audio σε μία καθορισμένη ταχύτητα αφορά την συμβατότητα με τις συσκευές αναπαραγωγής. Έτσι ειδικά όταν πρόκειται για μία παραγωγή που θα καταλήξει στο εργοστάσιο κοπής θα πρέπει το τελικό CD-Audio να εγγράφεται σε πραγματικό χρόνο 1X ή να παραδίδονται τα Tracks σε μορφή αρχείου σε Data CD.



Frequency: 16 KHz Write Speed: 4X



Frequency: 16 KHz Write Speed: 12X

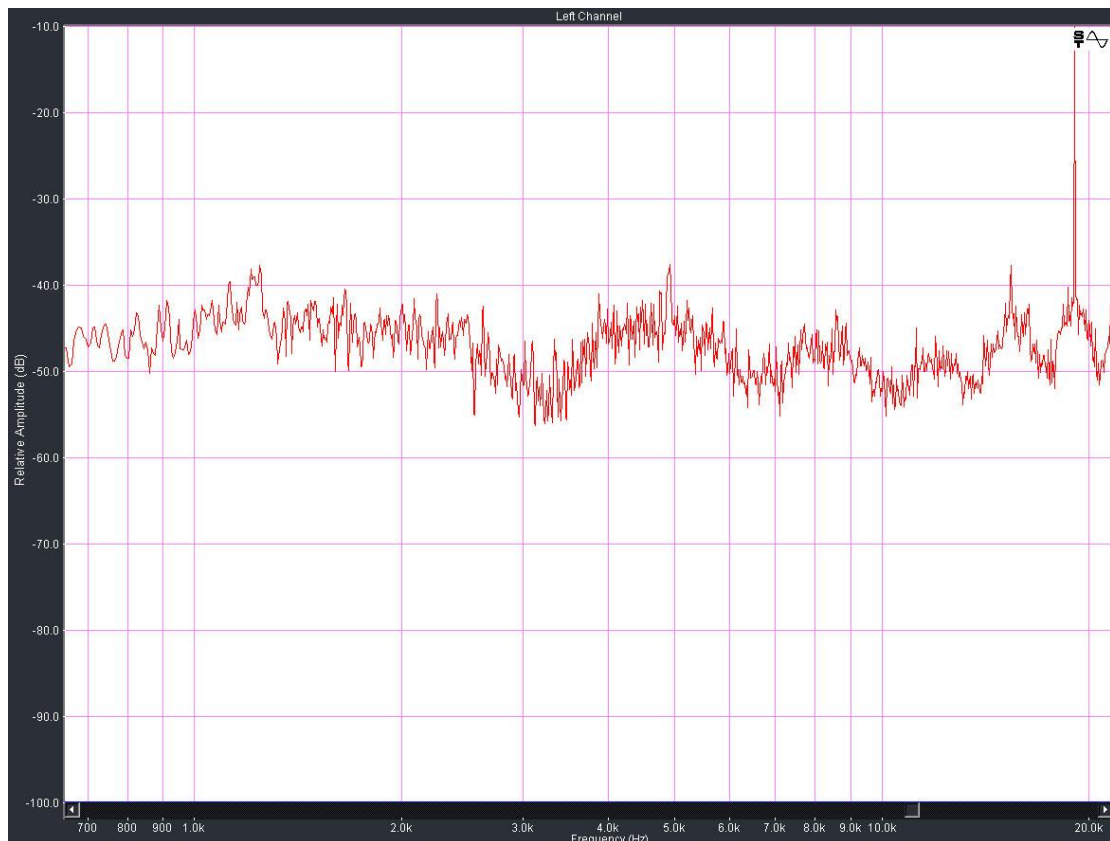


Frequency: 16 KHz Write Speed: 20X



Frequency: 16 KHz Write Speed: Blue=4X Green=12X Yellow=20X

Παρατηρούμε ότι όσο ανεβαίνει η ταχύτητα εγγραφής τόσο πιο έντονα γίνονται τα φαινόμενα παραμόρφωσης. Επίσης τα φαινόμενα είναι εντονότερα στις υψηλότερες συχνότητες γενικά το οποίο είναι λογικό εφόσον η περιγραφή του πλάτους έχει πολύ περισσότερες και γρήγορες εναλλαγές. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται και η ανάλυση των 19 KHz με ταχύτητα εγγραφής 20X.



Frequency: 19 KHz Write Speed: 20X

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

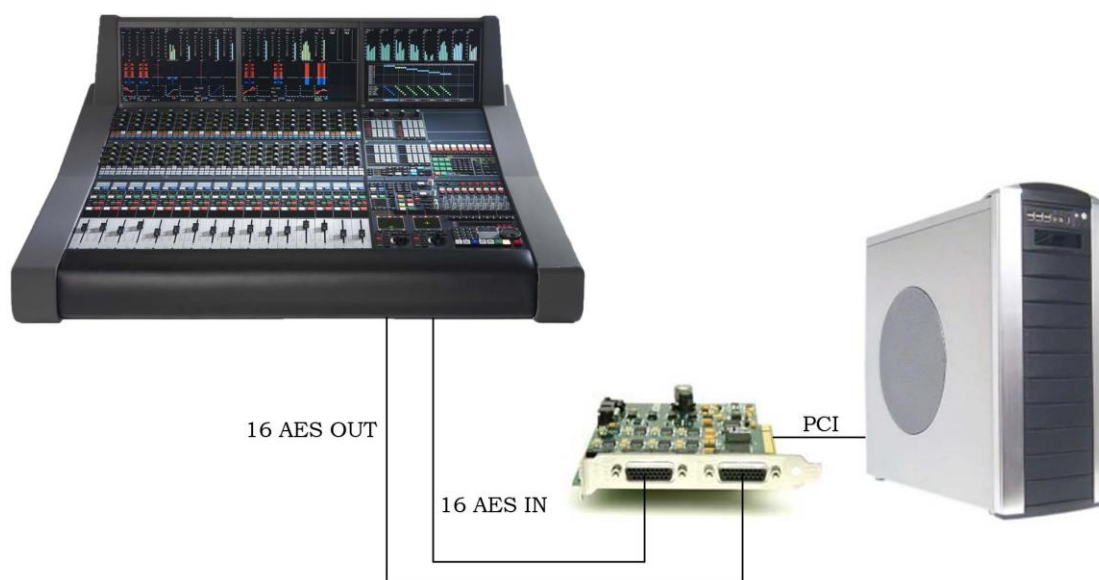
Ψηφιακές Διατάξεις-Συνδεσμολογίες σε Studios Παραγωγής Ηχητικού Υλικού

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1 υπάρχουν αρκετά ψηφιακά πρωτόκολλα μεταφοράς ψηφιακού ήχου έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι ανάγκες σε συνδεσιμότητα που μπορεί να έχει ένα studio. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε παραδείγματα διατάξεων μηχανημάτων ψηφιακών και μη, σύμφωνα με αυτά που αναλύθηκαν στα προηγούμενα Κεφάλαια. Στις επόμενες σελίδες αναλύονται οι πιθανές συνδεσμολογίες που μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα studio και κρίνονται όσον αφορά την λειτουργικότητά τους. Θεωρούμε δεδομένο ότι η εγγραφή ήχου γίνεται ψηφιακά και ότι σε ένα studio πρέπει να υπάρχει δυνατότητα πολυκάναλης ψηφιακής μεταφοράς.

1) AES/EBU με Ψηφιακή Κονσόλα

Μία κοινή πρακτική στα σημερινά studio είναι η χρήση μίας ψηφιακής κονσόλας ήχου. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι πολλές μετατροπές του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα, διατηρώντας έτσι την αρχική ποιότητα της πρώτης μετατροπής. Για να συνδέσει κανείς ψηφιακά την ψηφιακή κονσόλα με το πολυκάναλο σύστημα εγγραφής (PC-MAC) μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο AES/EBU και να εκμεταλλευτεί την υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας εφόσον το υποστηρίζει η κονσόλα, καθώς και την δυνατότητα μεγάλου μήκους καλωδίου χωρίς περεταιίρω ενίσχυση. Αυτή η διάταξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία κάρτα AES/EBU η οποία συνδέεται στον δίαυλο PCI ενός Η\Υ και μεταφέρει συγχρόνως 16 κανάλια I/O με το

πρωτόκολλο AES/EBU. Συνδέοντας την ψηφιακή κονσόλα σε αυτή την κάρτα πραγματοποιείται μία ψηφιακή πολυκάναλη σύνδεση. Μία χαρακτηριστική πρόταση είναι αυτή της εταιρείας Lynx με το μοντέλο AES16 το οποίο πρόκειται για μία πολύ ποιοτική κάρτα AES/EBU. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα 4.1

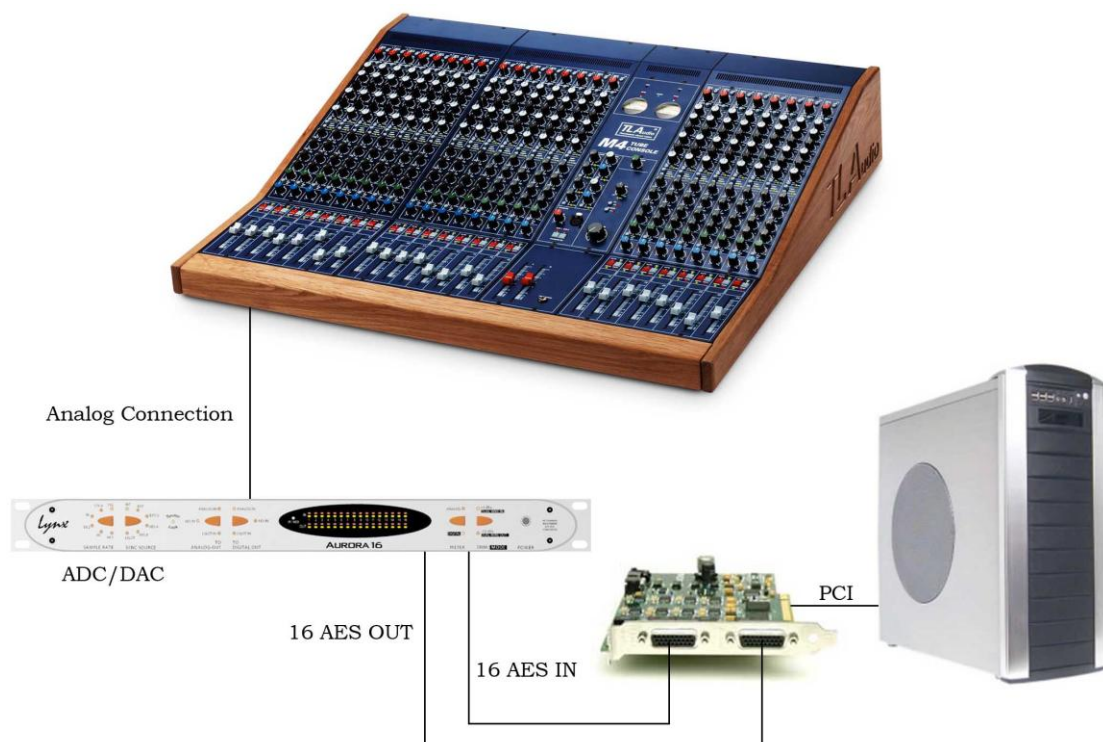


4.1 AES/EBU με Ψηφιακή Κονσόλα.

Η σύνδεση AES/EBU που φαίνεται στο σχήμα γίνεται με ένα πολυκαλώδιο το οποίο είναι twisted pair (balanced) με απολήξεις τύπου XLR. Με αυτή την διάταξη μπορεί κανείς να ηχογραφήσει ψηφιακά και να επαναφέρει τα σήματα στην κονσόλα για μίξη χωρίς καμία μετατροπή στην ποιότητα. Η κονσόλα που φαίνεται στο σχήμα 4.1 είναι μία υλοποίηση της εταιρείας AMS-NEVE και πρόκειται για το μοντέλο DFC PS/1. Ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα της παραπάνω διάταξης είναι ο συγχρονισμός μεταξύ του H/Y και της κονσόλας. Ο συγχρονισμός μπορεί να γίνει είτε από το σήμα AES/EBU είτε με το πρωτόκολλο wordclock. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα master clock. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να έχει τον ρόλο του master clock η ψηφιακή κονσόλα διότι αποτελεί το σημείο της μετατροπής του ήχου από αναλογικό σε ψηφιακό.

2) AES/EBU με Αναλογική Κονσόλα

Πολλά studio προτιμούν την λύση της αναλογικής κονσόλας λόγω της ιδιαίτερης χροιάς που δίνει στον ήχο. Επίσης μία αναλογική κονσόλα πολλές φορές αποδεικνύεται ότι συμφέρει οικονομικά έναντι μίας ψηφιακής με αντίστοιχες δυνατότητες. Ωστόσο αν η αναλογική κονσόλα δεν είναι ποιοτική μπορεί να αποτελέσει παράγοντα μείωσης της ποιότητας του ήχου διότι ο ήχος πρέπει να μετατραπεί αρκετές φορές εφόσον η ηχογράφηση είναι ψηφιακή. Η σύνδεση χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο AES/EBU πρέπει αυτή τη φορά να γίνει με μετατροπείς (converters) οι οποίοι θα μετατρέπουν το σήμα σε αναλογικό και θα το επιστρέφουν στην κονσόλα. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα 4.2.



4.2 AES/EBU με Αναλογική Κονσόλα.

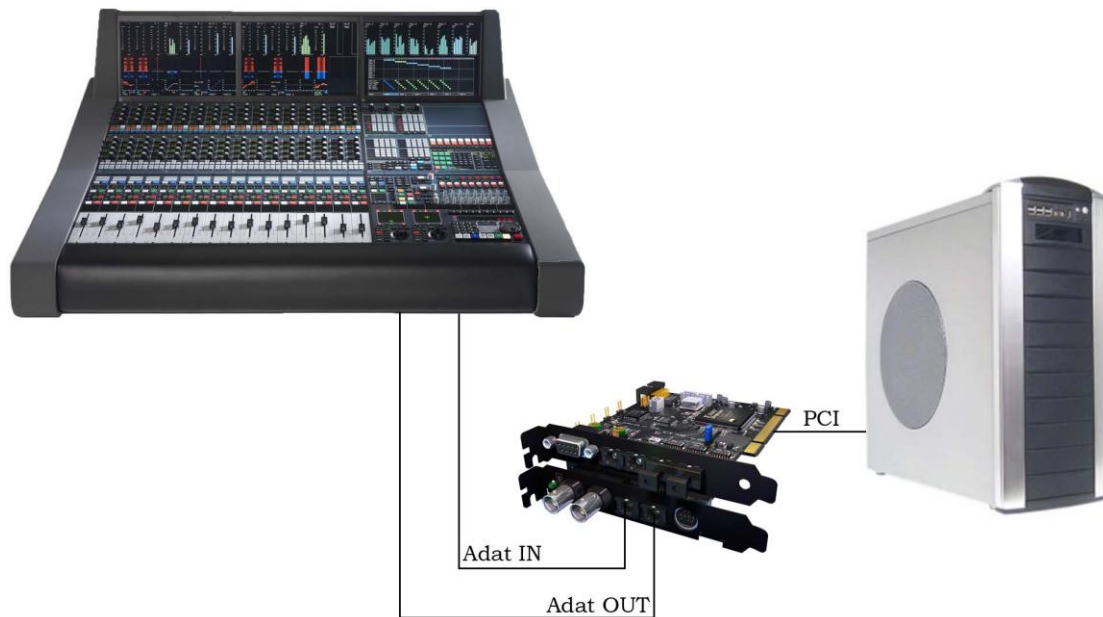
Στην διάταξη αυτή θα μπορούσαν να προστεθούν πολλαπλοί μετατροπείς και κάρτες AES/EBU για περισσότερα κανάλια. Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελεί μία πολλή καλή πρόταση για studio διότι αν οι μετατροπείς είναι καλής ποιότητας τότε υπάρχει η δυνατότητα

να δίνεται «χαρακτήρας» στον ήχο μέσω της αναλογικής κονσόλας σε σχέση με την αχρωμάτιστη χροιά του ψηφιακού ήχου. Επίσης κατά την διάρκεια της μίξης μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί την μεγάλη δυναμική περιοχή μίας αναλογικής κονσόλας. Η κονσόλα του σχήματος 4.2 είναι το μοντέλο M4 της εταιρείας TL Audio και ο μετατροπέας είναι ο Aurora 16 της εταιρείας Lynx. Ο συγχρονισμός του μετατροπέα με τον H/Y μπορεί να γίνει είτε με wordclock είτε μέσω του πρωτοκόλλου AES/EBU.

3) ADAT με Ψηφιακή Κονσόλα

Όπως και στην περίπτωση του AES/EBU έτσι και μέσω μίας κάρτας ADAT πραγματοποιείται μία ψηφιακή σύνδεση μέσω του ψηφιακού εγγραφέα και μίας ψηφιακής κονσόλας. Αυτή την φορά βέβαια προβλέπεται οπτικό καλώδιο. Επίσης υπάρχει ο περιορισμός στην συχνότητα δειγματοληψίας που προδιαγράφεται από το πρωτόκολλο ADAT. Υπάρχουν αρκετές κάρτες ήχου στο εμπόριο που υποστηρίζουν ADAT δηλαδή παρέχουν τουλάχιστον μία οπτική θύρα για σήμα ADAT. Όπως είδαμε στο πρώτο Κεφάλαιο μία σύνδεση ADAT επιτρέπει διαμεταγωγή ψηφιακού σήματος 8 καναλιών. Έτσι για να μπορέσει κανείς να έχει δυνατότητα πολλών καναλιών θα πρέπει να προμηθευτεί μία κάρτα ADAT με περισσότερες από δύο θύρες. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του πρωτοκόλλου ADAT είναι ότι περιορίζεται ο αριθμός των καλωδίων και αποφεύγονται προβλήματα τύπου crosstalk λόγω της οπτικής διασύνδεσης. Η διάταξη που ισχύει στην περίπτωση του ADAT με ψηφιακή κονσόλα φαίνεται στο σχήμα 4.3. Η κάρτα με το πρωτόκολλο ADAT που φαίνεται στο σχήμα είναι το μοντέλο HDSP 9652 της εταιρείας RME η οποία αποτελεί μια ιδιαίτερα ποιοτική και λειτουργική λύση για την συγκεκριμένη διάταξη. Η κάρτα αυτή προσφέρει 3 ADAT I/O δηλαδή 24 I/O για σήματα. Αν χρειαστούν και παραπάνω κανάλια υπάρχουν και κάρτες επέκτασης. Συνολικά το ADAT είναι ένα πρωτόκολλο που περιλαμβάνεται πολύ συχνά στα

χαρακτηριστικά των καρτών ήχου λόγω της ευκρηστίας του και της μικρής απαίτησης σε χώρο θύρας του.



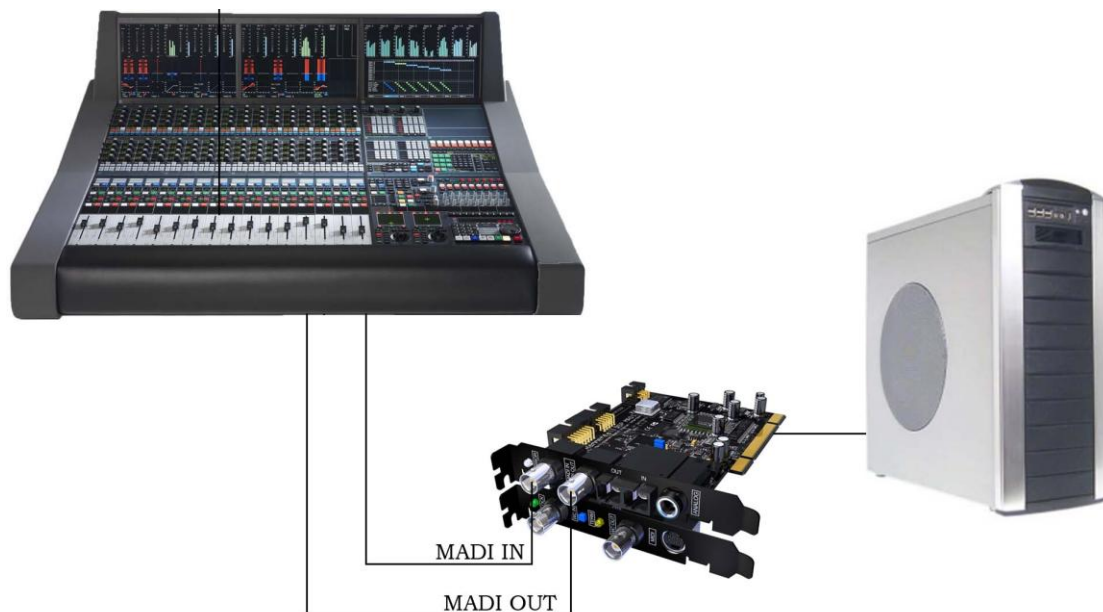
4.3 Adat με Ψηφιακή Κονσόλα.

Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου με την μέθοδο self clocking.

4) MADI με Ψηφιακή Κονσόλα

Η σύνδεση χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MADI γίνεται και αυτή μέσω μιας κάρτας ήχου που ενσωματώνει θύρα MADI. Μία τέτοια κάρτα είναι το μοντέλο HDSP MADI της εταιρείας RME. Με το MADI μπορούμε να έχουμε 64 κανάλια στα 48 KHz συχνότητα δειγματοληψίας και 32 στα 96 KHz με ένα μόνο καλώδιο. Αυτό όπως καταλαβαίνουμε είναι πάρα πολύ πρακτικό και θα μπορούσε να βρεί πολύ καλή εφαρμογή στην περίπτωση του Live PA αν σκοπός ήταν η ηχογράφηση μιας ζωντανής εκτέλεσης μέσω μιας ψηφιακής κονσόλας με όσο το δυνατόν λιγότερα καλώδια. Βέβαια και στο studio βρίσκει πολύ καλή εφαρμογή διότι προσφέρει πάρα πολλά κανάλια σε μία μόνο θύρα. Επίσης βγαίνει οικονομικότερο αν υπολογίσει κανείς την αξία των

καλωδίων. Έτσι μία απλή συνδεσμολογία που θα μπορούσε να υλοποιήσει ένα studio φαίνεται στο σχήμα 4.4.

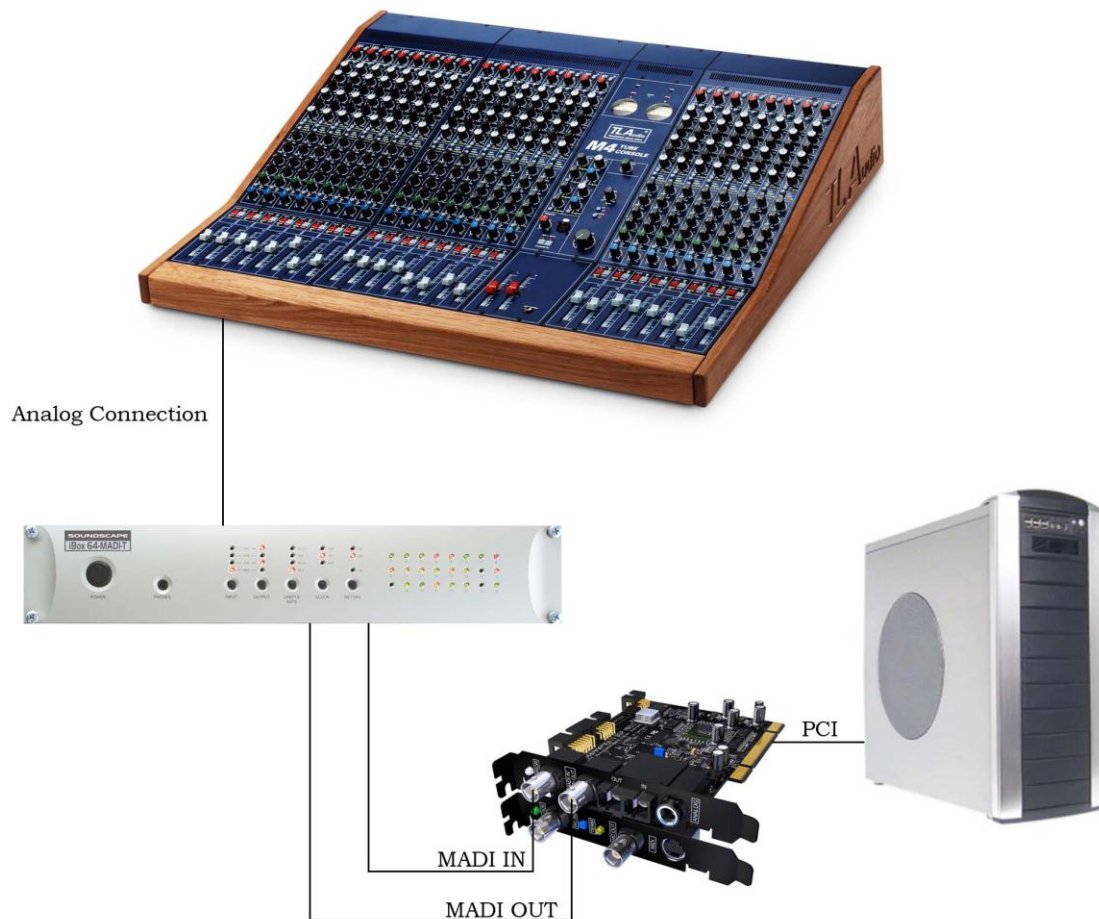


4.4 MADI με Ψηφιακή Κονσόλα.

Το καλώδιο μπορεί να είναι είτε ομοαξονικό 75 Ohm είτε οπτικό. Ένα ίσως μειονέκτημα του MADI είναι ότι δεν είναι ακόμα πολύ δημοφιλές και γι' αυτό πολλές φορές τα μηχανήματα το δίνουν ως προαιρετικό με επιπλέον κόστος για την ενσωμάτωσή του.

5) MADI με Αναλογική Κονσόλα

Για να χρησιμοποιήσει κανείς το MADI με μία αναλογική κονσόλα πρέπει να παρεμβάλλεται ένας μετατροπέας. Ουσιαστικά το MADI χρησιμοποιείται για την ψηφιακή σύνδεση ενός πολυκάναλου μετατροπέα με τον υπολογιστή. Έτσι μπορούμε πάλι με δύο μόνο καλώδια να έχουμε 64 I/O. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.5 όπου φαίνεται η χρήση του MADI με έναν μετατροπέα της εταιρείας Sydec.



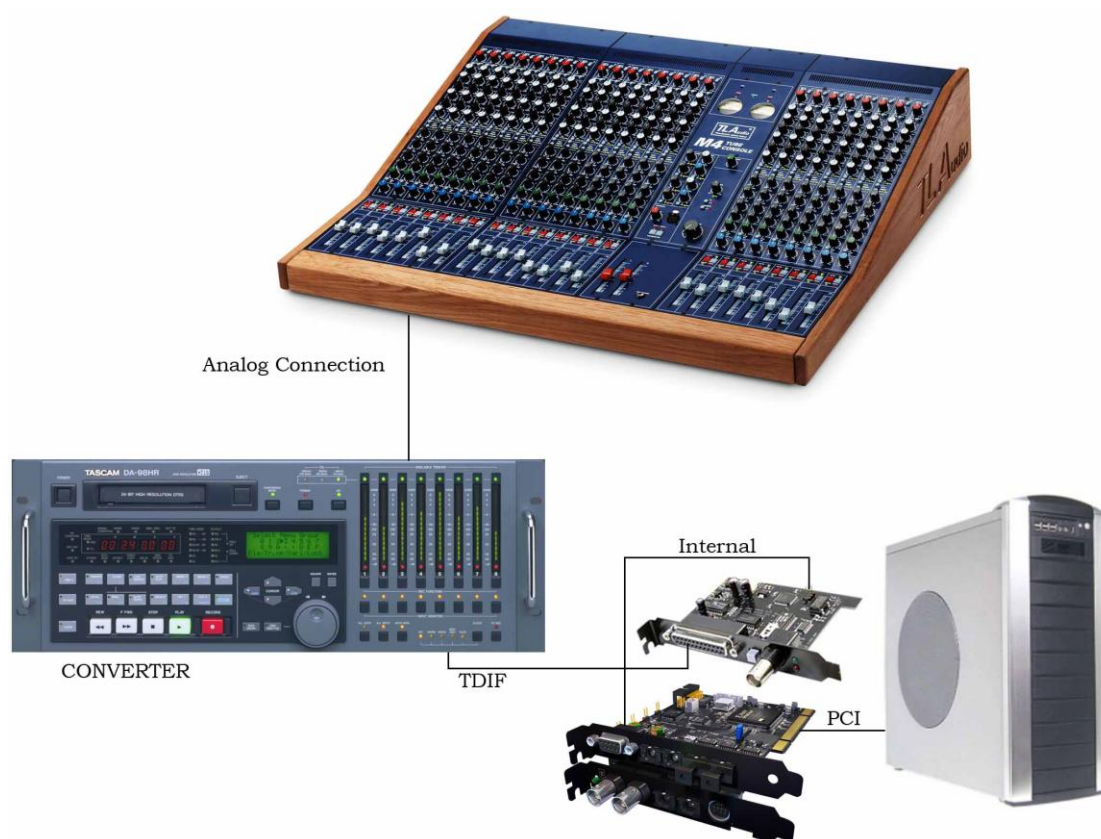
4.5 MADI με Αναλογική Κονσόλα.

Πραγματοποιώντας μία διάταξη με MADI πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι πρέπει στην κάρτα να παρέχεται δυνατότητα συγχρονισμού μέσω wordclock διότι το MADI σαν πρωτόκολλο δεν μεταφέρει πληροφορία συγχρονισμού. Έτσι για αποφευχθούν τα φαινόμενα όπως το jitter θα πρέπει να συγχρονίζουμε την συσκευή MADI με τον παλμό από την συσκευή με την οποία είναι συνδεδεμένη μέσω wordclock ή να χρησιμοποιείται ένα master clock.

6) TDIF (Tape Recorders)

Το TDIF όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1 είναι ένα πρωτόκολλο που εισήγαγε η εταιρεία TASCAM και για αυτό τον λόγο συναντάται περισσότερο στα πολυκάναλα ψηφιακά κασετόφωνα που κατασκευάζει.

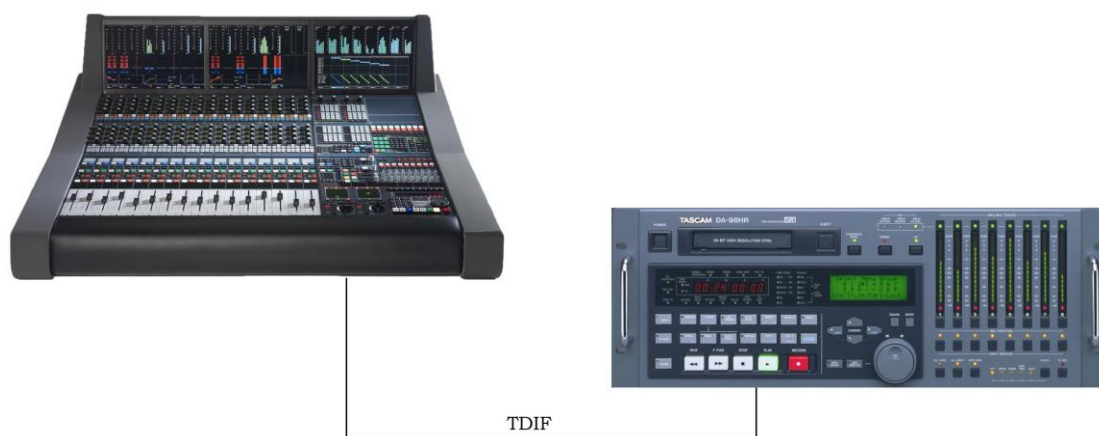
Τα κασετόφωνα αυτά ενώ πλέον αποτελούν παλαιότερη τεχνολογία, ήταν αρκετά δημοφιλή και τα διαθέτουν πολλά studio σε όλο τον κόσμο. Έτσι ένα studio θα μπορούσε να τα χρησιμοποιήσει είτε ως μετατροπείς συνδέοντας τα μέσω TDIF με έναν υπολογιστή είτε ως πολυκάναλους εγγραφείς συνδέοντας τα με μία ψηφιακή κονσόλα. Και στις δύο περιπτώσεις η σύνδεση είναι ψηφιακή και διατηρείται η ποιότητα του σήματος ανέπαφη. Στο σχήμα 4.6 φαίνεται η διάταξη κατά την οποία το κασετόφωνο έχει τον ρόλο μετατροπέα και συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω μίας κάρτας TDIF που έρχεται ως προσθήκη στις κάρτες της εταιρείας RME και συνδέονται εσωτερικά μεταξύ τους.



4.6 Κασετόφωνο σε ρόλο μετατροπέα με σύνδεση TDIF.

Το σχήμα 4.7 περιγράφει την περίπτωση όπου το κασετόφωνο έχει τον ρόλο κανονικού πολυκάναλου εγγραφέα και συνδέεται μέσω TDIF με μία ψηφιακή κονσόλα. Η λύση του σχήματος 4.6 είναι προτιμότερη διότι

μέσω του υπολογιστή έχει κανείς απεριόριστες δυνατότητες επεξεργασίας μίας ηχογράφησης με πολύ εύχρηστο και λειτουργικό περιβάλλον.



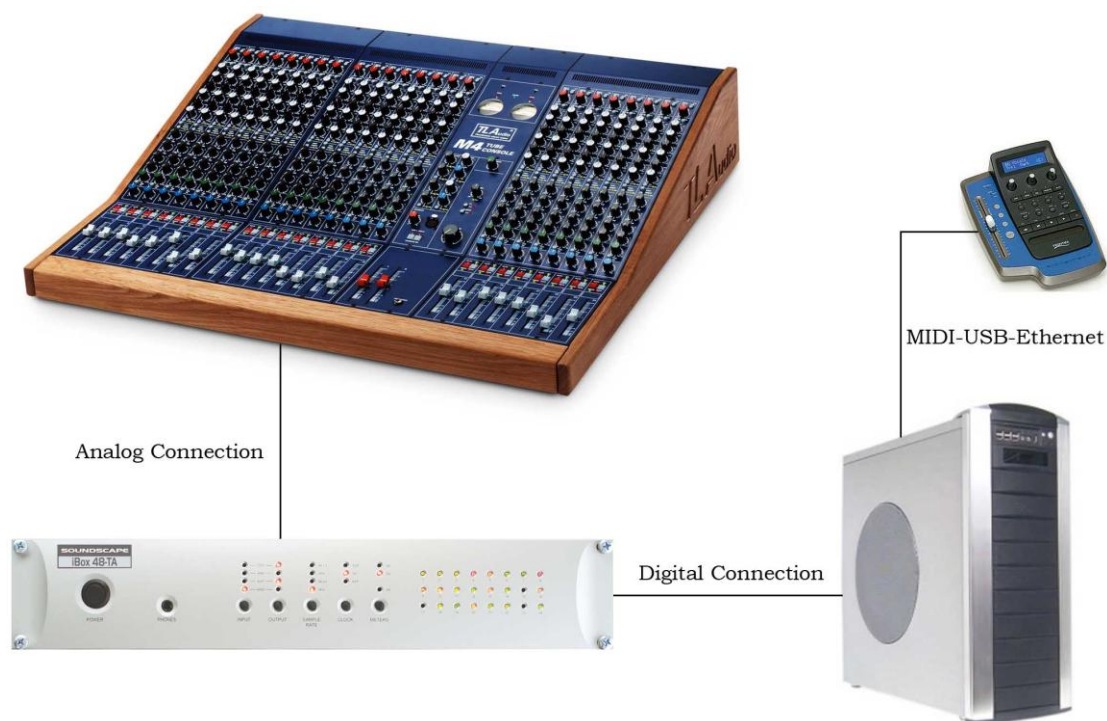
4.7 Πολυκάναλη Ψηφιακή Επικοινωνία μέσω TDIF.

Ωστόσο υπάρχουν και κάποιοι μετατροπείς που χρησιμοποιούνε το πρωτόκολλο TDIF ως βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας μη έχοντας όμως μεγάλο μερίδιο τις αγορές.

7) Controllers

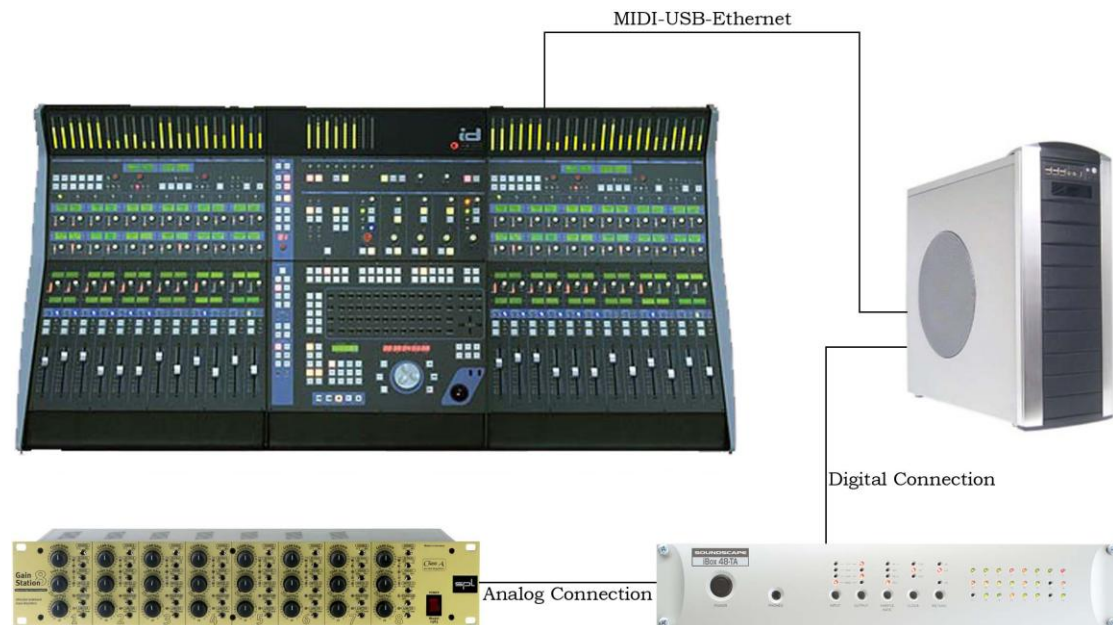
Υπάρχει και μία διαφορετική προσέγγιση στην ψηφιακή διάταξη ενός studio που ακούει στο όνομα DAW Controller. Οι Controllers είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που έχουν την ίδια εξωτερική εμφάνιση με μία κονσόλα και έχουν σκοπό τον πλήρη έλεγχο της εκάστοτε πλατφόρμας που τρέχει στον υπολογιστή (DAW-Digital Audio Workstation). Η λειτουργία αυτή αποδεσμεύει τον χρήστη από την αποκλειστική χρήση του ποντικιού και του πληκτρολογίου και δίνει μία πιο επαγγελματική αίσθηση γενικότερα. Οι controllers επικοινωνούν με τον υπολογιστή μέσω τριών πολύ γνωστών συνδέσεων στον χώρο των υπολογιστών και της μουσικής τεχνολογίας, το MIDI, USB και Ethernet Ports. Όπως καταλαβαίνουμε η χρήση των controllers αφορά κυρίως το στάδιο της επεξεργασίας και μίξης του ήχου εφόσον αυτή γίνεται μέσα στην πλατφόρμα (Mix in the box). Μία δυνατή λειτουργία των controllers

είναι η καταγραφή μεταβολών κάποιας παραμέτρου του ήχου σε πραγματικό χρόνο με δυνατότητα ανάκλησης και αλλαγής (Automation Recording). Στο στάδιο της ηχογράφησης το controller δεν έχει κάποιον ιδιαίτερο ρόλο παρά μόνο διευκολύνει τον έλεγχο του ακούσματος του ήδη ηχογραφημένου υλικού. Πλέον υπάρχουν πάρα πολλά είδη controllers στο εμπόριο τα οποία προσφέρουν πολλές δυνατότητες και ευκολίες στον τελικό χρήστη. Εκεί που όμως υστερούν τα controllers είναι στο ότι δεν συμβάλλουν καθόλου στην ποιότητα του ήχου που παράγεται. Μια ίσως καλή λύση είναι η ενσωμάτωση controller στις λειτουργίες μίας ψηφιακής κονσόλας. Επίσης κάποιος που διαθέτει μία αναλογική κονσόλα και το στάδιο της μίξης είναι αναλογικό μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν μικρό controller για τις βασικές λειτουργίες όπως Transport και Automation Recording ελαττώνοντας την χρήση του ποντικιού και του πληκτρολογίου τα οποία δεν είναι ιδιαίτερα πρακτικά σε ένα περιβάλλον studio. Το παράδειγμα με τον μικρό controller σε συνδυασμό με αναλογική κονσόλα φαίνεται στο σχήμα 4.8.



4.8 Controller Με Αναλογική Κονσόλα.

Επίσης στο σήμα 4.9 φαίνεται η συνδεσμολογία ενός πλήρους controller που διαθέτει πάρα πολλές λειτουργίες και αποτελεί βασικό κομμάτι του εξοπλισμού ενός studio.



4.9 Controller χωρίς την χρήση κονσόλας

Παρατηρούμε ότι στο σχήμα 4.9 την θέση τις κονσόλας έχει πάρει ένας πολυκάναλος προενισχυτής. Αυτή είναι μία κοινή διάταξη που χρησιμοποιούν τα studio αν επιλέξουν την λύση πλήρους controller διότι οι προενισχυτές σε μορφή rack καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο αντικαθιστώντας το προενισχυτικό μέρος μίας κονσόλας. Επίσης μπορεί ένα studio να διαθέτει διαφόρων ειδών περιφερειακά μηχανήματα τα οποία να αντικαθιστούν τις επιμέρους λειτουργίες μίας κονσόλας. Ο controller που φαίνεται στο σχήμα 4.9 είναι ο ID της εταιρείας WK Audio και θεωρείται από τους πιο πλήρεις controllers της αγοράς αυτήν την στιγμή. Επίσης ο προενισχυτής του σχήματος 4.9 είναι ο Gainstation 8 της εταιρείας SPL.

Προτάσεις Διατάξεων

Στο Κεφάλαιο αυτό είδαμε όλες τις πιθανές διατάξεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα studio με ψηφιακή εγγραφή. Η επιλογή της διάταξης αφορά πάντα την λειτουργικότητά της καθώς και το κόστος της. Λειτουργικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι καλύτερη είναι η περίπτωση 2 με την χρήση αναλογικής κονσόλας και του πρωτοκόλλου AES/EBU. Στην περίπτωση αυτή έχουμε συχνότητα δειγματοληψίας μέχρι 192 KHz καθώς και όλα τα θεμιτά χαρακτηριστικά της αναλογικής κονσόλας. Επίσης το AES/EBU είναι πολύ διαδεδομένο πρωτόκολλο και μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε πολλές επιλογές όσον αφορά τον τύπο converter και πλήρη συμβατότητα με πολλά περιφερειακά μηχανήματα. Επίσης στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι αναγκαία η χρήση επιπλέον master clock. Βέβαια η χρήση πολλών καναλιών παραπέμπει σε αγορά πολλών μετατροπέων και καρτών AES/EBU που είναι κάθε άλλο παρά οικονομικά.

Πολύ καλή πρόταση αποτελεί και η περίπτωση 7 όπου γίνεται χρήση αναλογικής κονσόλας με έναν μικρό controller και μετατροπέα που συνδέεται με κάρτα που συμπεριλαμβάνεται στην διάταξη του. Δηλαδή δεν υπάρχει το επιπλέον κόστος της κάρτας που υποστηρίζει ένα συγκεκριμένο ψηφιακό πρωτόκολλο μεταφοράς αλλά η ψηφιακή επικοινωνία γίνεται με την κάρτα της ίδιας εταιρείας. Το σημαντικό με αυτήν την διάταξη είναι ότι συνδυάζεται η τεχνολογία των controllers και η ηχητική ποιότητα μίας αναλογικής κονσόλας σε ένα κόστος το οποίο είναι αποδεκτό. Η τιμή αγοράς ενός πλήρους controller είναι λίγο υπερβολική για ένα μηχάνημα που δεν προσφέρει τίποτα στην ηχητική ποιότητα που είναι το ζητούμενο σε ένα studio παραγωγής ηχητικού υλικού π.χ. (WK Audio ID Controller = 14000 EUR, 12 faders Μάιος 2007).

Μερικές εταιρείες έχουν εισάγει και κάποιες υβριδικές κονσόλες που είναι ουσιαστικά αναλογικές αλλά διαθέτουν λειτουργία μετατροπής σε πλήρες controller. Μια τέτοια λύση είναι ιδανική αν σε μία

ευκαταφρόνητη τιμή περιλαμβάνονται και ηχητική ποιότητα και ευκολία χρήσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το μοντέλο AWS 900+ της εταιρείας SSL το οποίο φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Το AWS 900+ αποτελεί μία πολύ καλή λύση αλλά βέβαια και αρκετά ακριβή αφού το κόστος απόκτησής της αγγίζει τα 63000 EUR (Μάιος 2007).

Βιβλιογραφία

Βιβλία

1. Katz Bob: *Mastering Audio: The Art and The Science*, (Focal Press, 2002).
2. Nvision Company: *The Book: An Engineer's Guide to Digital Transition* (Nvision, 1995).
3. Pohlmann Ken: *Principles Of Digital Audio, Fifth Edition*, (McGraw-Hill, 2005).

Άρθρα

1. Dunn Julian: *The Diagnosis And Solution Of Jitter-Related Problems In Digital Audio Systems*, (AES 96th Convention February 1994).
2. Lipshitz Stanley P. and Vanderkooy John: *Why 1-Bit Sigma-Delta Conversion is Unsuitable for High-Quality Applications*, (AES 110th Convention, May 2001)
3. Reefman Derk and Janssen Erwin, Philips Research: *Enhanced Sigma Delta Structures for Super Audio Cd Applications*, (AES 112th Convention, May 2002)
4. Robjohns Hugh: *Are Cd's Suitable for Long Term Backup?* , Sound On Sound Magazine volume 21- issue 11 (September 2006).
5. Walker Martin: *Perfect Copies, Every Time?* Sound On Sound Magazine (July 1999).
6. Sykes Rob: *Digital Audio Comparison Tests*, (Oxford Semiconductor Ltd Free Release, January 2004)

Ηλεκτρονικές Πηγές (Internet)

1. Interconnection, *Middle Tennessee State University page*
<http://www.mtsu.edu/~jakins/420connect.html>, accessed
January 2007
2. Staying In Synch by Bob Snelgrove, Professional Sound magazine
<http://professional-sound.com/soundadvice/datadirectory/archives.cgi?category=1&view=2-03> accessed November 2006
3. Jitter Measurement by Robert Watson and Richard Kulavik
<http://www.jitter.de> accessed September 2006
4. SACD Production Using Direct Stream Digital by Shahin Al Rashid
http://www.dsdproaudio.com/html/dsd_sacd_explained.html , accessed
February 2007.
5. CD vs. SACD vs. DVD-A by Niklas Ladberg
<http://sound.westhost.com/cd-sacd-dvda.htm> , accessed
December 2006
6. Poking a Round Hole in a Square Wave by Craig Anderson,
Surround 2002 page, http://www.smr-home-theatre.org/surround2002/technology/page_07.shtml
accessed February 2007
7. Online Encyclopedia, Wikipedia
www.wikipedia.com