

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (E-CAD)

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2024 – 2025

Χ. Βέργος – Καθηγητής

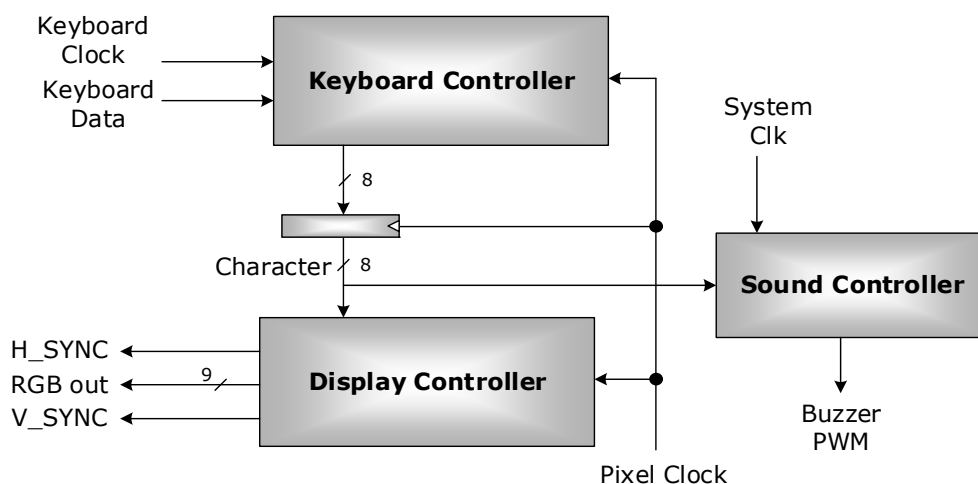
ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Σκοπός της φετινής εργασίας εξαμήνου είναι η σχεδίαση ενός συστήματος (mySynth) αναπαραγωγής μουσικών νोटών και απεικόνισής τους σε VGA οθόνη.

A. Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια γενική εικόνα της στοχευόμενης αρχιτεκτονικής. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

- ♦ Ο Keyboard controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανάγνωση εντολών από το πληκτρολόγιο. Το σχεδιαστικό κομμάτι αυτό, έχει αναλυθεί και υλοποιηθεί στην εργαστηριακή άσκηση 8,
- ♦ Ο Display controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον χρονισμό μιας οθόνης και την απεικόνιση σε αυτήν, και
- ♦ Ο Sound Controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία σημάτων κατάλληλων συχνοτήτων για την αναπαραγωγή της κάθε νότας.



B. Συνοπτική Περιγραφή της Λειτουργίας

Η λειτουργία του mySynth έγκειται στην ανάγνωση της επιθυμητής νότας μέσω του πληκτρολογίου, στην απεικόνισή της στην κατάλληλη θέση σε συγκεκριμένο παράθυρο ενός πενταγράμμου και την συνεχή αναπαραγωγή της από το πιεζοηλεκτρικά (piezo buzzers) έως ώτου ζητηθεί κάποια άλλη νότα ή πιεστεί το ESC.

Γ. Ανάγνωση Δεδομένων από Πληκτρολόγιο

Όλη η απαραίτητη πληροφορία διασύνδεσης ενός πληκτρολογίου μέσω του PS/2 interface έχει αναπτυχθεί στην εργαστηριακή άσκηση 8. Τα scan codes που θα πρέπει να ανιχνεύετε στην παρούσα εργασία είναι τα :

Πλήκτρο	Νότα	Scan Code (HEX)
d	Nτο	23
r	Ρε	2D
m	Μι	3A
f	Φα	2B
s	Σολ	1B
l	Λα	4B
c	Σι	21
ESC	Καμμία Σταματά η αναπαραγωγή ήχου και καθαρίζει το πεντάγραμμα	76

Είναι στη διακριτική σας ευχέρεια να προγραμματίσετε επιπλέον λειτουργίες για επιπλέον πλήκτρα. Για παράδειγμα μπορείτε απλά να σταματάτε τον ήχο χωρίς να σταματάτε την απεικόνιση (mute), να προσθέσετε ημιτόνια, να προσθέσετε επιπλέον οκτάβες, κλπ.

Δ. Απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη VGA

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την απεικόνιση σε μια οθόνη VGA είναι ο ρυθμός ανανέωσης των καρτέ (Refresh Rate), ο αριθμός των οριζόντιων γραμμών από τις οποίες αποτελείται μια εικόνα (Number Of Rows) και ο αριθμός των pixels που περιλαμβάνει κάθε γραμμή (Number Of Pixels Per Row). Το γινόμενο των γραμμών και των pixels κάθε γραμμής καθορίζουν την ανάλυση της οθόνης. Η στοχευόμενη ανάλυση και ο ρυθμός ανανέωσης μας υποδεικνύουν τη συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού της οθόνης, F_p (που πολλές φορές αναφέρεται ως ρολόι απεικόνισης ενός pixel, pixel clock), σύμφωνα με τη σχέση :

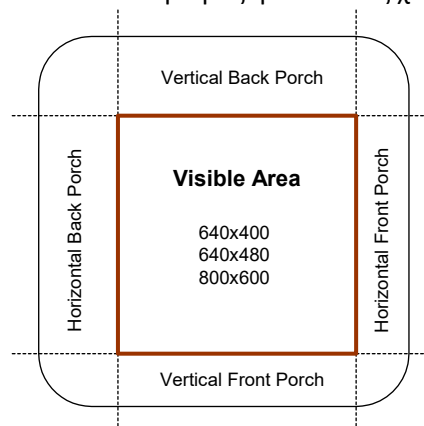
$$F_p = (\text{Refresh Rate}) \times (\text{Number Of Rows}) \times (\text{Number Of Pixels Per Row})$$

Προφανώς, για δεδομένη ανάλυση οθόνης, αύξηση του RefreshRate συνεπάγεται και την απαιτούμενη αύξηση της συχνότητας του pixel clock.

Ο επιθυμητός ελεγκτής απεικόνισης έχει τις αρμοδιότητες του χρονισμού της οθόνης και της αποστολής της προς απεικόνιση πληροφορίας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Οι δύο αυτές διαδικασίες αναλύονται διεξοδικά παρακάτω.

Δ.1. Χρονισμός της οθόνης

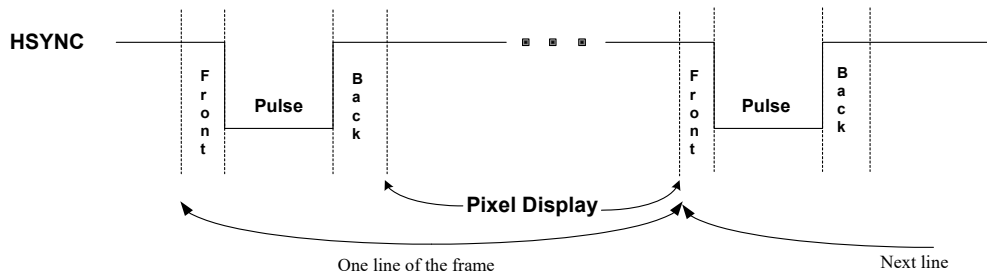
Ο χρονισμός της οθόνης, επιτυγχάνεται μέσω της οδήγησης από τον ελεγκτή, των σημάτων οριζοντίου (HSYNC) και κάθετου (VSYNC) συγχρονισμού. Το μεν πρώτο ενεργοποιείται κάθε φορά που κατά τη σάρωση ενός frame χρειάζεται να αλλάξουμε γραμμή ενώ το δεύτερο όταν έχει ολοκληρωθεί η προβολή ενός ολόκληρου καρέ (frame). Για την ορθή λειτουργία της οθόνης απαιτείται η σάρωση κάποιων επιπλέον γραμμών (Vertical Porch) και pixels σε κάθε γραμμή (Horizontal Porch) διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται αμαύρωση, απομάκρυνση δηλαδή του φορτίου από τα εικονοστοιχεία της οθόνης. Όταν γίνεται η σάρωση αυτών των επιπλέον γραμμών και pixels σε κάθε γραμμή δεν στέλνεται κάποια πληροφορία προς απεικόνιση αλλά **πρέπει** η πληροφορία που αποστέλλεται να είναι το μαύρο χρώμα. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η οθόνη και οι αντίστοιχες περιοχές στις οποίες χωρίζεται. Η ορατή περιοχή φαίνεται στο κέντρο μαζί με κάποιες χαρακτηριστικές αναλύσεις.



Σημειώνεται πως η ανάλυση, π.χ., 640x400, αφορά μόνο την ορατή περιοχή ενώ στην πραγματικότητα τόσο το πλήθος των γραμμών κάθε frame όσο και τα pixels ανά γραμμή είναι περισσότερα. Οι γραμμές που περιέχονται στις περιοχές Vertical Front Porch και Vertical Back Porch δεν περιέχουν καμιά πληροφορία όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τα pixels στις περιοχές Horizontal Back και Front Porch.

Συγχρονισμός των γραμμών

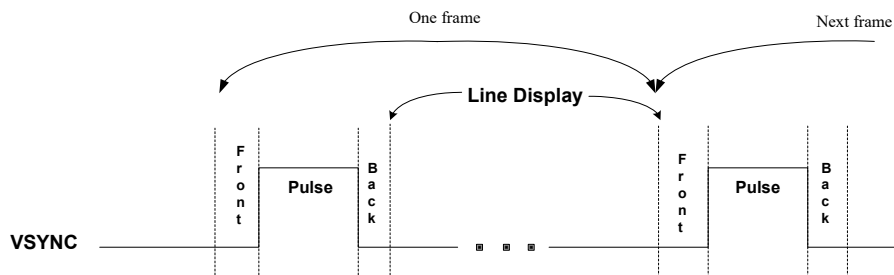
Ο συγχρονισμός των γραμμών πραγματοποιείται με τη χρήση του σήματος HSYNC. Η ολοκλήρωση μιας περιόδου του σήματος αυτού συνεπάγεται την προβολή μιας γραμμής συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών που δεν φέρουν πληροφορία δηλαδή των Horizontal Back Porch και Horizontal Front Porch. Μια περίοδος του σήματος HSYNC φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Ο χρόνος που διαρκεί κάθε περιοχή καθορίζεται από την ζητούμενη ανάλυση και το refresh rate και μετριέται συνήθως σε πλήθος κύκλων ρολογιού (pixel clock cycles). Μια περίοδος του HSYNC είναι της τάξης των δεκάδων msecond.

Συγχρονισμός των frames

Ο συγχρονισμός των frames πραγματοποιείται με τη χρήση του σήματος VSYNC. Η ολοκλήρωση μιας περιόδου του σήματος αυτού συνεπάγεται και προβολή ενός ολόκληρου frame, δηλαδή του συνόλου των γραμμών που το αποτελούν. Στην περίοδο του VSYNC συμπεριλαμβάνονται και οι περιοχές που δεν φέρουν πληροφορία δηλαδή οι Vertical Back Porch και Front Porch, αντίστοιχα. Μια περίοδος του σήματος VSYNC φαίνεται στο σχήμα.



Αντίθετα με τον συγχρονισμό σε γραμμές, ο χρόνος που διαρκεί κάθε περιοχή σε μια περίοδο του σήματος VSYNC μετριέται συνήθως σε πλήθος γραμμών και μια περίοδος του VSYNC είναι της τάξης των δεκάδων msecond.

Για την εργασία σας, θα χρησιμοποιήσουμε μια ανάλυση 640x400 και refresh rate ίσο με 70Hz. Έτσι οι παράμετροι (οι περισσότερες εμπορικές οθόνες υποστηρίζουν μια ανοχή της τάξης του $\pm 5\%$ ως προς το pixel clock) του στοχευόμενου συστήματος είναι οι εξής:

- ♦ Συχνότητα ρολογιού Pixel Clock = 25 MHz. Τη συχνότητα αυτή θα πρέπει να την παράξετε με ικανοποιητική ακρίβεια. Μπορείτε σχετικά να ανατρέξετε στην εργαστηριακή άσκηση 7.
- ♦ HorizontalFrontPorch = 16 pixels
- ♦ HSYNCPulse = 96 pixels
- ♦ HorizontalBackPorch = 48 pixels
- ♦ VisiblePixels = 640 pixels
- ♦ VerticalFrontPorch = 12 rows
- ♦ VSYNCPulse = 2 rows
- ♦ VerticalBackPorch = 35 rows
- ♦ VisibleRows = 400 rows

Για τη συγκεκριμένη ανάλυση, ο παλμός Pulse για το σήμα HSYNC είναι αρνητικής λογικής, ενώ για το VSYNC θετικής λογικής (δείτε και τα σχήματα της προηγούμενης σελίδας). Η πολικότητα αυτών των σημάτων μαζί με τα χρονικά χαρακτηριστικά τους καθορίζει την ανάλυση της οθόνης.

Δ.2. Απεικόνιση εικόνας

Κάθε εικόνα απεικονίζεται βάσει των pixel που την απαρτίζουν. Κάθε pixel μπορεί να είναι μαύρο, δηλαδή μη διαχωρίσιμο από το background ή να έχει μία από 512 διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις ανάλογα με την ένταση της κάθε χρωματικής συνιστώσας (R, G, B). Η πλακέτα μας διαθέτει τα σήματα RED [2:0], GREEN [2:0] και BLUE [2:0], τα οποία απεικονίζονται στους ακόλουθους ακροδέκτες του FPGA :

Σήμα	Ακροδέκτης του FPGA
VGA-RED2	B1
VGA-RED1	D6
VGA-RED0	C8
VGA-GREEN2	C3
VGA-GREEN1	A5
VGA-GREEN0	A8
VGA-BLUE2	D5
VGA-BLUE1	E7
VGA-BLUE0	C9
VGA-HSYNC#	B7
VGA-VSYNC#	D8

Στην παρούσα εργασία αρκεί η εικόνα μας να είναι ασπρόμαυρη, πράγμα που σημαίνει ότι αρκεί τα pixels του πενταγράμμου και της απεικονιζόμενης νότας να είναι λευκά και όλη η υπόλοιπη οθόνη χρώμα μαύρο. Συνεπώς θα πρέπει όταν θέλετε να απεικονίσετε ένα λευκό pixel να στέλνετε $RED[2:0] = GREEN[2:0] = BLUE[2:0] = 111_2 = 7_{10}$ και 0 για κάθε άλλο pixel (περιοχής απεικόνισης ή μη).

Μπορείτε αν θέλετε να πειραματιστείτε με διαφορετικά χρώματα (για παράδειγμα οι νότες να είναι κίτρινες) ή να υπάρχει λειτουργία reverse image ή και flash (εναλλαγής δηλαδή λευκού – μαύρου ανά κάποιο χρονικό διάστημα).

Ε. Παραγωγή ήχου

Στην παρούσα εργασία για την παραγωγή του ήχου θα χρησιμοποιήσουμε πιεζοηλεκτρικά στοιχεία. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πλακέτα του εργαστηρίου σας υπάρχει διαθέσιμο DAC για την παραγωγή στερεοφωνικού ήχου, αλλά αυτή η λύση δεν υιοθετήθηκε τόσο λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας όσο και της ανάγκης για εξωτερικό ενισχυτή του σήματος. Ωστόσο αν κάποιος από εσάς θελήσει να ασχοληθεί, μπορεί να του παρασχεθεί όλη η απαραίτητη πληροφορία και υποστήριξη.

Ο ήχος που παράγει ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος στην είσοδό του (υποθέστε F). Μπορείτε να βρείτε τις συχνότητες που θα πρέπει να παράξετε ανάλογα με τη νότα που θέλετε να αναπαράγετε στο <https://mixbutton.com/mixing-articles/music-note-to-frequency-chart/> Συνίσταται να επιλέξετε την μεσαία οκτάβα (Octave 4).

Ο ακροδέκτης του FPGA στον οποίο θα πρέπει να στέλνετε το σήμα σας προς το πιεζοηλεκτρικό είναι:

Σήμα	Ακροδέκτης του FPGA
F	M3

ΣΤ. Video επίδειξης επιθυμητής λειτουργίας

<https://youtu.be/g4uisyv-67A>

Ζ. Βαθμολόγηση

- Η εργασία εξαμήνου θα μετρήσει ως το 65% του τελικού σας βαθμού. Το υπόλοιπο 35% της βαθμολόγησης θα προέλθει από τις εργαστηριακές ασκήσεις σας.
- Οι κανόνες βαθμολόγησης της εργασίας εξαμήνου είναι ως ακολούθως :
 - Συγχρονισμός της οθόνης (η βασική οθόνη του εργαστηρίου υποδεικνύει τον συγχρονισμό τους με ένα χαρακτηριστικό κλικ) : 25 μονάδες
 - Απεικόνιση πενταγράμμου : 15 μονάδες
 - Παραγωγή ήχου : 25 μονάδες
 - Απεικόνιση μουσικής νότας στο σωστό σημείο : 20 μονάδες
 - Ποιότητα κώδικα και μέγεθος λύσης : 15 μονάδες
 - Έξτρα μονάδες θα δοθούν για όσους θέλουν να παίξουν με χρώματα, έξτρα νότες / οκτάβες, reverse video, απεικόνιση πολλαπλών νοτών (καθόλου εύκολο πρόβλημα !!!)