

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι μια πρώτη γνωριμία σας με την γλώσσα περιγραφής υλικού Verilog και την εξομοίωση. Στην άσκηση αυτή θα κληθείτε να περιγράψετε σε Verilog τόσο έναν μετρητή 8 δυαδικών ψηφίων όσο και τα διανύσματα εξομοίωσής του. (Στο εξής όλος ο κώδικας που παρατίθεται τις ασκήσεις, υπάρχει και στα αντίστοιχα subfolders του παρόντος).

A. Περιγραφή του μετρητή

(αρχείο 5/counter.v)

```
module counter (clear, clock, load, start_stop, count, data);
    input [6:0] data;
    output [6:0] count;
    input start_stop;
    input load;
    input clock;
    input clear;
    reg [6:0] count;

    always @(posedge clock or posedge clear)
        if (clear) count <= 0;
        else if (load) count <= data;
        else if (start_stop) count <= count + 1;
endmodule
```

Ο κώδικας αυτός περιγράφει έναν μετρητή προς τα άνω των 7 δυαδικών ψηφίων με παράλληλη φόρτωση, είσοδο επίτρεψης και ασύγχρονη είσοδο καθαρισμού.

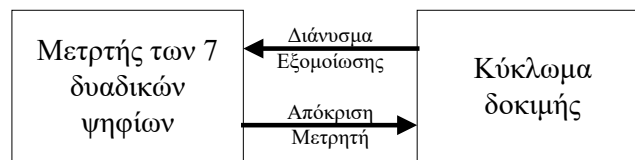
B. Περιγραφή των διανυσμάτων εξομοίωσης

Για την εξομοίωση του κυκλώματος απαιτείται να περιγράψουμε και τα διανύσματα εξομοίωσης του μετρητή. Σε ένα καινούργιο αρχείο (**5/testcounter.v**) εισάγουμε τον ακόλουθο κώδικα :

```
module testcounter ();
    reg [7:0] d;
    wire [7:0] c;
    reg s_s, l, clk, clr;

    counter inst0 (clr, clk, l, s_s, c, d);
    initial
        begin
            # 5 clk <= 0; clr <= 0; l <= 0; s_s <= 0; d <= 8'hF0;
        end
    always # 40 clk <= !clk;
    initial
        begin
            # 100 clr <= 1;
            # 50 clr <= 0;
        end
    initial
        begin
            # 400 s_s <= 1;
            # 3000 s_s <= 0;
        end
    initial
        begin
            # 3500 s_s <= 1;
            # 3700 l <= 1;
            # 200 l <= 0;
        end
endmodule
```

Ο κώδικας αυτός περιγράφει έναν tester για τον μετρητή σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα :



Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιεί ένα αντίγραφο του μετρητή (inst0), κάποιους καταχωρητές (clr, clk, l, s_s,, d) για να εφαρμόσει το διάνυσμα δοκιμής και κάποια σήματα ώστε να διαβάσει την απόκριση του μετρητή (c). Ο υπόλοιπος κώδικας παράγει τα διανύσματα δοκιμής που ελέγχουν την λογική λειτουργία του μετρητή. Είμαστε πλέον έτοιμοι να προχωρήσουμε στην εξομοίωση του κυκλώματος.

Γ. Εξομοίωση του Σχεδιασμού

Για την διαδικασία εξομοίωσης θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο ModelSim. Παρότι γνωρίζετε αρκετά τη χρήση του εργαλείου, τα βασικά βήματα επαναλαμβάνονται παρακάτω. Από το μενού File -> Change working directory, υποδείξτε στο εργαλείο το folder που περιέχει τα αρχεία σας. Από το μενού Library->Create New Library, δημιουργείτε μια καινούργια βιβλιοθήκη με όνομα π.χ. work. Σκοπός της βιβλιοθήκης είναι να κρατά όλα τα objects που θα δημιουργηθούν κατά την διαδικασία μετάφρασης του κώδικά σας. Με το πάνω αριστερά εικονίδιο της γραμμής εργαλείων καλείτε τον Verilog compiler, που όπως κάθε άλλος compiler θα ελέγξει το συντακτικό και την λογική του κώδικά σας και θα δημιουργήσει τα objects της βιβλιοθήκης. Υποδείξτε τα δύο αρχεία που θέλετε να μεταφραστούν και εκτελέστε την διαδικασία μετάφρασης. Όταν αυτή ολοκληρωθεί χωρίς λάθη είστε έτοιμοι να προχωρήσετε στην διαδικασία παραγωγής κυματομορφών. Σε περίπτωση λαθών, ο μεταφραστής υποδεικνύει την γραμμή λάθους και μπορείτε να διορθώσετε τα λάθη σας με το button edit source. Ο editor που θα παρουσιαστεί επιτρέπει την διαδικασία cross probing με τον μεταφραστή και είναι ειδικά διαμορφωμένος ώστε να αναλύει τα keywords και τις σταθερές που χρησιμοποιείτε και να τις παρουσιάζει με διαφορετικά χρώματα σε σχέση με τις μεταβλητές σας.

Έχοντας ολοκληρώσει την διαδικασία μετάφρασης, στην βιβλιοθήκη σας έχουν δημιουργηθεί τα δύο objects testcounter και counter όπως μπορείτε να διαπιστώσετε με την εντολή Library -> View Library Contents. Από το μενού File -> Load New Design επιλέξτε το object testcounter. Επειδή στον κώδικα αυτού του object είχατε συμπεριλάβει και ένα αντίτυπο του μετρητή, το εργαλείο θα φορτώσει αυτόματα και το object του μετρητή σας. Από το μενού View επιλέξτε structure και θα εμφανιστεί ένα παράθυρο που σας δείχνει την ιεραρχία του σχεδιασμού σας. Επιλέγοντας signals θα δείτε όλα τα σήματα που αναφέρονται στο συγκεκριμένο object της ιεραρχίας που έχετε επιλέξει καθώς και οι τιμές τους την τρέχουσα χρονική στιγμή. Εφόσον δεν έχετε τρέξει εξομοίωση όλες οι τιμές είναι σε x (άγνωστη) κατάσταση. Επιλέξτε όλα τα σήματα του testcounter και στο παράθυρο των σημάτων δώστε την εντολή View -> Wave -> Selected Signals.

Αυτόματα ανοίγει ένα παράθυρο κυματομορφών για τα επιλεγμένα σήματα. Για να τρέξετε εξομοίωση χρησιμοποιείτε το πρώτο από τα τέσσερα τελευταία buttons του παραθύρου κυματομορφών. Με αυτό θα πάρετε εξομοίωση 100 ns και μπορείτε να το χρησιμοποιείτε επαναληπτικά. Με το View -> Source μπορείτε να βλέπετε τον κώδικά σας. Ακριβώς όπως ένα debugging εργαλείο σας επιτρέπει να κάνετε step κατά την εκτέλεση του κώδικά σας, το ίδιο ισχύει και για τον συγκεκριμένο εξομοιωτή. Μπορείτε να επιλέξετε step με ένα από τα δύο buttons του παραθύρου κώδικα και το βέλος στα αριστερά δείχνει το επόμενο σημείο του κώδικα προς εκτέλεση. Επιπλέον το εργαλείο σας ανακοινώνει περί της χρονικής στιγμής που θα συμβεί το επόμενο γεγονός. Λόγω της παραλληλίας του υλικού, πιθανόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός βέλη. Συνεχίστε την εξομοίωσή σας μέχρι να έχετε αποτελέσματα για μια πλήρη περιοχή τιμών του μετρητή (μέχρι να πάρει όλες τις 128 διαφορετικές τιμές του. Τι συμβαίνει μετά την τιμή 127 και γιατί;). Ελέγξτε τα αποτελέσματα της εξομοίωσης και βεβαιωθείτε ότι όλες οι λογικές λειτουργίες που προβλέφθηκαν από τα διανύσματα εξομοίωσης υλοποιούνται σωστά. Αν θέλετε μπορείτε να προσθέσετε ή να τροποποιήσετε τα διανύσματα εξομοίωσης μέσω κώδικα στο αρχείο testcounter.v. Δεν χρειάζεται να βγείτε από το εργαλείο για κάτι τέτοιο. Ωστόσο, αφού αλλάξετε τον κώδικα, χρειάζεται να αποθηκεύσετε τις αλλαγές και να ξανακάνετε μετάφραση. Ακολούθως απλά επιλέξτε από το File -> Restart για να ξεκινήσει η διαδικασία εξομοίωσης πάνω στον καινούργιο κώδικα.

Δ. Ζητούμενα της άσκησης

- (1) Τροποποιήστε τον δεδομένο κώδικα ώστε να υλοποιεί έναν μετρητή των 4 δυαδικών ψηφίων με τα ίδια χαρακτηριστικά.
- (2) Χρησιμοποιήστε δύο τέτοιους μετρητές όση λογική κρίνετε απαραίτητη για να υλοποιήσετε έναν μετρητή των 8 δυαδικών ψηφίων. Που θα πρέπει να συνδεθεί η είσοδος επίτρεψης του high order nibble ;
- (3) Δημιουργήστε ένα σύνολο διανυσμάτων εξομοίωσης για τον μετρητή των 8 δυαδικών ψηφίων.

- (4) Εξομοιώστε τον σχεδιασμό σας και επαληθεύστε την λογική λειτουργία του.
- (5) Τροποποιείτε τον κώδικά σας ώστε ο μετρητής να έχει σύγχρονη είσοδο καθαρισμού και επαναλάβετε τα β, γ και δ.
- (6) Εισάγετε μια καθυστέρηση 20 χρονικών στιγμών στη λειτουργία του μετρητή των 4 δυαδικών ψηφίων. Ποια είναι τότε η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μετρητή των 8 δυαδικών ψηφίων ;