

Υπολογιστικά Συστήματα Υψηλής Αξιοπιστίας

Σφάλματα και δοκιμή

Δρ. Γκάμας Βασίλειος

Επιστημονικός Συνεργάτης
vgkamas@uniwa.gr

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών

Σκοπός παρουσίασης

- Να εισάγει τους φοιτητές στην έννοια των ελαττωμάτων, σφαλμάτων και λαθών.
- Να εισάγει τους φοιτητές στην έννοια της δοκιμής των υπολογιστικών συστημάτων και στην σχετική ορολογία.
- Δίνεται έμφαση στα ηλεκτρονικά κυκλώματα

Ελαττώματα, Σφάλματα και Λάθη

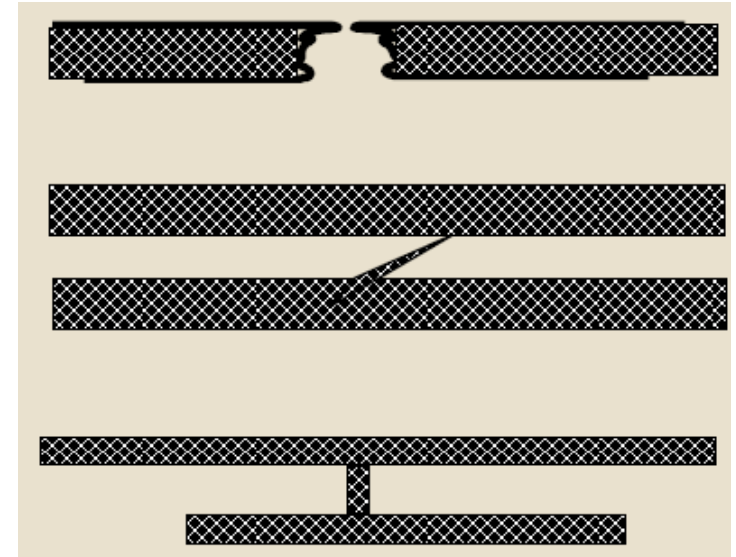
Εισαγωγή

- Που μπορεί να οφείλεται το δυστύχημα που αποτυπώνεται στην διπλανή εικόνα;
 - Κατασκευαστικό ελάττωμα
 - Σφάλμα στο σύστημα πέδησης
 - Σφάλμα στην σχεδίαση
 - Λάθος χειρισμός του οδηγού
 - Κτλ.



Ελάττωμα (1/2)

- Ένα **ελάττωμα (defect)** σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα είναι μία ανεπιθύμητη διαφορά ανάμεσα στο υλικό που έχει κατασκευαστεί και στον προδιαγεγραμμένο σχεδιασμό του.
- Τα ελαττώματα εκδηλώνονται ως ηλεκτρικές βλάβες και ερμηνεύονται σε λογικό επίπεδο ως σφάλματα.
- Παραδείγματα ελαττωμάτων
 - κόψιμο γραμμής
 - βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο γραμμών που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο
 - βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο γραμμών δύο γειτονικών επιπέδων



Ελάττωμα (2/2)

- Τα ελαττώματα στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ανάλογα με την αιτία που τα προκαλεί διακρίνονται:
 - στα ελαττώματα που παρουσιάζονται κατά την κατασκευαστική διαδικασία (process defects)
 - στα ελαττώματα που οφείλονται στα υλικά κατασκευής (material defects)
 - στα ελαττώματα που οφείλονται στη γήρανση του κυκλώματος (aging defects)
 - στα ελαττώματα που προκαλούνται κατά τη διαδικασία συσκευασίας του κυκλώματος (package defects)

Σφάλμα (1/2)

- Ένα **σφάλμα (fault)** αποτελεί μία μη αποδεκτή διαφορά ανάμεσα στην αναμενόμενη και παρατηρούμενη απόδοση ενός συστήματος, μιας κατασκευής, κτλ.
- Μια δομή (π.χ. κτίριο ή γέφυρα) δεν χρειάζεται να καταρρεύσει καταστροφικά για να θεωρηθεί ότι έχει κάποιο σφάλμα!!!
- Αιτίες εμφάνισης σφαλμάτων σε δικτυακούς τόπους
 - Προβλήματα υλικού: 15%
 - Προβλήματα λογισμικού: 34%
 - Σφάλματα διαχειριστή: 51%

Σφάλμα (2/2)

- Αιτίες εμφάνισης σφαλμάτων σε υπολογιστικά συστήματα
 - Προσωπικοί παράγοντες (35%): Έλλειψη ενδιαφέροντος, ηλικία.
 - Σχεδιασμός συστήματος (20%): Ανεπαρκής χρόνος για αντίδραση, ασαφής απαιτήσεις
 - Οδηγίες (10%): Δυσκολία στην κατανόηση, ελλιπής ή ανακριβής, μη επικαιροποιημένες
 - Εκπαίδευση (10%): Ανεπαρκής, μη ενημερωμένη
 - Διεπαφή ανθρώπου-υπολογιστή (10%): Κακή ποιότητα εικόνας, εργονομικοί παράγοντες
 - Απαιτήσεις ακρίβειας (10%): Πολύ υψηλές προσδοκίες
 - Περιβάλλον (5%): Φωτισμός, θερμοκρασία, υγρασία, θόρυβος

Λάθος

- Με το όρο **λάθος (error)** αναφερόμαστε στην εσφαλμένη απόκριση ενός υπό εξέταση συστήματος
- Λόγοι στους οποίους οφείλονται τα λάθη σε ηλεκτρονικά κυκλώματα
 - Λάθη σχεδίασης: μπορεί να προέρχονται από ανεπαρκή χαρακτηριστικά, παραβίαση των κανόνων σχεδίασης
 - Λάθη κατασκευής: μπορεί να οφείλονται σε λάθος εξαρτήματα, λάθος καλωδίωση, βραχυκυκλώματα λόγω λανθασμένων κολλήσεων
 - Λάθη από φυσικούς παράγοντες: οφείλονται κυρίως στην κόπωση των υλικών και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες

Αστοχία

- Με τον όρο **αστοχία (failure)** αναφερόμαστε στην ανικανότητα ενός συστήματος να πραγματοποιεί μια λειτουργία όπως αυτήν έχει προδιαγραφεί από τον κατασκευαστή του

Παράδειγμα: Σύστημα πέδησης αυτοκινήτου

- Defect (ελάττωμα): Οι σωληνώσεις του υγρού φρένων έχουν κάποια ρήξη
- Fault (σφάλμα): Το υγρό φρένων αρχίζει να ρέει
- Error (λάθος): Η πίεση του υγρού φρένων πέφτει σε χαμηλό επίπεδο
- Malfunction (δυσλειτουργία): Η δύναμη πέδησης είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη
- Degradation (υποβιβασμός): Απαιτείται μεγαλύτερη πίεση ή χρονικό διάστημα για να φρενάρει το αυτοκίνητο
- Failure (αστοχία): Το αυτοκίνητο δεν φρενάρει ούτε σταματά έγκαιρα

Δεν οδηγεί κάθε ελάττωμα, σφάλμα, λάθος, δυσλειτουργία ή υποβιβασμός σε αστοχία

Παράδειγμα: Πύλη AND

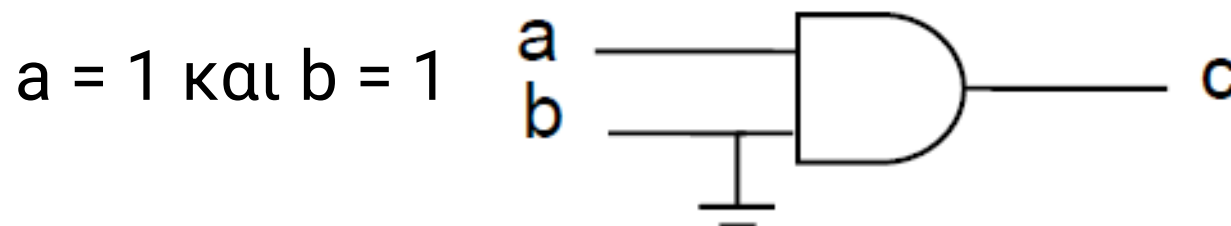
- Έστω μια πύλη AND δύο εισόδων A, B και εξόδου C
- Πιθανό ελάττωμα, σφάλμα και λάθος;

1. Ελάττωμα (Defect): Η είσοδος B έχει βραχυκυκλώσει με την γείωση

2. Σφάλμα (Fault): Το σήμα στην γραμμή B «κολλάει» στο λογικό 0.

3. Λάθος (Error): $C = 0$

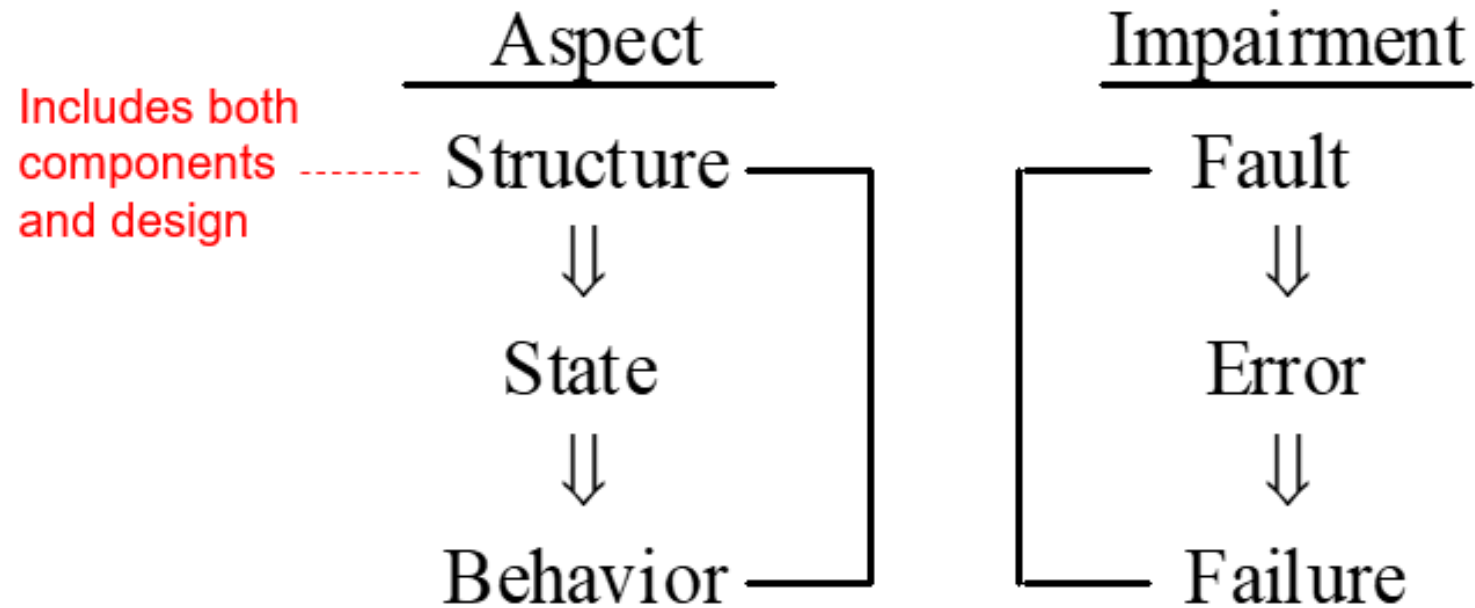
Το λάθος δεν είναι μόνιμο καθώς μόλις μία από τις 2 εισόδους πάρει τη τιμή 0, δεν εμφανίζεται κάποιο λάθος στην έξοδο c.



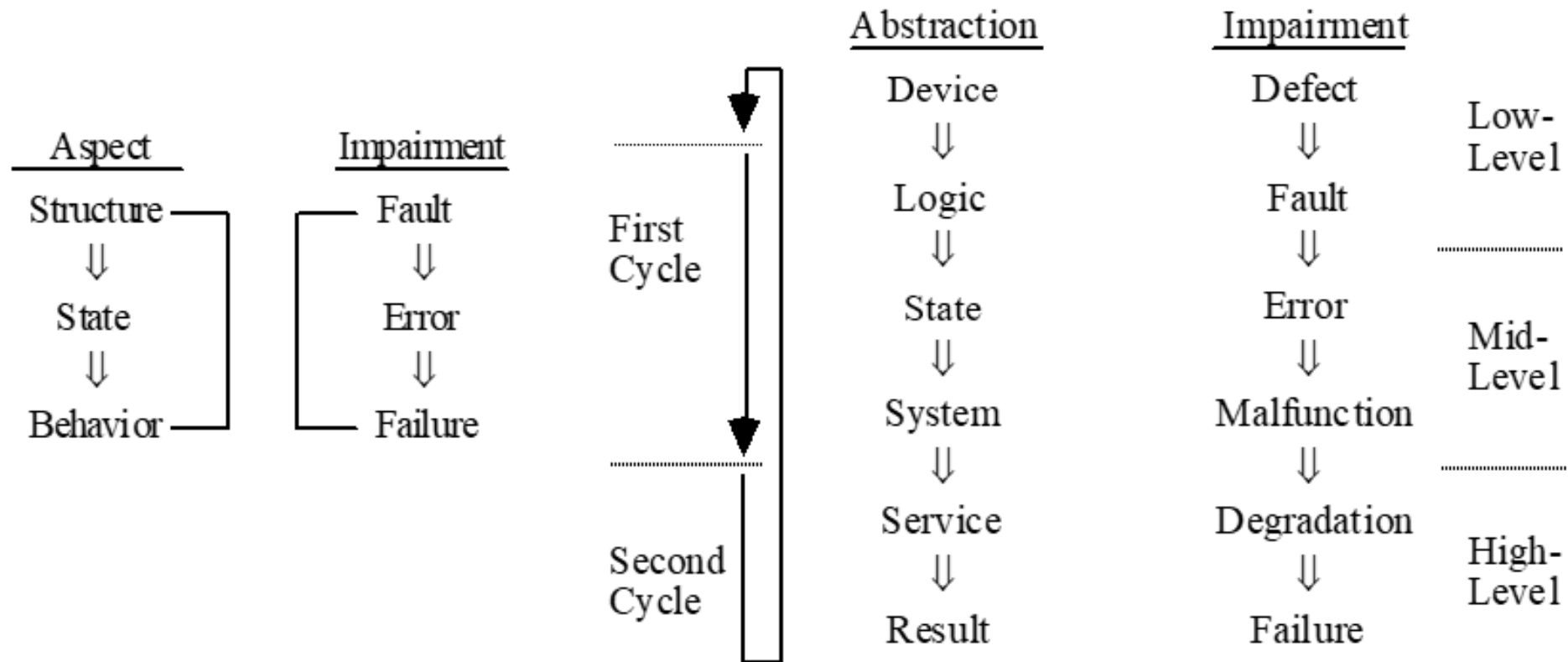
Fault-Error-Failure Cycle

- Η διάδοση ενός σφάλματος (fault) σε μια παρατηρήσιμη αστοχία (failure) ακολουθεί έναν καλά καθορισμένο κύκλο
- Όταν εμφανίζεται ένα σφάλμα (fault) μπορεί να προκαλέσει ένα λάθος (error), το οποίο αποτελεί μία μη έγκυρη κατάσταση που εμφανίζεται εντός των ορίων ενός συστήματος
- Το λάθος μπορεί με την σειρά του να προκαλέσει περαιτέρω λάθη εντός των ορίων του συστήματος
- Όταν παρατηρούνται καταστάσεις λαθών στα όρια ενός συστήματος ονομάζονται αστοχίες (failure)
- Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται Fault-Error-Failure Cycle και αποτελεί βασικό μηχανισμό ελέγχου της αξιοπιστίας συστημάτων

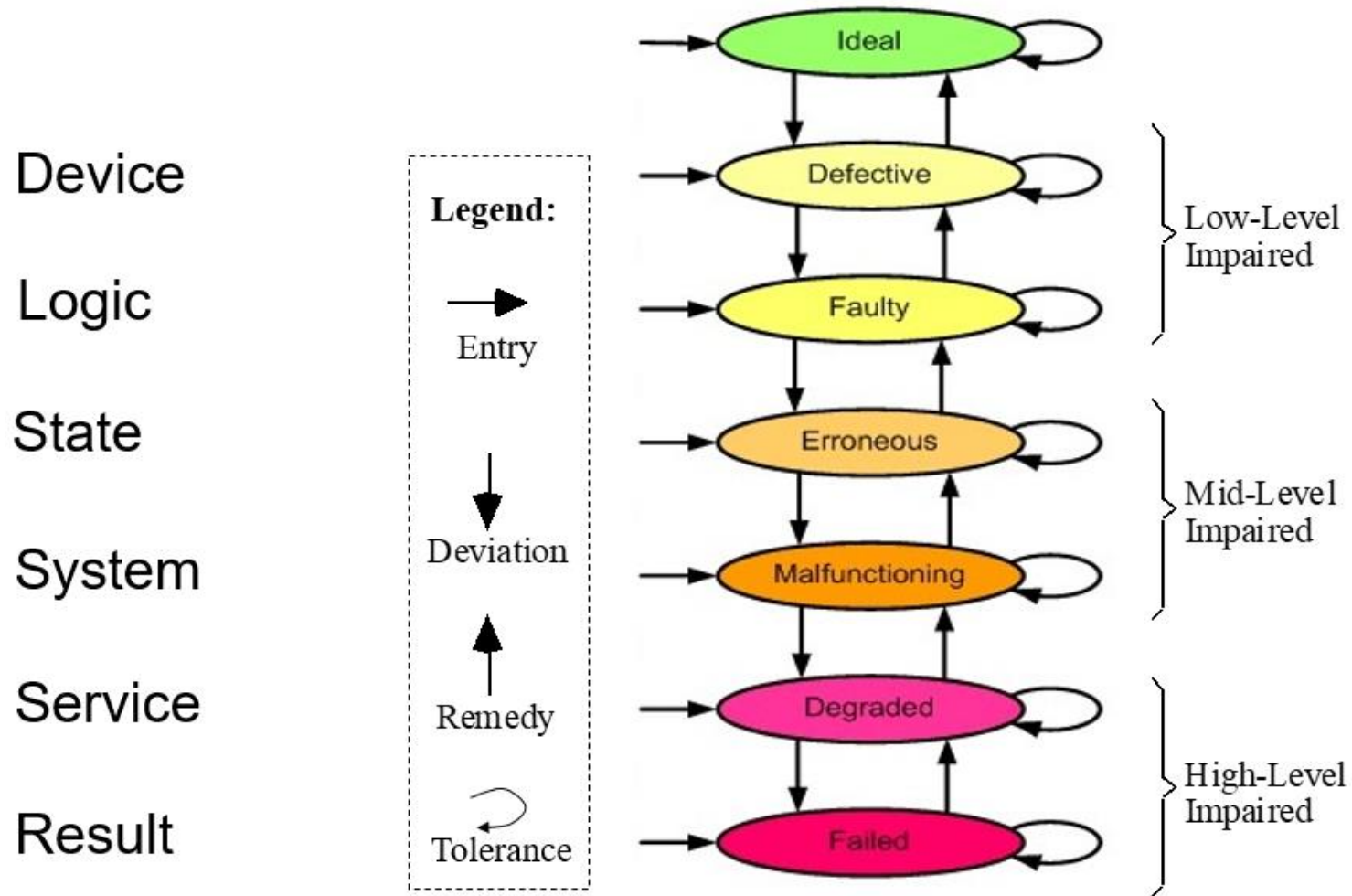
Fault-Error-Failure Cycle



Fault-Error-Failure Cycle



Μοντέλο πολλαπλών επιπέδων



Δοκιμή συστημάτων

Ο ρόλος της δοκιμής (1/2)

- Η **δοκιμή (test)** ενός συστήματος είναι ένα πείραμα στο οποίο το σύστημα εξετάζεται και η απόκριση του αναλύεται για να εξακριβωθεί εάν συμπεριφέρεται σωστά.
- Εάν διαπιστωθεί λανθασμένη συμπεριφορά, ο δεύτερος στόχος του πειράματος δοκιμής μπορεί να είναι η διάγνωση, δηλαδή ο εντοπισμός της αιτίας της λανθασμένης συμπεριφοράς.
- Η **διάγνωση (diagnosis)** ενός συστήματος θεωρεί γνωστή τη εσωτερική δομή του συστήματος που εξετάζεται.
- Η ορθότητα και αποτελεσματικότητα της δοκιμής είναι πολύ σημαντική για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας

Ο ρόλος της δοκιμής (2/2)

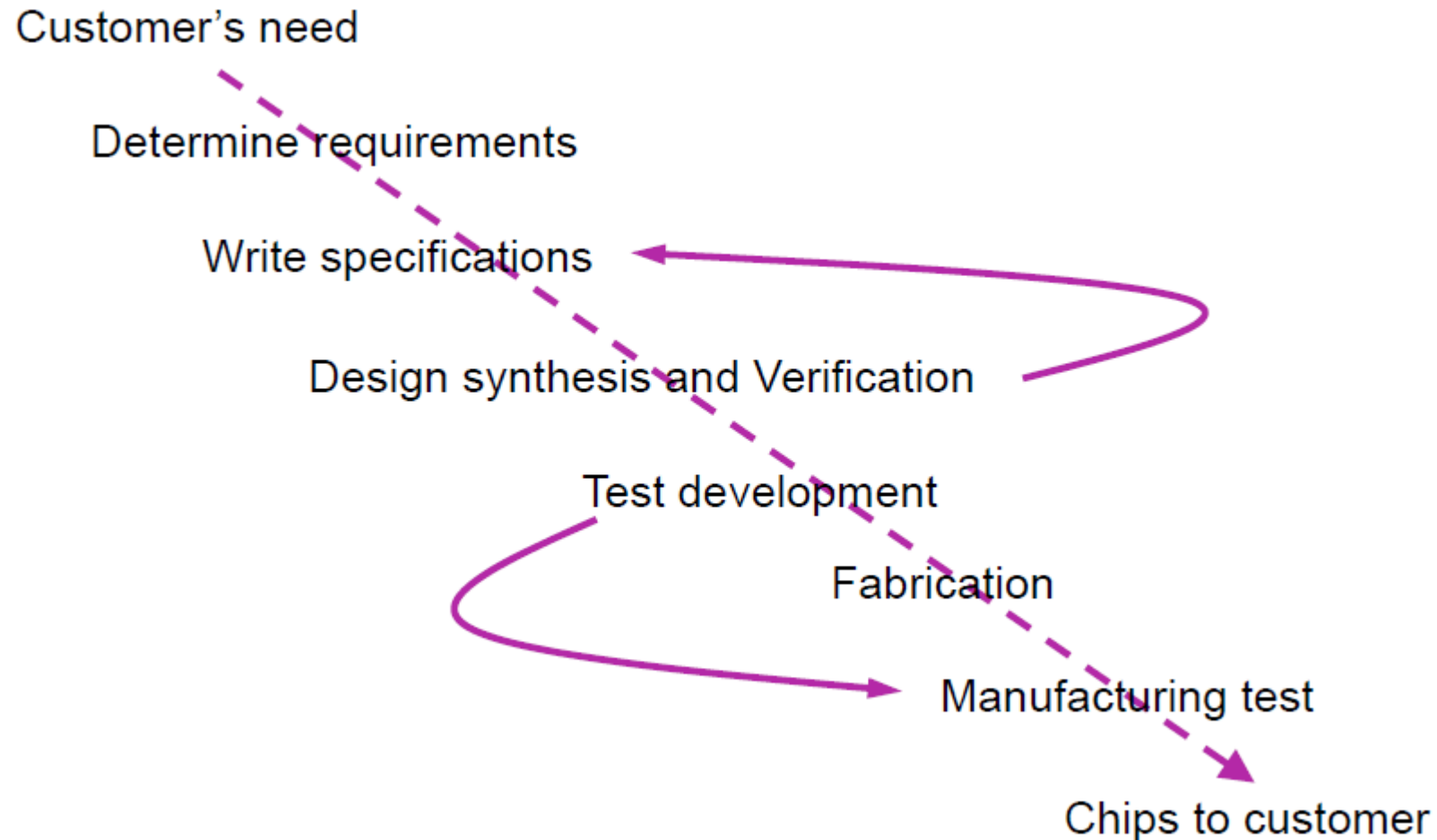
- Αν σχεδιάσουμε ένα προϊόν, το κατασκευάσουμε, το δοκιμάσουμε και η δοκιμή του αποτύχει (δηλαδή το σύστημα αποδειχθεί ότι δεν συμπεριφέρεται σωστά), τότε η αποτυχία μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες
 - Η δοκιμή έγινε εσφαλμένα
 - Η διαδικασία κατασκευής εμπειρείχε σφάλματα
 - Ο σχεδιασμός του προϊόντος ήταν λανθασμένος
 - Οι προδιαγραφές του προϊόντος ήταν προβληματικές

Η δοκιμή στοχεύει να ανιχνεύσει αν κάτι πήγε λάθος και η διάγνωση να καθορίσει τι πήγε λάθος

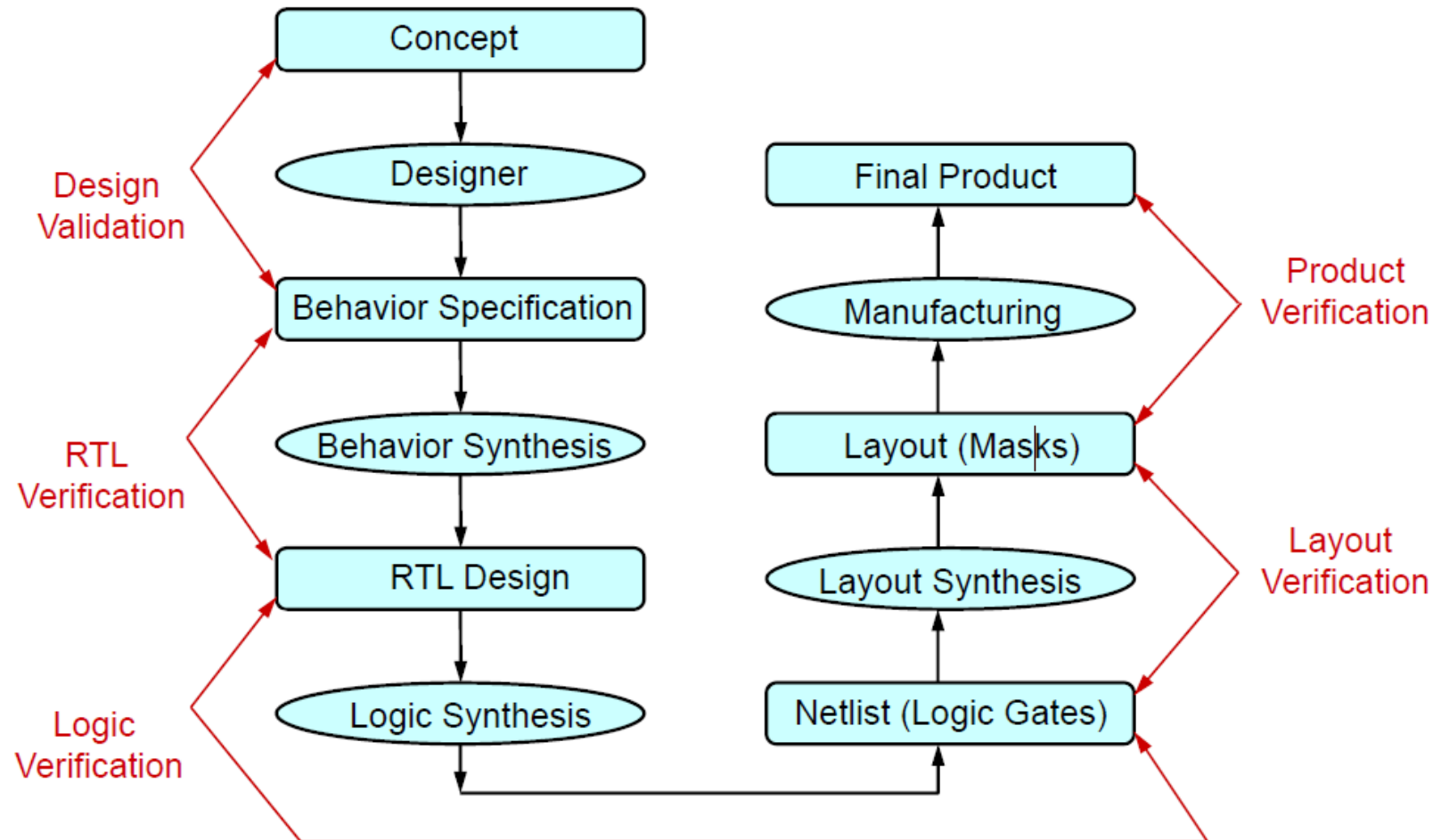
Επιβεβαίωση και δοκιμή

- **Επιβεβαίωση**
 - Επιβεβαιώνει την ορθότητα ενός σχεδιασμού
 - Πραγματοποιείται μέσω προσομοίωσης (simulation), εξομοίωσης υλικού (hardware emulation) ή χρήσης άλλων μεθόδων
 - Πραγματοποιείται μια φορά πριν την φάση της κατασκευής
 - Υπεύθυνη για την εξασφάλιση της ποιότητας του σχεδιασμού
- **Δοκιμή**
 - Ελέγχει την ορθή λειτουργία του συστήματος
 - Περιλαμβάνει δύο επιμέρους διεργασίες
 - Παραγωγή δοκιμής (test generation)
 - Εφαρμογή δοκιμής (test application)
 - Υπεύθυνη για την εξασφάλιση της ποιότητας του σχεδιασμού

Διαδικασία παραγωγής VLSI

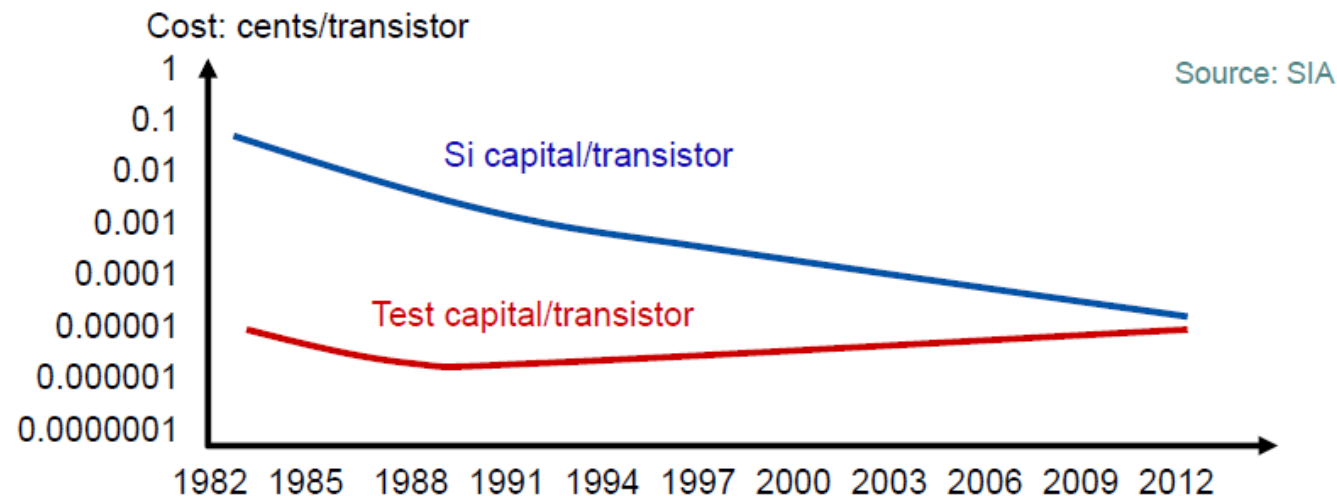


Κύκλος VLSI σχεδιασμού



Δοκιμή VLSI ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Δύο είναι οι παράγοντες που αλλάζουν το τρόπο της δοκιμής VLSI ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
 - Το κόστος της δοκιμής δεν είναι κλιμακώσιμο
 - Η προσπάθεια που απαιτείται για την δημιουργία του test έχει αυξηθεί γεωμετρικά με την πολυπλοκότητα των προϊόντων



Δοκιμή VLSI ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού VLSI συστημάτων καθιστά απαραίτητο το γεγονός οι κατασκευαστές τους να έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν αν τα συστήματα είναι απαλλαγμένα από σχεδιαστικά και κατασκευαστικά λάθη κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής
- Ενώ σε χαμηλής πολυπλοκότητας συστήματα ο έλεγχος ορθής λειτουργίας είναι πολύ εύκολο να πραγματοποιηθεί, στα σύνθετα συστήματα απαιτείται ανάπτυξη ειδικών τεχνικών για τον έλεγχο σε όλα τα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής
- Ειδικά για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα η ανάπτυξη τεχνικών ελέγχου ορθού σχεδιασμού και κατασκευής, έχει καταστεί ένας αυτόνομος τομέας έρευνας
- Πάρα πολλές μέθοδοι και τεχνικές έχουν προταθεί και ενσωματωθεί σε όλα τα στάδια σχεδιασμού ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Δοκιμή VLSI ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Προκλήσεις δοκιμής
 - Συνδυαστικά κυκλώματα με πολύ μεγάλο αριθμό εισόδων
 - Ακολουθιακά κυκλώματα
 - Μεγάλος λόγος πλήθους πυλών προς πλήθος ακροδεκτών εισόδου/εξόδου
 - Απαίτηση ελέγχου ορθής λειτουργίας στη συχνότητα της κανονικής λειτουργίας
 - Έλεγχος ορθής λειτουργίας συστημάτων που σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας προσχεδιασμένες μονάδες και υλοποιούνται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλο
 - Απαιτήσεις για μικρούς χρόνους ανάπτυξης → Μικρό time to market

Εκτίμηση ελέγχου

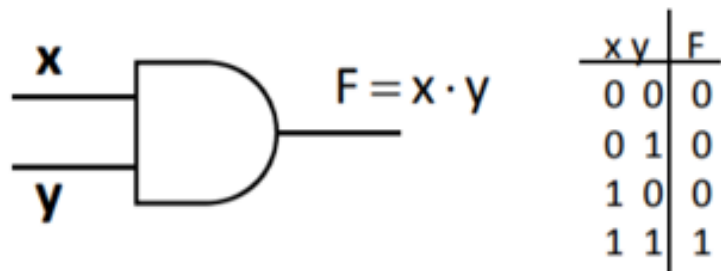
- Ένα σημαντικό πρόβλημα στη δοκιμή είναι η εκτίμηση ελέγχου, που αναφέρεται στο καθορισμό της αποτελεσματικότητας ή της ποιότητας ενός ελέγχου
- Η εκτίμηση ελέγχου συνήθως γίνεται με τη συναφή έκφραση ενός μοντέλου σφαλμάτων, και η ποιότητα ενός ελέγχου μετράτε με το λόγο μεταξύ του αριθμού των σφαλμάτων που ανιχνεύει και του συνολικού αριθμού των σφαλμάτων που θεωρείται ότι υπάρχουν στο υπό εξέταση κύκλωμα
- Αυτός ο λόγος αναφέρεται σαν κάλυψη σφαλμάτων (fault coverage)

Εκτίμηση ελέγχου

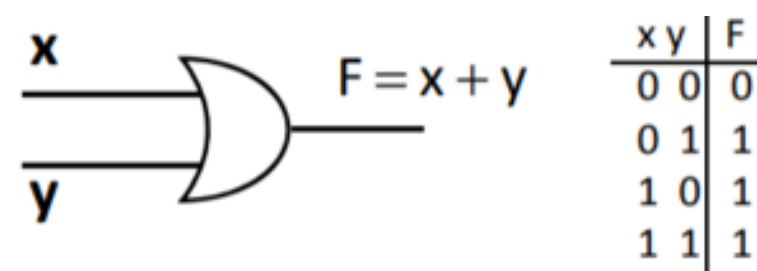
- Η εκτίμηση σφαλμάτων επιτυγχάνεται με ένα πείραμα εξομοιωμένης δοκιμής που καλείται εξομοίωση σφαλμάτων (fault simulation), που υπολογίζει την απόκριση του κυκλώματος με τη παρουσία σφαλμάτων
- Ένα σφάλμα ανιχνεύεται όταν η δοκιμή παράγει απόκριση διαφορετική από την αναμενόμενη απόκριση του κυκλώματος χωρίς σφάλματα

Εκτίμηση ελέγχου

- Πόσα μοναδικά σφάλματα μπορούν να εμφανιστούν στην παρακάτω πύλη AND;
- Το διάνυσμα ελέγχου $x=0$ και $y=0$ πόσα σφάλματα μπορεί να ανιχνεύσει στην έξοδο της πύλης;
- Ποια είναι η κάλυψη σφαλμάτων του παραπάνω διανύσματος ελέγχου;



- Πόσα μοναδικά σφάλματα μπορούν να εμφανιστούν στην παρακάτω πύλη OR;
- Το διάνυσμα ελέγχου $x=0$ και $y=0$ πόσα σφάλματα μπορεί να ανιχνεύσει στην έξοδο της πύλης;
- Ποια είναι η κάλυψη σφαλμάτων του παραπάνω διανύσματος ελέγχου;



Τύποι δοκιμής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά της μεθόδου ελέγχου	Ορολογία
Πότε εκτελείται η δοκιμή;	Συντρέχουσα (concurrent) με τη κανονική λειτουργία του συστήματος Σαν μία ξεχωριστή δραστηριότητα	Δοκιμή κατά την λειτουργία (on-line) Συντρέχουσα δοκιμή Δοκιμή εκτός λειτουργίας (off-line)
Που βρίσκεται η πηγή της διέγερσης (stimuli);	Μέσα στο σύστημα Εφαρμόζεται από μια εξωτερική συσκευή (ελεγκτής)	Αυτοδοκιμή Εξωτερική δοκιμή

Τύποι δοκιμής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά της μεθόδου ελέγχου	Ορολογία
Τι ελέγχουμε;	Σχεδιαστικά λάθη Κατασκευαστικά λάθη Κατασκευαστικές ανωμαλίες Φυσικές βλάβες	Δοκιμή επιβεβαίωσης σχεδιασμού Δοκιμή αποδοχής Burn-in δοκιμή Δοκιμή πεδίου-δοκιμών Δοκιμή συντήρησης
Ποιο είναι το φυσικό αντικείμενο που ελέγχεται;	Ολοκληρωμένο κύκλωμα Πλακέτα Σύστημα	Δοκιμή επιπέδου-στοιχείων Δοκιμή επιπέδου-πλακέτας Δοκιμή επιπέδου-συστήματος

Τύποι δοκιμής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά της μεθόδου ελέγχου	Ορολογία
Πώς παράγονται η διέγερση και/ή αναμενόμενη απόκριση;	Ανάκτηση από τη μνήμη Παραγόμενη κατά την δοκιμή	Δοκιμή αποθηκευμένων-προτύπων Συγκριτική δοκιμή
Πως εφαρμόζεται η διέγερση;	Με μία σταθερή (προκαθορισμένη) σειρά Εξαρτώμενη από τα προκύπτοντα αποτελέσματα	Προσαρμοζόμενη δοκιμή

Τύποι δοκιμής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά της μεθόδου ελέγχου	Ορολογία
Πόσο γρήγορα εφαρμόζεται η διέγερση;	Πολύ πιο αργή από τη ταχύτητα της κανονικής λειτουργίας Στη ταχύτητα της κανονικής λειτουργίας	DC (στατική) δοκιμή AC δοκιμή Δοκιμή at-speed
Ποια είναι τα παρατηρούμενα αποτελέσματα;	Όλα τα πρότυπα εξόδου Μία συνάρτηση των προτύπων εξόδου	Συμπαγής δοκιμή

Τύποι δοκιμής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά της μεθόδου ελέγχου	Ορολογία
Ποιες γραμμές είναι προσπελάσιμες για δοκιμή;	Μόνο οι γραμμές εισόδου/εξόδου Γραμμές εισόδου/εξόδου και εσωτερικές	Δοκιμή ακροδεκτών Δοκιμή guided-probe Δοκιμή in-circuit Εξομοίωση in-circuit
Ποιος ελέγχει τα αποτελέσματα;	Το σύστημα από μόνο του Μία εξωτερική συσκευή (ελεγκτής)	Αυτο-δοκιμή Αυτο-έλεγχος Εξωτερική δοκιμή

Διάγνωση και επιδιόρθωση

- Εάν το υπό έλεγχο σύστημα που έχει βρεθεί να συμπεριφέρεται λανθασμένα επιδιορθωθεί, η αιτία του παρατηρουμένου λάθους πρέπει να διαγνωστεί.
- Οι όροι διάγνωση και επιδιόρθωση εφαρμόζονται και οι δύο στα σφάλματα και στα λάθη σχεδίασης (για τα δεύτερα, “επιδιόρθωση” σημαίνει “επανασχεδίαση”).
- Εντούτοις, ενώ τα σφάλματα που οφείλονται σε ελαττώματα μπορεί να αναπαρασταθούν αποτελεσματικά με λογικά σφάλματα, στερούμεθα μία παρόμοια συσχέτιση για όλα τα σφάλματα σχεδίασης.
- Ως εκ τούτου θα περιορίσουμε τους εαυτούς μας στα λογικά σφάλματα.

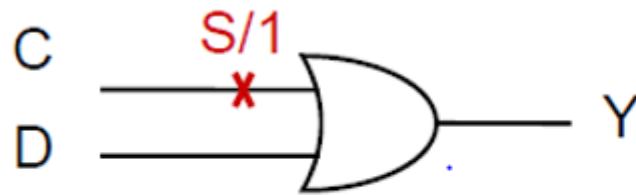
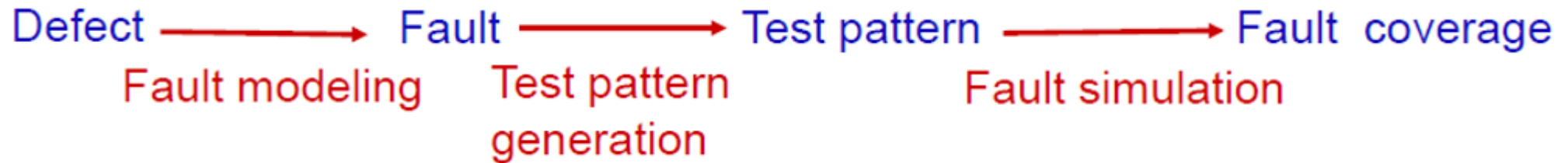
Ιδανικές και πραγματικές δοκιμές

- Ιδανικές δοκιμές
 - Ανακαλύπτουν όλα τα ελαττώματα στα παραγόμενα συστήματα
 - Εγκρίνουν όλα τα συστήματα που δεν έχουν ελαττώματα
 - Γίνονται δοκιμές για ένα πολύ μεγάλο αριθμό και ποικιλία ελαττωμάτων
 - Είναι δύσκολο να δημιουργηθούν δοκιμές για ορισμένα ελαττώματα
- Πραγματικές δοκιμές
 - Στηρίζονται σε μοντέλα σφαλμάτων
 - Δεν υπάρχει πλήρης κάλυψη των μοντελοποιημένων σφαλμάτων λόγω τη υψηλής πολυπλοκότητας
 - Ορισμένα chips χωρίς ελαττώματα μπορεί να απορριφθούν κατά το στάδιο της δοκιμής.
 - Ορισμένα chips με ελαττώματα μπορεί να περάσουν επιτυχώς το στάδιο της δοκιμής

Το πρόβλημα και η διαδικασία της δοκιμής

- Το πρόβλημα της δοκιμής
 - Με δεδομένο ένα σύνολο σφαλμάτων σε ένα κύκλωμα που τίθεται σε δοκιμή, πως μπορούμε να παράξουμε ένα συγκεκριμένο (μικρό) αριθμό από πρότυπα ελέγχου τα οποία εξασφαλίζουν μία συγκεκριμένη (υψηλή) κάλυψη σφαλμάτων;
- Διαδικασία δοκιμής
 - Ποια σφάλματα θα δοκιμαστούν; (fault modeling)
 - Πως προκύπτουν τα πρότυπα δοκιμής; (test pattern generation)
 - Πως μετριέται η ποιότητα της δοκιμής; (fault simulation)
 - Πως εφαρμόζονται τα διανύσματα δοκιμής και αξιολογούνται τα αποτελέσματα; (Automatic Test Equipment/Built-in self-test)

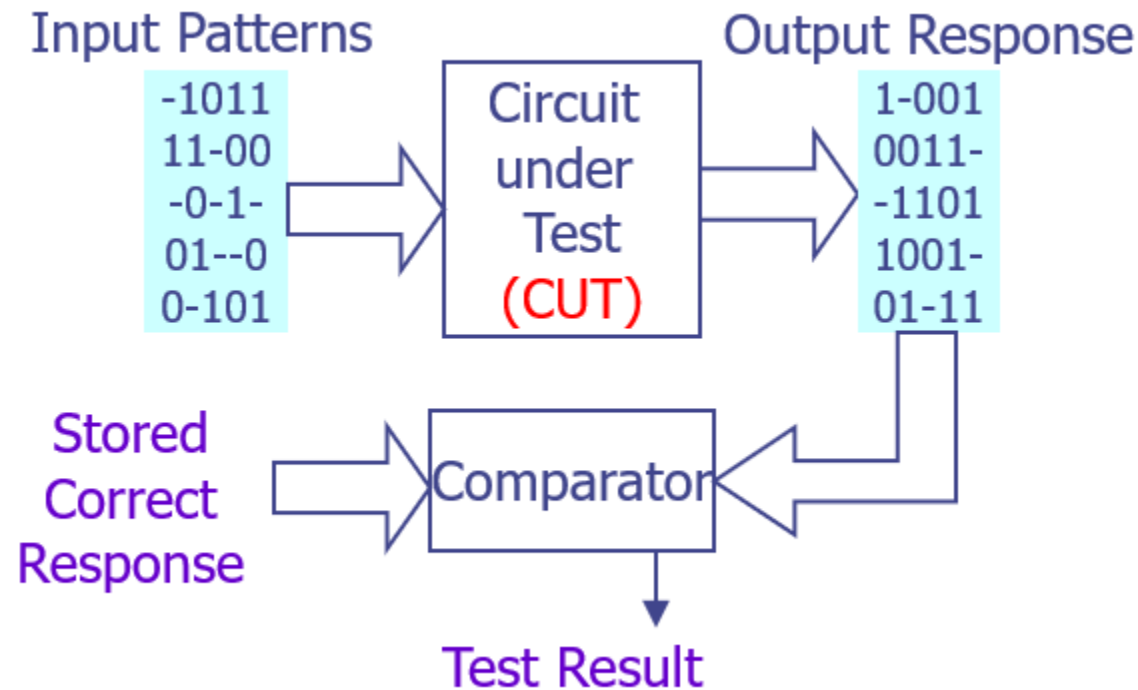
Το πρόβλημα της δοκιμής



C	D	Y	Y(C is S/1)
0	0	0	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	1	1

- Το πρότυπο δοκιμής C=0, D=0 μπορεί να ανιχνεύσει το σφάλμα;
- Το πρότυπο δοκιμής C=0, D=1 μπορεί να ανιχνεύσει το σφάλμα;

Η διαδικασία δοκιμής



Τα πρότυπα εισόδου που δίνονται ως είσοδοι στο υπό εξέταση κύκλωμα ονομάζονται διανύσματα δοκιμής (test patterns ή test vectors) και αποτελούν διατεταγμένες n-άδες από bits.

Σφάλματα και δοκιμή

- Σφάλματα σε ολοκληρωμένα κυκλώματα
 - Αν ένα σφάλμα μπορεί να ανιχνευθεί με την εφαρμογή ενός διανύσματος δοκιμής στις εισόδους του ολοκληρωμένου κυκλώματος, το σφάλμα ονομάζεται συνδυαστικό (combinational fault).
 - Αν για την ανίχνευση ενός σφάλματος απαιτείται η εφαρμογή μιας ακολουθίας διανυσμάτων δοκιμής στις εισόδους του υπό έλεγχο κυκλώματος, το σφάλμα ονομάζεται ακολουθιακό (sequential fault).

Μοντέλα σφαλμάτων (1/3)

- Είναι προφανές ότι τα διανύσματα δοκιμής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη φύση των ελαττωμάτων του κυκλώματος ώστε να μπορούν να τα ανιχνεύουν αποδοτικά.
- Πρέπει λοιπόν να αναπαρασταθεί με κάποιο τρόπο η επίδραση ενός ελαττώματος στη συμπεριφορά του κυκλώματος ώστε να εξαγονται διανύσματα που ανιχνεύουν τα υπό μελέτη ελαττώματα.
- Η αναπαράσταση αυτή γίνεται με τη χρήση των μοντέλων σφαλμάτων που θα μελετηθούν αναλυτικά στην επόμενη διάλεξη
- Χρησιμοποιούνται διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης
 - Λειτουργικό επίπεδο (Board, Chip)
 - Επίπεδο συμπεριφοράς (Register Transfer Level)
 - Λογικό επίπεδο
 - Επίπεδο switch
 - Επίπεδο τρανζίστορ

Μοντέλα σφαλμάτων (2/3)

- Η αποτελεσματικότητα ενός μοντέλου σφαλμάτων καθορίζεται από:
 - Την αποτελεσματικότητα των προτύπων δοκιμής που δημιουργούνται για την ανίχνευση των ελαττωματικών τμημάτων ενός κυκλώματος
 - Την ακρίβεια με την οποία αναπαρίστανται τα αποτελέσματα του σφάλματος.
 - Την επεκτασιμότητα της πολυπλοκότητας του μοντέλου σε συνάρτηση με το αυξανόμενο μέγεθος των VLSI κυκλωμάτων.
 - Την χρησιμότητά του στον εντοπισμό της θέσης ενός ελαττώματος σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Μοντέλα σφαλμάτων (3/3)

Μοντέλο σφάλματος	Περιγραφή
Απλά σφάλματα μόνιμης τιμής (single stuck at faults)	Μία γραμμή λαμβάνει αδιάληπτα ως τιμή το λογικό '0' ή '1'
Πολλαπλά σφάλματα μόνιμης τιμής (multiple stuck at faults)	Δύο ή περισσότερες γραμμές λαμβάνουν αδιάληπτα ως τιμή το λογικό '0' ή '1' (όχι απαραίτητα την ίδια)
Σφάλματα γεφύρωσης (bridging faults)	Δύο ή περισσότερες γραμμές που θα έπρεπε να είναι ανεξάρτητες συνδέονται μεταξύ τους
Σφάλματα ανοιχτού τρανζίστορ (stuck open faults)	Ένα τρανζίστορ δεν άγει ποτέ με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται ως στοιχείο μνήμης
Σφάλματα μόνιμα άγοντος τρανζίστορ (stuck on faults)	Ένα τρανζίστορ άγει μόνιμα
Σφάλματα καθυστέρησης διάδοσης (delay faults)	Καθυστέρηση διάδοσης του σήματος σε ένα ή περισσότερα μονοπάτια του κυκλώματος
Διαλείποντα σφάλματα (intermittent faults)	Προκαλούνται από εσωτερική φθορά του κυκλώματος. Η φθορά είναι προοδευτική μέχρι την μόνιμη βλάβη του κυκλώματος.
Παροδικά σφάλματα (transient faults)	Λάθος αποκρίσεις από εξωγενείς παράγοντες όπως θόρυβος και διακύμανση στην τροφοδοσία.

Πηγές

- Behrooz Parhami, “Dependable Computing”.
- Fay Talan, “VLSI Test Principles and Architectures”.

Ερωτήσεις

