

**Ειδικά Θέματα Ελέγχου Ορθής Λειτουργίας VLSI Συστημάτων - Σχεδιασμός για Εύκολο Έλεγχο**

Εξετάσεις ΟΣΥΛ & ΕΤΥ 4-7-2016

**Ειδικά Θέματα Σχεδίασης Ψηφιακών Συστημάτων**

Εξετάσεις μαθήματος επιλογής Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής  
4-7-2016

**Θέμα 1. (0,5 μον.)** Η χρήση της σχέσης κυριαρχίας μεταξύ των σφαλμάτων στην εξαγωγή διανυσμάτων δοκιμή ενός κυκλώματος που έχει πλεονασμό μπορεί να οδηγήσει:

- A. στο χαρακτηρισμό κάποιων ανιχνεύσιμων σφαλμάτων ως μη ανιχνεύσιμων
- B. σε αύξηση του συνόλου δοκιμής του κυκλώματος
- Γ. σε μείωση του πλήθους των διανυσμάτων δοκιμής που ανιχνεύουν όλα τα σφάλματα του κυκλώματος
- Δ. σε μείωση του χρόνου εξαγωγής του συνόλου δοκιμής.

**Απάντηση**

Σωστή απάντηση το: A

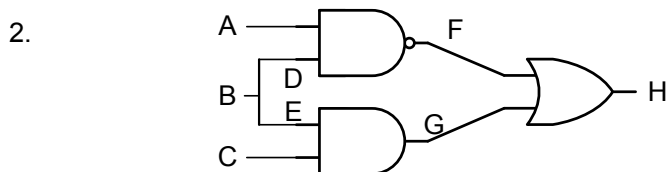
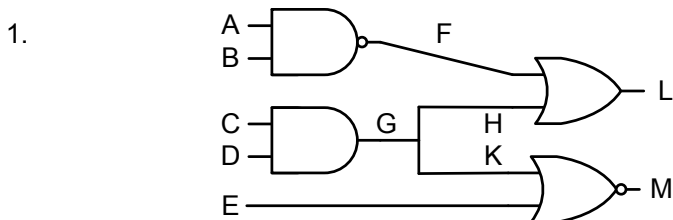
**Θέμα 2. (0,5 μον.)** Χρησιμοποιώντας την τεχνική των παράλληλων μονοπατιών ολίσθησης αντί του ενός μονοπατιού ολίσθησης επιτυγχάνουμε:

- A. μείωση του χρόνου εξαγωγής των διανυσμάτων δοκιμής
- B. μείωση του μεγέθους του συνόλου δοκιμής
- Γ. μείωση του χρόνου εφαρμογής των διανυσμάτων δοκιμής, δηλαδή μείωση του χρόνου που διαρκεί ο έλεγχος ορθής λειτουργίας
- Δ. αύξηση του ποσοστού των σφαλμάτων που ανιχνεύονται.
- E. μείωση του ποσοστού των σφαλμάτων που ανιχνεύονται.

**Απάντηση**

Σωστή απάντηση το: Γ

**Θέμα 3. (0,5 μον.)** Σε ποια/ες από τις περιπτώσεις που ακολουθούν ένα σύνολο διανυσμάτων δοκιμής το οποίο ανιχνεύει τα απλά σφάλματα μόνιμης τιμής σε οποιαδήποτε από τις κύριες εισόδους του κυκλώματος θα ανιχνεύει και οποιοδήποτε απλό σφάλμα μόνιμης τιμής σε ένα οποιοδήποτε κόμβο του κυκλώματος;



**Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.**

**Απάντηση**

Σωστή απάντηση το: 1

Αιτιολόγηση.

Το κύκλωμα του σχήματος 1 αποτελείται από 2 κυκλώματα με δομή δένδρου, το κύκλωμα με εισόδους A, B, C, D και έξοδο L, και το κύκλωμα με εισόδους C, D, E και έξοδο M.

Ένα κύκλωμα με δομή δένδρου δεν έχει κόμβους διακλάδωσης, επομένως οποιοδήποτε σύνολο δοκιμής ανιχνεύει τα απλά σφάλματα μόνιμης τιμής στις εισόδους του κυκλώματος, ανιχνεύει επίσης οποιοδήποτε σφάλμα απλής μόνιμης τιμής σε οποιοδήποτε κόμβο του κυκλώματος.

**Θέμα 4. (0,5 μον.)** Τα μη ανιχνεύσιμα σφάλματα λόγω πλεονασμού:

A. έχουν ως συνέπεια την αύξηση του χρόνου εξαγωγής του συνόλου δοκιμής του κυκλώματος

B. δεν επηρεάζουν το χρόνο εξαγωγής του συνόλου δοκιμής του κυκλώματος

Γ. οδηγούν σε μείωση του χρόνου εξαγωγής του συνόλου δοκιμής του κυκλώματος

**Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.**

**Απάντηση**

Σωστή απάντηση το: A

Αιτιολόγηση.

Όταν χρησιμοποιούμε ντετερμινιστικό αλγόριθμο εξαγωγής των διανυσμάτων δοκιμής του κυκλώματος, για να αποφασίσουμε ότι ένα σφάλμα δεν ανιχνεύεται θα πρέπει να ψάξουμε όλο το χώρο των λύσεων, επομένως ο χρόνος εξαγωγής του συνόλου δοκιμής αυξάνεται.

Εάν χρησιμοποιούμε ψευδοτυχαίο τρόπο εξαγωγής των διανυσμάτων δοκιμής θα πρέπει να κάνουμε εξομοίωση για όλα τα δυνατά διανύσματα εισόδου του κυκλώματος.

**Θέμα 5. (0,5 μον.)** Ο Iddq έλεγχος ορθής λειτουργίας μπορεί να εφαρμοσθεί σε:

A. NMOS τεχνολογία;

B. CMOS τεχνολογία;

Γ. σε TTL τεχνολογία;

Δ. σε οποιαδήποτε τεχνολογία;

**Δικαιολογείστε την απάντησή σας.**

**Απάντηση**

Σωστή απάντηση το: B

Αιτιολόγηση.

Μόνο στη CMOS τεχνολογία ρεύμα από την τροφοδοσία προς τη γη τρέχει μόνο κατά τη μετάβαση μιας πύλης από μία κατάσταση σε άλλη και όταν μία πύλη είναι σε σταθερή κατάσταση έχουμε μόνο ρεύματα διαρροής. Σ' αυτό το χαρακτηριστικό βασίζεται ο Iddq έλεγχος ορθής λειτουργίας ενός κυκλώματος.

**Θέμα 6. (0,5 μον.)** Να αναφέρετε τις αιτίες από τις οποίες πηγάζουν οι δυσκολίες ελέγχου της ορθής λειτουργίας των μονάδων (cores) ενός συστήματος που υλοποιείται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.

**Απάντηση**

Οι μονάδες είναι εμφωλευμένες, υλοποιούνται με διαφορετικές τεχνολογίες,

χρησιμοποιούνται προσχεδιασμένες μονάδες προερχόμενες από διαφορετικούς προμηθευτές, λόγω προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας δεν γνωρίζουμε την δομή τους, εσωτερικές συχνότητες λειτουργίας μεγαλύτερες από τις συχνότητες εισόδου/ εξόδου του ολοκληρωμένου κυκλώματος, η κατανάλωση ισχύος κατά τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του συστήματος δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια όρια, ο χρόνος ελέγχου της ορθής λειτουργίας του συστήματος πρέπει να μην είναι απαγορευτικός, αυτοματοποίηση της διαδικασίας σχεδίασης για εύκολο έλεγχο ορθής λειτουργίας.

**Θέμα 7. (0,5 μον.)** Τι είναι το “aliasing”;

**Απάντηση**

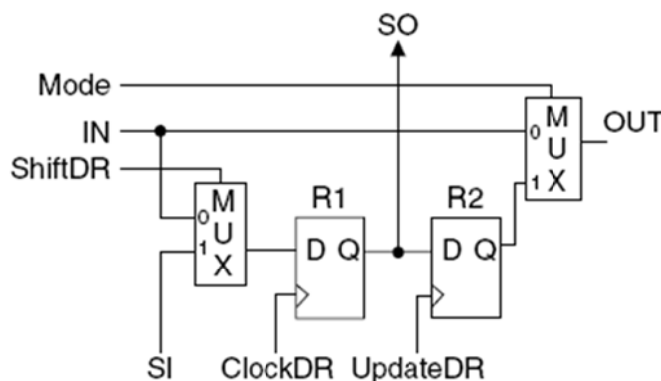
Ο λογικός έλεγχος ορθής λειτουργίας βασίζεται στην σύγκριση της απόκρισης του υπό έλεγχο κυκλώματος με την αναμενόμενη απόκριση. Επειδή η απόκριση αποτελείται από πολλά δυαδικά ψηφία, για να μειώσουμε τον όγκο της αποθηκευμένης πληροφορίας, στην περίπτωση BIST, και το χρόνο μεταφοράς της απόκρισης στην ATE, στην περίπτωση που ο έλεγχος βασίζεται σε χρήση εξωτερικής συσκευής, συμπιέζουμε την απόκριση του υπό έλεγχο κυκλώματος (αυτό που παίρνουμε λέγεται υπογραφή) και τη συγκρίνουμε με την υπογραφή της αναμενόμενης απόκρισης. Επειδή κατά τη συμπίεση χάνεται πληροφορία είναι δυνατόν η υπογραφή μιας απόκρισης που είναι διαφορετική της αναμενόμενης να είναι ίδια με την υπογραφή της αναμενόμενης απόκρισης. Αυτό ονομάζεται aliasing και όταν συμβαίνει οδηγεί σε μείωση των σφαλμάτων που ανιχνεύονται όταν η ανίχνευση βασίζεται στη σύγκριση της υπογραφής που παράγεται με την αναμενόμενη υπογραφή.

**Θέμα 8. (0,5 μον.)** Να αναφέρετε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το μέγιστο μήκος της ακολουθίας που μπορεί να γεννηθεί από ένα ολισθητή γραμμικής ανάδρασης.

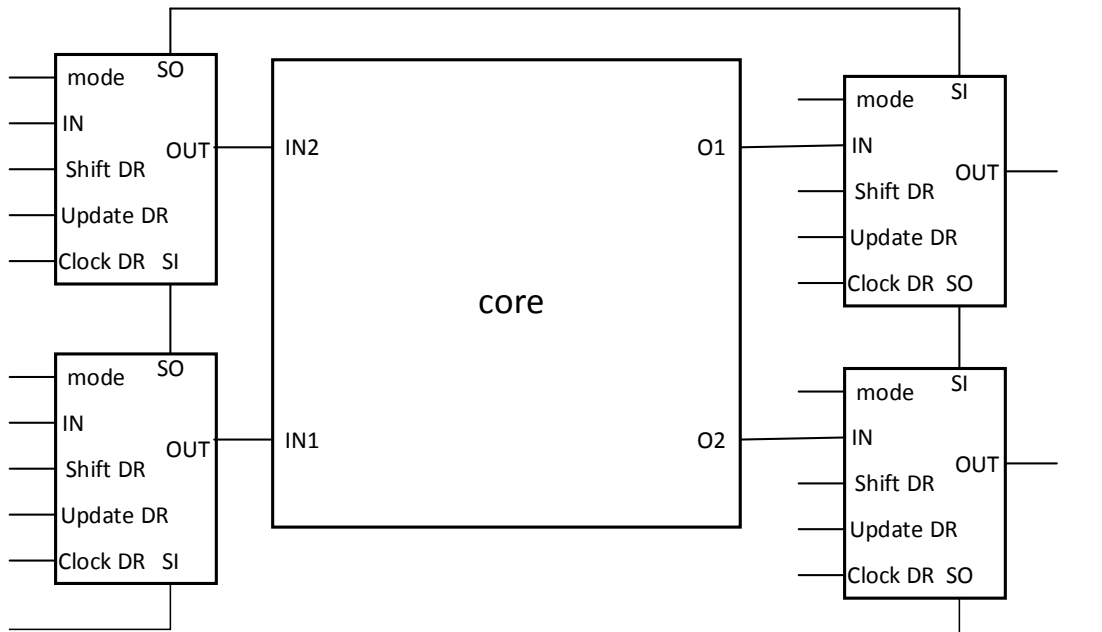
**Απάντηση**

Το μέγιστο μήκος της ακολουθίας που μπορεί να γεννηθεί από ένα ολισθητή γραμμικής ανάδρασης εξαρτάται από το χαρακτηριστικό του πολυώνυμο δηλαδή από το μήκος του (το πλήθος των βαθμίδων του) και τις θέσεις των αναδράσεων. Εάν το χαρακτηριστικό πολυώνυμο είναι ανάγωγο τότε το μήκος της παραγόμενης ακολουθίας εξαρτάται και από την αρχική του κατάσταση.

**Θέμα 9. (1,5 μον.)** Στο επόμενο σχήμα δίνεται η δομή ενός τυπικού στοιχείου ολίσθησης. Να τοποθετήσετε τέτοια στοιχεία στις εισόδους και εξόδους ενός core με 2 εισόδους και 2 εξόδους ώστε να σχηματιστεί ένας περιφερειακός καταχωρητής και να περιγράψετε όλες τις δυνατές λειτουργίες του.



## Απάντηση



## Σχήμα

Οι εισοδοί mode οδηγούνται από το ίδιο σήμα, οι εισοδοί Shift DR ομοίως, οι εισοδοί Update DR ομοίως και οι εισοδοί clock DR ομοίως.

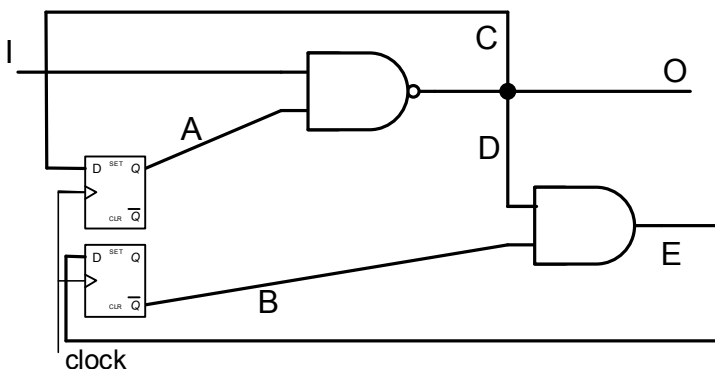
Οι δυνατές λειτουργίες του περιφερειακού καταχωρητή περιγράφονται στις σημειώσεις του μαθήματος.

## Θέμα 10. (3 μον.)

α. Να εξάγετε ένα σύνολο διανυσμάτων δοκιμής για την ανίχνευση των απλών σφαλμάτων μόνιμης τιμής (stuck at fault) του επόμενου κυκλώματος.

β. Να περιγράψετε βήμα προς βήμα την διαδικασία ελέγχου της ορθής λειτουργίας του κυκλώματος χρησιμοποιώντας ένα από τα διανύσματα δοκιμής που εξάγατε.

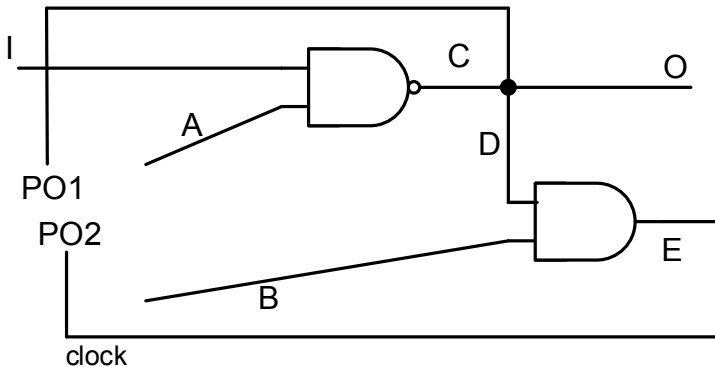
γ. Να υπολογίσετε τον αριθμό των κύκλων ρολογιού που απαιτούνται για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας όλου του κυκλώματος.



### Απάντηση

Ο έλεγχος ορθής λειτουργίας θα βασιστεί στη χρήση μονοπατιών ολίσθησης (scan paths).

**α.** Για να εξάγουμε το σύνολο δοκιμής των απλών σφαλμάτων μόνιμης τιμής του συνδυαστικού τμήματος του κυκλώματος θα θεωρήσουμε τις εξόδους των φλιπ-φλοπ ως ψευδοεισόδους του συνδυαστικού κυκλώματος και τις εισόδους των φλιπ-φλοπ ως ψευδοεξόδους του συνδυαστικού κυκλώματος. Το κύκλωμα αυτό δίνεται στο επόμενο σχήμα (scan effective circuit), στο οποίο A και B είναι οι ψευδο-εισόδους του συνδυαστικού κυκλώματος και PO1 και PO2 είναι οι ψευδο-εξόδους του συνδυαστικού κυκλώματος. Επομένως το συνδυαστικό κύκλωμα έχει τις εισόδους I, A και B και εξόδους τις O, PO1 και PO2.



Σχήμα A.

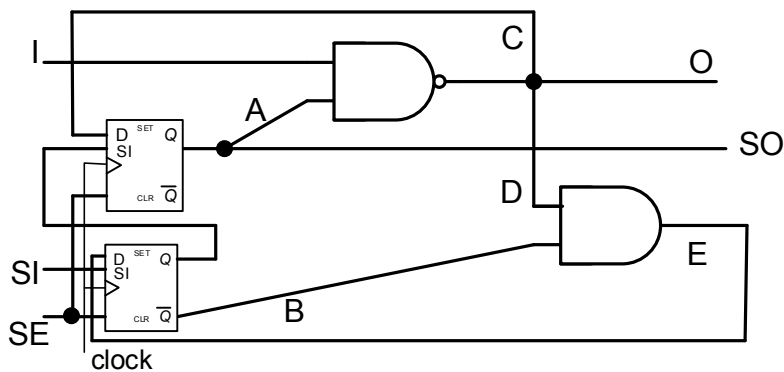
Το σύνολο δοκιμής μίας πύλης NAND ή AND δύο εισόδων είναι (11, 10, 01). Επομένως στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι τιμές με τις οποίες πρέπει να οδηγηθούν τα I, A και B ώστε κάθε μία από τις πύλες να πάρει τα διανύσματα του συνόλου δοκιμής της.

I	A	D	B	ή	B
1	1	0	1		1
1	0	1	0		1
0	1	1	1		0

Οπότε το σύνολο δοκιμής του συνδυαστικού κυκλώματος είναι  $IAB = (111, 100, 011)$  ή  $IAB = (111, 101, 010)$ . Πολύ εύκολα μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι οποιοδήποτε από τα δύο σύνολα δοκιμής ανιχνεύει όλα τα απλά σφάλματα μόνιμης τιμής του συνδυαστικού κυκλώματος.

Για να ελέγξουμε ότι κάθε φλιπ-φλοπ μπορεί να πάει από κάθε κατάσταση σε οποιαδήποτε κατάσταση θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την ακολουθία 0011001.

**β.** Τα φλιπ-φλοπ του αρχικού μας κυκλώματος αντικαθίστανται με multiplexed ή two port scan flip-flops. Χωρίς περιορισμό της γενικότητας στο σχήμα και στην περιγραφή μας θεωρούμε ότι χρησιμοποιήσαμε multiplexed scan flip-flops.



Θέτουμε την είσοδο SE στη λογική τιμή 1 και μέσω της εισόδου SI ολισθαίνουμε την ακολουθία 0011001 κατά μήκος του σειριακού μονοπατιού ενεργοποιώντας το σήμα χρονισμού (clock) για μία ακολουθία 7 χρονικών περιόδων. Εάν στην έξοδο SO πάρουμε την ακολουθία 11001 σημαίνει ότι κάθε φλιπ-φλοπ μπορεί να πάει από κάθε κατάσταση σε οποιαδήποτε κατάσταση.

Εφαρμογή του διανύσματος  $IAB = 111$ .

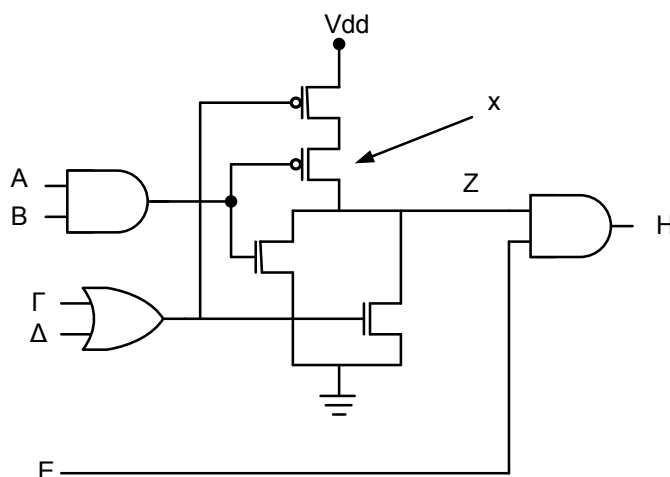
Θέτουμε  $SE=1$  και ολισθαίνουμε μέσω της SI τις λογικές τιμές 01 (στις ψευδοεισόδους B και A τις τιμές 1 και 1 επειδή το B οδηγείται από το Q'). Κατά τη δεύτερη ολίσθηση θέτουμε και την είσοδο I στη λογική τιμή 1. Θέτουμε  $SE=0$  και κατά τη μετάβαση του σήματος χρονισμού διαβάζουμε την τιμή της εξόδου O. Θέτουμε  $SE=1$  και κατά τις επόμενες 2 μεταβάσεις του σήματος χρονισμού από την έξοδο SO διαβάζουμε τις τιμές των C (PO1) και E (PO2) αντίστοιχα. Εάν η απόκριση είναι  $OCE=000$  τότε το διάνυσμα δοκιμής 111 δεν ανίχνευσε σφάλμα.

**β.** 7 κύκλοι ρολογιού για την ολίσθηση της ακολουθίας 0011001.

Για να εφαρμόσουμε τα 3 διανύσματα και να διαβάσουμε τις αποκρίσεις χρειαζόμαστε άλλους  $2+1+2+1+2+1+2=11$ . Άρα συνολικά 18 κύκλους ρολογιού.

**Θέμα 11. (1,5 μον.)** Να εξάγετε διανύσματα δοκιμής για την ανίχνευση των κάτωθι σφαλμάτων και να περιγράψετε σε τρεις γραμμές τη διαδικασία ελέγχου ορθής λειτουργίας.

- το τρανζίστορ x δεν άγει ποτέ
- το τρανζίστορ x άγει πάντα.



### Απάντηση

- Το τρανζίστορ x δεν άγει ποτέ.

Για να ανιχνεύσουμε αυτό το σφάλμα απαιτούνται δύο διανύσματα, το πρώτο θα πρέπει να πάει τον κόμβο Z στη λογική τιμή 0 και το δεύτερο αν το τρανζίστορ x δεν είχε σφάλμα θα πήγαινε το Z στη λογική τιμή 1, ενώ αν το τρανζίστορ x λόγω του σφάλματος δεν άγει η έξοδος Z θα παραμείνει στη λογική τιμή 0. Το πρώτο διάνυσμα είναι  $\Theta K=11$  και το δεύτερο το  $\Theta K=00$ .

Για να πάρουμε  $\Theta=1$  θα πρέπει  $AB=11$ , ενώ για να πάρουμε  $K=1$  θα πρέπει  $\Gamma\Delta=10$  ή  $01$  ή  $11$ . Για να περάσει η τιμή του Z στην έξοδο H θα πρέπει  $E=1$ . Επομένως το πρώτο διάνυσμα θα είναι ένα από τα διανύσματα  $AB\Gamma\Delta E=11101, 11011, 11111$ .

Για να πάρουμε  $\Theta=0$  θα πρέπει  $AB=00$  ή  $10$  ή  $01$ , για να πάρουμε  $K=0$  θα πρέπει  $\Gamma\Delta=00$ . Πάλι για να περάσει η τιμή του Z στην έξοδο H θα πρέπει  $E=1$ . Επομένως το δεύτερο διάνυσμα θα είναι ένα από τα διανύσματα  $AB\Gamma\Delta E=00001$  ή  $01001$  ή  $10001$ .

Διαδικασία ανίχνευσης του σφάλματος το rmos τρανζίστορ x δεν άγει ποτέ.

Εφαρμόζουμε το πρώτο διάνυσμα και ελέγχουμε ότι η έξοδος H πήγε στη λογική τιμή 0.

Εφαρμόζουμε το δεύτερο διάνυσμα και ελέγχουμε την τιμή της εξόδου H. Εάν πήγε στη λογική τιμή 1 τότε το rmos τρανζίστορ x άγει ενώ εάν η έξοδος H έμεινε στη λογική τιμή 0 το rmos τρανζίστορ x δεν άγει ποτέ.

β. Το τρανζίστορ x άγει πάντα.

Για να ανιχνεύσουμε το σφάλμα πρέπει να εφαρμόσουμε lddq έλεγχο.

Για  $\Theta K=10$  εάν το τρανζίστορ x δουλεύει κανονικά (δεν έχει το μελετούμενο σφάλμα) δεν υπάρχει αγώγιμος δρόμος από την τροφοδοσία προς τη γη.

Για  $\Theta K=10$  εάν το τρανζίστορ x άγει πάντα υπάρχει αγώγιμος δρόμος από την τροφοδοσία προς τη γη.

Για να πάρουμε  $\Theta=1$  θα πρέπει  $AB=11$ , ενώ για να πάρουμε  $K=0$  θα πρέπει  $\Gamma\Delta=00$ . Γι η τιμή του E δεν μας ενδιαφέρει μπορεί να είναι είτε η λογική τιμή 0 ή η λογική τιμή 1.

Επομένως πρέπει να οδηγήσουμε το κύκλωμα με το διάνυσμα  $AB\Gamma\Delta E=1100X$ , να περιμένουμε έως ότου σταθεροποιηθεί η τιμή εξόδου του κυκλώματος και να μετρήσουμε το ρεύμα που τρέχει από την τροφοδοσία. Εάν η τιμή του ρεύματος είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή κατωφλίου που μας δίνεται συμπεραίνουμε ότι τρανζίστορ x άγει πάντα.