

Ενότητα 5^η: Διακοπές.

Σκοπός Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να παρουσιάσει τις διακοπές στον υπολογιστή VAX και τον υπολογιστή MIPS και τις αιτίες που τις προκαλούν. Στην ενότητα αυτή θα δούμε πώς μπορούμε να μετατρέψουμε το αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων ώστε να μπορούν να ελεγχθούν οι διακοπές. Τέλος θα δούμε γιατί είναι δύσκολος ο έλεγχος για διακοπές.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα Όταν θα έχετε μελετήσει την ενότητα, θα είστε σε θέση να:



να ορίσετε τις διακοπές στον υπολογιστή VAX και τον υπολογιστή MIPS και να αναφέρετε που οφείλονται,



να δείξετε πως γίνεται ο έλεγχος των διακοπών,



να παρουσιάσετε τις δυσκολίες που προκύπτουν εξαιτίας των διακοπών,



να εξηγείτε τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζεται η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων για την ανίχνευση των διακοπών.



Διακοπές




Τι είναι οι διακοπές και που οφείλονται

Ο έλεγχος είναι το δύσκολο τμήμα σχεδιασμού ενός επεξεργαστή και οι διακοπές είναι το δύσκολο τμήμα του ελέγχου.

Οι **διακοπές** (interrupts) είναι αλλαγές στη ροή του ελέγχου που δεν προκαλούνται από το εκτελούμενο πρόγραμμα, αλλά από κάτι άλλο, συνήθως σχετικό με την είσοδο/έξοδο.



Παράδειγμα:

Ένα πρόγραμμα μπορεί να δώσει εντολή στο δίσκο να αρχίσει να μεταφέρει πληροφορίες, και να του ζητήσει να στείλει ένα σήμα διακοπής μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά. Η διακοπή σταματά το εκτελούμενο πρόγραμμα και μεταφέρει τον έλεγχο σε ένα χειριστή διακοπών, ο οποίος εκτελεί κάποια κατάλληλη ενέργεια. Όταν τελειώσει, ο χειριστής διακοπών επιστρέφει τον έλεγχο στο πρόγραμμα που διακόπηκε. Θα πρέπει να ξανακινήσει τη διεργασία που διακόπηκε από την από την ίδια ακριβώς κατάσταση που βρισκόταν όταν εμφανίστηκε η διακοπή, που σημαίνει ότι όλοι οι εσωτερικοί καταχωρητές πρέπει να επανέλθουν στην κατάσταση που ήταν πριν από τη διακοπή. 

Οι διακοπές μπορεί να οφείλονται σε έναν από τους παρακάτω λόγους:

- Αίτηση συσκευής I/O.
- Κλήση υπηρεσίας λειτουργικού συστήματος από το πρόγραμμα χρήστη (Invoking an operating system service from a user program).
- Breakpoint (αίτηση διακοπής από τον προγραμματιστή).
- Αριθμητική υπερχείλιση ή υποχείλιση.
- Σφάλμα σελίδας (όταν δεν υπάρχει στη κύρια μνήμη).
- Μη ευθυγραμμισμένη πρόσβαση στη μνήμη (εάν απαιτείται ευθυγραμμισμένη πρόσβαση).
- Παραβίαση της προστασίας μνήμης.
- Χρήση μη αναγνωρισμένης εντολής.
- Δυσλειτουργία υλικού.
- Πτώση ισχύος (Power failure).



Οι διακοπές επηρεάζουν τον κύκλο ρολογιού μιας μηχανής και την επίδοσή της.

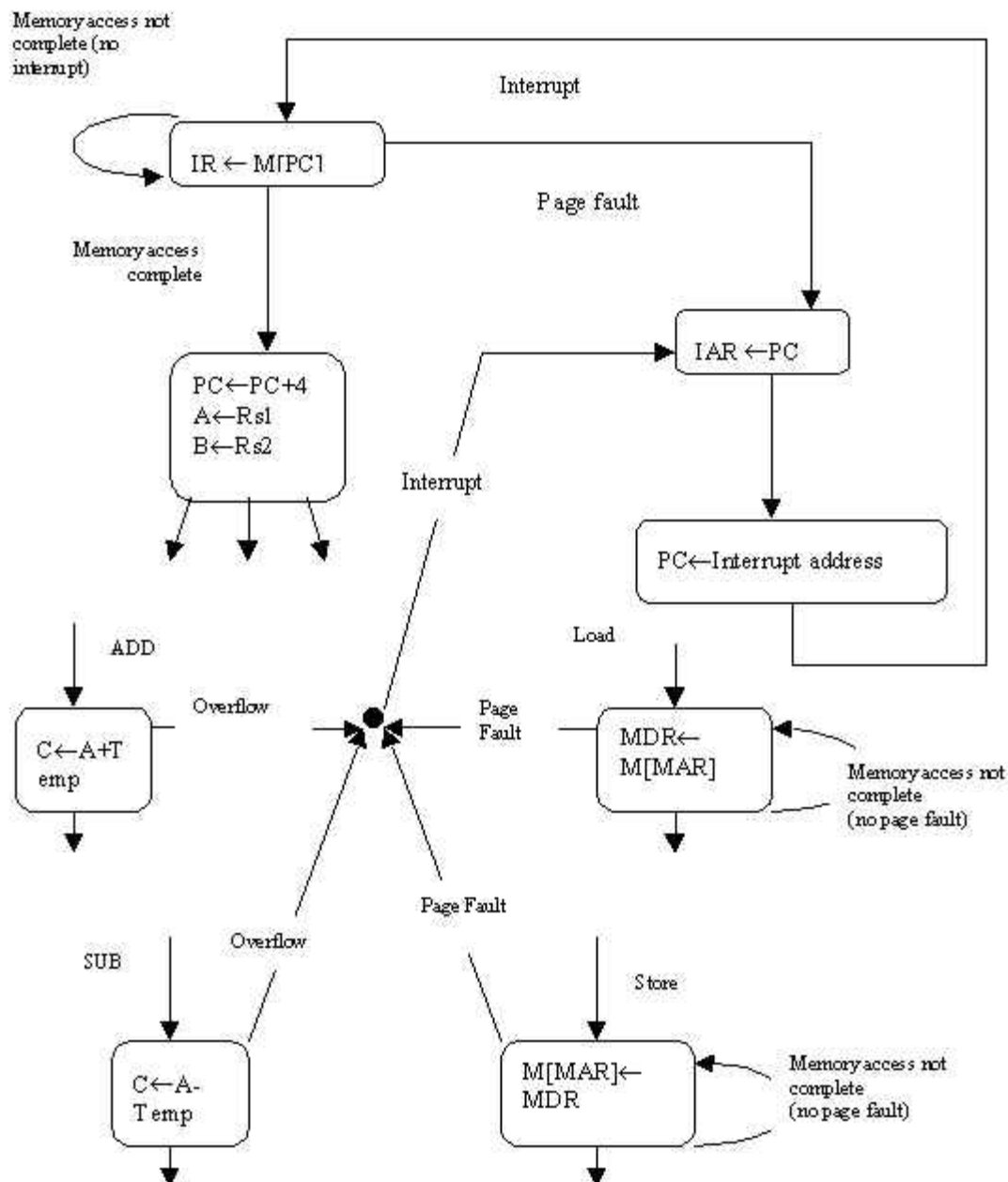


Διακοπές στον υπολογιστή VAX



Πως γίνεται ο έλεγχος διακοπών

Μπορούμε να μετατρέψουμε το αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων ώστε να κάνει έλεγχο για την περίπτωση που εμφανιστεί μια διακοπή. Διακοπές που εμφανίζονται μεταξύ δύο εντολών ελέγχονται είτε στην αρχή του διαγράμματος (πριν η εντολή αποκωδικοποιηθεί) είτε στο τέλος (αφού εκτελεστεί η εντολή). Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται το αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων, όταν υπάρχει έλεγχος για διακοπές.



Σχήμα 3.5.1 - Αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων για έλεγχο διακοπών. Όταν συμβεί μια διακοπή ο PC αποθηκεύεται στον IAR (interrupt return-address register) και στη συνέχεια ο PC παίρνει τη διεύθυνση της υπορουτίνας εξυπηρέτησης διακοπής ανάλογα με το είδος της διακοπής (page fault ή overflow) και εκτελείται η υπορουτίνα εξυπηρέτησης διακοπών. Παρατηρούμε ότι διακοπές μπορεί να προκύψουν είτε από σφάλμα σελίδας όταν υπάρχει προσπέλαση της μνήμης (σε εντολές φόρτωσης και αποθήκευσης) είτε από υπερχειλίση σε αριθμητικές πράξεις (αριθμητικές εντολές) (είτε από πολλούς άλλους λόγους. Αυτά είναι απλώς παραδείγματα).



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Να εξηγήσετε περιληπτικά τη διαδικασία εξυπηρέτησης μιας διακοπής όπως φαίνεται στο αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων του σχήματος 3.5.1; Να συγκρίνετε την απάντησή σας με τη λεζάντα του σχήματος



Ποια είναι η δυσκολία των διακοπών

Αν και οι διακοπές δεν είναι συχνές, ο υπολογιστής πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι σε θέση να αποθηκεύσει όλες τις καταστάσεις του, καθώς και κάποιες ενδείξεις του γεγονότος που προκάλεσε τη διακοπή. Επίσης, πρέπει να αποθηκεύσει το περιεχόμενο του PC, που είναι η διεύθυνση της εντολής που θα εκτελεστεί αμέσως μετά την εξυπηρέτηση της διακοπής.

Αυτή η δυσκολία μεγαλώνει εξαιτίας του γεγονότος ότι πολλές διακοπές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας εντολής και μάλιστα σε πολλές εντολές απαιτείται από το υλικό να επιστρέψει στην κατάσταση που βρισκόταν πριν εμφανιστεί η διακοπή.



Διακοπές σε υπολογιστή VAX.

Οι εντολές του VAX είναι μεταβλητού μήκους και μπορεί να αποτελούνται από πολλούς τελεστέους με πολλούς τρόπους διευθυνσιοδότησης για κάθε τελεστέο. Έτσι αν συμβεί μια διακοπή ενώ έχουν διαβαστεί οι περισσότεροι τελεστέοι αλλά δεν έχει ολοκληρωθεί το διάβασμα των τελεστέων, είναι εμφανής η δυσκολία. Για παράδειγμα είναι πιθανό να χρειαστεί να φορτωθεί ξανά μεγάλος αριθμός bytes της εντολής.

Οι εντολές οι οποίες είναι δύσκολο να ανακληθούν ξανά, είναι εκείνες που τροποποιούν μερικές καταστάσεις μηχανής πριν γίνει γνωστή η εμφάνιση διακοπής. Τέτοιες εντολές είναι οι εντολές αυτοαύξησης και αυτοελάττωσης του VAX. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα οι τελευταίες μηχανές VAX χρησιμοποιούν μια ουρά (history queue) που περιέχει τους προσδιοριστές καταχωρητών και τις λειτουργίες που επιτελούνται, ώστε στην περίπτωση διακοπών οι λειτουργίες να μπορέσουν να αναστραφούν.

Δεν είναι μόνο οι τρόποι διευθυνσιοδότησης που κάνουν έναν υπολογιστή VAX δύσκολο στην επανεκκίνηση. Για εντολές που απαιτούν πολύ χρόνο για να εκτελεστούν, ο έλεγχος για διακοπές πρέπει να γίνεται κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους. Για παράδειγμα η εντολή MOVC3 αντιγράφει περισσότερα από 2^{16} bytes και απαιτεί δεκάδες milliseconds για να τελειώσει (χρόνος πολύ μεγάλος για ένα γεγονός που επείγει). Από την άλλη αν μπορούσαμε να αναβάλουμε την εκτέλεση της εντολής, τότε εμφανίζεται διακοπή, τότε λόγω του ότι οι διακοπές εμφανίζονται συχνά σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εντολής, η εντολή θα επαναλαμβανόταν συνέχεια χωρίς να μπορεί να ολοκληρωθεί.



Διακοπές στον υπολογιστή MIPS

Η βασική λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί σε έναν υπολογιστή, όταν παρουσιάζεται μια διακοπή, είναι να κρατήσει τη διεύθυνση της εντολής στον απεριθμητή προγράμματος της διακοπής (EPC). Το λειτουργικό σύστημα μπορεί να σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και να αναφέρει τη διακοπή, ή να επέμβει στο πρόγραμμα χρησιμοποιώντας μια προκαθορισμένη λειτουργία. Μετά από την αναφορά της διακοπής και τη λειτουργία που εκτελείται ανάλογα με το είδος της διακοπής, το λειτουργικό σύστημα μπορεί να τερματίσει το πρόγραμμα ή να συνεχίσει την εκτέλεσή του. Στην περίπτωση που συνεχίσει την εκτέλεση του προγράμματος, θα χρησιμοποιήσει τον EPC για να καθορίσει το σημείο του προγράμματος από το οποίο θα συνεχίσει η εκτέλεση.



Το λειτουργικό σύστημα πρέπει να γνωρίζει την αιτία της διακοπής, εκτός από την εντολή η οποία την προκάλεσε. Για να βρεθεί η αιτία που προκάλεσε τη διακοπή, ο υπολογιστής MIPS χρησιμοποιεί έναν καταχωρητή κατάστασης (τον καταχωρητή αιτίας), ο οποίος διατηρεί το πεδίο που καθορίζει την αιτία της διακοπής.

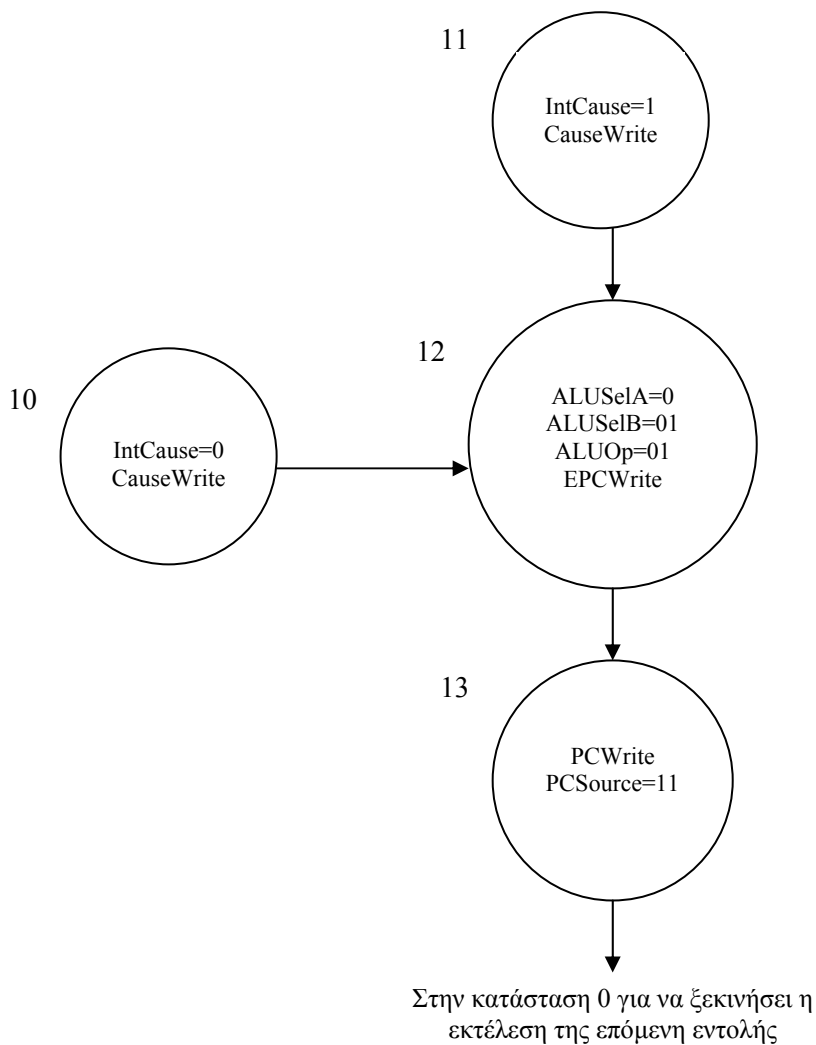
Μπορούμε να παρουσιάσουμε τις λειτουργίες που απαιτούνται για τις διακοπές, προσθέτοντας επιπλέον καταχωρητές και σήματα ελέγχου στην υλοποίηση της διόδου δεδομένων, καθώς και καταστάσεις στη μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων. Συγκεκριμένα, πρέπει να προσθέσουμε δύο καταχωρητές οι οποίοι είναι:

- EPC: Καταχωρητής των 32 bit, ο οποίος κρατάει τη διεύθυνση της εντολής που επηρεάστηκε από τη διακοπή.
- Καταχωρητής αιτίας: Καταχωρητής των 32 bit, ο οποίος καταχωρεί την αιτία που προκάλεσε τη διακοπή.

Επίσης, πρέπει να προσθέσουμε δύο σήματα ελέγχου για να γίνει η εγγραφή στον EPC και στον καταχωρητή αιτίας. Τα σήματα αυτά είναι το EPCWrite και το CauseWrite αντίστοιχα. Επιπλέον, πρέπει να προσθέσουμε ένα σήμα ελέγχου του ενός bit, το IntCause, το οποίο καθορίζει το λιγότερο σημαντικό ψηφίο του καταχωρητή αιτίας.

Τέλος, πρέπει να γνωρίζουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εγγραφή της διεύθυνσης της διακοπής, στον PC. Ας υποθέσουμε πως η διεύθυνση είναι 01000000 00000000 00000000_{two}. Τη δεδομένη στιγμή, το περιεχόμενο του PC προέρχεται από την έξοδο του πολυπλέκτη (ο πολυπλέκτης έχει τρεις εισόδους) και ελέγχεται από το σήμα των 2 bit, PCSource (σχήμα 3.2.33). Μπορούμε να αντικαταστήσουμε τον πολυπλέκτη αυτό, με έναν πολυπλέκτη τεσσάρων εισόδων, με την επιπλέον είσοδο συνδεδεμένη με τη σταθερή τιμή 01000000 00000000 00000000 00000000_{two}. Το σήμα PCWrite παίρνει την τιμή 11 για να επιλέξει την τιμή 01000000 00000000 00000000 00000000_{two}, η οποία θα εγγραφεί στον PC.

Επειδή γίνεται αύξηση στο περιεχόμενο του PC κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου ρολογιού, δε μπορεί να γίνει εγγραφή του περιεχομένου του PC στον EPC, αφού το περιεχόμενο του PC θα είναι η διεύθυνση της εντολής αυξημένη κατά 4. Έτσι χρησιμοποιούμε την ALU για να αφαιρέσουμε το 4 από την τιμή του PC και για την εγγραφή του αποτελέσματος στον EPC. Αυτό δεν απαιτεί επιπλέον σήματα ή γραμμές ελέγχου, αφού χρησιμοποιείται η ALU για την αφαίρεση και η σταθερά 4 είναι ήδη είσοδος της ALU. Επομένως συνδέουμε την είσοδο της εγγραφής δεδομένων του EPC, με την έξοδο της ALU. Με αυτές τις προσθήκες αυτές, μπορούν να πραγματοποιηθούν οι διακοπές, χρησιμοποιώντας τη μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων του σχήματος 3.5.2.



Σχήμα 3.5.2 - Η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων τεσσάρων καταστάσεων η οποία διαχειρίζεται τις διακοπές. Ο καταχωρητής αιτίας (καταστάσεις 10 και 11), παίρνει τη διεύθυνση της εντολής στην οποία συνέβη η διακοπή και την αποστέλλει στον EPC (κατάσταση 12). Στη συνέχεια το περιεχόμενο του PC αντικαθίσταται από τη διεύθυνση της εντολής (κατάσταση 13). Κάθε μία από τις καταστάσεις 10 και 11, παριστάνει το αρχικό σημείο στο οποίο συνέβη η διακοπή. Η λειτουργία αυτών των καταστάσεων είναι να θέσει την είσοδο του καταχωρητή αιτίας και να προκαλέσει την εγγραφή στον καταχωρητή αυτό. Στην κατάσταση 12, χρησιμοποιούμε την ALU για να υπολογίσουμε την τιμή $PC - 4$. Η πρώτη είσοδος της ALU είναι το περιεχόμενο του PC και η δεύτερη είσοδος της ALU είναι το ψηφίο 4 (το οποίο επιλέγεται από το $ALUSelB = 01$). Η ALU εκτελεί αφαίρεση ($ALUOp = 01$) και γίνεται εγγραφή του αποτελέσματος στον EPC (EPCWrite). Στη συνέχεια γίνεται εγγραφή του της διεύθυνσης που συνέβη η διακοπή, στον PC. Αυτό γίνεται ενεργοποιώντας τα σήματα ελέγχου στην κατάσταση 13.

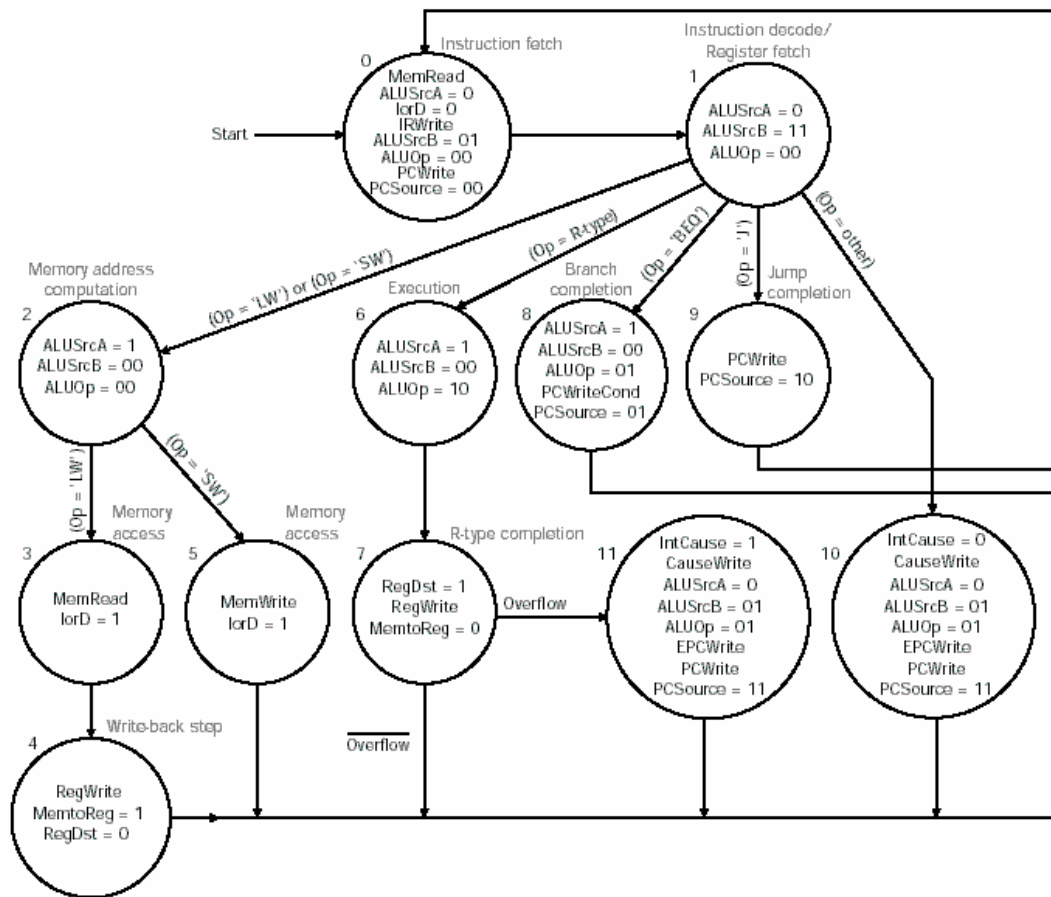


Πως γίνεται ο έλεγχος των διακοπών

Η μέθοδος για την ανίχνευση των διακοπών και τη μεταφορά της μονάδας ελέγχου στην κατάλληλη κατάσταση (στη μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων), απεικονίζεται στο σχήμα 3.5.3. Τα δύο είδη διακοπών ανιχνεύονται διαφορετικά:

- *Απροσδιόριστη εντολή:* Η ανίχνευση γίνεται όταν καμία από τις επόμενες καταστάσεις δεν καθορίζεται από την κατάσταση 1 για την τιμή του op. Για την διαχείριση αυτής της διακοπής, καθορίζουμε την τιμή της επόμενης κατάστασης για όλες τις τιμές του op. Οι τιμές αυτές πρέπει να είναι διαφορετικές από lw, sw, 0 (τύπου R), jmp και beq στην κατάσταση 10. Αυτό απεικονίζεται συμβολικά στο σχήμα χρησιμοποιώντας την τιμή other (άλλη), για να καθορίσει πως το πεδίο op δεν ταιριάζει με τους κωδικούς λειτουργίας (opcodes) που βρίσκονται στην έξοδο της κατάστασης 1. Η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων απεικονίζεται στο σχήμα 3.5.3.
- *Αριθμητική υπερχείλιση:* Χρησιμοποιείται ένα σήμα ελέγχου (το Overflow) για να ανιχνεύσει την υπερχείλιση, το οποίο βρίσκεται στην έξοδο της ALU. Επίσης, το σήμα ελέγχου χρησιμοποιείται για να καθορίσει μία επιπλέον κατάσταση για την κατάσταση 7, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5.3.

Αν συνδέσουμε τα σχήματα των σχημάτων, μπορούμε να καταλήξουμε σε μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων που περιγράφει πλήρως τον τρόπο με τον οποίο χειριζόμαστε τις διακοπές στον υπολογιστή MIPS.



Σχήμα. 3.5.3 - Η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων για την ανίχνευση των διακοπών.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Να εξηγήσετε περιληπτικά τι είναι οι διακοπές και πως τις χειρίζεται ο υπολογιστής MIPS.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν ...



Οι διακοπές είναι γεγονότα που αλλάζουν τη φυσική ροή εκτέλεσης των εντολών, επηρεάζουν τον κύκλο ρολογιού και την επίδοση ενός υπολογιστή.



Το αλγοριθμικό διάγραμμα καταστάσεων μπορεί να τροποποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελέγχονται οι διακοπές στον υπολογιστή VAX.



Ο έλεγχος των διακοπών παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και ιδιαίτερα σε υπολογιστή VAX που χρησιμοποιεί εντολές μεταβλητού μήκους με πολλούς τελεστέους και πολλούς τρόπους διευθυνσιοδότησης για κάθε τελεστέο.



Υπάρχουν δύο είδη διακοπών στον υπολογιστή MIPS: απροσδιόριστη εντολή και αριθμητική υπερχείλιση.



Για τη δημιουργία της διόδου δεδομένων του υπολογιστή MIPS, πρέπει να προστεθούν δύο καταχωρητές (ο EPC και ο καταχωρητής αιτίας), καθώς και τα αντίστοιχα σήματα ελέγχου.