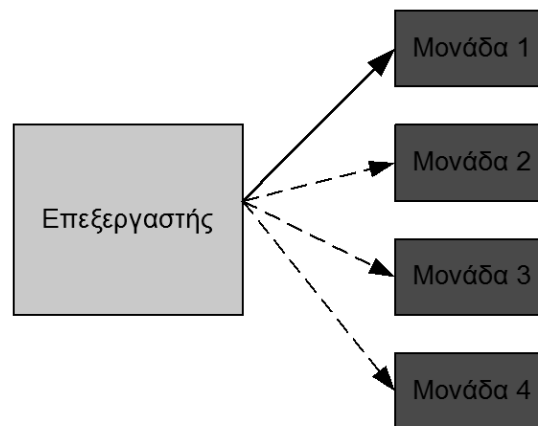


## Μάθημα 8: Επικοινωνία Συσκευών με τον Επεξεργαστή

### 8.1 Τακτική σάρωση (Polling)

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα πληκτρολόγιο συνδεδεμένο σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Το πληκτρολόγιο είναι μια μονάδα εισόδου. Κάθε φορά που πατάμε ένα πλήκτρο πρέπει το πληκτρολόγιο να επικοινωνήσει με τον επεξεργαστή και να πει ποιο πλήκτρο πατήθηκε. Οι χρονικές όμως στιγμές στις οποίες εμείς πατάμε ένα πλήκτρο είναι τυχαίες. Ο επεξεργαστής δεν ξέρει πότε και αν πρέπει να περιμένει πάτημα πλήκτρου. Αν ο επεξεργαστής ελέγχει συνέχεια το πληκτρολόγιο αν πατήθηκε κάποιο πλήκτρο τότε δεν θα μπορεί να εκτελεί κανένα άλλο πρόγραμμα συγχρόνως, θα είναι διαρκώς απασχολημένος με την παρακολούθηση του πληκτρολογίου.

Μια απλή τεχνική που εφαρμόζεται για τη λύση αυτού του προβλήματος σε απλά υπολογιστικά συστήματα είναι η τεχνική της **τακτικής σάρωσης** (polling). Ας υποθέσουμε ότι έχουμε τέσσερις συσκευές εισόδου, συνδεδεμένες σε ένα υπολογιστικό σύστημα (Σχήμα 8.1). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή ο επεξεργαστής ελέγχει κατά τακτά χρονικά διαστήματα κάθε συσκευή εισόδου αν έχει κάτι να «πει», δηλαδή ελέγχει ένα σήμα κάθε μονάδας εισόδου που του «λέει» αν είναι ενεργοποιημένο. Με το σήμα αυτό η μονάδα δηλώνει ότι έχει δεδομένα που πρέπει να στείλει στον επεξεργαστή. Με αυτό τον τρόπο ο επεξεργαστής μπορεί να τρέχει ένα πρόγραμμα και σε τακτές χρονικές στιγμές διακόπτει την εκτέλεση του προγράμματος και κοιτάει μία-μία τις περιφερειακές συσκευές αν έχουν κάποιο καινούργιο δεδομένο.



**Σχήμα 8.1:** Έλεγχος μονάδων με τακτική σάρωση (polling)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.1, ο επεξεργαστής κοιτάει πρώτα τη μονάδα 1 αν έχει καινούργιο δεδομένο. Αν έχει, εξυπηρετεί τη μονάδα 1, ενώ στην αντίθετη περίπτωση κοιτάει τη μονάδα 2. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται ώσπου να ελεγχθούν και οι τέσσερις μονάδες. Συνήθως οι μονάδες εισόδου είναι αργές συσκευές.

Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η σχεδίαση του υπολογιστικού συστήματος είναι αρκετά απλή και το πρόγραμμα που χρειάζεται ο επεξεργαστής να τρέχει είναι εύκολο στην σχεδίαση και στην υλοποίησή του.

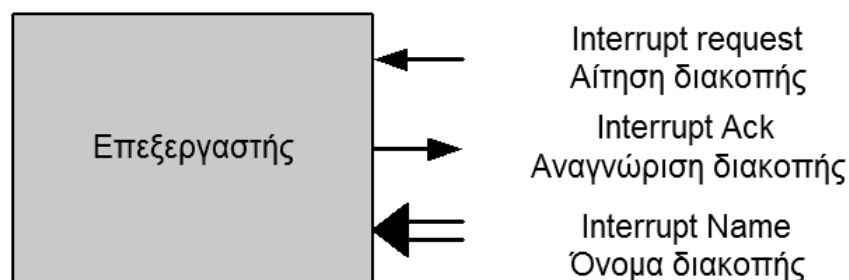
Τα μειονεκτήματα της είναι ότι η εξυπηρέτηση των μονάδων εισόδου γίνεται μέσα από πρόγραμμα και όχι από το υλικό. Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε φορά που θέλουμε να ενσωματώσουμε μια νέα συσκευή πρέπει να αλλάξουμε όλο το πρόγραμμα του επεξεργαστή. Ένα άλλο σοβαρό μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι χάνουμε αρκετό χρόνο όταν ο επεξεργαστής σταματάει την εκτέλεση του προγράμματος για να ελέγξει όλες τις περιφερειακές συσκευές. Τις περισσότερες φορές ο επεξεργαστής δεν βρίσκει καινούργιο δεδομένο σε όλες τις συσκευές με αποτέλεσμα ο χρόνος που κάνει να ελέγξει τις συσκευές να χάνεται από τον χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος. Τέλος, η τεχνική αυτή λειτουργεί καλά μόνο για αργές συσκευές όπως αναφέραμε προηγουμένως.

## 8.2 Διακοπές (Interrupts)

Μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως την επικοινωνία των μονάδων εισόδου με τον επεξεργαστή είναι αυτή των **διακοπών** (interrupt).

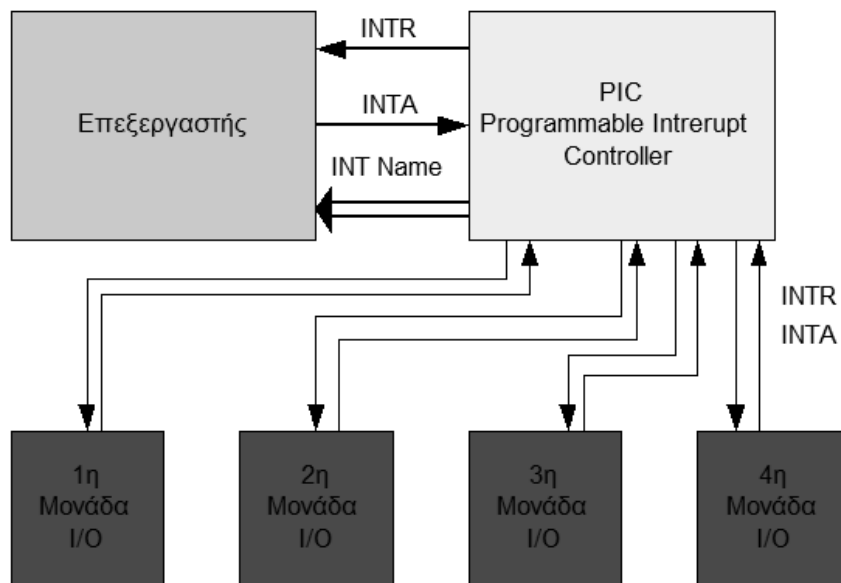
Σύμφωνα με την τεχνική αυτή ο επεξεργαστής πρέπει να έχει ένα σήμα εισόδου με το οποίο τον ειδοποιούμε ότι τουλάχιστον μία εξωτερική μονάδα θέλει να επικοινωνήσει μαζί του. Ο επεξεργαστής κάθε φορά που τελειώνει την εκτέλεση μιας εντολής κοιτάει το σήμα αυτό. Αυτό δεν γίνεται μέσω προγράμματος αλλά είναι ενσωματωμένο στο υλικό του επεξεργαστή και γίνεται αυτόματα με την εκτέλεση κάθε εντολής. Έτσι ο ρυθμός με τον οποίο ο επεξεργαστής καταλαβαίνει πότε μία εξωτερική μονάδα έχει καινούργιο δεδομένο είναι πολύ ψηλός (στο τέλος κάθε εντολής) με αποτέλεσμα να μπορεί να εξυπηρετήσει και να ανταποκριθεί σε αιτήσεις (διακοπές) γρήγορων συσκευών.

Όταν ο επεξεργαστής αναγνωρίσει ότι πρέπει να εξυπηρετήσει μια μονάδα εισόδου σταματάει προσωρινά την εκτέλεση του προγράμματος που εκτελεί και αρχίζει την εξυπηρέτηση της μονάδας αυτής. Όταν τελειώσει την εξυπηρέτηση της μονάδας επιστρέφει στο πρόγραμμα που εκτελούσε και το συνεχίζει από το σημείο που είχε σταματήσει. Το σήμα διακοπής που ελέγχει ο επεξεργαστής ονομάζεται **INTR** (interrupt request – **αίτηση διακοπής**). Το σήμα αυτό το στέλνει η συσκευή που ζητάει εξυπηρέτηση. Όταν ο επεξεργαστής είναι έτοιμος να εξυπηρετήσει την συσκευή που έχει ζητήσει εξυπηρέτηση, ενεργοποιεί το **σήμα αναγνώρισης διακοπής INTA** (interrupt acknowledgment). Η συσκευή περιμένει από τον επεξεργαστή το σήμα INTA και μόλις αυτό ενεργοποιηθεί συνδέονται ο επεξεργαστής και η συσκευή για μεταφορά δεδομένων.



Σχήμα 8.2: Σήματα διακοπών

Βέβαια, στην πραγματικότητα υπάρχουν περισσότερες από μια περιφερειακές συσκευές σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Κάθε μία από αυτές στέλνει το δικό της σήμα διακοπής σε ένα κύκλωμα που ονομάζεται **προγραμματιζόμενος ελεγκτής διακοπών** (PIC). Το κύκλωμα αυτό είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του σήματος διακοπής που θα συνδεθεί στον επεξεργαστή. Το σήμα αυτό ενεργοποιείται όταν μία τουλάχιστον μονάδα ζητάει να επικοινωνήσει με τον επεξεργαστή. Για κάθε περιφερειακή μονάδα ο επεξεργαστής πρέπει να εκτελέσει διαφορετικές λειτουργίες. Έτσι ο επεξεργαστής πρέπει να ξέρει ποια μονάδα ζήτησε εξυπηρέτηση. Για αυτό το λόγο ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής διακοπών εκτός από το σήμα διακοπής παράγει και έναν αριθμό (συνήθως από το 0 έως το 255) με το οποίο δίνει στον επεξεργαστή τον αριθμό της μονάδας εισόδου που προκαλεί τη διακοπή και πρέπει να εξυπηρετήσει.



Σχήμα 8.3: Σύνδεση πολλών μονάδων μέσω PIC

Στο σχήμα 8.3 φαίνεται η σύνδεση τεσσάρων συσκευών με τον επεξεργαστή μέσω ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή διακοπών. Κάθε συσκευή διαθέτει τα δύο σήματα (INTR - INTA) τα οποία συνδέονται στον ελεγκτή διακοπών. Το πρώτο (INTR) είναι έξοδος και με αυτό ζητάει εξυπηρέτηση. Το δεύτερο (INTA) είναι είσοδος και αποτελεί απάντηση στο σήμα INTR που δηλώνει ότι έχει ξεκινήσει η διαδικασία της εξυπηρέτησης.

Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι μπορεί να εξυπηρετήσει πολύ γρήγορες περιφερειακές μονάδες. Επειδή ο επεξεργαστής ελέγχει με πολύ γρήγορο ρυθμό (σε κάθε εντολή) το σήμα διακοπής, η συσκευή που θέλει να επικοινωνήσει με τον επεξεργαστή δεν περιμένει σχεδόν καθόλου και εξυπηρετείται αμέσως. Ακόμα, ο επεξεργαστής δεν χάνει χρόνο να ελέγχει αν μία μονάδα θέλει να επικοινωνήσει μαζί του όπως στην μέθοδο polling. Ο έλεγχος που εκτελεί ο επεξεργαστής για το σήμα διακοπής γίνεται από το υλικό και δεν αφαιρεί πολύτιμη υπολογιστική ισχύ του επεξεργαστή.

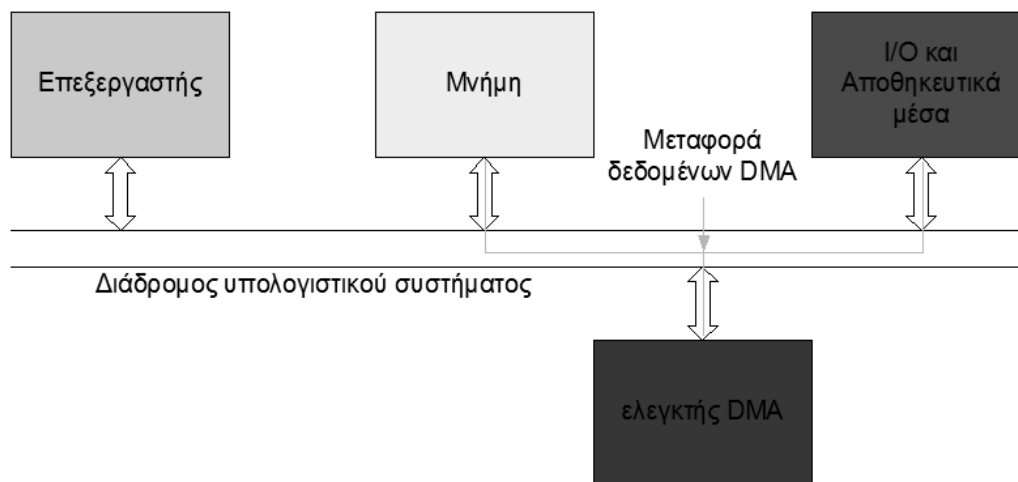
Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι ότι η σχεδίαση του υπολογιστικού συστήματος είναι πλέον πιο πολύπλοκη και το πρόγραμμα του επεξεργαστή γίνεται συνθετότερο.

### 8.3 Άμεση Προσπέλαση Μνήμης (Direct Memory Access - DMA)

Η τεχνική **άμεσης προσπέλασης της μνήμης** (DMA - (Direct Memory Access)) είναι ένας τρόπος μαζικής μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των περιφερειακών μονάδων και της μνήμης χωρίς την μεσολάβηση του επεξεργαστή.

Η τεχνική αυτή συνήθως χρησιμοποιείται με την μεταφορά δεδομένων από τα αποθηκευτικά μέσα προς την μνήμη και αντίστροφα παρακάμπτοντας τον επεξεργαστή. Για τη υλοποίηση της τεχνικής αυτή χρειάζεται ένας **ελεγκτής DMA**. Ο ελεγκτής αυτός είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που συνδέεται πάνω στον διάδρομο του υπολογιστικού συστήματος. Όταν έχουμε άμεση προσπέλαση μνήμης ο ελεγκτής DMA αναλαμβάνει αντί της ΚΜΕ τον έλεγχο του διαδρόμου.

Σύμφωνα την τεχνική αυτή, όταν θέλουμε να μεταφέρουμε μεγάλο πλήθος δεδομένων από την μνήμη προς μονάδες εισόδου-εξόδου και αντίστροφα, ο επεξεργαστής δίνει τις κατάλληλες πληροφορίες στον DMA ελεγκτή. Με αυτές την πληροφορίες ο DMA ελεγκτής μπορεί να εκτελέσει την μεταφορά των δεδομένων χωρίς την παρέμβαση του επεξεργαστή. Το χρονικό διάστημα, που διαρκεί αυτή η μεταφορά, ο επεξεργαστής μπορεί να εκτελεί άλλες λειτουργίες αυξάνοντας έτσι την απόδοση του υπολογιστικού συστήματος.



Σχήμα 8.4: Ελεγκτής DMA

Ο ελεγκτής DMA έχει τουλάχιστον τέσσερις καταχωρητές. Σε αυτούς τους καταχωρητές ο επεξεργαστής δίνει τις πληροφορίες για την μεταφορά των δεδομένων που θέλει να κάνει. Στον ένα καταχωρητή δίνεται η αρχική διεύθυνση της μνήμης στην οποία θα αποθηκευτούν τα δεδομένα ή θα διαβαστούν από αυτή. Σε έναν άλλο καταχωρητή δίνεται το πλήθος των bytes που πρέπει να μεταφερθούν. Στον τρίτο καταχωρητή το όνομα της μονάδας εισόδου-εξόδου που θα λάβει μέρος στη μεταφορά. Τέλος, σε ένα τέταρτο καταχωρητή δίνεται η κατεύθυνση των δεδομένων δηλαδή αν θα μεταφερθούν δεδομένα από την μνήμη προς τη περιφερειακή μονάδα ή αντίστροφα.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ελεγκτή DMA ο έλεγχος του διαδρόμου του υπολογιστικού συστήματος μεταφέρεται από τον επεξεργαστή στον ελεγκτή DMA. Όταν τελειώσει η μεταφορά όλων των δεδομένων, ο ελεγκτής DMA δίνει με την σειρά του τον έλεγχο του διαδρόμου του υπολογιστικού συστήματος στον επεξεργαστή. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας εξασφαλίζει την ταχύτερη μεταφορά δεδομένων και ονομάζεται «**Μεταφορά Ριπής**» (Burst Mode)

Ένας άλλος τρόπος λειτουργίας του DMA ελεγκτή είναι να μην παίρνει τον έλεγχο του διαδρόμου από τον επεξεργαστή. Η μεταφορά των δεδομένων τότε γίνεται μόνο στις χρονικές στιγμές όπου ο επεξεργαστής δεν χρησιμοποιεί τον διάδρομο. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας ονομάζεται «**Κλέψιμο Κύκλου**» (Cycle Stealing) Η λειτουργία αυτή δεν εξασφαλίζει την ταχύτερη μεταφορά δεδομένων αλλά εξασφαλίζει την ταυτόχρονη λειτουργία του επεξεργαστή και μιας DMA μεταφοράς δεδομένων.

Το τρόπος λειτουργίας του ελεγκτή DMA, αν δηλαδή χρησιμοποιηθεί η μεταφορά ριπής ή το κλέψιμο κύκλου, εξαρτάται από την ταχύτητα της περιφερειακής μονάδας. Αν η ταχύτητα της περιφερειακής μονάδας είναι περίπου ίδια με αυτή της μνήμης, η μεταφορά ριπής είναι ο καλύτερος τρόπος. Επειδή η μεταφορά δεδομένων γίνεται με την ταχύτητα της μνήμης ο επεξεργαστής δεν μπορεί να «βρει» χρόνο στον οποίο η μνήμη δεν δουλεύει. Έτσι, αν διακόψει την άμεση μεταφορά των δεδομένων θα έχουμε καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση της γρήγορης περιφερειακής μονάδας. Σε μία όμως αργή μεταφορά ο επεξεργαστή βρίσκει χρόνο, στον οποίο η μνήμη δεν δουλεύει και μπορεί να επικοινωνήσει και αυτός με την μνήμη. Έτσι για αργές περιφερειακές μονάδες καλύτερος τρόπος είναι αυτός του κλέψιμου κύκλου. Τέλος, η επιλογή του τρόπου λειτουργίας του ελεγκτή DMA καθορίζεται από το πλήθος των δεδομένων και από το πόσο σημαντική είναι η μεταφορά των συγκεκριμένων δεδομένων.

## 8.4 Ασκήσεις

### 1. Συμπλήρωσε τα κενά με τις λέξεις που λείπουν:

1. Σύμφωνα με την τεχνική της ..... ο επεξεργαστής ελέγχει κατά τακτά χρονικά διαστήματα κάθε συσκευή εισόδου, αν έχει κάτι να «πει»..
2. Σύμφωνα με την τεχνική των ..... ο επεξεργαστής πρέπει να έχει ένα σήμα εισόδου με το οποίο ειδοποιείται ότι τουλάχιστον μία εξωτερική μονάδα θέλει να επικοινωνήσει μαζί του.
3. Όταν κάποια συσκευή ζητάει εξυπηρέτηση στέλνει στον επεξεργαστή ένα αίτημα ..... (INTR). Όταν ο επεξεργαστής είναι έτοιμος να εξυπηρετήσει την συσκευή, που έχει ζητήσει εξυπηρέτηση, ενεργοποιεί το σήμα ..... διακοπής INTA (interrupt ack).
4. Η τεχνική ..... είναι ένας τρόπος μαζικής μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των περιφερειακών μονάδων και της μνήμης χωρίς την μεσολάβηση του επεξεργαστή..
5. Όταν έχουμε άμεση προσπέλαση μνήμης ο ..... αναλαμβάνει αντί της ΚΜΕ τον έλεγχο του διαδρόμου.

### 2. Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:

1. Ποια η διαφορά μεταξύ της επικοινωνίας ενός μικροεπεξεργαστή με περιφερειακά μέσω σημάτων διακοπών (interrupts) από την επικοινωνία με έλεγχο προγράμματος (program driver I/O ή polling);  
.....  
.....
2. Τι ονομάζεται απευθείας προσπέλαση μνήμης (direct memory access - DMA) και σε τι εξυπηρετεί;  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....
3. Τι γνωρίζετε για τη «Μεταφορά Ριπής» (Burst Mode) και το «Κλέψιμο Κύκλου» (Cycle Stealing) κατά την λειτουργία DMA;  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....