ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

(Θεωρία)

Βιβλίο μαθητή

Γ΄ ΕΠΑ.Λ.

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

1.- Πεκμεστζή Κιαμάλ, Αναπληρωτής Καθηγητή ΕΜΠ
2.- Βογιατζής Ιωάννης, Δρ. του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Αθηνών
3.- Λιβιεράτος Γεώργιος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός phD in Electronics Πανεπιστημίου Southampton, UK
4.- Μπουγάς Παύλος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ-Υποψήφιος Διδάκτορας

ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΣΗΣ

1.- Μελέτης Χρήστος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ-Υποψήφιος Διδάκτορας
2.- Παναγιωτακόπουλος Γεώργιος, Ηλεκτρονικός ΤΕΙ Αθηνών, MSc State University of New York
3.- Σκανδαλίδης Χρήστος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Δ/βάθμιας εκπαίδευσης ΠΕ-12

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

Πεκμεστζή Κιαμάλ, Αναπληρωτής Καθηγητή ΕΜΠ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ

Μπουγάς Παύλος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ-Υποψήφιος Διδάκτορας

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

Γκότσης Κωνσταντίνος

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Θεοδοσίου Αναστασία, Φιλόλογος, Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκπαίδευσης,ΠΕ2

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ & ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΣΗ

dimiourgies

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Υπεύθυνος του Ηλεκτρονικού Τομέα
Χατζηευστρατίου Ιγνάτιος
Μόνιμος Πάρεδρος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Κ. Πεκμεστζή, Ι. Βογιατζής, Γ. Λιβιεράτος, Π. Μπουγάς

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

(Θεωρία)

ΒΙΒΛΙΟ ΜΑΘΗΤΗ

Γ΄ ΕΠΑ.Λ.

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ, ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ,
ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Πρόλογος α΄ έκδοσης

Το βιβλίο αυτό αναφέρεται στη Δομή και Λειτουργία των Μικροϋπολογιστών και είναι σύμφωνο με τη φυσιογνωμία και το πρόγραμμα σπουδών του αντίστοιχου μαθήματος του 2ου Κύκλου Σπουδών, της Κατεύθυνσης "Ηλεκτρονικός Υπολογιστικών Συστημάτων και Δικτύων" του Τομέα Ηλεκτρονικών των ΤΕΕ. Προσεγγίζει τα Μικροϋπολογιστικά Συστήματα από τη σκοπιά της ηλεκτρονικής και των εφαρμογών τους που θα συναντήσουν οι απόφοιτοι αυτού του Τομέα. Είναι γνωστό ότι η σύγχρονη τεχνολογία βασίζεται στους Μικροεπεξεργαστές. Ειδικότερη μορφή τους είναι οι Μικροελεγκτές και εμφανίζονται σχεδόν σε κάθε ηλεκτρονική συσκευή και σχεδόν στο σύνολο των εφαρμογών της ηλεκτρονικής. Είναι λοιπόν απαραίτητο οι απόφοιτοι αυτού του Τομέα να είναι εξοικειωμένοι με αυτήν την τεχνολογία. Το αντικείμενο βέβαια είναι δύσκολο και πολύ εκτεταμένο. Για την προσέγγισή του από εκπαιδευτική άποψη επιλέχθηκε η εξής δομή: Για την πληρότητα της παρουσίασης τα δυο πρώτα κεφάλαια είναι εισαγωγικά. Στα επόμενα δυο κεφάλαια (3-4) γίνεται η παρουσίαση των βασικών εννοιών των Μικροϋπολογιστών και Μικροεπεξεργαστών σε μια γενική μορφή χωρίς να αναφερόμαστε σε ένα συγκεκριμένο τύπο. Ειδικότερα στο κεφάλαιο 3 γίνεται η παρουσίαση των Μικροϋπολογιστών, Μικροεπεξεργαστών και Μικροελεγκτών ενώ στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι τρόποι διασύνδεσής τους. Τα παραπάνω είναι απαραίτητα γιατί είναι αναλλοίωτα στο χρόνο. Αν όμως η παρουσίαση έμενε στο γενικό επίπεδο δεν θα έδινε στο μαθητή ένα πρακτικό εφόδιο. Για το σκοπό αυτό κρίθηκε σκόπιμο να συγκεκριμενοποιηθεί η παρουσίαση σε ένα σύγχρονο, νεότερης τεχνολογίας Μικροελεγκτή που ταυτόχρονα να είναι και σχετικά απλός. Έτσι επιλέχθηκε ένας απλός Μικροελεγκτής PIC της εταιρείας Microchip που έχει ευρεία αποδοχή και χρησιμοποιείται στη πράξη σε μικρές εφαρμογές. Τα εκπαιδευτικά εργαλεία που παρέχονται δωρεάν για το συγκεκριμένο Μικροελεγκτή στη διεύθυνση www.microchip.com ήταν ένας ακόμα παράγοντας για την επιλογή του. Τα δυο λοιπόν τελευταία κεφάλαια (5-6) αφιερώθηκαν στην παρουσίαση του Μικροελεγκτή PIC (αρχιτεκτονικής και εντολών) και της χρήσης του σε εφαρμογές. Το μάθημα βέβαια για την σωστή κατανόησή του υποστηρίζεται από αντίστοιχο εργαστήριο.
Ελπίζοντας ότι θα δοθεί στο άμεσο μέλλον η δυνατότητα αναθεωρημένης έκδοσης του βιβλίου αναμένουμε παρατηρήσεις και σχόλια από τους αναγνώστες του βιβλίου στην ηλεκτρονική διεύθυνση paul@microlab.ntua.gr.

Αθήνα Ιούλιος 2000
Οι συγγραφείς

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο

Βασικές Αρχές Δομής και Λειτουργίας των Υπολογιστικών Συστημάτων

Περιεχόμενα

Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- εξηγείς τη χρησιμότητα του δυαδικού και του δεκαεξαδικού συστήματος αρίθμησης
- εκτελείς πράξεις στο δυαδικό και δεκαεξαδικό σύστημα
- εκτελείς μετατροπές από το ένα αριθμητικό σύστημα στο άλλο
- αναφέρεις τη χρησιμότητα ενός συνόλου χαρακτήρων
- αναφέρεις τα πιο γνωστά σύνολα χαρακτήρων
- περιγράφεις τη βασική δομή των υπολογιστικών συστημάτων

Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό θα δώσουμε τις βασικές αρχές της δομής και λειτουργίας των υπολογιστικών συστημάτων.

Αρχικά θα αναφερθούμε στην έννοια των αριθμητικών συστημάτων. Θα περιγράψουμε τα αριθμητικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές (δυαδικό και δεκαεξαδικό) και θα εξηγήσουμε τη χρησιμότητά τους.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε πώς μπορούμε να μετατρέψουμε αριθμούς από οποιοδήποτε από τα συστήματα αυτά σε οποιοδήποτε άλλο, καθώς και τον τρόπο εκτέλεσης των πράξεων στο δυαδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα.

Επιπλέον, θα αναφερθούμε στους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να παραστήσουμε αριθμούς σε ένα υπολογιστικό σύστημα.

Ακόμη, θα αναφερθούμε στα συστήματα που χρησιμοποιούνται στα υπολογιστικά συστήματα για την αναπαράσταση συμβόλων (μη αριθμητικών χαρακτήρων), στη χρησιμότητά τους και θα περιγράψουμε τα πιο γνωστά από αυτά.

Τέλος, θα αναφερθούμε στη δομή των υπολογιστικών συστημάτων, καθώς και στον τρόπο διακίνησης και επεξεργασίας της πληροφορίας μέσα στα υπολογιστικά συστήματα.

1.1 Αριθμητικά Συστήματα

Ένα αριθμητικό σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο ψηφίων και κανόνες εκτέλεσης των πράξεων ανάμεσα στους αριθμούς με βάση τα ψηφία αυτά.

Βάση (base) ενός αριθμητικού συστήματος είναι ένας αριθμός b ο οποίος χαρακτηρίζει το σύστημα. Το πλήθος των διαφορετικών ψηφίων του συστήματος είναι b. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι το δεκαδικό (με βάση το 10) το οποίο χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή, το δυαδικό (με βάση το 2) και το δεκαεξαδικό (με βάση το 16).

Η γνώση του δυαδικού συστήματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην κατανόηση των αρχών λειτουργίας των υπολογιστικών συστημάτων διότι η παράσταση της πληροφορίας και οι πράξεις στους υπολογιστές γίνονται στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης. Το δεκαεξαδικό σύστημα από την άλλη έχει το πλεονέκτημα ότι το πλήθος των ψηφίων ενός αριθμού στο δεκαεξαδικό σύστημα είναι πολύ μικρότερο από το πλήθος των ψηφίων του ίδιου αριθμού στο δυαδικό σύστημα ενώ υπάρχει ένας εύκολος τρόπος μετατροπής των αριθμών από το ένα σύστημα στο άλλο και αντίστροφα. Έτσι, στους υπολογιστές συχνά, αντί να χρησιμοποιούμε τη δυαδική παράσταση ενός αριθμού χρησιμοποιούμε τη δεκαεξαδική παράσταση του.

Στον πίνακα 1.1 φαίνονται τα ψηφία τα οποία χρησιμοποιούνται σε κάθε ένα από τα συστήματα αυτά.

Δυαδικό σύστημα	Δεκαδικό σύστημα	Δεκαεξαδικό σύστημα
0	0	0
1	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5
	6	6
	7	7
	8	8
	9	9
		A
		B
		C
		D
		E
		F

Πίνακας 1.1 *Τα ψηφία του δυαδικού, δεκαδικού και δεκαεξαδικού συστήματος*

Τα ψηφία A, B, C, D, E, F χρησιμοποιούνται στο δεκαεξαδικό σύστημα για να εκφράσουν τους αριθμούς 10, 11, 12, 13, 14, 15, για τους οποίους δεν υπάρχουν αντίστοιχα ψηφία στο δεκαδικό σύστημα. Η γενική μορφή παράστασης ενός αριθμού N σε ένα αριθμητικό σύστημα είναι η ακόλουθη:

$$N=(a_{m-1}a_{m-2}...a_1a_0)_b=a_{m-1}\,b^{m-1} + a_{m-2}\,b^{m-2} + ... \; a_1\,b^1 + a_0\,b^0$$

Οι αριθμοί a_0, a_1, ... a_{m-2}, a_{m-1} αποτελούν τα ψηφία του αριθμού και δε μπορούν να είναι μεγαλύτεροι από τη βάση b.

Ένας αριθμός μπορεί να εκφραστεί σε διαφορετικά αριθμητικά συστήματα. Έτσι, είναι δυνατό να επιβεβαιώσει κανείς ότι ο ίδιος αριθμός (28 στο δεκαδικό σύστημα) εκφράζεται στα συστήματα που αναφέρθηκαν όπως φαίνεται στη συνέχεια.

$$(28)_{10}= 2x10^1 + 8x10^0$$
$$(28)_{10}= 1x16^1 + 12x16^0 = (1C)_{16}$$
$$(28)_{10}= 1x2^4 + 1x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 0x2^0 = (11100)_2$$

Αντίστροφα, η ίδια ακολουθία ψηφίων μπορεί να συμβολίζει διαφορετικούς αριθμούς σε διαφορετικά συστήματα, για παράδειγμα,

$$(11)_{16}= 1x16^1 + 1x16^0= 16 + 1 = (17)_{10}$$
$$(11)_{10}= 1x10^1 + 1x10^0 = (11)_{10}$$
$$(11)_2 = 1x2^1 + 1x2^0= 2 + 1 = (3)_{10}$$

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε μετατροπές και πράξεις μόνο ακέραιων (όχι κλασματικών) αριθμών.

1.2 Μετατροπή αριθμών από ένα σύστημα αρίθμησης σε άλλο

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στις διαδικασίες μετατροπής ενός αριθμού από ένα σύστημα αρίθμησης σε κάποιο άλλο. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιάσουμε τις διαδικασίες μετατροπής αριθμών από (α) το δυαδικό ή το δεκαεξαδικό στο δεκαδικό, (β) το δεκαδικό στο δυαδικό ή δεκαεξαδικό και (γ) το δυαδικό στο δεκαεξαδικό και αντίστροφα.

α. Μετατροπή από δυαδικό ή δεκαεξαδικό σε δεκαδικό

Για να μετατρέψουμε έναν αριθμό από το δυαδικό ή το δεκαεξαδικό στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης υπολογίζουμε την τιμή της παράστασης

$$a_{m-1}\,b^{m-1} + a_{m-2}\,b^{m-2} + ... \; a_1\,b^1 + a_0\,b^0$$

όπου με b συμβολίζουμε τη βάση του συστήματος, η οποία είναι το 2 ή το 16. Για

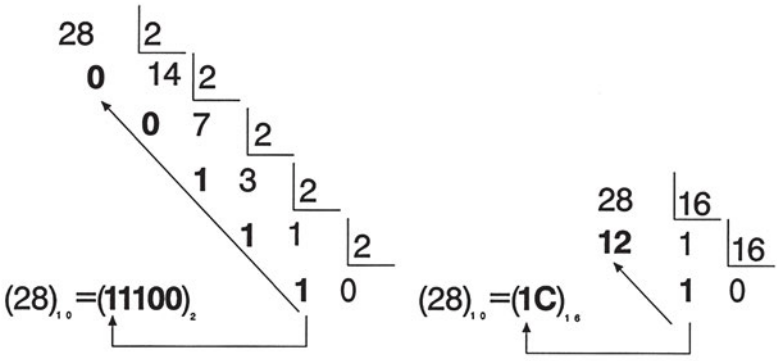
παράδειγμα, για να μετατρέψουμε τον αριθμό $(11001)_2$ στο δεκαδικό σύστημα, υπολογίζουμε την τιμή της παράστασης

$$1x2^4+1x2^3+0x2^2+0x2^1+1x2^0=16+8+1=25$$

β. Μετατροπή από το δεκαδικό στο δυαδικό ή το δεκαεξαδικό

Για να μετατρέψουμε το ακέραιο μέρος του αριθμού, το διαιρούμε με τη βάση του συστήματος (2 ή 16) και παίρνουμε ένα υπόλοιπο (Υ) και ένα πηλίκο (Π). Το πηλίκο διαιρείται και πάλι με το b (2 ή 16) και παίρνουμε ένα νέο πηλίκο Π και υπόλοιπο Υ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το πηλίκο Π να γίνει 0. Η ζητούμενη αναπαράσταση είναι τα υπόλοιπα (Υ), με την αντίστροφη σειρά από εκείνη που τα βρήκαμε.

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η διαδικασία μετατροπής του αριθμού 28 στο δυαδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα αντίστοιχα. Οι αναπαραστάσεις του δεκαδικού αριθμού 28 στα δύο συστήματα είναι $(11100)_2$ και $(1C)_{16}$.



Σχήμα 1.1 *Μετατροπή του αριθμού $(28)_{10}$ στο δυαδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα αρίθμησης*

γ. Μετατροπή από δυαδικό σε δεκαεξαδικό και αντίστροφα

Υπάρχουν δύο τρόποι για να μετατρέψουμε έναν αριθμό από το δυαδικό στο δεκαεξαδικό σύστημα αρίθμησης και αντίστροφα.

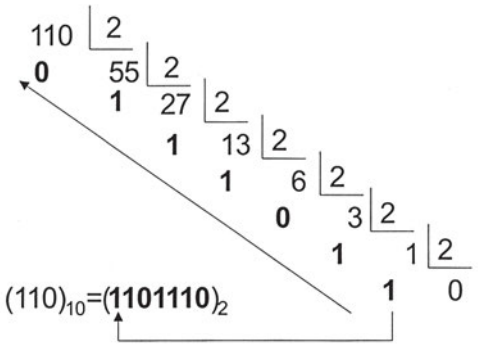
Ο πρώτος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε ως ενδιάμεσο το δεκαδικό σύστημα. Στον τρόπο αυτό μετατρέπουμε από το ένα σύστημα στο δεκαδικό και στη συνέχεια από το δεκαδικό στο άλλο όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Στο δεύτερο τρόπο, μετατρέπουμε απευθείας από το ένα σύστημα στο άλλο. Οι δύο αυτοί τρόποι περιγράφονται στη συνέχεια.

Μετατροπή μέσω του δεκαδικού

Για να μετατρέψουμε το δεκαεξαδικό αριθμό $6E_{16}$ στο δυαδικό σύστημα μπορούμε να τον μετατρέψουμε πρώτα στο δεκαδικό αριθμό

$$6x16^1 + 14x16^0 = (110)_{10}$$

Στη συνέχεια μετατρέπουμε το δεκαδικό αριθμό στον αντίστοιχο δυαδικό αριθμό όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.

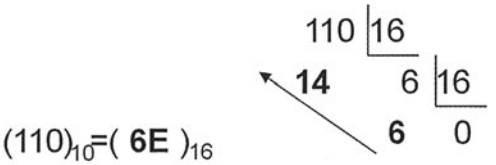


Σχήμα 1.2 *Μετατροπή του αριθμού* $(110)_{10}$ *στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης*

Επομένως, η δυαδική παράσταση του αριθμού $(6E)_{16}$ είναι η $(1101110)_2$. Αντίστροφα, για τη δεκαεξαδική παράσταση του αριθμού $(1101110)_2$ βρίσκουμε πρώτα τη δεκαδική αναπαράσταση που είναι

$$2^6+2^5+2^3+2^2+2^1=110$$

Στη συνέχεια η μετατροπή στο δεκαεξαδικό σύστημα θα δώσει $(6E)_{16}$.



Σχήμα 1.3 *Μετατροπή του αριθμού* $(110)_{10}$ *στο δεκαεξαδικό σύστημα αρίθμησης*

Απευθείας μετατροπή

Η απευθείας μετατροπή αριθμών από το δυαδικό στο δεκαεξαδικό σύστημα και αντίστροφα στηρίζεται στο γεγονός ότι $16=2^4$, επομένως ένα ψηφίο στο δεκαεξαδικό σύστημα αντιστοιχεί σε τέσσερα ακριβώς ψηφία στο δυαδικό σύστημα. Με βάση την παρατήρηση αυτή μπορούμε να ακολουθήσουμε τη διαδικασία που περιγράφουμε στη συνέχεια.

Για την απευθείας μετατροπή ενός δεκαεξαδικού αριθμού στο δυαδικό σύστημα αντικαθιστούμε κάθε ψηφίο του αριθμού με ένα τετραψήφιο δυαδικό αριθμό σύμφωνα με τον πίνακα 1.2.

δεκαεξαδικό ψηφίο	δυαδικά ψηφία
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
A	1010
B	1011
C	1100
D	1101
E	1110
F	1111

Πίνακας 1.2 *Αντιστοιχία δεκαεξαδικών και δυαδικών ψηφίων*

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι ο δυαδικός αριθμός (π.χ. 1100) είναι η έκφραση του δεκαεξαδικού ψηφίου στο δυαδικό σύστημα (π.χ. C). Έτσι, για παράδειγμα, ο δεκαεξαδικός αριθμός 77F αντιστοιχεί στο δυαδικό αριθμό 0111 0111 1111 όπως φαίνεται στη συνέχεια.

7	**7**	**F**
0111	**0111**	**1111**

Αντίστροφα, για να μετατρέψουμε έναν αριθμό από το δυαδικό σύστημα στο δεκαεξαδικό, χωρίζουμε τα ψηφία του σε τετράδες προσθέτοντας, αν χρειαστεί, μηδενικά στην αρχή και αντικαθιστούμε κάθε τετράδα με το αντίστοιχο δεκαεξαδικό ψηφίο. Έτσι, ο δυαδικός αριθμός 1 1010 1101 αντιστοιχεί στο δεκαεξαδικό αριθμό 1AD, όπως φαίνεται στη συνέχεια (με πλάγια γράμματα φαίνονται τα μηδενικά που προσθέσαμε στην αρχή -αριστερά- του αριθμού προκειμένου να συμπληρωθούν τετράδες ψηφίων).

0001	**1010**	**1101**
1	**A**	**D**

Μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι η απευθείας μετατροπή είναι πολύ πιο εύκολη και γρήγορη από ότι η μετατροπή χρησιμοποιώντας το δεκαδικό σύστημα.

1.3 Πράξεις στο δυαδικό σύστημα

Στην παράγραφο αυτή θα περιγράψουμε τον τρόπο εκτέλεσης των τεσσάρων βασικών πράξεων (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός και διαίρεση) στο δυαδικό σύστημα.

Το να γνωρίζουμε τον τρόπο εκτέλεσης των πράξεων στο δυαδικό σύστημα, θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η εκτέλεση των πράξεων στα υπολογιστικά συστήματα.

1.3.1 Πρόσθεση

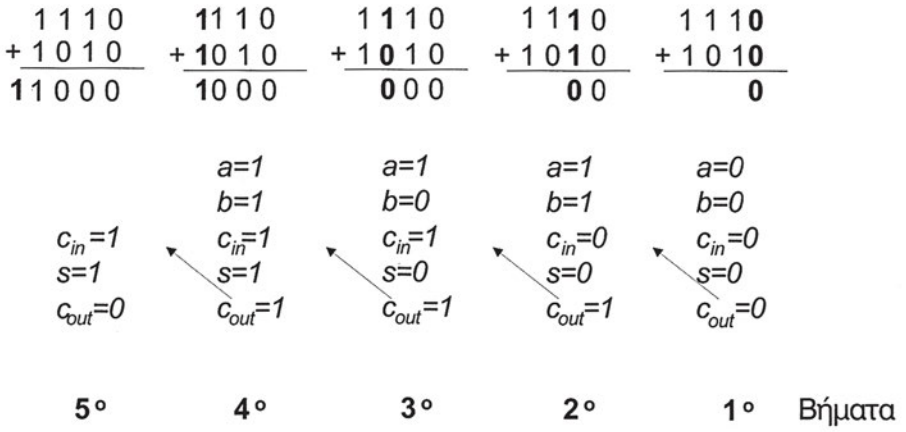
Στην πρόσθεση ξεκινάμε από δεξιά (χαμηλότερης τάξης ψηφία) και προσθέτουμε τα αντίστοιχα ψηφία των αριθμών. Κάθε φορά που προκύπτει κρατούμενο το προσθέτουμε στα αμέσως υψηλότερης τάξης ψηφία.

Για την κατανόηση της εκτέλεσης της πρόσθεσης στο δυαδικό σύστημα θα μας βοηθήσει ο πίνακας 1.3, που δίνει για τα δυνατά ζεύγη των προσθετέων ψηφίων (a, b) και του κρατουμένου (c_{in}) , το αποτέλεσμα (s) και το κρατούμενο προς την επόμενη βαθμίδα (c_{out}).

a	b	c_{in}	s	c_{out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Πίνακας 1.3 *Πίνακας αληθείας της πρόσθεσης δύο ψηφίων και του κρατουμένου*

Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται η διαδικασία πρόσθεσης των αριθμών $(1110)_2$ και $(1010)_2$ που δίνει αποτέλεσμα $(11000)_2$. Η αντίστοιχη πρόσθεση στο δεκαδικό σύστημα δίνει 14+10=24 που επαληθεύει το αποτέλεσμα. Η διαδικασία της πρόσθεσης παρουσιάζεται από τα δεξιά προς τα αριστερά όπως δείχνει η αρίθμηση των βημάτων.



Σχήμα 1.4 *Πρόσθεση στο δυαδικό σύστημα*

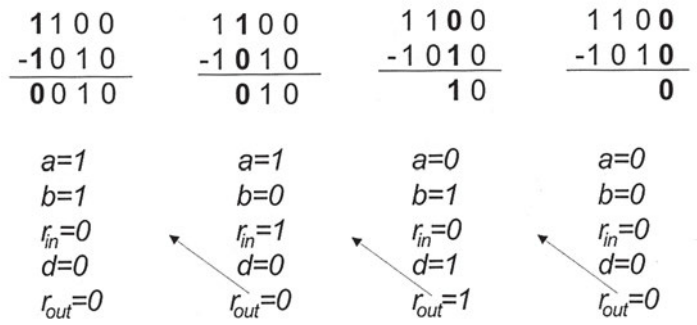
1.3.2 Αφαίρεση

Στην αφαίρεση ξεκινάμε επίσης από δεξιά αφαιρώντας τα αντίστοιχα ψηφία των αριθμών. Σε κάθε βαθμίδα δημιουργείται ένα δανεικό (borrow) ψηφίο, το οποίο προστίθεται στο ψηφίο του αφαιρέτη της επόμενης βαθμίδας. Ο πίνακας 1.4 δίνει για τα ζεύγη των ψηφίων του μειωτέου (a), του αφαιρέτη (b) και του δανεικού (r_{in}), το αποτέλεσμα (d) και το δανεικό (r_{out}) προς την επόμενη βαθμίδα.

a	b	r_{in}	d	r_{out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Πίνακας 1.4 *Πίνακας αληθείας της αφαίρεσης δύο ψηφίων και του δανεικού*

Για παράδειγμα, η διαδικασία αφαίρεσης των αριθμών $(1100)_2$ και $(1010)_2$ φαίνεται στο Σχήμα 1.5.



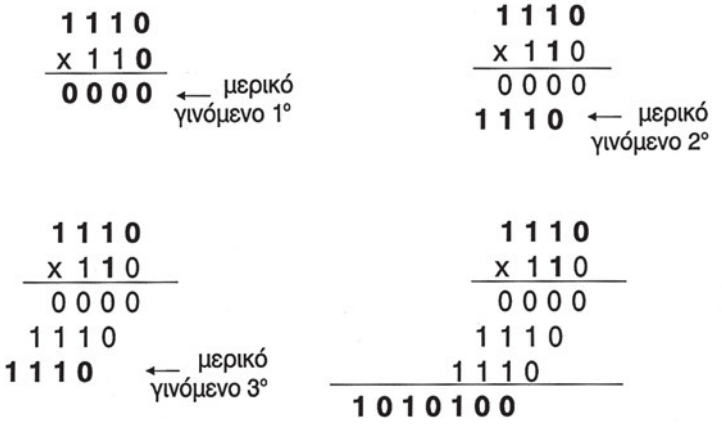
Σχήμα 1.5 *Αφαίρεση στο δυαδικό σύστημα*

Η αντίστοιχη αφαίρεση στο δεκαδικό σύστημα θα έδινε 12-10=2 που επαληθεύει το αποτέλεσμα.

1.3.3 Πολλαπλασιασμός

Ο πολλαπλασιασμός στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης γίνεται, όπως και στο δεκαδικό, με διαδοχικές προσθέσεις. Κάθε ψηφίο του πολλαπλασιαστή πολλαπλασιάζεται με όλα τα ψηφία του πολλαπλασιαστέου και σχηματίζει ένα μερικό γινόμενο. Κάθε μερικό γινόμενο γράφεται κάτω από το προηγούμενο ολισθημένο κατά μία θέση προς τα αριστερά. Στη συνέχεια, προσθέτουμε ανά δύο τα μερικά γινόμενα.

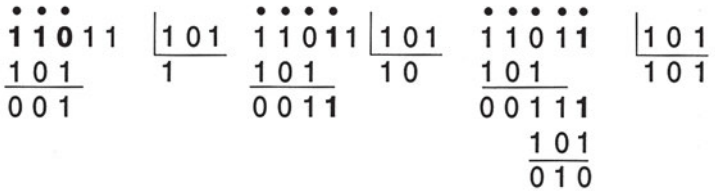
Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται ο δυαδικός πολλαπλασιασμός των αριθμών $(1110)_2$ και $(110)_2$. Ο πολλαπλασιασμός στο δεκαδικό σύστημα θα έδινε 14x6=84=$(1010100)_2$.



Σχήμα 1.6 *Πολλαπλασιασμός στο δυαδικό σύστημα*

1.3.4 Διαίρεση

Η διαίρεση στο δυαδικό σύστημα πραγματοποιείται με διαδοχικές αφαιρέσεις του διαιρέτη από το διαιρετέο. Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται η διαδικασία διαίρεσης του αριθμού $(11011)_2$ με τον $(101)_2$ που δίνει πηλίκο $(101)_2$ και υπόλοιπο $(10)_2$. Η αντίστοιχη πράξη στο δεκαδικό σύστημα (27 : 5) θα έδινε πηλίκο 5 και υπόλοιπο 2. Η διαδικασία είναι ανάλογη με αυτή που ακολουθούμε στους δεκαδικούς αριθμούς.



Σχήμα 1.7 *Διαίρεση στο δυαδικό σύστημα*

1.4 Πράξεις στο δεκαεξαδικό σύστημα

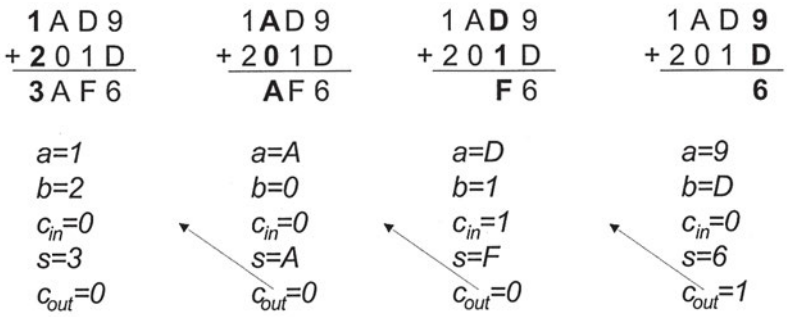
Η εκτέλεση των πράξεων στο δεκαεξαδικό σύστημα είναι πιο πολύπλοκη από ότι στο δυαδικό. Ο λόγος που μαθαίνουμε πράξεις στο σύστημα αυτό είναι ότι πολλές φορές χρησιμοποιούμε το δεκαεξαδικό σύστημα αντί του δυαδικού, επειδή το πλήθος των ψηφίων ενός αριθμού είναι πολύ μικρότερο από ότι στο δυαδικό σύστημα.

1.4.1 Πρόσθεση

Η πρόσθεση στο δεκαεξαδικό σύστημα γίνεται όπως στο δεκαδικό, ξεκινώντας από τα δεξιά και προσθέτοντας ανά δύο τα ψηφία, συν το κρατούμενο που προέκυψε από την πρόσθεση των προηγούμενων ψηφίων (αν υπάρχει).

Για να προσθέσουμε δύο ψηφία στο δεκαεξαδικό σύστημα υπολογίζουμε τη δεκαδική τους τιμή (αν κάποιο από αυτά είναι μεταξύ του 'A' και του 'F'), προσθέτουμε τις δεκαδικές τους τιμές. Αν το αποτέλεσμα είναι μικρότερο του 16 το παριστάνουμε με το αντίστοιχο δεκαεξαδικό ψηφίο. Αν το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 16, τότε αφαιρούμε το 16, και το υπόλοιπο είναι το αποτέλεσμα

και έχουμε κρατούμενο 1. Έτσι, η πρόσθεση 9 + 9 δίνει αποτέλεσμα $(18)_{10}$ επομένως έχουμε αποτέλεσμα 2 και κρατούμενο 1. Στο Σχήμα 1.8 φαίνεται η διαδικασία πρόσθεσης των αριθμών $(1AD9)_{16}$ και $(201D)_{16}$.



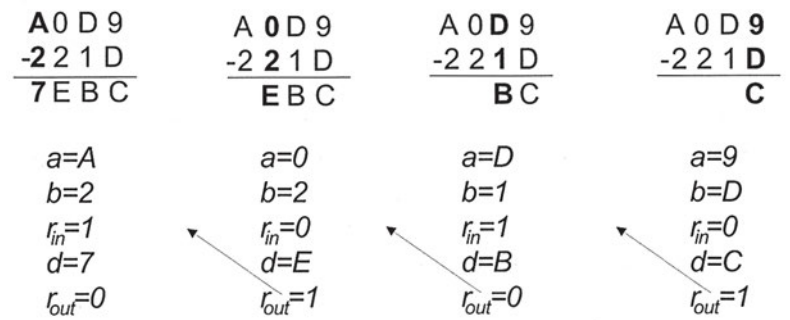
Σχήμα 1.8 *Πρόσθεση στο δεκαεξαδικό σύστημα*

Η αντίστοιχη πράξη στο δεκαδικό σύστημα (6873 + 8221) δίνει 15094 = $(3AF6)_{16}$ που επαληθεύει το αποτέλεσμα.

1.4.2 Αφαίρεση

Η αφαίρεση στο δεκαεξαδικό σύστημα γίνεται όπως στο δεκαδικό, ξεκινώντας από τα δεξιά και αφαιρώντας το ψηφίο του αφαιρέτη από το ψηφίο του μειωτέου. Αν υπάρχει δανεικό από προηγούμενη βαθμίδα, προστίθεται στο ψηφίο του αφαιρέτη.

Στην περίπτωση που το ψηφίο του αφαιρέτη είναι μεγαλύτερο από το ψηφίο του μειωτέου, δε δανειζόμαστε από την επόμενη βαθμίδα 10 όπως στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης, αλλά 16 (που είναι η βάση του συστήματος).



Σχήμα 1.9 *Αφαίρεση στο δεκαεξαδικό σύστημα*

Για παράδειγμα, η διαδικασία της αφαίρεσης των αριθμών $(41177)_{10}$= $(A0D9)_{16}$ και $(8733)_{10}$=$(221D)_{16}$ που δίνει αποτέλεσμα $(32444)_{10}$= $(7EBC)_{16}$ φαίνεται στο Σχήμα 1.9.

1.5 Παράσταση Αριθμών στον Υπολογιστή

Όπως γνωρίζουμε, οι πληροφορίες αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή. Η μνήμη του υπολογιστή είναι οργανωμένη σε λέξεις (ομάδες δυαδικών ψηφίων). Μια λέξη είναι μια ομάδα δυαδικών ψηφίων (συνήθως 8 ή 16 δυαδικά ψηφία).

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονται οι αριθμοί στη μνήμη του υπολογιστή. Από όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, γνωρίζουμε ότι στον υπολογιστή χρησιμοποιείται η δυαδική αναπαράσταση των αριθμών. Αυτό που μένει να συζητηθεί είναι: *πώς παρίστανται οι θετικοί και πώς οι αρνητικοί αριθμοί;*

Παράσταση αρνητικών αριθμών

Για να παραστήσουμε σε δυαδική μορφή θετικούς και αρνητικούς αριθμούς χρησιμοποιούμε το αριστερότερο ψηφίο της λέξης (most significant bit). Αν το ψηφίο αυτό είναι 0, τότε ο αριθμός είναι θετικός, διαφορετικά είναι αρνητικός.

Για να παραστήσουμε ένα θετικό αριθμό, χρησιμοποιούμε το αριστερότερο δυαδικό ψηφίο για το πρόσημο (0) και τα υπόλοιπα ψηφία τα χρησιμοποιούμε για να κωδικοποιήσουμε το μέτρο του αριθμού.

Έτσι για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας 8 δυαδικά ψηφία (όλα για το ακέραιο μέρος του αριθμού) ο αριθμός $(+ 18)_{10}$ είναι $(00010010)_2$.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να κωδικοποιήσουμε έναν αρνητικό αριθμό:

- η παράσταση προσήμου μέτρου
- η παράσταση συμπληρώματος ως προς 1
- η παράσταση συμπληρώματος ως προς 2

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά στις παραστάσεις αυτές.

Παράσταση Προσήμου Μέτρου

Στην παράσταση προσήμου μέτρου, χρησιμοποιούμε το αριστερότερο ψηφίο σαν ένδειξη του προσήμου, και τα υπόλοιπα ψηφία για το μέτρο του αριθμού.

Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιούμε οκτώ δυαδικά ψηφία για την παράσταση των αριθμών (όλα για το ακέραιο μέρος του αριθμού) και θέλουμε να παραστήσουμε τον αριθμό -18 με την παράσταση μέτρου, θα εργαστούμε ως εξής. Βρίσκουμε την παράσταση του αριθμού 18 με οκτώ δυαδικά ψηφία (00010010). Στη

συνέχεια αντιστρέφουμε το πρώτο ψηφίο, προκειμένου να δείξουμε ότι ο αριθμός είναι αρνητικός. Έτσι η ζητούμενη παράσταση είναι η 10010010.

Παράσταση Συμπληρώματος ως προς 1

Στην παράσταση συμπληρώματος ως προς 1, βρίσκουμε την αντίστοιχη δυαδική παράσταση του θετικού αριθμού και αντιστρέφουμε όλα τα ψηφία του.

Για παράδειγμα για να παραστήσουμε τον αριθμό -18 με παράσταση συμπληρώματος ως προς 1, ξεκινάμε από την παράσταση του θετικού αριθμού 00010010 και αντιστρέφουμε τα ψηφία του για να καταλήξουμε στην παράσταση 11101101.

Παράσταση συμπληρώματος ως προς 2

Στην παράσταση συμπληρώματος ως προς 2, χρησιμοποιούμε το θετικό αριθμό, αντιστρέφουμε όλα τα ψηφία του και στη συνέχεια προσθέτουμε μία μονάδα.

Έτσι, για να παραστήσουμε τον αριθμό -18 με παράσταση συμπληρώματος ως προς 2, ξεκινάμε από την παράσταση του θετικού αριθμού 00010010. Αντιστρέφοντας τα ψηφία βρίσκουμε την παράσταση 11101101. Στη συνέχεια, προσθέτοντας το 1, βρίσκουμε την παράσταση συμπληρώματος ως προς 2 που είναι η 11101110.

Αξίζει να παρατηρήσει κανείς, ότι και στους τρεις τρόπους παράστασης των αρνητικών αριθμών που αναφέρθηκαν, το αριστερότερο ψηφίο του αριθμού δείχνει αν ο αριθμός είναι θετικός ή αρνητικός. Έτσι, αν το ψηφίο είναι ’1’, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι ο αριθμός είναι αρνητικός.

1.6 Συστήματα αναπαράστασης συμβόλων στα υπολογιστικά συστήματα

Γνωρίζουμε ότι, γενικά, εκτός από αριθμούς μπορούμε να αναπαραστήσουμε σε έναν υπολογιστή και σύμβολα, όπως γράμματα, σημεία στίξης και αριθμητικά ψηφία. Οι πληροφορίες αυτές παριστάνονται στους υπολογιστές ως σύνολα δυαικών ψηφίων.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάστηκε στα πρώτα χρόνια της εμφάνισης των υπολογιστών ήταν η αντιστοίχηση των συμβόλων σε δυαδικά ψηφία. Τα χρόνια εκείνα ήταν δυνατό σε έναν υπολογιστή το γράμμα ’Ε’ να συμβολίζεται με την ακολουθία δυαδικών ψηφίων 0010 0111, ενώ σε έναν άλλο υπολογιστή με την ίδια ακολουθία να αντιστοιχίζεται το γράμμα ’Α’. Αν κανείς μετέφερε ένα αρχείο κειμένου από τον έναν υπολογιστή στον άλλο, το γράμμα ’Ε’ θα εκλαμβανόταν στο δεύτερο υπολογιστή ως ’Α’ με τις συνέπειες που θα είχε αυτό.

Εμφανίστηκε η ανάγκη ύπαρξης μιας κοινά αποδεκτής αντιστοίχισης χαρακτήρων σε δυαδικές ακολουθίες. Μια τέτοια αντιστοίχιση ονομάζεται σύνολο χαρακτήρων (character set) και συνήθως καθορίζεται από κάποιο διεθνή οργανισμό τυποποίησης. Ένα τέτοιο σύνολο χαρακτήρων, για μικροϋπολογιστές και σταθμούς εργασίας

είναι ο κώδικας ASCII (American Standard Code for Information Interchange, Αμερικανικός πρότυπος κώδικας για την ανταλλαγή πληροφοριών). Στον κώδικα ASCII, κάθε χαρακτήρας αναπαρίσταται από 8 δυαδικά ψηφία. Με τον κώδικα αυτό μπορούμε να παραστήσουμε 2^8=256 διαφορετικά σύμβολα. Μπορούμε να παραστήσουμε τα γράμματα του λατινικού αλφάβητου, τα αριθμητικά ψηφία, τα σύμβολα στίξης, των πράξεων, και ειδικούς χαρακτήρες (#,$,%,&,@,#), κλπ.

Ένα άλλο σύνολο χαρακτήρων είναι ο διευρυμένος δυαδικός κώδικας δεκαδικών για επικοινωνία (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code, EBCDIC). Στον επόμενο πίνακα δίνουμε παραδείγματα συμβόλων στους κώδικες ASCII και EBCDIC.

Σύμβολο	Κώδικας ASCII	Κώδικας EBCDIC
A	01000001	11000001
B	01000010	11000010
C	01000011	11000011
D	01000100	11000100
E	01000101	11000010
0	00110000	11110000
1	00110001	11110001
2	00110010	11110010
!	00100001	01011010
#	00100011	01111011
$	00100100	01011011
%	00100101	01101100
(	00101000	01001101
+	00101011	01001110
-	00101001	01001111
*	00101010	01011100

Πίνακας 1.5 *Σύμβολα στους κώδικες ASCII και EBCDIC*

Για την αναπαράσταση χαρακτήρων που δεν περιλαμβάνονται στο λατινικό αλφάβητο, κάθε χώρα έχει θεσπίσει ένα πρότυπο, το οποίο αποτελεί επέκταση των παραπάνω προτύπων. Το πιο γνωστό πρότυπο για την παράσταση των ελληνικών και λατινικών χαρακτήρων, είναι το πρότυπο 928 του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛΟΤ 928). Ο κώδικας αυτός αποτελεί μία επέκταση του κώδικα ASCII και περιλαμβάνει εκτός των λατινικών και τους ελληνικούς χαρακτήρες κεφαλαίους, πεζούς, τονούμενους, σημεία στίξης, κλπ.

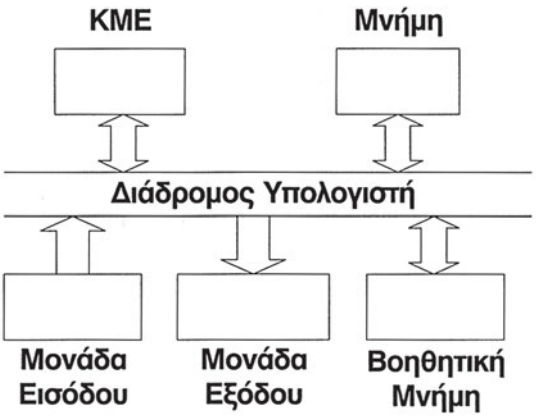
Με τους 256 χαρακτήρες που μπορούν να αναπαραστήσουν οι κώδικες ASCII και EBCDIC δεν είναι δυνατό να παρασταθούν οι χαρακτήρες όλων των αλφαβήτων (π.χ. ελληνικό, ασιατικά, γερμανικό, γαλλικό). Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε

ένα ακόμη σύνολο χαρακτήρων με το όνομα **Unicode.** Στο σύνολο αυτό χρησιμοποιούνται 16 δυαδικά ψηφία για την αναπαράσταση κάθε ψηφίου (είναι, όπως λέμε, ένας 16-δικός κώδικας). Το πλήθος των διαφορετικών ψηφίων που μπορεί να παραστήσει ο κώδικας αυτός είναι και 2^{16}=65536. Επομένως, το σύνολο αυτό καλύπτει τις ανάγκες για αναπαράσταση όλων των υπαρχόντων αλφάβητων.

1.7 Βασική δομή υπολογιστικού συστήματος - Αρχιτεκτονική

Στην παράγραφο αυτή θα περιγράψουμε συνοπτικά τη γενική δομή ενός υπολογιστικού συστήματος. Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιάσουμε πιο αναλυτικά τη δομή αυτή.

Όπως γνωρίζουμε, ένα υπολογιστικό σύστημα είναι ένα σύστημα που αποτελείται από υλικό και λογισμικό και το οποίο επεξεργάζεται δεδομένα. Με τον όρο υλικό αναφερόμαστε στις συσκευές και με τον όρο λογισμικό στα προγράμματα, δηλαδή σε μια σειρά εντολών οι οποίες εκτελούνται από το υπολογιστικό σύστημα. Η γενική δομή του υλικού ενός υπολογιστικού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 1.10.



Σχήμα 1.10 *Γενική δομή υπολογιστικού συστήματος*

Σύμφωνα με το Σχήμα 1.10, ένα υπολογιστικό σύστημα αποτελείται από:

- ***μονάδες εισόδου*** με τις οποίες μπορούμε να εισάγουμε δεδομένα στον υπολογιστή (π.χ. πληκτρολόγιο).

- ***μονάδες εξόδου*** με τις οποίες το υπολογιστικό σύστημα εμφανίζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας (π.χ. οθόνη, εκτυπωτής).
- ***Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)*** η οποία επεξεργάζεται τα δεδομένα.
- ***κύρια μνήμη*** στην οποία αποθηκεύονται προσωρινά δεδομένα.
- ***μονάδες βοηθητικής μνήμης*** στις οποίες αποθηκεύονται δεδομένα όπου θα παραμείνουν και μετά τη λήξη της λειτουργίας του υπολογιστικού συστήματος.
- ***τους διαδρόμους***, με τους οποίους επικοινωνούν μεταξύ τους οι παραπάνω μονάδες.

Στη συνέχεια περιγράφουμε τη δομή και τη λειτουργία των μονάδων αυτών.

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ) επεξεργάζεται δεδομένα. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε μια σειρά από βήματα, κάθε ένα από τα οποία ονομάζεται εντολή. Οι εντολές που εκτελούνται από την ΚΜΕ είναι *εντολές σε γλώσσα μηχανής.* Μια εντολή σε γλώσσα μηχανής είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία όπου είναι κωδικοποιημένο το είδος της εντολής. Οι εντολές της γλώσσας μηχανής είναι αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη, από όπου τις ανακαλεί και τις εκτελεί η ΚΜΕ.
Η ΚΜΕ αποτελείται από τρία τμήματα:

- *την αριθμητική και λογική μονάδα* (Arithmetic and Logic Unit, ALU), η οποία εκτελεί τις αριθμητικές και λογικές πράξεις
- *τη μονάδα ελέγχου* (control unit) η οποία συντονίζει την εκτέλεση των εντολών και την εκτέλεση των πράξεων στην αριθμητική και λογική μονάδα
- *τους καταχωρητές* (registers) οι οποίοι χρησιμεύουν ως χώροι αποθήκευσης δεδομένων (καταχωρητές δεδομένων) ή διευθύνσεων της μνήμης (καταχωρητές διευθύνσεων)

Κύρια Μνήμη

Στην κύρια μνήμη φυλάσσονται δεδομένα ή εντολές τις οποίες θα εκτελέσει η ΚΜΕ. Η κύρια μνήμη αποτελείται από λέξεις μνήμης (memory words), κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από δυαδικά ψηφία. Κάθε θέση έχει μια συγκεκριμένη διεύθυνση (address). Για να διαβάσουμε από μια θέση μνήμης ή να γράψουμε σε αυτή πρέπει να γνωρίζουμε τη διεύθυνσή της.

Η κύρια μνήμη ενός υπολογιστικού συστήματος χωρίζεται σε δύο τμήματα: στη μνήμη από την οποία η ΚΜΕ μπορεί να διαβάσει μόνο *(Read Only Memory, ROM)* και στη μνήμη στην οποία η ΚΜΕ μπορεί και να γράψει και να διαβάσει. Στη μνήμη αυτή αναφερόμαστε με τον όρο μνήμη τυχαίας προσπέλασης *(Random Access Memory, RAM).* Τα περιεχόμενα της μνήμης RAM χάνονται όταν σταματήσει να λειτουργεί το υπολογιστικό σύστημα.

Στη μνήμη RAM η ΚΜΕ μπορεί να γράψει δεδομένα *(εγγραφή) ή να διαβάσει δεδομένα (ανάγνωση).* Στην εγγραφή, η ΚΜΕ μεταφέρει σε μια θέση μνήμης ένα δεδομένο. Η μνήμη δέχεται τη διεύθυνση στην οποία θα γίνει η εγγραφή και τα περιεχόμενα που θα γραφούν στη θέση αυτή.

Στην ανάγνωση, τα περιεχόμενα μιας θέσης μεταφέρονται στην ΚΜΕ. Η μνήμη δέχεται τη διεύθυνση από την οποία θα διαβαστούν δεδομένα και επιστρέφει τα περιεχόμενα της θέσης αυτής.

Μονάδες Εισόδου - Εξόδου

Με τον όρο μονάδες εισόδου αναφερόμαστε στο σύνολο των συσκευών ή διατάξεων, που επιτρέπουν τη μετατροπή πληροφοριών (κείμενο, εικόνα, ήχο, video κ.λπ.) σε ψηφιακή αναπαράσταση, ώστε να εισαχθεί στον υπολογιστή (π.χ. *πληκτρολόγιο, ποντίκι, σαρωτής*). Οι μονάδες εξόδου μετατρέπουν την πληροφορία από ψηφιακή αναπαράσταση σε κείμενο, ήχο κ.λπ (π.χ. *οθόνη, εκτυπωτής*). Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την είσοδο αλλά και για την έξοδο δεδομένων ονομάζονται μονάδες εισόδου και εξόδου (π.χ. *modems, κάρτες ήχου και video*).

Βοηθητική μνήμη

Στις μονάδες βοηθητικής μνήμης αποθηκεύονται δεδομένα τα οποία θα παραμείνουν και μετά τη λήξη της λειτουργίας του. Οι πιο γνωστές μονάδες βοηθητικής μνήμης είναι τα μαγνητικά και οπτικά μέσα αποθήκευσης (σκληροί δίσκοι, δισκέτες, μαγνητικές ταινίες, οπτικοί δίσκοι).

Διάδρομοι

Ένας διάδρομος είναι μια ομάδα αγωγών που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των μονάδων του υπολογιστή.

Ο διάδρομος χωρίζεται λειτουργικά σε τρία μέρη: *το διάδρομο δεδομένων* (data bus), *το διάδρομο διευθύνσεων* (address bus) και το *διάδρομο ελέγχου* (control bus). Μέσω του *διαδρόμου δεδομένων* μεταφέρονται τα δεδομένα που θέλουμε να γράψουμε ή να διαβάσουμε κάθε φορά (π.χ. τα δυαδικά ψηφία που συνθέτουν το περιεχόμενο μιας θέσης μνήμης, ενός καταχωρητή της ΚΜΕ, ή δεδομένα από κάποια άλλη μονάδα).

Μέσω του *διαδρόμου διευθύνσεων* μεταφέρονται δυαδικά ψηφία που σχηματίζουν τη διεύθυνση μιας θέσης μνήμης ή τη διεύθυνση μιας συσκευής εισόδου-εξόδου, δηλαδή προσδιορίζουν πού θα γραφτεί ή από πού θα διαβαστεί ένα δεδομένο. Μέσω του *διαδρόμου ελέγχου* η ΚΜΕ πληροφορεί τη μνήμη ή τις περιφερειακές συσκευές για την ενέργεια που προτίθεται να κάνει (π.χ. να διαβάσει ή να γράψει δεδομένα).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε χρονική στιγμή μόνο δύο συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μέσω του διαδρόμου. Αν κάποια στιγμή επικοινωνεί μέσω του διαδρόμου η ΚΜΕ με τη μνήμη, μια μονάδα εισόδου δε μπορεί να στείλει δεδομένα, αλλά πρέπει να περιμένει να ολοκληρωθεί η επικοινωνία μεταξύ της ΚΜΕ και της κύριας μνήμης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πού χρησιμοποιείται το δυαδικό και πού το δεκαεξαδικό σύστημα αρίθμησης;
2. Πού χρησιμεύει ένα σύνολο χαρακτήρων;
3. Ποια είναι τα πιο γνωστά σύνολα χαρακτήρων;
4. Από ποια τμήματα αποτελείται ένα υπολογιστικό σύστημα;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Εκτελέστε τις ακόλουθες μετατροπές

- $(111)_2=(X)_{10}$
- $(FFA)_{16}=(X)_{10}$
- $(154)_{10}=(X)_{16}$
- $(22)_{10}=(X)_2$
- $(10010010)_2=(X)_{16}$
- $(65F)_{16}=(X)_2$

2. Εκτελέστε τις ακόλουθες πράξεις στο δυαδικό σύστημα

- 111 + 1001
- 111-11
- 11x10
- 1111 : 11

3. Εκτελέστε τις ακόλουθες πράξεις στο δεκαεξαδικό σύστημα

- AF9 + 11B
- AA9 - 1B8

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Κ.Ζ. Πεκμεστζή,*** "Συστήματα Μικροϋπολογιστών", Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.
2. ***Γ. Παπακωνσταντίνου, Π. Τσανάκας, Ν. Κοζύρης, Α. Μανουσοπούλου, Π. Ματζάκος,*** "Τεχνολογία Υπολογιστικών Συστημάτων και Λειτουργικά Συστήματα". ΥΠΕΠΘ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 1999.
3. ***Mano M. Morris,*** "Ψηφιακή Σχεδίαση", Παπασωτηρίου 1992, Δεύτερη Έκδοση, Μετάφραση Απ. Τραγανίτης.

Κεφάλαιο 2ο

Εφαρμογές των Ψηφιακών Ηλεκτρονικών στα Υπολογιστικά Συστήματα

Περιεχόμενα

Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- εξηγείς τη λειτουργία βασικών ψηφιακών κυκλωμάτων όπως:
  - λογικές πύλες
  - κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές
  - πολυπλέκτες και αποπλέκτες
  - καταχωρητές
  - μετρητές
  - αθροιστές και αφαιρέτες
- εξηγείς τη χρήση των κυκλωμάτων αυτών στα υπολογιστικά συστήματα
- εξηγείς τη δομή των τμημάτων ενός υπολογιστικού συστήματος με τη βοήθεια των ψηφιακών ηλεκτρονικών

Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στις εφαρμογές των ψηφιακών ηλεκτρονικών στα υπολογιστικά συστήματα. Με τον όρο ψηφιακά ηλεκτρονικά εννοούμε ηλεκτρονικές συσκευές που επεξεργάζονται πληροφορίες σε δυαδική μορφή (0 ή 1). Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1, τα υπολογιστικά συστήματα επεξεργάζονται τις πληροφορίες σε δυαδική μορφή (0 ή 1), γι' αυτό και στα υπολογιστικά συστήματα χρησιμοποιούνται ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα για την επεξεργασία των δεδομένων. Με τον όρο επεξεργασία αναφερόμαστε σε ενέργειες όπως αποθήκευση δεδομένων (προσωρινή ή μόνιμη) και η εκτέλεση πράξεων (λογικών και αριθμητικών).

Η επεξεργασία αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια λογικών κυκλωμάτων (απομονωτών και λογικών πυλών), κωδικοποιητών και αποκωδικοποιητών, πολυπλεκτών και αποπλεκτών, καταχωρητών, μετρητών και μονάδων άθροισης.

Στη συνέχεια αναφέρουμε για κάθε μια από τις μονάδες αυτές τη χρησιμότητά της (το ρόλο της σε ένα υπολογιστικό σύστημα), τη λειτουργία της και το σχηματικό της διάγραμμα. Τα ψηφιακά κυκλώματα διακρίνονται, όπως γνωρίζουμε, σε δύο κατηγορίες: τα συνδυαστικά και τα ακολουθιακά. Στα συνδυαστικά κυκλώματα, η τιμή της εξόδου ή των εξόδων εξαρτάται από την τιμή των εισόδων εκείνη τη χρονική στιγμή. Στα ακολουθιακά κυκλώματα η έξοδος εξαρτάται από την τιμή των εισόδων όχι μόνο εκείνη τη χρονική στιγμή, αλλά και από την τιμή που είχαν σε προηγούμενες χρονικές στιγμές (από μια ακολουθία τιμών εισόδου). Οι λογικές πύλες, οι απομονωτές, οι αποκωδικοποιητές και οι κωδικοποιητές, οι πολυπλέκτες και οι αποπλέκτες, οι αθροιστές και οι αφαιρέτες ανήκουν στα συνδυαστικά κυκλώματα. Αντιθέτως, οι καταχωρητές και οι απαριθμητές ανήκουν στα ακολουθιακά κυκλώματα. Οι λογικές πύλες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση λογικών πράξεων. Με τον όρο λογικές πράξεις αναφερόμαστε σε πράξεις των οποίων οι τελεστές είναι λογικά ψηφία (δυαδικά ψηφία) και τα αποτελέσματα επίσης λογικά ψηφία. Για την υλοποίηση των κυκλωμάτων αυτών, χρησιμοποιούνται γνώσεις από την άλγεβρα Boole.

2.1 Αλγεβρα Boole

Η δίτιμη άλγεβρα Boole είναι ένα αλγεβρικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει δύο στοιχεία (τα οποία συμβολίζουμε συνήθως με ’0’ και ’1’) και τρεις τελεστές, τους οποίους συμβολίζουμε με + (OR, Η), ·(AND, ΚΑΙ), ~ (NOT, ΟΧΙ). Συχνά, αντί για το σύμβολο ~ χρησιμοποιούμε το σύμβολο ’(~x = x’). Οι κανόνες για τους τελεστές αυτούς ορίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 2.1.

x	y	x+y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

x	y	x·y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

x	x´
0	1
1	0

Πίνακας 2.1 *Τελεστές της δίτιμης άλγεβρας Boole*

Οι μεταβλητές της άλγεβρας Boole μπορούν να πάρουν δύο τιμές ’0’ ή ’1’. Η άλγεβρα Boole χαρακτηρίζεται από μια σειρά αξιώματα, θεωρήματα και ιδιότητες (πχ. αντιμεταθετική, προσεταιριστική κ.λπ.).

Συναρτήσεις Boole

Μια συνάρτηση Boole είναι μια έκφραση που σχηματίζεται από δυαδικές μεταβλητές, τους τελεστές Η, ΚΑΙ, ΟΧΙ και παρενθέσεις. Για μια δεδομένη τιμή των μεταβλητών η τιμή της συνάρτησης μπορεί να είναι είτε ’0’ είτε ’1’. Μια συνάρτηση Boole μπορεί να οριστεί είτε με τον τύπο της, είτε με τον πίνακα αληθείας της. Για παράδειγμα, η συνάρτηση

$$F= xyz + xy'z$$

Παίρνει την τιμή ’1’ είτε όταν x=y=z=1 είτε όταν x=z=1 και y=0 (με y’ συμβολίζουμε την αντίστροφη της μεταβλητής y, η οποία είναι 0 όταν η y είναι 1 και αντίστροφα).

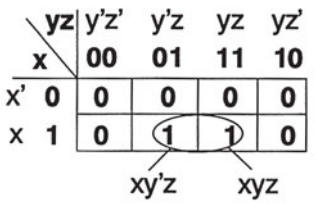
Ο πίνακας αληθείας της συνάρτησης F δίνεται στη συνέχεια.

x	y	z	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Πίνακας 2.2 *Πίνακας αληθείας της συνάρτησης F = xyz + xy’z*

Απλοποίηση συνάρτησης Boole

Με τον όρο απλοποίηση συνάρτησης Boole εννοούμε τη διαδικασία μέσω της οποίας η έκφραση μιας συνάρτησης μετασχηματίζεται σε μια μορφή απλούστερη. Με τον όρο 'απλούστερη' αναφερόμαστε συνήθως στην υλοποίηση της συνάρτησης με λογικές πύλες. Η απλοποίηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια του πίνακα Karnaugh όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 *Απλοποίηση της συνάρτησης F με το χάρτη Karnaugh*

Η απλοποιημένη μορφή της συνάρτησης F είναι η F=xz.

2.2 Λογικές Πύλες

Μια λογική πύλη υλοποιεί μια συνάρτηση Boole και έχει μία, δύο ή περισσότερες εισόδους και μία έξοδο.

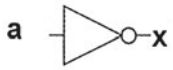
Κάθε λογική πύλη έχει ένα σύμβολο και έναν πίνακα αληθείας. Ο πίνακας αυτός δείχνει την τιμή της εξόδου για τις διαφορετικές τιμές των εισόδων. Οι λογικές πύλες χρησιμοποιούνται ακόμη στην υλοποίηση των άλλων μονάδων (αποκωδικοποιητών πολυπλεκτών, αθροιστών, κ.λπ.) που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Οι πιο γνωστές λογικές πράξεις είναι η σύζευξη (AND), η διάζευξη (OR) και η άρνηση (NOT). Οι πράξεις αυτές υλοποιούνται με τις λογικές πύλες AND, OR και NOT αντίστοιχα. Ακόμη, πολύ συχνά χρησιμοποιούνται οι πύλες NAND και NOR, οι οποίες εκτελούν τις αντίστροφες λογικές πράξεις από τις AND και OR αντίστοιχα, καθώς και οι πύλες της αποκλειστικής διάζευξης (XOR) και της άρνησής της (XNOR).

Πύλη NOT

Η λογική πράξη της άρνησης έχει μια μεταβλητή εισόδου και ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι '1' αν η είσοδος είναι '0', διαφορετικά το αποτέλεσμα είναι '0'. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης NOT, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	x
0	1
1	0



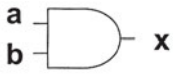
Σχήμα 2.2 *Λογικό σύμβολο της πύλης NOT και πίνακας αληθείας*

Συχνά, στην υλοποίηση λογικών συναρτήσεων, αντί για το σύμβολο της πύλης NOT χρησιμοποιούμε για απλότητα ένα κυκλάκι.

Πύλη AND

Η λογική πράξη της σύζευξης έχει δύο (ή περισσότερους) τελεστές και ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι '1' αν όλα τα δεδομένα είναι '1'. Σε κάθε άλλη περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι '0'. Η πράξη αυτή υλοποιείται με την πύλη AND. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης AND δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	b	x
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Σχήμα 2.3 *Λογικό σύμβολο της πύλης AND και πίνακας αληθείας*

Πύλη OR

Η λογική πράξη της διάζευξης έχει δύο (ή περισσότερους) τελεστές και ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι '0' αν όλα τα δεδομένα είναι '0'. Σε κάθε άλλη περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι '1'. Η πράξη αυτή υλοποιείται με την πύλη OR. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης OR δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

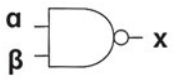
a	b	x
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Σχήμα 2.4 *Λογικό σύμβολο της πύλης OR και πίνακας αληθείας*

Πύλη NAND

Η λογική πράξη της άρνησης της σύζευξης έχει δύο (ή περισσότερους) τελεστές και ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι ’0’ αν όλα τα δεδομένα είναι ’1’. Σε κάθε άλλη περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι ’1’. Η πράξη αυτή υλοποιείται με την πύλη NAND. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης NAND δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	b	x
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

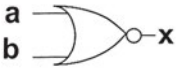


Σχήμα 2.5 *Λογικό σύμβολο της πύλης NAND και πίνακας αληθείας*

Πύλη NOR

Η λογική πράξη της άρνησης της διάζευξης έχει δύο (ή περισσότερους) τελεστές και ένα αποτέλεσμα το οποίο είναι ’1’ αν όλα τα δεδομένα είναι ’0’. Σε κάθε άλλη περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι ’1’. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης NOR δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	b	x
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Σχήμα 2.6 *Λογικό σύμβολο της πύλης NOR και πίνακας αληθείας*

Πύλη XOR

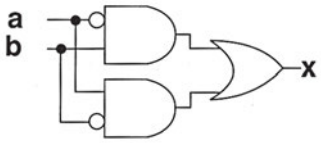
Η λογική πράξη της αποκλειστικής διάζευξης με δύο τελεστές έχει αποτέλεσμα ’1’ αν οι δύο τελεστές έχουν διαφορετική τιμή και ’0’ διαφορετικά. Η πράξη αυτή υλοποιείται με την πύλη XOR. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο

της πύλης XOR δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	b	x
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Σχήμα 2.7 *Λογικό σύμβολο της πύλης XOR και πίνακας αληθείας*

Συνήθως, η λογική πράξη της αποκλειστικής διάζευξης συμβολίζεται με το ⊕ δηλαδή x=a⊕b. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η λογική συνάρτηση την οποία υλοποιεί η πύλη XOR είναι η x=a'b ⊕ ab'. Έτσι, η πύλη XOR είναι ισοδύναμη με την ακόλουθη υλοποίηση.



Σχήμα 2.8 *Πύλη XOR υλοποιημένη με πύλες AND, OR, NOT*

Πύλη XNOR

Η λογική πράξη της άρνησης της αποκλειστικής διάζευξης με δύο τελεστές έχει αποτέλεσμα '0' αν οι δύο τελεστές έχουν διαφορετική τιμή και '1' διαφορετικά. Η πράξη αυτή υλοποιείται με την πύλη XNOR. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζουμε το λογικό σύμβολο της πύλης XNOR δύο εισόδων, καθώς και τον πίνακα αληθείας της.

a	b	x
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Σχήμα 2.9 *Λογικό σύμβολο της πύλης XNOR και πίνακας αληθείας*

2.3 Απομονωτές και transceivers

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, σε ένα υπολογιστικό σύστημα, υπάρχει ένας διάδρομος, πάνω στον οποίο συνδέονται τα τμήματα του υπολογιστικού συστήματος (ΚΜΕ, μνήμη, συσκευές εισόδου-εξόδου κ.λπ.). Είδαμε επίσης ότι κάθε στιγμή μόνο δύο συσκευές μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του διαδρόμου (η μία να στέλνει δεδομένα και η άλλη να λαμβάνει).

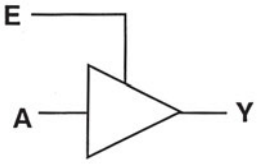
Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί αυτή η λειτουργία, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος ώστε οι έξοδοι (ή είσοδοι) μιας συσκευής ή μονάδας που είναι συνδεμένη στο διάδρομο να απομονωθούν, να λειτουργήσουν δηλαδή με τέτοιο τρόπο ώστε η συσκευή ή μονάδα να μην επηρεάζει καθόλου (και να μην επηρεάζεται από) το κύκλωμα στο οποίο συνδέεται. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, στους ακροδέκτες κάθε μιας από τις συσκευές που είναι συνδεμένες στο διάδρομο συνδέεται ένας απομονωτής (buffer) ή transeiver.

Ένας απομονωτής επιτρέπει μεταφορά δεδομένων μόνο προς τη μία κατεύθυνση, ενώ ένας transceiver επιτρέπει μεταφορά σημάτων και προς τις δύο κατευθύνσεις, με την ενεργοποίηση κατάλληλου σήματος επιλογής.

Όταν η έξοδος ενός απομονωτή ή transceiver δεν είναι ενεργοποιημένη, δεν επηρεάζει καθόλου το κύκλωμα στο οποίο συνδέεται (λέμε ότι έχει άπειρη αντίσταση). Οι απομονωτές (buffers) χρησιμοποιούνται ακόμη ως ενισχυτές του διαδρόμου διευθύνσεων.

Απομονωτής

Ο απομονωτής έχει μία είσοδο δεδομένων (A), μια είσοδο ελέγχου (E) και μια έξοδο (Y). Όταν η είσοδος ελέγχου βρίσκεται στη λογική κατάσταση ’1’ (επίτρεψη), η είσοδος A μεταφέρεται στην έξοδο. Αν η είσοδος ελέγχου είναι στη λογική κατάσταση ’0’ (απαγόρευση), η έξοδος είναι σε κατάσταση υψηλής αντίστασης (Three-state, TS).



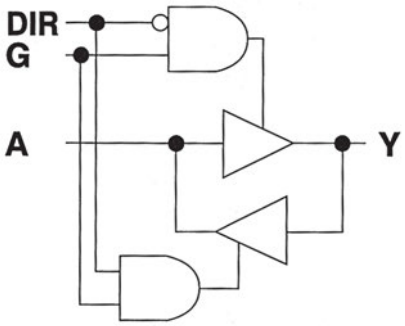
E	Y
1	A
0	TS

Σχήμα 2.10 *Απομονωτής και πίνακας λειτουργίας*

Transceiver

Για την ενίσχυση γραμμών στις οποίες είναι συνδεδεμένες μονάδες διπλής κατεύθυνσης (πχ. μονάδες εισόδου-εξόδου) χρησιμοποιούνται ειδικοί απομονωτές που ονομάζονται transceivers (transmitters/receivers).

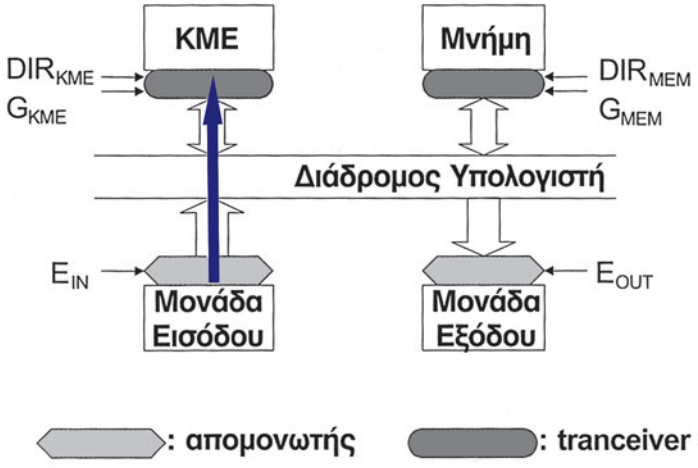
Ο transeiver διαθέτει δύο εισόδους ελέγχου G και DIR. Όταν η είσοδος G (επίτρεψης) είναι σε λογική κατάσταση ’0’, τότε ο transeiver λειτουργεί σε κατάσταση απομόνωσης. Όταν G=1, τότε, η μία είσοδος μεταφέρεται στην άλλη ανάλογα με την τιμή του σήματος DIR.



G	DIR	Λειτουργία
0	x	TS
1	0	A => Y
1	1	Y => A

Σχήμα 2.11 *Transceiver και πίνακας λειτουργίας*

Για να φανεί η χρησιμότητα των απομονωτών και των transceivers στα υπολογιστικά συστήματα, ας θεωρήσουμε το ακόλουθο απλοποιημένο διάγραμμα ενός υπολογιστικού συστήματος, στο οποίο οι μονάδες συνδέονται μέσω ενός διαδρόμου.



Σχήμα 2.12 *Υπολογιστικό σύστημα με απομονωτές και transceivers*

Σε αυτό το υπολογιστικό σύστημα προκειμένου να αποσταλούν δεδομένα από τη μονάδα εισόδου στην ΚΜΕ, πρέπει τα σήματα να πάρουν τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 2.3.

Σήμα	Τιμή	Λειτουργία
DIR_{KME}	0	Είσοδος δεδομένων στην ΚΜΕ
G_{KME}	1	Ενεργοποίηση transceiver
DIR_{MEM}	X	Δεν ενδιαφέρει η κατεύθυνση
G_{MEM}	0	Απενεργοποίηση μνήμης
E_{IN}	1	Ενεργοποίηση μονάδας εισόδου
E_{OUT}	0	Απενεργοποίηση μονάδας εξόδου

Πίνακας 2.3 *Λειτουργία των transceivers και απομονωτών για μεταφορά δεδομένων από τη μονάδα εισόδου στην ΚΜΕ.*

Με τις τιμές των σημάτων που φαίνονται στον Πίνακα 2.3, μόνο η μονάδα εισόδου μπορεί να στέλνει σήματα, και μόνο η ΚΜΕ μπορεί να λαμβάνει τα σήματα αυτά.

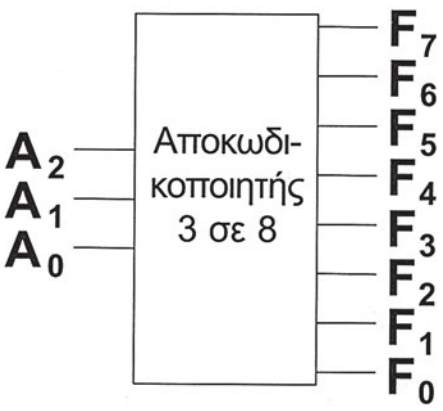
2.4 Κωδικοποιητές και αποκωδικοποιητές

Όταν περισσότερες από δύο συσκευές είναι συνδεδεμένες σε ένα διάδρομο (όπως συμβαίνει στα υπολογιστικά συστήματα), πρέπει να αποφασιστεί ποια από όλες θα επιλεγεί ώστε να πραγματοποιήσει μεταφορά των δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση κατάλληλου σήματος. Αν ο αριθμός των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο διάδρομο είναι μεγάλος, τότε μπορούμε να αποδώσουμε ένα δυαδικό αριθμό σε κάθε συσκευή που θα αποτελεί τη διεύθυνσή της. Έτσι με λίγες γραμμές (πχ. 3) μπορούμε να ελέγξουμε την επιλογή μεγάλου αριθμού συσκευών (πχ. 8). Προκύπτει όμως η ανάγκη κυκλωμάτων τα οποία θα μετατρέπουν την πληροφορία της επιλογής από τις λίγες γραμμές στις πολλές (μια για κάθε συσκευή). Τα κυκλώματα αυτά ονομάζονται κυκλώματα αποκωδικοποίησης ή αποκωδικοποιητές.

2.4.1 Αποκωδικοποιητές

Ένας αποκωδικοποιητής είναι ένα κύκλωμα (μονάδα) που έχει n γραμμές εισόδου και 2^n γραμμές εξόδου. Κάθε στιγμή μόνο μια από τις 2^n γραμμές εξόδου είναι ενεργή (έχει την τιμή ’1’), ανάλογα με το συνδυασμό των τιμών εισόδου. Για

παράδειγμα, στο Σχήμα 2.13 φαίνεται το λογικό διάγραμμα και ο πίνακας αληθείας του αποκωδικοποιητή 3-σε-8.

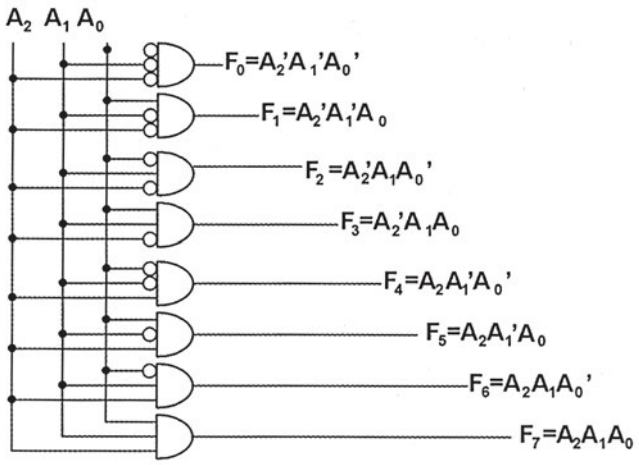


A_2	A_1	A_0	F_7	F_6	F_5	F_4	F_3	F_2	F_1	F_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 2.13 *Αποκωδικοποιητής 3-σε-8 και πίνακας αληθείας*

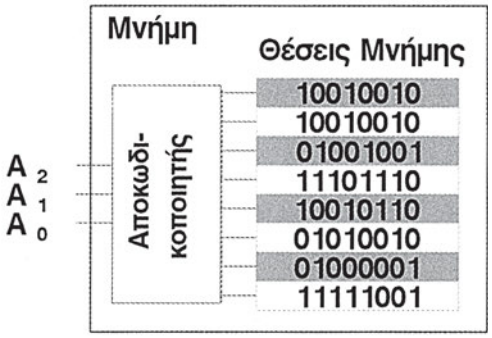
Είναι εύκολο να εξάγει κανείς τη συνάρτηση Boole για κάθε μια απο τις εξόδους F_0 εως F_7 του αποκωδικοποιητή. Στο Σχήμα 2.14 παρουσιάζουμε πώς μπορούμε να υλοποιήσουμε έναν αποκωδικοποιητή χρησιμοποιώντας πύλες AND και αντιστροφείς. Στο σχήμα αυτό, με κυκλάκι συμβολίζουμε την αντιστροφή (πύλη NOT). Ακόμη, με Α' συμβολίζουμε την αντίστροφη τιμή της μεταβλητής Α.

A_2	A_1	A_0	F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



Σχήμα 2.14 *Υλοποίηση αποκωδικοποιητή 3-σε-8 με πύλες AND και NOT*

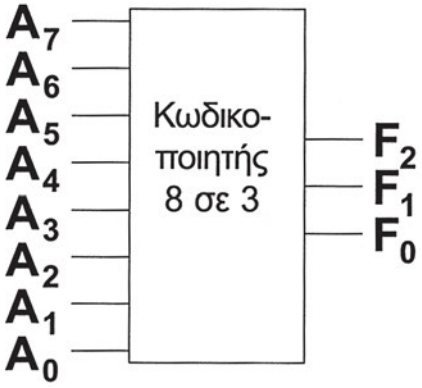
Αποκωδικοποιητές χρησιμοποιούνται στην επιλογή μιας θέσης μνήμης. Όπως γνωρίζουμε, η μνήμη αποτελείται από θέσεις, κάθε μια από τις οποίες έχει μια διεύθυνση. Γνωρίζουμε ακόμη, ότι η επιλογή της θέσης μνήμης γίνεται μέσω του διαδρόμου διευθύνσεων. Αν ο διάδρομος διευθύνσεων αποτελείται από n καλώδια, μπορεί να διεθυνσιοδοτήσει μέχρι 2^n θέσεις μνήμης. Η επιλογή της επιθυμητής θέσης μνήμης γίνεται μέσα στη μονάδα μνήμης, χρησιμοποιώντας έναν αποκωδικοποιητή.



Σχήμα 2.15 *Μνήμη 8 θέσεων που διεθυνσιοδοτείται από 3 γραμμές διευθύνσεων χρησιμοποιώντας αποκωδικοποιητή*

2.4.2 Κωδικοποιητές

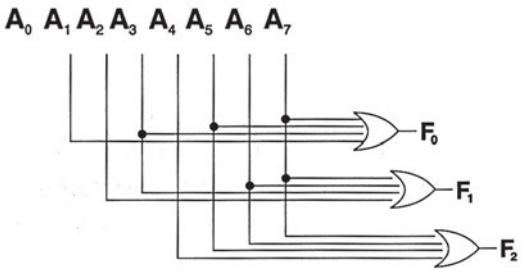
Ένας κωδικοποιητής είναι ένα λογικό κύκλωμα με 2^n εισόδους και n εξόδους. Για να λειτουργήσει ο κωδικοποιητής, κάθε στιγμή μόνο μια από τις εισόδους μπορεί να είναι ενεργοποιημένη. Η λογική τιμή της εξόδου εξαρτάται από το συνδυασμό των εισόδων. Στο Σχήμα 2.16 φαίνεται το λογικό διάγραμμα και ο πίνακας αληθείας ενός κωδικοποιητή 8-σε-3.



A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0	F_2	F_1	F_0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Σχήμα 2.16 *Κωδικοποιητής 8-σε-3 και πίνακας αληθείας*

Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζουμε την υλοποίηση ενός κωδικοποιητή 8-σε-3 χρησιμοποιώντας πύλες OR.



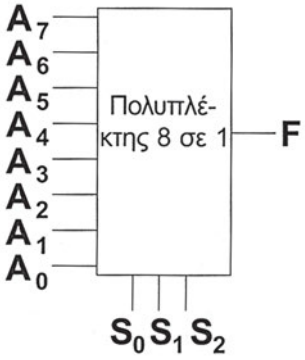
Σχήμα 2.17 *Υλοποίηση κωδικοποιητή 8-σε-3 με πύλες OR*

2.5 Πολυπλέκτες και αποπλέκτες

Ο όρος 'πολυπλεξία' σημαίνει τη μεταβίβαση ενός μεγάλου αριθμού πληροφοριών μέσα από ένα μικρότερο αριθμό καναλιών ή γραμμών.

2.5.1 Πολυπλέκτες

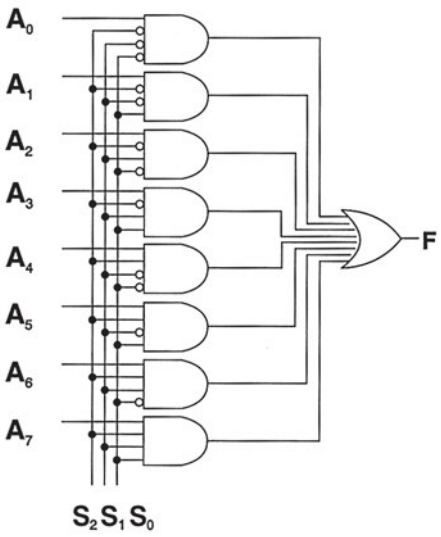
Ένας ψηφιακός πολυπλέκτης είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα που επιλέγει δυαδικές πληροφορίες ανάμεσα σε πολλές γραμμές εισόδου και τις κατευθύνει σε μια μοναδική γραμμή εξόδου. Η επιλογή της γραμμής εισόδου γίνεται μέσω γραμμών επιλογής. Υπάρχουν 2^n γραμμές εισόδου και n γραμμές επιλογής. Η τιμή των γραμμών επιλογής καθορίζει ποια είσοδος επιλέγεται.



S_2	S_1	S_0	F
0	0	0	A0
0	0	1	A1
0	1	0	A2
0	1	1	A3
1	0	0	A4
1	0	1	A5
1	1	0	A6
1	1	1	A7

Σχήμα 2.18 *Πολυπλέκτης 8 εισόδων και πίνακας αληθείας*

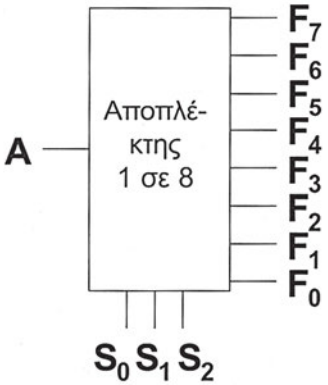
Στο Σχήμα 2.19 παρουσιάζουμε την υλοποίηση ενός πολυπλέκτη 8-σε-1 χρησιμοποιώντας πύλες AND, NOT και μια πύλη OR. Με κυκλάκι συμβολίζουμε την αντιστροφή (πύλη NOT).



Σχήμα 2.19 *Υλοποίηση πολυπλέκτη 8-σε-1 με πύλες AND, NOT, OR*

2.5.2 Αποπλέκτες

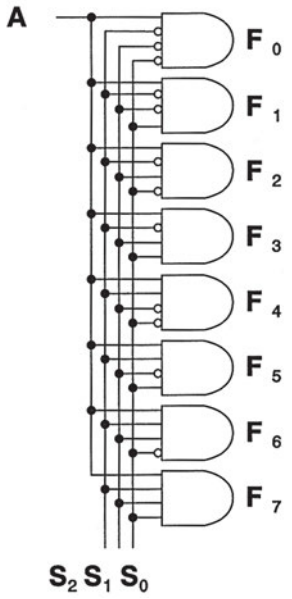
Η απόπλεξη είναι η αντίστροφη διαδικασία από την πολύπλεξη. Στην απόπλεξη υπάρχει μια είσοδος και 2^n έξοδοι. Η τιμή της εισόδου μεταφέρεται σε κάποια από τις εξόδους ανάλογα με την τιμή των n σημάτων επιλογής. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.20 παρουσιάζουμε το λογικό διάγραμμα και τον πίνακα αληθείας για τον αποπλέκτη 2^3=8 εξόδων.



S_2	S_1	S_0	F_7	F_6	F_5	F_4	F_3	F_2	F_1	F_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
0	0	1	0	0	0	0	0	0	A	0
0	1	0	0	0	0	0	0	A	0	0
0	1	1	0	0	0	0	A	0	0	0
1	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0
1	0	1	0	0	A	0	0	0	0	0
1	1	0	0	A	0	0	0	0	0	0
1	1	1	A	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 2.20 *Αποπλέκτης 8 εξόδων και πίνακας αληθείας*

Στο Σχήμα 2.21 φαίνεται η υλοποίηση ενός αποπλέκτη 8 εξόδων χρησιμοποιώντας πύλες AND και NOT.



Σχήμα 2.21 *Υλοποίηση αποπλέκτη 8 εξόδων με πύλες AND και NOT*

2.6 Στοιχειώδεις μονάδες άθροισης

Όπως αναφέραμε, μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες που εκτελούν τα υπολογιστικά συστήματα είναι οι αριθμητικές πράξεις. Οι πιο σημαντικές πράξεις, πάνω στις οποίες στηρίζονται οι υπόλοιπες, είναι η πρόσθεση και η αφαίρεση. Για την εκτέλεση των πράξεων αυτών χρησιμοποιούνται οι αθροιστές και οι αφαιρέτες.

2.6.1 Αθροιστές

Η πιο βασική αριθμητική πράξη είναι η πρόσθεση δύο δυαδικών ψηφίων. Όπως αναφέραμε, για την πρόσθεση δύο δυαδικών ψηφίων υπάρχουν τέσσερις δυνατές περιπτώσεις: 0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=10. Οι τρεις πρώτες πράξεις δημιουργούν ένα άθροισμα που το μήκος του είναι ένα ψηφίο. Όταν και οι δύο προσθετέοι είναι 1, το δυαδικό άθροισμα αποτελείται από δύο ψηφία. Το πιο σημαντικό από αυτά τα δύο ψηφία ονομάζεται 'κρατούμενο'. Όταν οι δύο αριθμοί περιέχουν και άλλα δυαδικά ψηφία, το κρατούμενο που βγαίνει από την πρόσθεση δύο ψηφίων

προστίθεται στο επόμενο μεγαλύτερης σημαντικότητας ζευγάρι δυαδικών ψηφίων. Ένα συνδυαστικό κύκλωμα που εκτελεί την πρόσθεση δυο δυαδικών ψηφίων λέγεται 'ημιαθροιστής'. Ένα συνδυαστικό κύκλωμα που εκτελεί την πρόσθεση τριών δυαδικών ψηφίων (δυο δυαδικών ψηφίων και ενός προηγούμενου κρατούμενου) λέγεται 'πλήρης αθροιστής'. Το όνομα του ημιαθροιστή προέρχεται από το γεγονός ότι δυο ημιαθροιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υλοποιήσουν έναν πλήρη αθροιστή, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Ημιαθροιστής

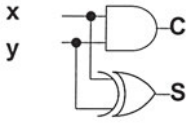
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο ημιαθροιστής είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα με δύο εισόδους, x και y, και δύο εξόδους S (Sum, άθροισμα) και C (Carry, κρατούμενο), του οποίου ο πίνακας αληθείας δίνεται στη συνέχεια.

x	y	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Πίνακας 2.4 *Πίνακας αληθείας ημιαθροιστή*

$$S=x'y + x\,y' = x \oplus y$$
$$C=xy$$

Όπως έχουμε δει, η συνάρτηση x'y + xy' είναι η πύλη XOR. Το λογικό διάγραμμα της υλοποίησής τους χρησιμοποιώντας πύλες AND και XOR φαίνεται στο Σχήμα 2.22:



Σχήμα 2.22 *Ημιαθροιστής*

Πλήρης Αθροιστής

Ο πλήρης αθροιστής είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα που σχηματίζει το άθροισμα τριών δυαδικών ψηφίων εισόδου. Έχει τρεις εισόδους και δύο εξόδους. Οι δύο από τις μεταβλητές εισόδου παριστάνουν τα δύο σημαντικά ψηφία που προστίθενται. Η τρίτη είσοδος παριστάνει το κρατούμενο από τη λιγότερο σημαντική βαθμίδα. Ο πίνακας αληθείας του πλήρη αθροιστή δίνεται στον Πίνακα 2.5:

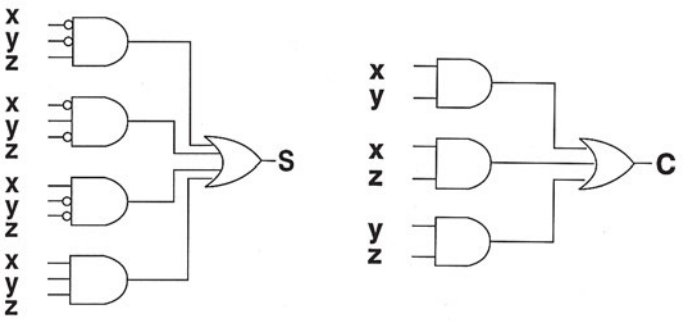
z	x	y	S	C
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Πίνακας 2.5 *Πίνακας αληθείας πλήρους αθροιστή*

Μπορούμε, χρησιμοποιώντας τον πίνακα αληθείας, να εξάγουμε τις ακόλουθες απλοποιημένες μορφές για τις συναρτήσεις S και C του πλήρη αθροιστή:

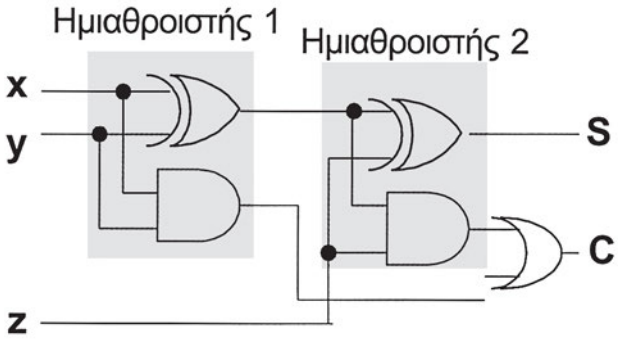
$$S=x'y'z + x'yz' + xy'z' + xyz$$
$$C=xy + xz + yz$$

Έτσι, μπορούμε να δώσουμε την υλοποίηση που φαίνεται στο Σχήμα 2.23 για το κύκλωμα του πλήρη αθροιστή.



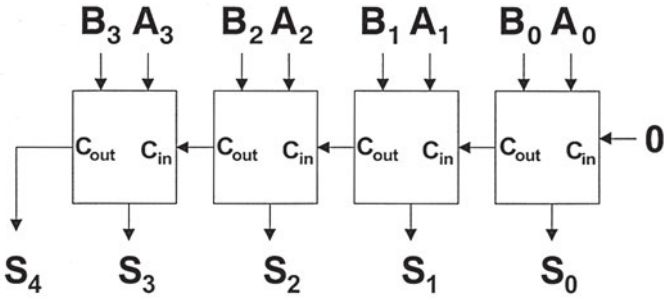
Σχήμα 2.23 *Πλήρης αθροιστής*

Είναι αρκετά ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι ένα ισοδύναμο σχήμα για τον πλήρη αθροιστή μπορεί να δοθεί με τη βοήθεια ημιαθροιστών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.24.



Σχήμα 2.24 *Πλήρης αθροιστής υλοποιημένος με ημιαθροιστές*

Προκειμένου να προσθέσουμε δυαδικούς αριθμούς που αποτελούνται από περισσότερα του ενός ψηφία, χρησιμοποιούμε περισσότερους από έναν πλήρεις αθροιστές. Κάθε πλήρης αθροιστής αντιστοιχεί και υπολογίζει ένα ψηφίο αθροίσματος. Το κρατούμενο εξόδου κάθε αθροιστή συνδέεται στο κρατούμενο εισόδου του αθροιστή που αντιστοιχεί στην επόμενη βαθμίδα. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.25 παρουσιάζεται ένα τέτοιος αθροιστής τεσσάρων βαθμίδων. Ο αθροιστής αυτός προσθέτει τους τετραψήφιους δυαδικούς αριθμούς $A_3A_2A_1A_0$ και $B_3B_2B_1B_0$ και δίνει ως αποτέλεσμα τον πενταψήφιο δυαδικό αριθμό $S_4S_3S_2S_1S_0$.



Σχήμα 2.25 *Αθροιστής τεσσάρων (4) δυαδικών ψηφίων*

2.6.2 Αφαιρέτες

Η αφαίρεση δύο δυαδικών αριθμών πραγματοποιείται παίρνοντας το συμπλήρωμα ως προς 2 του αφαιρέτη και προσθέτοντάς το στον μειωτέο. Με αυτήν την παρατήρηση, η πράξη της αφαίρεσης μετατρέπεται σε πρόσθεση και για την υλοποίησή της μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλήρεις αθροιστές. Εναλλακτικά, μπορούμε να υλοποιήσουμε την αφαίρεση με άμεσο τρόπο (όπως την κάνουμε με χαρτί και μολύβι). Με αυτή τη μέθοδο, κάθε δυαδικό ψηφίο του αφαιρέτη αφαιρείται από το αντίστοιχης σημαντικότητας δυαδικό ψηφίο του μειωτέου και δίνει ένα δυαδικό ψηφίο διαφοράς. Αν το δυαδικό ψηφίο του αφαιρέτη είναι μεγαλύτερο από το ψηφίο του μειωτέου, δανειζόμαστε 1 από την επόμενη σημαντική θέση. Για να μετεβιβαστεί το γεγονός αυτό στην επόμενη βαθμίδα χρησιμοποιείται ένα σήμα δανεισμού (borrow). Όπως ακριβώς υπάρχουν ημιαθροιστές και πλήρεις αθροιστές, υπάρχουν ημιαφαιρέτες και πλήρεις αφαιρέτες.

Ημιαφαιρέτης

Ο ημιαφαιρέτης είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα το οποίο αφαιρεί δύο δυαδικά ψηφία και δίνει τη διαφορά τους. Έχει επίσης μία έξοδο που καθορίζει αν χρειάζεται να δανειστούμε (borrow) μια μονάδα. Αν συμβολίσουμε το ψηφίο του αφαιρετέου με x και του αφαιρέτη με y, για να κάνουμε την αφαίρεση x-y πρέπει να ελέγξουμε τα σχετικά μεγέθη των x και y. Αν x≥y τότε υπάρχουν τρεις περιπτώσεις: 0-0=0, 1-0=1 1-1=0. Το αποτέλεσμα λέγεται δυαδικό ψηφίο διαφοράς. Αν x<y, τότε έχουμε 0-1, και έτσι χρειάζεται να δανειστούμε μια μονάδα από την επόμενη βαθμίδα. Το 1 που δανειζόμαστε από την επόμενη θέση έχει διπλάσιο βάρος και προσθέτει 2 στο δυαδικό ψηφίο του αφαιρέτη, όπως στο δεκαδικό σύστημα το κρατούμενο της αφαίρεσης προσθέτει δέκα στον μειωτέο. Έτσι, με τον αφαιρετέο ίσο με 2, η διαφορά γίνεται 2-1=1. Ο ημιαφαιρέτης χρειάζεται δύο εξόδους. Η μια έξοδος παράγει τη διαφορά και θα συμβολίζεται με D (Difference, διαφορά). Η δεύτερη έξοδος που θα συμβολίζεται με B (Borrow, δανεικό) παράγει το δυαδικό σήμα που πληροφορεί την επόμενη βαθμίδα αν δανειστήκαμε μια μονάδα ή όχι. Ο πίνακας αληθείας του ημιαφαιρέτη είναι ο ακόλουθος:

x	y	B	D
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	1	0	0

Πίνακας 2.6 *Πίνακας αληθείας ημιαφαιρέτη*

Οι συναρτήσεις Boole για τις εξόδους του ημιαφαιρέτη βρίσκονται από τον πίνακα αληθείας και είναι: $D=x'y + xy'$

$B=x'y$

Πλήρης αφαιρέτης

Ο πλήρης αφαιρέτης είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα που εκτελεί την αφαίρεση μεταξύ δύο δυαδικών ψηφίων παίρνοντας υπόψη ότι μπορεί η λιγότερο σημαντική βαθμίδα να έχει δανειστεί μια μονάδα. Αυτό το κύκλωμα έχει τρεις εισόδους και δύο εξόδους. Οι τρεις είσοδοι x, y, z συμβολίζουν το ψηφίο του αφαιρέτη, του μειωτέου και του δανεικού, αντίστοιχα. Οι έξοδοι D, B συμβολίζουν τη διαφορά και το δανεικό εξόδου, αντίστοιχα. Ο πίνακας αληθείας του κυκλώματος είναι ο εξής:

x	y	z	B	D
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Πίνακας 2.7 *Πίνακας αληθείας πλήρους αφαιρέτη*

Οι απλοποιημένες συναρτήσεις Boole των δύο εξόδων του πλήρους αφαιρέτη είναι οι ακόλουθες:

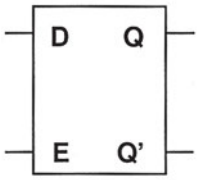
$$D=x'y'z + x'yz' + xy'z' + xyz$$
$$B=x'y + x'z + yz$$

2.7 Ακολουθιακές μονάδες - Στοιχεία Μνήμης

Οι μονάδες στις οποίες αναφερθήκαμε μέχρι το σημείο αυτό ήταν συνδυαστικές, δηλαδή η τιμή της εξόδου σε κάποια χρονική στιγμή εξαρτάται από την τιμή της εισόδου εκείνης της χρονικής στιγμής. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε ακολουθιακές μονάδες. Στις ακολουθιακές μονάδες η τιμή της εξόδου εξαρτάται από την τιμή των εισόδων όχι μόνο εκείνης της χρονικής στιγμής, αλλά και από τις τιμές τους τις προηγούμενες χρονικές στιγμές. Κύριο χαρακτηριστικό των ακολουθιακών μονάδων είναι το ότι χρησιμοποιούμε στοιχεία μνήμης. Υπάρχουν δύο είδη στοιχείων μνήμης: ο *μανδαλωτής* (latch) και το *flip-flop*.

Μανδαλωτής

Ένας μανδαλωτής είναι μια ψηφιακή συσκευή στην έξοδο της οποίας μπορούμε να αποθηκεύσουμε ένα ’1’ ή ένα ’0’. Ο μανδαλωτής έχει μια είσοδο δεδομένων (D, data) και μια είσοδο επίτρεψης (E, Enable). Έχει δύο εξόδους, τις οποίες συμβολίζουμε με Q και Q’. Η τιμές των εξόδων Q και Q’ είναι συμπληρωματικές, με άλλα λόγια όταν η έξοδος Q έχει την τιμή ’1’, η έξοδος Q’ έχει την τιμή ’0’ και αντίστροφα. Οι λόγοι που στο μανδαλωτή περιλαμβάνεται και η αντιστροφή της εξόδου είναι ότι η ύπαρξη της αντεστραμμένης εξόδου είναι πολύ χρήσιμη στην πράξη, καθώς και το ότι η υλοποίησή της είναι πολύ απλή. Το σχηματικό διάγραμμα και ο πίνακας αληθείας του μανδαλωτή φαίνονται στο Σχήμα 2.26.



D	E	Q
X	0	Q_n
0	1	0
1	1	1

Σχήμα 2.26 *Λογικό διάγραμμα και πίνακας αληθείας μανδαλωτή*

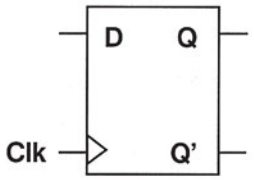
Ο μανδαλωτής λειτουργεί ως εξής: Αν η είσοδος επίτρεψης είναι ενεργοποιημένη (’1’), τότε η τιμή της εισόδου δεδομένων (D) μεταφέρεται στην έξοδο (Q). Διαφορετικά, η τιμή της εξόδου παραμένει ίδια με την προηγούμενη τιμή της (την οποία συμβολίζουμε με Q_n). Με άλλα λόγια ο μανδαλωτής φυλάσσει (μανδαλώνει) μια τιμή στην έξοδό του όσο E=0.

Flip-flop

Το flip-flop είναι μια συσκευή η οποία λειτουργεί παρόμοια με το μανδαλωτή μεταφέροντας την τιμή της εισόδου στην έξοδο. Η διαφορά του flip-flop είναι πως η μεταφορά γίνεται τη στιγμή που το σήμα επίτρεψης (που στο flip-flop λέγεται ρολόι και συμβολίζεται με clk) αλλάζει τιμή από 0 σε 1[1]. Με άλλα λόγια το flip-flop λειτουργεί στην ακμή του ρολογιού.

[1] *Τα flip-flops που λειτουργούν όταν η είσοδος χρονισμού μεταβάλλεται από ’0’ σε ’1’, ονομάζονται flip-flops θετικής ακμής. Υπάρχουν ακόμη flip-flops τα οποία λειτουργούν όταν η είσοδος χρονισμού μεταβάλλεται από ’1’ σε ’0’. Τα flip-flops αυτά ονομάζονται flip-flops αρνητικής ακμής. Τα flip-flops που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια, είναι θετικής ακμής.*

Στο Σχήμα 2.27 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του flip-flop (που μοιάζει αρκετά με εκείνο του μανδαλωτή) και ο πίνακας λειτουργίας του.

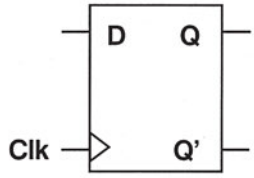


D	Clk	Q
x	0	Q_n
x	1	Q_n
0	↑	0
1	↑	1

Σχήμα 2.27 *Flip-flop τύπου D θετικής ακμής και πίνακας λειτουργίας*

Στον πίνακα λειτουργίας του flip-flop φαίνεται ότι όταν η τιμή του σήματος clk έχει οποιαδήποτε τιμή (0 ή 1), η έξοδος του flip-flop δεν επηρεάζεται (παραμένει στην προηγούμενη κατάσταση Q_n). Αντίθετα, όταν το σήμα clk μεταβαίνει από την κατάσταση '0' στην '1' (συμβολίζουμε αυτή τη μετάβαση με το βελάκι που φαίνεται στον πίνακα), η τιμή της εισόδου D μεταφέρεται στην έξοδο Q.

Ένας εναλλακτικός (και πιο απλός) τρόπος παρουσίασης της λειτουργίας του flip-flop, είναι ο χαρακτηριστικός πίνακας. Ο πίνακας αυτός δίνει την τιμή της εξόδου ως συνάρτηση της μεταβλητής εισόδου, αφού συμφωνήσουμε ότι οι αλλαγές στην έξοδο γίνονται μόνο στη μετάβαση του παλμού χρονισμού από το 0 στο 1. Έτσι, ο χαρακτηριστικός πίνακας του flip-flop τύπου D είναι ο ακόλουθος.



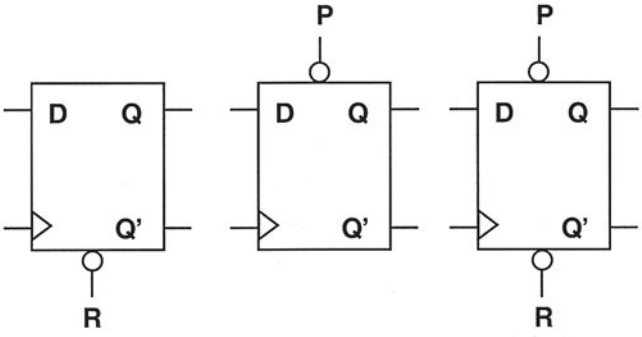
D	Q
0	0
1	1

Σχήμα 2.28 *Flip-flop τύπου D θετικής ακμής και χαρακτηριστικός πίνακας*

Ασύγχρονες είσοδοι

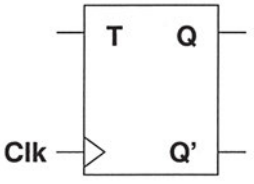
Ένα flip-flop μπορεί να περιλαμβάνει ασύγχρονες εισόδους θέσης (Preset, P) και μηδένισης (Reset, R). Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να περιλαμβάνει καμία από τις εισόδους αυτές (όπως τα flip-flops που είδαμε μέχρι τώρα), οποιαδήποτε από τις δύο ή και τις δύο.

Η λειτουργία ασύγχρονων εισόδων είναι η εξής: Όταν η τιμή τους είναι 1, δεν επηρεάζεται η λειτουργία του flip-flop. Όταν η είσοδος P είναι 0, τότε η τιμή της εξόδου Q γίνεται 1, ανεξάρτητα από την τιμή των εισόδων D και clk. Όταν η είσοδος R είναι 0, τότε η τιμή της εξόδου γίνεται 0, ανεξάρτητα από την τιμή της εισόδου χρονισμού (clk). Οι ασύγχρονες είσοδοι P και R δε μπορούν να είναι ταυτόχρονα 0, διότι, στην περίπτωση αυτή, η έξοδος του flip-flop θα είναι απροσδιόριστη. Το Σχήμα 2.29 δείχνει τα σύμβολα του flip-flop τύπου D με ασύγχρονη είσοδο R, ασύγχρονη είσοδο P και με τις δύο ασύγχρονες εισόδους.



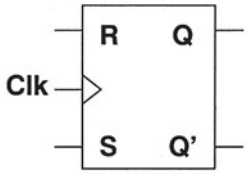
Σχήμα 2.29 *Flip-flop τύπου D με (α) ασύγχρονη είσοδο μηδένισης (β) ασύγχρονη είσοδο θέσης και (γ) και τις δύο ασύγχρονες εισόδους*

Το flip-flop στο οποίο αναφερθήκαμε ονομάζεται flip-flop τύπου D. Το όνομα αυτό προέρχεται από την αγγλική λέξη data (δεδομένα). Η λειτουργία του είναι να μεταφέρει τα δεδομένα της εισόδου στην έξοδο. Εκτός από τον τύπο αυτό, υπάρχουν και άλλοι τύποι flip-flop, όπως το flip-flop reset-set (RS flip-flop), Toggle (T flip-flop), J-K flip-flop. Η λειτουργία αυτών των flip-flops φαίνεται στα Σχήματα 2.30 και 2.31.



T	Q
0	Q_n
1	Q'_n

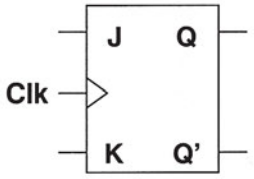
Σχήμα 2.30 *Flip-flop τύπου T θετικής ακμής και χαρακτηριστικός πίνακας*



R	S	Q
0	0	Qn
0	1	1
1	0	0
1	1	απρόβλεπτη

Σχήμα 2.31 *Flip-flop τύπου RS θετικής ακμής και χαρακτηριστικός πίνακας*

Στο flip-flop τύπου RS, οι είσοδοι R και S δε μπορούν να είναι ταυτόχρονα στο 1, γιατί στην περίπτωση αυτή η έξοδος του flip-flop είναι απρόβλεπτη (αυτό οφείλεται στην κατασκευή του flip-flop, με την οποία δε θα ασχοληθούμε εδώ). Λέμε ότι ο συνδυασμός εισόδων R=S=1 δεν είναι επιτρεπτός, και όταν σχεδιάζουμε ψηφιακά συστήματα προσπαθούμε να διασφαλίσουμε ότι ο συνδυασμός αυτός δεν εμφανίζεται στην είσοδο του flip-flop.



J	K	Q
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_n

Σχήμα 2.32 *Flip-flop τύπου JK θετικής ακμής και χαρακτηριστικός πίνακας*

Τα flip-flops των τύπων T, RS, JK μπορούν να επεκταθούν με ασύγχρονες εισόδους P και R, όπως και τα flip-flops τύπου D. Η λειτουργία των ασύγχρονων εισόδων είναι ίδια με εκείνη που έχουν στα flip-flops τύπου D.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τη λειτουργία απλών ακολουθιακών μονάδων χρησιμοποιώντας flip-flops τύπου D. Οι ακολουθιακές μονάδες στις οποίες θα αναφερθούμε είναι οι καταχωρητές και οι μετρητές.

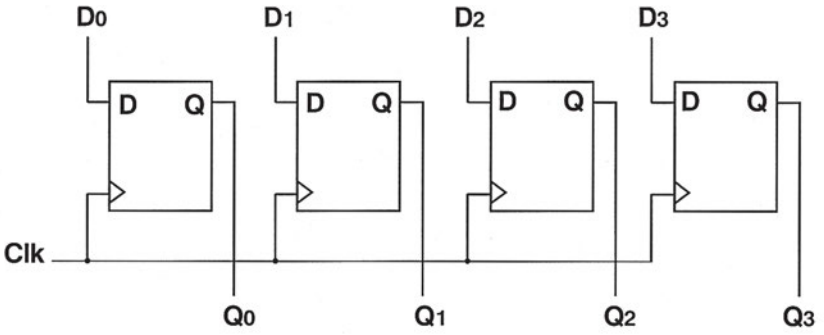
2.8 Καταχωρητές

Με τον όρο καταχώρηση εννοούμε τη λειτουργία με την οποία (δυαδικές) πληροφορίες φυλάσσονται για μετέπειτα επεξεργασία και χρήση. Στη σχεδίαση και υλοποίηση υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιούνται κυρίως δύο είδη καταχωρητών. Οι παράλληλοι καταχωρητές και οι καταχωρητές ολίσθησης.

2.8.1 Παράλληλοι Καταχωρητές

Ένας παράλληλος καταχωρητής χρησιμοποιείται για τη φύλαξη δεδομένων και αποτελείται από στοιχεία μνήμης (flip-flops). Τα στοιχεία μνήμης ενός παράλληλου καταχωρητή οδηγούνται από μια κοινή είσοδο ρολογιού. Αυτή η είσοδος ρολογιού πυροδοτεί όλα τα flip-flops, ώστε οι πληροφορίες που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή στις εισόδους του καταχωρητή να μεταφερθούν στις εξόδους του.

Στο Σχήμα 2.33 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός παράλληλου καταχωρητή 4 βαθμίδων. Συνήθως αναφερόμαστε σε ένα τέτοιο καταχωρητή με τον όρο 4-μπιτο (4-bit), επειδή μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορία τεσσάρων δυαδικών ψηφίων.



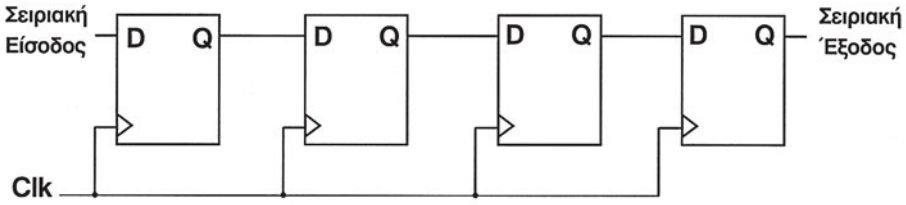
Σχήμα 2.33 *Παράλληλος καταχωρητής 4 βαθμίδων*

2.8.2 Καταχωρητές Ολίσθησης

Ένας καταχωρητής που μπορεί να 'ολισθαίνει' τις πληροφορίες που περιέχει προς τη μια ή προς την άλλη κατεύθυνση ονομάζεται 'καταχωρητής ολίσθησης' (shift register). Ένας τέτοιος καταχωρητής αποτελείται από μια αλυσίδα από flip-flops συνδεδεμένα στη σειρά, στα οποία η έξοδος του ενός τροφοδοτεί την είσοδο του γειτονικού του.

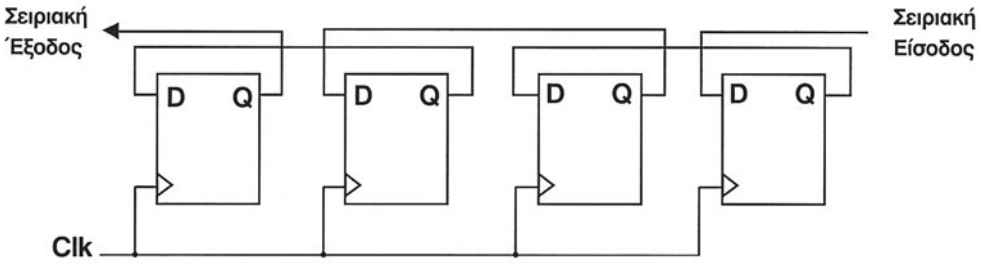
Όλα τα flip-flops παίρνουν ένα κοινό ρολόι, η ενεργοποίηση του οποίου προκαλεί την ολίσθηση από τη μια βαθμίδα στην επόμενη.

Σε έναν καταχωρητή δεξιάς ολίσθησης, σε κάθε παλμό του ρολογιού, το περιεχόμενο του καταχωρητή ολισθαίνει κατά μια θέση προς τα δεξιά. Η σειριακή είσοδος ρυθμίζει τι θα μπει στην είσοδο του πιο αριστερού flip-flop σε κάθε ολίσθηση. Τη σειριακή έξοδο την παίρνουμε από την έξοδο του ακραίου δεξιού flip-flop με την εφαρμογή του παλμού του ρολογιού.



Σχήμα 2.34 *Καταχωρητής δεξιάς ολίσθησης τεσσάρων βαθμίδων*

Αντίστοιχα, σε έναν καταχωρητή αριστερής ολίσθησης, σε κάθε παλμό του ρολογιού, το περιεχόμενο του καταχωρητή ολισθαίνει κατά μια θέση προς τα αριστερά.



Σχήμα 2.35 *Καταχωρητής αριστερής ολίσθησης τεσσάρων βαθμίδων*

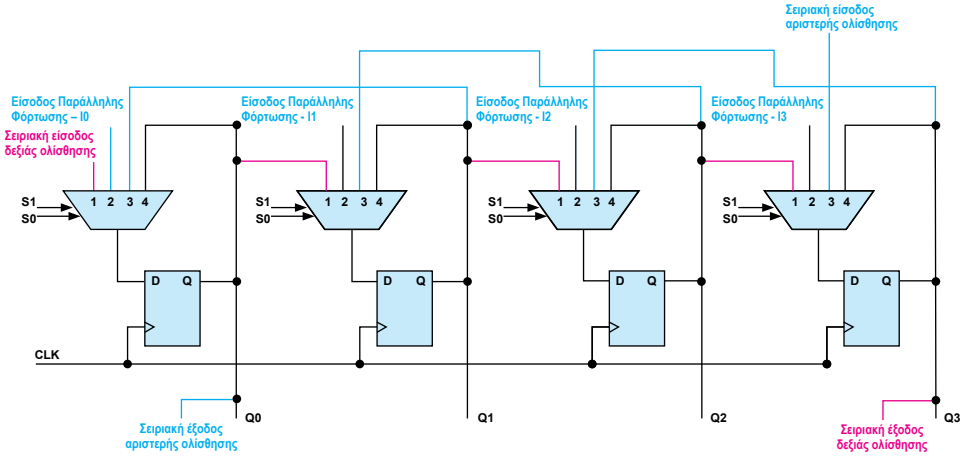
2.8.3 Καταχωρητές ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση

Εάν έχουμε στη διάθεσή μας τις εξόδους όλων των flip-flops ενός καταχωρητή ολίσθησης ώστε να μπορούμε να κάνουμε τις κατάλληλες συνδέσεις, τότε τις πληροφορίες που εισάγουμε σειριακά στον καταχωρητή μπορούμε να τις πάρουμε παράλληλα από τις εξόδους των flip-flops. Αν προσθέσουμε στον καταχωρητή ολίσθησης και τη δυνατότητα παράλληλης φόρτισης, τότε μπορούμε επιπλέον να παίρνουμε σειριακά από την έξοδο τα δεδομένα εκείνα τα οποία βάλαμε παράλληλα στην είσοδο, ολισθαίνοντάς τα μέσα από τον καταχωρητή. Έτσι, οι καταχωρητές ολίσθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή σειριακών δεδομένων σε παράλληλα και αντίστροφα. Ένας καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση έχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- παράλληλη φόρτωση δεδομένων στον καταχωρητή
- δεξιά ολίσθηση
- αριστερή ολίσθηση

Ένας καταχωρητής ικανός για ολισθήσεις τόσο προς τα δεξιά όσο και προς τα αριστερά λέγεται *αμφίδρομος καταχωρητής ολίσθησης*. Αν ακόμη μπορεί να φορτωθεί παράλληλα, ονομάζεται *καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση.*

Ένας καταχωρητής που έχει τις δυνατότητες αυτές φαίνεται στο Σχήμα 2.36. Αποτελείται από 4 flip-flops, η είσοδος δεδομένων (D) καθενός τροφοδοτείται από την έξοδο ενός πολυπλέκτη (multilexer, MUX). Οι πολυπλέκτες έχουν δύο κοινές μεταβλητές επιλογής, s_1 και s_0, οι οποίες ρυθμίζουν τη λειτουργία του καταχωρητή.



Σχήμα 2.36 *Αμφίδρομος καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση 4 ψηφίων*

Ο επόμενος Πίνακας δείχνει τη λειτουργία του καταχωρητή για τις διαφορετικές τιμές των s_1 και s_0.

s_1	s_0	Είσοδος	Λειτουργία
0	0	1	δεξιά ολίσθηση
0	1	2	παράλληλη φόρτωση
1	0	3	αριστερή ολίσθηση
1	1	4	προηγούμενη τιμή

Πίνακας 2.8 *Λειτουργία καταχωρητή ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση*

Η στήλη 'Είσοδος' του πίνακα δείχνει ποια από τις τέσσερις εισόδους του πολυπλέκτη μεταφέρεται στην είσοδο D του flip-flop. Η λειτουργία 'προηγούμενη τιμή' σημαίνει ότι οι έξοδοι του καταχωρητή διατηρούνται αμετάβλητες.

Χρήση καταχωρητών ολίσθησης

Γνωρίζουμε ότι μέσα στον υπολογιστή τα δεδομένα μεταφέρονται παράλληλα, μέσω του διαδρόμου. Κάποιες όμως από τις περιφερειακές μονάδες εισόδου ή εξόδου (πχ. πληκτρολόγιο, ποντίκι) επικοινωνούν με τον υπολογιστή σειριακά, στέλνοντας και λαμβάνοντας ένα-ένα τα δυαδικά ψηφία.

Οι καταχωρητές ολίσθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση και λήψη των δεδομένων από τις μονάδες αυτές.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι το υπολογιστικό σύστημα θέλει να αποστείλει δεδομένα (πχ. 1 byte, 8 δυαδικά ψηφία) σειριακά. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν καταχωρητή ολίσθηση 8 βαθμίδων. Ο καταχωρητής αυτός φορτώνεται παράλληλα (s_1s_0=01). Στη συνέχεια, λειτουργεί με δεξιά ολίσθηση για 8 κύκλους και μεταφέρει τα δεδομένα, bit-προς-bit, στη μονάδα μέσω της σειριακής εξόδου δεξιάς ολίσθησης.

Αντίστροφα, αν το υπολογιστικό σύστημα θέλει να λάβει δεδομένα, (πχ. 8 δυαδικά ψηφία) από τη μονάδα, ο καταχωρητής λειτουργεί με αριστερή ολίσθηση για 8 κύκλους λαμβάνοντας ένα-ένα τα δυαδικά ψηφία από τη σειριακή είσοδο αριστερής ολίσθησης. Μόλις φορτωθεί ένα ολόκληρο byte στον καταχωρητή, στέλνεται (παράλληλα) στη μονάδα του υπολογιστικού συστήματος για την οποία προορίζεται (ΚΜΕ, μνήμη κ.λπ.) μέσω του διαδρόμου του συστήματος.

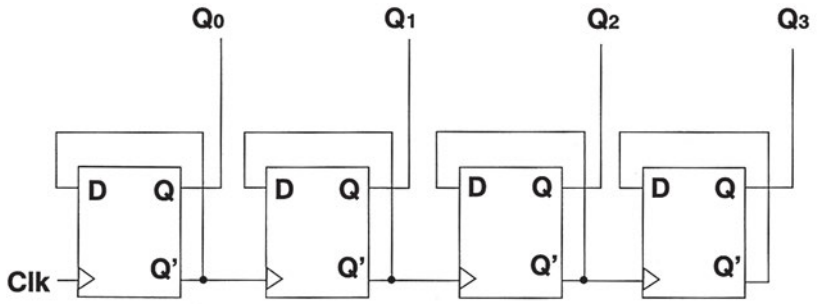
2.9 Μετρητές ή απαριθμητές

Ένας δυαδικός μετρητής ή απαριθμητής (counter) είναι μια μονάδα που αποτελείται από στοιχεία μνήμης (flip-flops) και έχει μια είσοδο χρονισμού (ρολόι). Σε κάθε μεταβολή της εισόδου χρονισμού από 0 σε 1, οι έξοδοι του μετρητή μεταβάλλονται με τέτοιο τρόπο ώστε η δυαδική τιμή τους να είναι μεγαλύτερη κατά 1 από την δυαδική τιμή που είχαν στην προηγούμενη κατάσταση. Ένας μετρητής χαρακτηρίζεται από το πλήθος των βαθμίδων (στοιχείων μνήμης) από τα οποία αποτελείται. Οι έξοδοι ενός μετρητή που αποτελείται από n βαθμίδες, μεταβάλλονται με τέτοιο τρόπο ώστε η αριθμητική τους τιμή να αυξάνεται από 0 ως 2^n-1. Για παράδειγμα, ένα μετρητής τριών βαθμίδων μπορεί να παίρνει τις τιμές 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, 000, ...

Οι μετρητές διακρίνονται, ανάλογα με τη σχεδίαση, σε ασύγχρονους μετρητές (μετρητές ριπής) και σε σύγχρονους μετρητές. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στη σχεδίαση των δύο αυτών ειδών μετρητών.

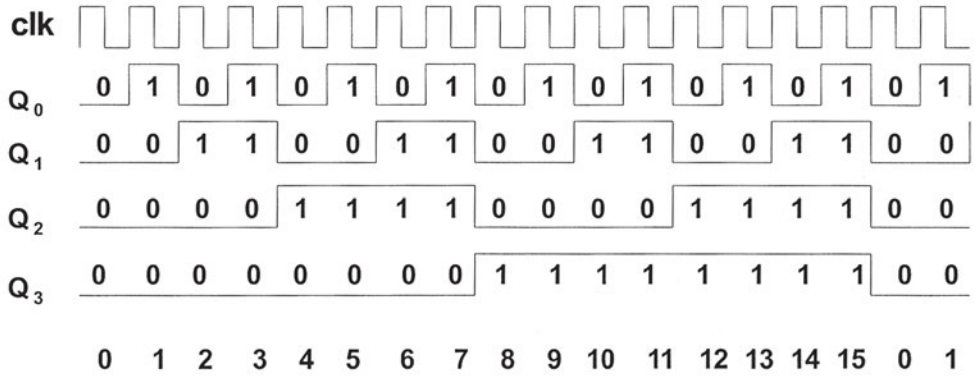
Ασύγχρονοι μετρητές

Ένας ασύγχρονος μετρητής αποτελείται από flip-flops συνδεμένα έτσι ώστε η έξοδος κάθε flip-flop να συνδέεται στην είσοδο χρονισμού του flip-flop της επόμενης βαθμίδας. Το flip-flop της πρώτης βαθμίδας δέχεται τους εισερχόμενους παλμούς μέτρησης. Ένας ασύγχρονος απαριθμητής 4 βαθμίδων αποτελούμενος από flip-flops τύπου D φαίνεται στο Σχήμα 2.37.



Σχήμα 2.37 *Ασύγχρονος απαριθμητής 4 βαθμίδων*

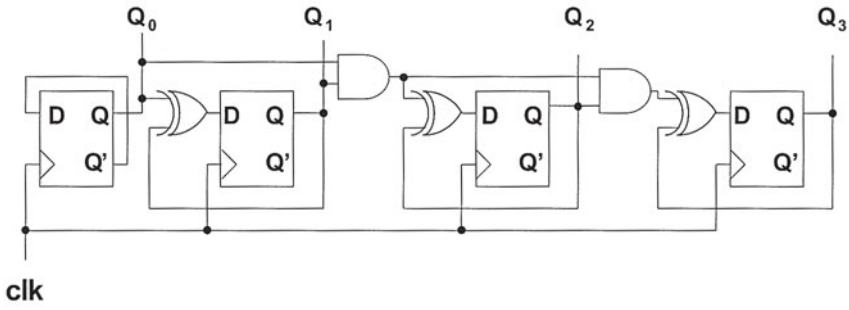
Ο απαριθμητής αυτός λειτουργεί ως εξής. Αρχικά οι έξοδοι όλων των βαθμίδων είναι 0. Όταν το σήμα χρονισμού clk γίνει 1 από 0, η τιμή του flip-flop Q_0 θα αλλάξει από 0 σε 1. Σε κάθε μεταβολή του σήματος χρονισμού από ’0’ σε ’1’, η τιμή του flip-flop Q_0 θα μεταβάλλεται. Επιπλέον, κάθε φορά που η τιμή του flip-flop Q_0 αλλάζει από 1 σε 0, η τιμή του flip-flop Q_1 θα μεταβάλλεται. Γενικά, όταν η τιμή μιας βαθμίδας μεταβάλλεται από ’1’ σε ’0’, η τιμή της επόμενης βαθμίδας θα αλλάζει. Στο Σχήμα 2.38 φαίνεται η ακολουθία που παράγεται από το δυαδικό απαριθμητή του προηγούμενου σχήματος ξεκινώντας από την τιμή 0000.



Σχήμα 2.38 *Ακολουθία που παράγεται από τον απαριθμητή 4-βαθμίδων*

Σύγχρονοι Μετρητές

Οι σύγχρονοι μετρητές διαφέρουν από τους μετρητές ριπής στο ότι οι παλμοί του ρολογιού εφαρμόζονται στις εισόδους χρονισμού όλων των flip-flops. Ο κοινός παλμός πυροδοτεί όλα τα flip-flops συγχρόνως, και όχι το ένα μετά το άλλο, όπως στους μετρητές ριπής. Ένας σύγχρονος δυαδικός μετρητής σχεδιασμένος με flip-flops τύπου D φαίνεται στο Σχήμα 2.39.



Σχήμα 2.39 *Σύγχρονος δυαδικός απαριθμητής τεσσάρων βαθμίδων*

Η είσοδος δεδομένων κάθε flip-flop οδηγείται από μια πύλη XOR της οποίας η μια είσοδος είναι η έξοδος του flip-flop. Η απόφαση σχετικά με το αν η έξοδος ενός flip-flop πρέπει να αντιστραφεί ή όχι στηρίζεται στην τιμή της εξόδου της πύλης AND που τροφοδοτεί την άλλη έξοδο της πύλης XOR. Η έξοδος του πρώτου flip-flop αντιστρέφεται σε κάθε κύκλο ρολογιού. Η έξοδος τους δεύτερου flip-flop αντιστρέφεται όταν η έξοδος του πρώτου flip-flop είναι 1. Η έξοδος των επόμενων βαθμίδων αντιστρέφεται όταν οι έξοδοι όλων των προηγουμένων βαθμίδων είναι ’1’. Έτσι, το Q_2 αντιστρέφεται όταν $Q_0=Q_1=1$, ενώ η Q_3 αντιστρέφεται όταν $Q_0=Q_1=Q_2=1$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Κ.Ζ. Πεκμεστζή,*** "Συστήματα Μικροϋπολογιστών", Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.
2. ***Mano M. Morris,*** "Ψηφιακή Σχεδίαση", Παπασωτηρίου 1992, Δεύτερη Έκδοση, Μετάφραση Απ. Τραγανίτης.

Κεφάλαιο 3ο

Αρχιτεκτονική Ηλεκτρονικού Τμήματος (hardware) των Υπολογιστικών Συστημάτων

Περιεχόμενα

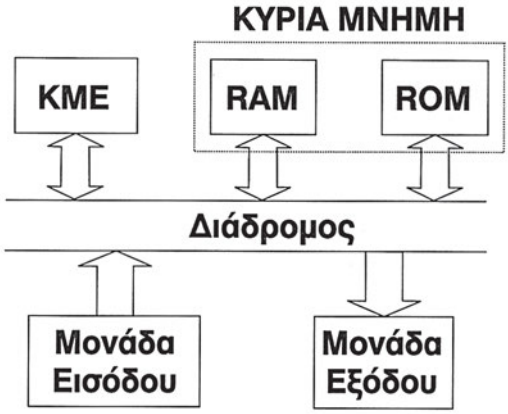
Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- αναφέρεις τα βασικά τμήματα της δομής των υπολογιστικών συστημάτων
- αναφέρεις τη λειτουργία και χρήση κάθε τμήματος ενός υπολογιστικού συστήματος
- αναφέρεις τα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας μικροεπεξεργαστής, καθώς και τη λειτουργία τους
- αναφέρεις τους βασικούς καταχωρητές ενός μικροεπεξεργαστή
- αναφέρεις τα είδη εντολών ενός τυπικού μικροεπεξεργαστή
- περιγράφεις τον τρόπο εκτέλεσης των εντολών σε ένα μικρο-επεξεργαστή
- αναφέρεις τις διαφορές της συμβολικής γλώσσας από τη γλώσσα μηχανής
- αναφέρεις τους τρόπους διευθυνσιοδότησης της μνήμης
- αναφέρεις τα χαρακτηριστικά ως προς τα οποία διακρίνουμε τους μικροεπεξεργαστές
- αναφέρεις τα είδη των μικροεπεξεργαστών ως προς καθένα από τα χαρακτηριστικά αυτά
- αναφέρεις τις πιο γνωστές οικογένειες επεξεργαστών, καθώς και τα μέλη κάθε μιας από τις οικογένειες αυτές
- αναφέρεις τις διαφορές ενός μικροελεγκτή από ένα μικροεπεξεργαστή
- εξηγείς γιατί οι μικροελεγκτές είναι χρήσιμοι στο σχεδιασμό μικροϋπολογιστικών συστημάτων

3.1 Βασικά στοιχεία αρχιτεκτονικής μικροϋπολογιστικών Συστημάτων

Με τον όρο υπολογιστικό σύστημα, αναφερόμαστε σε ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από μια Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας, μνήμη και συσκευές εισόδου και εξόδου. Γενικά, στόχος μας όταν σχεδιάζουμε ένα τέτοιο σύστημα είναι να το χρησιμοποιήσουμε για την εκτέλεση υπολογισμών ή για να ελέγξουμε άλλες συσκευές. Το γενικό διάγραμμα ενός υπολογιστικού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 *Γενικό διάγραμμα υπολογιστικού συστήματος*

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας και μικροεπεξεργαστές

Ένα υπολογιστικό σύστημα στο οποίο ως Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ) χρησιμοποιείται ένας μικροεπεξεργαστής (micro-processor) ονομάζεται μικροϋπολογιστικό σύστημα. Ένας μικροεπεξεργαστής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα γενικού σκοπού, το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί.

Σχήμα 3.2 *Μικροεπεξεργαστής 486 της εταιρείας Intel*

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε μια σειρά από βήματα, κάθε ένα από τα οποία ονομάζεται εντολή. Οι εντολές που εκτελούνται από το μικροεπεξεργαστή είναι εντολές σε γλώσσα μηχανής. Μια εντολή σε γλώσσα μηχανής είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία όπου είναι κωδικοποιημένο το είδος της εντολής. Οι εντολές της γλώσσας μηχανής είναι αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη, από όπου τις ανακαλεί και τις εκτελεί ο μικροεπεξεργαστής.

Η δομή και η λειτουργία ενός μικροεπεξεργαστή θα περιγραφούν στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού.

Κύρια Μνήμη

Όπως αναφέραμε, η κύρια μνήμη είναι ένας χώρος στον οποίο ο υπολογιστής φυλάει δεδομένα ή εντολές προς εκτέλεση. Η κύρια μνήμη αποτελείται από λέξεις μνήμης (memory words), κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από έναν αριθμό δυαδικών ψηφίων. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται μήκος λέξης της μνήμης. Κάθε θέση προσδιορίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται διεύθυνση (address). Για να διαβάσουμε από ή να γράψουμε ένα δεδομένο σε μια θέση μνήμης πρέπει να γνωρίζουμε τη διεύθυνσή της.

Η κύρια μνήμη του υπολογιστή χωρίζεται σε δύο μέρη: στη μνήμη από την οποία ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να διαβάσει μόνο (**Read Only Memory, ROM**) και στη μνήμη στην οποία η ΚΜΕ μπορεί και να γράψει και να διαβάσει. Στη μνήμη αυτή αναφερόμαστε με τον όρο μνήμη τυχαίας προσπέλασης (**Random Access Memory, RAM**).

Οι λειτουργίες με τις οποίες ο μικροεπεξεργαστής επικοινωνεί με τη μνήμη RAM είναι η εγγραφή και η ανάγνωση.

Στην εγγραφή, η μνήμη δέχεται τη διεύθυνση στην οποία θα γίνει η εγγραφή και τα περιεχόμενα που θα γραφούν στη θέση αυτή. Η διεύθυνση της θέσης μνήμης στην οποία θα πραγματοποιηθεί η εγγραφή τοποθετείται στον καταχωρητή διευθύνσεων του μικροεπεξεργαστή, ενώ το δεδομένο τοποθετείται στον καταχωρητή δεδομένων του μικροεπεξεργαστή. Στη συνέχεια, η διεύθυνση της θέσης μνήμης μεταφέρεται μέσω ειδικού διαδρόμου (του διαδρόμου διευθύνσεων, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο) ενώ το δεδομένο μέσω άλλου διαδρόμου (του διαδρόμου δεδομένων) και πραγματοποιείται η εγγραφή.

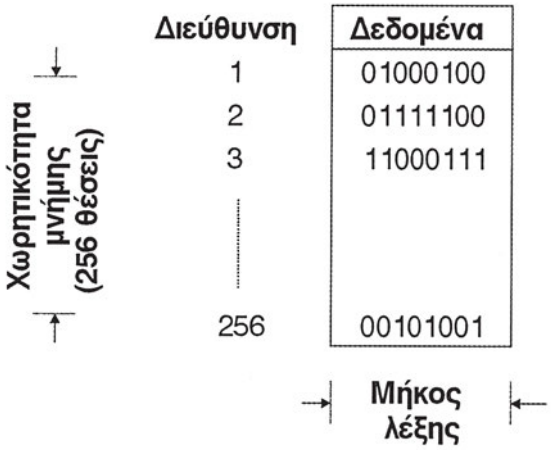
Στην ανάγνωση, τα περιεχόμενα της θέσης μνήμης που υποδεικνύει ο καταχωρητής διευθύνσεων του μικροεπεξεργαστή μεταφέρονται στον καταχωρητή δεδομένων του μικροεπεξεργαστή.

Η διεύθυνση της θέσης μνήμης μεταφέρεται μέσω του διαδρόμου διευθύνσεων, πραγματοποιείται η ανάγνωση της μνήμης και το δεδομένο (το περιεχόμενο της θέσης μνήμης) μεταφέρεται μέσω του διαδρόμου δεδομένων στον καταχωρητή δεδομένων του μικροεπεξεργαστή.

Η μνήμη ROM περιέχει πληροφορίες βασικές για τη λειτουργία του υπολογιστή, τις οποίες έχει τοποθετήσει εκεί ο κατασκευαστής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της κύριας μνήμης είναι τα ακόλουθα:

- Μήκος λέξης
- Χωρητικότητα
- Χρόνος προσπέλασης



Σχήμα 3.3 *Μνήμη 256 θέσεων, με μήκος λέξης 8 δυαδικά ψηφία*

Το μήκος λέξης είναι το πλήθος των δυαδικών ψηφίων κάθε λέξης της μνήμης (ίδιο για όλες τις λέξεις). Το μήκος λέξης είναι πολλαπλάσιο του byte και είναι συνήθως 1, 2, ή 4 byte (8, 16, ή 32 δυαδικά ψηφία). Πολύ συχνά, το μέγεθος λέξης της μνήμης είναι ίσο με το μήκος λέξης στο οποίο μπορεί να εκτελέσει πράξεις ο μικροεπεξεργαστής.

Με τον όρο *χωρητικότητα* αναφερόμαστε στο μέγεθος της μνήμης, με άλλα λόγια στο πλήθος των bytes που μπορεί να χωρέσει. Συνήθως το μέγεθος αυτό μετράται σε πολλαπλάσια του byte, τα πιο γνωστά από τα οποία είναι τα Kilobyte, Megabyte και Gigabyte, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

1 Kbyte	2^{10} byte	≃1.000 byte
1 Mbyte	2^{20} byte	≃1.000.000 byte
1 Gbyte	2^{30} byte	≃1.000.000.000 byte

Πίνακας 3.1 *Πολλαπλάσια του byte*

Ο χρόνος προσπέλασης είναι ο χρόνος που περνάει από τη στιγμή που ο μικροεπεξεργαστής ζητάει από τη μνήμη το περιεχόμενο μιας θέσης, μέχρι τη στιγμή που η μνήμη δίνει το περιεχόμενο αυτό στο μικροεπεξεργαστή. Ο χρόνος προσπέλασης μετράται σε nanoseconds (1 nanosecond ισούται με 1 δισεκατομμυριοστό

του δευτερολέπτου, 1ns=10^{-9} sec) και είναι ένα μέτρο της ταχύτητας της μνήμης. Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μετράμε την ταχύτητα της μνήμης είναι η συχνότητα λειτουργίας της, με άλλα λόγια πόσες φορές μπορούμε να προσπελάσουμε τη μνήμη (για ανάγνωση ή εγγραφή) στη μονάδα του χρόνου (δευτερόλεπτο).

Μονάδες Εισόδου - Εξόδου

Με τον όρο μονάδες εισόδου αναφερόμαστε στο σύνολο των συσκευών ή διατάξεων, που επιτρέπουν τη μετατροπή πληροφοριών (κείμενο, εικόνα, ήχο, video κ.λπ.) σε ψηφιακή αναπαράσταση, ώστε να εισαχθεί στον υπολογιστή (πχ. *πληκτρολόγιο, ποντίκι, σαρωτής).* Οι μονάδες εξόδου μετατρέπουν την πληροφορία από ψηφιακή αναπαράσταση σε κείμενο, ήχο κ.λπ (πχ. οθόνη, εκτυπωτής). Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται και για την είσοδο αλλά και για την έξοδο δεδομένων ονομάζονται μονάδες εισόδου και εξόδου (πχ. *modems, κάρτες ήχου και video).*

Μια συσκευή εισόδου-εξόδου μπορεί να συνδεθεί στο σύστημα μέσω μιας θύρας εισόδου-εξόδου (I/O port). Οι θύρες μπορούν να θεωρηθούν ως εξωτερικοί καταχωρητές τους οποίους μπορεί να προσπελάσει ο μικροεπεξεργαστής.

Διάδρομοι

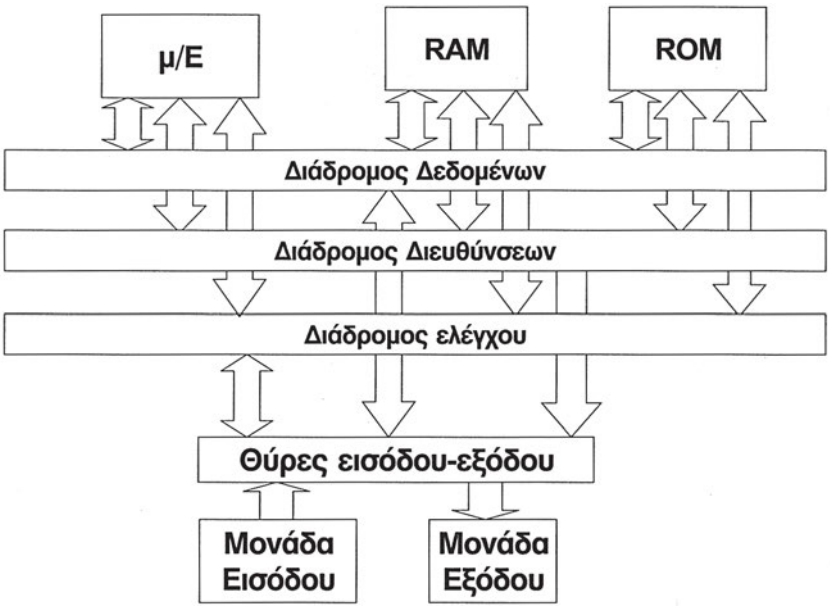
Ένας διάδρομος είναι μια ομάδα αγωγών που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των μονάδων του υπολογιστή.

Ένας διάδρομος χωρίζεται λειτουργικά σε τρία μέρη: το *διάδρομο δεδομένων* (data bus), το *διάδρομο διευθύνσεων* (address bus) και το *διάδρομο ελέγχου* (control bus).

Μέσω του *διαδρόμου δεδομένων* μεταφέρονται τα δεδομένα που θέλουμε να γράψουμε ή να διαβάσουμε κάθε φορά (πχ. τα δυαδικά ψηφία που συνθέτουν το περιεχόμενο μιας θέσης μνήμης, ενός καταχωρητή του μικροεπεξεργαστή, ή δεδομένα από κάποια άλλη μονάδα). Όταν γράφουμε, μεταφέρονται δεδομένα από το μικροεπεξεργαστή προς τη μνήμη RAM ή προς τις μονάδες εξόδου. Όταν διαβάζουμε, μεταφέρονται δεδομένα από τις μνήμες RAM ή ROM και από τις μονάδες εισόδου. Μέσω του διαδρόμου διευθύνσεων μεταφέρονται δυαδικά ψηφία που σχηματίζουν τη διεύθυνση μιας θέσης μνήμης ή τη διεύθυνση μιας συσκευής εισόδου-εξόδου, δηλαδή προσδιορίζουν πού θα γραφτεί ή από πού θα διαβαστεί ένα δεδομένο.

Μέσω του *διαδρόμου ελέγχου* ο μικροεπεξεργαστής πληροφορεί τη μνήμη ή τις περιφερειακές συσκευές για την ενέργεια που προτίθεται να κάνει (π.χ. να διαβάσει ή να γράψει δεδομένα).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε χρονική στιγμή μόνο δύο συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μέσω του διαδρόμου. Έτσι, αν κάποια στιγμή επικοινωνεί μέσω του διαδρόμου ο μικροεπεξεργαστής με τη μνήμη, μια μονάδα εισόδου δε μπορεί να στείλει δεδομένα, αλλά πρέπει να περιμένει να ολοκληρωθεί η επικοινωνία μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και της κύριας μνήμης. Ένα τυπικό μικροϋπολογιστικό σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 *Τυπικό μικροϋπολογιστικό σύστημα*

Γενικά, σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει και συντονίζει μεταφορές και πράξεις στα δεδομένα σύμφωνα με τις εντολές που διαβάζει από κάποιο πρόγραμμα που βρίσκεται στη μνήμη.

3.2 Αρχές λειτουργίας και αρχιτεκτονική μικροεπεξεργαστών

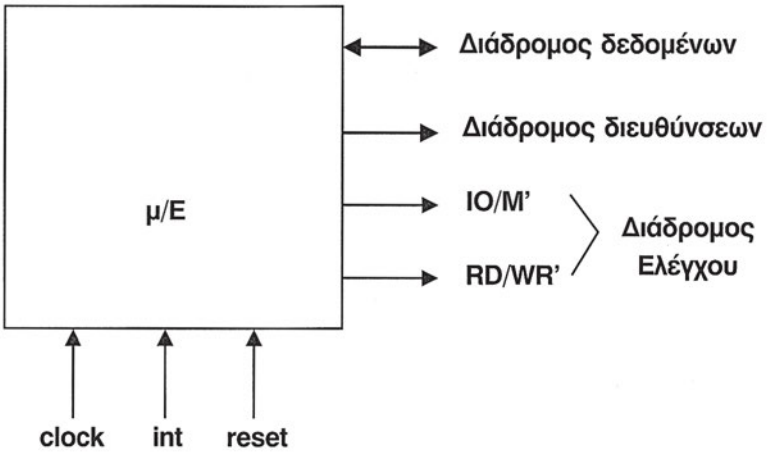
Ένας μικροεπεξεργαστής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που μπορεί να προγραμματιστεί.

Οι μικροεπεξεργαστές ξεκίνησαν ως μια ενδιάμεση φθηνή λύση στον έλεγχο συστημάτων μεταξύ των υπολογιστών και του ειδικού υλικού που έπρεπε να κατασκευαστεί κατά περίπτωση. Η εμφάνισή τους άλλαξε τη σχεδίαση των υπολογιστικών συστημάτων απλοποιώντας την αρκετά.

Το υλικό που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς μετατροπές (με τροποποποίηση του προγράμματος) σε ποικιλία εφαρμογών, ενώ ένα ψηφιακό σύστημα που κατασκευάζεται με πύλες χρησιμοποιείται μόνο σε μια εφαρμογή. Ετσι, με τους μικροεπεξεργαστές το πρόβλημα της σχεδίασης

ψηφιακών συστημάτων μετατοπίστηκε από το υλικό στο λογισμικό και η σχεδίαση απαλλάχθηκε από την ακαμψία του υλικού.

Το Σχήμα 3.5 περιγράφει τις εξωτερικές συνδέσεις ενός μικροεπεξεργαστή.



Σχήμα 3.5 *Εξωτερικές συνδέσεις τυπικού μικροεπεξεργαστή*

Ο διάδρομος ελέγχου συνήθως περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο σήματα, τα οποία συμβολίζουμε RD/WR' (read/write)[2], IO/M' (Input Output/ Memory). Τα σήματα αυτά παράγονται από το μικροεπεξεργαστή και έχουν την ακόλουθη σημασία:

Αν RD/WR'=1, πρόκειται να πραγματοποιηθεί ανάγνωση από κάποια θέση της μνήμης ή από μονάδα εισόδου, διαφορετικά πρόκειται να πραγματοποιηθεί εγγραφή.

Αν IO/M'=1, πρόκειται να προσπελαστεί (για ανάγνωση ή εγγραφή) μια μονάδα εισόδου ή εξόδου, διαφορετικά θα προσπελαστεί η μνήμη. Ο Πίνακας 3.2 συνοψίζει τις λειτουργίες αυτές.

RD/WR'	IO/M'	Λειτουργία
0	0	εγγραφή σε μνήμη (RAM)
0	1	εγγραφή σε συσκευή εξόδου
1	0	ανάγνωση από μνήμη (RAM ή ROM)
1	1	ανάγνωση από συσκευή εισόδου

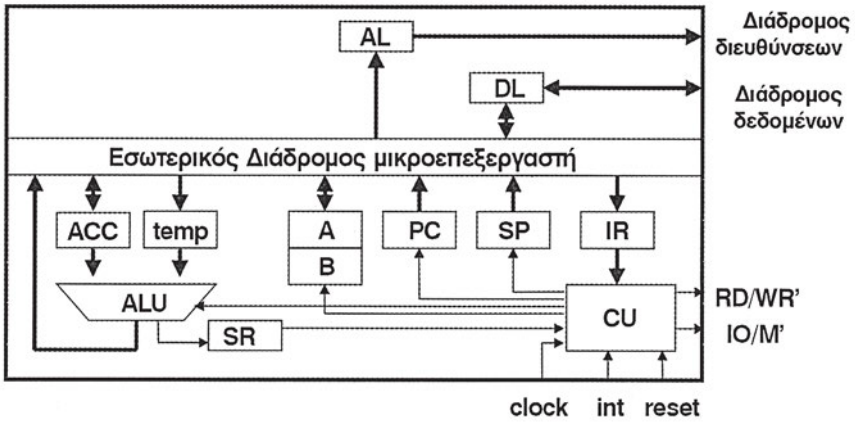
Πίνακας 3.2 *Λειτουργίες του μικροϋπολογιστικού συστήματος του προηγούμενου σχήματος*

[2] *Με το συμβολισμό RD/WR' εννοούμε ότι το σήμα έχει την ακόλουθη σημασία: Όταν RD/WR'= 1, λειτουργεί ως σήμα ανάγνωσης (ReaD). Αν RD/WR'=0, τότε λειτουργεί ως σήμα εγγραφής (WRite).*

Όπως γνωρίζουμε, ένας μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- την αριθμητική και λογική μονάδα (Arithmetic and Logic Unit, ALU)
- τη μονάδα ελέγχου (control unit, CU)
- τους καταχωρητές (registers)

Το σχηματικό διάγραμμα της εσωτερικής δομής ενός τυπικού μικροεπεξεργαστή φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



ALU:	αριθμητική και λογική μονάδα (arithmetic and logic unit)
CU:	μονάδα ελέγχου (control unit)
ACC:	συσσωρευτής (accumulator)
temp:	προσωρινός καταχωρητής
A,B:	καταχωρητές γενικού σκοπού
IR:	καταχωρητής εντολών (instruction register)
SR:	καταχωρητής κατάστασης (status register)
PC:	μετρητής προγράμματος (program counter)
SP:	δείκτης στοίβας (stack pointer)
AL:	μανδαλωτής διευθύνσεων (address latch)
DL:	μανδαλωτής δεδομένων (data latch)

Σχήμα 3.6 *Εσωτερική δομή τυπικού μικροεπεξεργαστή*

Αριθμητική και λογική μονάδα

Η αριθμητική και λογική μονάδα εκτελεί (αριθμητικές και λογικές) πράξεις. Τα δεδομένα στα οποία εκτελούνται οι πράξεις αυτές βρίσκονται σε δύο καταχωρητές εκ των οποίων ο ένας ονομάζεται συνήθως συσσωρευτής. Το αποτέλεσμα της εκτέλεσης της πράξης φυλάσσεται στο συσσωρευτή. Συνηθισμένες πράξεις που εκτελούνται στην αριθμητική και λογική μονάδα είναι οι ακόλουθες:

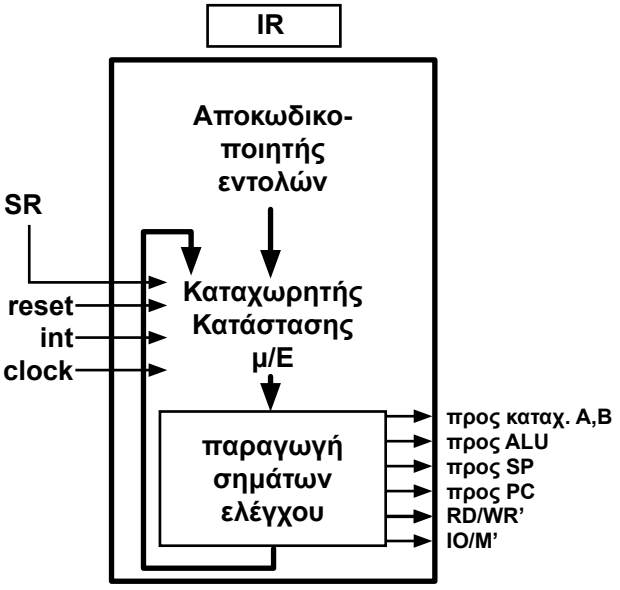
- δυαδική πρόσθεση και αφαίρεση
- λογικό ΚΑΙ, Η, αποκλειστικό Η (AND, OR, XOR).
- συμπλήρωμα (ως προς 1 και ως προς 2).
- ολίσθηση και περιστροφή (δεξιά ή αριστερά)
- πολλαπλασιασμός και διαίρεση (δεν περιλαμβάνονται σε όλους τους μικροεπεξεργαστές)

Το αποτέλεσμα της εκτέλεσης της πράξης στην ALU επηρεάζει επίσης μια σειρά από flip-flops που ονομάζονται σημαίες (flags). Για παράδειγμα, μια σημαία μπορεί να δείχνει αν προέκυψε κρατούμενο από το πιο σημαντικό ψηφίο μετά την εκτέλεση μιας πρόσθεσης, ενώ μια άλλη σημαία μπορεί να δείχνει αν το αποτέλεσμα μιας πράξης είναι 0. Το σύνολο των σημαιών αποτελεί τον καταχωρητή κατάστασης (status register) του μικροεπεξεργαστή, στον οποίο θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια.

Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου ενός μικροεπεξεργαστή ελέγχει και συγχρονίζει τη μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων και είναι το κύριο υποσύστημα του ίδιου του μικροεπεξεργαστή. Όλες οι ενέργειες σε ένα μικροεπεξεργαστή πραγματοποιούνται με την επίβλεψη της μονάδας ελέγχου.

Η μονάδα ελέγχου χρησιμοποιεί ως είσοδο ένα εξωτερικό ρολόι (clk) και παράγει σήματα χρονισμού και ελέγχου που ρυθμίζουν τις μεταφορές δεδομένων και τις πράξεις που περιλαμβάνονται σε κάθε εντολή. Το σχηματικό διάγραμμα της μονάδας ελέγχου φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 *Μονάδα ελέγχου τυπικού μικροεπεξεργαστή*

Καταχωρητές

Οι καταχωρητές χρησιμεύουν ως χώροι αποθήκευσης δεδομένων (καταχωρητές δεδομένων) ή διευθύνσεων της μνήμης (καταχωρητές διευθύνσεων).

Οι καταχωρητές που συναντάμε στην πλειοψηφία των μικροεπεξεργαστών είναι οι ακόλουθοι:

- ο απαριθμητής προγράμματος (Program Counter, PC),
- ο καταχωρητής εντολών (Instruction Register, IR)
- ο δείκτης στοίβας (stack pointer) και
- ο καταχωρητής κατάστασης (Status Register, SR)

Απαριθμητής προγράμματος

Ο απαριθμητής προγράμματος είναι ένας καταχωρητής διευθύνσεων, στον οποίο φυλάγεται η διεύθυνση της μνήμης από την οποία θα ανακληθεί η επόμενη προς εκτέλεση εντολή.

Ο απαριθμητής προγράμματος μπορεί να απευθυνθεί σε οποιαδήποτε θέση μνήμης από εκείνες που μπορεί να δει ο μικροεπεξεργαστής για να ανακαλέσει από εκεί μια εντολή.

Η εκκίνηση του μικροεπεξεργαστή γίνεται ως εξής. Όταν η είσοδος reset είναι στο '1', ο απαριθμητής προγράμματος παίρνει την τιμή 0000 (ή γενικότερα κάποια αρχική τιμή). Όταν το σήμα reset ξαναγυρίσει στο '0' η μονάδα ελέγχου μεταφέρει τα περιεχόμενα του απαριθμητή προγράμματος στον απομονωτή διευθύνσεων (address latch) παρέχοντας έτσι τη διεύθυνση της πρώτης εντολής που θα εκτελεστεί.

Με αυτόν τον τρόπο (συνήθως) η εκτέλεση των προγραμμάτων σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα ξεκινάει με την εντολή που βρίσκεται στη θέση μνήμης 0. Για το λόγο αυτό, οι πρώτες θέσεις μνήμης αντιστοιχούν σε διευθύνσεις της μνήμης ROM. Τα προγράμματα που περιέχονται στις θέσεις αυτές (πχ. βασικές ρουτίνες εισόδου-εξόδου δεδομένων) είναι σημαντικά για την ομαλή λειτουργία του μικροϋπολογιστικού συστήματος.

Καταχωρητής εντολών

Ο καταχωρητής εντολών είναι ένας καταχωρητής στον οποίο μεταφέρεται η εντολή που διαβάστηκε από τη μνήμη. Στη συνέχεια, η εντολή αποκωδικοποιείται μέσω του αποκωδικοποιητή εντολών προκειμένου να εκτελεστεί.

Οι εντολές ενός μικροεπεξεργαστή μπορεί να έχουν μήκος 1 ή περισσότερες λέξεις μνήμης. Η πρώτη λέξη περιέχει τον κωδικό λειτουργίας (operation code ή opcode), με άλλα λόγια το είδος της εντολής που ανακαλείται (αν πρόκειται δηλαδή για εντολή εκτέλεσης αριθμητικής πράξης, μεταφοράς δεδομένων, και ποια). Με την ανάγνωση του κωδικού της εντολής ο μικροεπεξεργαστής είναι σε θέση να γνωρίζει αν η εντολή καταλαμβάνει περισσότερες θέσεις μνήμης και ποιες, καθώς και ποιες λειτουργίες θα εκτελέσει στη συνέχεια, ποια σήματα θα πρέπει να ενεργοποιήσει κ.λ.π.

Κατά τη διάρκεια ανάκλησης της εντολής (instruction fetch), η πρώτη λέξη μνήμης μεταφέρεται από τη μνήμη μέσω του εξωτερικού διαδρόμου δεδομένων (data

bus) στον καταχωρητή εντολών (instruction register). Ο απαριθμητής προγράμματος αυξάνεται αυτόματα κατά 1, οπότε περιέχει τη διεύθυνση της επόμενης εντολής (αν η τρέχουσα εντολή καταλαμβάνει μια μόνο θέση μνήμης) ή στην επόμενη θέση μνήμης αυτής της εντολής αν η εντολή περιέχει 2 ή περισσότερα bytes.

Στην περίπτωση που μια εντολή καταλαμβάνει πολλές θέσεις μνήμης (multiword instruction), η μονάδα ελέγχου προχωρά στην ανάγνωση των επόμενων θέσεων μνήμης όπως αναφέραμε. Για το σκοπό αυτό, η μονάδα ελέγχου χρησιμοποιεί τα σήματα του αποκωδικοποιητή εντολών και παράγει τα κατάλληλα σήματα χρονισμού (timing) καθώς και ελέγχου εξωτερικών συσκευών.

Όταν φορτωθούν όλες οι λέξεις στο μικροεπεξεργαστή, εκτελείται η εντολή. Η εκτέλεση της εντολής, εκτός από τις λειτουργίες που γίνονται εσωτερικά στο μικροεπεξεργαστή, μπορεί να απαιτήσει μεταφορά δεδομένων μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και των μονάδων μνήμης και εισόδου-εξόδου.

Δείκτης στοίβας

Ο δείκτης στοίβας (Stack Pointer, SP) είναι ένας δείκτης διευθύνσεων της κορυφής της στοίβας η οποία βρίσκεται στην κύρια μνήμη. Η στοίβα είναι μια περιοχή της μνήμης η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την εξυπηρέτηση κλήσεων διακοπών και υπορουτινών, όπως θα περιγράψουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Καταχωρητής κατάστασης

Ο καταχωρητής αυτός δίνει πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα της τελευταίας εντολής που εκτελέστηκε και σχετίζεται, όπως αναφέραμε, με την ALU. Ο καταχωρητής αυτός περιλαμβάνει κάποιες σημαίες συνθήκης, οι πιο γνωστές από τις οποίες είναι οι σημαίες μηδενισμού (zero), προσήμου (sign), ισοτιμίας (parity) και κρατουμένου (carry). Οι σημαίες αυτές επηρεάζονται από την εκτέλεση των εντολών ως εξής:

- Σημαία μηδενισμού (Z, zero): αν το αποτέλεσμα μιας εντολής είναι 0, τότε Z=1, διαφορετικά Z=0.
- Σημαία προσήμου (S, sign): αν το περισσότερο σημαντικό ψηφίο του αποτελέσματος μιας πράξης είναι ’1’ (ο αριθμός είναι αρνητικός), τότε S=1, αλλιώς S=0.
- Σημαία ισοτιμίας (P, parity): αν το αποτέλεσμα μιας πράξης έχει άρτιο αριθμό ’1’, δηλαδή άρτια ισοτιμία, τότε P=1, αλλιώς P=0.
- Σημαία κρατουμένου (C, carry): αν η εντολή είχε ως αποτέλεσμα να προκύψει κρατούμενο (από πρόσθεση) ή δανεικό (από αφαίρεση) τότε C=1, αλλιώς C=0.

3.3 Εντολές μικροεπεξεργαστών

Μέχρι τώρα, περιγράψαμε τη δομή του μικροεπεξεργαστή. Όπως γνωρίζου-

με ο μικροεπεξεργαστής εκτελεί εντολές τις οποίες ανακαλεί από τη μνήμη. Μια εντολή είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία αποθηκευμένα στη μνήμη. Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στη διαδικασία μέσω της οποίας οι εντολές ανακαλούνται από τη μνήμη και εκτελούνται, καθώς και στα είδη των εντολών που υπάρχουν στους μικροεπεξεργαστές.

3.3.1 Εκτέλεση εντολής

Η διαδικασία που ακολουθείται, προκειμένου να εκτελεστεί η εντολή περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις: κλήση εντολής, αποκωδικοποίηση εντολής και εκτέλεση της εντολής.

Στη φάση κλήσης της εντολής μεταφέρεται ο κώδικας της επόμενης εντολής από τη μνήμη (από τη θέση που δείχνει ο μετρητής προγράμματος PC).

Στην αποκωδικοποίηση (του κώδικα της εντολής), αν η εντολή περιέχει και άλλα byte δεδομένων, τότε μεταφέρεται από τη μνήμη η υπόλοιπη εντολή.

Η φάση εκτέλεσης της εντολής εξαρτάται από την εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί.

Όπως γνωρίζουμε, οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στη μνήμη μπορούν να ερμηνευθούν από το μικροεπεξεργαστή είτε ως δεδομένα είτε ως εντολές. Για να εκτελεστεί ένα πρόγραμμα από το μικροεπεξεργαστή, πρέπει οι εντολές του προγράμματος να είναι αποθηκευμένες σε κάποιες από τις θέσεις μνήμης. Συνήθως μάλιστα, οι εντολές αποθηκεύονται σε διαδοχικές θέσεις της μνήμης σύμφωνα με τη σειρά με την οποία πρέπει να εκτελεστούν.

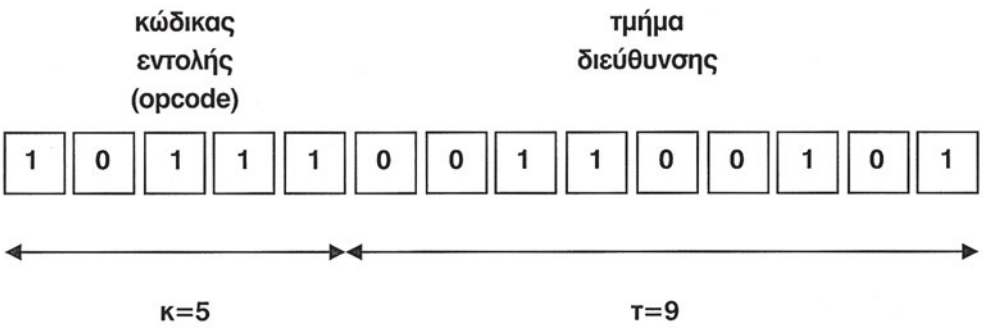
3.3.2 Γλώσσα μηχανής και συμβολική γλώσσα

Κάθε εντολή παριστάνεται με μια ή περισσότερες λέξεις του υπολογιστή και χωρίζεται σε δύο τμήματα:

- τον κώδικα εντολής (opcode) που έχει μήκος κ δυαδικά ψηφία
- το τμήμα διευθύνσεως που έχει μήκος τ δυαδικά ψηφία.

Το άθροισμα κ+τ των δυαδικών ψηφίων του κώδικα και του τμήματος διεύθυνσης δίνει το μήκος της εντολής. Ο κώδικας της εντολής ορίζει τη λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί από το μικροεπεξεργαστή, ενώ το τμήμα διευθύνσεως περιέχει τα δεδομένα της.

Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται ένα παράδειγμα μιας εντολής μήκους δεκατεσσάρων δυαδικών ψηφίων ενός μικροεπεξεργαστή, από τα οποία τα 5 χρησιμοποιούνται για το τμήμα εντολής, ενώ τα 9 για το τμήμα διεύθυνσης. Στην εντολή αυτή ο κώδικας της εντολής είναι ’10111’, ενώ το τμήμα διεύθυνσης της εντολής είναι ’001100101’.



Σχήμα 3.8 *Κώδικας εντολής και τμήμα διεύθυνσης*

Το σύνολο των εντολών τις οποίες μπορεί να εκτελέσει ένας μικροεπεξεργαστής ονομάζεται ρεπερτόριο εντολών (instruction set) του μικροεπεξεργαστή (στο ρεπερτόριο εντολών μικροεπεξεργαστή θα αναφερθούμε πιο διεξοδικά σε επόμενη παράγραφο του Κεφαλαίου). Κάθε μια από τις εντολές αυτές αντιστοιχίζεται σε ένα δυαδικό αριθμό των κ δυαδικών ψηφίων ο οποίος θα τη συμβολίζει.

Επομένως, ένας μικροεπεξεργαστής μπορεί να διαθέτει έως $2^{κ}$ διαφορετικές εντολές. Για παράδειγμα, ένας μικροεπεξεργαστής ο οποίος μπορεί να εκτελέσει εντολές όπως αυτή του προηγούμενου σχήματος, μπορεί να αναγνωρίσει $2^5=32$ διαφορετικές εντολές. Οι εντολές χωρίζονται σε ομάδες, ανάλογα με την εργασία που επιτελούν. Έτσι, υπάρχουν εντολές εκτέλεσης άλματος, εντολές ολίσθησης, εντολές εισόδου-εξόδου κ.λπ.

Το τμήμα διευθύνσεως της εντολής, που έχει μήκος τ είναι ένας δυαδικός αριθμός. Συνήθως, ο αριθμός αυτός παριστάνει μια διεύθυνση της μνήμης. Ανάλογα με την εντολή όμως, μπορεί να παριστάνει ένα καταχωρητή, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Συμβολική γλώσσα

Οι εντολές που μπορεί να εκτελέσει ένας μικροεπεξεργαστής είναι γραμμένες σε αριθμητική μορφή, και μάλιστα στο δυαδικό σύστημα. Ένα πρόγραμμα στη γλώσσα αυτή ονομάζεται πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής (machine language).

Όμως, η συγγραφή προγραμμάτων στη γλώσσα αυτή είναι κουραστική και απαιτεί χρόνο. Τα πράγματα θα ήταν πιο απλά αν μπορούσε κανείς να γράψει τις εντολές με τρόπο συμβολικό, έτσι ώστε να θυμίζει τη λειτουργία τους. Μια γλώσσα που αποτελείται από τέτοιες συμβολικές εντολές ονομάζεται συμβολική γλώσσα (assembly language). Για κάθε εντολή από το ρεπερτόριο εντολών του μικροεπεξεργαστή, υπάρχει και η αντίστοιχη εντολή σε συμβολική γλώσσα.

Για να μπορέσει να εκτελεστεί από το μικροεπεξεργαστή ένα πρόγραμμα σε συμβολική γλώσσα, πρέπει να μεταφραστεί σε γλώσσα μηχανής. Για να πραγματοποιηθεί η μετάφραση αυτή χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο πρόγραμμα που ονομάζεται συμβολομεταφραστής (assembler).

Στη συνέχεια της παραγράφου θα αναφερθούμε στα είδη των εντολών που συναντάει κανείς στους μικροεπεξεργαστές, καθώς και στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί το τμήμα διεύθυνσης μιας εντολής προκειμένου να σχηματιστεί η ενεργή διεύθυνση (active address) από την οποία θα διαβαστεί ένα δεδομένο.

3.3.3 Κύκλοι εντολής και κύκλοι μηχανής

Όπως έχει αναφερθεί, κατά τη λειτουργία του ο μικροεπεξεργαστής ανακαλεί και εκτελεί εντολές ακολουθιακά τη μια μετά την άλλη. Η ανάκληση και εκτέλεση μιας εντολής αποτελεί ένα κύκλο εντολής.

Ένας κύκλος εντολής αποτελείται από μια ή περισσότερες λειτουργίες ανάγνωσης ή εγγραφής στη μνήμη ή στη μονάδα εισόδου-εξόδου. Κάθε αναφορά σε μονάδα εισόδου-εξόδου ή στη μνήμη απαιτεί έναν κύκλο μηχανής.

Συνεπώς κάθε φορά που μια λέξη μνήμης μεταφέρεται προς το μικροεπεξεργαστή ή αντίστροφα, εκτελείται ένας κύκλος μηχανής. Οι πιο συνηθισμένοι κύκλοι που μπορούμε να συναντήσουμε σε ένα μικροεπεξεργαστή είναι οι ακόλουθοι.

- ανάκληση κώδικα (opcode fetch)
- ανάγνωση από τη μνήμη (memory read)
- εγγραφή στη μνήμη (memory write)
- ανάγνωση I/O (I/O read): είσοδος
- εγγραφή I/O (I/O write): έξοδος
- αναγνώριση διακοπής (interrupt acknowledge)
- "άεργος" κύκλος (bus idle)

Ένας κύκλος μηχανής ενεργοποιείται από τη μονάδα ελέγχου του μικροεπεξεργαστή μόλις η μονάδα ελέγχου λάβει τον κώδικα της εντολής. Ο πίνακας 3.3 δείχνει τις τιμές των σημάτων IO/M', RD/WR', για κάθε ένα από τους κύκλους αυτούς.

Η ανάκληση εντολής σε ένα κύκλο εντολής απαιτεί ένα κύκλο μηχανής για κάθε λέξη της εντολής που ανακαλείται. Έτσι, αν οι εντολές ενός μικροεπεξεργαστή έχουν μήκος από 1 ως 3 λέξεις μνήμης η ανάκληση μιας εντολής διαρκεί από 1 ως 3 κύκλους μηχανής αντίστοιχα.

Το πλήθος των κύκλων μηχανής που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας εντολής εξαρτάται από την εντολή. Κάποιες εντολές δεν απαιτούν για την εκτέλεσή τους πρόσθετους κύκλους μηχανής από την ανάκληση της εντολής και μετά. Άλλες, χρειάζονται επιπλέον κύκλους για να εκτελέσουν μια πράξη, να γράψουν ή να διαβάσουν στη μνήμη ή σε θύρα εισόδου-εξόδου.

Κύκλος μηχανής	IO/M'	RD/WR'
ανάκληση κώδικα	0	1
ανάγνωση από τη μνήμη	0	1
εγγραφή στη μνήμη	0	0
ανάγνωση I/O: είσοδος	1	1
εγγραφή I/O: έξοδος	1	0
αναγνώριση διακοπής	1	X
'άεργος' κύκλος	0	X

Πίνακας 3.3 *Κύκλοι μηχανής τυπικού μικροεπεξεργαστή*

3.3.4 Είδη εντολών

Ο εντολές ενός μικροεπεξεργαστή διακρίνονται γενικά στις ακόλουθες κατηγορίες:

Εντολές μεταφοράς δεδομένων.

Οι εντολές αυτές μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ καταχωρητών και μνήμης και δεν επηρεάζουν τις σημαίες κατάστασης.

Εντολές αριθμητικών πράξεων

Οι εντολές αυτές πραγματοποιούν αριθμητικές πράξεις σε δεδομένα που βρίσκονται στους καταχωρητές και στη μνήμη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ALU μπορεί να εκτελέσει πράξεις συνήθως μόνο μεταξύ των καταχωρητών του μικροεπεξεργαστή. Στην περίπτωση που θέλουμε να εκτελεστούν πράξεις μεταξύ αριθμών που βρίσκονται στη μνήμη πρέπει να μεταφερθούν οι αριθμοί αυτοί στους καταχωρητές του μικροεπεξεργαστή. Γενικά, οι εντολές αυτές επηρεάζουν τις σημαίες.

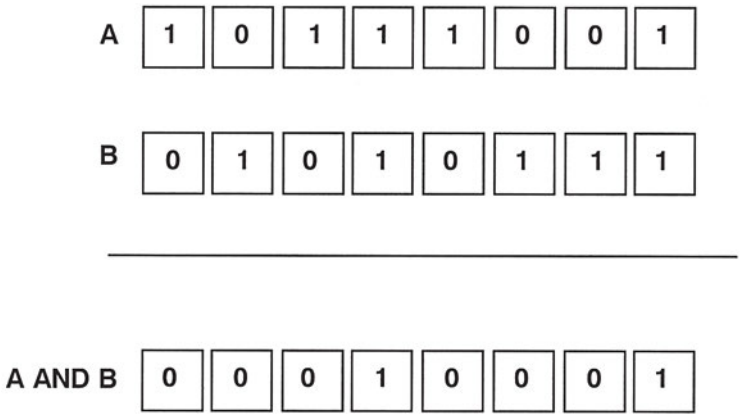
Εντολές λογικών πράξεων

Οι εντολές αυτές υλοποιούν λογικές πράξεις σε δεδομένα που βρίσκονται στους καταχωρητές στη μνήμη και σε σημαίες κατάστασης. Η λογική πράξη επιτελείται συνήθως μεταξύ περισσότερων από ένα bit. Έτσι, με μια εντολή εκτελούνται ταυτόχρονα η λογικές πράξεις. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.9 φαίνεται η εκτέλεση της λογικής πράξης ΚΑΙ (AND) μεταξύ δύο δυαδικών αριθμών 8 δυαδικών ψηφίων.

Εντολές άλματος

Κανονικά, οι εντολές ενός προγράμματος εκτελούνται σε σειρά η μια μετά την άλλη. Οι εντολές άλματος αλλάζουν την ροή εκτέλεσης, γι αυτό και ονομάζονται και εντολές διακλάδωσης. Έτσι, όταν εκτελείται μια εντολή άλματος, αντί να εκτελεστεί η επόμενη εντολή, ο έλεγχος μεταφέρεται σε άλλο σημείο του προγράμματος. Το σημείο αυτό μπορεί να είναι οπουδήποτε στο πρόγραμμα, σε διεύθυνση που καθορίζεται από την εντολή άλματος.

Υπάρχουν εντολές άλματος υπό συνθήκη και χωρίς συνθήκη. Οι εντολές



Σχήμα 3.9 *Λογική πράξη AND μεταξύ δύο 8-ψήφιων δυαδικών αριθμών*

άλματος χωρίς συνθήκη απλά μεταφέρουν την καθορισμένη διεύθυνση στο μετρητή προγράμματος. Οι εντολές άλματος υπό συνθήκη εξετάζουν την κατάσταση κάποιας από τις σημαίες για να καθοριστεί αν πρέπει να μεταφερθεί ή όχι ο έλεγχος. Για παράδειγμα, αν η εντολή άλματος έχει ως συνθήκη (προϋπόθεση) η σημαία κρατουμένου να είναι 1, τότε ο έλεγχος του προγράμματος θα μεταφερθεί μονο στην περίπτωση που το αποτέλεσμα της τελευταίας πράξης έχει παρουσιάσει κρατούμενο.

3.4 Τρόποι αναφοράς στη μνήμη

Όπως αναφέραμε, μια εντολή αποτελείται από το τμήμα κώδικα εντολής και το τμήμα διεύθυνσης. Το τμήμα διεύθυνσης χρησιμοποιείται για να βρεθεί η ενεργή διεύθυνση (effective address), δηλαδή η θέση από την οποία θα διαβαστεί το όρισμα (δεδομένο) της εντολής. Οι τρόποι αναφοράς στη μνήμη έχουν σχέση με τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση της ενεργής διεύθυνσης.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι κυριότεροι τρόποι αναφοράς στη μνήμη και οι δομές που χρησιμοποιούνται στους περισσότερους μικροεπεξεργαστές για τη διαμόρφωση της ενεργής διεύθυνσης. Στην πράξη, δεν υποστηρίζονται όλοι οι τρόποι αναφοράς στη μνήμη από όλους τους μικροεπεξεργαστές. Ακόμη, είναι δυνατό διαφορετικοί μικρο-επεξεργαστές να αναφέρονται στον ίδιο τρόπο αναφοράς στη μνήμη χρησιμοποιώντας διαφορετικά ονόματα.

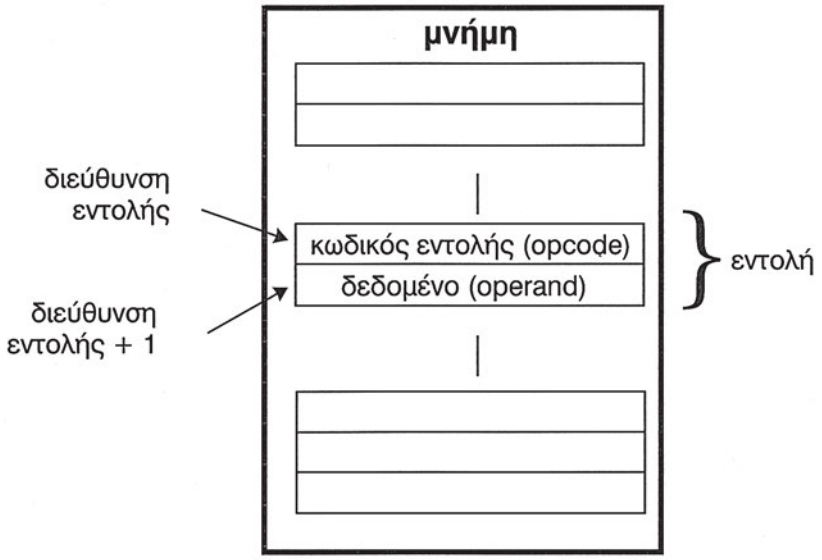
Άμεση αναφορά στη μνήμη (Immediate addressing)

Στην άμεση αναφορά στη μνήμη η τιμή του ορίσματος (ή του δεδομένου) είναι αποθηκευμένη σε κάποιο τμήμα της εντολής (η εντολή αποτελείται από μια ή

περισσότερες λέξεις και το όρισμα είτε είναι τμήμα της εντολής είτε ακολουθεί μετά τον κώδικα εντολής). Και ο κώδικας αλλά και το όρισμα της εντολής καλούνται από τη μνήμη χρησιμοποιώντας το μετρητή προγράμματος.

Η άμεση αναφορά στη μνήμη δεν είναι στην πραγματικότητα 'αναφορά στη μνήμη', εφόσον δεν απαιτείται επιπλέον προσπέλαση στη μνήμη (πέραν της ανάγνωσης της εντολής) για να βρεθεί το όρισμα.

Στο Σχήμα 3.10 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο αποθηκεύεται στη μνήμη μια εντολή η οποία χρησιμοποιεί άμεση αναφορά στη μνήμη.



Σχήμα 3.10 *Άμεση αναφορά στη μνήμη*

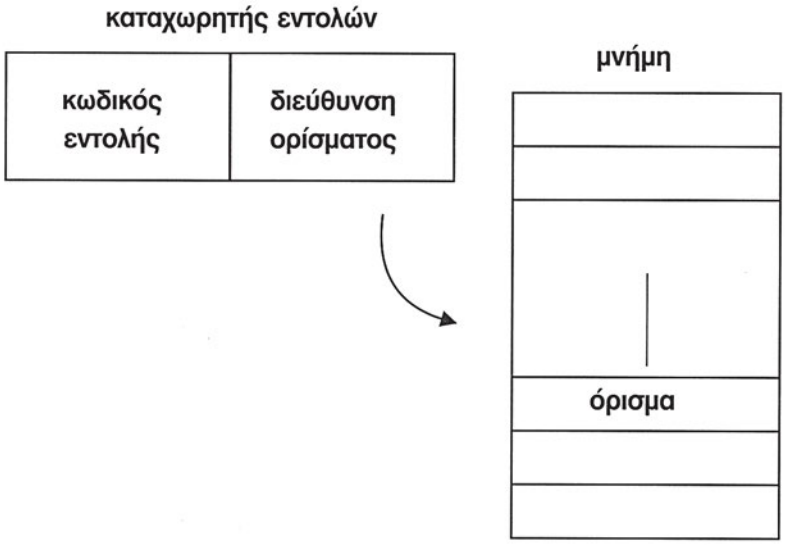
Για παράδειγμα, η εντολή 'ADD 30h' θα μπορούσε να σημαίνει 'πρόσθεσε στην τρέχουσα τιμή του συσσωρευτή το δεκαεξαδικό αριθμό 30' (30 hexadecimal).

Απευθείας αναφορά στη μνήμη (Direct addressing)

Στην απευθείας αναφορά στη μνήμη η διεύθυνση της μνήμης στην οποία θα βρεθεί το δεδομένο περιέχεται μέσα στην εντολή αμέσως μετά τον κωδικό της εντολής. Αυτός ο τρόπος αναφοράς είναι πολύ γρήγορος, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι ο αριθμός των λέξεων που μπορούν να διευθυνσιοδοτηθούν περιορίζεται από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων του πεδίου διεύθυνσης της εντολής.

Για παράδειγμα, η εντολή 'ADD [30h]'[3] θα μπορούσε να σημαίνει 'πρόσθεσε στην τρέχουσα τιμή του συσσωρευτή την τιμή που βρίσκεται στη διεύθυνση μνήμης 30'.

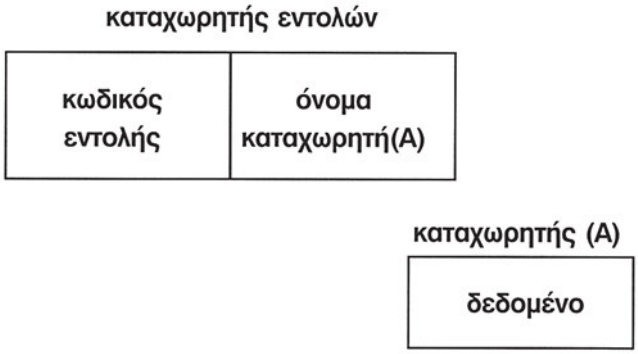
[3] *Σε πολλές συμβολικές (assembly) γλώσσες χρησιμοποιούνται οι αγκύλες [ ] για να συμβολίσουν το περιεχόμενο μιας θέσης μνήμης ή ενός καταχωρητή.*



Σχήμα 3.11 *Απευθείας αναφορά στη μνήμη*

Αναφορά στη μνήμη καταχωρητών (register addressing)

Με αυτόν τον τρόπο το δεδομένο της εντολής περιέχεται σε έναν εσωτερικό καταχωρητή του επεξεργαστή.

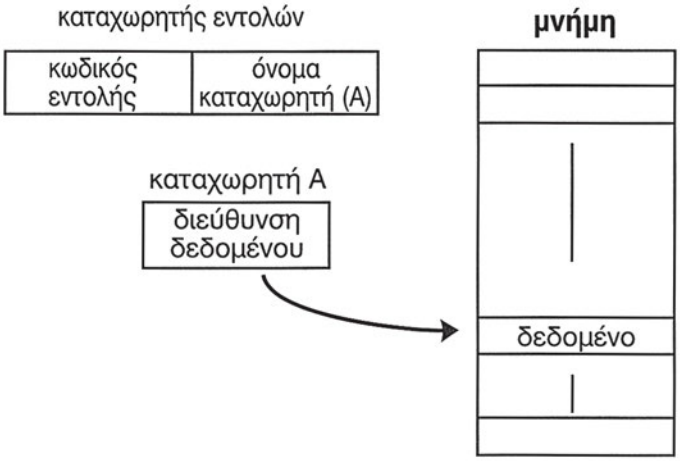


Σχήμα 3.12 *Αναφορά στη μνήμη μεσω καταχωρητή*

Για παράδειγμα, η εντολή ’ADD A’ θα μπορούσε να σημαίνει ’πρόσθεσε στην τρέχουσα τιμή του συσσωρευτή την τιμή του καταχωρητή Α’.

Έμμεση αναφορά μέσω καταχωρητή (register indirect addressing)

Στην έμμεση αναφορά μέσω καταχωρητή, ο κώδικας της εντολής προσδιορίζει ένα καταχωρητή του μικροεπεξεργαστή που περιέχει τη διεύθυνση που θα χρησιμοποιηθεί για την προσπέλαση του ορίσματος της μνήμης.



Σχήμα 3.13 *Έμμεση αναφορά μέσω καταχωρητή*

Για παράδειγμα, η εντολή 'ADD [A]' θα μπορούσε να σημαίνει 'πρόσθεσε στην τρέχουσα τιμή του συσσωρευτή την τιμή που βρίσκεται στη θέση μνήμης, της οποίας η διεύθυνση βρίσκεται στον καταχωρητή A'.

3.5 Χαρακτηριστικά και κατηγορίες μικροεπεξεργαστών

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στα κυριότερα χαρακτηριστικά των μικροεπεξεργαστών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι

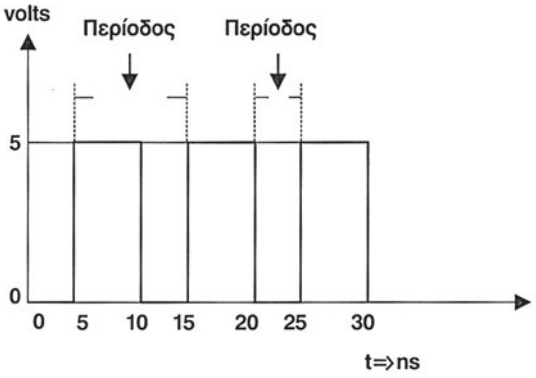
- η συχνότητα λειτουργίας (operating frequency)
- το μήκος λέξης (word length)
- το ρεπερτόριο εντολών (instruction set)

Συχνότητα λειτουργίας μικροεπεξεργαστή

Για να εκτελέσει μια εντολή ο μικροεπεξεργαστής, εκτελεί όπως είδαμε μια σειρά από διαδοχικές λειτουργίες. Κάθε μία από τις λειτουργίες αυτές διαρκεί ένα

χρονικό διάστημα. Για το συγχρονισμό των λειτουργιών αυτών, είναι απαραίτητο κάποιο ρολόι. Σε κάθε "κτύπο" του ρολογιού ο μικροεπεξεργαστής εκτελεί μία στοιχειώδη λειτουργία.

Το ρολόι είναι ένα σήμα το οποίο παράγεται από ένα εξωτερικό κύκλωμα (το οποίο ονομάζεται ταλαντωτής) και η τάση του ως συνάρτηση του χρόνου φαίνεται στο Σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14 *Κυματομορφή ρολογιού με περίοδο 10 ns*

Το σήμα του ρολογιού, εναλλάσσεται μεταξύ της στάθμης των 5 Volts και αυτής των 0 Volt. Λόγω του σχήματος του το σήμα αυτό ονομάζεται *τετραγωνική παλμοσειρά.* Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εναλλαγών του σήματος, για παράδειγμα από τα 0 Volt στα 5 Volts και πάλι στα 0 Volt είναι ίσο με μια *ημιπερίοδο* του ρολογιού. Δύο διαδοχικές ημιπερίοδοι αποτελούν μια *περίοδο* ή έναν *κύκλο* του ρολογιού.

Η *συχνότητα* του ρολογιού δείχνει το πλήθος των κύκλων του ρολογιού στη διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Για τους σύγχρονους μικροεπεξεργαστές το μέγεθος αυτό είναι της τάξης των εκατοντάδων MHz. Το ένα MHz είναι ίσο με ένα εκατομμύριο κύκλους το δευτερόλεπτο. Ετσι, αν ένας μικροεπεξεργαστής έχει περίοδο 10 nsec, η συχνότητα λειτουργίας του είναι $1/(10x10^{-9})= 10^8$ = 100MHz.

Κάθε μικροεπεξεργαστής είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί μέχρι κάποια μέγιστη συχνότητα. Συνήθως η συχνότητα του ρολογιού, επιλέγεται να είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη συχνότητα λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή και αυτό γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του ρολογιού τόσο πιο γρήγορα εκτελεί τις εντολές ο μικροεπεξεργαστής. Η συχνότητα του ρολογιού ονομάζεται *συχνότητα λειτουργίας του μικρο-επεξεργαστή.*

Εάν προσπαθήσουμε να υπερβούμε τη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας, το αποτέλεσμα θα είναι είτε η λανθασμένη λειτουργία του ολοκληρωμένου είτε ακόμα και η καταστροφή του ολοκληρωμένου κυκλώματος του μικροεπεξεργαστή.

Ο ρυθμός με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές είναι συνάρτηση της συχνότητας λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή. Για την ακρίβεια, η συχνότητα του ρολογιού

δείχνει το πλήθος των κύκλων μηχανής που εκτελούνται σε ένα δευτερόλεπτο. Έτσι, αν το ρολόι του μικροεπεξεργαστή είναι 100 MHz (100.000.000 κύκλους το δευτερόλεπτο) αυτό σημαίνει ότι εκτελούνται 100.000.000 κύκλοι μηχανής το δευτερόλεπτο.

Όπως έχουμε αναφέρει, ένα κύκλος εντολής αποτελείται από (περισσότερους από ένα) κύκλους μηχανής. Έτσι, αν για παράδειγμα μια εντολή πρόσθεσης χρειάζεται 5 κύκλους μηχανής για να ανακληθεί και να εκτελεστεί και η συχνότητα λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή είναι 100 MHz (δηλαδή κάθε κύκλος μηχανής διαρκεί 10 ns) τότε η εντολή της πρόσθεσης χρειάζεται συνολικά 5*10ns = 50ns για να εκτελεστεί. Συνεπώς είναι δυνατό να εκτελούνται 20.000.000 εκατομμύρια προσθέσεις το δευτερόλεπτο.

Μήκος λέξης (word length) μικροεπεξεργαστή

Ένας μικροεπεξεργαστής μπορεί να κάνει αριθμητικές ή λογικές πράξεις μεταξύ των καταχωρητών του. Συνεπώς κάθε φορά τα δεδομένα εισάγονται από τη μνήμη ή από τις περιφερειακές μονάδες σε κάποιο καταχωρητή του μικροπεξεργαστή και μετά πραγματοποιείται η επεξεργασία τους.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των καταχωρητών του μικροεπεξεργαστή (αλλά και του ίδιου του μικροεπεξεργαστή) είναι το εύρος των καταχωρητών σε δυαδικά ψηφία bits. Όσο πιο "μεγάλος" είναι ένας καταχωρητής τόσα "περισσότερα δεδομένα χωράει".

Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να εκτελέσουμε μια πρόσθεση χρησιμοποιώντας ένα μικροεπεξεργαστή με τρεις καταχωρητές, τους Α, Β, C. Για να εκτελέσει ο μικροεπεξεργαστής την πρόσθεση θα πρέπει πρώτα να μεταφερθούν σε δύο από τους καταχωρητές του οι δύο αριθμοί. Έστω ότι για να αποθηκεύσουμε καθένα από τους αριθμούς χρειαζόμαστε 16 bits. Αν ο μικροεπεξεργαστής διαθέτει καταχωρητές των 16 bits τότε η αποθήκευση των δεδομένων θα γίνει στους καταχωρητές Α και Β. Η πρόσθεση θα γίνει με μια μόνο εντολή, και το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον καταχωρητή C. Η μεταφορά του αποτελέσματος από το μικροεπεξεργαστή στη μνήμη ή σε κάποια περιφερειακή μονάδα χρειάζεται επίσης μόνο μια εντολή.

Αν όμως ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιούμε διαθέτει καταχωρητές των 8 bits τότε η αποθήκευση του κάθε αριθμού θα χρειαστεί τουλάχιστον δύο βήματα.

1ο Βήμα

Στο πρώτο βήμα θα πρέπει να βάλουμε στον καταχωρητή Α τα 8 χαμηλής τάξης δυαδικά ψηφία του πρώτου αριθμού, ενώ στον καταχωρητή Β τα 8 χαμηλής τάξης δυαδικά ψηφία του δεύτερου αριθμού. Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης αποθηκεύεται στον καταχωρητή C. Αν έχει προκύψει κρατούμενο κατά την πρόσθεση των δύο καταχωρητών, τότε τίθεται η σημαία κρατουμένου της ALU. Τέλος το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη μνήμη.

2ο Βήμα

Στο δεύτερο βήμα, στους καταχωρητές Α και Β του μικροεπεξεργαστή θα φορτωθούν τα υπόλοιπα υψηλότερης αξίας δυαδικά ψηφία των αριθμών.

Στην πρόσθεση τώρα πρέπει να συμπεριλάβουμε και το κρατούμενο που έχει προκύψει από την προηγούμενη πρόσθεση. Συνεπώς, αν έχει προκύψει κρατούμενο, θα πρέπει να προστεθεί άλλη μια μονάδα στο άθροισμα που προκύπτει από την πρόσθεση των καταχωρητών Α και Β που περιέχουν τα υψηλότερης αξίας δεδομένα. Το αποτέλεσμα αυτής της πρόσθεσης αποθηκεύεται στον καταχωρητή C.
Έτσι, για την εκτέλεση της πρόσθεσης απαιτούνται δύο εντολές.

Από το παράδειγμα που αναφέραμε, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το μήκος των καταχωρητών του μικροεπεξεργαστή επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία εκτελούνται οι πράξεις στο μικροεπεξεργαστή. Όσο πιο μεγάλοι είναι οι καταχωρητές του, τόσο πιο γρήγορα κατά κανόνα εκτελούνται τα προγράμματα.

Συνήθως οι καταχωρητές έχουν ίδιο μήκος με το μήκος σε bits των υπόλοιπων εσωτερικών μονάδων του μικροεπεξργαστή, όπως η ALU, το οποίο λέμε και μήκος λέξης του μικροεπεξεργαστή. Η παράμετρος αυτή είναι αρκετά σημαντική για την απόδοση του συστήματος.

Οι μικροπεξεργαστές που χρησιμοποιούνται στην πράξη, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- τους μικροεπεξεργαστές με μέγεθος καταχωρητή 8 δυαδικά ψηφία (αναφερόμαστε στους μικροεπεξεργαστές αυτούς με τον όρο ’8-μπιτοι μικροεπεξεργαστές’)
- τους μικροεπεξεργαστές με μέγεθος καταχωρητή 16 δυαδικά ψηφία (αναφερόμαστε στους μικροεπεξεργαστές αυτούς με τον όρο ’16-μπιτοι μικροεπεξεργαστές’)
- τους μικροεπεξεργαστές με μέγεθος καταχωρητή 32 δυαδικά ψηφία (αναφερόμαστε στους μικροεπεξεργαστές αυτούς με τον όρο ’32-μπιτοι μικροεπεξεργαστές’)

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζουμε το μεγαλύτερο ακέραιο αριθμό που μπορούμε να αποθηκεύσουμε σε έναν καταχωρητή ανάλογα με το εύρος του (θεωρώντας οτι παριστάνουμε μόνο θετικούς αριθμούς).

Εύρος	δυαδική παράσταση	Ακέραια τιμή
8	1111 1111	2^8-1= 255
16	1111 1111 1111 1111	2^{16}-1 = 65535
32	1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111	2^{32}-1= 4.294.967.295

Πίνακας 3.4 *Εύρος καταχωρητή (σε δυαδικά ψηφία) και μέγιστος αριθμός που μπορεί να χωρέσει.*

Ρεπερτόριο εντολών

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός μικροεπεξεργαστή είναι το ρεπερτόριο των εντολών που διαθέτει. Με τον όρο ρεπερτόριο εντολών (instruction set) ενός μικροεπεξεργαστή, αναφερόμαστε στις εντολές που μπορεί να εκτελέσει.

Το ρεπερτόριο εντολών ενός μικροεπεξεργαστή είναι καθοριστικός παράγοντας για να αποφασίσουμε αν είναι κατάλληλος για να χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή ψηφιακής επεξεργασίας της ανθρώπινης φωνής, ο μικροεπεξεργαστής θα πρέπει να διαθέτει εντολές που εκτελούν γρήγορα μαθηματικές πράξεις. Αντιθέτως, για να χρησιμοποιηθεί ένας μικροεπεξεργαστής σε μια εφαρμογή όπως η μεταγωγή κλήσεων σε ένα ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο, πρέπει να διαθέτει εντολές για γρήγορη μεταφορά δεδομένων από τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των εντολών ενός μικροεπεξεργαστή είναι η *συμβατότητα* με παλαιότερους μικροεπεξεργαστές. Η πείρα έδειξε ότι ένας νέος μικροεπεξεργαστής είναι καλό να μπορεί να εκτελεί προγράμματα που εκτελούνταν σε παλαιότερους μικροεπεξεργαστές. Με άλλα λόγια το ρεπερτόριο των εντολών ενός νέου μικροεπεξεργαστή, θα έπρεπε να περιέχει όλες τις εντολές του προηγούμενου μικροεπεξεργαστή της ίδιας εταιρείας. Με αυτό τον τρόπο, τα προγράμματα που έχουν γραφτεί για ένα παλαιότερο μικροεπεξεργαστή δε χρειάζεται να ξαναγραφτούν από την αρχή.

Με βάση το κριτήριο του μεγέθους του ρεπερτορίου εντολών, οι μικροεπεξεργαστές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Τους μικροεπεξεργαστές διευρυμένου ρεπερτορίου εντολών και τους *μικροεπεξεργαστές μειωμένου ρεπερτορίου εντολών.* Συχνότατα στην πράξη, αναφερόμαστε στα μικροϋπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούν τους μικροεπεξεργαστές αυτούς. Έτσι, μιλάμε για *υπολογιστικά συστήματα διευρυμένου ρεπερτορίου εντολών (complex instruction set computers, CISC)* και για *υπολογιστικά συστήματα μειωμένου ρεπερτορίου εντολών (reduced instruction set computers RISC).*

Είναι σαφές ότι το ρεπερτόριο εντολών ενός μικροεπεξεργαστή διευρυμένου ρεπερτορίου εντολών περιλαμβάνει πιο πολύπλοκες εντολές, επομένως μπορεί με λιγότερες εντολές να εκτελέσει πιο πολύπλοκες διαδικασίες. Οι μικροεπεξεργαστές που σχεδιάζονταν αρχικά ανήκαν στην κατηγορία αυτή. Στη φάση αυτή, οι σχεδιαστές προσπαθούσαν να σχεδιάζουν μικροεπεξεργαστές που μπορούσαν να εκτελέσουν όλο και πιο πολύπλοκες εντολές, επομένως θα ήταν και πιο ισχυροί.

Με την πάροδο όμως του χρόνου και ύστερα από μελέτες, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος του ρεπερτορίου εντολών ενός μικροεπεξεργαστή, τόσο πιο πολύπλοκη είναι η σχεδίασή του, επομένως τόσο περισσότερο καθυστερεί η εκτέλεση κάθε εντολής.
- Κατά την εκτέλεση ενός τυπικού προγράμματος, μόνο ένα μικρό μέρος των εντολών χρησιμοποιείται συχνότατα, ενώ το μεγαλύτερο πλήθος των (πολύπλοκων συνήθως) εντολών χρησιμοποιείται σπάνια.

Ξεκίνησε λοιπόν μια νέα αντίληψη στην κατεύθυνση της σχεδίασης μικροεπεξεργαστών. Στην κατεύθυνση αυτή άρχισαν να σχεδιάζονται μικροεπεξεργαστές

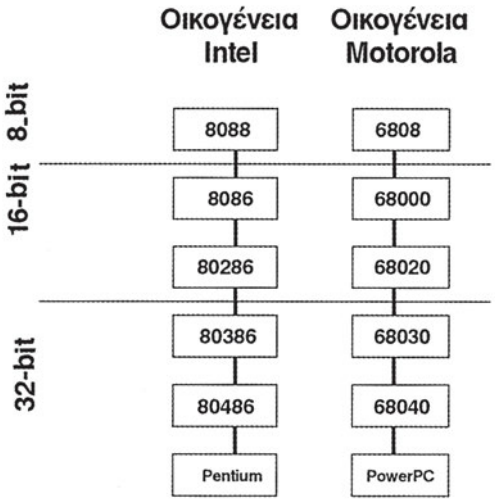
με όσο το δυνατό πιο μικρό σύνολο εντολών, κάθε μια από τις οποίες εκτελείται όσο το δυνατό πιο γρήγορα. Έτσι, η σχεδίαση του μικροεπεξεργαστή απλοποιείται σημαντικά, και κάθε εντολή μπορεί να εκτελεστεί πολύ πιο γρήγορα από ότι μια εντολή ενός μικροεπεξεργαστή διευρυμένου ρεπερτορίου εντολών. Οι μικροεπεξεργαστές που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τη φιλοσοφία αυτή είναι οι μικροεπεξεργαστές μειωμένου ρεπερτορίου εντολών (Reduced Instruction Set Computers, RISC).

3.6 Οικογένειες μικροεπεξεργαστών

Με τον όρο οικογένεια μικροεπεξεργαστών εννοούμε μια σειρά επεξεργαστών που έχουν κατασκευαστεί από την ίδια εταιρεία και είναι συμβατοί μεταξύ τους. Με τον όρο συμβατότητα, εννοούμε ότι ένα νεότερο μέλος της οικογένειας μπορεί να εκτελέσει εντολές ενός προηγούμενου (αρχαιότερου) μέλους.

Η μεγάλη πλειοψηφία των επεξεργαστών που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά ανήκει σε μια από τις δύο οικογένειες επεξεργαστών: την οικογένεια επεξεργαστών της Intel της σειράς 80X86 και την οικογένεια επεξεργαστών της σειράς 68000 της εταιρείας Motorola.

Κάθε μια από τις οικογένειες αυτές έχει μέλη που ανήκουν στην κατηγορία των 8-bit μικροεπεξεργαστών, στην κατηγορία των 16-bit μιρκοεπεξεργαστών και 32-bit μικροεπεξεργαστές. Στο Σχήμα 3.15 φαίνεται η εξέλιξη αυτή για τις δύο αυτές οικογένειες.



Σχήμα 3.15 *Εξέλιξη μικροεπεξεργαστών* ***INTEL*** *και* ***MOTOROLA***

Ο πίνακας 3.5 περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροεπεξεργαστών της εταιρείας INTEL.

	Μήκος λέξης	Πλάτος Διαδρόμου	
μ/Ε	**Επεξεργαστή**	**Δεδομένων**	**Διευθύνσεων**
8088	16-bit	8-bit	20-bit
8086	16-bit	16-bit	20-bit
80286	16-bit	16-bit	24-bit
80386	32-bit	16-bit	24-bit
80486	32-bit	32-bit	32-bit
Pentium	32-bit	64-bit	32-bit

Πίνακας 3.5 *Μικροεπεξεργαστές της εταιρείας INTEL*

3.7 Μικροελεγκτές

Όπως είδαμε, ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα αποτελείται από ένα μικροεπεξεργαστή, μνήμη και μονάδες εισόδου - εξόδου.

Ένας μικροεπεξεργαστής μπορεί να εκτελεί υπολογισμούς και να επεξεργάζεται δεδομένα γρήγορα και αξιόπιστα και προκειμένου να επικοινωνήσει με το περιβάλλον του πρέπει να συνδεθεί με κάποιες περιφερειακές μονάδες, όπως:

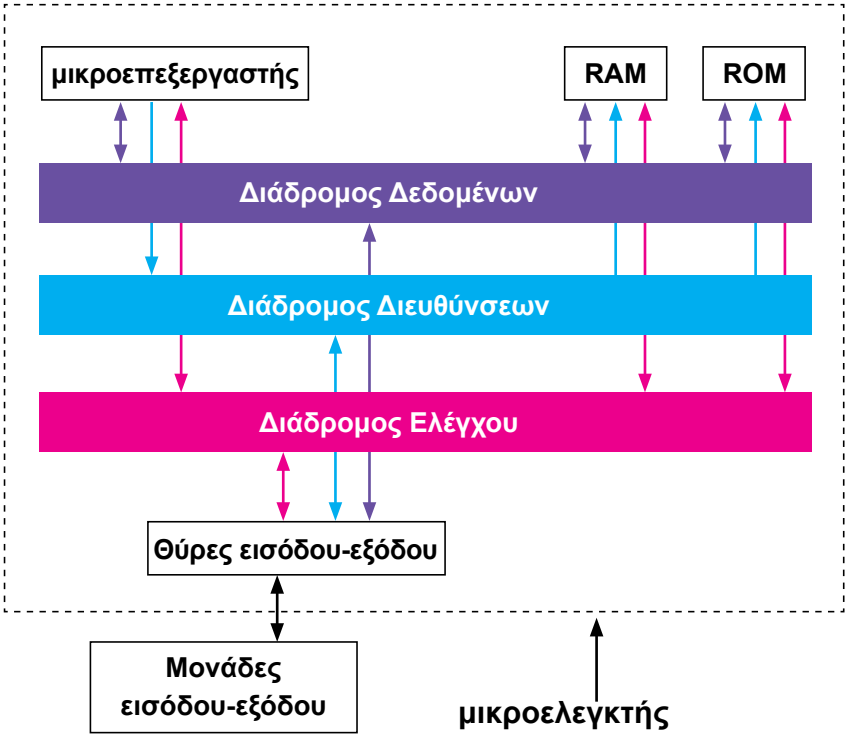
- μνήμη (RAM και ROM),
- ελεγκτής διακοπών (προκειμένου να δεχτεί και να αναγνωρίσει τα σήματα διακοπών από περιφερειακές μονάδες)
- θύρες (ports) επικοινωνίας με τις μονάδες εισόδου-εξόδου

Ακόμη, ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει ένα σύστημα (πχ. εργοστασιακό συγκρότημα, βιομηχανικό αυτοματισμό κ.λπ.). Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να δεχτεί αναλογικά σήματα (τιμές θερμοκρασίας, πίεσης κ.λπ.). Προκειμένου να αξιοποιήσει ένας μικροεπεξεργαστής τα σήματα αυτά πρέπει να παρεμβληθούν εξαρτήματα τα οποία να μπορούν να μετατρέψουν τις τιμές των σημάτων αυτών από αναλογικές σε ακολουθίες δυαδικών ψηφίων τις οποίες μπορεί να επεξεργαστεί ο μικροεπεξεργαστής. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται αναλογικό-ψηφιακοί μετατροπείς (Analog-to-Digital Converters, A/D).

Έτσι, η σχεδίαση ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος περιλαμβάνει, εκτός από το ολοκληρωμένο κύκλωμα του μικροεπεξεργαστή και τις περιφερειακές συσκευές, η σύνδεση και ο συγχρονισμός των οποίων καθιστά πολύπλοκη τη σχεδίαση του ολοκληρωμένου συστήματος.

Μια λύση στο πρόβλημα θα ήταν να υπήρχε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το

οποίο να περιλαμβάνει κάποιες από τις απαραίτητες περιφερειακές συσκευές. Ένα τέτοιο κύκλωμα ονομάζεται μικροελεγκτής (microcontroller) και το σχηματικό του διάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16 *Σχέση μικροεπεξεργαστή και μικροελεγκτή*

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι μικροελεγκτές είναι κατάλληλοι για εφαρμογές στις οποίες υπάρχει αυξημένη ανάγκη για χρήση περιφερειακών συσκευών. Πολλές φορές, το κριτήριο επιλογής ενός μικροελεγκτή είναι το είδος και οι δυνατότητες των περιφερειακών που διαθέτει.

Οι πιο γνωστές από τις περιφερειακές μονάδες που χρειάζονται για να λειτουργήσει ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα (και οι οποίες περιλαμβάνονται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα ενός μικροελεγκτή) είναι οι εξής.

- *μνήμη (RAM και ROM)*
- *θύρες εισόδου / εξόδου, καθώς και θύρες σειριακής και παράλληλης επικοινωνίας*
- *μονάδα αναγνώρισης διακοπών*
- *μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και αντίστροφα*
- *μετρητές χρόνου-χρονιστές (timers)*

Στα επόμενα Κεφάλαια θα αναφερθούμε διεξοδικά στη χρησιμότητα κάθε μιας από τις μονάδες αυτές καθώς και στον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε σε ένα μικροελεγκτή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια τα βασικά τμήματα ενός υπολογιστικού συστήματος και ποια η λειτουργία του καθενός από αυτά;
2. Από ποια τμήματα αποτελείται ένας μικροεπεξεργαστής;
3. Ποιοι είναι οι βασικοί καταχωρητές ενός μικροεπεξεργαστή;
4. Ποια τα είδη εντολών ενός τυπικού μικροεπεξεργαστή;
5. Περιγράψτε τα στάδια εκτέλεσης μιας εντολής σε ένα τυπικό μικροεπεξεργαστή.
6. Σε τι διαφέρει η συμβολική γλώσσα από τη γλώσσα μηχανής;
7. Αναφέρετε τους τρόπους διεθυνσιοδότησης της μνήμης
8. Αναφέρετε τα χαρακτηριστικά ως προς τα οποία διακρίνουμε τους μικροεπεξεργαστές. Σε ποια είδη διακρίνουμε τους μικρο-επεξεργαστές ως προς καθένα από αυτά;
9. Ποιες είναι οι πιο γνωστές οικογένειες επεξεργαστών; ποια τα μέλη κάθε μιας από αυτές;
10. Σε τι διαφέρει ένας μικροελεγκτής από ένα μικροεπεξεργαστή;
11. Γιατί οι μικροελεγκτές είναι χρήσιμοι στο σχεδιασμό μικρο-υπολογιστικών συστημάτων;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Κ.Ζ. Πεκμεστζή***, "Συστήματα Μικροϋπολογιστών", Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.
2. ***Γ. Παπακωνσταντίνου, Π. Τσανάκας Ν. Κοζύρης Α. Μανουσοπούλου, Π. Ματζάκος***, "Τεχνολογία Υπολογιστικών Συστημάτων και Λειτουργικά Συστήματα". ΥΠΕΠΘ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 1999.
3. ***S. Mueller***, "Upgrading and Repairing PCs", Scott Mueller, 10th edition, Que Corporation, 1998.
4. ***Κ. Δημόπουλος, Α. Παρασκευόπουλος***, "80X86: Αρχιτεκτονική, Σχεδίαση και Προγραμματισμός", Παπασωτηρίου, 1992.

Κεφάλαιο 4ο

Σύνδεση Μικροεπεξεργαστών και Μικροελεγκτών

Περιεχόμενα

Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- αναφέρεις τις συνδέσεις των μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών
- αναφέρεις τι είναι η πολυπλεξία ακροδεκτών και ποια η χρησιμότητά της
- περιγράφεις τη διαδικασία πολυπλεξίας χρησιμοποιώντας ψηφιακά ηλεκτρονικά
- αναφέρεις τους τρόπους διευθυνσιοδότησης συσκευών εισόδου-εξόδου
- συγκρίνεις τους τρόπους διευθυνσιοδότησης συσκευών εισόδου-εξόδου
- σχεδιάζεις μια θύρα εισόδου-εξόδου χρησιμοποιώντας ψηφιακά ηλεκτρονικά
- περιγράφεις τους τρόπους προσπέλασης περιφερειακών συσκευών
- αναφέρεις τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να εξυπηρετήσει ένας μικροεπεξεργαστής μια μονάδα εισόδου / εξόδου
- περιγράφεις τη διαδικασία εξυπηρέτησης της συσκευής με κάθε ένα από τους τρόπους αυτούς
- περιγράφεις τη διαδικασία εξυπηρέτησης περιφερειακών συσκευών με τη μέθοδο των διακοπών
- αναφέρεις τα πλεονεκτήματα της χρήσης διακοπών για την εξυπηρέτηση περιφερειακών συσκευών
- περιγράφεις τη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων μεταξύ μιας περιφερειακής συσκευής και της μνήμης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απευθείας προσπέλασης μνήμης (DMA)
- αναφέρεις τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ μιας περιφερειακής συσκευής και της μνήμης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απευθείας προσπέλασης μνήμης

4.1 Ακροδέκτες και συνδέσεις μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών

Όπως έχει αναφερθεί, ο μικροεπεξεργαστής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό συνδέεται μέσω ακροδεκτών (pins) σε μια πλακέτα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (integrated circuit board). Οι ακροδέκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για:

- την επικοινωνία με τα υπόλοιπα ολοκληρωμένα κυκλώματα του υπολογιστικού συστήματος
- την παροχή τροφοδοσίας και γείωσης

Μερικοί από τους ακροδέκτες που συναντάμε στην πλειοψηφία των μικροεπεξεργαστών καθώς και η λειτουργικότητά τους δίνονται στον Πίνακα 4.1.

Ακροδέκτης	I/O	Σημασία
GND	I	Γη
VCC	I	Τάση τροφοδοσίας (+5V)
NMI	I	Non-Maskable Interrupt, αίτηση για διακοπή η οποία δε μπορεί να παρεμποδιστεί
INT	I	Αίτηση για διακοπή με μάσκα (μπορεί να παρεμποδιστεί)
CLK	I	Ρολόι
RESET	I	Τερματισμός δραστηριότητας του μικροεπεξεργαστή.
RD	O	read, ένδειξη ότι πρόκειται να εκτελεστεί μια ανάγνωση μνήμης ή περιφερειακής συσκευής
WR	O	write, ένδειξη ότι πρόκειται να εκτελεστεί εγγραφή στη μνήμη ή σε περιφερειακή συσκευή
A[0:n-1]	O	Οι ακροδέκτες του διαδρόμου διευθύνσεων. Ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να διευθυνσιοδοτήσει μέχρι 2 διαφορετικές διευθύνσεις.
D[0:k-1]	I/O	k ακροδέκτες του διαδρόμου δεδομένων

Πίνακας 4.1 *Ακροδέκτες τυπικού μικροεπεξεργαστή*

Εκτός από τα παραπάνω σήματα, είναι δυνατό να υπάρχει ένα σήμα εξόδου από το μικροεπεξεργαστή με το όνομα IO/M' (Input-Output/ Memory). Το σήμα αυτό δείχνει αν θα εκτελεστεί λειτουργία (ανάγνωσης ή εγγραφής) στη μνήμη ή σε συσκευή εισόδου-εξόδου. Το σήμα IO/M' χρησιμοποιείται μόνο αν ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιεί ξεχωριστό χώρο διευθύνσεων εισόδου-εξόδου από εκείνο της μνήμης, όπως θα εξηγήσουμε σε επόμενη παράγραφο.

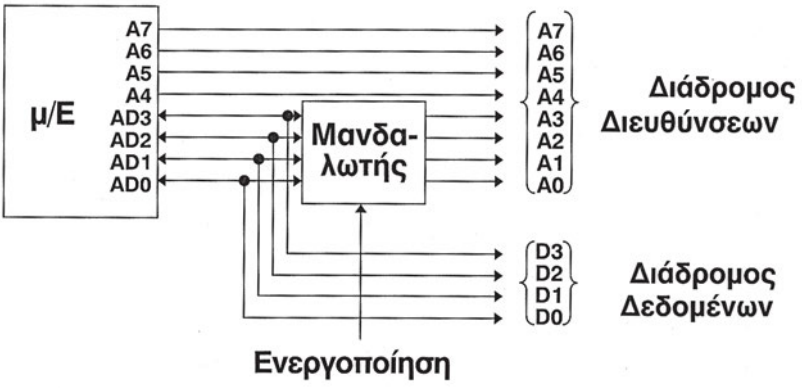
4.1.1 Πολυπλεξία διαδρόμων

Το πλήθος των ακροδεκτών του μικροεπεξεργαστή συχνά καθορίζει το κόστος κατασκευής του ολοκληρωμένου κυκλώματος, αλλά και ολόκληρου του συστήματος.

Για το λόγο αυτό, προκειμένου να μειωθεί το κόστος κατασκευής του ολοκληρωμένου κυκλώματος προσπαθούμε να μειώσουμε το πλήθος των ακίδων του. Όπως είδαμε, η πλειοψηφία των γραμμών εισόδου και εξόδου του μικροεπεξεργαστή είναι οι γραμμές διαδρόμων και διευθύνσεων.

Μια καλή ιδέα για να μειωθεί το πλήθος των ακροδεκτών του μικροεπεξεργαστή, είναι κάποιοι (ή και όλοι) οι ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται για το διάδρομο διευθύνσεων να χρησιμοποιούνται και για το διάδρομο δεδομένων. Για να γίνει αυτό πρέπει να ληφθεί μέριμνα κατά τη σχεδίαση του μικροεπεξεργαστή, ώστε να μην υπάρχουν ταυτόχρονα στους ακροδέκτες αυτούς και διευθύνσεις και δεδομένα. Η τεχνική με τη βοήθεια της οποίας οι ίδιες γραμμές (και ακροδέκτες του μικροεπεξεργαστή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για διαφορετικό σκοπό (μεταφορά δεδομένων ή διευθύνσεων) ονομάζεται *πολυπλεξία (multiplexing)*.

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.1 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός μικροεπεξεργαστή ο οποίος μπορεί να συνδεθεί σε διάδρομο διευθύνσεων πλάτους 8 δυαδικών ψηφίων, και διάδρομο δεδομένων πλάτους 4 δυαδικών ψηφίων.

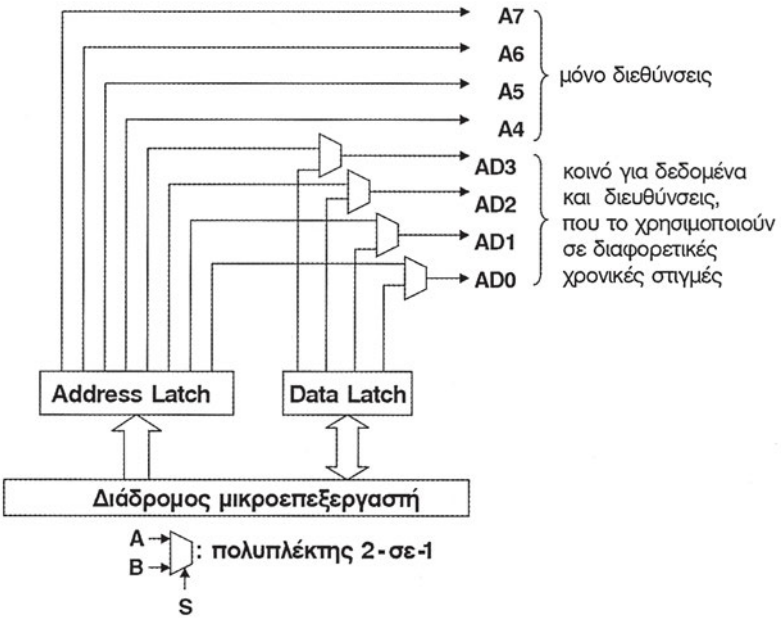


Σχήμα 4.1 *Πολυπλεξία διαδρόμου διευθύνσεων και δεδομένων*

Σε αυτό το μικροεπεξεργαστή οι γραμμές διευθύνσεων A0-A3 *πολυπλέκονται* με τις γραμμές δεδομένων D0-D3. Για τη σύνδεση στο διάδρομο δεδομένων χρησιμοποιείται ένας μανδαλωτής. Όταν στις γραμμές AD3-AD0 περιέχεται πληροφορία σχετικά με διεύθυνση, ενεργοποιείται το σήμα 'ενεργοποίηση', και η πληροφορία μεταφέρεται στο διάδρομο διευθύνσεων. Αν τα σήματα AD0-AD3 περιέχουν δεδομένα, τότε το σήμα 'επίτρεψη' απενεργοποιείται, και τα σήματα δε μεταφέρονται στο διάδρομο διευθύνσεων.

Μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του μικροεπεξεργαστή η πολυπλεξία υλο-

ποιείται χρησιμοποιώντας πολυπλέκτες 2-σε-1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 *Υλοποίηση της πολυπλεξίας διαδρόμου στο εσωτερικό του μικροεπεξεργαστή*

4.2 Προσπέλαση συσκευών εισόδου-εξόδου

Στις εφαρμογές μικροϋπολογιστικών συστημάτων, εκτός από τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και της μνήμης, απαιτείται η μεταφορά δεδομένων μεταξύ του μικροεπεξεργαστή ή της μνήμης και μονάδων εισόδου-εξόδου. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται λειτουργία εισόδου-εξόδου.

Η λειτουργία εισόδου-εξόδου είναι ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά σε εφαρμογές στις οποίες το μικροϋπολογιστικό σύστημα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συσκευών ή διατάξεων, σε αυτοματισμούς κ.λπ. Η λειτουργία αυτή διαφέρει από την επικοινωνία του μικροεπεξεργαστή με τη μνήμη κυρίως στα ακόλουθα σημεία:

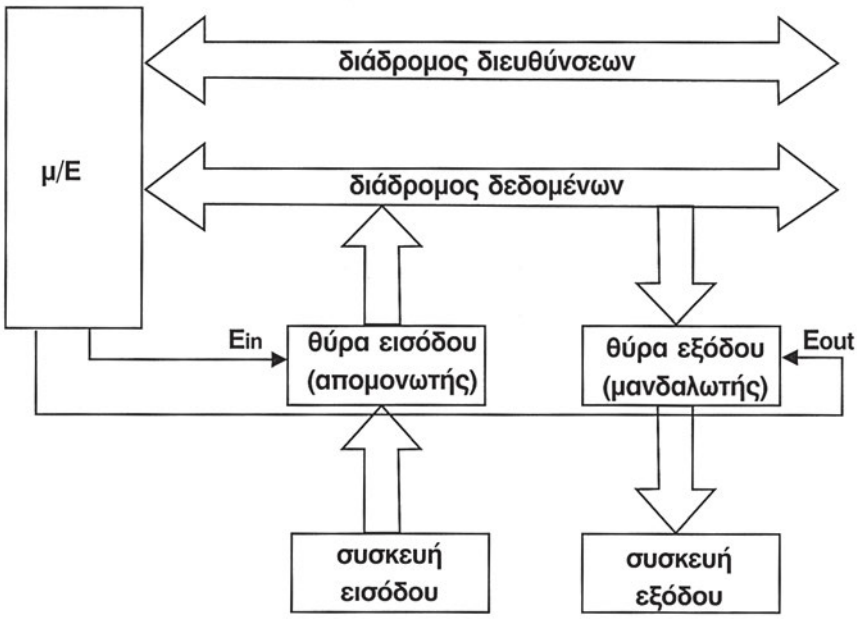
- η μνήμη δε ζητάει εξυπηρέτηση από το μικροεπεξεργαστή. Ο μικροεπεξεργαστής προσπελαύνει για τη μνήμη να εγγράψει δεδομένα σε αυτή ή να διαβάσει από αυτή δεδομένα. Αντιθέτως, μια μονάδα εισόδου-εξόδου μπορεί να ζητήσει εξυπηρέτηση. Για παράδειγμα, όταν πληκτρολογούμε ένα χαρακτήρα, το πληκτρολόγιο πρέπει να ενημερώσει το μικροεπεξεργαστή για την ενέργειά μας αυτή.
- η μνήμη αποτελεί μια ενιαία οντότητα. Για να προσπελάσει ο μικροεπεξεργαστής

μια θέση μνήμης χρησιμοποιεί τη διεύθυνση της. Αντιθέτως, όταν μια περιφερειακή συσκευή ζητάει εξυπηρέτηση, ο μικροεπεξεργαστής πρέπει να γνωρίζει ποια συσκευή είναι ώστε να την εξυπηρετήσει.

4.2.1 Θύρες εισόδου-εξόδου

Όπως έχει αναφερθεί, η επικοινωνία μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και των συσκευών εισόδου-εξόδου πραγματοποιείται με τη βοήθεια θυρών εισόδου-εξόδου.

Οι θύρες εισόδου-εξόδου (I/O ports) μπορούν να θεωρηθούν ως εξωτερικοί καταχωρητές. Στην απλούστερη μορφή της, μια θύρα εισόδου αποτελείται από έναν απομονωτή (buffer) τριών καταστάσεων για κάθε δυαδικό ψηφίο, ενώ για μια θύρα εξόδου χρησιμοποιείται ένας μανδαλωτής (ή flip-flop) για κάθε δυαδικό ψηφίο της θύρας. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται το απλοποιημένο διάγραμμα μιας θύρας εισόδου και μιας θύρας εξόδου σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα.



Σχήμα 4.3 *Θύρα εισόδου και θύρα εξόδου σε μικροϋπολογιστικό σύστημα*

Τα σήματα E_{in} και E_{out} παράγονται από το μικροεπεξεργαστή και μεταφέρονται μέσω του διαδρόμου ελέγχου.

Αξίζει να αναφερθεί ακόμη ότι στην αγορά υπάρχουν ολοκληρωμένα κυκλώματα θυρών εισόδου-εξόδου (τεχνολογίας LSI) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το χειρισμό πολύπλοκων καταστάσεων εισόδου-εξόδου όπως π.χ. μετατροπή παράλληλης επικοινωνίας σε σειριακή και αντίστροφα. Τα ολοκληρωμένα αυτά κυκλώματα είναι συνήθως προγραμματιζόμενες συσκευές, με την

έννοια ότι μπορούν να διαμορφωθούν σα θύρες εισόδου, εξόδου ή διπλής κατεύθυνσης (εισόδου και εξόδου).

4.2.2 Διευθυνσιοδότηση συσκευών εισόδου-εξόδου

Οι θύρες εισόδου-εξόδου μπορούν να προσπελαστούν με ένα από δύο τρόπους: είτε ως κοινές θέσεις μνήμης, είτε με ειδικές εντολές. Έτσι, υπάρχουν δύο τεχνικές χειρισμού των θυρών εισόδου-εξόδου. Η τεχνική μέσω ειδικών εντολών εισόδου εξόδου (isolated I/O) και η τεχνική με απεικόνιση μνήμης (memory mapped).

Είσοδος-έξοδος με ειδικές εντολές

Στην ξεχωριστή ή απομονωμένη είσοδο-έξοδο (isolated I/O) η μεταφορά των δεδομένων γίνεται χρησιμοποιώντας δύο ειδικές εντολές, οι οποίες σε συμβολική γλώσσα ονομάζονται συνήθως IN και OUT. Η διακίνηση των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω του συσσωρευτή.

Έτσι, με την εντολή εισόδου το περιεχόμενο του απομονωτή της θύρας μεταφέρεται στο συσσωρευτή, ενώ στην εντολή εξόδου συμβαίνει το αντίστροφο. Κατά τη μεταφορά, η διεύθυνση της θύρας μπαίνει στο διάδρομο διευθύνσεων.

Οι εντολές εισόδου-εξόδου απομονώνουν τη μνήμη από τις θύρες εισόδου-εξόδου έτσι ώστε ο χώρος μνήμης να μην επηρεάζεται από το χώρο των θυρών εισόδου- εξόδου. Έτσι, οι διευθύνσεις των θυρών εισόδου-εξόδου δεν αποτελούν τμήμα των διευθύνσεων μνήμης. Γι' αυτό το λόγο, στο διάδρομο ελέγχου εκτός από τα σήματα που μας δίνουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε αν έχουμε ανάγνωση ή εγγραφή, έχουμε και επιπρόσθετα σήματα που μας πληροφορούν αν η προσπέλαση γίνεται σε μνήμη ή περιφερειακή συσκευή. Με την απομονωμένη είσοδο-έξοδο ο μικροϋπολογιστής μπορεί να διαθέσει όλες τις δυνατές διευθύνσεις του για μνήμη.

Είσοδος-έξοδος με απεικόνιση μνήμης

Δεν είναι όμως πάντα απαραίτητο να έχουμε ξεχωριστές εντολές εισόδου-εξόδου. Σε πολλούς μικροεπεξεργαστές οι εντολές που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ μικροεπεξεργαστή και μνήμης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για είσοδο-έξοδο.

Στην περίπτωση αυτή, οι θύρες εισόδου-εξόδου σχεδιάζονται έτσι ώστε να συμπεριφέρονται ως διευθύνσεις μνήμης. Συγκεκριμένα, οι καταχωρητές που σχετίζονται με τις θύρες εισόδου-εξόδου αντιστοιχούν σε θέσεις μνήμης. Η τεχνική αυτή, που χρησιμοποιεί εντολές προσπέλασης μνήμης για την είσοδο-έξοδο ονομάζεται είσοδος-έξοδος με απεικόνιση μνήμης (memory mapped I/O). Τα συστήματα που λειτουργούν έτσι, επιτρέπουν στον προγραμματιστή να χρησιμοποιεί όλες τις δυνατότητες των εντολών του μικροεπεξεργαστή, τόσο για δεδομένα της μνήμης, όσο και για δεδομένα των θυρών εισόδου-εξόδου.

Η είσοδος έξοδος με απεικόνιση μνήμης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Εντολές αναφοράς στη μνήμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για είσοδο-έξοδο (για παράδειγμα, μπορούν να γίνουν αριθμητικές πράξεις με τα περιεχόμενα μίας θύρας εισόδου ή εξόδου χωρίς να τοποθετηθούν τα δεδομένα της σε προσωρινούς καταχωρητές.
- Οι περισσότεροι καταχωρητές του μικροεπεξεργαστή μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες με συσκευές εισόδου-εξόδου, σε αντίθεση με την τεχνική εισόδου - εξόδου με ειδικές εντολές (στις οποίες η μεταφορά δεδομένων γίνεται, όπως είδαμε, από και προς τον συσσωρευτή).

Τα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι ότι:

- Μειώνεται το πλήθος των θέσεων μνήμης που μπορεί να προσπελάσει ο μικροεπεξεργαστής.
- Οι εντολές προσπέλασης μνήμης είναι συνήθως μεγαλύτερες από τις εντολές τύπου εισόδου-εξόδου (για παράδειγμα, στο μικροεπεξεργαστή 8085 οι εντολές προσπέλασης μνήμης είναι συνήθως τριών bytes, ενώ οι ειδικές εντολές εισόδου-εξόδου είναι μόνο δύο bytes). Έτσι, το μήκος του προγράμματος αυξάνει.

4.2.3 Τρόποι προσπέλασης συσκευών εισόδου-εξόδου

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επικοινωνήσει ο μικροεπεξεργαστής και η μνήμη με τις συσκευές εισόδου-εξόδου. Οι τρόποι αυτοί είναι:

- *ελεγχόμενη από το πρόγραμμα*
- *με χρήση διακοπών*
- *χρησιμοποιώντας ειδικό επεξεργαστή*

Οι τρόποι αυτοί διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο ο μικροεπεξεργαστής αρχικοποιεί τη λειτουργία και ελέγχει τη μεταφορά των δεδομένων.

Είσοδος-έξοδος ελεγχόμενη από πρόγραμμα

Με είσοδο-έξοδο που ελέγχεται από πρόγραμμα, η μεταφορά των δεδομένων βρίσκεται κάτω από τη συνεχή παρακολούθηση και τον έλεγχο του μικροεπεξεργαστή. Μια λειτουργία εισόδου-εξόδου γίνεται μόνο όταν κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος υπάρχει μια εντολή εισόδου-εξόδου. Πριν γίνει η μεταφορά των δεδομένων πρέπει να προσδιοριστεί αν η περιφερειακή συσκευή είναι σε θέση να επικοινωνήσει με το μικροεπεξεργαστή.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελεγχθεί μια ή περισσότερες εξωτερικές σημαίες ή δυαδικά ψηφία κατάστασης που σχετίζονται με την περιφερειακή συσκευή εισόδου-εξόδου.

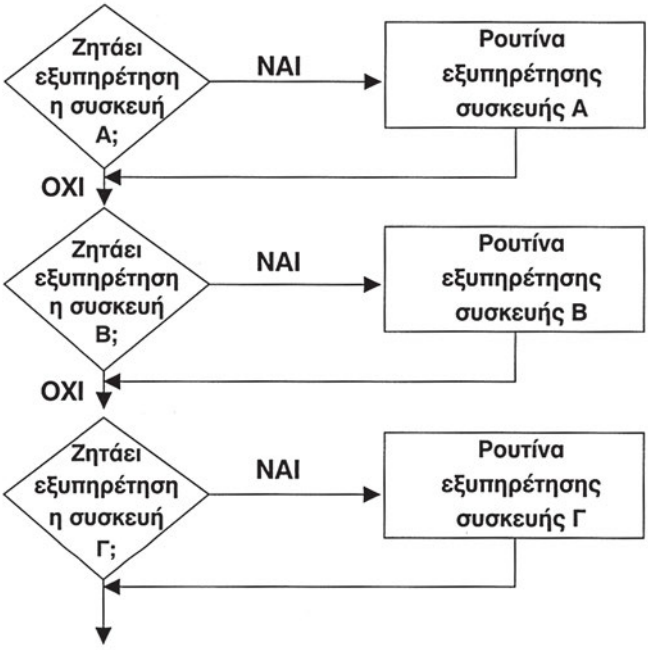
Το πρόγραμμα καθορίζει ποια συσκευή πρόκειται να εξυπηρετηθεί εξετάζοντας τα bits ενός καταχωρητή κατάστασης. Η εξέταση των bits αυτών ονομάζεται *περιόδευση (polling)* ενώ το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται λέγεται *βρόγχος*

περιόδευσης (polling loop). Το πρόγραμμα εκτελεί το βρόγχο περιόδευσης ελέγχοντας διαδοχικά όλες τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διάδρομο δεδομένων και εξετάζοντας αν κάποιες από αυτές ζητούν εξυπηρέτηση. Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής περιόδευσης είναι τα ακόλουθα:

- απαιτείται ελάχιστο υλικό και καμία εξειδικευμένη γραμμή
- είναι σύγχρονη με την εκτέλεση του προγράμματος. Αυτό σημαίνει ότι ο προγραμματιστής γνωρίζει πότε θα ερωτηθεί μια συσκευή

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- Το γεγονός ότι ελέγχονται όλες οι συσκευές κάθε φορά που ξεκινάει ένας βρόγχος περιόδευσης, ενώ πρακτικά οι περισσότερες δε θα χρειάζονται εξυπηρέτηση.
- Το χρονικό διάστημα μεταξύ της χρονικής στιγμής που μια συσκευή εισόδου-εξόδου είναι έτοιμη και της χρονικής στιγμής κατά την οποία θα εξυπηρετηθεί δεν είναι συγκεκριμένο.



Σχήμα 4.4 *Βρόγχος περιόδευσης*

Η επικοινωνία μέσω διακοπών και με χρήση ειδικού επεξεργαστή αποτελεί το αντικείμενο των επόμενων παραγράφων.

4.3 Διακοπές

Σε πολλές περιπτώσεις ένα σημαντικό μέρος ή και ολόκληρος ο χρόνος του μικροεπεξεργαστή καταναλώνεται στην εξυπηρέτηση περιφερειακών συσκευών, όποτε αυτές το χρειαστούν.

Αυτό συμβαίνει στη μέθοδο της συνεχούς περιόδευσης (polling), όπως είδαμε. Στη μέθοδο αυτή ο μικροεπεξεργαστής πρέπει να παρακολουθεί συνεχώς τις περιφερειακές συσκευές μέσω μιας θύρας εισόδου, προκειμένου να διαπιστώσει αν κάποια συσκευή χρειάζεται εξυπηρέτηση. Αυτή η συνεχής παρακολούθηση έχει μια χρονική επιβάρυνση, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα με την οποία ζητούν να εξυπηρετηθούν οι περιφερειακές συσκευές.

Οι διακοπές είναι ένας άλλος τρόπος εξυπηρέτησης των περιφερειακών συσκευών, ο οποίος αφήνει το μικροεπεξεργαστή αφιερωμένο στην εκτέλεση του κύριου προγράμματος. Με τη μέθοδο των διακοπών ο μικροεπεξεργαστής ασχολείται με κάποια περιφερειακή συσκευή μόνο όταν αυτή ζητήσει εξυπηρέτηση.

4.3.1 Πλεονεκτήματα της μεθόδου των διακοπών

Σύμφωνα με τη μέθοδο των διακοπών, όταν μια περιφερειακή συσκευή χρειασθεί εξυπηρέτηση, έχει τη δυνατότητα να ειδοποιήσει το μικροεπεξεργαστή ενεργοποιώντας κάποιο ακροδέκτη του (int, από τη λέξη interrupt), που προορίζεται ειδικά για το σκοπό αυτό. Ο μικροεπεξεργαστής απαντώντας στην αίτηση για εξυπηρέτηση, διακόπτει το πρόγραμμα που εκτελείται εκείνη τη στιγμή και εκτελεί μια υπορουτίνα, που έχει γραφεί για την εξυπηρέτηση της συσκευής αυτής. Όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση της υπορουτίνας, το πρόγραμμα που διακόπηκε συνεχίζεται από το σημείο που έγινε η διακοπή.

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η συσκευή προκάλεσε διακοπή ή ότι έκανε αίτηση διακοπής και ο μικροεπεξεργαστής, αφού αναγνώρισε τη διακοπή, την εξυπηρέτησε. Η υπορουτίνα που εκτελείται στην περίπτωση αυτή ονομάζεται υπορουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής. Ο ειδικός ακροδέκτης μέσω του οποίου προκαλείται διακοπή ονομάζεται είσοδος διακοπής.

Με τον τρόπο αυτό ο μικροεπεξεργαστής δε χρειάζεται να παρακολουθεί συνεχώς κάποια θύρα εισόδου, και εξοικονομείται χρόνος, γιατί ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να αφιερώσει όλο το χρόνο του στο κυρίως πρόγραμμα.

Προτεραιότητα διακοπών

Συνήθως ένας μικροεπεξεργαστής έχει περισσότερες από μια περιφερειακές συσκευές γι' αυτό διαθέτει περισσότερες από μια εισόδους διακοπής. Επίσης, πολλές συσκευές μπορούν να είναι συνδεδεμένες σε μια κοινή γραμμή διακοπής.

Οι πολλές είσοδοι διακοπής σε συνδυασμό με τις πολλαπλές συσκευές καθι-

στούν απαραίτητο τον καθορισμό προτεραιότητας για την περίπτωση που περισσότερες από μια συσκευές ζητήσουν ταυτόχρονα εξυπηρέτηση. Η προτεραιότητα καθορίζεται από το σχεδιαστή του μικροεπεξεργαστή και συνήθως δε μπορεί να μεταβληθεί.

Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μηχανισμού διακοπών

Ορισμένες φορές, σε ένα πρόγραμμα που εκτελείται στο μικροεπεξεργαστή υπάρχουν κρίσιμα τμήματα τα οποία θα πρέπει να εκτελεστούν χωρίς διακοπές. Για παράδειγμα, αυτό θα μπορούσε να συμβεί στην περίπτωση που υπάρχουν χρονικοί περιορισμοί για την ολοκλήρωση της εκτέλεσης ενός προγράμματος.

Στην περίπτωση αυτή, είναι αναγκαίο να απενεργοποιηθεί για κάποιο διάστημα ο μηχανισμός των διακοπών. Όταν συμβεί αυτό, ο μικροεπεξεργαστής αγνοεί οποιαδήποτε αίτηση διακοπής μέχρι ο μηχανισμός των διακοπών να ενεργοποιηθεί και πάλι. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση γίνεται με ειδικές εντολές που πρέπει να ενσωματωθούν στα κατάλληλα σημεία ενός προγράμματος.

Άλλες φορές, δε χρειάζεται να απενεργοποιηθούν όλες οι διακοπές αλλά να παρεμποδιστούν επιλεκτικά κάποιες από αυτές. Οι περισσότεροι μικροεπεξεργαστές μας παρέχουν τη δυνατότητα να παρεμποδίζουμε, (να θέτουμε, όπως λέμε, μάσκα διακοπών) σε όλες ή σε κάποιες από τις εισόδους διακοπών. Οι είσοδοι αυτές ονομάζονται παρεμποδιζόμενες διακοπές επειδή μπορούν να παρεμποδιστούν με τη χρήση μάσκας. Το ρεπερτόριο εντολών των μικροεπεξεργαστών περιέχει ειδικές εντολές για την τοποθέτηση και την αφαίρεση της μάσκας διακοπών. Έτσι, το ποιες διακοπές θα παρεμποδιστούν και σε ποια χρονική στιγμή είναι ευθύνη του προγράμματος.

Πολυεπεξεργασία και Εξυπηρέτηση διακοπών

Ένας μικροεπεξεργαστής είναι δυνατό να εκτελεί ταυτόχρονα περισσότερα από ένα προγράμματα. Με τον όρο ταυτόχρονα δεν εννοούμε ότι τα δυο ή περισσότερα προγράμματα εκτελούνται από το μικροεπεξεργαστή την ίδια χρονική στιγμή, αλλά βρίσκονται στη μνήμη και ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να επιλέγει να εκτελεί πότε το ένα πότε το άλλο, ανάλογα με τις ανάγκες του μικροϋπολογιστικού συστήματος. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα που έχει δυο προγράμματα στη μνήμη, τα οποία ας ονομάσουμε Α και Β. Αρχικά, ξεκινάει η εκτέλεση του προγράμματος Α. Σε κάποιο σημείο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος Α, είναι απαραίτητο να εκτελεστεί το πρόγραμμα Β. Αυτή η μεταφορά του ελέγχου στο πρόγραμμα Β απαιτεί ο μετρητής προγράμματος να φορτωθεί με τη διεύθυνση έναρξης του προγράμματος Β. Αν μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του προγράμματος Β το πρόγραμμα Α είναι αναγκασμένο να ξαναρχίσει από την αρχή, τα αποτελέσματα που είχαν υπολογισθεί πριν τη διακοπή θα χαθούν.

Έτσι, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όταν η εκτέλεση ενός προγράμματος διακόπτεται για να συνεχιστεί αργότερα έχει ιδιαίτερη σημασία να αποθηκεύσουμε την κατάσταση του μικροεπεξεργαστή. Η κατάσταση του μικροεπεξεργαστή είναι το σύνολο της πληροφορίας που περιγράφει τη φάση στην οποία βρίσκεται ένας μικροεπεξεργαστής. Έτσι, αν τη στιγμή της διακοπής του προγράμματος Α η κατάσταση του μικροεπεξεργαστή σωθεί (και αργότερα αποκατασταθεί), η επεξεργασία γυρνά στο πρόγραμμα Α χωρίς να χαθούν τα αποτελέσματα της προηγούμενης επεξεργασίας. Μερικές από τις πληροφορίες που περιλαμβάνει η κατάσταση του μικροεπεξεργαστή είναι τα περιεχόμενα του μετρητή προγράμματος, του συσσωρευτή, του καταχωρητή κατάστασης και των καταχωρητών γενικού σκοπού. Η διακοπή ενός προγράμματος δεν είναι τόσο σπάνια όσο πιθανό να φαντάζεται κανείς. Για παράδειγμα, με την εκτέλεση μιας εντολής κλήσης υπορουτίνας ή από ένα σήμα που προέρχεται από εξωτερική συσκευή η σειριακή επεξεργασία διακόπτεται. Η εντολή κλήσης υπορουτίνας προκαλεί μια διακλάδωση από ένα μέρος προγράμματος σε άλλο, την υπορουτίνα. Μια εξωτερική συσκευή μπορεί να απαιτήσει εξυπηρέτηση προκαλώντας (πχ. με μια διακοπή υλικού) μια διακλάδωση σε προκαθορισμένη θέση. Η θέση μνήμης στην οποία γίνεται η διακλάδωση είναι η θέση έναρξης της υπορουτίνας εξυπηρέτησης της συσκευής που προκάλεσε τη διακοπή. Η αποθήκευση της κατάστασης του μικροεπεξεργαστή πραγματοποιείται με τη βοήθεια της στοίβας. Η στοίβα (stack) είναι μια δομή αποθήκευσης στην οποία ο μικροεπεξεργαστής αποθηκεύει τα περιεχόμενα των καταχωρητών του κατά την κλήση υπορουτινών και διακοπών. Η στοίβα αποτελείται από ένα σύνολο θέσεων στη μνήμη RAM. Για να κρατάμε τη διεύθυνση μιας θέσης μέσα στη στοίβα είναι απαραίτητος ένας δείκτης στοίβας (stack pointer). Ο δείκτης αυτός είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε τα δεδομένα να διαβάζονται από τη στοίβα με την αντίστροφη σειρά από εκείνη με την οποία γράφτηκαν.

Διαδικασία εξυπηρέτησης διακοπής

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι η διαδικασία εξυπηρέτησης μιας διακοπής αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- ολοκληρώνεται η εντολή την οποία εκτελούσε ο μικροεπεξεργαστής
- απενεργοποιούνται όλες οι διακοπές
- σώζεται στη στοίβα η κατάσταση του μικροεπεξεργαστή (συνήθως σαν κατάσταση σώζεται ο απαριθμητής προγράμματος και ο καταχωρητής κατάστασης).
- εκτελείται η υπορουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής
- ανακτάται η κατάσταση του μικροεπεξεργαστή από τη στοίβα και επιστρέφεται ο έλεγχος στο πρόγραμμα στην επόμενη εντολή από εκείνη που είχε τελευταία εκτελεστεί

4.4 Λειτουργία απευθείας προσπέλασης μνήμης

Αν ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων από και προς μια περιφερειακή συσκευή είναι σχετικά χαμηλός, τότε η επικοινωνία μπορεί να εκτελεστεί με είσοδο-έξοδο ελεγχόμενη με πρόγραμμα είτε με χρήση διακοπών.

Όπως είδαμε όμως, η εκτέλεση εντολών και η διαδικασία των διακοπών απαιτεί περισσότερο χρόνο, λόγω της αποθήκευσης και ανάκτησης της κατάστασης του μικροεπεξεργαστή. Ορισμένες συσκευές απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. Έτσι, είναι ασύμφορο να εξυπηρετούνται μεταφέροντας ένα byte ή μια λέξη κάθε φορά.

Συχνά, ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων από περιφερειακές συσκευές καθορίζεται από τις ίδιες τις συσκευές και όχι από το μικροεπεξεργαστή. Έτσι, το υπολογιστικό σύστημα πρέπει να εκτελεί την είσοδο-έξοδο σύμφωνα με τη μέγιστη ταχύτητα της συσκευής. Σε περιπτώσεις στις οποίες απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων, χρησιμοποιείται απευθείας προσπέλαση της μνήμης (direct memory access, DMA).

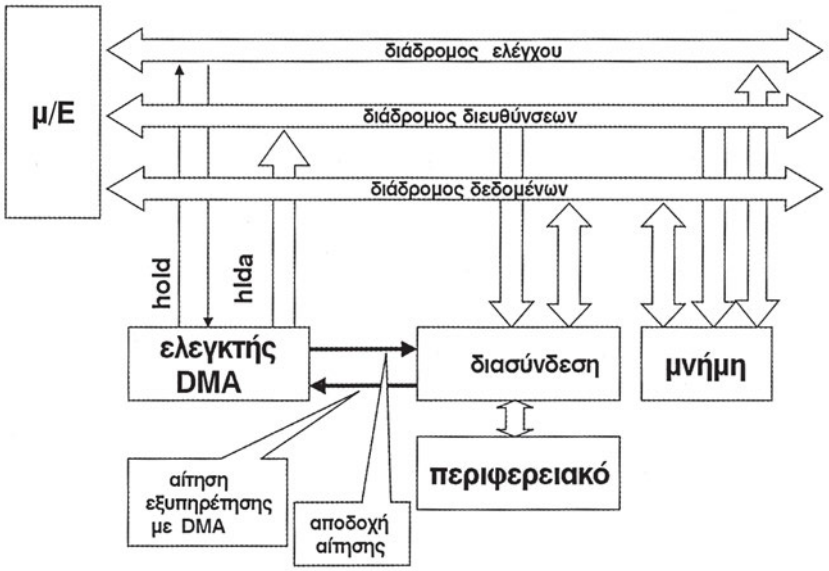
Η μεταφορά ενός byte ή μιας λέξης μέσω των διαδρόμων του συστήματος ονομάζεται κύκλος μηχανής. Σε ένα κύκλο μηχανής κάποια από τις μονάδες του συστήματος που συνδέεται στο διάδρομο του συστήματος ελέγχει το διάδρομο. Η μονάδα αυτή ονομάζεται διαχειριστής (master) του διαδρόμου κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου, και το στοιχείο με το οποίο επικοινωνεί ονομάζεται υποτελής (slave).

Κανονικά, ο διαχειριστής του διαδρόμου είναι ο μικροεπεξεργαστής. Υπάρχει όμως η δυνατότητα μια (ειδικά σχεδιασμένη) μονάδα του συστήματος, να αποκτήσει τον έλεγχο του διαδρόμου στέλνοντας στο μικροεπεξεργαστή μια αίτηση απόκτησης του διαδρόμου (bus request). Μετά την ολοκλήρωση του κύκλου μηχανής ο μικροεπεξεργαστής επιστρέφει ένα σήμα απόδοσης διαδρόμου και η μονάδα που έστειλε την αίτηση γίνεται διαχειριστής.

Ο διαχειριστής τοποθετεί διευθύνσεις στο διάδρομο διευθύνσεων και συντονίζει τη δραστηριότητα του διαδρόμου κατά τη διάρκεια ενός κύκλου μηχανής, όπως ακριβώς ο μικροεπεξεργαστής. Μια μονάδα που μπορεί να γίνει διαχειριστής είναι ο ελεγκτής DMA.

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος το οποίο περιλαμβάνει ένα ελεγκτή DMA.

Ο ελεγκτής περιλαμβάνει (εκτός από τους καταχωρητές κατάστασης και ελέγχου) δύο επιπλέον καταχωρητές, ένα για να κρατά τη διεύθυνση της επόμενης θέσης μνήμης και ένα στον οποίο θα αποθηκεύεται ο αριθμός των δεδομένων που πρέπει ακόμη να μεταφερθούν. Οι καταχωρητές αυτοί είναι θύρες εισόδου-εξόδου. Αμέσως μετά τη μεταφορά ενός δεδομένου ο καταχωρητής διεύθυνσης αυξάνεται ενώ ο απαριθμητής δεδομένων μειώνεται.



Σχήμα 4.5 *Λειτουργία DMA*

Για τη μεταφορά κάποιων δεδομένων από ένα περιφερειακό προς τη μνήμη μέσω DMA, εκτελούνται τα ακόλουθα βήματα:

- η διασύνδεση της περιφερειακής συσκευής στέλνει στον ελεγκτή μια αίτηση για εξυπηρέτηση DMA.
- ο ελεγκτής ενεργοποιεί το σήμα αίτησης για απόκτηση του διαδρόμου (HOLD). Ο μικροεπεξεργαστής αποκρίνεται με ένα σήμα αποδοχής αίτησης απόκτησης (HLDA) και ελευθερώνει το διάδρομο δεδομένων, το διάδρομο διευθύνσεων και το διάδρομο ελέγχου. Ο ελεγκτής DMA αποκτά τον έλεγχο των διαδρόμων.
- Ο ελεγκτής στέλνει στη διασύνδεση ένα σήμα αποδοχής DMA με το οποίο ζητά από αυτή να τοποθετήσει τα δεδομένα στο διάδρομο δεδομένων (για λειτουργία εισόδου), ή να πάρει τα επόμενα δεδομένα που είναι τοποθετημένα πάνω στο διάδρομο (για λειτουργία εξόδου).
- Το προς μεταφορά δεδομένο μεταφέρεται από ή προς τη θέση μνήμης που δηλώνεται μέσω του διαδρόμου διευθύνσεων που ελέγχεται από τον καταχωρητή διεύθυνσης DMA.
- στη συνέχεια αυξάνει ο καταχωρητής διευθύνσεων και ο απαριθμητής δεδομένων μειώνεται κατά 1 μέχρι να μεταφερθούν όλα τα δεδομένα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν ζητήσουν ταυτόχρονα εξυπηρέτηση δύο ή περισσότερα περιφερειακά, η σειρά με την οποία θα εξυπηρετηθούν εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο έχει καθοριστεί η προτεραιότητα στο σύστημα. Υπάρχουν πολλές τεχνικές για την απόδοση της προτεραιότητας αυτής, εκ των οποίων άλλες βασίζονται στο υλικό, άλλες σε λογισμικό και άλλες σε συνδυασμό των δύο.

Τρόποι μεταφοράς DMA

Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς DMA ο μικροεπεξεργαστής αδρανοποιείται μέχρι να μεταφερθούν όλα τα δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται στην περίπτωση που πρέπει να μεταφερθεί μεγάλη ποσότητα δεδομένων σε μικρό χρονικό διάστημα.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, στις οποίες δεν απαιτείται ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς. Για τις περιπτώσεις αυτές οι ελεγκτές DMA παρέχουν και ένα άλλο τρόπο λειτουργίας στον οποίο η μεταφορά DMA γίνεται παράλληλα με τη λειτουργία του μικροεπεξεργαστή. Για να γίνει αυτό, κάθε φορά που μεταφέρεται ένα byte, ο ελεγκτής DMA παραχωρεί τον έλεγχο του διαδρόμου στο μικροεπεξεργαστή και στη συνέχεια υποβάλλει καινούρια αίτηση για μεταφορά DMA. Έτσι ο ελεγκτής κλέβει κύκλους μηχανής από το μικροεπεξεργαστή για να μεταφέρει τα δεδομένα. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η μεταφορά DMA γίνεται με τη μέθοδο της κλοπής κύκλου (cycle stealing).

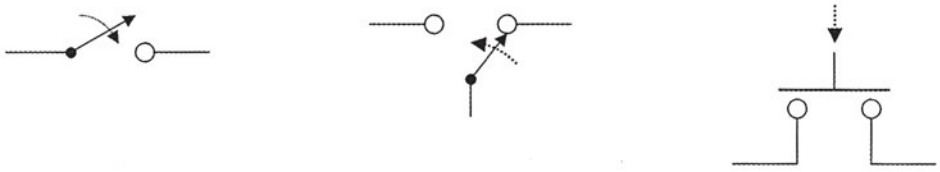
4.5 Είσοδος και έξοδος ψηφιακών δεδομένων σε μικροεπεξεργαστή

Όπως αναφέραμε, μια από τις κυριότερες λειτουργίες ενός μικροεπεξεργαστή είναι η επικοινωνία με το περιβάλλον. Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στις απλές συσκευές με τις οποίες ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να ανταλλάξει (εισάγει και εξάγει) ψηφιακά δεδομένα με το περιβάλλον.

4.5.1 Είσοδος δεδομένων

Οι πιο γνωστές συσκευές με τις οποίες εισάγουμε ψηφιακά δεδομένα στο μικροεπεξεργαστή, είναι οι μηχανικοί διακόπτες και τα πληκτρολόγια. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις συσκευές αυτές.

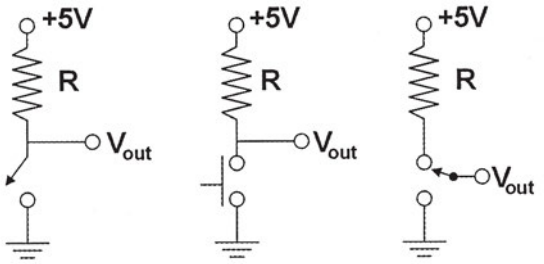
Οι μηχανικοί διακόπτες χρησιμοποιούνται για τη χειρωνακτική εισαγωγή δεδομένων σε μικροϋπολογιστικά συστήματα. Στην αγορά υπάρχει ποικιλία διακοπτών, οι οποίοι διαφέρουν στην κατασκευή, οι πιο γνωστοί από τους οποίους φαίνονται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6 *Μηχανικοί Διακόπτες*

Για να εισαχθούν δεδομένα σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα, η κατάσταση του

διακόπτη πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα συμβατό με τα λογικά κυκλώματα του συστήματος. Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται πώς μπορούμε, χρησιμοποιώντας μια αντίσταση (pull up resistor) να μετατρέψουμε την τιμή ενός διακόπτη σε σήμα συμβατό με τα κυκλώματα TTL.

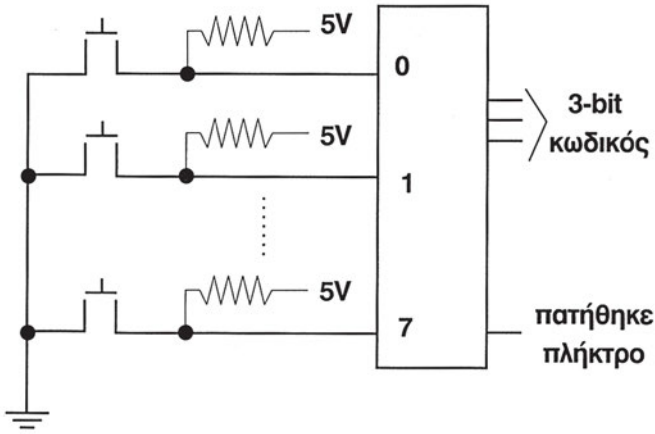


Σχήμα 4.7 *Μετατροπή της κατάστασης του διακόπτη σε ηλεκτρικό σήμα*

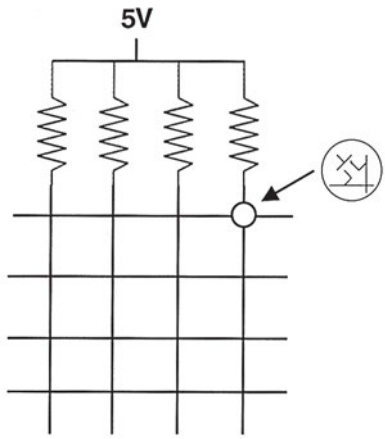
Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η τάση στην έξοδο είναι 0 Volts. Όταν είναι ανοικτός, η τάση στην έξοδο είναι Vout=5V-IR (όπου I είναι το ρεύμα που απαιτείται από το φορτίο που συνδέεται στην έξοδο του διακόπτη). Η αντίσταση R περιορίζει το ρεύμα που σπαταλάται όταν ο διακόπτης είναι κλειστός και δίνει τάση πάνω από 2.7V όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός. Συνήθως, αν η κατάσταση του διακόπτη θέλουμε να μεταφερθεί στο διάδρομο δεδομένων του μικροεπεξεργαστή, το φορτίο αυτό οδηγείται σε ένα απομονωτή τριών καταστάσεων (3-state buffer).

Όταν απαιτείται η εισαγωγή μεγάλου πλήθους συμβόλων, χρησιμοποιούνται συνήθως πληκτρολόγια. Σε ένα πληκτρολόγιο, κάθε πλήκτρο σχετίζεται με συγκεκριμένο σύμβολο ή δυαδική τιμή. Όταν πατάμε ένα πλήκτρο, παράγεται ένας δυαδικός αριθμός που αντιστοιχεί στο πλήκτρο αυτό. Όταν το πλήθος των πλήκτρων είναι μικρότερο του 16, τα πλήκτρα μπορούνε να κωδικοποιηθούν χρησιμοποιώντας συνδυαστικά κυκλώματα (κωδικοποιητές). Συνήθως, ένας κωδικοποιητής 8 εισόδων έχει μια έξοδο που ενεργοποιείται όταν οποιαδήποτε από τις εισόδους του είναι ενεργοποιημένη. Η έξοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να παραχθεί ένα σήμα διακοπής έτσι ώστε να διαβάσει ο μικροεπεξεργαστής την έξοδο του κωδικοποιητή. Για παράδειγμα, ο κωδικοποιητής του επόμενου σχήματος κωδικοποιεί 8 εισόδους σε ένα 3-ψήφιο κωδικό. Τα πλήκτρα του σχήματος 4.8 έχουν μια επαφή συνδεμένη από κοινού.

Εναλλακτικά με τη γραμμική διάταξη του σχήματος 4.8, τα πλήκτρα μπορούν να διαταχθούν σε μια μήτρα (πίνακα) που σχηματίζεται από την τομή καλωδίων, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα για ένα πληκτρολόγιο 4x4=16 πλήκτρων. Ένα πλήκτρο αντιστοιχεί στην τομή ενός κάθετου με ένα οριζόντιο σύρμα.



Σχήμα 4.8 *Πληκτρολόγιο με γραμμική κωδικοποίηση των πλήκτρων*

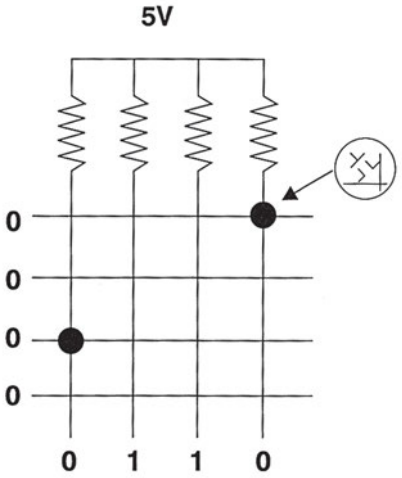


Σχήμα 4.9 *Πληκτρολόγιο σε ορθογώνια διάταξη*

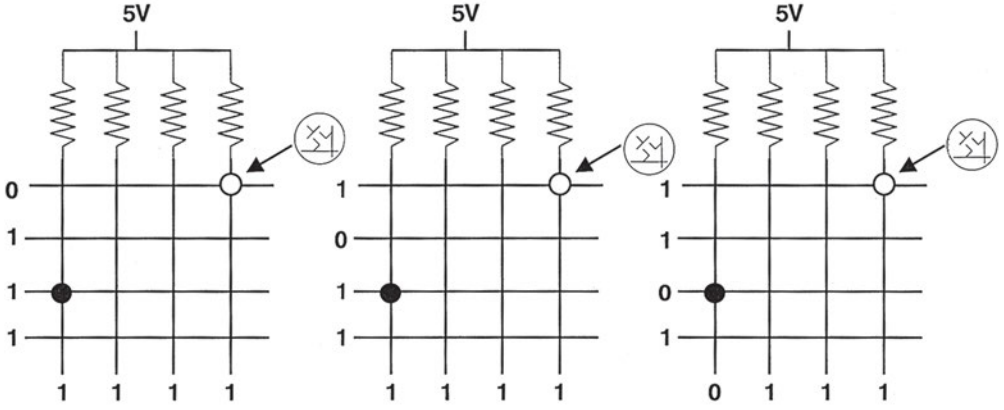
Η ορθογώνια διάταξη χρησιμοποιείται όταν το πλήθος των πλήκτρων είναι μεγαλύτερο, επειδή μειώνεται το κόστος υλοποίησης για την κωδικοποίηση. Για να αποφασιστεί αν έχει πατηθεί κάποιο πλήκτρο και να αναγνωριστεί το πλήκτρο αυτό ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία.

1. Κάνουμε όλες τις γραμμές του πίνακα λογικό ’0’, και ανιχνεύουμε τις λογικές τιμές στις στήλες. Αν μια ή περισσότερες στήλες είναι λογικό 0, έχει πατηθεί ένα πλήκτρο (ή και περισσότερα).
2. Προκειμένου να αναγνωρίσουμε ποιο πλήκτρο έχει πατηθεί, κάθε οριζόντιο σύρμα γίνεται διαδοχικά ’0’ ενώ όλα τα υπόλοιπα οριζόντια σύρματα έχουν τη λογική τιμή ’1’.
3. Εξετάζεται κάθε ένα από τα κάθετα σύρματα για να δούμε αν είναι λογικό ’0’.

Αν μια κάθετη γραμμή είναι λογικό 0, το νούμερο αυτής της στήλης, μαζί με το νούμερο της γραμμής με λογικό 0, προσδιορίζουν το πλήκτρο που έχει πατηθεί. Για παράδειγμα, έστω το πληκτρολόγιο ορθογώνιας διάταξης του σχήματος 4.10, στο οποίο έχει πατηθεί το πλήκτρο που αντιστοιχεί στη μαύρη τελεία.

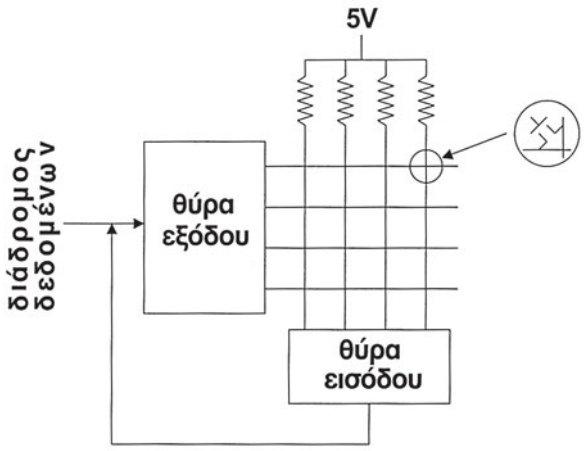


Σχήμα 4.10 *Αναγνώριση ότι πατήθηκε πλήκτρο*



Σχήμα 4.11 *Αναγνώριση της γραμμής στην οποία βρίσκεται το πλήκτρο που πατήθηκε*

Ένα παράδειγμα της διάταξης που χρησιμοποιείται στην ανίχνευση ενός πλήκτρου φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Οι γραμμές του πίνακα ελέγχονται από μια θύρα εξόδου, και οι τιμές των στηλών λαμβάνονται από μια θύρα εισόδου.



Σχήμα 4.12 *Οδήγηση πληκτρολογίου ορθογώνιας διάταξης*

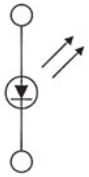
4.5.2 Έξοδος δεδομένων

Οι τρόποι με τους οποίους ένας μικροϋπολογιστικό σύστημα μπορεί να παρουσιάσει δεδομένα με οπτικό τρόπο ποικίλλουν, από απλές λάμπες μέχρι αλφαριθμητικά displays όπως οι σωλήνες καθοδικών ακτίνων (CRT). Για την υλοποίηση και τον έλεγχο των συσκευών αυτών χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitter Diodes, LEDs) και τα 7 segment displays.

Η πιο κοινή και απλή συσκευή οπτικής ένδειξης που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι το LED. Τα LEDs είναι επαφές p-n, οι οποίες εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή φωτός όταν διεγείρονται από ρεύμα χαμηλής έντασης και μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να εκπέμπουν φως από υπεριώδες ως υπέρυθρο. Το πιο γνωστό LED είναι εκείνο που εκπέμπει κόκκινο φως. Στην αγορά μπορεί ακόμη να βρει κανείς ακόμη κίτρινα και πράσινα LEDs.

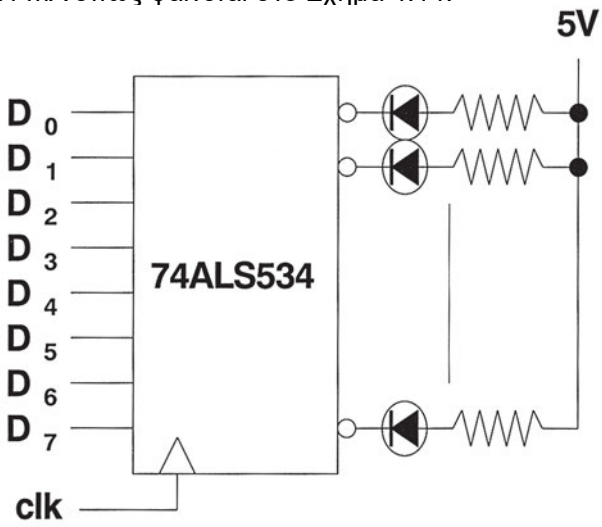
Τα LEDs μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλή τάση, επομένως είναι συμβατά με συστήματα που χρησιμοποιούν ολοκληρωμένα κυκλώματα. Είναι μικρά, ελαφρά και ιδιαίτερα αξιόπιστα (ο χρόνος ζωής τους ξεπερνάει τις 100.000 ώρες).

Το σύμβολο του κυκλώματος ενός LED φαίνεται στο Σχήμα 4.13. Το LED εκπέμπει φως όταν πολώνεται ορθά, και η ένταση του φωτός είναι συνάρτηση του ρεύματος που περνάει από μέσα του. Για λειτουργία DC, η ελάχιστη ένταση ρεύματος που πρέπει να περάσει από ένα κόκκινο LED για να λειτουργήσει είναι 10mA.



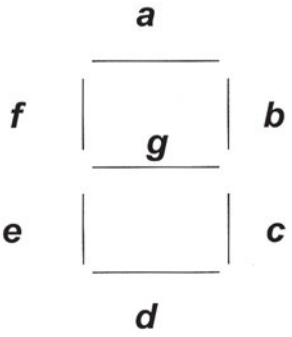
Σχήμα 4.13 *Σύμβολο LED*

Γενικά, δε μπορούμε να συνδέσουμε LEDs κατευθείαν στην έξοδο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, επειδή τα κυκλώματα αυτά δε μπορούν να παρέχουν αυτή την ένταση στην έξοδό τους (για παράδειγμα, τα κυκλώματα 74LSXXX δίνουν ρεύμα 8mA). Όμως με τη βοήθεια απομονωτών (πχ. 74ALS534) μπορούν να δώσουν μέχρι 24 mA όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14.



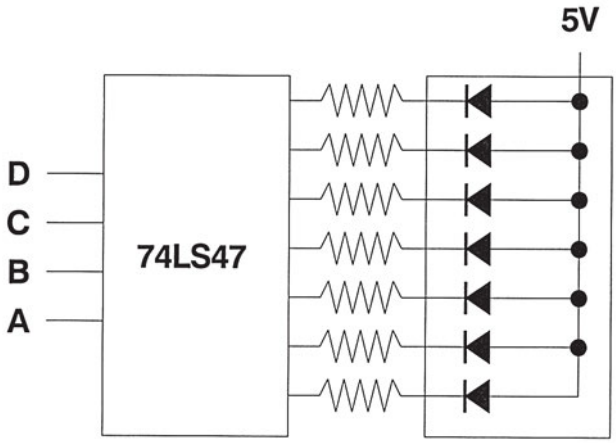
Σχήμα 4.14 *Οδήγηση LEDs με απομονωτή 74ALS534*

Τα δεκαδικά ψηφία, καθώς και κάποια γράμματα του αλφαβήτου μπορούν να απεικονιστούν χρησιμοποιώντας Seven Segment Displays, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.15.



Σχήμα 4.15 *Seven Segment Display*

Στα seven segment displays χρησιμοποιείται συνήθως ένα LED για κάθε ένα από τα τμήματα (a-g). Ένα seven segment display μπορεί να οδηγηθεί με διάφορους τρόπους. Ένας από τους τρόπους αυτούς φαίνεται στο Σχήμα 4.16, στην οποίο χρησιμοποιείται ένας αποκωδικοποιητής/κύκλωμα οδήγησης BCD-σε-7 (το 74LS47). Στη σύνδεση του σχήματος η άνοδος όλων των διόδων είναι συνδεμένη από κοινού στην τροφοδοσία των 5V, και ο αποκωδικοποιητής ανάβει τα τμήματα που πρέπει να εμφανιστούν.



Σχήμα 4.16 *Σύνδεση seven segment display σε συνδεσμολογία κοινής ανόδου*

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τι είναι η πολυπλεξία ακροδεκτών και ποια η χρησιμότητά της;
2. Με ποιους τρόπους μπορούμε να διευθυνσιοδοτήσουμε συσκευές εισόδου-εξόδου σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα; Ποια τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα κάθε τρόπου;
3. Με ποιους τρόπους μπορεί να εξυπηρετήσει ένας μικρο-επεξεργαστής μια μονάδα εισόδου/εξόδου;
4. Τι είναι οι διακοπές; ποια είναι η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί μια περιφερειακή συσκευή με τη μέθοδο των διακοπών;
5. Ποια τα πλεονεκτήματα της χρήσης διακοπών για την εξυπηρέτηση περιφερειακών συσκευών;
6. Περιγράψτε τη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων μεταξύ μιας περιφερειακής συσκευής και της μνήμης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απευθείας προσπέλασης μνήμης (DMA).
7. Ποια τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ μιας περιφερειακής συσκευής και της μνήμης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απευθείας προσπέλασης μνήμης;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Κ.Ζ. Πεκμεστζή,*** "Συστήματα Μικροϋπολογιστών", Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.
2. ***Γ. Παπακωνσταντίνου, Π. Τσανάκας, Ν. Κοζύρης, Α. Μανουσοπούλου, Π. Ματζάκος,*** "Τεχνολογία Υπολογιστικών Συστημάτων και Λειτουργικά Συστήματα". ΥΠΕΠΘ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 1999.
3. ***S. Mueller,*** "Upgrading and Repairing PCs", Scott Mueller, 10th edition, Que Corporation, 1998.
4. ***Κ. Δημόπουλος, Α. Παρασκευόπουλος,*** "80X86: Αρχιτεκτονική, Σχεδίαση και Προγραμματισμός", Παπασωτηρίου, 1992.

Κεφάλαιο 5ο

Αρχιτεκτονική και προγραμματισμός του μικροελεγκτή PIC

Περιεχόμενα

Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- περιγράφεις την δομή και λειτουργία του μικροελεγκτή PIC.
- κατανοείς τι είναι μία εντολή Assembly και πώς, εκτελείται από το σύστημα.
- περιγράφεις πώς γίνεται η αποθήκευση και ανάκληση δεδομένων.
- διαβάζεις κώδικα γλώσσας Assembly.
- γράφεις στοιχειώδη κώδικα σε γλώσσα Assembly.

Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε τις βασικές αρχές δομής και λειτουργίας ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος. Μάθαμε, ότι όλα αυτά αποτελούν εφαρμογές των ψηφιακών ηλεκτρονικών. Ακόμη, είδαμε το δυαδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα και πώς μπορούμε να κάνουμε τις διάφορες αριθμητικές πράξεις με αυτά. Επιπλέον, μιλήσαμε, διεξοδικά, για την αρχιτεκτονική των μικροϋπολογιστικών συστημάτων, τους μικροεπεξεργαστές, τους μικροελεγκτές, καθώς και τις ομοιότητες και τις διαφορές τους. Τέλος, είδαμε πώς ένας μικροεπεξεργαστής ή μικροελεγκτής μπορεί να συνδεθεί με τις κατάλληλες περιφερειακές μονάδες, σε μία πρακτική εφαρμογή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε έναν πραγματικό μικροελεγκτή, που παρά το μικρό του κόστος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές, μικρές και μεγάλες, εφαρμογές. Πρόκειται για τον μικροελεγκτή PIC, της εταιρείας Microchip. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής χρησιμοποιείται και στις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματός μας.

Αφού δούμε την αρχιτεκτονική του και τα διάφορα επιμέρους τμήματά του, θα μάθουμε πώς μπορούμε να τον προγραμματίσουμε, γράφοντας ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Assembly. Επίσης, θα αναφερθούμε στις δυνατότητες που αυτή η γλώσσα μας προσφέρει. Άλλωστε, οι δυνατότητες αυτές είναι που την κάνουν να διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες γλώσσες προγραμματισμού.

5.1 Δομή του μικροελεγκτή PIC

5.1.1 Γενικά στοιχεία

Στο τρίτο κεφάλαιο του βιβλίου, είδαμε ότι υπάρχουν αρκετές οικογένειες μικροελεγκτών. Επίσης, είπαμε ότι οι μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτών με αρχιτεκτονική CISC και αυτών με RISC. Ο μικροελεγκτής που θα μελετήσουμε είναι ο PIC, της εταιρείας Microchip και είναι αρχιτεκτονικής RISC.

Η δομή του μικροελεγκτή PIC μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη, τον πυρήνα (core) και τις περιφερειακές μονάδες του (peripheral units). Ο πυρήνας του μικροελεγκτή αποτελείται από όλα εκείνα τα στοιχεία, τα οποία είναι απολύτως απαραίτητα για την λειτουργία του. Οι περιφερειακές μονάδες βρίσκονται ενσωματωμένες στον μικροελεγκτή και είναι αυτές που τον κάνουν να διαφέρει από έναν μικροεπεξεργαστή.

Στον πυρήνα του PIC ανήκουν οι:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Μνήμη
- Εντολές
- Λειτουργίες διακοπών

Εδώ, πρέπει να σημειώσουμε ότι, λόγω της σημαντικότητάς τους, έχουμε συμπεριλάβει και τις εντολές στον πυρήνα του PIC, παρόλο που πρόκειται μάλλον για κάποιο λογικό παρά υλικό στοιχείο του μικροελεγκτή.
Στις περιφερειακές μονάδες ανήκουν:

- Οι θύρες εισόδου / εξόδου γενικής χρήσης
- Οι μετρητές χρόνου (τρεις μονάδες)
- Η μονάδα διαμόρφωσης πλάτους
- Οι θύρες σειριακής επικοινωνίας (τρεις θύρες)
- Η θύρα παράλληλης επικοινωνίας
- Η μονάδα παραγωγής τάσης αναφοράς
- Οι συγκριτές
- Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

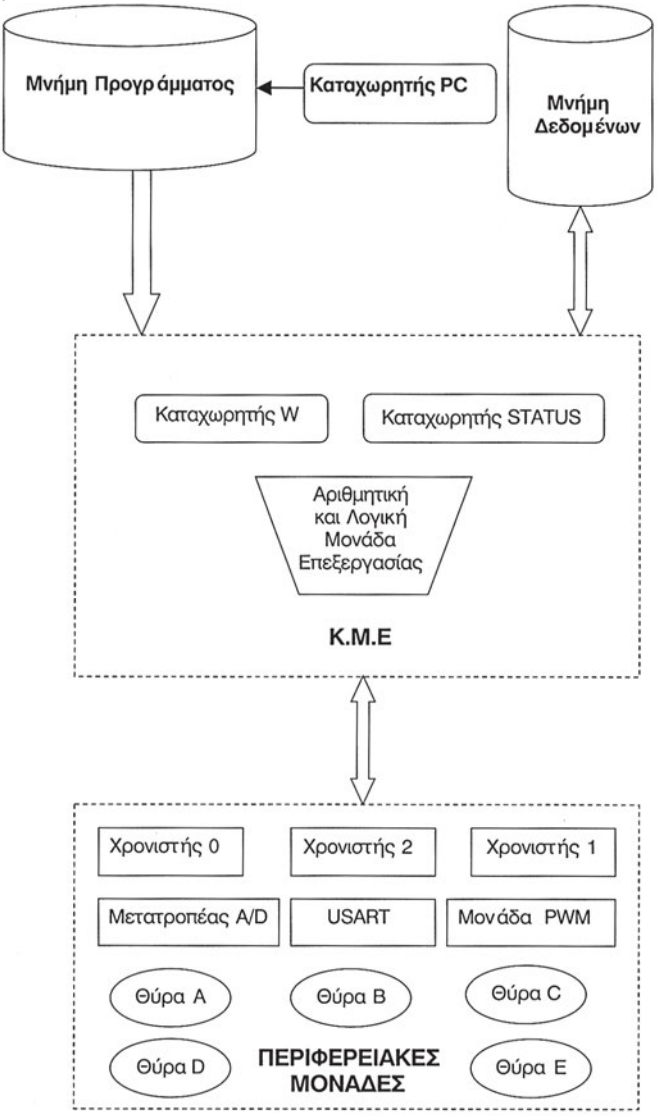
Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε τα παραπάνω στοιχεία και θα δούμε πώς αυτά λειτουργούν και συνεργάζονται στις διάφορες εφαρμογές του PIC.

5.1.2 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Κ.Μ.Ε), γνωστή και ως CPU, εκτελεί τις εντολές του προγράμματος που έχουμε αποθηκεύσει σε μία μνήμη η οποία ονομάζεται μνήμη προγράμματος. Από τη μνήμη αυτή, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας

φέρνει, με τη σειρά, τις εντολές του προγράμματος, τις αποκωδικοποιεί και τις εκτελεί. Εδώ, πρέπει να σημειώσουμε ότι ο PIC αναγνωρίζει τριανταπέντε (35) εντολές προγραμματισμού. Για τις εντολές αυτές θα μιλήσουμε αναλυτικά στις ενότητες που ακολουθούν.

Μέσα στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας, βρίσκεται και η αριθμητική και λογική μονάδα (Α.Λ.Μ.). Το σχήμα 5.1 παρουσιάζει την Κ.Μ.Ε. μαζί με τα άμεσα, με αυτήν, συνδεόμενα στοιχεία του PIC. Οι αριθμητικές πράξεις που μπορεί να εκτελεί είναι η πρόσθεση και η αφαίρεση. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να εκτελεί λογικές πράξεις (AND, OR, XOR, κτλ). Η μονάδα επεξεργάζεται δεδομένα μήκους οκτώ δυαδικών ψηφίων (8-bit).

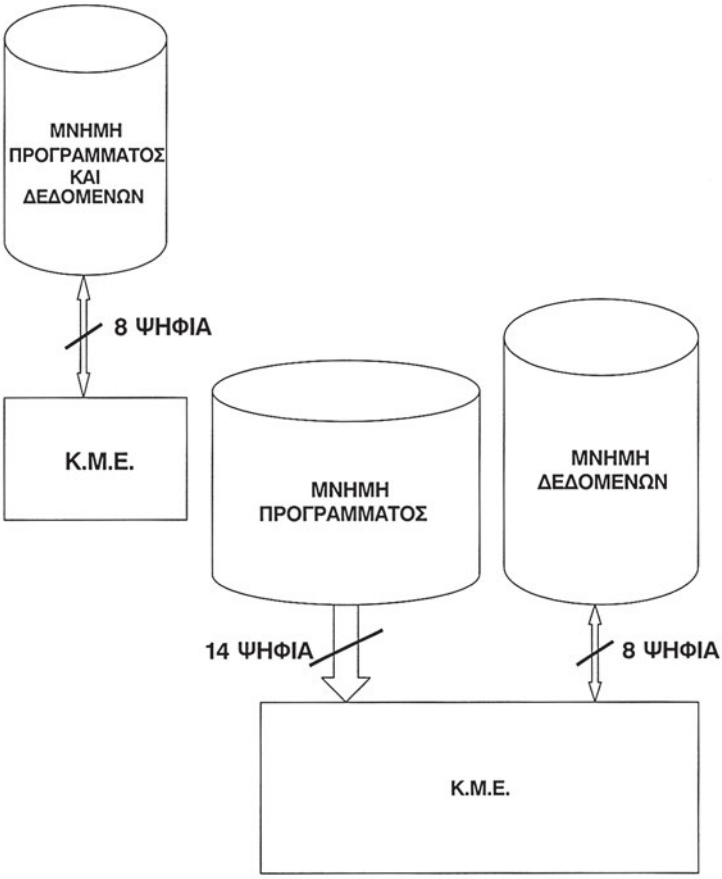


Σχήμα 5.1 *Η Δομή μικροελεγκτή PIC.*

Για τη σωστή ανεύρεση των εντολών, που πρέπει να εκτελεσθούν, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας χρησιμοποιεί ένα μετρητή προγράμματος. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για έναν καταχωρητή, ο οποίος περιέχει τη διεύθυνση της μνήμης στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η εντολή που πρέπει να εκτελεσθεί. Ο καταχωρητής αυτός ονομάζεται Program Counter (PC).

5.1.3 Μνήμη

Στη σχεδίαση μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών ακολουθούνται δύο αρχιτεκτονικές. Στην πρώτη χρησιμοποιείται μία μνήμη τόσο για την αποθήκευση του προγράμματος όσο και για την αποθήκευση των δεδομένων. Στη δεύτερη χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστές μνήμες. Η μία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος και λέγεται μνήμη προγράμματος ενώ η άλλη για την αποθήκευση των δεδομένων και λέγεται μνήμη δεδομένων. Οι δύο αρχιτεκτονικές παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 *Αρχιτεκτονικές μνήμης μικροελεγκτών. (α) Ενιαία μνήμη προγράμματος και δεδομένων. (β) Ξεχωριστή μνήμη προγράμματος και δεδομένων (μικροελεγκτής PIC).*

Ο μικροελεγκτής PIC ακολουθεί την δεύτερη αρχιτεκτονική. Στην δεύτερη αρχιτεκτονική, εντολές και δεδομένα κινούνται σε ξεχωριστούς διαδρόμους (διαύλους) με αποτέλεσμα αυτό να μπορεί να γίνει όχι μόνον με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα αλλά ακόμη και την ίδια χρονική στιγμή. Αντίθετα, στην πρώτη αρχιτεκτονική, εντολές και δεδομένα μοιράζονται τον ίδιο διάδρομο με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ταχύτητα μεταφοράς τους. Επιπλέον, το πλεονέκτημα της δεύτερης αρχιτεκτονικής, να χρησιμοποιεί ξεχωριστούς χώρους μνήμης για την αποθήκευση των δεδομένων και του προγράμματος, δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης μνήμης με διαφορετικό μήκος λέξης. Έτσι, στην περίπτωση του PIC, η μνήμη προγράμματος έχει μήκος λέξης δεκατεσσάρων (14) δυαδικών ψηφίων (bits) αντί των οκτώ (8), της μνήμης των δεδομένων, με σκοπό όλες οι εντολές να κωδικοποιούνται σε μία λέξη. Θυμίζουμε ότι, γενικά, οι εντολές των μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών μπορεί να έχουν μήκος μίας, δύο ή, ακόμη, και περισσοτέρων λέξεων, με αντίστοιχη, βέβαια, αύξηση του χρόνου εκτέλεσής τους.

Το μέγεθος της μνήμης προγράμματος κυμαίνεται από 2 ως 8KBytes και, συνήθως, είναι τύπου Flash. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει όχι μόνον την εγγραφή αλλά και το σβήσιμο της μνήμης να γίνεται με ηλεκτρικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται εύκολα ενώ αυτός βρίσκεται συνδεδεμένος στο κύκλωμα της εκάστοτε εφαρμογής.

Το μέγεθος της μνήμης δεδομένων αποτελείται από τρία τμήματα, με μέγεθος 128Bytes το κάθε ένα, δηλαδή 384Bytes συνολικά. Το κάθε τμήμα αποτελείται τόσο από καταχωρητές γενικού όσο και ειδικού σκοπού. Μερικοί από τους καταχωρητές ειδικού σκοπού χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του πυρήνα του PIC ενώ άλλοι για τον έλεγχο των περιφερειακών του.

Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου αυτού, θα αναφερθούμε αναλυτικά στον τρόπο με τον οποίο ο μικροελεγκτής μας χρησιμοποιεί τις μνήμες που προαναφέραμε.

5.1.4 Εντολές

Όσον αφορά την σχεδίαση εντολών οι μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές ακολουθούν είτε την αρχιτεκτονική RISC είτε την αρχιτεκτονική CISC. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μεγάλοι κεντρικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές βασίζονται σε μικροεπεξεργαστές αρχιτεκτονικής RISC, ενώ ο προσωπικός μας ηλεκτρονικός υπολογιστής βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή αρχιτεκτονικής CISC. Οι μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής RISC χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι διαθέτουν μικρό αριθμό εντολών, μπορούν όμως να ικανοποιήσουν όλες τις πιθανές απαιτήσεις προγραμματισμού.

Ο μικροελεγκτής PIC, ακολουθεί την αρχιτεκτονική RISC και έχει συνολικά τριάνταπέντε (35) εντολές, μήκους μίας λέξης (14 bit). Έτσι, σε αντίθεση με τους μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής CISC, ο PIC εκτελεί την κάθε εντολή σε έναν κύκλο

μηχανής, με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας. Εδώ, ας τονίσουμε ότι μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι εντολές διακλάδωσης, οι οποίες εκτελούνται σε δύο κύκλους μηχανής. Συγκριτικά αναφέρουμε ότι ο γνωστός μικροεπεξεργαστής Z80, ο οποίος είναι αρχιτεκτονικής CISC, έχει εντολές που εκτελούνται σε δέκα (10) ή και περισσότερους κύκλους μηχανής.

Οι εντολές του PIC και ο προγραμματισμός του, θα μας απασχολήσουν εκτενώς στη συνέχεια του μαθήματός μας.

5.1.5 Λειτουργίες Διακοπών

Την ώρα που ο PIC εκτελεί ένα πρόγραμμα που του έχουμε δώσει, μπορεί να συμβούν διάφορα γεγονότα, στο περιβάλλον που αυτός ελέγχει. Ανάλογα με τη σημασία του κάθε γεγονότος, ενδεχομένως, να χρειαστεί να διακόψει την εκτέλεση του κυρίως προγράμματος για να ασχοληθεί με το γεγονός αυτό. Ο PIC για να αντιληφθεί την ύπαρξη των γεγονότων αυτών έχει αναθέσει σε κάποιες από τις περιφερειακές του μονάδες να διενεργούν διάφορους ελέγχους. Αυτό μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα από τις λοιπές λειτουργίες του μικροελεγκτή. Όταν μία από τις μονάδες εντοπίσει το γεγονός, τότε, στέλνει ένα σήμα στην Κ.Μ.Ε. του μικροελεγκτή να διακόψει την εκτέλεση του προγράμματος που εκτελεί. Το σήμα λέγεται διακοπή και προκαλεί την άμεση εκτέλεση ενός τμήματος κώδικα, το οποίο λέγεται ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής.

Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τη χρήση ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος βασισμένου στον PIC, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μίας κατεργασίας μετάλλου σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Εκεί, ανάμεσα στις άλλες ασχολίες του, ο PIC, πρέπει και να ρυθμίζει τη θερμοκρασία σε κάποιον κλίβανο. Επίσης, για λόγους ασφαλείας, μετρά τη θερμοκρασία σε διάφορα σημεία της κατεργασίας. Την ώρα, λοιπόν, που εκτελεί μία συνηθισμένη διαδικασία, π.χ. την αποστολή κάποιων δεδομένων από τη μνήμη του σε έναν κεντρικό Η/Υ, διαπιστώνεται επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας σε κάποιο σημείο της κατεργασίας. Τότε, το περιφερειακό που την εντόπισε, προκαλεί μια διακοπή στην Κ.Μ.Ε. Η αποστολή σταματά και η Κ.Μ.Ε. καλείται να εκτελέσει την ρουτίνα που συνοδεύει τη διακοπή. Η ρουτίνα περιέχει εντολές που σβήνουν τον κλίβανο, ανοίγουν κάποιους ανεμιστήρες ψύξης και ενεργοποιούν τη σειρήνα κινδύνου.

Το παράδειγμα, που περιγράψαμε, δείχνει χαρακτηριστικά τη λειτουργία των διακοπών. Ωστόσο, το γεγονός ότι αναφέρεται σε μία κατάσταση κινδύνου δε σημαίνει ότι μόνον τότε μπορεί να έχουμε μία διακοπή. Διακοπές έχουμε και σε διάφορες άλλες απλές περιπτώσεις.

Για παράδειγμα, σε μία άλλη περίπτωση, η μονάδα που προκάλεσε τη διακοπή, μπορεί να είναι ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Τότε, με το σήμα που στέλνει στην Κ.Μ.Ε., ο μετατροπέας δηλώνει ότι έχει τελειώσει τη

μετατροπή και το αποτέλεσμα είναι έτοιμο. Στην περίπτωση αυτή, η Κ.Μ.Ε. διακόπτει την εκτέλεση των εργασιών που έκανε, μέχρι εκείνη την στιγμή, για να παραλάβει το αποτέλεσμα και, πιθανόν, να το επεξεργαστεί και να το αποθηκεύσει. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με τη θύρα σειριακής επικοινωνίας, Όταν ολοκληρωθεί η λήψη ή η αποστολή κάποιου δεδομένου, το περιφερειακό, ειδοποιεί, με μία διακοπή, την Κ.Μ.Ε. για να το παραλάβει ή για να στείλει το επόμενο, αντίστοιχα.

Ο PIC δέχεται ένα πλήθος διακοπών, οι οποίες, κατά κύριο λόγο, προέρχονται από τις διάφορες περιφερειακές του μονάδες. Συνήθως, μία περιφερειακή μονάδα μπορεί να δώσει ένα σήμα διακοπής. Ωστόσο, υπάρχουν μονάδες που δίνουν περισσότερες διακοπές, όπως, για παράδειγμα, το περιφερειακό σειριακής επικοινωνίας. Τονίζεται ότι, έχουμε τη δυνατότητα να απενεργοποιούμε κάποιες από τις διακοπές, ή και όλες μαζί, όταν η εκτέλεση κάποιας εργασίας δεν πρέπει να διακοπεί.

Το θέμα είναι αρκετά μεγάλο και, για το λόγο αυτό, θα το εξετάσουμε, διεξοδικά, στο τέλος του κεφαλαίου, καθώς και στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα δούμε πώς χρησιμοποιούνται και προγραμματίζονται οι περιφερειακές μονάδες του PIC.

5.1.6 Περιφερειακές μονάδες

Όπως είπαμε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η κύρια διαφορά των μικροελεγκτών από τους μικροεπεξεργαστές είναι ότι, οι πρώτοι, έχουν ενσωματωμένα διάφορα περιφερειακά. Αυτό τους κάνει κατάλληλους για πολλές εφαρμογές όπου το άμεσο ζητούμενο είναι η χρήση περιφερειακών μονάδων, όπως ο A/D μετατροπέας, η θύρα σειριακής επικοινωνίας, κτλ. Μία εφαρμογή μπορεί να είναι ο έλεγχος θερμοκρασίας ενός κλιβάνου, όπως στο παράδειγμα που είδαμε παραπάνω. Πολλές φορές, ένας μικροελεγκτής επιλέγεται για μία εφαρμογή με γνώμονα το είδος και τις δυνατότητες των περιφερειακών που διαθέτει. Ο μικροελεγκτής PIC έχει ενσωματωμένα αρκετά περιφερειακά, που του δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για ένα πλήθος εφαρμογών.

Ο μικροελεγκτής μας έχει πέντε θύρες εισόδου / εξόδου, των οκτώ (8) δυαδικών ψηφίων (bits). Αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σαν απλές θύρες είτε σαν θύρες των υπολοίπων περιφερειακών που διαθέτει. Η τέταρτη και πέμπτη θύρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για παράλληλη επικοινωνία.

Ακόμη, διαθέτει τρεις μετρητές χρόνου, που του δίνουν μεγάλες δυνατότητες σε εφαρμογές όπου οι πολλαπλές μετρήσεις χρόνου είναι απαραίτητες. Παράλληλα, είναι εφικτή η παραγωγή παλμών ελεγχόμενης διάρκειας, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για την παραγωγή ρυθμιζόμενης συνεχούς τάσης.

Επιπροσθέτως, ο μικροελεγκτής παρέχει έξοδο παλμοσειράς με ρυθμιζόμενο εύρος (PWM). Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ρύθμιση διαφόρων βιομηχανικών συσκευών (π.χ. βαλβίδες).

Στον μικροελεγκτή μας δεν λείπει και η δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας. Μάλιστα, διαθέτει δύο περιφερειακά: Ένα για σύγχρονη ή ασύγχρονη επικοινωνία, του

γνωστού μας τύπου USART και ένα για σύγχρονη, μόνον, επικοινωνία, το οποίο ονομάζεται SSP (Synchronous Serial Port).

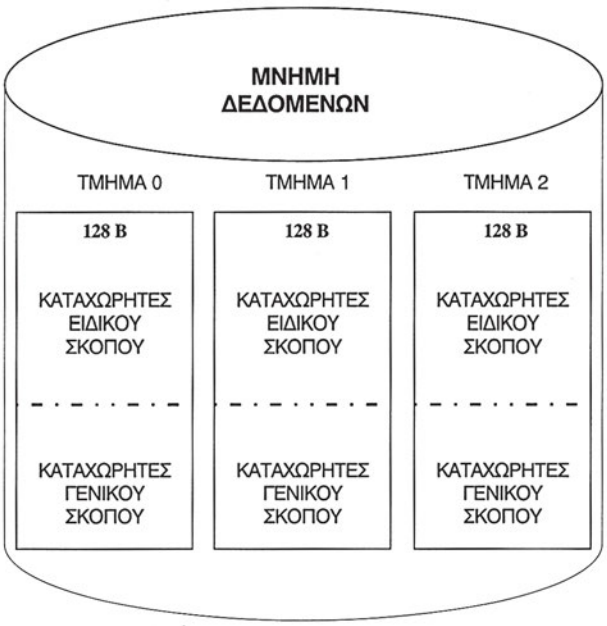
Επιπλέον, διαθέτει ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ο μετατροπέας αυτός είναι οκτώ καναλιών, που σημαίνει ότι έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει και μετατρέπει οκτώ διαφορετικά αναλογικά σήματα. Το αποτέλεσμα της μετατροπής, για κάθε κανάλι, είναι ένας αριθμός 8 bit.

5.2 Καταχωρητές

Έχουμε δει σε προηγούμενα μαθήματα, τι είναι ένας καταχωρητής και πώς αυτός υλοποιείται με λογικές πύλες. Επίσης, έχουμε επανειλημμένα τονίσει ότι ένας καταχωρητής δεν είναι τίποτε περισσότερο από μία στοιχειώδη μνήμη. Ακόμη, κάναμε μία σύντομη αναφορά στο θέμα αυτό και στην αρχή του μαθήματός μας. Ήρθε, λοιπόν, η στιγμή να δούμε την εφαρμογή όλων αυτών σε έναν πραγματικό μικροελεγκτή.

Οι καταχωρητές είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία της αρχιτεκτονικής ενός *μικροελεγκτή*. Η ευκολία και οι δυνατότητες προγραμματισμού του μικροελεγκτή έχουν άμεση σχέση με το πλήθος, το είδος και τις δυνατότητες των καταχωρητών του. Κάθε εντολή ενός προγράμματος χρησιμοποιεί έναν τουλάχιστον καταχωρητή.

Ο μικροελεγκτής PIC χρησιμοποιεί δύο ομάδες καταχωρητών, τις οποίες μπορούμε να αναζητήσουμε στη μνήμη δεδομένων του PIC, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 *Μνήμη δεδομένων, τριών τμημάτων, μικροεπεξεργαστή PIC.*

Η πρώτη ομάδα, που βρίσκεται στις χαμηλότερες διευθύνσεις, περιέχει καταχωρητές ειδικών λειτουργιών (special function registers), όπως αυτών του ελέγχου των περιφερειακών που βρίσκονται ενσωματωμένα στον μικροελεγκτή. Η δεύτερη ομάδα περιέχει καταχωρητές γενικής χρήσης και αναφέρεται ως αρχείο καταχωρητών γενικού σκοπού (general purpose register file). Πέραν αυτών, ο μικροελεγκτής διαθέτει τους καταχωρητές W και PC, στον οποίο αναφερθήκαμε στην αρχή του κεφαλαίου.

Ο καταχωρητής W λέγεται και καταχωρητής εργασίας. Είναι ανεξάρτητος από τους υπόλοιπους και βρίσκεται άμεσα συνδεδεμένος με την αριθμητική και λογική μονάδα του PIC. Αυτό του δίνει κάποια μοναδικά πλεονεκτήματα, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητος για την εκτέλεση κάποιων εντολών. Για παράδειγμα, μπορούμε να δώσουμε εντολή πρόσθεσης δύο καταχωρητών, μόνον αν ο ένας από αυτούς είναι ο W.

Ο μετρητής προγράμματος, PC, είναι κοινό στοιχείο της αρχιτεκτονικής όλων των μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών. Στην ουσία, είναι ο μόνος τρόπος με τον οποίο η Κ.Μ.Ε. μπορεί να βρει στην μνήμη την επόμενη εντολή που πρέπει να εκτελέσει. Οι εντολές ενός προγράμματος, συνήθως, εκτελούνται με την σειρά που βρίσκονται αποθηκευμένες στην μνήμη. Ο PC, σε κάθε εντολή που πρόκειται να εκτελεσθεί, αυξάνεται κατά 1, έτσι ώστε να έχει τη διεύθυνση της επόμενης εντολής αυτής. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, αυτό δεν συμβαίνει πάντα.

Πολλές φορές είναι αναγκαίο να εκτελεσθεί μία εντολή που βρίσκεται αποθηκευμένη αρκετές θέσεις μνήμης μακριά από την τελευταία εντολή που εκτελέσθηκε. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση μίας εντολής άλματος, η οποία αλλάζει τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος. Τότε, στον PC καταχωρείται η διεύθυνση της εντολής που πρέπει να εκτελεσθεί.

Ο μετρητής προγράμματος του PIC έχει μήκος 13 bit. Άρα, μπορούν να παρασταθούν 2^{13} αριθμοί, δηλαδή από 0 έως 8191. Αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τις αντίστοιχες διευθύνσεις στην μνήμη προγράμματος. Συνεπώς, ο PIC μπορεί να έχει μέχρι 8KB μνήμης προγράμματος, όπως άλλωστε είπαμε και στην ενότητα 5.1.3.

Πολύ σημαντικός, για τα προγράμματά μας, είναι και ο καταχωρητής STATUS, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των καταχωρητών ειδικών λειτουργιών. Αυτόν τον καταχωρητή μπορούμε να τον δούμε στο σχήμα 5.4.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	**RP1**	**RP0**	**-**	**-**	**Z**	**DC**	**C**

Σχήμα 5.4 *Ο καταχωρητής STATUS.*

Τα bits του καταχωρητή που θα μας απασχολήσουν στο μάθημά μας είναι τα 6, 5, 2, 1 και 0, ενώ δε θα ασχοληθούμε με τα υπόλοιπα. Ας δούμε, λοιπόν, με την σειρά τα πέντε αυτά bits:

- **RP1 - RP0:** Bits επιλογής τμήματος (128 Bytes) μνήμης δεδομένων.
  00 = Τμήμα 0 (0 - 7F H),
  01 = Τμήμα 1 (80 H - FF H)
  10 = Τμήμα 2 (100 H - 17F H)
  11 = Δε χρησιμοποιείται
- **Z:** Bit ένδειξης μηδενισμού αποτελέσματος.
  1 = Το αποτέλεσμα μίας αριθμητικής ή λογικής πράξης είναι 0. 0 = Το αποτέλεσμα μίας αριθμητικής ή λογικής πράξης δεν είναι 0.
- **DC:** Bit ένδειξης ενδιάμεσου κρατούμενου για τις αριθμητικές πράξεις πρόσθεσης και αφαίρεσης.
  1 = Ύπαρξη κρατουμένου, που παράγεται από το 4ο χαμηλότερο bit του αποτελέσματος. 0 = Δεν υπάρχει κρατούμενο, που να παράγεται από το 4ο χαμηλότερο bit του αποτελέσματος.
- **C:** Bit ένδειξης κρατούμενου για τις αριθμητικές πράξεις πρόσθεσης και αφαίρεσης.
  1 = Ύπαρξη κρατουμένου, που παράγεται από το περισσότερο σημαντικό bit του αποτελέσματος. 0 = Δεν υπάρχει κρατούμενο, που να παράγεται από το περισσότερο σημαντικό bit του αποτελέσματος.
  Σημείωση: Το bit αυτό χρησιμοποιείται και στις εντολές περιστροφής καταχωρητή, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Τα τρία τελευταία bit μας δηλώνουν μία κατάσταση και, για το λόγο αυτό, τα ονομάζουμε και σημαίες. Για παράδειγμα, το bit C λέγεται και σημαία κρατούμενου. Πολλές εντολές, όταν εκτελεσθούν, μαζί με τη λειτουργία που εκτελούν, επηρεάζουν και τις σημαίες αυτές. Περισσότερα, για τις σημαίες, θα δούμε στις επόμενες ενότητες, όταν θα εξετάσουμε τις εντολές του PIC.

5.3 Τύποι εντολών του PIC

Ο μικροελεγκτής PIC έχει εντολές μήκους μίας λέξης. Μία λέξη, στην προκειμένη περίπτωση, αποτελείται από δεκατέσσερα (14) δυαδικά ψηφία. Η δομή της λέξης διαφέρει από εντολή σε εντολή. Σε όλες τις λέξεις, το πρώτο τμήμα περιέχει τον κωδικό της εντολής (OPCODE), ενώ το υπόλοιπο περιέχει πληροφορίες για την εκτέλεση της εντολής. Αυτός κωδικός είναι καθορισμένος από την αρχιτεκτονική του συστήματος, είναι μοναδικός για κάθε εντολή και δεν μπορεί να αλλαχθεί. Η Κ.Μ.Ε., διαβάζοντάς τον κωδικό μίας εντολής, γνωρίζει, επακριβώς, τις εργασίες που πρέπει να εκτελέσει, ενώ οι απαιτούμενες, για την εκτέλεσή τους, πληροφορίες, βρίσκονται στο υπόλοιπο τμήμα της λέξης. Τους κωδικούς των εντολών ενός μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή, μπορούμε να τους αναζητήσουμε στο εγχειρίδιό του.

Οι εντολές του PIC χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, ως εξής:

- Εντολές επεξεργασίας byte (byte - oriented)
- Εντολές επεξεργασίας bit (bit - oriented)
- Εντολές άλματος (αλλαγής ροής προγράμματος)
- Λοιπές εντολές

Στην κάθε κατηγορία αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη δομή. Στις δύο πρώτες, η εντολή χωρίζεται σε τρία τμήματα ενώ, στις άλλες δύο, σε δύο.

Γενικά, ο κωδικός των εντολών έχει μήκος έξι (6) δυαδικά ψηφία (bits). Εξαίρεση αποτελεί ο κωδικός των εντολών της κατηγορίας επεξεργασίας bit που έχει μήκος τέσσερα (4), καθώς επίσης και των εντολών αλλαγής ροής προγράμματος, που έχει τρία (3). Το σχήμα 5.5 παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο χωρίζεται, κατά περίπτωση, μία λέξη εντολής.

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Κωδικός εντολής						d	Διεύθυνση καταχωρητή στην μνήμη δεδομένων						

(α) Εντολές επεξεργασίας Byte (Το d είναι ψηφίο επιλογής καταχωρητή για την αποθήκευση του αποτελέσματος)

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Κωδικός εντολής				Αριθμός Ψηφίου			Διεύθυνση καταχωρητή στην μνήμη δεδομένων						

(β) Εντολές επεξεργασίας bit

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Κωδικός εντολής							Διεύθυνση						

(γ) Εντολές Άλματος

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Κωδικός εντολής						Δεδομένο							

(δ) Λοιπές εντολές

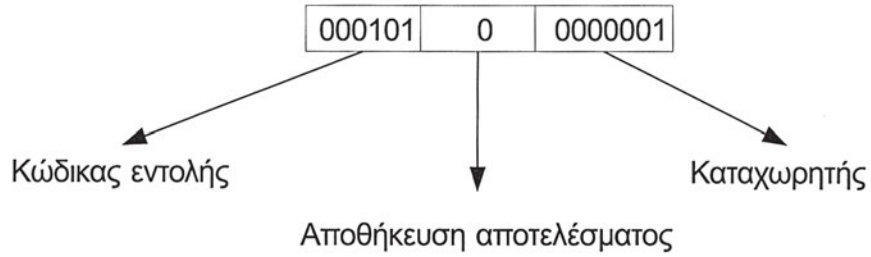
Σχήμα 5.5 *Δομή εντολών μικροεπεξεργαστή PIC*

Στη συνέχεια θα δούμε ένα παράδειγμα εντολής, το οποίο θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε, καλύτερα, πώς πραγματικά δομείται μία εντολή.

Έστω, ότι θέλουμε να εκτελέσουμε τη λογική πράξη ΚΑΙ (AND) μεταξύ δύο καταχωρητών. Ο πρώτος είναι ο καταχωρητής W και ο δεύτερος ο καταχωρητής που βρίσκεται στην διεύθυνση 1 της μνήμης δεδομένων. Ο δεύτερος ονομάζεται TMR0 και θα μιλήσουμε για αυτόν στο επόμενο κεφάλαιο, όταν θα δούμε τις περιφερειακές μονάδες του PIC. Το αποτέλεσμα, της λογικής πράξης, θέλουμε να το

αποθηκεύσουμε σε έναν από τους δύο καταχωρητές, π.χ. στον W.

Η κατάλληλη εντολή ανήκει στην κατηγορία εντολών επεξεργασίας Byte. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5(α), οι εντολές αυτού του τύπου χωρίζονται σε τρία τμήματα. Άρα, η λέξη της εντολής που θέλουμε, έχει τον κωδικό και δύο ορίσματα. Ο κωδικός της έχει μήκος 6 bit και είναι ο 000101. Το πρώτο όρισμα έχει μήκος 1 bit. Με αυτό μπορούμε να επιλέξουμε σε ποιόν από τους δύο καταχωρητές θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα. Με 0 το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στο καταχωρητή W, ενώ με 1 στον άλλον. Το δεύτερο όρισμα έχει μήκος 7 bit και προσδιορίζει τον καταχωρητή TMR0, χρησιμοποιώντας τη διεύθυνσή του στη μνήμη δεδομένων. Εδώ, ας θυμηθούμε ότι ο PIC διαθέτει 128 καταχωρητές άρα, το μήκος των 7 bit επαρκεί για να αποθηκεύσει την διεύθυνση των καταχωρητών. Συνεπώς, η λέξη της εντολής είναι η:



Επειδή είναι πολύ δύσκολο να γράψουμε ή να διαβάσουμε ένα πρόγραμμα με εντολές στην παραπάνω μορφή, χρησιμοποιούμε μία συμβολική γραφή. Για παράδειγμα, η παραπάνω εντολή συμβολίζεται ως εξής:

ANDWF TMR0, 0

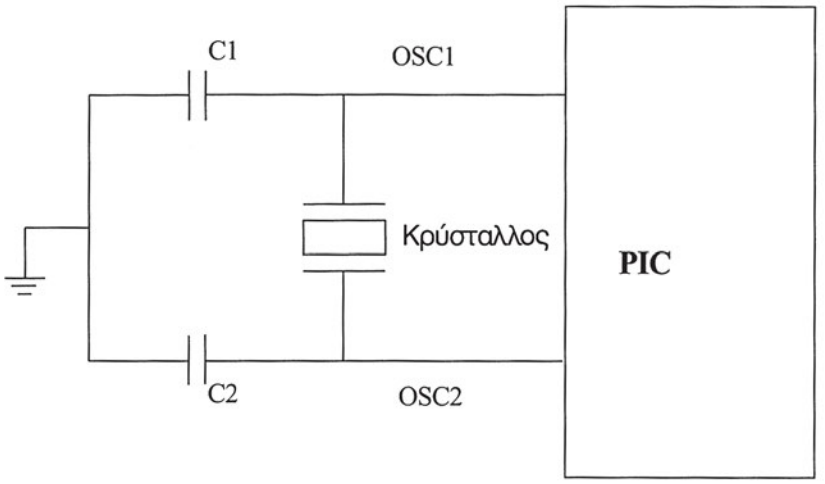
Ο συμβολισμός ANDWF αντιστοιχεί στον κωδικό 000101, ενώ ο καταχωρητής TMR0 βρίσκεται στη διεύθυνση 0000001 της μνήμης δεδομένων και το μηδέν δηλώνει που θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα.

Με παρόμοιο τρόπο σχηματίζονται και οι άλλες εντολές του PIC. Για παράδειγμα η εντολή 01010100000001 θέτει το τρίτο σημαντικό bit του καταχωρητή TMR0, στο 1. Η εντολή αυτή συμβολίζεται ως BSF TMR0,2. Επίσης, η εντολή 101 10111110011 αλλάζει τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος εκτελώντας άλμα στη θέση 5F3 H της μνήμης προγράμματος. Αυτή η εντολή συμβολίζεται ως GOTO 05F3 H.

Είδαμε, λοιπόν, τη μορφή που σχηματίζονται οι εντολές του PIC και πώς ο μικροελεγκτής αναλύει και χρησιμοποιεί την πληροφορία που αυτές περιέχουν. Στη συνέχεια θα μιλήσουμε για το χρόνο που κάνει ο PIC για να εκτελέσει τις εντολές αυτές.

5.4 Κύκλος εκτέλεσης εντολής

Ο μικροελεγκτής διαθέτει εσωτερική μονάδα χρονισμού και παραγωγής παλμών. Είναι αρκετή η σύνδεση ενός εξωτερικού κρυστάλλου και δύο πυκνωτών, για την παραγωγή παλμών ρολογιού. Η συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 *Το κύκλωμα παραγωγής παλμών του μικροελεγκτή PIC.*

Το εξωτερικό κύκλωμα μπορεί να παράγει σήμα ρολογιού από 455kHz ως 20MHz, ανάλογα με τον κρύσταλλο που θα χρησιμοποιηθεί. Ο PIC λαμβάνει τους παλμούς αυτούς στον ακροδέκτη OSC1.

Όπως ξέρουμε, ο μικροελεγκτής εκτελεί μία-μία τις εντολές ενός προγράμματος που υπάρχει στην μνήμη του. Η διαδικασία εκτέλεσης μία εντολής είναι να έρθει η εντολή αυτή από την μνήμη στην Κ.Μ.Ε. και μετά να αποκωδικοποιηθεί και να εκτελεσθεί. Ο μικροελεγκτής αρχίζει τη διαδικασία αυξάνοντας τον καταχωρητή PC κατά 1 και, αμέσως μετά, ανακαλεί την εντολή από τη θέση της μνήμης προγράμματος που αυτός υποδεικνύει. Για όλες τις εντολές του PIC, αυτή η διαδικασία διαρκεί έναν κύκλο εντολής.

Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι εντολές άλματος, που αλλάζουν τη ροή του προγράμματος, δηλαδή, τον καταχωρητή PC. Στην περίπτωση αυτή, η επόμενη εντολή που πρέπει να ανακληθεί δεν είναι αυτή που περιμένει στη σειρά. Για να πάρει ο PC την σωστή τιμή, ώστε να υποδείξει την επόμενη εντολή που πρέπει να εκτελεσθεί, χρειάζεται και έναν ακόμη κύκλο εντολής. Έτσι οι εντολές άλματος χρειάζονται δύο κύκλους εντολής για να εκτελεσθούν.

Για να καταλάβουμε καλύτερα την όλη διαδικασία, ας δούμε σε πόσο χρόνο εκτελούνται οι εντολές του επομένου προγράμματος:

```
05F0 H: ADDWF TMR0, 0
05F1 H: GOTO 05F3 H
05F2 H: BSF TMR0, 1
05F3 H: BSF TMR0, 2
05F4 H: ……
05F5 H: ……
05F5 H: ……
```

Όλες οι παραπάνω εντολές εκτελούνται σε έναν κύκλο εντολής, εκτός από την εντολή άλματος, GOTO 05F3 H, που εκτελείται σε δύο κύκλους. Άρα, η εκτέλεση του όλου προγράμματος διαρκεί 4 κύκλους. Ας προσέξουμε ότι οι εντολές που εκτελέσθηκαν ήταν 3, αφού η εντολή BSF TMR0, 1 δεν εκτελείται, δεδομένου ότι μετά την εντολή άλματος εκτελείται η εντολή BSF TMR0, 2.

Γνωρίζοντας πόσους κύκλους εντολής χρειάζεται η κάθε εντολή για να ανακληθεί από την μνήμη και να εκτελεσθεί, μπορούμε να υπολογίσουμε τους συνολικούς κύκλους που χρειάζεται έναν πρόγραμμα ή μία ρουτίνα για να εκτελεσθεί. Την χρονική διάρκεια ενός κύκλου εντολής μπορούμε να την υπολογίσουμε αν γνωρίζουμε την συχνότητα λειτουργίας του PIC, σύμφωνα με την επόμενη σχέση:

Διάρκεια κύκλου εντολής = 4 / (Συχν. Λειτουργίας PIC)

Συνεπώς, αν υποθέσουμε ότι ο PIC, στο παραπάνω παράδειγμα, έχει συχνότητα λειτουργίας 20MHz τότε η διάρκεια του κάθε κύκλου εντολής είναι 0,2μsec. Άρα, η εκτέλεση του όλου προγράμματος θα διαρκέσει 0,8μsec.

5.5 Η γλώσσα Assembly του PIC

Στην ενότητα 5.4 είδαμε ότι ο PIC, όπως και κάθε άλλος μικροελεγκτής και μικροεπεξεργαστής, ανακαλεί από τη μνήμη μία σειρά λέξεων που εμπεριέχουν κωδικούς εντολών και πληροφορίες σε δυαδική μορφή. Αυτή η σειρά λέξεων είναι, στην πραγματικότητα, το πρόγραμμα που εκτελεί Έτσι, το πρόγραμμα, που εξετάσαμε στην προηγούμενη ενότητα, είναι γραμμένο στη μνήμη προγράμματος, αρχίζοντας από τη θέση 05F0 H, ως εξής

05F0 H: 00010100000001
05F1 H: 10110111110011
05F2 H: 01010010000001
05F3 H: 01010110000001
05F4 H: ……
05F5 H: ……
05F5 H: ……

Είναι δυνατό να γράψουμε απευθείας ένα πρόγραμμα στη μνήμη προγράμματος στην παραπάνω μορφή. Άλλωστε, αυτός είναι ο τρόπος που γράφονταν τα προγράμματα όταν η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών ήταν ακόμη σε αρχικό στάδιο. Ένα πρόγραμμα στην παραπάνω μορφή λέμε ότι είναι γραμμένο σε γλώσσα μηχανής. Βέβαια, γίνεται αμέσως αντιληπτό πόσο δύσκολο είναι να γράψουμε ένα πρόγραμμα, εκατό και πλέον εντολών, στη μορφή αυτή. Μάλιστα, ακόμη δυσκολότερο είναι να το διορθώσουμε στην περίπτωση που εντοπίσουμε κάποιο σφάλμα, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του.

Για το λόγο αυτό, σχεδιάστηκε μία γλώσσα που οι εντολές της να αντιστοιχούν άμεσα σε αυτές του μικροελεγκτή. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μία απεικόνιση των εντολών του μικροελεγκτή σε μία εύληπτη μορφή. Η γλώσσα αυτή ονομάστηκε Assembly. Μία πρώτη γνωριμία με την συγκεκριμένη γλώσσα κάναμε στα παραδείγματα των δύο προηγουμένων ενοτήτων. Εκεί, είδαμε πώς συμβολίζονται οι εντολές που χρησιμοποιήσαμε στη γλώσσα αυτή.

Όμως, πριν ξεκινήσουμε να βλέπουμε τις εντολές της γλώσσας Assembly του μικροελεγκτή PIC, ας μιλήσουμε, λίγο, για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της σε σχέση με τις άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Η Assembly, επειδή είναι άμεση συνέχεια της γλώσσας μηχανής μας δίνει τη δυνατότητα να επέμβουμε απευθείας στον PIC και να τον ελέγξουμε πλήρως και, μάλιστα, σε επίπεδο μηχανής. Επίσης, όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα, μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον χρόνο εκτέλεσης ενός προγράμματος ή ενός μέρος αυτού. Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά που κάνουν τη γλώσσα αναντικατάστατη στο χώρο της ανάπτυξης μικροϋπολογιστικών συστημάτων. Ωστόσο, η γλώσσα Assembly μειονεκτεί σε θέματα ευκολίας προγραμματισμού. Για παράδειγμα, είναι αρκετά δύσκολο να χειριστούμε αρχεία και, ακόμη δυσκολότερο, να φτιάξουμε μία βάση δεδομένων. Επιπρόσθετα, η γλώσσα Assembly, είναι διαφορετική για κάθε μικροελεγκτή ή μικροεπεξεργαστή, αφού έχει άμεση σχέση με τη γλώσσα μηχανής του.

Σε αντίθεση, οι γλώσσες υψηλότερου επιπέδου μας δίνουν τη δυνατότητα να γράψουμε σύνθετα προγράμματα με μεγαλύτερη ευκολία. Για παράδειγμα, μία εντολή της γλώσσας Basic μπορεί να αντιστοιχεί σε πολλές εντολές της Assembly. Επίσης, ο κώδικας που θα γραφεί σε μία τέτοια γλώσσα, μπορεί να λειτουργήσει σε μικροϋπολογιστικά συστήματα βασισμένα σε διάφορους μικροεπεξεργαστές ή μικροελεγκτές. Φυσικά, είναι αδύνατο να μετρήσουμε, με ακρίβεια, το χρόνο εκτέλεσης ενός προγράμματος γραμμένου σε γλώσσα υψηλού επιπέδου. Επίσης, είναι πολύ δύσκολο να επέμβουμε άμεσα στα διάφορα περιφερειακά του μικροελεγκτή.

Σε μικροϋπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εφαρμογές ακολουθείται μία μέση οδός. Το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής γράφεται σε γλώσσα C, ενώ μέρος της, όπου αυτό είναι απαραίτητο, γράφεται σε γλώσσα Assembly. Αυτό γίνεται γιατί η γλώσσα C, όπως και άλλες, δέχεται εμφύτευση κώδικα Assembly.

Αφού είπαμε μερικά γενικά στοιχεία για τη γλώσσα Assembly, είναι καιρός, πλέον, να προχωρήσουμε και στις εντολές της. Πρέπει να σημειώσουμε ότι δε θα ακολουθήσουμε την κατηγοριοποίηση των εντολών που κάναμε όταν μιλούσαμε για τη μορφή τους. Στην παρούσα ενότητα μας ενδιαφέρει περισσότερο η πρακτική χρήση των εντολών στον προγραμματισμό του PIC. Έτσι, λοιπόν, θα τροποποιήσουμε λίγο τις κατηγορίες αυτές και θα παρουσιάσουμε τις εντολές ως ακολούθως:

- Εντολές αλλαγής περιεχομένου καταχωρητή
- Εντολές αύξησης / μείωσης τιμής καταχωρητή
- Εντολές αριθμητικών πράξεων
- Εντολές λογικών πράξεων
- Εντολές επεξεργασίας bit
- Εντολές άλματος (αλλαγής ροής προγράμματος)

Στις εντολές που θα παρουσιάσουμε θα αναφέρουμε διαδοχικά τη σύνταξή τους, πώς ορίζονται τα ορίσματά τους, τη λειτουργία που εκτελούν σε μορφή συνάρτησης και μία σύντομη περιγραφή τους. Επίσης, θα χρειαστούμε τον πίνακα 5.1 που δείχνει τα ονόματα των καταχωρητών και την διεύθυνσή τους στη μνήμη δεδομένων. Ας δούμε, τώρα, με την σειρά τις εντολές αυτές.

5.5.1 Εντολές αλλαγής περιεχομένου καταχωρητή

Όλες οι εντολές αναφέρονται, άμεσα ή έμμεσα, σε κάποιον καταχωρητή. Προφανώς, είναι σημαντικό, πριν μιλήσουμε για οποιαδήποτε άλλη εντολή, να ξέρουμε πώς μπορούμε να φορτώσουμε μία συγκεκριμένη τιμή σε έναν καταχωρητή, καθώς, επίσης, και πώς να τον καθαρίσουμε. Οι πρώτες, λοιπόν, εντολές που θα δούμε, στον PIC, είναι αυτές της φόρτωσης ενός καταχωρητή με μία τιμή που θέλουμε καθώς και του μηδενισμού του.

- **MOVLW Δ**

Η πρώτη εντολή που θα δούμε είναι αυτή της απευθείας φόρτωσης του καταχωρητή W με μία τιμή. Ο καταχωρητής W χρησιμοποιείται πολύ στις υπόλοιπες εντολές και είναι, βασικό, να μπορούμε να ορίσουμε την τιμή του εύκολα. Ακολούθως, παραθέτουμε έναν πίνακα με τα συνοπτικά στοιχεία της εντολής.

ΣΥΝΤΑΞΗ	MOVLW Δ
ΟΡΙΣΜΑ	Το Δ παίρνει τιμή από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Το δεδομένο Δ φορτώνεται στον καταχωρητή W. (σχήμα 5.7)

Σχήμα 5.7 *Φόρτωμα του καταχωρητή W με ένα δεδομένο Δ με την εντολή MOVLW Δ.*

Όπως βλέπουμε το δεδομένο παίρνει τιμές από το 0 ως το 255, που σημαίνει ότι έχει μήκος ένα byte. Αυτό είναι πολύ λογικό αφού φορτώνεται στον καταχωρητή W που έχει και αυτός το ίδιο μήκος. Καμία από τις σημαίες δεν ενημερώνεται. Ας δούμε και ένα παράδειγμα με την εντολή αυτή.

Παράδειγμα

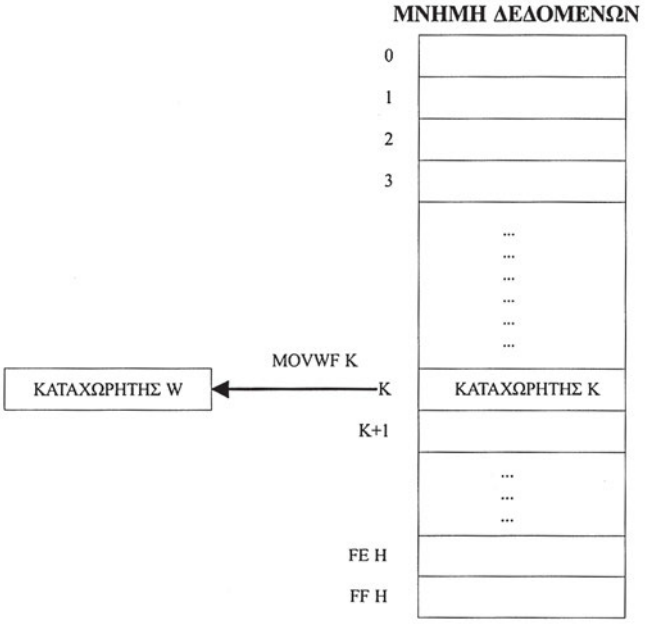
Έστω ότι, αρχικά, ο καταχωρητής W = 7A H και ότι δίνουμε την εντολή MOVLW 35 H. Μετά την εκτέλεσή της ο καταχωρητής θα είναι W = 35 H.

• MOVWF K

Με την προηγούμενη εντολή, μπορούμε να φορτώσουμε μία τιμή μόνο στον καταχωρητή W. Είναι φανερό ότι, συχνά χρειαζόμαστε να δώσουμε κάποια τιμή και σε άλλους καταχωρητές. Ο PIC διαθέτει μία εντολή που φορτώνει σε έναν καταχωρητή το περιεχόμενο του W.

ΣΥΝΤΑΞΗ	MOVWF K Το K παίρνει τιμές από 0
ΟΡΙΣΜΑ	έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή.
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή W, μεταφέρεται στον καταχωρητή K (σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.8 *Φόρτωση των περιεχομένων του καταχωρητή K στον καταχωρητή W με την εντολή MOVWF K.*

Ο καταχωρητής K ορίζεται από τον αριθμό του, ο οποίος παίρνει τιμές από το 0 ως το 127 και αντιστοιχεί στην διεύθυνσή του στην περιοχή της μνήμης δεδομένων. Επειδή, οι καταχωρητές ειδικού σκοπού έχουν και κάποιο συμβολικό όνομα, π.χ. TMR0, αντί της διεύθυνσης 1, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το όνομα αυτό. Όπως και στην προηγούμενη εντολή μεταφοράς, δεν επηρεάζονται οι σημαίες. Ας δούμε και εδώ ένα παράδειγμα.

Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής W = 16 H και ότι ο καταχωρητής TMR0 = 6A

Έστω ότι δίνουμε την εντολή MOVWF TMR0. Μετά την εκτέλεσή της ο καταχωρητής TMR0 = 16 H. Με τη συγκεκριμένη εντολή δεν μπορούμε να φορτώσουμε απευθείας σε έναν καταχωρητή μία συγκεκριμένη τιμή, παρά μόνον του καταχωρητή W. Ωστόσο, αυτό μπορεί να γίνει έμμεσα. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να φορτώσουμε στον TMR0 την τιμή 23 H. Τότε, μπορούμε, πρώτα, να δώσουμε στον καταχωρητή W την τιμή αυτή και, μετά, να φορτώσουμε στον TMR0 την τιμή του W. Συνεπώς, οι εντολές που πρέπει δώσουμε είναι:

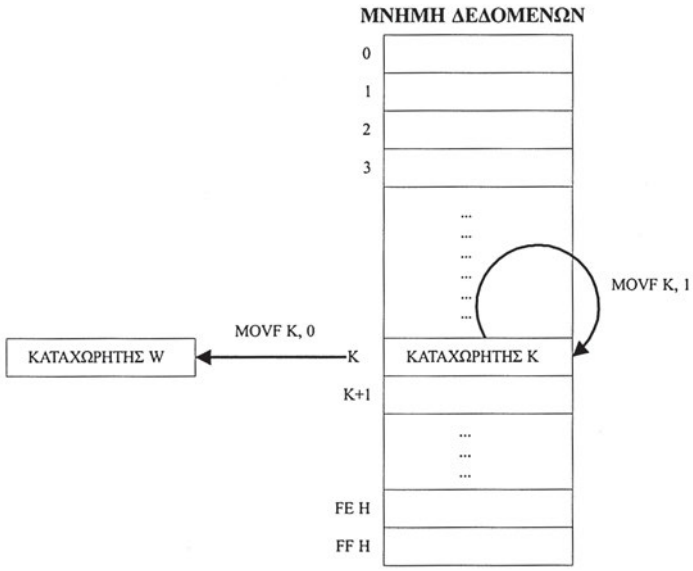
MOVLW 23 H
MOVWF TMR0

• MOVF K, d

Μία ακόμη εντολή, της κατηγορίας αυτής, είναι η φόρτωση του καταχωρητή W με τα περιεχόμενα του καταχωρητή K.

ΣΥΝΤΑΞΗ	MOVF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K, μεταφέρεται στον καταχωρητή W, αν το d = 0, ή στον εαυτό του, αν το d = 1. (σχήμα 5.9)



Σχήμα 5.9 *Φόρτωση των περιεχομένων του καταχωρητή K στον καταχωρητή W με την εντολή MOVF K, 0 ή στον εαυτό του με την εντολή MOVF K, 1.*

Όπως και στην προηγούμενη εντολή, που παρουσιάσαμε, ο καταχωρητής K ορίζεται από τον αριθμό του, ο οποίος παίρνει τιμές από το 0 ως το 127 και αντιστοιχεί στην διεύθυνσή του στην περιοχή της μνήμης δεδομένων ή το συμβολικό του όνομα, αν έχει. Σε αντίθεση με τις άλλες δύο εντολές φόρτωσης, η εντολή αυτή ενημερώνει τη σημαία του μηδενισμού (Z). Σε περίπτωση που το d = 1, ο καταχωρητής φορτώνει το περιεχόμενό του στον εαυτό του. Αυτό, σε συνδυασμό με την σημαία Z, μπορεί να χρησιμεύσει για τον έλεγχο του αν το περιεχόμενο του καταχωρητή είναι 0.

Ας δούμε και δύο παραδείγματα με την εντολή αυτή. Θα χρησιμοποιήσουμε, πάλι, τον καταχωρητή TMR0, που χρησιμοποιήσαμε και προηγουμένως.

1ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής W = 26 H και ότι ο καταχωρητής TMR0 = 1A H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή MOVF TMR0, 0. Μετά την εκτέλεσή της, ο καταχωρητής W = 1A H, ενώ η σημαία Z = 0, ανεξάρτητα με το τι ήταν προηγουμένως.

2ο Παράδειγμα

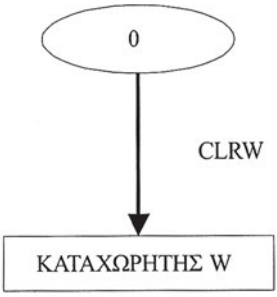
Ας θεωρήσουμε, τώρα, ότι, αρχικά, ο καταχωρητής W = 26 H και ότι ο καταχωρητής TMR0 = 0. Έστω ότι δίνουμε την εντολή MOVF TMR0, 1. Επειδή το d = 1, ο καταχωρητής W δεν αλλάζει αφού ο TMR0 φορτώνεται στον εαυτό του. Επειδή το περιεχόμενό του είναι 0, η σημαία Z γίνεται 1, ανεξάρτητα με το τι ήταν προηγουμένως.

• CLRW

Συχνά, κατά τη διάρκεια ενός προγράμματος χρειάζεται να μηδενίσουμε τον καταχωρητή W. Για την διαδικασία αυτή έχει προβλεφθεί η εντολή αυτή:

ΣΥΝΤΑΞΗ	CLRW
ΟΡΙΣΜΑ	ΚΑΝΕΝΑ
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Ο καταχωρητής W μηδενίζεται και η σημαία Z γίνεται 1 (σχήμα 5.10).



Σχήμα 5.10 *Μηδενισμός καταχωρητή W με την εντολή CLRW.*

Η εντολή δε δέχεται κανένα όρισμα. Αυτό που την διαφοροποιεί από την εντολή "MOVLW 0" είναι ότι με την εκτέλεσή της, η σημαία Z γίνεται 1. Ακολουθεί ένα παράδειγμα με την εντολή αυτή.

Παράδειγμα

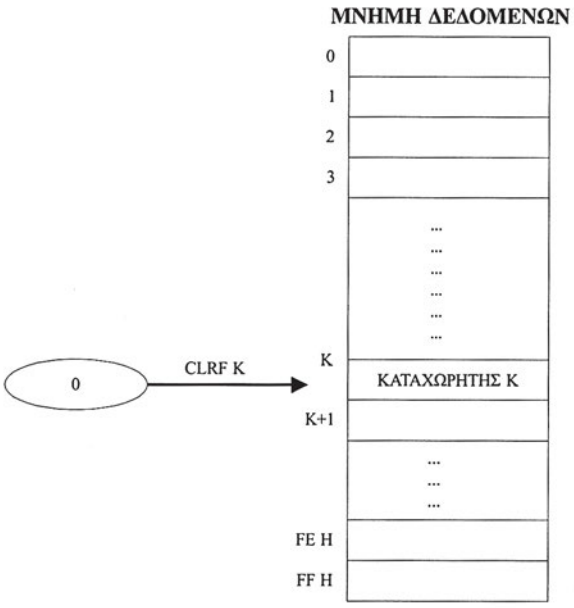
Έστω ότι, αρχικά, ο καταχωρητής W = 71 H και ότι δίνουμε την εντολή CLRW. Μετά την εκτέλεσή της ο καταχωρητής θα είναι W = 0, ενώ το Z = 1, ανεξάρτητα από την τιμή που είχε πριν.

• CLRF K

Η τελευταία εντολή, της κατηγορίας αυτής, είναι του μηδενισμού του περιεχομένου ενός καταχωρητή.

ΣΥΝΤΑΞΗ	CLRF K
ΟΡΙΣΜΑ	Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K μηδενίζεται και η σημαία Z γίνεται 1 (σχήμα 5.11).



Σχήμα 5.11 *Μηδενισμός καταχωρητή K με την εντολή CLRF K.*

Όπως και με την εντολή μηδενισμού του καταχωρητή W, έτσι και εδώ, ο μηδενισμός του καταχωρητή κάνει την σημαία Z ίση με 1. Ας δούμε, και εδώ, ένα παράδειγμα.

Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής TMR0 = C3 H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή CLRF TMR0. Μετά την εκτέλεσή της, ο καταχωρητής TMR0 = 0 και η σημαία Z = 1, ανεξάρτητα με το τι ήταν προηγουμένως.

Ερωτήσεις

1. Με ποια εντολή μπορούμε να δώσουμε στον καταχωρητή W την τιμή B9 H;
2. Με ποιες εντολές μπορούμε να δώσουμε στον καταχωρητή TMR0 την τιμή 5;
3. Ποιες από τις παρακάτω τιμές μπορούμε να δώσουμε στον καταχωρητή W και γιατί:

   23 H, 0A H, 5, 50F H, 0FF H, 111 H, 035 H
4. Πώς μπορούμε να φορτώσουμε στον καταχωρητή TMR0 το περιεχόμενο του καταχωρητή W.

5.5.2 Εντολές αύξησης / μείωσης τιμής καταχωρητή

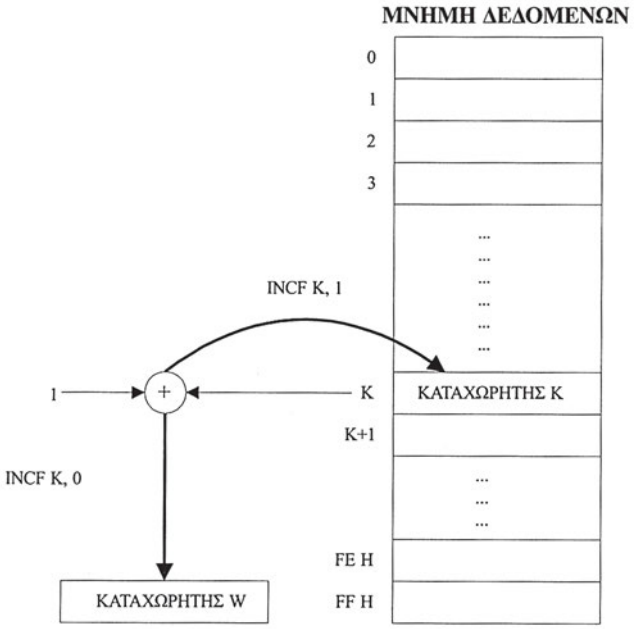
Σε πολλές περιπτώσεις χρειαζόμαστε να αυξήσουμε ή να μειώσουμε την τιμή ενός καταχωρητή κατά 1. Τέτοιες λειτουργίες είναι απαραίτητες σε διαδικασίες μέτρησης επανάληψης βρόχων (loops) μέσα σε ένα πρόγραμμα. Ο PIC δέχεται δύο εντολές αύξησης καταχωρητή και δύο μείωσης.

• INCF K, d

Η πρώτη εντολή, της κατηγορίας αυτής, αυξάνει το περιεχόμενο ενός καταχωρητή K κατά ένα.

ΣΥΝΤΑΞΗ	INCF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K, αυξάνεται κατά 1 και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.12).



Σχήμα 5.12 *Αύξηση του περιεχομένου του καταχωρητή K κατά 1 και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W με την εντολή INCF K, 0 ή στον καταχωρητή K με την εντολή INCF K, 1.*

Και στην περίπτωση αυτή, ο καταχωρητής K ορίζεται από τον αριθμό του, ο οποίος παίρνει τιμές από το 0 ως το 127 και αντιστοιχεί στην διεύθυνσή του στην περιοχή της μνήμης δεδομένων ή το συμβολικό του όνομα, αν έχει. Η παρούσα εντολή επηρεάζει μόνον την σημαία του μηδενισμού (Z). Ας δούμε τώρα και δύο παραδείγματα με την εντολή αυτή.

1ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής TMR0 = 16 H και ο W = 8A H.
Αν δώσουμε την εντολή:
INCF TMR0, 1
Τότε οι καταχωρητές,
TMR0 = 17 H (ο καταχωρητής επηρεάζεται, αφού d = 1) και
W = 8A H (ο καταχωρητής δεν επηρεάζεται, αφού d = 1)
Ενώ η σημαία,
Z = 0 (αφού το αποτέλεσμα δεν είναι μηδέν), ανεξάρτητα με το τι ήταν στην αρχή.

2ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής TMR0 = FF H και ο W = 8A H.
Αν δώσουμε την εντολή:
INCF TMR0, 0

Τότε οι καταχωρητές,
TMR0 = FF H (ο καταχωρητής δεν επηρεάζεται, αφού d = 0) και
W = 0 (ο καταχωρητής επηρεάζεται, αφού d = 0)
Ενώ η σημαία,
Z = 1 (αφού το αποτέλεσμα είναι μηδέν), ανεξάρτητα με το τι ήταν στην αρχή.

• INCFSZ K, d

Αυτή η εντολή είναι μία παραλλαγή της προηγούμενης. Εδώ, η εντολή εκτελείται όπως ακριβώς η προηγούμενη. Η διαφορά έγκειται στην επόμενη εντολή που είναι να εκτελεστεί. Αν το αποτέλεσμα είναι μηδενικό, τότε δεν εκτελείται η πρώτη σε σειρά εντολή αλλά η αμέσως επόμενη από αυτήν.

ΣΥΝΤΑΞΗ	INCFSZ K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Ο καταχωρητής K, αυξάνεται κατά 1 και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1. Αν το αποτέλεσμα της αύξησης είναι μηδενικό, η αμέσως επόμενη εντολή παρακάμπτεται.

Αν προσέξουμε λίγο περισσότερο τη διαδικασία θα παρατηρήσουμε ότι η εντολή όταν το αποτέλεσμα της αύξησης είναι μηδενικό επεμβαίνει στην τιμή του PC. Τότε, σύμφωνα με τα όσα είπαμε στην ενότητα 5.5 για τον χρόνο εκτέλεσης μίας εντολής, η εντολή χρειάζεται 2 κύκλους. Ας δούμε τώρα και ένα μικρό πρόγραμμα ως παράδειγμα για την περίπτωση αυτή.

Παράδειγμα
Έστω ότι έχουμε το ακόλουθο πρόγραμμα:

```
INCFSZ TMR0, 1
MOVLW 23 H
INCF TMR0, 1
```

Ας θεωρήσουμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής TMR0 = FF H και ο W = 12 H. Τότε, μετά την εκτέλεση της κάθε εντολής, οι καταχωρητές θα έχουν τις τιμές:

Εντολή: INCFSZ TMR0, 1
W = 12 H,

TMR0 = 0
Κύκλοι εκτέλεσης εντολής: 2

Εντολή: MOVLW 23 H
Δεν εκτελείται.

Εντολή: INCF TMR0, 1
W = 12 H,
TMR0 = 1
Κύκλοι εκτέλεσης εντολής: 1

Επειδή, το αποτέλεσμα της πρώτης εντολής είναι 0, αμέσως μετά εκτελείται η τρίτη εντολή ενώ η δεύτερη παρακάμπτεται.
Τώρα, ας θεωρήσουμε ότι, αρχικά, ο καταχωρητής TMR0 = A5 H και ο W = 12 H. Τότε, μετά την εκτέλεσή του, οι καταχωρητές θα έχουν τις τιμές:

Εντολή: INCFSZ TMR0, 1
W = 12 H,
TMR0 = 1
Κύκλοι εκτέλεσης εντολής: 1

Εντολή: MOVLW 23 H
W = 23 H,
TMR0 = 1
Κύκλοι εκτέλεσης εντολής: 1

Εντολή: INCF TMR0, 1
W = 23 H,
TMR0 = 2
Κύκλοι εκτέλεσης εντολής: 1

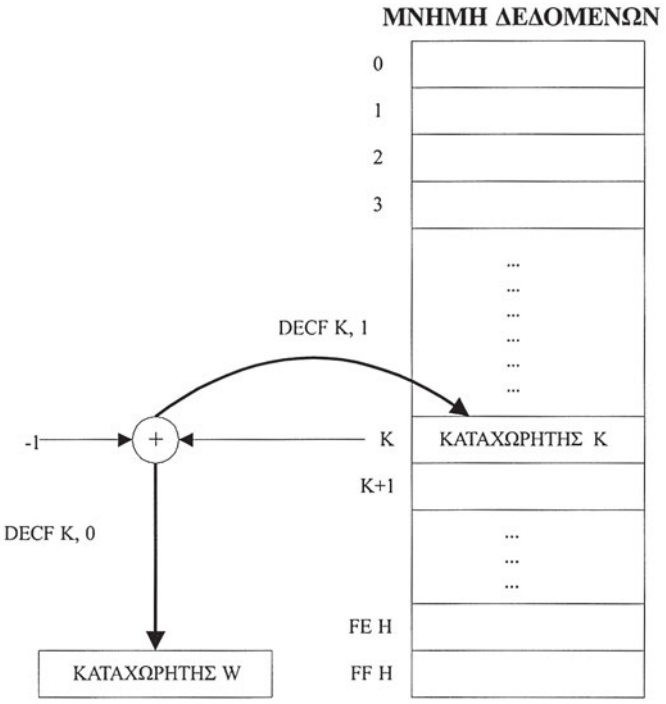
Ας προσέξουμε ότι, και στις δύο περιπτώσεις, το πρόγραμμα εκτελείται σε 3 κύκλους εντολής.

- **DECF K, d**

Πρόκειται για εντολή μείωσης περιεχομένου καταχωρητή. Είναι η αντίστοιχη της εντολής INCF, την οποία αναλύσαμε, λεπτομερώς, προηγουμένως.

ΣΥΝΤΑΞΗ	DECF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Ο καταχωρητής K, μειώνεται κατά 1 και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13 *Μείωση του περιεχομένου του καταχωρητή K κατά 1 και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W με την εντολή DECF K, 0 ή στον καταχωρητή K με την εντολή DECF K, 1.*

Δε θα επεκταθούμε περισσότερο, αφού η μόνη της διαφορά από την αντίστοιχή της είναι ότι αντί να αυξάνει, μειώνει κατά 1.

● DECFSZ K, d

Παρόμοια με την πρώτη και η δεύτερη εντολή μείωσης περιεχομένου καταχωρητή είναι η αντίστοιχη της εντολής INCFSZ, για την οποία μιλήσαμε προηγουμένως.

ΣΥΝΤΑΞΗ	DECFSZ K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K, μειώνεται κατά 1 και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1. Αν το αποτέλεσμα της μείωσης είναι μηδέν η αμέσως επόμενη εντολή παρακάμπτεται.

Ούτε εδώ θα επεκταθούμε περισσότερο. Όπως και στην προηγούμενη εντολή, η μόνη της διαφορά, από την αντίστοιχη εντολή αύξησης, είναι ότι αντί να αυξάνει, μειώνει κατά 1.

Ερωτήσεις

1. Πώς μπορούμε να αυξήσουμε το περιεχόμενο του καταχωρητή W κατά 1;
2. Τι κάνει η εντολή DECF TMR0, 1;
3. Τι τιμή παίρνει η σημαία Z και οι καταχωρητές W και TMR0, μετά την εκτέλεση της εντολής 'DECF TMR0, 0', με TMR0=5;

5.5.3 Εντολές αριθμητικών πράξεων

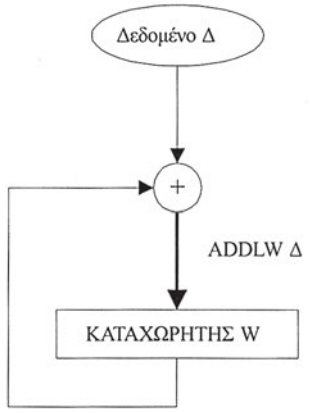
Ένας μικροελεγκτής ή μικροεπεξεργαστής θα ήταν άχρηστος αν δεν μπορούσε να κάνει αριθμητικές πράξεις. Ο PIC διαθέτει δύο εντολές για πρόσθεση και δύο για αφαίρεση. Με την βοήθεια αυτών, μπορεί να πραγματοποιήσει και τις πράξεις του πολλαπλασιασμού και διαίρεσης.

- **ADDLW Δ**

Η πρώτη εντολή πρόσθεσης, που θα μάθουμε, αφορά την απλή διαδικασία της πρόσθεσης δύο αριθμών. Την εντολή την έχουμε δει και σαν παράδειγμα στην ενότητα 5.4.

ΣΥΝΤΑΞΗ	ADDLW Δ
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Το Δ παίρνει τιμή από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΕΣ	C, DC, Z

Περιγραφή: Το δεδομένο Δ προστίθεται στον καταχωρητή W και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W (σχήμα 5.14).



Σχήμα 5.14 *Πρόσθεση του δεδομένου Δ στα περιεχόμενα του καταχωρητή W και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή ADDLW Δ.*

Το δεδομένο Δ παίρνει τιμές από το 0 ως το 255, που σημαίνει ότι έχει μήκος ένα byte. Αυτό είναι πολύ λογικό αφού προστίθεται στον καταχωρητή W που έχει και αυτός το ίδιο μήκος. Επίσης, όπως άλλωστε αναμέναμε, η συγκεκριμένη πράξη επηρεάζει τις σημαίες του κρατούμενου (C), του ενδιάμεσου κρατούμενου (DC), δηλαδή κρατούμενου μεταξύ του 3ου και του 4ου bit, και του μηδενισμού (Z). Τέλος, η εντολή χρησιμοποιεί άμεση διευθυνσιοδότηση.

Θα παραθέσουμε, τώρα, δύο παραδείγματα με τα οποία θα κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία της εντολής.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 6D H και ότι δίνουμε την εντολή ADDLW D1 H τότε:

	0110 1101	=	6D H
+	1101 0001	=	D1 H
	0011 1110	=	3E H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 3E H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 1 (η πράξη δίνει κρατούμενο),

DC = 0 (η πράξη δεν δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και

Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 95 H και ότι δίνουμε την εντολή ADDLW 2C H τότε:

0010 1100 = 2C H
\+ 1001 0101 = 95 H
1100 0001 = C1 H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = C1 H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 1 (η πράξη δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

• ADDWF K, d

Συνεχίζοντας θα περιγράψουμε μία δεύτερη εντολή πρόσθεσης, λίγο πιο πολύπλοκη από την πρώτη. Εδώ, πάλι, χρησιμοποιούμε τον καταχωρητή W. Όμως, αυτή την φορά, η πρόσθεση γίνεται με έναν αριθμό που βρίσκεται στον καταχωρητή, η διεύθυνση του οποίου υποδεικνύεται από το όρισμα K.

ΣΥΝΤΑΞΗ	ADDWF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z, C, DC

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του W, προστίθεται στο περιεχόμενο του καταχωρητή K και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.15).

Σχήμα 5.15 *Πρόσθεση του περιεχομένου του καταχωρητή W στο περιεχόμενο του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή ADDWF K, 0 ή στον K με την εντολή ADDWF K, 1.*

Ο καταχωρητής K ορίζεται όπως και στις άλλες εντολές που είδαμε έως τώρα. Επίσης, όπως άλλωστε και στην προηγούμενη εντολή πρόσθεσης, επηρεάζονται οι σημαίες του κρατούμενου (C), του ενδιάμεσου κρατούμενου (DC) και του μηδενισμού (Z).

Θα παραθέσουμε, πάλι, δύο παραδείγματα με τα οποία θα κατανοήσουμε την λειτουργία καθώς και την διαφορά της από την προηγούμενη.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = A3 H, TMR0 = 15 H και ότι δίνουμε την εντολή ADDWF TMR0, 0, τότε:

	1010 0011	=	A3 H
+	0001 0101	=	15 H
	1011 1000	=	B8 H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = B8 H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 0 (η πράξη δε δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = DB H, TMR0 = 85 H και ότι δίνουμε την εντολή ADDWF TMR0, 1 τότε:

	1101 1011	=	DB H
+	1000 0101	=	85 H
	0110 0000	=	60 H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα (60 H) θα αποθηκευτεί στον TMR0, ενώ ο W θα κρατήσει την αρχική του τιμή (DB H). Οι σημαίες θα γίνουν:

C = 1 (η πράξη δίνει κρατούμενο),
DC = 1 (η πράξη δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

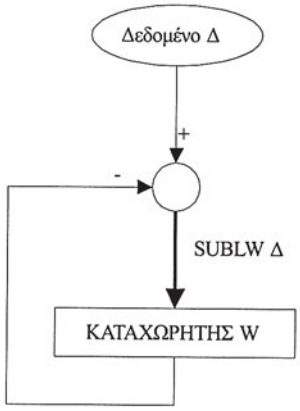
ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

• SUBLW Δ

Οι αριθμητικές εντολές περιλαμβάνουν και την εντολή της αφαίρεσης. Η εντολή, στη δομή και λειτουργία της, μοιάζει με αυτή της πρόσθεσης ενός αριθμού με τον καταχωρητή W. Ας δούμε και εδώ την εντολή σε έναν συνοπτικό πίνακα.

ΣΥΝΤΑΞΗ	SUBLW Δ
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Το Δ παίρνει τιμή από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΕΣ	C, DC, Z

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή W, αφαιρείται από το δεδομένο και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W (σχήμα 5.16).



Σχήμα 5.16 *Αφαίρεση του περιεχομένου του καταχωρητή W από το δεδομένου Δ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή SUBLW Δ.*

Όπως και στην αντίστοιχη εντολή πρόσθεσης, το δεδομένο Δ παίρνει τιμές από το 0 ως το 255. Επίσης, και εδώ, η συγκεκριμένη πράξη επηρεάζει τις σημαίες του κρατούμενου (C), του ενδιάμεσου κρατούμενου (DC) και του μηδενισμού (Z). Η εντολή χρησιμοποιεί άμεση διευθυνσιοδότηση.

Στην συνέχεια, δίνουμε, τρία παραδείγματα τα οποία θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία της εντολής.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 6D H και ότι δίνουμε την εντολή SUBLW D1 H τότε:

$$\begin{array}{rlcl} & 1101\ 0001 & = & \text{D1 H} \\ - & \underline{0110\ 1101} & = & \underline{\text{6D H}} \\ & 0110\ 0100 & = & \text{64 H} \end{array}$$

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα

θα έχουμε W = 64 H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:
C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 1 (η πράξη δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα από τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

2ο Παράδειγμα
Έστω ότι W = A4 H και ότι δίνουμε την εντολή SUBLW 21 H τότε:

	0010 0001	=	21 H
-	1010 0100	=	A4 H
	0111 1101	=	7D H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 7D H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 1 (η πράξη δίνει κρατούμενο),
DC = 1 (η πράξη δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

3ο Παράδειγμα
Έστω ότι W = 21 H και ότι δίνουμε την εντολή ADDLW 21 H, τότε:

	0010 0001	=	21 H
-	0010 0001	=	21 H
	0000 0000	=	0

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 0, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 0 (η πράξη δε δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 1 (το αποτέλεσμα είναι 0),

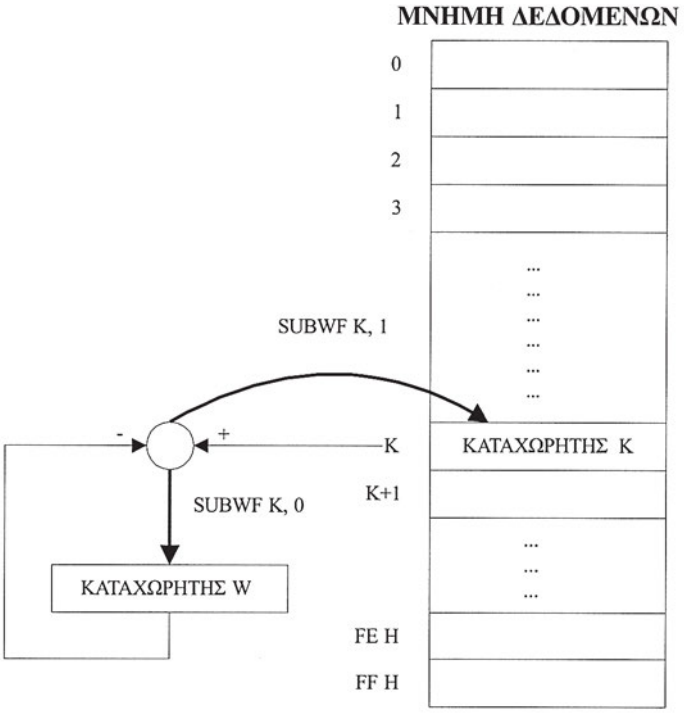
ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

• SUBWF K, d

Οι αριθμητικές εντολές περιλαμβάνουν και την εντολή της αφαίρεσης. Η εντολή, στη δομή και λειτουργία της, μοιάζει με αυτή της πρόσθεσης ενός αριθμού με τον καταχωρητή W.

ΣΥΝΤΑΞΗ	SUBWF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΕΣ	Z, C, DC

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του W, αφαιρείται από το περιεχόμενο του καταχωρητή K και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0, ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.17).



Σχήμα 5.17 *Αφαίρεση του περιεχομένου του καταχωρητή W από το περιεχόμενο του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή SUBWF K, 0 ή στον K με την εντολή SUBWF K, 1.*

Όπως στην αντίστοιχη εντολή πρόσθεσης, ο καταχωρητής παίρνει τιμές από το 0 ως το 127 ή το συμβολικό του όνομα, αν έχει. Παρομοίως με την προηγούμενη εντολή αφαίρεσης οι σημαίες που επηρεάζονται είναι του κρατούμενου (C), του

ενδιάμεσου κρατούμενου (DC) και του μηδενισμού (Z). Στην συνέχεια, δίνουμε, τρία παραδείγματα τα οποία θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία της εντολής.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W= 6D H, TMR0 = D1 H και ότι δίνουμε την εντολή SUBWF TMR0, 0, τότε:

	1101 0001	=	D1 H
-	0110 1101	=	6D H
	0110 0100	=	64 H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και, άρα, θα έχουμε W = 64 H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 1 (η πράξη δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα από τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 67 H, TMR0 = A4 H και ότι δίνουμε την εντολή SUBWF TMR0, 1, τότε:

	0110 0111	=	67 H
-	1010 0100	=	A4 H
	1100 0011	=	C3 H

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον TMR0, αφού το d = 1, και, άρα, θα έχουμε TMR0 = C3 H, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 1 (η πράξη δίνει κρατούμενο),
DC = 0 (η πράξη δε δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 0 (το αποτέλεσμα δεν είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

3ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 21 H, TMR0 = 21 H και ότι δίνουμε την εντολή SUBWF TMR0, 0, τότε:

```
   0010 0001    =    21 H
-  0010 0001    =    21 H
   0000 0000,   =    0
```

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 0, ενώ οι σημαίες θα γίνουν:

C = 0 (η πράξη δε δίνει κρατούμενο),
DC = 0 (η πράξη δε δίνει ενδιάμεσο κρατούμενο) και
Z = 1 (το αποτέλεσμα είναι 0),

ανεξάρτητα με τις τιμές που είχαν πριν την εκτέλεση της εντολής.

Ερωτήσεις

1. Ποια τιμή παίρνουν οι σημαίες C, DC και Z, μετά την εκτέλεση της εντολής ADDWF
2. TMR0, 1, με TMR0=0D H και W=13H;
3. Που αποθηκεύεται το αποτέλεσμα της προηγουμένης ερώτησης;

5.5.4 Εντολές λογικών πράξεων και διαδικασιών

Πέρα από τις εντολές αριθμητικών πράξεων, ο PIC, διαθέτει και μία ομάδα εντολών λογικών πράξεων. Οι εντολές αυτές είναι πολύ χρήσιμες για τον έλεγχο των ενσωματωμένων περιφερειακών μονάδων. Παραδείγματα θα δούμε σε εφαρμογές που θα παρουσιαστούν σε επόμενες ενότητες.

Σε αυτήν την ενότητα θα συμπεριλάβουμε και τρεις εντολές που, μπορούμε να πούμε ότι εκτελούν λογικές διαδικασίες στους καταχωρητές. Οι δύο από αυτές αφορούν ενέργειες περιστροφής καταχωρητών. Η τρίτη αφορά την ανταλλαγή των τεσσάρων σημαντικότερων bits με τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά.

Ο PIC μπορεί να εκτελέσει τις λογικές πράξεις:

- ΚΑΙ (AND)
- Η (OR)
- Αποκλειστικό Η (XOR)
- Συμπλήρωμα ως προς 1
- Περιστροφή προς τα δεξιά
- Περιστροφή προς τα αριστερά
- Ανταλλαγή bits

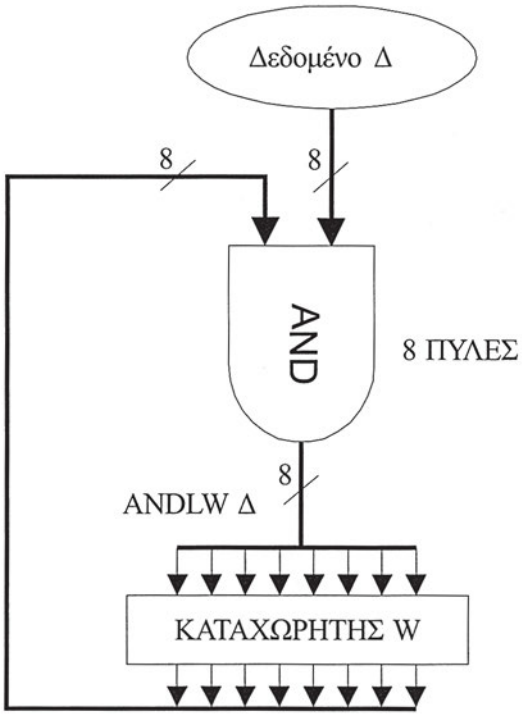
Για τις λογικές πράξεις του AND και του OR, ο PIC διαθέτει, για την κάθε μία, από δύο εντολές. Στην συνέχεια, θα παρουσιάσουμε με τη σειρά τις εντολές αυτές.

• ANDLW Δ

Η πρώτη λογική εντολή, που θα αναλύσουμε, αφορά την απλή διαδικασία της λογικής πράξης ΚΑΙ δύο αριθμών. Παραθέτουμε, λοιπόν, τον πίνακα με τα βασικότερα στοιχεία της εντολής.

ΣΥΝΤΑΞΗ	ANDLW Δ
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Το Δ παίρνει τιμή από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του λογικού ΚΑΙ μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W (σχήμα 5.18).



Σχήμα 5.18 *Εκτέλεση της λογικής πράξης ΚΑΙ μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή ANDLW Δ.*

Και στην κατηγορία των λογικών εντολών, το δεδομένο Δ παίρνει τιμές από το 0 ως το 255. Άλλωστε, το δεδομένο πρέπει να έχει το ίδιο μήκος με τον καταχωρητή W, αφού εκτελείται η λογική πράξη ΚΑΙ, bit προς bit, μεταξύ τους. Η συγκεκριμένη πράξη επηρεάζει τη σημαία του μηδενισμού (Z).

Στη συνέχεια, θα δούμε δύο παραδείγματα με αυτήν την εντολή.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 35 H και ότι δίνουμε την εντολή ANDLW A4 H τότε:

	0011 0101	(35 H)
AND	1010 0100	(A4 H)
	0010 0100	(24 H)

Όπως είπαμε, το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W άρα, θα έχουμε W = 24 H, ενώ η σημαία Z θα γίνει 0.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = AB H και ότι δίνουμε την εντολή ANDLW 14 H τότε:

	1010 1011	(AB H)
AND	0001 0100	(14 H)
	0000 0000	(0)

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει ίση με 1, ανεξάρτητα με την τιμή που είχε πριν την εκτέλεση της εντολής.

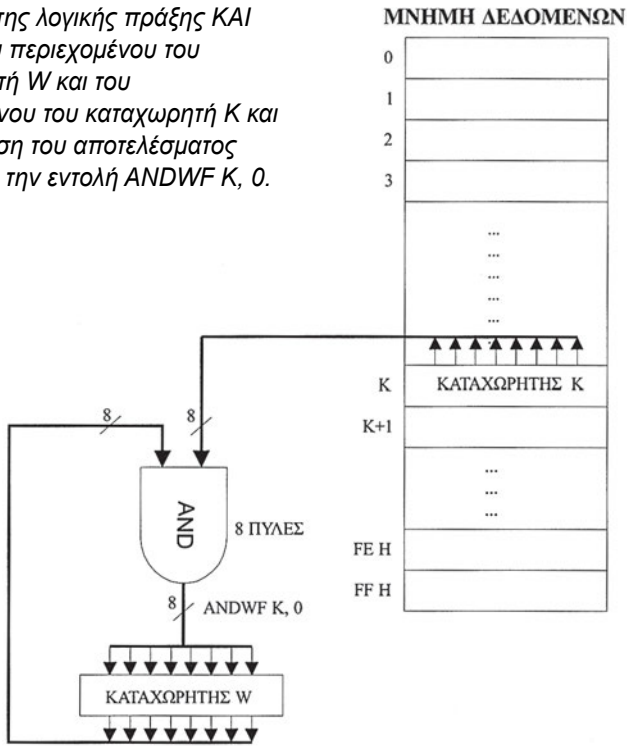
• ANDWF K, d

Η δεύτερη εντολή με την οποία μπορούμε να εκτελέσουμε την λογική πράξη ΚΑΙ, εκτελείται μεταξύ του καταχωρητή W και ενός άλλου καταχωρητή. Όπως και στις αντίστοιχες εντολές αριθμητικών πράξεων, χρησιμοποιούμε ως όρισμα, τη διεύθυνση στη μνήμη δεδομένων, του καταχωρητή αυτού.

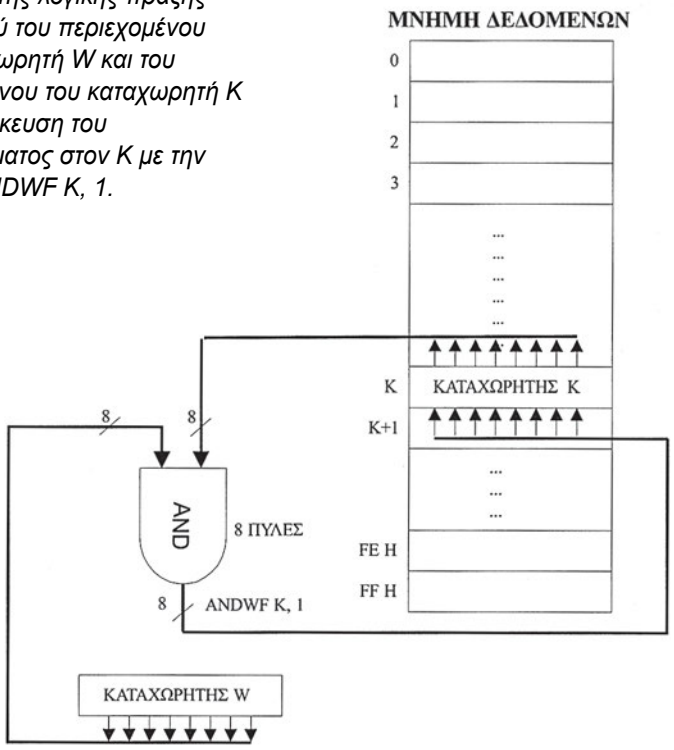
ΣΥΝΤΑΞΗ	ANDWF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του λογικού ΚΑΙ μεταξύ του περιεχομένου του W και του περιεχομένου του καταχωρητή K. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.19α), ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.19β).

Σχήμα 5.19(α) *Εκτέλεση της λογικής πράξης ΚΑΙ μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή ANDWF K, 0.*



Σχήμα 5.19(β) *Εκτέλεση της λογικής πράξης ΚΑΙ μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον Κ με την εντολή ANDWF K, 1.*



Ο καταχωρητής Κ ορίζεται όπως συνήθως. Η εντολή ενημερώνει την σημαία του μηδενισμού (Z).
Θα παραθέσουμε δύο παραδείγματα, που είναι ενδεικτικά της λειτουργίας της εντολής και της διαφοράς της από την προηγούμενη.

1ο Παράδειγμα
Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = A3 H και ο TMR0 = 15 H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή ANDWF TMR0, 0, τότε:

	1010 0011	(A3 H)
AND	0001 0101	(15 H)
	0000 0001	(1)

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W, δηλαδή W = 1, ενώ η σημαία Z θα γίνει 0, αφού το αποτέλεσμα δεν είναι μηδενικό.

2ο Παράδειγμα
Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = 5A H και ο TMR0 = 85 H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή ANDWF TMR0,1 τότε:

	0101 1010	(5A H)
AND	1000 0101	(85 H)
	0000 0000	(0)

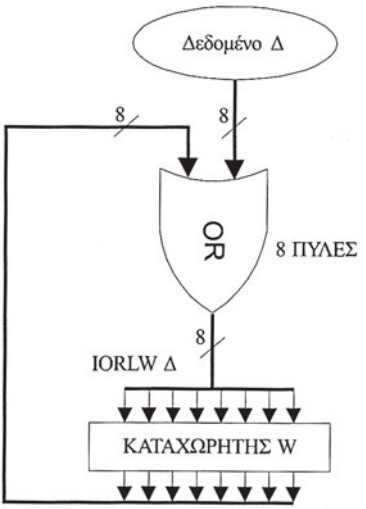
Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον TMR0 και άρα θα έχουμε TMR0 = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει 1, αφού το αποτέλεσμα είναι 0. Ο καταχωρητής W διατηρεί την τιμή του.

• IORLW Δ

Η δεύτερη λογική πράξη, που μπορεί να εκτελέσει ο PIC, είναι το λογικό Η (OR). Η εντολή, που θα αναλύσουμε, εδώ, είναι η αντίστοιχη της ANDLW για το λογικό Η.

ΣΥΝΤΑΞΗ	IORLW Δ
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Το Δ παίρνει τιμή από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του λογικού Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W (σχήμα 5.20).



Σχήμα 5.20 *Εκτέλεση της λογικής πράξης Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή IORLW Δ.*

Όπως πάντα, το δεδομένο παίρνει τιμές από το 0 ως το 255. Η συγκεκριμένη πράξη επηρεάζει την σημαία του μηδενισμού (Z). Ακολούθως, παραθέτουμε δύο παραδείγματα αυτής της εντολής.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 11 Η και ότι δίνουμε την εντολή IORLW 96 Η τότε:

	0001 0001	(11 H)
OR	1001 0110	(96 H)
	1001 0111	(97 H)

Όπως είπαμε, το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W και, άρα, θα έχουμε W = 97 Η, ενώ η σημαία Z = 0, ανεξάρτητα με την τιμή που είχε πριν την εκτέλεση της εντολής.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 0 και ότι δίνουμε την εντολή IORLW 0 τότε:

	0000 0000	(0)
OR	0000 0000	(0)
	0000 0000,	(0)

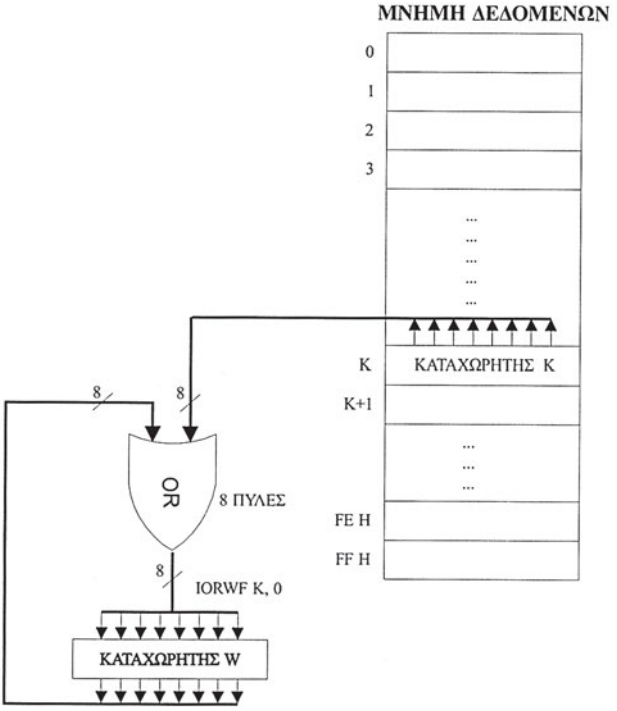
Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και άρα θα έχουμε W = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει ίση με 1, ανεξάρτητα με την τιμή είχε πριν την εκτέλεση της εντολής.

• IORWF K, d

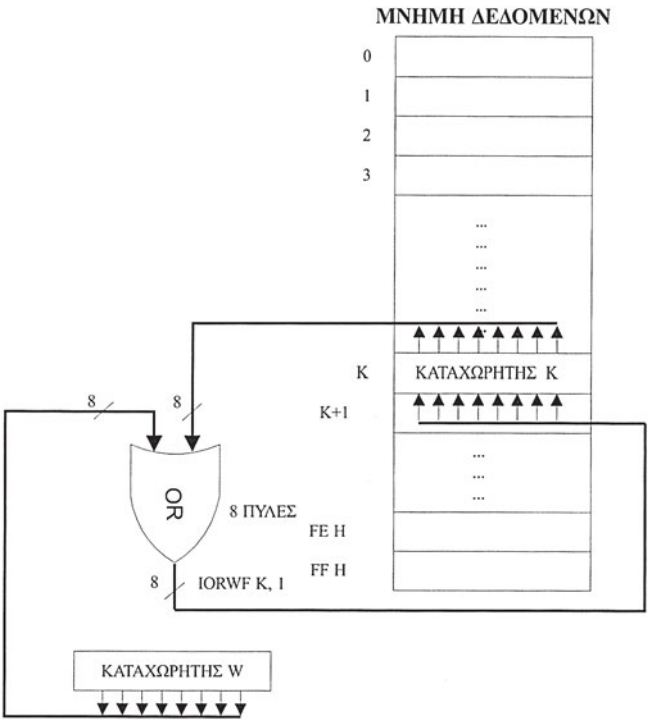
Η δεύτερη εντολή με την οποία μπορούμε να εκτελέσουμε την πράξη του λογικού Η, εκτελείται μεταξύ του καταχωρητή W και ενός άλλου καταχωρητή. Όπως και στην αντίστοιχη εντολή λογικού ΚΑΙ, χρησιμοποιούμε ως όρισμα, τη διεύθυνση στη μνήμη δεδομένων, του καταχωρητή αυτού.

ΣΥΝΤΑΞΗ	ANDWF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του λογικού Η μεταξύ του περιεχομένου του W και του περιεχομένου του καταχωρητή K. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.21α,) ή στον καταχωρητή, αν το d = 1 (σχήμα 5.21β).



Σχήμα 5.21α *Εκτέλεση της λογικής πράξης Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή IORWF K, 0.*



Σχήμα 5.21β *Εκτέλεση της λογικής πράξης Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον K με την εντολή IORWF K, 1.*

Και εδώ, η διεύθυνση του καταχωρητή K παίρνει τιμές από το 0 έως το 127 ή το συμβολικό του όνομα, αν έχει. Επίσης, όπως άλλωστε και στην προηγούμενη εντολή λογικού Η, ενημερώνεται η σημαία του μηδενισμού (Z).

1ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = E4 H και ο TMR0 = 5. Έστω ότι δίνουμε την εντολή IORWF TMR0, 0, τότε:

```
        1110 0100     (E4 H)
OR      0000 0101     (5)
        1110 0101     (E5 H)
```

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W, δηλαδή W = E5 H, ενώ η σημαία Z θα γίνει 0.

2ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = 0 και ο TMR0 = 0. Έστω ότι δίνουμε την εντολή IORWF TMR0, 1 τότε:

```
      0000 0000    (0)
OR    0000 0000    (0)
      0000 0000    (0)
```

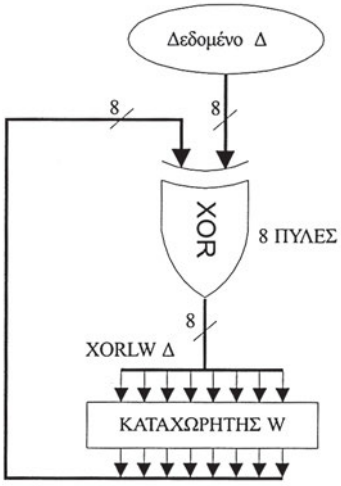
Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον TMR0 και, συνεπώς, θα έχουμε TMR0 = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει 1, αφού το αποτέλεσμα είναι 0. Ο καταχωρητής W διατηρεί την τιμή του.

• XORLW Δ

Η τρίτη λογική πράξη, που μπορεί να εκτελέσει ο PIC, είναι του λογικού αποκλειστικού Η (XOR). Η εντολή, που θα αναλύσουμε, είναι η αντίστοιχη των ANDLW και IORLW για το αποκλειστικό Η.

ΣΥΝΤΑΞΗ	XORLW Δ
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Το Δ παίρνει τιμές από 0 έως 255.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του αποκλειστικού Η (XOR) μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή W (σχήμα 5.22).



Σχήμα 5.22 *Εκτέλεση της λογικής πράξης αποκλειστικού Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του δεδομένου Δ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή XORLW Δ.*

Το δεδομένο Δ παίρνει τιμές από το 0 ως το 255. Παρομοίως, με τις προηγούμενες λογικές εντολές, η παρούσα επηρεάζει την σημαία του μηδενισμού (Z). Συνεχίζουμε με δύο παραδείγματα της εντολής αυτής.

1ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = 19 H και ότι δίνουμε την εντολή XORLW 97 H τότε:

	0001 1001	(1A H)
XOR	1001 0111	(97 H)
	1000 1110	(8D H)

Ως γνωστόν, το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W και, άρα, έχουμε W = 8D H, ενώ η σημαία Z γίνεται 0, αφού το αποτέλεσμα είναι διάφορο του μηδενός.

2ο Παράδειγμα

Έστω ότι W = CB H και ότι δίνουμε την εντολή XORLW CB H τότε:

	1100 1011	(CB H)
XOR	1100 1011	(CB H)
	0000 0000	(0)

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W και, άρα, θα έχουμε W = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει 1, αφού έχουμε μηδενικό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα με την τιμή που είχε πριν την εκτέλεση της εντολής.

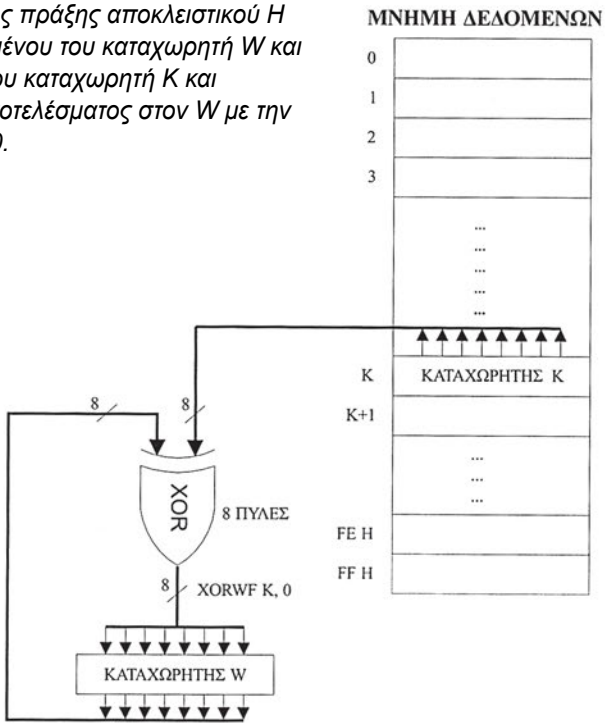
• XORWF K, d

Η δεύτερη εντολή με την οποία μπορούμε να εκτελέσουμε την πράξη του λογικού αποκλειστικού Η, εκτελείται μεταξύ του καταχωρητή W και ενός άλλου καταχωρητή. Όπως και στην αντίστοιχη εντολή λογικού Η, χρησιμοποιούμε ως όρισμα, την διεύθυνση στην μνήμη δεδομένων, του καταχωρητή αυτού.

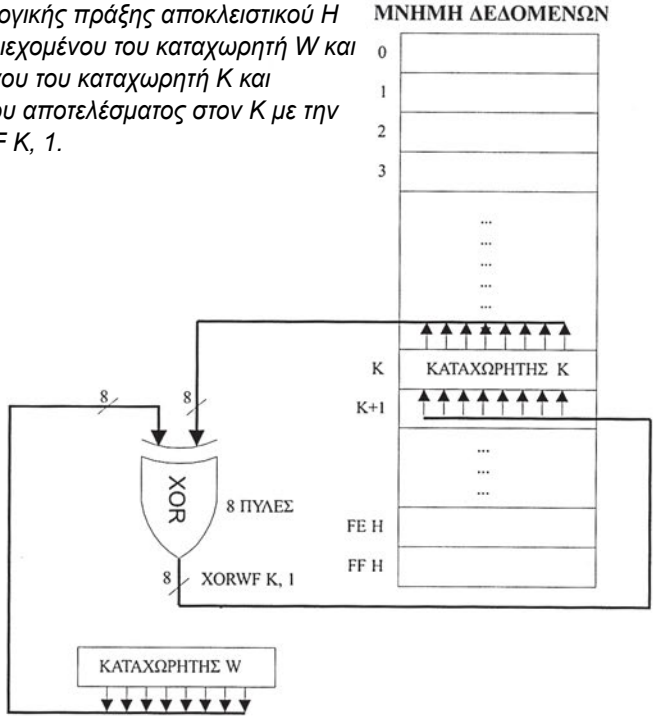
ΣΥΝΤΑΞΗ	XORWF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Εκτέλεση της πράξης του αποκλειστικού Η μεταξύ του περιεχομένου του W και του περιεχομένου του καταχωρητή K. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.23α), ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.23β).

Σχήμα 5.23α *Εκτέλεση της λογικής πράξης αποκλειστικού Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον W με την εντολή XORWF K, 0.*



Σχήμα 5.23β *Εκτέλεση της λογικής πράξης αποκλειστικού Η μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον Κ με την εντολή XORWF K, 1.*



Το όρισμα K αντιστοιχεί στη διεύθυνση του καταχωρητή που θέλουμε. Επίσης, όπως άλλωστε και στην προηγούμενη εντολή αποκλειστικού Η, ενημερώνεται η σημαία του μηδενισμού (Z).

Ακολουθούν, δύο παραδείγματα, με την εντολή αυτή.

1ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = ED H και ο TMR0 = A5 H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή XORWF TMR0, 0, τότε:

	1110 1101	(ED H)
XOR	1010 0101	(A5 H)
	0100 1000	(48 H)

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W, δηλαδή W = 48 H, ενώ η σημαία Z θα γίνει 0, αφού το αποτέλεσμα δεν είναι 0. Ο TMR0 θα παραμείνει ως έχει.

2ο Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι ο καταχωρητής W = 62 H και ο TMR0 = 62 H. Έστω ότι δίνουμε την εντολή XORWF TMR0, 1 τότε:

	0110 0010	(62 H)
XOR	0110 0010	(62 H)
	0000 0000	(0)

Σύμφωνα με την εντολή, το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον TMR0 και, άρα, θα έχουμε TMR0 = 0, ενώ η σημαία Z θα γίνει 1, αφού το αποτέλεσμα είναι 0. Ο καταχωρητής W διατηρεί την τιμή του.

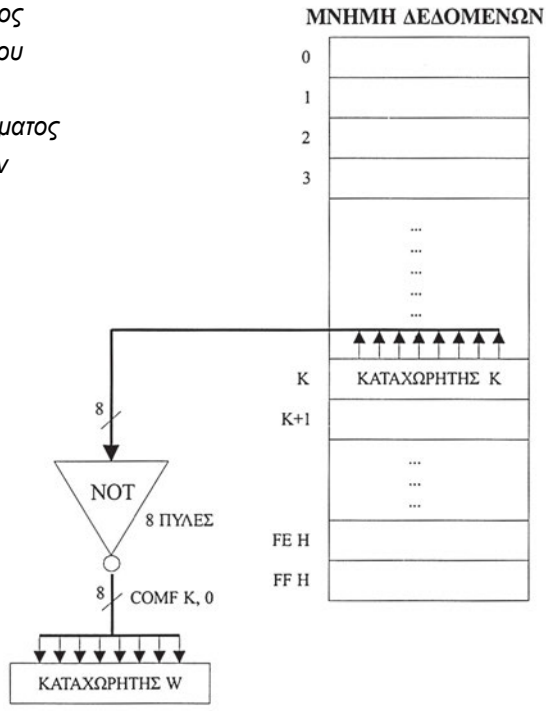
• COMF K, d

Εκτός των γνωστών λογικών πράξεων, του ΚΑΙ και του Η, οι λογικές εντολές περιλαμβάνουν και την εντολή του συμπληρώματος.

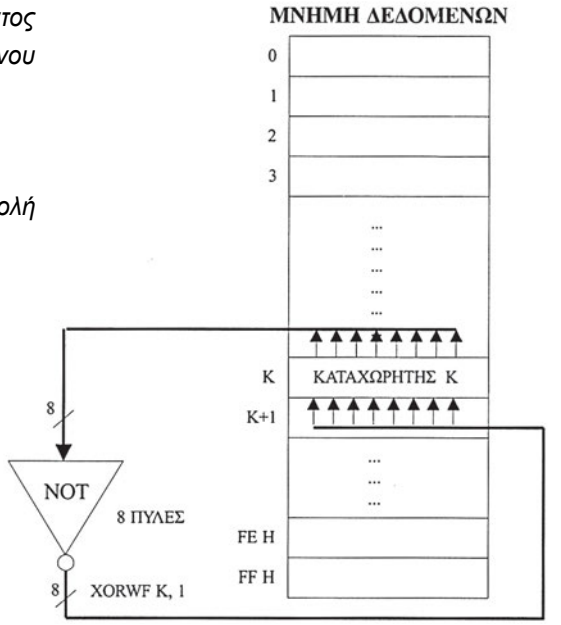
ΣΥΝΤΑΞΗ	COMF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	Z

Περιγραφή: Το συμπλήρωμα ως προς 1 του καταχωρητή Κ, αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.24α), ή στον καταχωρητή Κ, αν το d = 1(σχήμα 5.24β).

Σχήμα 5.24α *Εύρεση του συμπληρώματος ως προς 1 του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W, με την εντολή COMF K, 0.*



Σχήμα 5.24β *Εύρεση του συμπληρώματος ως προς 1 του περιεχομένου του καταχωρητή Κ και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή Κ, με την εντολή COMF K, 1.*



Στη συνέχεια, δίνουμε, δύο παραδείγματα, για να δούμε καλύτερα πώς λειτουργεί η εντολή αυτή.

1ο Παράδειγμα
Έστω ότι W = 6D H και TMR0 = 71 H.
Δίνουμε την εντολή COMF TMR0, 0.
Τότε, το αποτέλεσμα θα είναι 8E H και θα αποθηκευτεί στον W, δηλαδή W = 8E H, αφού το όρισμα d = 0.
Η σημαία Z = 0, αφού το αποτέλεσμα δεν είναι 0, ανεξάρτητα με το τι ήταν πριν.

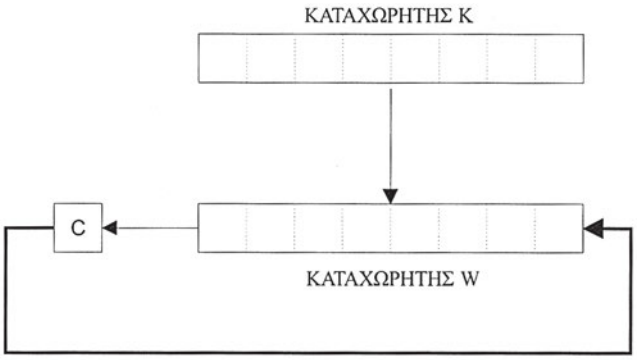
2ο Παράδειγμα
Έστω ότι W = 5A H και TMR0 = FF H.
Δίνουμε την εντολή COMF TMR0, 1.
Τότε, το αποτέλεσμα θα είναι 0 και θα αποθηκευτεί στον TMR0, δηλαδή TMR0 = 0, αφού το όρισμα d = 1.
Η σημαία Z = 1, αφού το αποτέλεσμα είναι 0, ανεξάρτητα με το τι ήταν πριν.

• RLF K, d

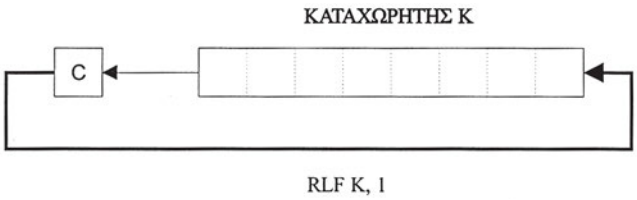
Όπως είπαμε, ο PIC διαθέτει δύο εντολές που του δίνουν τη δυνατότητα να εκτελεί περιστροφή στο περιεχόμενο ενός καταχωρητή. Ας δούμε, λοιπόν, το συνοπτικό πίνακα της πρώτης εντολής, που περιστρέφει το περιεχόμενο του καταχωρητή προς τα αριστερά, και, στη συνέχεια, ένα επεξηγηματικό σχήμα.

ΣΥΝΤΑΞΗ	RLF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΕΣ	C

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K και η σημαία C περιστρέφονται προς τα αριστερά κατά ένα bit. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.25α), ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.25β)



Σχήμα 5.25α *Αριστερή περιστροφή του περιεχομένου του καταχωρητή Κ, μέσω σημαίας C, και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W, με την εντολή RLF K, 0.*



Σχήμα 5.25β *Αριστερή περιστροφή του περιεχομένου του καταχωρητή Κ, μέσω σημαίας C, και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή Κ, με την εντολή RLF K, 1.*

Η περιστροφή γίνεται όπως φαίνεται στα σχήματα 5.25α και 5.25β.

Τα ορίσματα της εντολής δηλώνουν ό,τι και στις υπόλοιπες εντολές. Η εντολή επηρεάζει τη σημαία του κρατούμενου, C, αφού αυτή παίρνει μέρος στην περιστροφή. Ακολουθεί ένα παράδειγμα που βοηθά στη κατανόηση της λειτουργίας της εντολής αυτής.

Παράδειγμα

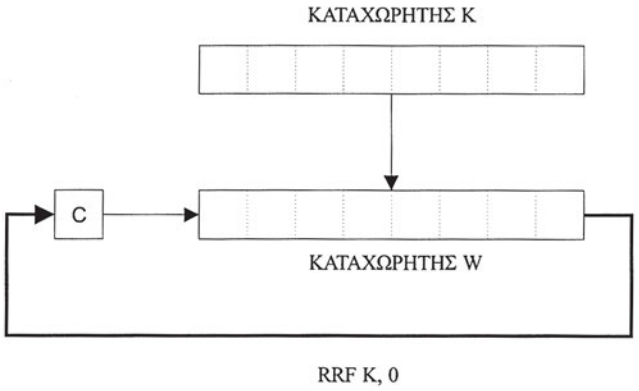
Έστω ότι ο καταχωρητής W = 54 H, ο TMR0 = AB H και η σημαία C = 0.
Δίνουμε την εντολή RLF TMR0, 0. Το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον W, αφού το όρισμα d = 0, και θα είναι W = 56 H, ενώ το C = 1. Ο καταχωρητής TMR0 διατηρεί την αρχική τιμή του.

• RRF K, d

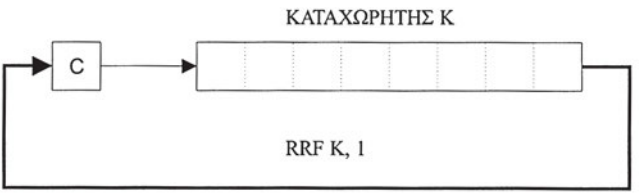
Η δεύτερη εντολή περιστροφής που διαθέτει ο PIC, περιστρέφει το περιεχόμενο ενός καταχωρητή προς τα δεξιά. Ας δούμε, λοιπόν, το συνοπτικό πίνακα της εντολής και ένα επεξηγηματικό σχήμα.

ΣΥΝΤΑΞΗ	RRF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	C

Περιγραφή: Το περιεχόμενο του καταχωρητή K και η σημαία C περιστρέφονται προς τα δεξιά κατά ένα bit. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.26α), ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.26β).



Σχήμα 5.26α *Δεξιά περιστροφή του περιεχομένου του καταχωρητή K, μέσω σημαίας C, και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W, με την εντολή RRF K, 0.*



Σχήμα 5.26β *Δεξιά περιστροφή του περιεχομένου του καταχωρητή K, μέσω σημαίας C, και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή K, με την εντολή RRF K, 1.*

Η εντολή είναι παρόμοια με την προηγούμενη. Η διαφορά είναι ότι η περιστροφή γίνεται προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στα σχήματα 5.26α και 5.26β.

Επίσης, και εδώ, τα ορίσματα της εντολής δηλώνουν ό,τι και στις υπόλοιπες εντολές. Η εντολή επηρεάζει τη σημαία του κρατούμενου, C, αφού και αυτή παίρνει μέρος στην περιστροφή.

Στην συνέχεια, δίνουμε, ένα παράδειγμα με την εντολή για την πλήρη κατανόηση της λειτουργίας της.

Παράδειγμα

Έστω ότι ο καταχωρητής W = 54 H, ο TMR0 = AB H και η σημαία C = 0, όπως και

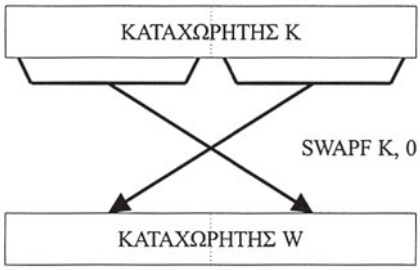
στο παράδειγμα της προηγούμενης εντολής.
Δίνουμε την εντολή RRF TMR0, 1.
Το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον καταχωρητή TMR0, αφού το όρισμα d = 1, και θα είναι TMR0 = 55 H, ενώ το C = 1. Ο καταχωρητής W διατηρεί την αρχική τιμή του, αφού, στην πραγματικότητα δε χρησιμοποιείται.

• SWAPF K, d

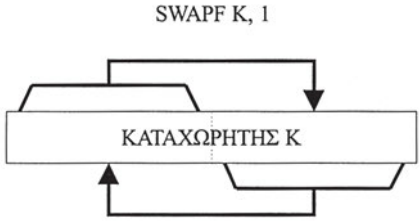
Πέραν των εντολών περιστροφής, ο PIC έχει τη δυνατότητα με μία μόνον εντολή να αντιμεταθέσει τα 4 περισσότερο σημαντικά bits, ενός καταχωρητή, με τα 4 λιγότερο σημαντικά. Ο συνοπτικός πίνακας της εντολής έχει ως εξής:

ΣΥΝΤΑΞΗ	SWAPF K, d
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το d παίρνει τιμές από 0 έως 127.
ΣΗΜΑΙΑ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Τα bits 0 έως 3, του καταχωρητή K, αντιμετατίθενται με τα bits 4 ως 7, του ίδιου καταχωρητή. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον W, αν το d = 0 (σχήμα 5.27α), ή στον καταχωρητή K, αν το d = 1 (σχήμα 5.27β).



Σχήμα 5.27α *Αντιμετάθεση των δύο μισών του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή W, με την εντολή SWAPF K, 0.*



Σχήμα 5.27β *Αντιμετάθεση των δύο μισών του καταχωρητή K και αποθήκευση του αποτελέσματος στον καταχωρητή K, με την εντολή SWAPF K, 1.*

Τα ορίσματα της εντολής έχουν την ίδια σημασία με αυτά στις υπόλοιπες εντολές. Η εντολή δεν επηρεάζει καμία σημαία. Ακολουθεί ένα παράδειγμα με την εντολή.

Παράδειγμα
Έστω ότι ο καταχωρητής W = 43 H και ο καταχωρητής TMR0 = 61 H.
Δίνουμε την εντολή SWAP TMR0, 1.
Το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί στον καταχωρητή TMR0, αφού το όρισμα d = 1, και θα είναι TMR0 = 16 H, ενώ οι σημαίες δεν επηρεάζονται. Ο καταχωρητής W διατηρεί την αρχική τιμή του, αφού, στην πραγματικότητα δε χρησιμοποιείται.

- **NOP**

Η εντολή αυτή δεν κάνει απολύτως τίποτε παρά να καταλαμβάνει μία θέση στην μνήμη προγράμματος και να εισάγει μία καθυστέρηση ενός κύκλου εντολής.

ΣΥΝΤΑΞΗ	NOP
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	ΚΑΝΕΝΑ
ΣΗΜΑΙΑ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Δεν εκτελείται καμία λειτουργία.

Δεν υπάρχει λόγος να παραθέσουμε κάποιο παράδειγμα με την εντολή, αφού είναι πολύ απλή.

Ερωτήσεις

1. Ποιο το αποτέλεσμα της εντολής 'ADDWF TMR0, 1', όπου TMR0=77 H και W=77 H;
2. Σε ποιόν καταχωρητή θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα της προηγούμενης πράξης και ποια θα είναι η τιμή της σημαίας Z;
3. Τι τιμή θα πάρει η σημαία Z αν πριν από την εντολή της πρώτης ερώτησης εκτελέσουμε την εντολή 'COMF TMR0, 0';
4. Ποια η τιμή της σημαίας C μετά την εκτέλεση της εντολής 'RLF TMR0, 0', όπου TMR0=8A H. Σε ποιόν καταχωρητή αποθηκεύεται το αποτέλεσμα της πράξης;

5.5.5 Εντολές επεξεργασίας bit

Πέραν, των εντολών ενός μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή που διαχειρίζονται byte, υφίσταται συχνά η ανάγκη να επέμβουμε μόνο σε ένα bit, χωρίς να επηρεάζουμε τα υπόλοιπα bits του καταχωρητή. Ο PIC διαθέτει τέσσερις (4) εντολές που εκτελούν λειτουργίες επεξεργασίας bit σε έναν καταχωρητή, τις οποίες θα δούμε ακολούθως.

• BSF K, b

Η πρώτη εντολή χρησιμοποιείται για να θέσει στο 1 ένα bit ενός καταχωρητή. Στη συνέχεια δίνουμε τον πίνακα με τα κυριότερα στοιχεία της εντολής.

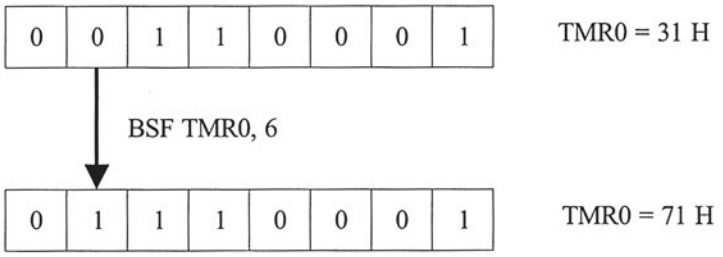
ΣΥΝΤΑΞΗ	BSF K, b
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το b παίρνει τιμές από 0 έως 7.
ΣΗΜΑΙΑ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Το bit του καταχωρητή K, που η θέση του δηλώνεται από τον αριθμό b, γίνεται 1.

Ο καταχωρητής επιλέγεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Το b δηλώνει την θέση του bit, που θα γίνει 1, στον καταχωρητή. Παρακάτω, βλέπουμε και ένα παράδειγμα.

Παράδειγμα

Έστω ότι TMR0 = 31 H (0011 0001B).
Δίνουμε την εντολή BSF TMR0, 6.
Τότε, το αποτέλεσμα γίνεται:
TMR0 = 71 H (0111 0001B)
Οι σημαίες δεν επηρεάζονται, ενώ το bit 6 γίνεται 1 ανεξάρτητα από την τιμή που είχε προηγουμένως (σχήμα 5.28).



Σχήμα 5.28 *Τοποθέτηση του 1 στο 6ο ψηφίο του καταχωρητή TMR0, με την εντολή BSF TMR0, 6.*

• BCF K, b

Η δεύτερη εντολή χρησιμοποιείται για να μηδενίσει ένα bit ενός καταχωρητή.

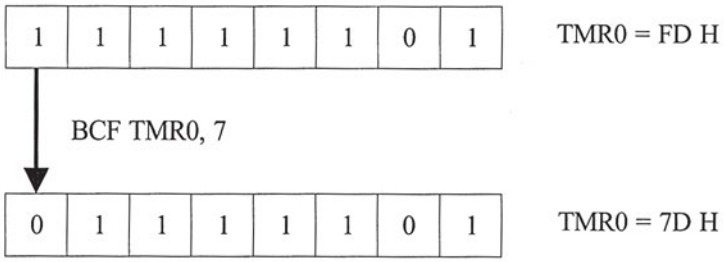
ΣΥΝΤΑΞΗ	BCF K, b
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το b παίρνει τιμές από 0 έως 7.

ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Το bit b του καταχωρητή γίνεται 0.

Για τα ορίσματα ισχύει ό,τι και στην προηγούμενη εντολή, μόνο που στην περίπτωση αυτή το b δείχνει το bit που θα γίνει 0. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την εντολή, παραθέτουμε ένα παράδειγμά της.

Παράδειγμα
Έστω ότι TMR0 = FD H (1111 1101B).
Δίνουμε την εντολή BSF TMR0, 7.
Τότε, το αποτέλεσμα γίνεται:
TMR0 = 7D H (0111 1101B)
Οι σημαίες δεν επηρεάζονται, ενώ το bit 7 γίνεται 0 ανεξάρτητα από την προηγούμενη τιμή του (σχήμα 5.29).



Σχήμα 5.29 *Τοποθέτηση του 0 στο 7ο ψηφίο του καταχωρητή TMR0, με την εντολή BCF TMR0, 7.*

• BTFSS K, b

Η παρούσα εντολή ελέγχει την τιμή του bit, που η θέση στον καταχωρητή K του δηλώνεται με τον αριθμό b, και αν το bit αυτό είναι 1 δεν εκτελείται η αμέσως επόμενη εντολή.

ΣΥΝΤΑΞΗ	BTFSS K, b
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	• Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. • Το b παίρνει τιμές από 0 έως 7.
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Ελέγχεται το bit, που η θέση του στον καταχωρητή K δηλώνεται με τον αριθμό b και αν είναι 1, τότε εκτελείται η μεθεπόμενη εντολή ενώ αν είναι 0, εκτελείται η επόμενη.

Το b δηλώνει την θέση του bit στον καταχωρητή Κ. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι το συγκεκριμένο bit είναι 1, τότε, εκτελείται η μεθεπόμενη εντολή. Η διαδικασία διαρκεί 2 κύκλους μηχανής, όπως έχουμε εξηγήσει στην ενότητα 5.4. Αν ο έλεγχος διαπιστώσει ότι το bit είναι 0, τότε, η εκτέλεση του προγράμματος γίνεται κανονικά. Το bit του καταχωρητή δεν αλλάζει ούτε οι σημαίες επηρεάζονται.

Παράδειγμα
Έστω το ακόλουθο πρόγραμμα:

1. MOVLW 84 H
2. MOVWF TMR0, 1
3. BTFSS TMR0, 2
4. BSF TMR0, 1
5. BSF TMR0, 3

Το πρόγραμμα, με τις δύο πρώτες εντολές, φορτώνει στον καταχωρητή TMR0 την τιμή 84 H (1000 0100 B). Η εντολή BTFSS TMR0, 2, ελέγχει τον καταχωρητή και βλέπει ότι το bit 2 (αρίθμηση από 0 ως 7) είναι 1. Τότε, εκτελεί την πέμπτη εντολή και παρακάμπτει την τέταρτη. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος ο καταχωρητής TMR0 = 8C H.

Αν, αρχικά, ο καταχωρητής TMR0 λάμβανε την τιμή 80 H, τότε το πρόγραμμα θα εκτελούσε και την τέταρτη εντολή. Έτσι, μετά την εκτέλεσή του, ο καταχωρητής TMR0 = 8A H.

Ας προσέξουμε ότι, και στις δύο περιπτώσεις, το πρόγραμμα θέλει 5 κύκλους μηχανής για να εκτελεσθεί.

• BTFSC K, b

Πρόκειται για εντολή παρόμοια με την προηγούμενη. Η διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια αλλά εκτελείται όταν το συγκεκριμένο bit είναι 0 αντί 1.

ΣΥΝΤΑΞΗ	BTFSC K, b
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	● Το K παίρνει τιμές από 0 έως 127 ή είναι το συμβολικό όνομα ενός καταχωρητή. ● Το b παίρνει τιμές από 0 έως 7.
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Ελέγχεται το bit, που η θέση του στον καταχωρητή Κ δηλώνεται με τον αριθμό b και αν είναι 0, τότε εκτελείται η μεθεπόμενη εντολή ενώ αν είναι 1, εκτελείται η επόμενη.

Δεν θα επεκταθούμε περισσότερο, αφού, όπως είπαμε, είναι παρόμοια με την προηγούμενη.

Ερωτήσεις

1. Έστω ότι TMR0=35 H. Ποια η τιμή του καταχωρητή αυτού μετά την εκτέλεση της εντολής 'BSF TMR0,1';
2. Ποια η τιμή του καταχωρητή της προηγουμένης ερώτησης μετά την εκτέλεση της εντολής 'BCF TMR0, 4';
3. Αν αρχικά ο καταχωρητής TMR0=35 H, ποια τιμή θα έχει μετά την εκτέλεση του παρακάτω προγράμματος:

```
BTFSC TMR0, 3
BSF TMR0, 1
BSF TMR0, 7
```

5.5.6 Εντολές άλματος (αλλαγής ροής προγράμματος)

Τελευταία αφήσαμε την κατηγορία εντολών άλματος, οι οποίες προκαλούν αλλαγή στην ροή του προγράμματος. Σε ένα πρόγραμμα οι εντολές εκτελούνται με την σειρά με την οποία είναι γραμμένες. Όμως, συχνά, είναι απαραίτητο να αλλάξουμε την ροή αυτή. Ο PIC υποστηρίζει την διαδικασία αυτή μέσω κάποιων εντολών που διαθέτει. Ας δούμε, τώρα, την πρώτη από τις εντολές αυτές, ενώ άλλες τρεις θα περιγράψουμε αφού μιλήσουμε για τις ρουτίνες.

• GOTO Διεύθυνση

Μετά την εκτέλεση της εντολής GOTO *Διεύθυνση* η εκτέλεση του προγράμματος συνεχίζει με την εντολή στη θέση *Διεύθυνση.*

ΣΥΝΤΑΞΗ	GOTO Διεύθυνση
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Η Διεύθυνση παίρνει τιμές από 0 έως 2047.
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Ο καταχωρητής PC φορτώνει τη Διεύθυνση που δίνουμε.

Επίσης, πρέπει να τονίσουμε ότι η εντολή εκτελείται σε 2 κύκλους εντολής, όπως είπαμε και στην ενότητα 5.5.

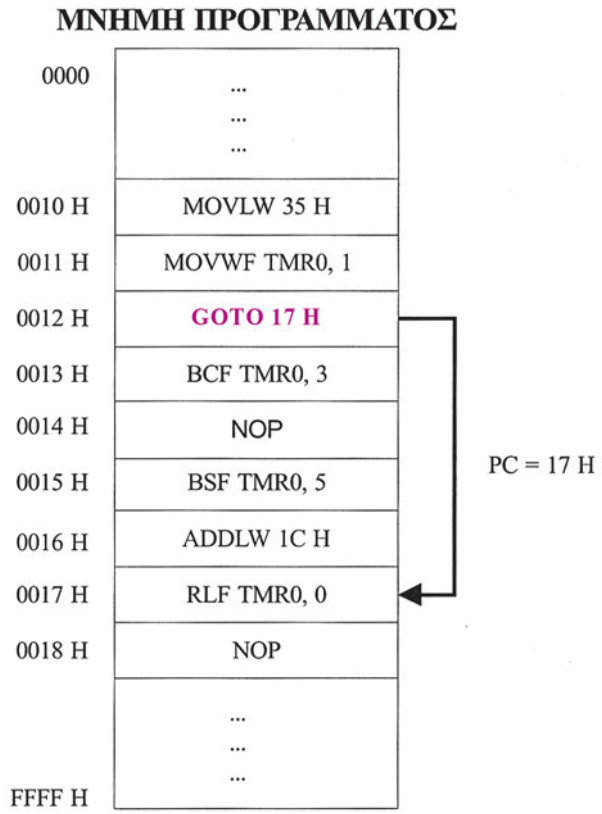
Ακολουθεί ένα παράδειγμα με την εντολή αυτή.

Παράδειγμα

Έστω το ακόλουθο πρόγραμμα, το οποίο αρχίζει στην διεύθυνση 10 H: 010 H:
MOVLW 35 H
011 H: MOVWF TMR0, 1
012 H: GOTO 17 H
013 H: BCF TMR0, 3

014 H: NOP
015 H: BSF TMR0, 5
016 H: ADDLW 1C H
017 H: RLF TMR0, 0
018 H: NOP

Η εντολή GOTO φορτώνει τον καταχωρητή PC με την τιμή 17 H. Έτσι, μετά την εντολή αυτή, ο PIC θα εκτελέσει την εντολή που βρίσκεται στη διεύθυνση 17 H, δηλαδή την RLF TMR0, 0 (σχήμα 5.30).



Σχήμα 5.30 *Η εκτέλεση του προγράμματος από τη θέση 12 H της μνήμης προγράμματος, συνεχίζεται στη θέση 17 H, με την εντολή GOTO 17 H, η οποία φορτώνει στον καταχωρητή PC την τιμή 17 H.*

Το πρόγραμμα θα εκτελεστεί σε 6 κύκλους εντολής.

5.6 Μεθοδολογία προγραμματισμού σε γλώσσα Assembly

Στην προηγούμενη ενότητα είδαμε αναλυτικά τις εντολές του PIC. Εύκολα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχουν εντολές αντίστοιχες με αυτές

των γλωσσών υψηλού επιπέδου, όπως αυτών της γλώσσας C ή BASIC. Στην πραγματικότητα, κάθε εντολή των γλωσσών υψηλού επιπέδου μεταφράζεται σε μία σειρά εντολών Assembly από το σύστημα.

Ας μην ξεχνάμε τη φύση της γλώσσας Assembly. Στις άλλες γλώσσες προγραμματίζουμε γράφοντας κώδικα που μοιάζει με τον τρόπο που σκεφτόμαστε. Η Assembly βρίσκεται πολύ κοντά στην μηχανή. Έτσι, όταν γράφουμε κώδικα, πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο μικροελεγκτής. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αναλύουμε το εκάστοτε πρόβλημα στις στοιχειώδεις συνιστώσες του. Να εξετάζουμε κάθε μία ξεχωριστά και, κατόπιν, να βλέπουμε πώς μπορούμε να τις συνθέσουμε για να το λύσουμε.

Στην παρούσα ενότητα θα δούμε πώς μπορούμε να υλοποιήσουμε διάφορες λογικές, οι οποίες είναι απαραίτητες στον προγραμματισμό. Συγκεκριμένα, θα εξετάσουμε πώς μπορούμε να γράψουμε σε γλώσσα Assembly τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Ανάγνωση - Εγγραφή μνήμης
- Ρουτίνες
- Αλλαγή ροής προγράμματος υπό συνθήκη
- Χρονική καθυστέρηση
- Βρόχος WHILE - DO

Οι διαδικασίες που θα παρουσιάσουμε είναι υποδειγματικές του τρόπου που λειτουργεί ο PIC. Τονίζουμε ότι δεν είναι οι μόνες που μπορεί να υλοποιήσει ο μικροελεγκτής μας. Κάθε ζητούμενη διαδικασία είναι δυνατόν, με τον κατάλληλο προγραμματισμό, να υλοποιηθεί. Ωστόσο, η ανάλυση των παραπάνω διαδικασιών και η προσεκτική εξέταση του τρόπου λειτουργίας τους, θα μας δώσει τη δυνατότητα να γράψουμε κώδικα για παρόμοιες περιπτώσεις που είναι πιθανό να συναντήσουμε.

Πριν, όμως, προχωρήσουμε στην επεξήγηση όλων αυτών, ας δούμε τι μπορεί να περιέχει μία γραμμή κώδικα Assembly. Πέραν της εντολής και των ορισμάτων της, η γραμμή κώδικα μπορεί να περιέχει μία ετικέτα και σχόλια. Η διάταξη είναι η εξής:

	Ετικέτα	**Εντολή**	**Ορίσματα**	**;Σχόλια**
Π.χ.	ROUT1	MOVLW	45 H	;W = 45 H

Η ετικέτα είναι ένα συμβολικό όνομα της διεύθυνσης του προγράμματος, ενώ τα σχόλια χωρίζονται από την υπόλοιπη γραμμή με το σύμβολο ';'.

5.6.1 Ανάγνωση - Εγγραφή μνήμης

Είναι αδύνατο να υπάρξει πρόγραμμα που να μη γράφει στη μνήμη δεδομένα ή, έστω, να διαβάζει από αυτήν. Στις γλώσσες υψηλού επιπέδου, μπορούμε να εκτελέσουμε αυτές τις διαδικασίες με απλές εντολές, όπως READ (δεδομένο) ή WRITE (δεδομένο), χωρίς να ενδιαφερόμαστε για τη φυσική θέση που αυτό αποθηκεύεται στην μνήμη δεδομένων.

Όταν γράφουμε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Assembly, τότε, είμαστε υποχρεωμένοι να επιλέξουμε εμείς πού ακριβώς στην μνήμη θα γραφεί το συγκεκριμένο δεδομένο, δηλαδή σε ποια διεύθυνσή της. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο τα προγράμματα, που είναι γραμμένα στην γλώσσα αυτή, είναι αρκετά πολύπλοκα. Όμως, για τον ίδιο λόγο, με την γλώσσα αυτή, μπορούμε να ελέγξουμε πλήρως τον μικροελεγκτή μας.

Όπως είδαμε και στην αρχή του κεφαλαίου μας, η μνήμη του PIC αναφέρεται ως αρχείο καταχωρητών. Στο μικροελεγκτή μας, λοιπόν, οι θέσεις μνήμης αναφέρονται και σαν καταχωρητές. Για παράδειγμα, η θέση μνήμης με διεύθυνση 30 H, λέγεται και καταχωρητής 30 H. Στην συνέχεια, θα εξετάσουμε δύο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις ανάγνωσης και εγγραφής στους καταχωρητές αυτούς:

- **Εγγραφή δεδομένου σε καταχωρητή**

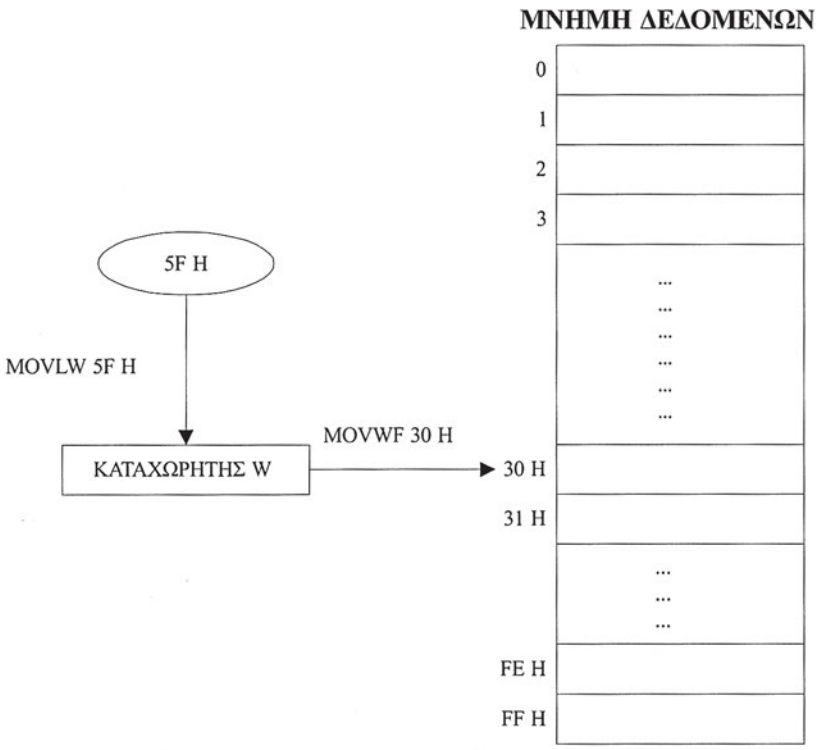
Η διαδικασία της εγγραφής δεδομένου σε έναν καταχωρητή αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε προγράμματος. Μέσα σε κάθε πρόγραμμα που φτιάχνουμε, θα χρειαστεί πολλές φορές να γράψουμε ένα δεδομένο σε έναν καταχωρητή, δηλαδή σε μία θέση μνήμης. Ο PIC μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε την εγγραφή αυτή χρησιμοποιώντας μία εντολή μόνον στον καταχωρητή W. Για όλους τους άλλους καταχωρητές πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή W σαν ενδιάμεσο βήμα.

Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να γράψουμε την τιμή 5F H στον καταχωρητή (θέση μνήμης) 30 H, τότε θα χρειαστούμε τις ακόλουθες εντολές:

Εντολές:

```
MOVLW 5F H      ;      Φόρτωσε στον W το 5F H
MOVWF 30 H      ;      Φόρτωσε στον 30 H την τιμή του W
```

Μετά την εκτέλεση των εντολών ο καταχωρητής 30 H παίρνει την τιμή 5F H (σχήμα 5.31).



Σχήμα 5.31 *Εγγραφή του δεδομένου 5F H στον καταχωρητή 30 H, με την διαδοχική εκτέλεση των εντολών MOVLW 5F H και MOVWF 30 H.*

● Εγγραφή περιεχομένου καταχωρητή σε καταχωρητή

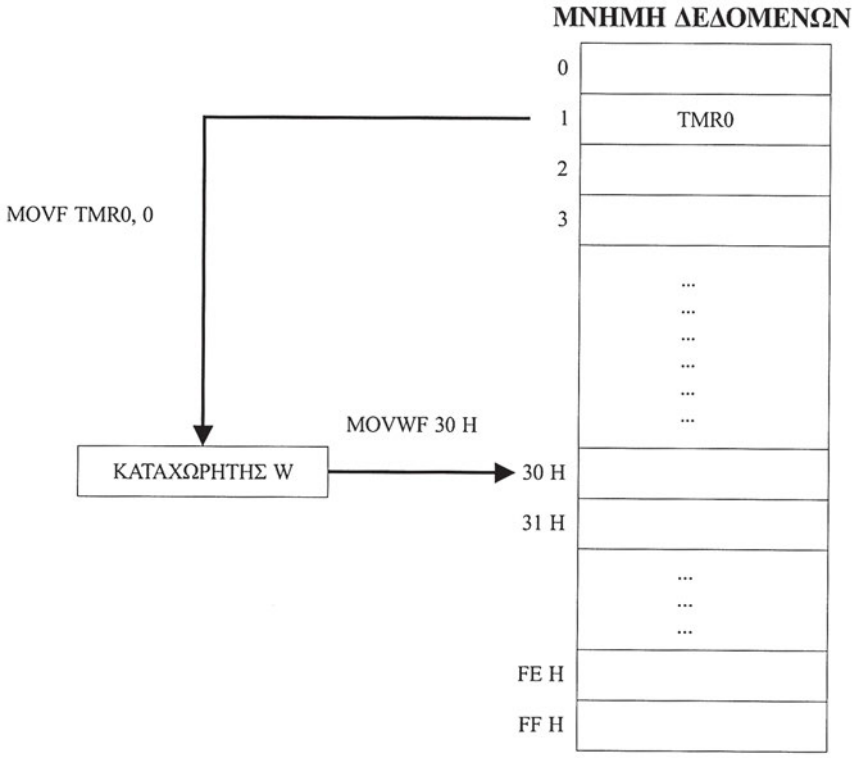
Η δεύτερη διαδικασία, που θα δούμε, αφορά την εγγραφή του περιεχομένου ενός καταχωρητή σε έναν άλλο. Είναι, και αυτή, μία διαδικασία που θα χρειαστεί να την επαναλάβουμε πολλές φορές μέσα σε κάθε πρόγραμμα που γράφουμε. Όπως και στην προηγούμενη διαδικασία, που είδαμε, έτσι και εδώ, ο PIC μας παρέχει τη δυνατότητα να κάνουμε την εγγραφή αυτή χρησιμοποιώντας μία εντολή μόνον όταν ο ένας από τους δύο καταχωρητές είναι ο W. Σε κάθε άλλη περίπτωση, εγγραφής του περιεχομένου ενός καταχωρητή σε έναν άλλο, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή W σαν ενδιάμεσο βήμα.

Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να γράψουμε το περιεχόμενο του καταχωρητή TMR0 στον καταχωρητή (θέση μνήμης δεδομένων) 30 H, τότε θα χρειαστούμε τις ακόλουθες εντολές:

● Εντολές:

```
MOVF TMR0, 0     ;   Φόρτωσε στον W την τιμή του TMR0
MOVWF 30 H       ;   Φόρτωσε στον 30 H την τιμή του W
```

Μετά την εκτέλεση των εντολών ο καταχωρητής 30 H παίρνει την τιμή του καταχωρητή TMR0 (σχήμα 5.32).



Σχήμα 5.32 *Εγγραφή του περιεχομένου του καταχωρητή TMR0 στον καταχωρητή 30 H, με την διαδοχική εκτέλεση των εντολών MOVF TMR0, 0 και MOVWF 30 H.*

Σημείωση: Τα παραπάνω είναι μόνον παραδείγματα. Οι διαδικασίες αυτές ισχύουν για οποιονδήποτε καταχωρητή της μνήμης δεδομένων και για οποιαδήποτε τιμή δεδομένου.

5.6.2 Ρουτίνες

Η έννοια της ρουτίνας, στη γλώσσα Assembly, είναι ίδια με αυτή των γλωσσών υψηλού επιπέδου. Ένα καλά δομημένο πρόγραμμα χρησιμοποιεί ρουτίνες όταν υπάρχει σειρά εντολών που επαναλαμβάνεται συχνά.

Η πρώτη γραμμή της ρουτίνας δηλώνεται με μία ετικέτα, η οποία αποτελεί και το όνομα της ρουτίνας. Η ρουτίνα τελειώνει με την εντολή RETURN, η οποία επιστρέφει τον έλεγχο στο κυρίως πρόγραμμα.

Για παράδειγμα, αν θέλουμε, μέσα σε ένα πρόγραμμα, να διαβάζουμε τακτικά τα περιεχόμενα του καταχωρητή PORTA, με διεύθυνση 5, και να τα αποθηκεύουμε στον καταχωρητή TMR0, τότε μπορούμε να γράψουμε μία ρουτίνα με ένα όνομα, π.χ. READ_PORTA, ως εξής:

```
READ_PORTA   MOVF 5, 0      ; Φόρτωσε τα περιεχόμενα του καταχωρητή
                            ; PORTA στον καταχωρητή W.
             MOVWF TMR0     ; Φόρτωσε τα περιεχόμενα του καταχωρητή W
                            ; στον καταχωρητή TMR0.
             RETURN         ; Επέστρεψε στο κυρίως πρόγραμμα.
```

Η ρουτίνα καλείται μέσα σε ένα πρόγραμμα με την εντολή CALL, ως εξής:

```
Εντολή 1
Εντολή 2
…
…
…
Εντολή k
CALL READ_PORTA
Εντολή k+2
…
…
…
CALL READ_PORTA
…
…
…
```

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε την εντολή CALL και δύο ακόμη εντολές του μικροελεγκτή μας, οι οποίες χρησιμοποιούνται στις ρουτίνες:

● CALL Όνομα ή Διεύθυνση

Με την εντολή αυτή ο PIC εκτελεί ως επόμενη εντολή την πρώτη εντολή της ρουτίνας που βρίσκεται στην θέση που δείχνουν το Όνομα ή η Διεύθυνση.

ΣΥΝΤΑΞΗ	CALL Όνομα ή Διεύθυνση
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	Όνομα ή διεύθυνση ρουτίνας
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Η εντολή καλεί τη ρουτίνα με το όνομά της ή με την διεύθυνση στην οποία αρχίζει. Πιο συγκεκριμένα ο PC φορτώνεται με την διεύθυνση της ρουτίνας.

Σε σχέση με την εντολή GOTO, η παρούσα εντολή κάνει και μία επιπλέον ενέργεια. Αποθηκεύει τη διεύθυνση της αμέσως επόμενης εντολής, δηλαδή την PC + 1, σε μία ειδική μνήμη που λέγεται σωρός. Έτσι, όταν ο PIC τελειώσει την

εκτέλεση της ρουτίνας, θα μπορέσει να επιστρέψει, μετά την CALL, στην εντολή. Στην επόμενη εντολή, που θα περιγράψουμε, θα μιλήσουμε περισσότερο για τη σημασία αυτής της ενέργειας.

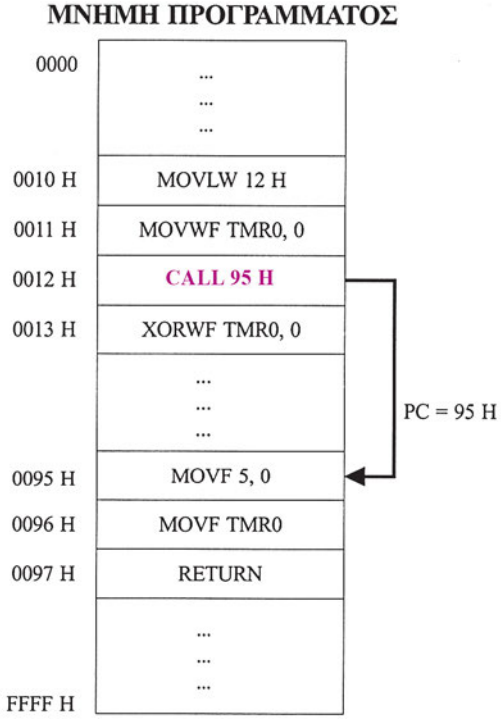
Και αυτή η εντολή εκτελείται σε 2 κύκλους εντολής. Ακολουθεί ένα παράδειγμα, το οποίο υποδεικνύει τη χρήση της εντολής:

Παράδειγμα

Έστω το ακόλουθο πρόγραμμα, το οποίο αρχίζει στη διεύθυνση 10 H και ότι η ρουτίνα που θα καλέσει είναι η READ_PORTA, την οποία είδαμε πριν λίγο, και αρχίζει στην διεύθυνση 95 H:

```
010 H: MOVLW 12 H       ;Φορτώνει στον W την τιμή 12 H.
011 H: MOVWF TMR0, 0 ;Φορτώνει στον TMR0 την τιμή 0.
012 H: CALL 95 H        ;Καλεί την READ_PORTA (ή CALL READ_PORTA).
013 H: XORWF TMR0, 0 ;Εκτελεί την λογική πράξη XOR μεταξύ των W και TMR0.
.
.
.
```

εντολή αυτή, ο PIC θα εκτελέσει τη ρουτίνα, της οποίας η πρώτη εντολή αρχίζει στη διεύθυνση 95 H (σχήμα 5.33).



Σχήμα 5.33 *Κλήση της ρουτίνας, που ξεκινά από την διεύθυνση 95 H, με την εντολή CALL 95 H, η οποία φορτώνει στον καταχωρητή PC την τιμή 95 H.*

Ας θυμηθούμε, εδώ, ότι αντί του 95 H θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και το όνομα της ρουτίνας, δηλαδή το READ_PORTA.

Όταν, η ρουτίνα τελειώσει, ο PIC θα εκτελέσει την αμέσως επόμενη της CALL, εντολή, δηλαδή την XORWF TMR0, 0. Η διεύθυνσή της φορτώνεται στον καταχωρητή PC στο τέλος της ρουτίνας. Στο παράδειγμά μας, η διεύθυνση αυτή είναι 13 H.

• RETURN

Μετά την εκτέλεσή της, μία ρουτίνα πρέπει να επιστρέψει στην επόμενη εντολή της CALL και να συνεχίσει ομαλά την εκτέλεση του κυρίως προγράμματος. Στην προηγούμενη εντολή είδαμε ότι, για να γίνει αυτό, χρειάζεται η διεύθυνση αυτή να έχει αποθηκευτεί στο σωρό, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάκλησή της, με την κατάλληλη εντολή. Ο πίνακας της εντολής αυτής, παρατίθεται ακολούθως.

ΣΥΝΤΑΞΗ	RETURN
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	ΚΑΝΕΝΑ
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Μετά την εκτέλεση μίας ρουτίνας, επιστρέφει τον έλεγχο από την ρουτίνα στο κυρίως πρόγραμμα, στην επόμενη εντολή της CALL από την οποία κλήθηκε η ρουτίνα αυτή.

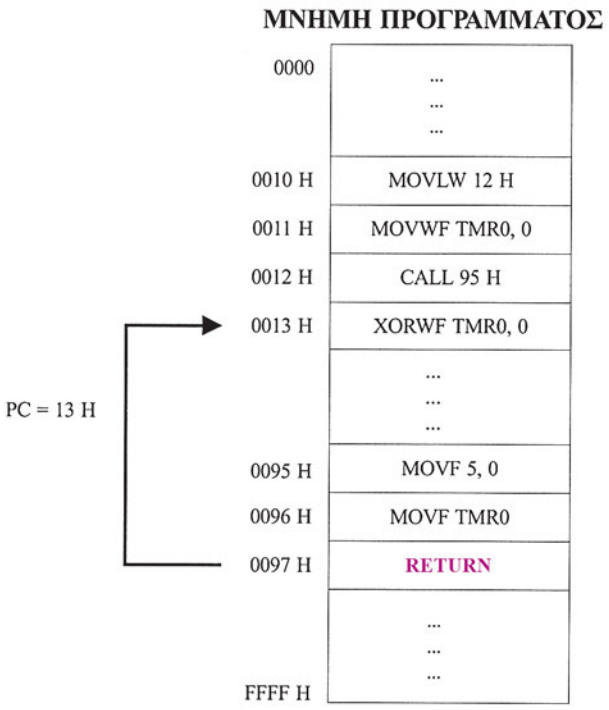
Με αυτήν την εντολή πρέπει να τελειώνει κάθε ρουτίνα που γράφουμε. Και αυτή η εντολή εκτελείται σε 2 κύκλους εντολής. Ακολουθεί ένα παράδειγμα, το οποίο υποδεικνύει τη χρήση της εντολής.

Παράδειγμα

Έστω το πρόγραμμα που είδαμε στο παράδειγμα της εντολής CALL. Το κυρίως πρόγραμμα αρχίζει στη διεύθυνση 10 H, ενώ η ρουτίνα READ_PORTA αρχίζει στη διεύθυνση 95 H.

Σύμφωνα με τα όσα είπαμε για την εντολή CALL, όταν αυτή εκτελεσθεί, ο έλεγχος μεταφέρεται στη διεύθυνση 95 H, δηλαδή ο PC από 12H γίνεται 95 H, αντί 13 H, που είναι η διεύθυνση της επόμενης, κατά σειρά, εντολής. Πριν όμως φορτωθεί στον PC η τιμή 95 H, η τιμή PC + 1, δηλαδή η 13 H, αποθηκεύεται στο σωρό.

Οι εντολές της ρουτίνας θα εκτελεσθούν κανονικά, μία-μία. Στο τέλος, η εντολή RETURN θα ανακαλέσει την αποθηκευμένη τιμή PC + 1, δηλαδή την 13 H, και θα την τοποθετήσει στον PC (σχήμα 5.34). Έτσι, ο έλεγχος θα επιστρέψει στο κυρίως πρόγραμμα και ο PIC θα εκτελέσει την αμέσως επόμενη της CALL, εντολή, δηλαδή την XORWF TMR0, 0.



Σχήμα 5.34 *Επιστροφή, από την ρουτίνα στο κυρίως πρόγραμμα, με την εντολή RETURN, η οποία φορτώνει στον καταχωρητή PC την τιμή 13 H.*

- **RETFIE**

Ας παρουσιάσουμε, τώρα, μία παραλλαγή της προηγούμενης εντολής, Η εντολή χρησιμοποιείται στην περίπτωση των διακοπών, για τις οποίες θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα.

ΣΥΝΤΑΞΗ	RETFIE
ΟΡΙΣΜΑΤΑ	ΚΑΝΕΝΑ
ΣΗΜΑΙΕΣ	ΚΑΜΙΑ

Περιγραφή: Επιστρέφει τον έλεγχο στο κυρίως πρόγραμμα, μετά από την εκτέλεση μίας ρουτίνας διακοπής και ενεργοποιεί τις διακοπές του συστήματος.

Με αυτήν την εντολή πρέπει να τελειώνει κάθε ρουτίνα που εξυπηρετεί διακοπές. Η μόνη της διαφορά από την προηγούμενη είναι ότι ενεργοποιεί τις διακοπές του συστήματος.

5.6.3 Αλλαγή ροής προγράμματος υπό συνθήκη

Υπάρχει το ενδεχόμενο να θέλουμε να εκτελέσουμε ένα τμήμα κώδικα, για

παράδειγμα μία ρουτίνα, μόνον κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Στη γλώσσα Assembly ο έλεγχος της ροής του προγράμματος ασκείται μέσω των σημαιών. Πολλές εντολές επηρεάζουν τις σημαίες. Για παράδειγμα, μερικές από τις εντολές, όταν μηδενίζουν το περιεχόμενο ενός καταχωρητή, θέτουν τη σημαία του μηδενισμού (Z), στο 1. Είναι δυνατό, βλέποντας την κατάσταση των σημαιών, να συμπεράνουμε έμμεσα την κατάσταση ενός καταχωρητή.

Έστω, λοιπόν, ότι θέλουμε να εκτελέσουμε την ρουτίνα, του παραδείγματος της προηγούμενης ενότητας, μόνον αν ο καταχωρητής W είναι 0. Τότε μπορούμε να συμπληρώσουμε το κυρίως πρόγραμμα ως εξής:

```
…
IORLW 0                 ;W = W OR 0
BTFSS STATUS, 2         ;Αν Z = 1 παράκαμψε την επομένη εντολή.
CALL READ_PORTA         ;Κάλεσε την ρουτίνα READ_PORTA. ...
…
…
IORLW 0                 ;W = W OR 0
BTFSS STATUS, 2         ;Αν Z = 1 παράκαμψε την επομένη εντολή.
CALL READ_PORTA         ;Κάλεσε την ρουτίνα READ_PORTA.
…
…
…
```

Όπως βλέπουμε, χρησιμοποιούμε ένα τέχνασμα για να διαπιστώσουμε αν ο καταχωρητής W είναι 0. Εκτελούμε τη λογική πράξη Η (OR) μεταξύ του περιεχομένου του καταχωρητή W και του αριθμού 0. Στην ουσία η πράξη αφήνει το περιεχόμενο του καταχωρητή W το ίδιο. Άρα, η μόνη περίπτωση να έχουμε μηδενικό αποτέλεσμα είναι όταν η αρχική τιμή του W είναι 0. Σε περίπτωση που το αποτέλεσμα είναι 0, η εντολή, που χρησιμοποιούμε, θέτει την σημαία Z στο 1. Αντίθετα, αν το αποτέλεσμα είναι διάφορο του μηδενός το Z γίνεται 0. Συνεπώς, με μία εντολή και χωρίς στην ουσία να αλλάξουμε το περιεχόμενο του W, μπορούμε να πάρουμε στη σημαία Z την ένδειξη του κατά πόσο ο καταχωρητής W είναι 0. Παρόμοια τεχνάσματα χρησιμοποιούμε συχνά στον προγραμματισμό σε γλώσσα Assembly.

Αμέσως μετά, ακολουθεί η εντολή BTFSS. Η εντολή αυτή ελέγχει την κατάσταση της σημαίας Z, που είναι το bit 2 του καταχωρητή STATUS, και αν Z = 1 η αμέσως επόμενη εντολή, δηλαδή η CALL, δεν εκτελείται.

Η λύση που ακολουθούμε στο παράδειγμα δεν είναι μοναδική. Σε μία παρόμοια περίπτωση, θα μπορούσαμε να έχουμε την εντολή GOTO αντί της CALL. Επίσης, ας θυμηθούμε ότι υπάρχουν και άλλες εντολές πλην της BTFSS, μπορούν να αλλάξουν τη ροή του προγράμματος ανάλογα με την τιμή της σημαίας μηδενισμού.

5.6.4 Χρονική καθυστέρηση

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές μικροϋπολογιστικών συστημάτων, όπου ο υπολογισμός του χρόνου εκτέλεσης ενός ορισμένου τμήματος κώδικα είναι απολύτως απαραίτητος. Παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία ενός βρόχου συγκεκριμένης χρονικής καθυστέρησης.

Ας υποθέσουμε, λοιπόν, ότι θέλουμε να φτιάξουμε μία ρουτίνα που κάθε φορά που θα καλείται θα εισάγει μία καθυστέρηση 200μsec στην εκτέλεση του προγράμματος. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ξέρουμε είναι η συχνότητα του ρολογιού του PIC. Αν στην περίπτωσή μας είναι 4MHz, τότε, σύμφωνα με τα όσα είπαμε στην ενότητα 5.4, ο χρόνος εκτέλεσης 1 κύκλου εντολής είναι 4/4MHz, δηλαδή 1μsec. Άρα, τα 200μsec αντιστοιχούν σε 200 κύκλους εντολής.

Κατασκευάζουμε, λοιπόν, μία ρουτίνα, με το όνομα DELAY. Η ρουτίνα χρησιμοποιεί τον καταχωρητή TMR0 σαν μετρητή επαναλήψεων ενός βρόχου. Ο αριθμός των επαναλήψεων που θα κάνει ο βρόχος περνούν στην ρουτίνα από τον καταχωρητή W. Η ρουτίνα έχει ως εξής:

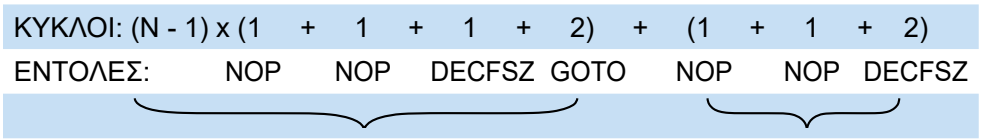
```
DELAY   MOVF TMR0,W      ;TMR0 = W (1 κύκλος)
LOOP1   NOP              ;(1 κύκλος)
        NOP              ;(1 κύκλος)
        DECFSZ TMR0, 1   ;Μείωσε τον TMR0 κατά 1 και αν
                         ;γίνει 0 πήγαινε στο RETURN (1 ή 2 κύκλοι)
        GOTO LOOP1       ;Επανάλαβε τον βρόχο (2 κύκλος)
        NOP              ;(1 κύκλος)
RETURN                   ;Επιστροφή στο κυρίως πρόγραμμα (2 κύκλοι)
```

Το κυρίως πρόγραμμα έχει ως εξής:

```
        …
        …
        …
        MOVLW N          ;όπου N ο αριθμός των επαναλήψεων
    CALL DELAY           ;(2 κύκλοι)
        …
        …
        …
```

Στα σχόλια βάζουμε σε παρένθεση τους κύκλους εντολής που θέλει η κάθε μία εντολή για να εκτελεσθεί. Μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό τον επαναλήψεων ως εξής:

Ο βρόχος θέλει τους εξής κύκλους εντολής για να εκτελεσθεί:



Επίσης, έχουμε άλλους 4 κύκλους εντολής 1 από την πρώτη εντολή της ρουτίνας, δηλαδή την MOVFW 1,1 από την προτελευταία εντολή, δηλαδή την NOP, και 2 από την τελευταία, δηλαδή την RETURN. Ακόμη, άλλοι 2 κύκλους θέλει η ίδια η εντολή κλήσης της ρουτίνας, δηλαδή η CALL. Σύνολο, λοιπόν έχουμε 6 επιπλέον κύκλους εντολής.

Αν τα συγκεντρώσουμε όλα αυτά μπορούμε να γράψουμε ότι 5 x (N - 1) + 10 = 200, το οποίο μας δίνει ότι ο αριθμός των επαναλήψεων πρέπει να είναι 39.

5.6.5 Βρόχος WHILE - DO

Ας δούμε, τώρα, μία γενικότερη περίπτωση χρήσης βρόχου, δηλαδή την επανάληψη εκτέλεσης ενός συνόλου εντολών. Σε γλώσσες υψηλού επιπέδου ο βρόχος υλοποιείται με εντολές της μορφής WHILE - DO, REPEAT - UNTIL, FOR - DO, κτλ. Για παράδειγμα:

```
Y = 0;
WHILE (συνθήκη, π.χ. Y ? 10)
Εντολή1;
Εντολή2;
…
Αύξησε Y κατά 1;
DO  ; Επαναλαμβάνονται οι εντολές όσο Y ? 10. Αν Y> 10 προχωράμε στην
    ; επόμενη, της DO, εντολή.
Ή
Y = 35;
REPEAT
Εντολή1;
Εντολή2;
…
Μείωσε Y κατά 1;
UNTIL (συνθήκη, π.χ. Y = 10)   ;Ο βρόχος αυτός θα εκτελείται μέχρι το Y= 10.
Τότε,                          ;προχωράμε επόμενη, της UNTIL, εντολή.
```

Όπου το Y είναι μία μεταβλητή.

Στη λογική αυτή γίνεται χρήση λειτουργιών όπως της αυξομείωσης μετρητή, της αλλαγής ροής προγράμματος υπό συνθήκη, κτλ. Με τη γλώσσα Assembly η

υλοποίηση της λογικής αυτής είναι σαφώς πολυπλοκότερη. Εδώ, πρέπει να ορισθεί ένας καταχωρητής ως μετρητής των επαναλήψεων που θα γίνουν. Επίσης, με κάποιον τρόπο πρέπει να διαπιστωθεί ότι ο μετρητής έφτασε στην τιμή που θέλουμε.

Θα παρακολουθήσουμε, τώρα, τη λύση ενός συνηθισμένου προβλήματος στους μικροελεγκτές.

Πρόβλημα

Έστω, λοιπόν, ότι θέλουμε να φτιάξουμε ένα πρόγραμμα που να προσθέτει 7 φορές τον αριθμό 5 και το αποτέλεσμα να αποθηκεύεται στον καταχωρητή 55 H.

Ανάλυση

Το πρόβλημα αναλύεται σε δύο μέρη:

1. Εύρεση αποτελέσματος.
2. Αποθήκευσή του στον καταχωρητή 55 H.

Επειδή έχουμε επαναλαμβανόμενες εντολές (7 προσθέσεις), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο βρόχο.

Λύση

Μέχρι τώρα έχουμε δει πώς μπορούμε να γράψουμε κάτι στη μνήμη και πώς να δημιουργήσουμε βρόχους. Άρα, αν συνδυάσουμε τις γνώσεις που αποκτήσαμε ως τώρα, μπορούμε να γράψουμε τον ακόλουθο κώδικα:

```
        ; Ορίζουμε τον καταχωρητή 21 H, σαν μετρητή των 7 προσθέσεων.
        M0VLW 7          ;W = 7
        MOVWF 21 H       ;Περιεχόμενο καταχωρητή 21 H = 7.

        ; Δίνουμε το 0 σαν αρχική τιμή στον καταχωρητή W.
        MOVLW 0

        ; Αρχή βρόχου
START   ADDLW 5H         ;Προσθέτουμε στον W το 5.
        DECFSZ 21 H, 1   ;Μειώνουμε το περιεχόμενο της διεύθυνσης 21 H κατά 1 και
                         ;αν το αποτέλεσμα είναι 0 πηγαίνουμε στο τέλος, αλλιώς
        GOTO START       ;επαναλαμβάνουμε το βρόχο
        END              ;Τέλος
```

Ερώτηση: Ποια αριθμητική πράξη υλοποιεί, στην πραγματικότητα, ο βρόχος;

5.7 Οι διακοπές του PIC

Όπως είπαμε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ο PIC δέχεται διακοπές από πολλές διαφορετικές πηγές. Κάθε περιφερειακή μονάδα μπορεί να δώσει μία διακοπή. Μάλιστα, μερικές από αυτές μπορούν να δώσουν περισσότερες από μία, όπως για παράδειγμα η περιφερειακή μονάδα σύγχρονης και ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (USART).

Θα εξετάσουμε τις βασικές αρχές της λειτουργίας των διακοπών του PIC. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε μερικές από τις περιφερειακές μονάδες του PIC και θα καταλάβουμε, μέσα από παραδείγματα, τη χρησιμότητα των διακοπών για κάθε μία από αυτές.

Σε κάθε διακοπή αντιστοιχούν δύο δυαδικά ψηφία (bits). Το πρώτο χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίησή της, ενώ το δεύτερο, που καλείται σημαία (flag), γίνεται 1 όταν προκαλείται μια διακοπή. Τα bits συμβολίζονται με το όνομα του περιφερειακού, που προκάλεσε την διακοπή, ακολουθούμενο από τα γράμματα IE (interrupt enable), για το πρώτο, και IF (interrupt flag), για το δεύτερο. Για παράδειγμα, για το περιφερειακό TIMER0, το οποίο θα μελετήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο, τα αντίστοιχα bits είναι T0IE και T0IF.

Τα bits, που προαναφέραμε, περιέχονται σε καταχωρητές που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τις διακοπές. Οι καταχωρητές είναι οι:

- **INTCON**
- **PIE1**
- **PIR1**
- **PIE2**
- **PIR2**

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε τα bits του καταχωρητή INTCON και θα δούμε συνοπτικά τους υπόλοιπους καταχωρητές, αφού όσα από τα bits τους μας ενδιαφέρουν για το μάθημά μας, θα τα δούμε, αναλυτικά, στο επόμενο κεφάλαιο.

5.7.1 Καταχωρητής INTCON

Ο καταχωρητής αυτός φαίνεται στο σχήμα 5.35. Περιέχει το bit ενεργοποίησης / απενεργοποίησης διακοπής καθώς και το bit της σημαίας της, για τις περιφερειακές μονάδες TIMER0 και θύρα B. Στην δεύτερη η διακοπή προκαλείται αν γίνει αλλαγή σήματος σε ένα από τους ακροδέκτες 4 ως 7. Επίσης, ο καταχωρητής περιέχει τα αντίστοιχα bits για μία εξωτερική διακοπή, που μπορεί να δεχθεί στον ακροδέκτη 0 της θύρας B. Τέλος, τα άλλα δύο bits του καταχωρητή χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της γενικής ενεργοποίησης ή μη όλων των διακοπών, το ένα, και των διακοπών μόνον των περιφερειακών μονάδων, το άλλο.

Τον καταχωρητή μπορούμε όχι μόνον να τον διαβάσουμε αλλά και να τον γράψουμε.

7	6	5	4	3	2	1	0
GIE	**PEIE**	**T0IE**	**INTE**	**RBIE**	**T0IF**	**INTF**	**RBIF**

***Σχήμα 5.35**: Ο καταχωρητής INTCON*

Στη συνέχεια περιγράφουμε τη σημασία των bits του:

- **GIE:** Bit ενεργοποίησης όλων των διακοπών.
  1 = Ενεργοποιεί όλες τις μη απενεργοποιημένες διακοπές.
  0 = Απενεργοποιεί όλες τις διακοπές.
- **PEIE:** Bit ενεργοποίησης όλων των διακοπών των περιφερειακών.
  1 = Ενεργοποιεί όλες τις μη απενεργοποιημένες διακοπές των περιφερειακών.
  0 = Απενεργοποιεί όλες τις διακοπές των περιφερειακών.
- **T0IE:** Bit ενεργοποίησης διακοπής υπερχείλισης TIMER0.
  1 = Ενεργοποίηση διακοπής υπερχείλισης TIMER0.
  0 = Απενεργοποίηση διακοπής υπερχείλισης TIMER0.
- **INTE:** Bit ενεργοποίησης εξωτερικής διακοπής RB0/INT.
  1 = Ενεργοποίηση εξωτερικής διακοπής RB0/INT.
  0 = Απενεργοποίηση εξωτερικής διακοπής RB0/INT.
- **RBIE:** Bit ενεργοποίησης διακοπής αλλαγής σήματος θύρας B.
  1 = Ενεργοποίηση διακοπής αλλαγής σήματος θύρας B.
  0 = Απενεργοποίηση διακοπής αλλαγής σήματος θύρας B.
- **T0IF:** Σημαία διακοπής υπερχείλισης TIMER0.
  1 = Ο καταχωρητής TMR0 έχει υπερχειλίσει.
  0 = Ο καταχωρητής TMR0 δεν έχει υπερχειλίσει.
- **INTF:** Σημαία εξωτερικής διακοπής RB0/INT.
  1 = Υπάρχει εξωτερική διακοπή RB0/INT.
  0 = Δεν υπάρχει εξωτερική διακοπή RB0/INT.
- **RBIF:** Σημαία διακοπής αλλαγής σήματος θύρας B.
  1 = Τουλάχιστον ένας από τους ακροδέκτες 4 ως 7 της θύρας B άλλαξε κατάσταση.
  0 = Κανένας από τους ακροδέκτες 4 ως 7 της θύρας B δεν άλλαξε κατάσταση.

5.7.2 Καταχωρητές PIE1 και PIR1

Ο καταχωρητής PIE1 περιέχει τα bits ενεργοποίησης / απενεργοποίησης και ο καταχωρητής PIR1 τα bits των σημαιών των διακοπών που προκαλούνται από τις ακόλουθες περιφερειακές μονάδες:

1. Θύρα παράλληλης επικοινωνίας (PSP).
2. A/D μετατροπέας.

3. Θύρα σύγχρονης / ασύγχρονης επικοινωνίας (USART).
4. Θύρα σύγχρονης επικοινωνίας (SSP).
5. Μονάδα CCP1
6. TIMER2

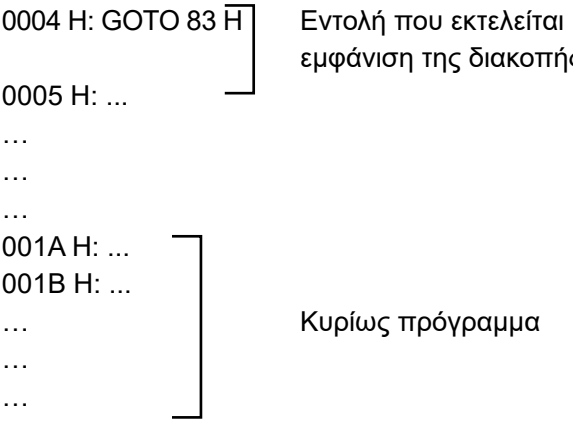
5.7.3 Καταχωρητές PIE2 και PIF2

Είναι καταχωρητές αντίστοιχοι με τους PIE1 και PIF1. Δεν θα ασχοληθούμε με αυτούς διότι αναφέρονται σε λειτουργίες του PIC, τις οποίες δεν θα εξετάσουμε.

Ας μιλήσουμε, όμως, λίγο περισσότερο για το τι, στην ουσία, σημαίνει η εμφάνιση μίας διακοπής και πώς καλείται η ρουτίνα εξυπηρέτησής της, για να εκτελεσθεί. Η εμφάνιση μίας διακοπής σημαίνει δύο πράγματα:

1. Στον καταχωρητή PC φορτώνεται η διεύθυνση 4, της μνήμης προγράμματος
2. Η σημαία του περιφερειακού που προκάλεσε τη διακοπή, εμφανίζεται στον κατάλληλο καταχωρητή.

Συνεπώς, η επόμενη εντολή που θα εκτελεσθεί είναι αυτή που βρίσκεται αποθηκευμένη στην διεύθυνση 4. Όμως, εμείς, με την εμφάνιση της διακοπής, θέλουμε να εκτελείται μία ρουτίνα, η οποία, ασφαλώς, καταλαμβάνει πολύ περισσότερο χώρο από μία θέση μνήμης. Η τεχνική που χρησιμοποιούμε, είναι να γράψουμε τη ρουτίνα σε κάποιες θέσεις μνήμης. Έπειτα, μπορούμε να τοποθετήσουμε στη θέση 4 την εντολή GOTO με όρισμα τη θέση μνήμης από την οποία αρχίζει η ρουτίνα. Για παράδειγμα αν γράψουμε τη ρουτίνα, εξυπηρέτησης της διακοπής, στις θέσεις 83 H ως 9A H και της δώσουμε το όνομα (ετικέτα) ROYTINA1, τότε, στη θέση 4 θα γράψουμε την εντολή GOTO 83 H (ή GOTO ROUTINA1). Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιεί τη δυνατότητα της μηχανής (Hardware), με την εμφάνιση μίας διακοπής, να μεταβιβάζει την εκτέλεση του προγράμματος σε άλλη διεύθυνση. Αυτό μπορεί να γραφεί ως εξής:



```
0083 H: ...
…                    ┐
…                    │   Ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής
009A H: RETFIE       │
…                    ┘
```

Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο χειριζόμαστε τις διακοπές είναι η μέθοδος της δειγματοληψίας (polling). Σε αυτήν την περίπτωση, απενεργοποιούμε τη διακοπή. Στη συνέχεια, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ελέγχουμε μέσα από το πρόγραμμά μας την εμφάνιση ή μη της αντίστοιχης σημαίας. Όταν εμφανιστεί η σημαία καλούμε τη ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής και την εκτελούμε.

Για παράδειγμα, η σειριακή θύρα επικοινωνίας USART, όταν μεταδίδει μία σειρά δεδομένων, δηλώνει με τη διακοπή ότι έχει στείλει ένα δεδομένο και είναι έτοιμη να της στείλουμε το επόμενο. Αν θέλουμε να μην διακόπτεται η εκτέλεση του προγράμματός μας, κάθε φορά που συμβαίνει αυτό, και να ελέγχουμε εμείς το πότε θα της στείλουμε το επόμενο δεδομένο για να το μεταδώσει, τότε, ενεργούμε ως ακολούθως:

1. Απενεργοποιούμε τη διακοπή θέτοντας το bit TXIE του καταχωρητή PIE1 στο 0.
2. Γράφουμε μία ρουτίνα εξυπηρέτησης όπου στέλνει το επόμενο δεδομένο στο περιφερειακό.
3. Έπειτα, ελέγχουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με τη χρήση ενός βρόχου, αν το bit TXIF του καταχωρητή PIR1 είναι 1. Όταν συμβεί αυτό χρησιμοποιούμε την τεχνική της αλλαγής προγράμματος υπό συνθήκη, που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, για να εκτελέσουμε τη ρουτίνα εξυπηρέτησης του περιφερειακού.

Το πρόγραμμά μας πρέπει να ακολουθεί την ακόλουθη λογική:

```
        BCF PIR1, TXIF     ;Απενεργοποίηση της διακοπής του USART (μετάδοση)

START …                    ;Έναρξη του κυρίου προγράμματος
        …
        …
        …
        …          …
        BTFSC PIR1, TXIF   ;Αν TXIF = 0, παράκαμψη της επομένης εντολής
        CALL ROUT_USART    ;Κλήση της ρουτίνας εξυπηρέτησης του
                           περιφερειακού
        GOTO START         ;Επανάληψη του βρόχου
        …
        …
```

```
        …
        …
Ρουτίνα εξυπηρέτησης του USART, σε λειτουργία μετάδοσης
ROUT_USART  ...
            …
            …
            …
            RETIF   Επιστροφή από εκεί που σταμάτησε (Δηλαδή, η επό-
                    μενη εντολή είναι η GOTO START)
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Douglas Hall,*** "Micropocessors and Interfacing - Programming and Hardware", εκδόσεις Mc Graw Hill
2. ***Microchip Technology Inc.,*** "PICmicro Mid - Range MCU Family", Reference Manual, 1997
3. ***Microchip Technology Inc.,*** "PIC 16F87X28/40-pin8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers", Reference Manual, 1999

Κεφάλαιο 6ο

Χρήση του μικροελεγκτή σε εφαρμογές

Περιεχόμενα

Στόχοι του κεφαλαίου:

Όταν ολοκληρώσεις το κεφάλαιο αυτό θα μπορείς να...

- αναφέρεις τις βασικές περιφερειακές συσκευές του μικροελεγκτή PIC.
- περιγράφεις πώς γίνεται ο έλεγχος μίας περιφερειακής συσκευής μέσω της γλώσσας Assembly.
- διαβάζεις και να εξηγείς κώδικα προγραμματισμού των περιφερειακών συσκευών.
- γράφεις στοιχειώδη προγράμματα λειτουργίας των συσκευών αυτών.

Εισαγωγή

Είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι η διαφορά ενός μικροελεγκτή από ένα μικροεπεξεργαστή είναι ότι πρώτος διαθέτει ενσωματωμένες περιφερειακές συσκευές. Η καταλληλότητα ή μη ενός μικροελεγκτή για μία συγκεκριμένη εφαρμογή κρίνεται από τον αριθμό και το είδος των περιφερειακών που διαθέτει.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μιλήσαμε αναλυτικά για τις εντολές του PIC και την γλώσσα Assembly. Στο κεφάλαιο αυτό, θα μιλήσουμε αναλυτικότερα για τις περιφερειακές συσκευές του PIC και πώς μπορούμε να τις προγραμματίσουμε.

Το πλήθος των ενσωματωμένων περιφερειακών που διαθέτει, κάνουν τον μικροελεγκτή PIC κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Θα εστιάσουμε την προσοχή μας στις ακόλουθες μονάδες του:

- Θύρες εισόδων/εξόδων
- Χρονιστές
- Διαμορφωτής εύρους παλμού (PWM)
- Θύρα σειριακής επικοινωνίας
- Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Τα περιφερειακά του PIC, του δίνουν μεγάλη ευελιξία. Για παράδειγμα, για το περιφερειακό της σειριακής επικοινωνίας, μπορούμε να ορίσουμε την συχνότητα μετάδοσης, το αν η επικοινωνία θα είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, καθώς και πολλά άλλα.

Οι ορισμοί αυτοί, στην ουσία είναι παράμετροι που ρυθμίζουν την λειτουργία του περιφερειακού. Σε κάθε λειτουργία αντιστοιχεί και μία παράμετρος, η οποία είναι ένας δυαδικός αριθμός 8 bits. Συνήθως, ένα περιφερειακό χρειάζεται για την ρύθμιση του, μία ή δύο παραμέτρους, τις οποίες λαμβάνει μέσω κάποιων ειδικών καταχωρητών. Αυτοί οι καταχωρητές λέγονται καταχωρητές ελέγχου και είναι συγκεκριμένοι για κάθε περιφερειακή συσκευή. Εμείς, λοιπόν, αφού αποφασίσουμε το πώς πρέπει να δουλέψει το περιφερειακό, πρέπει να βρούμε τις τιμές αυτών των παραμέτρων και να τις φορτώσουμε στους καταχωρητές ελέγχου του. Αυτό ονομάζεται αρχικοποίηση της περιφερειακής μονάδας.

Πέρα των καταχωρητών ελέγχου του, ένα περιφερειακό διαθέτει επιπλέον καταχωρητές. Αυτούς τους χρησιμοποιεί για να αποθηκεύει τα δεδομένα που προκύπτουν από την λειτουργία του.

Στην συνέχεια, θα εξετάσουμε με την σειρά τις μονάδες αυτές ώστε να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας τους και την χρησιμότητά τους. Παράλληλα, θα βλέπουμε και, ενδεικτικά, παραδείγματα αρχικοποίησής τους.

6.1 Θύρες εισόδων / εξόδων

Μπορούμε να πούμε ότι οι θύρες εισόδου / εξόδου, γενικού σκοπού, του PIC, είναι οι απλούστερες από τις περιφερειακές συσκευές του. Επιτρέπουν στον μικροελεγκτή μας να συνδέεται με άλλες συσκευές και να τις ελέγχει.

Ωστόσο, μερικοί από τους ακροδέκτες (pin) των θυρών αυτών έχουν διπλή λειτουργία. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται και από άλλες περιφερειακές μονάδες του μικροελεγκτή. Όπως γίνεται αντιληπτό, σε αυτήν την περίπτωση, δεν μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε και σαν γενικής χρήσης εισόδους / εξόδους.

Ο PIC διαθέτει 5 θύρες εισόδου / εξόδου, που ονομάζονται θύρες A, B, C, D και E. Για την λειτουργία της κάθε θύρας απαιτείται ο αντίστοιχος καταχωρητής TRIS και ο αντίστοιχος καταχωρητής PORT. Υπάρχουν 5 καταχωρητές TRIS, οι TRISA, TRISB, TRISC, TRISD, και TRISE, που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις θύρες. Παρομοίως, υπάρχουν και 5 καταχωρητές PORT, οι PORTA, PORTB, PORTC, PORTD και PORTE. Οι καταχωρητές TRIS βρίσκονται στο τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων, ενώ οι καταχωρητές PORT, βρίσκονται στο τμήμα 0. Όλες οι θύρες έχουν 8 ακροδέκτες εισόδου / εξόδου. Εξαίρεση αποτελούν η θύρα A που έχει μόνον 6 (RA0 - RA5) και η θύρα E που έχει μόνον 3 (RE0 - RE2).

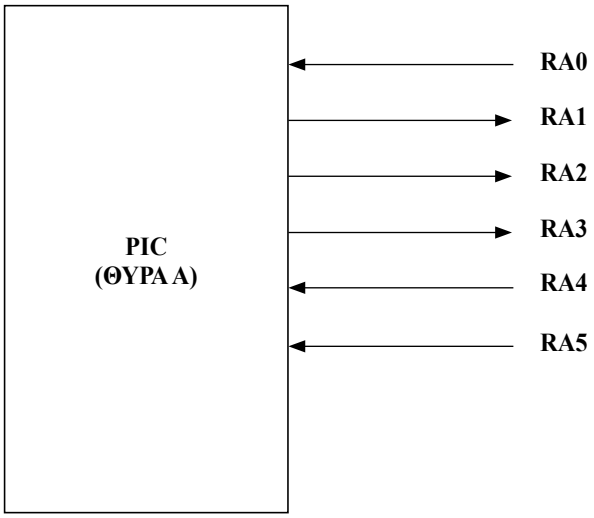
Το αν θα χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος ή έξοδος ένας ακροδέκτης μίας θύρας, ελέγχεται από τον αντίστοιχο καταχωρητή TRIS, που βρίσκεται στο τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων. Κάθε bit του καταχωρητή αντιστοιχεί σε έναν ακροδέκτη της θύρας. Αν το bit έχει τιμή "1", τότε, ο αντίστοιχος ακροδέκτης χρησιμοποιείται σαν είσοδος, ενώ αν έχει τιμή "0", τότε, χρησιμοποιείται σαν έξοδος. Για παράδειγμα, αν το ψηφίο 0 του καταχωρητή TRISA είναι 1, τότε ο ακροδέκτης RA0 της Θύρας A χρησιμοποιείται σαν είσοδος. Ο κάθε ακροδέκτης μίας θύρας μπορεί να ορισθεί ανεξάρτητα από τους άλλους. Έτσι, μπορούμε να έχουμε μία θύρα που να έχει ορισμένους κάποιους από τους ακροδέκτες της ως εισόδους και τους υπόλοιπους ως εξόδους.

Τα δεδομένα που θέλουμε να στείλουμε στην έξοδο μίας θύρας τα γράφουμε στον αντίστοιχο καταχωρητή PORT, π.χ. για την Θύρα C στον καταχωρητή PORTC Επίσης, διαβάζουμε δεδομένα εισόδου από τον ίδιο καταχωρητή. Στην συνέχεια, θα μελετήσουμε τις θύρες και τις βασικότερες λειτουργίες τους.

6.1.1 Θύρα A

Οι έξι ακροδέκτες, RA0 - RA5, της θύρας A μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι ή σαν έξοδοι. Ας δούμε, λοιπόν, ένα παράδειγμα προγραμματισμού της.

Έστω, ότι θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τους ακροδέκτες RA0, RA4 και RA5 σαν εξόδους, ενώ τους υπόλοιπους ακροδέκτες, RA1, RA2 και RA3, σαν εισόδους, όπως στο σχήμα 6.1.



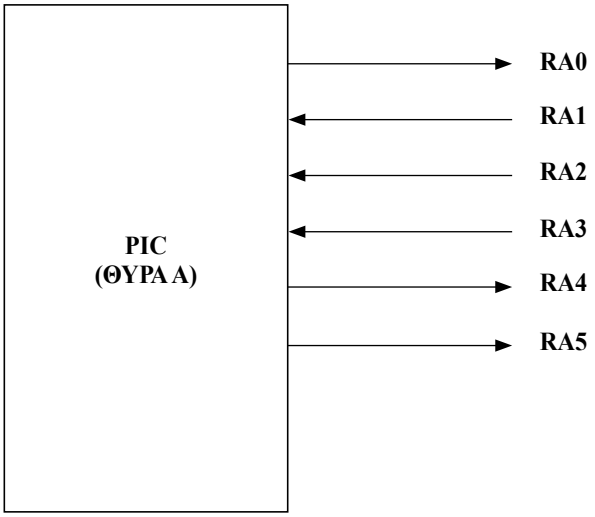
Σχήμα 6.1 *Η θύρα Α με ορισμό ακροδεκτών RA0, RA4 και RA5 σαν εξόδους και RA1, RA2, RA3 σαν εισόδους.*

Τότε, όπως είπαμε προηγουμένως, για να χρησιμοποιήσουμε τους ακροδέκτες με τον τρόπο αυτό, πρέπει να δώσουμε την τιμή "1", στα bits του καταχωρητή TRISA που, αντιστοιχούν στους ακροδέκτες εισόδου και την "0", σε αυτούς που αντιστοιχούν στους ακροδέκτες εξόδου. Άρα, πρέπει να φορτώσουμε στον καταχωρητή TRISA την τιμή 11001110 (CE H). Ας τονίσουμε ότι, τα bits 6 και 7, που τους έχουμε δώσει τιμή "1", δεν έχουν σημασία, αφού η θύρα Α δεν έχει 6ο και 7ο ακροδέκτη.

Εδώ, πρέπει να σημειώσουμε ότι, οι ακροδέκτες, της θύρας Α, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αναλογικές είσοδοι για άλλα περιφερειακά. Έτσι, πριν ορίσουμε το αν θα είναι είσοδοι ή έξοδοι, πρέπει να ορίσουμε ότι θα τους χρησιμοποιήσουμε για ψηφιακή λειτουργία. Αυτό γίνεται δίνοντας την τιμή 6 στον καταχωρητή ADCON1, για τον οποίο θα μιλήσουμε στην ενότητα 6.5, στο τέλος του κεφαλαίου.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	1	1	0

Σχήμα 6.2: *Ο καταχωρητής ADCON1 φορτωμένος με την τιμή 6, που ορίζει τους ακροδέκτες της θύρας Α να έχουν ψηφιακή λειτουργία.*



Σχήμα 6.2 *Η θύρα Α με ορισμό ακροδεκτών RA0, RA4 και RA5 σαν εξόδους και RA1, RA2, RA3 σαν εισόδους.*

Ακολουθεί ο κώδικας αρχικοποίησης της θύρας, τον οποίο και εξηγούμε αμέσως μετά.

```
BCF STATUS, RP0   ;Επιλογή τμήματος 0 της μνήμης
BCF STATUS, RP1   ;δεδομένων (RP0 = 0 και RP1 = 0).

CLRF PORTA        ;Μηδενισμός της εξόδου της θύρας

BSF STATUS, RP0   ;Επιλογή τμήματος 1 της μνήμης
                  ;δεδομένων (RP0 = 1).

MOVLW 6           ;Ορισμός των ακροδεκτών για ψηφιακή
MOVWF ADCON1      ;λετουργία

MOVLW CE H        ;Φόρτωση τιμής 11001110 (CE H) στον TRISA
MOVWF TRISA       ;Έτσι επιλέγονται τα RA0, RA4 και RA5 σαν
                  ;έξοδοι και RA1 - RA3 σαν είσοδοι
```

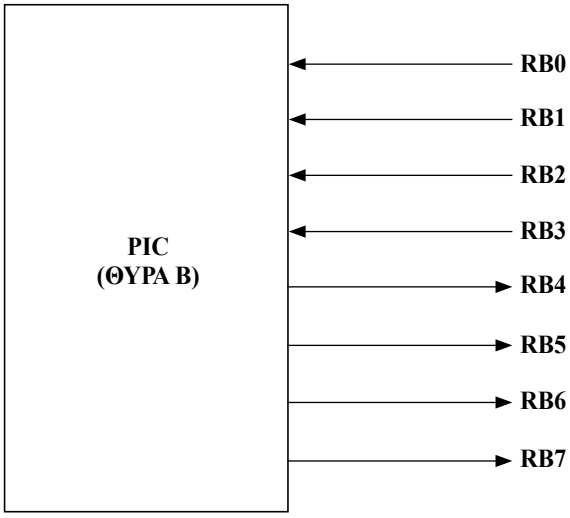
Ας δούμε, τώρα, αναλυτικά γιατί επιλέξαμε τις εντολές αυτές. Οι δύο πρώτες εντολές χρησιμοποιούνται για να μηδενίσουμε, αρχικά, την έξοδο της θύρας. Αυτό δεν είναι απόλυτα απαραίτητο να γίνει αλλά είναι καλή τεχνική προγραμματισμού να ξεκινήσουμε την έξοδο της θύρας από μία συγκεκριμένη τιμή. Ας προσέξουμε ότι ο καταχωρητής PORTA βρίσκεται στο τμήμα 0 της μνήμης δεδομένων. Συνεπώς, θα πρέπει, πρώτα, να επιλέξουμε αυτό το τμήμα της μνήμης, πριν προσπαθήσουμε να δώσουμε κάποια εντολή για τον καταχωρητή. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο του βιβλίου μας, η επιλογή τμήματος μνήμης δεδομένων,

γίνεται με τον μηδενισμό των bits RP0 και RP1 του καταχωρητή STATUS, που σημαίνει επιλογή του τμήματος 0 της μνήμης δεδομένων. Ακολούθως, θέτοντας το bit RP0 του καταχωρητή STATUS στο 1, επιλέγουμε το τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων, αφού εκεί βρίσκεται τόσο ο καταχωρητής ADCON1 όσο και ο καταχωρητής TRISA. Στην συνέχεια, ορίζουμε ότι οι ακροδέκτες θα χρησιμοποιηθούν για ψηφιακά σήματα, φορτώνοντας στον καταχωρητή ADCON1 την τιμή 6 και, αμέσως μετά, ορίζουμε τους ακροδέκτες ως εισόδους ή εξόδους, φορτώνοντας στον καταχωρητή TRISA την τιμή CE H.

6.1.2 Θύρα B

Η θύρα B έχει 8 ακροδέκτες, που ο καθένας τους μπορεί να γίνει είσοδος ή έξοδος ανάλογα με το αν το αντίστοιχο bit του καταχωρητή TRISB είναι 1 ή 0. Για παράδειγμα, ο ορισμός των ακροδεκτών RB0 - RB3 ως είσοδοι και των υπολοίπων ως έξοδοι, όπως στο σχήμα 6.3, γίνεται με την φόρτωση της τιμής 00001111 (0F H) στον καταχωρητή TRISB. Ο κώδικας αρχικοποίησης έχει ως εξής:

```
BCF STATUS, RP0        ;Επιλογή τμήματος 0 της μνήμης
BCF STATUS, RP1        ;δεδομένων (RP0 = 0 και RP1 = 0).

CLRF POTRB             ;Μηδενισμός της εξόδου της θύρας

BSF STATUS, RP0        ;Επιλογή τμήματος 1 της μνήμης
                       ;δεδομένων (RP0 = 1).
MOVLW 0F H             ;Φόρτωση τιμής 00001111 (0F H) στον TRISB
MOVWF TRISB            ;Έτσι επιλέγονται τα RB0 - RB3 σαν είσοδοι
```



Σχήμα 6.3 *Η θύρα B με ορισμό ακροδεκτών RB0 - RB3 ως είσοδοι και RB4 - RB7 ως έξοδοι.*

Επιπρόσθετα, οι ακροδέκτες RB4 - RB7 παρέχουν μία ακόμη λειτουργία. Δίνουν σήμα διακοπής μόλις η είσοδος κάποιας από αυτές αλλάξει τιμή. Αυτό, βέβαια, γίνεται με την προϋπόθεση ότι οι ακροδέκτες αυτοί λειτουργούν ως είσοδοι. Αν κάποιος ακροδέκτης έχει ορισθεί ως έξοδος, τότε, αυτός δεν μπορεί να προκαλέσει διακοπή. Για να μπορέσει μία αλλαγή στην είσοδο να γίνει αντιληπτή και να προκληθεί διακοπή, οι τιμές της συγκρίνονται με τις τελευταίες τιμές που διαβάστηκαν από τον καταχωρητή PORTB. Η διακοπή, που προκαλείται με τον τρόπο αυτό, ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται με το bit RBIE ενώ η σημαία της είναι το bit RBIF. Αυτά τα δύο bits βρίσκονται στον καταχωρητή INTCON, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4.

7	6	5	4	3	2	1	0
			RBIE				**RBIF**

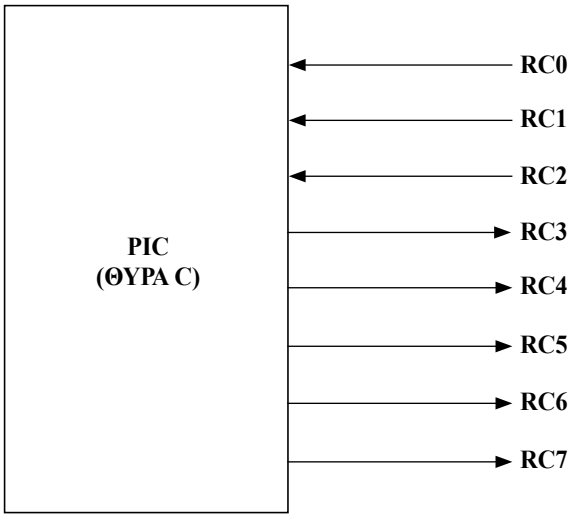
Σχήμα 6.4 *Η σημαία RBIF και το ψηφίο RBIE στον καταχωρητή INTCON.*

Κάθε φορά που δεχόμαστε μια διακοπή και εκτελούμε την ρουτίνα εξυπηρέτησής της, πρέπει στη συνέχεια να την απενεργοποιούμε ώστε η λειτουργία του προγράμματός μας να συνεχιστεί κανονικά. Για να μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό, πρέπει να εκτελέσουμε μία εντολή που να διαβάζει ή να γράφει στον καταχωρητή PORTB. Αυτό θα προκαλέσει την ενημέρωσή του και έτσι θα σταματήσει να παρουσιάζεται η διαφορά κατά την διάρκεια της σύγκρισης, που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ακολούθως, πρέπει να θέσουμε την σημαία RBIF στο 0. Αν δεν ενημερώσουμε τον καταχωρητή PORTB, η διαφορά θα εξακολουθεί να υπάρχει και η σημαία θα γίνεται συνεχώς 1, έστω και αν προσπαθούμε να την κάνουμε 0.

Τον ακροδέκτη RB0, της θύρας B μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε για την λήψη μίας ακόμη διακοπής από τις εξωτερικές συσκευές με τις οποίες επικοινωνεί ο PIC. Εδώ, η διακοπή δεν προκαλείται από την αλλαγή της κατάστασης της εισόδου στον ακροδέκτη αυτόν αλλά κατά την διάρκεια του ανερχόμενου ή κατερχόμενου μετώπου. Συγκεκριμένα, όταν το bit INTEDG του καταχωρητή OPTION_REG είναι 1 τότε η διακοπή προκαλείται σε ανερχόμενο μέτωπο του ακροδέκτη RB0, ενώ όταν είναι 0 η διακοπή προκαλείται σε κατερχόμενο. Επίσης, την θύρα B αφορά και το bit 7 του καταχωρητή OPTION_REG, το οποίο και θα θέτουμε πάντα στο 1. Τα bits INTEDG και 7, του καταχωρητή OPTION_REG, φαίνονται στο σχήμα 6.5.

7	6	5	4	3	2	1	0
1	**INTEDG**						

Σχήμα 6.5 *Το ψηφίο INTEDG στον καταχωρητή OPTION_REG.*



Σχήμα 6.5 *Η θύρα C με τους ακροδέκτες RC0 - RC2 ορισμένους ως εισόδους και τους RC3 -RC7 ως εξόδους.*

Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτής της λειτουργίας διακοπής, του ακροδέκτη RB0 της θύρας B, είναι όταν συνδέουμε ένα πληκτρολόγιο στον ακροδέκτη αυτό. Η εφαρμογή αυτή συνιστάται όταν θέλουμε να επαναφέρουμε τον PIC από κατάσταση SLEEP, με το πάτημα ενός πλήκτρου. Η περίπτωση είναι ανάλογη με ότι συμβαίνει στους προσωπικούς Η/Υ μας. Εκεί, μετά από ένα διάστημα που ο Η/Υ μένει ανενεργός, σβήνει η οθόνη. Η λειτουργία της επανέρχεται με το πάτημα ενός πλήκτρου ή την κίνηση του ποντικιού.

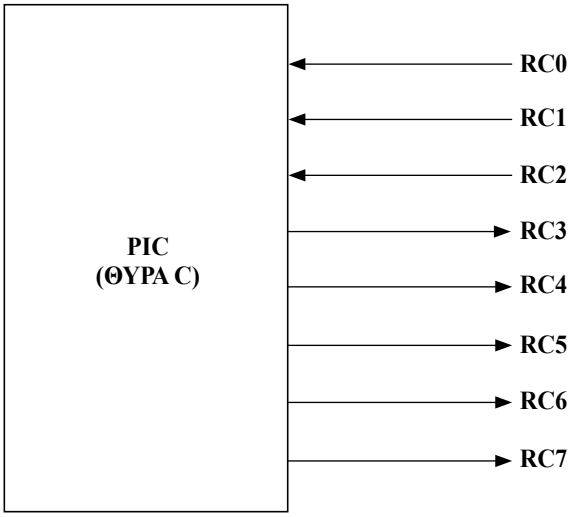
6.1.3 Θύρα C

Η θύρα C έχει 8 ακροδέκτες εισόδου - εξόδου. Όπως και στις προηγούμενες θύρες, έτσι και εδώ, ο κάθε ακροδέκτης μπορεί να ορισθεί ανεξάρτητα από τους υπολοίπους. Για παράδειγμα, ο ορισμός των ακροδεκτών RC0 - RC2 ως είσοδοι και των υπολοίπων ως έξοδοι, όπως στο σχήμα 6.6, γίνεται με την φόρτωση της τιμής 00000111 (03 H) στον καταχωρητή TRISC.

Ο κώδικας αρχικοποίησης είναι:

```
BCF STATUS, RP0        ; Επιλογή τμήματος 0 της μνήμης
BCF STATUS, RP1        ;δεδομένων (RP0 = 0 και RP1 = 0).

CLRF POTRC             ;Μηδενισμός της εξόδου της θύρας

BSF STATUS, RP0        ;Επιλογή τμήματος 1 της μνήμης
                       ;δεδομένων.
MOVLW 03 H             ;Φόρτωση τιμής 00000111 (03 H) στον TRISC
```

```
MOVWF TRISC          ;Έτσι επιλέγονται τα RC0 - RC2 σαν
                     ;είσοδοι και τα RC3 - RC7 σαν έξοδοι
```



Σχήμα 6.6 *Η θύρα C με τους ακροδέκτες RC0 - RC2 ορισμένους ως εισόδους και τους RC3 - RC7 ως εξόδους.*

Όταν προγραμματίζουμε την θύρα για μία συγκεκριμένη λειτουργία, όπως στο παραπάνω παράδειγμα, πρέπει να προσέχουμε και την λειτουργία των άλλων περιφερειακών του PIC. Κάποια από αυτά μπορεί να χρησιμοποιούν τους ακροδέκτες της θύρας. Στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατόν, να αλλάζουν τα bits του καταχωρητή TRISC και να μετατρέπουν κάποιους ακροδέκτες σε εισόδους ή εξόδους ανάλογα με την λειτουργία τους.

6.1.4 Θύρες D και E

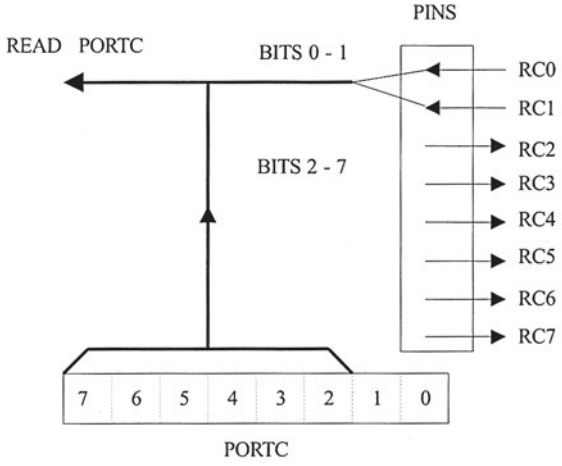
Η θύρα D έχει 8 ακροδέκτες εισόδου / εξόδου ενώ η θύρα E έχει μόνον 3. Η λειτουργία τους είναι πανομοιότυπη με την γενική λειτουργία των θυρών A, B και C και, για τον λόγο αυτό, δεν θα την αναλύσουμε.

Τέλος, αφού μιλήσαμε για όλες τις θύρες του PIC, θα πρέπει να τονίσουμε ένα χαρακτηριστικό της λειτουργίας των καταχωρητών PORT. Ενώ η εγγραφή ενός δεδομένου σε έναν από τους καταχωρητές PORT σημαίνει φόρτωμα του δεδομένου στον καταχωρητή αυτό, δηλαδή, ό,τι έχουμε μάθει έως τώρα, η ανάγνωση ενός καταχωρητή PORT σημαίνει ανάγνωση της κατάστασης των ακροδεκτών της αντίστοιχης θύρας.

Πρέπει να ξέρουμε ότι οι εντολές εγγραφής, όπως είναι οι εντολές επεξεργασίας bit, πρώτα διαβάζουν τα δεδομένα, μετά τα τροποποιούν και, τέλος, τα αποθηκεύουν ξανά στο ίδιο μέρος. Για παράδειγμα η εντολή "BCF 30 H, 3", πρώτα διαβάζει το περιεχόμενο του καταχωρητή 30 H, μετά μηδενίζει το bit 3 της τιμής

που διάβασε και, τέλος, γράφει το αποτέλεσμα, πίσω, στον καταχωρητή 30 H. Ωστόσο, αν εκτελέσουμε μία εντολή εγγραφής στον καταχωρητή PORT μίας θύρας, που έχει κάποιους από τους ακροδέκτες της ορισμένους ως εισόδους, τότε, τα πράγματα είναι διαφορετικά. Η εντολή εγγραφής θα διαβάσει την κατάσταση των ακροδεκτών, αντί του καταχωρητή PORT και, στη συνέχεια, αφού τις τροποποιήσει θα τις γράψει στον καταχωρητή PORT. Μόνον οι ακροδέκτες που είναι έξοδοι έχουν τις τιμές των αντιστοίχων bits του καταχωρητή PORT, ενώ όσοι είναι είσοδοι παίρνουν την τιμή τους από το σύστημα που τους οδηγεί.

Ας δούμε, λοιπόν, ένα παράδειγμα. Έστω ότι η θύρα C έχει τους ακροδέκτες RC0 και RC1 ορισμένους ως εισόδους και τους RC2 - RC5 ορισμένους ως εξόδους. Επίσης, ας υποθέσουμε ότι ο καταχωρητής PORTC έχει το περιεχόμενο 00101110 (2E H) ενώ η κατάσταση των ακροδεκτών εισόδου είναι RC0 = 1 και RC1 = 0. Τότε, η εντολή "BCF PORTC, 3", διαβάζει την τιμή 00101101 (2D H) και, ακολούθως, μηδενίζει το bit 3. Το αποτέλεσμα, 00100101 (25 H), γράφει στον καταχωρητή PORTC. Αυτό, βεβαίως, είναι διαφορετικό από το αποτέλεσμα 00100110 (26 H), που θα παίρναμε, με την ίδια εντολή, αν αντί του PORTC είχαμε, για παράδειγμα, τον καταχωρητή 30 H. Το σχήμα 6.7 δείχνει παραστατικά το παράδειγμα αυτό.



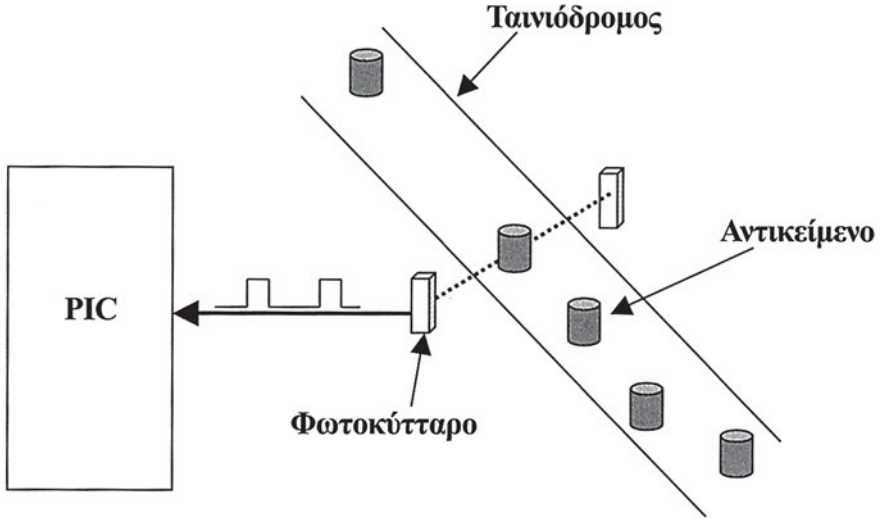
Σχήμα 6.7 *Εκτέλεση εντολής ανάγνωσης στον καταχωρητή PORTC της θύρας C, με τους ακροδέκτες RC0 και RC1 ορισμένους ως εισόδους, ενώ τους RC2 έως RC7, ως εξόδους.*

Ερωτήσεις

1. Με ποιόν καταχωρητή μπορούμε να ορίσουμε σαν είσοδο ή έξοδο τον ακροδέκτη μίας θύρας;
2. Πώς πρέπει να τροποποιήσουμε το πρόγραμμα αρχικοποίησης της θύρας C, έτσι ώστε να ορίσουμε τους ακροδέκτες RC3 και RC6 ως εξόδους και τους υπόλοιπους ως εισόδους;

6.2 Χρονιστές

Η δεύτερη κατηγορία περιφερειακών συσκευών, που θα μελετήσουμε, είναι οι χρονιστές. Πρόκειται για συσκευές που αυξάνουν ή μειώνουν την τιμή μίας παραμέτρου κατά μία μονάδα. Οι χρονιστές έχουν δύο τρόπους λειτουργίας. Στον πρώτο, η μεταβολή της τιμής αυτής γίνεται περιοδικά, με συχνότητα που καθορίζεται από ένα ρολόι. Στο δεύτερο τρόπο, λειτουργούν ως μετρητές κάποιων παλμών που δέχονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Ένα παράδειγμα είναι η σύνδεση ενός κυκλώματος με φωτοκύτταρο στον κατάλληλο ακροδέκτη του PIC. Το φωτοκύτταρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση αντικειμένων που περνούν με έναν ταινιόδρομο. Κάθε φορά που ένα αντικείμενο περνά, το φωτοκύτταρο στέλνει σήμα στο χρονιστή του PIC, ο οποίος και καταγράφει την μέτρηση. Το παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 6.8.



Σχήμα 6.8 *Ο μικροελεγκτής PIC σε λειτουργία μέτρησης αντικειμένων.*

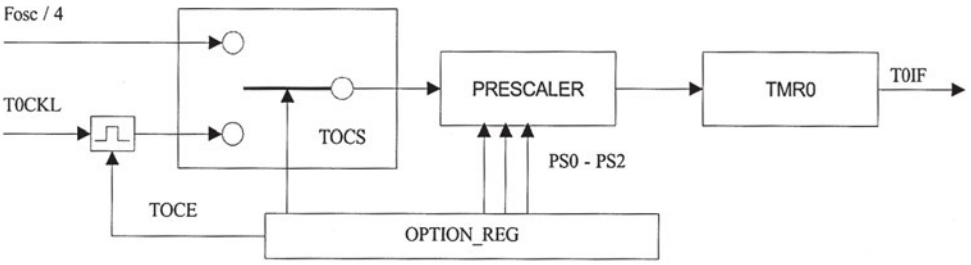
Ο PIC διαθέτει 3 διαφορετικούς τύπους χρονιστών, τους TIMER0, TIMER1 και TIMER2. Εμείς, θα δούμε, αναλυτικά, τη λειτουργία των TIMER0 και TIMER2. Η λειτουργία του TIMER1 είναι παρόμοια.

6.2.1 Ο Χρονιστής TIMER0

Η συγκεκριμένη συσκευή διαθέτει ένα διαιρέτη συχνότητας 8 bits και έναν μετρητή 8 bits. Η τιμή των μετρήσεων του TIMER0 αποθηκεύεται στον καταχωρητή TMR0, που βρίσκεται στο τμήμα 2 της μνήμης δεδομένων. Ο έλεγχος του χρονιστή TIMER0 γίνεται αποκλειστικά από τα bits 0 - 5 του καταχωρητή OPTION_REG, που βρίσκεται στο τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων. Ο καταχωρητής OPTION_REG φαίνεται στο σχήμα 6.9, ενώ το διάγραμμα του χρονιστή παρουσιάζεται στο σχήμα 6.10.

7	6	5	4	3	2	1	0
		TOCS	**TOCE**	**0**	**PS2**	**PS1**	**PS0**

Σχήμα 6.9 *Ο καταχωρητής OPTION_REG*



Σχήμα 6.10 *Ο χρονιστής TIMER0.*

Τον καταχωρητή αυτό μπορούμε όχι μόνο να τον διαβάσουμε αλλά και να τον γράψουμε. Ο καταχωρητής, μεταξύ άλλων, περιέχει και bits για τον έλεγχο του TMR0 διαιρέτη. Ας δούμε, τώρα, την σημασία του κάθε bit του καταχωρητή ελέγχου OPTION_REG για την λειτουργία του χρονιστή.

- ***Bits 7-6:*** Δεν έχουν σημασία για την λειτουργία του χρονιστή.
- ***TOCS:*** Επιλογή πηγής ρολογιού
  1 = Πηγή συνδεδεμένη στον ακροδέκτη TOCLK (Λειτουργία μετρητή παλμών)
  0 = Εσωτερική πηγή ρολογιού (Λειτουργία χρονιστή).
- ***TOSE:*** Επιλογή μετώπου πηγής
  1 = Αύξηση με κατερχόμενο μέτωπο του παλμού στον ακροδέκτη TOCLK
  0 = Αύξηση με ανερχόμενο μέτωπο του παλμού στον ακροδέκτη TOCLK

  Bit 3: Θα το θεωρούμε πάντα "0".
- ***PS2-PS0:*** Επιλογή λόγου διαίρεσης

Τιμή Bits	Ρυθμός TMR0
000	1:2
001	1:4
010	1:8
011	1:16
100	1:32
101	1:64
110	1:128
111	1:256

Για να επιλέξουμε τη λειτουργία του περιφερειακού ως χρονιστή θέτουμε το bit TOCS = 0. Τότε ο χρονιστής θα αρχίσει να αυξάνεται. Μπορούμε, επίσης, να του ορίσουμε την τιμή, από την οποία θέλουμε να ξεκινήσει να αυξάνει, στον καταχωρητή TMR0. Ωστόσο, πρέπει να προσέξουμε διότι οι δύο πρώτοι κύκλοι δεν καταγράφονται. Για να υπερκεράσουμε αυτό το πρόβλημα, πρέπει να βάλουμε, στον καταχωρητή TMR0, τιμή κατά δύο μονάδες μεγαλύτερη από αυτή που θέλουμε να ξεκινά.

Για να λειτουργήσουμε τη συσκευή ως μετρητή, πρέπει να θέσουμε το bit TOCS = 1. Τότε, η συσκευή μετρά τους παλμούς που δέχεται στον ακροδέκτη T0CLK. Η αύξηση γίνεται όταν ο παλμός βρίσκεται είτε στο ανερχόμενο είτε στο κατερχόμενο μέτωπό του. Αυτό το ορίζουμε από το bit TOSE, όπως είδαμε παραπάνω.

Ο λόγος διαίρεσης ορίζεται από τα bits 0 ως 2. Όταν ο διαιρέτης χρησιμοποιείται από τον χρονιστή TIMER0, όλες οι εντολές που γράφουν στον καταχωρητή TMR0 μηδενίζουν τον διαιρέτη. Επίσης, ο καταχωρητής αυξάνεται ανά τόσους παλμούς, όσους έχουμε ορίσει στον διαιρέτη. Για παράδειγμα, αν βάλουμε στα bits PS2 - PS0 την τιμή 000 τότε ο διαιρέτης έχει την τιμή 2 και η αύξηση θα γίνεται κάθε 2 κύκλους εντολής. Παράλληλα, όμως, αυξάνεται ανάλογα και ο χρόνος που καθυστερεί μέχρι να αρχίσει να μετρά. Έτσι, στο παράδειγμά μας, αντί των δύο κύκλων εντολών καθυστέρηση που θα είχαμε, τώρα, θα έχουμε την διπλή, δηλαδή 4.

Στην περίπτωση που ο καταχωρητής TMR0 υπερχειλίσει, δηλαδή μετά από την τιμή FF H φορτώσει την τιμή 0, τότε προκαλεί διακοπή. Η σημαία που υποδηλώνει την διακοπή είναι το bit T0IF του καταχωρητή INTCON. Η σημαία τίθεται πάλι στο 0 από την ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής, ώστε η διακοπή να μπορεί να ενεργοποιηθεί ξανά. Η διακοπή μπορεί να απενεργοποιηθεί, μόνιμα, αν θέσουμε το bit T0IE, του καταχωρητή INTCON, στο 0. Οι δύο σημαίες, που αναφέραμε, φαίνονται στο σχήμα 6.11.

7	6	5	4	3	2	1	0
		T0IE			**T0IF**		

Σχήμα 6.11 *Οι σημαίες T0IE και T0IF του καταχωρητή INTCON.*

Στην συνέχεια θα δούμε πώς μπορούμε να αρχικοποιήσουμε το περιφερειακό αυτό, ως χρονιστή και ως μετρητή.

- **Αρχικοποίηση ως χρονιστή (εσωτερική πηγή παλμών).**

Έστω ότι θέλουμε να ορίζουμε τον TIMER0 να αυξάνεται χρησιμοποιώντας το εσωτερικό ρολόι (TOCS = 0), στο ανερχόμενο μέτωπό του (TOSE = 0), με διαιρέτη 1:16 (PS2 - PS0 = 011). Τότε, πρέπει να φορτώσουμε στον καταχωρητή OPTION_REG (σχήμα 6.9) την τιμή 11000011 (C3 H). Ας σημειωθεί ότι τα bits 6 και 7 είναι αδιάφορα για την λειτουργία αυτή και τα βάζουμε στο "1". Ο κώδικας αρχικοποίησης, έχει ως ακολούθως:

```
CLRF TMR0           ;ΜηδένισεTMR0
CLRF INTCON         ;Απενεργοποίησε τις διακοπές και μηδένισε το TOIF

BCF STATUS, RP0     ;Επιλογή του τμήματος 1 της μνήμης δεδομένων
BSF STATUS, RP1

MOVLW 83 H          ;Με βάση τη τιμή 83 H ορίζουμε λειτουργία χρονιστή
MOVWF OPTION_REG    ;με το εσωτερικό ρολόι, στο ανερχόμενο μέτωπο,
                    ;με διαιρέτη 1:16

BCF STATUS, RP0     ;Επιλογή του τμήματος 0 της μνήμης δεδομένων

BSF INTCON, TOIE    ;Ενεργοποίηση της διακοπής TMR0
BSF INTCON, GIE     ;Ενεργοποίηση όλων των διακοπών
```

- **Αρχικοποίηση ως μετρητή (εξωτερική πηγή παλμών).**

Έστω ότι θέλουμε να ορίζουμε τον TIMER0 να μετρά τους εξωτερικούς παλμούς που δέχεται στο T0CLK (TOCS = 1), στο κατερχόμενο μέτωπό τους (TOSE = 1), με διαιρέτη 1:256 (PS2 - PS0 = 111). Τότε, πρέπει να φορτώσουμε στον καταχωρητή OPTION_REG την τιμή 00110111 (37 H). Ας σημειωθεί ότι τα bits 6 και 7 είναι αδιάφορα για την λειτουργία αυτή και τα βάζουμε στο "0". Ο πλήρης κώδικας αρχικοποίησης, έχει ως ακολούθως:

```
CLRF TMR0           ;ΜηδένισεTMR0
CLRF INTCON         ;Απενεργοποίησε τις διακοπές και μηδένισε το TOIF

BCF STATUS, RP0     ;Επιλογή του τμήματος 1 της μνήμης δεδομένων
BSF STATUS, RP1

MOVLW 37 H          ;Αύξηση του χρονιστή από το εξωτερικό παλμό που
MOVWF OPTION_REG    ;δέχεται στο T0CLK, με διαιρέτη 1:256

BCF STATUS, RP0     ;Επιλογή του τμήματος 0 της μνήμης δεδομένων

BSF INTCON, TOIE    ;Ενεργοποίηση της διακοπής TMR0
BSF INTCON, GIE     ;Ενεργοποίηση όλων των διακοπών
```

Και στις δύο περιπτώσεις, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, ο κώδικας αρχικοποίησης ξεκινά με την απενεργοποίηση των διακοπών. Ακολούθως, προχωρά στην τοποθέτηση της κατάλληλης, για την κάθε περίπτωση, τιμής στον καταχωρητή OPTION_REG. Τέλος, οι διακοπές ενεργοποιούνται ξανά.

6.2.2 Ο Χρονιστής TIMER 2

Όπως και ο TIMER0 έτσι και αυτή η περιφερειακή μονάδα χρονισμού / μέτρησης, ο TIMER2, είναι 8 bits. Ο TIMER2, όμως, διαθέτει δύο διαιρέτες, αντί του ενός που έχει ο TIMER0. Ο ένας διαιρέτης, που λέγεται prescaler, διαιρεί τους παλμούς εισόδου πριν από τον μετρητή, όπως και στον TIMER0. Ο άλλος διαιρέτης, που λέγεται postscaler, διαιρεί το αποτέλεσμα της μέτρησης. Ο χρονιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βάση χρόνου για την περιφερειακή συσκευή διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM).

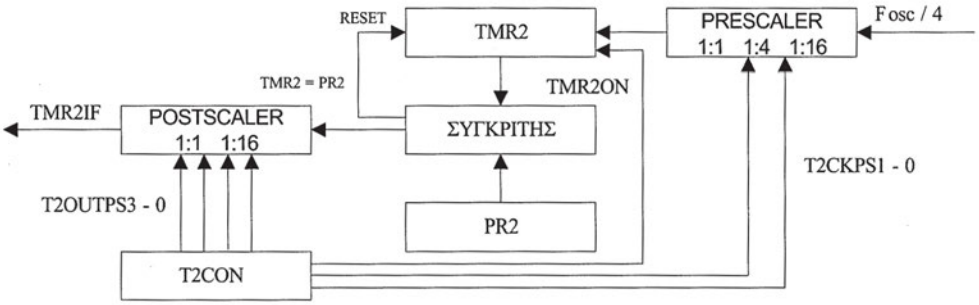
Οι μετρήσεις καταγράφονται στον καταχωρητή TMR2, ενώ ο καταχωρητής ελέγχου του είναι ο T2CON, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 6.12. Και οι δύο καταχωρητές βρίσκονται στο τμήμα 0 της μνήμης δεδομένων.

7	6	5	4	3	2	1	0
-	**TOUTPS3**	**TOUTPS2**	**TOUTPS1**	**TOUTPS0**	**TMR2ON**	**T2CKPS1**	**T2CKPS0**

Σχήμα 6.12 *Ο καταχωρητής T2CON*

Τον καταχωρητή T2CON μπορούμε όχι μόνον να τον διαβάσουμε αλλά και να τον γράψουμε. Ο καταχωρητής αυτός περιέχει bits για τον καθορισμό του τρόπου λειτουργίας του TIMER2 και του διαιρέτη του. Το διάγραμμα του TIMER2, με τους δύο διαιρέτες και τους καταχωρητές που χρησιμοποιεί, φαίνεται στο σχήμα 6.13.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε την σημασία του κάθε bit του καταχωρητή ελέγχου για την λειτουργία του TIMER2.



Σχήμα 6.13 *Ο χρονιστής TIMER2.*

- ***Bit7:*** Δεν έχει σημασία. Διαβάζεται σαν "0".
- ***TOUTPS3 - TOUTPS0:*** Επιλογή του λόγου διαίρεσης του αποτελέσματος του μετρητή (postscale).
  0000 = 1:1
  0001 = 1:2
  0010 = 1:3
  …

…
…
1111 = 1:16

- ***TMR2ON:*** Bit ενεργοποίησης TIMER2.
  1 = TIMER2 ενεργοποίηση
  0 = TIMER2 απενεργοποίηση

- ***T2CKPS1 - T2CKPS0:*** Επιλογή του λόγου διαίρεσης πριν από τον μετρητή (prescale). 00 = Διαίρεση με 1
  01 = Διαίρεση με 4
  10 = Διαίρεση με 16
  11= Διαίρεση με 16

Ο χρονιστής δέχεται παλμούς ρολογιού μόνον από το ρολόι του PIC, με συχνότητα Fosc/4. Μπορούμε να διαιρέσουμε την συχνότητα αυτή, κατά 1, 4 και 16, χρησιμοποιώντας τον διαιρέτη πριν από τον μετρητή. Όπως είδαμε και προηγουμένως, η επιλογή γίνεται από τα bits T2CKPS1 - T2CKPS0 του καταχωρητή T2CON.

Πέραν των καταχωρητών που προαναφέραμε, η συσκευή αυτή διαθέτει και έναν άλλο καταχωρητή, τον PR2, που βρίσκεται στο τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων. Και αυτός ο καταχωρητής μπορεί να γραφεί και να διαβαστεί. Ο καταχωρητής TMR2 συγκρίνεται με τον PR2 και αν είναι ίσοι, αρχίζει να μετρά, πάλι, από την αρχή, δηλαδή από το 0. Έτσι, βάζοντας μία τιμή στον PR2, μπορούμε να ρυθμίσουμε την συχνότητα με την οποία ο TMR2 μηδενίζεται.

Όπως και στις άλλες δύο περιπτώσεις χρονιστών, όταν υπερχειλίσει ο καταχωρητής που καταγράφει την μέτρηση, προκαλείται διακοπή. Στον TIMER2 η διακοπή υποδεικνύεται από την σημαία TMR2IF του καταχωρητή PIR1 (σχήμα 6.14). Τη διακοπή μπορούμε να απενεργοποιήσουμε από το bit TMR2IE του καταχωρητή PIE1 (σχήμα 6.15). Πρέπει, και εδώ, να προσέξουμε η ρουτίνα εξυπηρέτησης, που θα φτιάξουμε, να καθαρίζει την σημαία της διακοπής, έτσι ώστε να μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί ξανά.

7	6	5	4	3	2	1	0
						TMR2IF	

Σχήμα 6.14 *Η σημαία TMR2IF στον καταχωρητή PIR1.*

7	6	5	4	3	2	1	0
						TMR2IE	

Σχήμα 6.15 *Το bit TMR2IE στον καταχωρητή PIE1.*

Στην συνέχεια θα δούμε ένα παράδειγμα αρχικοποίησης του TIMER2 και ορισμού των παραμέτρων του:

Παράδειγμα αρχικοποίησης TIMER2

Έστω ότι θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τον TIMER2 με λόγο διαίρεσης 1:16 των παλμών εισόδου του μετρητή (T2CKPS1 - T2CKPS0 = 11) και λόγο διαίρεσης 1:15 του αποτελέσματος του μετρητή (TOUTPS3 - TOUTPS0 = 1110). Τις τιμές αυτές θα τις δώσουμε με τον TIMER2 σταματημένο (TMR2ON = 0). Έτσι με βάση τα προηγούμενα, πρέπει να φορτώσουμε τον καταχωρητή T2CON (σχήμα 6.12) με την τιμή 01110011 (72 H). Αμέσως μετά θα εκκινήσουμε τον μετρητή θέτοντας το bit TMR2ON στο "1".

Η διακοπή, που υποδηλώνεται με την σημαία TMR2IF, προκαλείται όταν η τιμή στον TMR2 γίνει ίση με την τιμή στον PR2. Η σημαία τίθεται πάλι στο 0 από την ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής, ώστε η διακοπή να μπορεί να ενεργοποιηθεί ξανά.

Στο παράδειγμά μας, δεν διακόπτεται η εκτέλεση του προγράμματος, για να εκτελεστεί η ρουτίνα εξυπηρέτησης του TIMER2, κάθε φορά που η τιμή του TMR2 γίνει ίση με αυτή του PR2 (διακοπή). Για την διαχείριση της διακοπής χρησιμοποιούμε την μέθοδο δειγματοληψίας, όπως την είδαμε στην ενότητα 5.7, του κεφαλαίου 5. Έτσι, αφού απενεργοποιήσουμε όλες τις διακοπές, ελέγχουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με τη χρήση ενός βρόχου, αν το bit TMR2IF του καταχωρητή PIR1 είναι 1. Επίσης, χρησιμοποιούμε την τεχνική της αλλαγής της ροής προγράμματος υπό συνθήκη, που περιγράψαμε στην ενότητα 5.6, του κεφαλαίου 5, για να εκτελέσουμε τη ρουτίνα εξυπηρέτησης του περιφερειακού, όταν συμβεί η διακοπή. Ο κώδικας είναι ο ακόλουθος:

```
;Παύση TIMER2, Λόγος διαίρεσης 1:1 και στους δύο διαιρέτες
        CLRF T2CON
;
;Μηδενισμός καταχωρητή TMR2
        CLRF TMR2
;
;Απενεργοποίηση διακοπών
        CLRF INTCON
;
;Επιλογή τμήματος 1 της μνήμης δεδομένων
        BSF STATUS, RP0
;
;Απενεργοποίηση των διακοπών των περιφερειακών
        CLRF PIE1                       ;
;Επιλογή τμήματος 0 της μνήμης δεδομένων
        BCF STATUS, RP0
;
;Μηδενισμός σημαιών περιφερειακών διακοπών
        CLRF PIR1
```

```
;
;Διαιρέτης Prescaler = 1:16, T2CKPS1 - T2CKPS0 = 11

;Διαιρέτης Postscaler = 1:15, TOUTPS3 - TOUTPS0 = 1110
;Παύση TIMER2, TMR2ON = 0
        MOVLW 72 H
        MOVWF T2CON
;
;Εκκίνηση TIMER2
        BSF T2CON, TMR2ON
;
;
;Η διακοπή του Timer2 είναι απενεργοποιημένη. Ο έλεγχος γίνεται
;με δειγματοληψία της σημαίας υπερχείλισης TMR2IF και την χρησιμοποίηση της
;τεχνικής της αλλαγής της ροής προγράμματος υπό συνθήκη.
;
T2_OVFL_WAIT

;Έλεγχος διακοπής (bit TMR2IF).
;Αν δεν υπάρχει διακοπή (TMR2IF = 0) εκτέλεσε την επομένη εντολή.
;Αν υπάρχει διακοπή (TMR2IF = 1) εκτέλεσε την μεθεπομένη εντολή.
        BTFSS PIR1, TMR2IF
GOTO T2_OVFL_WAIT   ; Επανέλαβε το βρόχο.
;
;Ο χρονιστής έχει υπερχειλίσει. Μηδένισε τη σημαία TMR2IF. BCF PIR1, TMR2IF
```

Ερωτήσεις

1. Ποιοι είναι οι δύο τρόποι λειτουργίας ενός χρονιστή;
2. Σε ποιόν καταχωρητή μπορούμε να βρούμε την τιμή της μέτρησης του TIMER0;
3. Τι προκαλεί την μεταβολή στην τιμή της μέτρησης;
4. Ποια η λειτουργία του διαιρέτη;

6.3 Μονάδα Σύλληψης / Σύγκρισης / Διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM)

Στην παρούσα ενότητα θα εξετάσουμε μία περιφερειακή συσκευή του PIC, η οποία μπορεί να λειτουργήσει με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ως ακολούθως:

- Μονάδα Σύλληψης
- Μονάδα Σύγκρισης
- Μονάδα Διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM)

Αυτή η περιφερειακή συσκευή λέγεται CCP. Ο μικροελεγκτής PIC διαθέτει δύο τέτοιες περιφερειακές συσκευές, οι οποίες λειτουργούν πανομοιότυπα, τις CCP1 και CCP2. Εμείς θα εξετάσουμε την πρώτη.

Η μονάδα CCP1 περιέχει δύο καταχωρητές, οι οποίοι βρίσκονται στο τμήμα 0 της μνήμης δεδομένων. Ο ένας καταχωρητής, ο οποίος ονομάζεται CCP1CON, είναι 8 bits, και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της συσκευής. Ο άλλος, ο CCPR1, είναι 16 bits και τον χρησιμοποιεί κατά την λειτουργία της. Ο καταχωρητής αυτός μπορεί να λειτουργήσει σαν καταχωρητής σύλληψης 16 bits, σύγκρισης 16 bits και PWM 10 bits, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της. Επειδή είναι 16 bits, αναφερόμαστε σε αυτόν σαν να ήταν δύο καταχωρητές, οι CCPR1H και CCPR1L, που είναι το περισσότερο και λιγότερο σημαντικό byte του, αντίστοιχα.

Σε κάθε λειτουργία της, η μονάδα CCP1, χρησιμοποιεί και έναν από τους χρονιστές του PIC, που είδαμε στην προηγούμενη ενότητα. Στις δύο πρώτες λειτουργίες χρησιμοποιεί τον TIMER1, ενώ στην τελευταία, την PWM, τον TIMER2. Επίσης, χρησιμοποιεί τον ακροδέκτη CCP2 σαν είσοδο ή έξοδο, ανάλογα με την λειτουργία της.

Θα εξετάσουμε, τώρα, τον καταχωρητή ελέγχου και θα δούμε την σημασία των bits του. Ο καταχωρητής φαίνεται στο σχήμα 6.16. Τον καταχωρητή μπορούμε όχι μόνον να τον διαβάσουμε αλλά και να τον γράψουμε. Ο καταχωρητής περιέχει bits για την επιλογή του τρόπου λειτουργίας της συσκευής.

7	6	5	4	3	2	1	0
-	**-**	**DCIB1**	**DCIB0**	**CCPIM3**	**CCPIM2**	**CCPIM1**	**CCPIM0**

Σχήμα 6.16 *Ο καταχωρητής CCP1CON*

Η σημασία των bits του έχει ως εξής:

- ***Bits 7 και 6:*** Δεν έχουν σημασία και διαβάζονται ως 0.

- ***DC1B1- DC1B0:*** Bits PWM λειτουργίας
  Είναι το δύο λιγότερο σημαντικά bits, δηλαδή το 1 και το 0, από τα 10 bits της λειτουργίας PWM. Τα υπόλοιπα 8 βρίσκονται στον καταχωρητή CCPR1L. Για τις άλλες δύο λειτουργίες της συσκευής δεν έχουν σημασία.

- ***CCP1M3 - CCP1M0:*** Bits επιλογής λειτουργίας
  0000 = Απενεργοποίηση όλων των λειτουργιών. Επανεκκίνηση (reset) συσκευής. 0100 - 0111 = Λειτουργίες σύλληψης.
  1000 - 1011 = Λειτουργίες σύγκρισης.

11xx = PWM λειτουργία. Τα bits CCP1M0 και CCP1M1 δεν έχουν σημασία και μπορεί να είναι οτιδήποτε.

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τις τρεις λειτουργίες αυτής της περιφερειακής συσκευής.

6.3.1 Λειτουργία Σύλληψης

Στην λειτουργία αυτή, όταν η μονάδα CCP δεχθεί σήμα στον ακροδέκτη CCP1, διαβάζει την τιμή του καταχωρητή TMR1, που, όπως είπαμε, ανήκει στον TIMER1, και την αποθηκεύει στον καταχωρητή CCPR1. Ως σήμα λογίζεται ένα από τα ακόλουθα:

- Μία κατερχόμενο μέτωπο παλμού.
- Μία ανερχόμενο μέτωπο παλμού.
- Μία ανερχόμενο μέτωπο κάθε 4ου παλμού.
- Μία ανερχόμενο μέτωπο κάθε 16ου παλμού.

Η λειτουργία ονομάζεται σύλληψη.

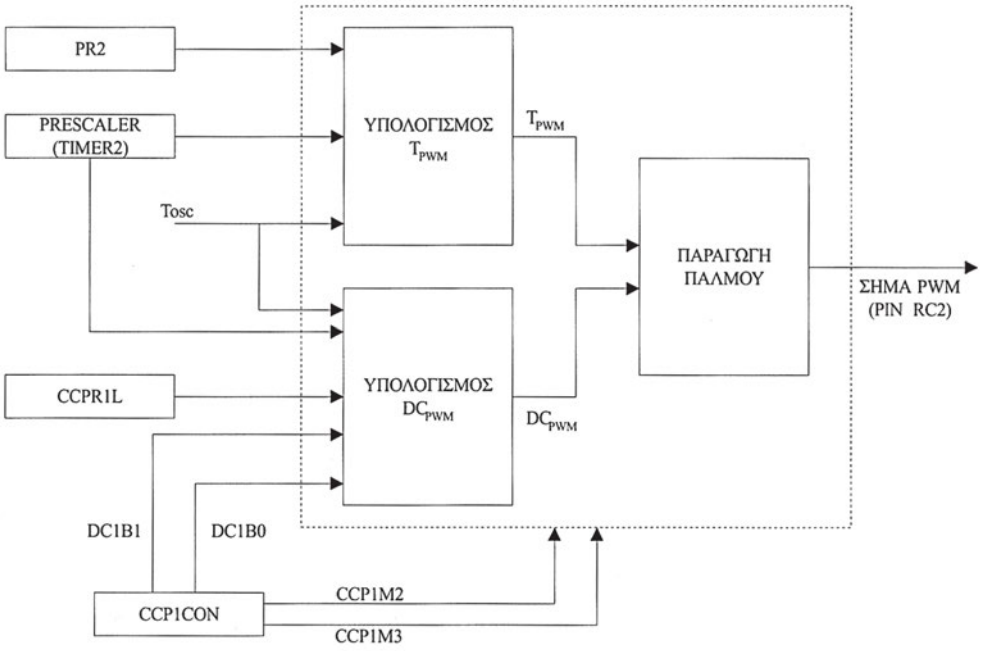
6.3.2 Μονάδα Σύγκρισης

Στην λειτουργία αυτή, η μονάδα CCP1 συγκρίνει τα περιεχόμενα του καταχωρητή CCPR1 με τα περιεχόμενα του καταχωρητή TMR1. Όταν διαπιστώσει ισότητα θέτει τον ακροδέκτη CCP1 από το 0 στο 1 ή από το 1 στο 0, ανάλογα με τον ορισμό που της δώσαμε στα bits CCP1M3 - CCP1M0 του καταχωρητή CCP1CON.

6.3.3 Μονάδα Διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM)

Αυτή η λειτουργία έχει πολύ μεγάλη σημασία σε περιπτώσεις όπου ο PIC χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μικροϋπολογιστικών συστημάτων για βιομηχανικό περιβάλλον. Η λειτουργία πολλών συσκευών ελέγχεται από την στάθμη της ενεργού τάσης του σήματος εισόδου. Για παράδειγμα υπάρχουν ηλεκτρικές βαλβίδες με μεταβαλλόμενο άνοιγμα ή κλείσιμο που είναι ελεγχόμενες από την ενεργό τάση εισόδου. Η στάθμη της ενεργού τάσης μίας παλμοσειράς εξαρτάται από το εύρος των παλμών σε σχέση με την περίοδο, δηλαδή το duty cycle. Ως duty cycle μίας παλμοσειράς ορίζουμε τον λόγο της χρονικής διάρκειας του παλμού της προς την περίοδο της. Συχνά, το duty cycle μετράται %. Για παράδειγμα duty cycle 25%, το οποίο σημαίνει ότι η διάρκεια του παλμού μίας παλμοσειράς είναι το 25% όλης της περιόδου της. Ο παλμός δίνεται στον ακροδέκτη RC2, της θύρας C.

Η λειτουργία επιλέγεται από τα bits CCP1M3 - CCP1M0 του καταχωρητή CCP1CON, όπως άλλωστε και οι άλλες δύο. Ο παλμός παράγεται στον ακροδέκτη CCP1, τον οποίο πρέπει να ορίσουμε ως έξοδο στον καταχωρητή TRIS. Επίσης, ο χρονιστής που χρησιμοποιείται είναι ο TIMER2, αντί του TIMER1 που χρησιμοποιούν οι άλλες λειτουργίες. Το σχήμα 6.17 παρουσιάζει την μονάδα PWM και τους καταχωρητές που χρησιμοποιεί.



Σχήμα 6.17 *Η μονάδα PWM και οι καταχωρητές που χρησιμοποιεί.*

Μπορούμε να ορίσουμε την περίοδο της PWM, την οποία συμβολίζουμε με TPWM, δίνοντας μία τιμή στον καταχωρητή PR2. Ας θυμηθούμε ότι, ο PR2 είναι ο καταχωρητής που καθορίζει την τιμή όπου θα μηδενίζεται ο καταχωρητής TMR2 του TIMER2. Τότε, την περίοδο την υπολογίζουμε, σε μονάδες χρόνου, ως εξής:

$$T_{PWM} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{OSC} \cdot (\text{prescale διαιρέτης TIMER2}) \qquad (6.1)$$

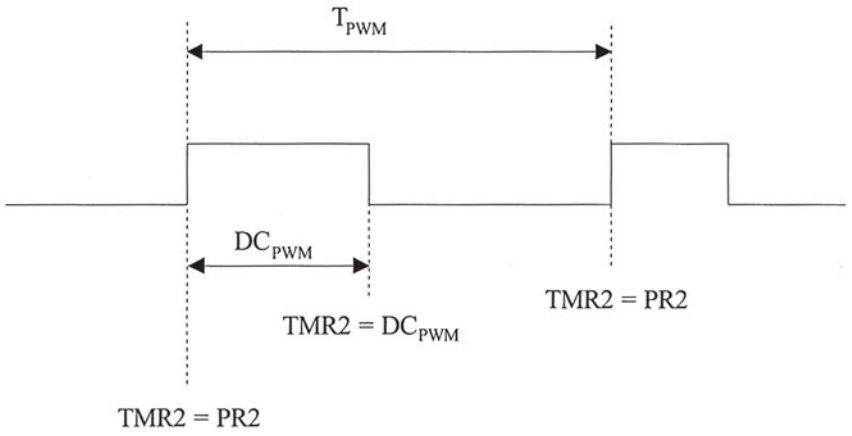
Όπως είναι αναμενόμενο, η συχνότητα PWM είναι το αντίστροφο της περιόδου, δηλαδή:

$$F_{PWM} = 1 / T_{PWM} \qquad (6.2)$$

Το PWM duty cycle, το οποίο συμβολίζουμε με DC_{PWM}, μπορούμε να το ορίσουμε από τα 2 bits, DC1B1- DC1B0, του καταχωρητή ελέγχου CCP1CON, που είναι και τα λιγότερο σημαντικά, και τα 8 bits του καταχωρητή CCPR1L. Όλα μαζί σχηματίζουν μία λέξη των 10 bits, που θα την ονομάσουμε DC1B. Το duty cycle υπολογίζεται, ως εξής:

DC_{PWM} = DC1B · T_{OSC} · (prescale διαιρέτης TIMER2) (6.3)

Το σχήμα 6.18 δείχνει παραστατικά την έξοδο PWM, στον ακροδέκτη RC2, και τη σημασία της περιόδου T_{PWM} και των τιμών DC_{PWM}, TMR2 και PR2. Στην συνέχεια θα δούμε μερικά παραδείγματα, τα οποία θα μας βοηθήσουν να καταλάβουμε πώς μπορούμε να υπολογίσουμε τις διάφορες παραμέτρους της λειτουργίας PWM.



Σχήμα 6.18 *Η έξοδος PWM και η σημασία της περιόδου T_{PWM} και των τιμών DC_{PWM}, TMR2 και PR2.*

Παράδειγμα 1 - Εύρεση τιμής PR2

Έστω ότι η ζητούμενη συχνότητα PWM, η F_{PWM}, είναι η 78,125 kHz και ότι ο PIC λειτουργεί με F_{OSC} = 20 MHz.

Αν ορίσουμε τον prescale διαιρέτη του TIMER2 στο 1, θέτοντας στον καταχωρητή T2CON τα ψηφία T2CKPS1 - T2CKPS0 = 00, τότε, από τον τύπο 6.1, μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή που πρέπει να δώσουμε στον καταχωρητή PR2, ως εξής:

T_{PWM} = 1/78,125 kHz = [(PR2) +1] · 4 · (1 / 20 MHz) · 1 ⇒

⇒12,8μs = [(PR2)+1] · 4 · 0,05μs · 1 ⇒

⇒ PR2 = 63

Πριν δούμε ένα δεύτερο παράδειγμα, θα ανακεφαλαιώσουμε τα όσα είπαμε για την PWM λειτουργία της περιφερειακής συσκευής CCP1 του μικροελεγκτή μας. Ας δούμε, λοιπόν, επιγραμματικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για να θέσουμε σε λειτουργία το περιφερειακό αυτό:

1. Καθορισμός της περιόδου της PWM από τον καταχωρητή PR2.
2. Καθορισμός του duty cycle της PWM από την λέξη DC1B (bits DC1B9 - DC1B0).
3. Ορισμός του ακροδέκτη CCP1 με μηδενισμό του bit PWM1 του καταχωρητή TRISC.

4. Καθορισμός του λόγου της prescale διαίρεσης από τον καταχωρητή T2CON του TIMER2.
5. Ορισμός της λειτουργίας PWM της συσκευής CCP1 από τον καταχωρητή CCP1CON.

Έχοντας υπόψη όλα αυτά, μπορούμε να δούμε το ακόλουθο παράδειγμα:

Παράδειγμα 2 - Αρχικοποίηση μονάδας PWM για 20% duty cycle

Έστω ότι θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το μικροελεγκτή PIC, με ρολόι 20 MHz, για να παράγουμε μία παλμοσειρά με duty cycle 20% και συχνότητα F_{PWM} = 156,3 kHz, δηλαδή T_{PWM} = 6,4μs.

Άρα, η διάρκεια του παλμού πρέπει να είναι 1,28 μs. Θα χρησιμοποιήσουμε τον χρονιστή TIMER2, με τον prescale διαιρέτη του ορισμένο στο 1, δηλαδή τα bits T2CKPS1 και T2CKPS2 του καταχωρητή ελέγχου, T2CON, του χρονιστή πρέπει να είναι στο 0.

Με αυτά τα δεδομένα, από τον τύπο 6.1, βρίσκουμε ότι πρέπει να δώσουμε στον καταχωρητή PR2 τιμή 31, δηλαδή 1F H. Στην συνέχεια, από τον τύπο 6.3, βρίσκουμε ότι, κατά προσέγγιση, η τιμή της λέξης DC1B πρέπει να είναι 26, δηλαδή 1A H. Όπως είπαμε η λέξη DC1B έχει μήκος 10 bits και, συνεπώς, είναι η:

CCPR1L								CCP1CON	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**	**DC1B1**	**DC1B0**
0	0	0	0	0	1	1	0	1	0

Πέρα από τα bits DC1B1 και DC1B0, που είδαμε παραπάνω, στον καταχωρητή ελέγχου CCP1CON, πρέπει να ορίσουμε και την λειτουργία PWM με τα bits CCP1M3 - 0 = 1100. Άρα, πρέπει να του φορτώσουμε την τιμή 00101100 (2C H) Ο κώδικας αρχικοποίησης της περιφερειακής συσκευής CCP1, για την παραπάνω λειτουργία PWM, έχει ως ακολούθως:

```
    CLRF CCP1CON        ;Απενεργοποίηση CCP
    CLRF TMR2           ; Μηδενισμός TIMER2

    MOVLW 1F H          ;
    MOVWF PR2           ;PR2 = 31(1F H)

                        ;Duty Cycle το 20% της TPWM
    MOVLW6
    MOVWF CCPR1L
;Απενεργοποίηση διακοπών - Μηδενισμός T0IF
    CLRF INTCON
;Επιλογή τμήματος 1 της μνήμης δεδομένων
    BSF STATUS, RP0
```

```
;Ορισμός ακροδέκτη PWM1 (RC2 της θύρας C) ως έξοδο
    BCF TRISC, PWM1
;Απενεργοποίηση περιφερειακών διακοπών.
    CLRF PIE1
;Επιλογή τμήματος 0 της μνήμης δεδομένων
    BCF STATUS, RP0

;Μηδενισμός των σημαιών των περιφερειακών διακοπών
    CLRF PIR1

;Επιλογή της λειτουργίας PWM, DC1B1 = 1 και DC1B0 = 0.
    MOVLW 2C H
    MOVWF CCP1CON

    BSF T2CON, TMR2ON   ;Εκκίνηση TIMER2

;Απενεργοποιημένη διακοπή CCP1.
;Έλεγχος διακοπής (bit TMR2IF).
;Αν δεν υπάρχει διακοπή (TMR2IF = 0) εκτέλεσε την επομένη εντολή.
;Αν υπάρχει διακοπή (TMR2IF = 1) εκτέλεσε την μεθεπομένη εντολή.

PWM_Period_Match
    BTFSS PIR1, TMR2IF
GOTO PWM_Period_Match ;Επανέλαβε το βρόχο.

;Μηδενισμός σημαίας διακοπής TMR2IF
    BCF PIR1, TMR2IF
```

Ερωτήσεις

1. Τι πετυχαίνουμε με τη χρήση της μονάδας PWM; Που μπορεί να χρησιμοποιηθεί;
2. Ποια από τις περιφερειακές συσκευές, που είδαμε στις προηγούμενες ενότητες, χρησιμοποιεί η παρούσα συσκευή για την λειτουργία της;
3. Ποιος είναι ο καταχωρητής ελέγχου της παρούσας συσκευής και από ποια bits του μπορούμε να ορίσουμε τη συσκευή να λειτουργεί ως μονάδα PWM.

6.4 Θύρα σειριακής επικοινωνίας

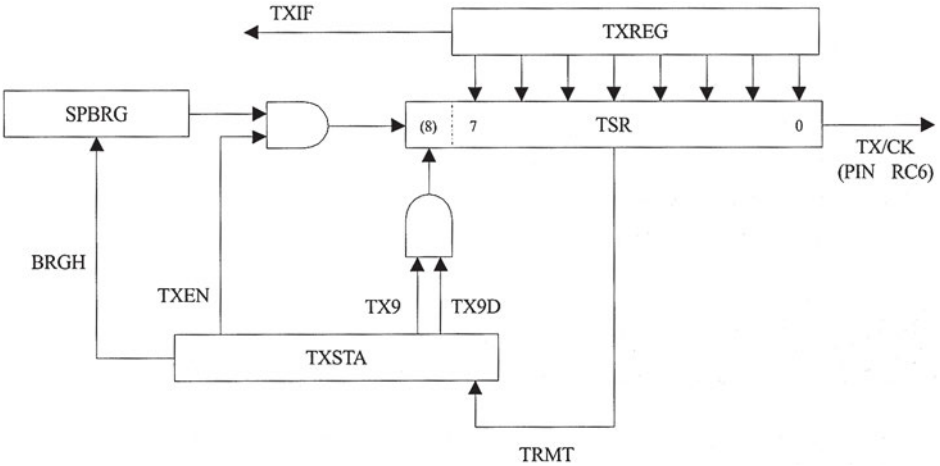
Στην παρούσα ενότητα θα μελετήσουμε την περιφερειακή συσκευή σειριακής επικοινωνίας του μικροελεγκτή μας. Αυτή η συσκευή ονομάζεται USART και

υποστηρίζει τόσο σύγχρονη όσο και ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία. Συγκεκριμένα, το περιφερειακό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ταυτόχρονα αμφίδρομη ασύγχρονη επικοινωνία (full duplex). Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να μεταδίδονται την ίδια χρονική στιγμή και προς τις δύο κατευθύνσεις. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να συνδεθεί με τερματικά και προσωπικούς Η/Υ. Επίσης, μπορεί να λειτουργήσει και με διαδοχικά αμφίδρομη σύγχρονη επικοινωνία (half duplex). Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα μπορούν να μεταδίδονται και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά όχι ταυτόχρονα. Δηλαδή, πρώτα γίνεται η μετάδοση προς τη μία κατεύθυνση, και όταν τελειώσει αυτή, μπορεί να ξεκινήσει προς την άλλη. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επικοινωνήσει με άλλες εξωτερικές περιφερειακές συσκευές, όπως μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ή ψηφιακού σε αναλογικό, σειριακές μνήμες, κτλ. Επιγραμματικά, λοιπόν, η συσκευή USART, μπορεί να λειτουργήσει με 3 τρόπους:

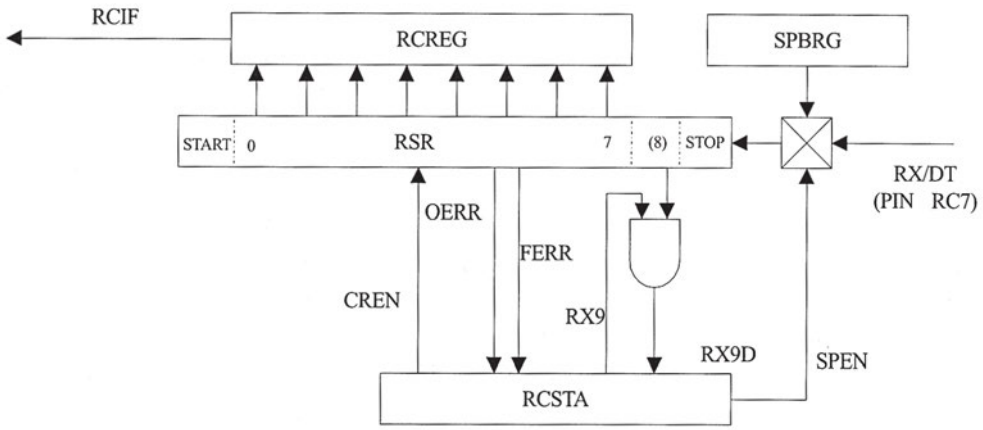
- Ασύγχρονο (full duplex)
- Σύγχρονο - Master (half duplex)
- Σύγχρονο - Slave (half duplex)

Εμείς θα εξετάσουμε διεξοδικά μόνον τον ασύγχρονο τρόπο λειτουργίας, ενώ θα αναφερθούμε επιγραμματικά στο σύγχρονο. Οι ακροδέκτες RC6 και RC7 της θύρας C του PIC, χρησιμοποιούνται ως οι ακροδέκτες TX/CK και RX/DT της σειριακής θύρας. Αυτοί ορίζονται από το bit SPEN και τα bits 6 και 7 του καταχωρητή TRISC, τα οποία πρέπει να τεθούν στο 1. Έτσι, οι απαιτούμενοι, για τη λειτουργία του περιφερειακού, ακροδέκτες TX/CK και RX/DT μπορούν να λειτουργήσουν σωστά.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιφερειακές συσκευές, που εξετάσαμε, η παρούσα διαθέτει δύο καταχωρητές ελέγχου, τους TXSTA και RCSTA. Ο πρώτος χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του USART ως πομπού και ο δεύτερος για την λειτουργία του ως δέκτη. Η μονάδα USART, σε λειτουργία ασύγχρονης εκπομπής, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.19, ενώ σε λειτουργία ασύγχρονης λήψης, στο σχήμα 6.20. Ας δούμε, λοιπόν, με τη σειρά, τους καταχωρητές αυτούς.



Σχήμα 6.19 *Η μονάδα USART σε λειτουργία ασύγχρονης εκπομπής.*



Σχήμα 6.20 *Η μονάδα USART σε λειτουργία ασύγχρονης λήψης.*

Ο καταχωρητής TXSTA φαίνεται στο σχήμα 6.21 και χρησιμοποιείται, εκτός από τον ορισμό της λειτουργίας εκπομπής, και για την ένδειξη της κατάστασης του καταχωρητή εκπομπής. Εδώ, θα αναφερθούμε μόνον στις επιλογές που αφορούν την ασύγχρονη επικοινωνία.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	**TX9**	**TXEN**	**0**	**0**	**BRGH**	**TRMT**	**TX9D**

Σχήμα 6.21 *Ο καταχωρητής TXSTA στην ασύγχρονη επικοινωνία.*

Η σημασία των bits είναι η ακόλουθη:

- ***Bit 7:*** Δεν έχει σημασία στην ασύγχρονη επικοινωνία. Το θέτουμε στο "0".
- ***TX9*****:** Επιλογή bits επικοινωνίας
  1 = Επιλογή επικοινωνίας 9 bits
  0 = Επιλογή επικοινωνίας 8 bits
- ***TXEN:*** Bit ενεργοποίησης λειτουργίας εκπομπής
  1 = Ενεργοποίηση λειτουργίας εκπομπής
  0 = Απενεργοποίηση λειτουργίας εκπομπής
- ***Bit 4:*** Στην την ασύγχρονη επικοινωνία, το θέτουμε στο "0".
- ***Bit 3:*** Δεν χρησιμοποιείται. Διαβάζεται σαν ’0’.
- ***BRGH:*** Bit επιλογής υψηλού Baud Rate
  Ασύγχρονη λειτουργία
  1 = Υψηλή ταχύτητα
  0 = Χαμηλή ταχύτητα

- ***TRMT:*** Bit ένδειξης κατάστασης καταχωρητή TSR
  1 = TSR άδειος
  0 = TSR γεμάτος
- ***TX9D:*** 9ο Εκπεμπόμενο bit. Μπορεί να είναι το bit ισοτιμίας.

Μπορούμε να δώσουμε τιμές σε όλα τα bits του καταχωρητή, εκτός, φυσικά, του 3ου, που δεν χρησιμοποιείται, και του 1ου, που είναι μόνον αναγνώσιμο. Όμως, ας τονίσουμε ότι, για να έχουμε ασύγχρονη επικοινωνία πρέπει να θέτουμε στο "0" τα bits 4 και 7, όπως είπαμε προηγουμένως.

Ο δεύτερος καταχωρητής ελέγχου, ο RCSTA φαίνεται στο σχήμα 6.22 και χρησιμοποιείται, εκτός από τον ορισμό της λειτουργίας λήψης, και για την ένδειξη της κατάστασης του καταχωρητή λήψης. Και σε αυτόν τον καταχωρητή, θα αναφερθούμε μόνον στις επιλογές που αφορούν την ασύγχρονη επικοινωνία.

7	6	5	4	3	2	1	0
SPEN	**RX9**	**0**	**CREN**	**0**	**FERR**	**OERR**	**RX9D**

Σχήμα 6.22 *Ο καταχωρητής RCSTA στην ασύγχρονη επικοινωνία.*

Ας δούμε, και εδώ, πώς μπορούν να ορισθούν τα bits του καταχωρητή:

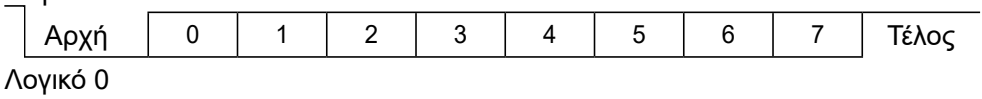
- ***SPEN:*** Bit ενεργοποίησης σειριακής θύρας.
  1 = Ενεργοποίηση σειριακής θύρας (Ορίζει τα RX/DT και TX/CK σαν ακροδέκτες της σειριακής θύρας)
  0 = Απενεργοποίηση σειριακής θύρας
- ***RX9:*** Επιλογή bits επικοινωνίας
  1 = Επιλογή επικοινωνίας 9 bits
  0 = Επιλογή επικοινωνίας 8 bits
- ***Bit 5:*** Δεν χρησιμοποιείται στην ασύγχρονη επικοινωνία. Το θέτουμε στο "0".
- ***CREN:*** Bit ενεργοποίησης συνεχούς λήψης
  Ασύγχρονη λειτουργία
  1 = Ενεργοποίηση συνεχούς λήψης
  0 = Απενεργοποίηση συνεχούς λήψης
- ***Bit 3:*** Δεν χρησιμοποιείται. Διαβάζεται σαν ’0’.
- ***FERR:*** Bit ένδειξης σφάλματος πλαισίου
  1 = Σφάλματος πλαισίου (Μπορεί να ενημερωθεί με ανάγνωση του καταχωρητή RCREG και να λάβει το επόμενο σωστό byte)
  0 = Κανένα σφάλμα πλαισίου
- ***OERR:*** Bit ένδειξης σφάλματος επικάλυψης
  1 = Σφάλμα επικάλυψης (Μπορεί να μηδενιστεί, μηδενίζοντας το bit CREN.)
  0 = Κανένα σφάλμα επικάλυψης

- ***RX9D:*** 9ο λαμβανόμενο bit. Μπορεί να είναι το bit ισοτιμίας.

Μπορούμε να δώσουμε τιμές στα τέσσερα περισσότερο σημαντικά bits του καταχωρητή, δηλαδή τα bits 4 ως 7. Τα bits 0 ως 2 είναι μόνο αναγνώσιμα, ενώ το 3° bit δεν χρησιμοποιείται.

Όπως εύκολα καταλαβαίνουμε, από την πολυπλοκότητα των καταχωρητών ελέγχου, το περιφερειακό μπορεί να λειτουργήσει με πολλούς τρόπους. Γενικά, όμως, όπως είπαμε και στην αρχή, υπάρχουν δύο τρόποι επικοινωνίας, ο σύγχρονος και ο ασύγχρονος. Στο σύγχρονο, τα δεδομένα στέλνονται με σταθερό ρυθμό, σύμφωνο με αυτόν του ρολογιού της σειριακής επικοινωνίας. Μαζί με τα δεδομένα στέλνεται και το ρολόι. Έτσι, η αρχή και το τέλος τους, είναι γνωστά στον δέκτη, αφού αυτός συγχρονίζεται με τον πομπό, με τη βοήθεια του ρολογιού αυτού. Άρα, μπορούν να σταλούν πολλά δεδομένα μαζί, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη, το κάθε ένα από αυτά, να γνωστοποιεί στον δέκτη, την αρχή και το τέλος του. Σε αντίθεση, στην ασύγχρονη επικοινωνία ο δέκτης δεν συγχρονίζεται με τον πομπό και, συνεπώς, δεν γνωρίζει τον ακριβή χρόνο έλευσης ενός δεδομένου. Εμείς, εδώ, θα περιοριστούμε στην μελέτη του ασύγχρονου τρόπου επικοινωνίας.

Για να επιλυθεί το προαναφερόμενο πρόβλημα της ασύγχρονης επικοινωνίας του περιφερειακού, η κάθε λέξη που στέλνεται περικλείεται από 2 ή 3 επιπλέον bits. Το πρώτο καθορίζει την αρχή της λέξης που αποστέλλεται. Ακολουθούν τα bits της λέξης και η αποστολή τελειώνει με τα υπόλοιπα 1 ή 2 που σηματοδοτούν το τέλος του. Το σχήμα 6.23 δείχνει παραστατικά τα παραπάνω.



Σχήμα 6.23 *Τα bits που στέλνονται στην ασύγχρονη επικοινωνία.*

Το πλεονέκτημα της ασύγχρονης επικοινωνίας είναι ότι δεν απαιτείται να στέλνονται συνεχώς δεδομένα. Ένα παράδειγμα αυτής της επικοινωνίας είναι η σύνδεση του πληκτρολογίου με τον υπολογιστή, όπου ο ρυθμός πληκτρολόγησης δεν είναι σταθερός.

Ο ρυθμός μετάδοσης λέγεται Baud rate και ταυτίζεται, στην περίπτωσή μας, με τον ρυθμό μετάδοσης των bits. Μπορούμε να υπολογίσουμε τον ρυθμό αυτόν ως εξής:

Για χαμηλή ταχύτητα (BRGH = 0):

$$\text{Baud Rate} = F_{OSC} / (64\ (X+1)) \qquad (6.4)$$

Για υψηλή ταχύτητα (BRGH = 1):

$$\text{Baud Rate} = F_{OSC} / (16\ (X+1)) \qquad (6.5)$$

Την τιμή X, που θα υπολογίσουμε, για το Baud Rate που επιθυμούμε, θα την τοποθετήσουμε στον καταχωρητή SPBRG.

Η επιλογή της ασύγχρονης λειτουργίας γίνεται από το bit SYNC του καταχωρητή ελέγχου TXSTA, όταν αυτό τεθεί στο 0. Η μονάδα ασύγχρονης επικοινωνίας δομείται από 4 βασικά στοιχεία:

- Γεννήτρια Baud Rate
- Κύκλωμα Δειγματοληψίας.
- Ασύγχρονος εκπομπός
- Ασύγχρονος δέκτης

Λειτουργία ασύγχρονης εκπομπής

Ας δούμε, τώρα, τον τρόπο της λειτουργίας εκπομπής. Χρησιμοποιούνται δυο καταχωρητές οι TSR και TXREG. Ο βασικός καταχωρητής εκπομπής είναι ο TSR, ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα του από τον καταχωρητή TXREG. Στον τελευταίο γράφουμε το byte που θέλουμε να αποστείλουμε, το οποίο μεταφέρεται στον TSR και από εκεί εκπέμπεται από τον ακροδέκτη TX/CK. Εδώ, ας σημειώσουμε ότι ο καταχωρητής TSR δε βρίσκεται στην μνήμη δεδομένων και δεν μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε στα προγράμματά μας. Η μεταφορά του byte, από τον έναν καταχωρητή στον άλλο, γίνεται όταν ο TSR είναι άδειος, δηλαδή όταν έχει στείλει και το bit τέλους εκπομπής. Όταν η μεταφορά του byte, από τον TXREG στον TSR, ολοκληρωθεί, ο TXREG είναι άδειος. Αυτό προκαλεί την ενεργοποίηση μίας διακοπής, που υποδηλώνεται με την σημαία TXIF, του καταχωρητή PIR1 (σχήμα 6.24). Η διακοπή αυτή μπορεί να ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται από το bit TXIE, του καταχωρητή PIE1 (σχήμα 6.25). Ωστόσο, η σημαία TXIF μπορεί να γίνει 1 ανεξάρτητα από το αν η διακοπή είναι ενεργοποιημένη ή μη, ενώ δεν υπάρχει τρόπος να την μηδενίσουμε με κάποια εντολή. Η σημαία μηδενίζεται μόνον όταν φορτωθούν νέα δεδομένα στον καταχωρητή TXREG.

7	6	5	4	3	2	1	0
			TXIF				

Σχήμα 6.24 *Η σημαία TXIF στον καταχωρητή PIR1.*

7	6	5	4	3	2	1	0
			TXIE				

Σχήμα 6.25 *Η σημαία TXIE στον καταχωρητή PIE1.*

Αντίστοιχο με το bit TXIF, που δείχνει την κατάσταση του καταχωρητή TXREG, είναι το bit TRMT, του καταχωρητή TXSTA, που δείχνει την κατάσταση του καταχωρητή TSR. Το bit τίθεται στο 1, όταν ο καταχωρητής αυτός είναι άδειος. Αντίθετα, όμως, με τον καταχωρητή TXREG, εδώ, καμία διακοπή δεν προκαλείται. Για να καταλάβουμε αν ο TSR είναι άδειος, πρέπει να ελέγχουμε το bit αυτό.

Για να ξεκινήσει η μετάδοση πρέπει να θέσουμε το bit TXEN, του καταχωρητή ελέγχου TXSTA, στο 1 και να τοποθετήσουμε στον TXREG αυτό που θέλουμε να στείλουμε.

Ας δούμε, τώρα, επιγραμματικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για να ορίσουμε μία ασύγχρονη σειριακή εκπομπή:

1. Αρχικοποίηση του καταχωρητή SPBRG για το κατάλληλο baud rate. Αν είναι επιθυμητή υψηλή ταχύτητα τότε το bit BRGH = 1.
2. Ενεργοποίηση ασύγχρονης σειριακής θύρας με τα bits SYNC = 0 και SPEN = 1.
3. Αν οι διακοπές είναι επιθυμητές, τότε, τα bits TXIE = 1, GIE = 1 και PEIE = 1.
4. Αν η μετάδοση 9 bits είναι επιθυμητή, τότε, το bit TX9 = 1.
5. Εκκίνηση εκπομπής με το bit TXEN = 1, το οποίο θα θέσει το bit TXIF στο 1.
6. Αν επιλεγεί μετάδοση 9 bits το 9° bit πρέπει να φορτωθεί στο bit TX9D.
7. Το φόρτωμα των δεδομένων στον καταχωρητή TXREG σηματοδοτεί την έναρξη της μετάδοσης.

Λειτουργία ασύγχρονης λήψης

Η λειτουργία λήψης ακολουθεί παρόμοια λογική με αυτή της λειτουργίας εκπομπής, μόνον που εδώ η διαδικασία γίνεται αντίστροφα.

Τα δεδομένα λαμβάνονται στον ακροδέκτη RX/DT. Η λειτουργία λήψης ορίζεται από το bit CREN, του καταχωρητή ελέγχου. Όπως και στη περίπτωση της εκπομπής, έτσι και εδώ, χρησιμοποιούνται δύο καταχωρητές, οι RSR και RCREG. Κατά τη διαδικασία λήψης ο RSR λαμβάνει τα bits, το έναν μετά το άλλο, από τον ακροδέκτη RX/DT. Μόλις λάβει και το τελευταίο bit, δηλαδή το bit 'τέλος', μεταφέρει το δεδομένο στον καταχωρητή RCREG. Μόλις γίνει η μεταφορά προκαλείται διακοπή και η σημαία RCIF τίθεται στο 1, του καταχωρητή PIR1 (σχήμα 6.26). Η διακοπή μπορεί να ενεργοποιηθεί ή απενεργοποιηθεί από το bit RCIE, του καταχωρητή PIE1 (σχήμα 6.27). Όταν διαβάσουμε τον καταχωρητή RCREG, αυτός αδειάζει και η σημαία μηδενίζεται.

7	6	5	4	3	2	1	0
		RCIF					

Σχήμα 6.26 *Η σημαία RCIF στον καταχωρητή PIR1*

7	6	5	4	3	2	1	0
		RCIE					

Σχήμα 6.27 *Η σημαία RCIE στον καταχωρητή PIE1*

Κατά τη διαδικασία λήψης, δύο σφάλματα μπορούν να συμβούν. Το πρώτο είναι το σφάλμα επικάλυψης, που υποδηλώνεται από το bit OERR, του καταχωρητή ελέγχου RCSTA. Το σφάλμα επικάλυψης συμβαίνει όταν, κατά τη διάρκεια της λήψης, ο καταχωρητής ανιχνεύσει το bit τέλους. Τότε, θα επιχειρήσει να μεταφέρει το δεδομένο στον RCREG. Αν ο καταχωρητής δεν έχει ακόμη διαβασθεί και, συνεπώς, δεν είναι άδειος, θα προκληθεί σφάλμα επικάλυψης. Ο λόγος είναι ότι ο RCREG θα φορτώσει το νέο δεδομένο, με αποτέλεσμα το προηγούμενο να χαθεί. Αν συμβεί αυτό, η μεταφορά των δεδομένων από τον καταχωρητή RSR

στον καταχωρητή RCREG σταματά και πρέπει να μηδενίσουμε το bit OERR, για να συνεχιστεί η διαδικασία λήψης. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε αν μηδενίσουμε το bit CREN και αμέσως μετά το θέσουμε στο 1 (reset).

Το δεύτερο σφάλμα είναι το σφάλμα πλαισίου, που υποδηλώνεται από το bit FERR, του καταχωρητή ελέγχου RCSTA. Αν προσέξουμε το σχήμα 6.23, θα δούμε ότι το bit τέλους έχει λογικό 1. Το λάθος πλαισίου προέρχεται από τη λήψη του bit αυτού με λογικό 0, κάτι που δεν είναι αναμενόμενο, και σημαίνει ότι η όλη μετάδοση είχε κάποιο πρόβλημα. Τότε, το bit FERR γίνεται 1. Για να πάρουμε τη σωστή τιμή του bit αυτού, πρέπει να διαβάσουμε τον καταχωρητή ελέγχου RCSTA, πριν διαβάσουμε τον καταχωρητή RCREG, αφού το τελευταίο θα φορτώσει στα bits FERR και RX9D, νέες τιμές.

Ας δούμε, τώρα, επιγραμματικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για να ορίσουμε μία ασύγχρονη σειριακή λήψη:

1. Αρχικοποίηση του καταχωρητή SPBRG για το κατάλληλο baud rate. Αν είναι επιθυμητή υψηλή ταχύτητα τότε το bit BRGH = 1.
2. Ενεργοποίηση ασύγχρονης σειριακής θύρας μετά bits SYNC = 0 και SPEN = 1.
3. Αν οι διακοπές είναι επιθυμητές, τότε, τα bits RCIE = 1, GIE = 1 και PEIE = 1.
4. Αν η μετάδοση 9 ψηφίων είναι επιθυμητή, τότε, το bit RX9 = 1.
5. Εκκίνηση λήψης με το bit CREN = 1.
6. Η σημαία RCIF γίνεται 1, όταν η μετάδοση έχει ολοκληρωθεί, ενώ προκαλείται διακοπή αν το bit RCIE = 1.
7. Ανάγνωση του καταχωρητή RCSTA για την λήψη του 9^{ου} bit, αν αυτό έχει ορισθεί, και έλεγχος για πιθανά σφάλματα που μπορεί να προκύψουν κατά την λήψη.
8. Ανάγνωση του δεδομένου από τον καταχωρητή RCREG.
9. Αν προκύψουν σφάλματα η λήψη σταματά. Η επανεκκίνησή της γίνεται με reset του bit CREN.

Ας δούμε τώρα ένα παράδειγμα ασύγχρονης λειτουργίας αυτής της περιφερειακής συσκευής. Έστω ότι θέλουμε η συσκευή να λειτουργεί με Baud rate 9600, με επικοινωνία 8 bits και ότι ο PIC λειτουργεί στα 20MHz.

Για χαμηλή ταχύτητα (BRGH = 0), από τον τύπο 6.4, πρέπει να δώσουμε στον καταχωρητή SPBRG την τιμή 31 (1F H). Ακόμη, για τη λειτουργία εκπομπής πρέπει να ορίσουμε επικοινωνία 8 bits (TX9 = 0) και να την ενεργοποιήσουμε (TXEN = 1). Άρα, πρέπει να δώσουμε για την εκπομπή την τιμή 0100000 (40 H) στον καταχωρητή TXSTA. Ακόμη, για τη λειτουργία λήψης πρέπει να ορίσουμε επικοινωνία 8 bits (RX 9 = 0) και να την ενεργοποιήσουμε (RCEN = 1). Επίσης, πρέπει να ενεργοποιήσουμε τους ακροδέκτες TX/CK και RX/DT (SPEN = 1). Άρα, πρέπει να δώσουμε για την λήψη την τιμή 10010000 (90 H) στον καταχωρητή RCSTA. Ας σημειώσουμε ότι θέτουμε στο "0" όσα από τα bits των δύο καταχωρητών δεν χρησιμοποιούνται. Στην συνέχεια, παρουσιάζουμε τον κώδικα αρχικοποίησης της περιφερειακής συσκευής για τη λειτουργία της ασύγχρονης μετάδοσης / λήψης:

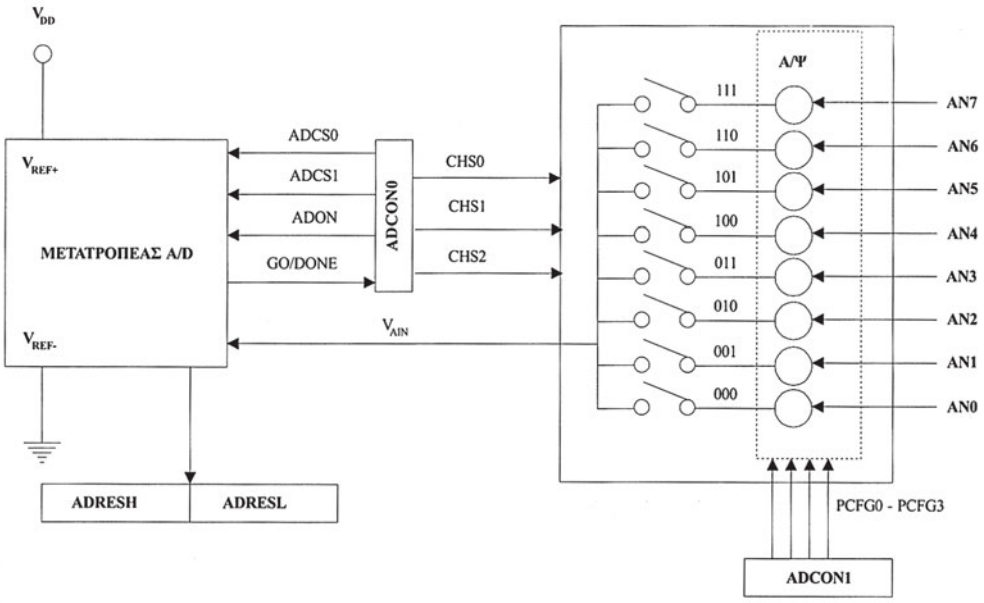
```
BSF STATUS,RP0 ; Επιλογή τμήματος 1 μνήμης.

; Ορισμός Baud rate στα 9600 (τύπος 6.4)
MOVLW 1F H
MOVWF SPBRG

; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΜΠΟΥ.
; Επιλογή και ενεργοποίηση λειτουργίας ασύγχρονης
; μετάδοσης 8 ψηφίων χαμηλής ταχύτητας.
MOVLW 40 H
MOVWF TXSTA

BSF PIE1,TXIE ; Ενεργοποίηση διακοπής μετάδοσης
BSF PIE1,RCIE; Ενεργοποίηση διακοπής λήψης

; ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΚΤΗ
BCF STATUS,RP0 ; Επιλογή τμήματος 0 μνήμης.
; Επιλογή και ενεργοποίηση λειτουργίας λήψης 8 ψηφίων.
MOVLW 90 H
MOVWF RCSTA
```

Ερωτήσεις

1. Με ποιους τρόπους μπορεί να λειτουργήσει η συσκευή σειριακής επικοινωνίας;
2. Πόσους και ποιους καταχωρητές ελέγχου έχει η παρούσα περιφερειακή συσκευή;
3. Ποιες είναι οι σημαίες διακοπής στην ασύγχρονη λειτουργία και σε ποιόν καταχωρητή μπορούμε να τις βρούμε;

6.5 Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Η περιφερειακή συσκευή μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D) διαθέτει 8 αναλογικές εισόδους (AN0 - AN7), που βρίσκονται στις θύρες A (RA0/AN0, RA1/AN1, RA2/AN2, RA3/AN3 και RA5/AN4) και E (RE0/AN5, RE1/AN6 και RE2/AN7). Το αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ένα δυαδικό αριθμό 10 bits. Το περιφερειακό χρησιμοποιεί την τάση λειτουργίας του PIC, V_{DD}, ως τάση αναφοράς, την οποία και συνδέουμε στο V_{REF+}, ενώ συνδέουμε το V_{REF-} στη γείωση. Το διάγραμμα λειτουργίας του A/D μετατροπέα φαίνεται στο σχήμα 6.27.



Σχήμα 6.27 *Η μονάδα μετατροπής A/D.*

Η συσκευή χρησιμοποιεί 4 καταχωρητές για να λειτουργήσει. Αυτοί είναι οι:

- A/D Καταχωρητής ελέγχου 0 (ADCON0)
- A/D Καταχωρητής ελέγχου 1 (ADCON1)
- A/D Καταχωρητής των 8 πιο σημαντικών bits του αποτελέσματος (ADRESH)
- A/D Καταχωρητής των 2 λιγότερο σημαντικών bits του αποτελέσματος (ADRESL)

Με τον πρώτο καταχωρητή ελέγχουμε τη λειτουργία της περιφερειακής συσκευής. Τον δεύτερο τον χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε τη λειτουργία των ακροδεκτών που θα χρησιμοποιηθούν. Τους ακροδέκτες μπορούμε να τους ορίσουμε σαν αναλογικές εισόδους ή σαν ψηφιακές εισόδους / εξόδους. Ο τρίτος και ο τέταρτος καταχωρητής (ADRESH και ADRESL) αποθηκεύουν το αποτέλεσμα της A/D μετατροπής, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.28.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ A/D ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ									
BITS ADRESH								**BITS ADRESL**	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**	**7**	**6**

Σχήμα 6.28 *Ο τρόπος αποθήκευσης του αποτελέσματος των 10 bits, της A/D μετατροπής, στους καταχωρητές ADRESH και ADRESL.*

Θα περιγράψουμε, τώρα, τους δύο καταχωρητές ελέγχου και, στη συνέχεια, θα μελετήσουμε τη λειτουργία του περιφερειακού. Ξεκινάμε, λοιπόν, με τον καταχωρητή ADCON0, που βρίσκεται στο τμήμα 0 της μνήμης δεδομένων, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 6.29.

7	6	5	4	3	2	1	0
ADCS1	**ADCS0**	**CHS2**	**CHS1**	**SHS0**	**GO/DONE**	**-**	**ADON**

Σχήμα 6.29 *Ο καταχωρητής ADCON0*

- ***ADCS1 - ADCS0:*** Bit επιλογής ρολογιού μετατροπής A/D.
  00 = FOSC/2
  01 = FOSC/8
  10 = FOSC/32
  11 = FRC (πηγή ρολογιού ο εσωτερικός A/D RC ταλαντωτής)
- ***CHS2 - CHS0:*** Bits επιλογής αναλογικού καναλιού.
  000 = κανάλι 0, (AN0)
  001 = κανάλι 1, (AN1)
  010 = κανάλι 2, (AN2)
  011 = κανάλι 3, (AN3)
  100 = κανάλι 4, (AN4)
  101 = κανάλι 5, (AN5)
  110 = κανάλι 6, (AN6)
  111 = κανάλι 7, (AN7)
- ***GO/DONE:*** Bit ένδειξης κατάστασης A/D μετατροπής, όταν το bit ADON είναι 1.
  Αν GO/DONE = 1, η A/D μετατροπή είναι σε εξέλιξη.
  Αν GO/DONE = 0, η A/D μετατροπή ολοκληρώθηκε και το αποτέλεσμα είναι έτοιμο.
- ***Bit 1:*** Δε χρησιμοποιείται. Διαβάζεται ως "0".
- ***ADON:*** Bit εκκίνησης A/D μετατροπέα.
  1 = A/D Εκκίνηση μετατροπέα.
  0 = A/D Παύση μετατροπέα.

Μπορούμε να γράψουμε και να διαβάσουμε όλα τα bits του καταχωρητή αυτού. Ο επόμενος καταχωρητής, που θα εξετάσουμε, είναι ο ADCON1, που βρίσκεται στο τμήμα 1 της μνήμης δεδομένων, τον οποίον και παρουσιάζουμε στο σχήμα 6.30.

7	6	5	4	3	2	1	0
ADCS1	**ADCS0**	**CHS2**	**CHS1**	**SHS0**	**GO/DONE**	**-**	**ADON**

Σχήμα 6.30 *Ο καταχωρητής ADCON1*

- ***Bit 7:*** Τίθεται στο "0".
- ***Bits 6 έως 4:*** Δεν χρησιμοποιούνται. Διαβάζονται σαν λογικό 0.

- ***PCFG3 - PCFG0:*** Bits ορισμού ακροδεκτών A/D μετατροπέα.
  Α = Αναλογική είσοδος
  Ψ = Ψηφιακή είσοδος / έξοδος

Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται οι παρακάτω καταστάσεις:

PCFG3 - 0	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000	Α	Α	Α	Α	Α	Α	Α	Α
0010	Ψ	Ψ	Ψ	Α	Α	Α	Α	Α
0100	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Α	Ψ	Α	Α
0110	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ
1001	Ψ	Ψ	Α	Α	Α	Α	Α	Α
1110	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Ψ	Α

Η λειτουργία του A/D μετατροπέα είναι σχετικά απλή. Μόλις ολοκληρωθεί η μετατροπή, το αποτέλεσμα φορτώνεται στους καταχωρητές ADRESH και ADRESL, που βρίσκονται, αντιστοίχως, στα τμήματα 0 και 1 της μνήμης δεδομένων. Παράλληλα μηδενίζεται το bit GO/DONE του καταχωρητή ADCON0 και η σημαία A/D διακοπής, η ADIF του καταχωρητή PIR1 (σχήμα 6.31), γίνεται 1.

7	6	5	4	3	2	1	0
	ADIF						

Σχήμα 6.31 *Η σημαία ADIF στον καταχωρητή PIR1.*

7	6	5	4	3	2	1	0
	ADIE						

Σχήμα 6.32 *Η σημαία ADIE στον καταχωρητή PIE1.*

Αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία μετατροπής. Από αυτόν μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη συχνότητα των σημάτων, $F_{Σήματος}$, που μπορούμε να μετατρέπουμε σε ψηφιακά, χωρίς να υπεισέρχεται σημαντικό σφάλμα, ως εξής:

$$F_{Μετατροπής} = 2 \cdot F_{Σήματος} \qquad (6.6)$$

Με τον τρόπο αυτό δεν χάνουμε πληροφορία από το μετρούμενο σήμα. Ο χρόνος μετατροπής εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας του PIC και από την τιμή που θα δώσουμε στα bits ADCS1 και ADCS0. Την επιλογή μας μπορούμε αν την κάνουμε με την βοήθεια του ακόλουθου πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΡΟΝΟΥ A/D ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΘΕ BIT ΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ

Πηγή ρολογιού A/D		Συχνότητα Λειτουργίας PIC			
Περίοδος	**ADCS1 - 0**	**20 MHz**	**5 MHz**	**1.25 MHz**	**333.33 kHz**
2Tosc	**00**	-	-	1,6μs	6μs
8Tosc	**01**	-	1,6μs	6,4μs	24μs
32Tosc	**10**	1,6μs	6,4μs	25,6μs	96μs
RC	**11**	2-6μs	2-6μs	2-6μs	2-6μs

Ο χρόνος που φαίνεται στον πίνακα είναι ίσος με την περίοδο του ρολογιού του κυκλώματος μετατροπής. Δεδομένου ότι ο μετατροπέας χρειάζεται περίπου 10 κύκλους για να ολοκληρώσει μια μετατροπή στην περίπτωση που για παράδειγμα η συχνότητα λειτουργίας είναι 20MHz η ελάχιστη περίοδος του ρολογιού είναι 1,6μs. Συνολικά χρειάζεται ο μετατροπέας χρόνο ίσο με 16 μs για να ολοκληρώσει μια μετατροπή δηλαδή μπορεί, να δέχεται δείγματα με συχνότητα 62,5 KHz.

Όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το περιφερειακό αυτό, πρέπει να προσέξουμε να ορίσουμε τους ακροδέκτες, που χρησιμοποιεί, σαν εισόδους, στον καταχωρητή TRIS. Αν, κατά λάθος, ορίσουμε κάποιον ακροδέκτη σαν έξοδο, τότε, ο A/D μετατροπέας θα δεχθεί σαν είσοδο την τάση εξόδου του ακροδέκτη. Αυτό συμβαίνει γιατί το περιφερειακό λειτουργεί ανεξάρτητα του ορισμού των ακροδεκτών. Στην προκειμένη περίπτωση, δεν θα έχουμε καμία ένδειξη ότι λάβαμε λάθος μέτρηση.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα αρχικοποίησης του περιφερειακού:

Παράδειγμα Αρχικοποίησης A/D περιφερειακού

Έστω ότι θέλουμε να ορίσουμε τους 8 ακροδέκτες ως αναλογικές εισόδους (PCFG3 - PCFG0 = 0000). Τότε, θα πρέπει να δώσουμε στον καταχωρητή ADCON1 την τιμή 0. Επίσης, έστω ότι θέλουμε να ενεργοποιήσουμε τον A/D μετατροπέα (ADON = 1), ώστε να χρησιμοποιεί το RC ρολόι (ADCS1 - ADCS0 = 11), και να δέχεται το δείγμα από το κανάλι 0 (CHS2 -CHS0 =000). Επίσης, πρέπει να προσέξουμε η εκκίνηση της A/D μετατροπής (GO/DONE = 1) να γίνεται με χωριστή εντολή από την ενεργοποίηση της συσκευής (ADON = 1), ώστε να αφήσουμε λίγο χρόνο να σταθεροποιηθεί το σήμα στην είσοδο. Συνεπώς, πρέπει να δώσουμε στον καταχωρητή ADCON0 την τιμή 11000001 (C1 H). Ο κώδικας αρχικοποίησης έχει ως ακολούθως:

```
;Και οι 8 ακροδέκτες ορίζονται ως αναλογικές είσοδοι
BSF STATUS, RP0; Επιλογή τμήματος 1 μνήμης.
MOVLW 0
MOVWF ADCON1
```

```
Επιλογή RC Ρολογιού - Ενεργοποίηση A/D - Επιλογή καναλιού 0
BCF STATUS, RP0 ; Επιλογή τμήματος 0 μνήμης.
MOVLW C1 H
MOVWF ADCON0

;Μηδενισμός σημαίας - Ενεργοποίηση διακοπών
BCF PIR1, ADIF ;Μηδενισμός bit σημαίας A/D διακοπής
BSF PIE1, ADIE ; Ενεργοποίηση διακοπής A/D
BSF INTCON, PEIE ;Ενεργοποίηση διακοπής περιφερειακών
BSF INTCON, GIE ;Ενεργοποίηση όλων των διακοπών

;Εκκίνηση A/D μετατροπής.
BSF ADCON0, GO
```

Όταν λάβουμε την διακοπή (ADIF=1), τότε διαβάζουμε το περιεχόμενο των καταχωρητών ADRESH και ADRESL, το οποίο, όπως είπαμε, είναι το αποτέλεσμα της μετατροπής.

Ερωτήσεις

1. Πόσες εισόδους διαθέτει η περιφερειακή συσκευή A/D μετατροπής;
2. Πως μπορούμε να επιλέξουμε ποια είσοδο (κανάλι) θα μετατρέψει η συσκευή;
3. Πόσα δυαδικά bits είναι μία μετατροπή;
4. Από πού μπορούμε να διαβάσουμε το αποτέλεσμα της μετατροπής;

6.6 Επίλογος

Στο βιβλίο ασχοληθήκαμε με τη χρήση των μικροελεγκτών σε μικροϋπολογιστικές εφαρμογές. Μελετήσαμε το μικροελεγκτή PIC της εταιρείας Microchip, ο οποίος ανήκει στην οικογένεια των μικροελεγκτών και μικροεπεξεργαστών με αρχιτεκτονική RISC. Εδώ, πρέπει να τονίσουμε ότι εξετάσαμε μόνο λίγες από τις πολλές περιφερειακές συσκευές που διαθέτει.

Στο εμπόριο, ο PIC, διατίθεται σε πολλές εκδόσεις, με λιγότερα ή περισσότερα περιφερειακά, με μεγαλύτερες ή μικρότερες μνήμες διαφορετικών τεχνολογιών, κτλ.

Ακόμη, διαφέρει σε σχήμα, αριθμό ακροδεκτών, καθώς και κόστος, ανάλογα με τις δυνατότητες που προσφέρει. Έτσι, ο μικροελεγκτής μας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, από απλές μέχρι ιδιαίτερα πολυσύνθετες.

Ολοκληρώνοντας, πρέπει να προσθέσουμε ότι στην αγορά υπάρχουν και πολλοί άλλοι αξιόλογοι μικροελεγκτές, όπως των εταιρειών Intel, Motorola, κ.α. Ο καλύτερος μικροελεγκτής είναι αυτός που είναι ο περισσότερο κατάλληλος, τόσο σε δυνατότητες όσο και σε κόστος, για την καθεμία εφαρμογή ξεχωριστά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ***Microchip Technology Inc.,*** "PICmicro Mid - Range MCU Family" Reference Manual, 1997
2. ***Microchip Technology Inc.,*** "PIC 16F87X 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers", Reference Manual, 1999

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0316
ISBN 978-960-06-3060-2