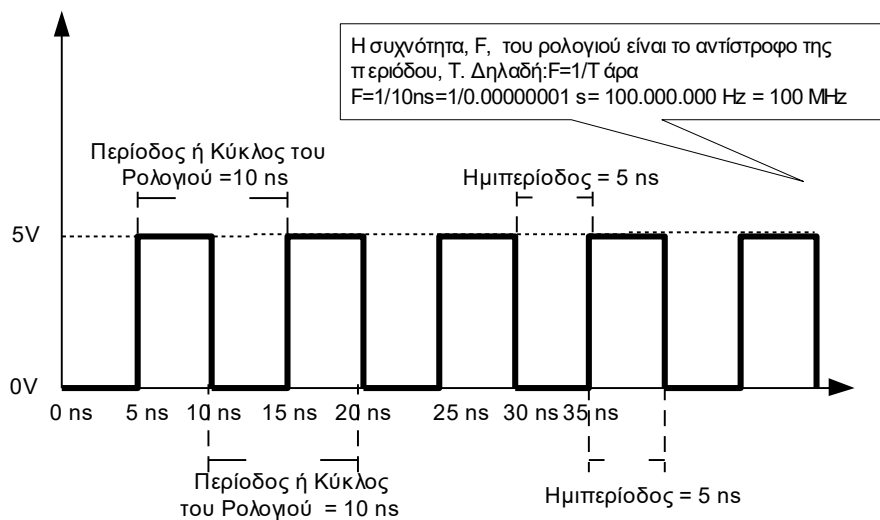


## Μάθημα 5: Χαρακτηριστικά της Κ.Μ.Ε.

### 5.1 Το ρολόι

Κάθε μία από αυτές τις λειτουργίες της Κ.Μ.Ε. διαρκεί ένα μικρό χρονικό διάστημα. Για τον συγχρονισμό των λειτουργιών αυτών είναι απαραίτητο κάποιο **ρολόι**. Σε κάθε «κτύπο» του ρολογιού η ΚΜΕ εκτελεί μία στοιχειώδη λειτουργία.

Το κύκλωμα παραγωγής του ρολογιού είναι συνήθως εξωτερικό και παράγει μια κυματομορφή όπως αυτή του παρακάτω σχήματος.



**Σχήμα 5.1:** Η κυματομορφή του ρολογιού συχνότητας 100 MHz

Παρατηρούμε ότι το σήμα του ρολογιού εναλλάσσεται μεταξύ της στάθμης των 5V και αυτής των 0V. Λόγω του σχήματος του το σήμα αυτό ονομάζεται **τετραγωνική παλμοσειρά**. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εναλλαγών του σήματος, για παράδειγμα από τα 0V στα 5V και πάλι στα 0V είναι ίσο με μια **ημιπερίοδο** του ρολογιού. Δύο διαδοχικές ημιπεριόδους αποτελούν μια ολόκληρη **περίοδο** ή όπως αλλιώς λέμε έναν **κύκλο του ρολογιού**. Το αντίστροφο της περιόδου είναι η συχνότητα. Η συχνότητα μας πληροφορεί τον αριθμό των κύκλων του ρολογιού στη διάρκεια του ενός δευτερολέπτου και για τους μικροεπεξεργαστές συνήθως είναι της τάξης των εκατοντάδων ή και χιλιάδων MHz. Το ένα MHz είναι ίσο με ένα εκατομμύριο κύκλους το δευτερόλεπτο.

Κάθε ΚΜΕ είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί μέχρι κάποια μέγιστη συχνότητα. Συνήθως η συχνότητα του ρολογιού επιλέγεται να είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη συχνότητα λειτουργίας της ΚΜΕ και αυτό γιατί όπως θα δούμε όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του ρολογιού τόσο πιο γρήγορα εκτελεί τις εντολές η ΚΜΕ. Η συχνότητα του ρολογιού ονομάζεται συχνά και **συχνότητα λειτουργίας της ΚΜΕ**.

Τύπος ΚΜΕ	Συχνότητα Ρολογιού
8086	4, 5, 8, 10 MHz
8088	4.77, 8, 10, 12 MHz
80286	6, 8, 12, 16, 20 MHz
80386	16, 20, 25, 33, 40 MHz
80486	25, 33, 50, 75, 100, 120 MHz

*Πίνακας 5.1: Συχνότητες ρολογιού (ανάλογα με την έκδοση της ΚΜΕ)*

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

Ο ρυθμός με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές είναι συνάρτηση της συχνότητας λειτουργίας της ΚΜΕ. Είναι όμως λάθος να πιστεύουμε ότι η ΚΜΕ εκτελεί εντολές με τη συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού της.

Εάν το ρολόι της ΚΜΕ είναι 100 MHz (100.000.000 κύκλους το δευτερόλεπτο) αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι εκτελούνται και 100.000.000 εντολές το δευτερόλεπτο.

Ο κατασκευαστής συνήθως δίνει τον αριθμό των κύκλων του ρολογιού που απαιτούνται για την ανάκληση και εκτέλεση κάθε εντολής. Έτσι εάν μια εντολή πρόσθεσης χρειάζεται 5 κύκλους ρολογιού για να ανακληθεί και να εκτελεστεί και η συχνότητα λειτουργίας της ΚΜΕ είναι 100 MHz, δηλαδή κάθε κύκλος διαρκεί 10 ns, τότε η εντολή της πρόσθεσης χρειάζεται συνολικά  $5 \cdot 10 \text{ ns} = 50 \text{ ns}$  για να εκτελεστεί. Συνεπώς μπορούν να εκτελούνται 20.000.000 εκατομμύρια προσθέσεις το δευτερόλεπτο.

Ένα μέτρο της ταχύτητας της ΚΜΕ είναι ο μέσος όρος των εντολών που μπορεί να εκτελέσει σε ένα δευτερόλεπτο. Με ειδικά **προγράμματα επιδόσεων** (benchmarks) μπορούν οι κατασκευαστές να μετρήσουν πόσες εντολές εκτελεί κατά μέσο όρο η ΚΜΕ. Ο μέσος όρος των εντολών που εκτελεί μια ΚΜΕ το δευτερόλεπτο μετριέται σε **MIPS** (Million Instructions Per Second) δηλαδή σε εκατομμύρια εντολές το δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση που για παράδειγμα έχουμε μια ΚΜΕ με ρολόι 100 MHz το δευτερόλεπτο και η κάθε εντολή διαρκεί 5 κύκλους ρολογιού τότε η ταχύτητα της είναι  $100.000.000/5=20.000.000$  εντολές= 20 MIPS.

Καταλήγοντας συμπεραίνουμε ότι η ταχύτητα της ΚΜΕ εξαρτάται από τη συχνότητα του ρολογιού της και αποτελεί ένα βασικό δείκτη του ρυθμού με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές. Όσο πιο γρήγορο είναι το ρολόι τόσο πιο γρήγορα εκτελεί το πρόγραμμα η ΚΜΕ.

## 5.2 Το εύρος σε bits της ΚΜΕ

Η ΚΜΕ μπορεί να κάνει αριθμητικές ή λογικές πράξεις μεταξύ των καταχωρητών της. Συνεπώς κάθε φορά τα δεδομένα πρέπει πρώτα να εισάγονται από τη μνήμη ή από τις περιφερειακές μονάδες σε κάποιο καταχωρητή της ΚΜΕ και μετά γίνεται η επεξεργασία τους.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ΚΜΕ είναι το **εύρος** σε bits των καταχωρητών και της Αριθμητικής και Λογικής Μονάδας (ΑΛΜ) που διαθέτει. Όσο πιο «μεγάλος» είναι ένας καταχωρητής τόσο «περισσότερα bits του δεδομένου χωράει».

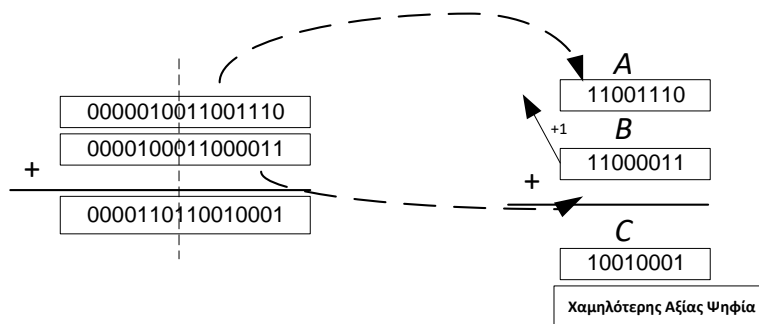
Για παράδειγμα έστω ότι θέλουμε να εκτελέσουμε την πρόσθεση  $(1230)_{10} + (2243)_{10}$  χρησιμοποιώντας μια ΚΜΕ με τρεις καταχωρητές, τους **A**, **B**, **C**. Για να εκτελέσει η ΚΜΕ την πρόσθεση θα πρέπει πρώτα να μεταφερθούν οι αριθμοί σε δύο από τους καταχωρητές της. Ο αριθμός  $1230_{10}$  είναι ίσος με  $4CE_{16} = 10011001110_2$  και χρειαζόμαστε τουλάχιστον 11 bits για να τον αποθηκεύσουμε. Εάν η ΚΜΕ μας διαθέτει καταχωρητές και ΑΛΜ των 16 bits τότε η αποθήκευση του δεδομένου θα γίνει μόνο σε ένα καταχωρητή, για παράδειγμα στον καταχωρητή A. Όμοια η αποθήκευση του  $2243_{10} = 8C3_{16} = 100011000011_2$  θα γίνει σε ένα άλλο καταχωρητή, για παράδειγμα στον καταχωρητή B.

0000010011001110	<b>A</b>	$1230_{10}$	
+	0000100011000011	<b>B</b>	+ $2243_{10}$
0000110110010001	<b>C</b>	$3473_{10}$	

**Σχήμα 5.2:** Πρόσθεση με 16-bit καταχωρητές

Η πρόσθεση θα γίνει με μια μόνο εντολή, την **C ← A+B** στην ΑΛΜ ενώ το αποτέλεσμα χωράει να αποθηκευτεί σε ένα καταχωρητή εύρος 16 bit. Η μεταφορά του αποτελέσματος από την ΚΜΕ στη μνήμη ή σε κάποια περιφερειακή μονάδα χρειάζεται επίσης μόνο μια εντολή.

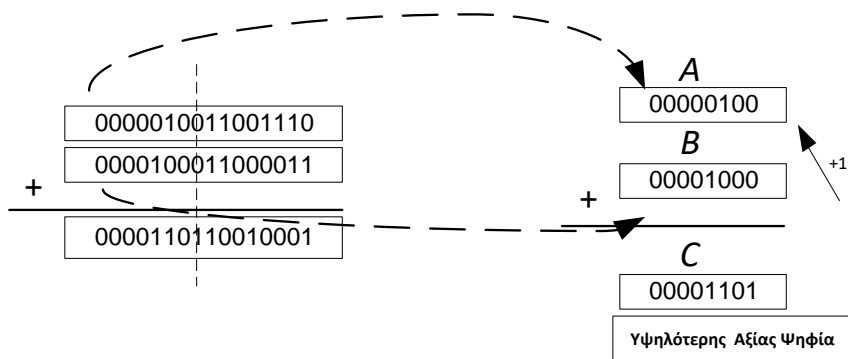
Εάν η ΚΜΕ όμως που χρησιμοποιούμε διαθέτει καταχωρητές και ΑΛΜ των 8 bits τότε η αποθήκευση του κάθε αριθμού θα χρειαστεί τουλάχιστον δύο βήματα.



**Σχήμα 5.3:** Πρόσθεση με 8-bit καταχωρητές (1<sup>ο</sup> βήμα)

Στο σχήμα φαίνεται ο τρόπος αποθήκευσης των προσθετέων και του αποτελέσματος μέσα στους καταχωρητές της ΚΜΕ. Έτσι στον καταχωρητή A βάζουμε τα 8 bit με τη μικρότερη αξία του αριθμού  $1230_{10} = 10011001110_2$ . Στον καταχωρητή B αποθηκεύονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο τα 8 bit με τη μικρότερη αξία του αριθμού  $2243_{10} =$

$100011000011_2$ . Η πρόσθεση γίνεται και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον καταχωρητή C. Εάν έχει προκύψει κρατούμενο κατά την πρόσθεση των δύο καταχωρητών, τότε η σημαία του κρατούμενου της ΑΛΜ τίθεται στην τιμή 1. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη μνήμη και είμαστε έτοιμοι για το δεύτερο βήμα.



Σχήμα 5.4: Πρόσθεση με 8-bit καταχωρητές (2<sup>ο</sup> βήμα)

Η πρόσθεση τώρα γίνεται πιο πολύπλοκη μια και πρέπει να συμπεριλάβουμε και το κρατούμενο που έχει προκύψει από την προηγούμενη πρόσθεση. Συνεπώς στην περίπτωση όπου έχει προκύψει κρατούμενο, όπως συμβαίνει στο παράδειγμα μας θα πρέπει να προσθέσει επιπλέον άλλη μια μονάδα στο άθροισμα που προκύπτει από την πρόσθεση των καταχωρητών A και B που περιέχουν τα **υψηλότερης αξίας δεδομένα**. Το αποτέλεσμα αυτής της πρόσθεσης αποθηκεύεται στον καταχωρητή C.

Παρατηρούμε ότι για την αποθήκευση του συνολικού αποτελέσματος της πρόσθεσης χρειαζόμαστε δύο καταχωρητές και η μεταφορά του στη μνήμη ή σε κάποια μονάδα εξόδου χρειάζεται δύο εντολές.

Συμπεραίνουμε ότι το μήκος σε bits των καταχωρητών και της ΑΛΜ της ΚΜΕ επηρεάζει σημαντικά την επίδοση της ΚΜΕ. Όσο πιο μεγάλοι είναι οι καταχωρητές της ΚΜΕ τόσο πιο γρήγορα κατά κανόνα γίνεται η εκτέλεση των προγραμμάτων.

Στον πίνακα 3.3.2 βλέπουμε τον μεγαλύτερο φυσικό αριθμό που μπορούμε να αποθηκεύσουμε σε ένα καταχωρητή ανάλογα με το εύρος του. Γενικά σε ένα καταχωρητή των n bit μπορούμε να αποθηκεύσουμε όλους τους αριθμούς από 0 έως  $2^n-1$ .

Εύρος σε bits	Μέγιστη ακέραια τιμή που μπορούμε να παραστήσουμε
8	$2^8-1= 255$
16	$2^{16}-1= 65.535$
32	$2^{32}-1= 4.294.967.295$
64	$2^{64}-1= 18.446.744.073.709.551.615$

Πίνακας 5.2: Μέγιστη ακέραια τιμή που μπορούμε να παραστήσουμε σε συνάρτηση του αριθμού των bits

Θα πρέπει να διευκρινίσουμε εδώ ότι μια 8 bit ΚΜΕ μπορεί να περιέχει κάποιους 16 bit καταχωρητές καθώς επίσης και 16 bit εσωτερικές μονάδες. Παρ' όλα αυτά δεν λέμε ότι το εύρος αυτής είναι 16 bit, παρά μόνο εάν όλες οι εσωτερικές μονάδες και κυρίως οι καταχωρητές και η αριθμητική και λογική μονάδα της ΚΜΕ δεν είναι 16 bit.

### 5.3 Ρεπερτόριο εντολών

Η κάθε ΚΜΕ υποστηρίζει και ένα διαφορετικό **ρεπερτόριο** (σύνολο) **εντολών**.

Το ρεπερτόριο εντολών μιας ΚΜΕ είναι καθοριστικός παράγοντας για να μπορέσουμε να αποφανθούμε εάν η ΚΜΕ αυτή είναι κατάλληλη για μια συγκεκριμένη χρήση.

Σημαντικό, επίσης, χαρακτηριστικό του ρεπερτορίου των εντολών μιας ΚΜΕ είναι η συμβατότητα του με παλαιότερες ΚΜΕ. Από πολύ νωρίς οι κατασκευαστές των ΚΜΕ, συμπέραναν ότι οι καινούργιες ΚΜΕ θα έπρεπε να μπορούν να εκτελούν προγράμματα παλαιότερων ΚΜΕ και τα προγράμματα που έχουν γραφτεί για μια παλαιότερη ΚΜΕ να μην χρειάζεται να ξαναγραφτούν από την αρχή, για την καινούργια. Το χαρακτηριστικό αυτό έπαιξε σημαντικό ρόλο στην γρήγορη εξέλιξη των προσωπικών υπολογιστών και αποτέλεσε σημαντικό κίνητρο για την καθιέρωση τους.

## 5.4 Ασκήσεις

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

1. Για το συγχρονισμό των λειτουργιών της Κ.Μ.Ε είναι απαραίτητο κάποιο .....
2. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εναλλαγών του σήματος, για παράδειγμα από τα 0V στα 5V και πάλι στα 0V είναι ίσο με μια ..... του ρολογιού.
3. Η συχνότητα του ρολογιού ονομάζεται συχνά και συχνότητα ..... της ΚΜΕ.
4. Με ειδικά προγράμματα ..... μπορούν οι κατασκευαστές να μετρήσουν πόσες εντολές εκτελεί κατά μέσο όρο η ΚΜΕ.
5. Η κάθε ΚΜΕ υποστηρίζει και ένα διαφορετικό .....εντολών.

**2.** Μια ΚΜΕ είναι σχεδιασμένη να εκτελεί όλες τις εντολές στη διάρκεια 4 κύκλων του ρολογιού της. Η ΚΜΕ εκτελεί ένα πρόγραμμα 500 εντολών.

- Υπολογίστε πόσους κύκλους ρολογιού χρειάζεται η ΚΜΕ για την ολοκλήρωση του προγράμματος.
- Εάν το ρολόι της ΚΜΕ έχει συχνότητα 1 MHz, πόσο χρόνο χρειάζεται η ΚΜΕ για να ολοκληρώσει το πρόγραμμα;
- Υπολογίστε επίσης την ταχύτητα της ΚΜΕ σε MIPS.

**3.** Πόσους καταχωρητές χρειαζόμαστε για να αποθηκεύσουμε τον αριθμό  $123.456.789_{10} = 111010110111100110100010101_2$  σε

A) μια 32-bit ΚΜΕ: \_\_\_\_\_

B) μια 16-bit ΚΜΕ: \_\_\_\_\_

Γ) μια 8-bit ΚΜΕ: \_\_\_\_\_

Υπόδειξη: Χωρίστε την δυαδική παράσταση του αριθμού σε τμήματα που να χωρούν μέσα σε ένα καταχωρητή ξεκινώντας από δεξιά προς τα αριστερά.