

Η μνήμη RAM Γενικές πληροφορίες

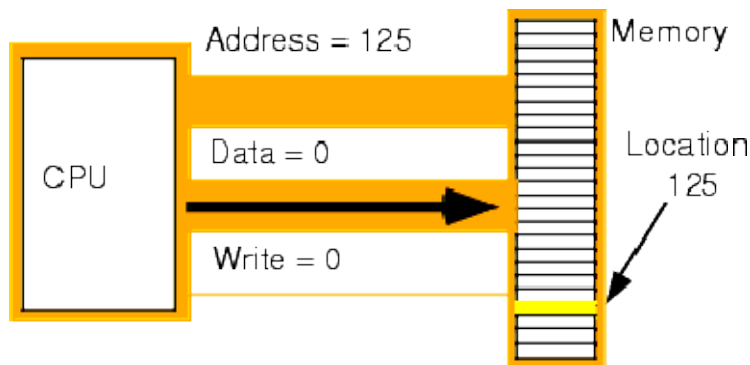
Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, ο κεντρικός επεξεργαστής χρειάζεται ένα «χώρο» στον οποίο θα υπάρχουν τόσο το λειτουργικό σύστημα και τα προγράμματα εφαρμογών, όσο και τα δεδομένα, κατά την **διάρκεια της εκτέλεσής τους**. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιεί την κύρια μνήμη RAM (Random Access Memory) του συστήματος. Είναι λοιπόν ξεκάθαρο ότι τα **λογισμικά εφαρμογών αλλά και το ίδιο το λειτουργικό σύστημα εκτελούνται από τον επεξεργαστή σε συνεργασία με την μνήμη RAM**. Τα περιεχόμενα της RAM, είτε προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων, είτε μεταφέρονται σε αυτήν, από τον σκληρό δίσκο ή άλλο αποθηκευτικό μέσο, στο οποίο είναι μόνιμα αποθηκευμένα, για όσο χρόνο εκτελούνται.



Μνήμες RAM (πάνω) και τοποθετημένες στην μητρική κάρτα (κάτω)

Η μνήμη RAM του Η/Υ

Οι μνήμες γενικά, είναι οργανωμένες στις λεγόμενες «θέσεις». Σε κάθε θέση μνήμης μπορεί να αποθηκεύεται ένα δεδομένο σε δυαδική μορφή. Λόγου χάρι, μια μνήμη RAM μπορεί να έχει 512, 1024 ή περισσότερες θέσεις αποθήκευσης. Οι θέσεις αποθήκευσης ή θέσεις μνήμης είναι αριθμημένες και σε κάθε θέση αντιστοιχεί ένας μοναδικός αριθμός που ονομάζεται **διεύθυνση** (Address).



Για να εντοπίσει ο επεξεργαστής κάποιο δεδομένο μέσα στη μνήμη, πρέπει απαραίτητως να γνωρίζει τη θέση στην οποία είναι αποθηκευμένο, δηλαδή την διεύθυνσή του. Επίσης, εάν πρόκειται να αποθηκευθεί κάποιο δεδομένο στη μνήμη, πρέπει προηγουμένως ο επεξεργαστής, να ορίσει την διεύθυνση μνήμης στην οποία θα αποθηκευτεί. Βέβαια, τα ζητήματα αυτά τα χειρίζονται το λειτουργικό σύστημα και τα προγράμματα εφαρμογών, χωρίς ο χρήστης να εμπλέκεται στις διαδικασίες.

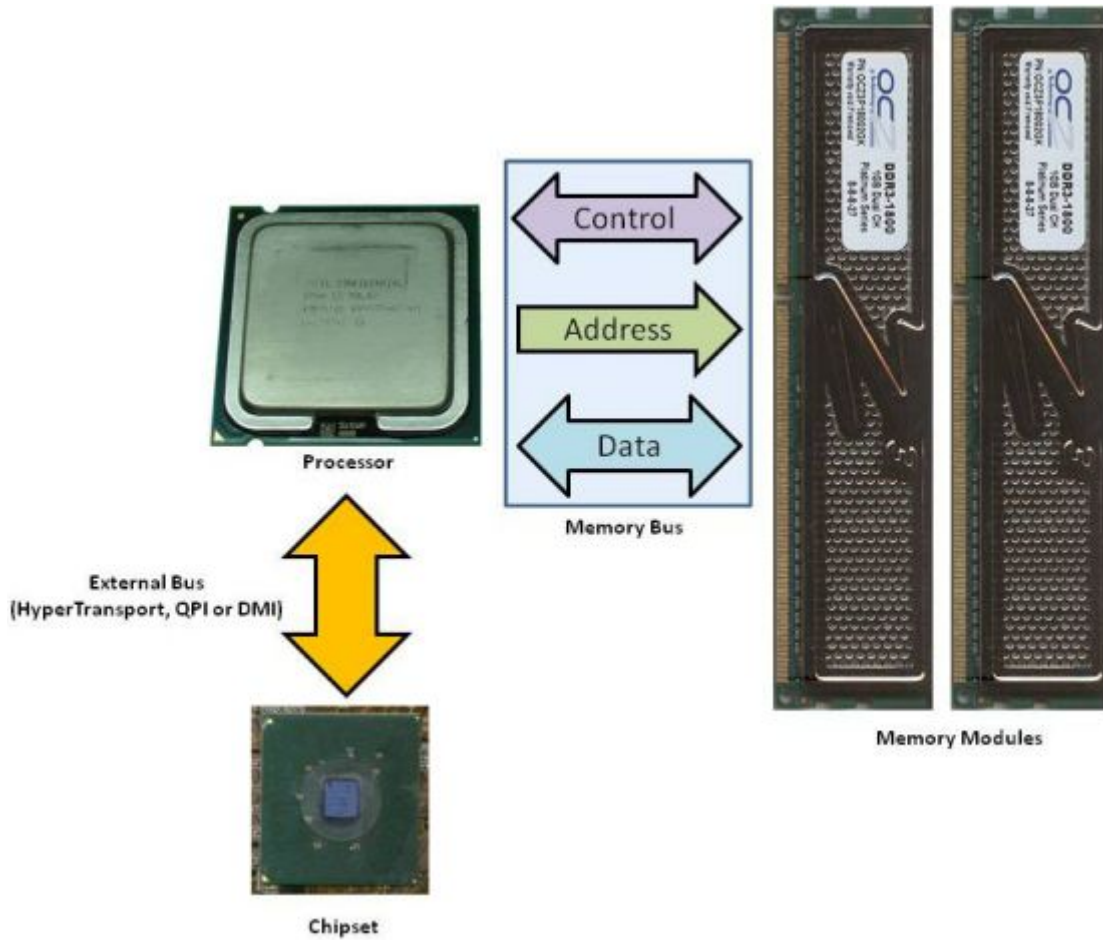
Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σε κάθε θέση μνήμης αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό bits. Έτσι έχουμε μνήμες των 32bits, των 64bits κ.ο.κ, ο αριθμός αυτός αποκαλείται και «μήκος» ή «μήκος λέξης». Έτσι, εάν σε μια θέση μνήμης 32bit θέλουμε να αποθηκευτεί το δεδομένο 101, συμπληρώνεται μπροστά από αυτόν ο απαραίτητος αριθμός μηδενικών, ώστε το σύνολο να αποτελείται από 32bit, δηλαδή 0000000000000000000000000000101. Σε μια δεδομένη μνήμη RAM η κάθε θέση μνήμης έχει τον ίδιο αριθμό bit, δηλαδή το ίδιο μήκος λέξης.

Η επικοινωνία του επεξεργαστή με την μνήμη RAM

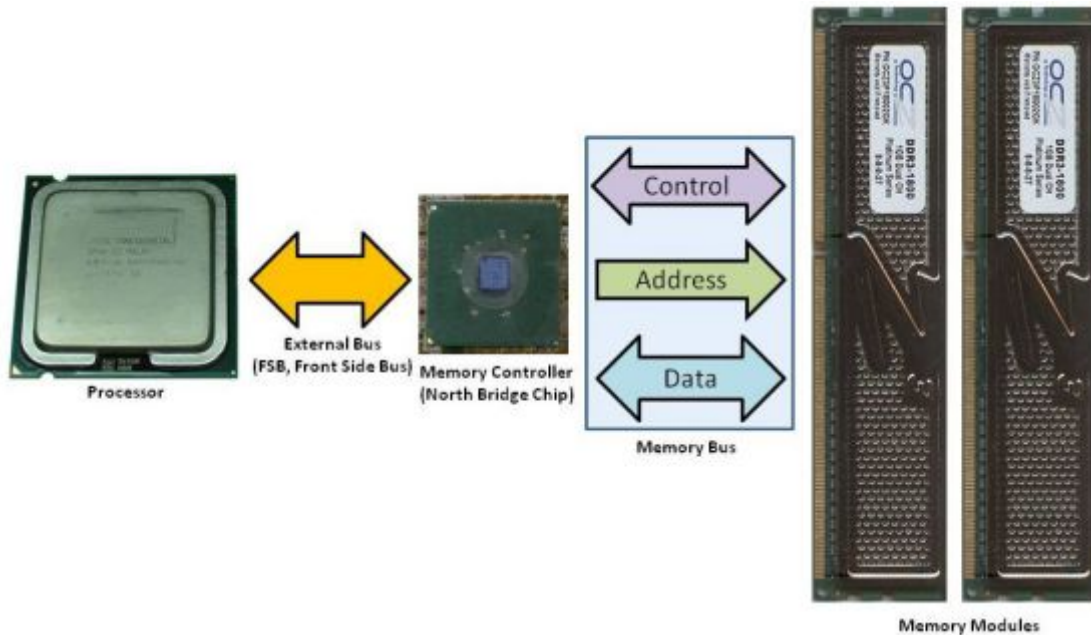
Αρχικά πρέπει να πούμε ότι η επικοινωνία του επεξεργαστή με την μνήμη αφορά τα δεδομένα (data), την διεύθυνση (Address) που αυτά εγγράφονται ή διαβάζονται και τα σήματα ελέγχου (control), που αποστέλλονται κατά βάση από τον επεξεργαστή στη μνήμη RAM (πχ αν θα εκτελεστεί εγγραφή ή ανάγνωση). Η διακίνηση των παραπάνω γίνεται μέσα του διαδρόμου (bus), ο οποίος έχει λειτουργική διάκριση σε τρία αντίστοιχα αυτόνομα τμήματα: data bus, address bus και control bus. Με τον όρο **διάδρομο** (Bus) αναφερόμαστε σε μια ομάδα αγωγών που μεταφέρουν ομοειδείς ψηφιακές πληροφορίες, με τη μορφή ηλεκτρικών σημάτων.

Η επικοινωνία του επεξεργαστή με τη μνήμη RAM δεν είναι άμεση, αλλά επιτυγχάνεται μέσω του ελεγκτή μνήμης (Memory Controller ή Memory Controller Hub – MCH). Τώρα κατά περίπτωση το MCH μπορεί να είναι μέρος των κυκλωμάτων της βόρειας γέφυρας (Northbridge) ή ενσωματωμένος στον επεξεργαστή. Η τεχνική ενσωματωμένου ελεγκτή μνήμης στον επεξεργαστή έχει βελτιωμένες επιδόσεις επικοινωνίας γιατί δεν την περιορίζει η ταχύτητα του διαύλου (FSB ή

Hyper Transport) και την ακολουθεί η AMD από την εποχή των 64bit επεξεργαστών της και η Intel από τους επεξεργαστές core i5 και i7 (όχι στις πρώτες γενιές), αν και την τεχνική αυτή την έχει χρησιμοποιήσει η IBM στην κατασκευή επεξεργαστών της από την δεκαετία του '90.



Το MCH είναι μέσα στον επεξεργαστή



Το MCH είναι έξω από τον επεξεργαστή (στο Northbridge)

Από τον **διάδρομο διευθύνσεων** (Address Bus), ο επεξεργαστής στέλνει (σε δυαδική μορφή) τη διεύθυνση μνήμης στην οποία θέλει να κάνει εγγραφή ή ανάγνωση δεδομένων. Αν το « μήκος» ή «εύρος» αυτού του διαδρόμου είναι 64bit, δηλαδή αν αποτελείται από 64 ξεχωριστούς αγωγούς, τότε ο μέγιστος αριθμός θέσεων μνήμης που προκύπτει είναι 2^{64} . Αυτός ο αριθμός είναι αρκετά μεγάλος και αποτελεί το όριο θέσεων μνήμης που μπορεί να διαχειριστεί ο συγκεκριμένος επεξεργαστής.

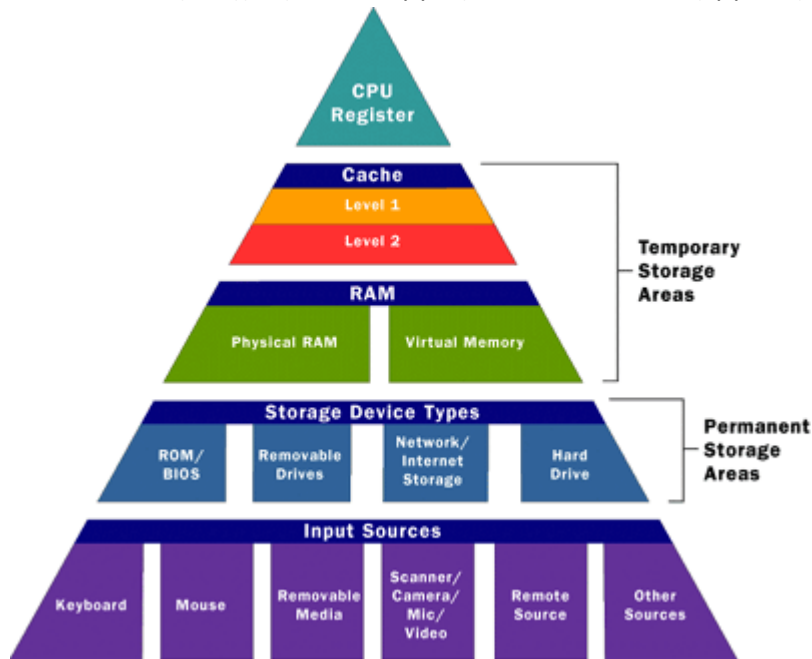
Ένας άλλος ανεξάρτητος διάδρομος είναι ο **διάδρομος δεδομένων** (Data Bus). Μέσω αυτού του διαδρόμου διακινούνται από και προς τον επεξεργαστή τα δεδομένα της μνήμης. Αν ο διάδρομος αυτός έχει εύρος 64bit, τότε κάθε φορά μπορούν να μετακινούνται, από και προς τη μνήμη, 64bit συγχρόνως, ως ένα ενιαίο σύνολο. Προφανώς, το εύρος του διαδρόμου δεδομένων επηρεάζει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από τον επεξεργαστή στη RAM και αντίστροφα και κατά συνέπεια την απόδοση ολόκληρου του συστήματος. Είναι γεγονός ότι οι διάδρομοι δεδομένων των καρτών γραφικών με την μνήμη τους, είναι αρκετά μεγαλύτεροι από αυτούς του επεξεργαστή με την RAM (χρησιμοποιούν συστοιχίες μικρότερων ελεγκτών).

Τέλος, μεταξύ επεξεργαστή και μνήμης RAM διακινούνται ηλεκτρικά σήματα ελέγχου, μέσω αγωγών, όπου όλοι μαζί αποτελούν ένα σύνολο που ονομάζεται **διάδρομος ελέγχου** (Control Bus). Τα σήματα ελέγχου αφορούν, κυρίως, στις εντολές εγγραφής ή ανάγνωσης δεδομένων σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση μνήμης.

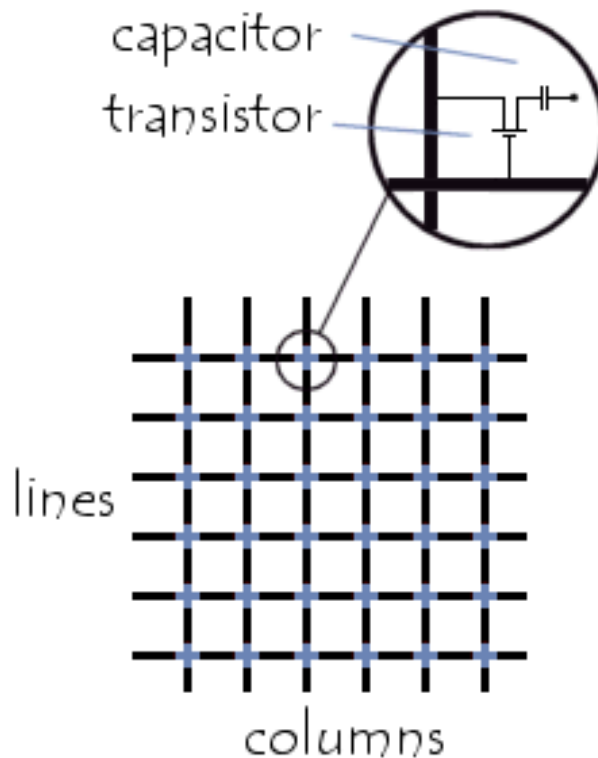
Η μνήμη RAM του Η/Υ**Είδη και χαρακτηριστικά μνημών**

Ας ξεκαθαρίσουμε πρώτα κάποια βασικά πράγματα:

- ✓ Η μνήμη RAM στην κλασική της μορφή, δεν είναι η μοναδική μνήμη που διαθέτει ο Η/Υ. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται ιεραρχικά (σε σχέση με την αμεσότητα προσπέλασης από τον επεξεργαστή) όλες οι μορφές μνήμης που έχει ο Η/Υ. Παρατηρήστε ότι και οι καταχωρητές του επεξεργαστή είναι στην ουσία μνήμες και μάλιστα εύκολα προσπελάσιμες από αυτόν όπως και η κρυφή μνήμη που επικοινωνεί άμεσα μαζί της μέσω του BSB εσωτερικού του διαύλου, στην ταχύτητα λειτουργίας του ίδιου του επεξεργαστή:



- ✓ Το όνομα της μνήμης RAM (Random Access Memory = Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης), υποδηλώνει τον τρόπο που ο επεξεργαστής έχει πρόσβαση στα δεδομένα της, δηλαδή ότι μπορεί να προσπελάσει οποιαδήποτε διεύθυνσή της άμεσα. Σε αντίθεση οι μνήμες SAM (Serial Access Memory), επιτρέπουν μόνο ακολουθιακή (σειριακή) προσπέλαση των δεδομένων τους (πχ τα buffer των καρτών γραφικών).
- ✓ Τα βασικά είδη μνημών, από την πλευρά της τεχνολογίας κατασκευής τους είναι δύο : οι μνήμες SRAM (Static RAM) και οι μνήμες DRAM (Dynamic RAM). Οι SRAM βασίζουν την λειτουργία τους σε Flip Flop, είναι ακριβότερες, απαιτούν λιγότερη ενέργεια και είναι ταχύτερες, ενώ οι DRAM χρησιμοποιούν για την αποθήκευση του κάθε bit ένα στοιχειώδες κύκλωμα τρανζίστορ – πυκνωτή (το τρανζίστορ ορίζει την τιμή 0 ή 1 και ο πυκνωτής το αποθηκεύει ως φορτίο), είναι πιο ενεργοβόρες και πιο αργές αλλά και πιο φθηνές, ενώ μπορούν να κατασκευαστούν με μεγάλες χωρητικότητες (κοίτα το παρακάτω σχήμα). Εξαιτίας της κατασκευής τους οι μνήμες DRAM απαιτούν ανά τακτά μικρά χρονικά διαστήματα την επαναφόρτισή τους γιατί οι πυκνωτές εκφορτίζονται και αλλοιώνονται οι πληροφορίες τους. Ευνόητο είναι ότι με την διακοπή της τροφοδοσίας τους οι μνήμες αυτές χάνουν τα δεδομένα τους. Η κύρια μνήμη RAM του Η/Υ είναι DRAM ενώ η κρυφή μνήμη του επεξεργαστή είναι SRAM.

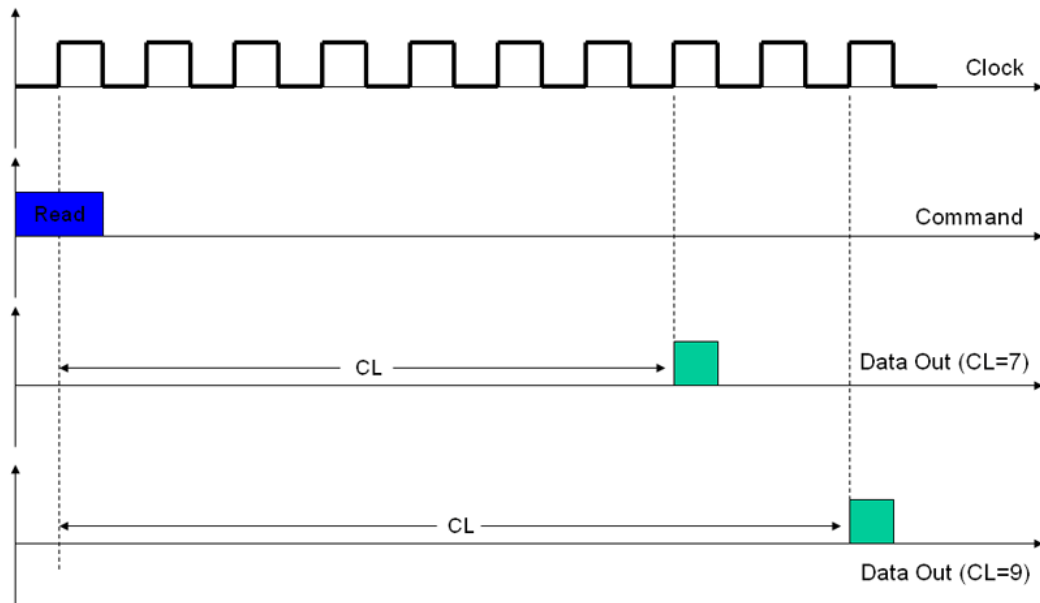


Δομή μνήμης DRAM

- ✓ Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται πως είναι δομημένες οι μνήμες DRAM, σε γραμμές ή σειρές – lines ή rows και στήλες – columns. Κατά την εγγραφή δεδομένων στην μνήμη ενεργοποιούνται πρώτα οι γραμμές με ένα ηλεκτρικό σήμα που ονομάζεται RAS (Row Access Strobe) και έπειτα οι στήλες με αντίστοιχο σήμα το CAS (Column Access Strobe) τα οποία πολώνει τα τρανζίστορ (mosfet) και φορτίζουν (λογικό 1) ή όχι (λογικό 0) τους αντίστοιχους πυκνωτές. Η διαδικασία της ανάγνωσης (Read), γίνεται με αντίστοιχο έλεγχο της τάσης των πυκνωτών, όπου με πάνω από το 50 % της μέγιστης τάσης φόρτισης το bit διαβάζεται σαν «1» ενώ κάτω από το 50 % διαβάζεται σαν «0». Ο χρόνος που διαρκεί η παραπάνω διαδικασία εγγραφής ή ανάγνωσης ή ανανέωσης στην μνήμη, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ της ενεργοποίησης γραμμών (RAS) και της ενεργοποίησης στηλών (CAS) ονομάζεται tRCD (time Ras to Cas Delay). Εκτός από τον χρόνο αυτό, οι κατασκευαστές των μνημών δίνουν και άλλους τρεις κρίσιμους χρόνους για την κάθε μνήμη με τυποποιημένη σειρά για τα χαρακτηριστικά της. Για παράδειγμα αν για μια μνήμη δίνονται οι χρόνοι : 9-3-3-15. Τότε η συγκεκριμένη μνήμη έχει :
- CAS → 9
 - RCD → 3
 - RP → 3
 - RAS → 15

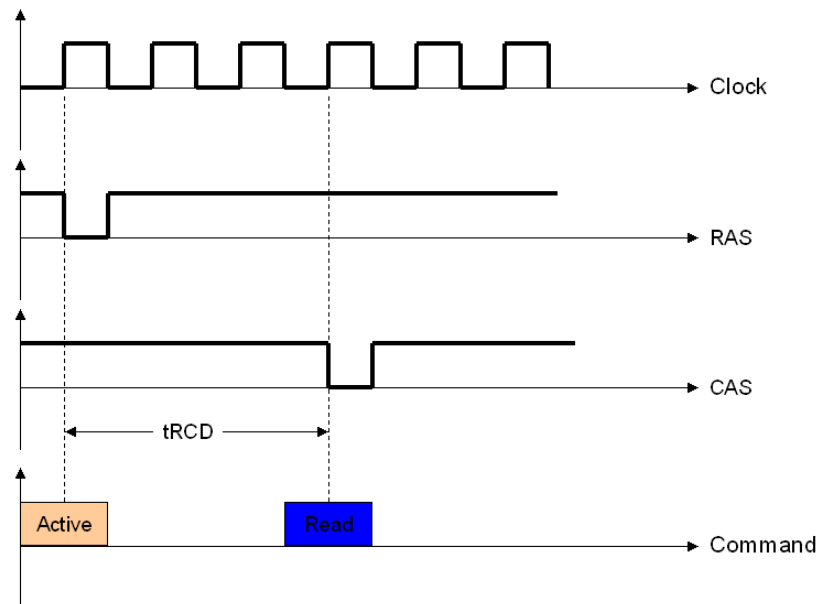
Η μνήμη RAM του Η/Υ

- t_{CAS} : 10 (το 1^ο νούμερο) και είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την χρονική στιγμή που ο επεξεργαστής καλεί δεδομένα από την μνήμη μέχρι αυτή που τα λαμβάνει (αφορά ανάγνωση δεδομένων). Αναφέρεται και σαν CAS Latency.



Γράφημα για Cas Latency = 7 και Cas Latency = 9

- t_{RCD} : 3 time RAS to CAS DELAY (το 2^ο νούμερο) και είναι ο χρόνος μεταξύ της ενεργοποίησης γραμμών (RAS) και της ενεργοποίησης στηλών (CAS). Αφορά διαδικασίες και εγγραφής (Write) και ανάγνωσης (Read) δεδομένων στην μνήμη.

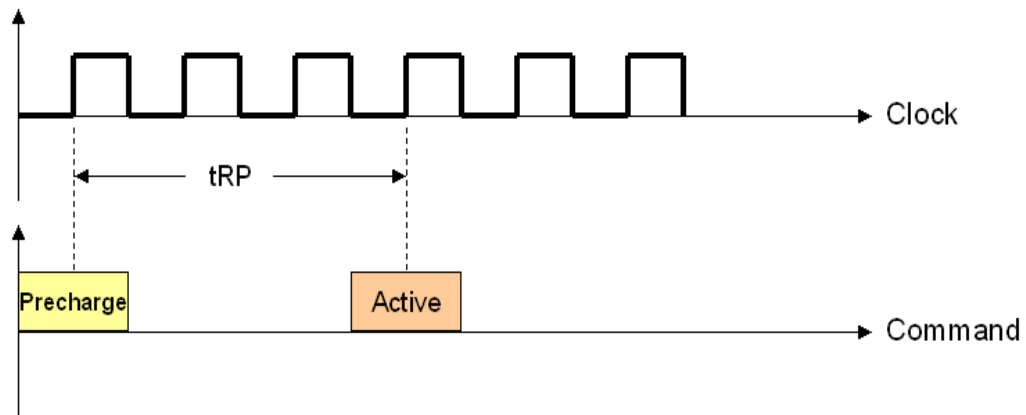


Γράφημα για $t_{RCD} = 3$

- t_{RP} : 3 time Row Precharge (το 3^ο νούμερο) και είναι ο χρόνος που απαιτείται από την ολοκλήρωση της προσπέλασης μιας γραμμής έως την έναρξη προσπέλασης σε

Η μνήμη RAM του Η/Υ

μια άλλη γραμμή. Αφορά διαδικασίες και εγγραφής (Write) και ανάγνωσης (Read) δεδομένων στην μνήμη.



Γράφημα για $t_{RP} = 3$

- t_{RAS} : 15 (το 4^ο νόμμερο και το μεγαλύτερο) και είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την ολοκλήρωση μιας εντολής προς την μνήμη (Write ή Read) μέχρι να ξεκινήσει μια νέα εντολή σε αυτήν.
- CMD : Ο χρόνος αυτός σπάνια δίνεται και είναι αυτός που μεσολαβεί από την ενεργοποίηση της μνήμης (Chip Select Enable), μέχρι να είναι δυνατή οποιαδήποτε ενέργεια σε αυτήν (έναρξη εγγραφής ή ανάγνωσης). Συνήθως είναι 1 ή 2 κύκλοι ρολογιού και δίνονται σαν 1T ή 2T (υπονοείται η περίοδος T του παλμού).

Οι χρόνοι αυτοί δίνονται σε κύκλους ρολογιού (από την συχνότητα της μνήμης) για σύγχρονες μνήμες DRAM (SDRAM) και σε nsec για τις ασύγχρονες DRAM. Ρυθμίζονται από το BIOS είτε αυτόματα είτε με επιλογή μας (για over clocking με κίνδυνο αστάθειας του συστήματος).

✓ Οι μνήμες RAM όπως καταλάβαμε από τα προηγούμενα διακρίνονται σε **σύγχρονες** και **ασύγχρονες**. Έτσι μπορούμε να μιλάμε για μνήμες SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) οι οποίες πρώτα συγχρονίζονται με παλμό ρολογιού με το κεντρικό δίαυλο (System Bus) και έπειτα εκτελούν τις υπαγορευόμενες ενέργειες από τα σήματα του διαύλου ελέγχου (Control Bus), ενώ οι ασύγχρονες μνήμες καθορίζουν την λειτουργία τους μόνο από τα σήματα ελέγχου.

✓ Η **χωρητικότητα** της μνήμης εκφράζει την ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν σε αυτήν και μετριέται σε GBytes. Σε κάποιες περιπτώσεις πρέπει να δούμε τα όρια αναγνώρισης χωρητικότητας PAM του λειτουργικού συστήματος που έχει ο Η/Υ.

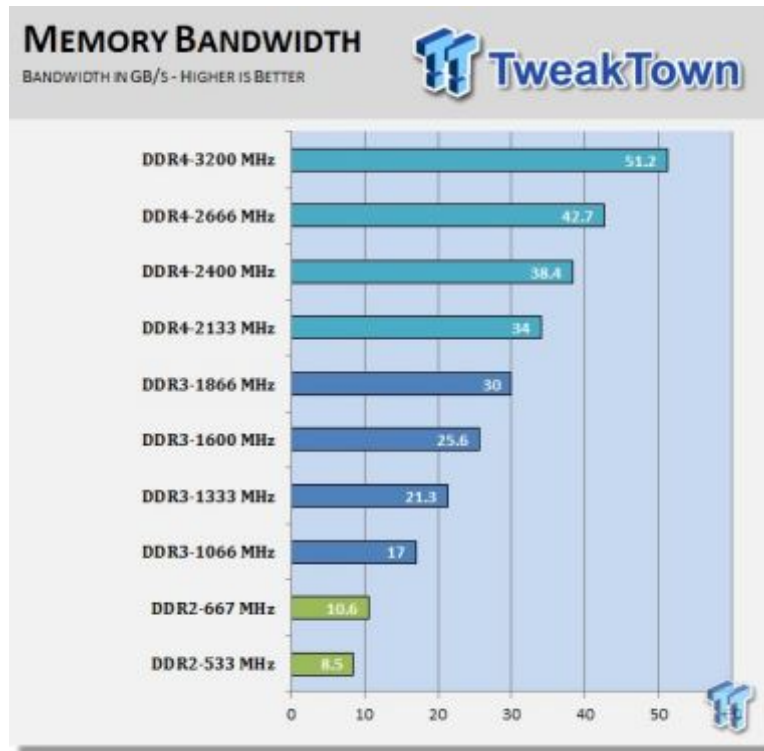
✓ Η **συχνότητα** λειτουργίας της μνήμης RAM η οποία πρέπει να είναι εναρμονισμένη με το FSB της μητρικής (ή κάτω από αυτό). Δεν έχει κανένα νόημα η τοποθέτηση μνήμης με συχνότητα λειτουργίας υψηλότερη από αυτή του FSB.

✓ Το **εύρος** λειτουργίας της μνήμης (Memory Bandwidth) είναι με απλά λόγια ο ρυθμός ανάγνωσης δεδομένων της μνήμης από τον επεξεργαστή, δίνεται συνήθως σε MB/sec (τελευταία γίνονται αναφορές Bandwidth σε GB/s) και προκύπτει από :

- Την συχνότητα της μνήμης
- Το μήκος λέξης που χρησιμοποιεί

Η μνήμη RAM του Η/Υ

- Ο αριθμός δεδομένων που μεταφέρει ανά παλμό (πχ 2 για DDR)
- Ο αριθμός των module που χρησιμοποιούνται (πχ δύο module των 64 bit το καθένα δίνουν συνολικά 128 bit).



- ✓ **Η τάση λειτουργίας** των μνημών εξαρτάται από την κατηγορία της μνήμης:
 - 1,2 volt οι μνήμες DDR4
 - 1,5 volt οι μνήμες DDR3
 - 1,8 volt οι μνήμες DDR2
 - 2,6 volt οι μνήμες DDR
 - 3,3 volt οι μνήμες SDRAM
- ✓ Τα Rank των μνημών. Αν παρατηρήσει κάποιος ένα άρθρωμα μνήμης θα δει ότι υπάρχουν πάνω του μια σειρά IC. Τα IC αυτά λειτουργούν παράλληλα για να δώσουν την συνολική μνήμη του αρθρώματος. Για παράδειγμα μπορεί 8 IC των 512 MB και 8 bit το καθένα να συνδυάζονται παράλληλα για να δώσουν συνολική μνήμη μήκους 64 bit και το άθροισμα της χωρητικότητας των 8 IC ($8 \times 512 \text{ MB} = 4096 \text{ MB}$ ή 4 GB) . Αυτά τα IC που συνδυαστικά και παράλληλα συνθέτουν έναν διάδρομο δεδομένων ονομάζονται Rank της μνήμης. Κάθε άρθρωμα μπορεί να έχει περισσότερα από ένα Rank.

Η οικογένεια μνημών DIMM DDR SDRAM

Τα αρθρώματα μνήμης αποτελούνται από πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος πάνω στις οποίες βρίσκονται τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της μνήμης RAM. Οι διαστάσεις αυτών των πλακετών είναι περίπου 133mm x 30mm. Η ονομασία DIMM (Dual In line Memory

Η μνήμη RAM του Η/Υ

Module) αφορά την μορφή (συσκευασία) της πλακέτας της μνήμης και είναι αυτή που αντικατάστησε την παλαιότερη SIMM (Single In line Memory Module), υπερδιπλασιάζοντας τον αριθμό των pin (από 72 σε 168 σε πρώτη φάση) αλλά και των bit του διαδρόμου δεδομένων από 32 σε 64. Πολύ απλά μπορούμε να πούμε ότι μια μνήμη DIMM της εποχής που αντικατέστησαν τις SIMM είναι μια διπλή SIMM. Δείτε για την ιστορία τις παρακάτω εικόνες . Για την ιστορία πάλι απλά αναφέρουμε ότι η μνήμη SIMM κατασκευάστηκε το 1983 από την Wang Laboratories και συνόδευε τα PC για περισσότερο από μια δεκαετία πριν αντικατασταθεί από τις μνήμες DIMM, στις πρώτες γενιές των Pentium όταν δεν μπορούσε πλέον να ανταπεξέλθει σε 64μπιτες απαιτήσεις.



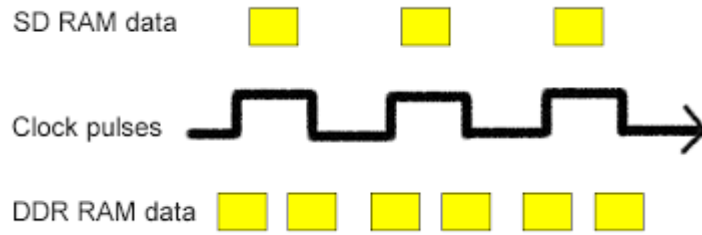
Μνήμη SIMM 30 pin – 256 KB



Μνήμη SIMM 72 pin – 16 MB

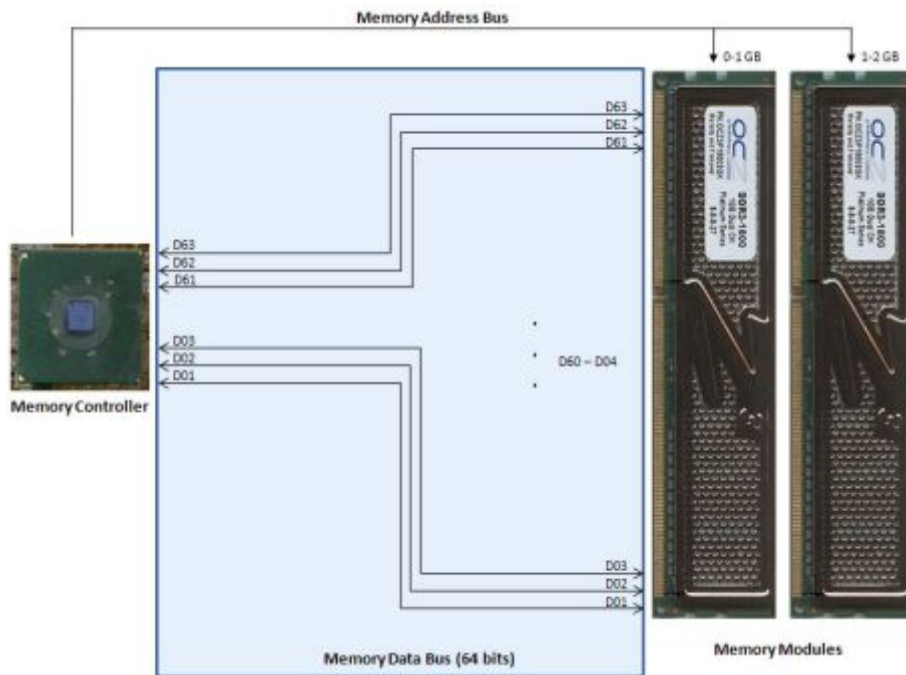
Αξίζει επίσης να αναφέρουμε ότι η μνήμη SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) την οποία αντικατέστησαν οι μνήμες DDR, παρά του γεγονότος ότι ήταν εργαστηριακά γνωστή στην Intel από την δεκαετία του 1970, μόλις το 1993 την κατασκεύασε η Samsung, και έγινε άμεσα αποδεκτή εξαιτίας των πολύ καλών χαρακτηριστικών της, για μια σχεδόν δεκαετία.

Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory. Είναι η εξέλιξη των απλών μνημών SDRAM, με μεγαλύτερες ταχύτητες λειτουργίας και ταχύτερη εγγραφή / ανάγνωση δεδομένων. Με την εμφάνισή τους σε έναν κύκλο ρολογιού εκτελούσαν μία εντολή που διάβαζε και έγραφε τα διπλάσια δεδομένα (128 bits), καθώς μετέφερε δεδομένα και κατά την ακμή ανόδου και την ακμή καθόδου του σήματος του ρολογιού του συστήματος. Έτσι, διπλασιάζεται ο ρυθμός μεταφοράς χωρίς να χρειάζεται αύξηση της συχνότητας του διαύλου.

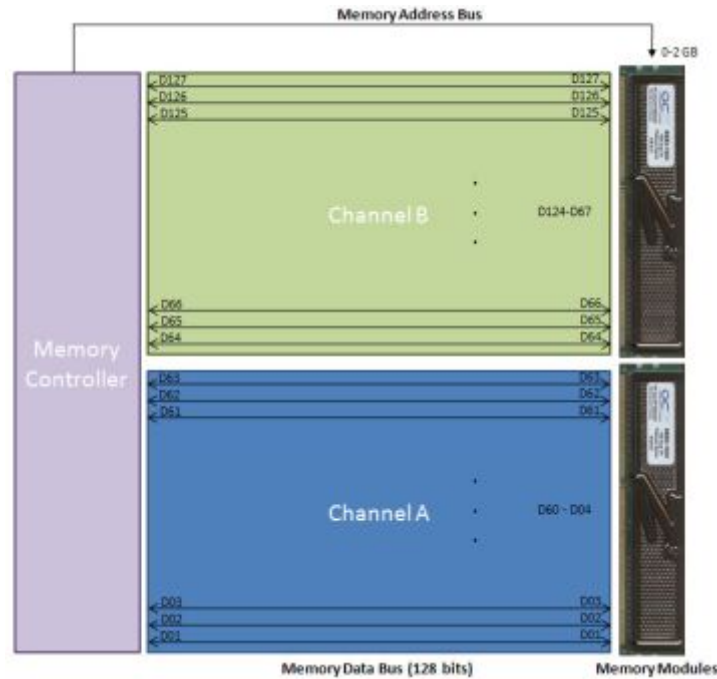


Οι τεχνολογίες Dual Channel – Triple Channel – Quad Channel

Ας θυμηθούμε όπως αναφέρθηκε παραπάνω ότι η επικοινωνία της μνήμης με τον ελεγκτή της (άρα και με τον επεξεργαστή), γίνεται μέσω ενός τριπλού διαδρόμου (δεδομένων, διευθύνσεων και ελέγχου). Η τεχνολογία DDR διαφοροποιείται στον Data Bus ο οποίος είναι διπλός και αντίστοιχα στον Address Bus. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την επικοινωνία ενός ελεγκτή μνήμης με δύο μνήμες χωρητικότητας 1 GB η καθεμιά. Ο Data Bus είναι βέβαια 64 bit και υλοποιείται με τους αγωγούς D0 έως D63.



Ας δούμε τώρα την υλοποίηση DDR των ίδιων υλικών στο παρακάτω σχήμα:



Ο Data Bus είναι διπλός με δύο κανάλια Α και Β, που υλοποιούνται με 128 αγωγούς (D0 έως D63 για το Channel Α και D64 έως D127 για το Channel Β), ενώ από τον Address Bus οι δύο μονάδες μνήμης αντιμετωπίζονται ενιαία. Αυτός είναι και ο λόγος που όταν υλοποιούνται συνθέσεις DDR επειδή τα module των μνημών προσπελαύνονται ταυτόχρονα, πρέπει να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (χωρητικότητα, συχνότητα και χρόνους).

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω για να αξιοποιηθεί η αρχιτεκτονική DDR θα πρέπει:

- ✓ Να υποστηρίζει την αρχιτεκτονική η μητρική κάρτα (δύσκολα θα βρείτε μητρική που δεν θα την υποστηρίζει απλά σε κάθε περίπτωση πρέπει οι μνήμες να διαθέτουν την ίδια αρχιτεκτονική με αυτή που υποστηρίζει η μητρική – Double , Triple, Quad).
- ✓ Η μνήμη πρέπει να είναι σε κατάλληλα module. Το συνηθισμένο λάθος που γίνεται από χρήστες ή και τεχνικούς που στήνουν συνθέσεις Η/Υ είναι το εξής: έστω ότι προδιαγράφουμε ένα σύστημα με μια μητρική που υποστηρίζει Dual Channel και θα τοποθετήσουμε 8 GB μνήμης. Αν τοποθετήσουμε σε αυτό ένα module 8 GB σε ένα bank μνήμης, τότε αχρηστεύουμε την αρχιτεκτονική Dual Channel. Αυτή η μνήμη θα δουλεύει σε μονό κανάλι των 64 bit. Η σωστή επιλογή σε αυτή την περίπτωση είναι 2 module των 4 GB το καθένα.
- ✓ Τα module μνημών να τοποθετηθούν στα bank της μητρικής κάρτας που ορίζει ο κατασκευαστής της μητρικής. Όταν η μητρική κάρτα έχει αρκετά memory bank , συνήθως ο κατασκευαστής της ορίζει ποια είναι τα συγκεκριμένα που λειτουργούν στην αρχιτεκτονική DDR. Για παράδειγμα έστω ότι μια μητρική έχει 4 memory bank: D1 – D2 – D3 – D4 και στο Channel Α ανήκουν τα D1 και D2 ενώ στο Channel Β ανήκουν τα D3 και D4. Τότε, σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα θα τοποθετήσουμε το ένα module των 4 GB στο bank D1 και το άλλο module των 4 GB στο bank 3. Αν όμως τα τοποθετήσουμε στα bank D1 και D2, τότε δεν αξιοποιούμε την αρχιτεκτονική Dual Channel και το σύστημα λειτουργεί με ένα κανάλι στα 64 bit (Channel Α). Για διευκόλυνση, οι κατασκευαστές

μητρικών έχουν ίδιο χρώμα στα memory bank που θα πρέπει να τοποθετήσουμε τα ζευγάρια των module μνήμης, χωρίς αυτό να είναι απόλυτο.

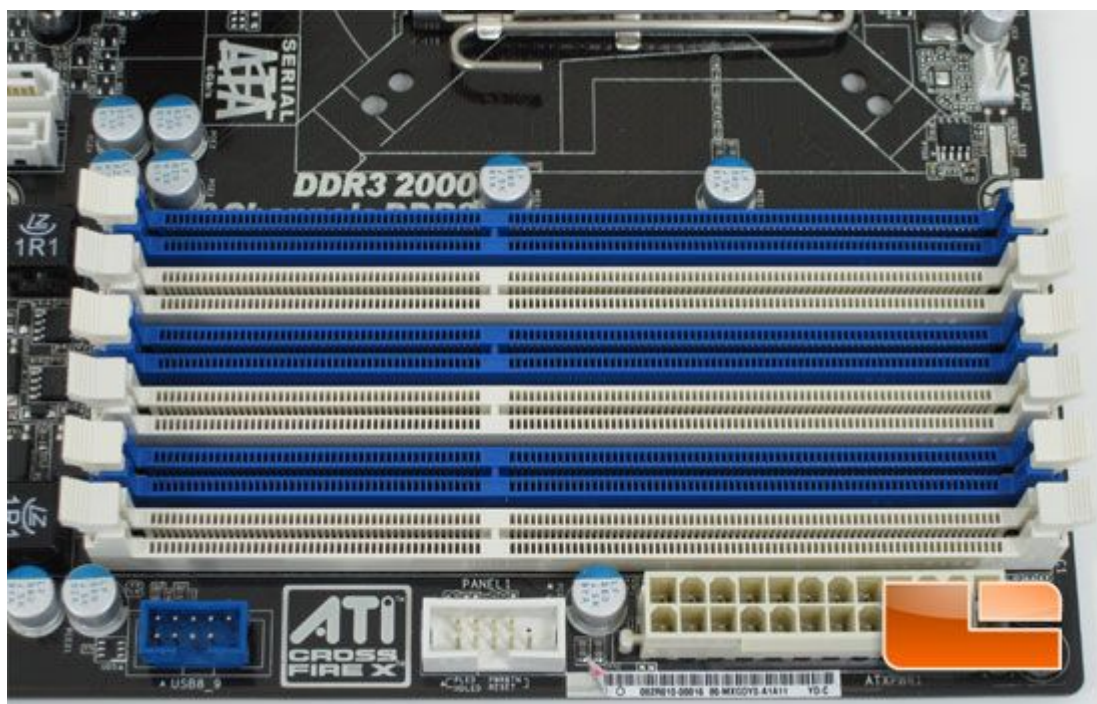


Μητρική κάρτα με αρχιτεκτονική μνημών Double Channel

Σε κάθε περίπτωση όταν έχουμε αμφιβολίες για την τοποθέτηση των μνημών καλό θα είναι να συμβουλευόμαστε το manual της μητρικής κάρτας.

Η συνέχεια και εξέλιξη της Double Channel είναι η Triple Channel και Quad Channel αρχιτεκτονικής. Ενώ η Double Channel ανέβασε το εύρος του διαδρόμου δεδομένων στα 128 bit, με παρόμοια αρχιτεκτονική η Triple Channel τον ανεβάζει στα 192 bit και Quad Channel στα 256 bit. Να ξεκαθαρίσουμε εδώ ότι αυτές οι τιμές αφορούν το εύρος του Data Bus του υποσυστήματος της μνήμης και δεν χαρακτηρίζουν συνολικά τον Η/Υ.

Την αρχιτεκτονική Triple Channel εισήγαγε η Intel στις μητρικές με βάσεις LGA 1366, ενώ την αρχιτεκτονική Quad Channel την υποστηρίζουν οι μητρικές LGA 2011 και LGA 2011-3. Με παρόμοιο σκεπτικό ισχύουν και σε αυτές τις αρχιτεκτονικές μνημών οι προϋποθέσεις που αναφέραμε παραπάνω κατά περίπτωση.



Μητρική κάρτα (Asus X58) με αρχιτεκτονική μνημών Tripple Channel



Μητρική κάρτα (Asus X99) με αρχιτεκτονική μνημών Quad Channel

Η οικογένεια των μνημών DDR εμφανίστηκε με τις εξής εκδόσεις:

✓ DDR SDRAM (ή DDR1 SDRAM).

Είναι η πρώτη γενιά των μνημών DDR (DDR 1) και έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- 184 pin
- Τάση τροφοδοσίας 2,5 volt
- Τα παρακάτω χαρακτηριστικά αφορούν την DDR 400 που ήταν και η τελευταία μνήμη της σειράς:

Συχνότητα λειτουργίας 200 MHz

Εύρος λειτουργίας 3200 MB/s (8X400).

Τυπικοί χρόνοι για αυτή την μνήμη: CL →3, RCD →3, RP →3



Μνήμες DDR 400 / 512 MB / με χρόνους 3-3-3

Η μνήμη RAM του Η/Υ

✓ DDR2 SDRAM

Η διαφορά λειτουργίας των μνημών DDR2 σε σχέση με τις DDR (1) που αντικατέστησαν, ήταν ότι κατά την διάρκεια του κάθε κύκλου ρολογιού, μετέφερε 4 δεδομένα (2 κατά την άνοδο του τετραγωνικού παλμού και 2 κατά την πτώση του. Έτσι χωρίς να αυξήσει την συχνότητα λειτουργίας της (memory clock) μετέφερε διπλάσια δεδομένα, άρα διπλασίαζε το εύρος της (bandwidth). Έχουμε λοιπόν υπόψη ότι μια μνήμη DDR2 στα 800 MHz έχει πραγματικό memory clock στα 200 MHz και το εύρος μεταφοράς δεδομένων είναι 6400 MB/s ($800 (=200 \times 4) \times 64 \text{ bit} / 8$). Η γενιά των μνημών DDR2 δεν είναι συμβατή ούτε με την DDR (1) που αντικατέστησε αλλά ούτε και με την γενιά των DDR3 που ακολούθησε. Οι κατασκευαστές φρόντισαν να τονίσουν την ασυμβατότητα τοποθετώντας την εγκοπή του αρθρώματος σε διαφορετικό σημείο σε κάθε γενιά μνημών ώστε να είναι αδύνατη και η τοποθέτηση στα bank των μνημών των μητρικών καρτών (ισχύει για όλες τις γενιές των μνημών). Η μόνη έννοια συμβατότητας είναι στις διαφορετικές συχνότητες της ίδιας γενιάς σε συνδυασμό πάντα με τις δυνατότητες της κάθε μητρικής. Για παράδειγμα μια μνήμη DDR2 συχνότητας 1066 MHz μπορεί να αντικατασταθεί με μια άλλη μνήμη DDR2 συχνότητας 800 MHz, αρκεί να υποστηρίζει αυτή την συχνότητα η συγκεκριμένη μητρική κάρτα και σε αυτή τη περίπτωση η συχνότητα του διαύλου θα προσαρμοστεί προς τα κάτω (δηλ στα 800 MHz). και έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- 240 pin
- Τάση τροφοδοσίας 1,8 volt.
Παρατήρηση: Οι προδιαγραφές των μνημών Η/Υ καθορίζονται από τον JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council). Στην περίπτωση της τροφοδοσίας των μνημών DDR2, καθορίζεται η τιμή 1,8 – 1,9 volt. Στην πράξη αρκετοί κατασκευαστές μνημών κατασκεύασαν μνήμες DDR2 με τάση τροφοδοσίας μέχρι 2,3 volt (μοιάζει με εργοστασιακό over clocking).
- Τα παρακάτω χαρακτηριστικά αφορούν την DDR2 800 (οι μνήμες DDR2 έφτασαν μέχρι την συχνότητα 1066 MHz):
Συχνότητα λειτουργίας 200 MHz
Εύρος λειτουργίας 6400 MB/s (8X800).
Τυπικοί χρόνοι για αυτή την μνήμη: CL →4, RCD →4, RP →4, RAS →12)



Χαρακτηριστικά μιας μνήμης (ζευγάρι των δύο αρθρωμάτων) DDR2 / 2GB / 800 MHz



Ζευγάρι των δύο αρθρωμάτων DDR2 / 512 MB/ 1066 MHz

Η μνήμη RAM του Η/Υ

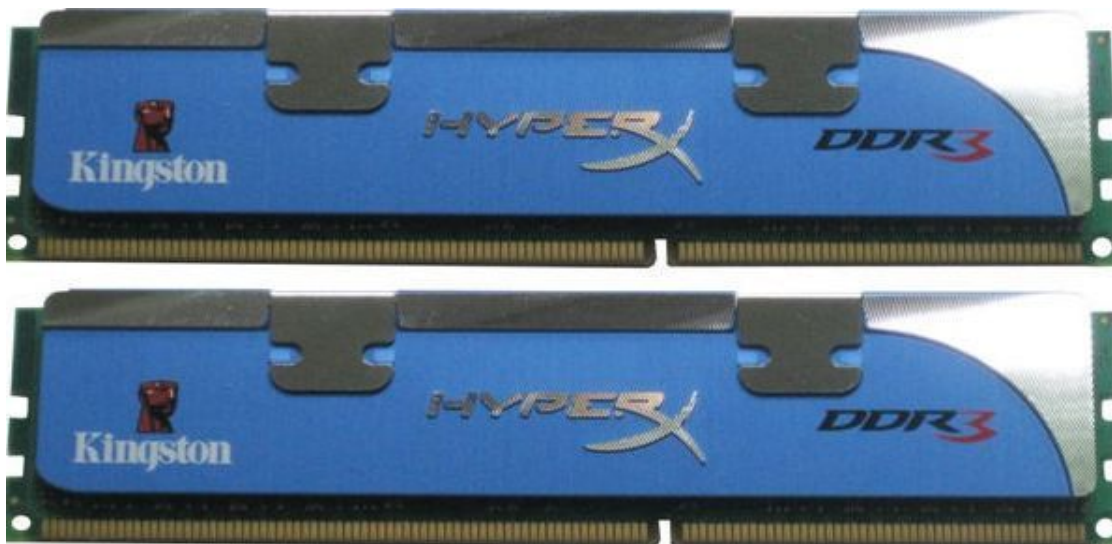
✓ DDR3 SDRAM

Η διαφορά λειτουργίας των μνημών DDR3 σε σχέση με τις DDR2 που αντικατέστησαν, ήταν ότι κατά την διάρκεια του κάθε κύκλου ρολογιού, μετέφερε 8 δεδομένα (4 κατά την άνοδο του τετραγωνικού παλμού και 4 κατά την πτώση του. Έτσι χωρίς να αυξήσει την συχνότητα λειτουργίας της (memory clock) μετέφερε διπλάσια δεδομένα, άρα διπλασίαζε το εύρος της (bandwidth), σε σχέση με τις DDR2. Έχουμε λοιπόν υπόψη ότι μια μνήμη DDR3 στα 1600 MHz έχει πραγματικό memory clock στα 200 MHz και το εύρος μεταφοράς δεδομένων είναι 12400 MB/s ($1600 (=200 \times 8) \times 64 \text{ bit} / 8$). Η γενιά των μνημών DDR3 δεν είναι συμβατή ούτε με την DDR2 που αντικατέστησε (παρά τα γεγονότα ότι οι μνήμες DDR3 όπως και οι μνήμες DDR2 έχουν 240 pin), αλλά ούτε και με την γενιά των DDR4 που ακολούθησε. Οι κατασκευαστές φρόντισαν και σε αυτή την περίπτωση να τονίσουν την ασυμβατότητα τοποθετώντας την εγκοπή του αρθρώματος σε διαφορετικό σημείο ώστε να είναι αδύνατη και η τοποθέτηση στα bank των μνημών των μητρικών καρτών (ισχύει για όλες τις γενιές των μνημών). Η μόνη έννοια συμβατότητας και σε αυτή την περίπτωση των μνημών DDR3, είναι στις διαφορετικές συχνότητες της ίδιας γενιάς σε συνδυασμό πάντα με τις δυνατότητες της κάθε μητρικής. Για παράδειγμα μια μνήμη DDR3 συχνότητας 1866 MHz μπορεί να αντικατασταθεί με μια άλλη μνήμη DDR3 συχνότητας 1600 MHz, αρκεί να υποστηρίζει αυτή την συχνότητα η συγκεκριμένη μητρική κάρτα και σε αυτή τη περίπτωση η συχνότητα του διαύλου θα προσαρμοστεί προς τα κάτω (δηλ στα 1600 MHz). και έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- 240 pin
- Τάση τροφοδοσίας 1,5 volt.
Παρατήρηση: Οι προδιαγραφές των μνημών Η/Υ καθορίζονται από τον JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council). Στην περίπτωση της τροφοδοσίας των μνημών DDR3, καθορίζεται η τιμή 1,35 – 1,5 volt. Στην πράξη αρκετοί κατασκευαστές μνημών κατασκεύασαν μνήμες DDR2 με τάση τροφοδοσίας μέχρι 1,9 volt (Ο JEDEC δίνει όριο αντοχής τα 1,975 volt για τις μνήμες DDR3).
- Τα παρακάτω χαρακτηριστικά αφορούν μια DDR3 1600 (οι μνήμες DDR3 έφτασαν μέχρι την συχνότητα 2933 MHz):
 - Συχνότητα λειτουργίας 200 MHz
 - Εύρος λειτουργίας 12800 MB/s (8X1600).
 - Τυπικοί χρόνοι για αυτή την μνήμη: CL →11, RCD →11, RP →11, RAS →28)



Χαρακτηριστικά μιας μνήμης DDR3 / 8GB / 1600 MHz



Ζευγάρι των δύο αρθρωμάτων DDR3 / 4GB/ 1600 MHz

Η μνήμη RAM του Η/Υ

✓ DDR4 SDRAM

Η πρώτη μνήμη DDR4 κατασκευάστηκε από την Samsung το 2011 και εμπορικά διατέθηκε περίπου δύο χρόνια αργότερα. Οι εταιρείες κατασκευής επεξεργαστών μόλις το 2014 εναρμόνισαν τα προϊόντα τους με τις μνήμες DDR4 (η AMD από τους επεξεργαστές με αρχιτεκτονική Hierofalcon και η Intel με επεξεργαστές i7 αρχιτεκτονικής Haswell-E. Οι μνήμες DDR4 έχουν 288 pin έναντι 240 pin που έχουν οι DDR3. Οι δύο γενιές μνημών έχουν το ίδιο μήκος και για να κατασκευαστούν αυτά τα επιπλέον 48 pin μειώθηκε η μεταξύ τους απόσταση από 1 mm σε 0,85 mm. Οι μνήμες DDR4 διατηρούν την ίδια λειτουργία με τις DDR3 που αντικατέστησαν, δηλαδή κατά την διάρκεια του κάθε κύκλου ρολογιού, μεταφέρουν 8 δεδομένα (4 κατά την άνοδο του τετραγωνικού παλμού και 4 κατά την πτώση του). Έχουμε λοιπόν υπόψη ότι μια μνήμη DDR4 στα 2133 MHz έχει πραγματικό memory clock στα 266 MHz και το εύρος μεταφοράς δεδομένων είναι 17000 MB/s (2133 (=266 x8) x 64 bit / 8). Η γενιά των μνημών DDR4 δεν είναι συμβατή με την DDR3 που αντικατέστησε. Οι κατασκευαστές φρόντισαν και σε αυτή την περίπτωση να τονίσουν την ασυμβατότητα τοποθετώντας την εγκοπή του αρθρώματος σε διαφορετικό σημείο ώστε να είναι αδύνατη και η τοποθέτηση στα bank των μνημών των μητρικών καρτών (ισχύει για όλες τις γενιές των μνημών). Η μόνη έννοια συμβατότητας και σε αυτή την περίπτωση των μνημών DDR3, είναι στις διαφορετικές συχνότητες της ίδιας γενιάς σε συνδυασμό πάντα με τις δυνατότητες της κάθε μητρικής. Για παράδειγμα μια μνήμη DDR4 συχνότητας 3200 MHz μπορεί να αντικατασταθεί με μια άλλη μνήμη DDR4 συχνότητας 3000 MHz, αρκεί να υποστηρίζει αυτή την συχνότητα η συγκεκριμένη μητρική κάρτα και σε αυτή τη περίπτωση η συχνότητα του διαύλου θα προσαρμοστεί προς τα κάτω (δηλ στα 3000 MHz). Δειγματοληπτικά μια μνήμη DDR4 16 GB (kit των 4 x 4 GB) / 2400 MHz της G.SKILL (Οι μνήμες DDR4 έφτασαν μέχρι την συχνότητα 4266 MHz) έχει:

- 288 pin
- Τάση τροφοδοσίας: 1,2 volt.

Παρατήρηση: Οι προδιαγραφές των μνημών Η/Υ καθορίζονται από τον JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council). Στην περίπτωση της τροφοδοσίας των μνημών DDR4, καθορίζεται η κάτω τιμή στο 1,05 volt. Στην πράξη αρκετοί κατασκευαστές μνημών κατασκεύασαν μνήμες DDR4 με τάση τροφοδοσίας μέχρι 1,35 volt.

Συχνότητα λειτουργίας 300 MHz

Εύρος λειτουργίας 19.200 MB/s (8X2400).

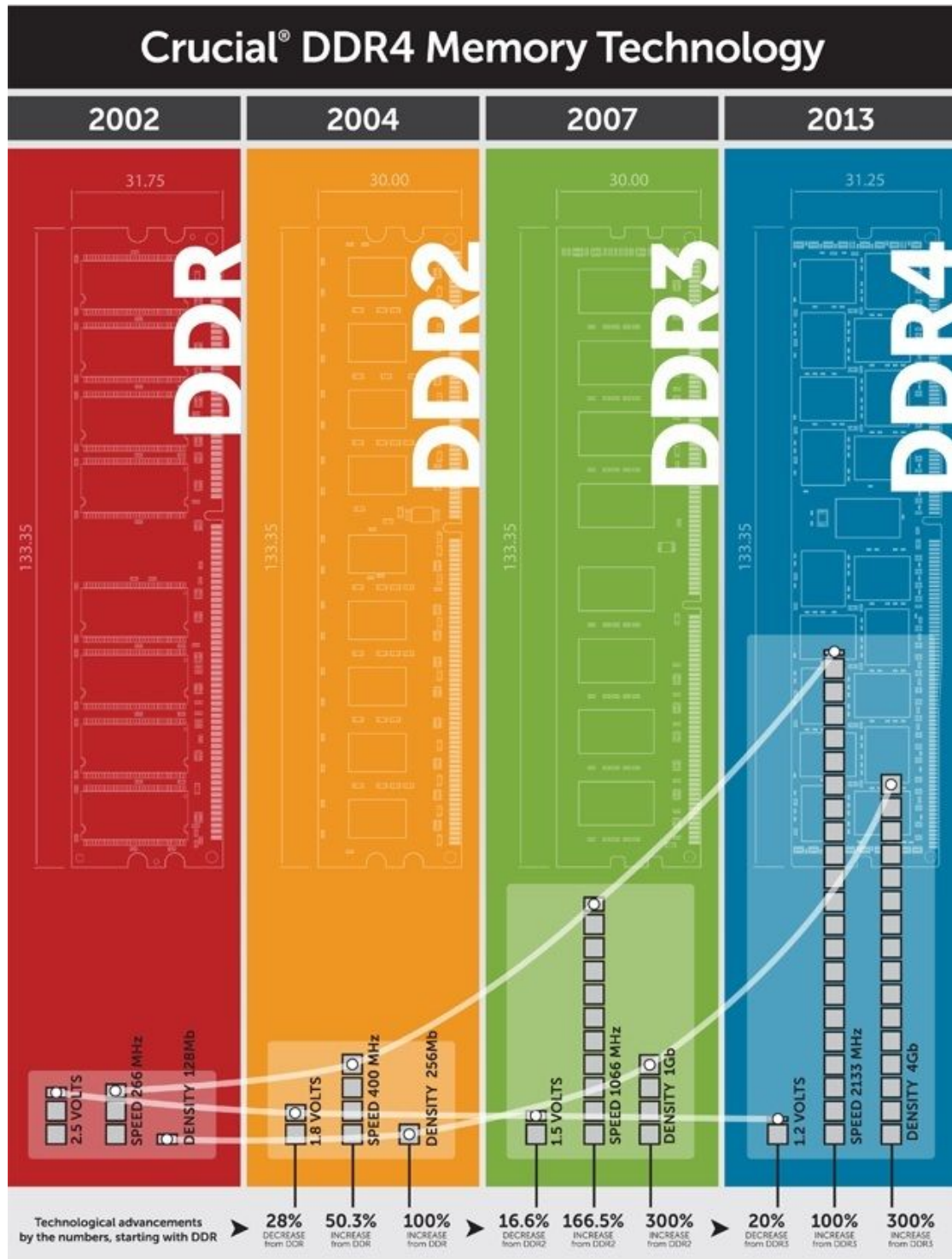
Τυπικοί χρόνοι για αυτή την μνήμη: CL →15, RCD →15, RP →15, RAS →35) και CMD = 2.



Μνήμη DDR4 / 128 GB / 2133 MHz της εταιρείας SK Hynix
(V=1,2 volt με 16 IC των 8 GB , bus 64 bit / lithography 20 nm για Server με XEON E5)



kit 4 μνημών DDR4 G.SKILL 16 GB (4 X 4 GB) / 2400 MHz / Quad Channel



Η μνήμη RAM του Η/Υ

Κάποια χαρακτηριστικά ακόμη για τις μνήμες RAM

- Στα χαρακτηριστικά των μνημών αν τα μελετήσετε με προσοχή θα δείτε να αναφέρεται ο χαρακτηρισμός ECC (Error Correcting Code) ή Non-ECC. Αφορά στην δυνατότητα της μνήμης να διενεργεί έλεγχο για πιθανά λάθη στα δεδομένα που προκαλούνται κατά την μεταφορά. Αυτή τη δυνατότητα πρέπει να την υποστηρίζει η ίδια η μνήμη αλλά και το chipset της μητρικής. Οι μνήμες που διαθέτουν ECC, έχουν συνήθως ένα IC επιπλέον πάνω στο άρθρωμα τους. Επειδή η λειτουργία ECC επιβαρύνει το σύστημα και σε κόστος αλλά και σε πόρους, ιδιαίτερη στην προσπέλαση μνήμης, συνήθως μόνο οι μνήμες που προορίζονται για Server (και οι αντίστοιχες μητρικές κάρτες) διαθέτουν αυτή την λειτουργία.
- Επίσης θα δείτε μνήμες να χαρακτηρίζονται ως Registered (ή αλλιώς Buffered) και Unregister ή Unbuffered. Στην πρώτη περίπτωση είναι οι μνήμες που διαθέτουν στο άρθρωμά τους καταχωρητές (register) ή buffer οι οποίοι εξασφαλίζουν ομαλότερη ροή των δεδομένων από και προς την μνήμη, ενώ στη δεύτερη αυτές που δεν διαθέτουν. Δεν πρέπει να συγχέουμε το χαρακτηριστικό ECC με το Registered. Οι κατασκευαστές των μνημών DIMM χαρακτηρίζουν ως RDIMM την πρώτη κατηγορία (Registered DIMM) και ως UDIMM την δεύτερη (UnBuffered DIMM). Οι μνήμες RDIMM χρησιμοποιούνται σε Server ενώ οι UDIMM σε απλούς Η/Υ ή Laptop. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μνήμες RDIMM σε συστήματα που δεν τις υποστηρίζουν.

Οι μνήμες SO DIMM

Οι μνήμες SO (Small Outline) DIMM είναι μια μικρότερη σε μέγεθος έκδοση των μνημών DIMM που χρησιμοποιείται λόγω μεγέθους όπου υπάρχει περιορισμός χώρου (Laptops, Routers, Printers).



Μνήμη SO DIMM DDR3 / 4GB / 1333 MHz / 204 pins

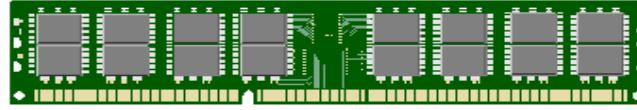
Η μνήμη RAM του Η/Υ

Οι μνήμες SO DIMM ακολουθούν την εξέλιξη των υπόλοιπων μνημών και έτσι έχουμε μνήμες:

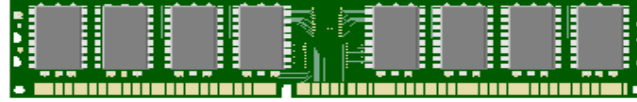
- SO DIMM DDR2 (200 pin)
 - SO DIMM DDR3 (204 pin)
 - SO DIMM DDR4 (256 pin) .
- Ένα άλλο είδος μνήμης, λιγότερο διαδεδομένο, είναι η RDRAM (Rambus DRAM). Σε αντίθεση με τις μνήμες τύπου DDR οι οποίες έχουν δίαυλο δεδομένων 64bit, οι RDRAM έχουν ένα στενό δίαυλο 16bit (single channel) ή 32bit (dual channel). Όμως από τον δίαυλο αυτό τα δεδομένα μεταφέρονται με μεγάλη ταχύτητα, που μπορεί να φθάνει τα 800MHz. Για τη μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιούνται και τα δύο μέτωπα του ωρολογιακού παλμού.
Οι μνήμες RDRAM διατέθηκαν σε αρθρώματα τύπου RIMM, των 184 (single channel) ή 232 (dual channel) επαφών. Οι μνήμες RDRAM πέρασαν στην ιστορία όταν η Intel το 2003 αποφάσισε να υιοθετήσει στα chipset της την DDR.
Δείτε το παρακάτω σχήμα που συγκεντρώνει τις μορφές των αρθρωμάτων, διαφόρων ειδών μνημών RAM για τον Η/Υ.

DIMM MODULES

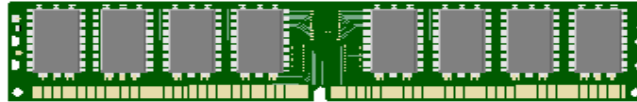
DDR4 - 284-pin DIMM



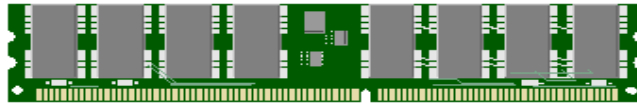
DDR3 - 240-pin DIMM



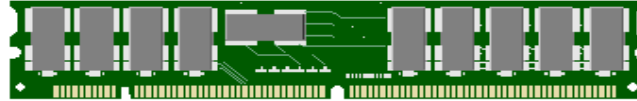
DDR2- 240-pin DIMM



DDR - 184-pin DIMM

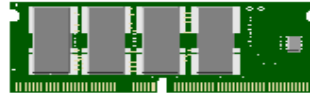


SDRAM, FPM, EDO - 168-pin DIMM

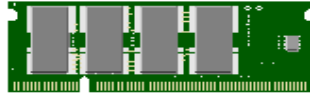


SODIMM MODULES

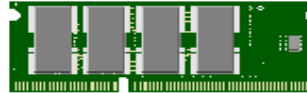
DDR4 - 256-pin SODIMM



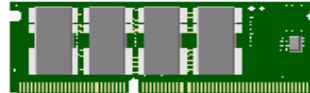
DDR and DDR2 - 200-pin SODIMM



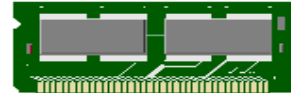
DDR3 - 204-pin SODIMM



SDRAM, FPM, EDO - 144-pin SODIMM



FPM, EDO - 72-pin SODIMM



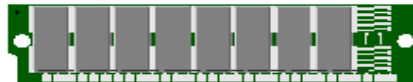
RIMM MODULE

RDRAM (Rambus) - 184-pin - Chips covered with metal heat sink.

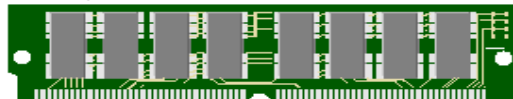


SIMM MODULES

DRAM - 30-pin SIMM



FPM - 72-pin SIMM



Η μνήμη RAM του Η/Υ

Βλέπουμε ότι στην πάροδο του χρόνου όπως και τα υπόλοιπα μέρη του Η/Υ, έτσι και οι μνήμη RAM εξελίχθηκε και μάλιστα είναι ίσως το πιο σκληρό του μέρος του σε σχέση με την προς την πίσω της συμβατότητα, γεγονός που πολλές φορές λειτουργεί ανασταλτικά σε ενδεχόμενες αναβαθμίσεις Η/Υ. Είναι όμως επίσης γεγονός ότι παρουσιάζει θεαματική πτώση της τιμής της στην πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται στον σύνδεσμο : <http://www.jcmit.com/memoryprice.htm>

Βιβλιογραφία

Για την συγγραφή αυτών των σημειώσεων, εκτός των άλλων, αντλήθηκαν πληροφορίες από τους παρακάτω δικτυακούς τόπους:

<http://www.kingston.com/en/>

<http://computer.howstuffworks.com/ram.htm>

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BD%CE%AE%CE%BC%CE%B7_%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%B1%CF%82_%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%80%CE%AD%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82

http://en.wikipedia.org/wiki/Random-access_memory

http://en.wikipedia.org/wiki/DDR_SDRAM

<http://www.jcmit.com/memoryprice.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/DDR4_SDRAM

http://en.wikipedia.org/wiki/DDR3_SDRAM

http://en.wikipedia.org/wiki/DDR2_SDRAM

<http://en.wikipedia.org/wiki/SO-DIMM>

<http://enjoythemusic.com/magazine/manufacture/0213/index.html>

<http://www.hardwaresecrets.com/article/everything-you-need-to-know-about-the-dual-triple-and-quad-channel-memory-architectures/133>

http://en.wikipedia.org/wiki/Memory_controller

http://en.wikipedia.org/wiki/Memory_bandwidth

http://en.wikipedia.org/wiki/CAS_latency

<http://www.hardwaresecrets.com/printpage/Understanding-RAM-Timings/26>

<http://en.wikipedia.org/wiki/GDDR5>

<http://en.wikipedia.org/wiki/GDDR>

