***2η Σειρά Ασκήσεων Αρχιτεκτονική Υπολογιστών***

Ιωάννης Τσαντήλας 03120883

***Ερώτημα 1***

Το πλήθος επαναλήψεων του βρόγχου εξαρτάται εξ΄ολοκλήρου από την εντολή στην γραμμή 8:

***addi*** *$t9, $t9, -4*

Επομένως, και αφού (0x400)16 = 102410, ο βρόχος θα επαναληφθεί 1024/4 = 256 φορές. Το διάγραμμα χρονισμού για την 1η επανάληψη (μέχρι και την εκτέλεση της γραμμής 1 του 2ου loop) δίνεται παρακάτω.

Έχω χρωματίσει με κόκκινο τους κινδύνους τύπου RAW, με πράσινο τους κινδύνους WAW και με κίτρινο τους κινδύνους WAR. Οι κίνδυνοι RAW και WAW αντιμετωπίζονται με stall (στην περίπτωση που δεν έχουμε προώθηση, στα στάδια MEM και WB, ενώ όταν έχουμε προώθηση, μόνο στο στάδιο MEM). Οι κίνδυνοι τύπου WAR δεν χρήζουν αντιμετώπιση.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** |
| **lw $t1, 0($t2)** | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t3, 0($t1)** |  | F | D | - | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t4, $t3, $t3** |  |  | F | - | - | D | - | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t5, 100($t3)** |  |  |  |  |  | F | - | - | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t6, $t5, $t4** |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | - | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **sw $t6, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | - | - | D | - | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t2, $t2, 4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | - | - | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t9, $t9, -4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |
| **bnez $t9, LOOP** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | - | - | X | M | W |  |  |  |
| **(2nd Loop)**  **lw $t1, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | - | - |  | F | D | X | M | W |

Επομένως, απαιτούνται συνολικά 26 κύκλοι ρολογιού για να ολοκληρωθεί η 1η επανάληψη. Και αφού συνολικά θα γίνουν 256 επαναλήψεις, οι πρώτες 255 θα χρειαστούν 255\*21 = 5.355 κύκλοι, ενώ η τελευταία άλλους 23, δηλαδή τελικά **5.378 κύκλοι ρολογιού**.

***Ερώτημα 2***

Το ζητούμενο διάγραμμα χρονισμού, με τις προωθήσεις κυκλωμένες, είναι:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** |
| **lw $t1, 0($t2)** | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t3, 0($t1)** |  | F | D | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t4, $t3, $t3** |  |  | F | - | D | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t5, 100($t3)** |  |  |  |  | F | - | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t6, $t5, $t4** |  |  |  |  |  |  | F | D | - | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |
| **sw $t6, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  | F | - | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t2, $t2, 4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |
| **addi $t9, $t9, -4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |
| **bnez $t9, LOOP** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |
| **(2nd Loop)**  **lw $t1, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |

Επομένως, απαιτούνται συνολικά 19 κύκλοι ρολογιού για να ολοκληρωθεί η 1η επανάληψη. Και αφού συνολικά θα γίνουν 256 επαναλήψεις, οι πρώτες 255 θα χρειαστούν 255\*14 = 3.570 κύκλοι, ενώ η τελευταία άλλους 16, δηλαδή τελικά **3.586 κύκλοι ρολογιού**.

***Ερώτημα 3***

Η διάρκεια του κύκλου ρολογιού θα διαμορφωθεί **με βάση το πιο χρονοβόρο στάδιο**, εν προκειμένω, το MEM,δηλαδή 500ps. Εάν προσθέσουμε και την διάρκεια ανανέωσης των καταχωρητών μεταξύ των σταδίων, 20ps, **κάθε κύκλος ρολογιού** διαρκεί **520ps**.

***Ερώτημα 4***

Μας συμφέρει να σπάσουμε το στάδιο MEM σε δύο ίσα, διάρκειας 250ps το καθένα, όπου η προώθηση θα γίνεται στο MEM2. Πλέον, το πιο χρονοβόρο στάδιο είναι το EX, 340ps, επομένως η διάρκεια του κύκλου ρολογιού θα διαμορφωθεί με βάση αυτό. Προσθέτοντας και τα έξτρα 20ps για την ανανέωση των καταχωρητών, **η νέα διάρκεια ενός κύκλου ρολογιού είναι 360ps**.

Το διάγραμμα χρονισμού σε αυτή την περίπτωση θα είναι:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** |
| **lw $t1, 0($t2)** | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t3, 0($t1)** |  | F | D | - | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t4, $t3, $t3** |  |  | F | - | - | D | - | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t5, 100($t3)** |  |  |  |  |  | F | - | - | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t6, $t5, $t4** |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | - | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |
| **sw $t6, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | - | - | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t2, $t2, 4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |
| **addi $t9, $t9, -4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |
| **bnez $t9, LOOP** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |
| **(2nd Loop)**  **lw $t1, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |

Επομένως, απαιτούνται συνολικά 21 κύκλοι ρολογιού για να ολοκληρωθεί η 1η επανάληψη. Και αφού συνολικά θα γίνουν 256 επαναλήψεις, οι πρώτες 255 θα χρειαστούν 255\*17 =4.335 κύκλοι, ενώ η τελευταία άλλους 20, δηλαδή τελικά **4.355 κύκλοι ρολογιού**.

Οι κύκλοι είναι σίγουρα περισσότεροι από το 2ο ερώτημα, αλλά εδώ ο κάθε ένας διαρκεί 360ps, ενώ στα ερωτήματα 1 και 2 διαρκεί 520ps. Επομένως, οι συνολικές διάρκειες είναι:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Ερώτημα* | *Χρόνος Κύκλου Ρολογιού (ps/cc)* | *Συνολικοί Κύκλοι Ρολογιού (cc)* | *Συνολική Διάρκεια (ps)* |
| *1: Κανονικός Κώδικας, Χωρίς Προωθήσεις, ΜΕΜ* | 520 | 5.378 | 2.796.560 |
| *2: Κανονικός Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ* | 520 | 3.586 | 1.864.720 |
| *4: Κανονικός Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ1-2* | 360 | 4.355 | **1.567.800** |

Δηλαδή, βελτιώθηκε η επίδοση του επεξεργαστή με το σπάσιμο της MEM σε 2 μέρη.

***Ερώτημα 5***

Θέλουμε να «σπάσουμε» τα hazards που εμφανίζονται μεταξύ των γραμμών 1-2 (RAW), 2-3 (RAW), 4-5 (RAW), 5-6 (WAW), 8-9 (WAW). Μπορούμε να το πετύχουμε αναδιατάσσοντας τον κώδικα με αυτόν τον τρόπο (η sw της γραμμής 6 θα αλλάξει ελαφρώς μορφή λόγω της μετατόπισης της γραμμής 7):

*1)* ***lw*** *$t1, 0($t2)*

*8)* ***addi*** *$t9, $t9, -4*

*2)* ***lw*** *$t3, 0($t1)*

*4)* ***addi*** *$t2, $t2, 4*

*7)* ***lw*** *$t5, 100($t3)*

*3)* ***add*** *$t4, $t3, $t3*

*5)* ***add*** *$t6, $t5, $t4*

*6)* ***sw*** *$t6,* ***-4****($t2)*

*9)* ***bnez*** *$t9, LOOP*

Το διάγραμμα χρονισμού σε αυτή την περίπτωση είναι:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** |
| **lw $t1, 0($t2)** | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t9, $t9, -4** |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t3, 0($t1)** |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t2, $t2, 4** |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t5, 100($t3)** |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t4, $t3, $t3** |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |
| **add $t6, $t5, $t4** |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |
| **sw $t6, -4($t2)** |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |
| **bnez $t9, LOOP** |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |
| **(2nd Loop)**  **lw $t1, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |

Επομένως, απαιτούνται συνολικά 16 κύκλοι ρολογιού για να ολοκληρωθεί η 1η επανάληψη. Και αφού συνολικά θα γίνουν 256 επαναλήψεις, οι πρώτες 255 θα χρειαστούν 255\*11 = 2.805 κύκλοι, ενώ η τελευταία άλλους 13, δηλαδή τελικά **2.818 κύκλοι ρολογιού**.

***Ερώτημα 6***

Μπορούμε να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο τον χρόνο, χρησιμοποιώντας τον βελτιωμένο κώδικα αλλά και σπάζοντας το στάδιο MEM σε 2 ίσα, όπως κάναμε στο 4ο ερώτημα. Το διάγραμμα χρονισμού για αυτή την περίπτωση είναι:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| **lw $t1, 0($t2)** | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t9, $t9, -4** |  | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t3, 0($t1)** |  |  | F | D | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **addi $t2, $t2, 4** |  |  |  | F | - | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **lw $t5, 100($t3)** |  |  |  |  |  | F | D | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t4, $t3, $t3** |  |  |  |  |  |  | F | - | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |  |  |
| **add $t6, $t5, $t4** |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | - | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |  |
| **sw $t6, -4($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | - | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |  |
| **bnez $t9, LOOP** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |  |  |  |
| **(2nd Loop)**  **lw $t1, 0($t2)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M1 | M2 | W |

Επομένως, απαιτούνται συνολικά 20 κύκλοι ρολογιού για να ολοκληρωθεί η 1η επανάληψη. Και αφού συνολικά θα γίνουν 256 επαναλήψεις, οι πρώτες 255 θα χρειαστούν 255\*14 = 3.570 κύκλοι, ενώ η τελευταία άλλους 17, δηλαδή τελικά **3.587 κύκλοι ρολογιού**.

Παραθέτουμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τη συνολική διάρκεια κάθε ερωτήματος

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Ερώτημα* | *Χρόνος Κύκλου Ρολογιού (ps/cc)* | *Συνολικοί Κύκλοι Ρολογιού (cc)* | *Συνολική Διάρκεια (ps)* |
| *1: Κανονικός Κώδικας, Χωρίς Προωθήσεις, ΜΕΜ* | 520 | 5.378 | 2.796.560 |
| *2: Κανονικός Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ* | 520 | 3.586 | 1.864.720 |
| *4: Κανονικός Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ1-2* | 360 | 4.355 | 1.567.800 |
| *5: Βελτιωμένος Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ* | 520 | 2.818 | 1.465.360 |
| *6: Βελτιωμένος Κώδικας, Με Προωθήσεις, ΜΕΜ1-2* | 360 | 3.587 | **1.291.320** |

Είναι προφανές πως η εκδοχή του ερωτήματος 6 (δηλαδή βελτιωμένος κώδικας, με προωθήσεις και MEM1, MEM2) είναι η πιο γρήγορη.