



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΕΛΛΑΔΟΣ

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ,
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον
μικροελεγκτή PIC18F57Q43.**

**Πτυχιακή Εργασία του
Διαμαντίδη Μάριου (4038)**

Επιβλέπων: Δρ. Ιωάννης Βουρβουλάκης, Επίκουρος Καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

Υπεύθυνη Δήλωση : Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, Υπολογιστών και Τηλεπικοινωνιών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδας.

Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή PIC18F57Q43.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης μίας γεννήτριας ημιτονοειδούς σήματος με έλεγχο συχνότητας, αξιοποιώντας την αναπτυξιακή πλακέτα Curiosity Nano και του μικροελεγκτή PIC18F57Q43.

Αρχικά, γίνεται αναφορά σε κυκλωματικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή διαφόρων τύπων κυματομορφών (ημιτονοειδείς, τετραγωνικές, τριγωνικές). Στη συνέχεια γίνεται μία σύντομη περιγραφή του μικροελεγκτή και αναλύονται με περισσότερη λεπτομέρεια οι επιμέρους μονάδες του που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του τελικού κυκλώματος.

Έπειτα, παρουσιάζεται το κύκλωμα το οποίο σχεδιάστηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας και ακολουθεί μία λεπτομερής περιγραφή του υλικολογισμικού (firmware) που αναπτύχθηκε.

Τέλος, γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα των μετρήσεων του κυκλώματος και αναφέρονται μελλοντικές προοπτικές της παρούσας υλοποίησης.

Περιεχόμενα

Περίληψη4

Εισαγωγή8

1. Γεννήτριες Συχνοτήτων9

1.1 Εισαγωγή9

1.2 Ταλαντωτές9

1.3 Βρόχος ανάδρασης ταλαντωτή11

1.4 Γεννήτρια ημιτονοειδούς σήματος13

1.5 Γεννήτρια συναρτήσεων14

1.5.1 Ταλαντωτής Ελεγχόμενος από Τάση16

2. Ο Μικροελεγκτής PIC18F57Q4318

2.1 Εισαγωγή18

2.2 Συστατικά Μέρη ενός Μικροελεγκτή19

2.2.1 Μικροεπεξεργαστής / CPU19

2.2.2 Η Μνήμη σε έναν Μικροελεγκτή20

2.2.3 Θύρες Εισόδου / Εξόδου (I/O)21

2.2.4 Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων22

2.3 Μικροελεγκτές PIC23

2.3.1 Αρχιτεκτονική του Μικροελεγκτή PIC23

2.3.2 Περιοχή δεδομένων (RAM)24

2.3.3 Περιοχή Κώδικα Προγράμματος24

2.3.4 Σύνολο Εντολών24

2.3.5 Επιδόσεις24

2.4 Ο Μικροελεγκτής PIC18F57Q4325

2.4.1 Μονάδα Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)27

2.4.2 Μονάδα Analog to Digital Converter (ADC)29

2.4.3 Μονάδα Digital to Analog Converter (DAC)30

2.4.4 Μονάδα Timer	31
2.4.5 Μονάδα Direct Memory Access (DMA)	33
3. Περιγραφή Υλικού της Γεννήτριας Συναρτήσεων	35
3.1 UART	37
3.2 ADC	38
3.3 Timer	39
3.4 DMA	39
4. Περιγραφή Υλικολογισμικού (Firmware) της Γεννήτριας Σημάτων	41
4.1 Υλοποίηση χωρίς την χρήση της μονάδας DMA	41
4.2 Υλοποίηση με χρήση της μονάδας DMA	43
5. Συμπεράσματα και προοπτικές	47
Βιβλιογραφία	49
Παράρτημα Α – Firmware	50
uart.c	50
	51
timer.c	52
DAC.c	52
DMA.c	53
main.c	54

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Σε κατανεμημένα συστήματα οι σταθμοί εργασίας (H/Y) και οι τοπικοί βιομηχανικοί ελεγκτές είναι όλοι συνδεδεμένοι σε ένα κεντρικό δίαυλο. **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1 Ένας πίνακας **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή PIC18F57Q43.

Εισαγωγή

Η γεννήτρια συναρτήσεων αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο για έναν ηλεκτρολόγο μηχανικό και όχι μόνο, και είναι πρακτικά αδύνατο να λείπει από έναν εργαστηριακό πάγκο. Κατά την ανάλυση κυκλωμάτων συχνά είναι επιθυμητό να παρατηρηθεί η απόκρισή τους σε περιοδικές διεγέρσεις διαφόρων πλατών και συχνοτήτων. Οι διεγέρσεις αυτές μπορούν να πάρουν ημιτονοειδής, τετραγωνική, τριγωνική μορφή.

Στο εμπόριο υπάρχει πληθώρα γεννητριών συχνοτήτων με τεράστια ποικιλία χαρακτηριστικών όπως και εύρος τιμών. Μία πολύ απλή γεννήτρια περιορισμένων δυνατοτήτων μπορεί να κοστολογείται σε μερικές δεκάδες ευρώ ενώ άλλες με πιο εμπλουτισμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες μπορεί να κοστίζουν πολλές χιλιάδες ευρώ.

Παρακάτω εξετάζεται εάν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας μικροελεγκτής ως γεννήτρια συναρτήσεων χαμηλού κόστους. Οι μικροελεγκτές παρέχουν αρκετές λειτουργίες οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν και να συνθέσουν μία γεννήτρια συναρτήσεων. Εξετάζεται λοιπόν η δυνατότητά τους να λειτουργήσουν ως μία γεννήτρια συναρτήσεων αλλά και η απόδοσή τους. Οι μικροελεγκτές αποτελούν μία ελκυστική λύση κυρίως λόγω του χαμηλού τους κόστους αλλά και της σχετικής απλότητας που προσφέρουν στην ανάπτυξη κυκλωμάτων βασισμένα σε αυτούς.

1. Γεννήτριες Συχνοτήτων

1.1 Εισαγωγή

Οι γεννήτριες συχνοτήτων παρέχουν μια ποικιλία κυματομορφών χαμηλής ισχύος, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δοκιμή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι γεννητριών συχνοτήτων, αλλά τα ακόλουθα χαρακτηριστικά είναι κοινά σε όλους:

- Πρέπει πάντα να παράγεται ένα σταθερό σήμα με την επιθυμητή συχνότητα.
- Το πλάτος του παραγόμενου σήματος πρέπει να μπορεί να μεταβληθεί, λαμβάνοντας τιμή από ένα ευρύ φάσμα τιμών.
- Το παραγόμενο σήμα δεν πρέπει να περιέχει συνιστώσες θορύβου.

Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διατυπώσεις των παραπάνω χαρακτηριστικών, ιδίως για εξειδικευμένες γεννήτριες συχνοτήτων όπως οι γεννήτριες συναρτήσεων (function generators), γεννήτριες παλμών (pulse generators) και γεννήτριες παλμού συχνοτήτων (pulse frequency generators). Οι γεννήτριες ημιτονοειδών σημάτων, ανεξαρτήτως φάσματος στο οποίο λειτουργούν, ονομάζονται ταλαντωτές. Παρόλο που η ορολογία δεν είναι καθολικά αποδεκτή, ο όρος ταλαντωτής κατά τη γενική περίπτωση χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα όργανο το οποίο παράγει μόνο ημιτονοειδή σήματα. Ως γεννήτρια συναρτήσεων περιγράφεται το όργανο το οποίο παράγει στην έξοδό του σήματα διαφόρων μορφών όπως ημιτονοειδή, τετραγωνικά, τριγωνικά και παλμοσειρές, και παρέχει δυνατότητα επιλογής του πλάτους του παραγόμενου σήματος.

1.2 Ταλαντωτές

Ο ταλαντωτής αποτελεί το κύριο στοιχείο κάθε πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος και παράγει ημιτονοειδή σήματα συγκεκριμένου πλάτους και συχνότητας. Η κύρια χρήση των ταλαντωτών είναι ως πηγές ημιτονοειδών κυματομορφών σε μετρητικό εξοπλισμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Οι ταλαντωτές έχουν τη δυνατότητα να παράξουν σήματα σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων (από μερικά *Hz* έως πολλά *GHz*) ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Παρόλο που ένας ταλαντωτής θεωρείται πως παράγει το ημιτονοειδές σήμα, σημειώνεται πως στη πραγματικότητα λειτουργεί ως ένας μετατροπέας ενέργειας. Μετατρέπει την τάση από μία πηγή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα της επιθυμητής συχνότητας.[6]

Οι ταλαντωτές στη γενική περίπτωση αποτελούν ενισχυτές με θετική ανάδραση. Ένας ταλαντωτής έχει κέρδος τάσης ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από τη μονάδα. Στον βρόχο

ανάδρασης του ταλαντωτή χρησιμοποιούνται πυκνωτές, πηνία ή συνδυασμοί των δύο ως στοιχεία καθυστέρησης. Πρόσθετα με αυτά τα κυκλωματικά στοιχεία, ένας τελεστικός ενισχυτής ή ένα διπολικό τρανζίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση. Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξωτερικής πηγής AC για να ξεκινήσει η ταλάντωση αφού η ενέργεια από την DC πηγή μετατρέπεται από τον ταλαντωτή σε AC ενέργεια.

Οι ταλαντωτές κατηγοριοποιούνται με διάφορους τρόπους. Κυριότεροι από αυτούς είναι:

- a) Η αρχή λειτουργίας του ταλαντωτή
- b) Το εύρος συχνοτήτων των παραγόμενων σημάτων
- c) Ο τύπος των παραγόμενων σημάτων

Για την κάθε κατηγορία υπάρχουν οι εξής υποκατηγορίες:

- a) Αρχή λειτουργίας
 1. Ταλαντωτές με θετική ανάδραση
 2. Ταλαντωτές με αρνητική ανάδραση
- b) Εύρος συχνοτήτων των παραγόμενων σημάτων
 1. Ακουστική συχνότητα (Audio Frequency, AF). Το εύρος συχνοτήτων είναι από 20Hz έως 20kHz
 2. Ράδιο συχνότητα (Radio Frequency, RF). Το εύρος συχνοτήτων είναι από 20kHz έως 30MHz
 3. Συχνότητα βίντεο. Το εύρος συχνοτήτων είναι από 0Hz (DC) έως 5MHz
 4. Ταλαντωτές υψηλής συχνότητας (High Frequency, HF). Το εύρος συχνοτήτων είναι από 1.5MHz έως 30MHz
 5. Ταλαντωτές πολύ υψηλής συχνότητας (Very High Frequency, VHF). Το εύρος συχνοτήτων είναι από 30MHz έως 300MHz
- c) Τύπος των παραγόμενων σημάτων
 1. Ταλαντωτές ημιτονοειδούς σήματος. Είναι γνωστοί ως αρμονικοί ταλαντωτές και συνήθως αποτελούνται από στοιχεία LC ή RC τα οποία παράγουν ημιτονοειδή έξοδο σταθερού πλάτους και συχνότητας.
 2. Ταλαντωτές μη ημιτονοειδούς σήματος. Είναι γνωστοί ως ταλαντωτές εξασθένισης και παράγουν πολύπλοκα μη ημιτονοειδή σήματα στην έξοδό τους. Τα σήματα αυτά μεταβαίνουν ταχύτατα από μία σταθερή

κατάσταση ευστάθειας σε μία άλλη και έτσι παράγουν τετραγωνικές, τριγωνικές ή πριονωτές κυματομορφές.

1.3 Βρόχος ανάδρασης ταλαντωτή

Η χρήση θετικής ανάδρασης είναι αυτό που οδηγεί τον ταλαντωτή να έχει κέρδος τάσεις A_f μεγαλύτερο της μονάδας και έτσι να εκπληρώνεται η συνθήκη εκκίνησης ταλαντώσεων.

Σε ένα σύστημα με V και V_{out} της τάσεις εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, χωρίς ανάδραση ισχύουν τα εξής:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V}$$

$$V_{out} = A_v V$$

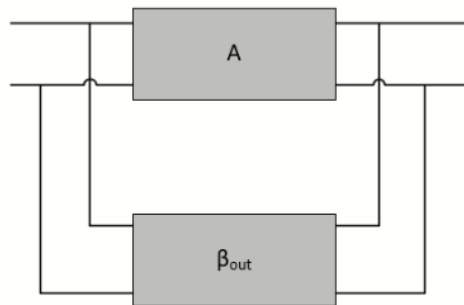
Ενώ με ανάδραση, έστω μέτρου β

$$V_{out} = A_v(V + \beta V_{out})$$

$$V_{out} = A_v V + A_v \beta V_{out}$$

$$V_{out}(1 - A_v \beta) = A_v V$$

$$A_f = \frac{V_{out}}{V} = \frac{A_v}{1 - A_v \beta}$$



Εικόνα 1 - Ταλαντωτής με ανάδραση

Οι ταλαντωτές παράγουν στην έξοδό τους μια συνεχόμενη τάση στην ζητούμενη συχνότητα χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο από πηνία, πυκνωτές και αντιστάσεις τα οποία σχηματίζουν ένα επιλεκτικό LC δίκτυο συντονισμού. Η συχνότητα του ταλαντωτή ρυθμίζεται επιλέγοντας κατάλληλες τιμές στα επαγωγικά ή χωρητικά στοιχεία του δικτύου αυτού. Η γωνία φάσης της ανάδρασης μεταβάλλεται ως συνάρτηση της συχνότητας και ονομάζεται μετατόπιση φάσης. Για να υπάρχει συντήρηση των ταλαντώσεων πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις ή κριτήρια, τα οποία είναι γνωστά ως κριτήρια Barkhausen. Τα κριτήρια αυτά περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$1 - \beta A_v = 0$$

Ή

$$\beta A_v = 1$$

Η 2^η εκ των δύο δηλώνει πως για να εκκινήσουν ταλαντώσεις, θα πρέπει το κέρδος του βρόχου ανάδρασης να ισούται με μονάδα. Εάν λάβουμε υπόψιν την εξάρτηση της παραμέτρου β από την συχνότητα, τότε αυτή εκφράζεται ως:

$$\beta(j\omega) = \beta_r(\omega) + j\beta_i(\omega)$$

Όπου $\beta_r(\omega)$ το πραγματικό μέρος και $\beta_i(\omega)$ το φανταστικό μέρος του μιγαδικού αριθμού $\beta(j\omega)$. Αντικαθιστώντας στην δεύτερη σχέση του κριτηρίου Barkhausen έχουμε

$$\beta_r(\omega)A_{vo} + j\beta_i(\omega)A_{vo} = 1$$

Εξισώνοντας τα πραγματικά και φανταστικά μέρη της παραπάνω εξίσωσης παίρνουμε

$$\beta_r(\omega)A_{vo} = 1 \Rightarrow A_{vo} = \frac{1}{\beta_r(\omega)}$$

Και

$$\beta_i(\omega)A_{vo} = 0 \Rightarrow \beta_i(\omega) = 0$$

Εφόσον $A_{vo} \neq 0$. Οι συνθήκες είναι γνωστές ως συνθήκες Barkhausen κέρδους και συχνότητας αντίστοιχα. Η συνθήκη συχνότητας εκφράζει το ότι η μετατόπιση φάσης σε έναν κλειστό βρόχο ανάδρασης πρέπει να είναι 0° ή πολλαπλάσιο των 360° . Η συνθήκη κέρδους μπορεί να γραφεί και ως

$$\beta(j\omega)A_v(j\omega) = |\beta(j\omega)A_v(j\omega)| \angle \beta(j\omega)A_v(j\omega) = 1$$

Το μέτρο της παραπάνω ισούται με

$$|\beta(j\omega)A_v(j\omega)| = 1$$

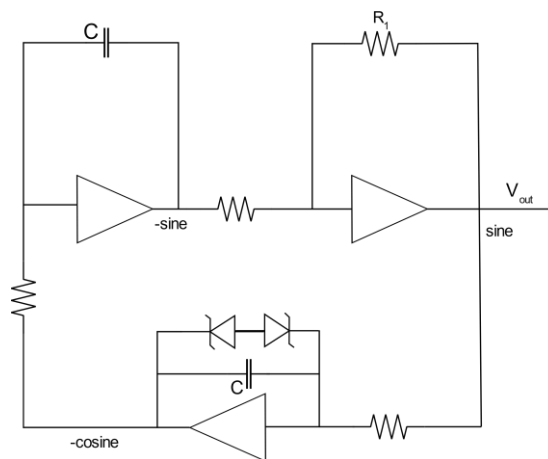
Ενώ η γωνία

$$\angle \beta(j\omega)A_v(j\omega) = \pm n360^\circ$$

Όπου $n = 0,1,2, \dots$. Η τελευταία σχέση περιγράφει το ότι ένα σήμα θα πρέπει να μεταδίδεται στον κλειστό βρόχο ανάδρασης με διαφορά φάσης 0° ή πολλαπλάσιο των 360° . Για $A_v(j\omega) = A_{vo}$ η γωνία $\angle \beta(j\omega)A_{vo}$ είναι η γωνία του όρου $\beta(j\omega)$ η οποία ισοδυναμεί με $\beta_i(j\omega) = 0$, πράγμα που συμφωνεί με το κριτήριο Barkhausen για την φάση. Επίσης, για $A_v(j\omega) = A_{vo}$ και $\beta_i(j\omega) = 0$ η σχέση για το μέτρο καταλήγει στο κριτήριο Barkhausen για την συχνότητα. Επομένως, οι τελευταίες δύο σχέσεις αποτελούν έκφραση του κριτηρίου Barkhausen σε πολική μορφή.[7]

1.4 Γεννήτρια ημιτονοειδούς σήματος

Στον χώρο των ηλεκτρονικών εφαρμογών, οι γεννήτριες ημιτονοειδών σημάτων είναι από τις πιο αναγκαίες για την εκτέλεση μετρήσεων. Το κύκλωμα που παρατίθεται στην Εικόνα 2 παρουσιάζει κυκλωματικά την συσχέτιση μεταξύ των τριγωνομετρικών συναρτήσεων του ημιτόνου και του συνημίτονου. Εφαρμόζοντας ένα ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο ενός κυκλώματος ολοκληρωτή (integrator), στην έξοδο λαμβάνεται ένα σήμα ανεστραμμένου συνημίτονου. Ένα συνημιτονοειδές σήμα είναι πρακτικά ένα ημιτονοειδές με μετατόπιση φάσης 90° . Εάν το συνημιτονοειδές αυτό σήμα περάσει και αυτό με την σειρά του από ένα κύκλωμα ολοκληρωτή και εφαρμοστεί σε αυτό μία μετατόπιση φάσης 90° , το αποτέλεσμα θα είναι ένα ανεστραμμένο ημιτονοειδές σήμα. Προφανώς, κάθε τελεστικός ενισχυτής προκαλεί αναστροφή του σήματος επομένως η έξοδος του πρώτου ολοκληρωτή θα είναι ένα μη ανεστραμμένο συνημιτονοειδές σήμα. Το σήμα αυτό αναστρέφεται από τον δεύτερο ολοκληρωτή και η έξοδος αυτού είναι ένα ανεστραμμένο ημίτονο. Αναστρέφοντας αυτό το ημίτονο ανακτάται το αρχικά παραγόμενο ημιτονοειδές σήμα.



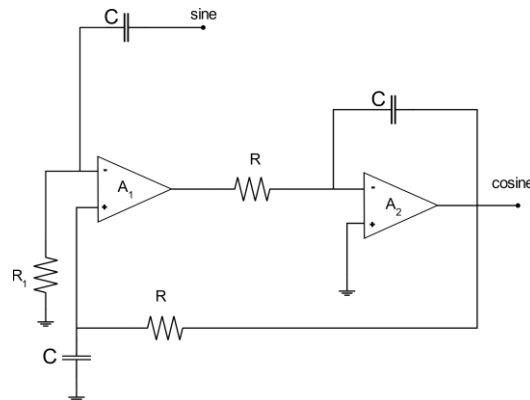
Εικόνα 2 - Γεννήτρια ημιτονοειδούς σήματος

Στο παραπάνω κύκλωμα η αντίσταση R_1 επιλέγεται ώστε να είναι δυνατόν να εκκινήσουν οι ταλαντώσεις και αυτές να έχουν το επιθυμητό πλάτος. Οι δίοδοι Zener επίσης συμβάλουν στον περιορισμό του πλάτους του σήματος εξόδου με το να ψαλιδίζουν το κέρδος τάσης του ενισχυτή που παράγει το σήμα του συνημίτονου. Αυτό αποτρέπει το κύκλωμα από το να ενισχύσει το σήμα εξόδου πέρα από τα όρια των $\pm 12V$.

Ο περιορισμός που εφαρμόζουν οι δίοδοι Zener εισάγει έναν βαθμό παραμόρφωσης η οποία αντιμετωπίζεται με κατάλληλη επιλογή της τιμής της αντίστασης R_1 . Η

παραμόρφωση ελαττώνεται περαιτέρω όταν το σήμα περάσει από τον δεύτερο ολοκληρωτή.

Ένα ακόμα κλασσικό κύκλωμα ταλαντωτή φαίνεται στην Εικόνα 3. Στο κύκλωμα αυτό τα offsets των τελεστικών ενισχυτών πρέπει να επιλεγθούν σωστά και ακριβώς. Σε αντίθετη περίπτωση οι ταλαντώσεις θα φθίνουν με αποτέλεσμα την διακοπή λειτουργίας του ταλαντωτή. Το κύκλωμα αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με οποιονδήποτε διπλό τελεστικό ενισχυτή, όπως τον 1458.



Εικόνα 3 - Ταλαντωτής ημιτονοειδούς σήματος

Και οι τρεις πυκνωτές έχουν την ίδια τιμή, ενώ η αντίσταση R_t έχει ελάχιστα μικρότερη τιμή από την R ώστε να διασφαλιστεί η εκκίνηση των ταλαντώσεων την στιγμή που θα διατεθεί ενέργεια στο κύκλωμα. Η συχνότητα των ταλαντώσεων είναι $f = 1/2 \pi RC$. Η απόκριση συχνότητας των τελεστικών ενισχυτών που χρησιμοποιούνται καθορίζει και την μέγιστη συχνότητα των ταλαντώσεων. Στο κύκλωμα αυτό το κέρδος ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα και επομένως οι ταλαντώσεις δεν μπορούν να συντηρηθούν όταν το κέρδος γίνει μικρότερο από 1. Το κέρδος πρέπει να είναι μεγαλύτερο της μονάδας για να υπάρξουν ταλαντώσεις σύμφωνα με το κριτήριο Barkhausen. Επίσης, στην διάταξη αυτή παρατηρείται ψαλιδισμός στην έξοδο του κυκλώματος. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια διάταξη με τις δύο διόδους Zener. Οι διόδους περιορίζουν το πλάτος της εξόδου και αποτρέπουν τους τελεστικούς ενισχυτές από το να εισέλθουν στον κορεσμό. Καθώς και το ημίτονο και συνημίτονο είναι διαθέσιμα στον ταλαντωτή, αυτός είναι γνωστός και ως Quadrature ταλαντωτής.

1.5 Γεννήτρια συναρτήσεων

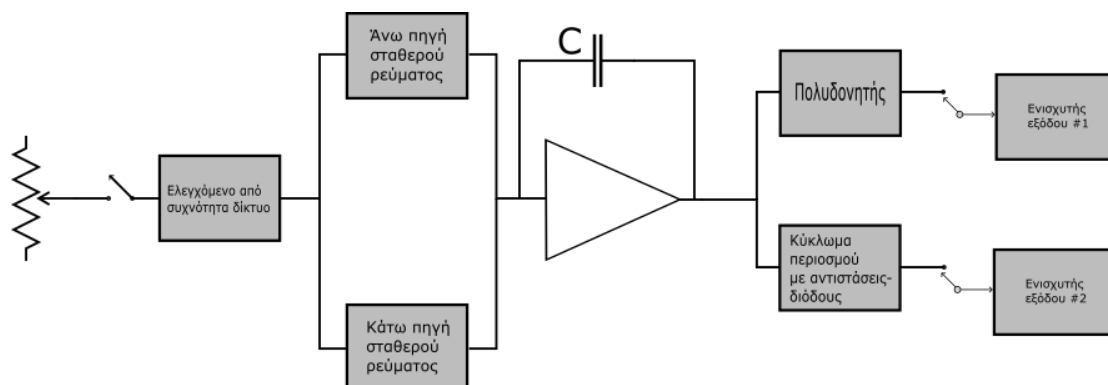
Μία γεννήτρια συναρτήσεων αποτελεί μία πηγή κυματομορφών η οποία έχει τη δυνατότητα να παράξει διάφορους τύπους σημάτων στην έξοδό της. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι κυματομορφών είναι οι ημιτονοειδής, τριγωνικές, τετραγωνικές και πριονωτές.

Οι συχνότητες των παραγόμενων αυτών κυματομορφών ρυθμίζονται σε ένα εύρος από μερικά Hz έως πολλές εκατοντάδες kHz .

Τα παραπάνω καθιστούν τις γεννήτριες συναρτήσεων πολύ χρήσιμα όργανα. Κάθε κυματομορφή που παράγουν μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε ποικίλα πεδία εφαρμογών. Για παράδειγμα, τα ημιτονοειδή και τετραγωνικά σήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε τηλεπικοινωνιακές, ψηφιακές και ενεργειακές εφαρμογές. Οι τριγωνικές και πριονωτές κυματομορφές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που απαιτείται γραμμικός ρυθμός αύξησης ή μείωσης του πλάτους του σήματος.

Ορισμένες γεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να παράξουν δύο διαφορετικού τύπου εξόδους ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικές φυσικές εξόδους του οργάνου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα, μία τετραγωνική έξοδος μπορεί να χρησιμοποιείται για μετρήσεις γραμμικότητας σε ένα ηχοσύστημα και παράλληλα μία πριονωτή κυματομορφή να οδηγεί τον ενισχυτή οριζόντιας μετατόπισης του παλμογράφου έτσι ώστε να είναι δυνατή η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της μέτρησης.

Το μπλοκ διάγραμμα μίας γεννήτριας συναρτήσεων φαίνεται στην Εικόνα 4. Στο όργανο αυτό η συχνότητα ελέγχεται μεταβάλλοντας το μέτρο του ρεύματος που οδηγεί τον ολοκληρωτή. Το όργανο παράγει διαφόρων τύπων κυματομορφές στην έξοδό του, σε ένα εύρος συχνοτήτων από $0.01Hz$ έως $100kHz$.



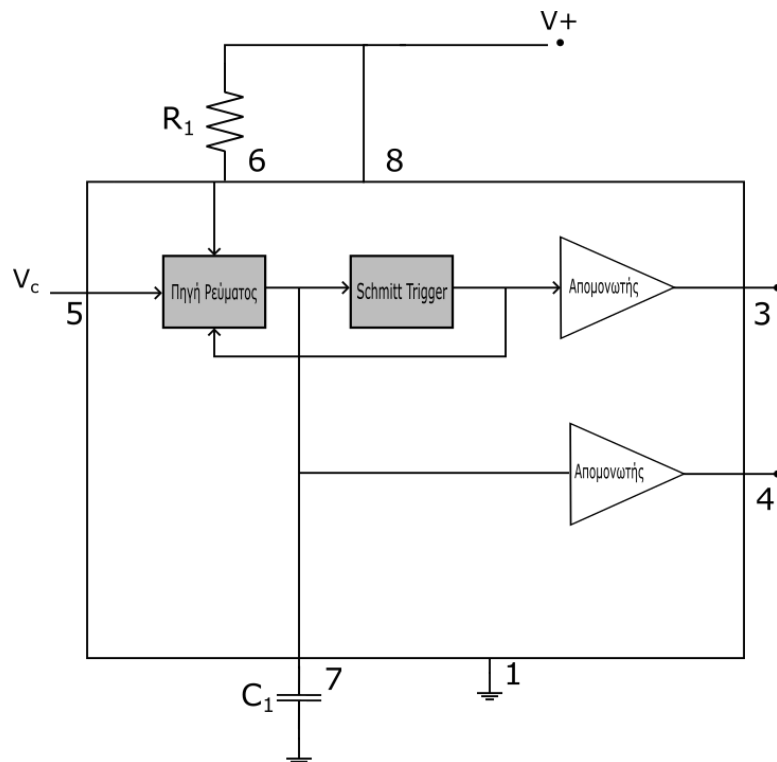
Ο ελεγχόμενος από τάση πολυδονητής ελέγχει τις δύο πηγές ρεύματος. Η πηγή ρεύματος 1 παρέχει σταθερό ρεύμα στον ολοκληρωτή του οποίου η έξοδος αυξάνεται γραμμικά με τον χρόνο. Μία αύξηση ή μείωση στο ρεύμα οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση ή μείωση του ρυθμού μεταβολής της τάσης και επομένως ελέγχεται η συχνότητα.

Ο συγκριτής τάσης αλλάζει κατάσταση σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο της εξόδου του ολοκληρωτή. Η αλλαγή αυτή διακόπτει την παροχή ρεύματος από την πηγή 1 και

την αντικαθιστά με την πηγή 2. Η πηγή 2 παρέχει ένα ρεύμα αντίστροφης φοράς στον ολοκληρωτή έτσι ώστε η έξοδος του να μειώνεται γραμμικά με τον χρόνο. Όταν η έξοδος φτάσει σε μία προκαθορισμένη τιμή, ο συγκριτής αλλάζει ξανά κατάσταση και επομένως και η παροχή ρεύματος από την πηγή 2 στην πηγή 1. Η έξοδος του ολοκληρωτή είναι τριγωνικής μορφής της οποίας η συχνότητα εξαρτάται από το ρεύμα που παρέχεται από τις πηγές σταθερού ρεύματος. Η έξοδος του συγκριτή είναι τετραγωνική ίδιας συχνότητας. Το δίκτυο αντιστάσεων – διόδων μεταβάλλει την κλίση της τριγωνικής κυματομορφής καθώς μεταβάλλεται το πλάτος της και έτσι παράγεται ημιτονοειδής κυματομορφή με παραμόρφωση μικρότερη του 1%.

1.5.1 Ταλαντωτής Ελεγχόμενος από Τάση

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συχνότητα του ταλαντωτή ορίζεται από την σταθερά χρόνου RC . Ωστόσο, σε περιπτώσεις ή εφαρμογές όπως η διαμόρφωση συχνότητας FM, γεννήτριες τόνων και κωδικοποίηση FSK, η συχνότητα ελέγχεται από μία τάση εισόδου η οποία ονομάζεται τάση ελέγχου. Η παραπάνω λειτουργία παρέχεται από τους ταλαντωτές ελεγχόμενους από τάση (VCO). Ένας VCO είναι ένα κύκλωμα το οποίο έχει μία έξοδο στην οποία οδηγείται η ταλαντούμενη τάση (συνήθως μία τετραγωνική ή τριγωνική κυματομορφή) της οποίας η συχνότητα ελέγχεται από μία DC τάση. Ένας κλασσικός VCO ταλαντωτής είναι ο 566 ο οποίος φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4 - Ο 566 VCO

Ο 566 παρέχει στις εξόδους του ταυτόχρονα τετραγωνική και τριγωνική κυματομορφή. Η συχνότητα της ταλάντωσης ορίζεται από την αντίσταση R_1 , τον πυκνωτή C_1 και την τάση V_c η οποία εφαρμόζεται στην είσοδο ελέγχου του ολοκληρωμένου.

Ένας συγκριτής με υστέρηση τύπου Schmitt trigger χρησιμοποιείται για την μετάβαση του πυκνωτή από την κατάσταση εκφόρτισης σε εκείνη της φόρτισης. Η τριγωνική κυματομορφή παράγεται στα άκρα του πυκνωτή και η τετραγωνική από το Schmitt trigger. Και οι δύο οδηγούνται στους απομονωτές εξόδου. Η συχνότητα στην έξοδο ισούται με

$$f_{out} = 2$$

2. Ο Μικροελεγκτής PIC18F57Q43

2.1 Εισαγωγή

Ένας μικροελεγκτής (microcontroller, MCU ή μC) είναι ένας συνήθως φθηνός υπολογιστής σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (single-chip computer). Αυτό σημαίνει πως ολόκληρο το υπολογιστικό σύστημα περικλείεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Οι μικροελεγκτές έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους συμβατικούς προσωπικούς υπολογιστές (PCs), με κυριότερο την δυνατότητα να αποθηκεύουν και να εκτελούν προγράμματα. [1]

Ο μικροελεγκτής περιέχει μία μονάδα κεντρικής επεξεργασίας (Central Processing Unit, CPU), μνήμη τυχαίας προσπέλασης (Random Access Memory, RAM), μνήμη ανάγνωσης μόνο (Read Only Memory, ROM), ηλεκτρικά επανεγγράψιμη μνήμη (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM), γραμμές εισόδου/εξόδου (I/O lines), σειριακές και παράλληλες θύρες (Serial / Parallel ports), χρονόμετρα (timers), κυκλώματα παραγωγής παλμών ρολογιού (clock circuits) και περιφερειακά όπως μετατροπείς σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και το αντίστροφο (Analog to Digital Converter [ADC] και Digital to Analog Converter [DAC]).

Η δυνατότητα του μικροελεγκτή να αποθηκεύει και να εκτελεί κώδικα προγραμμάτων τον καθιστά εξαιρετικά ευέλικτο ως προς την χρήση του σε πληθώρα εφαρμογών. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη αποφάσεων σε ένα σύστημα ή την επιλογή σεναρίων ανά περιπτώσεις. Η δυνατότητά του να εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις τον καθιστά ικανό αντικαταστάτη ενός ηλεκτρονικού ή λογικού κυκλώματος.

Κατάλληλο λογισμικό μπορεί να κάνει τον μικροελεγκτή να εκτελεί προηγμένες λειτουργίες όπως π.χ. να λειτουργεί ως νευρωνικό κύκλωμα ή ελεγκτής συστήματος ασαφούς λογικής. Μικροελεγκτές αναλαμβάνουν το κομμάτι της «νοημοσύνης» στις περισσότερες έξυπνης συσκευές (smart devices) που κυκλοφορούν στην αγορά στις μέρες μας. Σε όλες τις εφαρμογές ηλεκτρονικών ως χόμπι χρησιμοποιούνται μικροελεγκτές, άμεσα είτε έμμεσα. Λόγω αυτής της ευελιξίας τους, προσφέρουν οικονομικές λύσεις για την τροφοδοσία και τον έλεγχο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Καθίσταται λοιπόν απαραίτητο για έναν ηλεκτρονικό μηχανικό να γνωρίζει πως να προγραμματίζει μικροελεγκτές αφού αυτοί χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο πεδίο αυτό.

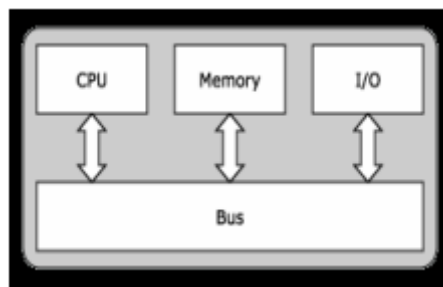
Κάποια από τα πεδία εφαρμογής των μικροελεγκτών είναι:

- Διαχείριση του κινητήρα σε μηχανοκίνητα οχήματα
- Πληκτρολόγια για PC
- Ηλεκτρονικός εργαστηριακός εξοπλισμός (ψηφιακά πολύμετρα, γεννήτριες συναρτήσεων, παλμογράφοι)
- Κινητά τηλέφωνα
- Οικιακές συσκευές

2.2 Συστατικά Μέρη ενός Μικροελεγκτή

Ο μικροελεγκτής συνδυάζει σχεδόν όλα τα συστατικά μέρη ενός μικροεπεξεργαστή σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit, IC) [2], όπως φαίνεται στα παρακάτω:

- CPU με διάυλο δεδομένων από 4-bit έως 32 bit
- Μνήμη (ROM και RAM)
- Διεπαφή εισόδου / εξόδου



Εικόνα 5 - Βασικά μέρη ενός μικροελεγκτή

Οι περισσότεροι διαθέσιμοι στο εμπόριο μικροελεγκτές επίσης διαθέτουν:

- Μονάδες Timer για τον χρονοπρογραμματισμό εργασιών.
- Σειριακή διεπαφή Εισόδου / Εξόδου για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτή και περιφερειακών συσκευών (ή άλλων μικροελεγκτών)
- Μία μονάδα ADC η οποία επιτρέπει στον μικροελεγκτή να λαμβάνει αναλογικά δεδομένα ως είσοδο για επεξεργασία.

2.2.1 Μικροεπεξεργαστής / CPU

Ένας μικροεπεξεργαστής αποτελεί μία προγραμματιζόμενη ηλεκτρονική μονάδα η οποία εμπεριέχει τις λειτουργίες μίας CPU σε ένα IC. Αποτελείται από μία Μονάδα Αριθμητικών/Λογικών Πράξεων (Arithmetic Logic Unit, ALU), έναν μετρητή προγράμματος (Program Counter, PC), έναν Δείκτη Στοίβας (Stack Pointer, SP) και καταχωρητές (registers). Οι κύριες λειτουργίες μίας CPU είναι:

- Η εκτέλεση των δεδομένων από τον χρήστη εντολών προγράμματος.
- Η πρόσβαση στις εξωτερικές μονάδες μνήμης για την ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων από και σε αυτές.

2.2.2 Η Μνήμη σε έναν Μικροελεγκτή

2.2.2.1 Μη πτητική μνήμη

Η μη πτητική μνήμη μπορεί να είναι ROM, δηλαδή εγγράψιμη μόνο μία φορά, είτε μνήμη EPROM ή EEPROM. Χαρακτηριστικά της αποτελούν τα εξής:

- Η μνήμη ROM μπορεί μόνο να αναγνωσθεί. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε αυτή κατά την κατασκευή της. Αφού τα δεδομένα γραφούν, δεν μπορούν να αλλάξουν (τουλάχιστον με εύκολο τρόπο) για αυτό και η μνήμη αυτή χαρακτηρίζεται Read Only. Η μνήμη αυτή είναι μη πτητική (non-volatile) αφού τα δεδομένα της παραμένουν ακόμα και υπό απουσία τροφοδοσίας.
- Η μνήμη EPROM (Erasable Programmable ROM) είναι παρόμοια με την μνήμη ROM με την διαφορά ότι ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τα περιεχόμενά της. Τα δεδομένα που βρίσκονται στην μνήμη αυτή μπορούν να διαγραφούν με το εκτεθεί μια περιοχή της μνήμης σε υπεριώδη ακτινοβολία για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η μνήμη EEPROM λειτουργεί παρόμοια με την EPROM, με την διαφορά πως πλέον η διαγραφή των δεδομένων γίνεται ηλεκτρονικά από τον μικροεπεξεργαστή.

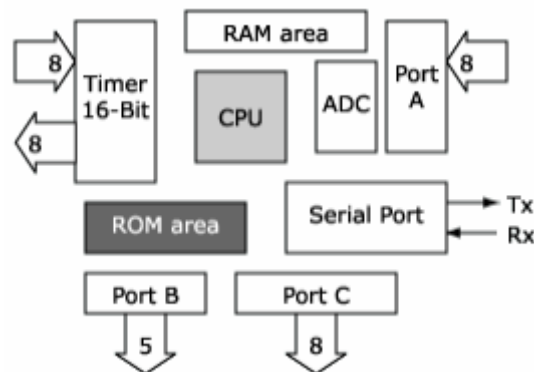
2.2.2.2 Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης (RAM)

Τα συστήματα μικροεπεξεργαστή χρειάζονται μία μνήμη από την οποία μπορούν να διαβάζουν και στην οποία μπορούν να γράφουν συνεχώς. Μία τέτοια μνήμη είναι η μνήμη RAM. Η μνήμη RAM πήρε το όνομά της καθώς οι πρώτες μνήμες που υποστήριζαν εγγραφή και ανάγνωση ήταν σειριακές και δεν υποστήριζαν τυχαία πρόσβαση στα δεδομένα. Η μνήμη RAM χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δυναμικών δεδομένων (δεδομένων δηλαδή τα οποία μεταβάλλονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος). Η RAM κατασκευάζεται ως ολοκληρωμένο κύκλωμα στο οποίο τα δεδομένα αποθηκεύονται με οποιαδήποτε σειρά, τυχαία χωρίς να υπάρχει κίνηση κάποιου φυσικού μέσου ή μέρους της μνήμης. Ο χαρακτηρισμός «τυχαία προσπέλαση» υπονοεί πως οποιαδήποτε μονάδα πληροφορίας μπορεί να ανακτηθεί γρήγορα και σε σταθερό χρόνο, ανεξάρτητα από το που είναι αποθηκευμένη μέσα στη μνήμη. Αυτό είναι και ένα από τα κυριότερα οφέλη της μνήμης RAM, οι σύντομοι και σταθεροί

χρόνοι προσπέλασής της. Μειονέκτημα της αποτελεί το ότι είναι πτητική, δηλαδή τα περιεχόμενά της διαγράφονται μόλις διακοπεί η παροχή ισχύος στη μνήμη.

Αμφότερες οι ROM και EPROM μνήμες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των εντολών του προγράμματος του ενσωματωμένου συστήματος. Κατά την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιούνται κυρίως οι μνήμες EPROM ή EEPROM, ενώ η ROM χρησιμοποιείται μόνο στην τελική έκδοση του προϊόντος το οποίο θα διατεθεί στην αγορά. Επομένως, ένας τυπικός μικροεπεξεργαστής περιλαμβάνει μνήμη ROM για την αποθήκευση του προγράμματος και μνήμη RAM για τα δεδομένα που αυτά πραγματεύονται.

Στην Εικόνα 6 φαίνονται οι μνήμες του μικροελεγκτή που περιγράφηκαν παραπάνω. Συνήθως, το μέγεθος της μνήμης ROM κυμαίνεται στην περιοχή των 512 – 4096 bytes, ωστόσο κάποιοι 16 bit μικροελεγκτές όπως ο Hitachi H8/3048, μπορούν να διαθέτουν έως και 128 Kbytes μνήμης ROM. Από την άλλη η μνήμη RAM τυπικά έχει μέγεθος 1 – 64 Kbytes. Νεότεροι μικροελεγκτές παρέχουν ακόμα ευρύτερους δίαυλους στα 32 bit, με μνήμη flash έως 2MB και RAM 512KB.



Εικόνα 6 - Block διάγραμμα μικροελεγκτή

2.2.3 Θύρες Εισόδου / Εξόδου (I/O)

Η είσοδος / έξοδος αποτελείται από ένα σύνολο διεπαφών τις οποίες διάφορες μονάδες των υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιούν για την επικοινωνία μεταξύ τους. Κάθε μετακίνηση πληροφορίας αποτελεί έξοδο ενός συστήματος και είσοδο ενός άλλου. Για παράδειγμα, σε ένα PC το πληκτρολόγιο και το ποντίκι αποτελούν μονάδες εισόδου, ενώ η οθόνη και τα ηχεία μονάδες εξόδου. Από την άλλη μονάδες όπως οι κάρτες δικτύου μπορούν να λειτουργήσουν ως είσοδος και έξοδος προς και από το σύστημα.

Οι θύρες εισόδου / εξόδου χαρακτηρίζονται ως αναλογικές και ψηφιακές, ανάλογα με την μορφή του σήματος το οποίο διαχειρίζονται. Οι ψηφιακές θύρες είναι συνήθως ομαδοποιημένες σε ζεύγη πολλών bit (8 bit για παράδειγμα) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι ή έξοδοι. Το εύρος των ζευγών αυτών διαφέρει και εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του μικροελεγκτή. Οι απλούστεροι 8 bit μικροελεγκτές διαθέτουν μικρό αριθμό από 4 bit θύρες I/O, ενώ οι πιο προηγμένοι των 16 bit και άνω διαθέτουν περισσότερες και ευρύτερες θύρες.

2.2.4 Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

Στην πλειοψηφία τους τα υπολογιστικά συστήματα βασισμένα σε μικροελεγκτές που κυκλοφορούν στην αγορά βρίσκονται στο εσωτερικό άλλων προϊόντων ως ενσωματωμένα συστήματα τα οποία ελέγχουν και εκτελούν ενέργειες εκείνων. Τα περισσότερα συστήματα έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε μνήμη, δεν διαθέτουν λειτουργικό σύστημα και τα προγράμματα που εκτελούν είναι απλά. Κοινές συσκευές εισόδου / εξόδου αποτελούν διακόπτες, ρελέ, LEDs, μικρές οθόνες LCD και αισθητήρες.

2.2.4.1 Διακοπές

Κύρια λειτουργία των μικροελεγκτών είναι να εκτελούν άμεσα ενέργειες ως απόκριση σε γεγονότα που συμβαίνουν στο περιβάλλον στο οποίο αυτοί λειτουργούν. Όταν κάποιο συγκεκριμένο γεγονός (event) ανιχνευθεί, αποστέλλεται μία διακοπή (interrupt) από την μονάδα που έκανε την ανίχνευση στον επεξεργαστή. Ο επεξεργαστής διακόπτει την λειτουργία του για να εξυπηρετήσει το interrupt. Η εξυπηρέτηση του interrupt γίνεται μέσω μίας προκαθορισμένης ρουτίνας (Interrupt Service Routine, ISR). Η ISR θα εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες ώστε να υπάρξει η σωστή απόκριση στο γεγονός. Μονάδες που παράγουν interrupts περιλαμβάνουν εσωτερικούς timers, μετατροπείς ADC και DAC, θύρες I/O κ.ά. Σε εφαρμογές στις οποίες η διαχείριση ενέργειας είναι σημαντική, μέσω interrupt «ξυπνάει» ο επεξεργαστής από την κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος (low power sleep state) για να εκτελέσει τις απαιτούμενες ενέργειες. Μετά το πέρας τους, επιστρέφει στην κατάσταση αυτή ώστε το σύστημα να καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια.

2.2.4.2 Πρόγραμμα

Το πρόγραμμα των μικροελεγκτών πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε να χωράει στην διαθέσιμη μνήμη ROM του εκάστοτε συστήματος. Λόγω κόστους και πρόσθετης

πολυπλοκότητας η προσθήκη εξωτερικής, επεκτάσιμης μνήμης καθίσταται απαγορευτική. Η ανάπτυξη προγραμμάτων γίνεται είτε σε Assembly χρησιμοποιώντας συμβολομεταφραστές ή με ειδικούς μεταγλωττιστές σε γλώσσα υψηλότερου επιπέδου.. Ανάλογα με το σύστημα, η μνήμη στην οποία αποθηκεύεται το πρόγραμμα μπορεί να είναι ROM ή EEPROM.

2.2.4.3 Άλλα Χαρακτηριστικά Μικροελεγκτών

Εφόσον τα ενσωματωμένα συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο άλλων περιφερειακών συστημάτων, είναι προφανές πως συχνά θα εμφανίζεται η ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ τους. Αυτό αναλαμβάνουν συνήθως οι μονάδες σύγχρονης και ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας όπως οι μονάδες UART, SPI, I²C κλπ.

Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει η ανάγκη για την επεξεργασία αναλογικών σημάτων. Οι επεξεργαστές αποτελούν ψηφιακά κυκλώματα, λειτουργούν δηλαδή μόνο σε δύο διακριτές στάθμες το 0 και 1. Από την άλλη, τα αναλογικά σήματα παίρνουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Επομένως, χρειάζεται κάποια μονάδα μετατροπής μεταξύ των δύο, όπως οι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converters – ADC) και οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (Digital to Analog Converters – DAC), ώστε να υπάρξει η κατάλληλη διεπαφή για την σύνδεση αναλογικού και ψηφιακού χώρου.

Μία άλλη μονάδα που διαθέτουν οι μικροελεγκτές είναι διάφοροι τύποι από timers. Ένας κοινός τύπος timer είναι το Programmable Interval Timer (PIT). Ο PIT λειτουργεί μετρώντας από μία καθορισμένη από τον προγραμματιστή τιμή έως το μηδέν. Όταν φτάσει στο μηδέν παράγει ένα interrupt και ενημερώνει τον επεξεργαστή ότι ολοκλήρωσε την μέτρηση. Τέτοιος τύπος timer χρησιμοποιείται από μονάδες όπως αισθητήρια θερμοκρασίας σε εφαρμογές θερμοστάτη, τα οποία πρέπει ανά περιόδους να μετράνε την θερμοκρασία του χώρου.

Η μονάδα PWM (Pulse Width Modulation) δίνει την δυνατότητα στον επεξεργαστή να ελέγχει συσκευές όπως κινητήρες ή φορτία.

2.3 Μικροελεγκτές PIC

Οι PIC αποτελούν σειρά μικροελεγκτών της εταιρείας Microchip Technology, βασιζόμενοι στην αρχιτεκτονική Harvard. Το όνομα PIC αποτελεί ακρωνύμιο του Peripheral Interface Controller.[2]

2.3.1 Αρχιτεκτονική του Μικροελεγκτή PIC

Η αρχιτεκτονική των PIC μικροελεγκτών χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω:

- Διαφορετικές περιοχές κώδικα και δεδομένων στην μνήμη (Αρχιτεκτονική Harvard)
- Ένα μικρό σύνολο εντολών σταθερού μεγέθους (fixed length instruction set)
- Οι περισσότερες εντολές διαρκούν έναν κύκλο μηχανής.
- Χρησιμοποιείται συσσωρευτής (accumulator) για την εκτέλεση εντολών.
- Όλες οι διευθύνσεις της μνήμης RAM λειτουργούν ως καταχωρητές προορισμού και πηγής για μαθηματικές και λογικές πράξεις.
- Διαθέτουν υλικό στοίβας (stack).
- Διαθέτουν μία περιορισμένη διευθυνσιοδοτούμενη περιοχή μνήμης δεδομένων.

Σε αντίθεση με τους περισσότερους επεξεργαστές, δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ μνήμης και καταχωρητών, καθώς η μνήμη RAM εκτελεί τις ενέργειες και των δύο. Συνήθως η RAM αναφέρεται και ως Register File.

2.3.2 Περιοχή δεδομένων (RAM)

Η μνήμη RAM φιλοξενεί έναν αριθμό από καταχωρητές γενικού σκοπού (General Purpose Registers) και καταχωρητές ειδικού σκοπού (Special Purpose Registers). Οι καταχωρητές ειδικού σκοπού χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο παραμέτρων των μονάδων του μικροελεγκτή. Ο τρόπος διευθυνσιοδότησης της μνήμης εξαρτάται από την έκδοση του PIC.

2.3.3 Περιοχή Κώδικα Προγράμματος

Ο κώδικας που εκτελείται σε έναν PIC συνήθως αποθηκεύεται στην μνήμη EPROM, ROM ή flash που αυτός διαθέτει. Γενικότερα, η υποστήριξη εξωτερικής μνήμης για την αποθήκευση κώδικα δεν υπάρχει λόγω της απουσίας διεπαφής προς αυτήν. Κάποιοι PIC της σειράς PIC18 όμως διαθέτουν αυτές τις λειτουργίες.

2.3.4 Σύνολο Εντολών

Το σύνολο εντολών που υποστηρίζει ένας PIC κυμαίνεται από περίπου 35 εντολές για τους οικονομικότερους έως πάνω από 80 για τους πιο προηγμένους. Το σύνολο εντολών περιλαμβάνει εντολές για την εκτέλεση πράξεων μεταξύ καταχωρητών ή του συσσωρευτή και μίας σταθεράς ή μεταξύ τους, όπως επίσης και εντολές ελέγχου ροής του προγράμματος.

2.3.5 Επιδόσεις

Οι επιλογές στον σχεδιασμό των PIC έχουν γίνει με στόχο την επίτευξη μέγιστης ταχύτητάς του και την μεγιστοποίηση του λόγου ταχύτητας-προς-κόστος. Η αρχιτεκτονική των PIC ήταν από τους πρώτους βαθμωτούς επεξεργαστές (Scalar CPU)

και ακόμα και σήμερα αποτελεί έναν από τους απλούστερους και οικονομικότερους μικροελεγκτές. Η αρχιτεκτονική Harvard, σύμφωνα με την οποία οι εντολές του προγράμματος και τα δεδομένα του βρίσκονται σε διαφορετικές μονάδες μνήμης, απλοποιεί κατά πολύ τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων σε επίπεδο μικρο-αρχιτεκτονικής και χρονισμού, πράγμα που ωφελεί ιδιαίτερα σε συχνότητα λειτουργίας, τιμή και κατανάλωση.

Ο PIC είναι ιδιαίτερα βολικός στην υλοποίηση αλγορίθμων που χρησιμοποιούν Look-up Tables (LUTs). Οι δομές αυτές προσφέρουν πρόσβαση στη μνήμη σε χρόνο σταθερό χρόνο.

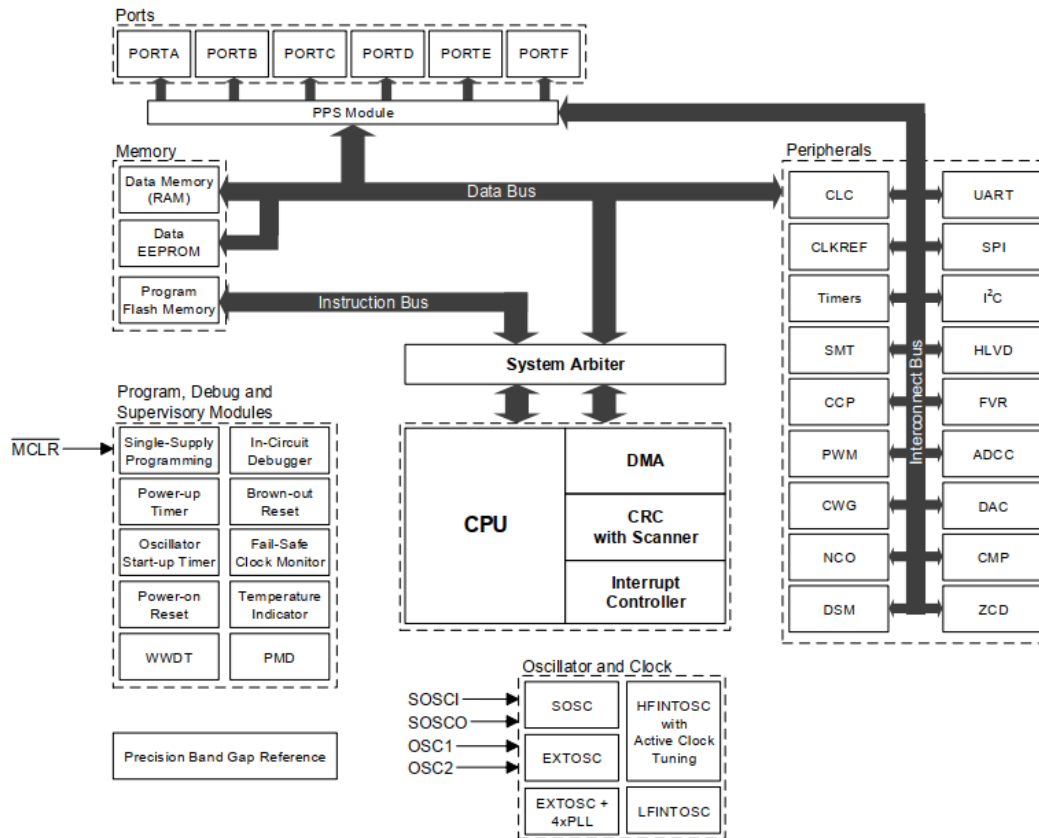
2.4 Ο Μικροελεγκτής PIC18F57Q43

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι ο PIC18F57Q43. Ανήκει στην σειρά PIC18-Q43 μικροελεγκτών της Microchip. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 1. [3]

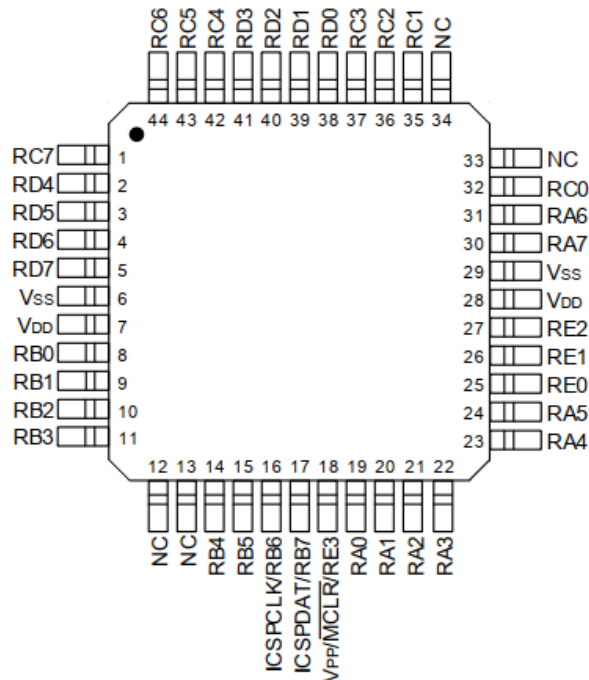
Χαρακτηριστικά	PIC18F57Q43
Συχνότητα λειτουργίας	DC - 64MHz 62.5ns ελάχιστος κύκλος εντολής
Πλήθος DMA Controller	6
Μνήμη Flash προγραμμάτων	128 Kbytes
SRAM δεδομένων	8192 bytes
EEPROM δεδομένων	1024 bytes
8 bit / 16 bit Timers	3/4
ADC	1
Μονάδες UART	4

Πίνακας 1 - Χαρακτηριστικά PIC18F57Q43

Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή PIC18F57Q43.



Εικόνα 7 - Block διάγραμμα PIC Q43 [3]



Εικόνα 8 - Διάγραμμα pin ενός 44-pin TQFP PICQ43 [3]

Για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της γεννήτριας συναρτήσεων που έγινε στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μονάδες του μικροελεγκτή:

- UART κατά την ανάπτυξη του κώδικα που εκτελείται στον μικροελεγκτή ως βοήθημα στην αποσφαλμάτωση (debugging).
- ADC για τον έλεγχο της συχνότητας του παραγόμενου σήματος.
- DAC για την έξοδο του συστήματος.
- Timer για τον προγραμματισμό της αλλαγής της εξόδου.
- DMA για την επιτάχυνση της πρόσβασης στην μνήμη από το πρόγραμμα.

Η λειτουργία της κάθε επιμέρους μονάδας αναλύεται στα ακόλουθα υποκεφάλαια.

2.4.1 Μονάδα Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)

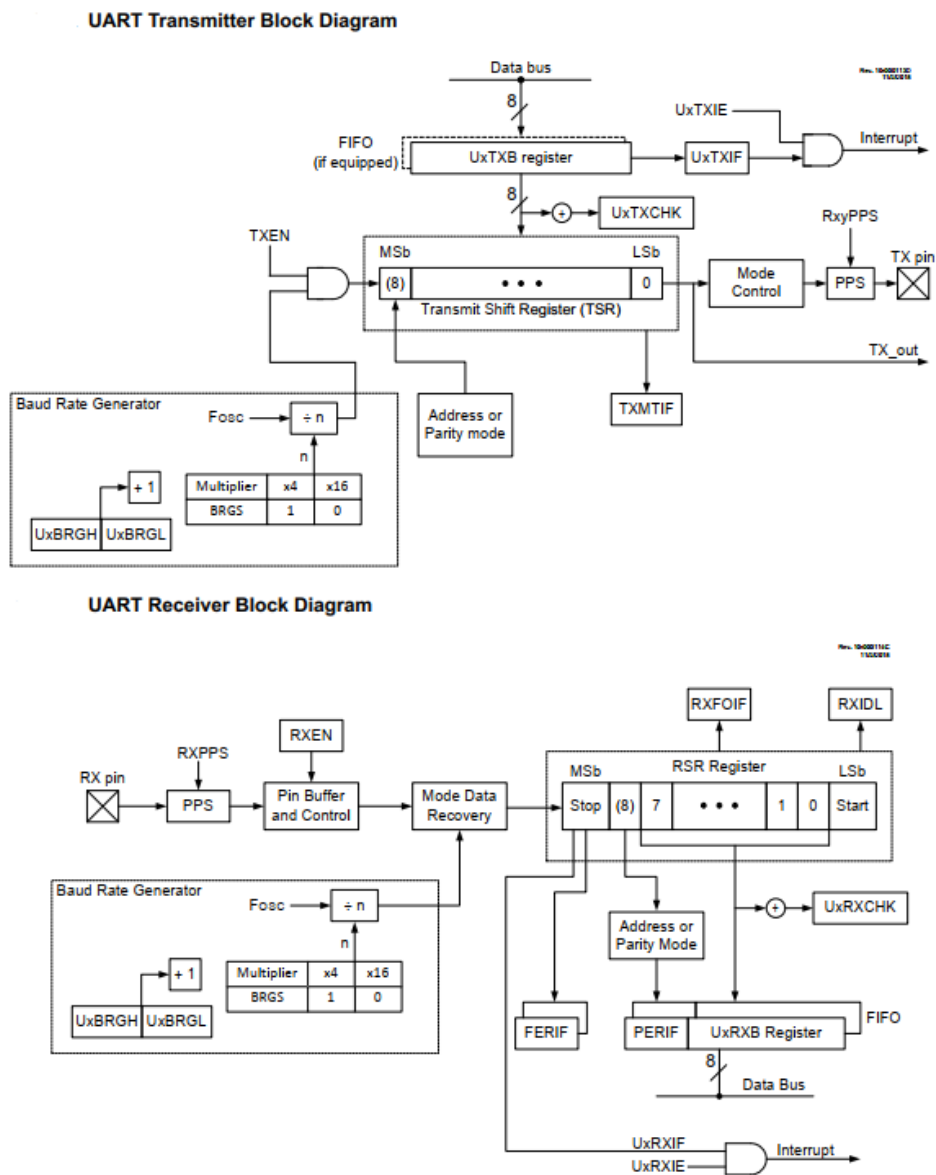
Η μονάδα UART αποτελεί ένα περιφερειακό για σειριακή είσοδο / έξοδο. Περιέχει όλα τα κυκλωματικά στοιχεία κατάλληλα για την παραγωγή παλμών ρολογιού, καταχωρητές ολίσθησης (shift registers) και απομονωτές δεδομένων (data buffers) που απαιτούνται για την λειτουργία του. Το πρωτόκολλο UART, γνωστό και ως Serial Communications Interface (SCI), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για full-duplex ασύγχρονη επικοινωνία. Η λειτουργία Full Duplex είναι χρήσιμη για την επικοινωνία με περιφερειακά συστήματα όπως ασύρματα modem και μετατροπείς USB σε σειριακό. Το block διάγραμμα της μονάδας UART φαίνεται στην Εικόνα 9.

Οι καταχωρητές μέσω των οποίων γίνεται η διαχείριση της μονάδας UART φαίνονται στον Πίνακα 2.

Καταχωρητές	Περιγραφή
UxCON0, UxCON1, UxCON2	Καταχωρητές ρυθμίσεων της μονάδας UART
UxERRIE, UxERRIR, UxUIR	Καταχωρητές που περιλαμβάνουν flag bits, ενεργοποίησης διακοπών και κατάστασης.
UxFIFO	Καταχωρητής κατάστασης και ελέγχου των FIFO buffer της UART
UxP1, UxP2, UxP3	Καταχωρητές παραμέτρων των 9 bit πρωτοκόλλων που υποστηρίζει η UART
UxBRGH, UxBRGL	Καταχωρητές ρύθμισης της ταχύτητας επικοινωνίας της UART
UxTXB	Καταχωρητής εγγραφής στον buffer αποστολή δεδομένων
UxRXB	Καταχωρητής ανάγνωσης από τον FIFO

	buffer λήψης δεδομένων
UxTXCHK	Καταχωρητής για την αποθήκευση του αθροίσματος ελέγχου των δεδομένων αποστολής
UxRXCHK	Καταχωρητής για την αποθήκευση του αθροίσματος ελέγχου των δεδομένων λήψης

Πίνακας 2 - Καταχωρητές Ελέγχου της μονάδας UART

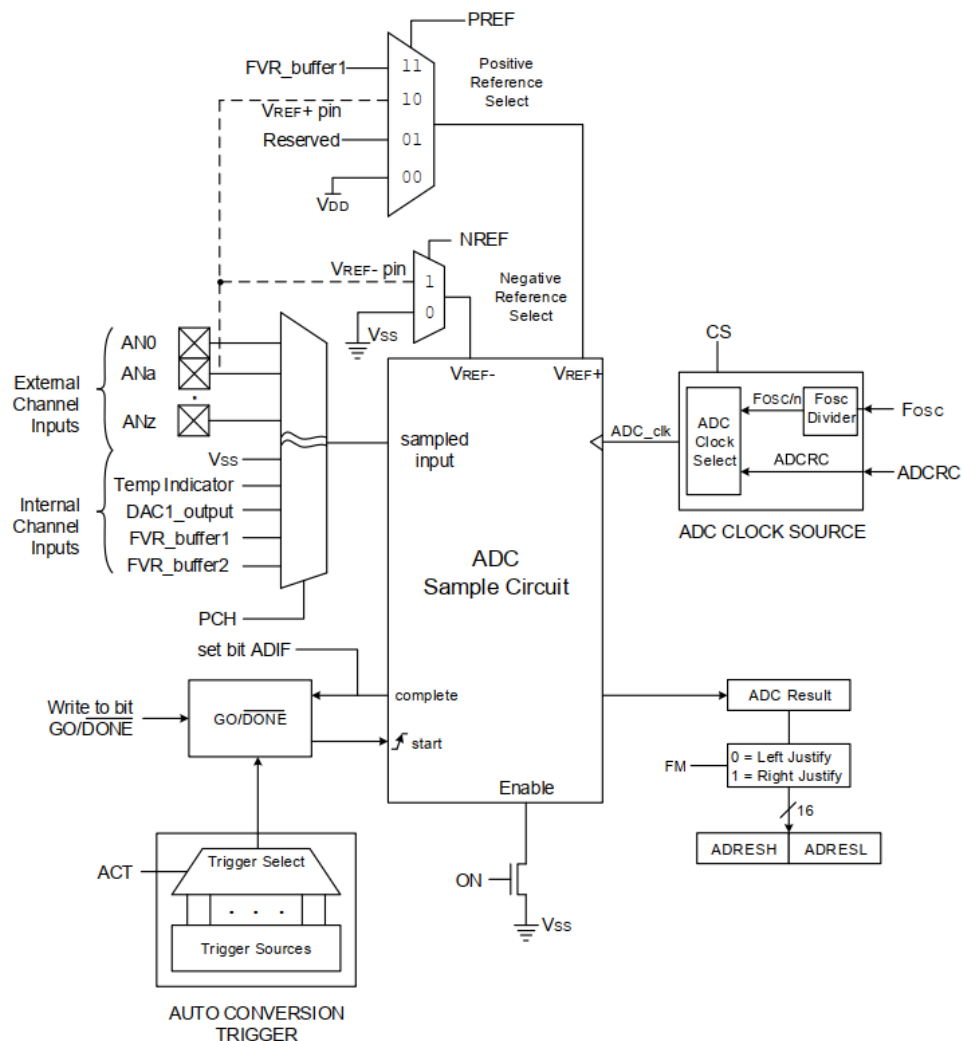


Εικόνα 9 - Block διάγραμμα UART μονάδας

2.4.2 Μονάδα Analog to Digital Converter (ADC)

Η μονάδα ADC επιτρέπει την μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα εύρους 12 bit. Οι αναλογικές εισοδοι οδηγούνται μέσω πολυπλέκτη σε ένα κύκλωμα Sample-and-Hold. Η έξοδος αυτού του κυκλώματος συνδέεται στην είσοδο του κυκλώματος μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό. Ο μετατροπέας παράγει την 12 bit ψηφιακή αναπαράσταση του αναλογικού σήματος που «βλέπει» στην είσοδό του μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων (successive approximation) και αποθηκεύει το αποτέλεσμα τους καταχωρητές αποτελέσματος της μονάδας.

Το block διάγραμμα της μονάδας φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10 - Block διάγραμμα μονάδας ADC [3]

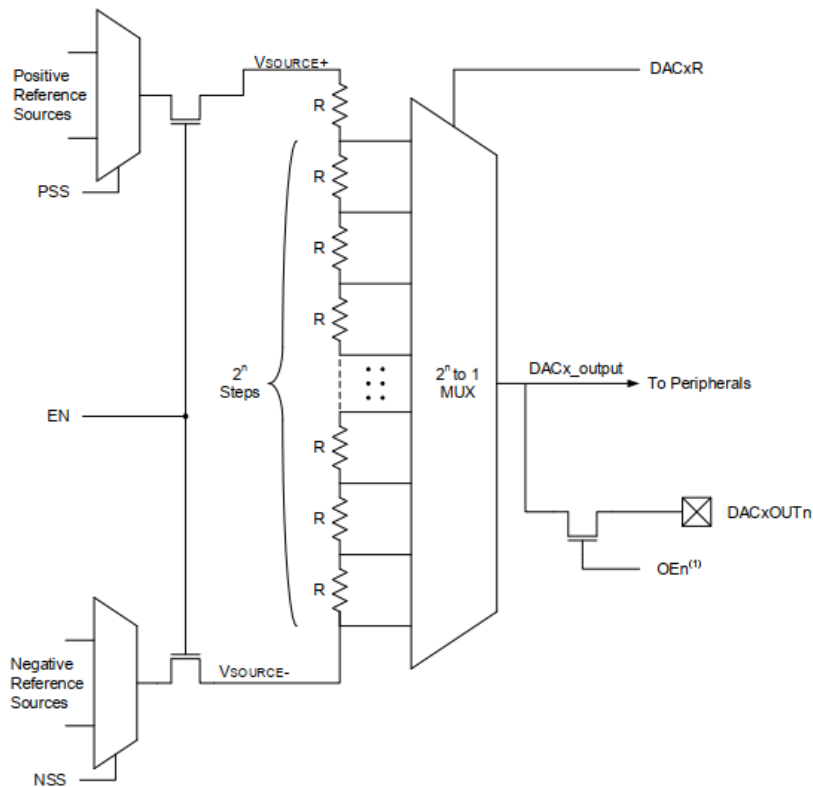
Ο έλεγχος της λειτουργίας της μονάδας ADC γίνεται μέσω καταχωρητών. Αυτοί φαίνονται στον Πίνακα 3

Καταχωρητές	Περιγραφή
ADCONx	Έλεγχος διαφόρων παραμέτρων της διαδικασίας μετατροπής ADC
ADSTAT	Κατάσταση της μονάδας ADC
ADCLK	Καταχωρητής ελέγχου της διαίρεσης ρολογιού της μονάδας ADC
ADREF, ADPCH	Επιλογή τάσης αναφορά του ADC
ADPRE, ADACQ	Επιλογή χρόνων σχετικά με την διαδικασία της μετατροπής
ADCAP	Επιλογή πρόσθετης χωρητικότητας στο κύκλωμα δειγματοληψίας
ADRPT, ADCNT, ADFLTR	Καταχωρητές επιλογής λειτουργίας της μονάδας ADC
ADRESS, ADACC	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύεται το ψηφιακό αποτέλεσμα της μετατροπής
ADPREV	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύεται το ψηφιακό αποτέλεσμα της προηγούμενης μετατροπής
ADSTPT, ADERR, ADLTH, ADUTH	Καταχωρητές ελέγχου μετατροπής με τάση κατωφλίου
ADACT	Καταχωρητής ελέγχου εκκίνησης διαδικασίας μετατροπής
ADCP	Έλεγχος λειτουργίας Charge Pump

Πίνακας 3 – Καταχωρητές μονάδας ADC

2.4.3 Μονάδα Digital to Analog Converter (DAC)

Η μονάδα μετατροπής σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό (Digital to Analog, DAC) παρέχει μεταβλητή τάση αναφοράς, σχετιζόμενη με την είσοδο, με προγραμματιζόμενα επίπεδα εξόδου. Η θετική και αρνητική τάση αναφοράς ($V_{SOURCE+}$ και $V_{SOURCE-}$) μπορούν να επιλεγούν από ποικιλία πηγών. Η έξοδος της μονάδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τάση αναφοράς για άλλες μονάδες του μικροελεγκτή ή να οδηγηθεί σε κάποιο pin εξόδου. Η μονάδα ενεργοποιείται θέτοντας την κατάλληλη τιμή στο bit EN του αντίστοιχου καταχωρητή ελέγχου. Το block διάγραμμα της μονάδας φαίνεται στην Εικόνα 11. [3]



Εικόνα 11 – Block διάγραμμα μονάδας DAC

Οι καταχωρητές που διέπουν την λειτουργία της μονάδας φαίνονται στον Πίνακα 4.

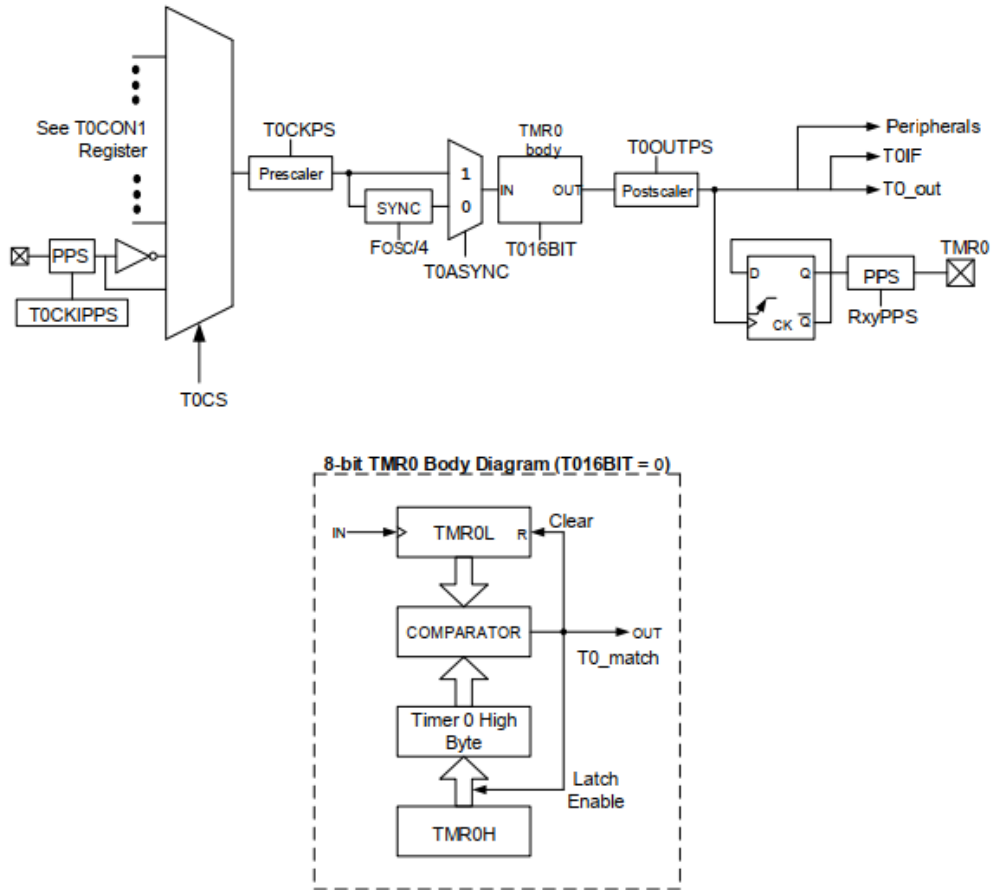
Καταχωρητής	Περιγραφή
DAC1DATL	Καταχωρητής αποτελέσματος της μονάδας
DAC1CON	Καταχωρητής ελέγχου της μονάδας

Πίνακας 4 – Καταχωρητές μονάδας DAC

2.4.4 Μονάδα Timer

Σκοπός των χρονομέτρων (Timer) είναι να μετρούν χρόνο ως κύκλους του ρολογιού με το οποίο λειτουργεί ο μικροελεγκτής, το οποίο μπορεί να είναι είτε το εσωτερικό του είτε κάποιο εξωτερικό. Χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή καθυστερήσεων στα εκτελούμενα προγράμματα. Η δομή και η λειτουργία του είναι απλή, καθώς αποτελούν απλούς μετρητές οι οποίοι μετρούν παλμούς του ρολογιού. Όταν το πλήθος των μετρούμενων παλμών φτάσει ένα προκαθορισμένο νούμερο, τότε η μονάδα παράγει μία διακοπή και η μέτρηση ξεκινάει από την αρχή. [4]

Ο μικροελεγκτής PIC18F57Q43 διαθέτει επτά μονάδες Timer. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μονάδα TMR0 οπότε παρακάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά μόνο αυτής. Το block διάγραμμα φαίνεται στην Εικόνα 12. [3]



Εικόνα 12 – Block διάγραμμα μονάδας TMR0

Η μονάδα TMR0 μπορεί να λειτουργήσει είτε ως 8 bit είτε ως 16 bit Timer. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η λειτουργία 8 bit. Στην λειτουργία αυτή, ο στόχος του μετρητή αποθηκεύεται στα 8 περισσότερο σημαντικά bit ενός καταχωρητή ελέγχου του μετρητή (TMR0H). Τα 8 λιγότερο σημαντικά bit του καταχωρητή αυτού είναι αυτά που αυξάνονται σε κάθε κύκλο ρολογιού (TMR0L). Σε κάθε κύκλο τα περιεχόμενα των δύο αυτών τμημάτων του καταχωρητή συγκρίνονται. Όταν αυτά γίνουν ίσα, τότε ο καταχωρητής TMR0L επιστρέφει στο 0 και παράγεται η αντίστοιχη διακοπή. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 12.

Οι καταχωρητές ελέγχου της μονάδας TMR0 φαίνονται στον Πίνακα 5 [3].

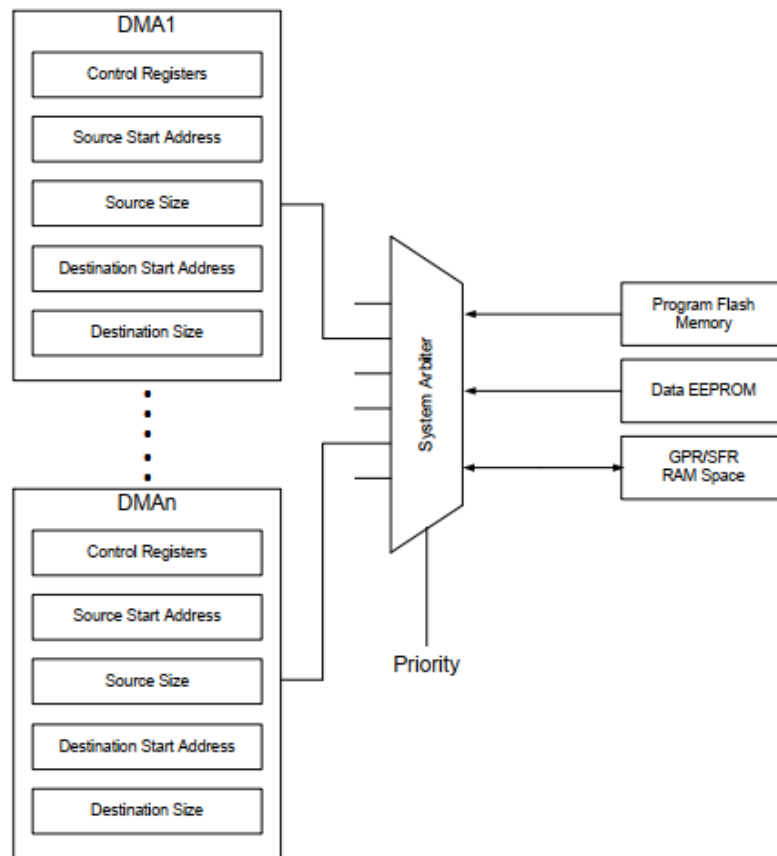
Καταχωρητής	Περιγραφή
TMR0L	Καταχωρητής μετρητή
TMR0H	Καταχωρητής τιμής στόχου της μονάδας
T0CON0, T0CON1	Καταχωρητές ελέγχου της μονάδας TMR0

Πίνακας 5 – Καταχωρητές της μονάδας TMR0

2.4.5 Μονάδα Direct Memory Access (DMA)

Η μονάδα DMA έχει ως σκοπό την εξυπηρέτηση μεταφορών δεδομένων μεταξύ διαφορετικών περιοχών της μνήμη χωρίς να χρειάζεται να απασχοληθεί η CPU. Με το να μην απασχολείται η CPU με τις χρονοβόρες αυτές διαδικασίες, ο χρόνος τον οποίο μπορεί να αφιερώσει στην εκτέλεση εντολών του προγράμματος αυξάνεται και επομένως η ταχύτητα εκτέλεσής του αυξάνεται δραματικά.

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται διαθέτει πλήθος μονάδων DMA. Κάθε μία μπορεί να εξυπηρετεί μεταφορές μεταξύ διαφορετικών περιοχών μνήμης, με διαφορετικού μεγέθους δεδομένα και να ελέγχεται από διαφορετικού τύπου διακοπές. Το block διάγραμμα της μονάδας DMA φαίνεται στην Εικόνα 13 [3].



Εικόνα 13 – Block διάγραμμα μονάδας DMA

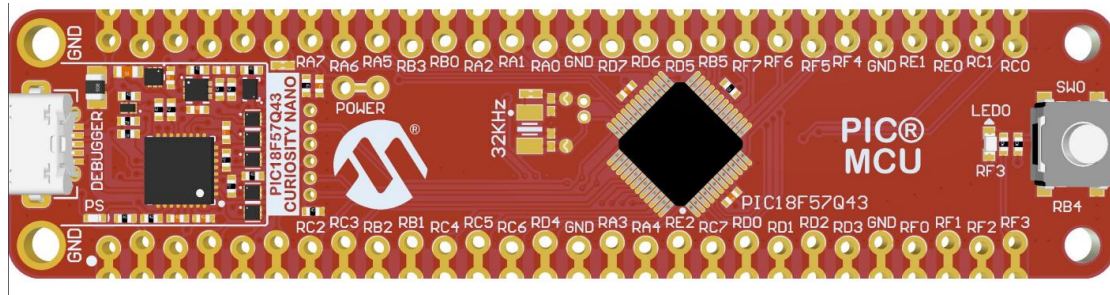
Οι καταχωρητές μέσω των οποίων ελέγχεται η λειτουργία των μονάδων DMA παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 [3].

Καταχωρητές	Περιγραφή
DMASELECT	Καταχωρητής επιλογής μονάδας DMA προς παραμετροποίηση
DMA_nCON0, DMA_nCON1	Καταχωρητές ελέγχου της μονάδας DMA n
DMA_nBUF	Καταχωρητής δεδομένων μονάδας DMA n
DMA_nSSA, DMA_nSPTR	Καταχωρητής ο οποίος δείχνει στην αρχή της περιοχής μνήμης από την οποία θα μεταφέρει δεδομένα η μονάδα DMA n (DMA_nSSA) και την τρέχουσα διεύθυνση (DMA_nSPTR)
DMA_nSSZ, DMA_nDSZ	Μέγεθος των δεδομένων που θα μεταφερθούν
DMA_nSCNT, DMA_nDCNT	Πλήθος δεδομένων σε byte που θα μεταφερθούν
DMA_nDSA, DMA_nDPTR	Καταχωρητής ο οποίος δείχνει στην αρχή της περιοχής μνήμης στην οποία θα μεταφέρει δεδομένα η μονάδα DMA n (DMA_nDSA) και την τρέχουσα διεύθυνση (DMA_nDPTR)
DMA_nSIRQ, DMA_nAIRQ	Καταχωρητές οι οποίοι ελέγχουν τα σήματα διακοπών που θα σηματοδοτούν μία μεταφορά μέσω της μονάδας DMA n (DMA_nSIRQ) και τα σήματα διακοπών που θα ακυρώνουν τη διαδικασία (DMA_nAIRQ)

Πίνακας 6 – Καταχωρητές μονάδας DMA

3. Περιγραφή Υλικού της Γεννήτριας Συναρτήσεων

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η αναπτυξιακή πλακέτα Curiosity Nano Evaluation Kit της Microchip.



Εικόνα 14 - PIC18F57Q43 Curiosity Nano [5]

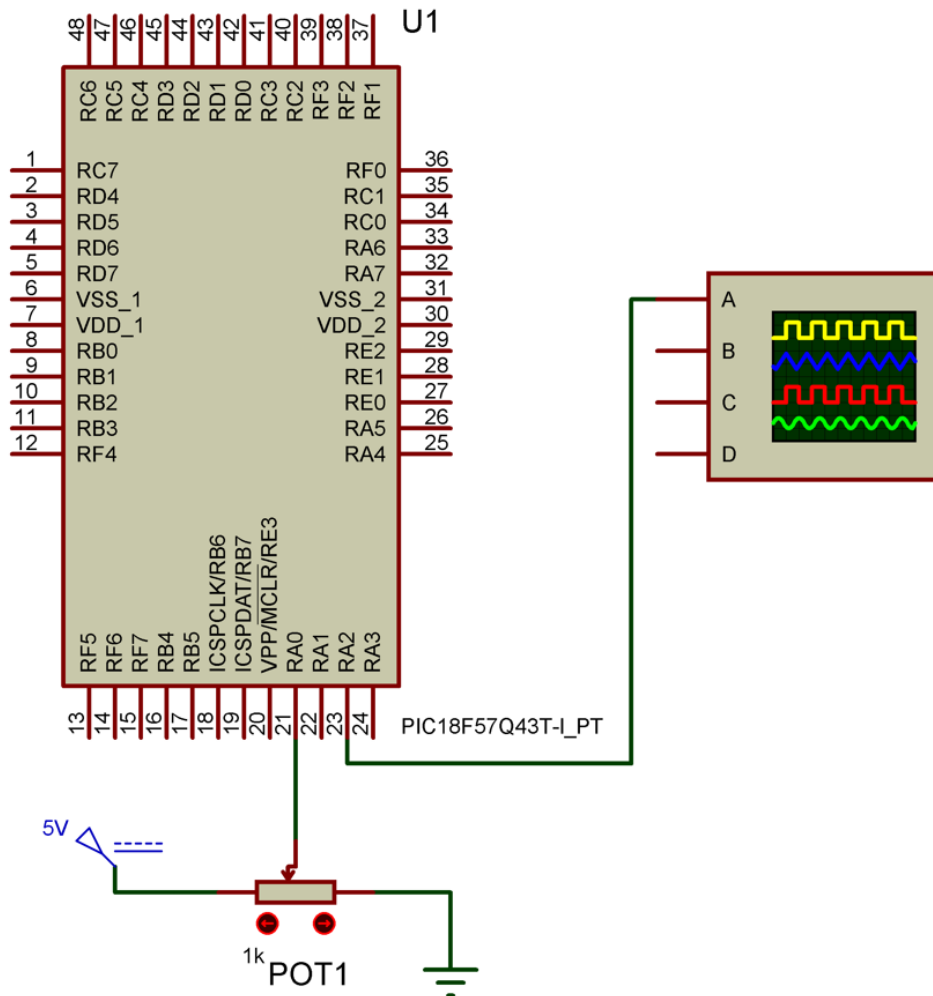
Η πλακέτα διαθέτει κύκλωμα debugger/programmer για τον μικροελεγκτή καθώς και την απαραίτητη διεπαφή USB ώστε η ανάπτυξη και δοκιμή εφαρμογών να γίνεται εύκολα και απλά.

Η ανάπτυξη του κώδικα ο οποίος θα εκτελείται από τον μικροελεγκτή γίνεται στο περιβάλλον MPLAB IDE της Microchip. Το πρόγραμμα αυτό βασίζεται στον NetBeans IDE της Oracle, ο οποίος αποτελεί πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα (Open Source). Το MPLAB διαθέτει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες και πρόσθετα για την ανάπτυξη εφαρμογών, αποσφαλμάτωση και προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

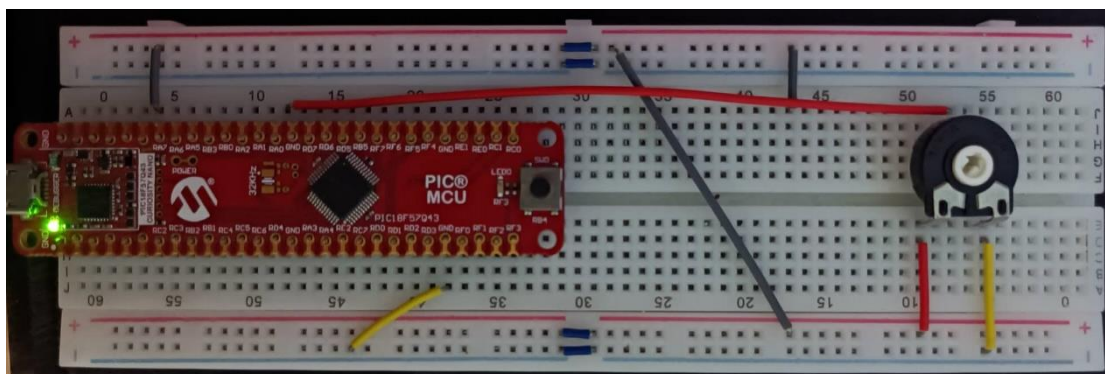
Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος φαίνεται στην Εικόνα 15. Η ακίδα RA0 λειτουργεί ως είσοδος στο κύκλωμα. Η είσοδος αυτή είναι μία αναλογική τάση η οποία ελέγχεται μέσω του τρίμερ POT1. Η τάση αυτή μετατρέπεται μέσω της μονάδας ADC σε ψηφιακή τιμή. Η τιμή αυτή με την σειρά της καθορίζει την συχνότητα του παραγόμενου ημιτονοειδούς σήματος εξόδου.

Η έξοδος του κυκλώματος οδηγείται στην ακίδα RA2. Η ακίδα αυτή στην πραγματικότητα αποτελεί την έξοδο της μονάδας DAC. Οι τιμές του πλάτους του ημιτόνου για κάποιες τιμές γωνιών είναι αποθηκευμένες στην μνήμη του προγράμματος σε ψηφιακή μορφή. Η μονάδα DAC λαμβάνει αυτές τις τιμές, τις μετατρέπει σε τάσεις και τις οδηγεί στην ακίδα RA2, την έξοδο του κυκλώματος.

Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή PIC18F57Q43.



Εικόνα 15 - Το υλοποιημένο κύκλωμα στον προσομοιωτή Proteus 8 Professional



Εικόνα 16 - Το κύκλωμα κατασκευασμένο σε breadboard

Στην Εικόνα 16 φαίνεται το τελικό κύκλωμα που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Η τροφοδοσία της αναπτυξιακής πλακέτας Curiosity Nano δίνεται μέσω καλωδίου micro USB από υπολογιστή. Οι ενεργειακές απαιτήσεις της παρούσας εφαρμογής είναι χαμηλές οπότε η ενέργεια που

παρέχει μία θύρα USB ενός PC επαρκεί. Σε περίπτωση που οι απαιτήσεις σε ενέργεια ήταν μεγαλύτερης, τότε θα ήταν απαραίτητη η χρήση εξωτερικού τροφοδοτικού.

Οι οριζόντιες γραμμές στο άνω και κάτω μέρος του breadboard χρησιμοποιούνται ως γραμμές τροφοδοσίας 5V και γείωσης. Οι γραμμές που σηματοδοτούνται με τον χαρακτήρα + και έχουν κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν στην θετική τάση την οποία λαμβάνουν από την ακίδα RA7 της αναπτυξιακής πλακέτας η οποία «δίνει» 5V. Αντίστοιχα, οι γραμμές οι οποίες συνοδεύονται από τον χαρακτήρα - και είναι χρώματος μπλε αντιστοιχούν στην γείωση (ή τα 0V). Αυτές συνδέονται με τις ακίδες GND της αναπτυξιακής πλακέτας.

Οι δύο ακριανοί ακροδέκτες του trimmer συνδέονται στα 5V και 0V αντίστοιχα. Ο μεσαίος, στον οποίο παρουσιάζεται και η μεταβολή της τάσης λόγω της μεταβολής της αντίστασής του, συνδέεται με την ακίδα RA0 η οποία αποτελεί και είσοδο της μονάδας ADC.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2 για τον σχεδιασμό της γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μονάδες του μικροελεγκτή PIC18F57Q43:

- Universal Asynchronous Receiver – Transmitter (UART)
- Digital to Analog Converter (DAC)
- Analog to Digital Converter (ADC)
- Direct Memory Access (DMA)

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού γίνεται αναφορά στο πως προγραμματίστηκε η κάθε μονάδα και εξηγούνται οι λόγοι που οδήγησαν στις επιλογές αυτές.

3.1 UART

Η μονάδα αυτή χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά στην φάση της ανάπτυξης του firmware. Χρήση της ήταν να εμφανίζονται με μορφή κειμένου διάφορες τιμές ενδιαφέροντος, όπως επίπεδα τάσης και τιμές μετρητών, στην οθόνη του υπολογιστή. Οι ακίδες RF0 και RF1 επιλέγονται ως έξοδος και είσοδος της μονάδας αντίστοιχα. Για να χρησιμοποιηθούν πρέπει πρώτα να δηλωθεί ότι θα λειτουργούν ως ψηφιακές. Αυτό γίνεται μέσω το καταχωρητή ANSELF. Επίσης πρέπει να ορισθεί η κάθε μια ως είσοδος ή έξοδος. Αυτό ορίζεται στον καταχωρητή TRISF ο οποίος ελέγχει τον οδηγό εξόδου της κάθε ακίδας.

Στη συνέχεια πρέπει να ανατεθεί η κάθε ακίδα στην μονάδα UART. Για την RF0 η οποία θα λειτουργεί ως έξοδος, αυτό γίνεται μέσω του καταχωρητή RF0PPS. Γράφοντας σε αυτόν τον καταχωρητή την τιμή 0x20, η ακίδα οδηγείται πλέον από το

σήμα *UART1TX*. Αντίστοιχα για την *RF1* η οποία αποτελεί είσοδος στην μονάδα, η δήλωση γίνεται στον καταχωρητή *U1RXPPS*. Ο καταχωρητής αυτός ανήκει στην μονάδα UART και η τιμή του περιγράφει την ακίδα από την οποία αυτή θα λαμβάνει είσοδο.

Έπειτα ορίζεται ο ρυθμός μεταφοράς συμβόλων με τον οποίο θα γίνεται η επικοινωνία μεταξύ της μονάδας UART και του υπολογιστή. Η τιμή του δηλώνεται στον καταχωρητή *U1BRG*.

Τέλος, ρυθμίζεται κατάλληλα η λειτουργία της μονάδας μέσω των καταχωρητών *U1CON0*, *U1CON1* και *U1CON2*. Όλες οι επιλογές τίθενται στην προκαθορισμένη τους τιμή 0, πλην των *BRGS*, *TXEN*, *RXEN* και *ON*. Η επιλογή *BRGS* δηλώνει πως η επικοινωνία θα γίνεται με υψηλό baud rate, οι επιλογές *TXEN* και *RXEN* ενεργοποιούν τους receiver και transmitter της μονάδας UART και τέλος η επιλογή *ON* ενεργοποιεί την μονάδα.

3.2 ADC

Είσοδο του κυκλώματος αποτελεί μία αναλογική τάση στη μονάδα ADC. Η είσοδος αυτή είναι μία τιμή τάσης η οποία ελέγχεται από ένα τρίμερ και αντιστοιχεί στην επιθυμητή συχνότητα του παραγόμενου σήματος.

Αρχικά ορίζεται η ακίδα *RA0* ως αναλογική είσοδος. Αυτό γίνεται με την ανάθεση κατάλληλων τιμών στους καταχωρητές *ANRSELA* και *TRISA*.

Στην συνέχεια προγραμματίστηκαν οι ρυθμίσεις λειτουργίας της μονάδας. Στον καταχωρητή *ADCON0* δίνονται τιμές στα πεδία *CS*, *FM* και *ON*. Το πεδίο *CS* (ADC Clock Selection) ορίζει την πηγή για το σήμα ρολογιού της μονάδας Επιλέγεται ως πηγή ρολογιού το εσωτερικό ρολόι F_{OSC} . Το πεδίο *FM* (ADC Results Format/Alignment Selection) ορίζει την στοίχιση του αποτελέσματος και επιλέγεται η δεξιά στοίχιση. Το πεδίο *ON* ενεργοποιεί την μονάδα.

Μέσω του καταχωρητή *ADREF* επιλέγονται η θετική και αρνητική τάση αναφοράς της μονάδας μέσω των πεδίων *PREF* και *NREF*. Για τις τάσεις αυτές επιλέγονται οι τάσεις *VDD* και *VSS* οι οποίες παρέχονται από την αναπτυξιακή πλακέτα Curiosity Nano. Έπειτα, ορίζονται οι κύκλοι που θα δαπανούνται για την εισαγωγή καθυστέρησης στην φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή δειγματοληψίας και συγκράτησης (Sample and Hold Capacitor). Οι υπεύθυνοι καταχωρητές είναι οι *ADACQ* και *ADPRE* αντίστοιχα. Στον καταχωρητή *ADCON2* και συγκεκριμένα στο πεδίο *MD* (ADC Operating Mode Selection) ορίζεται πως ο καταχωρητής θα λειτουργεί στην βασική λειτουργία (Basic

Mode). Τέλος, στους καταχωρητές *PIR2*, *IPR2* και *PIE2* τίθενται οι κατάλληλες τιμές για την ενεργοποίηση και παραμετροποίηση των διακοπών της μονάδας ADC.

3.3 Timer

Η μονάδα Timer, και πιο συγκεκριμένα η μονάδα Timer0, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τεχνητής «καθυστέρησης» στην γεννήτρια. Με το όρο «καθυστέρηση» αναφερόμαστε στον οριζόμενο από τον χρήστη χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων στην έξοδο της γεννήτριας. Ο χρόνος αυτός είναι που ουσιαστικά καθορίζει την συχνότητα του παραγόμενου σήματος.

Ο προγραμματισμός της μονάδας Timer0 γίνεται μέσω των καταχωρητών *T0CON0* και *T0CON1*. Στον καταχωρητή *T0CON0* δίνονται τιμές στα πεδία *MD16*, *OUT* και *EN*. Το πρώτο πεδίο, το *MD16*, ορίζει εάν ο μετρητής θα λειτουργήσει ως μετρητής 8 ή 16 bit, με την ανάλογη συμπεριφορά που περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 2. Το πεδίο *OUT* ορίζει ένα συντελεστή κλιμάκωσης του μετρητή (Postscaler), ενώ το πεδίο *ON* ενεργοποιεί την μονάδα.

Στον καταχωρητή *T0CON1* δηλώνονται τα πεδία *CS*, *ASYNC* και *CKPS*. Τα δύο πρώτα αναφέρονται στο σήμα ρολογιού με το οποίο θα λειτουργεί η μονάδα και το *CKPS* είναι ξανά ένας συντελεστής κλιμάκωσης (Prescaler).

3.4 DMA

Η μονάδα DMA στην παρούσα εφαρμογή έχει ως σκοπό την μεταφορά δεδομένων από την μνήμη του μικροελεγκτή στην μονάδα DAC χωρίς την παρέμβαση της CPU. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας λειτουργίας του προγράμματος καθώς η CPU ασχολείται περισσότερο χρόνο με την εκτέλεση εντολών και όχι με την μεταφορά δεδομένων από την μνήμη. Ο προγραμματισμός της μονάδας DMA απαιτεί την απόδοση τιμών σε πλήθος καταχωρητών. Η διαδικασία περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο.

Αρχικά επιλέγεται ποια μονάδα DMA θα χρησιμοποιηθεί μέσω του καταχωρητή *DMASELECT*. Έπειτα πρέπει να οριστούν η διεύθυνση της περιοχής μνήμης πηγής και προορισμού καθώς και ο αριθμός των bytes που θα μεταδίδονται. Αυτά ορίζονται στους καταχωρητές *DMA0SSA*, *DMA0DSA* και *DMA0SSZ*, *DMA0DSZ* αντίστοιχα.

Εφόσον οριστούν η πηγή και ο προορισμός των δεδομένων, προχωράμε στον προγραμματισμό της λειτουργίας της μονάδας μέσω του καταχωρητή *DMA0CON1*. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα πεδία του και οι αντίστοιχες τιμές που δίνονται σε αυτά.

Πεδίο Καταχωρητή	Τιμή
<i>DMODE</i>	Ορίζουμε η διεύθυνση μνήμης προορισμού να μην μεταβάλλεται, εφόσον γράφουμε πάντα στον καταχωρητή εξόδου της μονάδας DAC.
<i>DSTP</i>	Το bit διακοπής καθαρίζεται όταν ο μετρητής προορισμού του DMA υπερχειλίζει.
<i>SMR</i>	Περιοχή μνήμης προορισμού. Επιλέγεται η περιοχή General Purpose Register (GPR)
<i>SMODE</i>	Αντίστοιχα με τον καταχωρητή <i>DMODE</i>
<i>SSTP</i>	Αντίστοιχα με τον καταχωρητή <i>DSTP</i>

4. Περιγραφή Υλικολογισμικού (Firmware) της Γεννήτριας Σημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται η λογική πίσω από το κυρίως πρόγραμμα (Firmware) που εκτελείται από τον μικροελεγκτή για την υλοποίηση της γεννήτριας.

4.1 Υλοποίηση χωρίς την χρήση της μονάδας DMA

Το πρόγραμμα διαθέτει στη μνήμη του 256 τιμές για το πλάτος του ημιτόνου. Οι τιμές αποθηκεύονται ως μη προσημασμένοι ακέραιοι αριθμοί των 8 bit. Αυτό γίνεται για οικονομία στη μνήμη. Το εύρος ενός 8 bit αριθμού είναι $[0, 2^8 - 1]$. Η συνάρτηση του ημιτόνου παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$. Για να αποφύγουμε το πρόβλημα με τις αρνητικές τιμές του ημιτόνου αντιστοιχίζουμε την τιμή του 0 στο μέσο του διαστήματος που μπορεί να αναπαρασταθεί από το πρόγραμμα, δηλαδή την τιμή 128. Έτσι, οι θετικές του τιμές λαμβάνουν το πεδίο 128 – 255, ενώ οι αρνητικές το 0 – 127.

Το πρώτο βήμα στην εκτέλεση της λογικής του προγράμματος είναι η ανάγνωση της τιμής της τάσης που «βλέπει» ο ADC ώστε να γνωρίζει το πρόγραμμα ποια είναι η επιθυμητή συχνότητα του σήματος εξόδου. Αυτό γίνεται ελέγχοντας το bit *GO* του καταχωρητή *ADCON0*. Το bit αυτό λαμβάνει την τιμή 0 όταν η μονάδα ADC έχει ολοκληρώσει την διαδικασία μετατροπής του σήματος σε ψηφιακό και στον καταχωρητή *ADRES* υπάρχει μία έγκυρη ψηφιακή τιμή.

Η τιμή που δίδεται από την μονάδα ADC χρησιμοποιείται ως «στόχος» ή περίοδος για την μονάδα μετρητή. Όπως αναφέρεται και παραπάνω, χρησιμοποιείται η μονάδα *TMR0* σε λειτουργία 8 bit. Στην λειτουργία αυτή η τιμή της περιόδου του μετρητή αποθηκεύεται στον καταχωρητή *TMR0H* ο οποίος έχει μέγεθος 8 bit. Ένα πρόβλημα που προκύπτει εδώ είναι ότι η τιμή που δίνει στην έξοδό της η μονάδα ADC έχει μέγεθος 12 bit. Για να γίνει σωστά κλιμάκωση της τιμής πριν αυτή αποθηκευτεί στον καταχωρητή *TMR0H* εφαρμόζεται σε αυτήν η πράξη της δεξιάς ολίσθησης κατά 1 τέσσερις φορές.

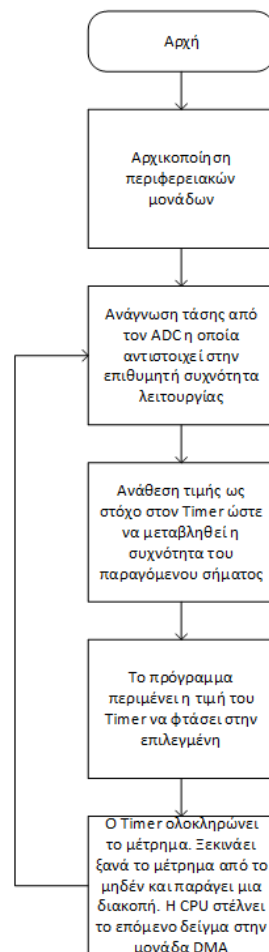
Πλέον η μονάδα του μετρητή είναι έτοιμη να ξεκινήσει την λειτουργία της. Ο μετρητής *TMR0* αυξάνει την τιμή του καταχωρητή *TMR0L* κατά 1 σε κάθε κύκλο λειτουργίας του. Όταν οι τιμές των *TMR0H* και *TMR0L* γίνουν ίσες, τότε η μονάδα παράγει μία διακοπή. Η διακοπή γίνεται αντιληπτή εάν ελεγχθεί το πεδίο *TMR0IF* του καταχωρητή

PIR3. Η λογική εδώ είναι πως το πρόγραμμα «περιμένει» να εμφανιστεί η διακοπή από την μονάδα *TMR0*.

Στην πρώτη, και απλούστερη, υλοποίηση του υλικολογισμικού την μεταφορά της τιμής του δείγματος του ημιτόνου στην μονάδα *DMA* αναλάμβανε η *CPU* του μικροελεγκτή. Μόλις εμφανιζόταν η διακοπή από την μονάδα *TMR0* ξεκινούσε η διαδικασία μεταφοράς της τιμής. Σε κώδικα *C* αυτό μεταφράζεται σε μία απλή ανάθεση τιμής, δηλαδή

```
DAC1DATL = sinVals[i++];
```

Το πρόβλημα με την προσέγγιση αυτή είναι ότι η *CPU* αναλαμβάνει να ολοκληρώσει την παραπάνω διαδικασία. Αυτό αποτελεί σπατάλη πόρων, τόσο από υπολογιστικής όσο και ενεργειακής άποψης. Ο χρόνος που δαπανάται μέχρι τα δεδομένα από τη μνήμη να φτάσουν στον καταχωρητή της μονάδας *DAC*, έχει σημαντική επίπτωση στην συχνότητα του παραγόμενου σήματος. Λίγοι μόνο κύκλοι ρολογιού καθυστέρησης αρκούν για να μειώσουν τη μέγιστη συχνότητα που μπορεί να υποστηριχθεί του παραγόμενου σήματος.



Εικόνα 17 - Λογικό διάγραμμα υλικολογισμικού

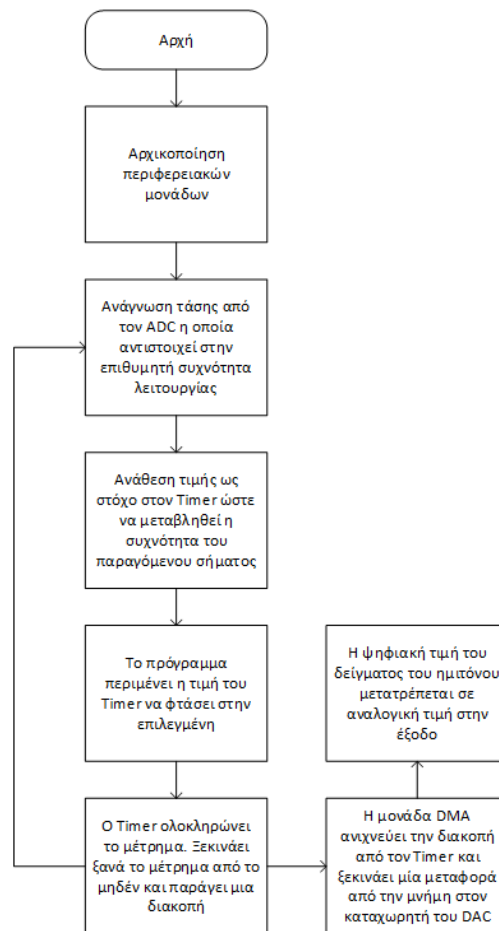
4.2 Υλοποίηση με χρήση της μονάδας DMA

Για να επιλυθεί το πρόβλημα που παρουσιάζεται στην παραπάνω υλοποίηση και να αυξηθεί η μέγιστη συχνότητα του παραγόμενου σήματος, έγινε χρήση της μονάδας DMA του μικροελεγκτή.

Σε αυτήν, και τελική, υλοποίηση την μεταφορά δεδομένων από την μνήμη του μικροελεγκτή στην μονάδα *DAC* αναλαμβάνει η μονάδα *DMA*. Η μονάδα αυτή προγραμματίζεται έτσι ώστε να εκτελεί μία μεταφορά σε κάθε εμφάνιση διακοπής από την μονάδα *TMR0*. Έτσι λοιπόν η μονάδα *DMA* «περιμένει» τον μετρητή *TMR0* να παράξει μία διακοπή. Όταν γίνει αυτό τότε μεταφέρεται ένα δείγμα του σήματος στην έξοδο και μηδενίζεται το bit της διακοπής *TMR0IF* για να ξεκινήσει εκ νέου η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος συχνότητας στην παρούσα υλοποίηση.

Με την χρήση της μονάδας *DMA* αποφεύγεται η καθυστέρηση που αναφέρθηκε στην πρώτη υλοποίηση, στην οποία η ίδια η *CPU* αναλάμβανε να μεταφέρει τα δεδομένα από την μνήμη στην μονάδα *DAC*. Αυτό μεταφράζεται σε περισσότερη διαθέσιμη επεξεργαστική ισχύ για το υλικολογισμικό μας το οποίο οδηγεί τελικά σε μεγαλύτερη μέγιστη συχνότητα του παραγόμενου σήματος.

Η λειτουργία που υλοποιείται από το υλικολογισμικό που περιγράφεται παραπάνω, αναπαρίσταται σχηματικό στο ακόλουθο λογικό διάγραμμα.

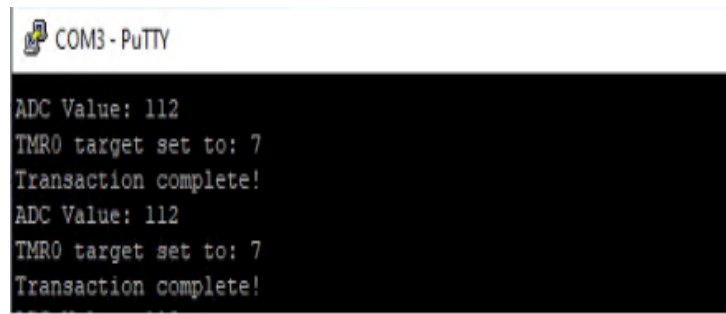


Εικόνα 18 - Λογικό διάγραμμα υλικολογισμικού

Για την παρακολούθηση της εξέλιξης της εκτέλεσης του υλικολογισμικού κατά την ανάπτυξή του, χρησιμοποιήθηκε η μονάδα *UART*. Κατά την σύνδεση της αναπτυξιακής πλακέτας *Curiosity Nano* στον υπολογιστή ανατίθεται σ' αυτήν μία θύρα *COM* (*Communication Port*). Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για την σειριακή επικοινωνία του υπολογιστή με περιφερειακά. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται από την μονάδα *UART* για την επικοινωνία με τον υπολογιστή.

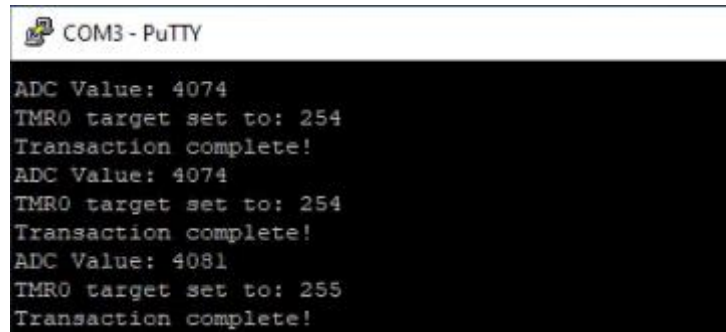
Κατά την ανάπτυξη λοιπόν, χρειαζόμαστε την πληροφορία για την τιμή που υπολογίζει η μονάδα *ADC* μετά την μετατροπή της αναλογικής τιμής σε ψηφιακή, την τιμή που θα δοθεί ως στόχος στην μονάδα μετρητή *TMR0* και τέλος μία ειδοποίηση για το πότε ολοκληρώνεται μία μεταφορά από την μνήμη του μικροελεγκτή στην μονάδα *DAC*. Για την παρακολούθηση των παραπάνω, εκτυπώνονται οι τιμές των καταχωρητών *ADRES*, *TMR0H* και ένα μήνυμα μετά τον καθαρισμό της διακοπής που παράγει η μονάδα *TMR0* αντίστοιχα.

Στιγμιότυπα στα οποία φαίνονται τα όσα περιγράφηκαν παραπάνω παρουσιάζονται ακολούθως



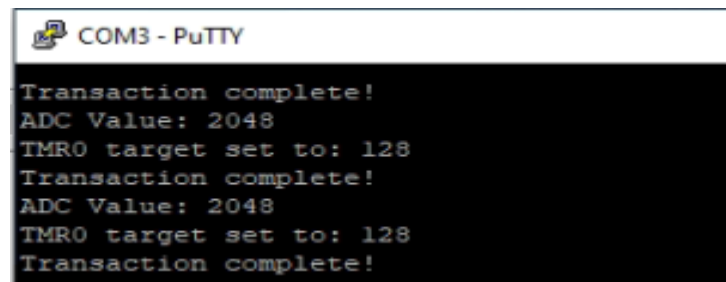
```
COM3 - PuTTY
ADC Value: 112
TMR0 target set to: 7
Transaction complete!
ADC Value: 112
TMR0 target set to: 7
Transaction complete!
```

Εικόνα 19 - Στιγμιότυπο της εξόδου της μονάδας UART όταν το trimmer είναι σε μια θέση χαμηλής αντίστασης



```
COM3 - PuTTY
ADC Value: 4074
TMR0 target set to: 254
Transaction complete!
ADC Value: 4074
TMR0 target set to: 254
Transaction complete!
ADC Value: 4081
TMR0 target set to: 255
Transaction complete!
```

Εικόνα 20 - Στιγμιότυπο της εξόδου της μονάδας UART όταν το trimmer είναι στην θέση της μέγιστης αντίστασης



```
COM3 - PuTTY
Transaction complete!
ADC Value: 2048
TMR0 target set to: 128
Transaction complete!
ADC Value: 2048
TMR0 target set to: 128
Transaction complete!
```

Εικόνα 21 - Στιγμιότυπο της εξόδου της μονάδας UART όταν το trimmer είναι στην μεσαία θέση του διαθέσιμου εύρους

Στα παραπάνω στιγμιότυπα φαίνονται τα μηνύματα τα οποία στέλνει η μονάδα UART στον υπολογιστή όταν το trimmer βρίσκεται σε διαφορετικές θέσεις και άρα η μονάδα ADC βλέπει διαφορετική τιμή τάσης στην είσοδό της.

Στο πρώτο στιγμιότυπο η τιμή που δίνει ως έξοδο η μονάδα ADC είναι 112. Αυτή αντιστοιχεί σε μια θέση χαμηλής αντίστασης και είναι η χαμηλότερη αποδεκτή τιμή που μπορεί αν επιλέξει ο χρήστης μέσω του trimmer. Η τιμή που δίνεται στην μονάδα TMR0 είναι το $122 \div 16 \approx 7$. Αυτός είναι και ο στόχος της μονάδας TMR0. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν το παραγόμενο σήμα θα έχει την μέγιστη δυνατή συχνότητα, καθώς η μονάδα TMR0 θα παράγει συχνότερα διακοπές οι οποίες με την σειρά τους θα προκαλούν την μεταφορά δεδομένων στην έξοδο μέσω της μονάδας DAC.

Αντίστοιχα στο δεύτερο στιγμιότυπο φαίνεται η κατάσταση του υλικολογισμικού όταν το trimmer τεθεί στην τιμή μέγιστης αντίστασης. Τότε, η μονάδα ADC δίνει στην έξοδο

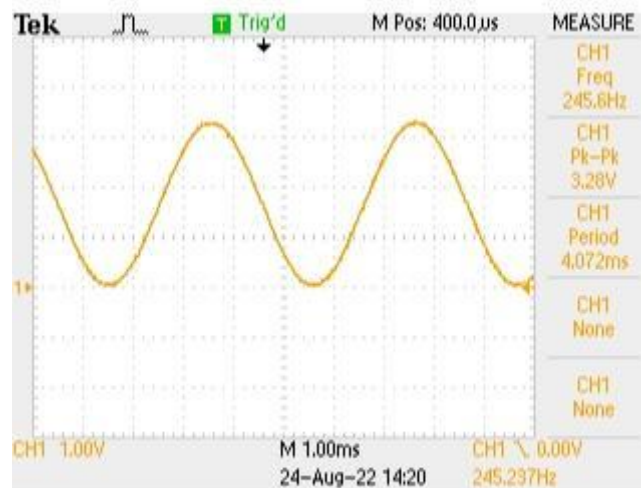
Υλοποίηση γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή PIC18F57Q43.

της την τιμή 4095 , ενώ ως στόχος της μονάδας *TMR0* ανατίθεται η τιμή $4095 \div 16 \approx 255$. Τώρα η συχνότητα του παραγόμενου σήματος θα είναι η ελάχιστη δυνατή καθώς το χρονικό διάστημα, δηλαδή η περίοδος, μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων του σήματος θα είναι το μέγιστο.

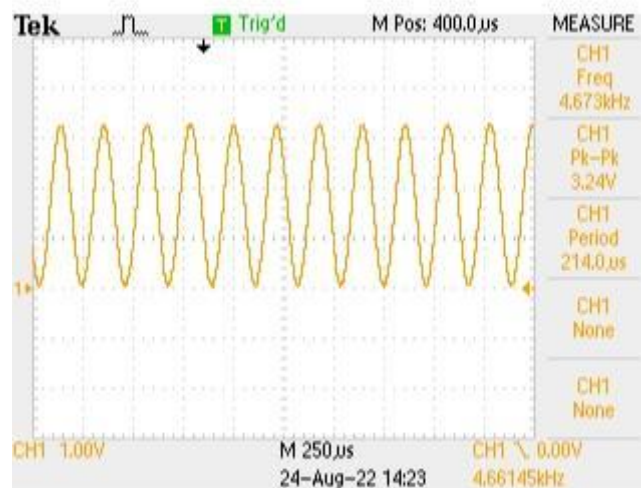
Τέλος, φαίνονται οι τιμές σε μία ενδιάμεση θέση του trimmer.

5. Συμπεράσματα και προοπτικές

Η παρούσα υλοποίηση πετυχαίνει συχνότητες από 245Hz έως 4.7kHz. Στα ακόλουθα δύο στιγμιότυπα από την οθόνη του παλμογράφου φαίνεται το παραγόμενο σήμα στις δύο ακραίες τιμές (ελάχιστη και μέγιστη) συχνότητας που παρέχονται από την γεννήτρια.



Εικόνα 22 - Παραγόμενο ημιτονοειδές σήμα στην ελάχιστη παρεχόμενη συχνότητα στα 245.6 Hz



Εικόνα 23- - Παραγόμενο ημιτονοειδές σήμα στην μέγιστη παρεχόμενη συχνότητα στα 4.67 kHz

Λαμβάνοντας υπόψιν το πολύ χαμηλό κόστος του μικροελεγκτή PIC18F57Q43, ακόμα και σε έκδοση αναπτυξιακής πλακέτας, αλλά και της απλότητας του firmware και του περιφερειακού κυκλώματος που αναπτύχθηκε σε συνδυασμό με τα ικανοποιητικά αποτελέσματα που ελήφθησαν συμπεραίνεται πως η χρήση

μικροελεγκτών για την παραγωγή συναρτήσεων για εργαστηριακή χρήση αποτελεί όχι μόνο εφικτό αλλά και ελκυστικό σενάριο.

Σε μελλοντικές υλοποιήσεις θα μπορούσαν να προστεθούν δυνατότητες όπως η παραγωγή άλλης μορφής κυματομορφών όπως τριγωνικές ή τετραγωνικές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε προσθέτοντας χαρακτηριστικά στο firmware, για παράδειγμα αξιοποιώντας την μονάδα *PWM*, είτε προσθέτοντας παραπάνω στοιχεία στο περιφερειακό κύκλωμα με σκοπό τον σχεδιασμό φίλτρων για την μεταβολή ήδη υπάρχοντος ημιτονοειδούς σήματος σε άλλη μορφή.

Βιβλιογραφία

- [1] Wikipedia Microcontroller <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller/>
- [2] Wikipedia PIC Microcontoller <http://en.wikipedia.org/wiki/PICmicrocontroller/>
- [3] PIC18F27/47/57Q43 Data Sheet
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC18F27-47-57Q43-Data-Sheet-DS40002147E.pdf>
- [4] PIC16F877A Timer [Ηλεκτρονική πηγή]. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: https://exploreembedded.com/wiki/PIC16f877a_Timer. [Τελευταία πρόσβαση 11/7/2022].
- [5] PIC18F57Q43 Curiosity Nano Schematics <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/DM164150>
- [6] Purkait, P. (2013). *Electrical and electronics measurements and instrumentation*. McGraw-Hill Education.
- [7] Gonzalez, G. (2006). *Foundations of oscillator circuit design*. Artech.
- [8] Williams, J. (Ed.). (1991). *Analog circuit design: art, science and personalities*. Newnes.
- [9] Ndjountche, T. (2018). *Amplifiers, comparators, multipliers, filters, and oscillators*. CRC Press.
- [10] Oscillator Circuits: Frontiers in Design, Analysis and Applications
- [11] Predko, M. (2008). *Programming and customizing the PIC microcontroller* (p. 1263). New York, NY: McGraw-Hill.
- [12] Morton, J. (2005). *The PIC microcontroller: your personal introductory course*. Elsevier.
- [13] Bayle, J. (2013). *C programming for Arduino*. Packt Publishing Ltd.
- [14] King, K. N. (2008). *C programming: a modern approach*. WW Norton & company.
- [15] Ibrahim, D. (2006). *Microcontroller based applied digital control*. John Wiley & Sons.

Παράρτημα Α – Firmware

uart.c

```
#include <xc.h>

void DEBUG_UART_INIT() {
    // Καθορισμός ακροδέκτη RF0 ως ψηφιακή έξοδος και
    // ορισμός του ως σειριακή έξοδος της UART1
    ANSELFBits.ANSELFO = 0;
    TRISFbits.TRISFO = 0;
    // U1TX -> RF0
    RF0PPS = 0x20;
    // Καθορισμός ακροδέκτη RF1 ως ψηφιακή είσοδος και
    // ορισμός του ως σειριακή είσοδος της UART1
    ANSELFBits.ANSELF1 = 0;
    TRISFbits.TRISF1 = 1;
    // U1RX <- RF1
    U1RXPPS = 0b00101001;
    // Καθορισμός baud rate στα 115200
    U1BRGH = 0;
    U1BRGL = 139;
    // Ρυθμίσεις σειριακής θύρας UART1
    U1CON0 = 0;
    U1CON0bits.BRGS = 1;
    U1CON0bits.TXEN = 1;
    U1CON0bits.RXEN = 1;
    U1CON2 = 0;
    U1CON1 = 0;
    // Ενεργοποίηση σειριακής θύρας UART1
    U1CON1bits.ON = 1;
}

// Υλοποίηση της συνάρτησης putchar() για τη χρήση εντολών
// printf στη σειριακή θύρα UART1
void putchar(unsigned char data){
    // Αναμονή για όσο ο transmit buffer είναι γεμάτος
    while(U1FIFObits.TXBF == 1);
    // Φόρτωση δεδομένων από την παράμετρο data στον transmit buffer
    U1TXB = data;
}
```

ADC.c

```
#include <xc.h>
void ADC_INIT() {
    // Set A0 as analog input
    ANSELAbits.ANSELA0 = 1;
    // Disable A0 output driver. A0 is configured as an input (tri-
    stated)
    TRISAbits.TRISA0 = 1;
    // [0] Use Fosc
    // [1] Use ADCRC (~600kHz)
    ADCON0bits.CS = 0;
    // Στοίχιση του αποτελέσματος δεξιά
    ADCON0bits.FM = 1;
    // Επιλογή θετικής και αρνητικής τάσης αναφοράς
    // Vref+ = VDD
    ADREFbits.PREF = 0;
    // Vref- = VSS
    ADREFbits.NREF = 0;
    // Επιλογή χρονικής καθυστέρησης εκφόρτισης πυκνωτή
    // δειγματοληψίας και συγκράτησης
    // (Sample and Hold capacitor)
    // 10 ADCRC clocks
    ADPRE = 10;
    // Επιλογή χρονικής καθυστέρησης φόρτισης πυκνωτή
    // δειγματοληψίας και συγκράτησης
    // (Sample and Hold capacitor)
    // 10 ADCRC clocks (10μs-60μs)
    ADACQ = 10;
    // Καθορισμός mode λειτουργίας του ADC
    ADCON2bits.MD = 0;
    // Καθαρισμός interrupt flag του ADC
    PIR2bits.ADTIF = 0;
    // ADC Threshold Interrupt priority high
    IPR2bits.ADTIP = 1;
    // ADC Threshold Interrupt Enable
    PIE2bits.ADTIE = 1;
    // Enable the ADC unit
    ADCON0bits.ON = 1;
}
```

timer.c

```
#include <pic18f57q43.h>

void TIMER_INIT(){
    // Enable the timer unit
    T0CON0bits.EN = 1;
    // Set the timer to 8 bit mode
    T0CON0bits.MD16 = 0;
    // No Postscaler [1:1]
    T0CON0bits.OUTPS = 0b0000;
    // Set the clock source to Fosc / 4
    T0CON1bits.CS = 0b010;
    // The timer is synced to Fosc / 4
    T0CON1bits.ASYNC = 0;
    // No Prescaler [1:1]
    T0CON1bits.CKPS = 0b0000;
}
```

DAC.c

```
#include <pic18f57q43.h>

void DAC_INIT(){
    //Enable the DAC
    DAC1CONbits.EN = 1;
    //DACxOUT is enabled on pin RA2 only
    DAC1CONbits.OE = 0b10;
    //Vref+ = VDD
    DAC1CONbits.PSS = 0b00;
    //Vref- = VSS
    DAC1CONbits.NSS = 0b00;
}
```

DMA.c

```
#include <pic18f57q43.h>

#include "dma.h"

void DMA_INIT(uint24_t source, uint8_t size){
    // Select the desired DMA, [0]
    DMASELECT = 0;
    DMAAnDSA = (uint16_t) &DAC1DATL;
    DMAAnSSA = source;
    DMAAnDSZ = 1;
    DMAAnSSZ = size;
    DMAAnCON1bits.SMR = 0b00;
    DMAAnCON1bits.SSTP = 0;
    DMAAnCON1bits.DSTP = 0;
    DMAAnCON1bits.DMODE = 0; // Destination PTR is unchanged
    DMAAnCON1bits.SMODE = 1; // Source PTR increments
    DMAAnSIRQ = IRQ_TMR0;

    // Clear Destination Count Interrupt Flag bit
    PIR2bits.DMA1DCNTIF = 0;
    // Clear Source Count Interrupt Flag bit
    PIR2bits.DMA1SCNTIF = 0;
    // Clear Abort Interrupt Flag bit
    PIR2bits.DMA1AIF = 0;
    // Clear Overrun Interrupt Flag bit
    PIR2bits.DMA1ORIF = 0;

    PIE2bits.DMA1DCNTIE = 0;
    PIE2bits.DMA1SCNTIE = 0;
    PIE2bits.DMA1AIE = 0;
    PIE2bits.DMA1ORIE = 0;

    //EN enabled; SIRQEN enabled; DGO not in progress; AIRQEN disabled;
    DMAAnCON0 = 0xC0;
}

void LOCK_ARBITER_REGISTERS(){
    PRLOCK = 0x55; // This sequence
    PRLOCK = 0xAA; // is mandatory
    PRLOCKbits.PRLOCKED = 1; // for DMA operation
}
```

main.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>
#include <xc.h>
#include <pic18.h>

#include "adc.h"
#include "uart.h"
#include "timer.h"
#include "dma.h"

#define _XTAL_FREQ 64000000

uint8_t sinVals[] =
{128,131,134,137,140,143,146,149,152,155,158,161,164,167,170,
173,176,178,181,184,187,189,192,195,197,200,202,205,207,209,212,214,216
,218,220,
222,224,226,228,230,232,233,235,237,238,239,241,242,243,244,245,246,247
,248,249,
250,250,251,251,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,251,251,251,250
,249,249,
248,247,246,245,244,243,241,240,239,237,236,234,233,231,229,227,225,223
,221,219,
217,215,213,211,208,206,203,201,198,196,193,191,188,185,183,180,177,174
,171,168,
165,162,159,156,153,150,147,144,141,138,135,132,129,127,124,121,118,115
,112,109,
106,103,100,97,94,91,88,85,82,79,76,73,71,68,65,63,60,58,55,53,50,48,45
,43,41,
39,37,35,33,31,29,27,25,23,22,20,19,17,16,15,13,12,11,10,9,8,7,7,6,5,5,
5,4,4,4,
4,4,4,4,4,4,4,5,5,6,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,17,18,19,21,23,24,26,28,3
0,32,34,
36,38,40,42,44,47,49,51,54,56,59,61,64,67,69,72,75,78,80,83,86,89,92,95
,98,101,
104,107,110,113,116,119,122,125,128};

void main(void) {
    // Αρχικοποίηση της UART1 για χρήση ως debug UART
    // DEBUG_UART_INIT();
    // Αρχικοποίηση μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
    ADC_INIT();
    // Αρχικοποίηση μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό
    DAC_INIT();
}
```

```
// Αρχικοποίηση του timer
    TIMER_INIT();
// Αρχικοποίηση του DMA
    DMA_INIT((uint24_t)sinVals, 255);
    LOCK_ARBITER_REGISTERS();
// Αρχή διαδικασίας μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
// Ενεργοποίηση διαδικασίας μίας μετατροπής
    ADCON1bits.DSEN = 0;
// Καθορισμός τρόπος υπολογισμού του καταχωρητή ADERR
// ADERR = ADRES - ADSTPT
    ADCON3bits.CALC = 1;
// Καθορισμός τιμής καταχωρητή ADSTPT
    ADSTPT = 0;
// Καθορισμός άνω κατωφλίου
    ADUTH = 2047;
// Καθορισμός κατάστασης που θα σηματοδοτήσει τη διακοπή του bit
ADTIF
// Διακοπή όταν ADERR > ADUTH
    ADCON3bits.TMD = 6;
    ADPCH = 0;
    DAC1DATL = 0;

while (1) {
    // Εκκίνηση μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
    ADCON0bits.GO = 1;
    // Αναμονή μέχρι την ολοκλήρωση της μετατροπής
    // αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
    while (ADCON0bits.GO == 1);

    // Set the timer target
    TMR0Hbits.TMR0H = (ADRES >> 4);
    // Wait for timer
    while(!PIR3bits.TMR0IF);
    // Clear the interrupt
    PIR3bits.TMR0IF = 0b0;
}
return;
}
```