

Γιατί χρειαζόμαστε φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων στην είσοδο του ADC?

Μέχρι τώρα, σ' ένα «αποστειρωμένο» εργαστηριακό περιβάλλον, συνδέαμε τον αισθητήρα κατ' ευθείαν στην είσοδο του ADC του Arduino. Όμως σ' ένα πραγματικό περιβάλλον που ενδεχομένως υπάρχει αρκετός ηλεκτρονικός θόρυβος (π.χ. βιομηχανία) πρέπει να παρεμβάλλεται μεταξύ των ανωτέρω αναφερομένων συστημάτων ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (Low Pass Filter).

Η συχνότητα αποκοπής (f_c) αυτού του φίλτρου πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη της υψηλότερης συχνότητας του υπό ψηφιοποίηση χρήσιμου σήματος από τον αισθητήρα. Εννοείται ότι η υψηλότερη συχνότητα του υπό ψηφιοποίηση χρήσιμου σήματος πρέπει να είναι μικρότερη από το ήμισυ της συχνότητας δειγματοληψίας (f_s) του ADC. Για τον ADC του Arduino Uno η συχνότητας δειγματοληψίας (f_s) είναι 9,6KHz περίπου.

Από το ChatGPT:

Χρειαζόμαστε φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (anti-aliasing filter) στην είσοδο του **ADC** (Αναλογικό-Ψηφιακού Μετατροπέα) για να αποτρέψουμε το φαινόμενο του **aliasing**. Το aliasing συμβαίνει όταν συχνότητες του αναλογικού σήματος υπερβαίνουν τη μισή συχνότητα δειγματοληψίας του ADC (συχνότητα Nyquist) και αναδιπλώνονται στη ζώνη διέλευσης, δημιουργώντας παραμορφώσεις και ψευδείς συχνότητες στο ψηφιακό σήμα.

Πιο συγκεκριμένα:

1. **Προστασία από παραμορφώσεις:** Χωρίς το φίλτρο, οι υψηλές συχνότητες που είναι πάνω από τη συχνότητα Nyquist θα εμφανιστούν ως χαμηλότερες, ψευδείς συχνότητες στο ψηφιακό σήμα, προκαλώντας παραμόρφωση. Το φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων αποκόπτει αυτές τις ανεπιθύμητες συχνότητες.
2. **Ακριβής αναπαράσταση του σήματος:** Με τον περιορισμό του φάσματος του αναλογικού σήματος κάτω από τη συχνότητα Nyquist, εξασφαλίζεται ότι το σήμα που εισέρχεται στον ADC είναι κατάλληλο για ψηφιοποίηση, δίνοντας μια πιστή αναπαράσταση της επιθυμητής ζώνης συχνοτήτων.
3. **Απλοποίηση επεξεργασίας σήματος:** Το anti-aliasing φίλτρο διασφαλίζει ότι τα ψηφιακά σήματα είναι καθαρά και εύκολα επεξεργάσιμα, διευκολύνοντας εφαρμογές όπου η ακρίβεια είναι κρίσιμη.

Χωρίς το φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, οι υψηλές συχνότητες θα οδηγούσαν σε αλλοιώσεις που είναι δύσκολο έως αδύνατο να διορθωθούν μετά την ψηφιοποίηση.

Παράδειγμα aliasing συχνοτήτων

Όπως είπαμε το **aliasing** προκύπτει όταν οι συχνότητες ενός αναλογικού σήματος είναι μεγαλύτερες από τη μισή συχνότητα δειγματοληψίας του ADC (γνωστή ως συχνότητα Nyquist) και «αναδιπλώνονται», εμφανιζόμενες ως ψευδείς, χαμηλότερες συχνότητες στο ψηφιακό σήμα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αναλογικό σήμα με συχνότητα **700 Hz**, και προσπαθούμε να το δειγματοληψήσουμε με συχνότητα **1 kHz** (1000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο). Σύμφωνα με το θεώρημα Nyquist, η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να αναπαρασταθεί σωστά είναι 500 Hz (η μισή της συχνότητας δειγματοληψίας). Η συχνότητα των 700 Hz υπερβαίνει αυτό το όριο.

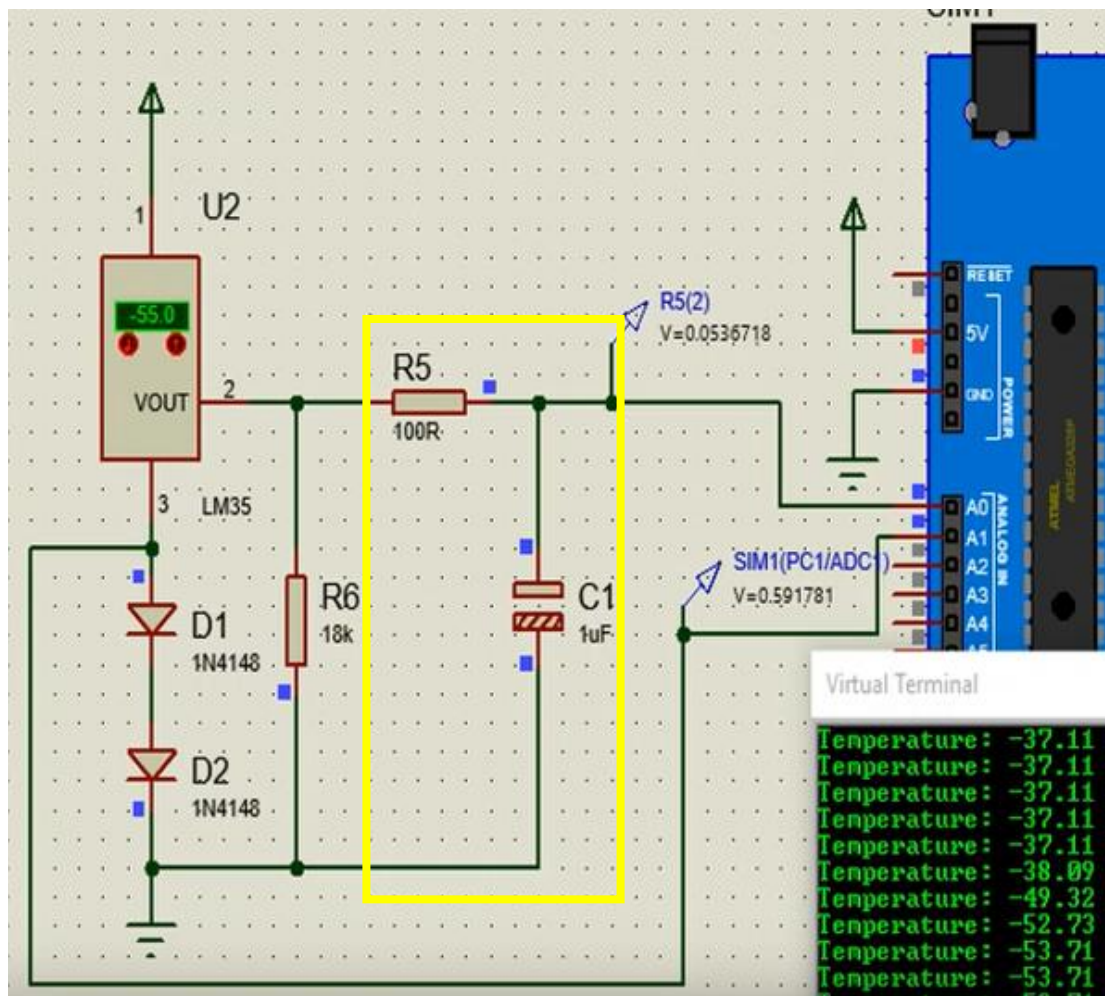
Αυτό που θα συμβεί είναι ότι η συχνότητα των 700 Hz θα εμφανιστεί στο ψηφιακό σήμα ως:

$$f_{\text{alias}} = f_s - f_{\text{signal}} = 1000 \text{ Hz} - 700 \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$$

Ερμηνεία του αποτελέσματος

Το ψηφιακό σήμα θα περιέχει μια ψευδή συχνότητα των **300 Hz** αντί για την πραγματική των 700 Hz, λόγω του aliasing. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να δημιουργήσει παραμορφώσεις και να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα σε συστήματα όπου η ακρίβεια των συχνοτήτων είναι κρίσιμη. Γι αυτό απαιτείται να τοποθετηθεί ένα LPF μεταξύ αισθητήρα και ADC ώστε να αποκόβει το σήμα συχνότητας 700Hz.

Στο παρακάτω σχήμα το κύκλωμα εντός του κίτρινου πλαισίου είναι ένα παθητικό Φίλτρο Διέλευσης Χαμηλών Συχνοτήτων R – C πρώτης τάξης (Τοπολογία ενός πόλου).



Σχήμα από: <https://www.youtube.com/watch?v=N5j1X4P7LbA>

Η συχνότητα αποκοπής υπολογίζεται από τον τύπο: $F_c = \frac{1}{2 * \pi * R5 * C1} = \frac{1}{2 * \pi * 100 * 1 * 10^{-6}} =>$

$$=> F_c = \frac{1}{2 * \pi * 10^{-4}} = \frac{1}{0,0006283} \cong 1591,55Hz$$

Δηλαδή τα σήματα συχνοτήτων από 0Hz έως 1591Hz θεωρούμε ότι διέρχονται χωρίς εξασθένηση.