

Εισαγωγικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής & Τηλεπικοινωνιών

Άσκηση στους Συγκριτές και Ταλαντωτές

7^ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό Έτος 2021 – 2022

Ονοματεπώνυμο	Αριθμός Μητρώου
Μπούφαλης Οδυσσεύς – Δημήτριος	el18118
Στεφανάκης Γεώργιος	el18436

1) Υπολογισμός Υστέρησης

Γνωρίζουμε ότι οι οριακές τιμές της τάσης εισόδου για τις δύο καταστάσεις είναι οι εξής:

$$V_{in}^{+\rightarrow-} = V_T \frac{R_f + R}{R_f} - V_{out}^+ \frac{R}{R_f}$$

$$V_{in}^{-\rightarrow+} = V_T \frac{R_f + R}{R_f} - V_{out}^- \frac{R}{R_f}$$

Άρα η τάση υστέρησης είναι:

$$V_h = |V_{in}^{+\rightarrow-} - V_{in}^{-\rightarrow+}| = \frac{R}{R_f} |V_{out}^- - V_{out}^+|$$

2)

Τώρα το V_{in} είναι συνδεδεμένο στο «-» του op-amp. Άρα $V^- = V_{in}$.

Έχουμε:

$$I_1 = \frac{V_{cc} - V^+}{R_1}, I_2 = \frac{V^+ - V_{ee}}{R_2}, I_3 = \frac{V^+ - V_{out}}{R_f}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \Rightarrow \frac{V_{cc} - V^+}{R_1} = \frac{V^+ - V_{ee}}{R_2} + \frac{V^+ - V_{out}}{R_f} \Rightarrow$$

$$R_2 R_f V_{cc} - R_2 R_f V^+ = R_1 R_f V^+ - R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V^+ - R_1 R_2 V_{out} \Rightarrow$$

$$V^+ = \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2}$$

Στην κατάσταση Α έχουμε έξοδο V_{out}^+ και άρα έχουμε $V_A^+ > V_A^- \Rightarrow V_{in} < \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^+}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2}$

Αυξάνοντας την V_{in} για να πάμε στην Β η ανισότητα γίνεται οριακά ισότητα και εκεί έχουμε:

$$V_{in}^{+\rightarrow-} = \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^+}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2}$$

Αντίστοιχα στην κατάσταση Β έχουμε έξοδο V_{out}^- και $V_B^+ < V_B^- \Rightarrow V_{in} > \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^-}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2}$

Μειώνοντας την V_{in} για να πάμε στην Α η ανισότητα γίνεται οριακά ισότητα και εκεί έχουμε:

$$V_{in}^{- \rightarrow +} = \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^-}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2}$$

Για την υστέρηση έχουμε τον τύπο:

$$V_h = |V_{in}^{+ \rightarrow -} - V_{in}^{- \rightarrow +}| = V_{in}^{+ \rightarrow -} - V_{in}^{- \rightarrow +} = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2} \right) (V_{out}^+ - V_{out}^-)$$

Οι εναλλαγές θέλουμε να γίνονται στα $1 \pm 0,45 V$. Άρα $V_{in}^{+ \rightarrow -} = 1.45V$ και $V_{in}^{- \rightarrow +} = 0.55V$

Για $V_{out}^+ = 8,5 V$, $V_{out}^- = -8,5 V$ και τροφοδοσία $V_{CC} = 10 V$ και $V_{EE} = -10 V$:

$$\begin{aligned} V_h &= 1,45 - 0,55 = 17 \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2} \right) \Rightarrow \\ \frac{9}{170} &= 0,052941 = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_f + R_2 R_f} \right) \Rightarrow \\ \frac{161}{9} R_1 R_2 &= R_1 R_f + R_2 R_f \Rightarrow R_f = \frac{161}{9} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας στο $V_{in}^{+ \rightarrow -}$ την παραπάνω σχέση για το R_f προκύπτει ότι $R_1 = 0.8089 R_2$ και άρα αντικαθιστώντας πάλι πίσω στην σχέση για το R_f $R_f = 0.447 R_2$

Για $R_1 = 10 k\Omega$:

$$R_2 = 12.36 K\Omega$$

$$R_f = 5.52 K\Omega$$

3) Σε αυτό το κύκλωμα το ρόλο της εισόδου παίζει η φόρτιση-εκφόρτιση του πυκνωτή. Η τάση του πυκνωτή θα κυμαίνεται μεταξύ της (χαμηλής τιμής) $V_{in}^{- \rightarrow +}$ και της (υψηλής τιμής) $V_{in}^{+ \rightarrow -}$ για τις οποίες ισχύει όπως πριν:

$$\begin{aligned} V_{in}^{+ \rightarrow -} &= \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^+}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2} \\ V_{in}^{- \rightarrow +} &= \frac{R_2 R_f V_{cc} + R_1 R_f V_{ee} + R_1 R_2 V_{out}^-}{R_1 R_f + R_2 R_f + R_1 R_2} \end{aligned}$$

Θεωρούμε ότι ο πυκνωτής αρχικά βρίσκεται στη χαμηλή τιμή. Επομένως η έξοδος βρίσκεται στο “+” της τροφοδοσίας και έχουμε από τον ΝΤΚ (θεωρούμε ότι το ρεύμα I ρέει από την αντίσταση προς τον πυκνωτή, φορτίζοντάς τον):

$$V_{out}^+ - RI = u_c \Rightarrow V_{out}^+ - RC \frac{du_c}{dt} = u_c \Rightarrow \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC} u_c = \frac{V_{out}^+}{RC} \Rightarrow u_c = A e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)} + V_{out}^+$$

Η σταθερά A υπολογίζεται αν απαιτήσουμε για $t = 0$ να βρισκόμαστε στην χαμηλή τιμή.

$$-1 = A + 8,5 \Rightarrow A = -9.5$$

Αφού προσδιορίσουμε την σταθερά A μπορούμε να βρούμε τον χρόνο που κάνει ο πυκνωτής να ανέβει από την χαμηλή στην υψηλή τιμή. Αυτός ο χρόνος θα είναι ο μισός της περιόδου ταλάντωσης, λόγω συμμετρίας. Η εξίσωση που θα μας δώσει τον χρόνο ημιπεριόδου είναι η εξής: $u_c(t) = V_{in}^{+ \rightarrow -}$. Αντικαθιστώντας τις εκφράσεις έχουμε:

$$-9.5e^{-\left(\frac{T}{2RC}\right)} + 8.5 = 1 \Rightarrow$$

$$T = 0.473RC$$

Εδώ το ζητούμενο ήταν να επιτευχθεί κεντρική συχνότητα: $F_0 = 47 \text{ kHz}$. Δηλαδή περίοδος ίση με: $T = \frac{1}{F_0} = \frac{1}{47 \cdot 10^3} \approx 21,2 \mu\text{sec}$ και η ταλάντωση στο σημείο V^- είναι μεταξύ $+1$ και -1 . Δηλαδή, η ταλάντωση να γίνεται μεταξύ των ακραίων τιμών 1 V και -1 V . Για το σκοπό αυτό, με βάση το σύστημα εξισώσεων της προηγούμενης άσκησης αλλά με λίγο διαφορετικά σημεία αλλαγής ($+1$ και -1), βρίσκουμε ότι, για $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$:

$$R_f = 7.5 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = R_2$$

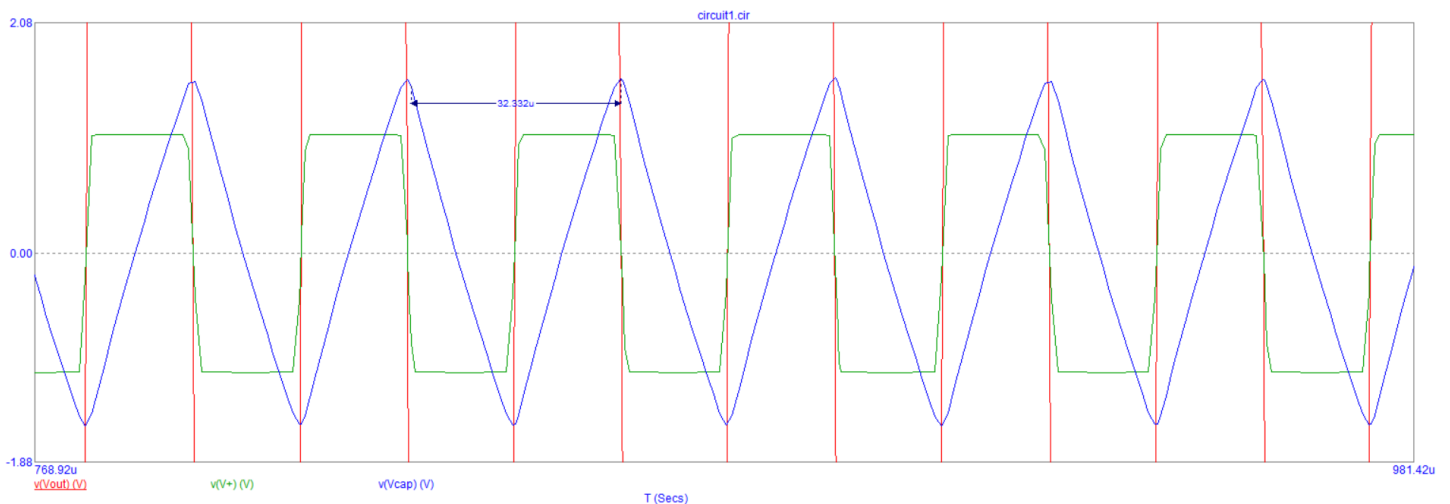
$$R_2 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_f = 37.5 \text{ K}\Omega$$

Άρα η παραπάνω σχέση για την περίοδο θα δώσει:

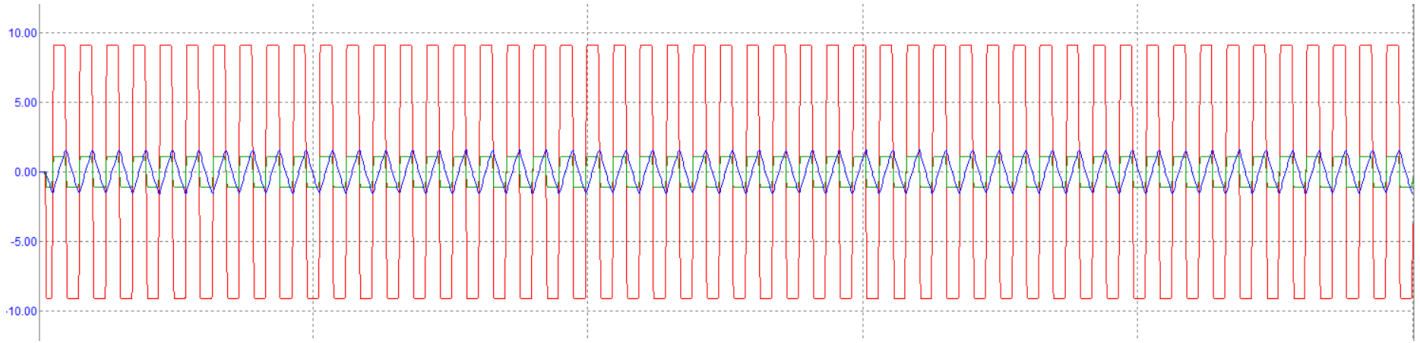
$$RC = 44.82 \times 10^{-6}$$

Επιλέγουμε αυθαίρετα $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 4,482 \text{ nF}$

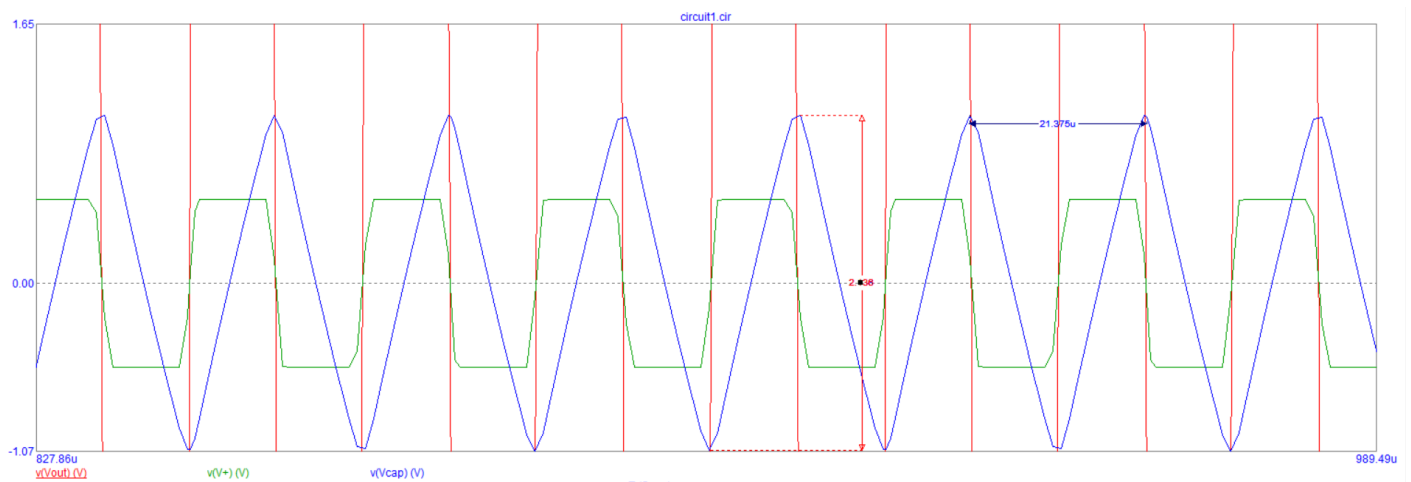
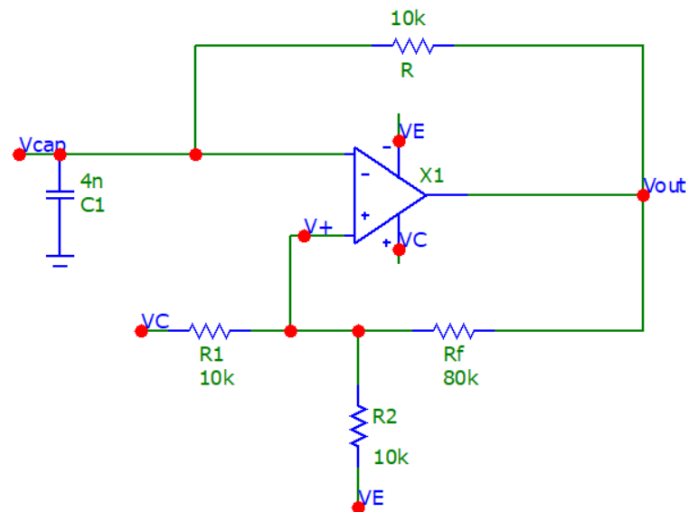


Παρατηρούμε ότι η τάση του πυκνωτή (μπλε) κυμαίνεται μεταξύ 1.579 V και -1.549 V ενώ η περίοδος του σήματος είναι $32.3 \mu\text{s}$. Αυτές οι αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές οφείλονται κυρίως στους περιορισμούς του opamp (πεπερασμένο slew rate, λειτουργία ως low-pass φίλτρο κλπ). Ο opamp δεν προλαβαίνει να ανταποκριθεί εγκαίρως στην αλλαγή της κατάστασης και έτσι ο πυκνωτής φορτίζει/ξεφορτίζει λίγο παραπάνω απ' όσο θα έπρεπε, οπότε και προκύπτει η αυξημένη κυμάτωση που παρατηρούμε στην transient ανάλυση. Για ευκολία στη σύγκριση έχει σχεδιαστεί και η τάση του κόμβου V^+ (πράσινο). Χρειάζεται να μειώσουμε τόσο το πλάτος όσο και την περίοδο της ταλάντωσης. Για τον σκοπό

αυτό θέλουμε αφενός να μειώσουμε την υστέρηση (αύξηση της R_f) και αφετέρου να μειώσουμε την σταθερά χρόνου της φόρτισης/εκφόρτισης του πυκνωτή (μείωση C).



Το τελικό κύκλωμα με τις διορθωμένες τιμές των στοιχείων και την απόκρισή του παρατίθενται παρακάτω.



Πετυχαίνουμε για τάση του τελεστικού V^- ταλάντωση που κυμαίνεται μεταξύ +1 και -1 Volt και περίοδο ίση με 21.375 μ s.