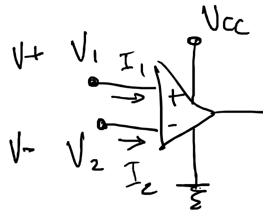
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥΣ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΥΝΗΘΩΣ ΤΡΙΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ (+ 1 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ) + 1 ΓΕΙΩΣΗ



V_1, V_2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

$V_0 =$ —''— —''— ΕΞΟΔΟΥ.

ΙΣΧΥΕΙ
$I_1 = 0$
$I_2 = 0$
$V_0 = G(V_1 - V_2)$
$G \to +\infty$

ΕΑΝ ΑΜΕΣΗ ΣΥΝΕΠΕΙΑ ΑΥΤΩΝ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΙΔΗ Η V_0 ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΕΙ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΤΕ $|V_1 - V_2| \to 0$.

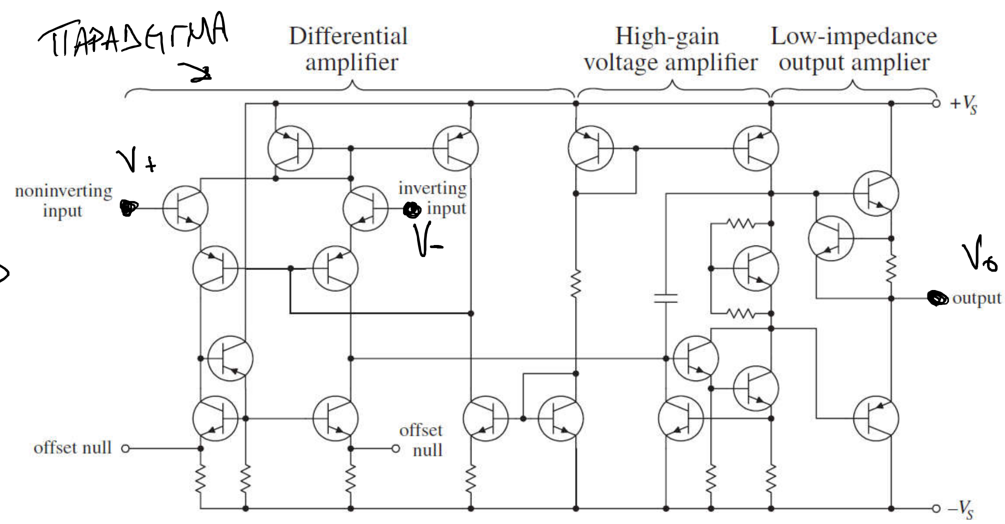
ΕΧΟΥΝ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ $R_0 \to 0$
ΜΕΓΑΛΗ —''— ΕΙΣΟΔΟΥ $R_I \to +\infty$

ΣΥΝΗΘΩΣ ΓΙΑ ΛΟΓΟΥΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΤΗΡΟΥΜΕ ΜΟΝΟ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥΣ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ $V+, V-, V_0$

ΤΙ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΕΝΑΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ (OPERATIONAL AMPLIFIER)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

ΔΕΙΓΜΑ

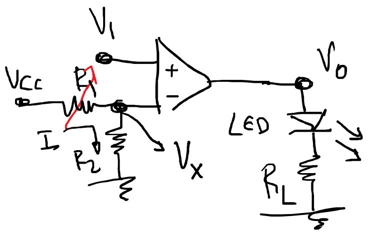


ΙΣΧΥΡΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ (ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ)

ΣΤΟΥΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥΣ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ (Τ.Ε.) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΠΑΝΤΑ ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΕΚΤΟΣ ΑΠΟ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

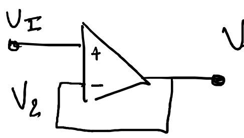
ΣΥΓΚΡΙΤΗΣ: ΘΕΛΩ ΝΑ ΑΝΑΨΩ ΕΝΑ LED ΜΟΛΙΣ Η V_1 ΠΕΡΑΣΕΙ ΤΟ ΚΑΤΩΦΛΙ V_x.

V_1 $V_x = \frac{R_2}{\ } V_{cc}$, $\{ V_{cc}, \ V_1 > V_x \to$ LED ΑΝΟΙΚΤΟ

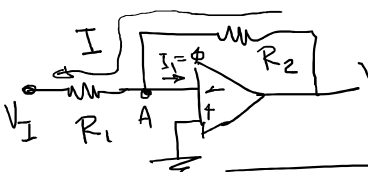


$$V_x = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{cc}$$

$$V_o = \begin{cases} V_{cc}, & V_1 > V_x \to \text{LED ΑΝΟΙΚΤΟ} \\ \phi, & V_1 \le V_x \to \text{LED ΚΛΕΙΣΤΟ} \end{cases}$$



$$\left.\begin{aligned} V_2 &= V_o \\ V_1 &= V_2 \end{aligned}\right| \Rightarrow V_o = V_I \Rightarrow G = \frac{V_o}{V_I} = 1$$

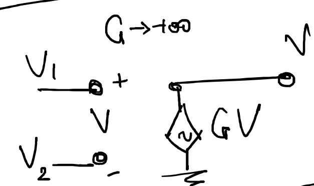


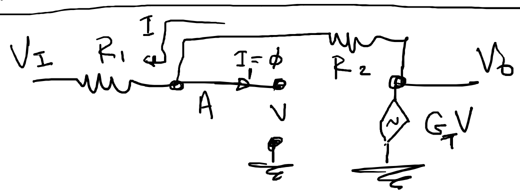
$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{V_o - V_A}{R_2} = + \frac{V_A - V_I}{R_1} \\ V_A &= \phi \end{aligned}\right| \Rightarrow \frac{V_o}{R_2} = - \frac{V_I}{R_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_I} = - \frac{R_2}{R_1}}$$

ΚΕΡΔΟΣ ΤΑΣΗΣ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΝΤΑ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (ΑΠΟΝΟΩΝΤΑΣ ΤΟ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ)

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΙΔΑΝΙΚΟΥ Τ.Ε →





ΕΠΙΛΥΣΗ ΓΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟ G_T

$$V_o = G_T \cdot V = G_T \cdot V_A$$

$$\left.\begin{aligned} V_o - V_A &= R_2 \cdot I \\ V_A - V_I &= R_1 \cdot I \end{aligned}\right| \overset{+}{\Rightarrow} V_o - V_I = (R_1 + R_2) \cdot I \quad (1)$$

$$V_o = G_T V_A = G_T (\underbrace{V_A - V_I}_{R_1 \cdot I} + V_I) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o = G_T R_1 \cdot I + G_T V_I \overset{(1)}{\Rightarrow} V_o = G_T R_1 \frac{V_o - V_I}{R_1 + R_2} + G_T V_I \Rightarrow$$

ΔΙΑΙΡΩ ΜΕ V_I

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_I} = \frac{G_T R_1}{R_1 + R_2} \left(\frac{V_o}{V_I} - 1 \right) + G_T \Rightarrow \frac{V_o}{V_I} \left(1 - \frac{G_T R_1}{R_1 + R_2} \right) = +G_T \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow$$

ΔΙΑΙΡΩ ΚΑΙ ΜΕ G_T

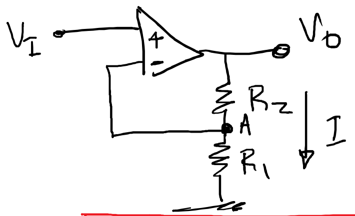
$$\frac{V_o}{V_I} = \frac{\frac{R_1 + R_2 - R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{1}{G_T} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_I} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 + R_2 - R_1 G_T}{G_T (R_1 + R_2)}} = \frac{G_T R_2}{R_1 + R_2 - R_1 G_T} = \frac{R_2}{\frac{R_1 + R_2}{G_T} - R_1}$$

ΟΥΦ!!

ΑΝ ΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΤΟ Τ.Ε. ΕΙΝΑΙ <u>ΠΟΛΥ ΜΕΓΑΛΟ</u> $\frac{R_1 + R_2}{G_T} \to \phi \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_I} = - \frac{R_2}{R_1}}$

ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ



$$I = \frac{V_o - V_A}{R_2} = \frac{V_A}{R_1} \Rightarrow \frac{V_o - V_I}{R_2} = \frac{V_I}{R_1} \Rightarrow$$

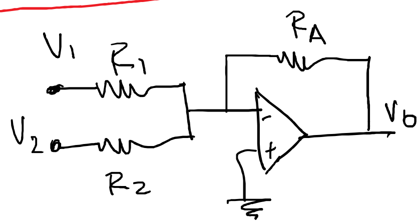
$$V_A = V_I$$

$$V_o R_1 - V_I R_1 = V_I R_2 \xRightarrow{\text{ΔΙΑΙΡΩ ΜΕ } V_I} \frac{V_o}{V_I} R_1 - R_1 = R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1} > 1}$$

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΡΟΣΘΕΣΗ

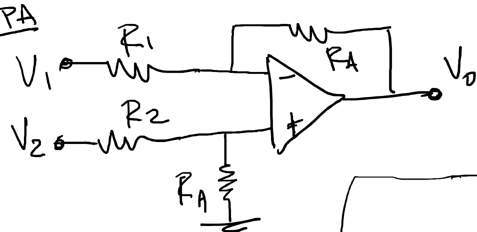
ΑΘΡΟΙΣΤΗΣ



$$V_o = -\frac{R_A}{R_1} \cdot V_1 - \frac{R_A}{R_2} V_2$$

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ

ΔΙΑΦΟΡΑ



$$V_o = \frac{R_A}{R_2} V_2 - \frac{R_A}{R_1} V_1$$

ΠΗΓΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ
ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ

ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΟΣ
ΕΚΘΕΤΗΣ
ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

ΦΙΛΤΡΑ: LOW PASS
HIGH PASS
BAND PASS

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

ΑΠΛΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ:

ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ:

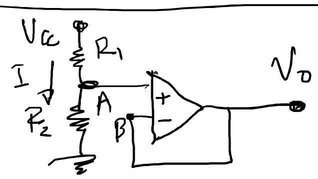
ΓΝΩΡΙΖΩ ΟΤΙ $V_I = V_A$ ΟΠΟΤΕ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ R ΕΧΩ $R = \frac{V_A - 0}{I} \Rightarrow$

$$\Rightarrow I = \frac{V_A}{R} = \frac{V_I}{R} \Rightarrow \boxed{I = \frac{V_I}{R}}$$

ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΔΕΝ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΟΠΟΙΟΔΗΠΟΤΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΑΘΕΤΕΙ

ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΑΛΛΑΞΩ ΚΑΙ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ.

ΠΗΓΗ ΤΑΣΗΣ:



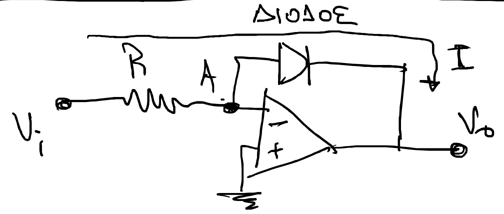
ΕΧΩ $V_A = V_B = V_o \Rightarrow$

ΔΙΑΙΡΕΤΗΣ ΤΑΣΗΣ $\Rightarrow$ $\frac{V_A}{V_{cc}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \boxed{V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{cc}}$

$\Rightarrow$ ΤΑΣΗΣ $\frac{V_A}{V_{CC}} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \Rightarrow \boxed{V_0 = \frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot V_{CC}}$

ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΗΝ R_1 Ή ΤΗΝ R_2 ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΑΛΛΑΞΩ ΤΗΝ V_0

ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ:



ΑΠΟ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΧΩ $V_A = \phi$.

$$R = \frac{V_i - \phi}{I} \Rightarrow I = \frac{V_i}{R} \quad (1)$$

ΤΟ ΡΕΥΜΑ I ΠΕΡΝΑΕΙ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΟΔΟ ΟΠΟΤΕ

$$I = I_s\left(e^{\frac{0-V_0}{nV_T}} - 1\right) = I_s e^{\frac{-V_0}{nV_T}} - \underbrace{I_s}_{\to \phi}$$

(ΤΟ I_s ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΟ)

(ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΟΔΟΥ)

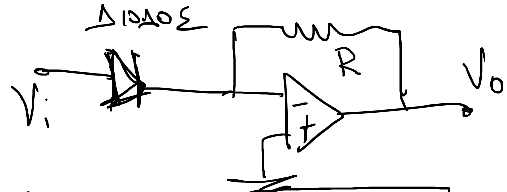
ΟΠΟΤΕ $I \simeq I_s e^{-\frac{V_0}{nV_T}} \overset{(1)}{\Rightarrow} I_s e^{-\frac{V_0}{nV_T}} = \frac{V_i}{R} \xrightarrow{\text{ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΖΩ}}$

$$\boxed{V_0 = -nV_T \log\left(\frac{V_i}{R\cdot I_s}\right)} \Rightarrow V_0 = k_1 \log(k_2 V_i)$$

Η ΕΞΟΔΟΣ V_0 ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ V_i

---

ΕΚΘΕΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ:

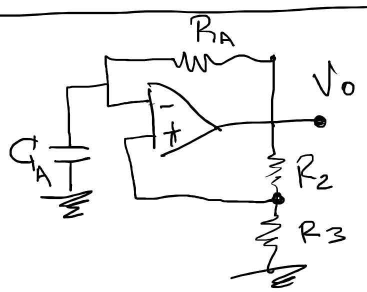


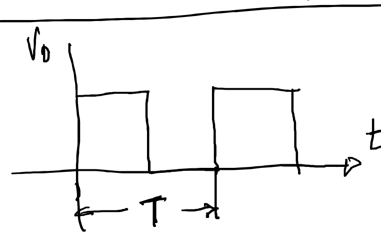
ΑΝ ΑΝΑΛΥΣΕΤΕ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΤΟΝ ΙΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΘΑ ΒΡΕΙΤΕ ΟΤΙ:

$$\boxed{V_0 = -RI_s e^{\frac{V_I}{nV_T}}}$$

Η ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ V_0 ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ V_I

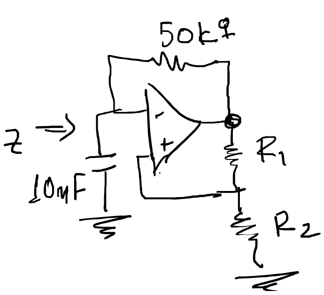
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ:



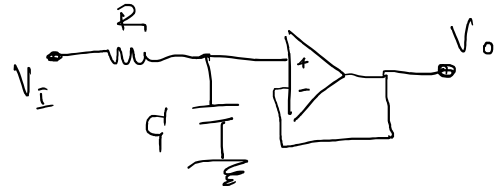


$$\frac{1}{T} = f_T = \frac{1}{2R_AC_A}$$

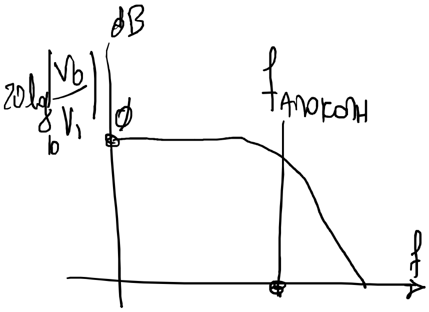
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔ. $\rightarrow$ $f_T \simeq 1kHz \Rightarrow$



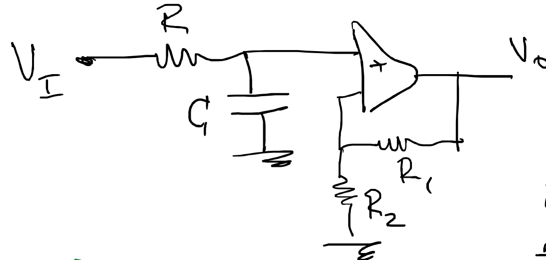
ΧΑΜΗΛΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ:
LOW-PASS FILTER:



$$f_{αποκοπή} = \frac{1}{2\pi RC}$$



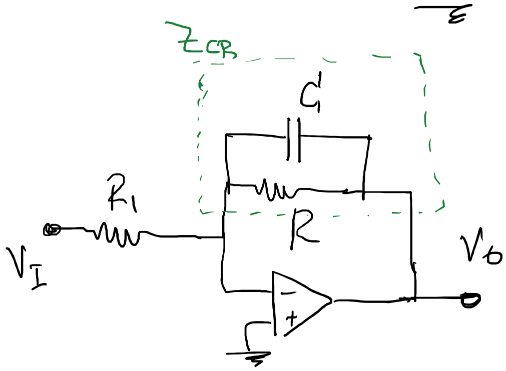
ΧΑΜΗΛΟΔΙΑΒΑΤΟ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ :)



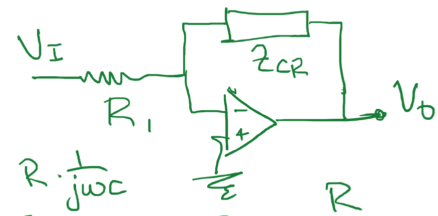
$$f_{Αποκοπή} = \frac{1}{2\pi RC}$$

ΚΕΡΔΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ $[0, f_c]$

$$\left|\frac{V_o}{V_I}\right| = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



$\Longleftrightarrow$



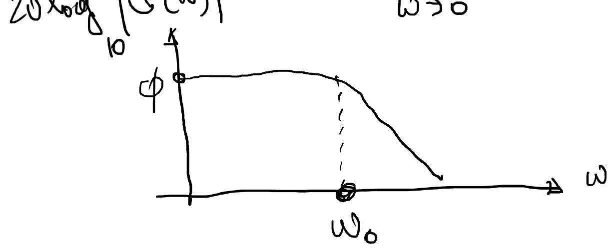
$$Z_{CR} = R \| Z_C = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega CR}$$

$$\frac{V_o(\omega)}{V_I(\omega)} = -\frac{Z_{CR}}{R_1} = -\frac{\frac{R}{1+j\omega CR}}{\frac{R_1}{1}} = \underbrace{\left(-\frac{R}{R_1}\right)}_{\text{DC GAIN}} \cdot \frac{1}{1 + j\omega CR} \Rightarrow$$

$$\boxed{|G(\omega)| = \left|\frac{V_o(\omega)}{V_I(\omega)}\right| = \frac{R}{R_1}\,\frac{1}{|1 + j\omega RC|}}\quad (A) \Rightarrow$$

ΧΑΜΗΛΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ΔΙΟΤΙ

$$\lim_{\omega \to 0} |G(\omega)| = \frac{R}{R_1}, \quad \lim_{\omega \to +\infty} |G(\omega)| = 0$$



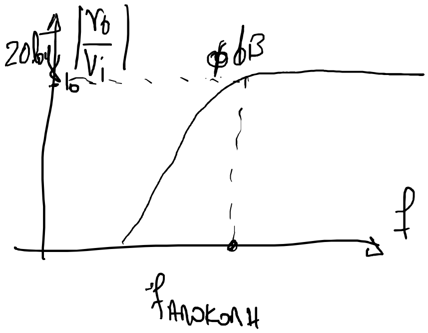
$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

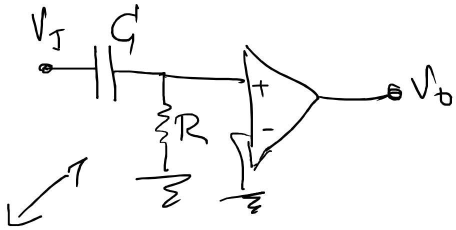
$$\omega = 2\pi f$$

$$(A) \Rightarrow |G(\omega)| = \frac{R}{R_1}\,\frac{\omega_0}{\sqrt{\omega^2 + \omega_0^2}}$$

(A) $\Rightarrow \left|G(\omega)\right| = \frac{R}{R_1}\,\frac{\omega_0}{\sqrt{\omega^2+\omega_0^2}}$

ΑΝΩΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ:
HIGH PASS:

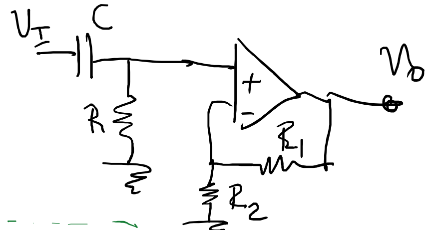




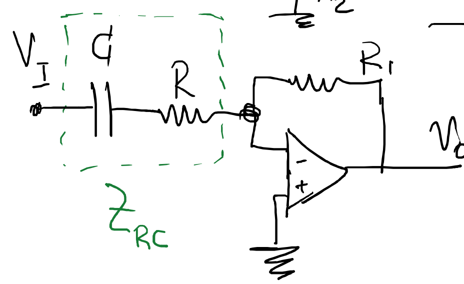
$$f_{αποκοπή} = \frac{1}{2\pi RC}$$

ΑΝΩΔΙΑΒΑΤΟ ΜΕ ΚΕΡΔΟΣ $\quad f_{αποκοπή} = \frac{1}{2\pi RC}$

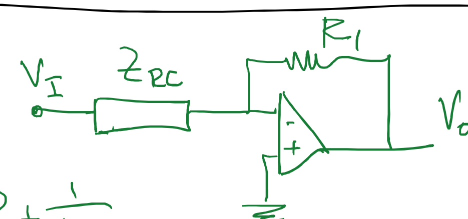
ΚΕΡΔΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ $\{f_{αποκοπή}, +\infty)$



$$\left|\frac{V_0}{V_I}\right| = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



$\Longleftrightarrow$



$$Z_{ΕΡ} = R + \frac{1}{j\omega C}$$

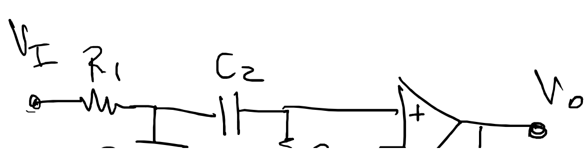
$$\frac{V_0(\omega)}{V_I(\omega)} = -\frac{R_1}{Z_{RC}} = -R_1\frac{1}{R+\frac{1}{j\omega C}} = \left(-\frac{R_1}{R}\right)\frac{1}{1+\frac{1}{j\omega CR}} \Rightarrow$$

$$\left|G(\omega)\right| = \left|\frac{V_0(\omega)}{V_I(\omega)}\right| = \frac{R_1}{R}\,\frac{1}{\left|1+\frac{1}{j\omega CR}\right|} \quad \text{Αν } \omega_0 = \frac{1}{RC} \Rightarrow$$

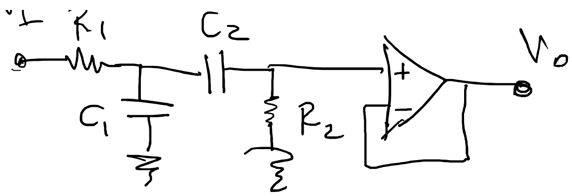
$$\left|G(\omega)\right| = \frac{R_1}{R}\,\frac{\omega}{\sqrt{\omega^2+\omega_0^2}} = \frac{R_1}{R}\,\frac{1}{\sqrt{1+\frac{\omega_0^2}{\omega^2}}} \Rightarrow \begin{cases} \lim\limits_{\omega\to 0}\left|G(\omega)\right| = 0 \\ \lim\limits_{\omega\to +\infty}\left|G(\omega)\right| = \frac{R_1}{R} \end{cases}$$

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΔΙΝΟΥΝ Ή ΖΩΝΟΔΙΑΒΑΤΑ Ή ΖΩΝΟΦΡΑΚΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.

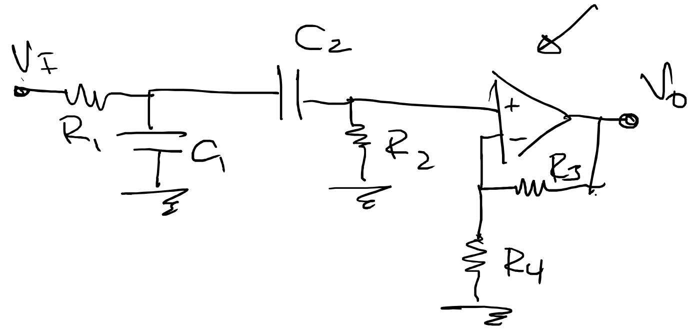
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:



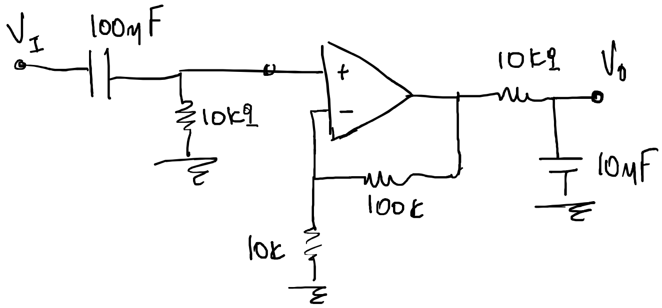
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:



ΜΕ ΚΕΡΔΟΣ $G = 1 + \frac{R_3}{R_4}$



ΑΣΚΗΣΗ.



① ΤΙ ΦΙΛΤΡΟ ΕΙΝΑΙ;

② ΠΟΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΕΧΕΙ;

③ ΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ;