

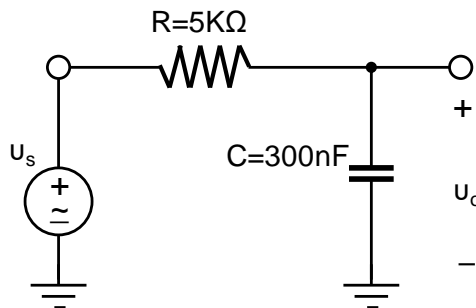
# ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΑΤΖΗΛΙΓΟΣ AM4835

## 4<sup>η</sup> Άσκηση

### 4.1 ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΧΡΟΝΟΥ

**Στόχος:** Η μελέτη ενός χαμηλοπερατού φίλτρου RC.

**Υλοποίηση:** Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 4.1. Χρησιμοποιήστε πυκνωτή  $C=300\text{nF}$  και τη μεταβλητή αντίσταση (τρίμερ) των  $10\text{K}\Omega$  για να υλοποιήσετε αντίσταση  $R=5\text{K}\Omega$ .



Σχήμα 4.1: Χαμηλοπερατό φίλτρο RC

#### Μετρήσεις:

Α) Δώστε στο κύκλωμα ημιτονικό σήμα  $u_s$  πλάτους  $V_s=4\text{V}$  (DC-offset=0) από τη γεννήτρια σήματος. Μεταβάλλετε, σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί, τη συχνότητα  $f_s$  του σήματος από  $10\text{Hz}$  έως  $5\text{KHz}$  και μετρήστε (με τον παλμογράφο) το πλάτος  $V_o$  του σήματος εξόδου  $u_o$  και τη χρονική απόκλιση  $\Delta t$  των σημάτων  $u_s$  και  $u_o$ . Με βάση τις μετρήσεις, υπολογίστε την απολαβή πλάτους  $20\log_{10}(V_o/V_s)$  (σε dB) και τη διαφορά φάσης  $\phi_{\text{deg}}$  ανάμεσα στο σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου. Όπου  $T_s$  και  $\omega_s$  η περίοδος και η γωνιακή συχνότητα του σήματος εισόδου αντίστοιχα.

$f_s$ (Hz)	10	20	50	100	200	500	1K	2K	5K
$\omega_s = 2\pi f_s$ (rad/sec)	62,8	125,7	314,2	628,3	1256,6	3141,5	6283,0	12566	31415
$T_s = 1/f_s$ (sec)	100m	50m	20m	10m	5m	2m	1m	0,5m	0,2m



<b>Δt(s)</b>	-1.487m	-1.485m	-1.401m	-1.2001m	-862.98u	-432.09u	-241.69u	-152.64u	-65.036
<b>*φ<sub>deg</sub></b>	-5.32	-10.6	-25.12	-43.17	-62.07	-77.5	-88.31	-109.38	-117.14
<b>V<sub>o</sub> (V)</b>	4	3.9308	3.6197	2.9208	1.864	818m	449.7m	238.78 3m	143.808m
<b>20log<sub>10</sub>(V<sub>o</sub>/V<sub>s</sub>)(db)</b>	0	-0.153db	-0.867db	-2.733db	-6.632db	-13.78db	-18.99db	-24.48db	-28.88db

\*Ισχύει:

$$\phi_{\text{rad}} = 2\pi \times \frac{\Delta t}{T_s} \Rightarrow \phi_{\text{deg}} = 2\pi \times \frac{\Delta t}{T_s} \times 57,295$$

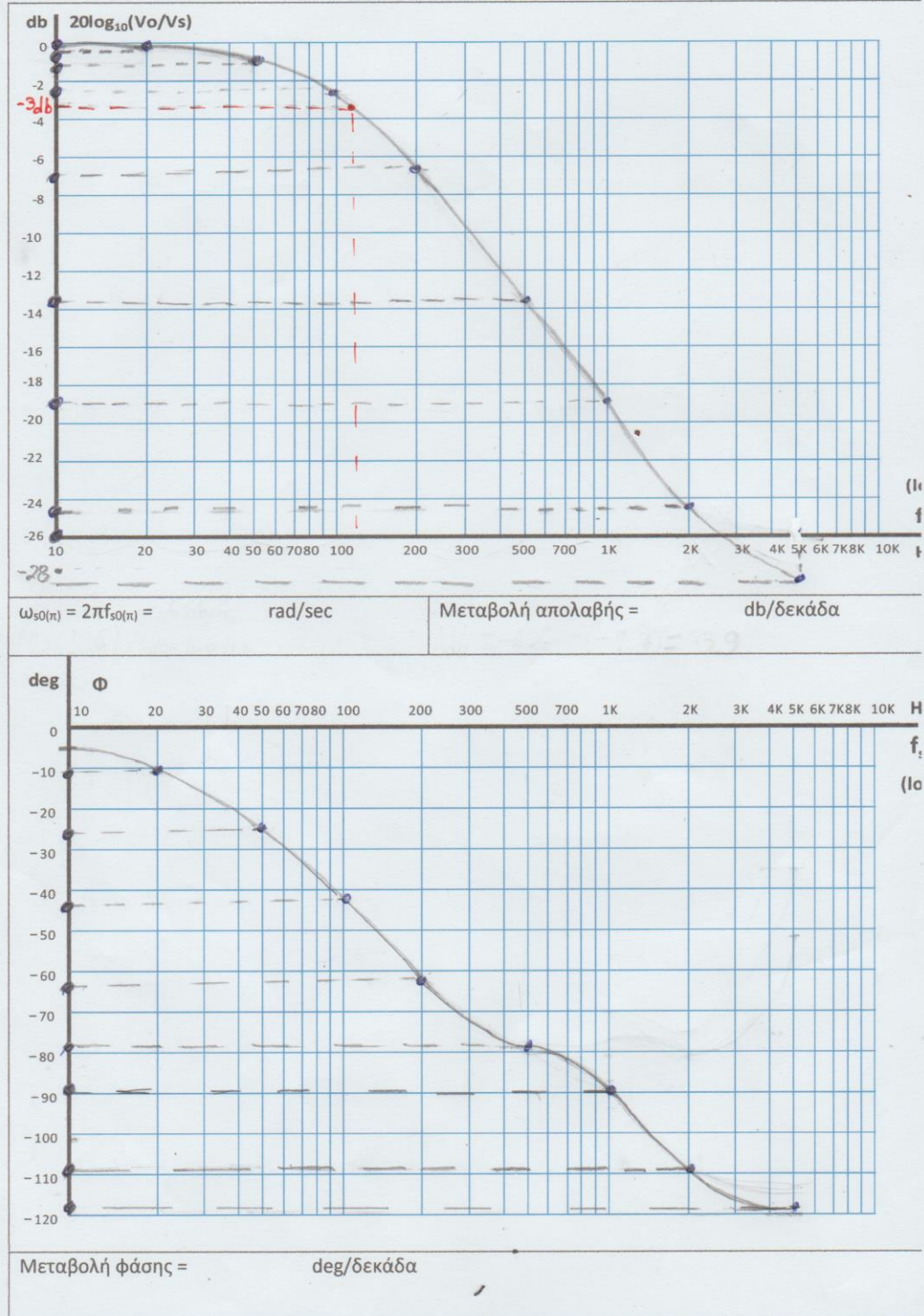
Β) Με βάση τις μετρήσεις σας, σχεδιάστε στους άξονες που ακολουθούν τα διαγράμματα της απολαβής πλάτους  $20\log_{10}(V_o/V_s)$  (σε db) και της φάσης  $\phi_{\text{deg}}$ , ως συνάρτηση της συχνότητας  $f_s$ . Ακολουθώντας: 1) Από το γράφημα της απολαβής πλάτους εκτιμήστε τη συχνότητα γονάτου  $\omega_{s0} = 2\pi f_{s0}$  του δικτύωματος (στη συχνότητα γονάτου η απολαβή είναι -3db σε σχέση με την τιμή στο DC). 2) Από το ίδιο γράφημα εκτιμήστε το ρυθμό μεταβολής της απολαβής στη ζώνη αποκοπής (σε db/δεκάδα). 3) Από το γράφημα της φάσης εκτιμήστε το ρυθμό μεταβολής της φάσης στην περιοχή της συχνότητας γονάτου

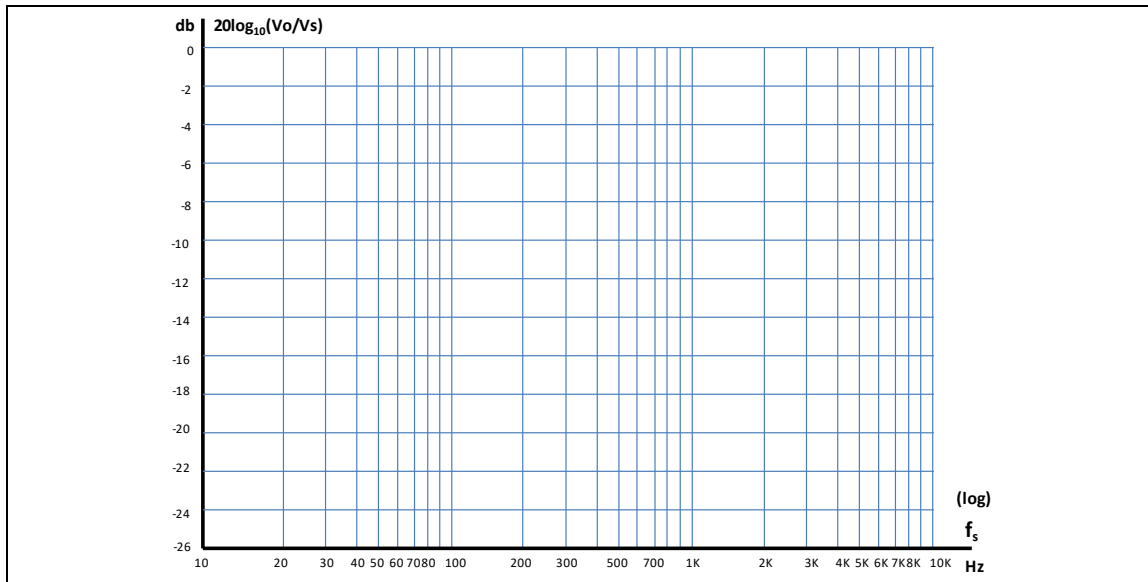


(σε

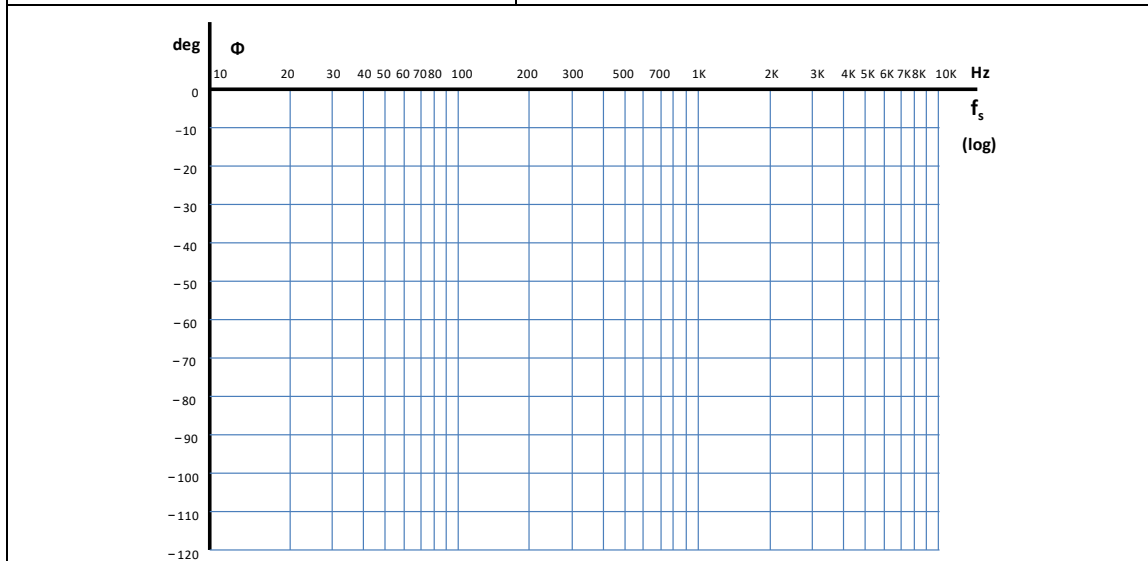
deg/δεκάδα).

1ο Φίλτρο Χαμηλοπερατό





$\omega_{s0(\pi)} = 2\pi f_{s0(\pi)} = 214\pi$  rad/sec      Μεταβολή απολαβής = -0.135 db/δεκάδα



Μεταβολή φάσης = -5.28 deg/δεκάδα

Γ) Υπολογίστε τη σταθερά χρόνου  $\tau$  του δικτυώματος και ακολούθως τη γωνιακή συχνότητα γονάτου  $\omega_{s0(u)}$  ( $\omega_{s0(u)}=1/\tau$ ). Συγκρίνετε την τιμή της γωνιακής συχνότητας γονάτου που υπολογίσατε με την τιμή που μετρήσατε πειραματικά. Είναι σε συμφωνία οι δύο τιμές;

$\tau = R \times C = 1.5\text{ms}$	$\omega_{s0(u)} = 666.6\text{deg/sec}$	Σε συμφωνία $\omega_{s0(\pi)}$ και $\omega_{s0(u)}$ ; Ναι
------------------------------------	--	---



1η

(1η)  $T = 100 \text{ ms}$   $f_s = 10 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-1.481 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = -5.32$$

απολαβή:  $V_s = 4 \text{ V}$   $20 \log\left(\frac{4}{4}\right) = 0 \text{ dB}$

(2η)  $T = 50 \text{ ms}$   $f_s = 20 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = -0.059\pi \cdot 57.295 = -3.393\pi = -10.6$$

απολαβή  $20 \log\left(\frac{3.93}{4}\right) = 20(-7.667) = -153.34 \text{ dB}$   
 $= -0.153 \text{ dB}$

(3η)  $T = 20 \text{ ms}$   $f_s = 80 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-1.401 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 8.027\pi = -25.12$$

Απολαβή  
 $20 \log\left(\frac{3.6197}{4}\right) = -0.867 \text{ dB}$

(4η)  $T_s = 10 \text{ ms}$   $f_s = 100 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-1.2001 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 13.75\pi = -43.17$$

$20 \log\left(\frac{2.9208}{4}\right) = -2.733 \text{ dB}$





5<sup>η</sup>  $T_s = 5 \text{ ms}$   $f_s = 200 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-862.98 \mu}{5 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 19.777 \pi = -62.07^\circ$$

αποδοχή

$$20 \log \left( \frac{1.864}{4} \right) = -6.63228$$

6<sup>η</sup>  $T_s = 2 \text{ ms}$   $f_s = 500 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-432.09 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 24.75 \pi = -77.5^\circ$$

αποδοχή  $20 \log \left( \frac{818 \cdot 10^{-3}}{4} \right) = -13.786 \text{ dB}$

7<sup>η</sup>  $T_s = 1 \text{ ms}$   $f_s = 1000 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{-241.69 \mu}{1 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = -87.6^\circ$$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{449.7 \cdot 10^{-3}}{4} \right) = -18.99 \text{ dB}$

8<sup>η</sup>  $T_s = 0.5 \text{ ms}$   $f_s = 2000 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(-152.64 \cdot 10^{-3})}{0.5 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = -109.38^\circ$$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{238.783 \cdot 10^{-3}}{4} \right) = -24.48 \text{ dB}$

9<sup>η</sup>  $T_s = 0.2 \text{ ms}$   $f_s = 5 \text{ K}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(-65.063 \cdot 10^{-3})}{0.2 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = -117.14^\circ$$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{43.808 \text{ m}}{4} \right) = -28.88 \text{ dB}$

•  $H \omega_{\text{sq}(s)} = 2\pi \cdot 107 = 214\pi$  . Διαι, η συχνότητα γονάτου σε -3db είναι  $100 < f < 115$

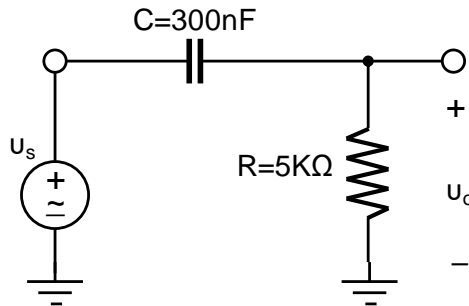
- μεταβολή αποδοχής είναι για  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$ :  $\Delta T(s) = -0.153 - 0 = -0.153 \text{ dB/ds}$
- μεταβολή φάσης είναι για  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$ :  $\Delta \phi(s) = -10.6 - (-5.32) = -5.28$

$\tau = R \cdot C = 300 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1.5 \text{ msec}$   $\omega = 1/\tau = 666.6 \text{ deg/sec}$  .Αρα το  $\omega(\pi)$  σχεδόν ίσο με το  $\omega(u)$  επομένως είναι σε συμφωνία

## 4.2 ΥΨΗΠΕΡΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΧΡΟΝΟΥ

**Στόχος:** Η μελέτη ενός υψηπερατού φίλτρου RC.

**Υλοποίηση:** Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 4.2. Χρησιμοποιήστε πυκνωτή  $C=300\text{nF}$  και τη μεταβλητή αντίσταση (τρίμερ) των  $10\text{K}\Omega$  για να υλοποιήσετε αντίσταση  $R=5\text{K}\Omega$ .



Σχήμα 4.2: Υψηπερατό φίλτρο RC

### Μετρήσεις:

Α) Δώστε στο κύκλωμα ημιτονικό σήμα  $u_s$  πλάτους  $V_s=4\text{V}$  (DC-offset=0) από τη γεννήτρια σήματος. Μεταβάλλετε, σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί, τη συχνότητα  $f_s$  του σήματος από  $10\text{Hz}$  έως  $5\text{KHz}$  και μετρήστε (με τον παλμογράφο) το πλάτος  $V_o$  του σήματος εξόδου  $u_o$  και τη χρονική απόκλιση  $\Delta t$  των σημάτων  $u_s$  και  $u_o$ . Με βάση τις μετρήσεις, υπολογίστε την απολαβή πλάτους  $20\log_{10}(V_o/V_s)$  (σε db) και τη διαφορά φάσης  $\phi_{\text{deg}}$  ανάμεσα στο σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου. Όπου  $T_s$  και  $\omega_s$  η περίοδος και η γωνιακή συχνότητα του σήματος εισόδου αντίστοιχα.

$f_s$ (Hz)	10	20	50	100	200	500	1K	2K	5K
$\omega_s = 2\pi f_s$ (rad/sec)	62,8	125,7	314,2	628,3	1256,6	3141,5	6283,0	12566	31415
$T_s = 1/f_s$ (sec)	100m	50m	20m	10m	5m	2m	1m	0,5m	0,2m
$\Delta t(\text{sec})$	26.430m	11.02m	3.59m	1.29m	388.18μ	66.6μ	16.69μ	4.19μ	237.6μ
$\phi_{\text{deg}}$	95.07	80.08	64.36	46.6	28.2	11.96	5.99	3.02	0.408
$V_o$ (V)	419.03m	740.91m	1.698	2.73	3.53	3.82	3.91	3.98	3.99
$20\log_{10}(V_o/V_s)(\text{db})$	-19.576	-14.65	-7.432	-3.31	-1.06	-0.44	0.069	0.025	0.0028

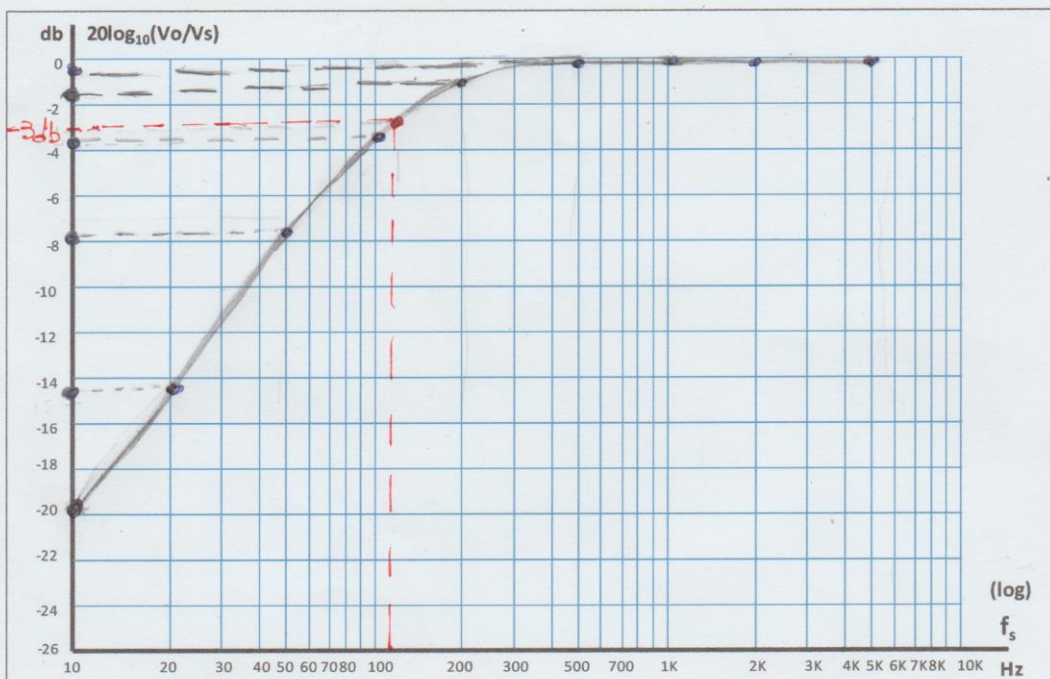
\*Ισχύει:

$$\phi_{\text{rad}} = 2\pi \times \frac{\Delta t}{T_s} \Rightarrow \phi_{\text{deg}} = 2\pi \times \frac{\Delta t}{T_s} \times 57,295$$

Β) Με βάση τις μετρήσεις σας, σχεδιάστε στους άξονες που ακολουθούν τα διαγράμματα της απολαβής πλάτους  $20\log_{10}(V_o/V_s)$  (σε db) και της φάσης  $\phi_{\text{deg}}$ , ως συνάρτηση της συχνότητας  $f_s$ . Ακολουθώντας: 1) Από το γράφημα της απολαβής πλάτους εκτιμήστε τη συχνότητα γονάτου  $\omega_{s0} = 2\pi f_{s0}$  του δικτυώματος (στη συχνότητα γονάτου η απολαβή είναι -3db σε σχέση με την τιμή στις υψηλές συχνότητες). 2) Από το ίδιο γράφημα εκτιμήστε το ρυθμό μεταβολής της απολαβής στη ζώνη αποκοπής (σε db/δεκάδα). 3) Από το γράφημα της φάσης εκτιμήστε το ρυθμό μεταβολής της φάσης στην περιοχή της συχνότητας γονάτου (σε deg/δεκάδα).

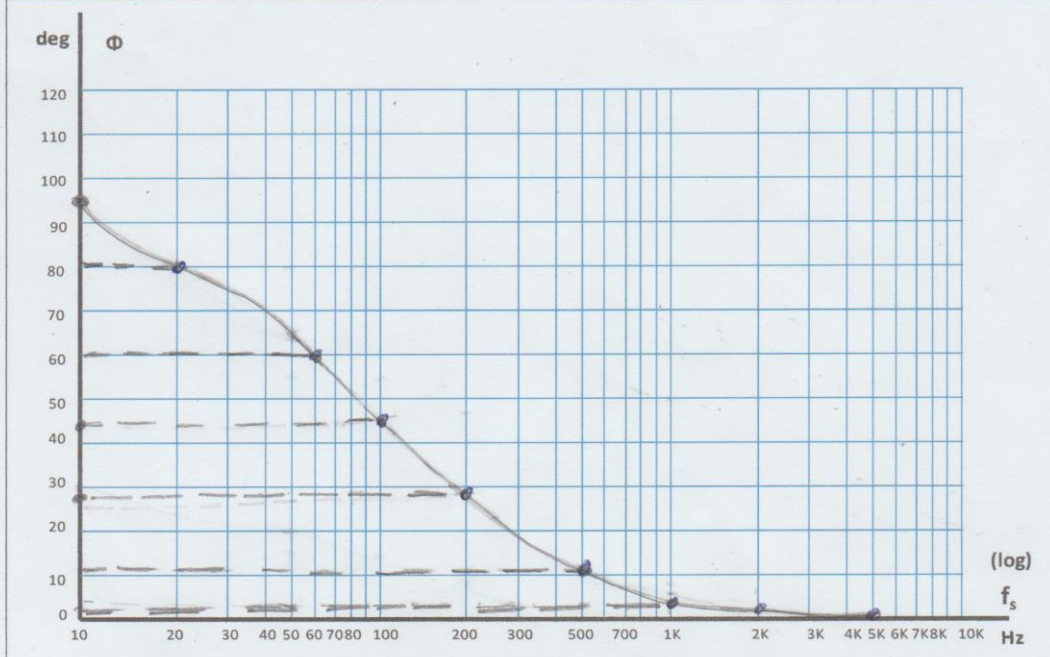


2ο Φίλτρο Υψηλε-pass

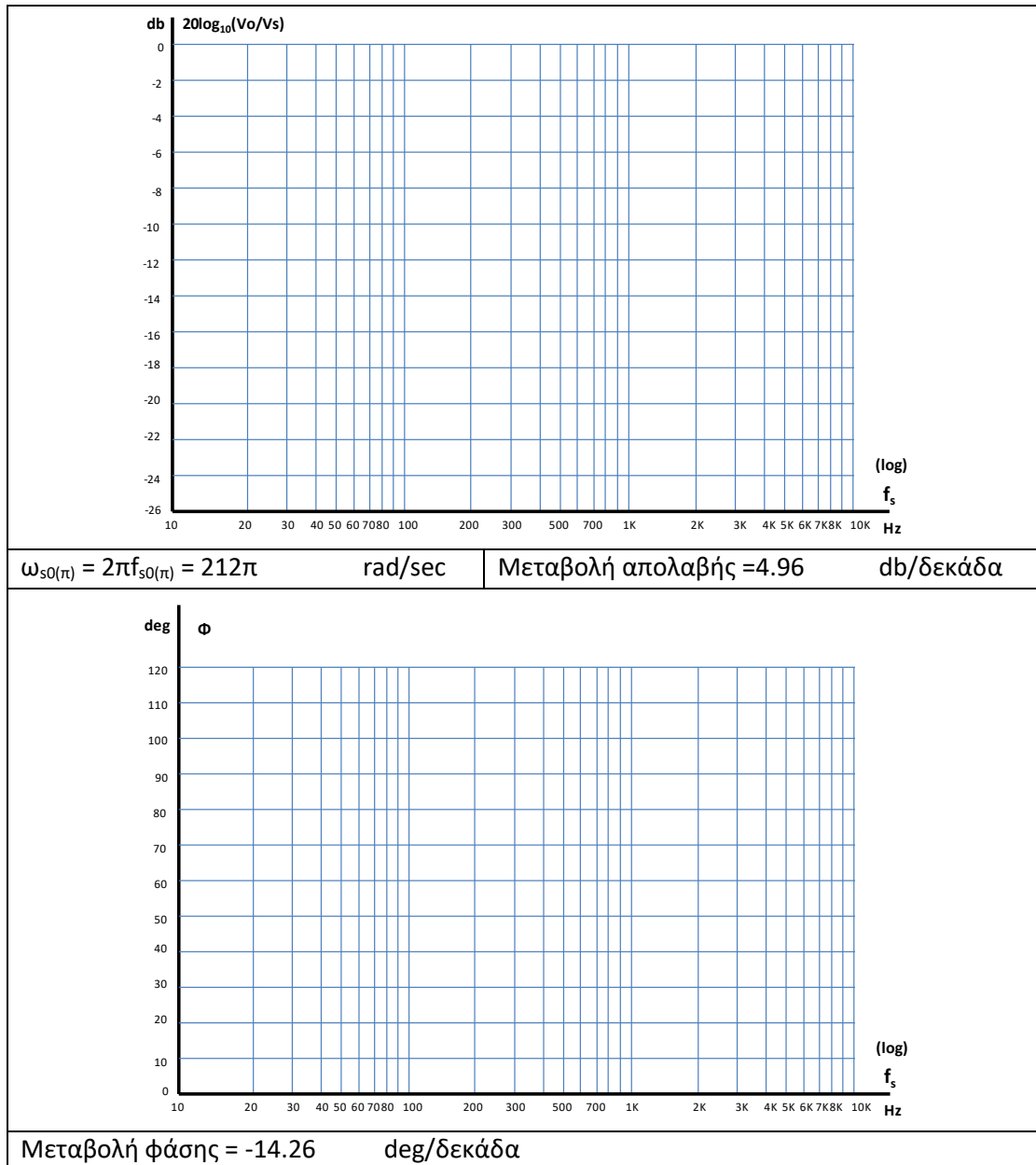


$\omega_{s0}(\pi) = 2\pi f_{s0}(\pi) =$  rad/sec

Μεταβολή απολαβής = db/δεκάδα







Γ) Υπολογίστε τη σταθερά χρόνου  $\tau$  του δικτύωματος και ακολούθως τη γωνιακή συχνότητα γονάτου  $\omega_{s0(u)}$  ( $\omega_{s0(u)} = 1/\tau$ ). Συγκρίνετε την τιμή της γωνιακής συχνότητας γονάτου που υπολογίσατε με την τιμή που μετρήσατε πειραματικά. Είναι σε συμφωνία οι δύο τιμές;

$\tau = R \times C = 1.5\text{ms}$	$\omega_{s0(u)} = 666.6\text{deg/s}$	Σε συμφωνία $\omega_{s0(\pi)}$ και $\omega_{s0(u)}$ ; Ναι
------------------------------------	--------------------------------------	---



2<sup>α</sup>

NO: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

1<sup>η</sup>  $f = 10 \text{ kHz}$   $T_s = 100 \text{ ms}$   
 $V_0 = 419.032 \text{ mV}$  αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{419.032 \cdot 10^{-3}}{4} \right) = -19.596$

$\Delta t = -26.430 \text{ ms}$

$\phi_{\text{deg}} = \phi_{\text{rad}} \cdot 57.295 = \frac{2\pi \cdot 26.430 \text{ m}}{100 \text{ m}} \cdot 57.295 = 30.28 \pi = 95.07$

2<sup>η</sup>  $f = 20 \text{ kHz}$   $T_s = 50 \text{ ms}$

$\phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{11.029 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 25.76 \pi = 80.8$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{740.910 \cdot 10^{-3}}{4} \right) = -14.65 \text{ dB}$

3<sup>η</sup>  $f = 50 \text{ kHz}$   $T = 20 \text{ ms}$

$\phi_{\text{deg}} = \frac{2\pi \cdot (3.5961 \cdot 10^{-3})}{20 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 20.56 \pi = 64.36$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{1.6987}{4} \right) = -7.432 \text{ dB}$

4<sup>η</sup>

$T = 10 \text{ ms}$   $f_s = 100 \text{ kHz}$

$\phi_{\text{deg}} = 2\pi \left( \frac{1.298 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 57.295 = 14.86 \pi = 46.66$

αποδοχή:  $20 \log \left( \frac{2.743}{4} \right) = -3.31 \text{ dB}$



Date:

5η  $T_s = 5 \text{ ms}$   $f_s = 200 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(388.187 \cdot 10^{-6})}{5 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 28.39\pi$$

$$\text{απολαβή: } 20 \log \left( \frac{3.5323}{4} \right) = -1.0611 \text{ dB}$$

6η  $T_s = 2 \text{ ms}$   $f_s = 500 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(-65.65 \cdot 10^{-6})}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 3.81\pi$$

$$\text{απολαβή: } 20 \log \left( \frac{3.39}{4} \right) = -0.445 \text{ dB}$$

7η

$T_s = 1 \text{ ms}$   $f_s = 1000 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(16.69 \cdot 10^{-6})}{10^{-3}} \cdot 57.295 = 1.91\pi$$

$$\text{απολαβή: } 20 \log \left( \frac{3.91}{4} \right) = -0.065 \text{ dB}$$

8η  $T_s = 0.5 \text{ ms}$   $f_s = 2000 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{(4.19 \cdot 10^{-6})}{0.5 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 0.962\pi$$

$$\text{απολαβή: } 20 \log \left( \frac{3.9035}{4} \right) = -0.021 \text{ dB}$$

9η  $T_s = 0.2 \text{ ms}$   $f_s = 5000 \text{ Hz}$

$$\Phi_{\text{deg}} = 2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \cdot 57.295 = 2\pi \frac{237.67 \cdot 10^{-9}}{0.2 \cdot 10^{-3}} \cdot 57.295 = 0.13\pi$$

$$\text{απολαβή: } 20 \log \left( \frac{3.998}{4} \right) = -0.0028 \text{ dB}$$

- $\omega_{50} = 2\pi f = 106 \cdot 2\pi = 912\pi \text{ rad/sec}$  διότι η συχνότητα γράφεται είναι  $100 \leq f \leq 110$
- Για  $f = 10 \text{ Hz}$  και  $f = 20 \text{ Hz}$   $\Delta T(f) = -14.65 - (-19.59) = 4.94 \text{ dB/sec}$
- Για  $f = 10 \text{ Hz}$  και  $f = 20 \text{ Hz}$   $\Delta \phi = 80.3 - (95.06) = -14.26 \text{ deg/sec}$
- Για  $\tau = 300 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^3 = 1.5 \text{ msec}$   $\omega_{50}(\omega) = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 666.6 \text{ deg/s}$

$\tau = R \cdot C = 300 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1.5 \text{ msec}$   $\omega = 1/\tau = 666.6 \text{ deg/sec}$ . Άρα το  $\omega(\pi)$  σχεδόν ίσο με το  $\omega(\omega)$  επομένως είναι σε συμφωνία

