

Μάθημα 9^ο
Ανάλυση ηλεκτροδυναμικού
μικροφώνου

1. ΜΙΓΑΔΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ

Συνιστάται μία επανάληψη από τα μαθηματικές πηγές που έχετε διδαχτεί.

Συνοψίζω ωστόσο παρακάτω κάποιες χρήσιμες ιδιότητες και ορισμούς για τους μιγαδικούς αριθμούς.

$$z = a + jb, \quad j = \sqrt{-1} \text{ και } j^2 = -1$$

$$\text{Πραγματικό μέρος } \operatorname{Re}\{z\} = a,$$

$$\text{Φανταστικό μέρος } \operatorname{Im}\{z\} = b$$

Συζυγής μιγαδικού αριθμού: αν $z = a + jb$, τότε $\bar{z} = a - jb$ και $z\bar{z} = a^2 + b^2$

Μέτρο μιγαδικού αριθμού: $|z| = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{z\bar{z}}$

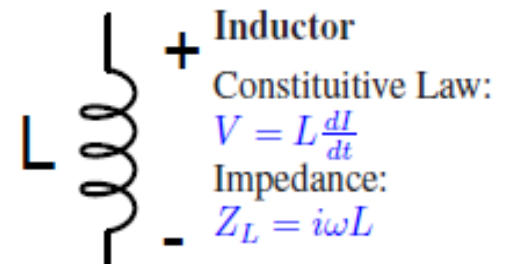
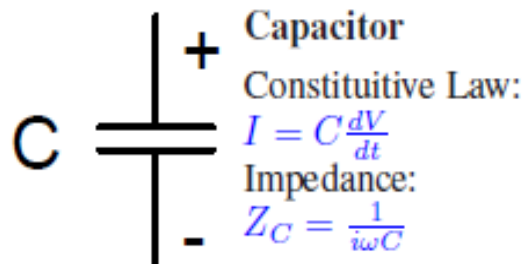
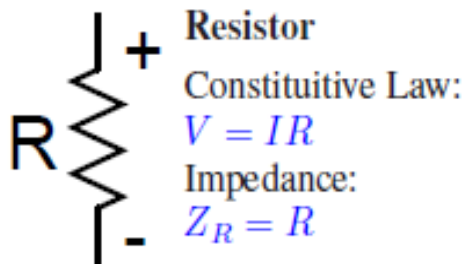
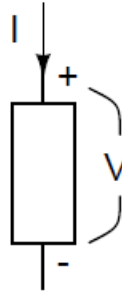
Πρόσθεση μιγαδικών: $(a + jb) + (c + jd) = (a + c) + j(b + d)$

Διαίρεση μιγαδικών:

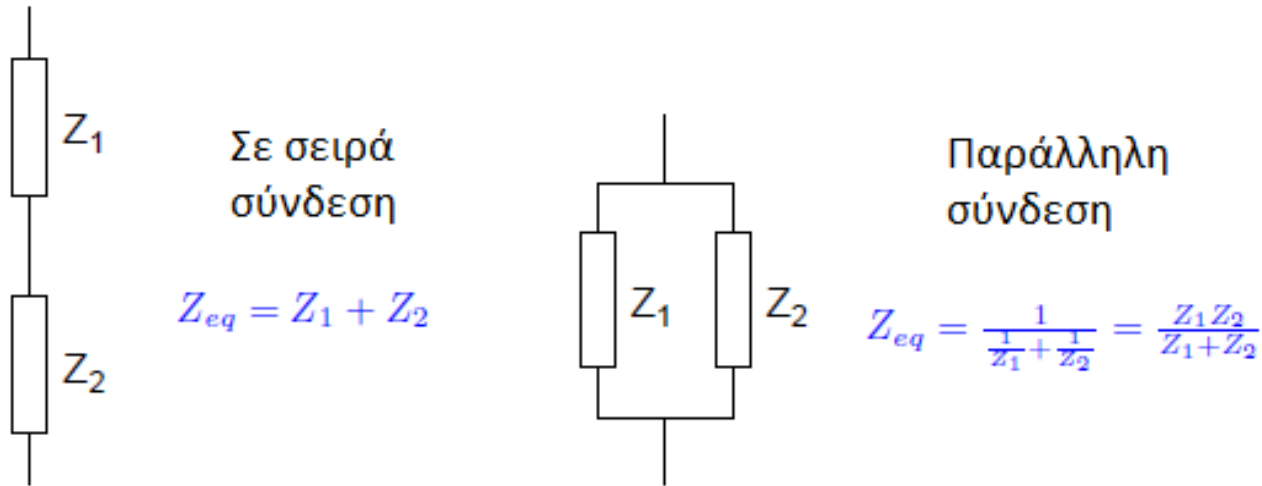
$$\frac{a+jb}{c+jd} = \frac{(a+jb)(c-jd)}{(c+jd)(c-jd)} = \frac{(a+jb)(c-jd)}{c^2+d^2} = \frac{ac+bd+j(bc-ad)}{c^2+d^2}$$

Μιγαδικοί με φανταστικό μέρος μόνο: $\frac{1}{jb} = \frac{j}{j^2b} = \frac{j}{-b} = \frac{-j}{b}$ επίσης $|jb| = b$

Ηλεκτρική εμπέδηση παθητικών στοιχείων



Σύνδεση παράλληλα και σε σειρά



Νόμοι του Kirchoff

- 1) Το άθροισμα των εντάσεων του ηλεκτρικού ρεύματος που εισέρχονται στον κόμβο $\Sigma(I_{\text{εισερχόμενο}})$ ισούται με το άθροισμα των εντάσεων που εξέρχονται από τον κόμβο $\Sigma(I_{\text{εξερχόμενο}})$.
- 2) Το άθροισμα όλων των διαφορών δυναμικού στους επιμέρους κλάδους ενός βρόχου ισούται με μηδέν δηλαδή $\Sigma(\Delta V) = 0$.

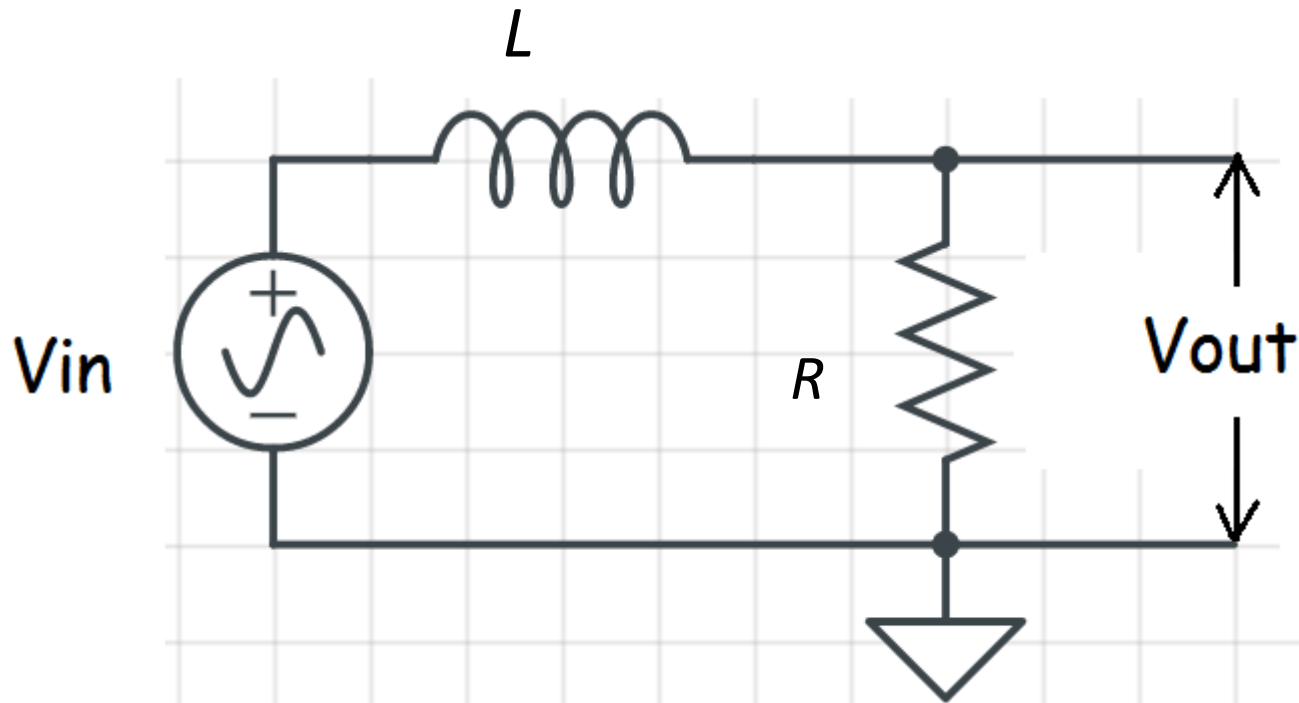
Ποιοτική ανάλυση ηλεκτρακουστικών συστημάτων

- Παρατηρώ τις ποσότητες που σταθεροποιούνται, μηδενίζονται ή απειρίζονται καθώς η συχνότητα κυμαίνεται από το 0 έως το ∞ .

Βαθυπερατό φίλτρο

Άσκηση 1:

Δείξτε ότι το παρακάτω κύκλωμα έχει συμπεριφορά βαθυπερατού φίλτρου. Επίσης, να εκτιμηθεί ο παράγοντας κλίσης του φίλτρου σε dB/octave



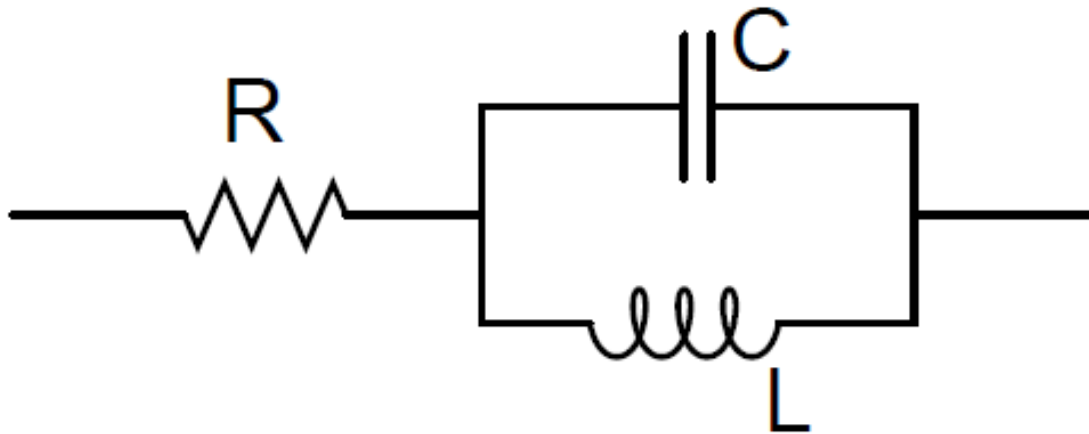
Τι συμπεριφορά έχει το παρακάτω φίλτρο?

Άσκηση 2: Χαρακτηρίστε το παρακάτω φίλτρο ως προς τη συμπεριφορά του και σχολιάστε τον παράγοντα κλίσης.



Άσκηση 3:

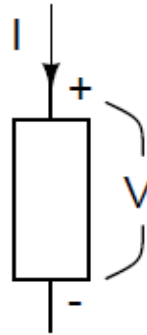
- 1) Διατυπώσετε μαθηματικά τη συνολική ηλεκτρική εμπέδηση του παρακάτω κυκλώματος
- 2) Πείτε κάποια πράγματα για τη συμπεριφορά αυτού του κυκλώματος
- 3) Περιγράψτε τι χρήση θα μπορούσε να έχει ως παθητικό φίλτρο



Μηχανικό σύστημα

- Μηχανική Αντίσταση
- Μάζα
- Ελαστικότητα

Ηλεκτρική εμπέδηση παθητικών στοιχείων



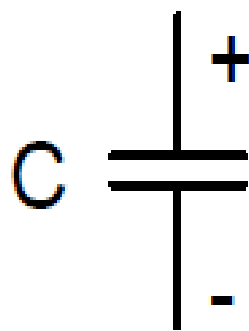
Resistor

Constitutive Law:

$$V = IR$$

Impedance:

$$Z_R = R$$



Capacitor

Constitutive Law:

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

Impedance:

$$Z_C = \frac{1}{i\omega C}$$



Inductor

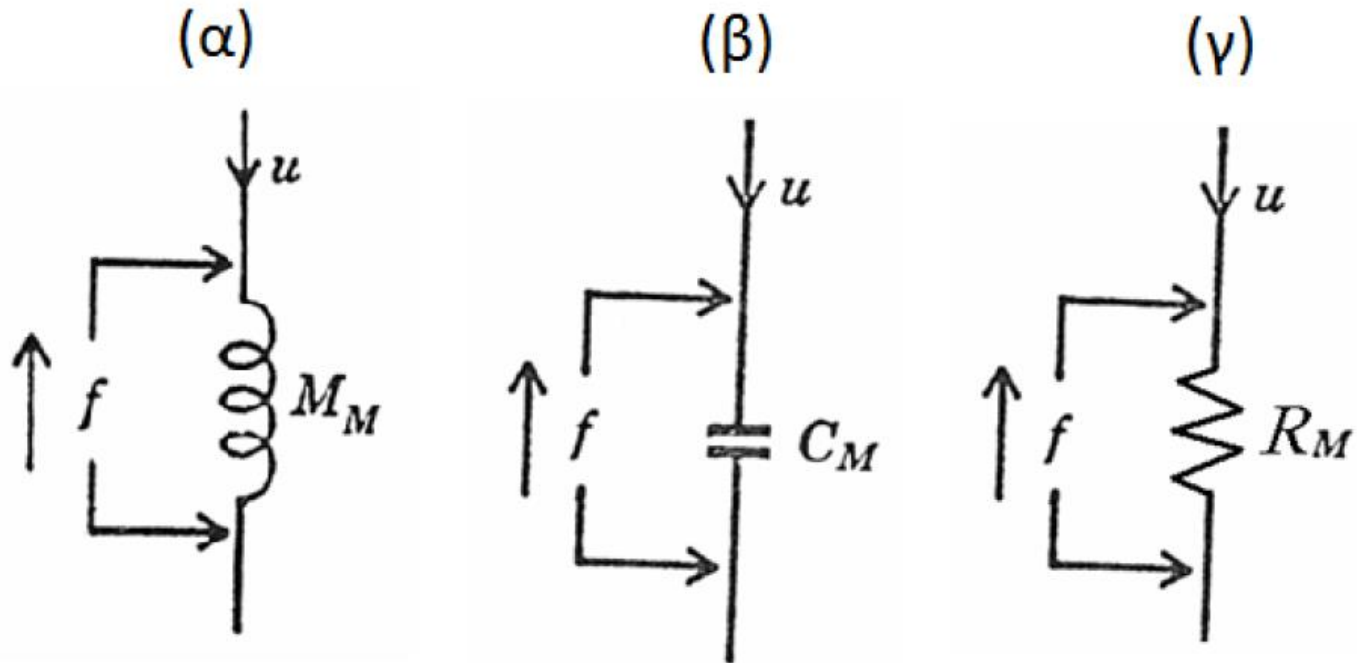
Constitutive Law:

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

Impedance:

$$Z_L = i\omega L$$


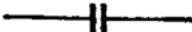

Ηλεκτρικά ανάλογα μηχανικών στοιχείων



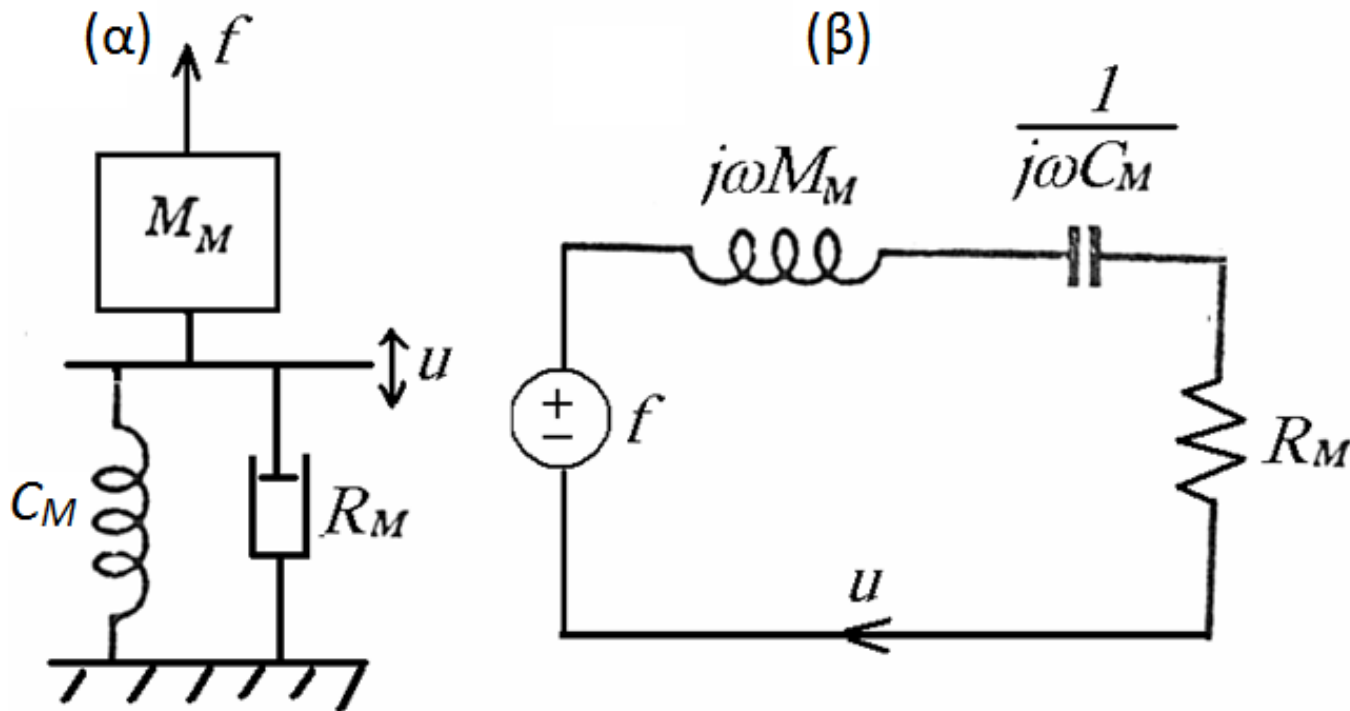
Σχήμα 4.3: Ηλεκτρικό ανάλογο μιας μάζας στο (α), μηχανικής ελαστικότητας στο (β) και μηχανικής αντίστασης στο (γ).

Πίνακας Ι

Ηλεκτρο-μηχανο-ακουστικές αναλογίες

Φυσικό Μέγεθος	Ηλεκτρικό Στοιχείο	Μηχανικό Στοιχείο	Μηχανικό Στοιχείο (περιστροφικό σύστημα)	Ακουστικό Στοιχείο
Δύναμη	Τάση	Μηχανική Δύναμη	Ροπή	Πίεση
Ταχύτητα	Ρεύμα	Ταχύτητα	Γωνιακή Ταχύτητα	Σωματιδιακή ταχύτητα όγκου
Μετατόπιση	Φορτίο	Μετατόπιση	Γωνιακή Μετατόπιση	Μεταβολή Όγκου
Σύμβολο	Ηλεκτρικό Στοιχείο	Μηχανικό Στοιχείο	Μηχανικό Στοιχείο (περιστροφικό σύστημα)	Ακουστικό Στοιχείο
	Αντίσταση	Απόσβεση	Γωνιακή Απόσβεση	Ακουστική Αντίσταση (ακτινοβολία & διάδοσης)
	Χωρητικότητα	1/Ακαμψία	1/Γωνιακή Ακαμψία	1/ Ακαμψία Όγκου Αέρα
	Συντελεστής Αυτεπαγωγής	Μάζα	Ροπή Αδράνειας	Μάζα / μονάδα επιφάνειας

Μηχανικό και ηλεκτρικό ανάλογο του μηχανικού συστήματος μικροφώνου



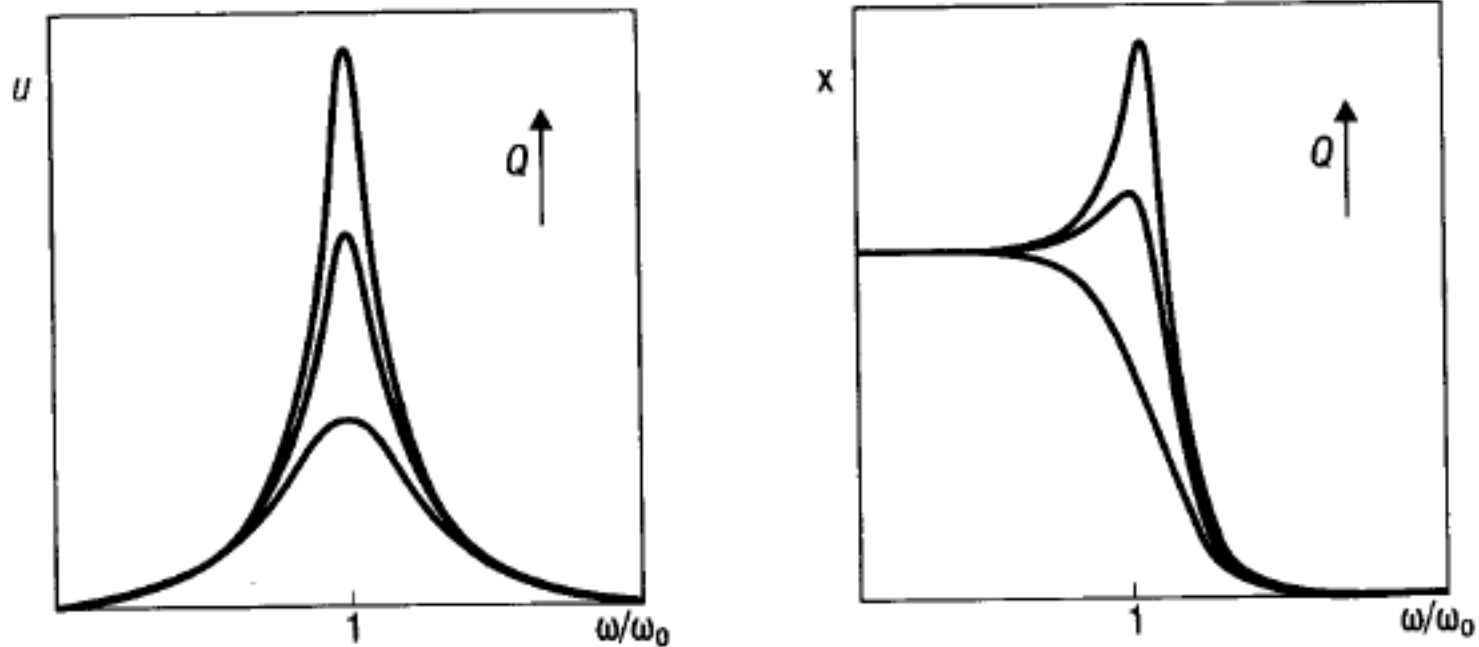
Σχήμα 5.15: Μηχανικό ανάλογο (α) και ηλεκτρικό ανάλογο (β) ηλεκτροδυναμικού μικροφώνου.

Συντονισμός σε μηχανικό σύστημα

- Για κάποια τιμή της συχνότητας, η μηχανική αντίδραση γίνεται ίση με 0 και ισχύει $Z_M = R_M$
- Κατ' αναλογία με τα ηλεκτρικά συστήματα (RLC) που για την γωνιακή συχνότητα συντονισμού ισχύει $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ στο μηχανικό σύστημα έχουμε

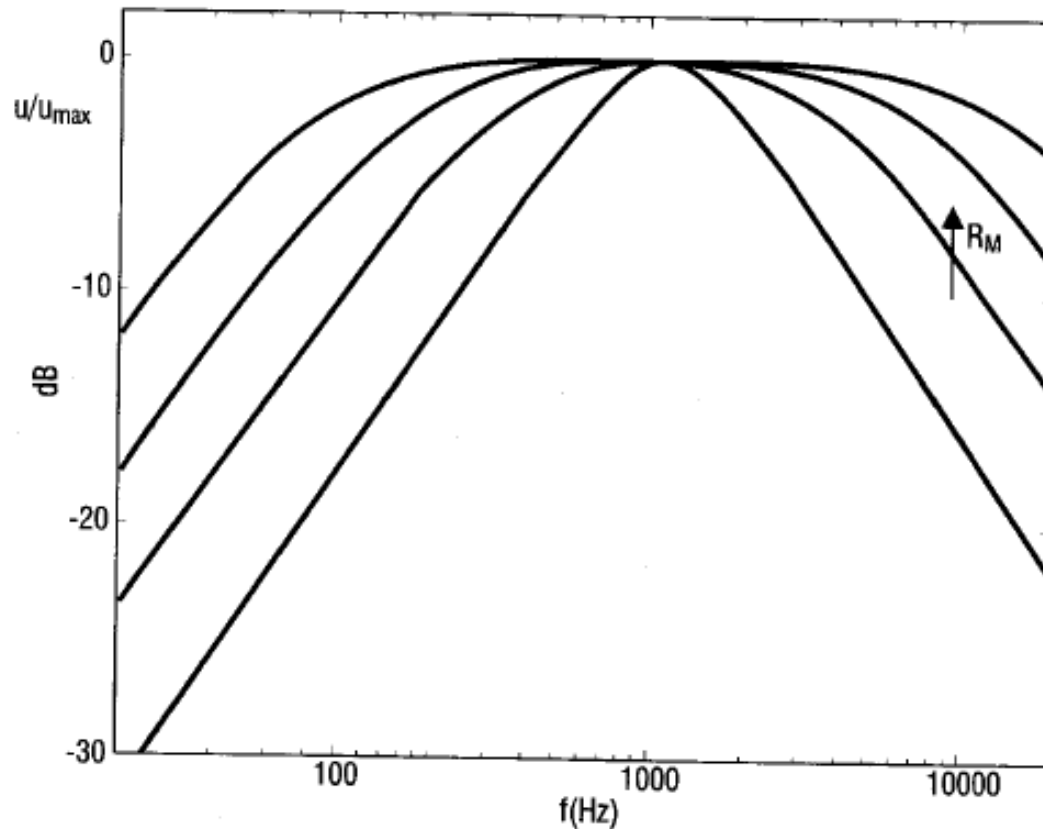
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{MC_M}} = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Συντελεστής ποιότητας



Σχήμα 4.9: Ταχύτητα και μετατόπιση του διαφράγματος για διάφορες τιμές του συντελεστή ποιότητας.

Σημασία της μηχανικής αντίστασης



Σχήμα 4.10: Ταχύτητα του διαφράγματος για διάφορες τιμές της μηχανικής αντίστασης R_M .

Άσκηση 1

Για ένα μικρόφωνο με διάμετρο 2.54 cm δίνονται: πάχος διαφράγματος $\tau=50\mu\text{m}$, πυκνότητα υλικού $\rho=2700\text{kg}/\text{m}^3$, $k=6\times 10^5\text{ N}/\text{m}$ και $R_M=1.2\text{kg}/\text{s}$.

1) Να ευρεθεί η μέγιστη τιμή της ταχύτητας και της μετατόπισης που μπορούμε να έχουμε για στάθμη ηχητικής πίεσης στο διάφραγμα 90 dB SPL.

2) Αν επιπλέον ξέρουμε ότι $B=1000\text{ Tesla}$ και ότι το μήκος του πηνίου είναι $l=0.1\text{ m}$, να υπολογιστεί η ευαισθησία του μικροφώνου σε volt/Pa .