

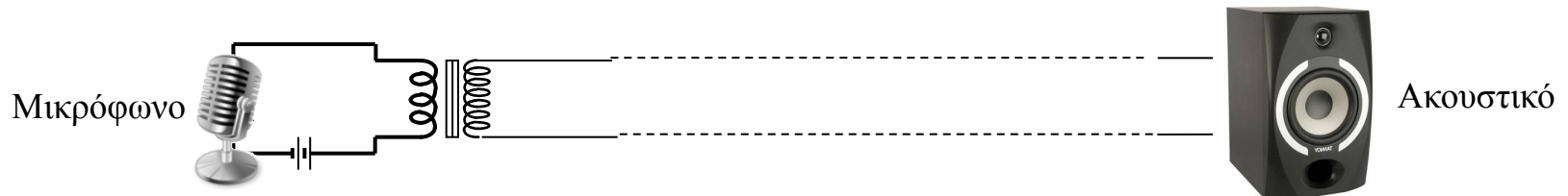
Εισαγωγή

Ο σκοπός του συστήματος επικοινωνίας είναι να μεταδώσει πληροφορία (*transmission of information*) από ένα σημείο του χώρου, που λέγεται **πηγή**, σε ένα άλλο σημείο, που είναι ο **προορισμός χρήσης**.

Κατά κανόνα, το μήνυμα που παράγεται από μια πηγή δεν είναι ηλεκτρικό. Ένας **μετατροπέας** είναι συνήθως αναγκαίος για να μετατρέψει την έξοδο της πηγής σε ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για μετάδοση. Για παράδειγμα, για πηγή ακουστικού σήματος χρησιμοποιείται το μικρόφωνο για μετατροπή σε ηλεκτρικό σήμα, ενώ για πηγή εικόνας χρησιμοποιείται μια video-camera.

Στον προορισμό χρειάζεται μια αντίστοιχη αντίστροφη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε κατάλληλη μορφή, για παράδειγμα ήχο, εικόνα κ.τ.λ.

Το **κανάλι** επικοινωνίας είναι το φυσικό μέσο που χρησιμεύει για να στέλνεται το **σήμα** από την πηγή στον προορισμό χρήσης.

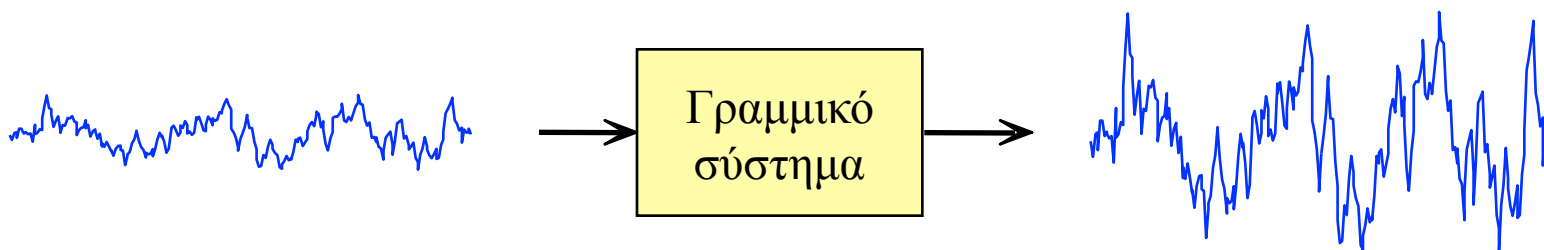


Οι μετατροπείς παρέχουν σήματα, τα οποία είναι της τάξης των μικροβόλτ (μV) ή μιλιβόλτ (mV). Τέτοια σήματα είναι πολύ μικρά για να υποστούν αξιόπιστη επεξεργασία. Η επεξεργασία καθίσταται πολύ πιο εύκολη, αν το πλάτος του σήματος μεγαλώσει αρκετά.

Το σύστημα που πραγματοποιεί αυτή τη διαδικασία ονομάζεται **ενισχυτής σήματος**.

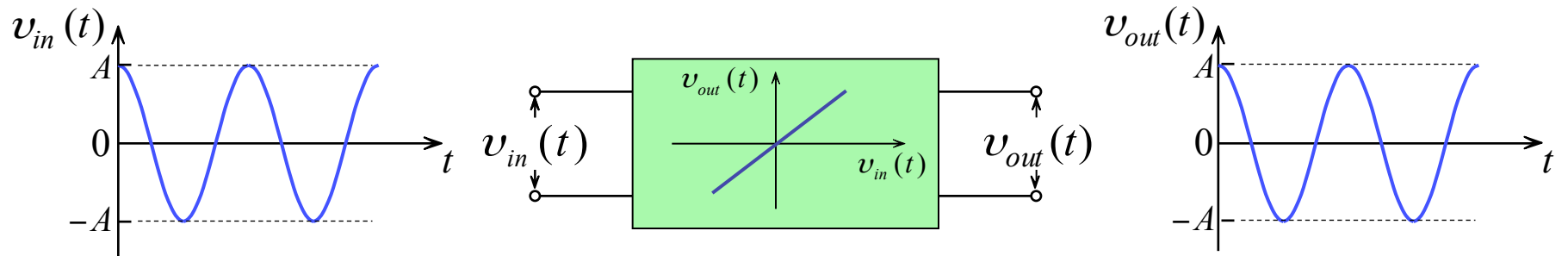
Όταν ενισχύεται ένα σήμα θα πρέπει η πληροφορία που περιέχεται σε αυτό να μη μεταβάλλεται και επίσης να μη προστίθεται νέα πληροφορία.

Θα πρέπει το σήμα εξόδου του ενισχυτή να είναι ακριβές αντίγραφο του σήματος εισόδου αλλά να έχει μεγαλύτερο πλάτος.

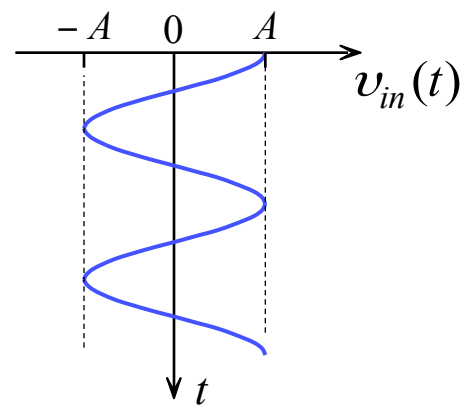
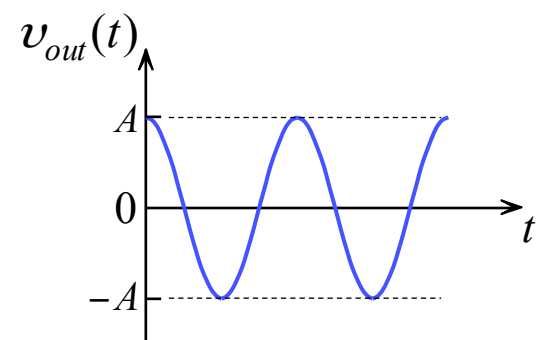
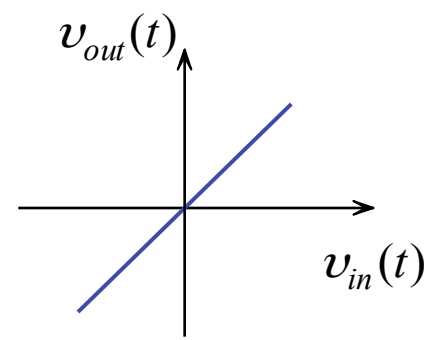


Με άλλα λόγια θέλουμε οι διακυμάνσεις της κυματομορφής εξόδου να είναι ταυτόσημες με αυτές της κυματομορφής εισόδου. Κάθε αλλαγή στην κυματομορφή θεωρείται **παραμόρφωση** και είναι προφανώς ανεπιθύμητη.

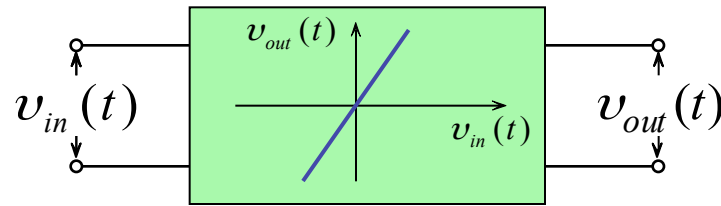
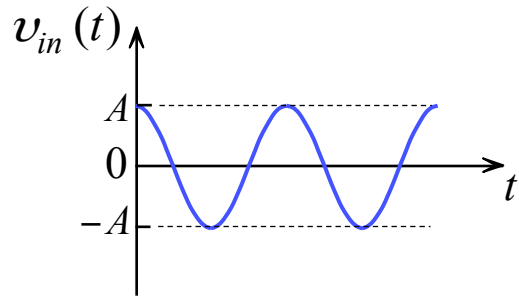
Ένας ενισχυτής που διατηρεί τις λεπτομέρειες της κυματομορφής του σήματος στην είσοδό του, χαρακτηρίζεται από την σχέση $v_{out}(t) = A v_{in}(t)$



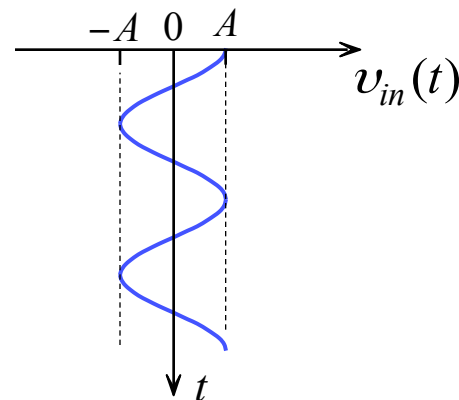
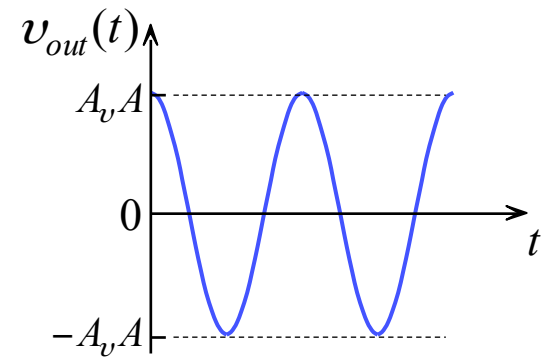
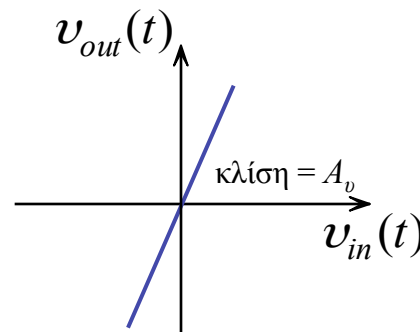
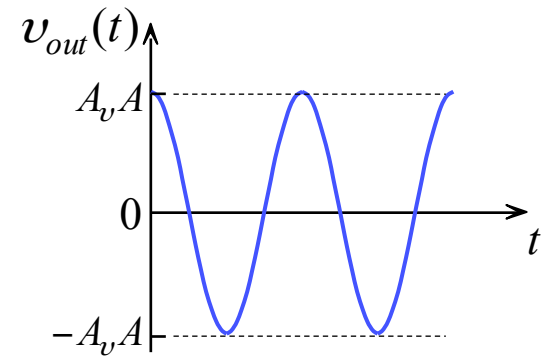
Γραμμική διάταξη.



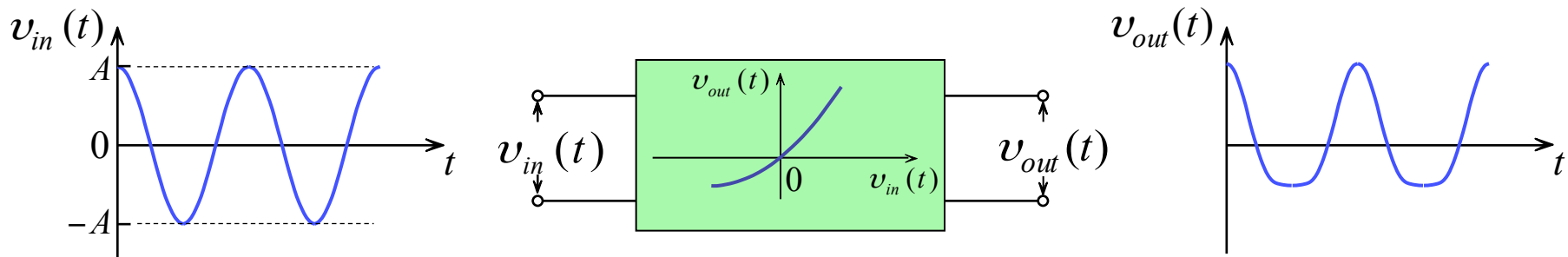
Ένας ενισχυτής που διατηρεί τις λεπτομέρειες της κυματομορφής του σήματος στην είσοδό του, χαρακτηρίζεται από την σχέση $v_{out}(t) = A_v v_{in}(t)$



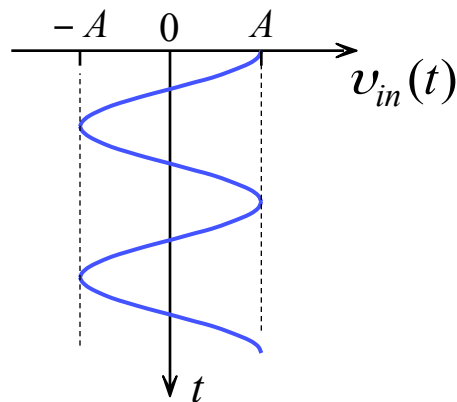
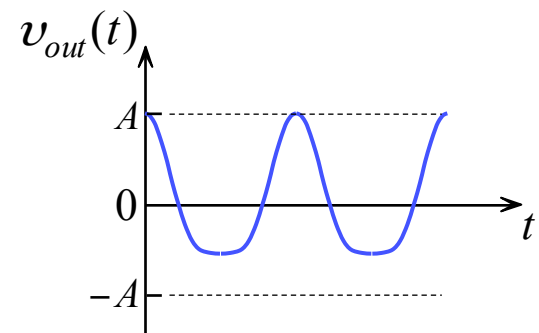
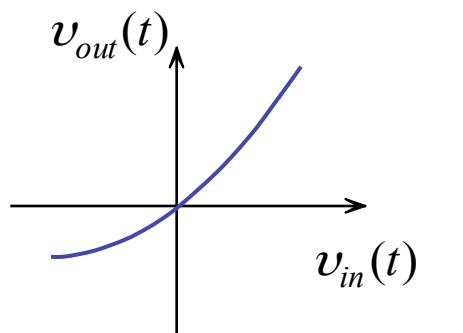
Γραμμική διάταξη.



Αντίθετα ένας ενισχυτής που η σχέση του σήματος εξόδου σε συνάρτηση με το σήμα εισόδου δεν είναι γραμμική αλλοιώνει την μορφή της κυματομορφής του σήματος εισόδου



Μη γραμμική διάταξη $v_{out}(t) = v_{in}^2(t) + 2v_{in}(t) - 1$

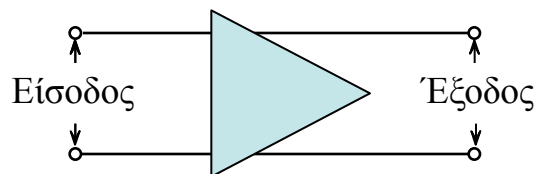


Οι ενισχυτές στους οποίους το σήμα εισόδου έχει πολύ μικρή τάση ενώ το σήμα εξόδου έχει πολύ μεγάλη χαρακτηρίζονται ως **ενισχυτές τάσης**. Ο προενισχυτής στα στερεοφωνικά συγκροτήματα είναι ένα παράδειγμα ενισχυτή τάσης.

Ο **ενισχυτής ρεύματος** χαρακτηρίζεται από ένα μέτριο κέρδος τάσης αλλά σημαντικό κέρδος ρεύματος. Ο ενισχυτής ρεύματος απορροφά λίγη ισχύ από την πηγή παρέχει μεγάλη ισχύ στο φορτίο του. Παράδειγμα είναι ο ενισχυτής ισχύος ενός στερεοφωνικού συγκροτήματος που έχει σκοπό να δώσει ισχύ ικανή για να οδηγηθούν τα ηχεία του.

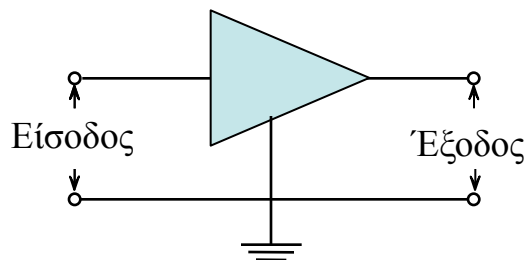
Κύκλωματικό σύμβολο ενισχυτή

Ο ενισχυτής σήματος είναι ένα δίθυρο κύκλωμα. Η λειτουργία του αναπαρίσταται από το κυκλωματικό σύμβολο του σχήματος



Το σύμβολο αυτό κάνει σαφή διάκριση μεταξύ των θυρών εισόδου και εξόδου και προσδιορίζει την κατεύθυνση της ροής του σήματος.

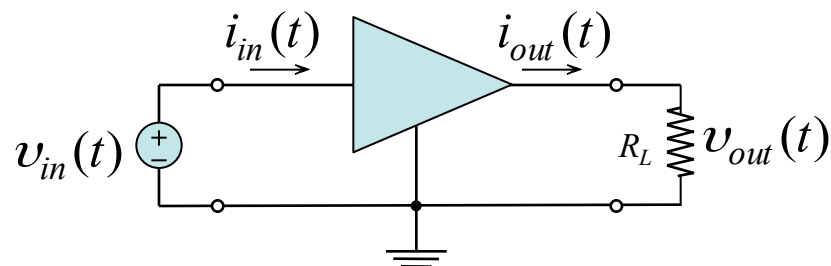
Μια περίπτωση που συνίσταται πιο συχνά στην πράξη φαίνεται στο σχήμα όπου υπάρχει ένας κοινός ακροδέκτης μεταξύ των θυρών εισόδου και εξόδου του ενισχυτή.



Ο κοινός ακροδέκτης χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς και ονομάζεται **γείωση του κυκλώματος**.

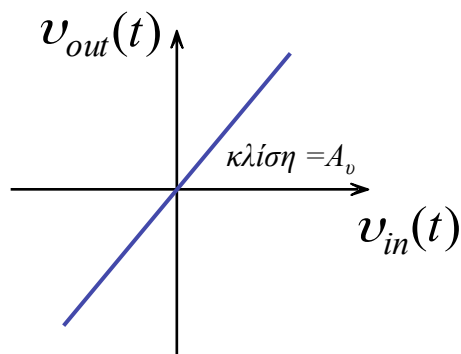
Κέρδος τάσης

Ένας γραμμικός ενισχυτής δέχεται ένα σήμα εισόδου $v_{in}(t)$ και παρέχει στην έξοδό του πάνω σε ένα φορτίο R_L ένα σήμα εξόδου $v_{out}(t)$ το οποίο είναι ένα μεγεθυμένο αντίγραφο του $v_{in}(t)$.



Το κέρδος τάσης του ενισχυτή ορίζεται ως

$$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}}$$



Χαρακτηριστική μεταφοράς γραμμικού ενισχυτή τάσης με κέρδος τάσης A_v .

Εάν εφαρμόσουμε στην είσοδο αυτού του ενισχυτή μια ημιτονοειδή τάση πλάτους V_0 , στην έξοδό του θα πάρουμε ημιτονοειδή τάση πλάτους $A_v V_0$.

Κέρδος ισχύος και κέρδος τάσης

Ένας ενισχυτής αυξάνει την ισχύ του σήματος. Αυτή είναι μία σημαντική ιδιότητα που ξεχωρίζει τον ενισχυτή από το μετασχηματιστή. Ο ενισχυτής παρέχει στο φορτίο ισχύ μεγαλύτερη από αυτή που δίνει η πηγή σήματος. Το κέρδος ισχύος του ενισχυτή ορίζεται ως

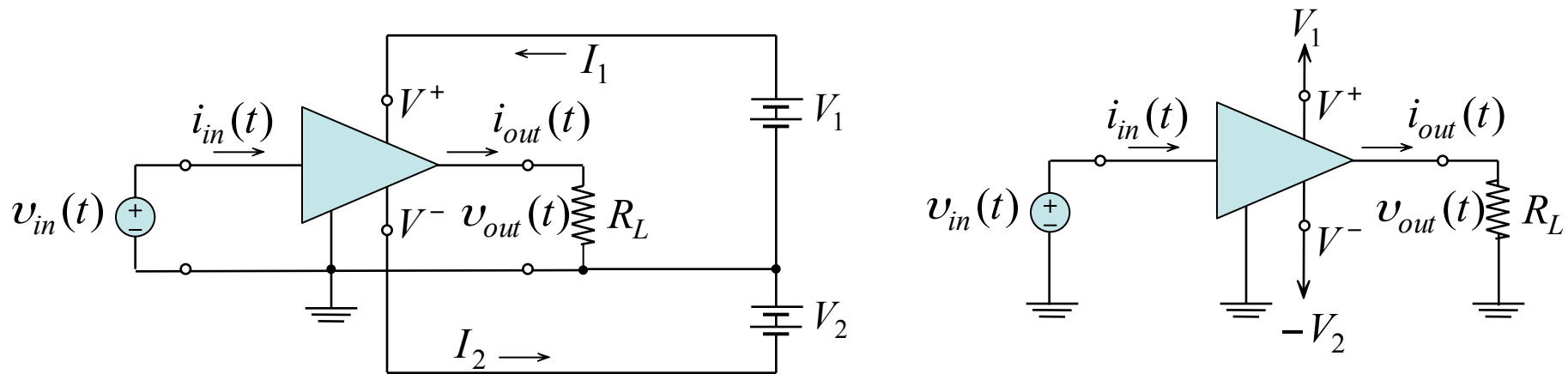
$$\text{κέρδος ισχύος} = \frac{\text{ισχύς φορτίου}}{\text{ισχύς εισόδου}} \quad A_p \equiv \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{v_{out} i_{out}}{v_{in} i_{in}}$$

Το κέρδος ρεύματος του ενισχυτή ορίζεται ως

$$\text{κέρδος ρεύματος} = \frac{\text{ρεύμα φορτίου}}{\text{ρεύμα εισόδου}} \quad A_i \equiv \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

Τροφοδοσία του ενισχυτή

Οι ενισχυτές χρειάζονται τροφοδοσία dc για τη λειτουργία τους



Οι dc τάση που αποδίδεται στον ενισχυτή είναι $P_{dc} = V_1 I_1 + V_2 I_2$

Εάν η ισχύς που καταναλώνεται στο κύκλωμα του ενισχυτή συμβολίζεται ως $P_{κατ}$, η εξίσωση εξισορρόπησης ισχύος του ενισχυτή γράφεται ως

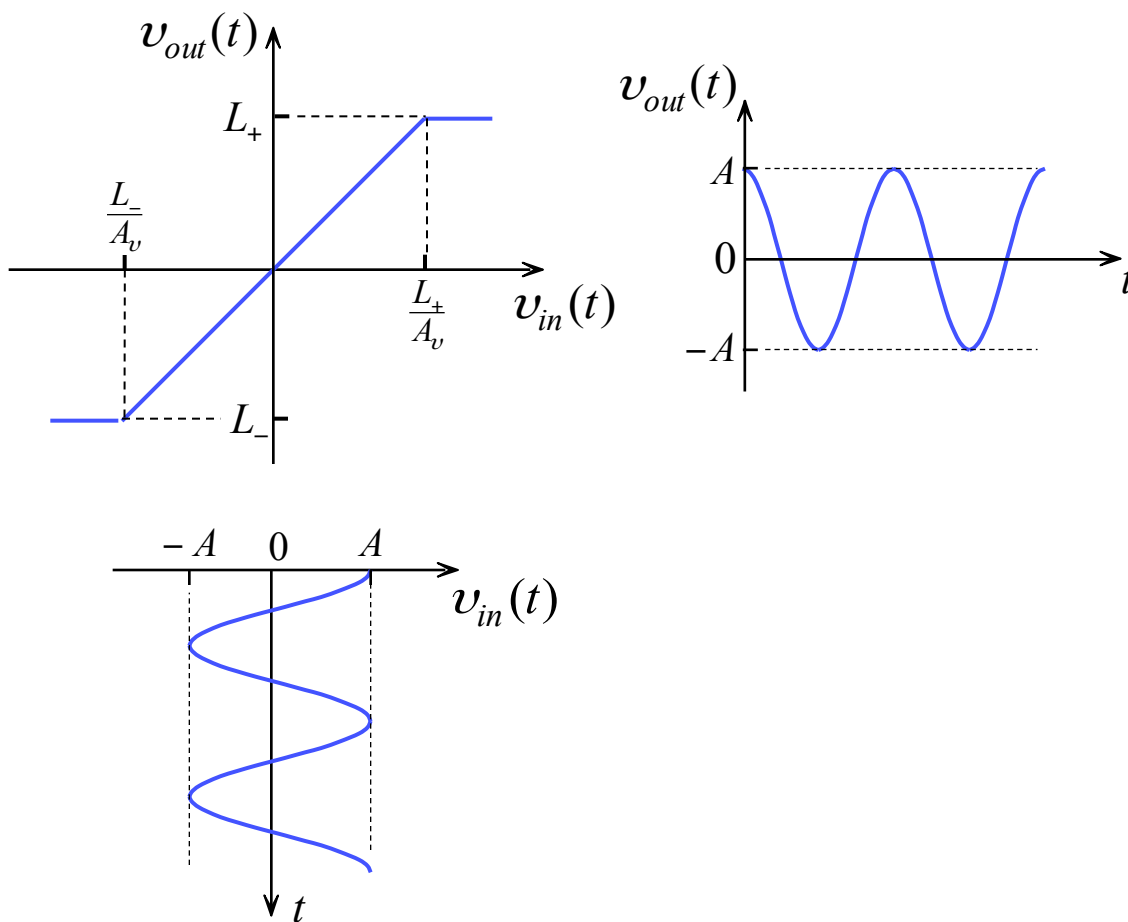
$$P_{dc} + P_I = P_L + P_{κατ}$$

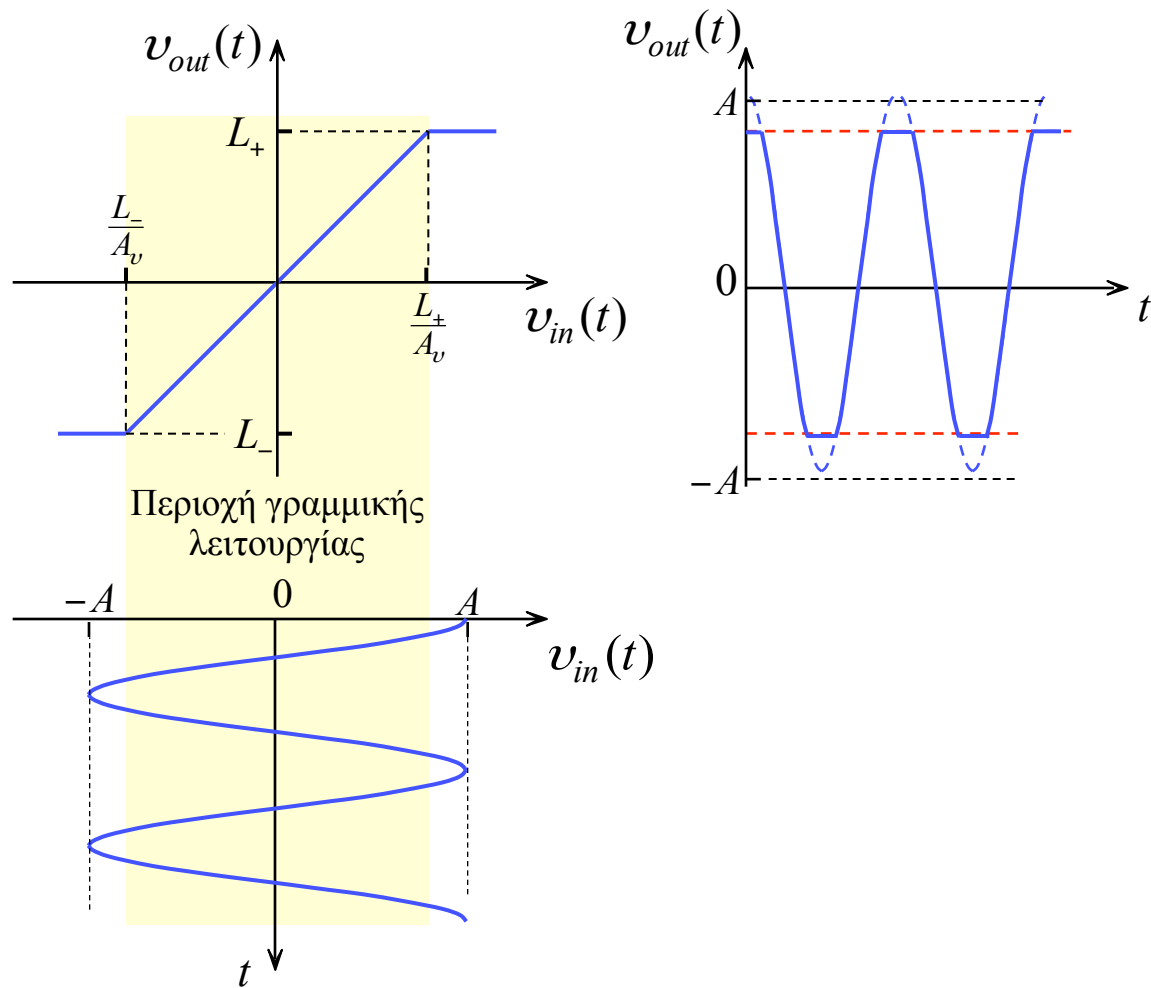
Εφόσον η ισχύς που παρέχεται από την πηγή του σήματος PI είναι συνήθως μικρή, η **αποδοτικότητα** του ενισχυτή ορίζεται ως

$$\eta \equiv \frac{P_L}{P_{dc}} \times 100$$

Ο κορεσμός του ενισχυτή

Η χαρακτηριστική μεταφοράς του ενισχυτή παραμένει γραμμική μόνο σε μια περιορισμένη περιοχή τάσεων εισόδου και εξόδου. Το θετικό L_+ και το αρνητικό L_- επίπεδο κορεσμού είναι συνήθως 1 με 2 volts απολύτως μικρότερα από τις αντίστοιχες τάσεις τροφοδοσίας.



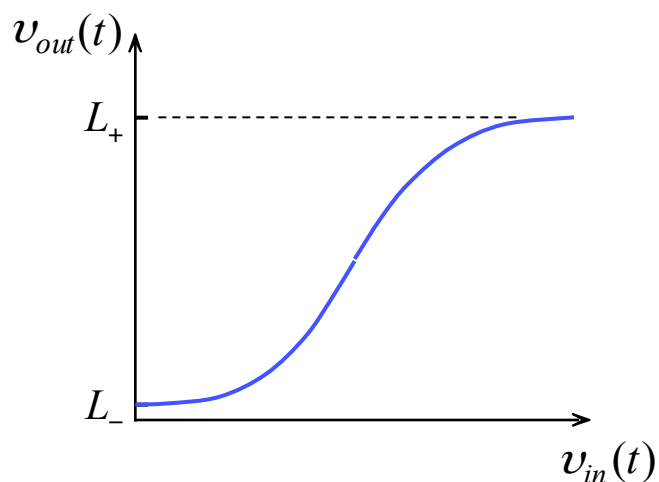


Για να αποφύγουμε την παραμόρφωση της κυματομορφής εξόδου, πρέπει η διακύμανση του σήματος εισόδου να βρίσκεται μέσα στα όρια γραμμικής λειτουργίας.

$$L_- \leq A_v v_{in} \leq L_+$$

Μη γραμμικές χαρακτηρίστηκες μεταφοράς και πόλωση

Στους πραγματικούς ενισχυτές, η χαρακτηριστική μεταφοράς παρουσιάζει μη γραμμικότητες διαφόρων πλατών ανάλογα με την ποιότητα κατασκευής του ενισχυτή και την προσπάθεια που έχει καταβληθεί κατά τη φάση σχεδίασης, ώστε να εξασφαλιστεί η γραμμικότητα της λειτουργίας του.



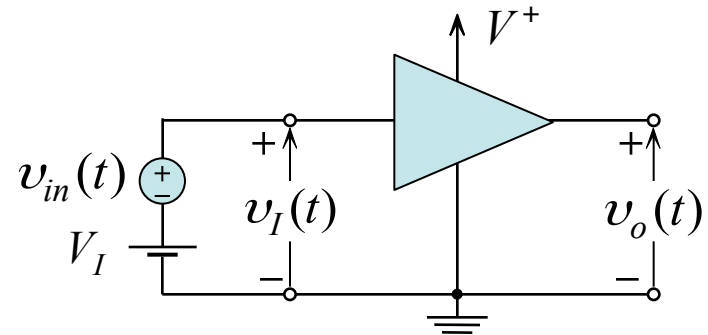
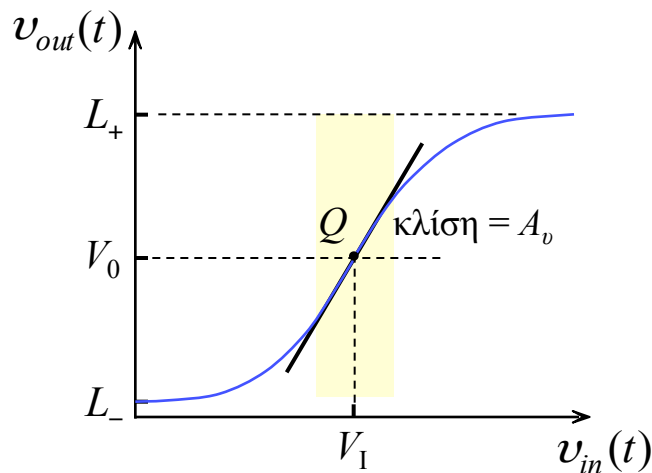
Τυπική χαρακτηριστική για απλούς ενισχυτές που λειτουργούν με απλό (θετικό) δυναμικό.

Η χαρακτηριστική μεταφοράς είναι εμφανώς μη γραμμική και εξαιτίας του μονού τροφοδοτικού, δεν είναι τοποθετημένη γύρω από το μηδέν.

Με την τεχνική της πόλωσης είναι εφικτή η γραμμική ενίσχυση από ένα ενισχυτή του οποίου η χαρακτηριστική είναι αυτή του σχήματος.

Με την πόλωση το κύκλωμα λειτουργεί σε σημείο το οποίο βρίσκεται περίπου στη μέση της χαρακτηριστικής μεταφοράς.

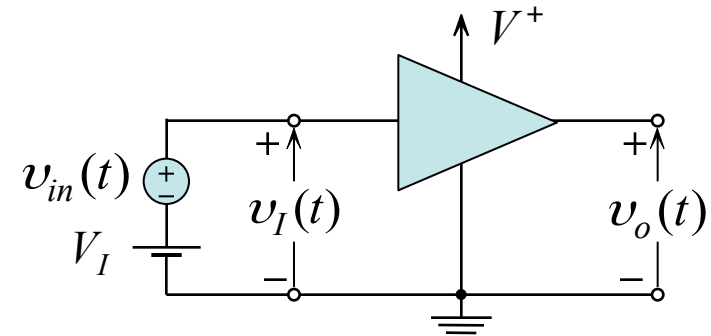
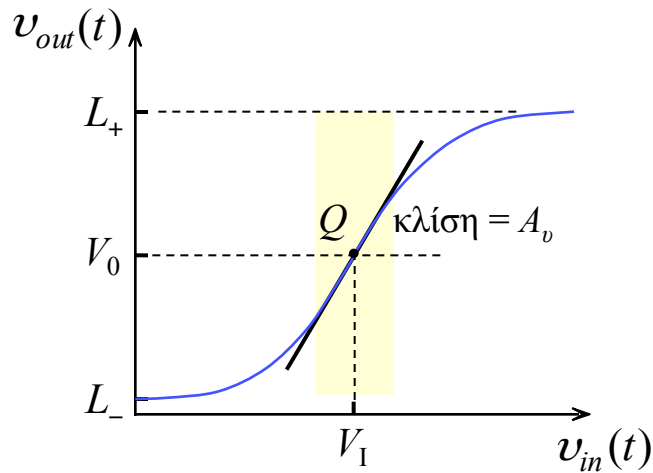
Η πόλωση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μιας τάσης V_I όπως φαίνεται στο σχήμα. Το σημείο λειτουργίας σημειώνεται με το γράμμα Q . Για τάση εισόδου $v_{in} = 0$ η τάση εξόδου είναι V_0 . Το σημείο Q είναι γνωστό ως **σημείο ηρεμίας** ή **σημείο πόλωσης** ή απλά **σημείο λειτουργίας**.



Το μεταβαλλόμενο χρονικά σήμα εισόδου $v_{in}(t)$ που πρόκειται να ενισχυθεί, υπερτίθεται στην dc τάση πόλωσης V_I . Η ολική στιγμιαία τάση εισόδου $v_I(t)$

$$v_I(t) = V_I + v_{in}(t)$$

μεταβάλλεται γύρω από την V_I και το στιγμιαίο σημείο λειτουργίας κινείται γύρω από το σημείο λειτουργίας Q .

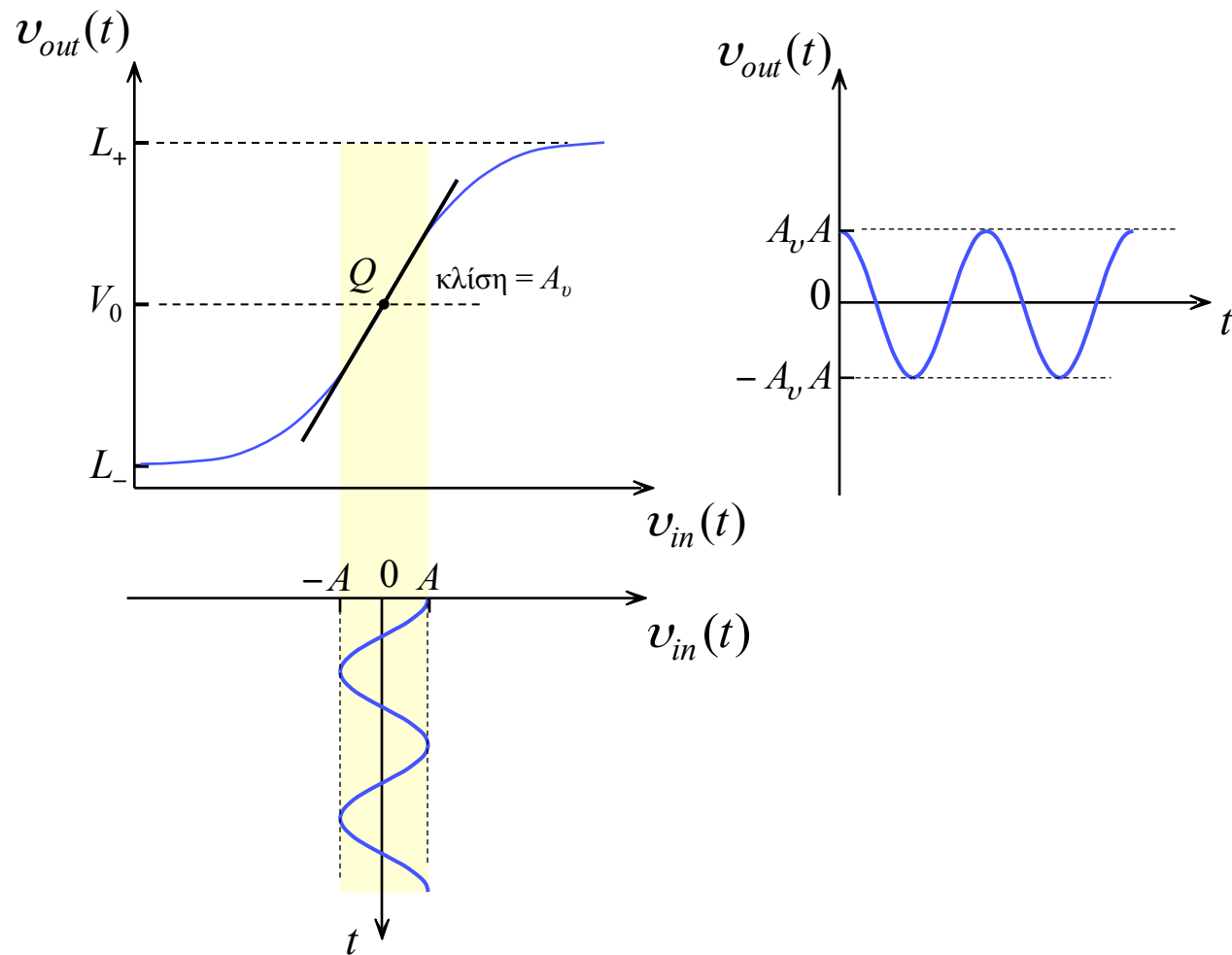


Κρατώντας το πλάτος της $v_{in}(t)$ μικρό, το στιγμιαίο σημείο λειτουργίας μπορεί να περιοριστεί στο γραμμικό τμήμα της καμπύλης μεταφοράς γύρο από το Q , και έτσι το χρονικά μεταβαλλόμενο τμήμα του σήματος εξόδου του συστήματος είναι ανάλογο του $v_{in}(t)$, δηλαδή,

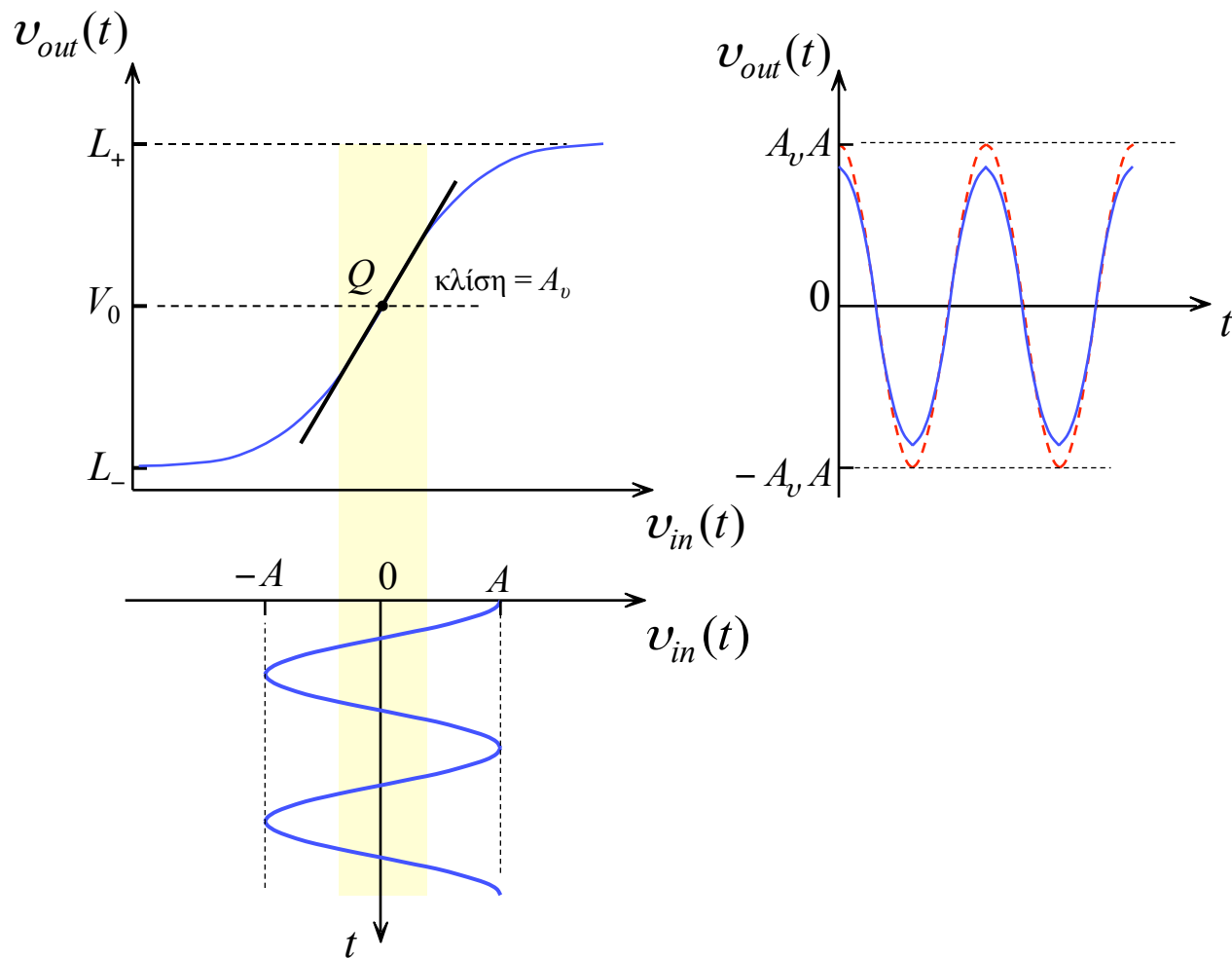
$$v_{out}(t) = A_v v_{in}(t)$$

και το ολικό σήμα εξόδου είναι

$$v_o(t) = V_0 + v_{out}(t)$$



Όταν ο ενισχυτής έχει πολωθεί σωστά και το σήμα στην είσοδό του κρατείται αρκούντως μικρό τότε υποθέτουμε ότι λειτουργεί στη γραμμική περιοχή και χρησιμοποιούμε τεχνικές ανάλυσης γραμμικών κυκλωμάτων για τη μελέτη της λειτουργίας του.



Αύξηση του πλάτους του σήματος εισόδου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η λειτουργία του συστήματος να μην βρίσκεται πλέον στο γραμμικό τμήμα της καμπύλης μεταφοράς. Αυτό με την σειρά του προκαλεί παραμόρφωση στη καμπύλη εξόδου. Η παραμόρφωση η οποία οφείλεται στη μη γραμμική παραμόρφωση είναι ανεπιθύμητη και πρέπει να αποφεύγεται.

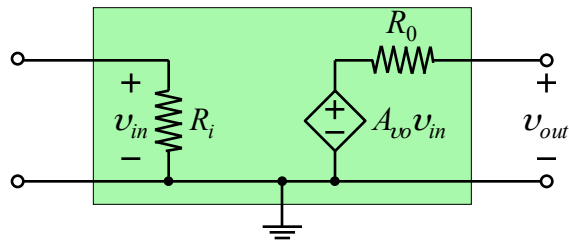
ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΕΝΥΣΧΥΤΕΣ

Θα αναπτυχθούν μεθοδολογίες σχεδιασμού ενισχυτών χρησιμοποιώντας τρανζίστορ διαφόρων τύπων.

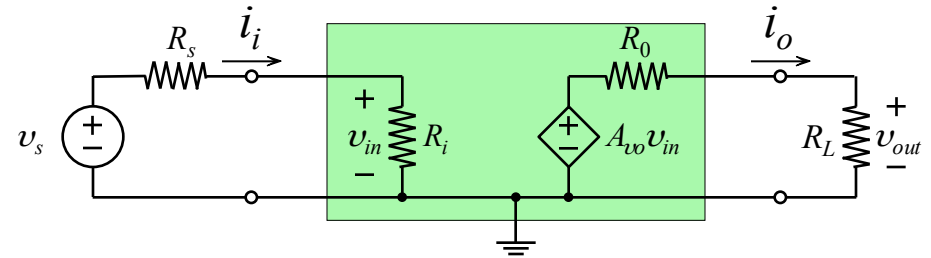
Θα μελετηθούν απλά και αποτελεσματικά μοντέλα ενισχυτών. Τα μοντέλα αυτά βρίσκουν εφαρμογή ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα του εσωτερικού κυκλώματος του ενισχυτή.

Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου μπορούν να βρεθούν είτε από την ανάλυση του κυκλώματος του ενισχυτή ή παίρνοντας μετρήσεις πάνω στους ακροδέκτες του.

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή τάσης



Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή τάσης



Ο ενισχυτή τάσης με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

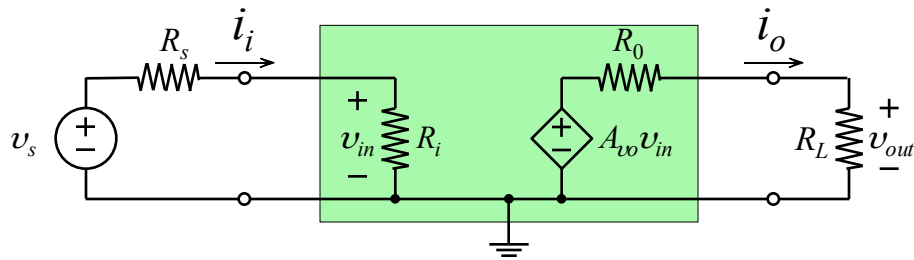
Το μοντέλο αποτελείται από

μία πηγή τάσης ελεγχόμενη από τάση με συντελεστή κέρδους A_{vo} όπου A_{vo} είναι το **κέρδος τάσης ενισχυτή χωρίς φορτίο** ή **κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος**,

$$A_{vo} \equiv \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{i_o=0}$$

μία αντίσταση εισόδου R_i η οποία υπάρχει επειδή ο ενισχυτής τραβά κάποιο ρεύμα από την πηγή σήματος εισόδου,

και μία αντίσταση εξόδου R_o η οποία υπάρχει επειδή λόγω της αλλαγής στην τάση εξόδου, καθώς ο ενισχυτής καλείται να τροφοδοτήσει με ρεύμα το φορτίο



Ο ενισχυτής τάσης με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

Η μη μηδενική αντίσταση εξόδου R_o έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζεται στην έξοδο μόνο ένα ποσοστό της $A_{vo} v_i$

$$v_o = A_{vo} v_i \frac{R_L}{R_L + R_o} \quad A_v \equiv \frac{v_o}{v_i} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o} \quad R_L \rightarrow \infty \Rightarrow A_v = A_{vo}$$

για δεδομένη αντίσταση φόρτου R_L θα πρέπει ο ενισχυτής να σχεδιαστεί έτσι ώστε η R_o να είναι πολύ μικρότερη από την R_L .

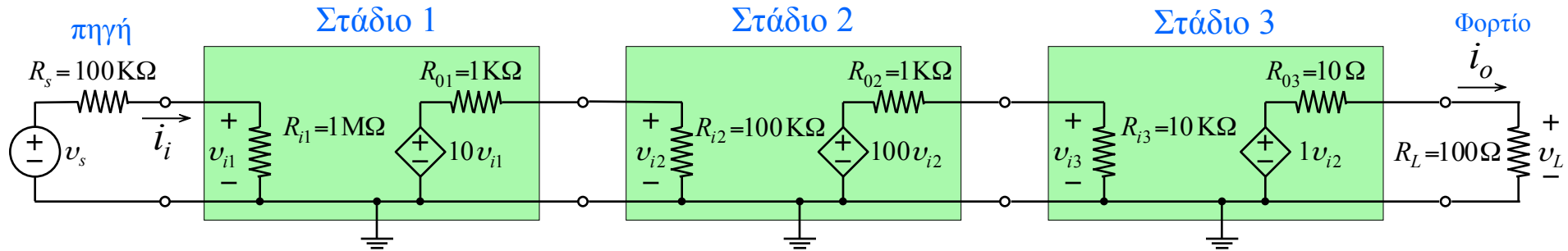
Η πεπερασμένη αντίσταση εισόδου R_i έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος του σήματος της πηγής να φτάνει στους ακροδέκτες του ενισχυτή.

$$v_i = v_s \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

Ο ενισχυτής θα πρέπει να σχεδιαστεί, έτσι ώστε να έχει αντίσταση εισόδου R_i πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση της πηγής σήματος, δηλαδή, $R_i \gg R_s$.

Παράδειγμα

Δίνεται ο ενισχυτής τάσης τριών βαθμίδων του σχήματος



Ο ενισχυτή τάσης τριών βαθμίδων

Το συνολικό κέρδος τάσης, δηλαδή το v_L/v_s είναι $A_v = 818 \text{ V/V}$ ή $58,3 \text{ dB}$.

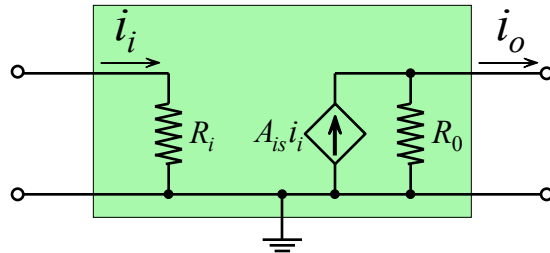
Το κέρδος ρεύματος, δηλαδή, το i_o/i_i είναι $A_i = 8,18 \times 10^6 \text{ A/A}$ ή $138,3 \text{ dB}$.

Το κέρδος ισχύος, δηλαδή, το P_L/P_I είναι $A_p = 66,9 \times 10^8 \text{ W/W}$ ή $98,3 \text{ dB}$.

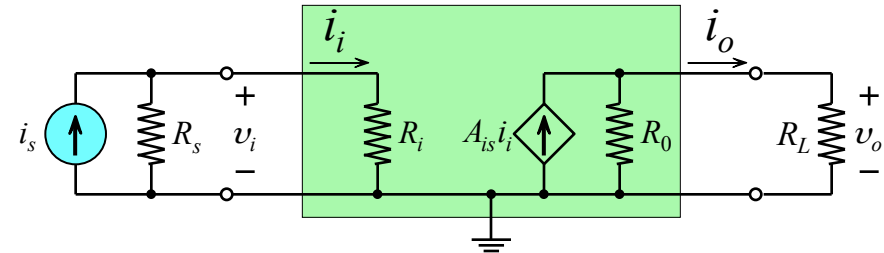
Ισχύει

$$A_p|_{\text{dB}} = \frac{1}{2} \left[A_v|_{\text{dB}} + A_i|_{\text{dB}} \right]$$

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή ρεύματος



Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή ρεύματος



Ο ενισχυτή ρεύματος με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

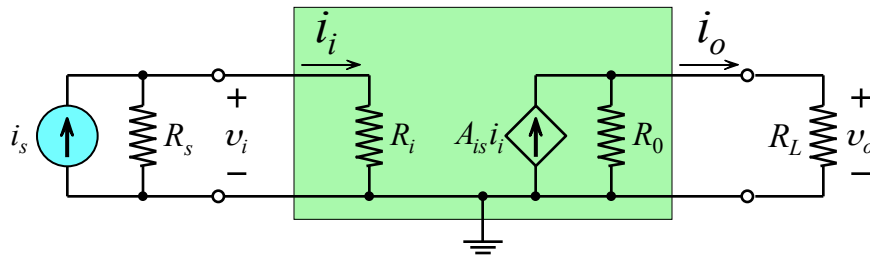
Το μοντέλο αποτελείται από

μία πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από το ρεύμα με συντελεστή κέρδους ρεύματος
οποίος ονομάζεται **κέρδος ρεύματος βραχυκυκλώματος** (A/A)

$$A_{is} \equiv \left. \frac{i_o}{i_i} \right|_{v_o=0} \quad \circ$$

μία αντίσταση εισόδου R_i και μία αντίσταση εξόδου R_o

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή ρεύματος



Ο ενισχυτή ρεύματος με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

Η μη μηδενική αντίσταση εξόδου R_o έχει ως αποτέλεσμα η οποία έχει ως αποτέλεσμα μόνο ένα μέρος του i_s να φτάνει στην είσοδο του ενισχυτή

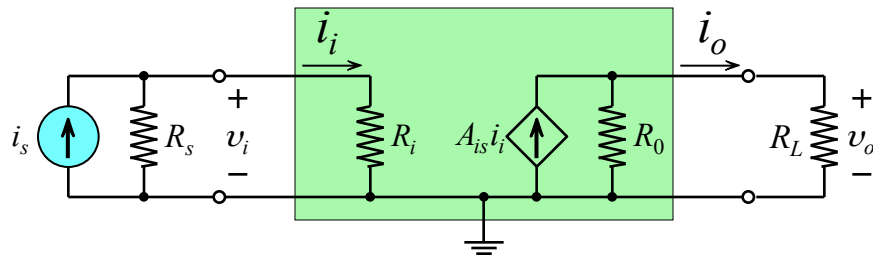
$$i_o = A_{is} i_i \frac{R_o}{R_o + R_L} \quad A_i \equiv \frac{i_o}{i_i} = A_{is} \frac{R_o}{R_o + R_L} \quad R_o \gg R_L \Rightarrow A_i = A_{is}$$

για δεδομένη αντίσταση φόρτου R_L για να αποφευχθεί απώλεια κέρδους στη ζεύξη του ενισχυτή ρεύματος με το φόρτο, θα πρέπει ο ενισχυτής να σχεδιαστεί έτσι ώστε η R_o να είναι πολύ μεγαλύτερη από την R_L .

Ένας ιδανικός ενισχυτής ρεύματος παρουσιάζει άπειρη αντίσταση εξόδου.

Όταν $R_L = 0$, το κέρδος ρεύματος είναι ίσο με A_{is} για το λόγω αυτό το A_{is} ονομάζεται **κέρδος ρεύματος βραχυκυκλώσεως**.

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή ρεύματος



Ο ενισχυτή ρεύματος με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

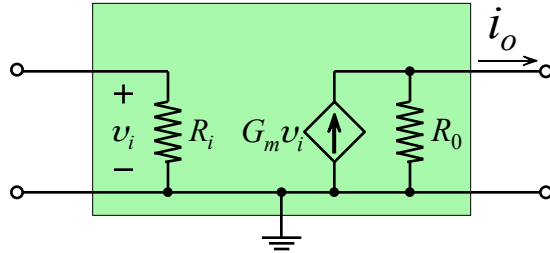
Η μη μηδενική αντίσταση εισόδου R_s έχει ως αποτέλεσμα μόνο ένα μέρος του i_s να φτάνει στην είσοδο του ενισχυτή

$$i_i = i_s \frac{R_s}{R_s + R_i}$$

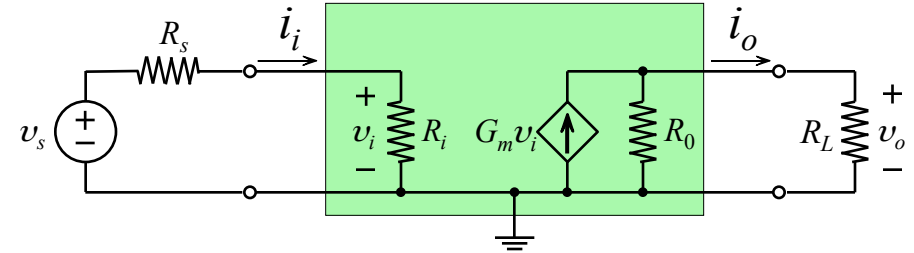
για να μειωθεί η απώλεια σήματος στην πλευρά της εισόδου, ο ενισχυτής ρεύματος πρέπει να σχεδιαστεί ώστε $R_i \ll R_s$.

Ένας ιδανικός ενισχυτής ρεύματος παρουσιάζει μηδενική αντίσταση εισόδου.

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή διαγωγιμότητας



Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή διαγωγιμότητας



Ο ενισχυτή διαγωγιμότητας με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

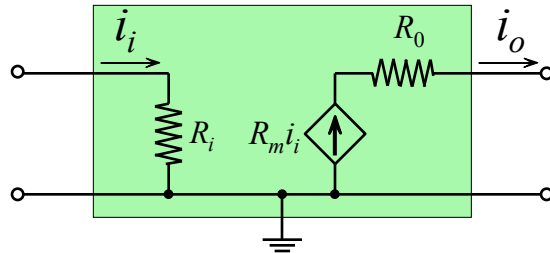
Το μοντέλο αποτελείται από

μία πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τη τάση με παράμετρο κέρδους $G_m \equiv \frac{i_o}{v_i}$ η οποία ονομάζεται **διαγωγιμότητα βραχυκυκλώματος** (με μονάδα A/V, δηλαδή αγωγιμότητας)

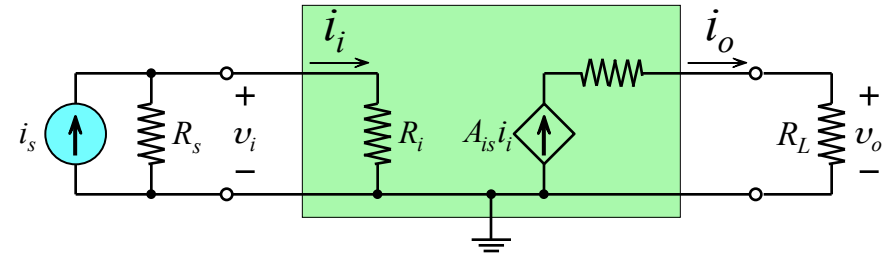
μία αντίσταση εξόδου R_o . Θα πρέπει $R_o \ll R_L$. Η ιδανική περίπτωση είναι $R_o = 0$.

και μία αντίσταση εισόδου R_i . Θα πρέπει $R_i \ll R_s$. Η ιδανική περίπτωση είναι $R_i = \infty$.

Κυκλωματικό μοντέλο Ενισχυτή διαντίστασης



Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή διαντίστασης



Ο ενισχυτή διαντίστασης με πηγή σήματος στην είσοδο και φορτίο

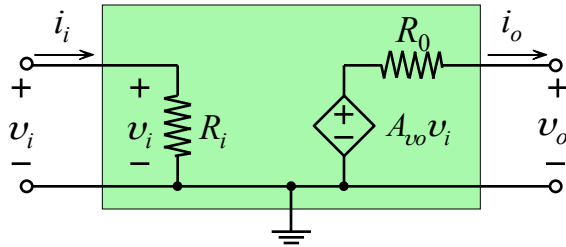
Το μοντέλο αποτελείται από

μία πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τη τάση με παράμετρο κέρδους $R_m \equiv \frac{v_o}{i_i}$ η οποία ονομάζεται **διαντίσταση ανοικτού κυκλώματος** (με μονάδα V/A, δηλαδή αντίστασης)

μία αντίσταση εξόδου R_o . Θα πρέπει $R_o \ll R_L$. Η ιδανική περίπτωση είναι $R_o = 0$.

και μία αντίσταση εισόδου R_i . Θα πρέπει $R_i \ll R_s$. Η ιδανική περίπτωση είναι $R_i = 0$.

Σχέσεις μεταξύ των μοντέλων ενισχυτών



Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή τάσης

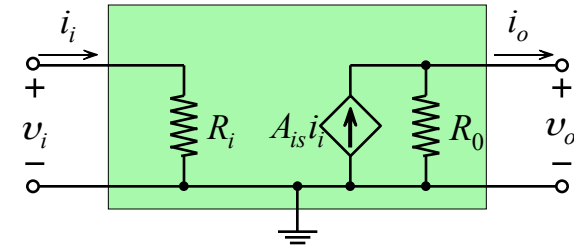
Η τάση εξόδου ανοικτού κυκλώματος στο μοντέλο του ενισχυτή τάσης είναι

$$v_o = A_{vo} \cdot v_i$$

δεδομένου ότι $i_i = \frac{v_i}{R_i}$ έχουμε την $A_{vo} \cdot v_i = A_{is} \frac{v_i}{R_i} R_o$ Τελικά ισχύει $A_{vo} = A_{is} \frac{R_o}{R_i}$

Παρόμοια αποδεικνύονται και οι σχέσεις

$$A_{vo} = G_m \cdot R_o \qquad A_{vo} = \frac{R_m}{R_i}$$

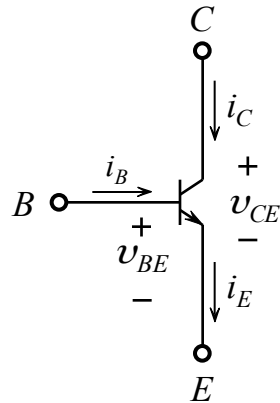


Κυκλωματικό μοντέλο ενισχυτή ρεύματος

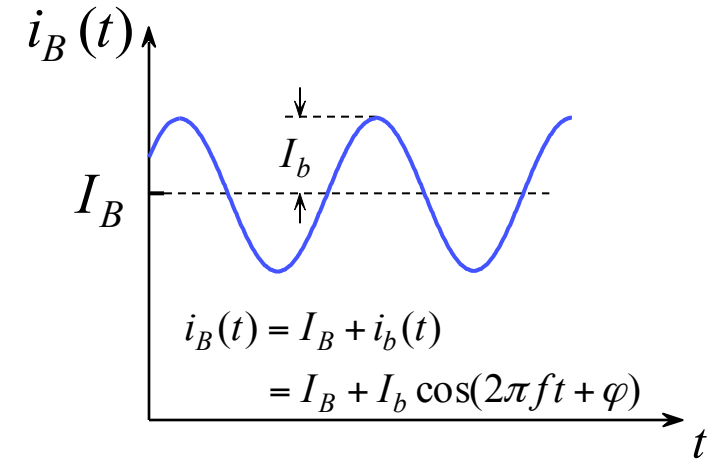
Η τάση εξόδου ανοικτού κυκλώματος στο μοντέλο του ενισχυτή ρεύματος είναι

$$v_o = A_{is} \cdot s_i \cdot R_o$$

Το διπολικό τρανζίστορ ενώσεως (bipolar junction transistor – BJT)



Κυκλωματικό σύμβολο
διπολικού Τρανζίστορ



Το στοιχείο είναι κατά κύριο λόγο μη γραμμικό.

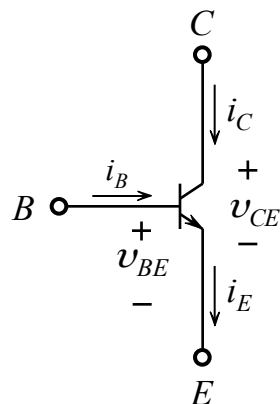
Οι ολικές στιγμιαίες ποσότητες μπορούν να εκφραστούν ως αθροίσματα ποσοτήτων dc ή πόλωσης και σημάτων, δηλαδή,

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be} \quad i_B = I_B + i_b$$

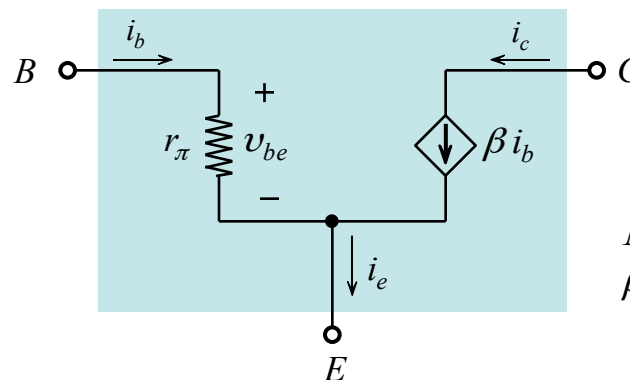
$$v_{CE} = V_{CE} + v_{ce} \quad i_C = I_C + i_c$$

$$i_E = I_E + i_e$$

Στην περίπτωση προσέγγισης ασθενούς σήματος οι σχέσεις μεταξύ των σημάτων είναι γραμμικές και το τρανζίστορ μπορεί να παρασταθεί με ένα από τα ισοδύναμα κυκλωματικά μοντέλα

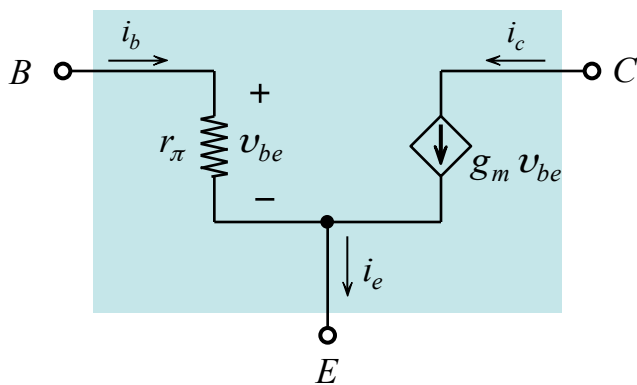


Κυκλωματικό σύμβολο διπολικού Τρανζίστορ



Μοντέλο ενισχυτή ρεύματος

$$i_b = \frac{v_{be}}{r_\pi} \quad i_c = \beta \cdot i_b \quad i_e = (\beta + 1) \cdot i_b$$



Μοντέλο ενισχυτή διαγωγιμότητας

$$i_c = g_m \cdot v_{be}$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις έχουμε

$$g_m = \frac{\beta}{r_\pi} \quad \frac{i_c}{i_e} = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \text{και} \quad i_e = \frac{\beta + 1}{r_\pi} v_{be}$$

Απόκριση συχνότητας συστήματος

Η συμπεριφορά των γραμμικών συστημάτων περιγράφεται από την **κρουστική απόκριση**, τη **συνάρτηση μεταφοράς** και την **απόκριση συχνότητας**.

Η απόκριση συχνότητας είναι μιγαδική συνάρτηση της συχνότητας ω και γενικά έχει τη μορφή

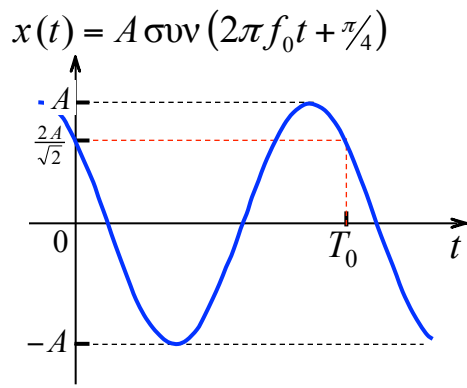
$$H(\omega) = |H(\omega)| e^{j \arg H(\omega)}$$

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi) \rightarrow \boxed{H(\omega)} \rightarrow y(t) = \overset{\text{Απόκριση πλάτους}}{|H(\omega_0)|} A \cos(\omega_0 t + \phi + \overset{\text{Απόκριση φάσης}}{\arg H(\omega_0)})$$

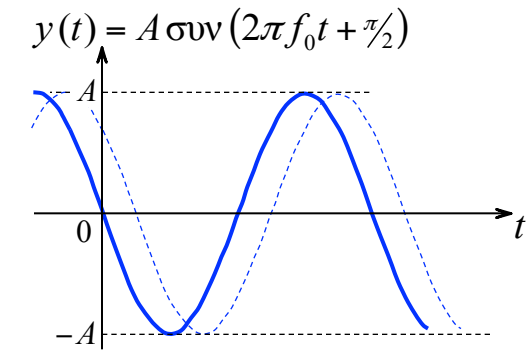
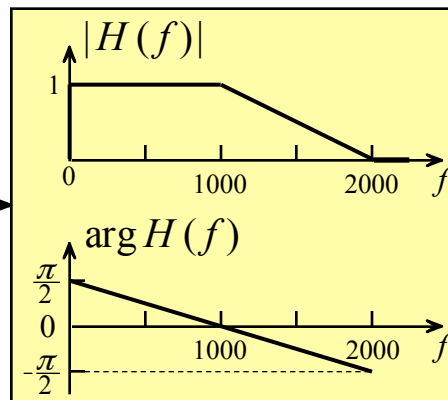
Η **διατήρηση της συχνότητας** αποτελεί βασική ιδιότητα των γραμμικών συστημάτων

Το πλάτος της εξόδου είναι ίσο με το γινόμενο του πλάτους της εισόδου επί το μέτρο της απόκρισης συχνότητας του συστήματος υπολογισμένου στην κυκλική συχνότητα ω_0 .

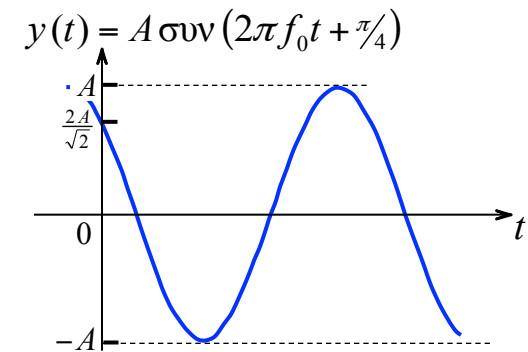
Η φάση της εξόδου του συστήματος είναι μετατοπισμένη ως προς τη φάση της εισόδου και προσδιορίζεται ως άθροισμα της φάσης του σήματος εισόδου και της φάσης της απόκρισης συχνότητας προσδιορισμένης στην κυκλική συχνότητα ω_0 του σήματος εισόδου.



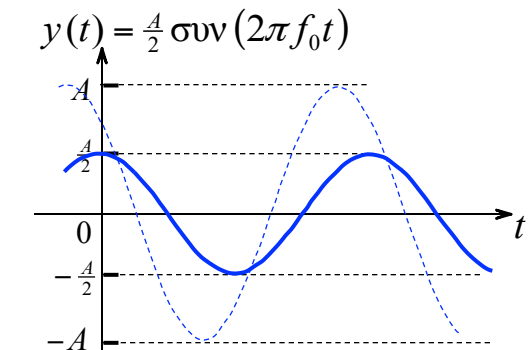
Το σήμα εισόδου $x(t)$.



Η έξοδος του συστήματος όταν $f_0 = 500$ Hz.



Η έξοδος του συστήματος όταν $f_0 = 1000$ Hz.

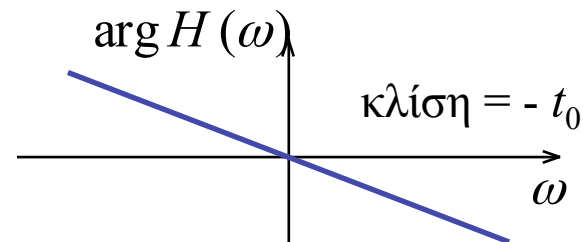
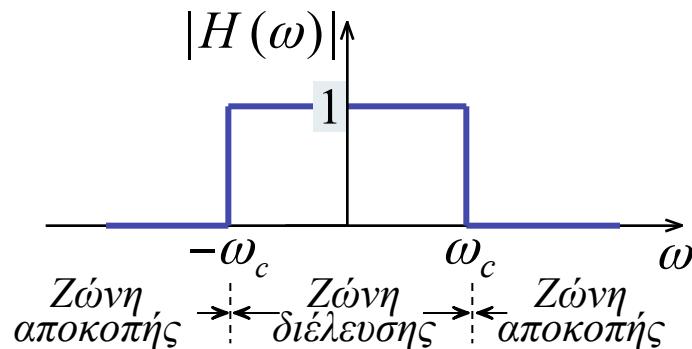


Η έξοδος του συστήματος όταν $f_0 = 1500$ Hz.

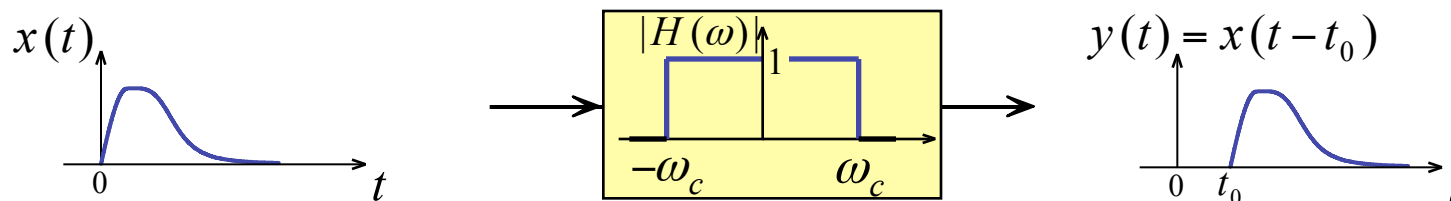
ΙΔΑΝΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ - ΚΑΤΩΠΕΡΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ

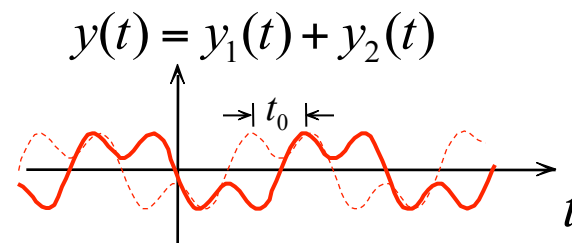
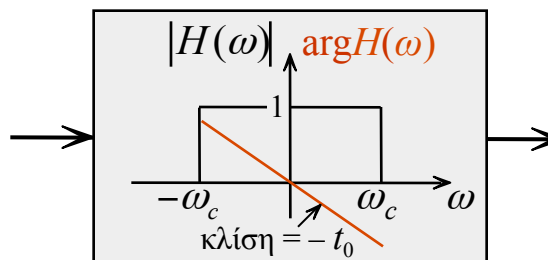
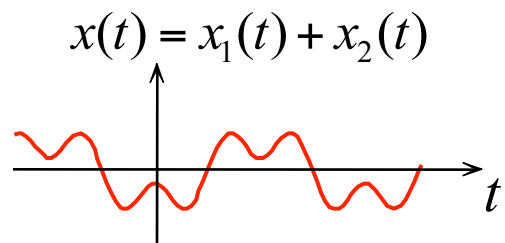
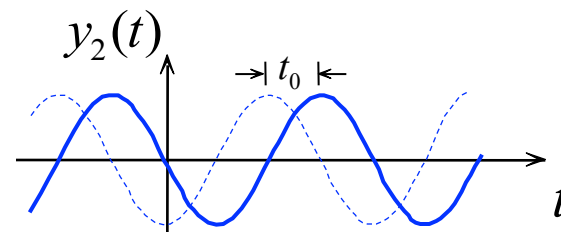
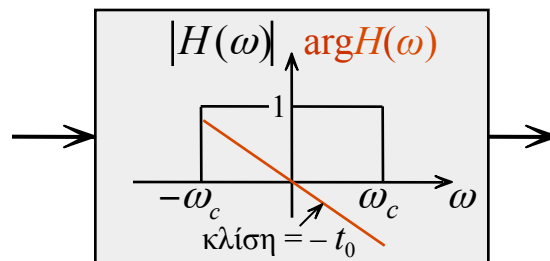
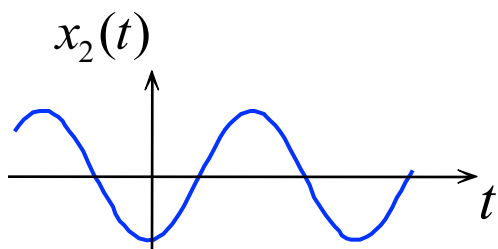
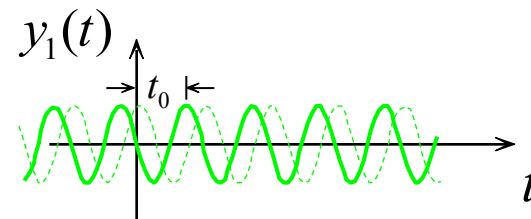
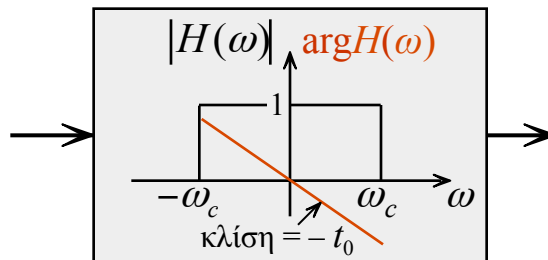
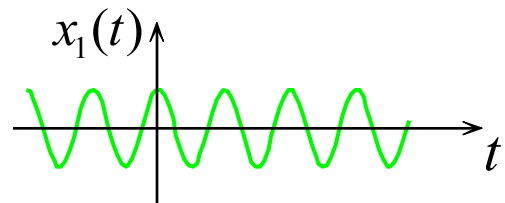
$$H(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_0}, & |\omega| < \omega_c \\ 0, & |\omega| > \omega_c \end{cases}$$

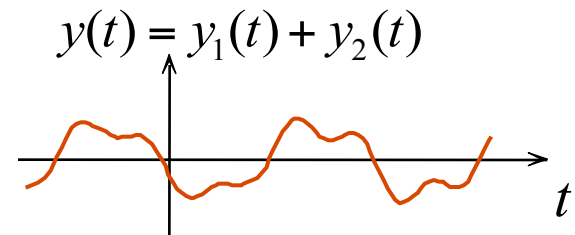
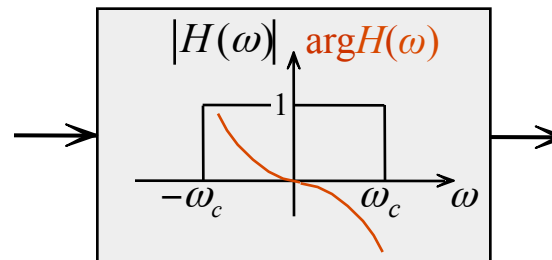
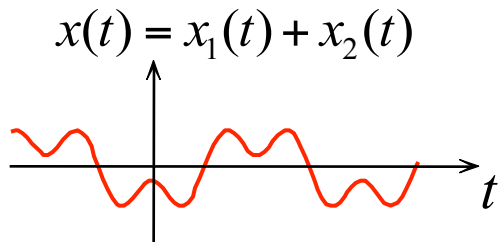
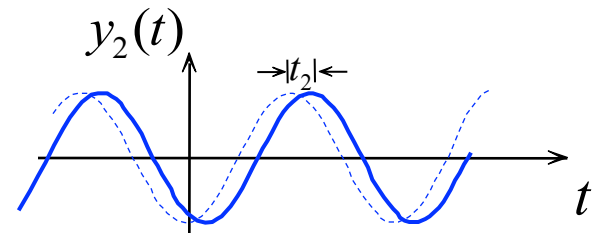
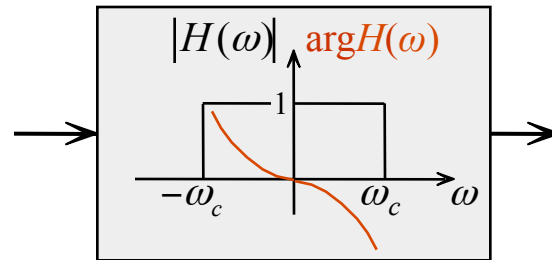
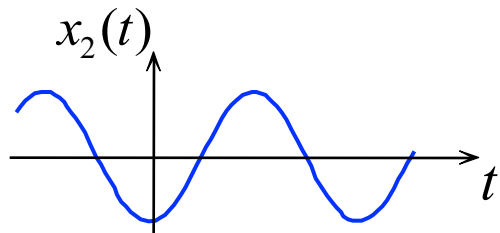
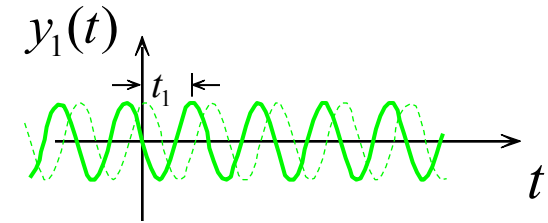
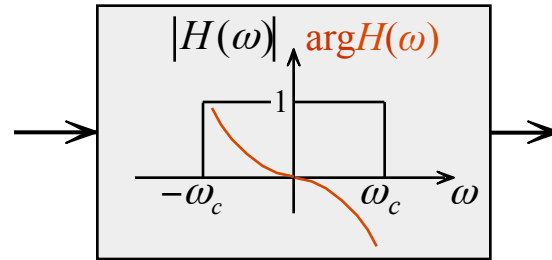
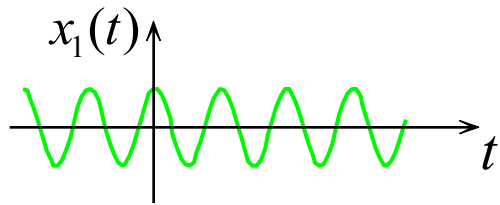
όπου ω_c είναι η *συχνότητα αποκοπής*.



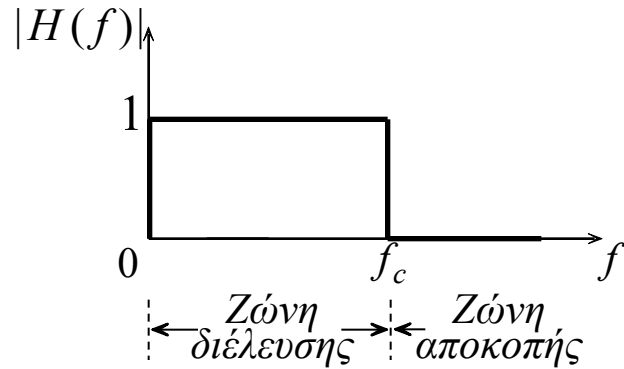
Η επίδραση του φίλτρου σε ένα σήμα εισόδου, με φασματικό περιεχόμενο εντοπισμένο στη ζώνη διέλευσης, είναι μια χρονική καθυστέρηση t_0 .



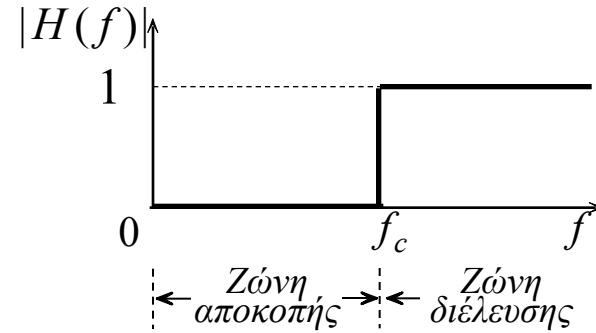




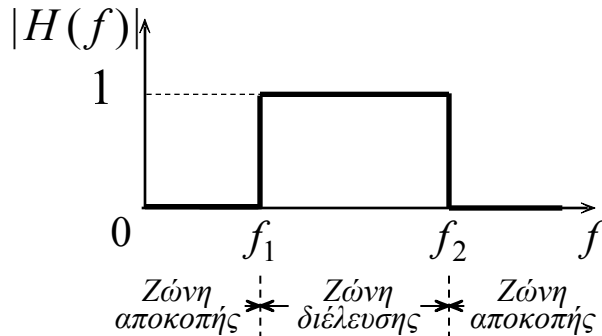
Ιδανικά φίλτρα



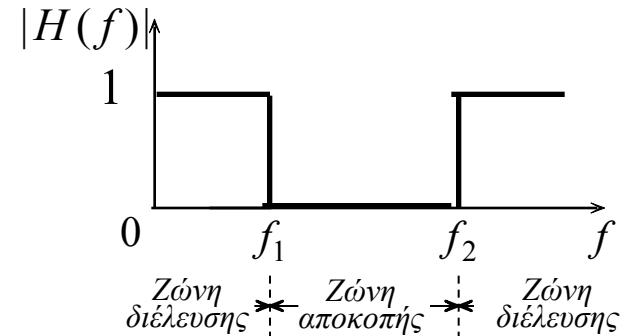
Ιδανικό βαθυπερατό φίλτρο



Ιδανικό υψιπερατό φίλτρο

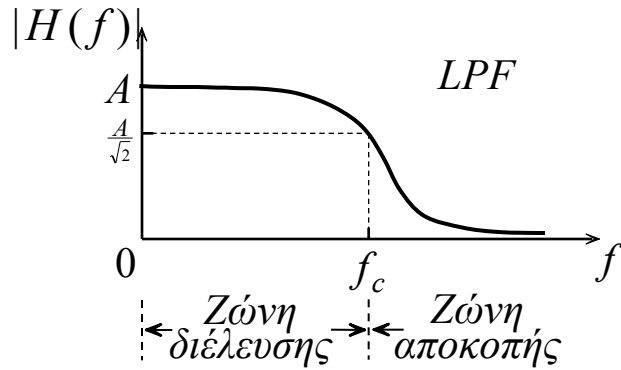


Ιδανικό ζωνοπερατό φίλτρο

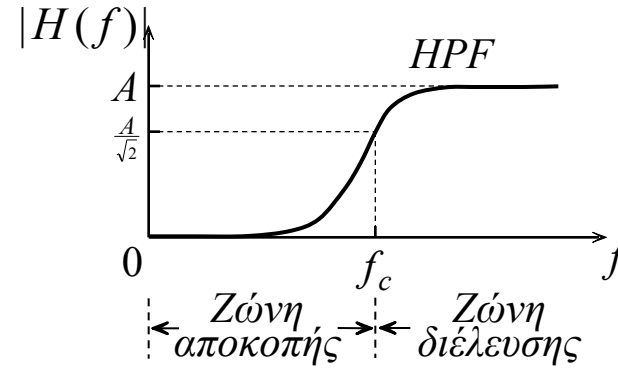


Ιδανικό ζωνοφρακτικό φίλτρο

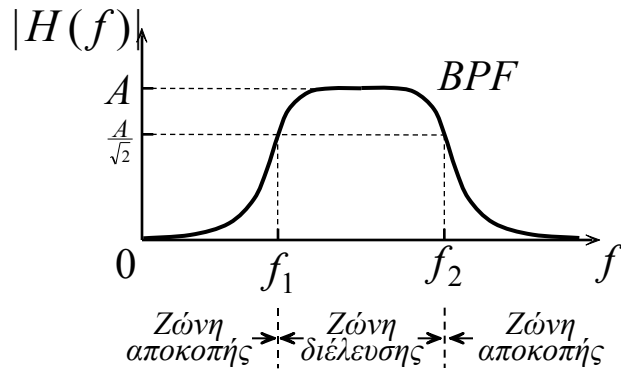
Πραγματικά φίλτρα



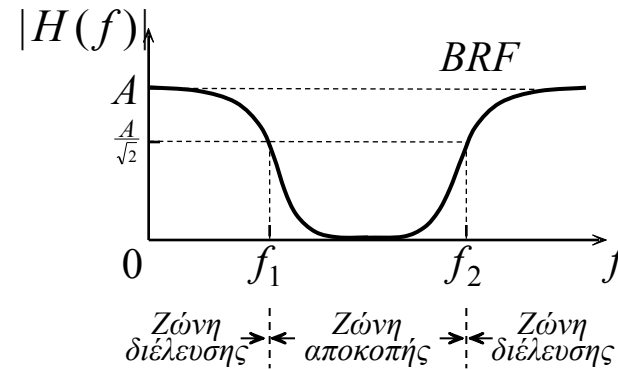
Πραγματικό βαθυπερατό φίλτρο



Πραγματικό υψιπερατό φίλτρο



Πραγματικό ζωνοπερατό φίλτρο



Πραγματικό ζωνοφρακτικό φίλτρο

Βαθυπερατά συστήματα πρώτης τάξης.

Τα βαθυπερατά ΓΧΑ σύστημα πρώτης τάξης περιγράφονται από τη διαφορική εξίσωση

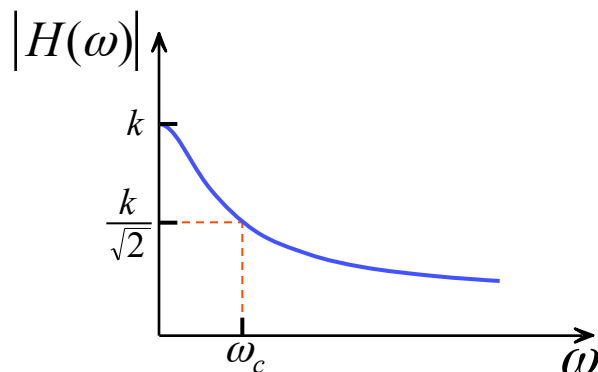
$$\frac{dy(t)}{dt} + a y(t) = b x(t)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς των βαθυπερατών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης τάξης έχει τη μορφή

$$H(s) = \frac{b}{s + a} = \frac{k}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$$

Η απόκριση συχνότητας των βαθυπερατών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης τάξης έχει τη μορφή

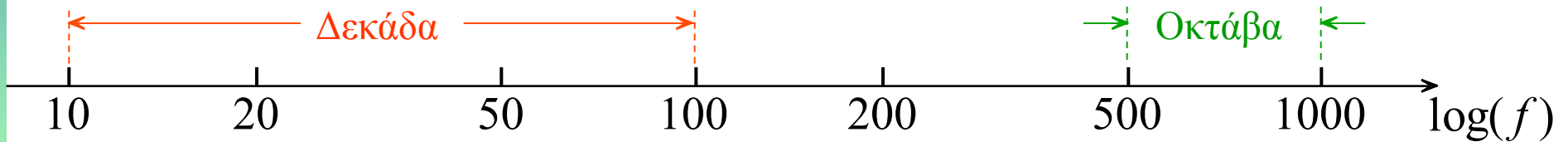
$$H(j\omega) = \frac{b}{j\omega + a} = \frac{k}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$$



Απόκριση πλάτους βαθυπερατού συστήματος πρώτης τάξης

Διαγράμματα Bode

Επειδή ο λογάριθμος εκτείνει την κλίμακα, η χρησιμοποίηση λογαριθμικής κλίμακας εξασφαλίζει καλύτερη ευκρίνεια όταν το εύρος των συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει είναι μεγάλο ή περιορίζεται σε μικρές τιμές κοντά στο μηδέν.



Η **δεκάδα** είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων για την οποία ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη συχνότητα είναι ίσο με 10

Η **οκτάβα** είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων για την οποία ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη συχνότητα είναι ίσο με 2

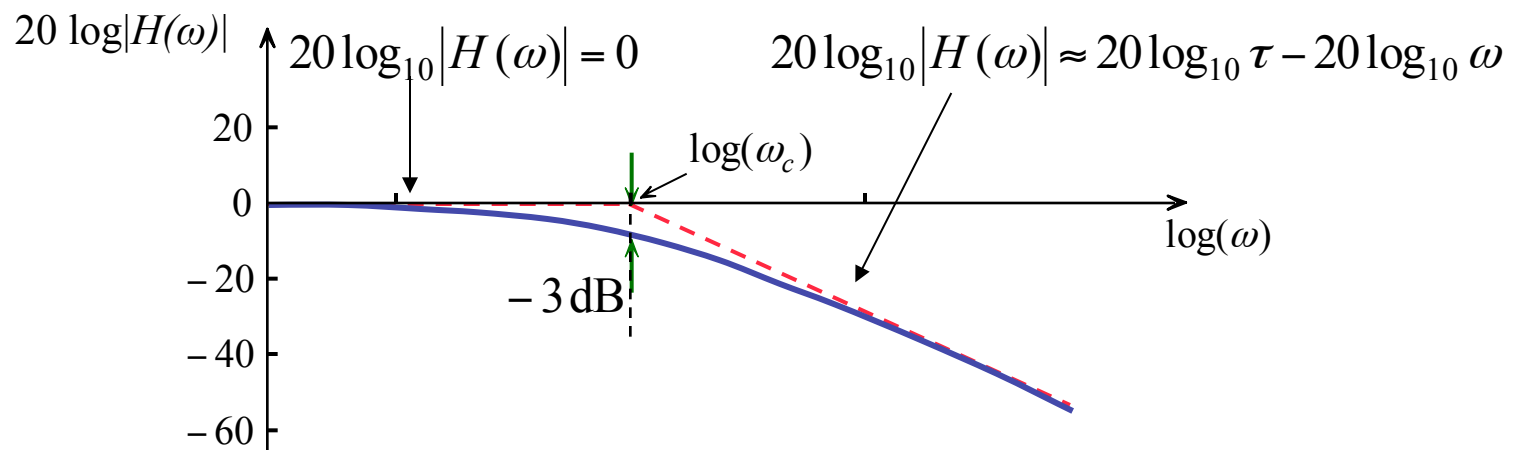
Στην γραφική παράσταση της απόκρισης πλάτους (απόκρισης κέρδους) και της απόκρισης φάσης συνήθως χρησιμοποιείται λογαριθμική κλίμακα για την συχνότητα.

Διαγράμματα που απεικονίζουν την απόκριση πλάτους ή την απόκριση φάσης ενός φίλτρου σε dB, σε συνάρτηση με τη συχνότητα, ονομάζονται **διαγράμματα Bode**.

Διαγράμματα Bode βαθυπερατού συστήματος πρώτης τάξης.

Χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα για τη συχνότητα, και ως μονάδα μέτρου το *decibel* (dB). Η κλίμακα των dB βασίζεται στην αντιστοιχία

$$\text{dB} = 20 \log_{10} |H(\omega)|$$



Απόκριση πλάτους βαθυπερατού συστήματος πρώτης τάξης

Υψιπερατά συστήματα πρώτης τάξης.

Τα υψιπερατά ΓΧΑ σύστημα πρώτης τάξης περιγράφονται από τη διαφορική εξίσωση

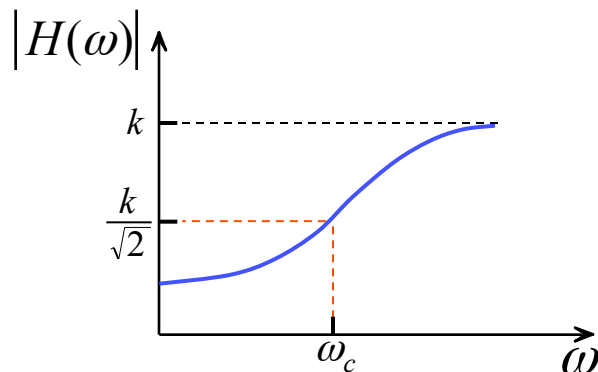
$$\frac{d y(t)}{d t} + a y(t) = b \frac{d x(t)}{d t}$$

Η συνάρτηση μεταφοράς των υψιπερατών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης τάξης έχει τη μορφή

$$H(s) = \frac{b s}{s + a} = \frac{k s}{s + \omega_c}$$

Η απόκριση συχνότητας των υψιπερατών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης τάξης έχει τη μορφή

$$H(j\omega) = \frac{b s}{j\omega + a} = \frac{k}{1 - j \frac{\omega_c}{\omega}}$$

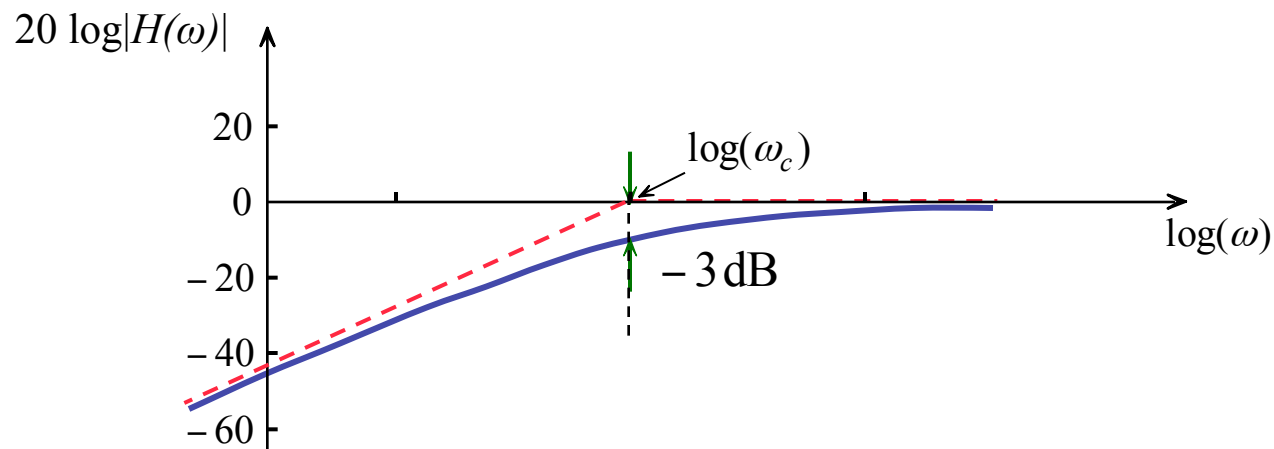


Απόκριση πλάτους υψιπερατού συστήματος πρώτης τάξης

Διαγράμματα Bode υψιπερατού συστήματος πρώτης τάξης.

Χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα για τη συχνότητα, και ως μονάδα μέτρου το *decibel* (dB). Η κλίμακα των dB βασίζεται στην αντιστοιχία

$$\text{dB} = 20 \log_{10} |H(\omega)|$$



Απόκριση πλάτους υψιπερατού συστήματος πρώτης τάξης