



HMY 370

Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική

Βιο-όργανα – Βιο-ηλεκτρονικά

Βιοϊατρικός Εξοπλισμός



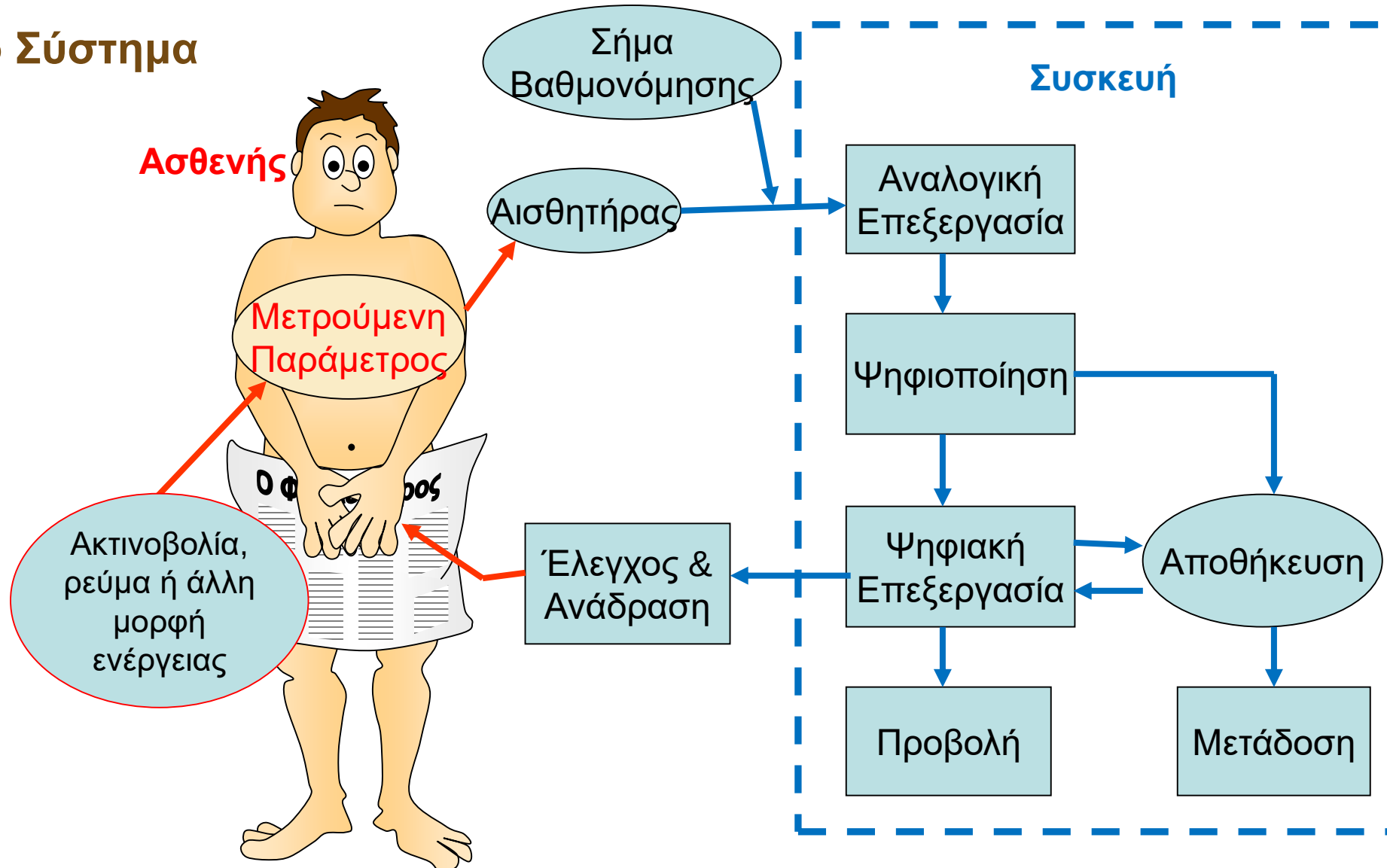
- Η διάγνωση και η θεραπεία εξαρτούνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση ιατρικών οργάνων
- **Ιατρική Διαδικασία**
 - Συλλογή δεδομένων - ποιοτική ή / και ποσοτική
 - Ανάλυση των δεδομένων
 - Λήψη αποφάσεων
 - Σχεδιασμός της θεραπείας με βάση την απόφαση
- **Οι ιατρικές συσκευές διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο σε όλα τα παραπάνω βήματα**
 - Διαγνωστικές, θεραπευτικές, συσκευές παρακολούθησης



Βιοϊατρικός Εξοπλισμός



- Βασικό Σύστημα



Μέρη Ενός Βιοϊτρικού Συστήματος



- **Αισθητήρας(ες)**

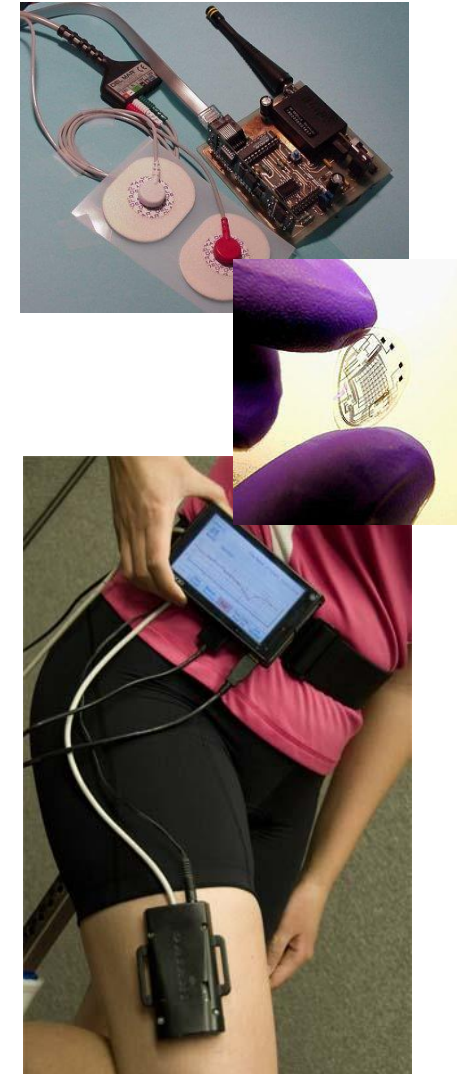
- Ανιχνεύει βιοχημικές, βιοηλεκτρικές ή βιοφυσικές παραμέτρους
- Παρέχει ασφαλή διεπαφή με τα βιολογικά υλικά
- Μετατρέπει μια φυσική παράμετρο σε ηλεκτρικό σήμα
- Ελάχιστα επεμβατικός (ιδανικά μη-επεμβατικός)

- **Ηλεκτρονικά**

- Βελτίωση σήματος
 - Ενίσχυση, φιλτράρισμα, μετατροπή της σύνθετης αντίστασης ώστε να ταιριάζει με του αισθητήρα
- Περαιτέρω αναλογική επεξεργασία
- Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
- Τα ηλεκτρονικά πρέπει να
 - Ταιριάζουν με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα / ενεργοποιητή
 - Διατηρούν το λόγο σήματος-θορύβου του αισθητήρα
 - Διατηρούν το εύρος ζώνης αισθητήρα / ενεργοποιητή
 - Παρέχουν ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας

- **Ενεργοποιητές**

- Επέμβαση μέσω άμεσης ή έμμεσης επαφής
 - Ελέγχουν βιοχημικές, βιοηλεκτρικές, ή βιοφυσικές παραμέτρους
- Παρέχουν μια ασφαλή διεπαφή με τα βιολογικά υλικά





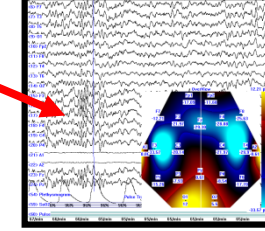
• Μετρήσιμες παράμετροι

- Φυσική ποσότητα, ιδιότητα, ή κατάσταση την οποία μετρά το σύστημα
 - Βιοδυναμικό
 - Πίεση
 - Ροή
 - Διαστάσεις (απεικόνιση)
 - Μετατόπιση (ταχύτητα, επιτάχυνση, και δύναμη)
 - Αντίσταση
 - Θερμοκρασία
 - Συγκεντρώσεις χημικών

Μαγνητική Τομογραφία



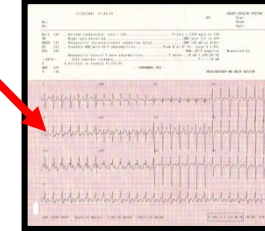
Εγκεφαλογράφημα



Αξονική Τομογραφία



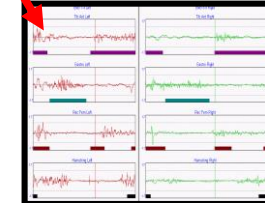
Καρδιογράφημα



Υπέρηχοι



Μυογράφημα



Ανάλυση και
Επεξεργασία

Διάγνωση



• Μετρήσιμες Παράμετροι

Παράμετρος	Εύρος	Συχνότητα, Hz	Μέθοδος
Ροή Αίματος	1 - 300 mL/s	0 - 20	Ηλεκτρομαγνητισμός ή υπέρηχοι
Πίεση Αίματος	0 - 400 mmHg	0 - 50	Περιχειρίδα ή μετρητής τάσης
Καρδιακή Παροχή	4 - 25 L/min	0 - 20	Fick, διάλυση χρωστικής
Ηλεκτροκαρδιογραφία	0.5 - 4 mV	0.05 - 150	Ηλεκτρόδια δέρματος
Ηλεκτροεγκεφαλογραφία	5 - 300 μ V	0.5 - 150	Ηλεκτρόδια κρανίου
Ηλεκτρομυογραφία	0.1 - 5 mV	0 - 10000	Ηλεκτρόδια βελόνες
Ηλεκτροαμφιβληστρογραφία	0 - 900 μ V	0 - 50	Ηλεκτρόδια φακού επαφής
pH	3 - 13 pH units	0 - 1	Ηλεκτρόδια pH
$p\text{CO}_2$	40 - 100 mmHg	0 - 2	Ηλεκτρόδια $p\text{CO}_2$
$p\text{O}_2$	30 - 100 mmHg	0 - 2	Ηλεκτρόδια $p\text{O}_2$
Πνευμονοταχογραφία	0 - 600 L/min	0 - 40	Πνευμονοταχύμετρο
Ρυθμός Αναπνοής	2 - 50 breaths/min	0.1 - 10	Εμπέδηση
Θερμοκρασία	32 - 40 $^{\circ}\text{C}$	0 - 0.1	Thermistor



- Ο βιοϊατρικός εξοπλισμός σχεδιάζεται για συγκεκριμένο σήμα
 - Προκαθορισμένες τιμές των προδιαγραφών
 - Έχουν συμφωνηθεί από επιτροπές
 - Αντλούνται από την έρευνα, τα νοσοκομεία, τη βιομηχανία, ή/και την κυβέρνηση

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτροκαρδιογράφου

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Δυναμικό εύρος σήματος εισόδου	± 5 mV
DC ολίσθηση	± 300 mV
Ρυθμός μεταβολής εξόδου (Slew rate)	320 mV/s
Απόκριση συχνότητας	0.05 to 150 Hz
Εμπέδηση εισόδου στα 10 Hz	2.5 M Ω
Ρεύμα ηλεκτροδίου DC	0.1 μ A
Χρόνος επιστροφής μετά από αλλαγή ηλεκτροδίου	1 s
Τάση υπερφόρτωσης χωρίς βλάβη	5000 V
Ρεύμα κινδύνου στα 120 V	10 μ A

Βιοϊατρικός Εξοπλισμός



Τα συστήματα βιοϊατρικών μετρήσεων πρέπει επίσης να διαθέτουν ψηλή ...

- **Ευαισθησία/Ειδικότητα**

- Ικανότητα να διακρίνει μεταξύ των “φυσιολογικών” και “μη φυσιολογικών” αποτελεσμάτων, “ασφαλών” και “μη ασφαλών” επίπεδων

- **Μη Επεμβατικότητα**

- Δεν παρεμβαίνει ή τροποποιεί τη λειτουργία που εκτελείται και μετράται
- Δεν παρεμβαίνει στην κανονική λειτουργία του σώματος (ιδανικά μη επεμβατική), εκτός αν χρησιμοποιείται για θεραπεία!

- **Ασφάλεια**

- Δεν αναμένεται να δημιουργήσει κίνδυνο για τον ασθενή ή τον ερευνητή

- **Πρακτικότητα**

- Απλή, εύκολη και ανέξοδη χρήση
- Ελαχιστοποίηση πιθανότητας λάθους





- Προβλήματα που προκύπτουν από μετρήσεις σε ζων σύστημα

- Πολλές σημαντικές παράμετροι σε ζώντα συστήματα είναι δυσπρόσιτες και δεν μπορεί να μετρηθούν άμεσα
- Οι μεταβλητές μεταβάλλονται στον ίδιο ασθενή και μεταξύ ασθενών
- Κάποιες βιοϊατρικές μετρήσεις εξαρτώνται από την ενέργεια ενός εξωτερικού ερεθίσματος
- Η λειτουργία των οργάνων στο κλινικό περιβάλλον επιβάλλει σημαντικούς πρόσθετους περιορισμούς

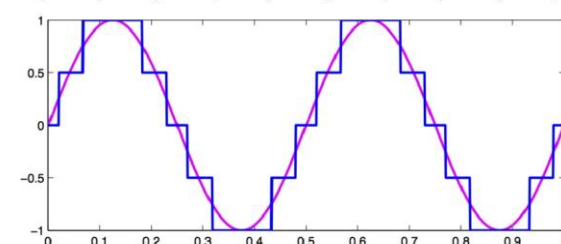
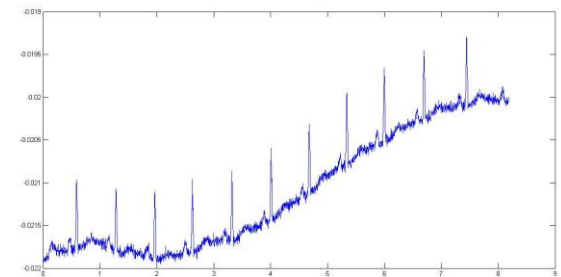
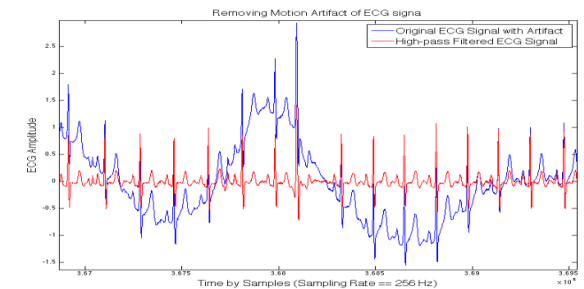
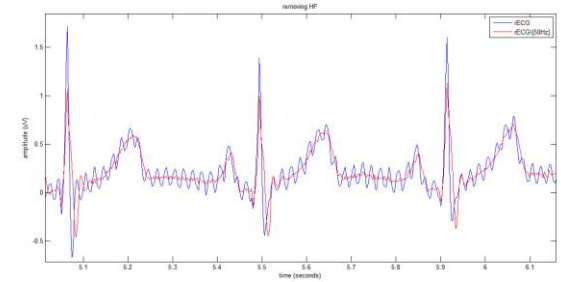


Βιοϊατρικός Εξοπλισμός



- **Σφάλματα στις μετρήσεις**

- Όταν μετράμε μια μεταβλητή, προσπαθούμε να καθορίσουμε την πραγματική τιμή
- Αυτή η πραγματική τιμή μπορεί να αλλοιωθεί από διάφορα σφάλματα.
- Παρεμβολή
 - Πεδία από τις γραμμές μεταφοράς ενέργειας μπορεί να συζευχθούν με τα καλώδια και να προκαλέσουν μια ανεπιθύμητη πρόσθετη τάση – 50 Hz
- Σφάλματα Κίνησης
 - Κίνηση των ηλεκτροδίων πάνω στο δέρμα μπορεί να προκαλέσει μια ανεπιθύμητη πρόσθετη τάση – Απότομες μεγάλες τάσεις
- Ηλεκτρονικός θόρυβος
 - Θερμικές τάσεις στους ημιαγωγούς του ενισχυτή μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητες αλλαγές πρόσθετης τυχαίας τάσης – Ψηλής συχνότητας
- Μετακίνηση τάσης (drift)
 - Οι μεταβολές της θερμοκρασίας στα ηλεκτρονικά στοιχεία του ενισχυτή μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητες αργές αλλαγές στην τάση – Αργή και σταδιακή αλλαγή DC
- Σφάλματα ψηφιοποίησης
 - Οι μετρήσεις γίνονται διακριτές (βήματα), τόσο στο χρόνο όσο και στο πλάτος
- Κάθε μια από αυτές τις πηγές σφάλματος πρέπει να αξιολογηθεί
 - Προσδιορισμός του μεγέθους και καθορισμός τρόπου ελαχιστοποίησής τους (π.χ. φίλτρα συχνότητας)



Βιοϊατρικός Εξοπλισμός



• Βαθμονόμηση

- Ο εξοπλισμός θα πρέπει να βαθμονομηθεί έναντι ενός προτύπου
 - Ορθότητα προτύπου 3 έως 10 φορές καλύτερη από την επιθυμητή ορθότητα βαθμονόμησης
- Η ορθότητα του προτύπου πρέπει να είναι ανιχνεύσιμη
 - Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας, κλπ.

• Πιστοποίηση

- Ό εξοπλισμός θα πρέπει να πιστοποιηθεί για την ασφάλεια
 - Π.χ. CE

• Ρυθμιστική έγκριση

- Ο εξοπλισμός πρέπει να δοκιμαστεί σε κλινικές δοκιμές
- Η κλινική χρήση του πρέπει να εγκριθεί από τα αρμόδια όργανα
 - Π.χ. FDA



Ενίσχυση



- Τα περισσότερα βιοϊατρικά σήματα απαιτούν ενίσχυση
- Τύποι ενίσχυσης
 - Υπάρχουν τρία είδη ενίσχυσης:
 - Ενισχυτής τάσης - ένας ενισχυτής που ενισχύει την τάση ενός σήματος εισόδου
 - Ενισχυτής ρεύματος- ένας ενισχυτής που ενισχύει το ρεύμα ενός σήματος
 - Ενισχυτής Ισχύος - ο συνδυασμός των δύο παραπάνω ενισχυτών





- **Βιοηλεκτρικός Ενισχυτής**

- Είναι ο ενισχυτής που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βιο-δυναμικών
- Το κέρδος μπορεί να είναι
 - Χαμηλό: Συντελεστής κέρδους $\times 1$ και $\times 10$ (π.χ. δυναμικό ενεργείας)
 - Ενδιάμεσο: Συντελεστής κέρδους $\times 10$ και $\times 1,000$ (π.χ. ΗΚΓ, ΗΜΓ, ...)
 - Ψηλό: Συντελεστής κέρδους πάνω από $\times 10,000$ έως και $\times 1,000,000$ (π.χ. EEG)
- Είναι συνήθως AC-συζευγμένος.
 - DC-σύζευξη απαιτείται όταν το σήμα εισόδου είναι σαφώς DC ή αλλάζει πολύ αργά (0,05 Hz)
- Απόκριση συχνότητας
 - Πρέπει να είναι τέτοια που να μπορεί άνετα να καλύπτει όλες τις συχνότητες του σήματος (π.χ. για ΗΚΓ από 0,05 έως 100 Hz)

Τύποι Ενισχυτών

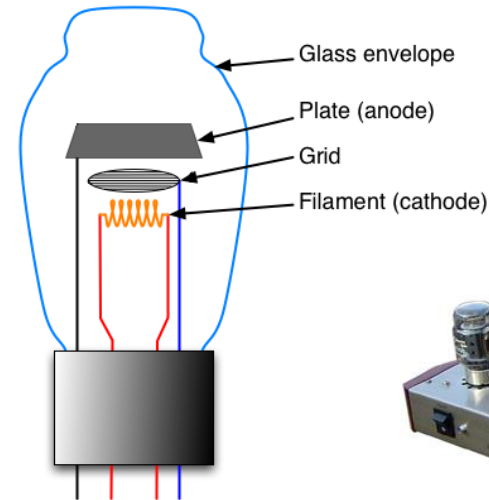


- **Τύποι Ενισχυτών**

- Δίοδος Κενού (Vacuum Valve)
- Τρανζίστορ (Transistor)
- Τελεστικός Ενισχυτής (Operational amplifier)

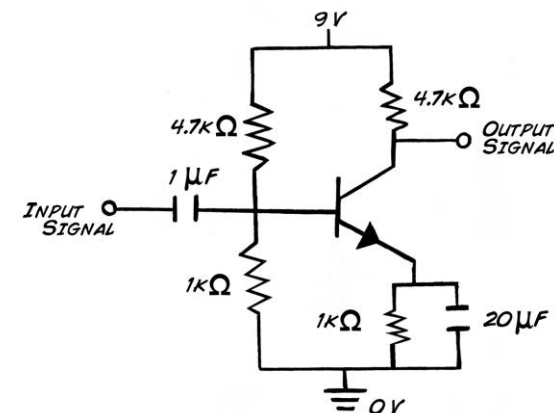
- **Δίοδος Κενού (Vacuum Valve)**

- ή ηλεκτρονική λυχνία ή βαλβίδα
- Χρησιμοποιείται συνήθως για την ενίσχυση, διακοπή ή τροποποίηση ενός σήματος
- Έλεγχος της κίνησης των ηλεκτρονίων σε έναν κενό χώρο.



- **Τρανζίστορ (Transistor)**

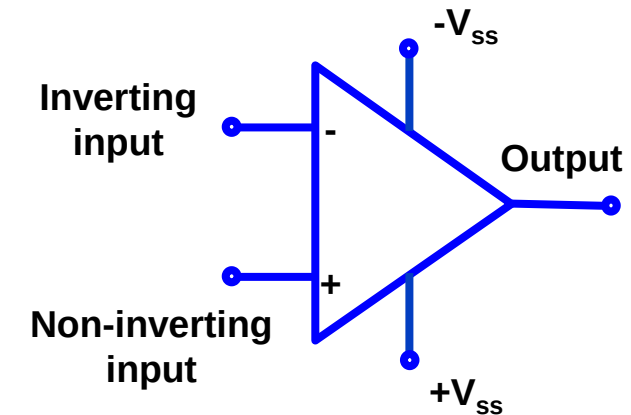
- Διπολικό τρανζίστορ επαφής (BJT)
- Δύο δίοδοι ενωμένοι με μια πολύ λεπτή κοινή περιοχή
- Ένα μικρό ηλεκτρικό σήμα εισόδου μπορεί να ενισχυθεί με τρανζίστορ



Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)



- Ο ΤΕ είναι μια συσκευή για την αύξηση της ισχύος ενός σήματος.
 - Απορρόφηση ισχύος από μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
 - Το σήμα εξόδου έχει το ίδιο σχήμα με το σήμα εισόδου, αλλά με μεγαλύτερο πλάτος (ενίσχυση).
- Μπορεί να εκτελέσει και αριθμητικές πράξεις με τα σήματα
 - Πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός
- Έχει δύο εισόδους
 - Μια αναστρέφουσα είσοδο (-)
 - Μια μη αναστρέφουσα είσοδο (+)
- Έχει μία έξοδο
- Έχει συνήθως δύο πηγές ($\pm V_{ss}$)
 - Αλλά μπορεί να λειτουργήσει και με μία

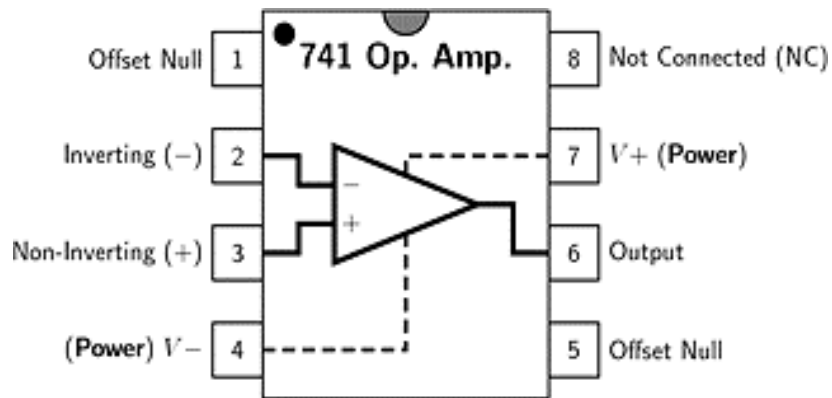


Symbol of op-amplifier

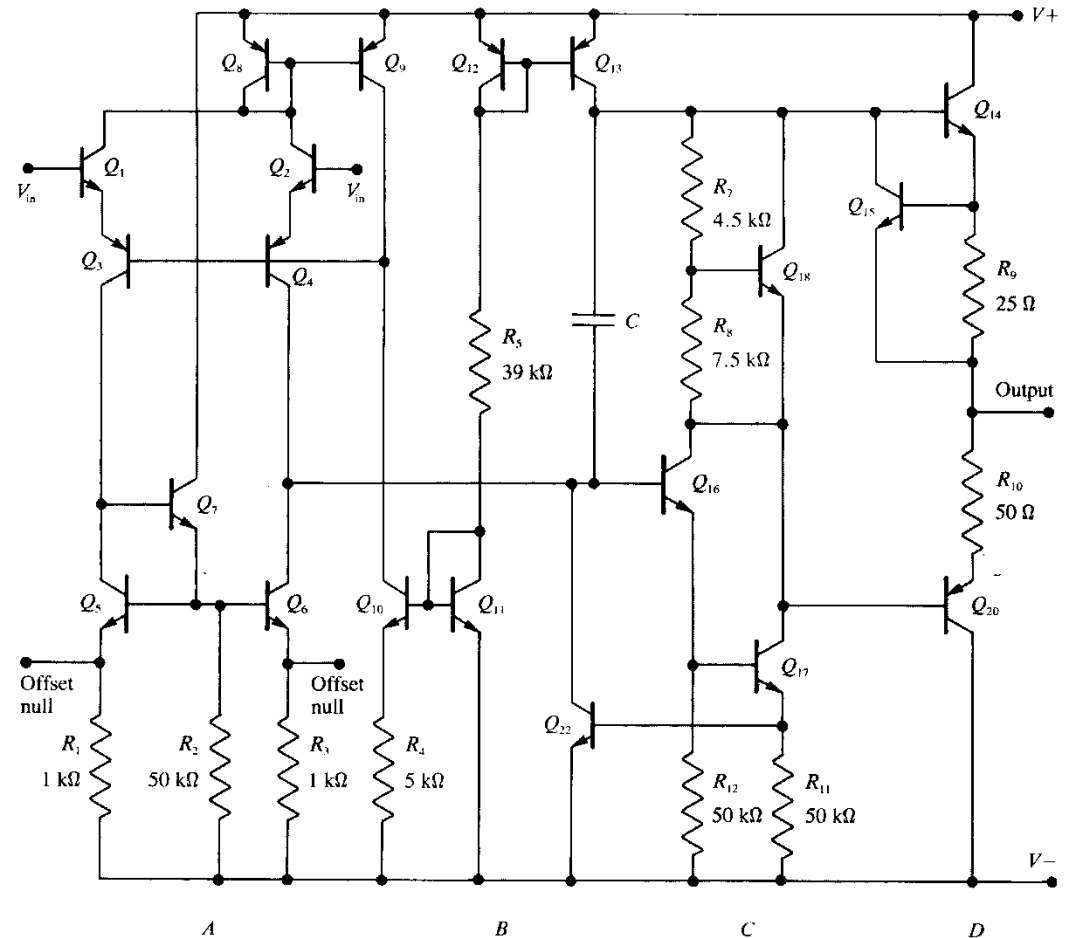
Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)



- Μέσα στον ΤΕ (IC-chip)



20 transistors
11 resistors
1 capacitor



Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)



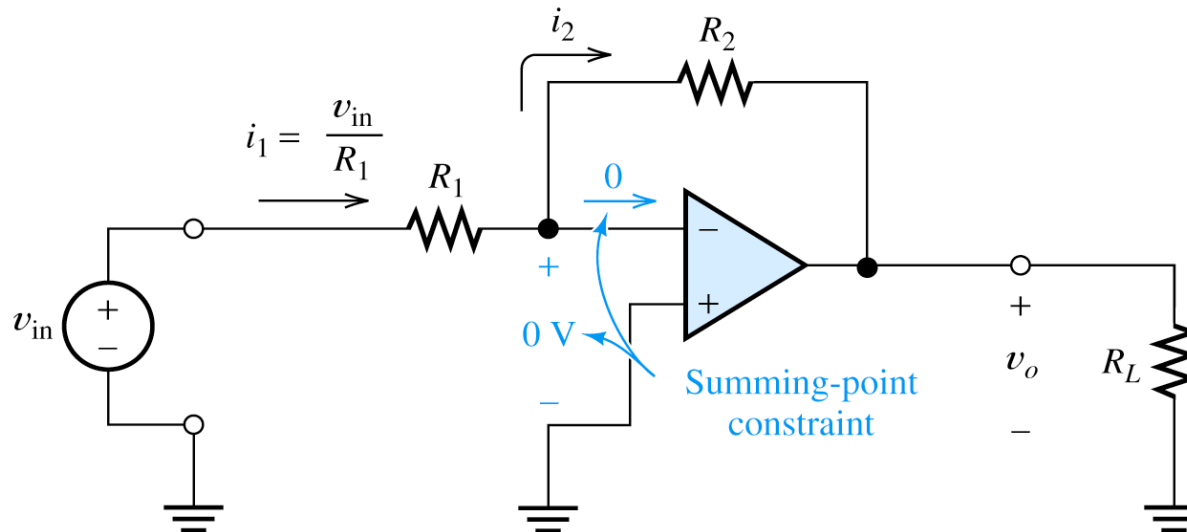
- **Περιορισμός Αθροιστικού Σημείου (Summing Point Constraint)**

- Σε ένα σύστημα με αρνητική ανάδραση, η τάση εξόδου του ιδανικού ΤΕ παίρνει τέτοιες τιμές ώστε η διαφορική τάση εισόδου και το ρεύμα εισόδου να είναι μηδέν.

- **Ανάλυση Κυκλώματος**

1. Βεβαιωθείτε ότι υπάρχει αρνητική ανάδραση
2. Υποθέστε ότι η διαφορική τάση εισόδου και το ρεύμα εισόδου του ΤΕ βρίσκονται στο μηδέν. (Περιορισμός αθροιστικού σημείου)
3. Εφαρμόστε τις συνήθεις αρχές ανάλυσης κυκλωμάτων, όπως οι νόμοι του Kirchhoff και του Ohm.

- **Εφαρμογή του Περιορισμός Αθροιστικού Σημείου**



$$i_1 = \frac{v_{in}}{R_1}$$

$$i_2 = i_1$$

$$v_o = -i_2 R_2$$

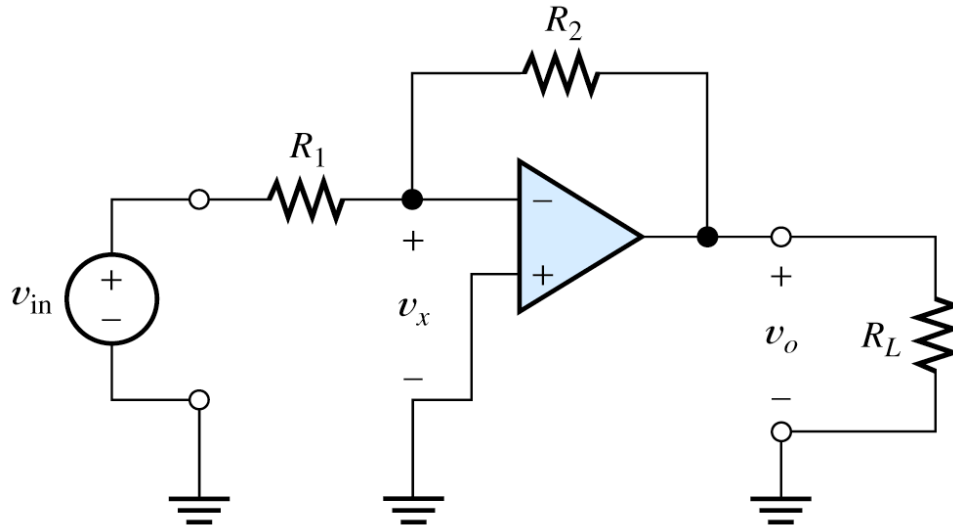
$$v_o = -\frac{v_{in}}{R_1} R_2$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)

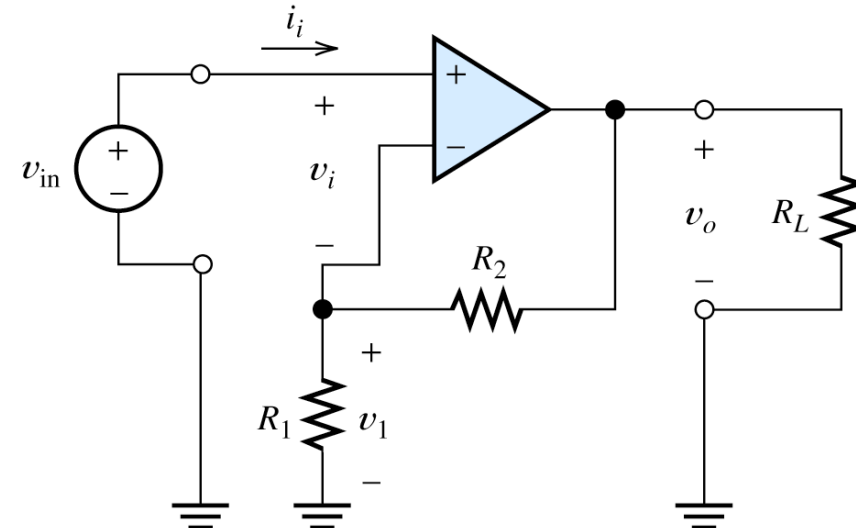


- Αναστρέφων Ενισχυτής



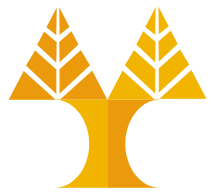
$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Μη-Αναστρέφων Ενισχυτής



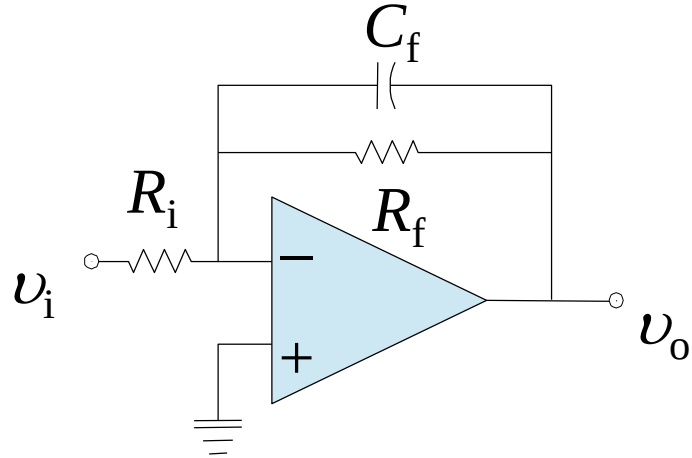
$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)

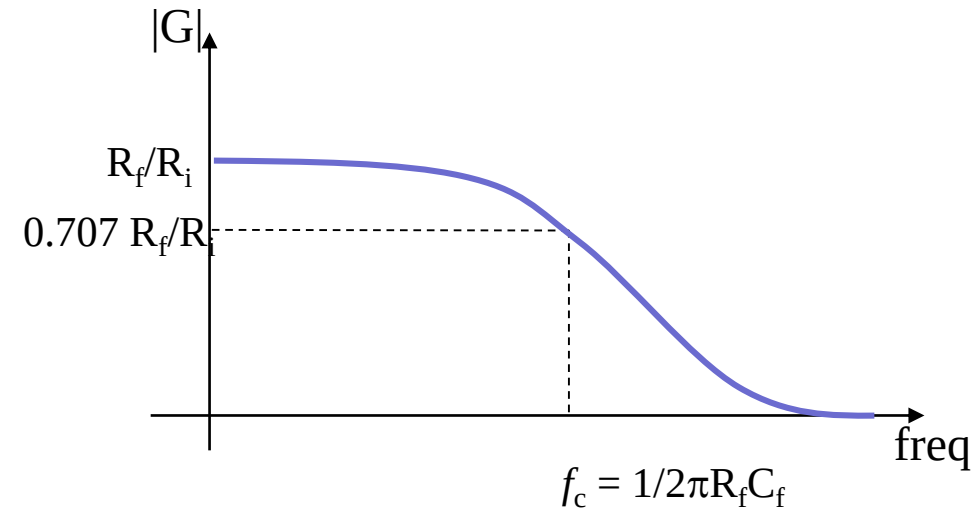


- **Ενεργητικά Φίλτρα – Χαμηλοπερατό Φίλτρο**

- Ένα χαμηλοπερατό φίλτρο αποκόπτει τις ψηλές συχνότητες



$$\text{Gain} = G = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{-R_f}{R_i} \frac{1}{1 + j\omega R_f C_f}$$

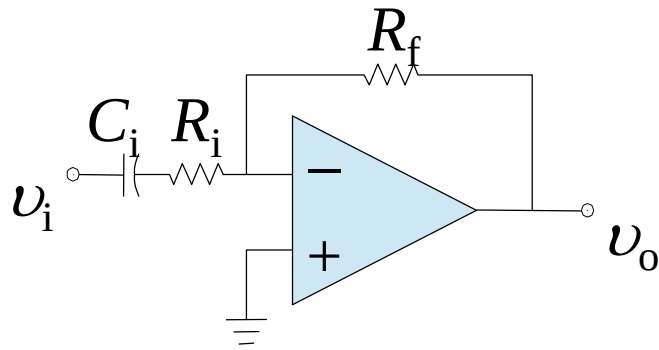


Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)

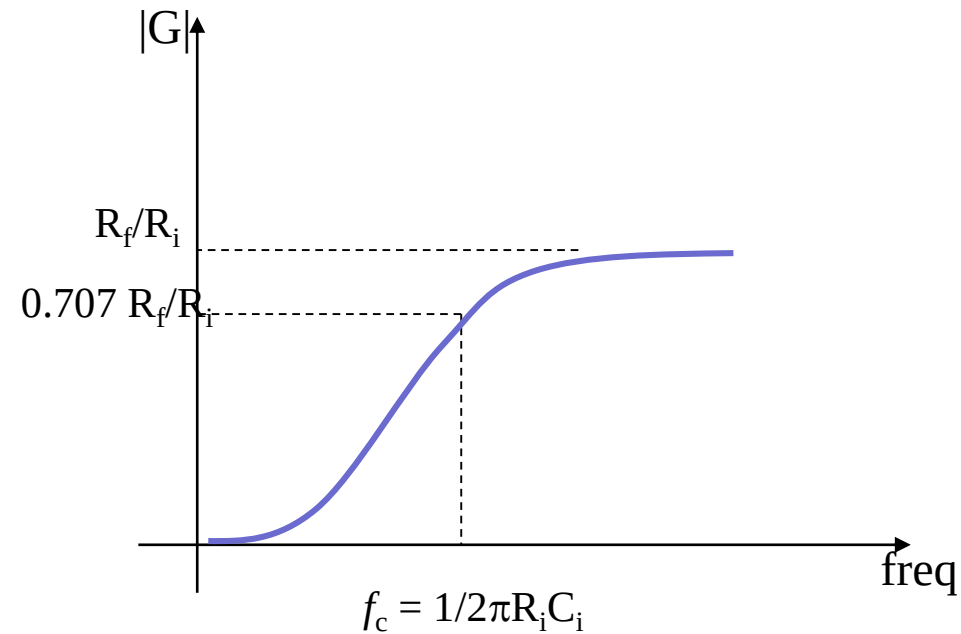


- **Ενεργητικά Φίλτρα – Υψιπερατό Φίλτρο**

- Ένα υψιπερατό φίλτρο αποκόπτει τις χαμηλές συχνότητες και το DC



$$\text{Gain} = G = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{-R_f}{R_i} \frac{j\omega R_i C_i}{1 + j\omega R_i C_i}$$

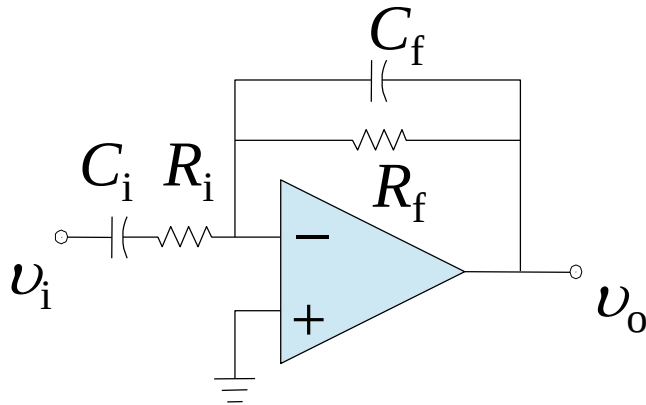


Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)

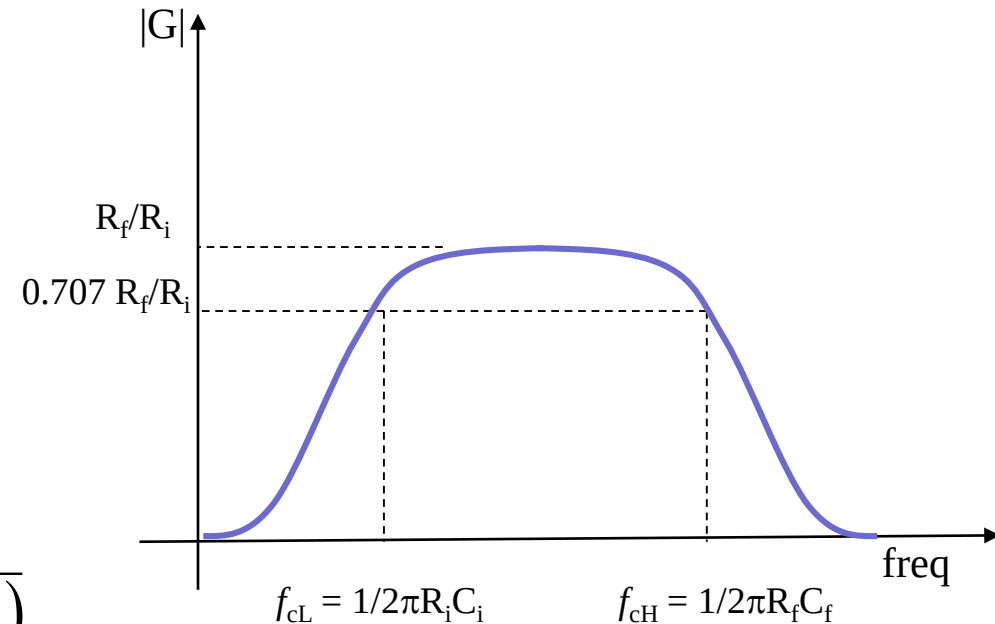


- **Ενεργητικά Φίλτρα – Ζωνοπερατό Φίλτρο**

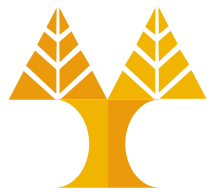
- Ένα ζωνοπερατό φίλτρο αποκόπτει τις χαμηλές και ψηλές συχνότητες



$$\frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{-j\omega R_f C_i}{(1 + j\omega R_f C_f)(1 + j\omega R_i C_i)}$$

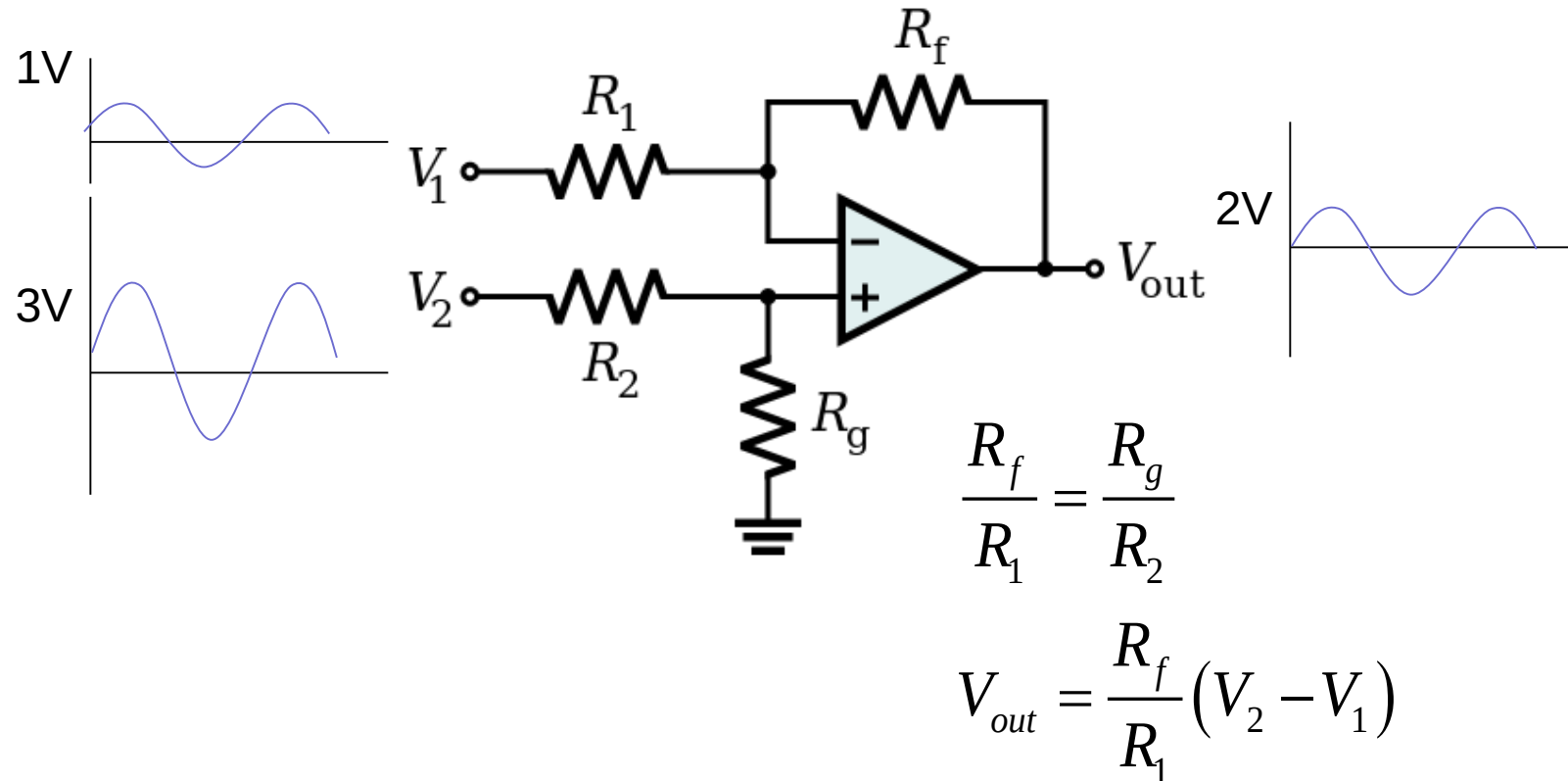


Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)



- **Διαφορικός (Differential) Ενισχυτής**

- Ο διαφορικός ενισχυτής αφαιρεί σήματα τα οποία είναι κοινά στις δύο εισόδους

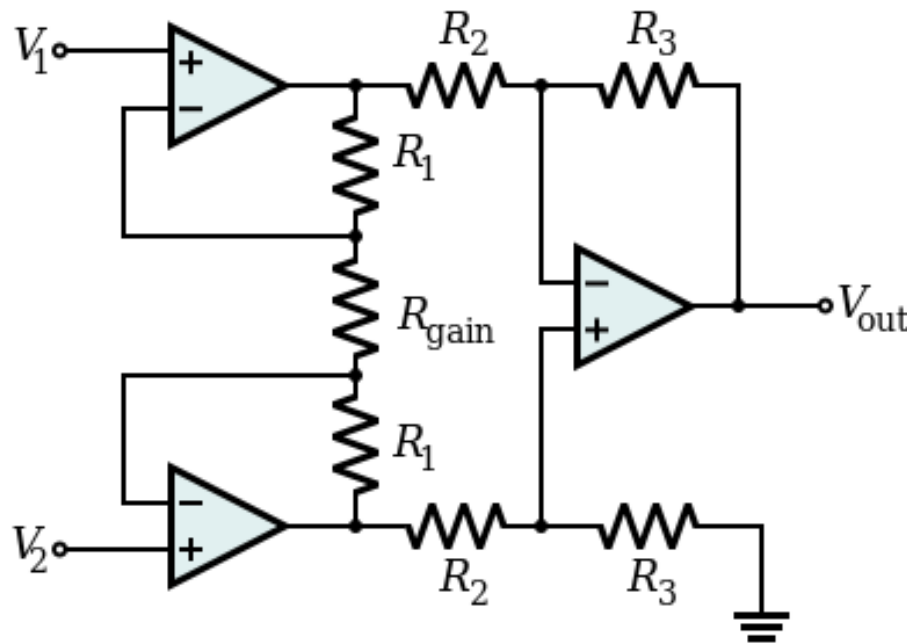


Τελεστικός Ενισχυτής (Op-amp)



- **Οργανολογικός (Instrumentation) Ενισχυτής**

- Ψηλό κέρδος και ψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου
- Αποτελείται από 2 μη-αναστρέφοντες ενισχυτές και ένα τρίτο σας διαφορικό ενισχυτή



$$\frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}} \right) \left(\frac{R_3}{R_2} \right)$$

Επιπρόσθετες προϋποθέσεις για βιοενισχυτές

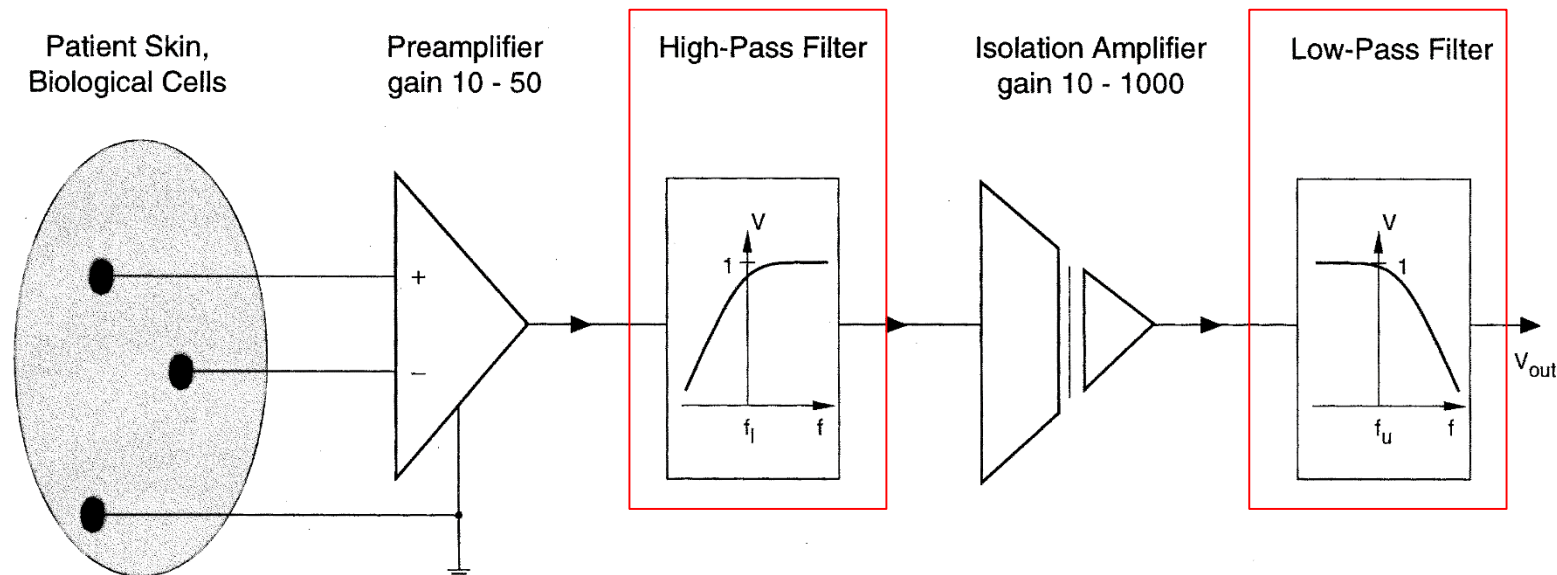


- **Θόρυβος**

- DC Ολίσθηση (Drift) (χαμηλής συχνότητας)
- Ηλεκτρονικός θόρυβος (υψηλής και χαμηλής συχνότητας)
- Γραμμική παρεμβολή (50 ή 60 Hz)

- **Πώς μειώνονται τα τεχνικά σφάλματα λόγω θορύβου;**

- Θωράκιση των ηλεκτροδίων και του εξοπλισμού
- Φιλτράρισμα (χαμηλοπερατά, υψιπερατά)



Επιπρόσθετες προϋποθέσεις για βιοενισχυτές

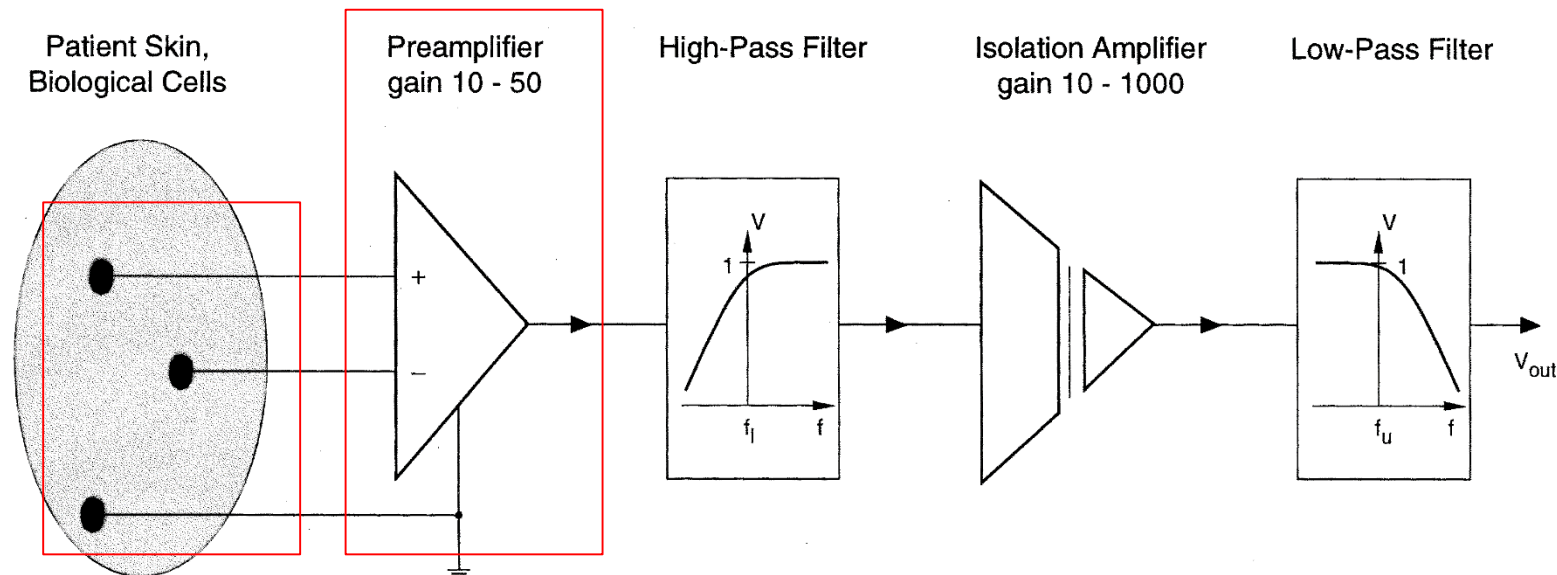


- **Κίνηση**

- Η επαφή μεταξύ ηλεκτροδίου και ιστού αλλάζει όταν υπάρχει μετατόπιση μεταξύ των δύο.

- **Πως μειώνονται τα τεχνικά σφάλματα λόγω κίνησης;**

- Ψηλή εμπέδηση ενισχυτή
- Ψηλής ποιότητας ηλεκτρόδια
- Μείωση της εμπέδησης χρησιμοποιώντας γέλη στο ηλεκτρόδιο.



Επιπρόσθετες προϋποθέσεις για βιοενισχυτές

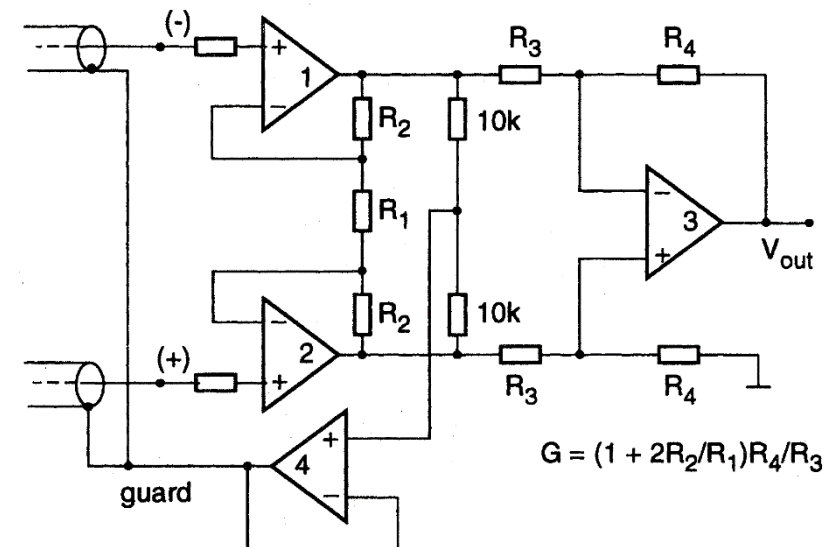
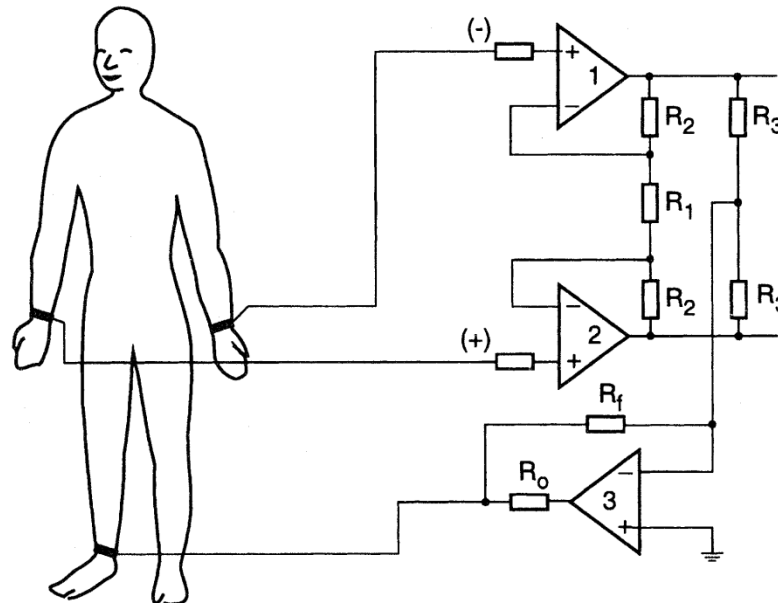


- **Τεχνικά Σφάλματα στην είσοδο**

- Παρεμβολές από μυϊκή σύσπαση, γραμμές παροχής (50/60 Hz), κλπ

- **Πως μειώνονται τα σφάλματα εισόδου;**

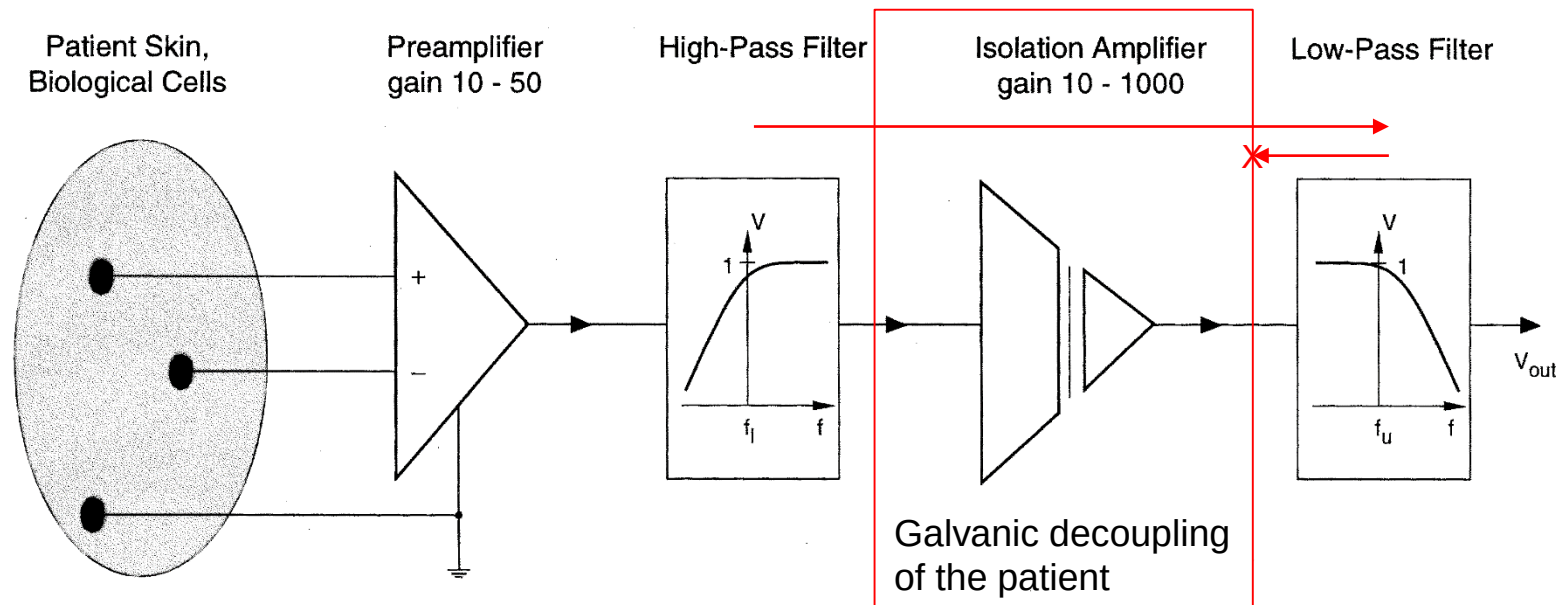
- Προστασία Εισόδου (Input guarding)
 - Αρνητική ανάδραση του κοινού σήματος → Αυξάνει την εμπέδηση εισόδου αλλά και τον λόγο απόρριψης κοινού σήματος (Common Mode Rejection Ratio – CMRR)
- Οργανολογικός ενισχυτής με προστασία εισόδου



Επιπρόσθετες προϋποθέσεις για βιοενισχυτές



- **Ασφάλεια του ασθενούς από ψηλά ρεύματα από την συσκευή προς τον ασθενή**
 - Γαλβανικός διαχωρισμός μεταξύ της εισόδου (ασθενής) και του υπόλοιπου εξοπλισμού μέτρησης
 - Ενισχυτής απομόνωσης (Isolation)
 - Με μετασχηματιστή (Transformer) ή
 - Με Οπτική Απομόνωση (Opto-isolation)

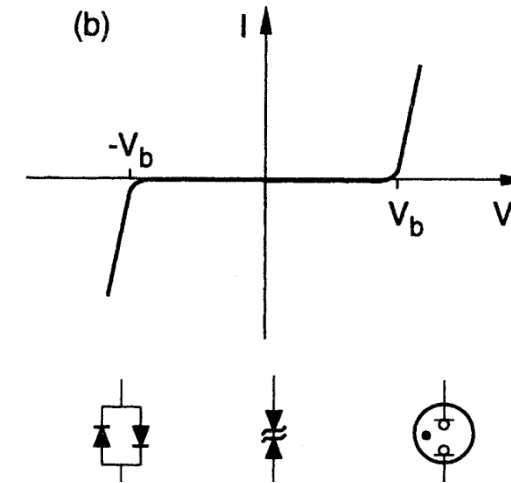
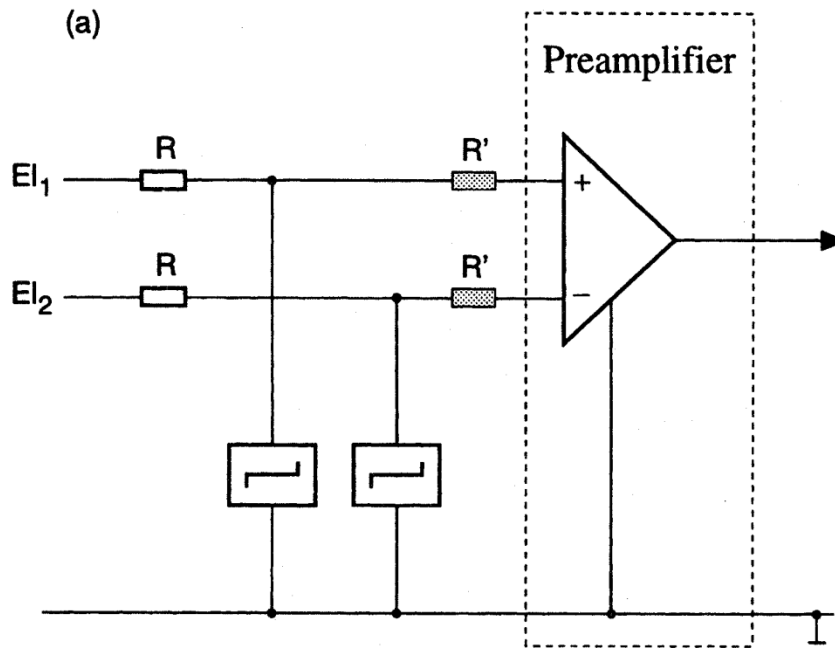


Επιπρόσθετες προϋποθέσεις για βιοενισχυτές



- Προστασία εξοπλισμού από υπερτάσεις (Surge protection)

- Προστασία από ζημιά λόγω υπερτάσεων (surges) στην είσοδο
- Δίοδοι Zener ή σωλήνες εκκένωσης κενού (gas discharge tubes)
 - Αλλάζουν σε αγώγιμο (κλειστό) κύκλωμα σε ψηλές τάσεις (πάνω από την τάση “διάσπασης”)

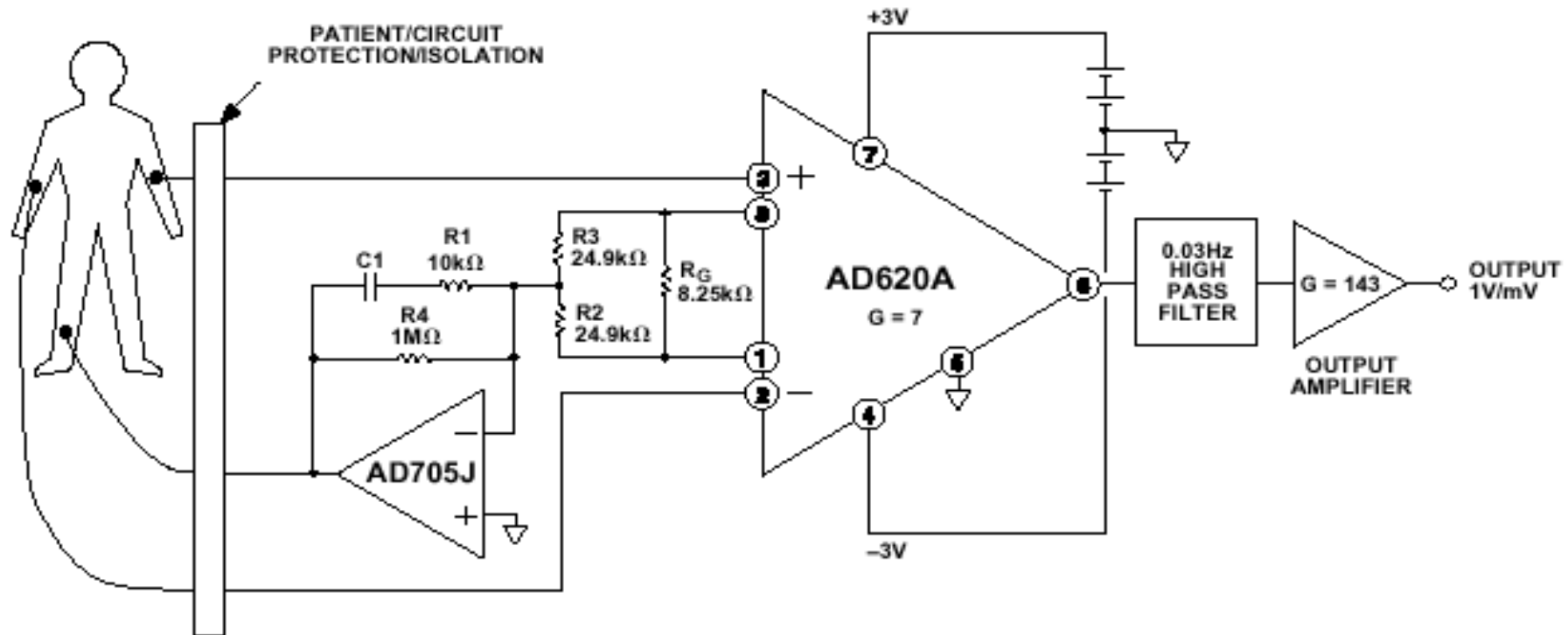


- Diodes
- Zener diodes
- Gas-discharge tubes

Βιοηλεκτρικός Ενισχυτής



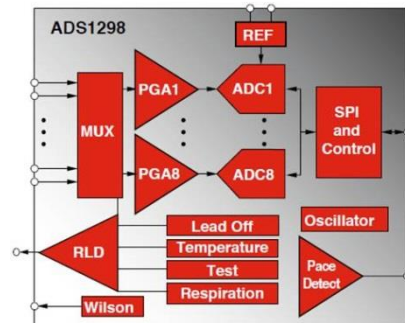
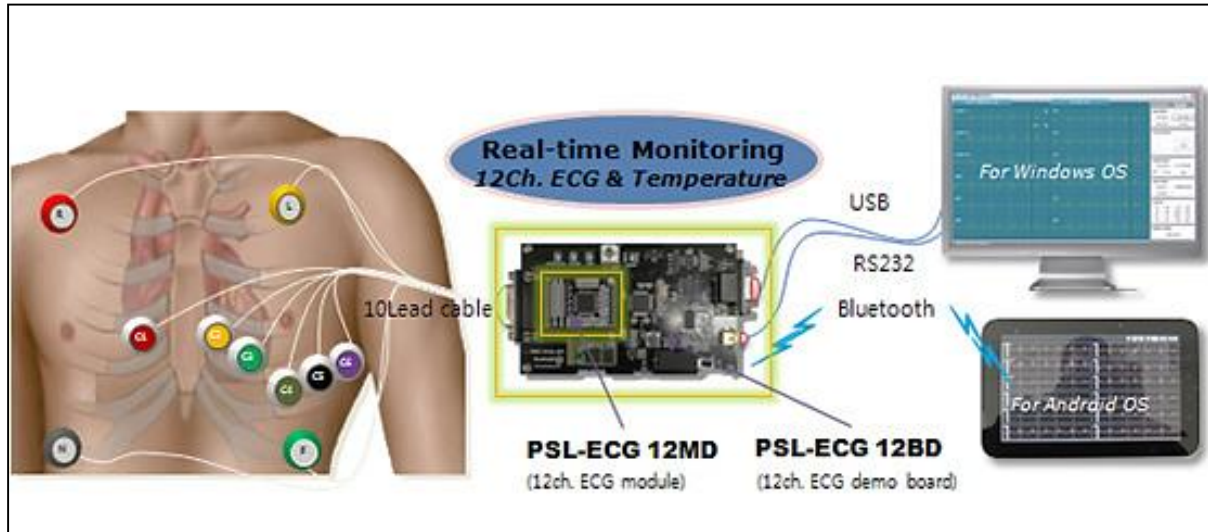
- Κύκλωμα ΗΚΓ



Βιοηλεκτρικός Ενισχυτής



- Κύκλωμα ΗΚΓ

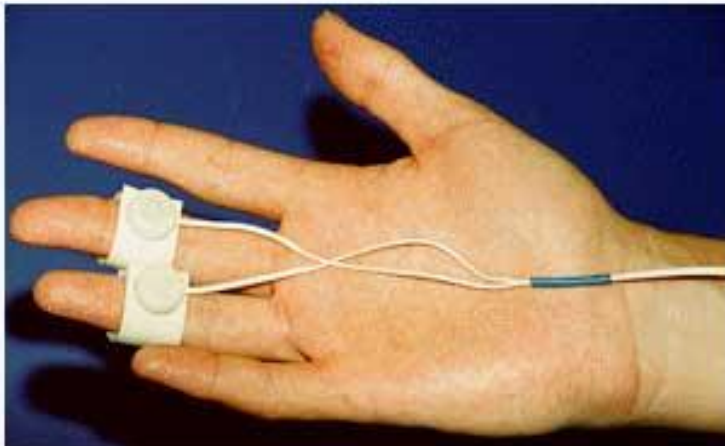


Άλλα (μη-ηλεκτρικά) Βιοσήματα



- **Μέτρηση της αντίστασης του δέρματος**

- Galvanic Skin response (GSR)
- Electrodermal Activity (EDA)
- Skin Conductance Level (SCL)

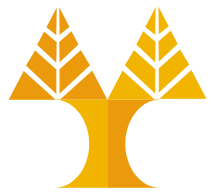


- **Μέτρηση της περιφερικής θερμοκρασίας του σώματος**

- Thermistor: μια αντίσταση που αλλάζει με την θερμοκρασία



Άλλα (μη-ηλεκτρικά) Βιοσήματα



- **Μέτρηση της πίεσης του αίματος**

- Φουσκώνετε μια περιχειρίδα για να διακόψετε στιγμιαία την κυκλοφορία
- Μετράτε την πίεση στην οποία εμφανίζονται και πάλι παλμοί



- **Μέτρηση της οξυγόνωσης του αίματος**

- Μέτρηση της απορρόφησης στο κόκκινο και υπέρυθρο
- Ψηφιακή ανάλυση σήματος εξαγάγει την τιμή της οξυγόνωσης

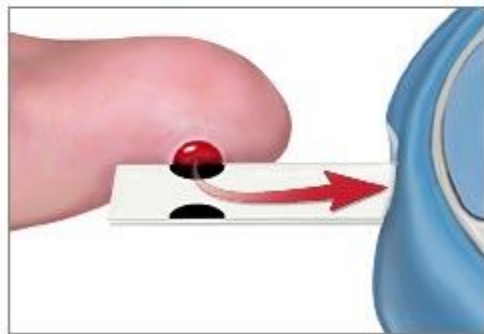


Άλλα (μη-ηλεκτρικά) Βιοσήματα



- **Μέτρηση της Γλυκόζης στο αίμα**

- Οξείδωση της γλυκόζης σε μια ειδική χάρτινη λωρίδα
- Μέτρηση της αλλαγής (χρώμα, αγωγιμότητα, κλπ)



ADAM.

- **Μέτρηση αναπνευστικής ικανότητας**

- Ροή, θερμοκρασία, κίνηση



Άλλα (μη-ηλεκτρικά) Βιοσήματα



- Και ότι άλλο μπορείτε να φανταστείτε!

