



Εγκεφαλογράφημα

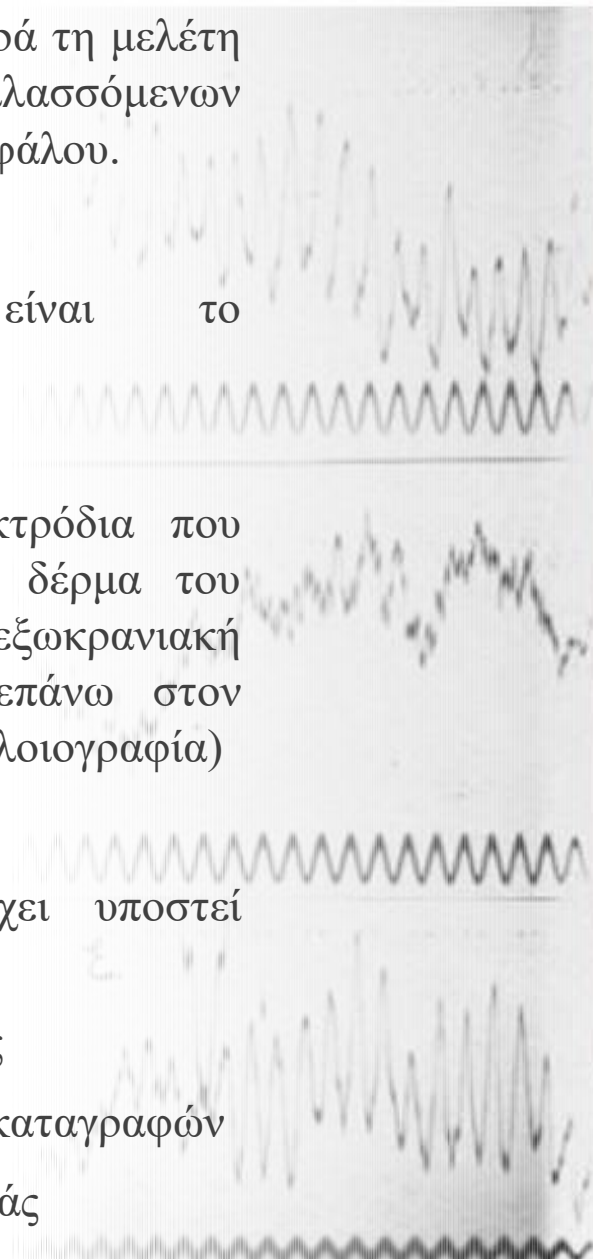
➤ Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία αφορά τη μελέτη μικρών, σταθερά εναλλασσόμενων ηλεκτρικών δυναμικών του εγκεφάλου.

➤ Η καμπύλη αυτής είναι το εγκεφαλογράφημα.

➤ Επιτυγχάνεται με ειδικά ηλεκτρόδια που τοποθετούνται είτε πάνω στο δέρμα του τριχωτού της κεφαλής (εξωκρανιακή καταγραφή), είτε απευθείας επάνω στον φλοιό του εγκεφάλου (ηλεκτροφλοιογραφία)

➤ Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία έχει υποστεί ισχυρή κριτική:

- προβλήματα της καταγραφής
- υποκειμενική εκτίμηση των καταγραφών
- δύσκολη από τεχνικής πλευράς



Ο Hans Berger και το πρώτο δημοσιευμένο ΗΕΓ

- Ο εγκεφαλικός φλοιός είναι χωρισμένος σε 2 ημισφαίρια και κάθε ημισφαίριο σε 4 λοβούς.



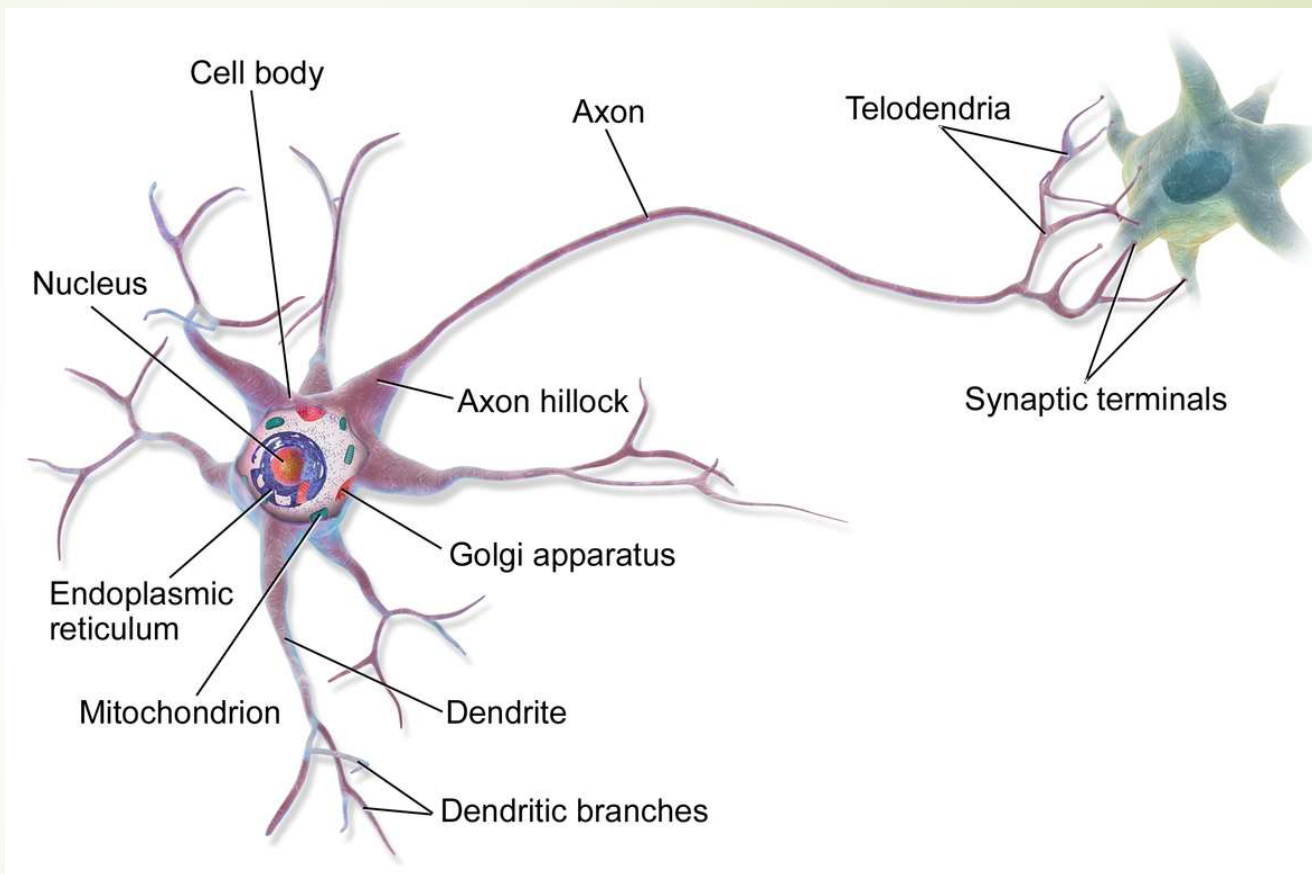
- Μετωπιαίος λοβός, ο οποίος περιλαμβάνει τον κινητικό και προκινητικό φλοιό
- Βρεγματικός λοβός, ο οποίος περιλαμβάνει τον πρωτογενή σωματοαισθητικό φλοιό
- Κροταφικός λοβός, ο οποίος περιλαμβάνει τον πρωτογενή ακουστικό φλοιό
- Ινιακός λοβός, ο οποίος περιλαμβάνει τον πρωτογενή οπτικό φλοιό

➤ Το ανθρώπινο κεφάλι αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα όπως το δέρμα της κεφαλής το κρανίο και τον εγκέφαλο.

➤ Στην βρεφική ηλικία όταν το κεντρικό νευρικό σύστημα θεωρείται λειτουργικό έχουν αναπτυχθεί περίπου 10^{11} νευρώνες.

➤ Οι νευρώνες συνδέονται με συνάψεις και δημιουργούν δίκτυα.

➤ Ο αριθμός των συνάψεων αυξάνει με την ηλικία ενώ αντιθέτως μειώνεται ο αριθμός των νευρώνων.



- Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό.
- Η οργάνωση του νευρικού συστήματος βασίζεται σε ένα είδος ιστού: τον νευρικό ιστό.
- Αποτελείται από νευρικά κύτταρα (νευρώνες) και τα νευρογλοιακά κύτταρα (ή απλά γλοία κύτταρα).
- Τα νευρικά κύτταρα είναι υπεύθυνα για την μετάδοση των ερεθισμάτων με την μορφή δυναμικών ενώ τα νευρογλοιακά κύτταρα έχουν κυρίως βοηθητικό ρόλο.

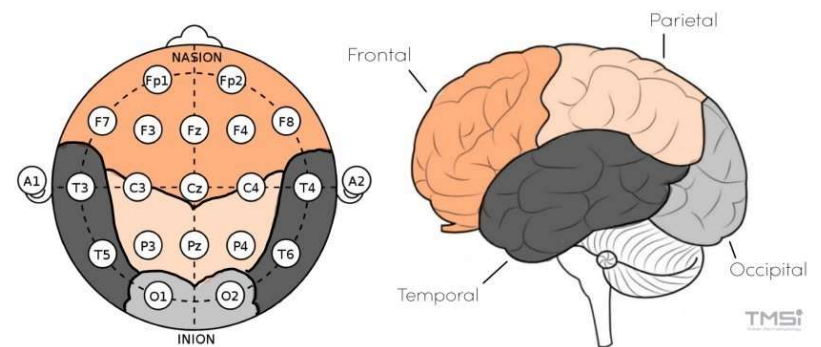


Λήψη Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

- ▶ Η καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος αφορά τις μεταβολές του δυναμικού μεταξύ δύο σημείων του κρανίου και γίνεται με την βοήθεια ηλεκτροδίων.
- ▶ Χρήση συστήματος με μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων, διαφορικών ενισχυτών και φίλτρων για κάθε κανάλι.
- ▶ Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων γίνεται σε καθορισμένες θέσεις του τριχωτού της κεφαλής από τις οποίες είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή, χρησιμοποιώντας ένα κοινό σημείο αναφοράς όλων των καταγραφών.
- ▶ Οι θέσεις των ηλεκτροδίων είναι καθορισμένες από την διεθνή ένωση ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και κλινικής ηλεκτροφυσιολογίας.
- ▶ Το συμβατικό πρότυπο ηλεκτροδίων που για συντομία ονομάζεται πρότυπο 10 - 20 παρουσιάζεται κυρίως για 21 ηλεκτρόδια και ονομάστηκε έτσι επειδή οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι 10% και 20% μιας καθορισμένης απόστασης που βασίζεται στην ανατομία του κεφαλιού.

Θέση Ηλεκτροδίων	Ηλεκτρόδια	Περιοχή Εγκεφάλου
F_{p1}, F_{pz}, F_{p2}	3	Πρόσθια μετωπιαία
F_7, F_3, F_z, F_4, F_8	5	Μετωπιαία
C_3, C_z, C_4	3	Κεντρική
T_3, T_5, T_6, T_4	4	Κροταφική
P_3, P_z, P_4	4	Βρεγματική
O_3, O_z, O_4	3	Ινιακή

The 10-20 System




Το κεφάλι λειτουργεί σαν ένα μέσο που αναμιγνύει τα σήματα που γεννιούνται στο εσωτερικό του.

- Τα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα μπορούν να θεωρηθούν ως έξοδοι συστήματος που μπορεί να θεωρηθεί μη γραμμικό.
- Αυτό συμβαίνει γιατί πολλές βιολογικές και φυσιολογικές διεργασίες αλλά και η ίδια η λειτουργία του εγκεφάλου μεταβάλλουν το σύστημα αυτό.
- Το γεγονός αυτό κάνει πολύ δύσκολη την ανάλυση του συστήματος και κατά επέκταση και των σημάτων.
- Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν επιστρατευτεί μέθοδοι από τα μη γραμμικά δυναμικά συστήματα και την θεωρία του χάους

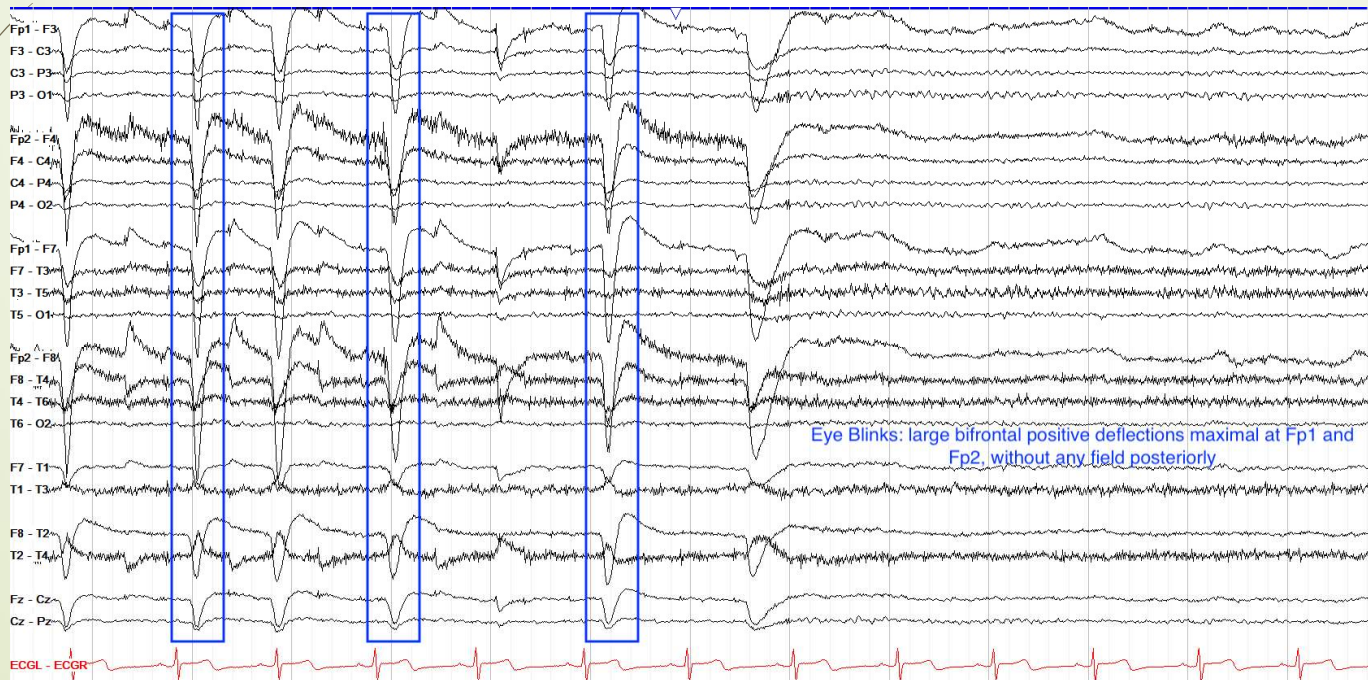
Γενικά η κατανομή που ακολουθούν τα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα είναι μια πολυμεταβλητή κανονική κατανομή με τα χαρακτηριστικά της όπως η μέση τιμή και η συνδιασπορά να μεταβάλλονται.

- ▶ Η κανονικότητα των σημάτων ισχύει σε κανονική λειτουργία υγιών ατόμων αλλά μεταβάλλεται ή παύει να ισχύει σε περιπτώσεις κίνησης του ματιού ή αλλαγής νοητικής κατάστασης.
- ▶ Η αλλαγή της κατανομής μπορεί να εντοπιστεί με την χρήση των παραμέτρων της κατανομής και η μη κανονικότητα με μέτρα όπως η λοξότητα (skewness), η κύρτωση (Kurtosis) και η αρνητική εντροπία (negentropy) που ορίζεται ως η διαφορά της εντροπίας της κανονικής κατανομής με την εντροπία του σήματος προς μελέτη.

- 
- Ως αναφορά το φάσμα των συχνοτήτων που θεωρείται ότι περιέχει την νευρωνική πληροφορία, περιορίζεται μέχρι τα 100 Hz.
 - Μέσα σε αυτό το φάσμα βρίσκεται και η συχνότητα των 50 Hz που αποτελεί την συχνότητα του δικτύου ηλεκτροδότησης και αποτελεί πηγή θορύβου συνήθως από ελαττωματική γείωση ή η ελλιπή μόνωση του χώρου.
 - Για τον λόγο αυτό στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για την απόρριψη των 50 Hz και ένα βαθυπερατό με συχνότητα αποκοπής τα 100 Hz και σε πολλές εφαρμογές ακόμα μικρότερη.

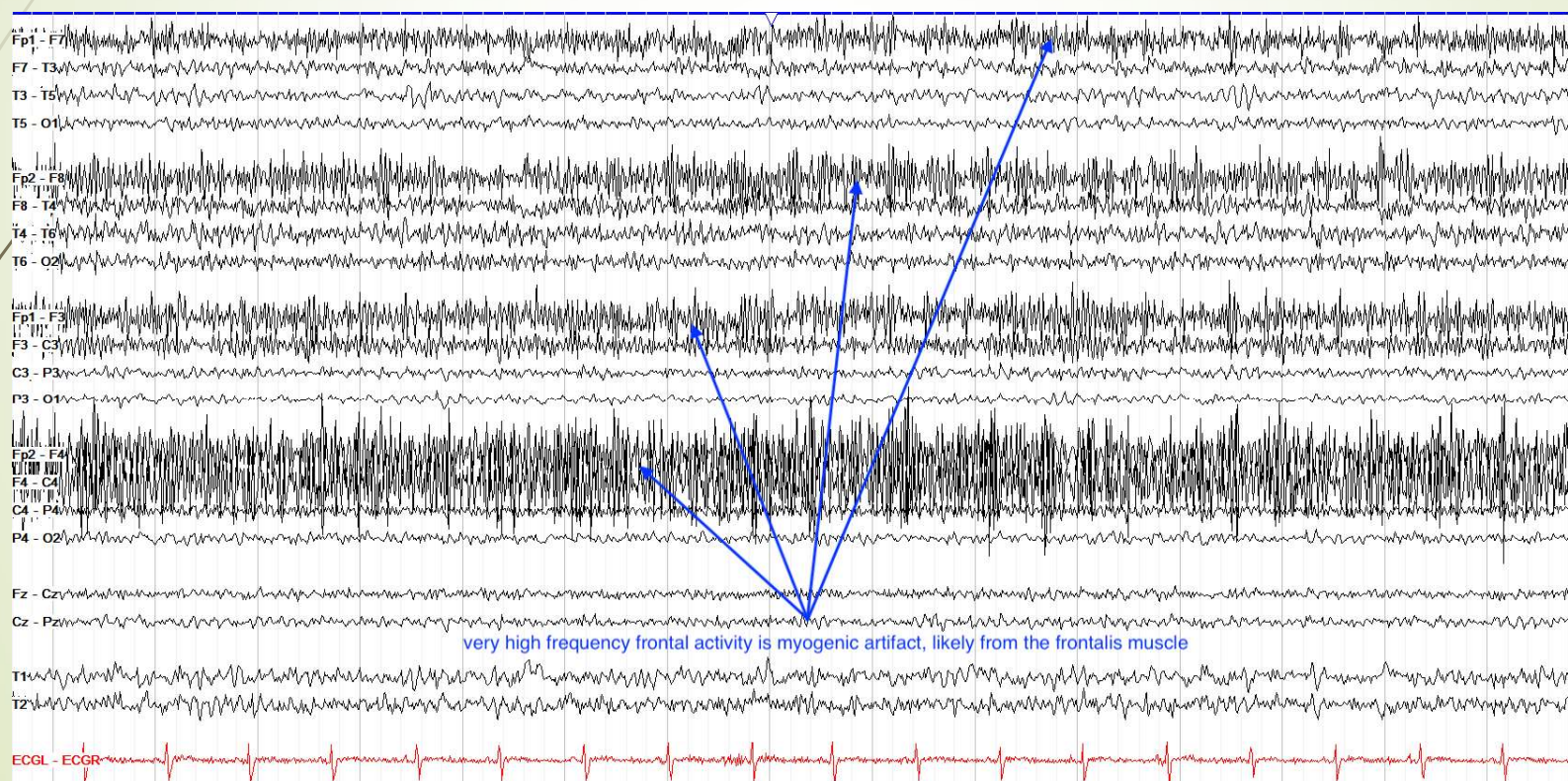
Artifacts

- Οφθαλμική δραστηριότητα (Ηλεκτροοφθαλμογράφημα ΗΟΓ - EOG): Το σήμα αυτό εμφανίζεται πολύ συχνά σε ένα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Προκαλείται από το ανοιγοκλείσιμο των ματιών και δημιουργεί ένα σήμα μεγάλου πλάτους, όπου πολλές φορές ξεπερνάει και το πλάτος του σήματος που περιέχεται η σημαντική πληροφορία. Επίσης οι κινήσεις των ματιών προκαλούν σήματα χαμηλών συχνοτήτων. Τα φαινόμενα είναι εντονότερα στην περιοχή πάνω από τις οφθαλμικές κοιλότητες αν και επηρεάζουν το σύνολο των περιοχών.



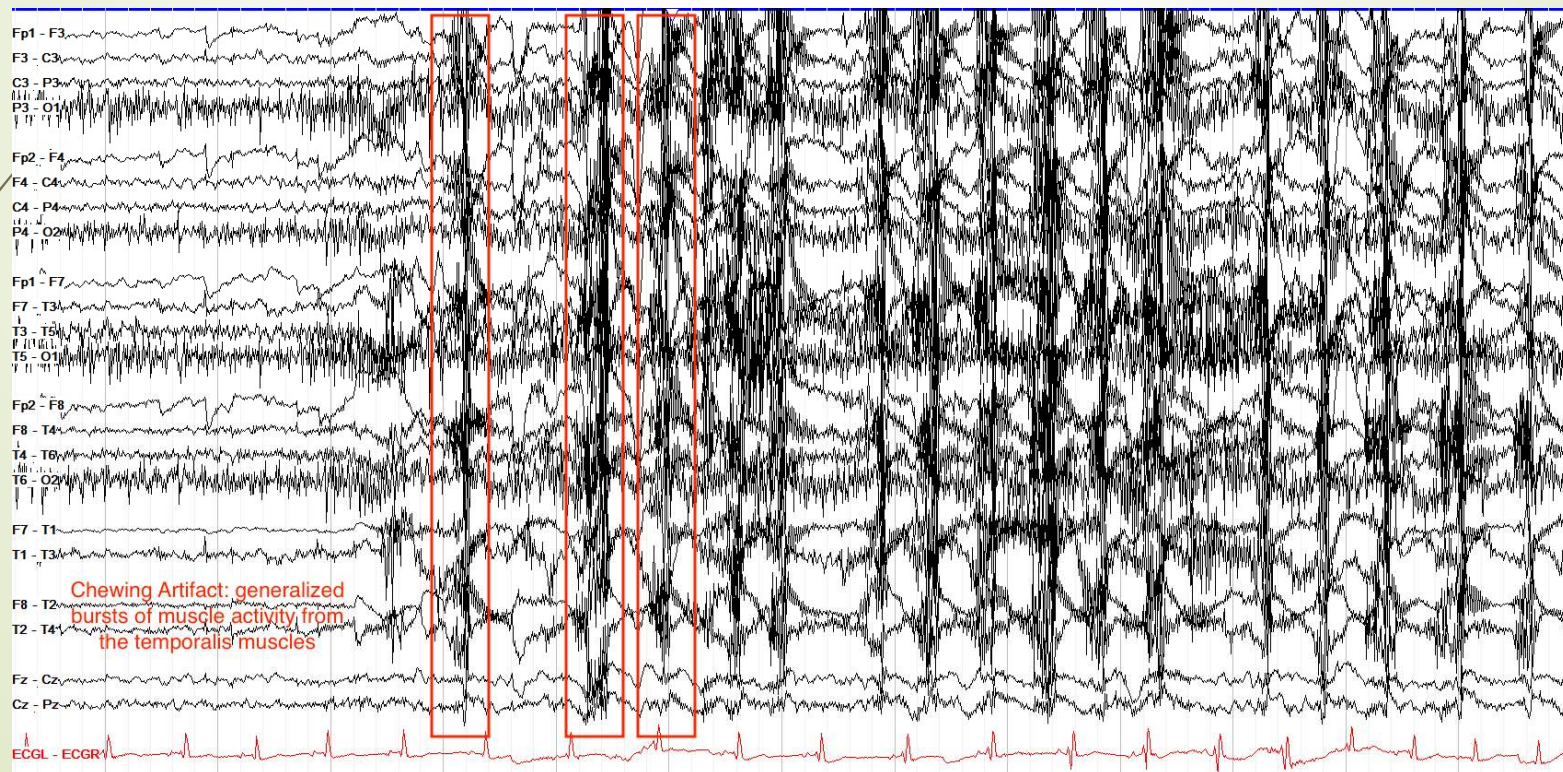
Artifacts

- Μυϊκή δραστηριότητα (Ηλεκτρομυογράφημα ΗΜΓ - EMG): Τα σήματα αυτά οφείλονται σε δραστηριότητα διαφορετικών μυών, όπως στους μύες του προσώπου ή του λαιμού. Αυτού του είδους τα σήματα αποτελούνται από ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, με μέγιστη συνεισφορά σε συχνότητες από 30 Hz και πάνω.



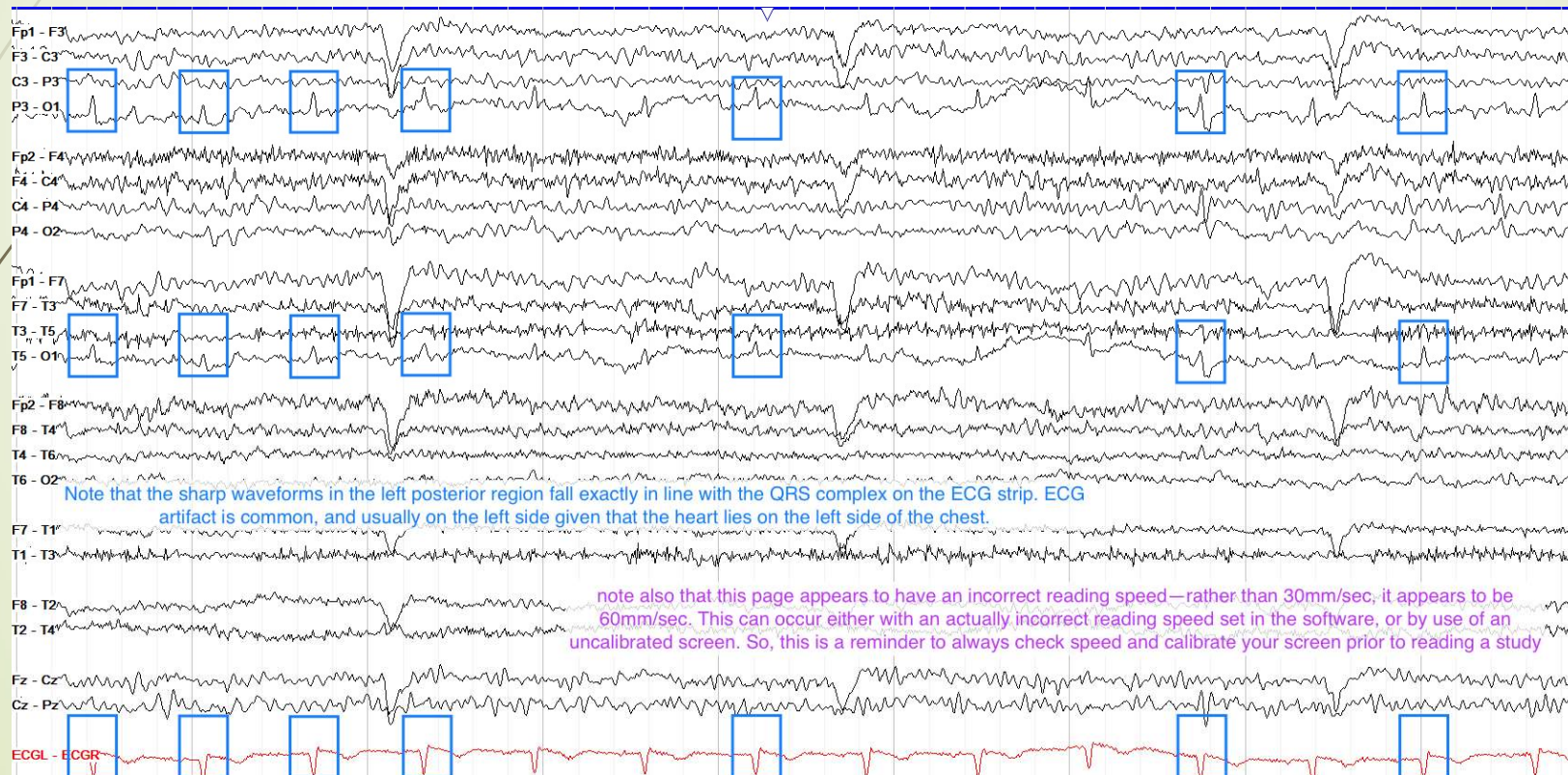
Artifacts


- Μυϊκή δραστηριότητα (Ηλεκτρομυογράφημα ΗΜΓ - EMG): Τα σήματα αυτά οφείλονται σε δραστηριότητα διαφορετικών μυών, όπως στους μύες του προσώπου ή του λαιμού. Αυτού του είδους τα σήματα αποτελούνται από ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, με μέγιστη συνεισφορά σε συχνότητες από 30 Hz και πάνω.



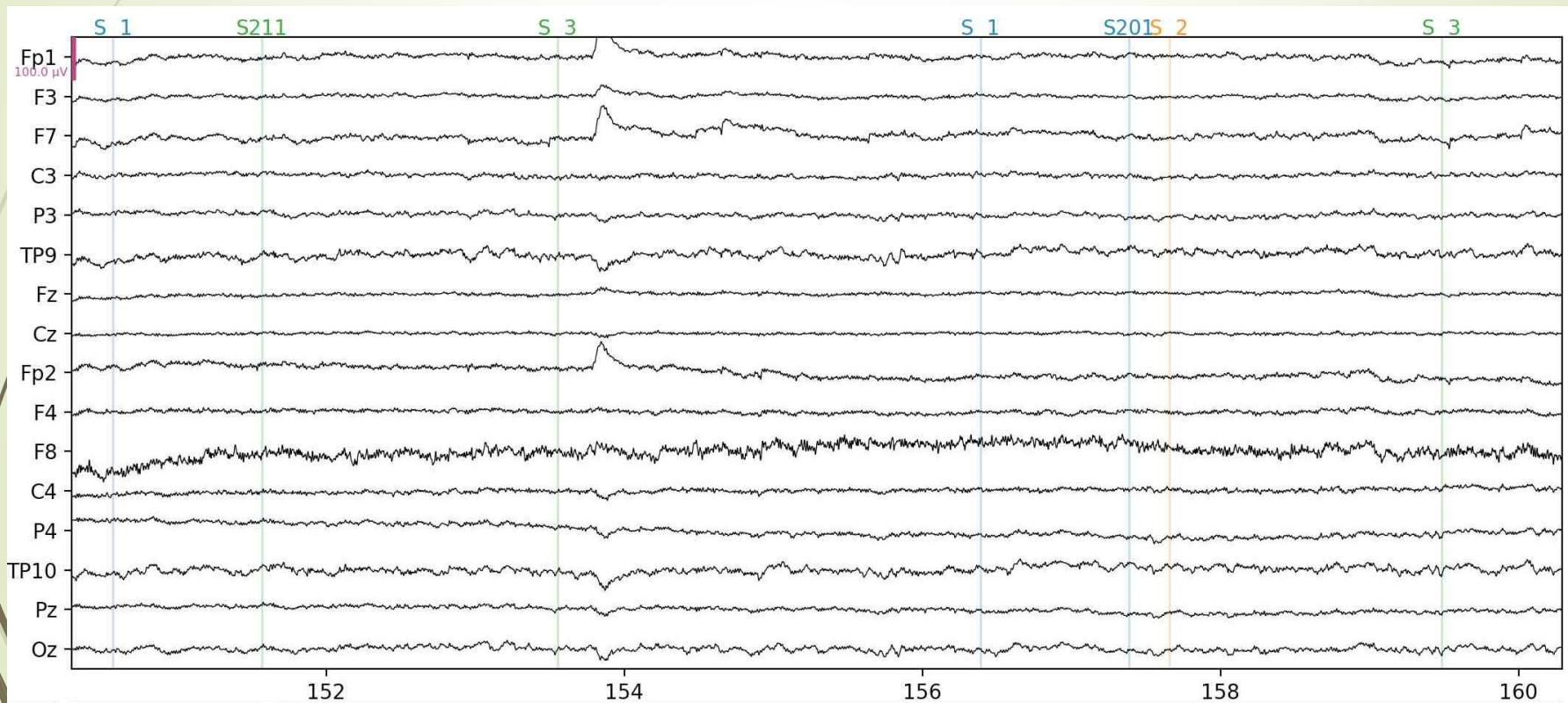
Artifacts

- Καρδιακός παλμός (Ηλεκτροκαρδιογράφημα ΗΚΓ - ECG): Το σήμα αυτό είναι ένα είδος ηλεκτροκαρδιογραφήματος και εισάγει ρυθμική δραστηριότητα στο εγκεφαλογραφικό σήμα. Η συχνότητα του είναι γύρω στα 1.2 Hz και έχει τη μορφή είτε μιας αιχμής είτε ενός αργού κύματος.

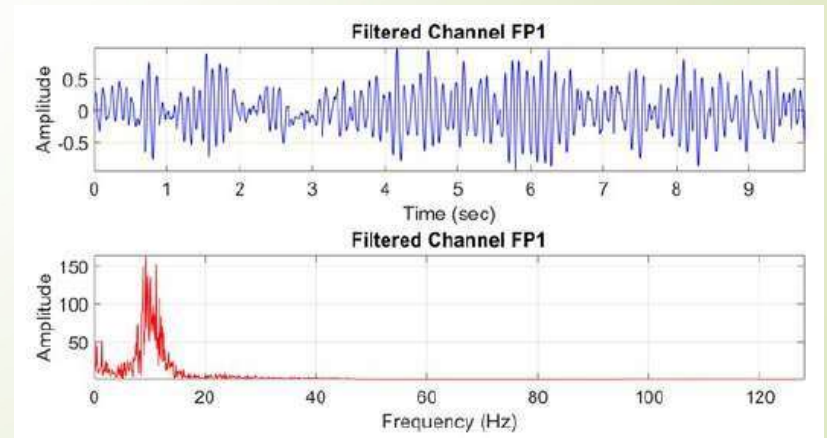
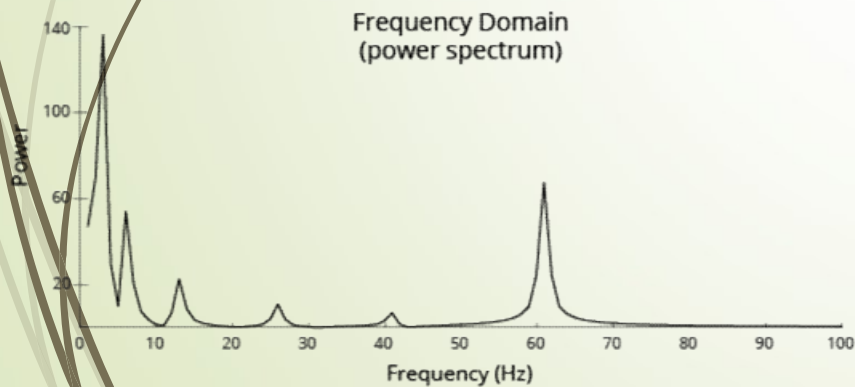


- 
- ▶ Η απόρριψη των σημάτων που περιέχουν artifacts μπορεί να γίνει είτε με την βοήθεια ενός ειδικού που απορρίπτει τα σήματα που επηρεάζονται από artifacts, είτε με αυτόματο τρόπο.
 - ▶ Μία απλή μέθοδος για να γίνει αυτό είναι χρησιμοποιώντας γραμμικά φίλτρα και φιλτράροντας τις περιοχές συχνοτήτων των ανεπιθύμητων σημάτων.
 - ▶ Πχ βαθυπερατά φίλτρα για την αφαίρεση των μυικών ηλεκτρικών σημάτων και υψιπερατά φίλτρα για τα αντίστοιχα οφθαλμικά σήματα. Δυστυχώς παρόλο που η μέθοδος είναι αρκετά απλή τα σήματα πολλών νευρολογικών φαινομένων βρίσκονται σε συχνότητες που υπερκαλύπτονται από αυτές των ανεπιθύμητων σημάτων.
 - ▶ Μέθοδοι όπως η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA) και η ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών (Independent Component Analysis - ICA) μας βοηθούν να αποσυνθέσουμε το σήμα μας σε ασυσχέτιστες και ανεξάρτητες συνιστώσες αντίστοιχα.

- 10 δευτερολέπτων συνεχές EEG σήματα **στο πεδίο του χρόνου.**
- Fp1..... Channels (16 ηλεκτρόδια)
- Μπορείτε να δείτε τα artifacts;

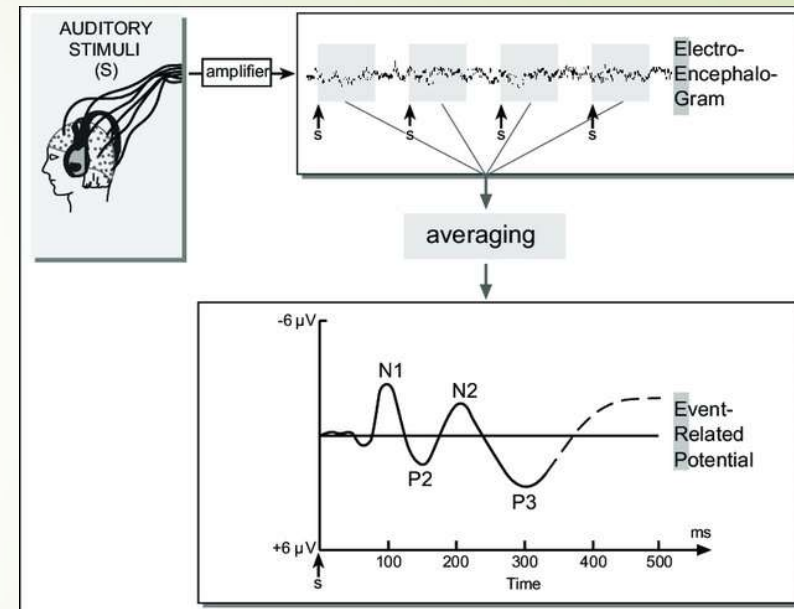


- EEG can be viewed in the frequency domain. This is done by applying a mathematical transformation, typically a fast Fourier transform (FFT).
- **One important thing to note about the frequency domain representation of the data is that we lose temporal information.**



Event-Related Potentials (ERPs)

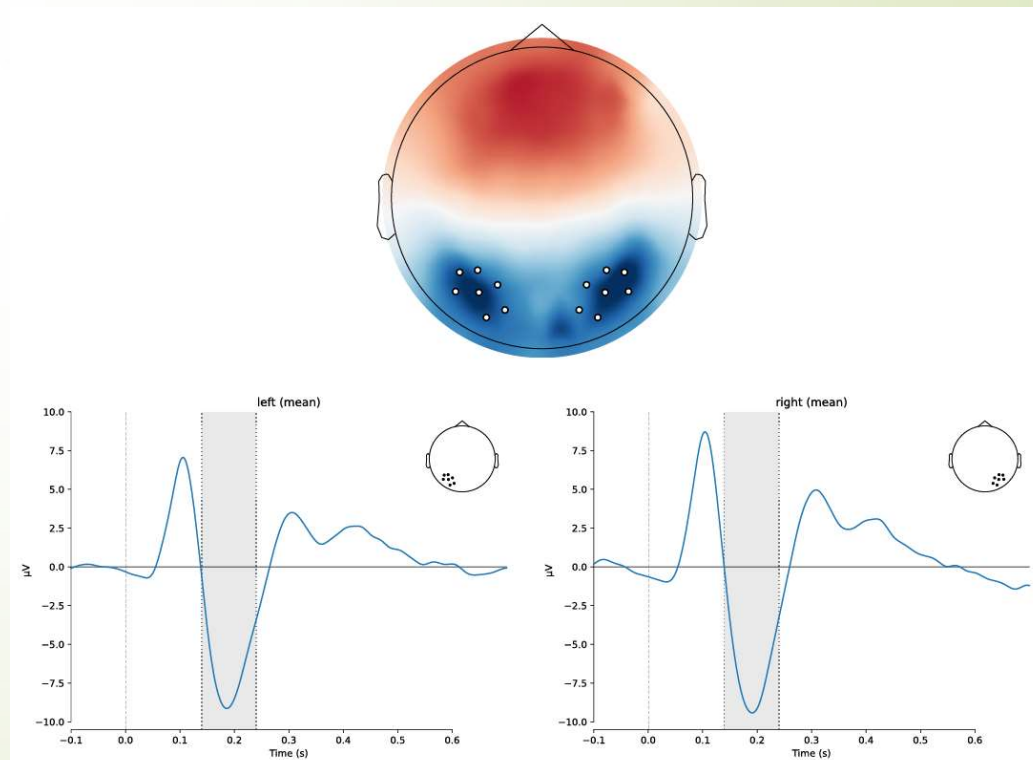
- ▶ EEG is a continuous measure of electrical brain activity.
- ▶ ERPs, on the other hand, are short segments of EEG data that are time-locked to particular events of experimental interest, and typically averaged over many trials of an experiment (chop the data into epochs (short segments of data) that are time-locked to the events of interest)
- ▶ The idea of ERPs is that by time-locking brain activity to particular events, we can see what patterns of brain activity occur systematically in response to those events.
- ▶ Analyzing ERP data requires segmenting the EEG data into short time periods of data around the events of experimental interest. These segments (epochs) can vary from a few hundred



ERP Components

Much of ERP research focuses on components. Components can be formally defined as peaks or troughs in an ERP waveform that are characterized by consistent:

- Timing
- scalp distribution (how the electrical activity is distributed across the scalp)
- polarity (positive or negative)
- relationship with a particular experimental context (stimuli and/or task)



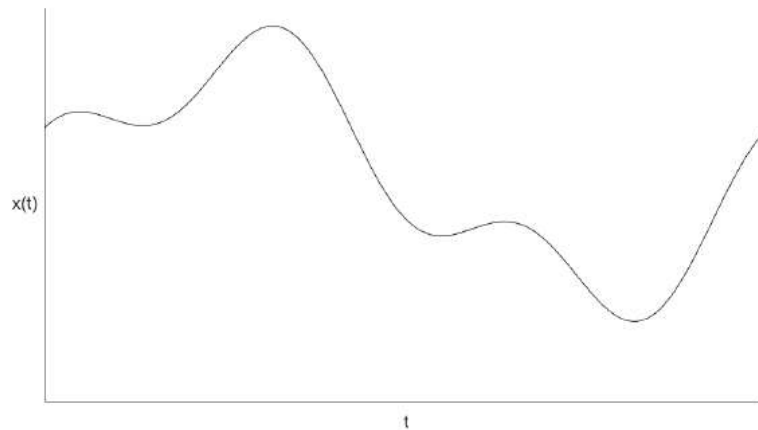


<https://alexenge.github.io/intro-to-eeeg/ipyb/1-python.html>

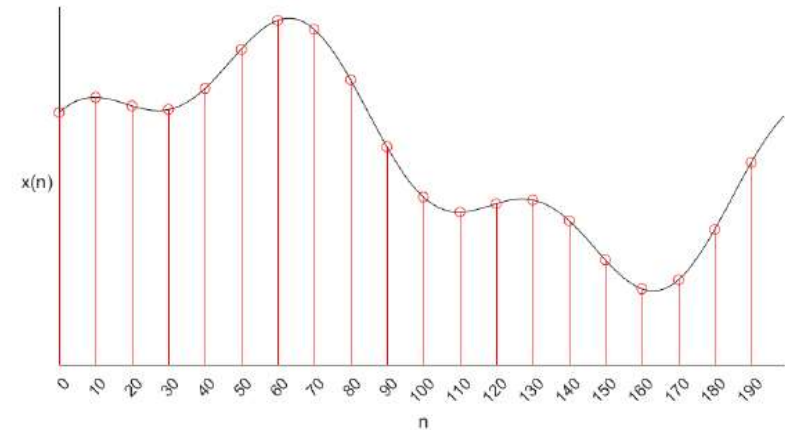
<https://neuralsciencio/7-eeeg/introduction.html>

Βασικά Σήματα

Αναλογικό λέγεται το σήμα όταν οι τιμές του πλάτους του σήματος και οι αντίστοιχες χρονικές στιγμές (ή οι συντεταγμένες του χώρου) μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή.



Σήμα διακριτού χρόνου ή διακριτό σήμα λέγεται αυτό στο οποίο οι χρονικές στιγμές λαμβάνουν τιμές ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



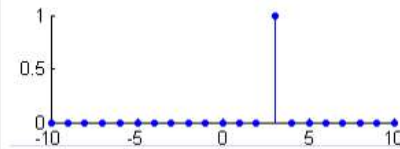
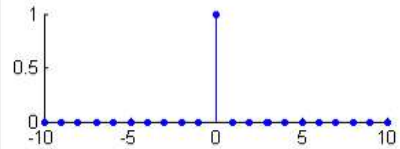
- Περίοδος δειγματοληψίας (T_s): Η χρονική διάρκεια μεταξύ δύο δειγμάτων
- Συχνότητα δειγματοληψίας (f_s): Το πλήθος των δειγμάτων στη μονάδα του χρόνου

Βασικά Σήματα

Κρουστική
συνάρτηση

$$\delta(n) = \begin{cases} 1, & \text{για } n = 0 \\ 0, & \text{για } n \neq 0 \end{cases}$$

$$\delta(n - a) = \begin{cases} 1, & \text{για } n = a \\ 0, & \text{για } n \neq a \end{cases}$$

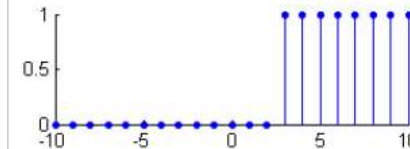
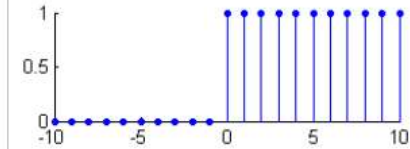


$a = 3$

Βηματική
συνάρτηση

$$u(n) = \begin{cases} 1, & \text{για } n \geq 0 \\ 0, & \text{για } n < 0 \end{cases}$$

$$u(n - a) = \begin{cases} 1, & \text{για } n \geq a \\ 0, & \text{για } n < a \end{cases}$$



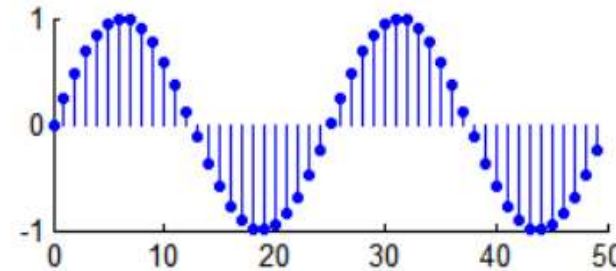
$a = 3$

- Η κρουστική συνάρτηση παίρνει την τιμή 1 για $n = 0$ και μηδενίζεται για όλες τις υπόλοιπες τιμές του n
- Η βηματική συνάρτηση παίρνει την τιμή 1 για $n \geq 0$, ενώ μηδενίζεται για όλες τις υπόλοιπες τιμές του n

Βασικά Σήματα

Ημιτονοειδής
συνάρτηση

$$x(n) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot n/N + \theta)$$

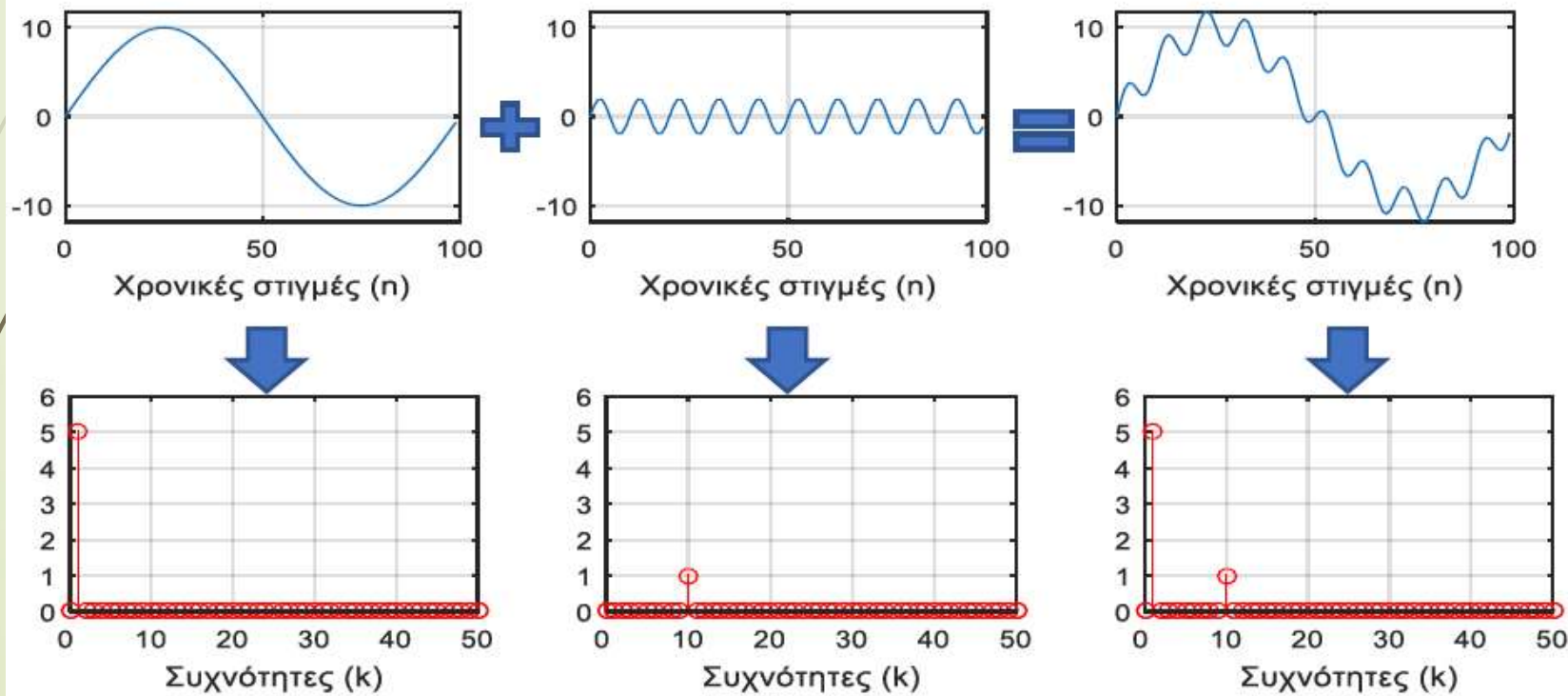


$$\begin{aligned} A &= 1 \\ N &= 50 \\ f &= 2 \\ \theta &= 0 \end{aligned}$$

- Ορίζεται ως $x(n) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot n/N + \theta)$, όπου A το πλάτος, f η συχνότητα, N το πλήθος των τιμών και θ η αρχική φάση του ημιτονοειδούς σήματος
- Η συχνότητα f του σήματος εκφράζει το πλήθος των ταλαντώσεων στη μονάδα του χρόνου

Ανάλυση Fourier

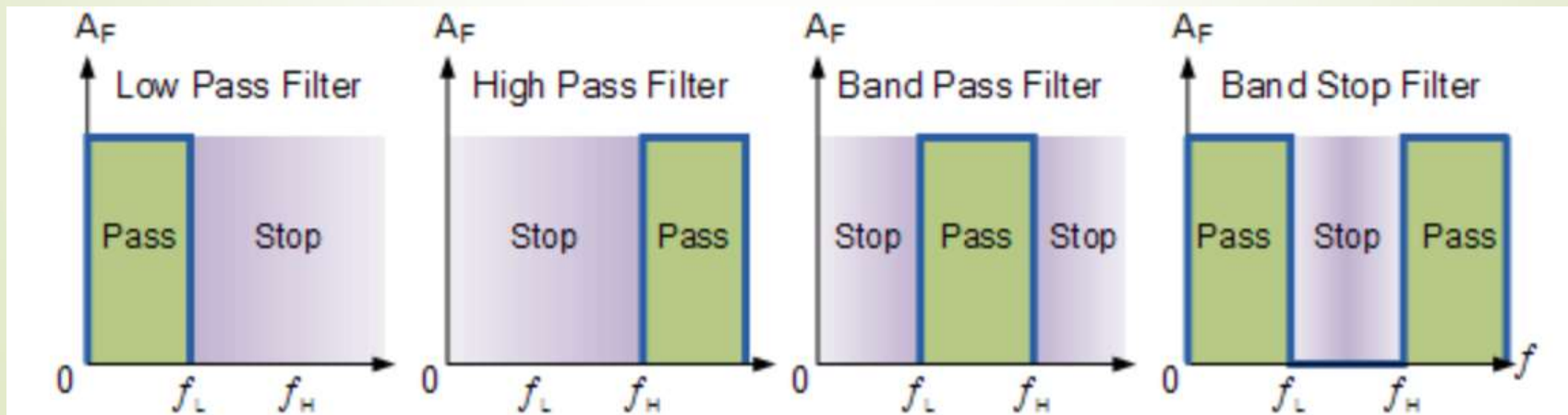
- Ο μετασχηματισμός Fourier απεικονίζει το σήμα από το πεδίο του χρόνου (τιμές σήματος συναρτήσει του χρόνου) στο πεδίο των συχνοτήτων (πλάτη και φάσεις των ημιτονοειδών σημάτων που αποτελούν το αρχικό σήμα συναρτήσει της συχνότητάς τους)



Ανάλυση Fourier

- **Είδη φίλτρων στο πεδίο των συχνοτήτων**

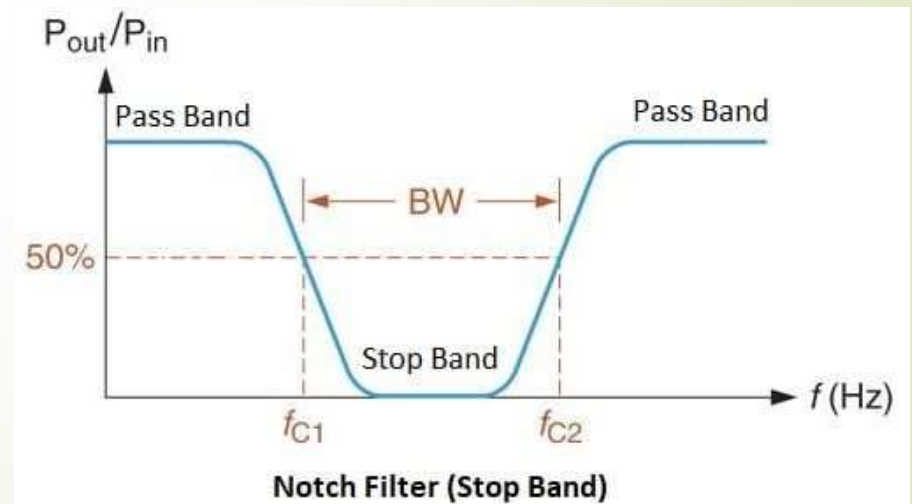
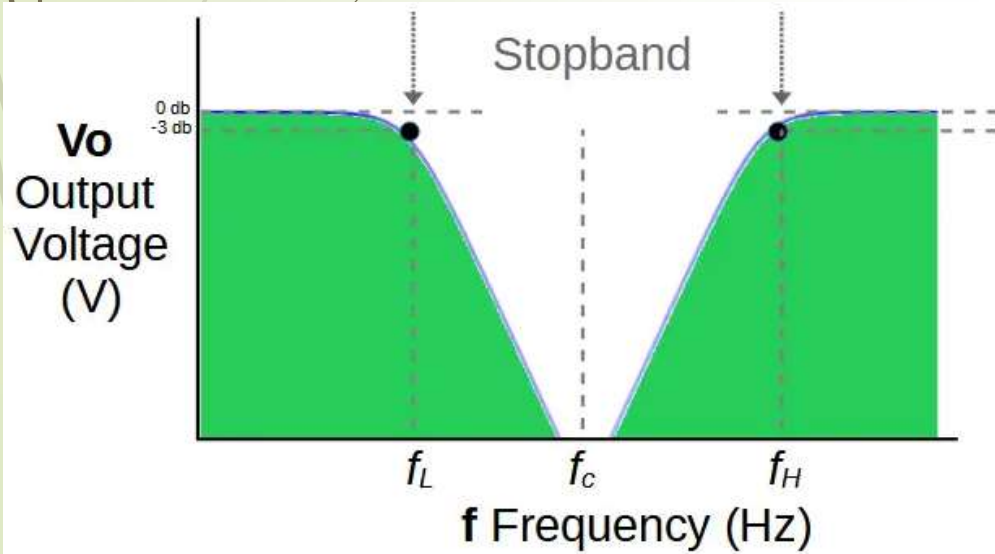
- Βαθυπερατά (low-pass) φίλτρα: Στα βαθυπερατά φίλτρα οι συντελεστές μηδενίζονται μετά από μια συχνότητα (συχνότητα αποκοπής, cut-off frequency), ή ελαττώνονται με την αύξηση της συχνότητας και τείνουν στο μηδέν.
- Υψιπερατά (high-pass) φίλτρα: Στα υψιπερατά φίλτρα οι συντελεστές είναι μηδέν μέχρι μια συχνότητα (cut-off frequency), ή ξεκινούν από μηδενικές τιμές και αυξάνονται σταδιακά.
- Ζωνοπερατά (band-pass) φίλτρα: Στα ζωνοπερατά φίλτρα οι συντελεστές είναι μηδέν παντού εκτός από μια περιοχή συχνοτήτων, ή ελαττώνονται εκατέρωθεν μιας τιμής τείνοντας στο μηδέν και προς μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές συχνοτήτων. Τα ζωνοπερατά φίλτρα είναι μετατοπισμένα προς τα «δεξιά» σε σχέση με τα βαθυπερατά φίλτρα.
- Ζωνοφρακτικά (band-reject) φίλτρα: Στα ζωνοφρακτικά φίλτρα οι συντελεστές είναι μηδέν σε μια περιοχή συχνοτήτων, ή είναι μηδέν σε μια συχνότητα και αυξάνονται εκατέρωθεν αυτής προς μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές συχνοτήτων. Τα ζωνοφρακτικά φίλτρα είναι μετατοπισμένα προς τα «δεξιά» σε σχέση με τα υψιπερατά φίλτρα.



Ανάλυση Fourier

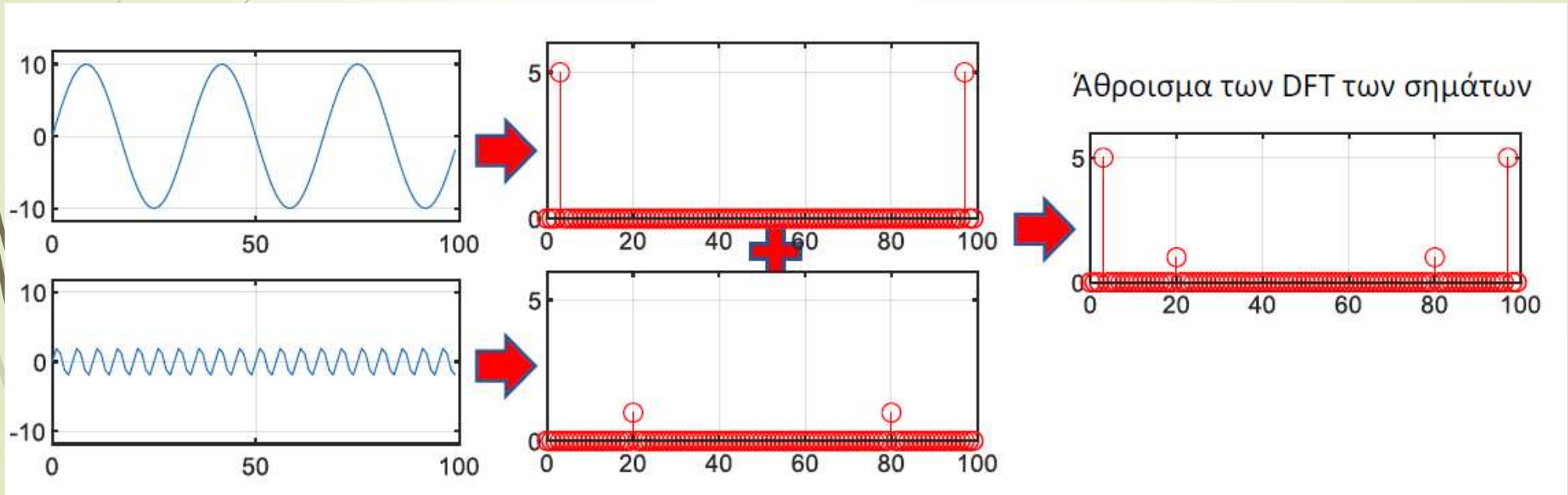
- **Φίλτρο Notch**

- Notch filters are band-reject filters or stop-band filters designed to provide maximum attenuation or rejection to a particular range of frequencies. A band-reject filter with a narrow stop band is usually known as a notch filter.



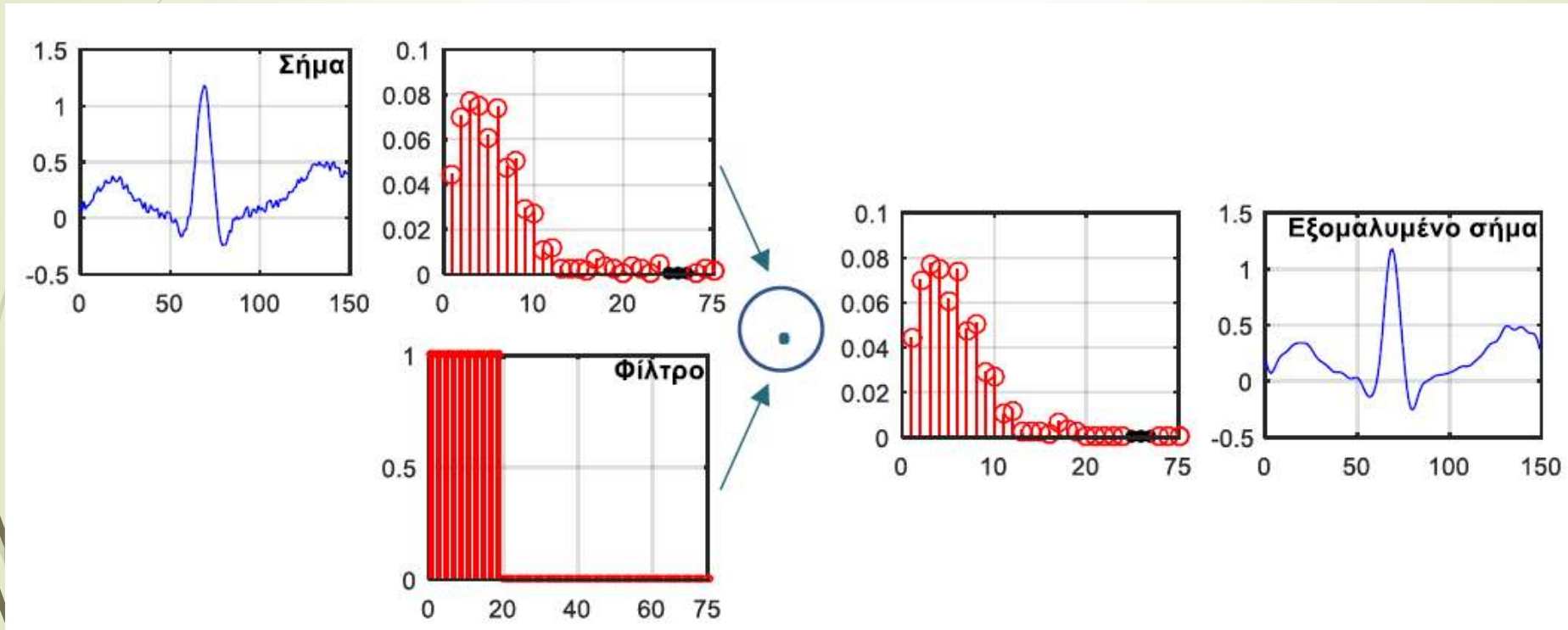
Ανάλυση Fourier

- Ο DFT αθροίσματος σημάτων ισούται με το άθροισμα των DFT των σημάτων



Ανάλυση Fourier

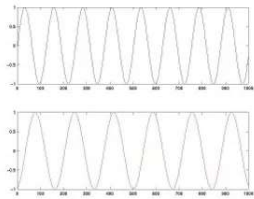
- Διαδικασία φιλτραρίσματος σήματος με φίλτρο σχεδιασμένο απευθείας στο πεδίο των συχνοτήτων



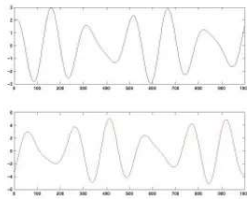
Independent Component Analysis - ICA

- ICA is a powerful technique in the field of data analysis that allows you to separate and identify the underlying independent sources in a multivariate data set

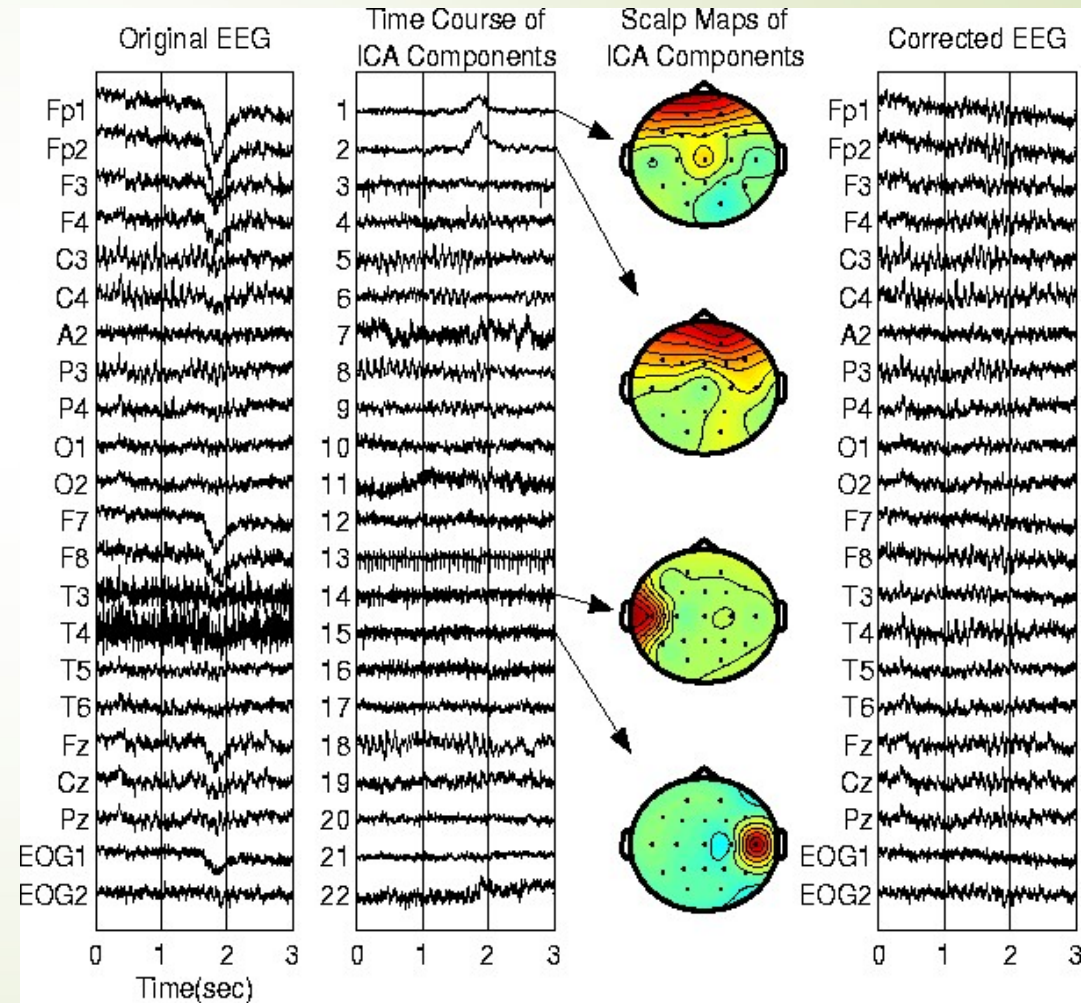
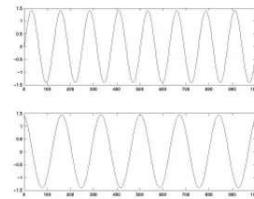
Original signals



Measurements



ICA reconstruction



Brain state

- gamma is linked with states or tasks that require more focused concentration
- beta is linked with higher anxiety and more active states, with attention often directed externally
- alpha is linked with being very relaxed, and passive attention (such as listening quietly but not engaging)
- theta is linked with deep relaxation and inward focus
- and delta is linked with deep sleep.

5 HUMAN BRAIN WAVES FREQUENCY

