

# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Δημήτρης Κ. Ιακωβίδης

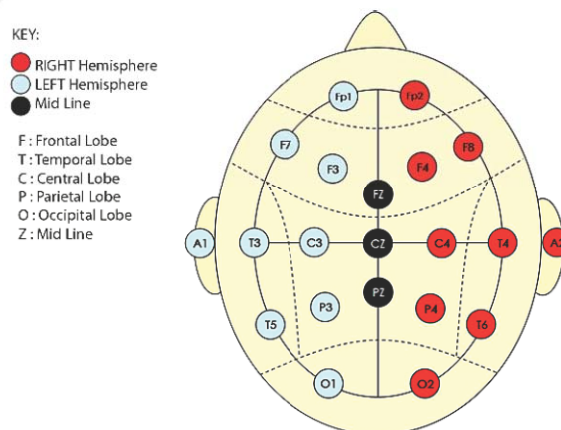
Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η μελέτη μεθόδων επεξεργασίας και ανάλυσης ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων (EEG). Παρουσιάζεται η χρήση ψηφιακών φίλτρων για την ανάλυση ενός ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος σε διαφορετικές φασματικές περιοχές.

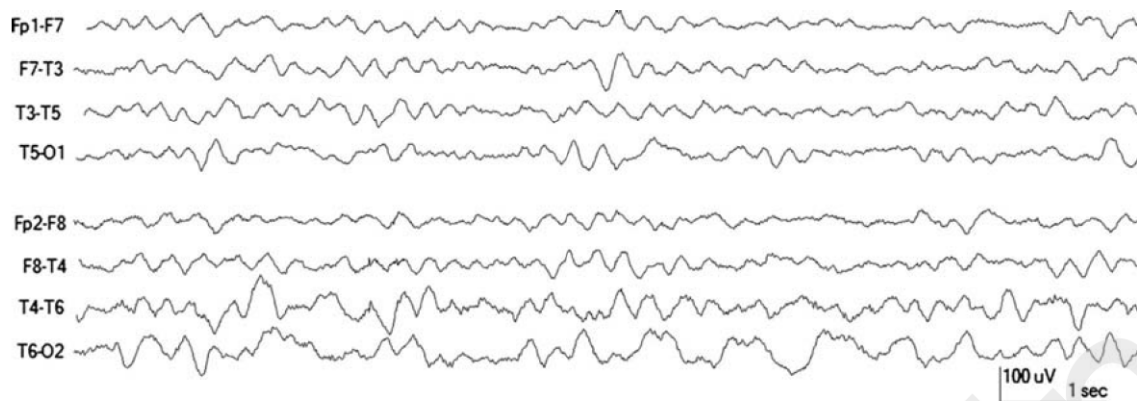
## 10.1 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικά σήματα

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalogram, EEG) είναι η καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος αποτελείται από δισεκατομμύρια κύτταρα. Το καθένα από αυτά παράγει και μεταδίδει απειροελάχιστα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία αθροιζόμενα με εκείνα των άλλων νευρικών κυττάρων του εγκεφάλου δίνουν μεγαλύτερα σήματα τα οποία μπορούμε να καταγράψουμε. Η καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου γίνεται με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην επιφάνεια του κρανίου. Επομένως, αυτό που καταγράφουμε στο EEG είναι ηλεκτρικά σήματα από τον φλοιό του εγκεφάλου.

Τα σήματα EEG λαμβάνονται μέσω ηλεκτροδίων που τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις όπως διακρίνεται στο Σχ.1. Στο Σχ.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα καταγραφής EEG. Τα διαφορετικά σήματα που παρατάσσονται σε διαφορετικές γραμμές αναπαριστούν τις διαφορές δυναμικού που μετρώνται μεταξύ των θέσεων που εικονίζονται στο Σχ.1.



Σχήμα 1. Θέσεις ηλεκτροδίων EEG.



**Σχήμα 2.** Παράδειγμα σημάτων EEG.

## 10.2 Φασματικό περιεχόμενο του EEG

Τα σήματα EEG αναλύονται σε διαφορετικές φασματικές περιοχές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της κατάστασης του εγκεφάλου. Στον πίνακα 1 εικονίζονται οι διαφορετικοί **τύποι κυμάτων** (χαρακτηρίζονται και ως **ρυθμοί**) που εκφράζονται περισσότερο στις διαφορετικές καταστάσεις.

**Πίνακας 1.** Περιοχές φάσματος EEG και καταστάσεις εγκεφάλου.

α/α	Συχνότητες	Τύπος κύματος	Κατάσταση
1	0 Hz – 4 Hz	Δέλτα	Βαθύς ύπνος
2	4 Hz – 8 Hz	Θήτα	Ονειροπόληση / Ελαφρύς ύπνος
3	8 Hz – 13 Hz	Άλφα	Χαλάρωση, ξύπνιος με κλειστά μάτια
4	13 Hz – 40 Hz	Βήτα	Ξύπνιος με ανοικτά μάτια, κινήσεις...

Ο ρυθμός άλφα συσχετίζεται με το κλείσιμο των ματιών με αισθητηριακό ερεθισμό ή/και πνευματική δραστηριότητα. Ο ρυθμός βήτα συσχετίζεται με την εγρήγορση του ανθρώπου, και ο ρυθμός δέλτα συσχετίζεται με τον ύπνο. Ο ρυθμός θήτα συσχετίζεται με μηχανισμούς καταστολής είτε στην είσοδο σε φάση χαλάρωσης, είτε σε συνδυασμό με το ρυθμό βήτα σε φάσεις αυξημένης προσοχής.

Οι διαφορές δυναμικού που καταγράφονται στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού ως απόκριση ή ως προετοιμασία σε κάποιο συγκεκριμένο γεγονός το οποίο συμβαίνει στο εξωτερικό περιβάλλον ή είναι αποτέλεσμα ενδοψυχολογικής διαδικασίας, ονομάζονται **βιωματικά δυναμικά** (event related potentials, ERPs). Τα

δυναμικά αυτά ταξινομούνται σε **προκλητά δυναμικά** (evoked potentials) όταν το ερέθισμα είναι εξωτερικό και **εκπεμπόμενα δυναμικά** (emitted potentials) όταν σχετίζονται με κάποια ψυχολογική διαδικασία.

### 10.3 Φίλτρα Butterworth

Τα φίλτρα Butterworth αποτελούν μια **ειδική κατηγορία φίλτρων IIR**. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα **βαθυπερατά** φίλτρα Butterworth έχουν μέτρο απόκρισης συχνότητας που δίνεται από τη σχέση:

$$|B_N(e^{j\omega})| = \left[ \frac{1}{1 + [\tan(\omega/2) / \tan(\omega_c/2)]^{2N}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

όπου  $N$  η τάξη του φίλτρου, και  $\omega_c$  η συχνότητα αποκοπής του. Στο Matlab υλοποιούνται με τη χρήση της συνάρτησης `butter`<sup>1</sup>. Η υλοποίηση του Matlab περιλαμβάνει επίσης **ζωνοπερατά** και **υψηπερατά φίλτρα Butterworth**. Η σύνταξη της συνάρτησης `butter` έχει ως εξής:

`[b,a] = butter(N,Wn)`

όπου  $N$  η τάξη του φίλτρου και  $Wn$  η συχνότητα αποκοπής του βαθυπερατού φίλτρου (όπως και στην `fir2`  $Wn=2*fc/fs$ , όπου  $fc$  η επιθυμητή συχνότητα αποκοπής). Οι επιστρεφόμενες τιμές  $a$  και  $b$  είναι οι συντελεστές του IIR φίλτρου. Αν στη θέση του  $Wn$  χρησιμοποιηθεί διάστημα τιμών, π.χ.  $Wn=[w1 \ w2]$ , τότε η συνάρτηση `butter` υλοποιεί ζωνοπερατό φίλτρο με συχνότητες αποκοπής  $w1$  και  $w2$ .

```
1 % EEG Signal processing and Analysis
2 % Using Butterworth IIR Filters
3 clear all
4 load EEG.mat
5
6 N=4;
7 fs = 200;
8 time = 0:1/fs:(length(eeg)-1)*1/fs;
9
10 %Delta
```

<sup>1</sup> Η συνάρτηση `butter` υπάρχει στο signal processing toolbox του Matlab.

```

11     Wn_d=2*4/fs;
12
13     [b,a] = butter(N,Wn_d);
14     delta = filter(b,a,eeg);
15
16     %Verify in frequency domain
17     in_vect = delta;
18     [freq,amp,phaz] = fftFun(in_vect, fs);
19     figure(1)
20     title('Frequency Content')
21     hold on
22     subplot(2,2,1), plot(freq,amp)
23     xlabel('Frequency (Hz)')
24     ylabel('Amplitude')
25     title('Delta Waves')
26
27     %Theta
28     W1 = 2*4/fs;
29     W2 = 2*8/fs;
30     Wn_t = [W1 W2];
31     [c,d] = butter(N,Wn_t);
32     theta = filter(c,d,eeg);
33
34     %Verify in frequency domain
35     in_vect = theta;
36     [freq,amp,phaz] = fftFun(in_vect, fs);
37     figure(1)
38     subplot(2,2,2), plot(freq,amp)
39     xlabel('Frequency (Hz)')
40     ylabel('Amplitude')
41     title('Theta Waves')
42
43     %Alpha
44     W3 = 2*8/fs;
45     W4 = 2*13/fs;
46     Wn_a = [W3 W4];
47     [e,f] = butter(N,Wn_a);
48     alpha = filter(e,f,eeg);
49
50     %Verify in frequency domain
51     in_vect = alpha;
52     [freq,amp,phaz] = fftFun(in_vect, fs);
53     subplot(2,2,3), plot(freq,amp)
54     xlabel('Frequency (Hz)')
55     ylabel('Amplitude')
56     title('Alpha Waves')
57
58     %Beta
59     W5 = 2*13/fs;
60     W6 = 2*40/fs;
61     Wn_b = [W5 W6];
62     [g,h] = butter(N,Wn_b);
63     beta = filter(g,h,eeg);
64
65     %Verify in frequency domain
66     in_vect = beta;
67     [freq,amp,phaz] = fftFun(in_vect, fs);
68     subplot(2,2,4), plot(freq,amp)
69     xlabel('Frequency (Hz)')
70     ylabel('Amplitude')

```

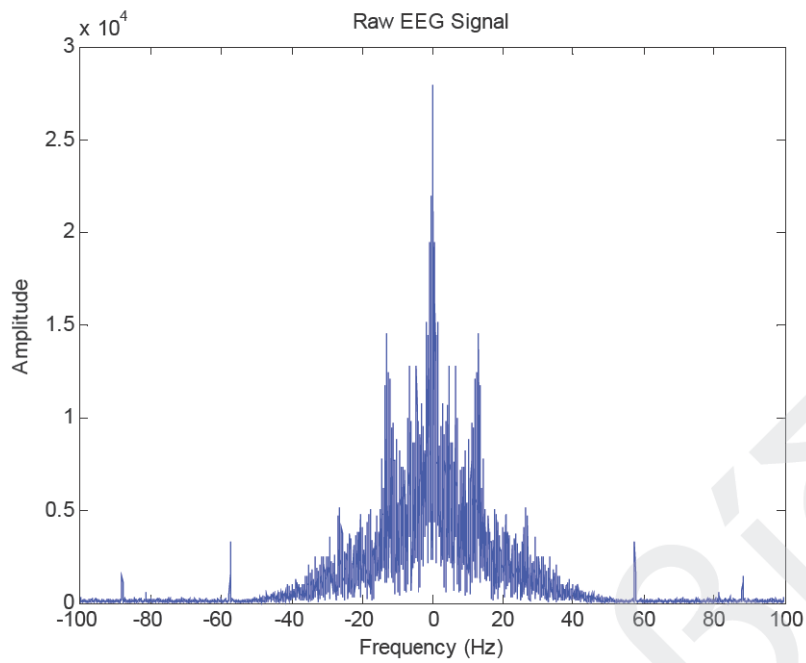
```

71     title('Beta Waves')
72     hold off
73
74     %Show frequency of raw signal
75     in_vect = eeg;
76     [freq,amp,phaz] = fftFun(in_vect, fs);
77     figure
78     plot(freq,amp)
79     xlabel('Frequency (Hz)')
80     ylabel('Amplitude')
81     title('Raw EEG Signal')
82
83     %% Figures
84     figure
85     hold on
86     title('EEG Wave Patterns')
87     subplot(5,1,1), plot(time, eeg)
88         xlabel('Time(s)')
89         ylabel('Amplitude')
90         title('Raw EEG Signal')
91     subplot(5,1,2), plot(time, delta)
92         xlabel('Time(s)')
93         ylabel('Amplitude')
94         title('Delta Waves')
95     subplot(5,1,3), plot(time, theta)
96         xlabel('Time(s)')
97         ylabel('Amplitude')
98         title('Theta Waves')
99     subplot(5,1,4), plot(time, alpha)
100         xlabel('Time(s)')
101         ylabel('Amplitude')
102         title('Alpha Waves')
103     subplot(5,1,5), plot(time, beta)
104         xlabel('Time(s)')
105         ylabel('Amplitude')
106         title('Beta Waves')
107     hold off

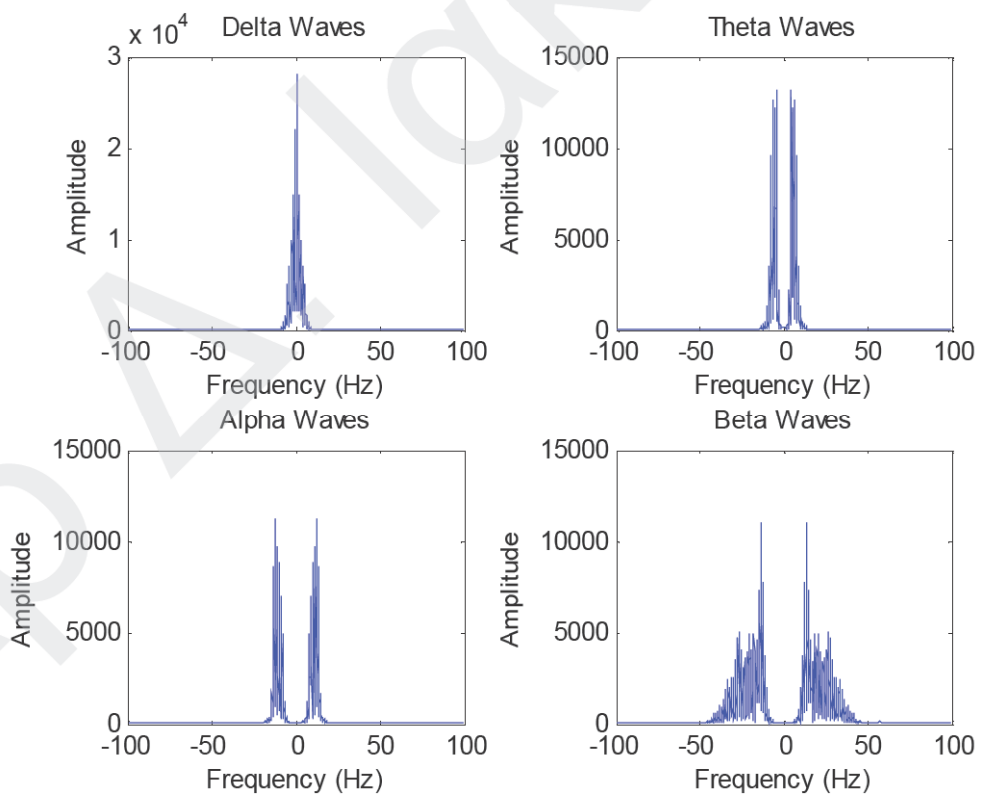
```

**Σχήμα 3.** Χρήση φίλτρων Butterworth για την εξαγωγή των διαφορετικών ρυθμών ενός σήματος EEG.

Το φάσμα του σήματος EEG που προκύπτει από το παράδειγμα του Σχ.3 εικονίζεται στο Σχ.4. Στο Σχ.5 εικονίζονται τα φάσματα των διαφορετικών ρυθμών που εξάγονται από το αρχικό σήμα και στο Σχ.6 εικονίζονται οι διαφορετικοί ρυθμοί που εξήχθησαν στο πεδίο του χρόνου.

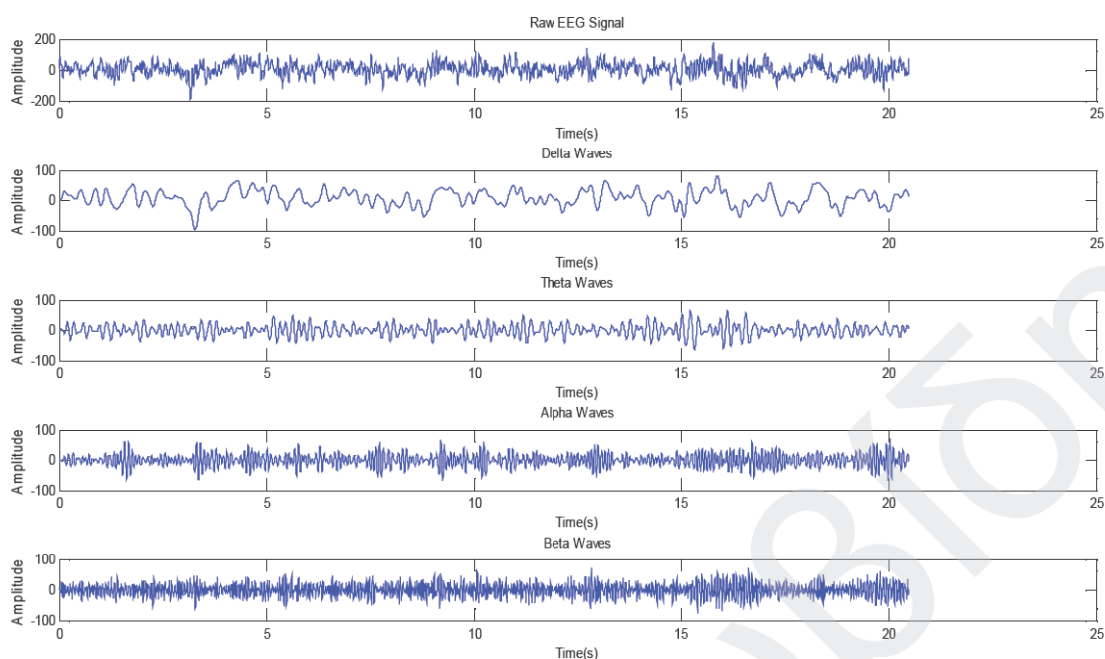


**Σχήμα 4.** Φάσμα του αρχικού σήματος EEG.



**Σχήμα 5.** Φάσματα των διαφορετικών τύπων κυμάτων που εξάγονται από το EEG.





**Σχήμα 6.** Διαφορετικοί τύποι κυμάτων (ρυθμοί) που εξάγονται από το σήμα EEG.

#### 10.4 Συλλογή και αποθρομβοποίηση προκλητών δυναμικών

Τα σήματα EEG περιέχουν θόρυβο, μεγάλο μέρος του οποίου οφείλεται στις επαφές των ηλεκτροδίων, στην ύπαρξη άλλων σημάτων του εγκεφάλου που παρεμβάλλονται (που δεν έχουν σχέση με το συγκεκριμένο ερέθισμα που προκαλεί το δυναμικό), στην ύπαρξη θορύβου από το περιβάλλον κ.α. Η απομάκρυνση του θορύβου για τη μελέτη προκλητών δυναμικών γίνεται με τη μέθοδο του μέσου όρου (**averaging**), δηλαδή:

**Το ίδιο πείραμα επαναλαμβάνεται πολλές φορές και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σημάτων που λαμβάνονται από όλα τα πειράματα.**

Για παράδειγμα, αν το πείραμα αφορά τη μελέτη του προκλητού δυναμικού που παράγεται με την επίδειξη ενός συγκεκριμένου αντικειμένου σε έναν άνθρωπο, το αντικείμενο επιδεικνύεται στον άνθρωπο πολλές φορές και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σημάτων που λαμβάνονται.

### Ασκήσεις

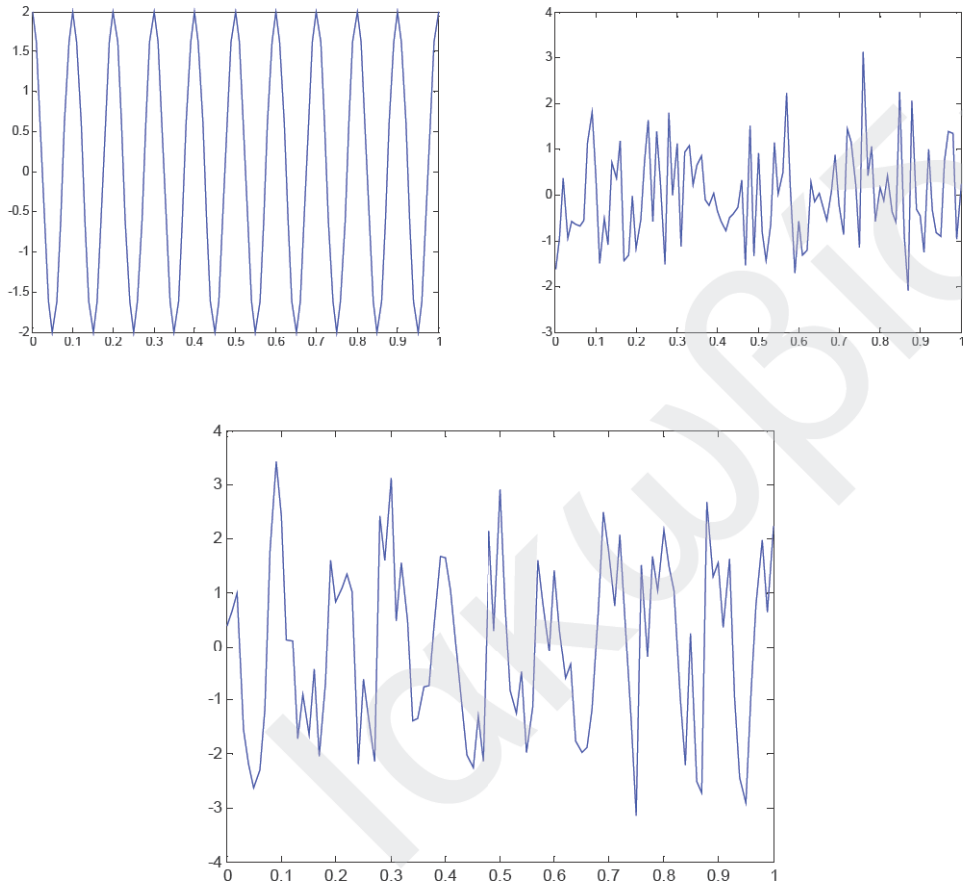
1. Να υλοποιήσετε το παράδειγμα του Σχ.3.
  2. Να κατασκευάσετε ένα ημιτονοειδές με συχνότητα  $f=10\text{Hz}$ . Να κατασκευάσετε  $N$  σήματα θορύβου (κανονικής κατανομής).
    - a. Προσθέτοντας το ημιτονοειδές με κάθε ένα από τα  $N$  σήματα θορύβου να κατασκευάσετε  $N$  ημιτονοειδή με θόρυβο.
    - b. Να εφαρμόσετε την τεχνική του “averaging” για την αποθορυβοποίηση του ημιτονοειδούς.
- Παρατηρήστε τις γραφικές παραστάσεις των σημάτων με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων.
3. Να επαναλάβετε το προηγούμενο ερώτημα χρησιμοποιώντας το σήμα EEG αντί για το ημιτονοειδές.



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Άσκηση 2

(a) Παράδειγμα ημιτονοειδούς πλάτους 2 (αριστερά), θορύβου παραγόμενου με τη randn (δεξιά) και το άθροισμά τους (κάτω).



(b) Μέσος όρος  $N=100$  ημιτονοειδών σημάτων με θόρυβο.

