

Exercise 2 – Neuronal dynamics

General instructions

1. EACH STUDENT SHALL UPLOAD HIS/HER OWN COPY TO THE MOODLE SERVER, SO WE COULD LATER GRADE YOU.
2. For the first part - the analytical part, we expect to see full mathematical derivations (פיתוח מתמטי מלא). You can submit either a typed solution via Moodle or a physical handwritten copy to **Aviv's mailbox** (at building 93). Please **do not** submit a snapshot of your handwritten notebook. If you submit a **physical copy**, submit a **single copy** for each pair of students and **make sure to write your IDs** (ID1 and ID2).
3. For the second part you should submit a **single** PDF document named **ex2_ID1_ID2.pdf** (use word and export it to pdf) and a **single** MATLAB code file **ex2_ID1_ID2.m**. Detailed submission instructions are described later.
4. If you have any questions regarding this assignment, please ask them in the dedicated forum at the Moodle course site.

Part 1 – Analytical (60 points, 20 for each question)

1. עורכים הדמיה של תגובת נוירון סכסם וירה לזרם קבוע בזמן $I = 1200 pA$.
 - א. לאחר זמן רב הנוירון מתייצב על מתח $V = 25 mV$ ואינו יורה פוטנציאלי פעולה. מהי התנגדות הנוירון?
 - ב. כאשר מכבים את הזרם, המתח דועך ולאחר 30 מילישניות מגיע למתח של $3.38 mV$. מהו קבוע הזמן של הנוירון?
 - ג. מהו קיבול הנוירון?
 - ד. בודקים את תגובת הנוירון לזרם הגבוה במעט מאד מהזרם המקורי ומוצאים כי הוא מתחיל לירות פוטנציאלי פעולה. מהו סף המתח של הנוירון?
 - ה. מה יהיה תדר הירי של הנוירון בתגובה לזרם של $I = 2000 pA$? הניחו כי לנוירון תקופה רפרקטורית מוחלטת בת $2 ms$.

הוראות כלליות:

- בזמן הפיתוח המירו את התחיליות/Prefixes, לדוגמא כאשר יש לי $2 mV$, כדאי להמירו ל- $2 \cdot 10^{-3}$.
- אל תשכחו לכתוב את היחידות המתאימות בתשובתכם הסופית, לדוגמא: תדר ירי – $10 Hz$ (10 פ"פ לשנייה).
- תוכלו להיעזר בשאלה זו בטבלאות הבאות:

Prefix	Analog value
p (pico)	10^{-12}
n (nano)	10^{-9}
μ (micro)	10^{-6}
m (milli)	10^{-3}
k (kilo)	10^3 (1000)
M (mega)	10^6 (1,000,000)
G (Giga)	10^9 (1,000,000,000)
T (Tera)	10^{12} (1,000,000,000,000)

גודל פיזיקלי	יחידות	סימון
מתח (V)	Volt	V
זרם (I)	Ampere	A
התנגדות (R)	Ohm	Ω
קיבול (C)	Farad	F
זמן (t)	second	s
תדר (f)	Hertz	Hz

קשרים בין יחידות שונות

$A \cdot \Omega = V$
$\Omega \cdot F = s$
$Hz \equiv 1/s$

2. לנירן סכם וירה בעל התנגדות R וקבוע זמן ממברנלי τ_m נכנס זרם מהצורה:

$$I(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ I_0 e^{-\frac{t}{\tau_s}}, & t \geq 0 \end{cases}$$

כאשר $0 < \tau_s < \tau_m$. נניח שהזרם הנתון לא גרם ליצירת פוטנציאל פעולה.

א. מצאו את מתח הממברנה של הנירן כפונקציה של הזמן (והפרמטרים (R, I_0, τ_m, τ_s)).

ב. שרטטו באופן איכותי את מתח הממברנה כפונקציה של הזמן.

ג. מצאו את מתח הממברנה המקסימלי של הנירן. בתשובתכם השתמשו רק בפרמטרים I_0 ו- R , וכן ביחס $\alpha \equiv \frac{\tau_m}{\tau_s}$.

(במקום ב- τ_m ו- τ_s בנפרד).

הדרכה: תחילה מצאו את הזמן שבו מתח הנירן מקסימלי, ואז הציבו את התוצאה בפונקציה שקיבלתם בסעיף הראשון.

3. נירן סכם וירה בעל סף זרם θ , התנגדות R וקבוע זמן ממברנלי τ מקבל זרם קבוע גבוה מאוד ($I \gg \frac{\theta}{R}$).

א. הראו שזמן המחזור של הנירן הוא בקירוב:

$$T \approx \tau_R + \tau \frac{\theta}{IR}$$

הדרכה: היעזרו בקירוב $\ln(1+x) \approx x$ עבור $x \ll 1$.

ב. הראו שבהיעדר תקופה רפרקטורית ($\tau_R = 0$), תדר הירי של הנירן לינארי בקירוב ביחס לזרם (עבור זרם חזק):

$$f \approx AI + B,$$

ומצאו את המקדמים A ו- B .

ג. שרטטו באופן איכותי את תדר הירי של הנירן כפונקציה של הזרם עבור נירן נטול תקופה רפרקטורית (בדומה

לסעיף הקודם). השוו לגרף האיכותי עבור נירן בעל תקופה רפרקטורית, כפי שנלמד בשיעור.

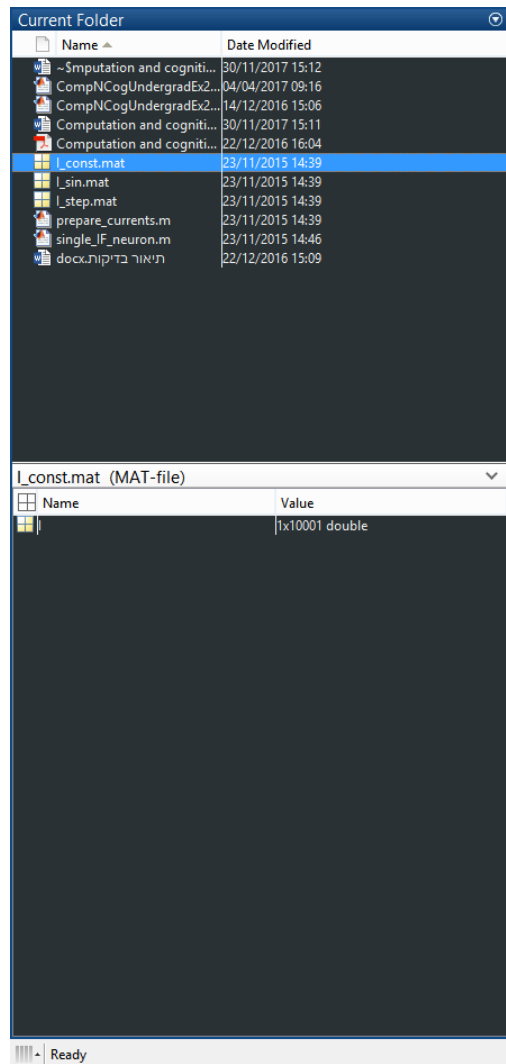
הדרכה: זכרו כי הפיתוח מהסעיף הקודם נכון רק עבור זרם חזק מספיק, ובדקו מה קורה כאשר הזרם קרוב ל- θ/R .

Part 2 – Simulation of an integrate-and-fire neuron (40 points)

1. Download all the exercise files and make sure they are all in the same directory.
2. Open 'CompNCogUndergradEx2.m' in Matlab. This is a simulation of an integrate-and-fire neuron. In this exercise, we will examine the responses of the neuron to different types of currents.
3. We prepared several samples of external currents to be applied:
 - 3.1. Constant current
 - 3.2. Sine function
 - 3.3. Exponential function
 - 3.4. Step function

You could click on a ".mat" file and see its contents:

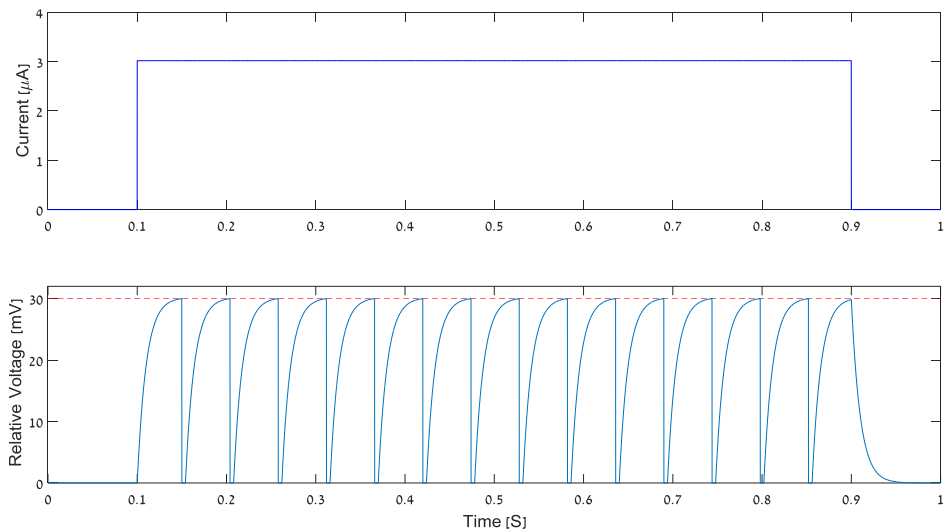
- Here we have a variable that is a row vector with (1x10001) values of current.



- Note that all the data files contain a single variable named 'I' - this is the applied current as a function of time (that the duration of the current is already set to be the same duration of the numerical simulation).

Your assignment:

- A general instruction: **Replace** all the **%TODO** fragments with your code as instructed.
- Your code `ex2_ID1_ID2.m` shall render a plot for the following cases:
 - The constant current applied to an I&F neuron.
 - The 'Sine' current applied to an I&F neuron.
 - The 'Exponential current applied to an I&F neuron.
 - The 'Step' current applied to an I&F neuron.
 - The 'Step' current applied to a simple RC circuit (namely, without spikes).
- For each case, show two panels – one with the current as a function of time and one with the voltage trace as a function of time. Here is an example of how it should look like for a 'step' current input to an I&F neuron:



8. After rendering each figure, you shall use the menu option 'Edit->Copy figure' in order to copy the figure contents to the submitted document.
9. Please write a headline 'Part 2 – Numerical integration' in the submitted pdf.
10. Please write a caption to each plot in the submitted pdf, so we'd (by saying we, I mean I) know that you rendered the correct plots.
11. The submitted pdf must contain all the 'two-panel' plots for all 5 cases with the appropriate caption on top of them.
12. On the MATLAB code file `ex2_ID1_ID2.m` you submit:
 - 12.1. You should **replace** all the TODO comments with your own code.
 - 12.2. When asked to explain in comments:
 - 12.2.1.1. Explain it as if I know MATLAB well, but don't have a clue in neuroscience or differential equations.
 - 12.2.1.2. For example: Do not write '*IF A>B*' as comment, write '*when the voltage crosses the threshold*'.
 - 12.3. Please make sure that everything runs as expected (after pressing F5), for any given current case (from those that we gave you).
 - 12.4. **When you submit the Matlab code file, the 'step' current should be enabled, whereas other currents should be commented. The 'step' current input should be applied to an integrate-and-fire neuron and a plot should be generated by the Matlab script.**

<https://youtu.be/gBzJGckMYO4>

GOOD LUCK.