مدل سازی شناختی

Cognitive Modeling

Presented by: Dr. Maleki, Semnan University, Spring 2024, http://maleki.semnan.ac.ir

مبحث پنجم:

از پتانسیل عمل تا برنامه نویسی نورون: «ادغام و آتش»

ای نامه‌ی اسرار الهی که تویی
وی آینه‌ی جمال شاهی که تویی
بیرون ز تو نیست آنچه در عالم هست
از خود بطلب هر آنچه خواهی که تویی

Presented by: Dr. Maleki, Semnan University, Spring 2024, http://maleki.semnan.ac.ir

اهداف

پس از آموختن این مبحث باید بتوانید:

- درکی عمومی از طبیعت پتانسیل عمل داشته باشید؛
- چگونگی دستیابی به مدل ادغام و آتش از تلقی کردن غشاء نورونی به عنوان خازن را درک کنید؛
- نسخه‌ی صفحه گسترده‌ای از مدل ادغام و آتش برای نورون اسپایکی ایجاد کنید.

فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع بندی

دورنما

به طور خلاصه، در این فصل:

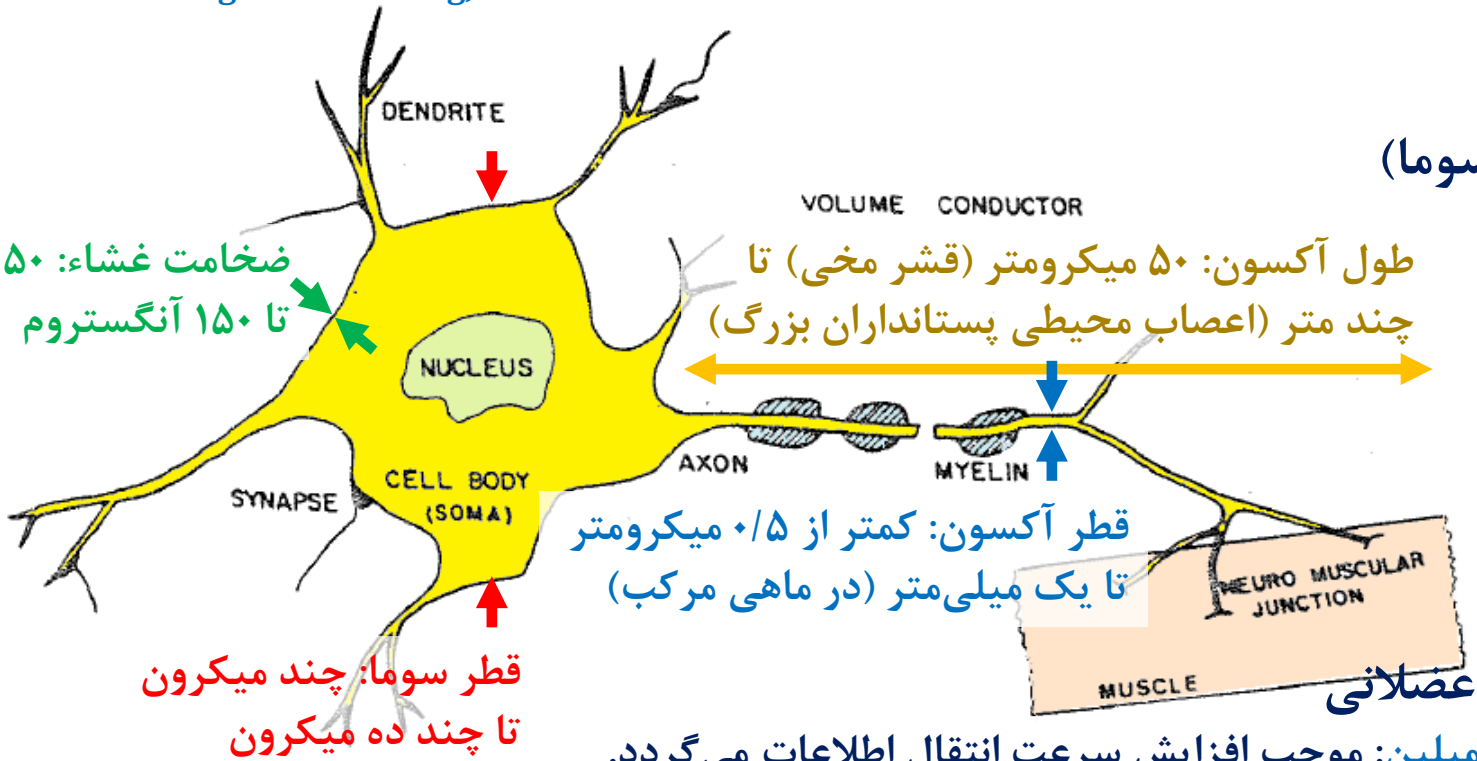
- پتانسیل عمل معرفی خواهد شد؛
- مدل ادغام و آتش برای پتانسیل عمل توصیف خواهد شد؛
- چگونگی دستیابی به این مدل با تلقی کردن نورون به صورت یک مدار الکتریکی ساده نشان داده خواهد شد؛ و
- نسخه‌ی صفحه گسترده‌ای از مدل ادغام و آتش نورون پیاده‌سازی خواهد شد.

فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل‌های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع‌بندی

بیشتر بدانیم: معرفی نورون

Biomedical Signal Processing, Cohen.



اجزای نورون:

۱- بدنه‌ی سلول (سوما)

۲- دندریت‌ها

۳- آکسون

۴- غلاف میلین

اتصال‌ها:

۱- سیناپس

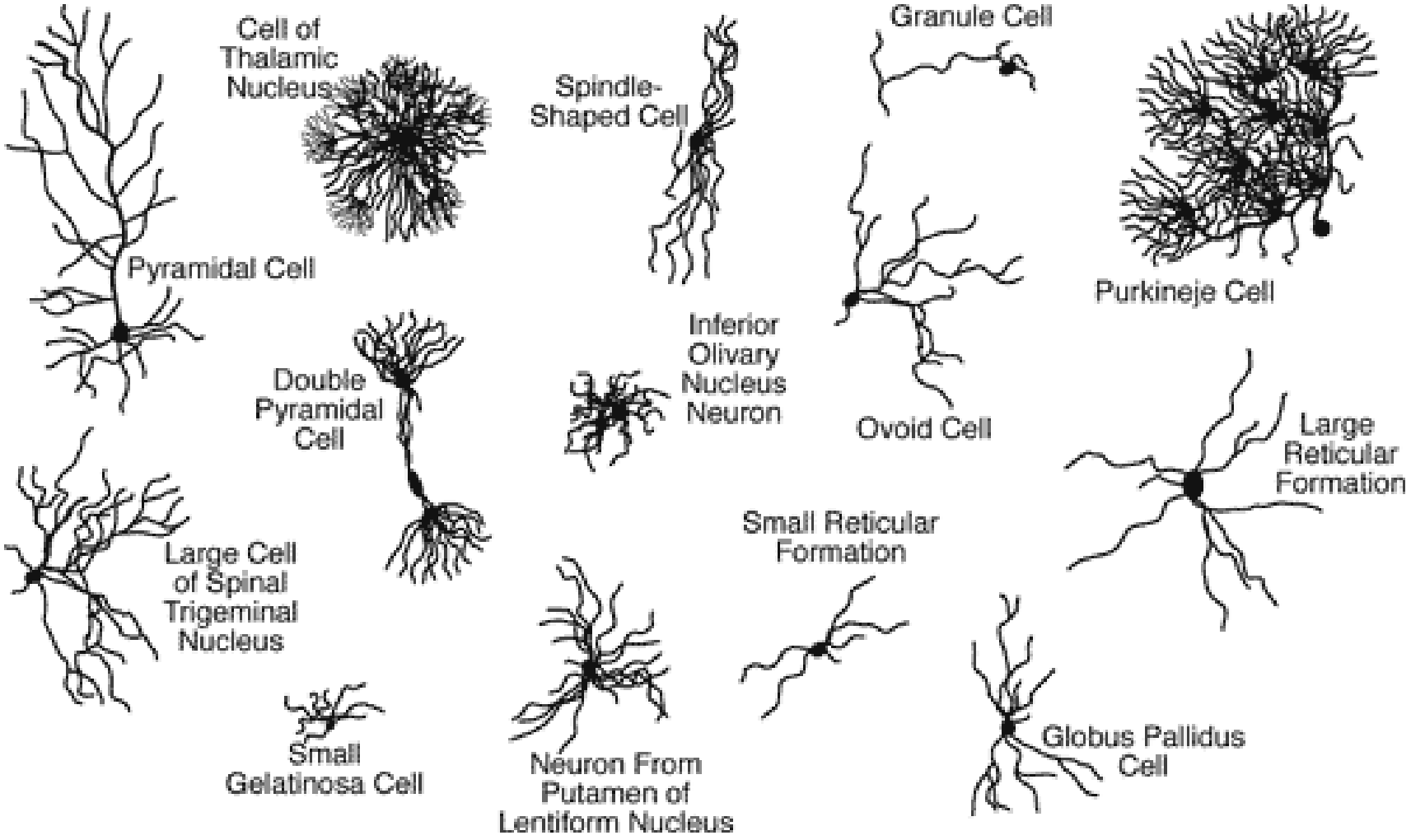
۲- اتصال عصبی- عضلانی

غلاف میلین: موجب افزایش سرعت انتقال اطلاعات می‌گردد.

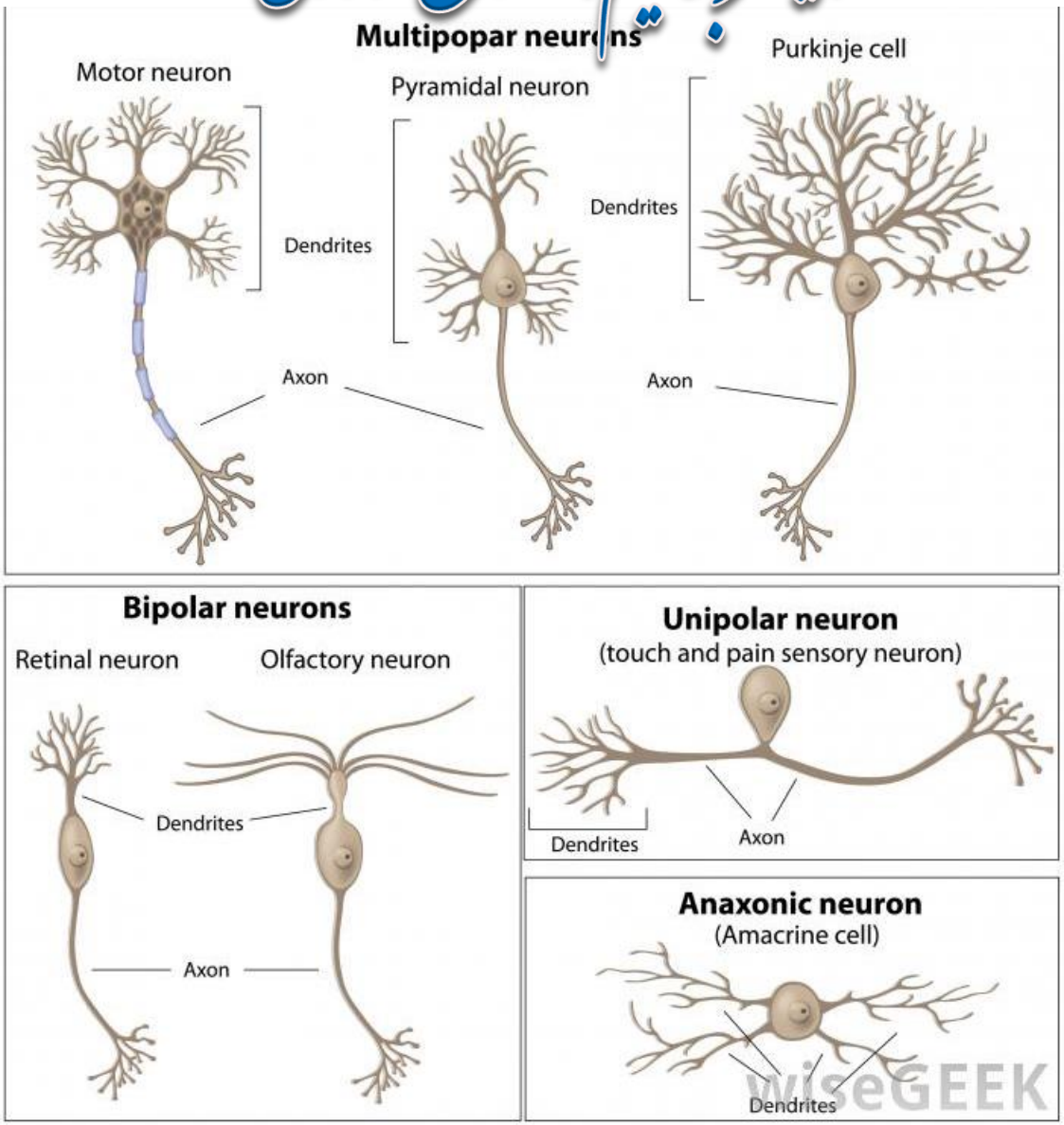
سیناپس: اتصالی معمولا در دندریت یا سومای سلول که می‌تواند موجب کاهش یا افزایش پتانسیل غشاء شود. عملکرد سلول بر اساس انتگرال زمانی-مکانی این تغییرات پتانسیل استوار است.

اتصال عصبی عضلانی: اتصال یک عصب حرکتی به عضله که **endplate** نیز نامیده می‌شود.

بیشتر بدانیم: انواع نورون



بیشتر بدانیم: انواع نورون



نورون‌ها و یون‌ها:

نورون‌ها سلول‌هایی هستند و مایعات درونی آنها توسط غشاء سلول احاطه شده است. این غشاء سلولی دو نوع نشتی دارد. یکی وجود کانال‌های خاصی است که به یون‌های خاصی اجازه عبور از عرض غشاء را داده و به دیگر یون‌ها اجازه عبور نمی‌دهد. دیگری وجود نشتی عمومی‌ای است که اجازه می‌دهد هر چیزی با درجه متغیری بگذرد. وجه تمایز مهم برای ما آن است که کانال‌ها انتخابی هستند یعنی به صورت تابعی از غلظت و پتانسیل الکتریکی، به یون‌ها اجازه عبور می‌دهند.

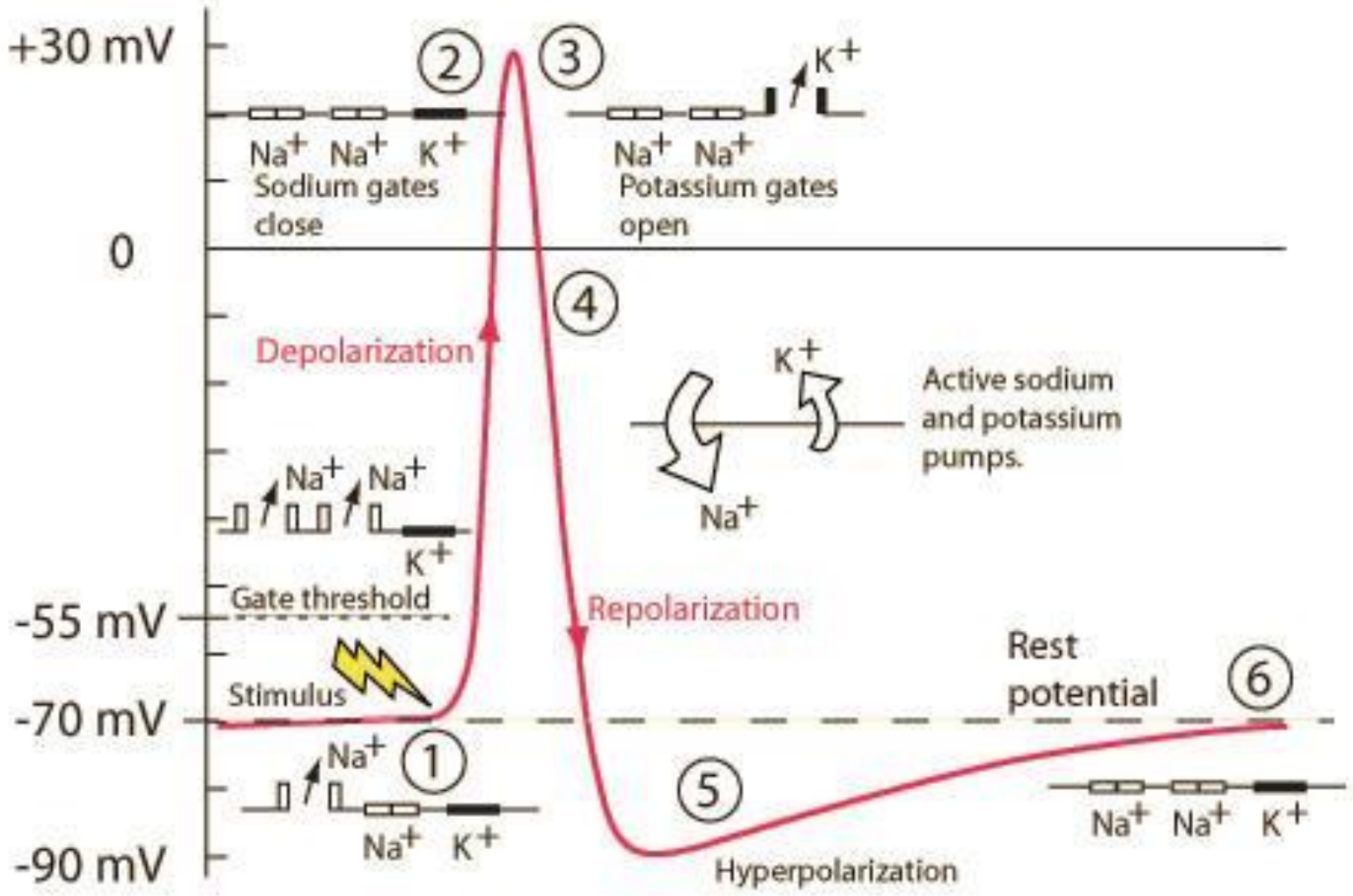
پتانسیل استراحت (Resting Potential):

به طور طبیعی، تعداد یون‌های با بار منفی در درون نورون بیشتر از تعداد یون‌های با بار مثبت است. این موضوع ناشی از پمپ کردن یون‌های سدیم (Na^+) به بیرون و پمپ کردن یون‌های پتاسیم (K^+) به داخل است. با این حال، از آنجا که سدیم و پتاسیم هر یک در یک سمت غشاء انباشته شده‌اند گرادیان غلظت، نیرویی به آنها اعمال می‌کند تا به سمت دیگر غشاء بازگردند. متاسفانه سدیم نمی‌تواند به داخل بازگردد ولی پتاسیم می‌تواند به بیرون نشت کند. با نشت پتاسیم به بیرون سلول، بار منفی‌ای باقی می‌ماند. جاذبه الکتریکی ناشی از این بار منفی شروع به برگرداندن پتاسیم می‌کند. پس از مدتی، تعادلی بین به بیرون راندن ناشی از گرادیان غلظت و به درون کشیدن ناشی از جاذبه الکتریکی برقرار می‌شود و غشاء به پتانسیل استراحت می‌رسد.

پتانسیل عمل (Action Potential):

وقتی یک نورون به نورونی دیگر از طریق سیناپس، پیام مخابره می‌کند کانال‌های یونی خاصی در سلول پس‌سیناپسی باز می‌گردند و به یون‌ها اجازه ورود به سلول می‌دهند. این موجب تغییری اندک در پتانسیل الکتریکی نورون پس‌سیناپسی می‌گردد. اگر کانال‌های کافی باز شوند بار درون سلول به میزان کافی افزایش می‌یابد و به نقطه‌ای بی‌بازگشت می‌رسد. کانال‌های سدیم باز می‌شوند و ولتاژ داخل نورون به سرعت مثبت‌تر می‌شود. این همان «پتانسیل عمل» است. به عبارتی، روند خودکار است. کانال‌های یونی باز و سپس بسته می‌شوند و همه چیز به خط مبنا بازنشانی می‌گردد.

بیشتر بدانیم: پتانسیل عمل

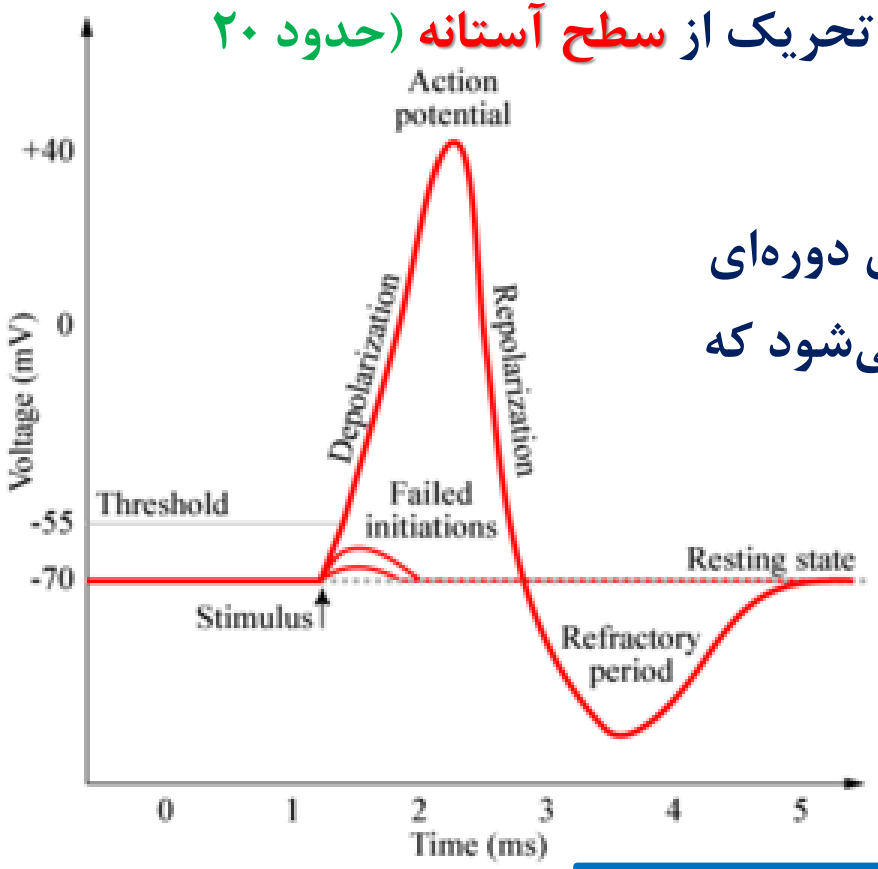


بیشتر بدانیم: آستانه و دوره‌ی تحریک ناپذیری

غشاء تنها در صورتی برانگیخته می‌شود که میزان تحریک از **سطح آستانه** (حدود ۲۰ میلی‌ولت) تجاوز نماید.

با برانگیخته شدن غشاء و آغاز پتانسیل عمل، برای دوره‌ای (حدود ۱ تا ۲ میلی‌ثانیه)، سطح آستانه بی‌نهایت می‌شود که **دوره‌ی تحریک‌ناپذیری مطلق** نامیده می‌شود.

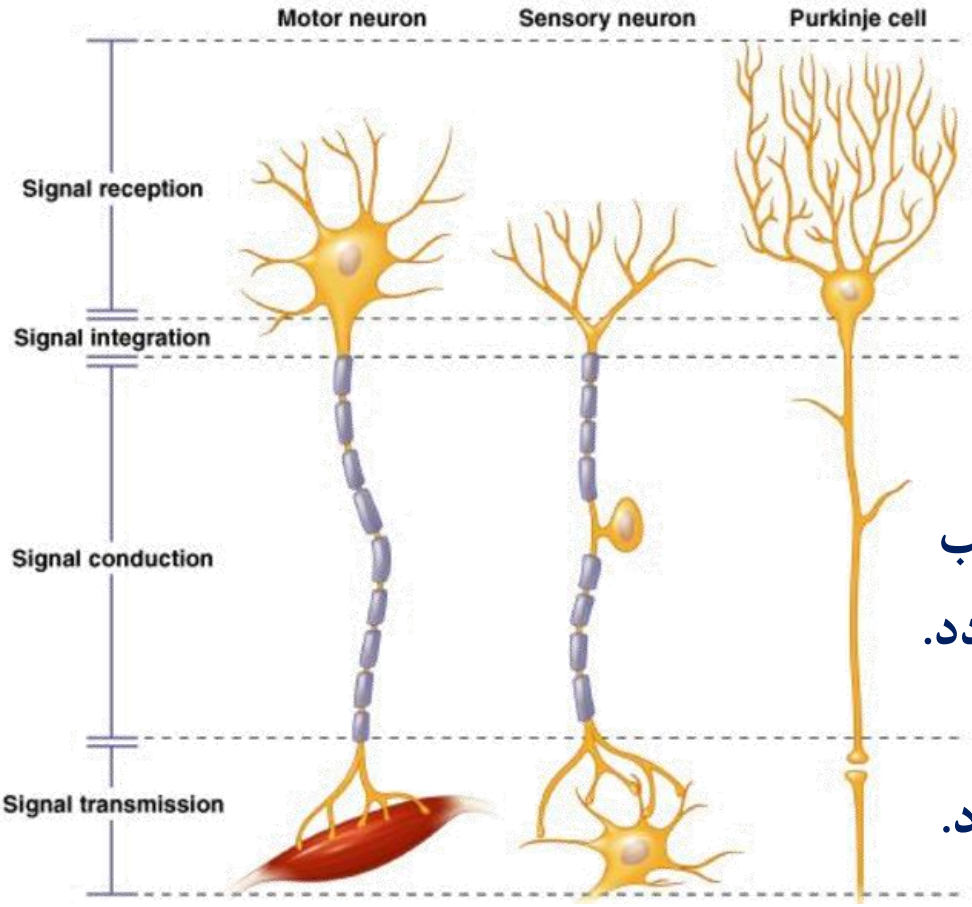
سپس سطح آستانه شروع به کاهش کرده تا به سطح استراحت برسد. به این دوره‌ی زمانی، **دوره‌ی تحریک‌ناپذیری نسبی** گویند.



واژه‌نامه:

سطح آستانه	**threshold level**
دوره‌ی تحریک‌ناپذیری مطلق	**total refractory period**
دوره‌ی تحریک‌ناپذیری نسبی	**relative refractory period**

بیشتر بدانیم: شکل گیری پتانسیل عمل



ورودی حسگر: شدت نور جذب شده، مقدار فشار اعمال شده و ...

ورودی سلول عصبی: اثر دریافتی از پایانه‌های عصبی نورون‌های دیگر (سیناپس‌ها)

انواع سیناپس: تحریکی و مهاری

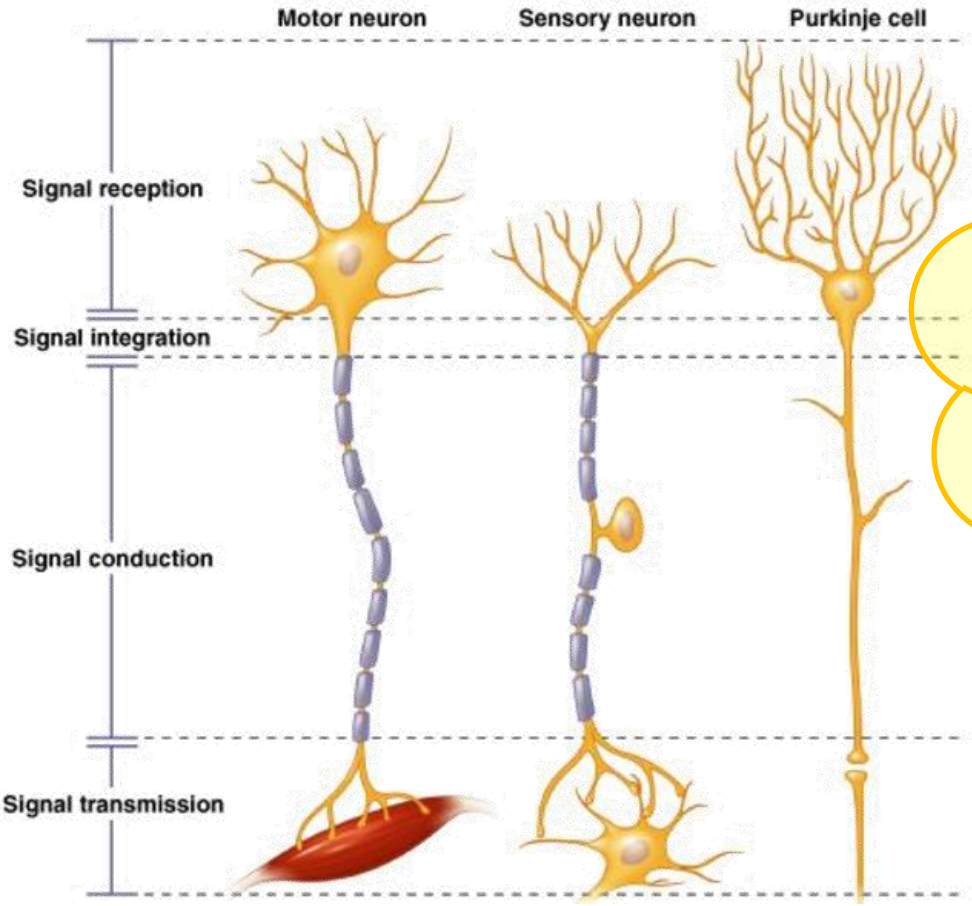
سیناپس تحریکی: سیناپسی که می‌تواند موجب اندکی افزایش در پتانسیل استراحت غشاء گردد.

سیناپس مهاری: سیناپسی که می‌تواند موجب اندکی کاهش در پتانسیل استراحت غشاء گردد.

واژه‌نامه:

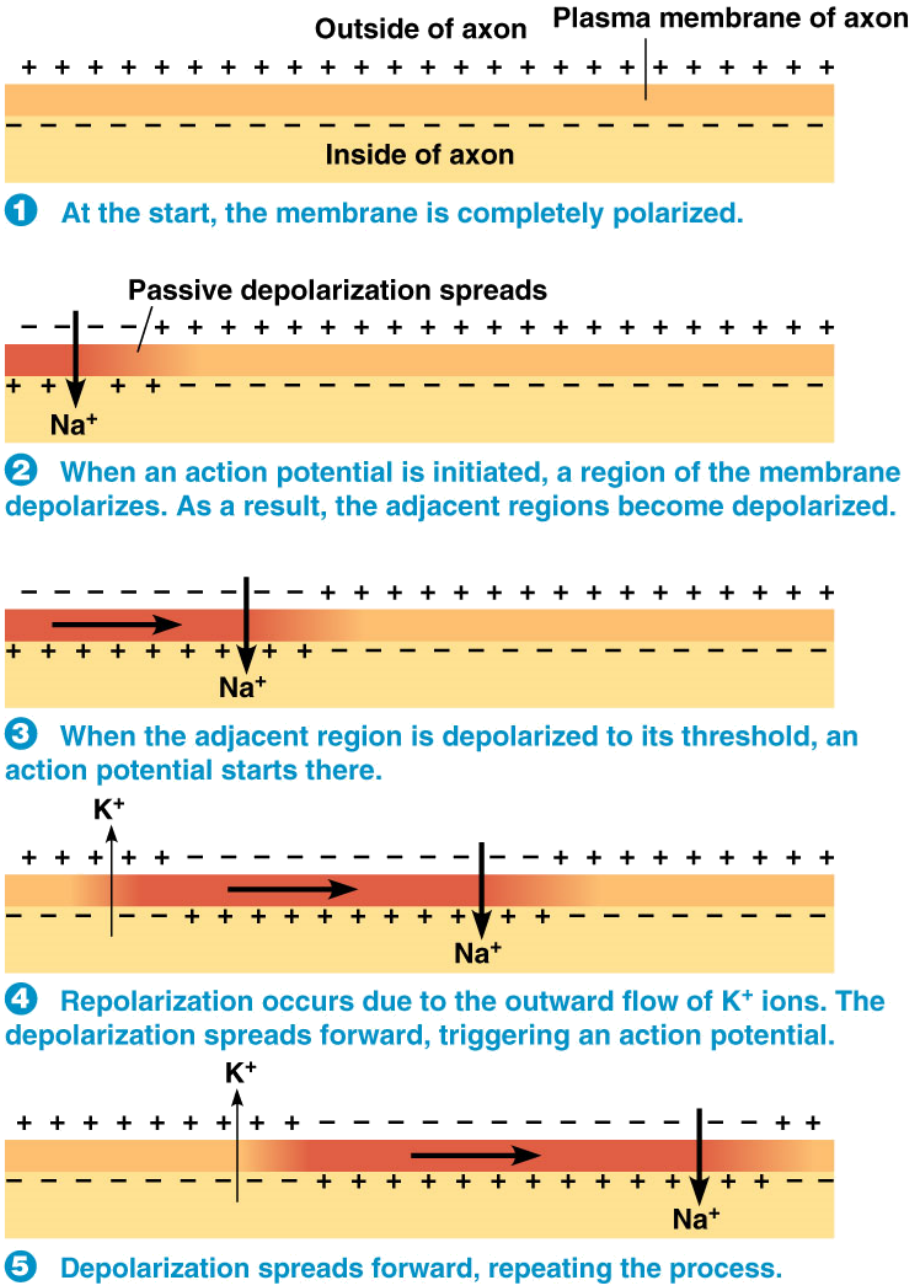
Excitatory synapse	سیناپس تحریکی
Inhibitory synapse	سیناپس مهاری

بیشتر بدانیم: شکل گیری پتانسیل عمل



پتانسیل غشاء توسط **انتگرال‌گیری زمانی و مکانی** تمام اثرات سیناپسی تعیین می‌گردد. با رسیدن مجموع اثرات به سطح آستانه، پتانسیل عمل شکل خواهد گرفت.

بیشتر بدانیم: انتشار پتانسیل عمل



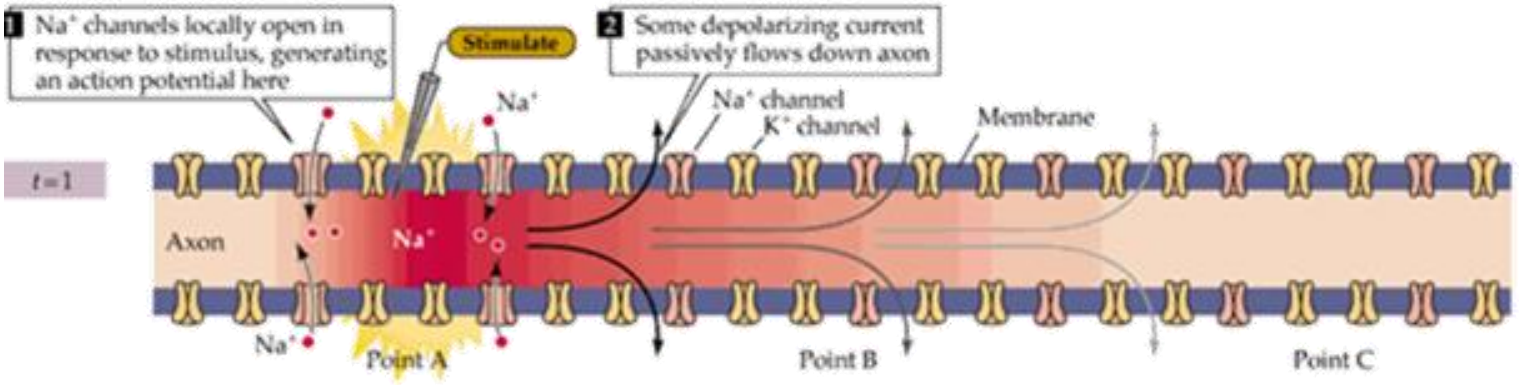
با شکل‌گیری پتانسیل عمل، میدان الکتریکی درونی آنقدر قوی است که بخش‌های مجاور از غشاء را تحریک نماید.

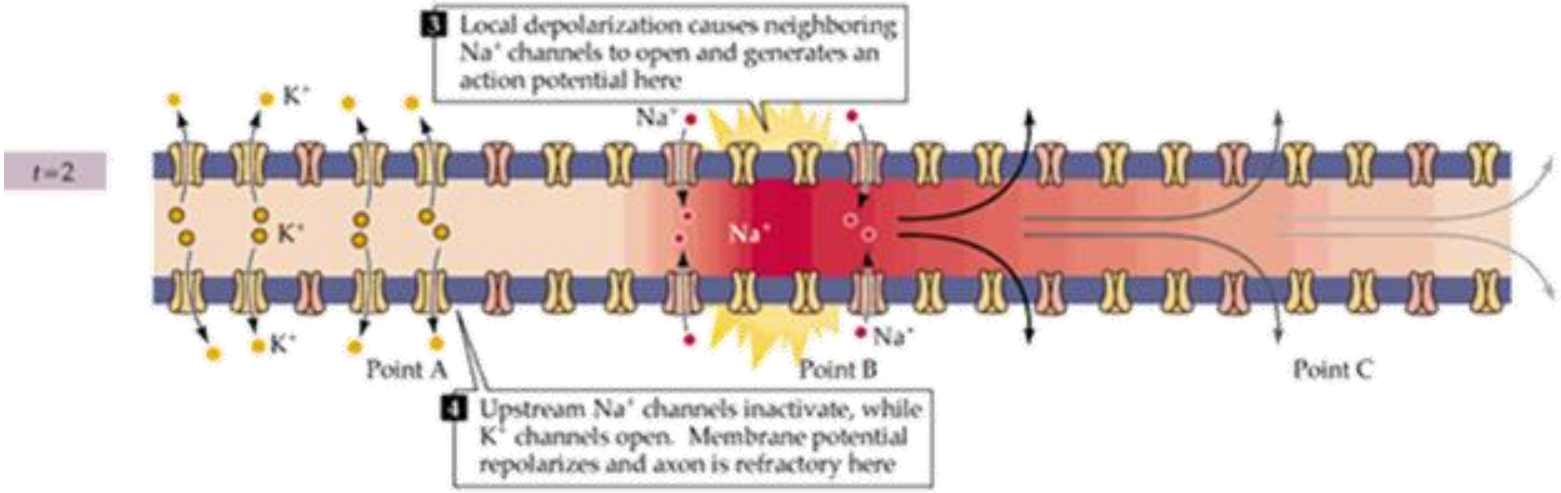
پتانسیل عمل هنگام انتشار در آکسون، به طور محلی **بازتولید** می‌گردد. از این رو، بدونِ تضعیف انتقال می‌یابد.

© 2012 Pearson Education, Inc.

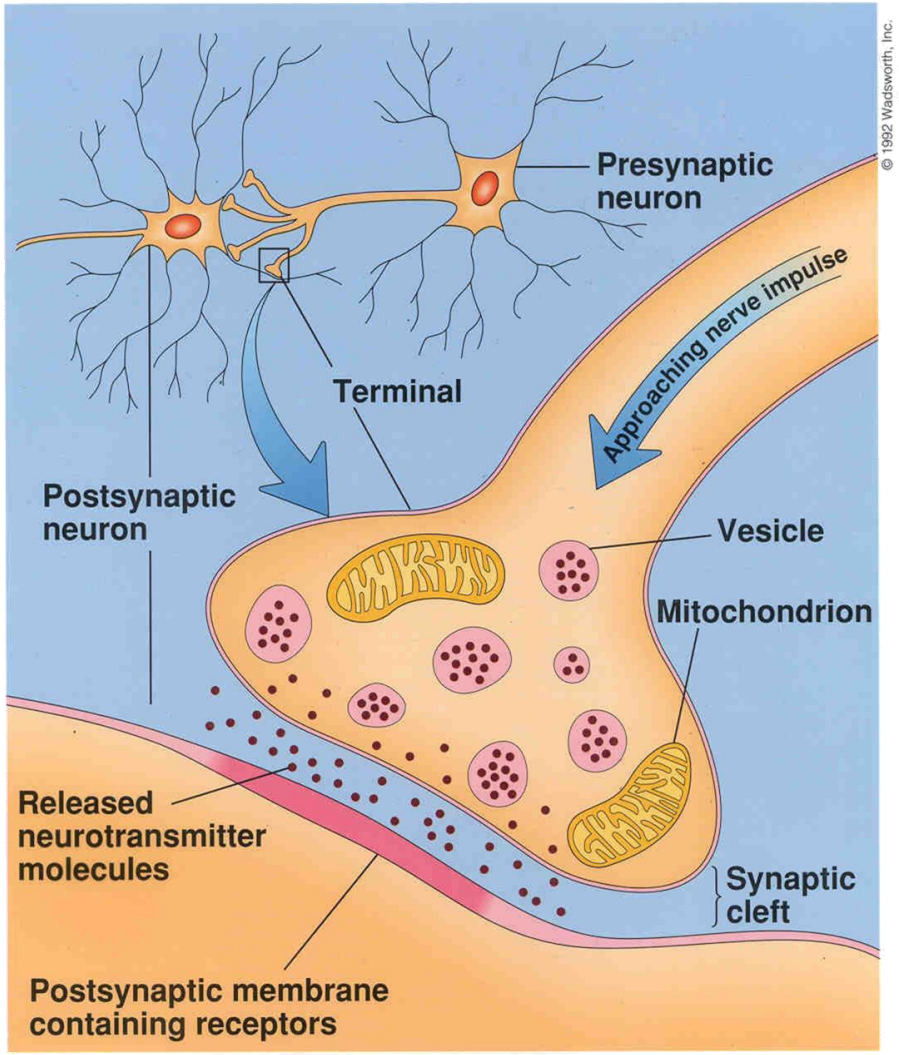
بیشتر بدانیم: انتشار پتانسیل عمل

چرا پتانسیل عمل در آکسون نورون، تنها در یک جهت منتشر می‌گردد؟





بیشتر بدانیم: سیناپس



نواحی سیناپس:

pre-synaptic region

synaptic cleft (about 200 Å)

post-synaptic region

فرآیند

transmitter release

cleft crossing

postsynaptic receiving

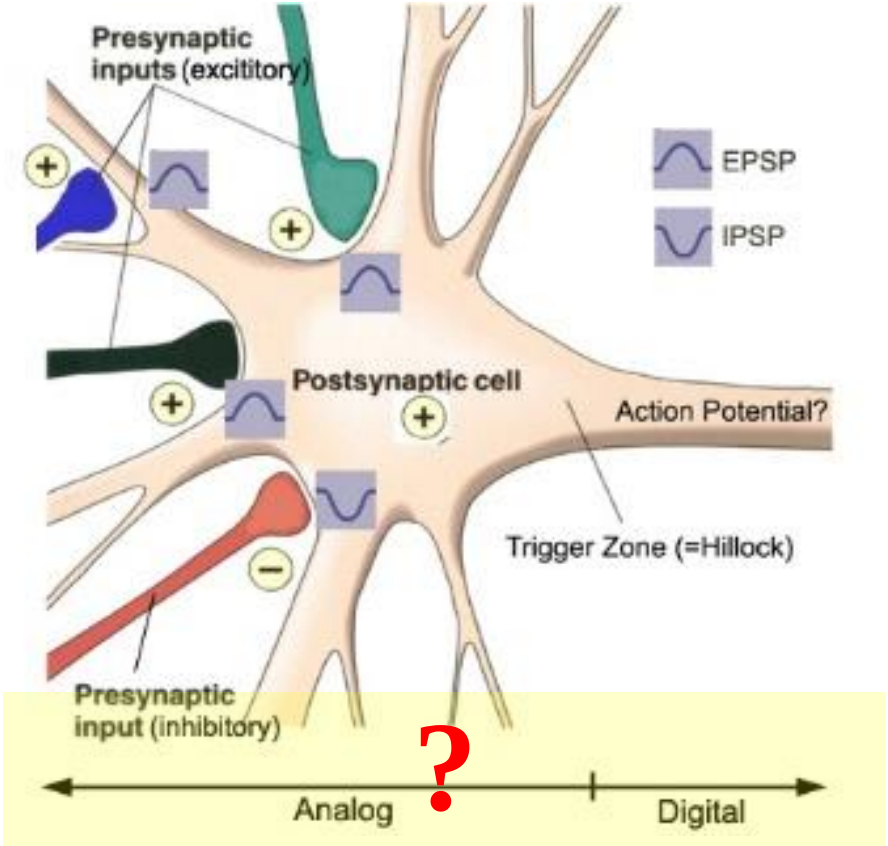
حدود ۰/۵ میلی‌ثانیه طول می‌کشد.

بیشتر بدانیم: انواع پتانسیل در ناحیه ی پس سیناپسی

Excitatory postsynaptic potential (EPSP)

Inhibitory postsynaptic potential (IPSP)

به نوع transmitter وابسته است.



فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع بندی

اجرای اپلت مدل محاسباتی نورون:

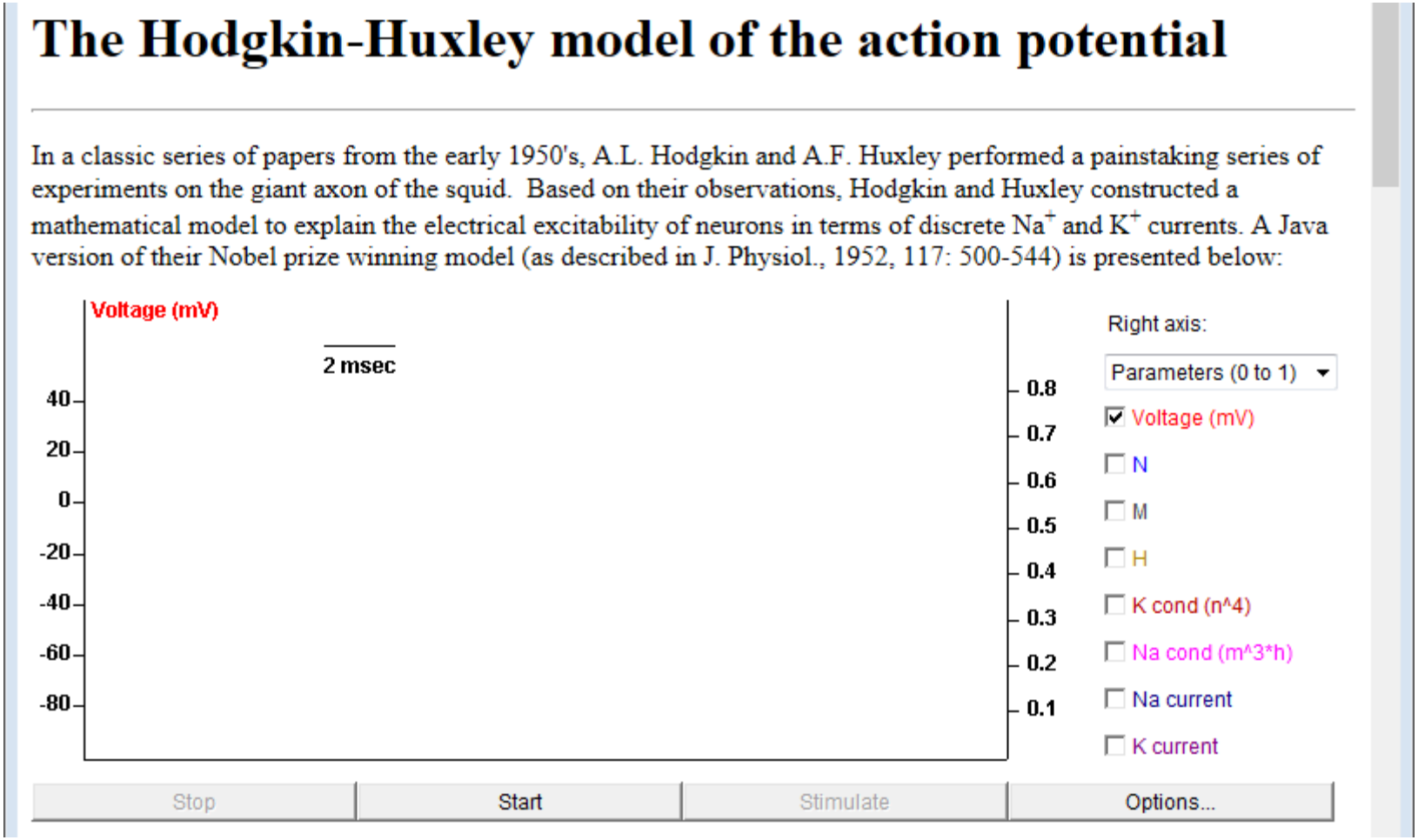
برای اینکه برای ایجاد مدل خودمان آماده شویم خوب است ابتدا نسخه‌ی دیگری را وارسی کنیم.

یک مدل خودآموز عالی در آدرس اینترنتی زیر در دسترس است که برای استفاده از آن لازم است به اینترنت متصل باشید و قادر به اجرای اپلت‌های جاوا نیز باشید:

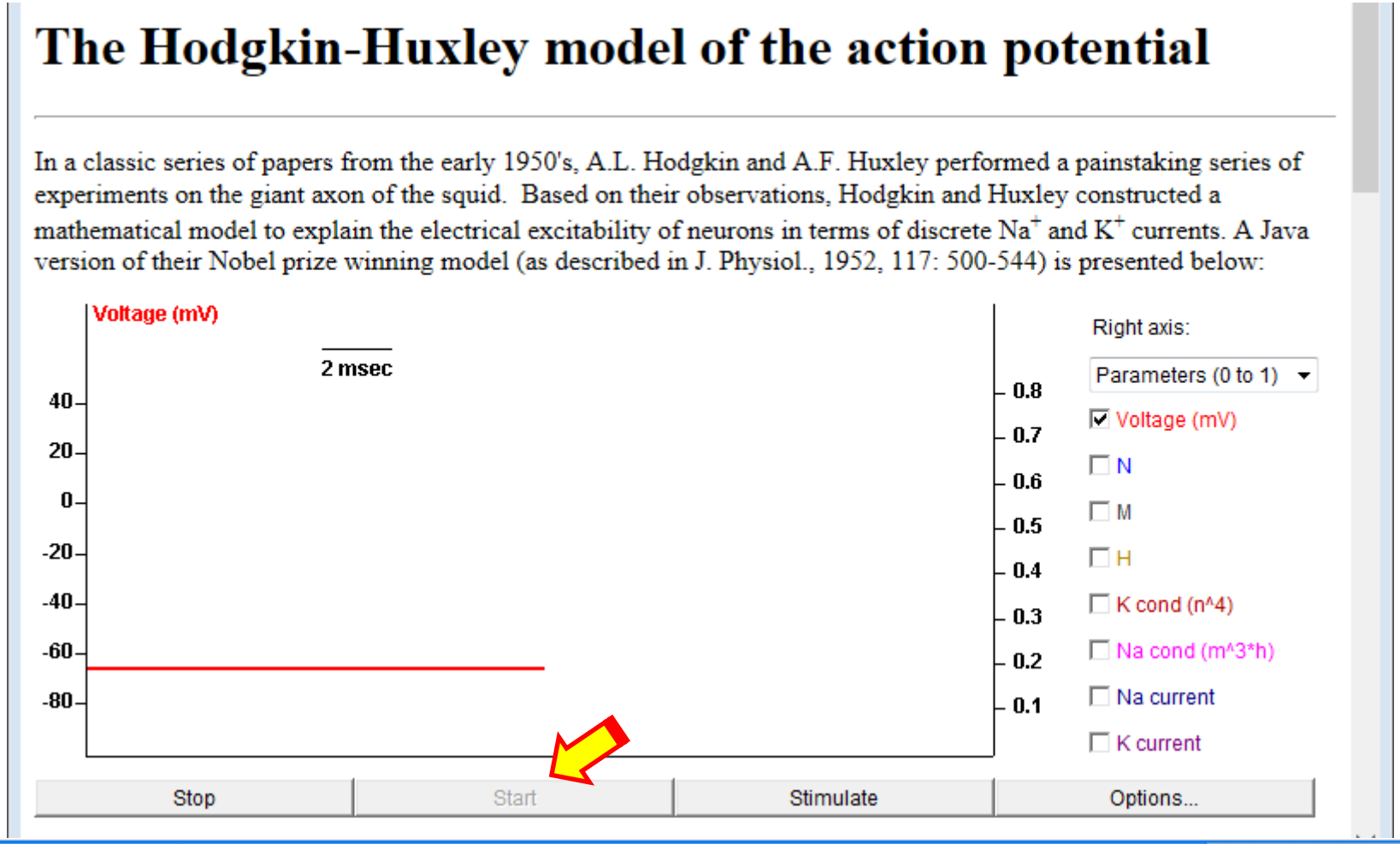
http://www.afodor.net/HHModel.htm

http://fodorwebsite.appspot.com//HHModel.htm

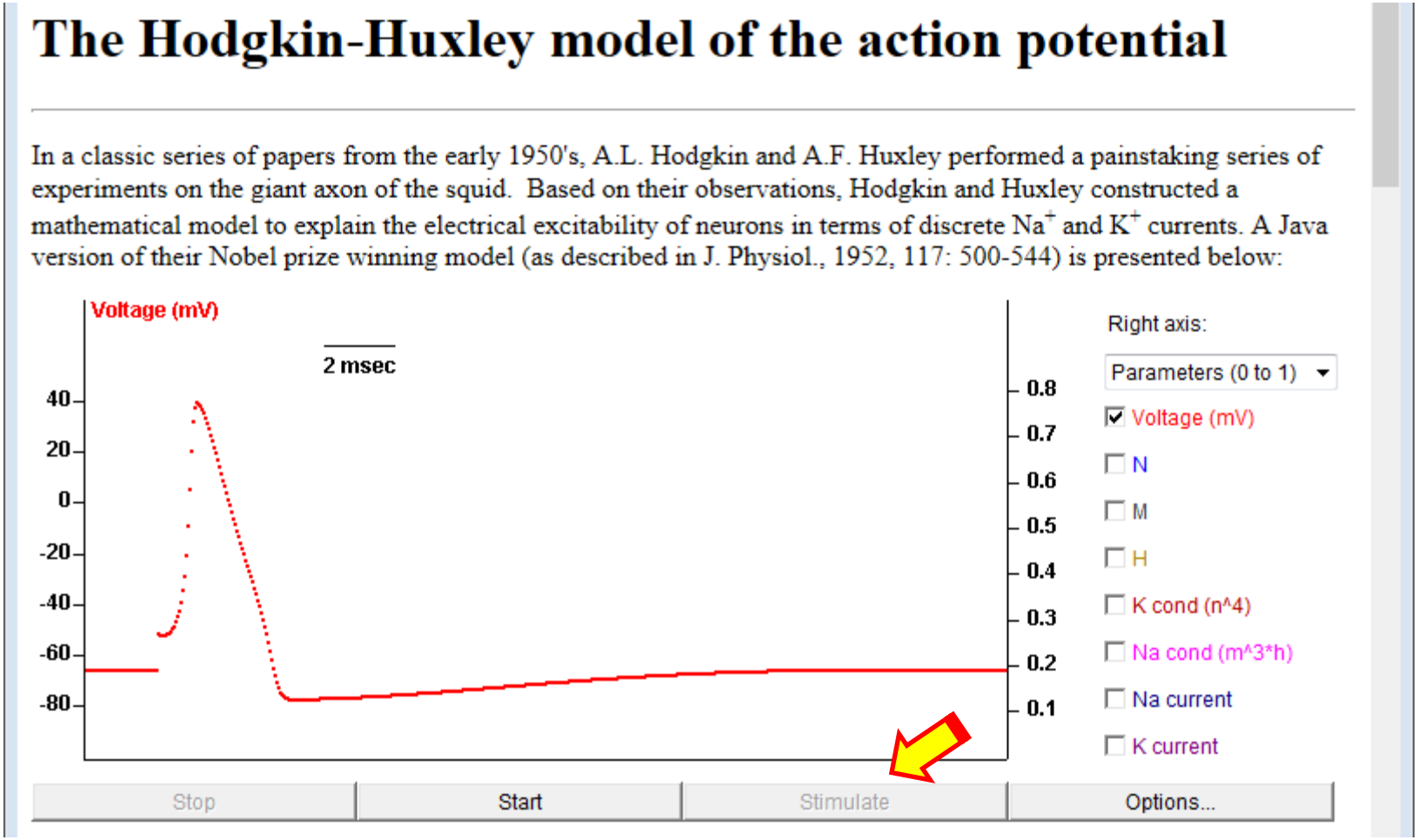
آدرس اینترنتی اَپلِت را باز می‌کنیم.



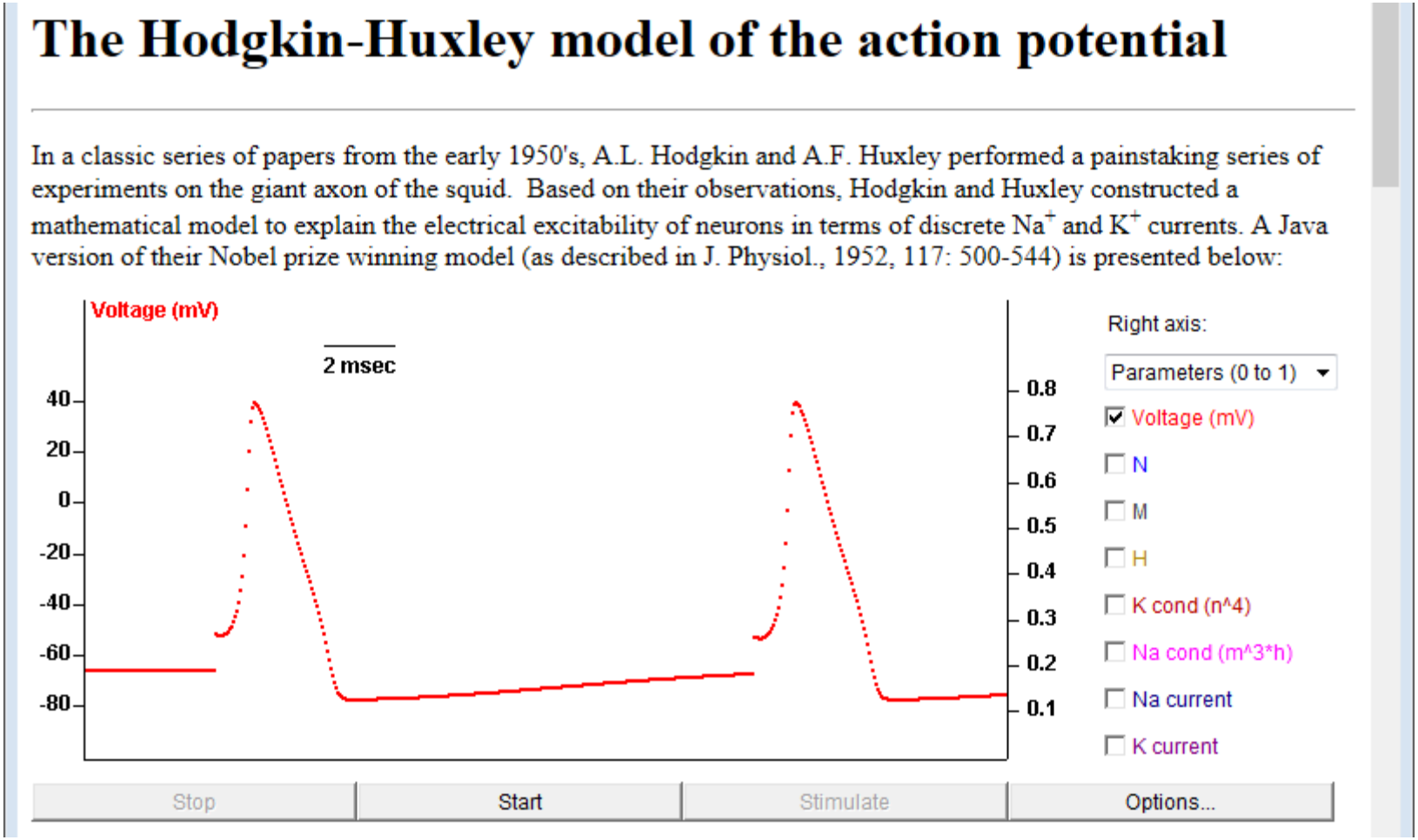
چنانچه دکمه‌ی Start را بزنیم خطی را مشاهده می‌کنیم که شروع به پیمایش در طول صفحه می‌کند.



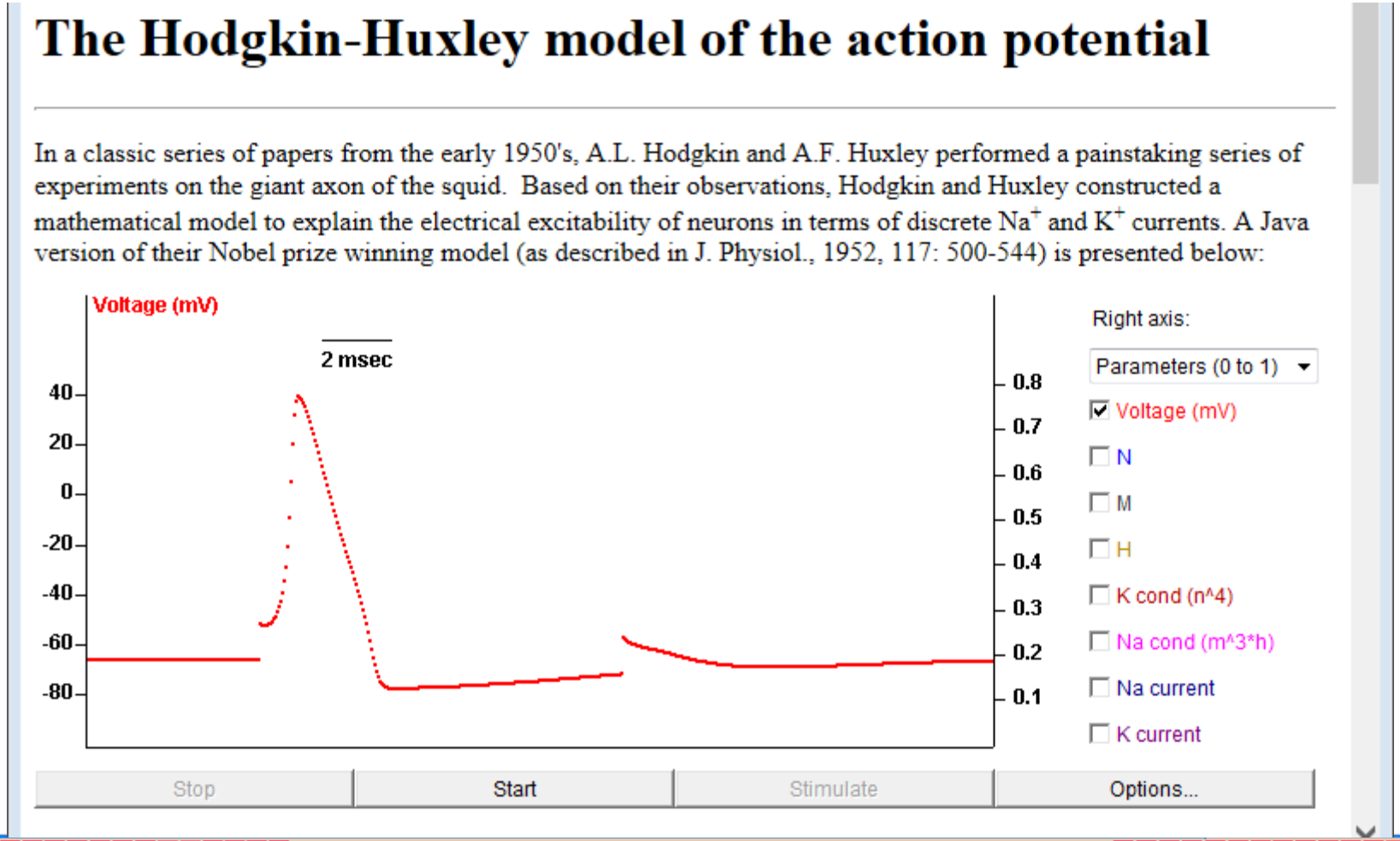
دکمه‌ی Stimulate را می‌زنیم و پیش از اینکه ترسیمه از صفحه خارج شود دکمه Stop را می‌زنیم.



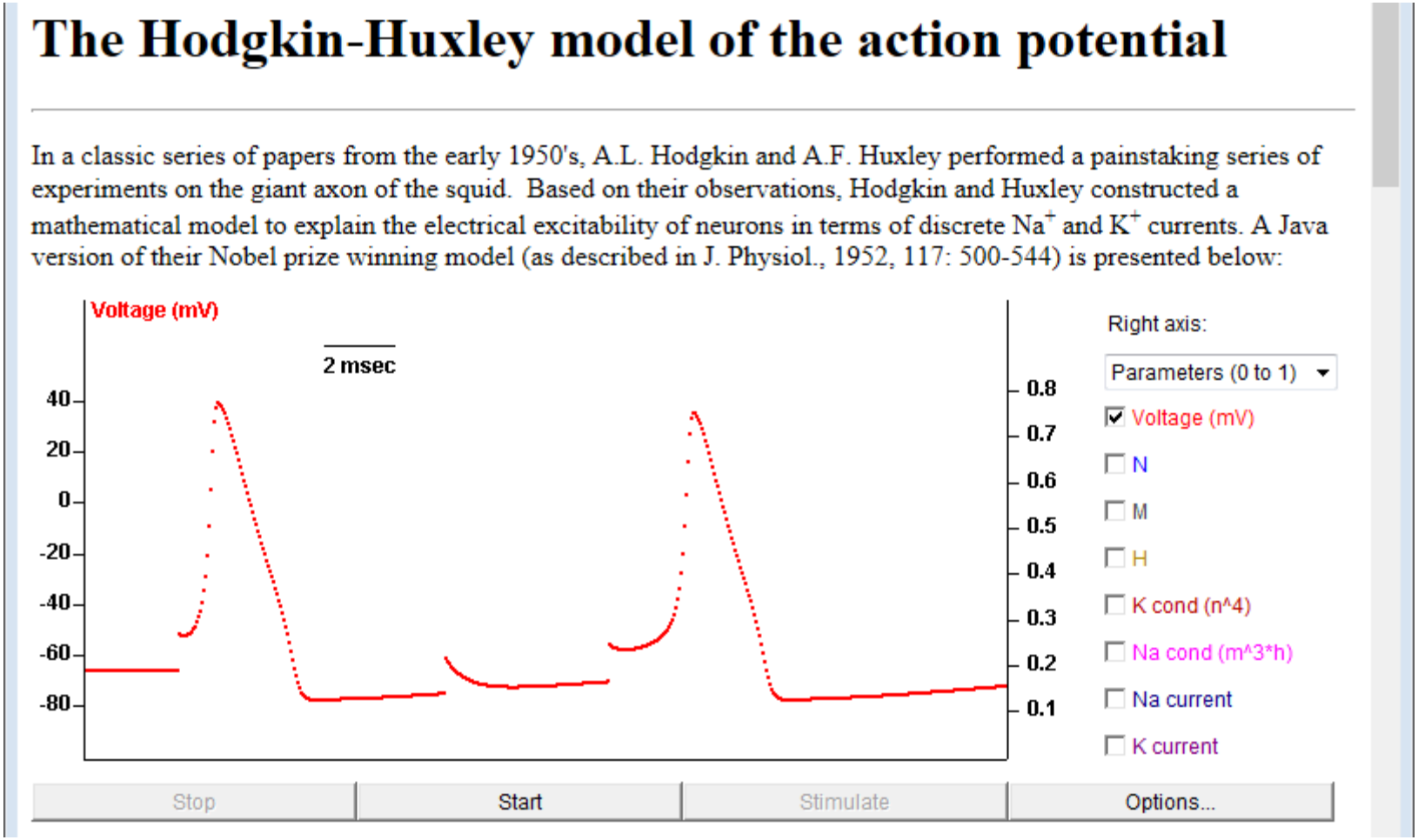
چنانچه دکمه‌ی **Stimulate** را دو بار با فاصله نسبتا طولانی از هم (۱۴ میلی‌ثانیه) بزنیم:



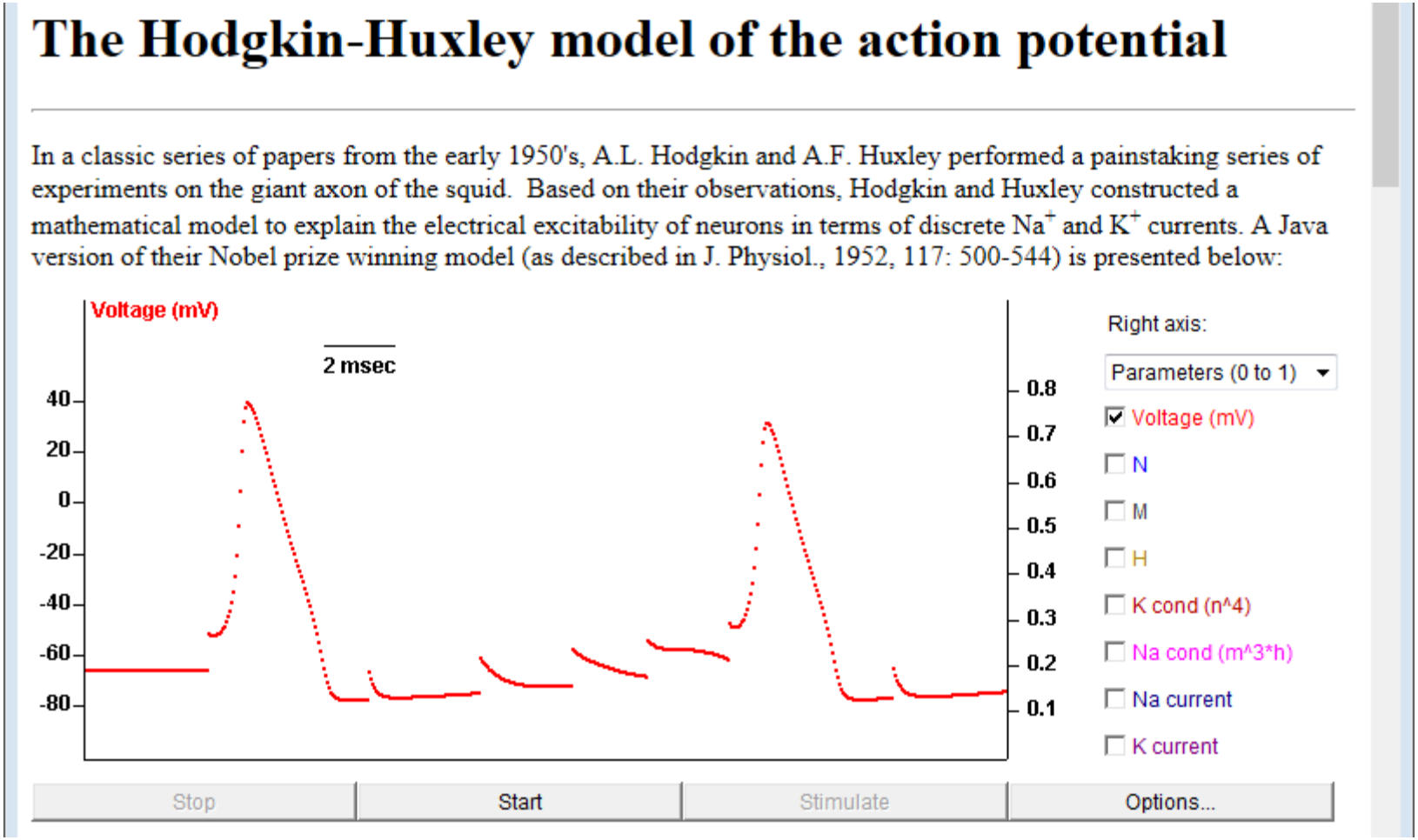
چنانچه دکمه‌ی **Stimulate** را دو بار با فاصله کمتری از هم (۱۰ میلی‌ثانیه) بزنیم:



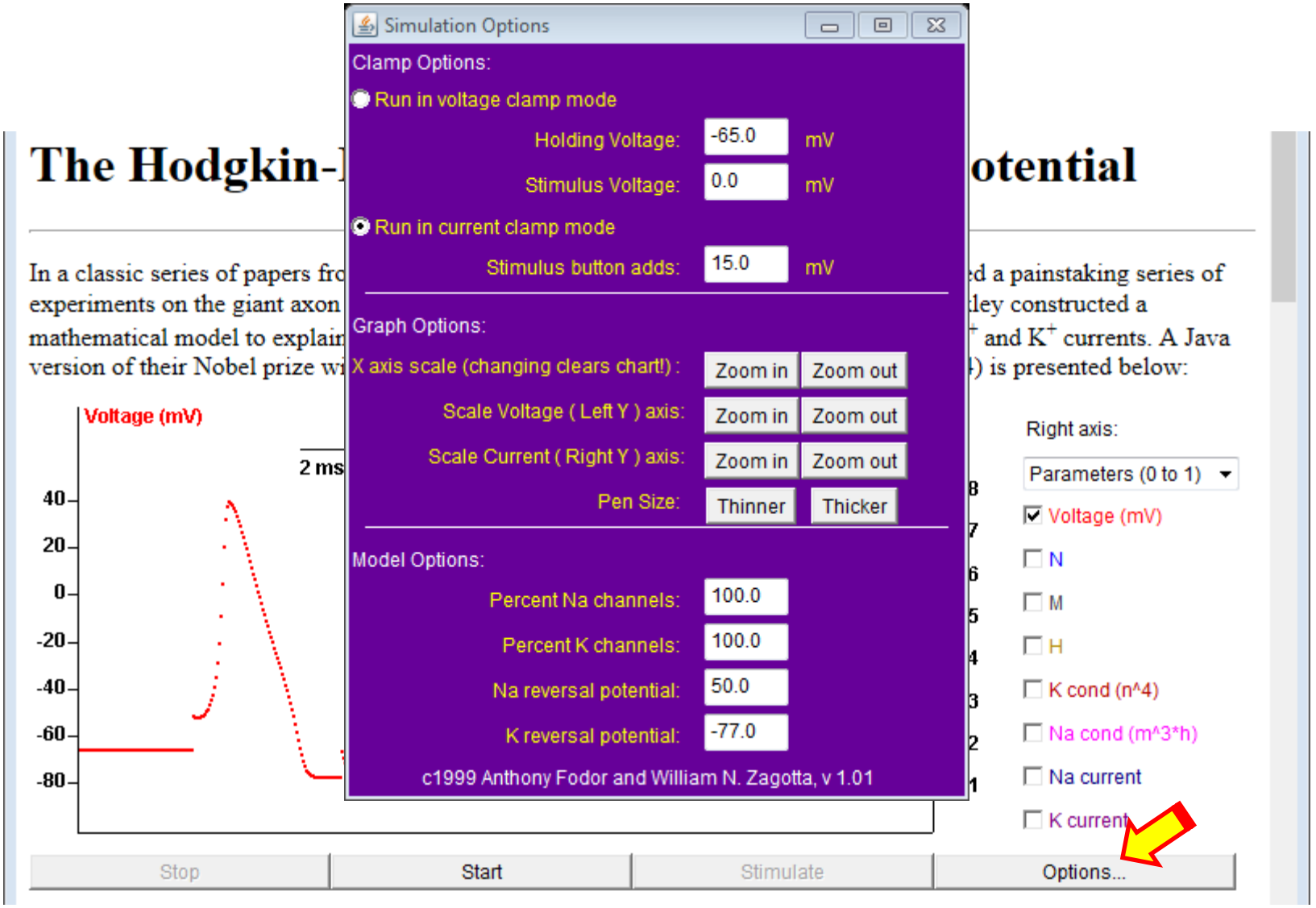
فاصله زمانی زدن دکمه‌ی Stimulate را کمتر می‌کنیم:



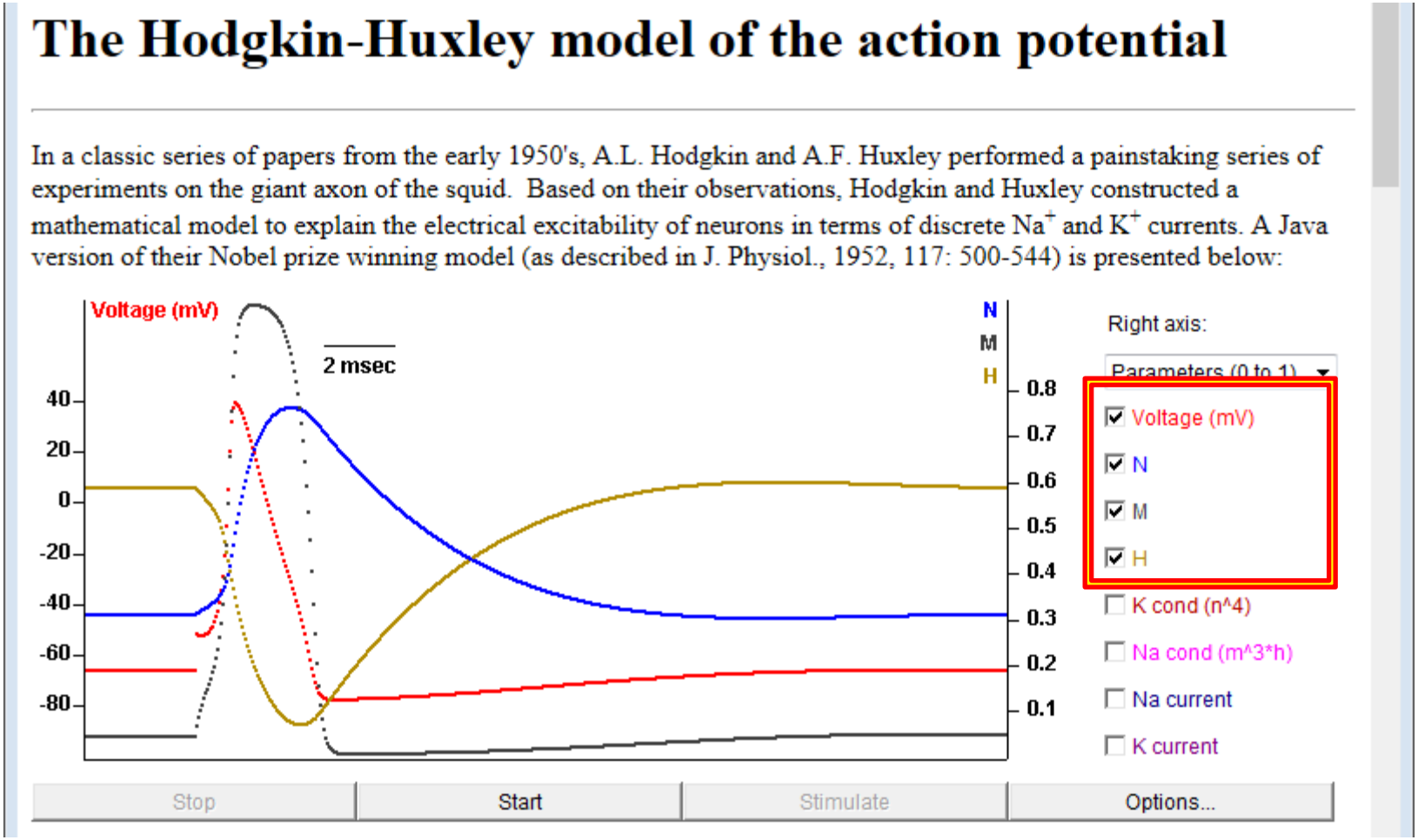
باز هم فاصله زمانی زدن دکمه‌ی **Stimulate** را کمتر می‌کنیم:



با زدن دکمه‌ی Options :



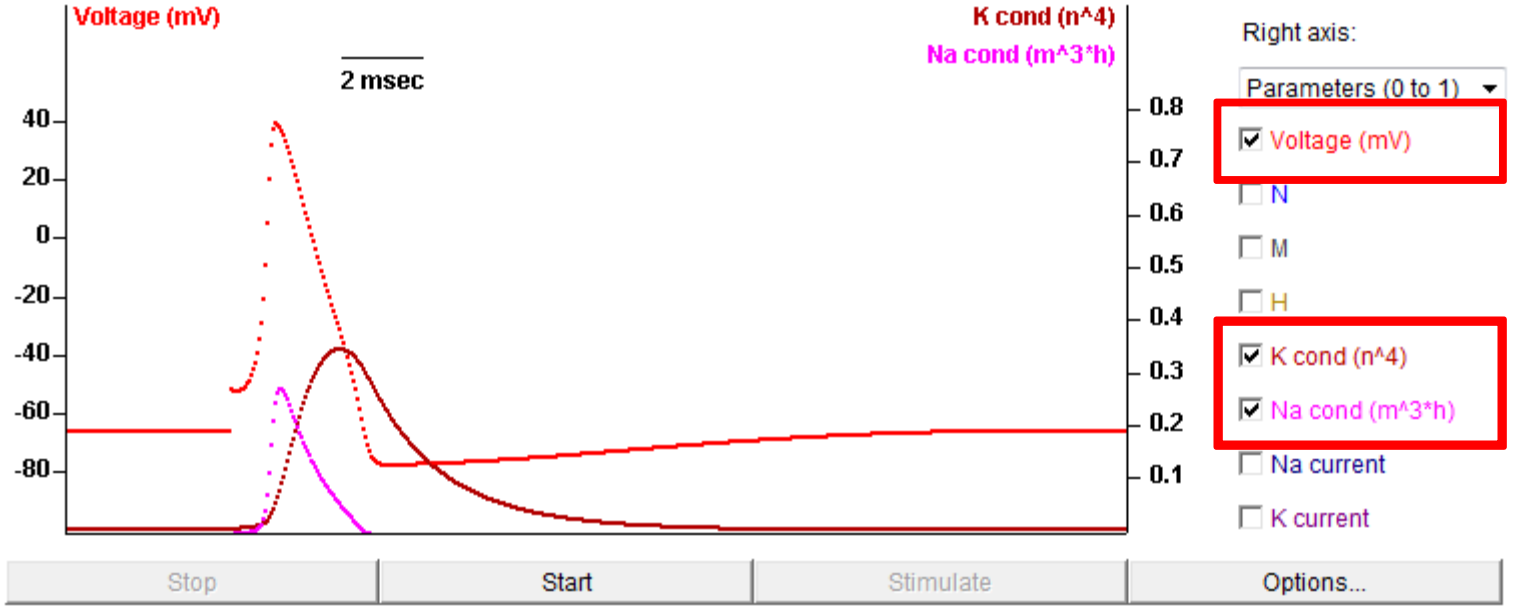
با انتخاب گزینه‌های دیگر:



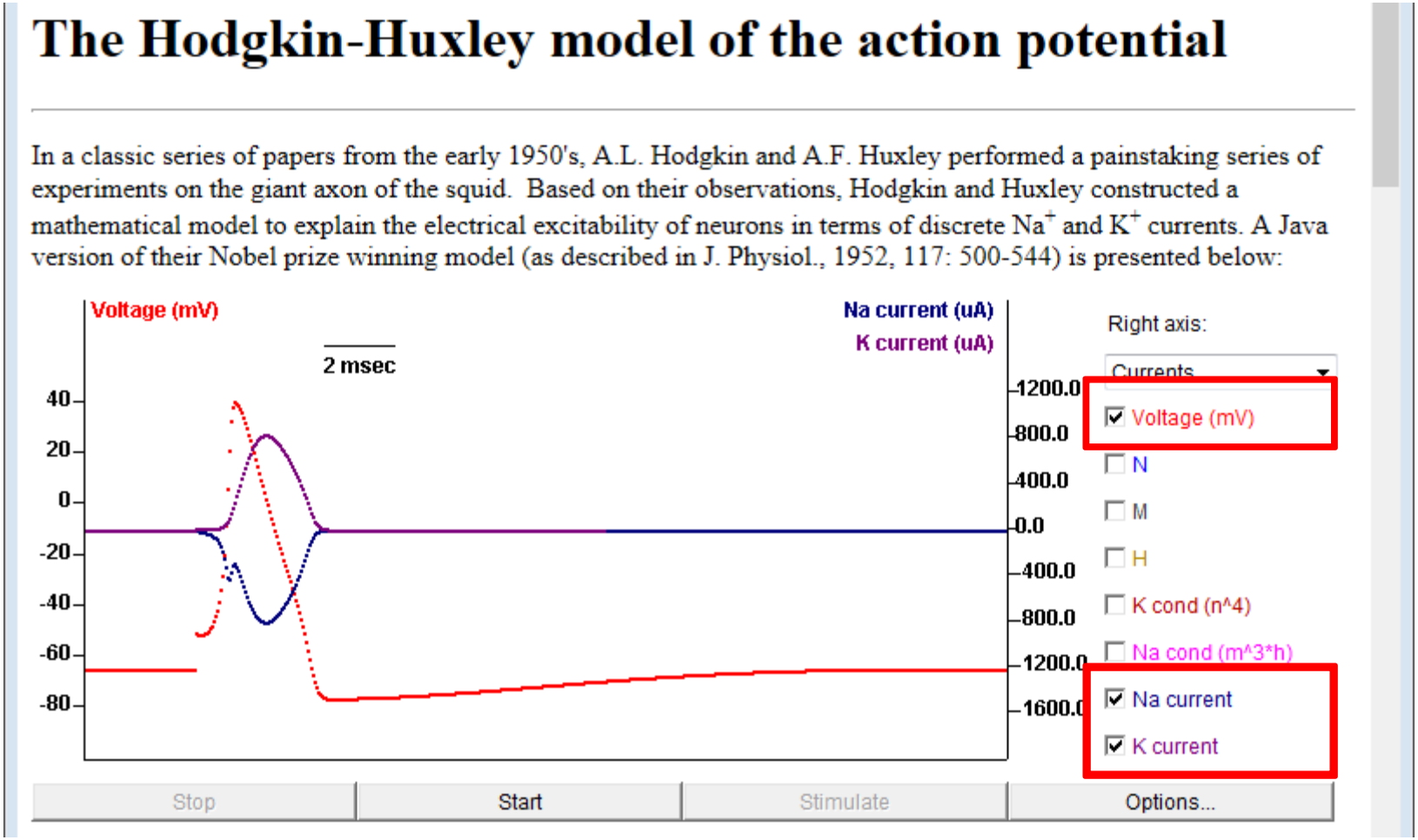
با انتخاب گزینه‌های دیگر:

The Hodgkin-Huxley model of the action potential

In a classic series of papers from the early 1950's, A.L. Hodgkin and A.F. Huxley performed a painstaking series of experiments on the giant axon of the squid. Based on their observations, Hodgkin and Huxley constructed a mathematical model to explain the electrical excitability of neurons in terms of discrete Na^+ and K^+ currents. A Java version of their Nobel prize winning model (as described in J. Physiol., 1952, 117: 500-544) is presented below:



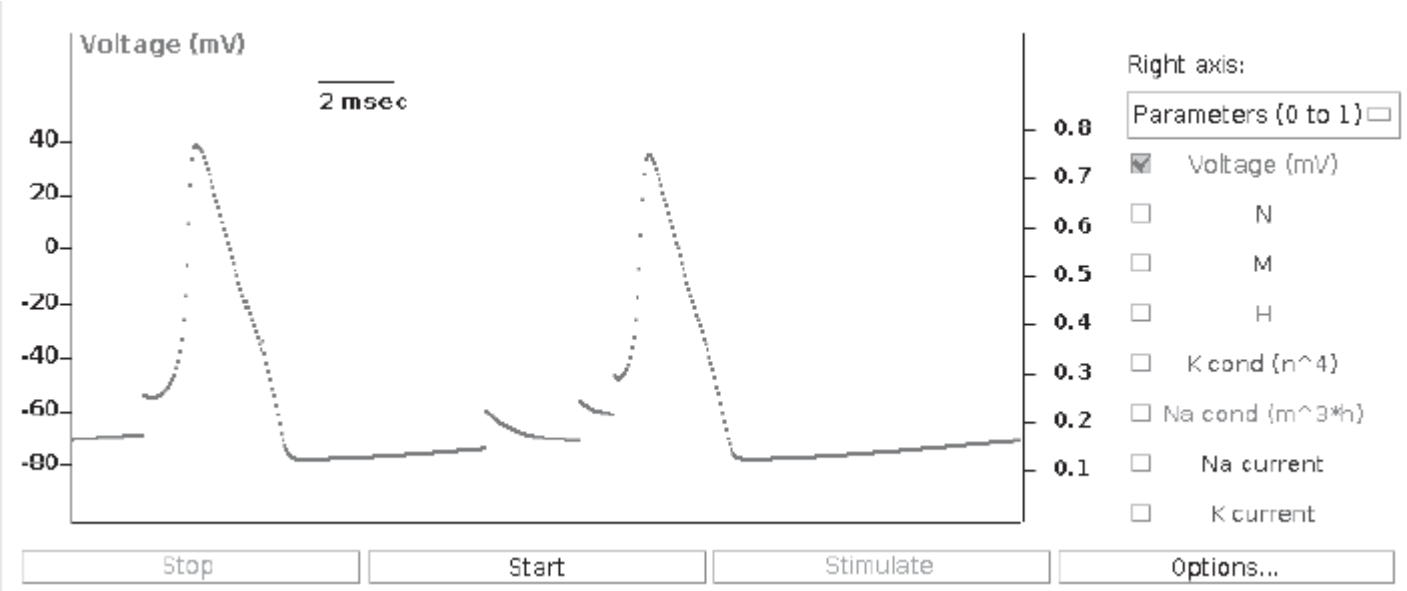
با انتخاب گزینه‌های دیگر:



حال سوالات زیر را وارسی کنید:

- مقداری که در محور y ترسیم شده است چیست؟ کادرهای انتخاب سمت راست را ببینید. چه مقادیر دیگری را می‌توانید رسم کنید؟
- بخش‌های بالارونده و پایین‌رونده شکل‌موج را چه می‌نامید؟
- با استفاده از اَپلِت به این سوال پاسخ دهید که «مسئولیت بازگرداندن پتانسیل الکتریکی به خط مبنا پس از اسپایک نورون بر عهده‌ی کدام یون است؟»
- اگر پیمایش اَپلِت را دوباره آغاز کنید و دو تحریک بسیار نزدیک به هم بدهید آیا دو پتانسیل عمل می‌گیرید؟ چرا نه، و این پدیده را چه می‌نامند؟

شکل ۱-۵ کتاب:



فهرست مطالب

- ✓ دورنما
- ✓ پتانسیل عمل
- ✓ مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- ○ معادله نورون «ادغام و آتش»
- ○ کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- ○ جمع بندی

مدل نورون اسپایکی

مدل ادغام و آتش، نسخه‌ی ساده شده‌ای از مدل هاجکین و هاکسلی است که با یک معادله و یک فرض توصیف می‌گردد:

$$\tau \frac{dV(t)}{dt} = R\,I(t) - V(t)$$

+ بازنشانی (reset)

برخلاف مدل هاجکین و هاکسلی، معادله ادغام و آتش به طور خودکار پتانسیل عمل تولید نخواهد کرد. برای مدل ادغام و آتش، ما آستانه‌ای را تعیین می‌کنیم. هرگاه ولتاژ از این مقدار آستانه تجاوز نمود ادعا می‌کنیم که یک پتانسیل عمل رخ داده است و ولتاژ را به خط مبنا بازنشانی می‌کنیم.

وارسی مدل ادغام و آتش:

$$\tau \frac{dV(t)}{dt} = R\, I(t) - V(t)$$

تلاش کنید به سوالات زیر پاسخ دهید:

- $\frac{dV}{dt}$ به چه معنا است؟
- τ نشانگر چیست؟
- چرا ولتاژ در سمت راست رابطه دارای علامت منفی است؟
- $I(t)$ چیست؟
- با کنار هم قرار دادن تمام نکات، توضیح دهید این معادله به چه معنا است.
- اگر به آستانه نرسیم تا پتانسیل عمل آتش شود چرا یک کاهش نمایی مشاهده می‌کنیم؟

پشتوانه‌ی اصطلاح «مدل ادغام و آتش دارای نشتی»:

$$\tau \frac{dV(t)}{dt} = R\, I(t) - V(t)$$

❖ دلیل استفاده از اصطلاح «مدل ادغام و آتش دارای نشتی» چیست؟

علت به منفی بودن عبارت V مربوط می‌شود. بدون این عبارت، هر جریان جدیدی موجب افزایش و انباشته شدن ولتاژ می‌شود. ولی از آنجا که تغییر ولتاژ به صورت معکوس با خودش نیز ارتباط دارد ولتاژ به طور تدریجی به سمت پتانسیل استراحت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، ولتاژ نشت می‌کند مانند نشت کردن آب از وانی که درپوش آن معیوب است.

چگونه می‌توان در دو گام ساده، یک مهندس برق شد؟

این دو گام ساده، آموختن فرمول‌های قوانین کیرشف[۱] و اهم[۲] می‌باشند. عمده‌ی آنچه لازم است برای درک مدارهای الکتریکی ساده بدانید در این دو اصل می‌گنجد.

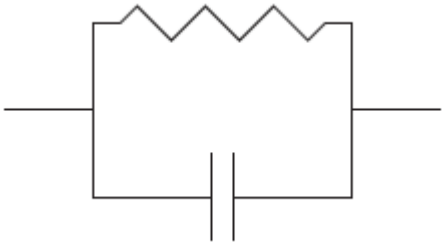
$$V = RI \qquad (۵-۲)$$

قانون اهم: اگرچه به عنوان قانون از آن نام برده می‌شود ولی از توصیف داده‌های تجربی حاصل شده است.

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0 \qquad (۵-۳)$$

قانون کیرشف: مجموع تمام جریان‌های ورودی به یک اتصال بایستی صفر باشد.

دستیابی به «مدل ادغام و آتش»:



ظرفیت خازن : $C = \frac{Q}{V} \Rightarrow C\,V = Q$

مشتق‌گیری از طرفین : $C\frac{dV}{dt} = \frac{dQ}{dt} = I(t)$

قانون جریان کیرشف : $I_{in} = I_R + I_C$

جایگزینی جریان خازن : $I_{in} = I_R + C\frac{dV}{dt}$

جایگزینی جریان مقاومت : $I_{in} = \frac{V}{R} + C\frac{dV}{dt} \Rightarrow I_{in} - \frac{V}{R} = C\frac{dV}{dt}$

$$\Rightarrow R\,I_{in} - V = RC\frac{dV}{dt} \Rightarrow R\,I_{in} - V = \tau\frac{dV}{dt}$$

$$\tau\frac{dV(t)}{dt} = R\,I(t) - V(t)$$

فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع بندی

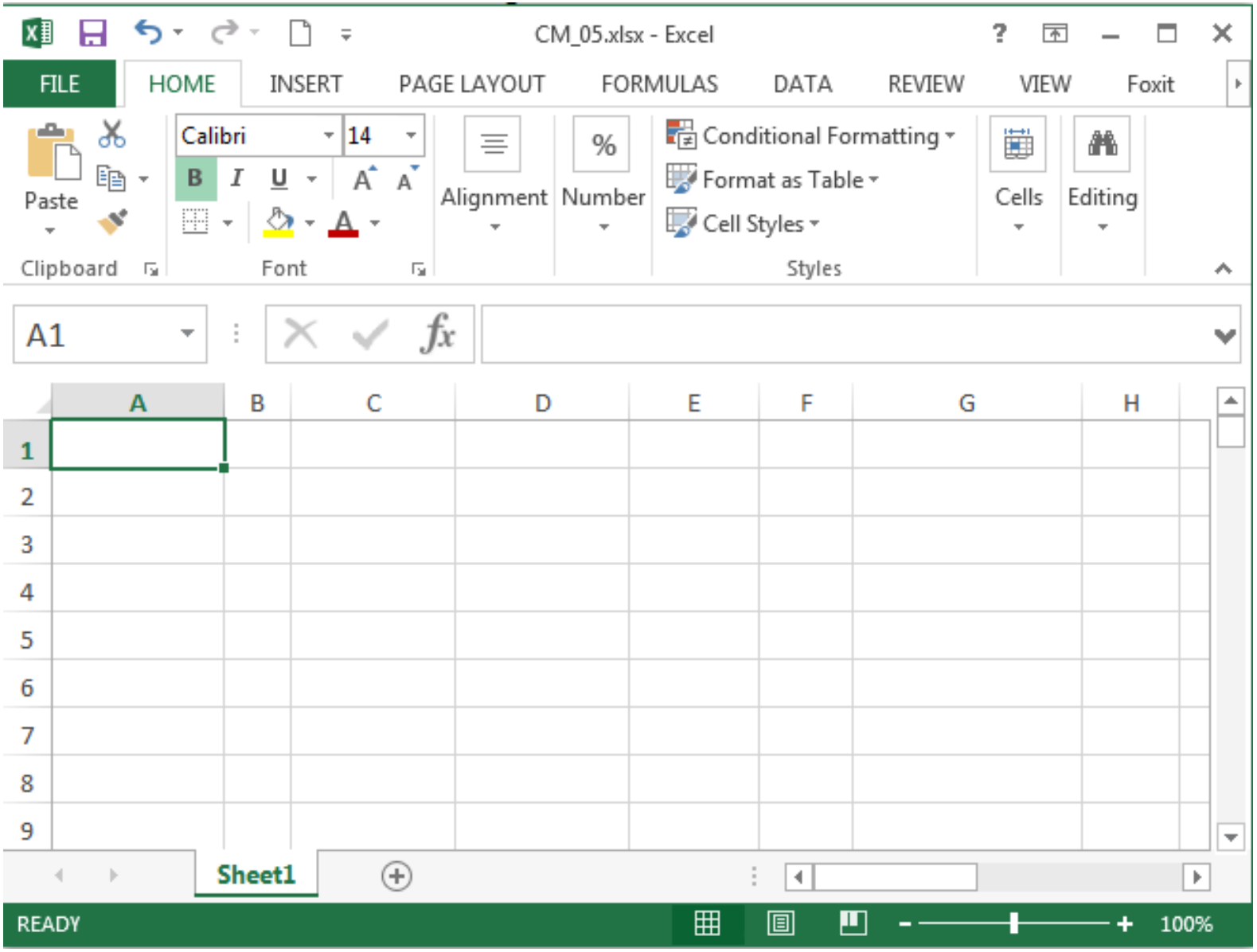
پیاده‌سازی «مدل ادغام و آتش» در اکسل:

از مبحث سوم درس به خاطر داریم که:

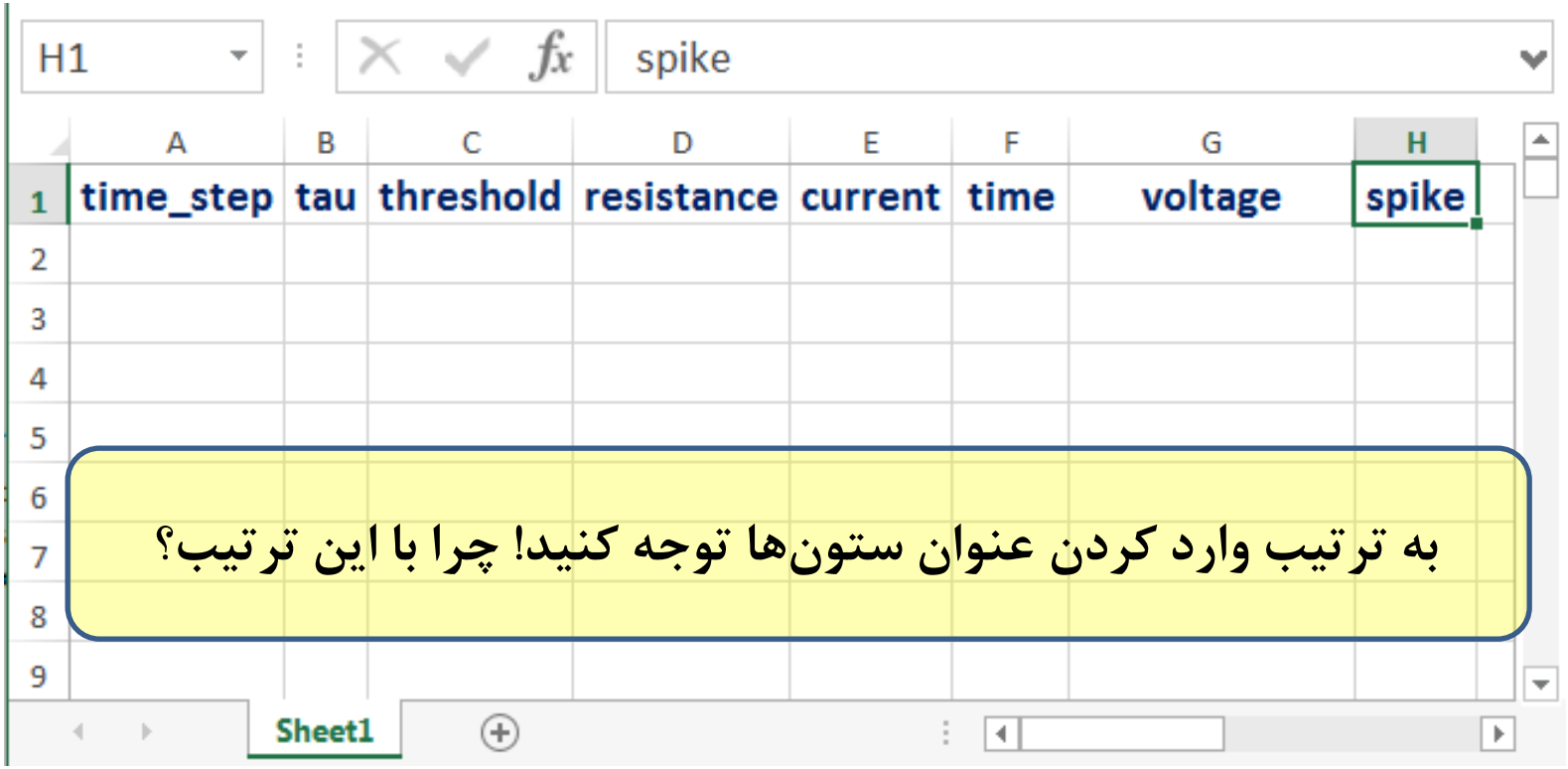
مقدار جدید = مقدار قبلی + نرخ تغییرات مقدار × گام زمانی

$$\tau \frac{dV(t)}{dt} = R\, I(t) - V(t)$$

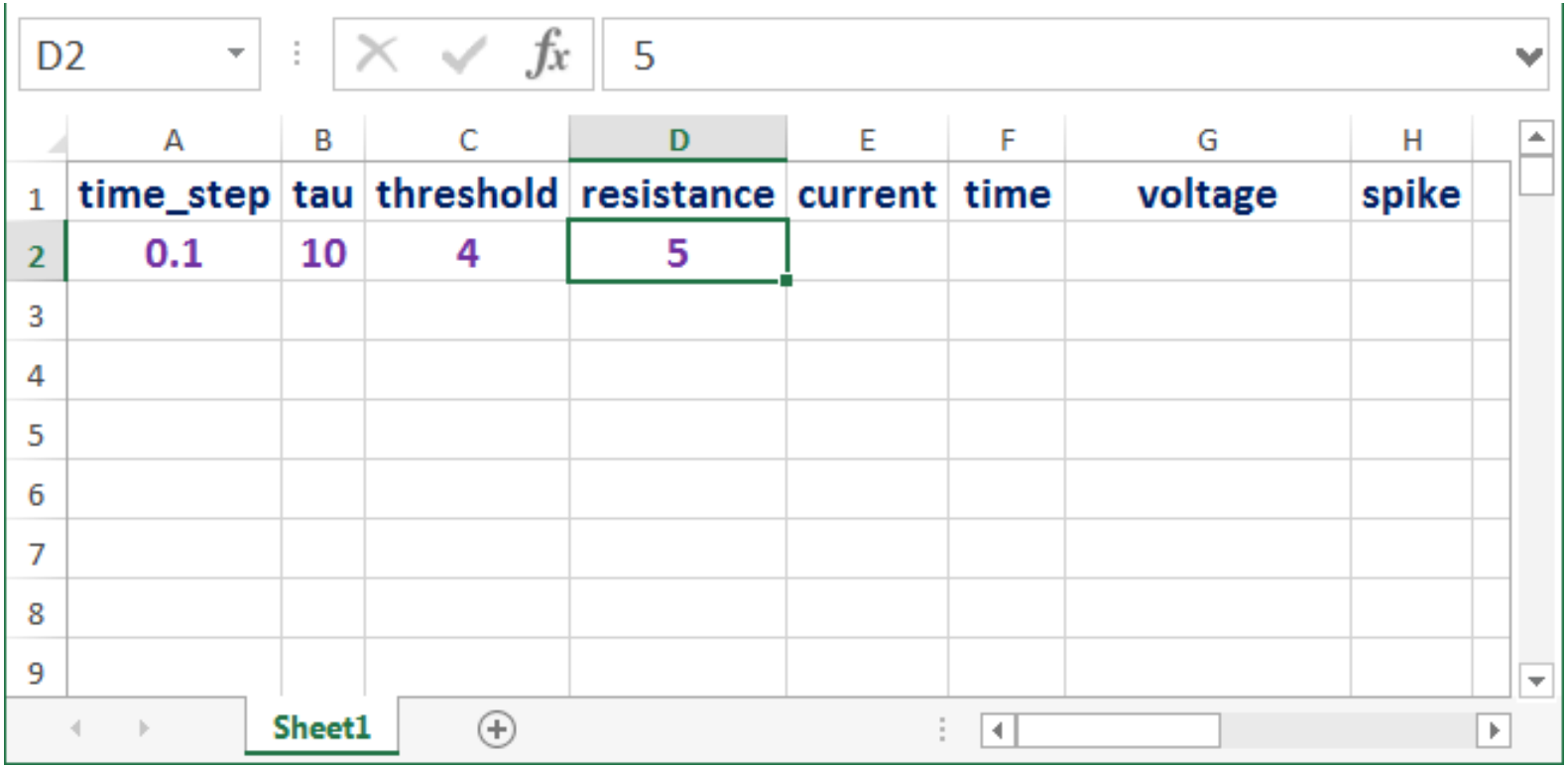
باز کردن صفحه گسترده در نرم‌افزار اکسل:



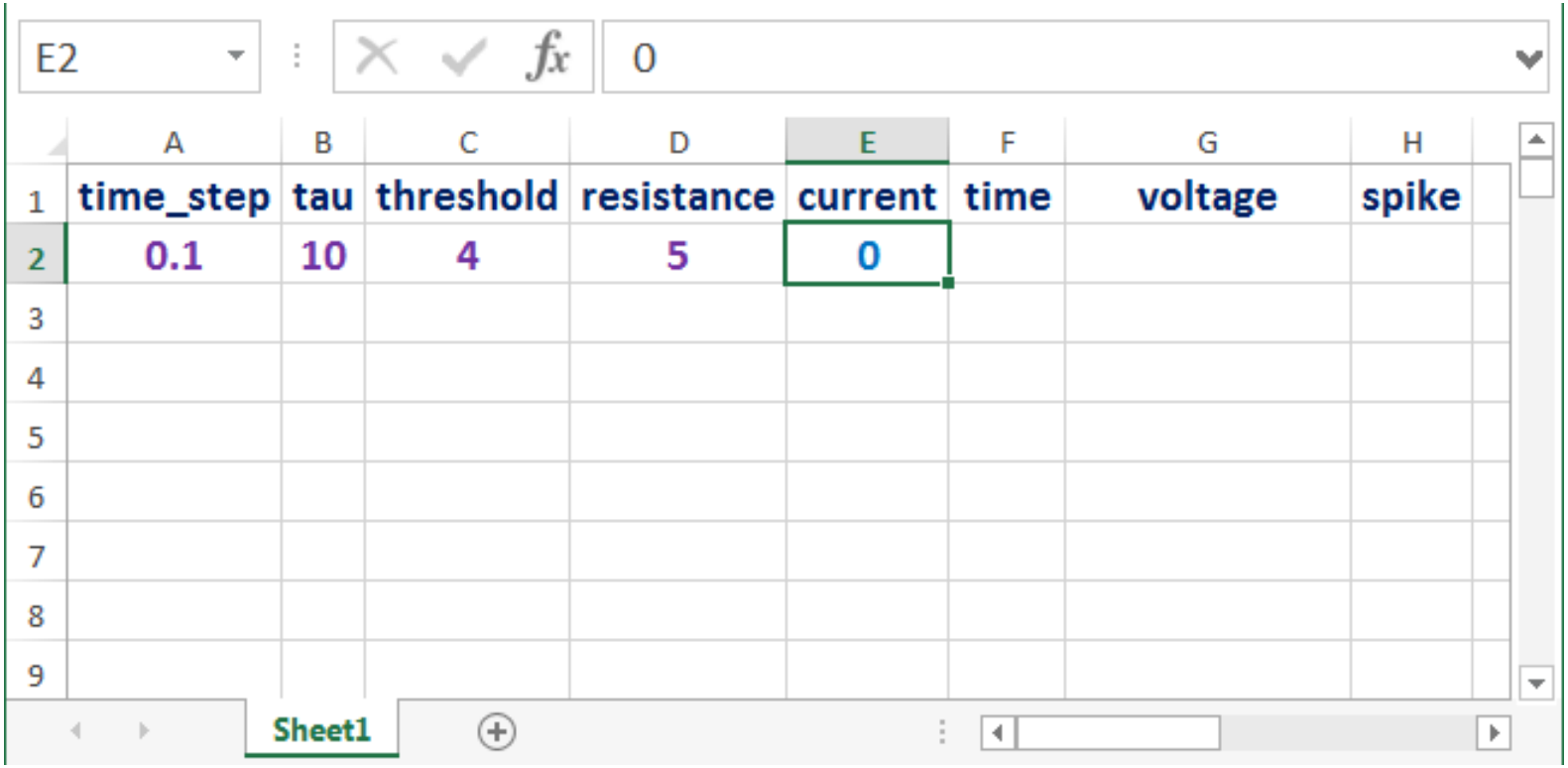
وارد کردن برچسب ستون‌ها:



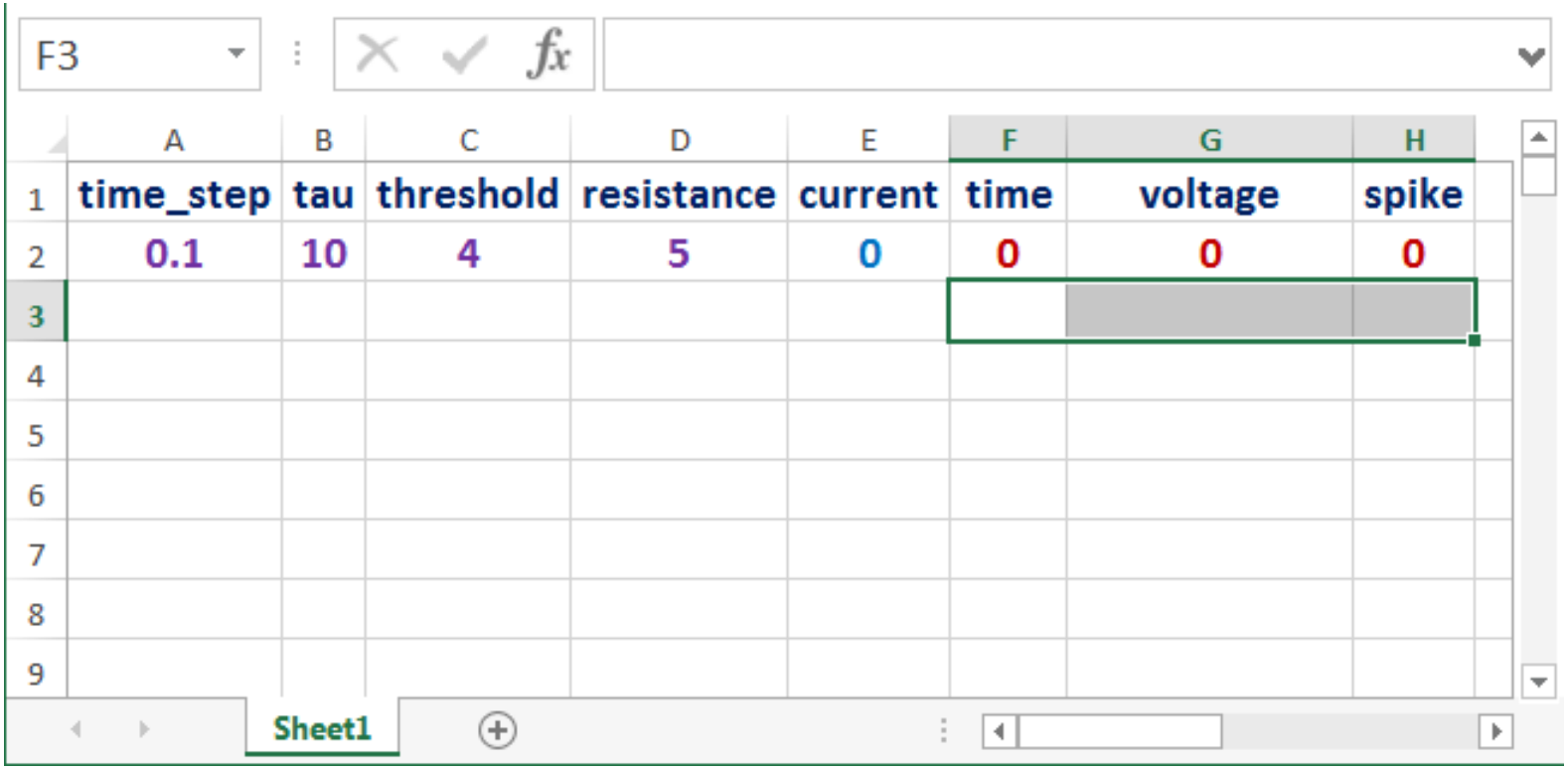
وارد کردن فرض‌ها و ثابت‌ها:



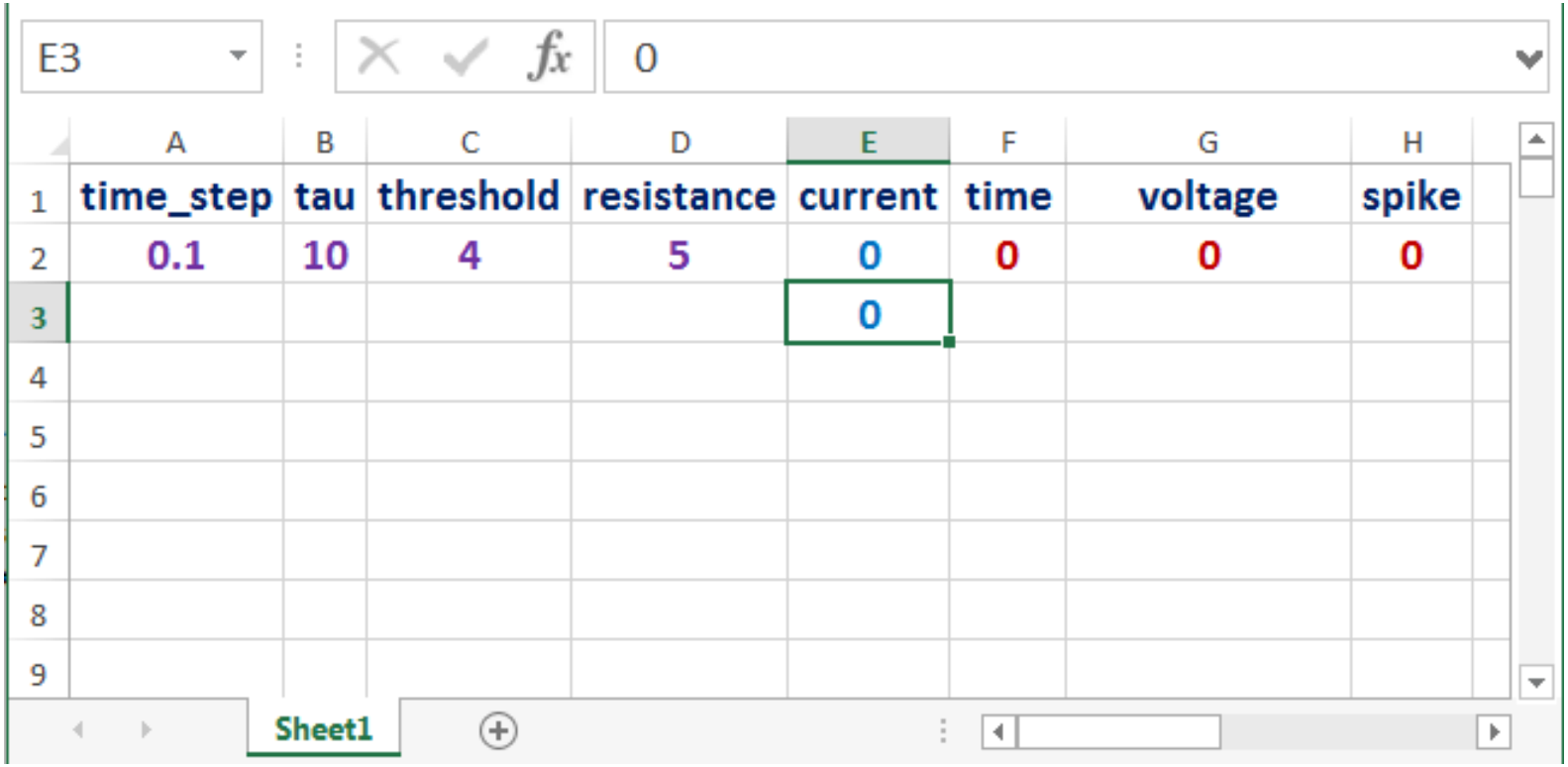
وارد کردن ورودی:



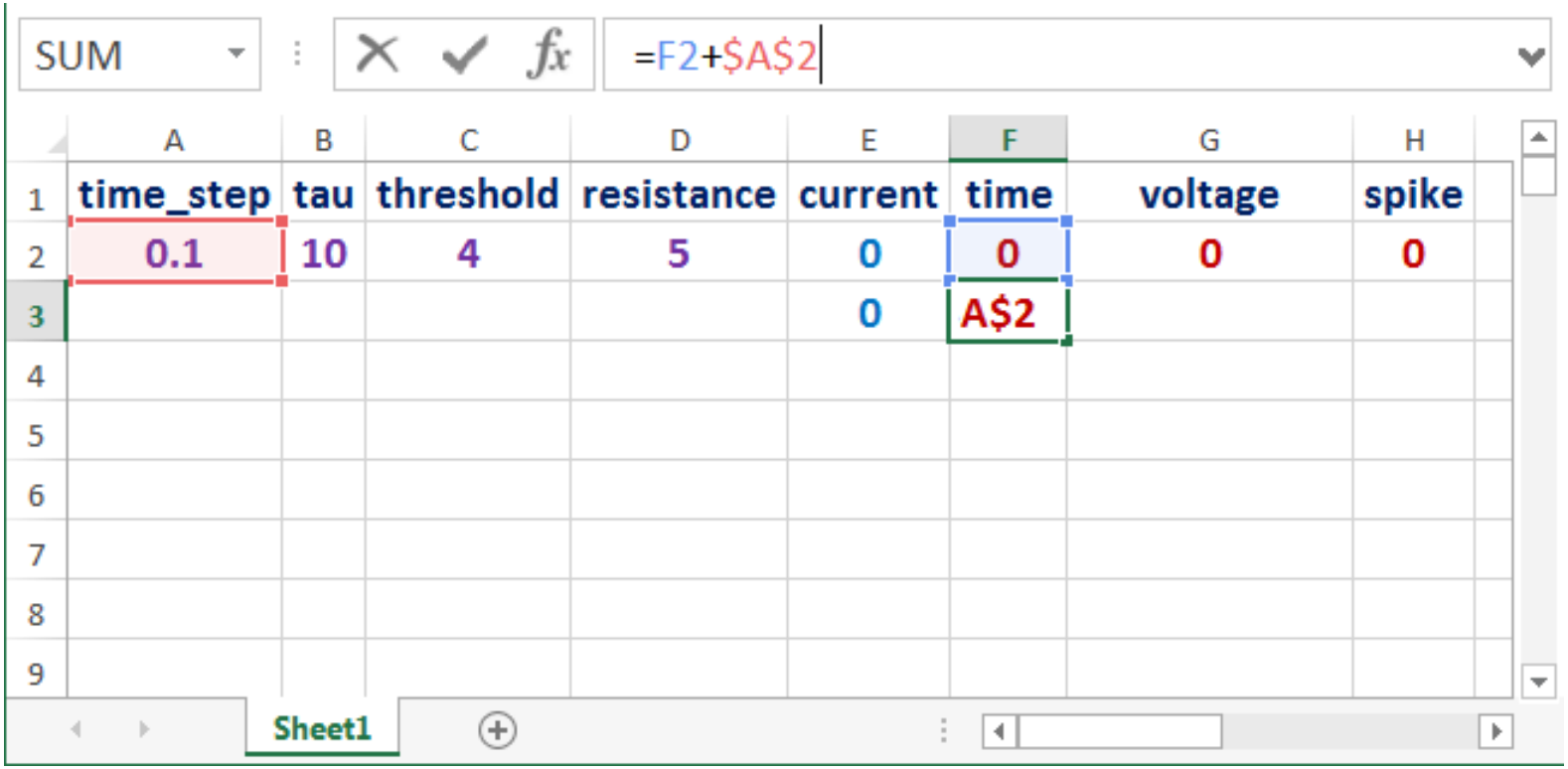
وارد کردن مقادیر اولیه:



وارد کردن ورودی:

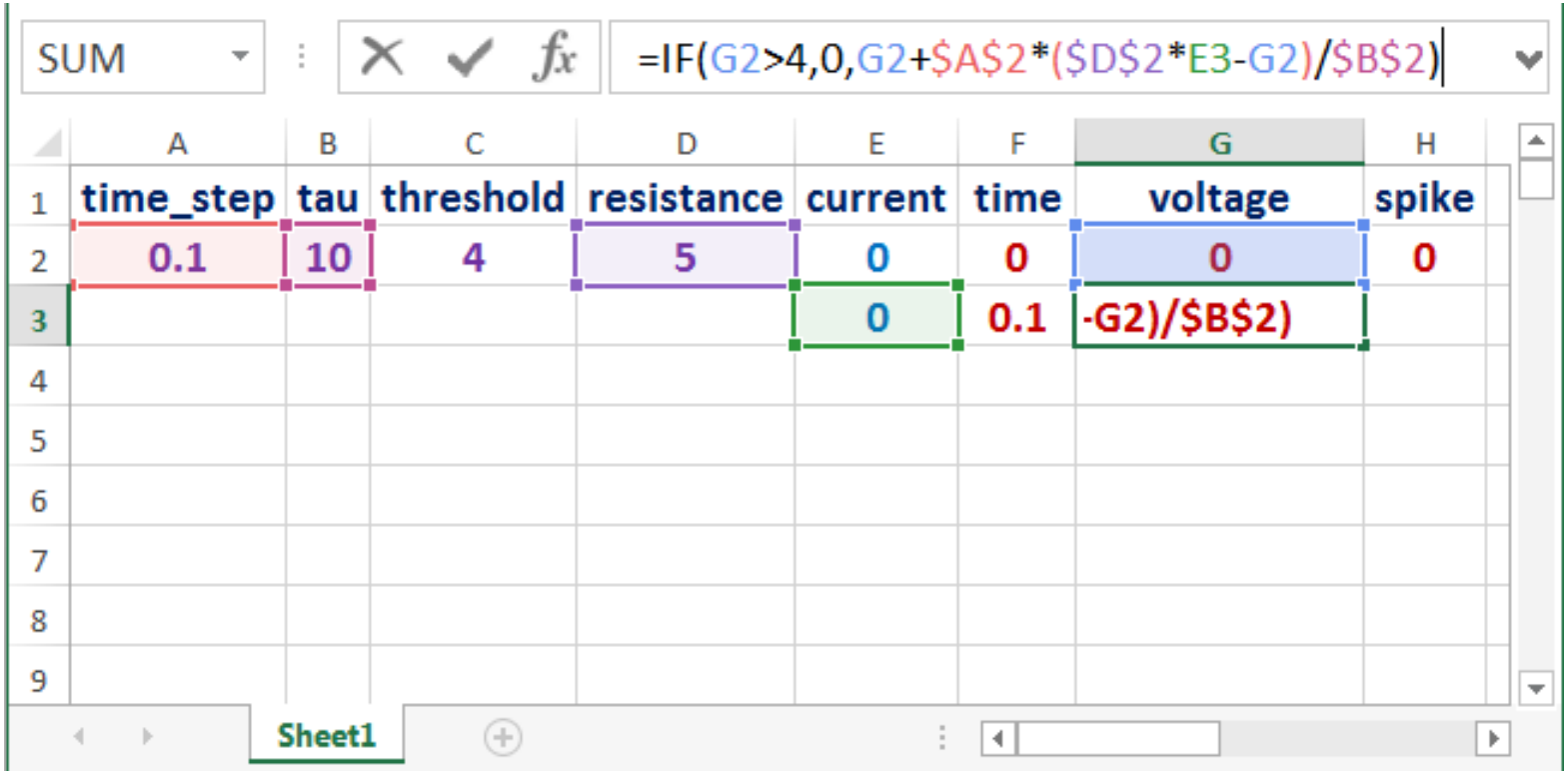


وارد کردن فرمول بروزرسانی زمان:

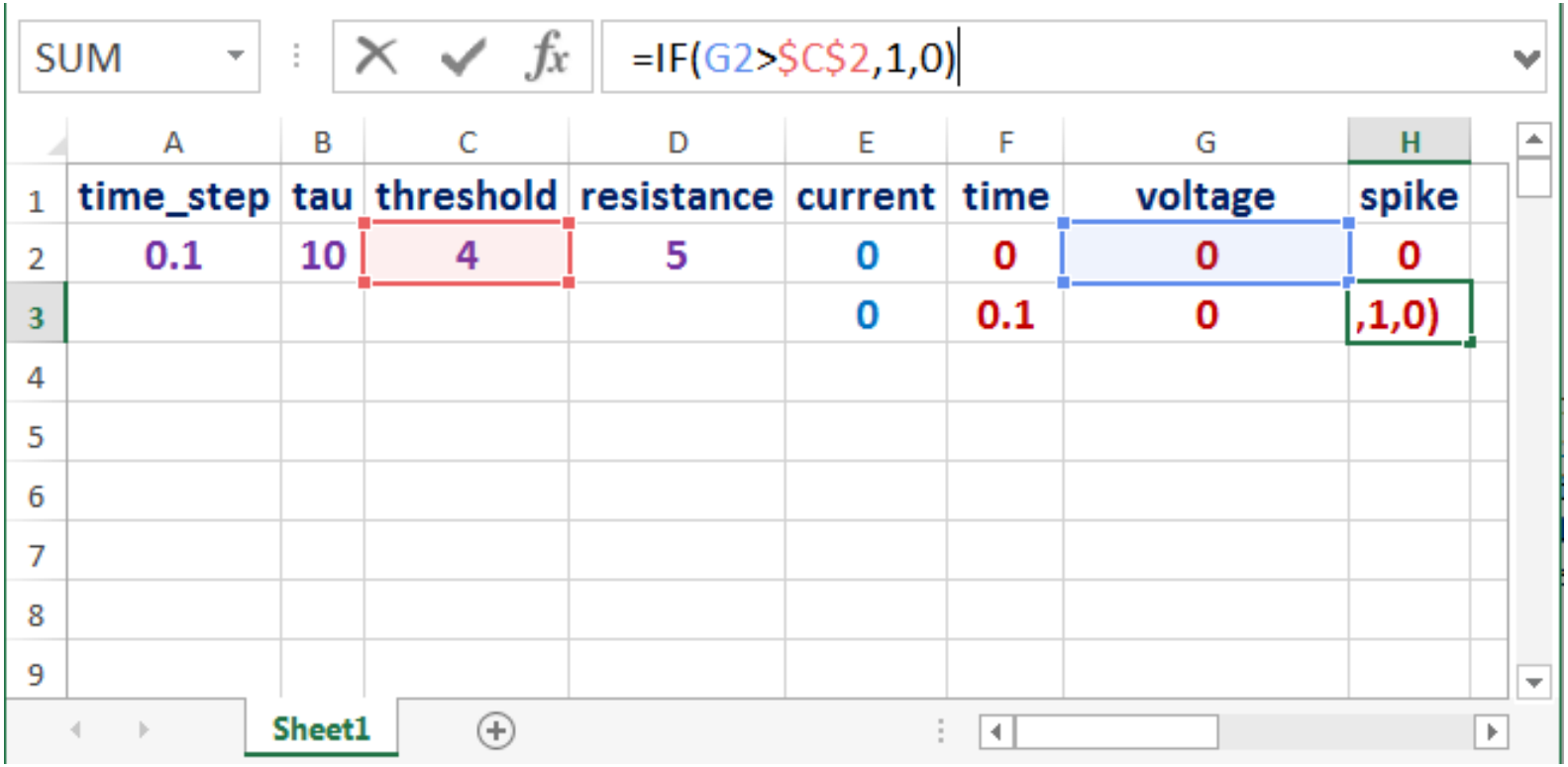


وارد کردن فرمول بروزرسانی ولتاژ:

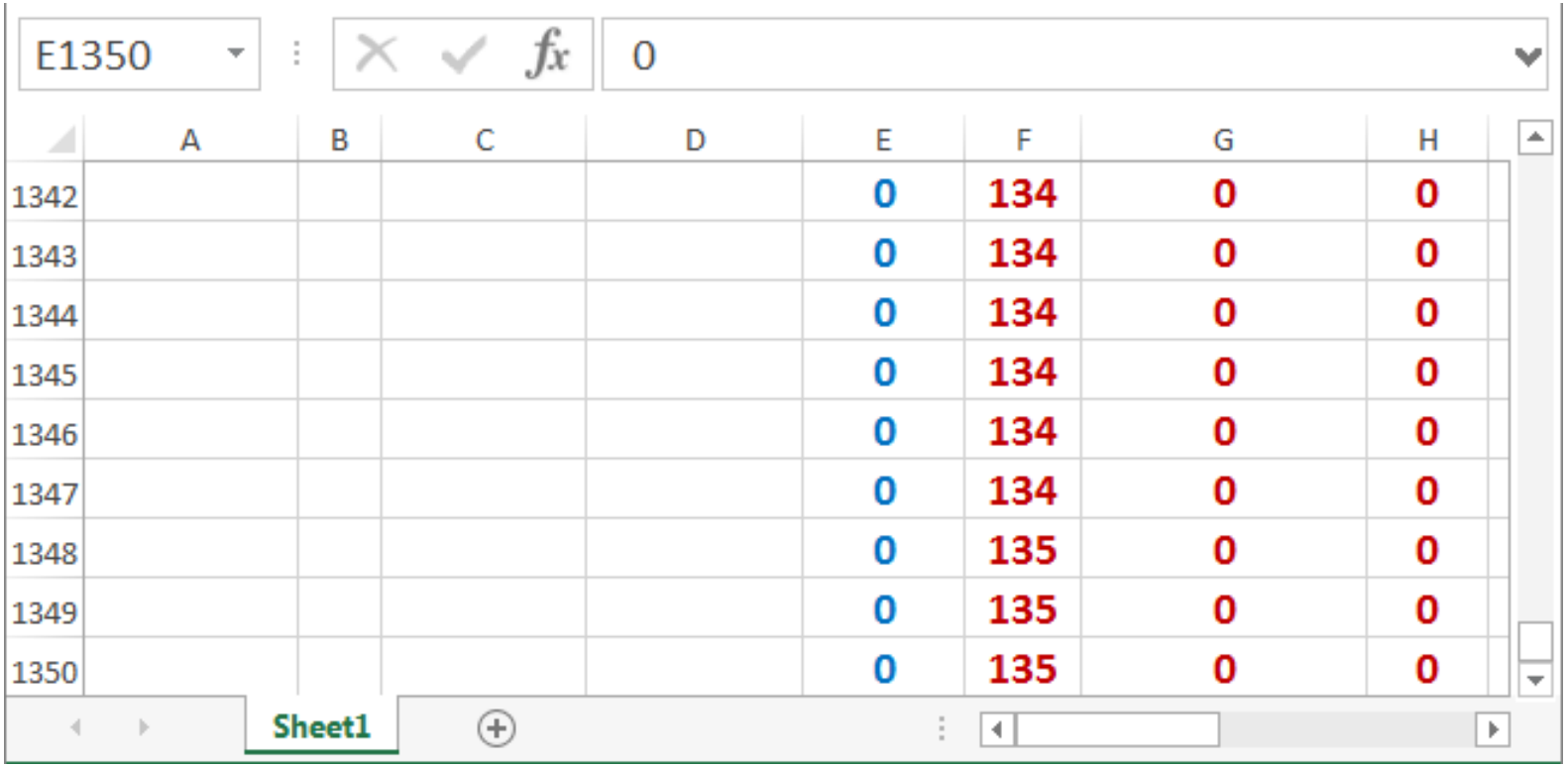
$$\tau \frac{dV(t)}{dt} = R\, I(t) - V(t)$$



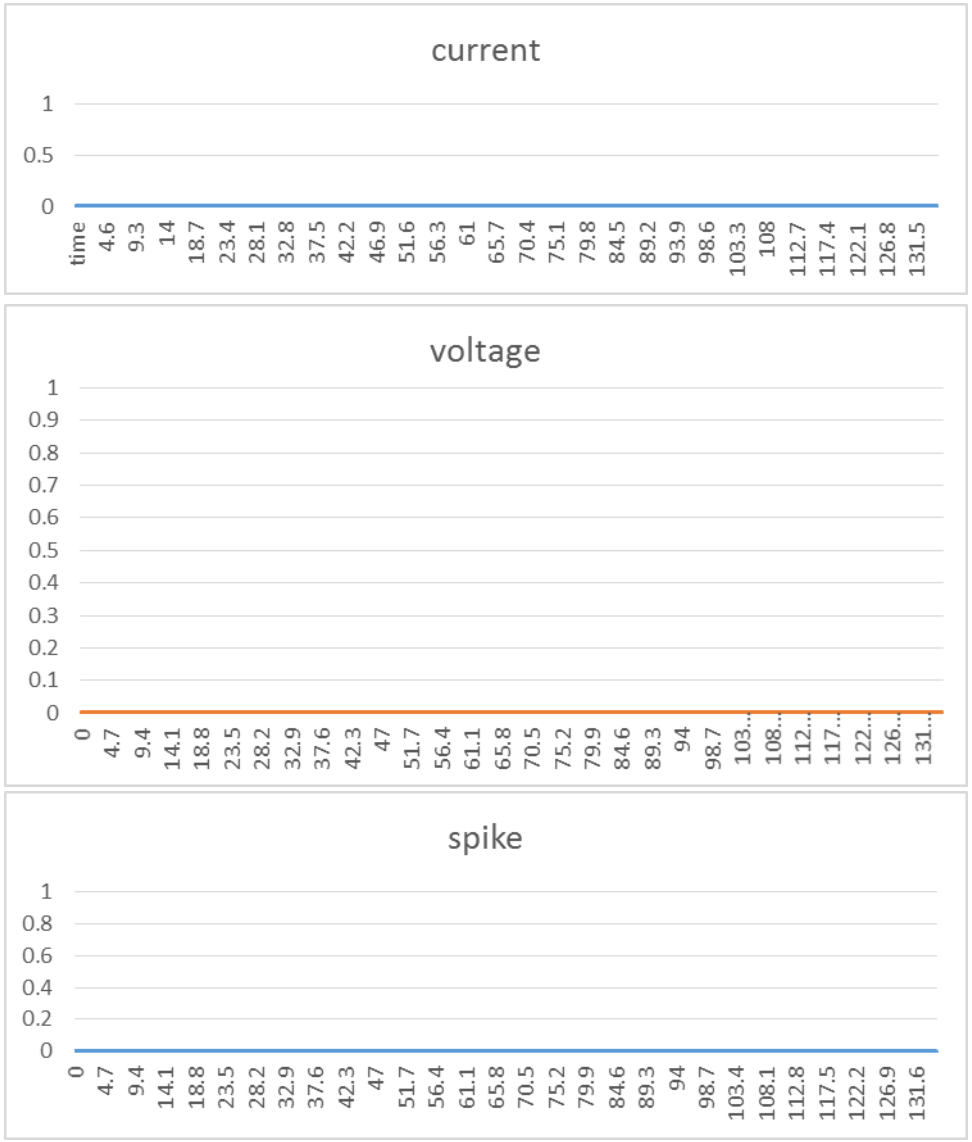
وارد کردن فرمول بروزرسانی اسپایک:



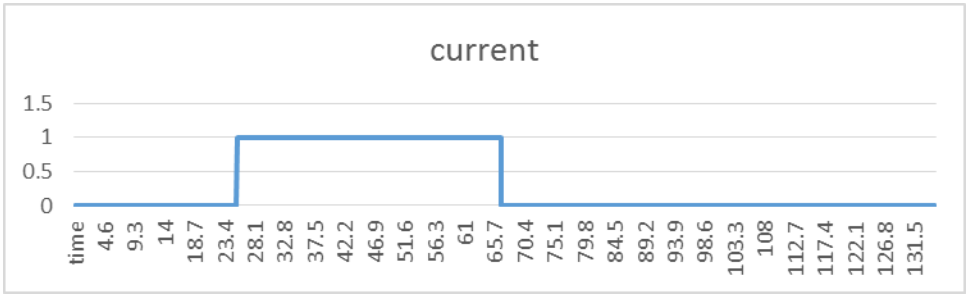
کپی کردن فرمول‌ها:

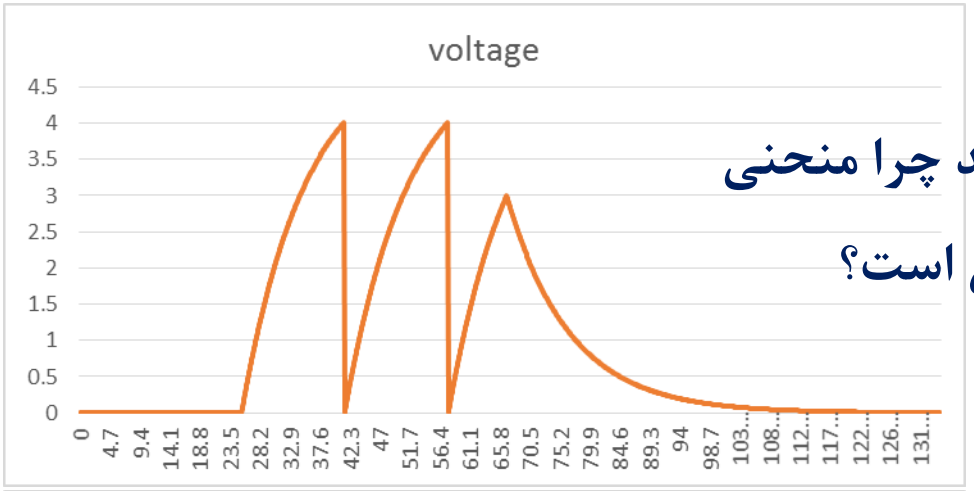


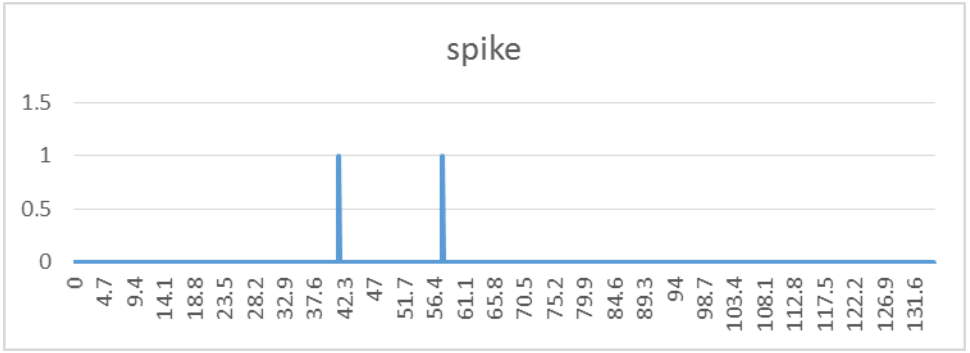
رسم نمودارهای جریان ورودی، ولتاژ و اسپایک:



اعمال جریان ۱ در یک محدوده: رسم نمودارهای جریان ورودی، ولتاژ و اسپایک:

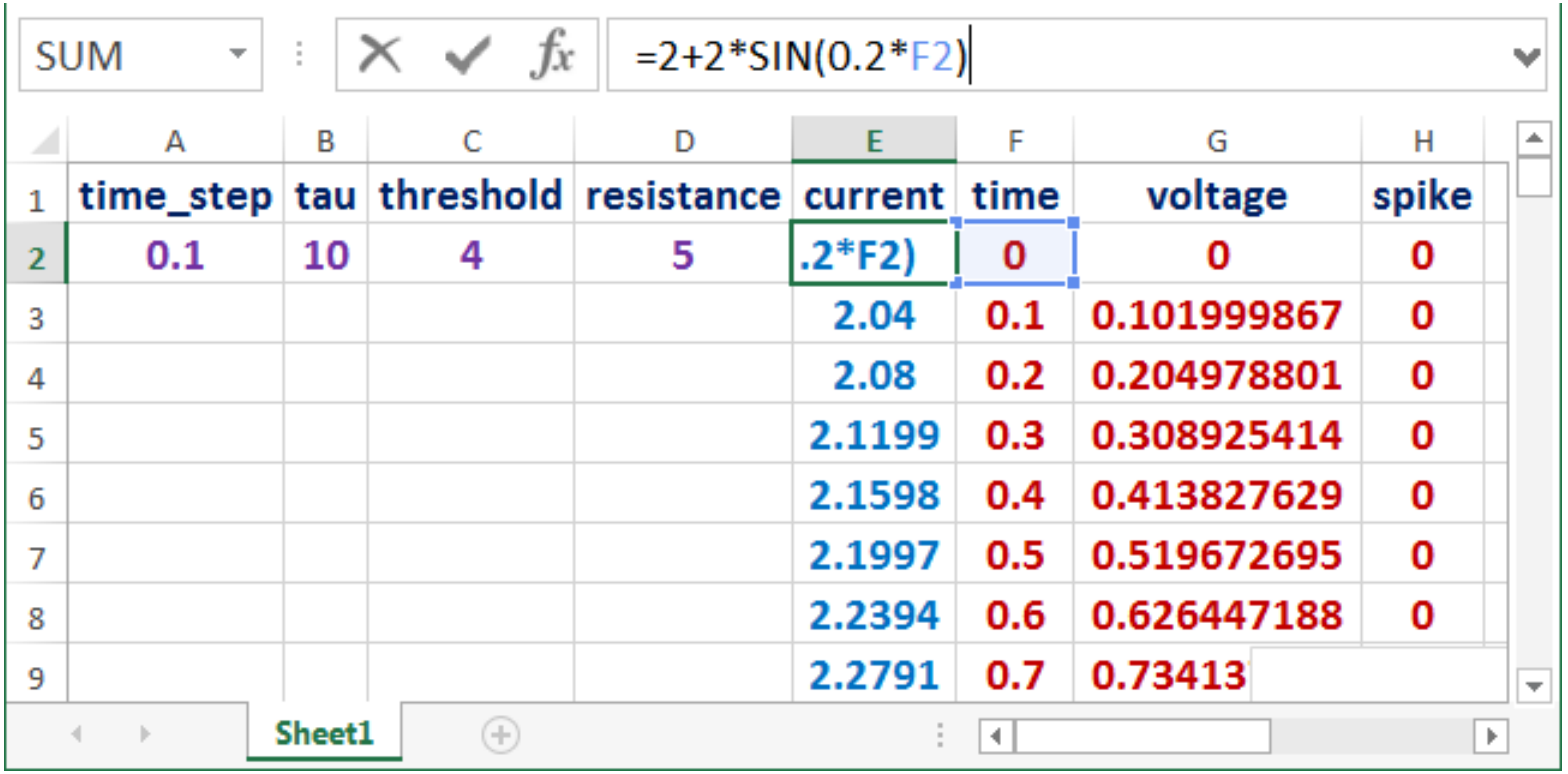






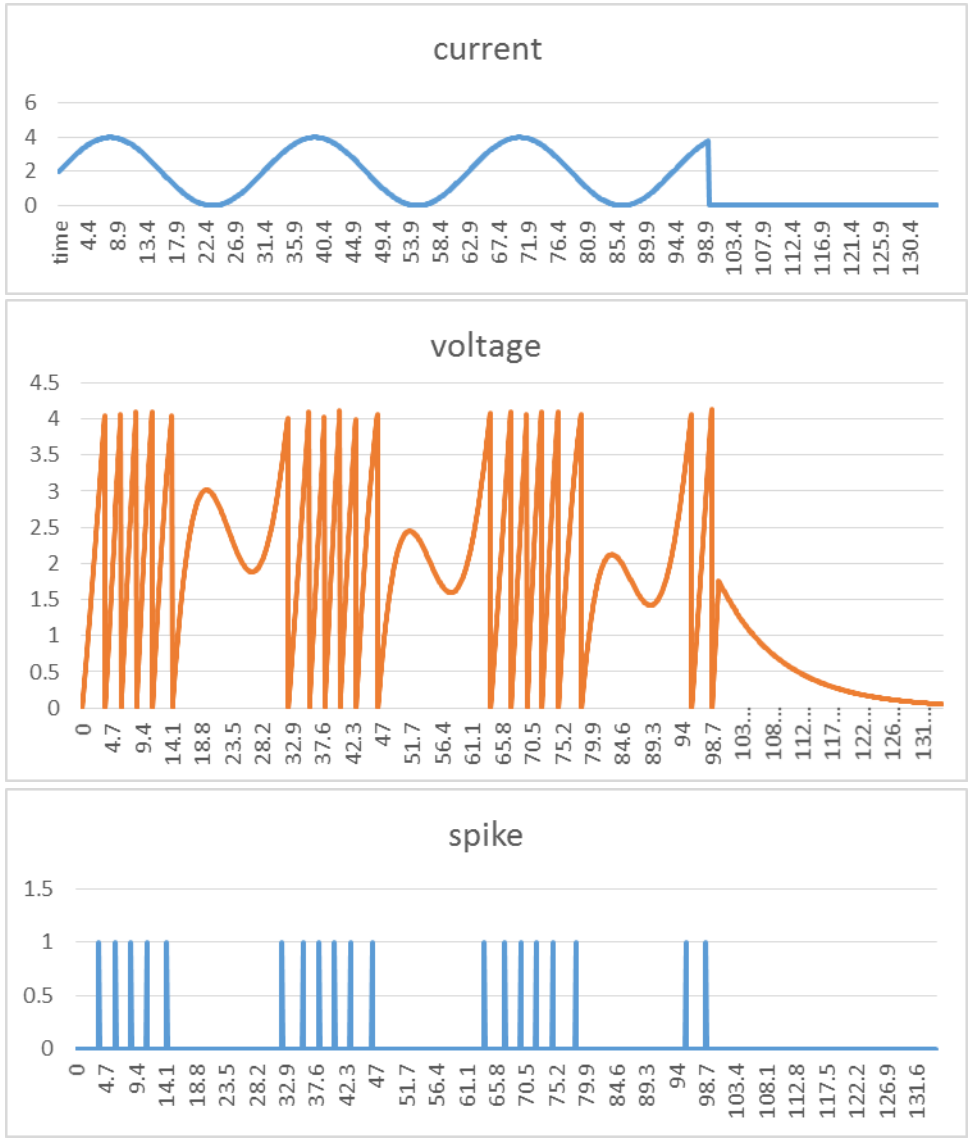
آیا می‌دانید چرا منحنی ولتاژ نمایی است؟

اعمال جریان سینوسی در یک محدوده و کپی کردن فرمول:



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	time_step	tau	threshold	resistance	current	time	voltage	spike
2	0.1	10	4	5	.2*F2)	0	0	0
3					2.04	0.1	0.101999867	0
4					2.08	0.2	0.204978801	0
5					2.1199	0.3	0.308925414	0
6					2.1598	0.4	0.413827629	0
7					2.1997	0.5	0.519672695	0
8					2.2394	0.6	0.626447188	0
9					2.2791	0.7	0.73413	

اعمال جریان سینوسی در یک محدوده: رسم نمودارهای جریان ورودی، ولتاژ و اسپایک:



فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع بندی

جمع‌بندی

- هرساله صدها مقاله‌ی پژوهشی جدید با استفاده از «مدل ادغام و آتش» منتشر می‌شود.
- جذابیت این مدل در پژوهش‌ها به ساده بودن و مقاوم بودن آن برمی‌گردد.
- مدل «ادغام و آتش» از رهیافت تخمین جلوسو استفاده می‌کند که در آن آخرین مقدار به همراه معادله دیفرانسیل برای تولید مقدار تخمینی در نقطه زمانی بعدی به کار می‌رود.
- به سادگی می‌توان شبکه‌ی پیچیده‌ای از جمعیتی از این اجزا ایجاد نمود (به ویژه اگر مدل به جای صفحه گسترده در زبان منعطف‌تری بازنویسی گردد).

جمع‌بندی

- اینکه ناپیوستگی «کدنویسی سخت برای بازنمایی اسپایک نورون» ضعف است یا قوت، به این بستگی دارد که آیا ویژگی‌های فرآیند تولید اسپایک برای سوال علمی مورد نظر، مهم و حیاتی است؟ در بسیاری از کاربردها، دانستن اینکه اسپایکی رخ داده است و اینکه چه زمانی اسپایک رخ داده است کفایت می‌کند. نیازی به دانستن شکل، ارتفاع یا دوره اسپایک نمی‌باشد.
- در نهایت، پاسخ این سوال که «آیا این مدل به اندازه کافی خوب است؟» این است که «بستگی دارد». بستگی به سوالی دارد که می‌خواهید به آن پاسخ دهید.

فهرست مطالب

- دورنما
- پتانسیل عمل
- مدل های محاسباتی پتانسیل عمل در عمل
- معادله نورون «ادغام و آتش»
- کدنویسی مدل «ادغام و آتش» برای نورون
- جمع بندی

اول شما را نادیده می‌گیرند
بعد به شما خواهند خندید
سپس با شما خواهند جنگید
و بعد شما برنده خواهید شد
ماهاتما گاندی
www.Bahrampoor.com آموزش سخنرانی و فن بیان