

به نام خدا

علیرضا نجاتی ۹۸۲۲۲۱۰۴

درس علوم اعصاب محاسباتی

گزارش پروژه اول (پیاده سازی مدل های نورونی LIF، ALIF و AELIF)

مقدمه:

با مطالعه بر روی نورون ها و تغییراتی که در حالت های مختلف در آن ها ایجاد می شود، شبیه سازی هایی بر روی مدار های الکتریکی صورت گرفته است که از روی این مدار ها به فرمول های محاسباتی دست پیدا کرده ایم. بوسیله این فرمول ها می توانیم مدل هایی را بسازیم که با تغییر جریان ورودی، رفتاری شبیه به نورون ها داشته باشند. در این پروژه به پیاده سازی برخی از این مدل های نورونی بدست آمده بوسیله زبان پایتون می پردازیم.

۱- مدل (Leaky Integrate and Fire) LIF

در این مدل از فرمول خطی زیر برای بدست آوردن پتانسیل نورون استفاده می کنیم. بدین صورت که با تعریف کردن یک حد آستانه جریان را تغییر می دهیم. هنگامی که پتانسیل به حد آستانه برسد یک fire برای نورون در نظر می گیریم و پس از آن reset انجام می شود.

$$\tau \frac{du}{dt} = -(U(t) - U_{rest}) + RI(t)$$

$$U(t) = \text{Threshold} \rightarrow \text{Fire} + \text{Reset}(U = U_{reset})$$

ابتدا کلاس LIF را تعریف می کنیم. برای این مدل متغیر های ثابت زیر را مقداردهی می کنیم. متغیر هایی مانند `U_rest`، `U_reset`، `threshold`، `totalTime` و ... که مقداری ثابت دارند را ابتدا تعریف می کنیم.

$$U_{rest} = -0.65$$

$$U_{reset} = -0.70$$

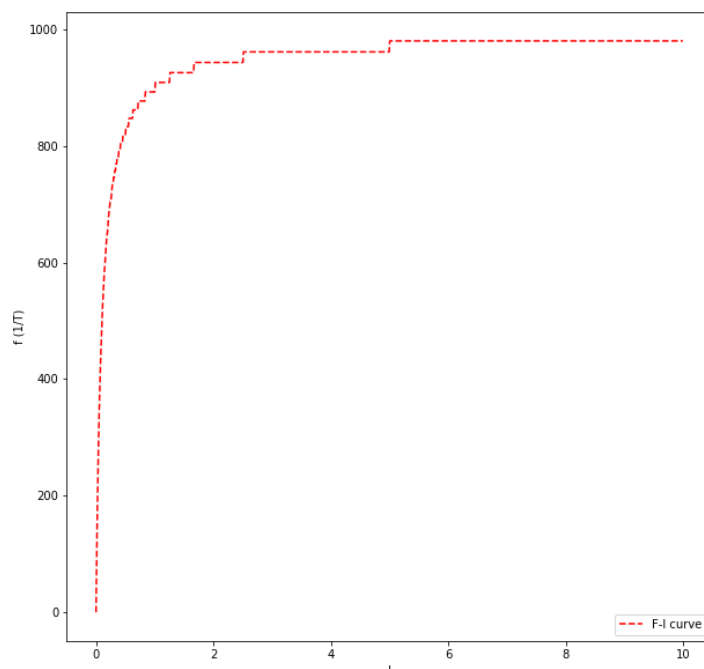
$$threshold = -0.50$$

$$total\ time = -0.1$$

تابع **current** جریان های مختلف را برحسب تابع های ریاضیاتی مختلف می سازد و در تابع **simulation** از این جریان استفاده می شود تا با کمک فرمول گفته شده در بالا مقدار پتانسیل در طول زمان و همچنین تایم و تعداد اسپایک ها بدست آید. در تابع **plot** خروجی های تابع **simulation** گرفته می شود و نمودار های جریان بر حسب زمان و پتانسیل بر حسب زمان رسم می شوند. و در نهایت تابع **FI_curve** نمودار مربوط به فرکانس اسپایک ها بر حسب جریان های ثابتی که زیاد می شوند رسم می کند.

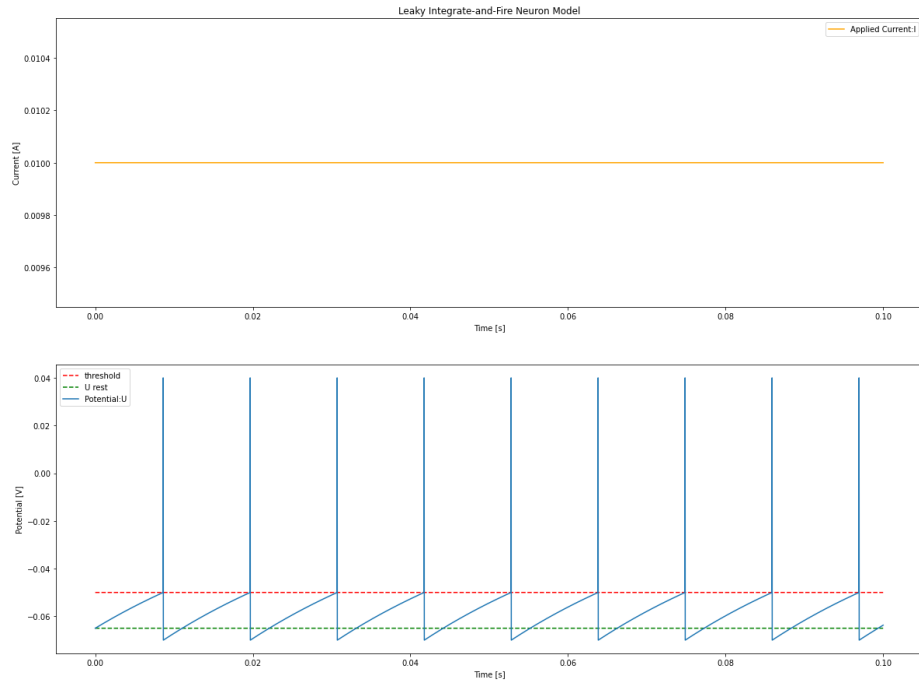
۱-۱- رسم FI curve

در این قسمت در بازه ۰ تا ۱۰ به اندازه ۰,۰۱ جریان های ثابت را به مدل می دهیم تا تایم اسپایک ها بدست آید سپس فرکانس مربوط به آن اسپایک را بدست آورده و ذخیره می کنیم. جریان را افزایش می دهیم و این کار را تکرار می کنیم در نهایت نمودار **F** بر حسب **I** را رسم می کنیم که نتیجه آن برای این مدل بدین شکل است.



۱-۲- آزمایش مدل با جریان ثابت

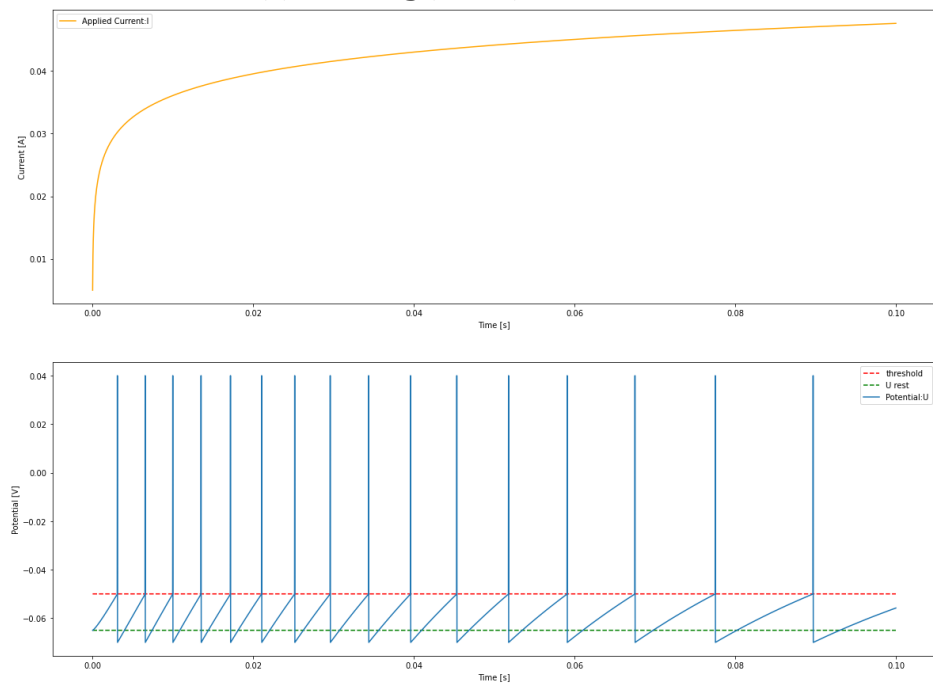
مقدار ظرفیت خازن ۰,۰۰۵، مقدار مقاومت ۶ و مقدار جریان ثابت ۰,۰۱ را به مدل می دهیم و پتانسیل در طول زمان را بدست آورده و نمودار آن را رسم می کنیم.



۳-۱- آزمایش مدل با جریان لگاریتمی

در این قسمت با همان مقادیر ظرفیت خازن و مقاومت، تابع جریان زیر را تعریف کرده و با دادن مقدار ۰,۰۰۵ C به نتیجه را رسم می کنیم.

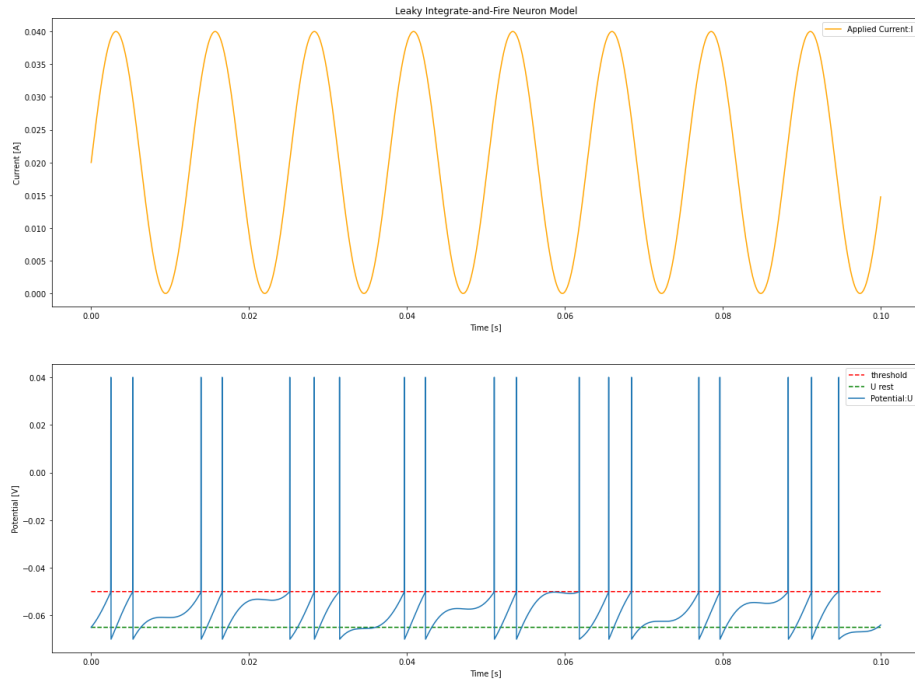
$$I(t) = c \log(t + 1) + c$$



۴-۱- آزمایش مدل با جریان سینوسی

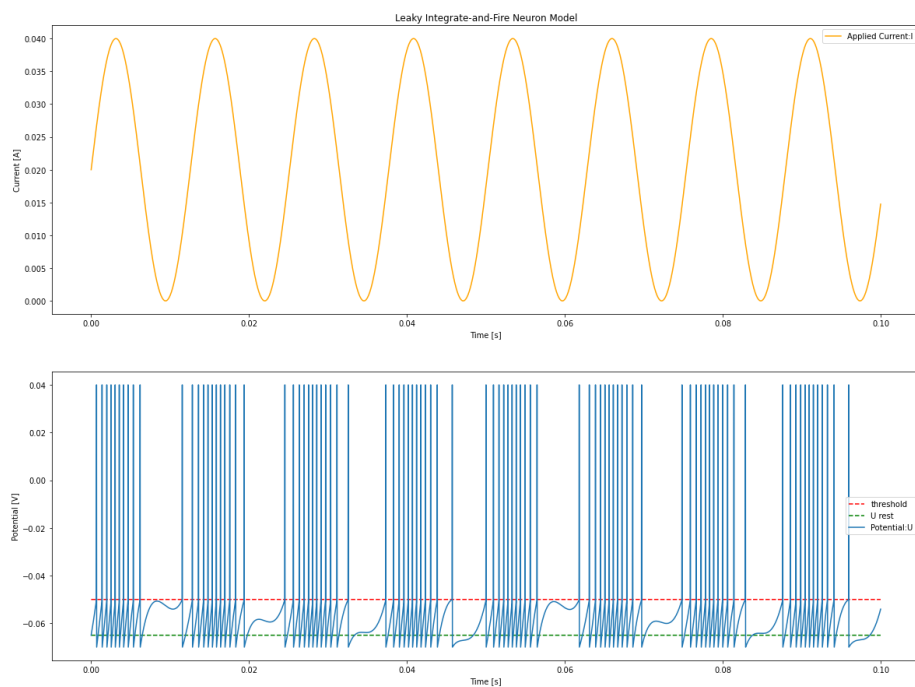
در این قسمت با همان مقادیر ظرفیت خازن و مقاومت، تابع جریان زیر را تعریف کرده و با دادن مقدار ۰,۰۲ به C نتیجه را رسم می کنیم.

$$I(t) = c \sin\left(\frac{t}{1..}\right) + c$$



۵-۱- تغییر دادن متغیر τ در مدل با جریان سینوسی

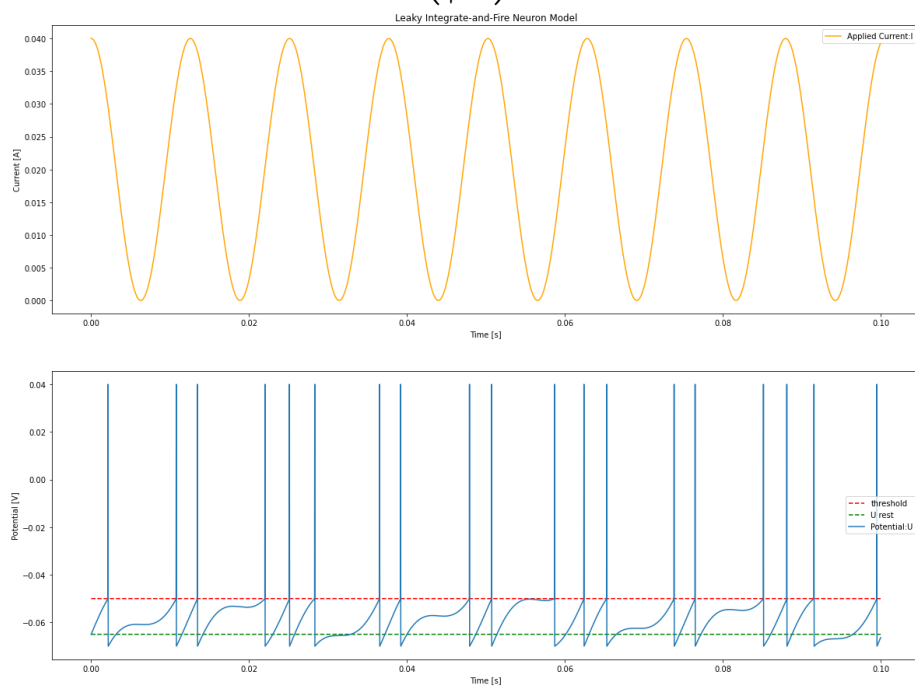
در این قسمت جریان همان جریان سینوسی است اما اینبار ظرفیت خازن و مقاومت را تغییر می دهیم تا ببینیم مدل چه رفتاری از خود نشان می دهد. نتیجه بدین شکل است.



۱-۶ آزمایش مدل با جریان کسینوسی

اینبار مقدار ظرفیت خازن 0.005 ، مقدار مقاومت 6 تابع جریان کسینوسی زیر را به مدل می دهیم و پتانسیل در طول زمان را بدست آورده و نمودار آن را رسم میکنیم.

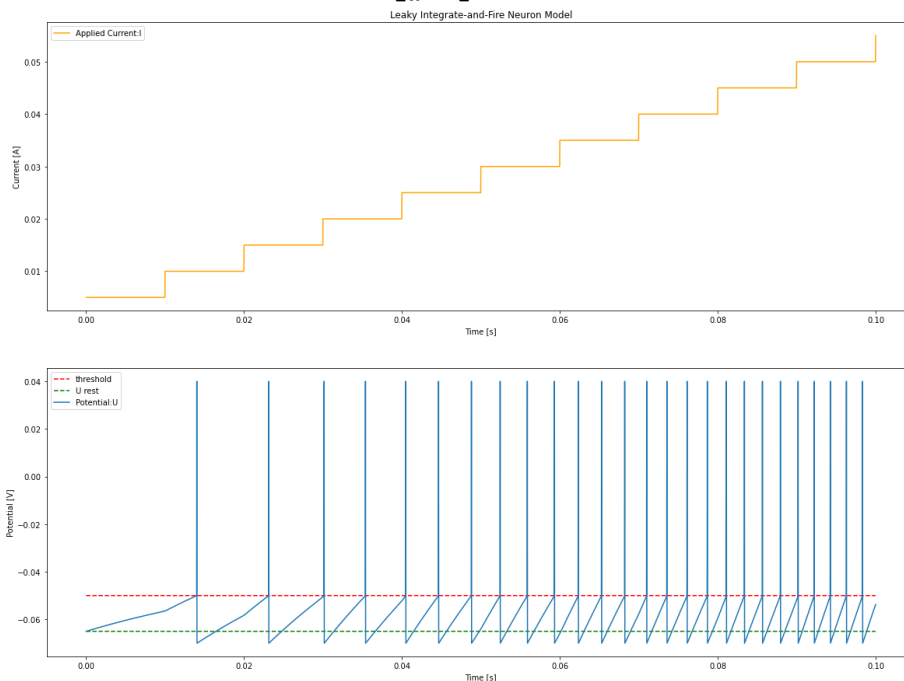
$$I(t) = c \cos\left(\frac{t}{10}\right) + c$$



۱-۷ آزمایش مدل با جریان جزء صحیح

در این قسمت با همان مقادیر ظرفیت خازن و مقاومت، تابع جریان جزء صحیح زیر را تعریف کرده و با دادن مقدار ۰,۰۰۵ به C نتیجه را رسم می کنیم.

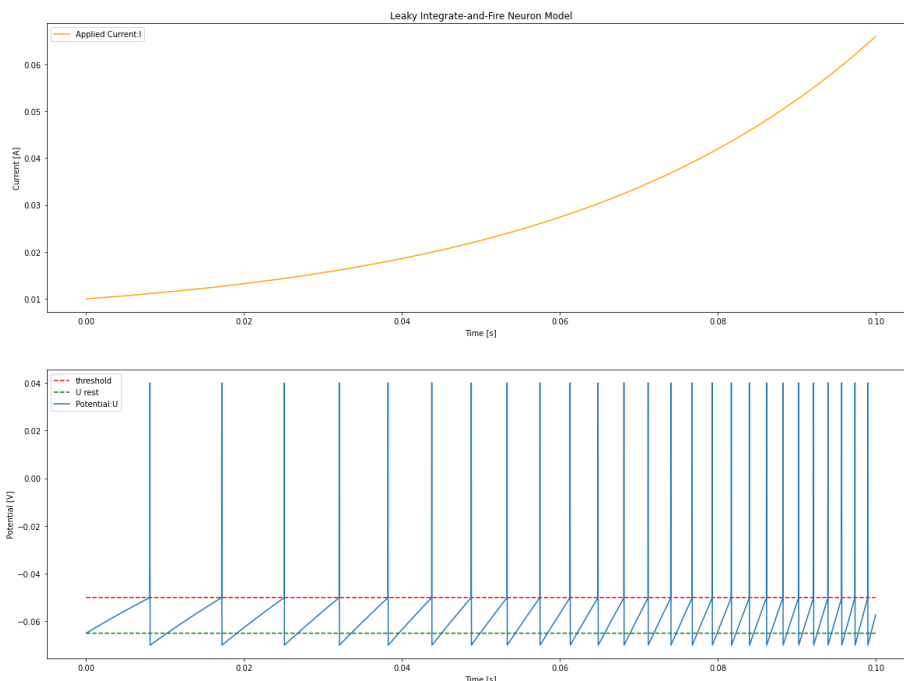
$$I(t) = c \left\lfloor \frac{t}{0.005} \right\rfloor + c$$



۸-۱- آزمایش مدل با جریان نمایی

در این قسمت با همان مقادیر ظرفیت خازن و مقاومت، تابع جریان نمایی زیر را تعریف کرده و با دادن مقدار ۰,۰۰۵ به C نتیجه را رسم می کنیم.

$$I(t) = c e^{t/0.005} + c$$



۲- مدل ALIF (Adaptive Leaky Integrate and Fire)

در این مدل با افزودن یک ترم دیگر به فرمول اثر منفی در اختلاف پتانسیل ایجاد می کنیم که به مرور زمان مانع از افزایش پتانسیل می شود. در واقع مدل توسعه داده شده ی LIF است که هنگامی که جریان اختلافات اندکی دارد نورون خودش را با جریان سازگار میکند و به مرور firing rate آن کاهش می یابد. فرمول به کار رفته در این مدل بدین صورت است.

$$\tau \frac{du}{dt} = -(U(t) - U_{rest}) - R \sum_k w_k + RI(t)$$

$$\tau_w \frac{dw}{dt} = a(U(t) - U_{rest}) - w_k + b\tau_w \sum_{t^f} \delta(t - t^f)$$

$$U(t) = \text{Threshold} \rightarrow \text{Fire} + \text{Reset}(U = U_{reset})$$

مقادیر ثابت مانند مدل قبل مقدار دهی شده اند با این تفاوت که چند مقدار ثابت دیگر در این مدل نیاز است که مقدار دهی شوند.

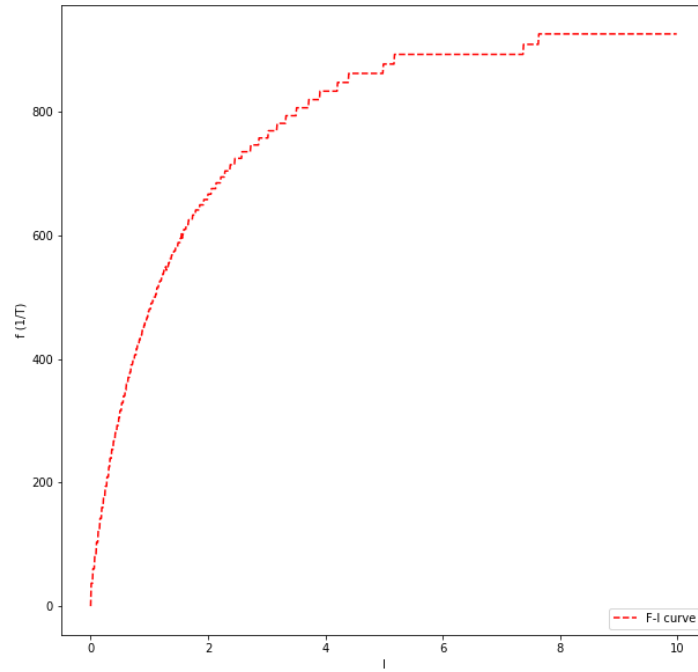
$$\tau_w = 0.00001$$

$$a = 0.01$$

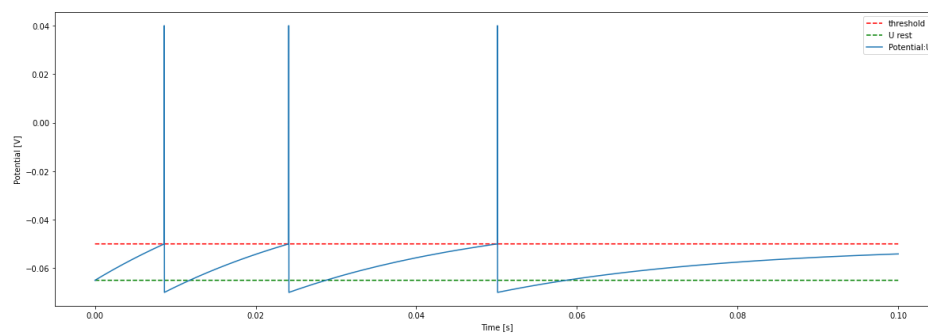
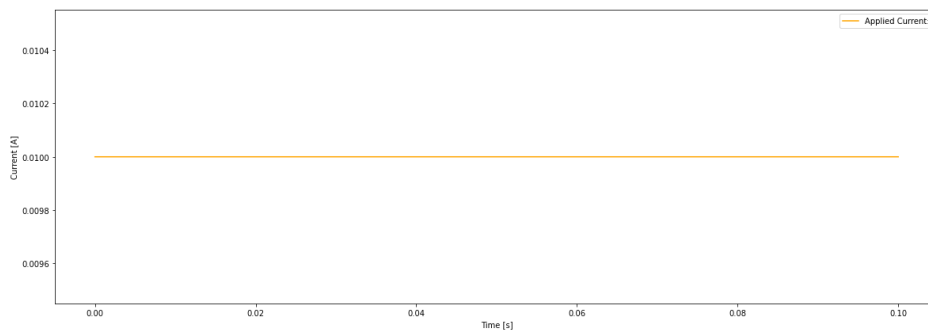
$$b = 250$$

بقیه توضیحات مانند توضیحات مدل قبل است. از تکرار آن ها خودداری کرده و تنها نمودار های حاصل را رسم می کنیم.

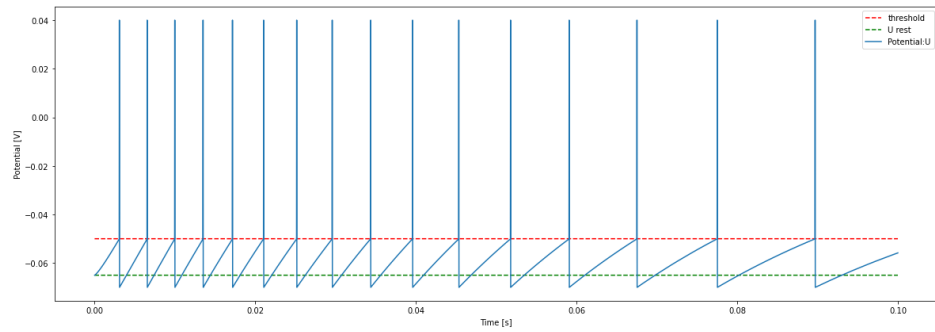
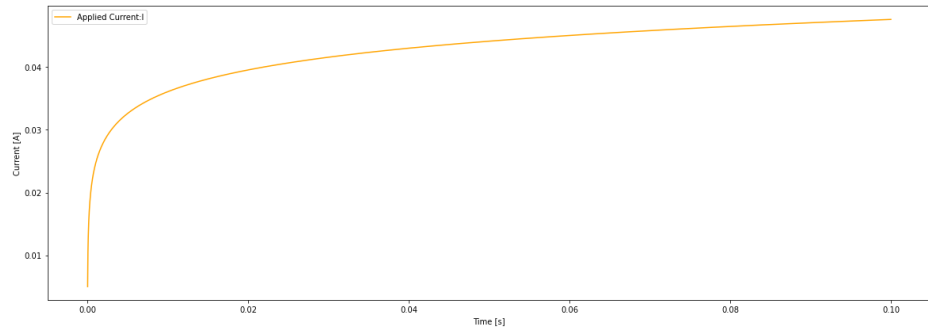
۲-۱ رسم FI curve



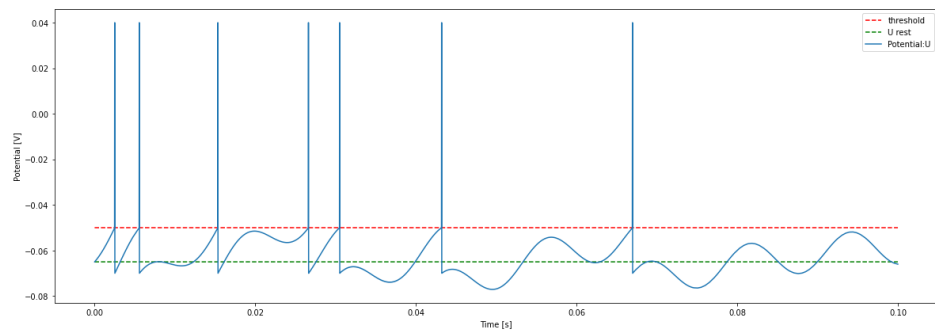
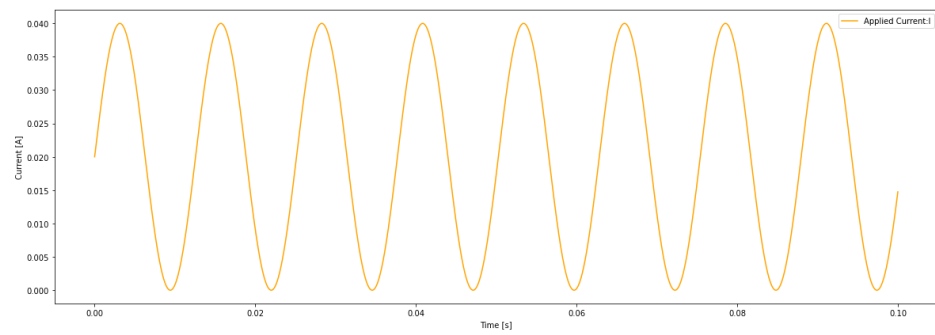
۲-۲- آزمایش مدل با جریان ثابت



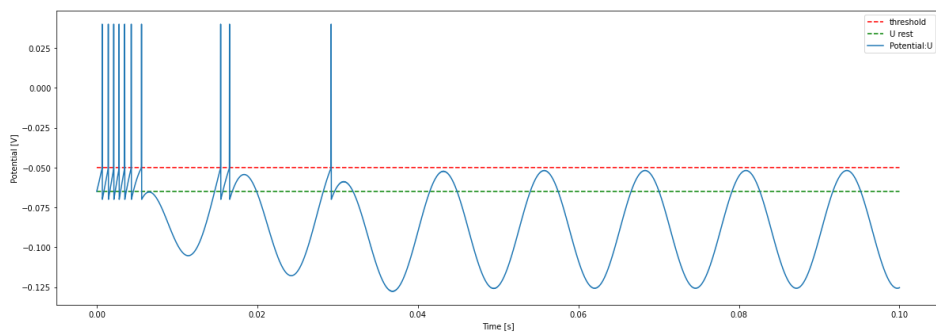
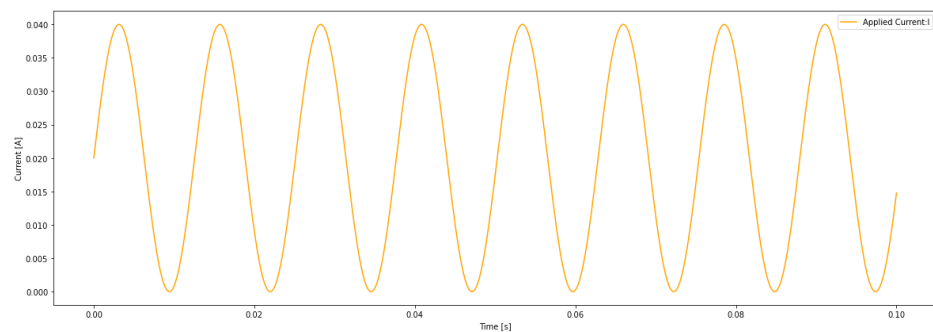
۲-۳- آزمایش مدل با جریان لگاریتمی



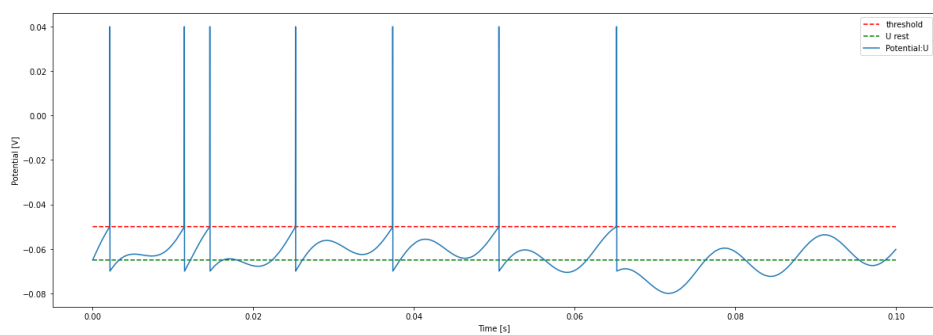
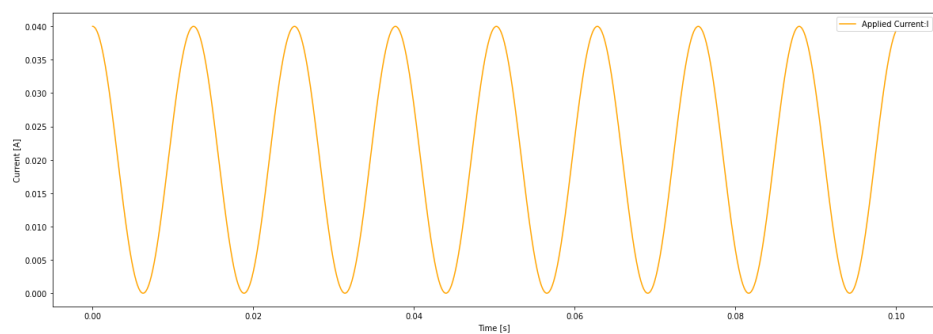
۲-۴- آزمایش مدل با جریان سینوسی



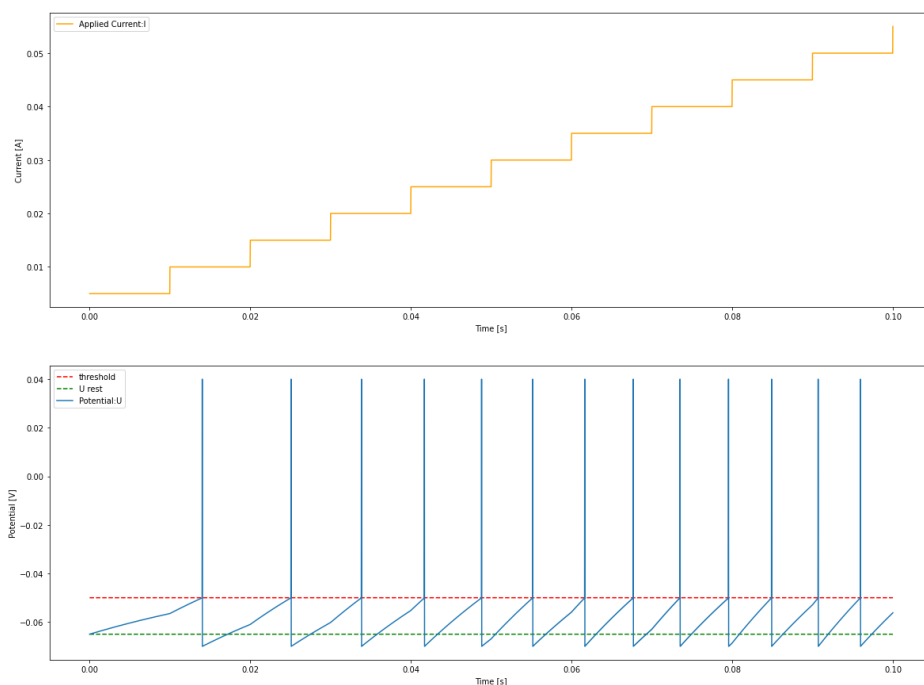
۲-۵- تغییر دادن متغیر τ در مدل با جریان سینوسی



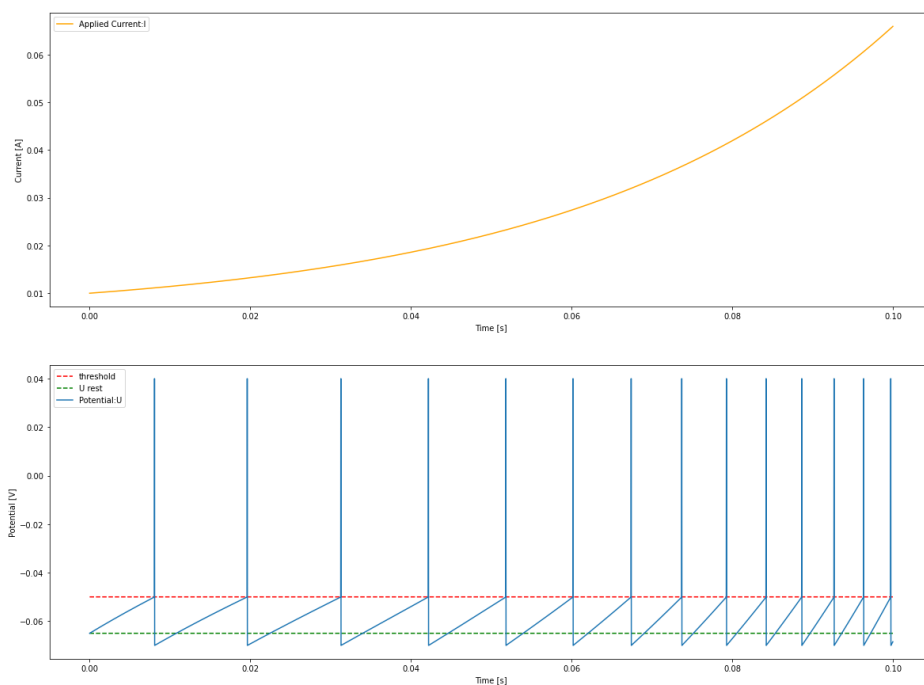
۲-۶ آزمایش مدل با جریان کسینوسی



۲-۷ آزمایش مدل با جریان جزء صحیح



۸-۲- آزمایش مدل با جریان نمایی



۳- مدل AELIF (Adaptive Exponential Leaky Integrate and Fire)

این بار مدل ALIF را به صورت غیرخطی بررسی می کنیم. مدل غیرخطی فعالیت نورون قبل و بعد از اسپایک را نسبت به مدل خطی دقیق تر مدلسازی می کند و به نورون واقعی شبیه تر است. از این رو در

این قسمت مدل AEIF که یک ترم نمایی به فرمول اضافه می کند را مدل سازی کرده ایم. فرمول این مدل بدین صورت است.

$$\tau \frac{du}{dt} = -(U(t) - U_{rest}) + \Delta_T \exp\left(\frac{U(t) - \theta_{rh}}{\Delta_T}\right) - R \sum_k w_k + RI(t)$$

$$\tau_w \frac{dw}{dt} = a(U(t) - U_{rest}) - w_k + b\tau_w \sum_{t^f} \delta(t - t^f)$$

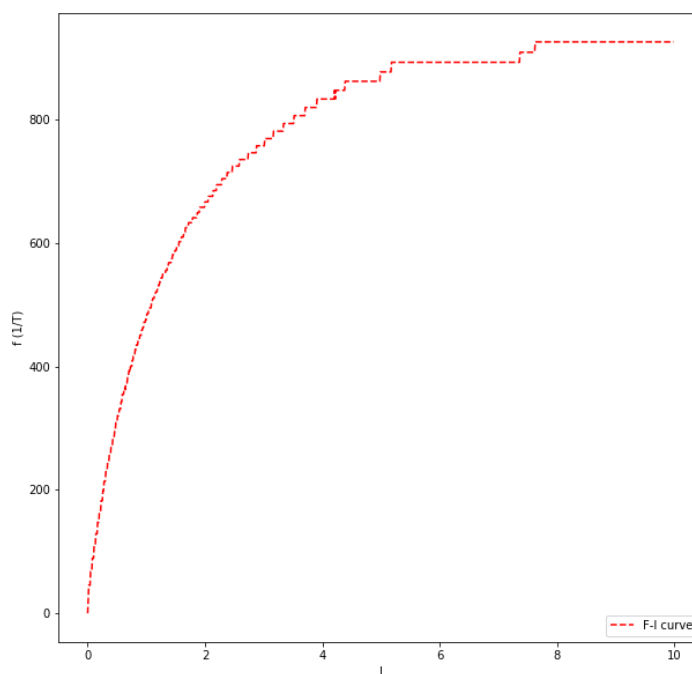
$$U(t) = \text{Threshold} \rightarrow \text{Fire} + \text{Reset}(U = U_{reset})$$

مقادیر ثابت مانند مدل قبل مقدار دهی شده اند با این تفاوت که یک مقدار ثابت دیگر در این مدل نیاز است که مقدار دهی شود.

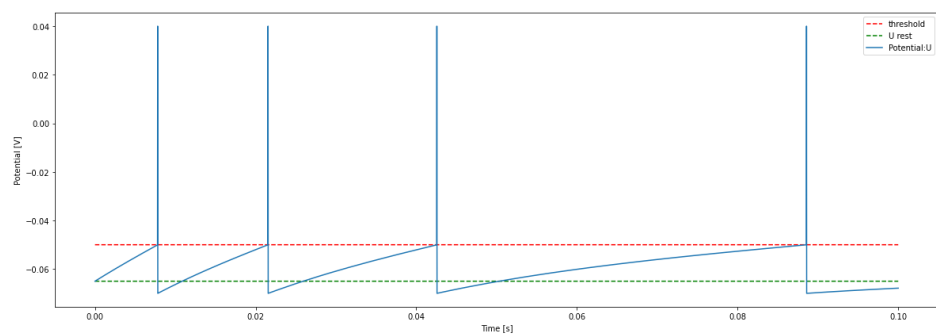
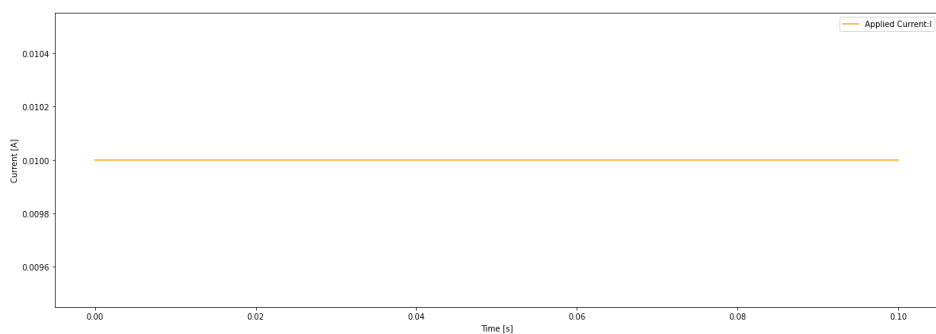
$$\Delta_T = 0.01$$

بقیه توضیحات مانند توضیحات مدل قبل است. از تکرار آن ها خودداری کرده و تنها نمودار های حاصل را رسم می کنیم.

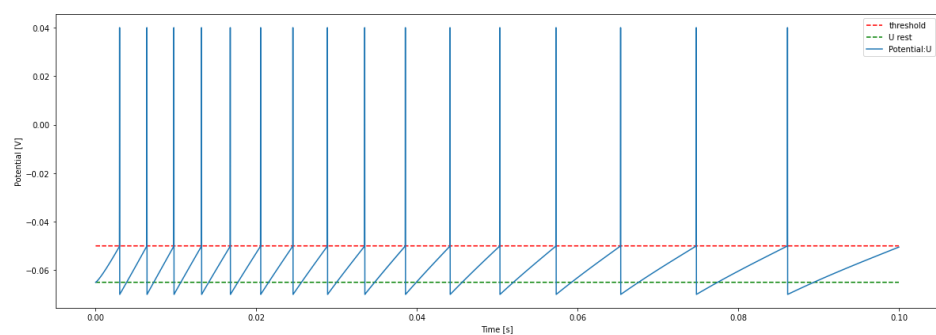
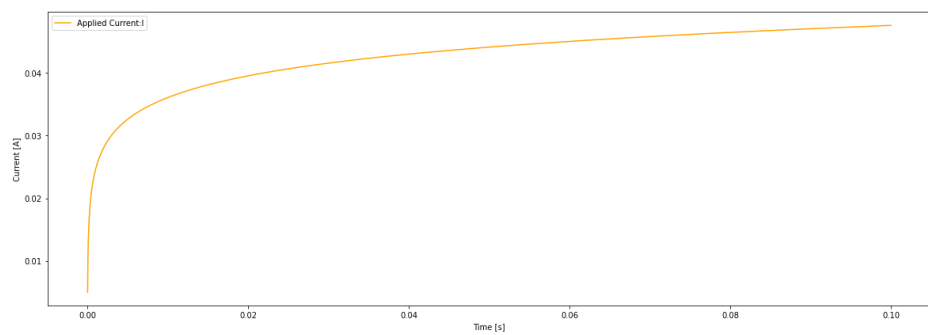
۳-۱- رسم FI curve



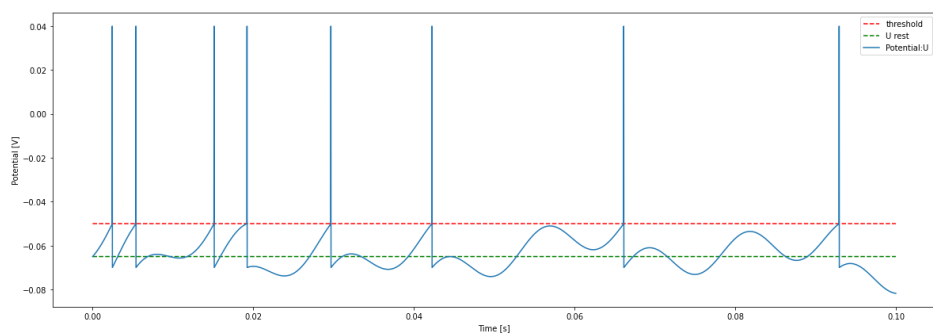
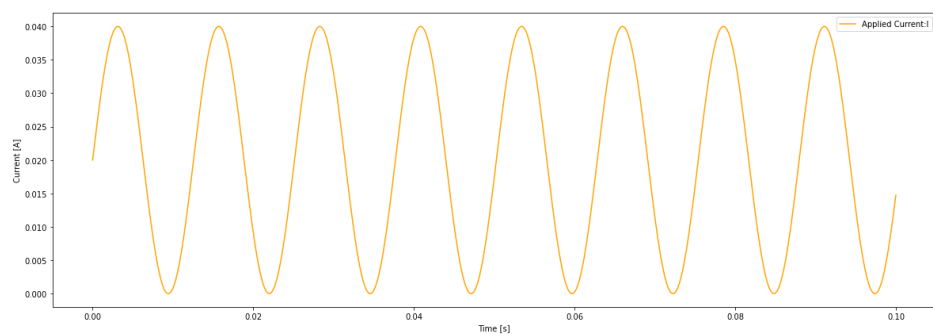
۳-۲- آزمایش مدل با جریان ثابت



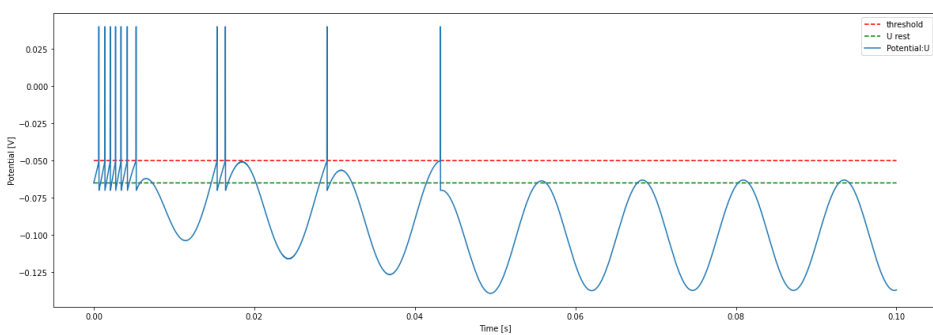
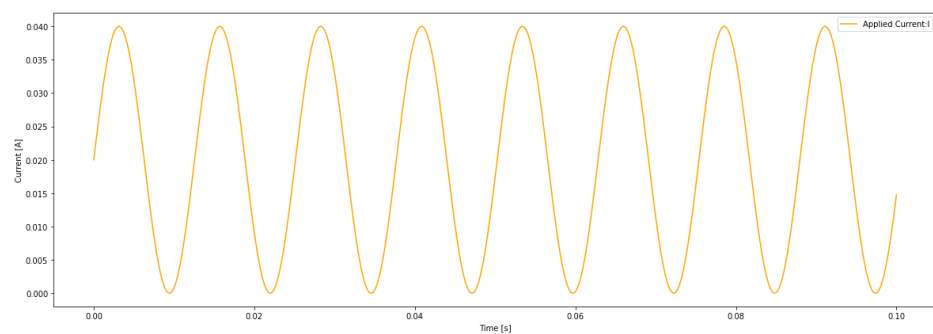
۳-۳- آزمایش مدل با جریان لگاریتمی



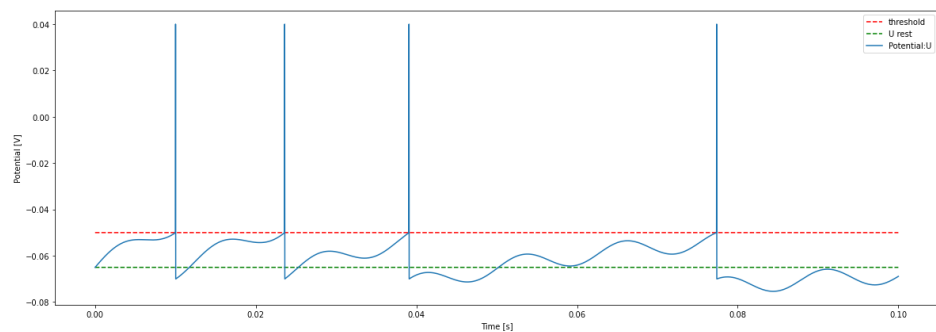
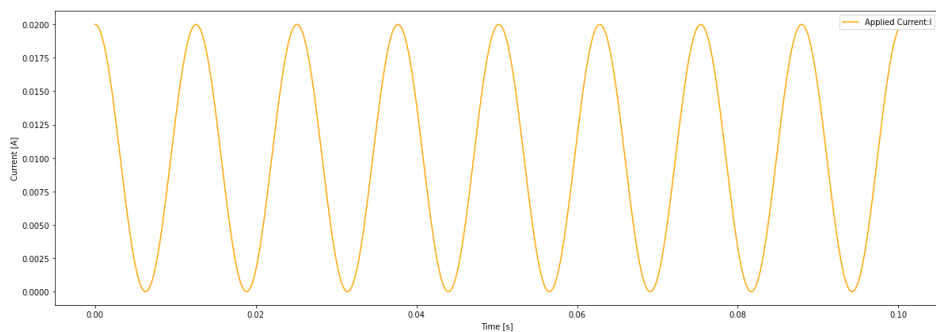
۳-۴- آزمایش مدل با جریان سینوسی



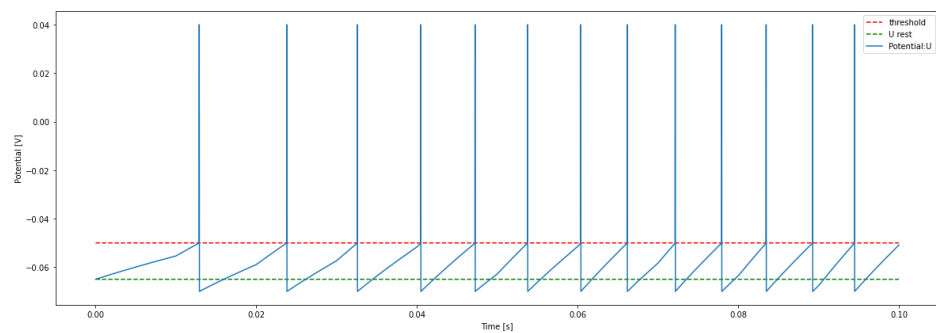
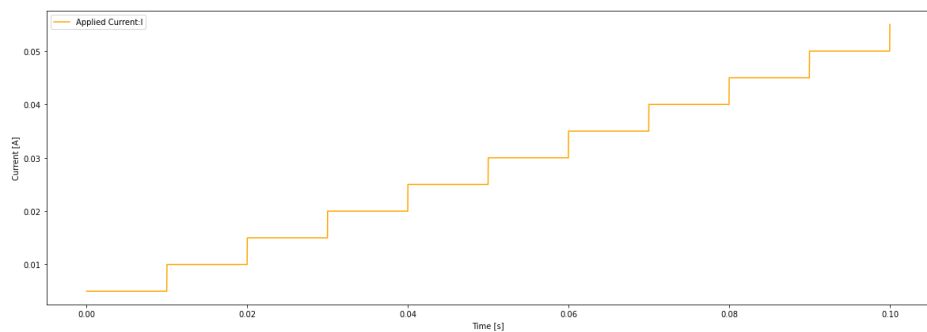
۵-۳- تغییر دادن متغیر τ در مدل با جریان سینوسی



۶-۳- آزمایش مدل با جریان کسینوسی



۷-۳- آزمایش مدل با جریان جزء صحیح



۸-۳- آزمایش مدل با جریان نمایی

