پروژه سری 1:

سید مهدی کاشانی ثانی 99222081

سه نوع مدل نورونی ALIF، LIF و AELIF به صورت کلاس پیاده سازی شده که همه آنها از کلاس Neuron ارث بری می کنند. برای تست کردن مدل ها 6 نوع جریان ورودی به هر کدام می دهیم:

1. جریان ثابت: $I_{(t)} = 5$
2. جریان سینوسی: $I_{(t)} = 4\,(\,sin(t) \;+\; 0.9)$
3. جریان تصادفی
4. جریان خطی: $I_{(t)} = 0.5 \;*\; t$
5. جریان سهمی: $I_{(t)} = (t - 50)^2 / 50$
6. جریان پله ای: برای t های بین 10 و 50 برابر 10 و دیگر نقاط 0

نمودار frequency هم برای تابع ثابت بین 0 تا 100 رسم شده.

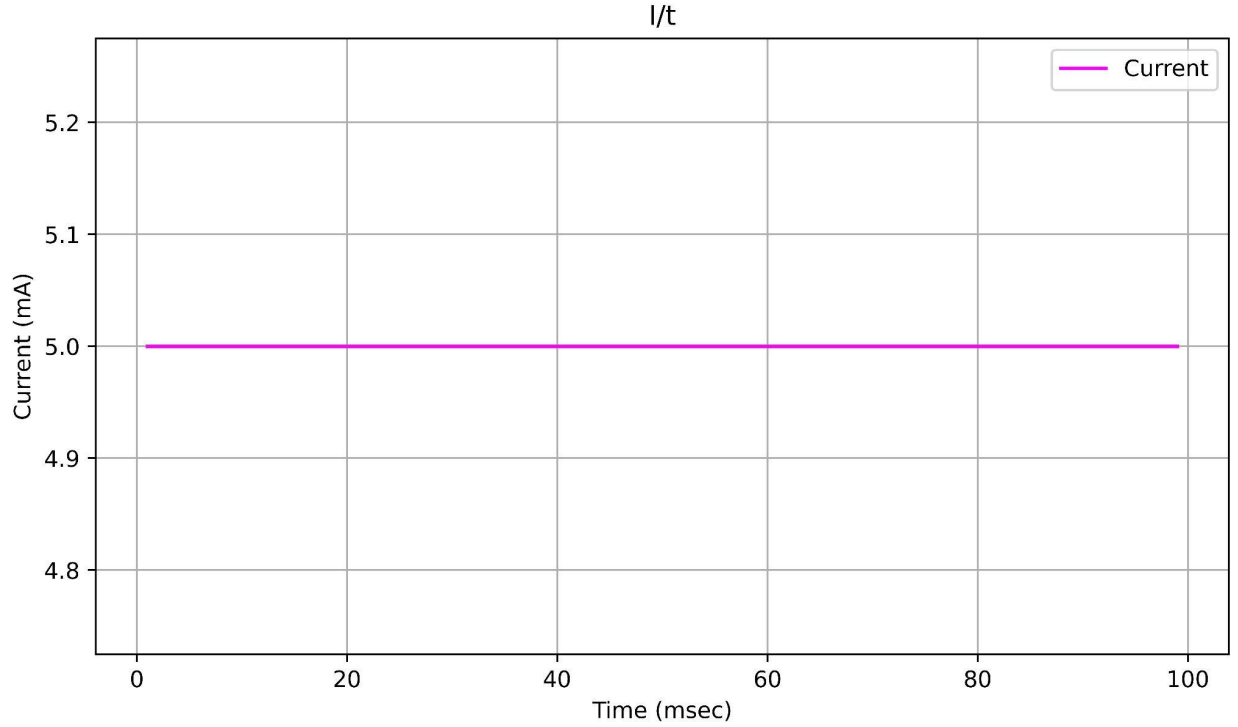
مدل LIF

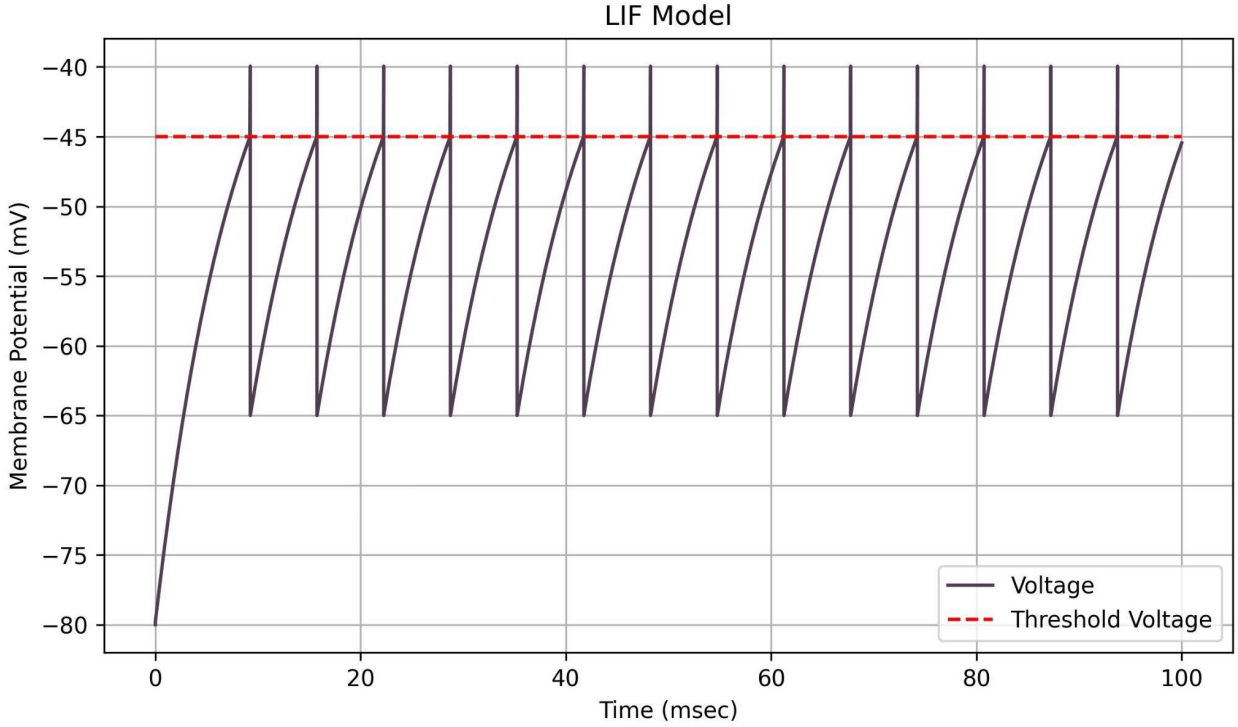
تنظیمات مدل:

time_total = 100
dt = 0.03125
R = 10
Tau_m = 8
Tau_ref = 0
V_start = -80
V_treshold = -45
V_spike = 5
V_rest = -79
V_reset = -65
n_fire = 14

مثال اول: در این مثال ما یک جریان ثابت را به نورن می دهیم .

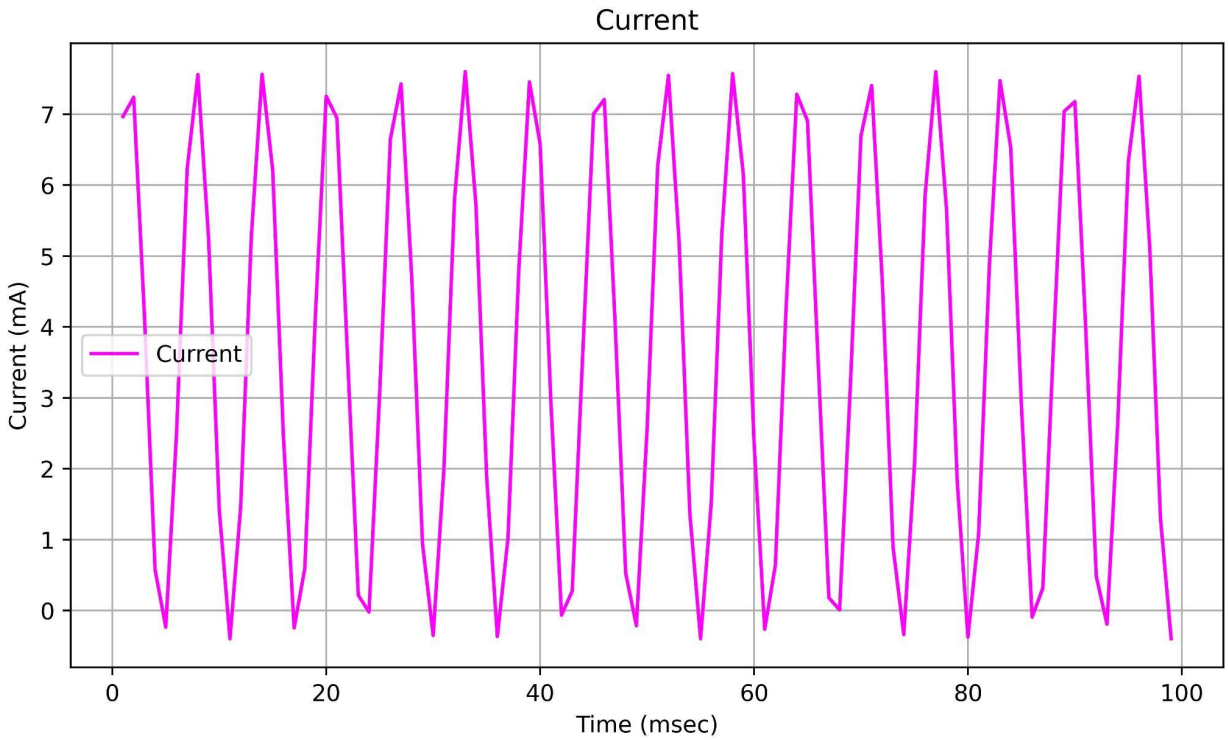
همانطور که میبینید از ثانیه حدودا 10 که اولین spike صورت می گیرد به صورت منظم در فاصله حدود 6 ثانیه spike صورت میگیرد و بعد از رسیدن به پتانسیل آستانه به پتانسیل استراحت میرسد و دوباره این چرخه تکرار می شود.

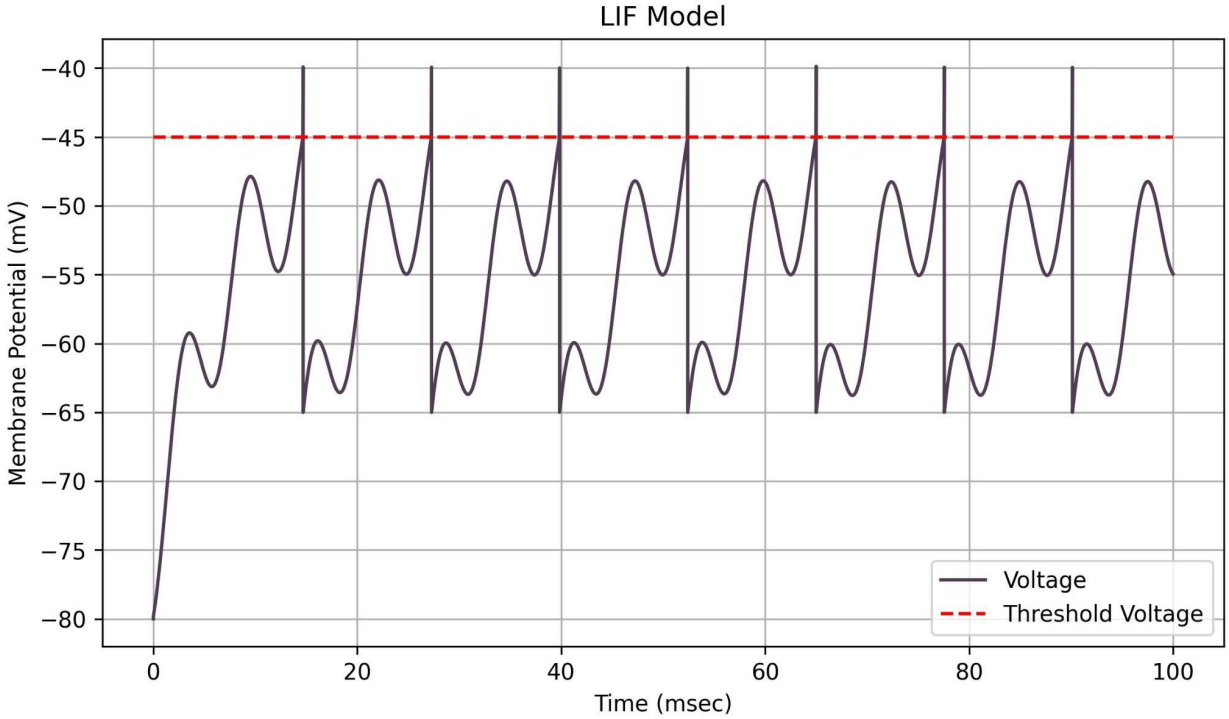




مثال دوم: در مثال دوم یک جریان سینوسی را به مدل خود می دهیم.

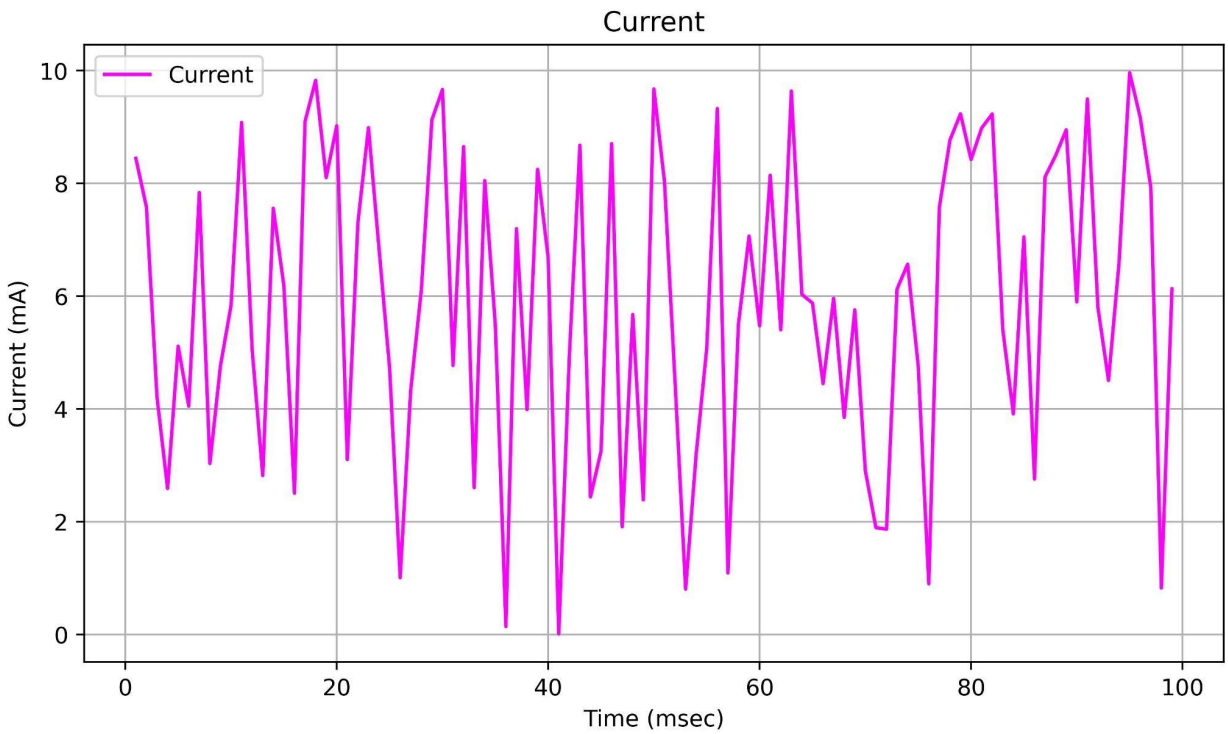
در این مثال همان طور که می بینید ما یک حریان ورودی سینوسی را به مدل خود وارد می کنیم و مانند مثال قبل است با این تفاوت که به دلیل سینوسی بودن مانند مثال قبل بین هر spike به صورت تقریبا خطی نیست اما همچنان منظم است.

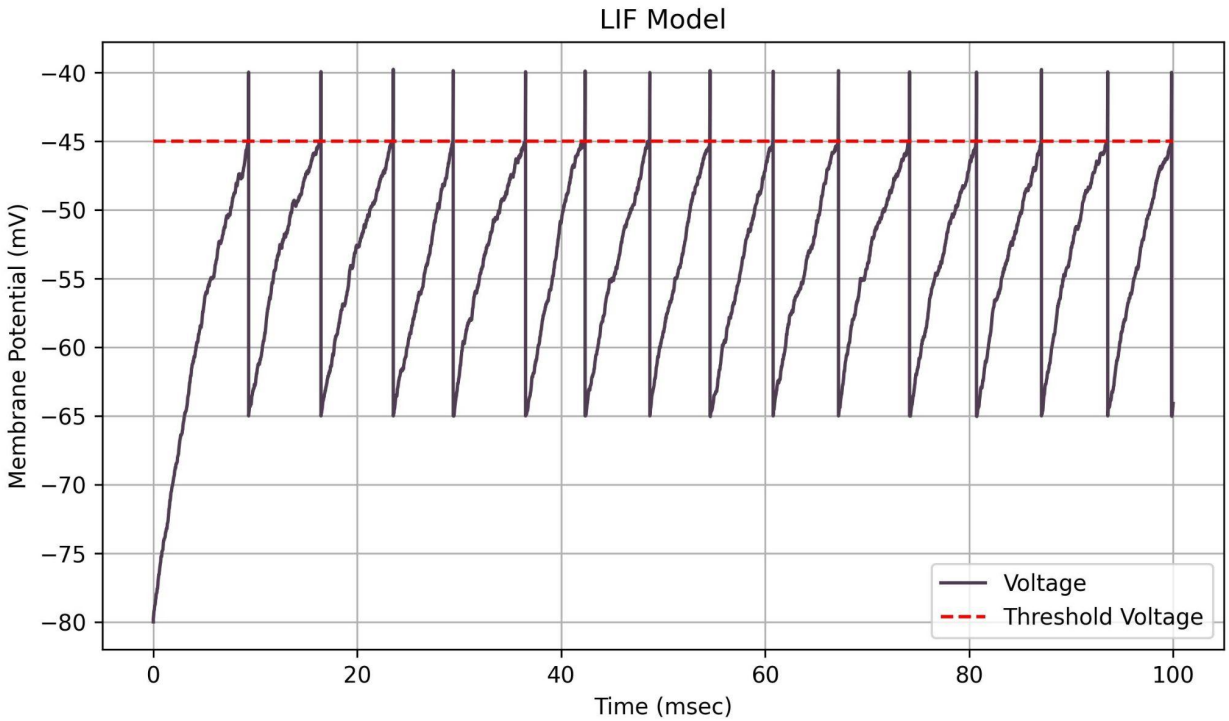




مثال سوم: در این مثال ما جریانی تصادفی را به مدل خود می دهیم که این اعداد تصادفی بین 0 تا 10 است.

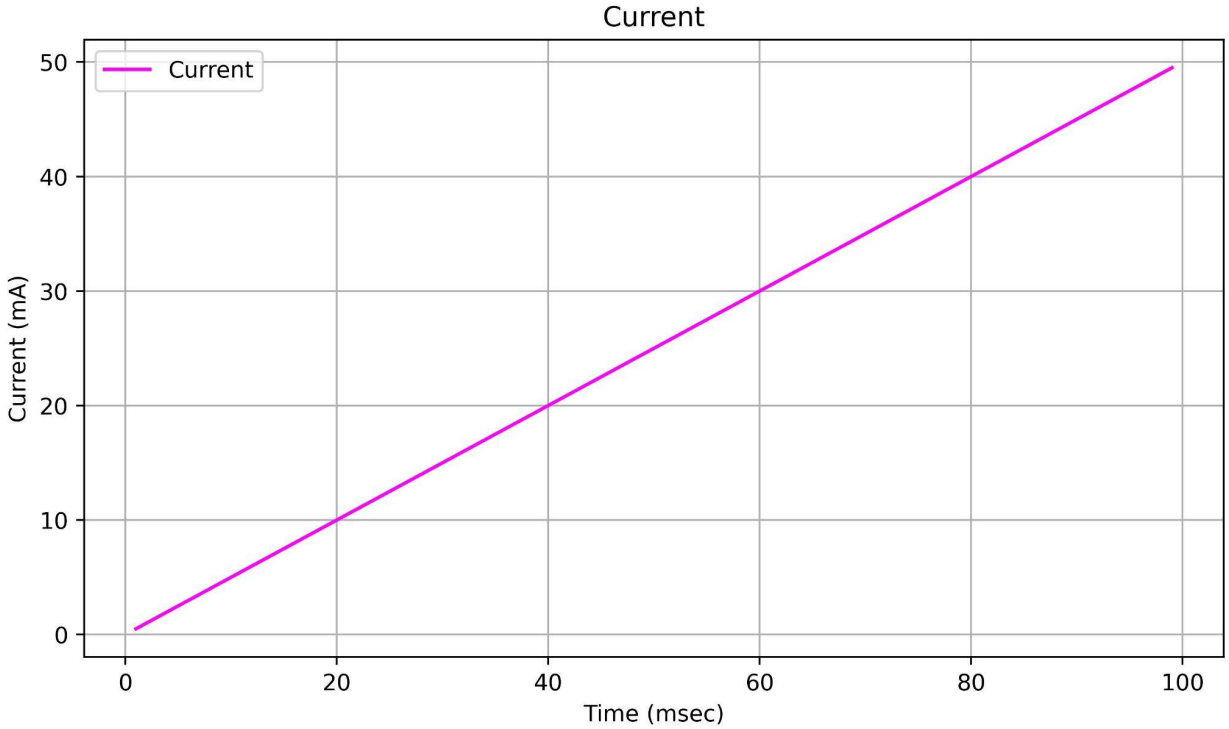
در این مثال با اینکه جریان تصادفی است اما نمودار پتانسیل آن بسیار زیاد به نمودار پتانسیل جریان ثابت شباهت دارد. یکی از دلایل آن هم رنج کم اعداد تصادفی است.

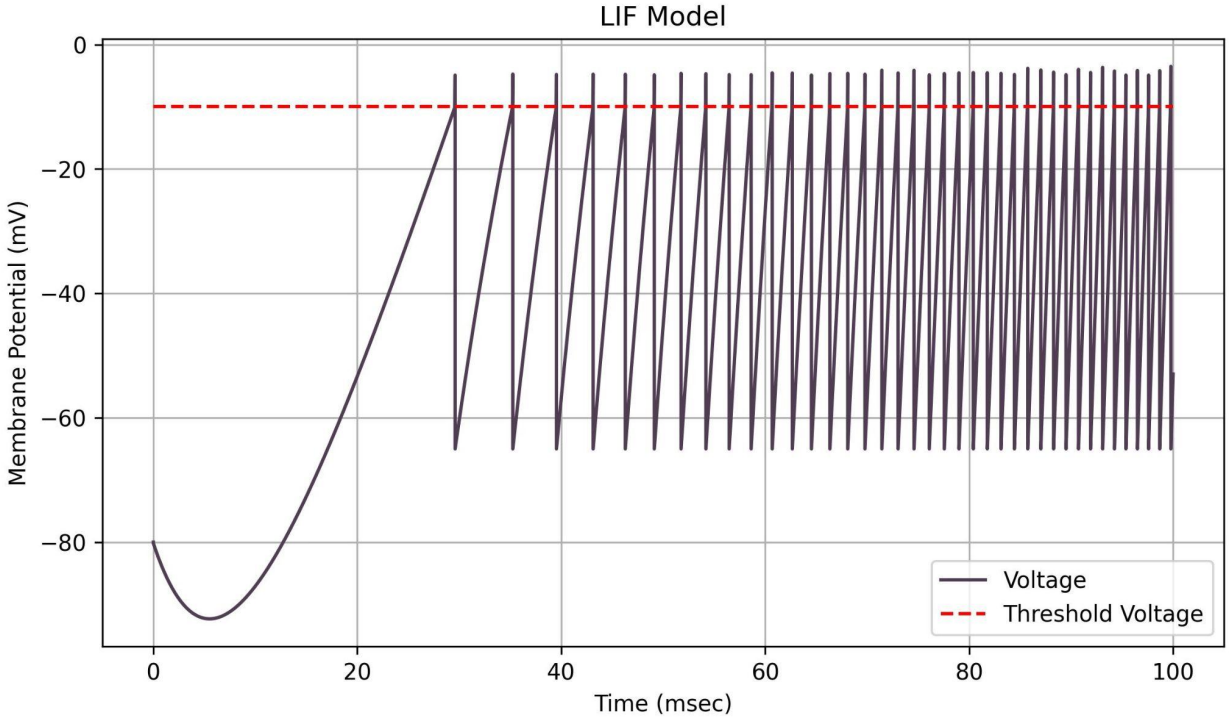




مثال 4: در این مثال با یک جریان ورودی خطی را می دهیم و تنظیمات نورونمان مانند قبل است فقط پتانسیل آستانه 10- و پتانسیل استراحت 120- خواهد بود.

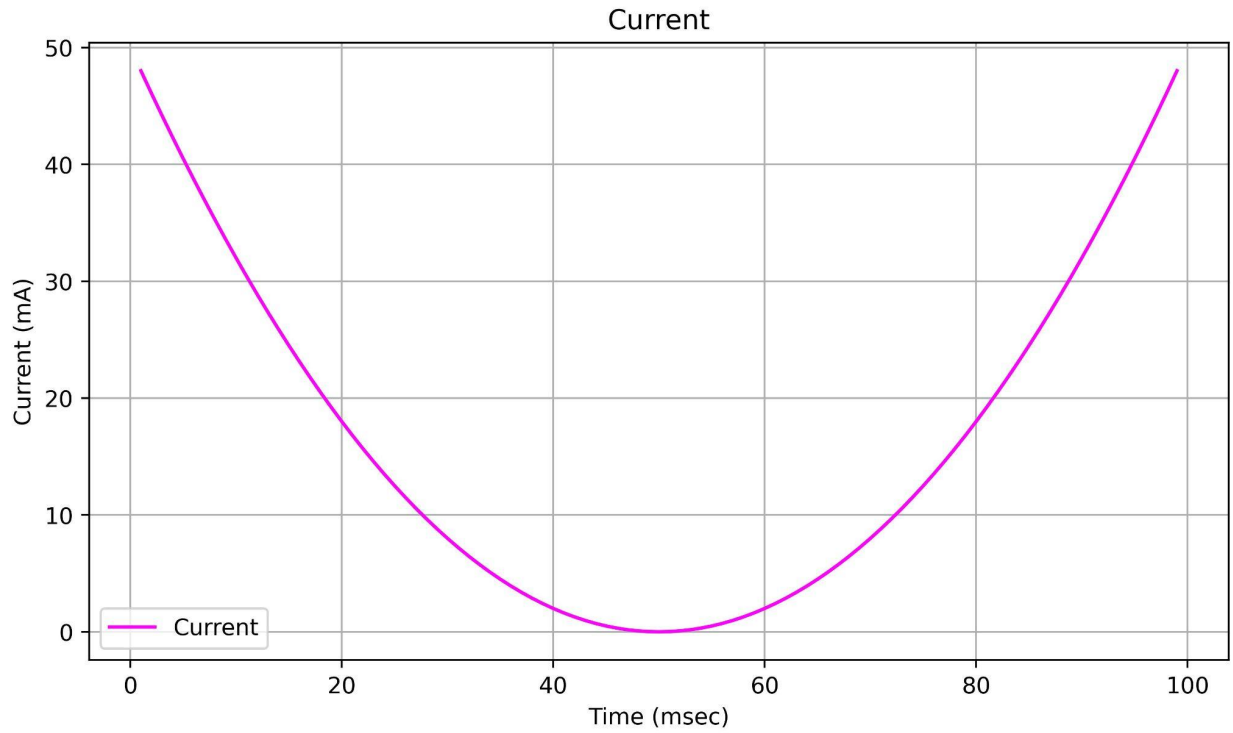
در ابتدا جریان ورودی به نسبت خیلی زیاد نیست و تغییرات پتانسیل منفی است اما به دلیل خطی بودن به مرور با جریان ورودی زیاد شده و این حرکت برعکس می شود همچنین چون هر ثانیه مقدار ورودی افزایش میابد فاصله بین دو spike کم و کمتر می شود.

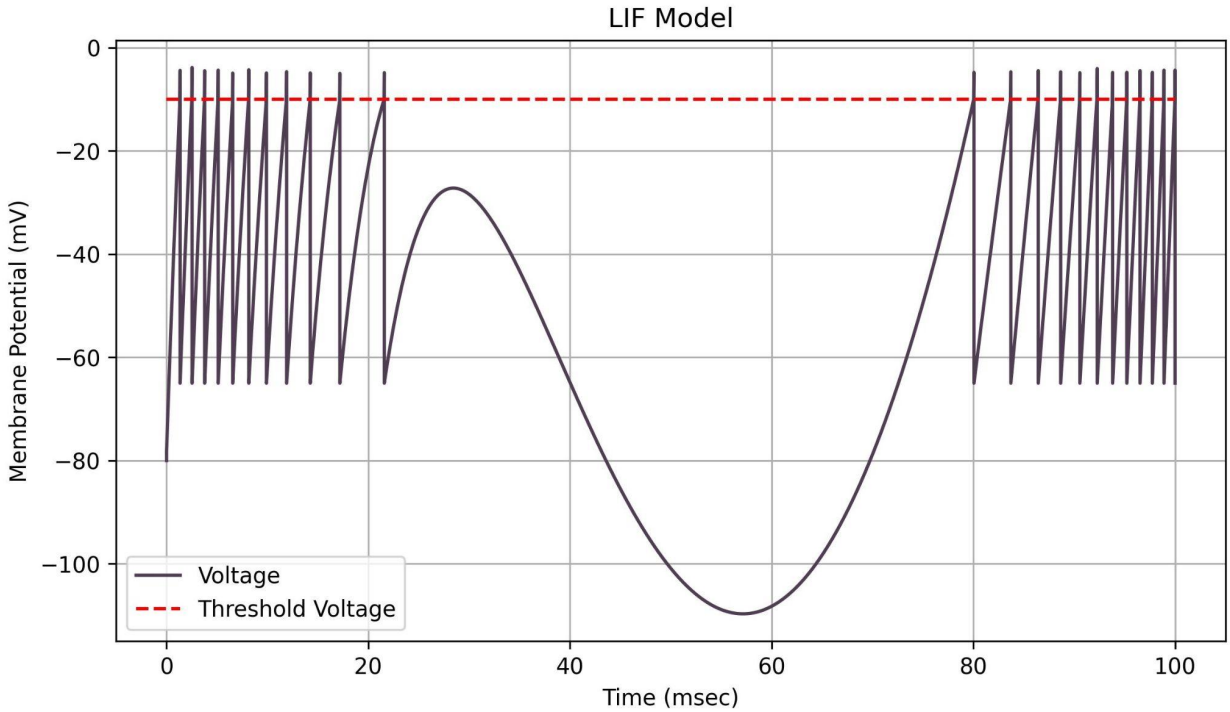




مثال 5: در این مثال جریان ورودی ما سهمی خواهد بود و تنظیمات مدل مانند مثال 4.

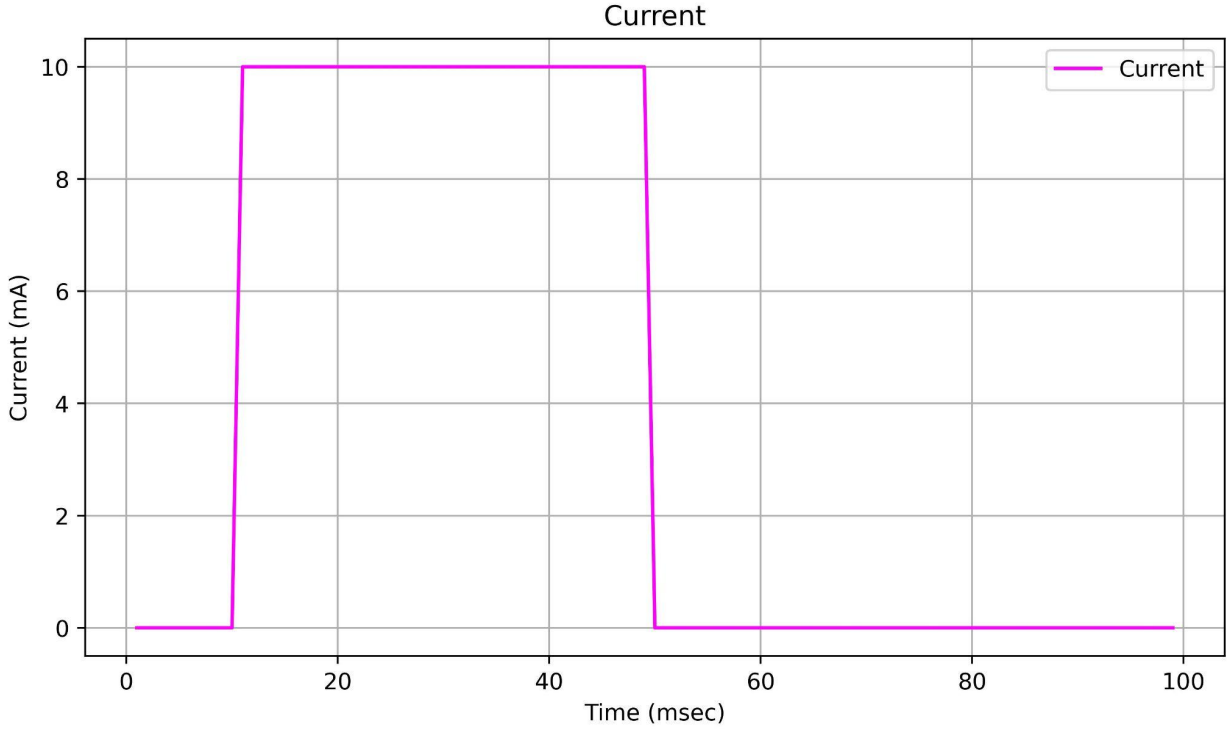
همانطور که مشاهده می شود، در ابتدا چون جریان ورودی ما نزولی است فاصله بین spike ها کمتر می شود تا به نقطه صفر تابع ورودی می رسد و از آنجا به بعد فاصله spike ها بیشتر می شود.

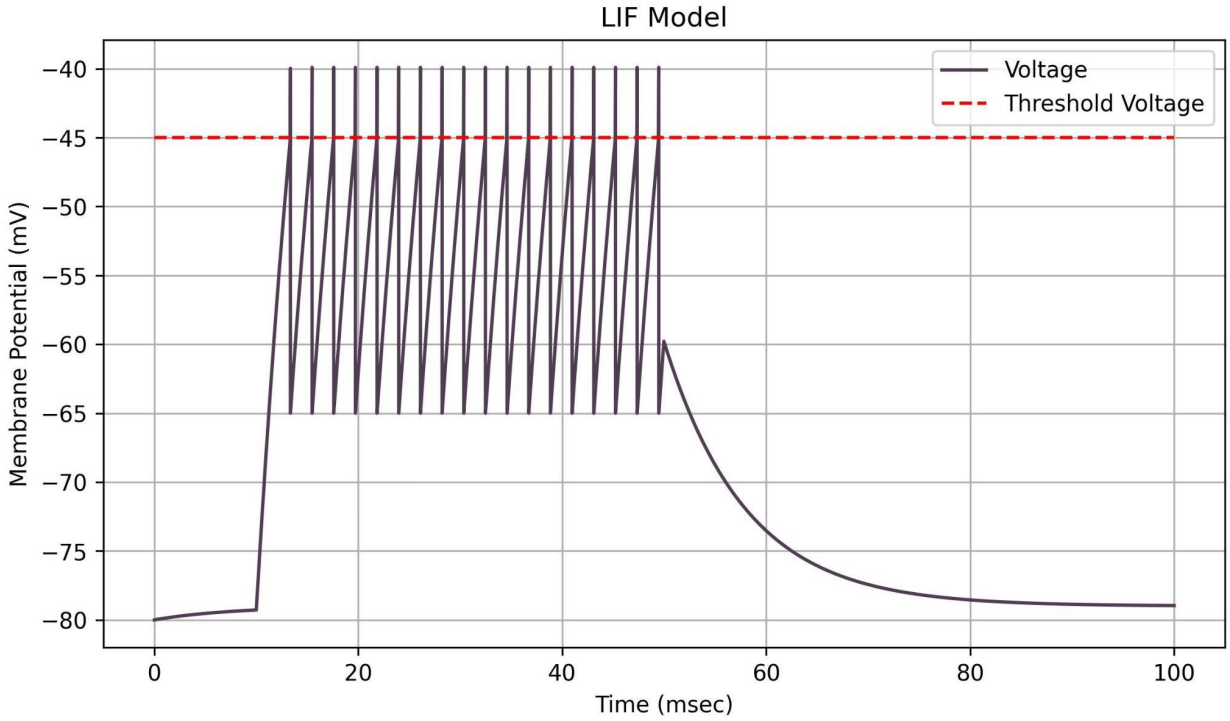




مثال 6: اینبار یک جریان ورودی پله ای را میدهیم که در بازی زمانی 10 تا 50 برابر 10 خواهد بود.

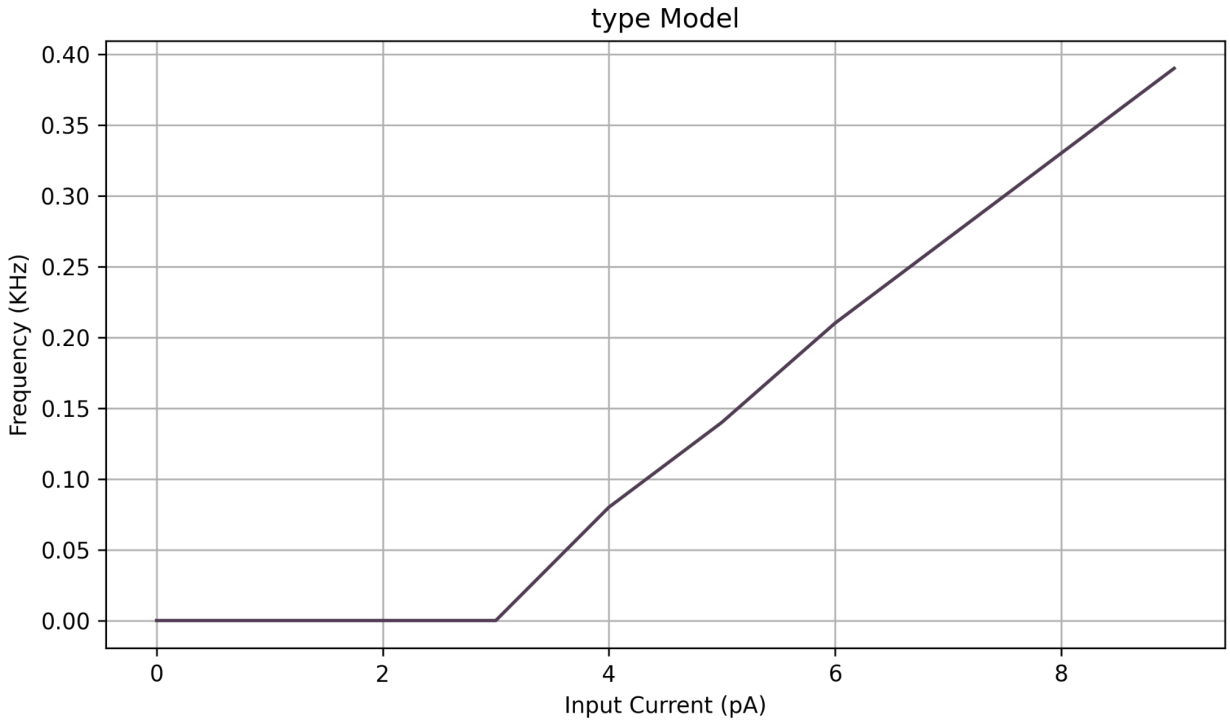
ابتدا می بینیم که شیب بسیار کمی دارد تا به ثانیه 10 می رسد و تا ثانیه 50 مانند یک تابع ثابت برخورد می کند و از آنجا به بعد چون دوباره جریان ورودی صفر می شود به نزدیکی پتانسیل شروع بر می گردد.





تابع frequency:

همانطور که مشاهده می شود در جریان های پایین ما spike ای نداریم اما از جریان 3_{pA} است که spike رخ می دهد و رفته رفته تعداد آن بیشتر می شود. این اتفاق در مثال 4 هم تا حدودی قابل مشاهده است.



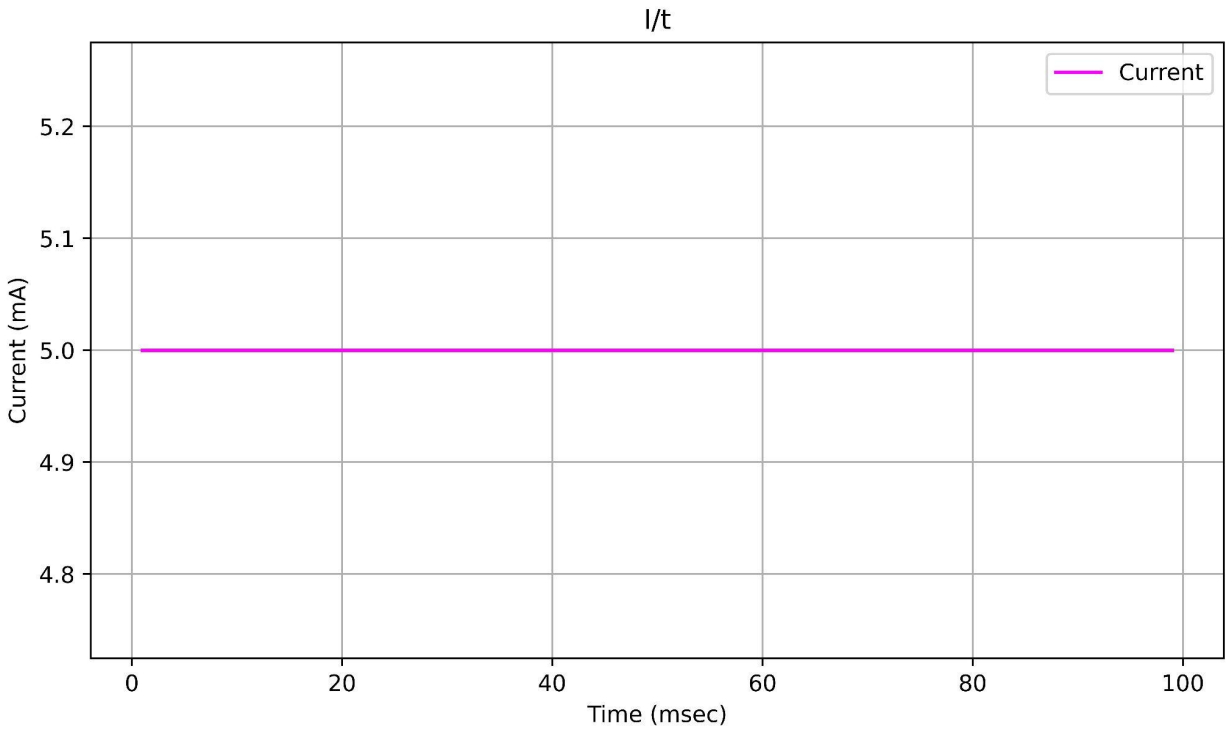
مدل ALIF

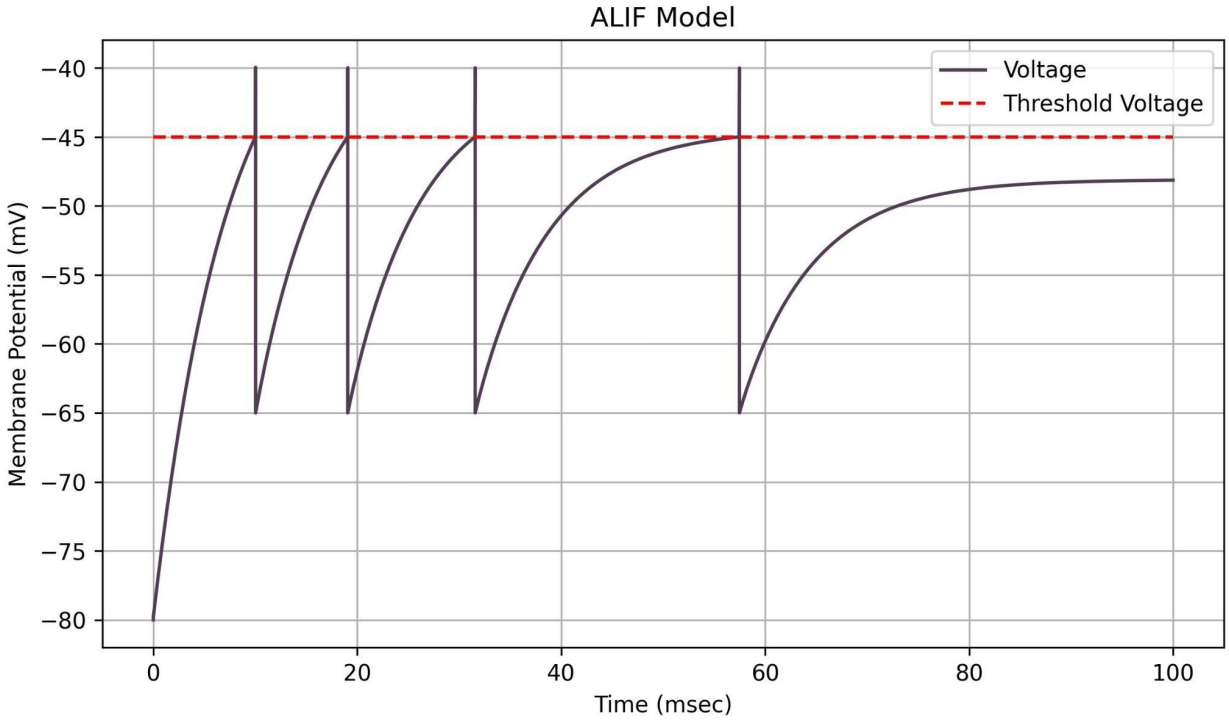
تنظیمات مدل:

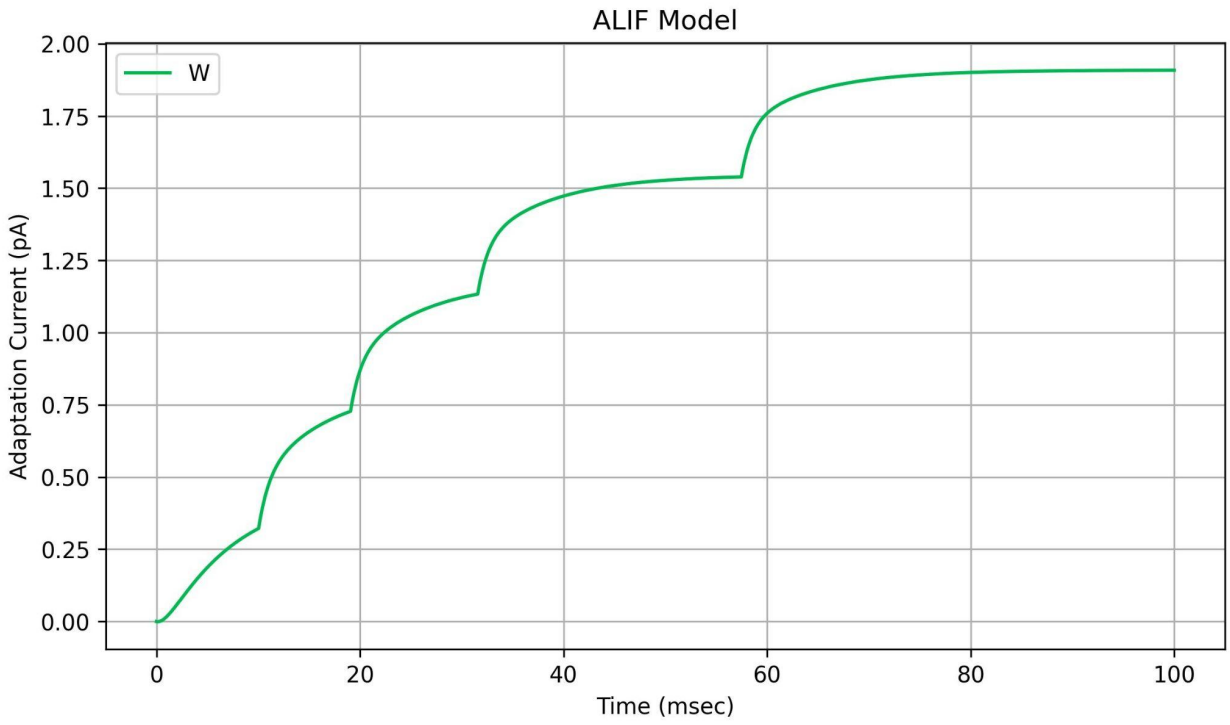
time_total = 100
dt = 0.03125
R = 10
Tau_m = 8
V_start = -80
V_treshold = -45
V_spike = 5
V_rest = -79
V_reset = -65
a = 0.01
b = 0.4
Tau_w = 1

مثال 1: در این مثال جریان ورودی ثابت 5 را به مدل می دهیم.

این بار بر خلاف LIF مدل پتانسیل را ذخیره و حفظ میکند و ما spike های کمتری نسبت به مدل LIF داریم و فاصله spike ها هم بیشتر و بیشتر می شود. w هم در این مثال بعد از هر spike یه جهش دارد و به مرور تا spike بعدی شیب اش کمتر می شود.

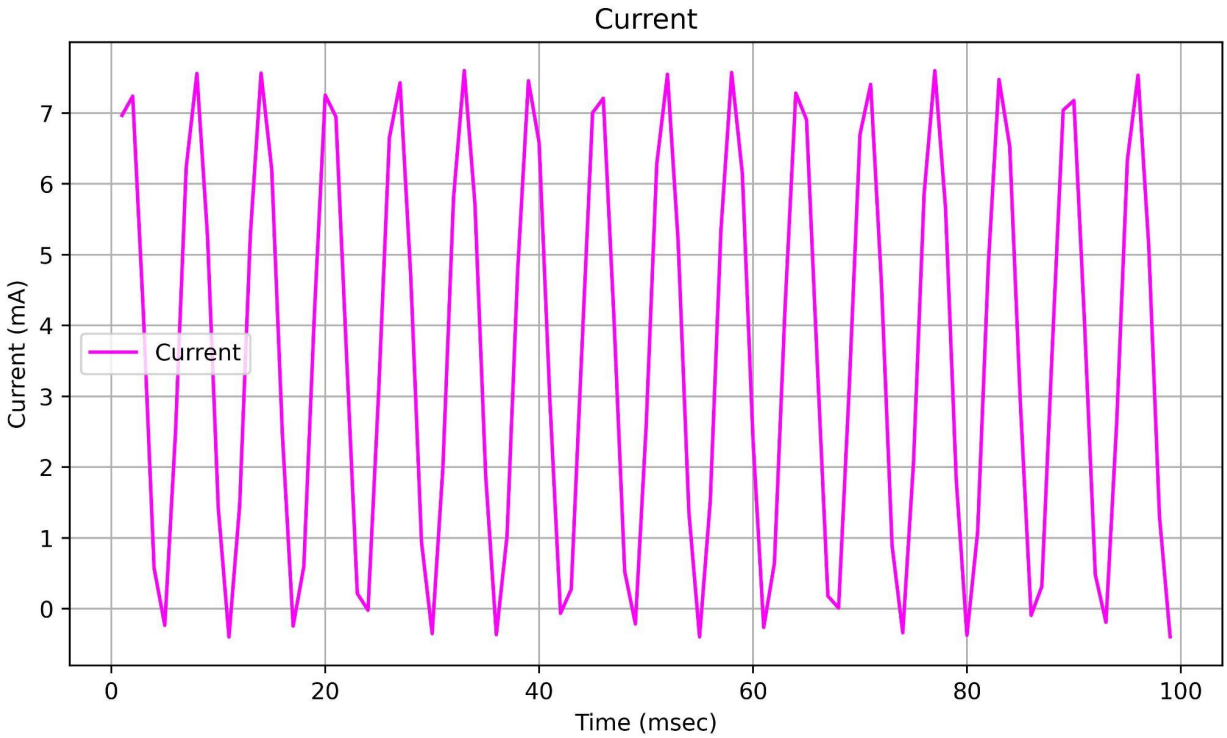


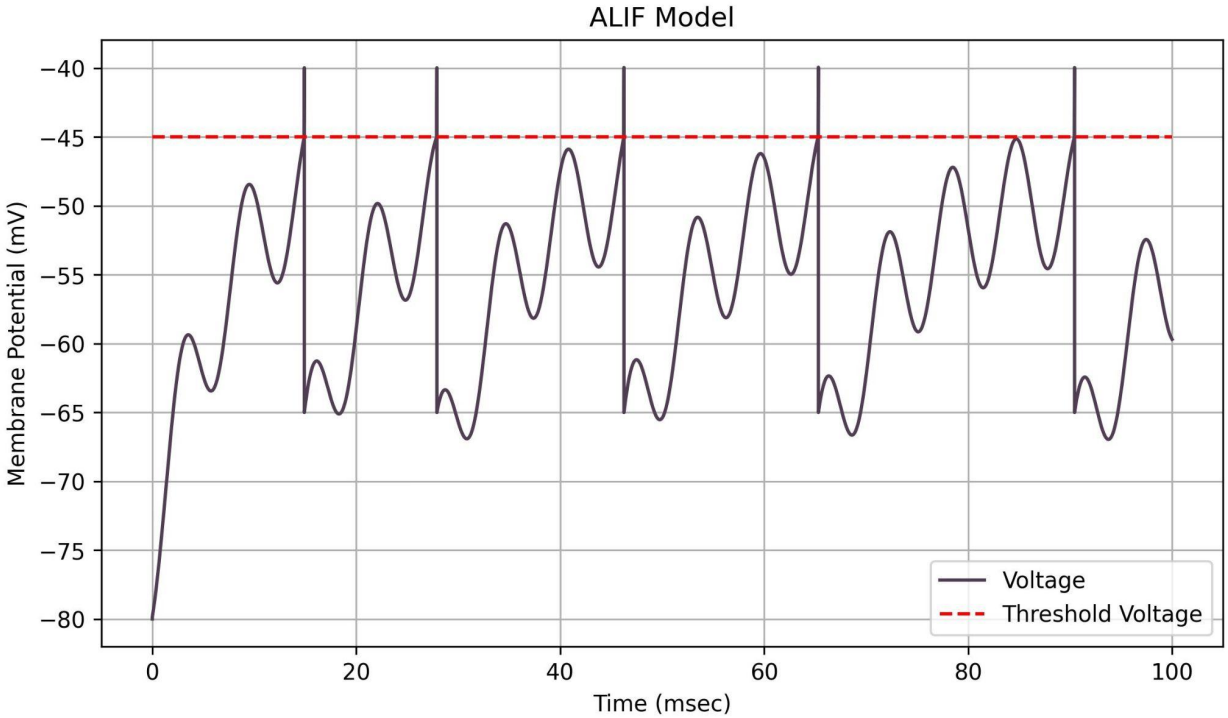


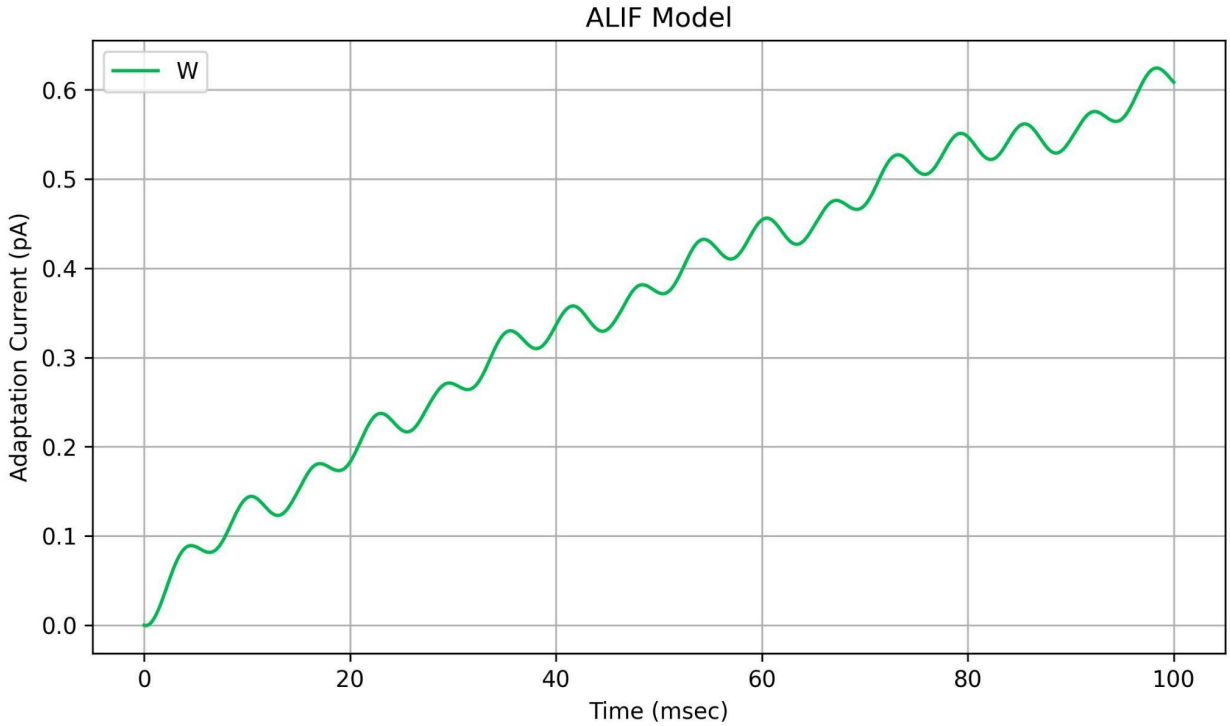


مثال2: در این مثال جریان ورودی سینوسی را می دهیم و تنظیمات مدل هم مانند قبل است فقط a برابر0.005 است و b برابر 0.01 .

در این مثال به دلیل کم بودن a و b فاصله و زمان spike ها نسبت به هم کمتر است و spike های بیشتری را در این بازه زمانی داریم. نمودار w هم به مثال قبل شبیه است اما به دلیل سینوسی بودن جریان ورودی سینوسی شکل صعود می کند. همین امر باعث شده فاصله هر spike همانطور که انتظار می رود بیشتر شود.

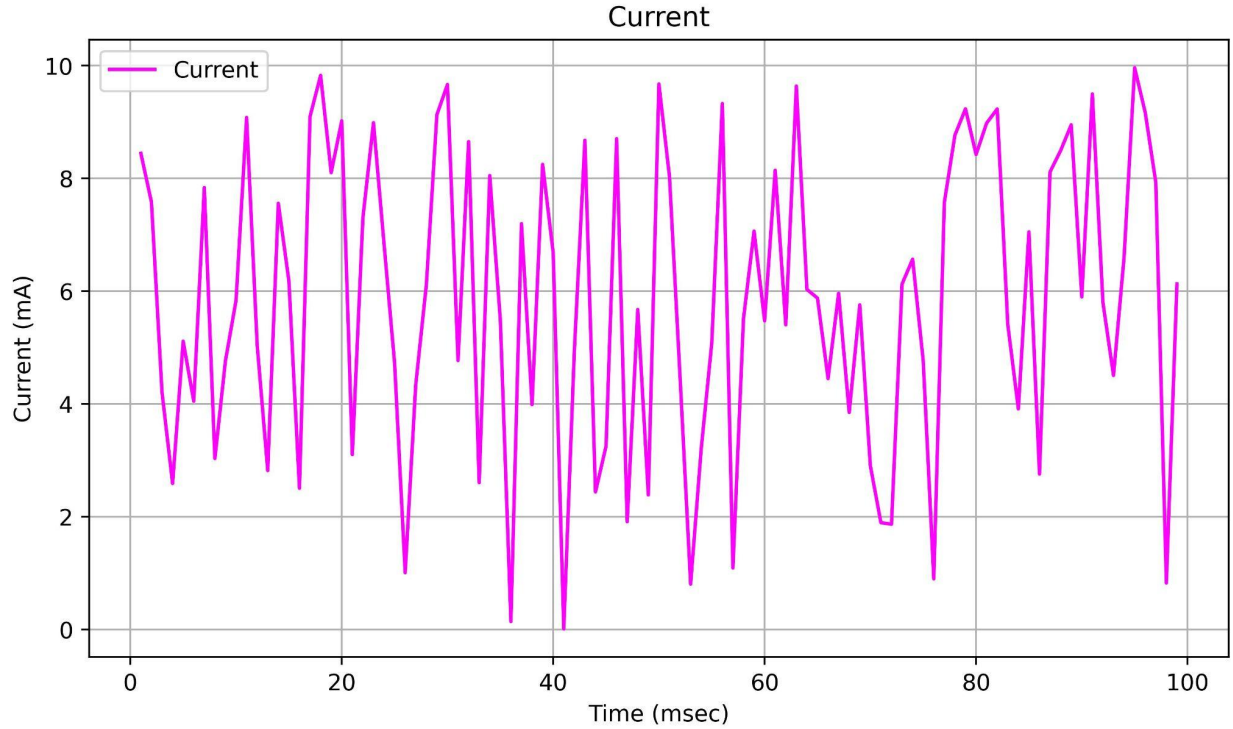

Current
Current (mA)
Current
Time (msec)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
20
40
60
80
100

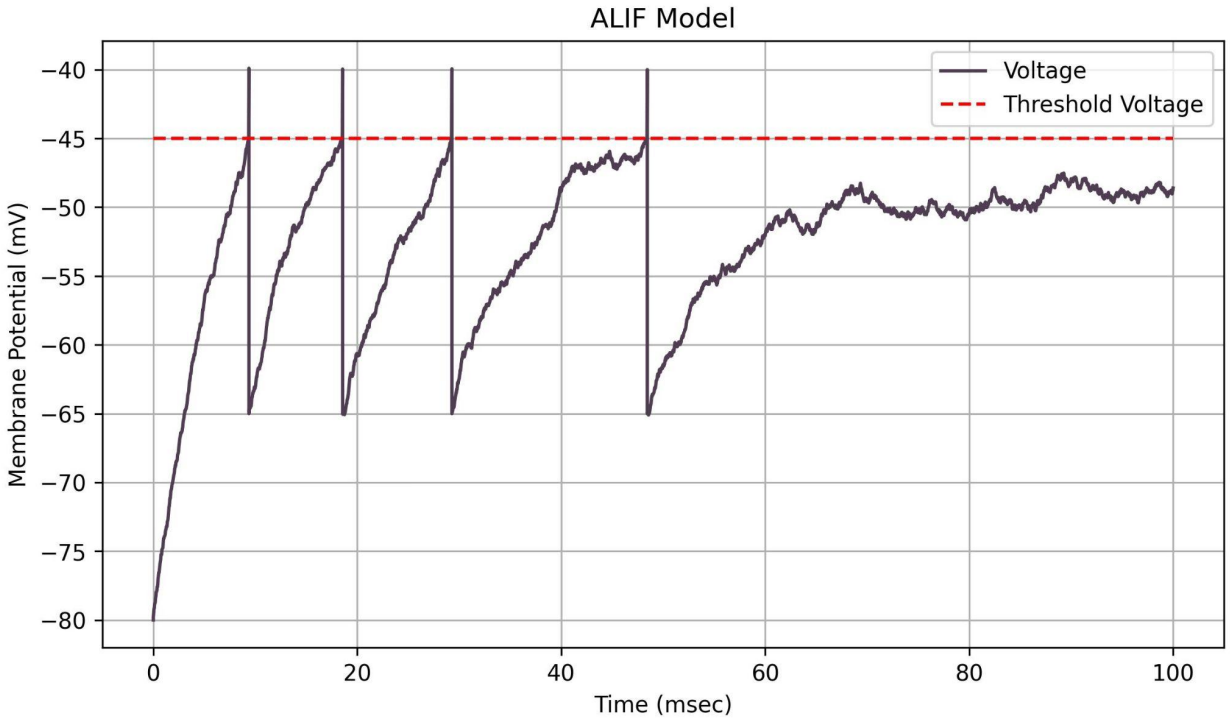

ALIF Model
Membrane Potential (mV)
Voltage
Threshold Voltage
Time (msec)
−40
−45
−50
−55
−60
−65
−70
−75
−80
0
20
40
60
80
100

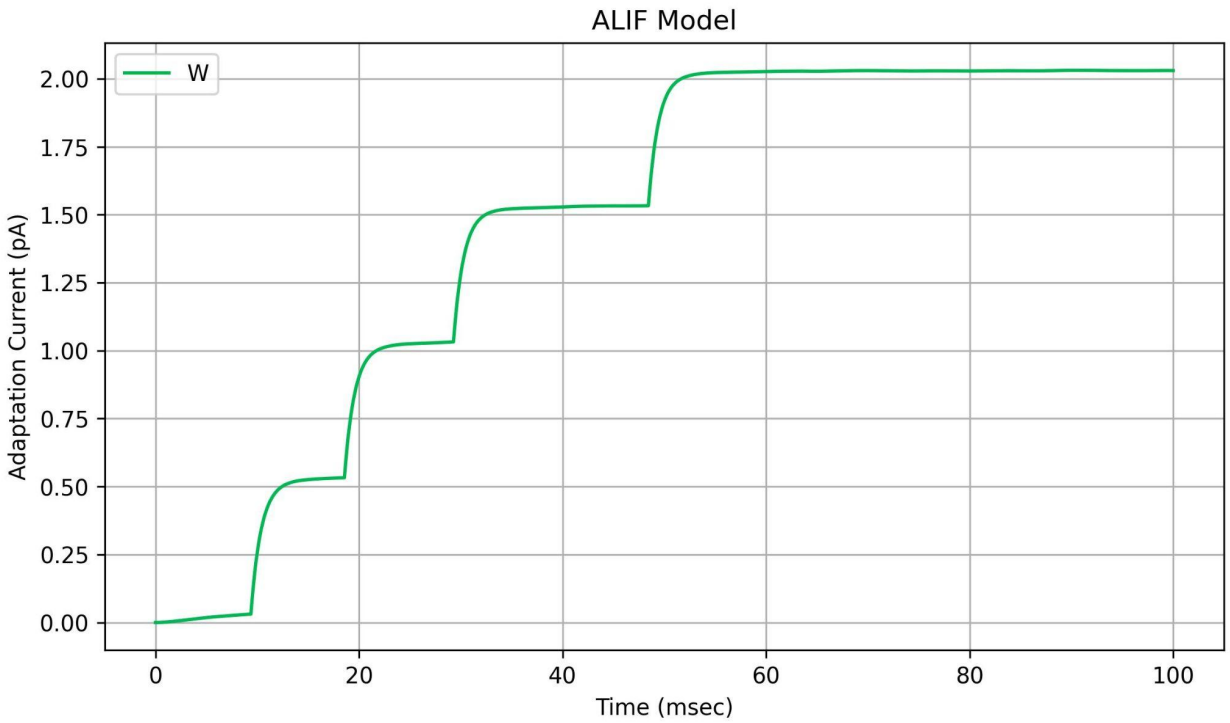


مثال 3: در این مثال ورودی ما به صورت تصادفی است و a = 0.001 و b = 0.5 خواهند بود.

این مثال هم مانند آنچه در LIF دیدیم شباهت زیادی به نمودار پتانسیل در مثال ALIF 1 دارد و بعد از هر spike مقداری از پتانسیل خود را ذخیره میکند. همچنین نمودار w آن هم مانند مثال 1 است که در هر spike یک جهش کوچک دارد و بعد از آن شیبش کمتر می شود.

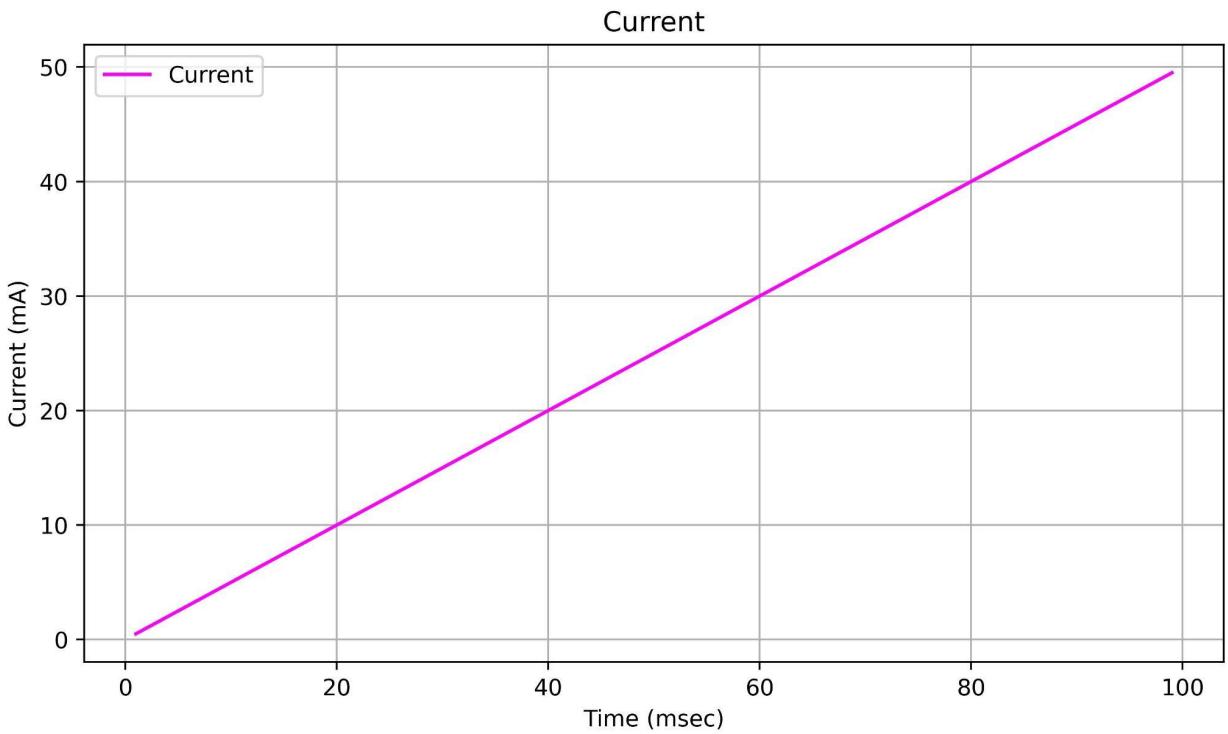


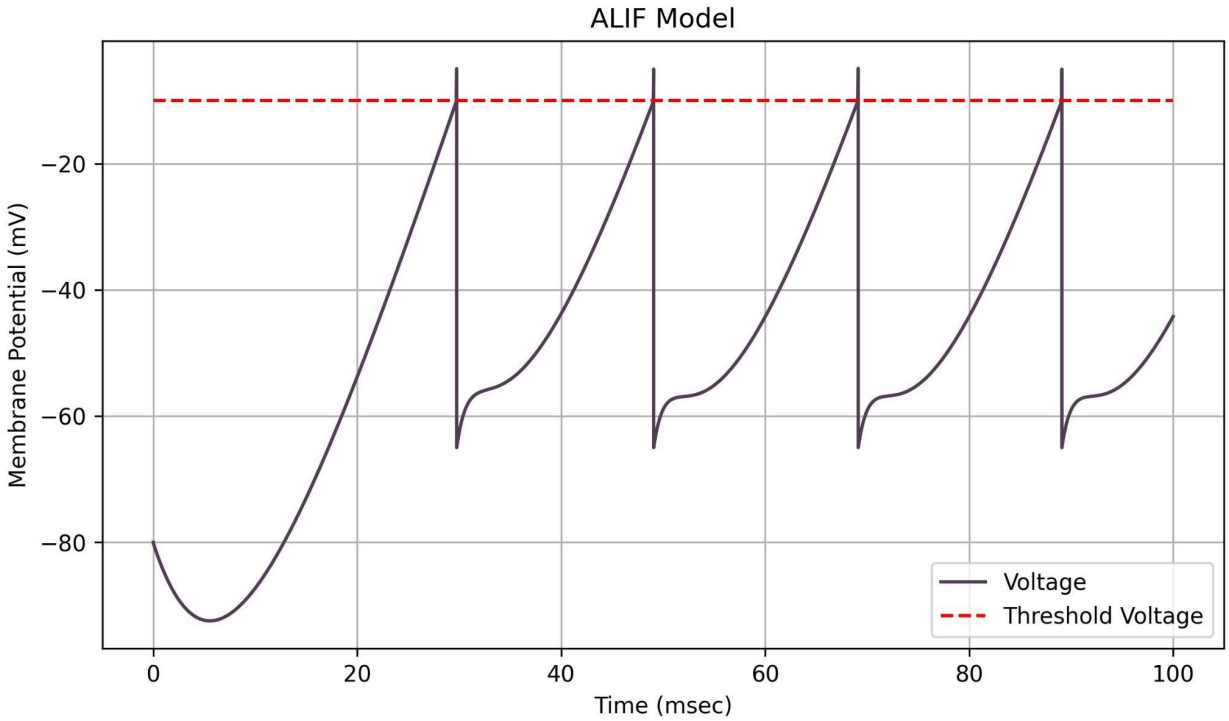

ALIF Model
Voltage
Threshold Voltage
Membrane Potential (mV)
−40
−45
−50
−55
−60
−65
−70
−75
−80
0
20
40
60
80
100
Time (msec)

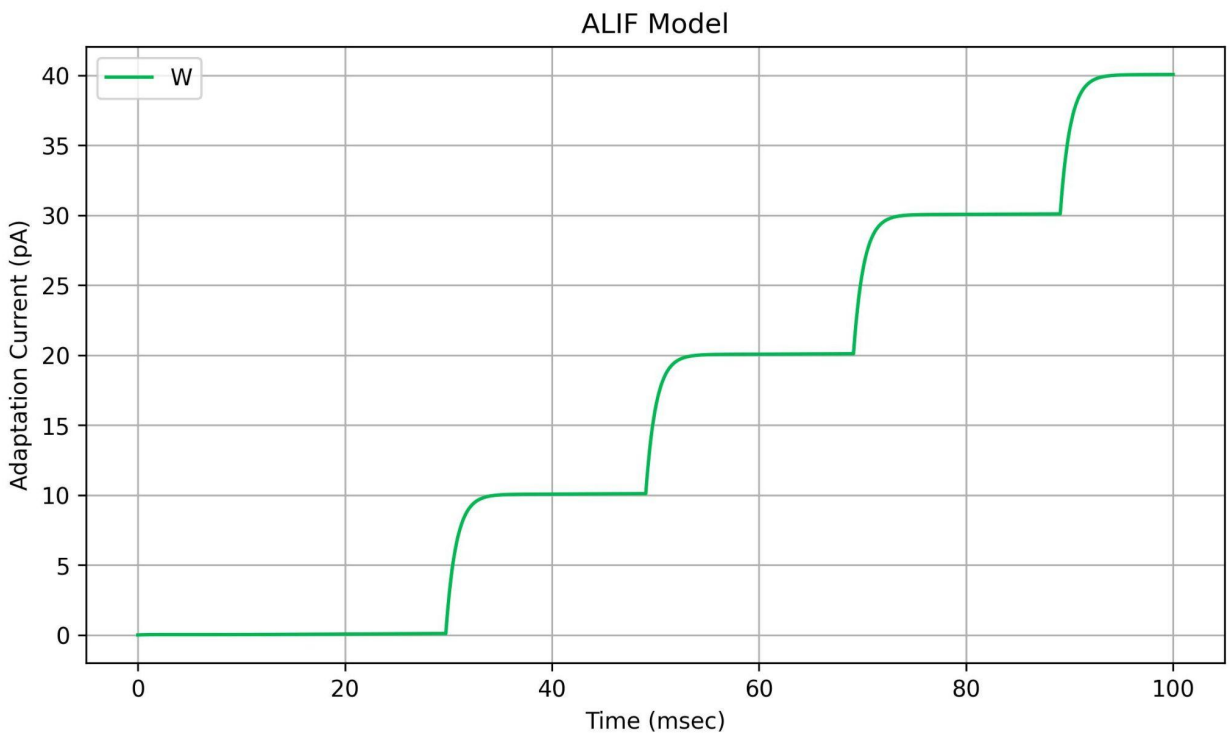

ALIF Model
W
Adaptation Current (pA)
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
0
20
40
60
80
100
Time (msec)

مثال 4: ورودی خطی را با V_rest=-120, V_treshold=-10., a=0.001, b=10 به نورون خود می دهیم.

نمودار پتانسیل آن مانند نورون LIF ابتدایی نزولی است و بعد صعودی می شود. اما نقطه قابل توجه این است که برخلاف LIF که تراکم spike آن به مرور به دلیل افزایش خطی جریان بیشتر می شد در اینجا به دلیل ذخیره پتانسیل و adaptive بودن نورون این مسئله را مدیریت کرده و فاصله spike ها مساوی است. در نمودار w این مسئله واضح تر دیده می شود و بعد هر spike پله ای به adaptation value اضافه می شود تا فاصله ها یکسان باقی بماند.

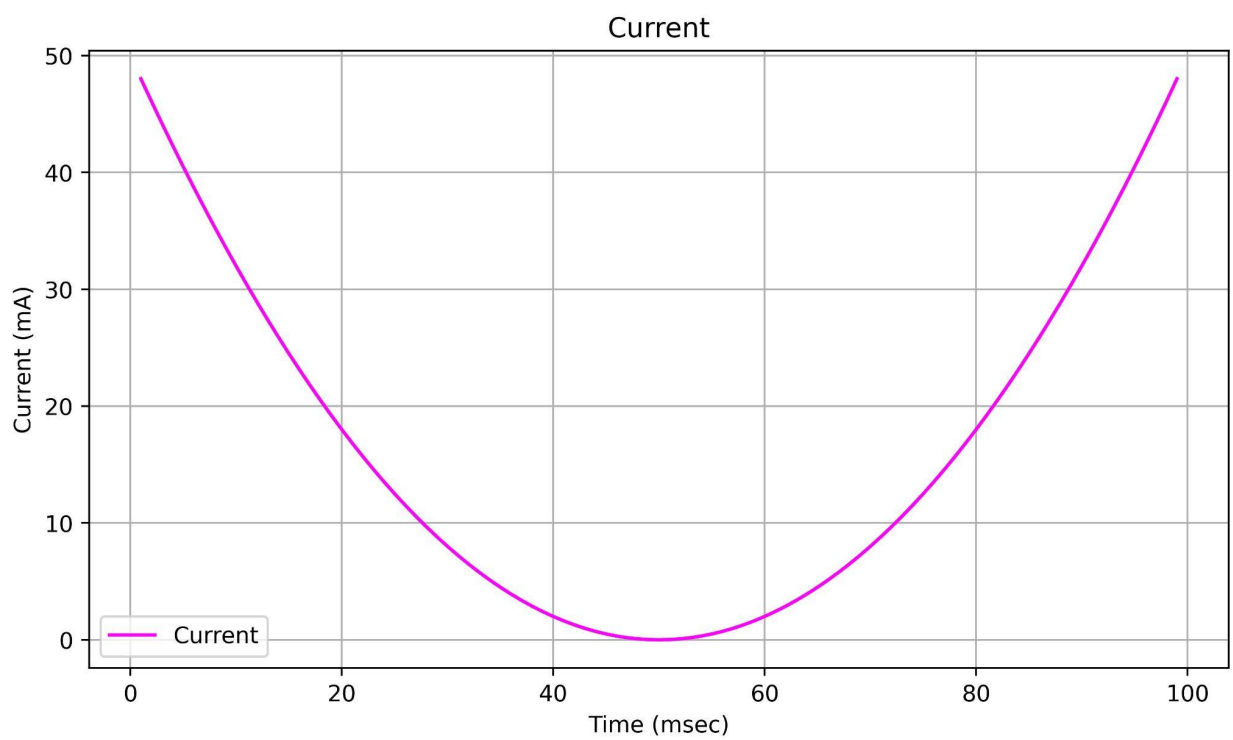


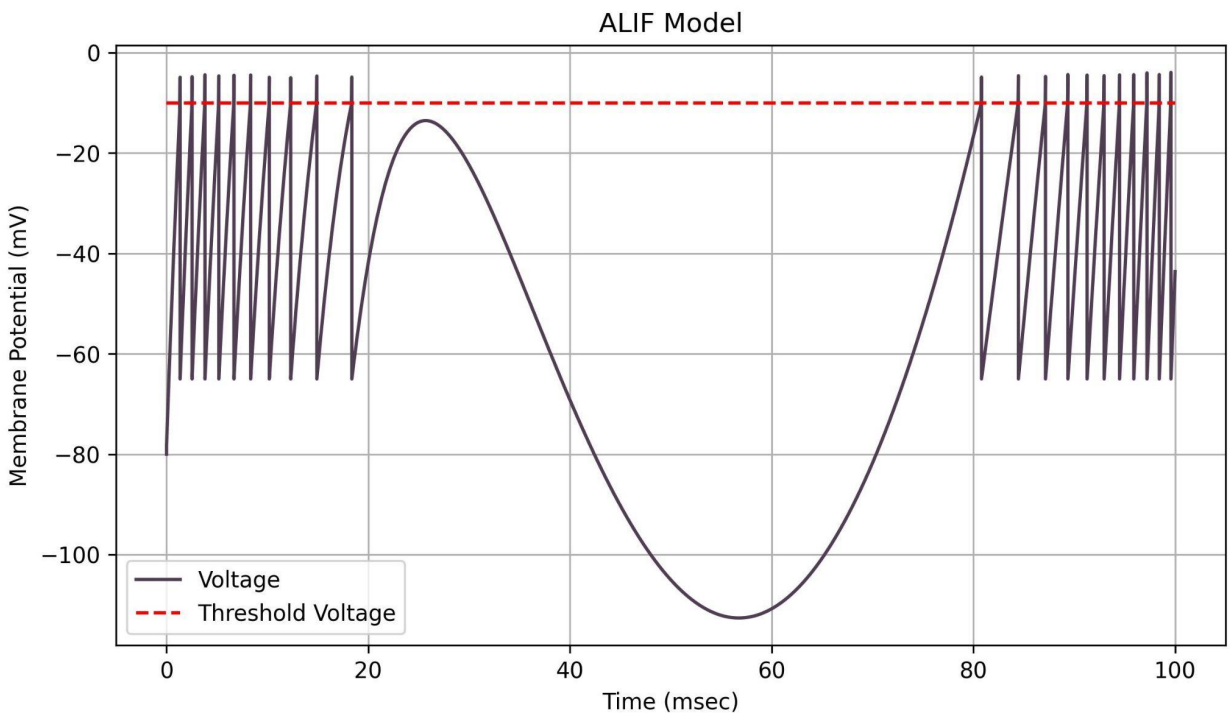


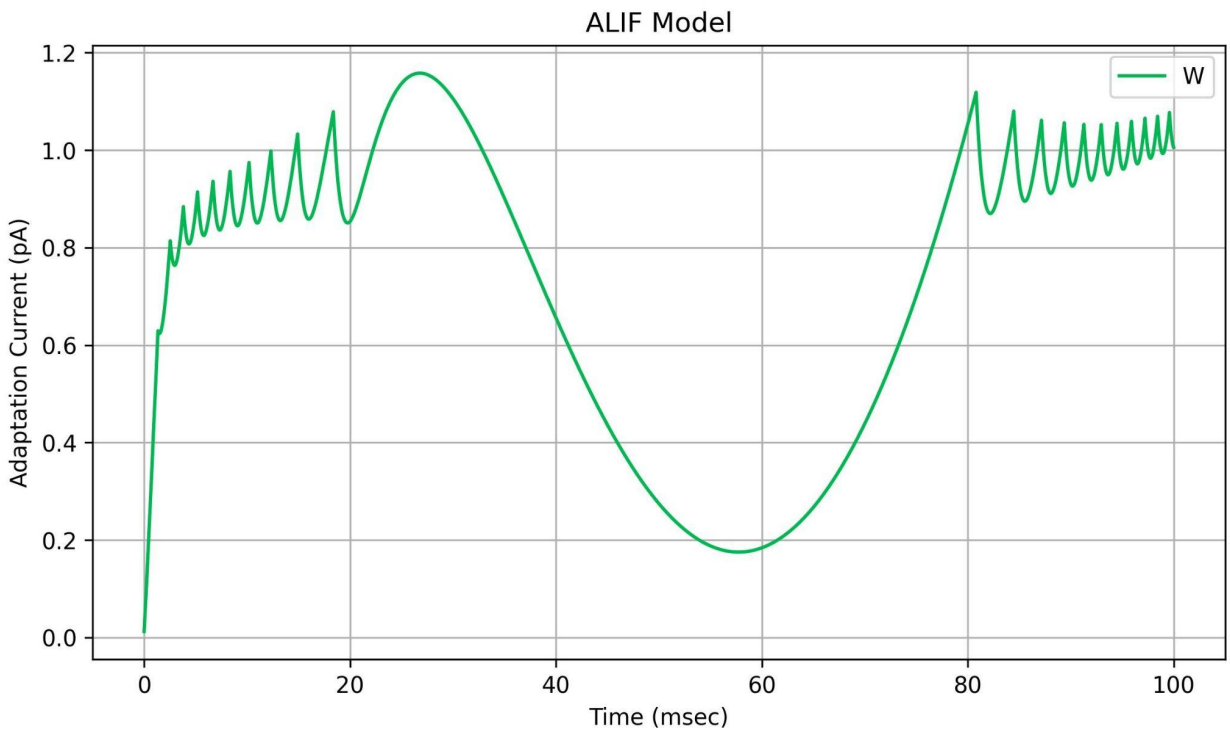


مثال 5: در این مثال یک جریان ورودی سهمی را به مدل خود می دهیم a=0.01, V_rest=-120 V_treshold=-10, b=0.01

در این مثال شباهت زیادی به مدل LIF آن دارد که یکی از دلایل آن کوچک بودن مقدار a و b است. نمودار w آن در سمتی که نمودار جریان نزولی است بعد هر spike مقدار آن افزایش پیدا می کند و در سمت صعودی آن این امر معکوس اتفاق می افتد.

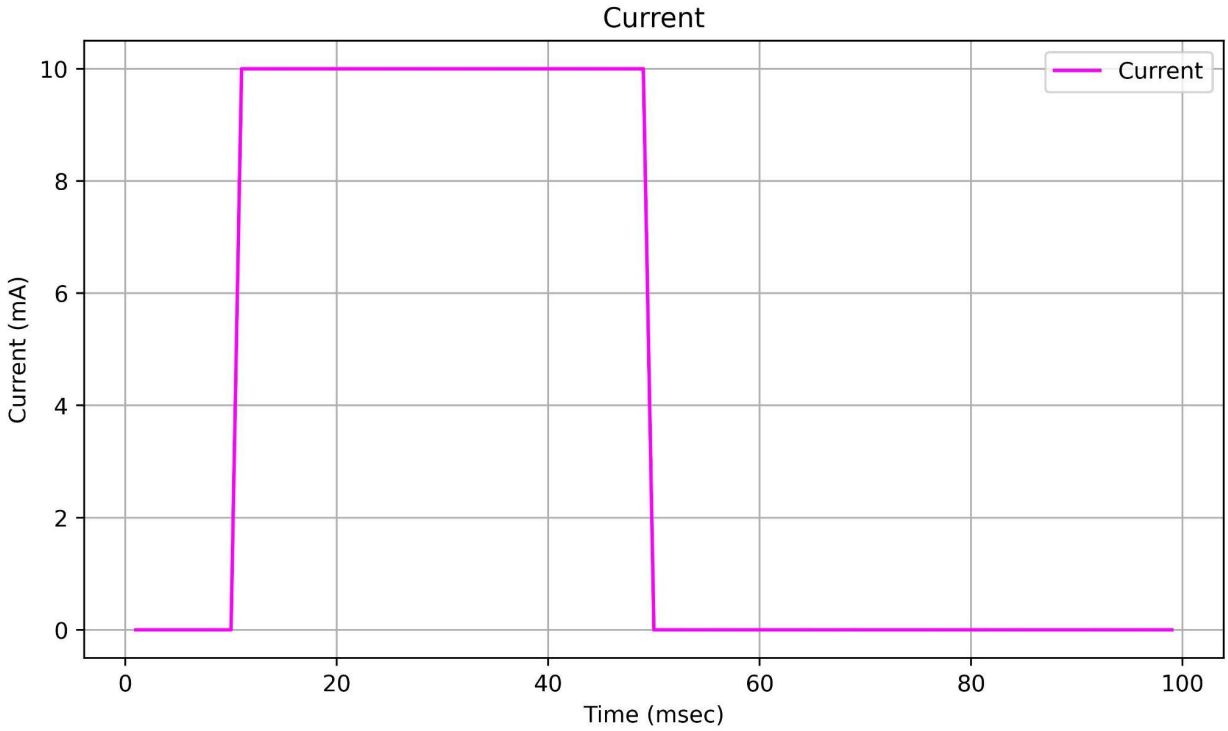


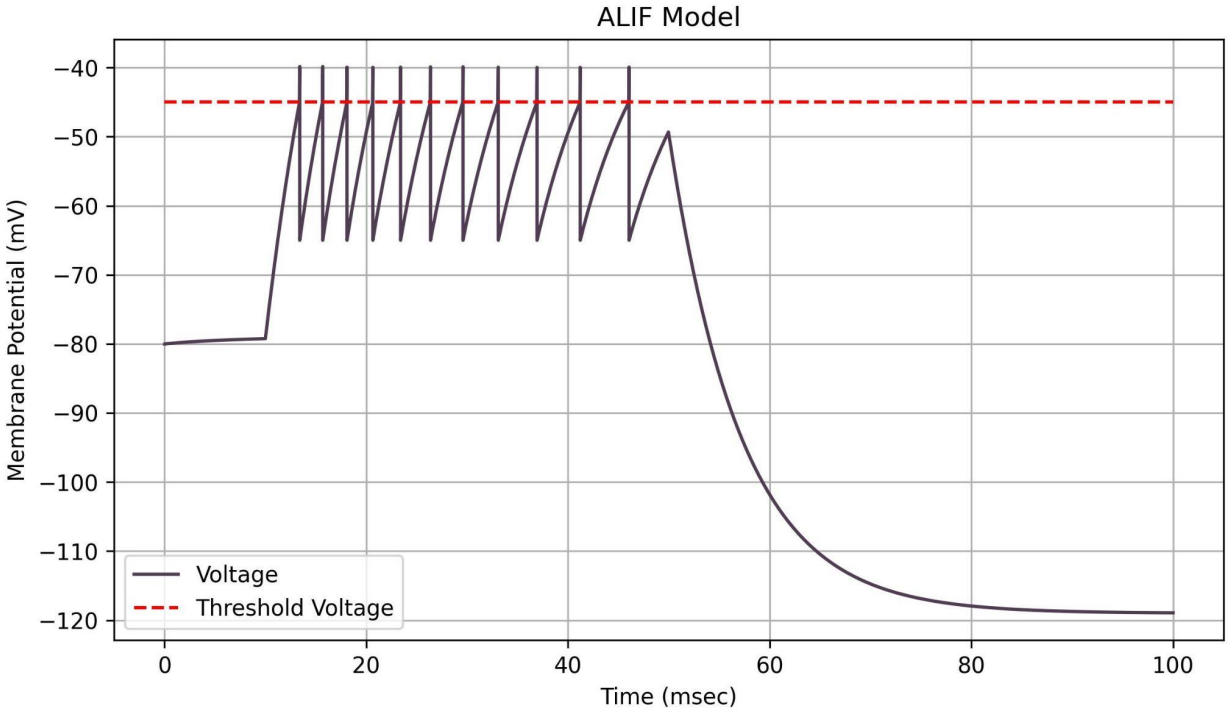

ALIF Model
Membrane Potential (mV)
Time (msec)
Voltage
Threshold Voltage
0
−20
−40
−60
−80
−100
0
20
40
60
80
100

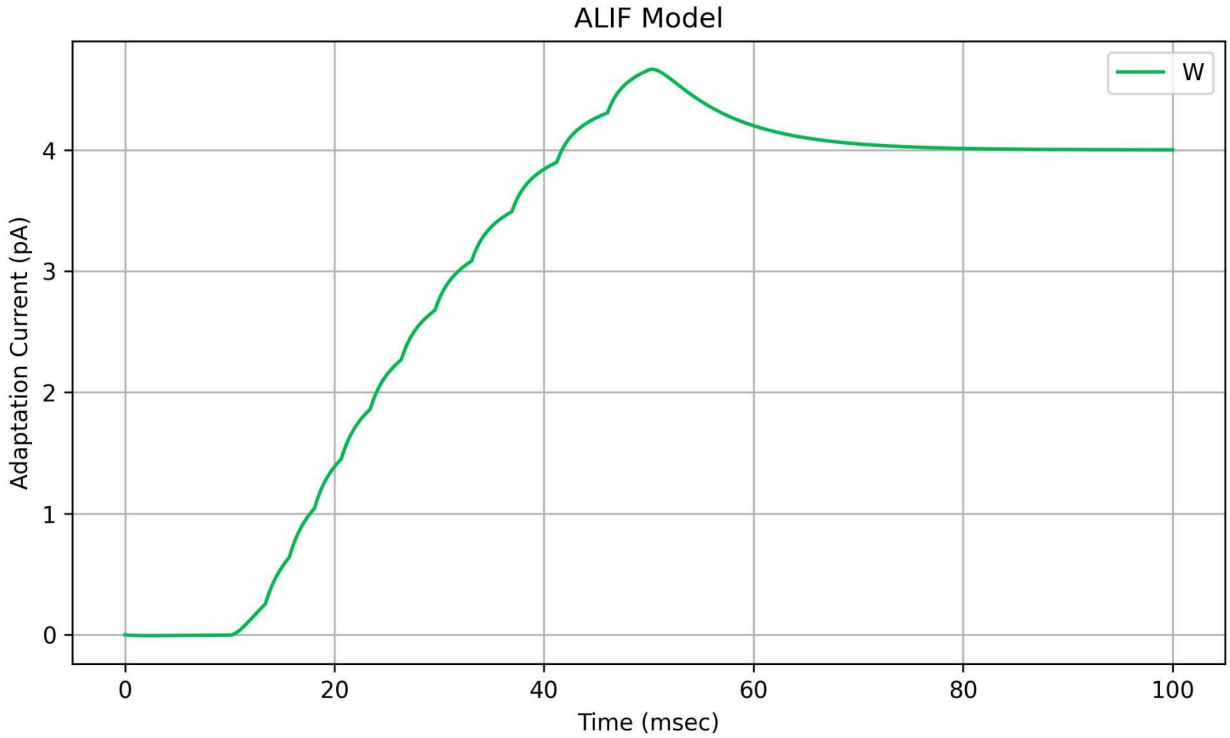

ALIF Model
Adaptation Current (pA)
Time (msec)
W
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0
20
40
60
80
100

مثال 6: جریان ورودی پله ای با تنظیمات مثال 1

این مثال هم شباهت زیادی به LIF آن دارد با این تفاوت که بعد از ثانیه 50، بیشتر از مدل LIF پتانسیل آن پایین می آید. همچنین W آن هم همانطور که انتظار می رود بعد از افزایش شدید بین ثانیه 10 تا 50 به دلیل افزایش جریان ورودی اتفاق می افتد اما بعد از آن مقدارش ثابت در همان محدوده 50 ثانیه باقی می ماند.

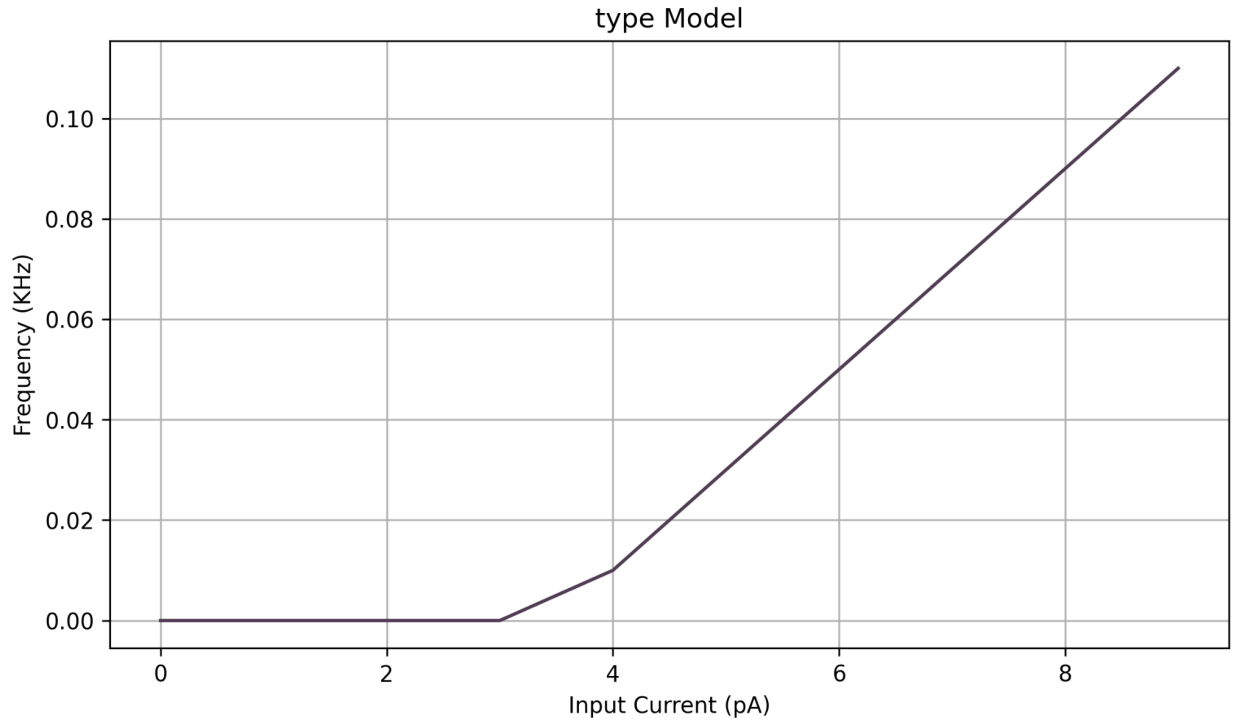






نمودار frequency:

این نمودار هم مانند نمودار LIF است اما به دلیل adaptive بودن تعداد spike ها را کنترل می کند و فرکانس آن کمتر است.



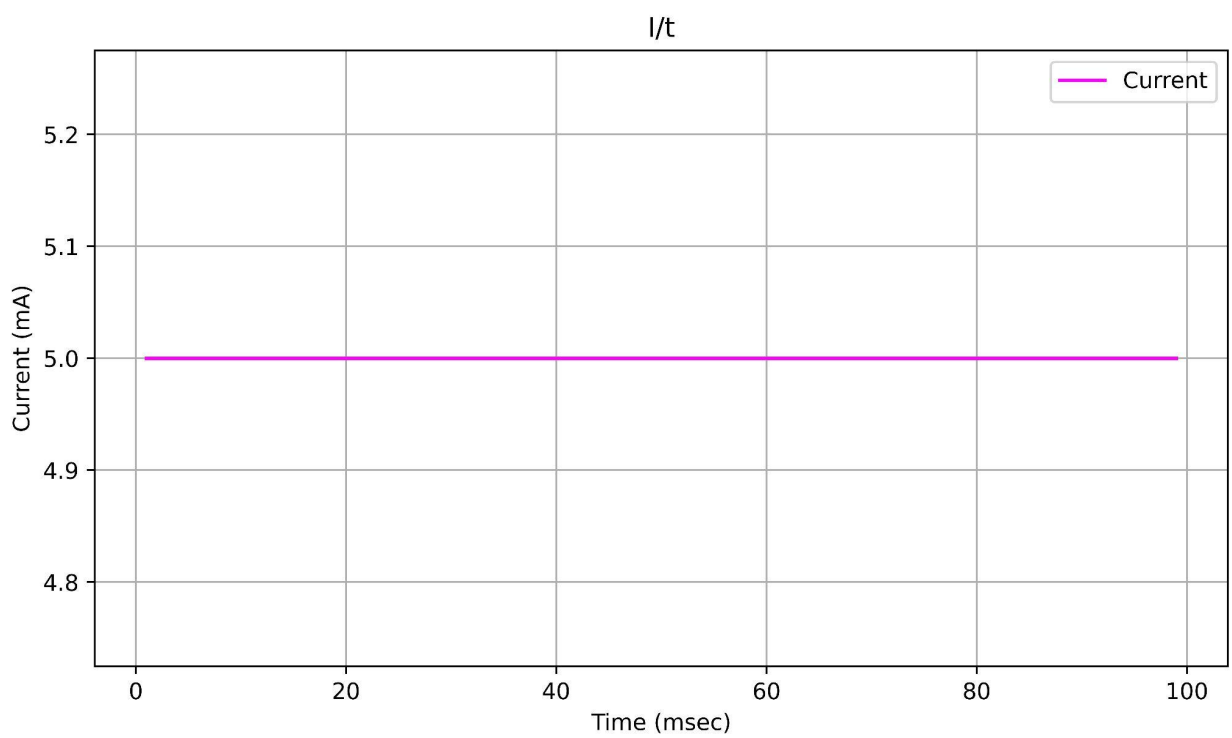
مدل AELIF

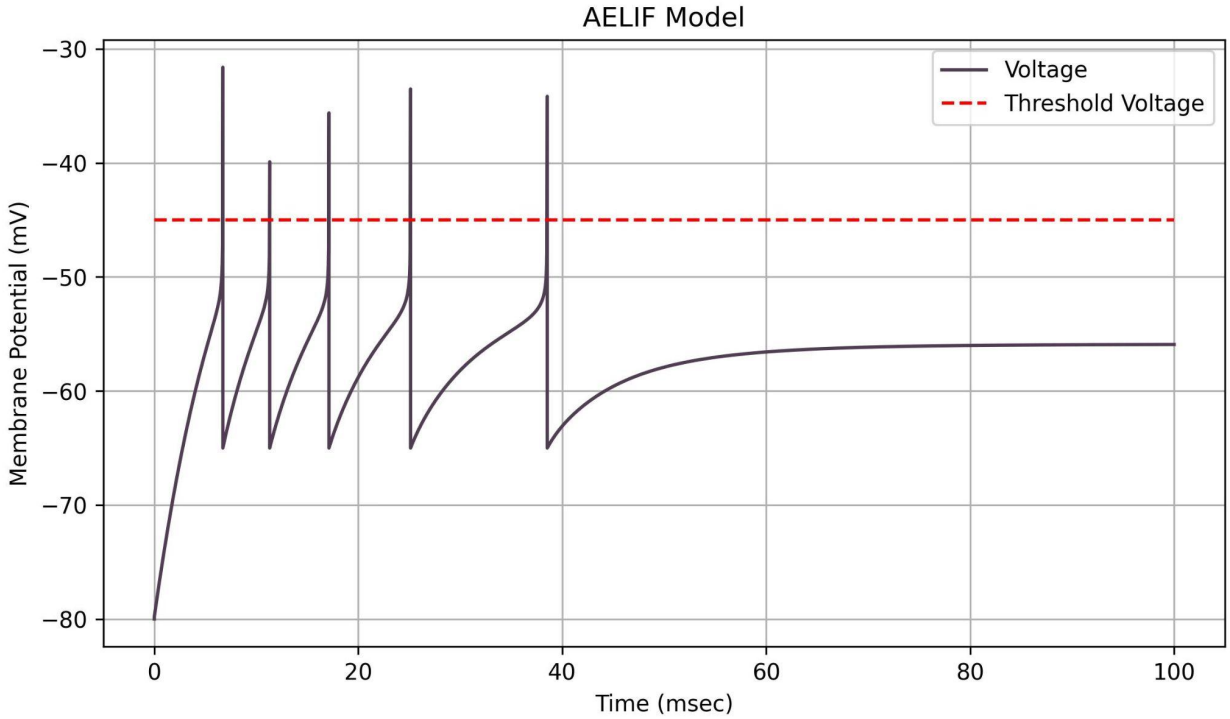
تنظیمات:

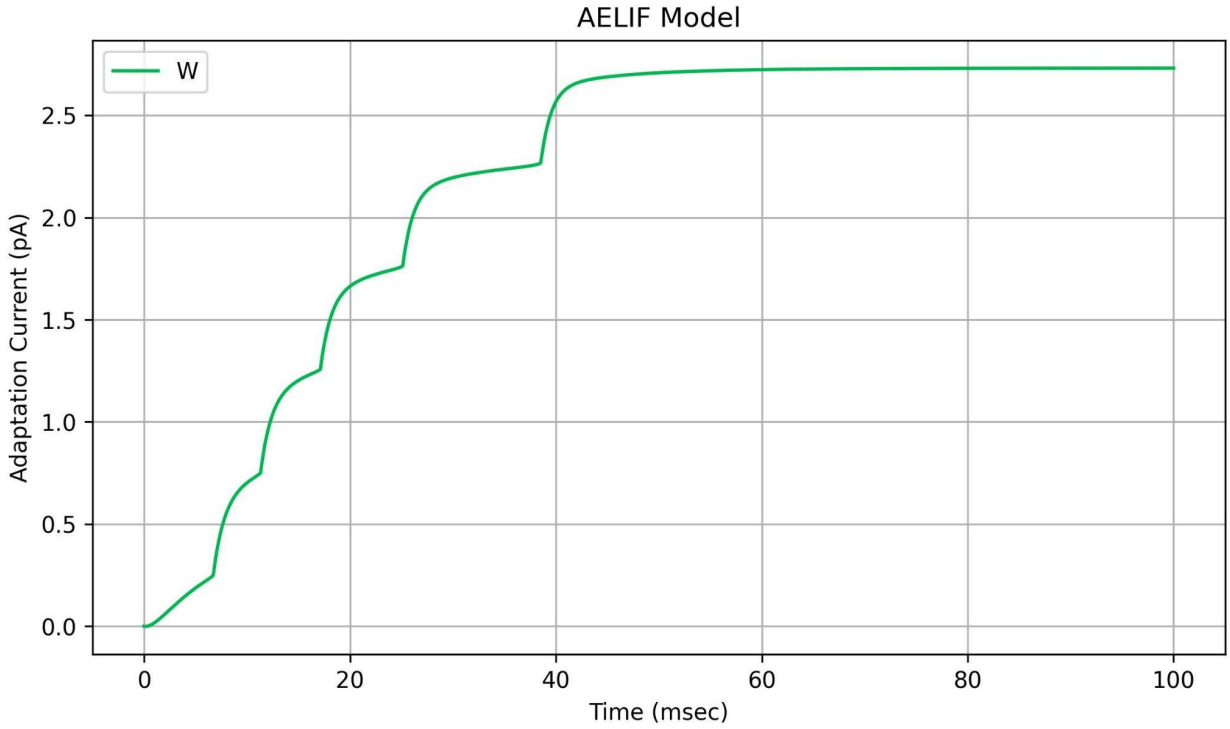
time_total = 100
dt = 0.03125
R_m = 10
Tau_m = 8
V_start = -80
V_treshold = -45
V_spike = 5
V_rest = -79
V_reset = -65
a = 0.01
b = 0.5
Tau_w = 1
delta_T = 1
theta_r_h = -55

در مثال های AELIF شباهت بسیار زیادی به ALIF دارد و تفاوت اصلی آن در مقدار نمایی ذخیره کردن پتانسیل است که حالت منتهی به spike شدن را نمایی کاهش می دهد و تنظیم کردن پتانسیل آن بلند مدت است.

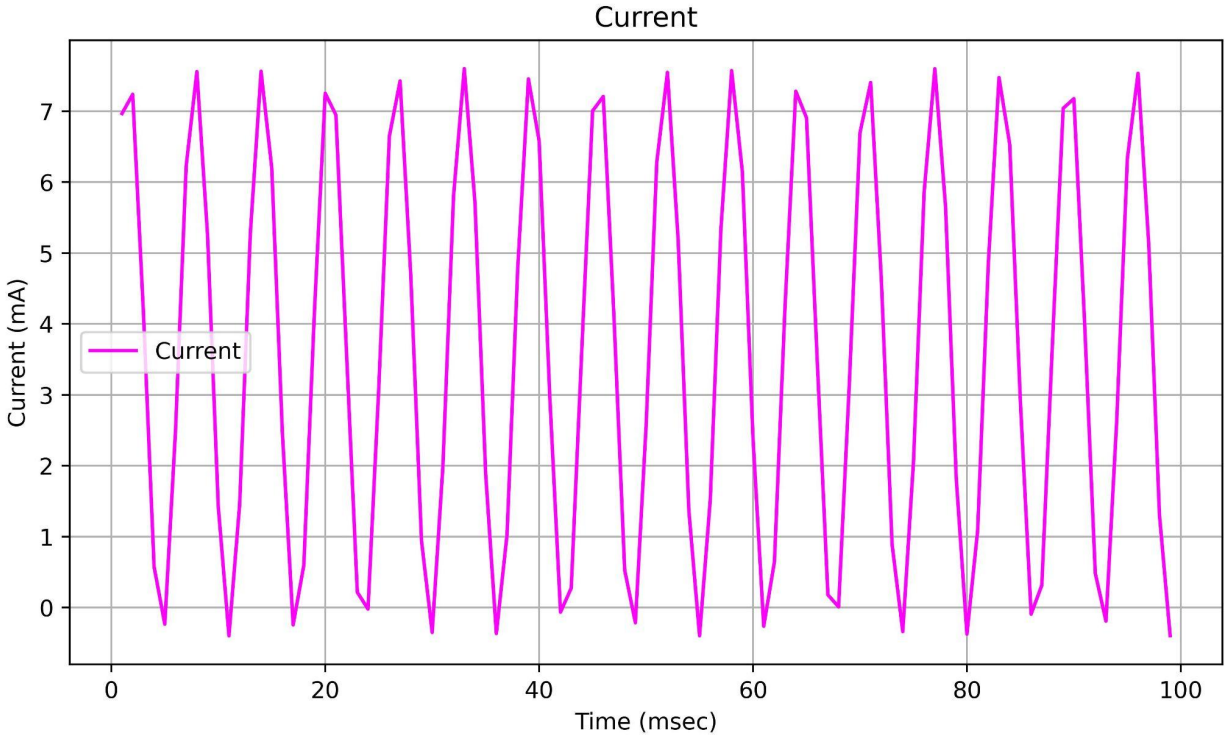
مثال 1: نمودار ورودی ثابت را به مدل خود می دهیم.

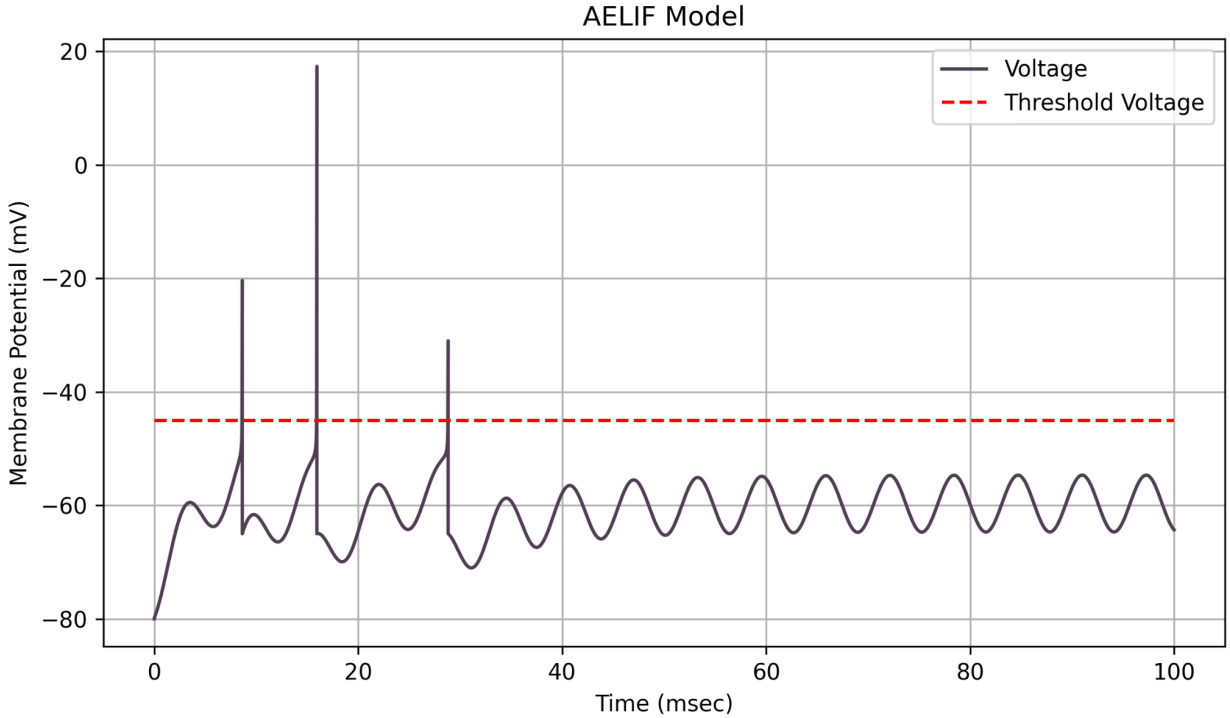


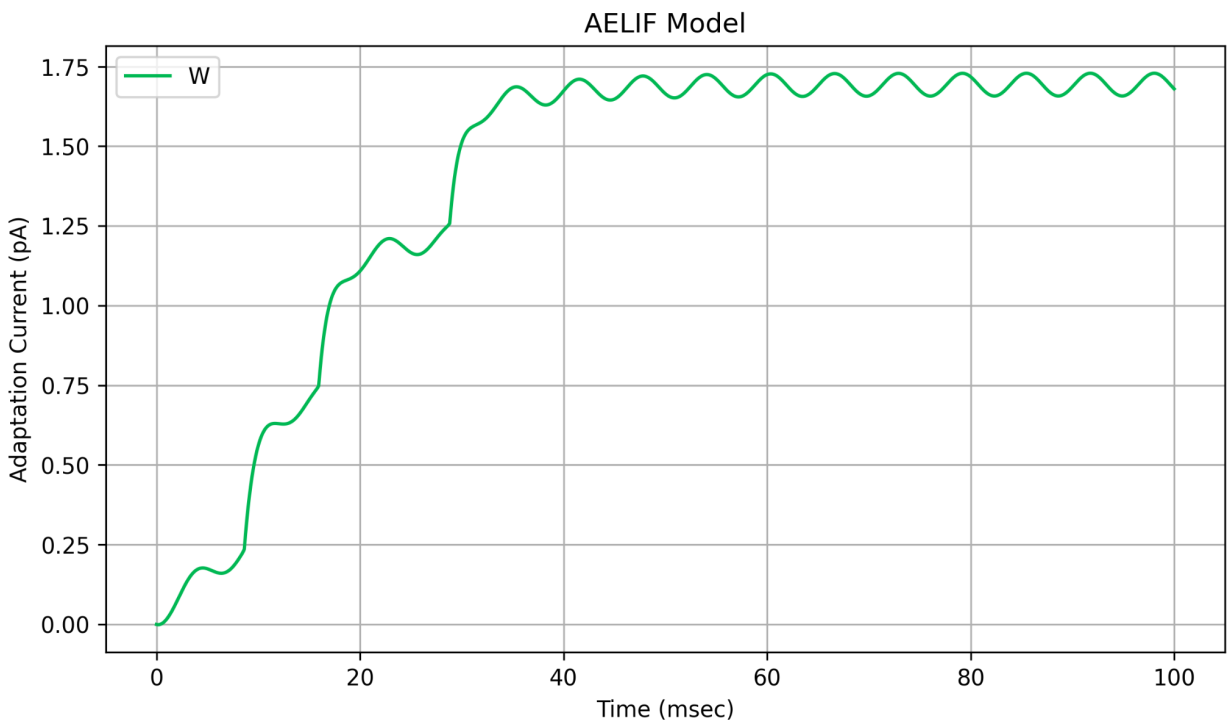

AELIF Model
Voltage
Threshold Voltage
Membrane Potential (mV)
−30
−40
−50
−60
−70
−80
0
20
40
60
80
100
Time (msec)


AELIF Model
W
Adaptation Current (pA)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
80
100
Time (msec)

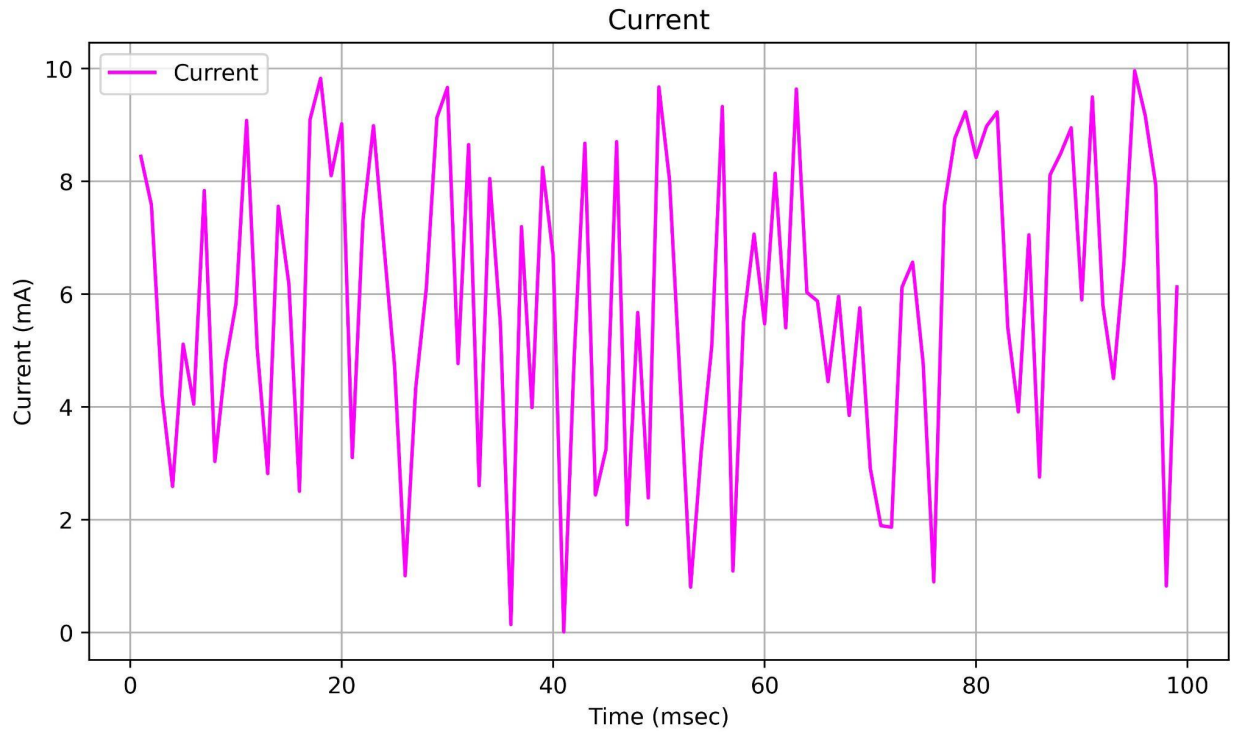
مثال 2: جریان ورودی سینوسی با تنظیمات مثال قبل اما V_treshold=-45 است

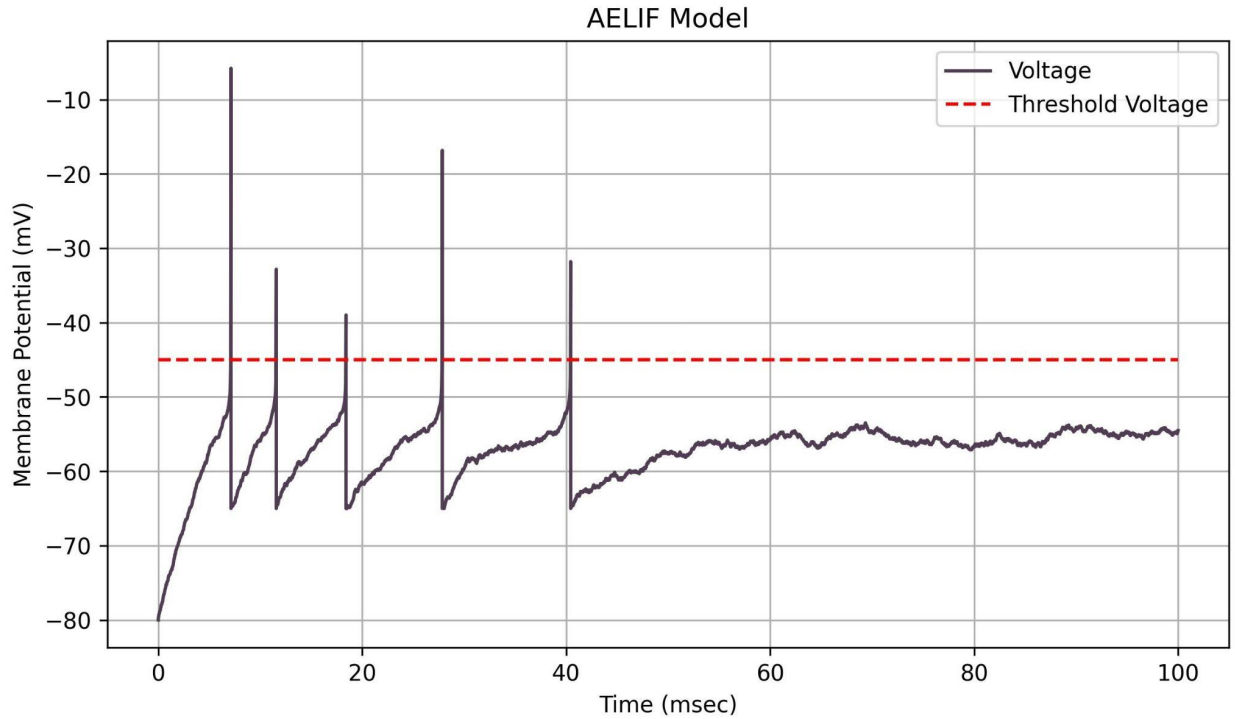


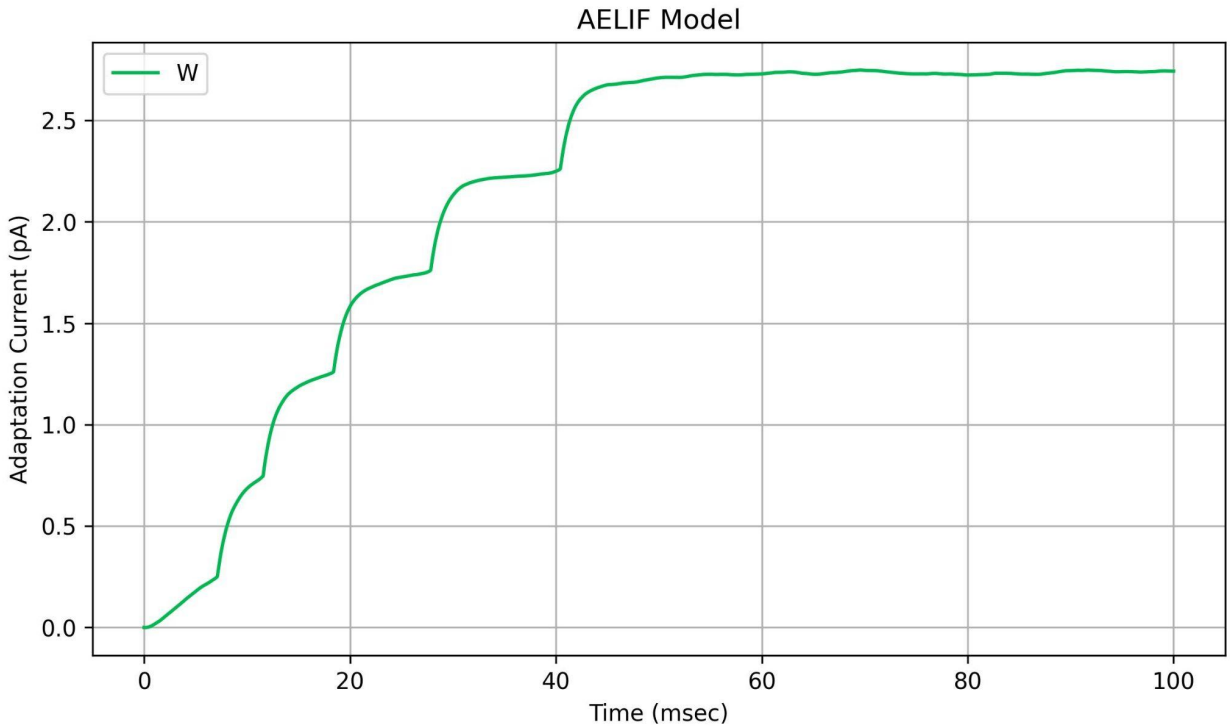




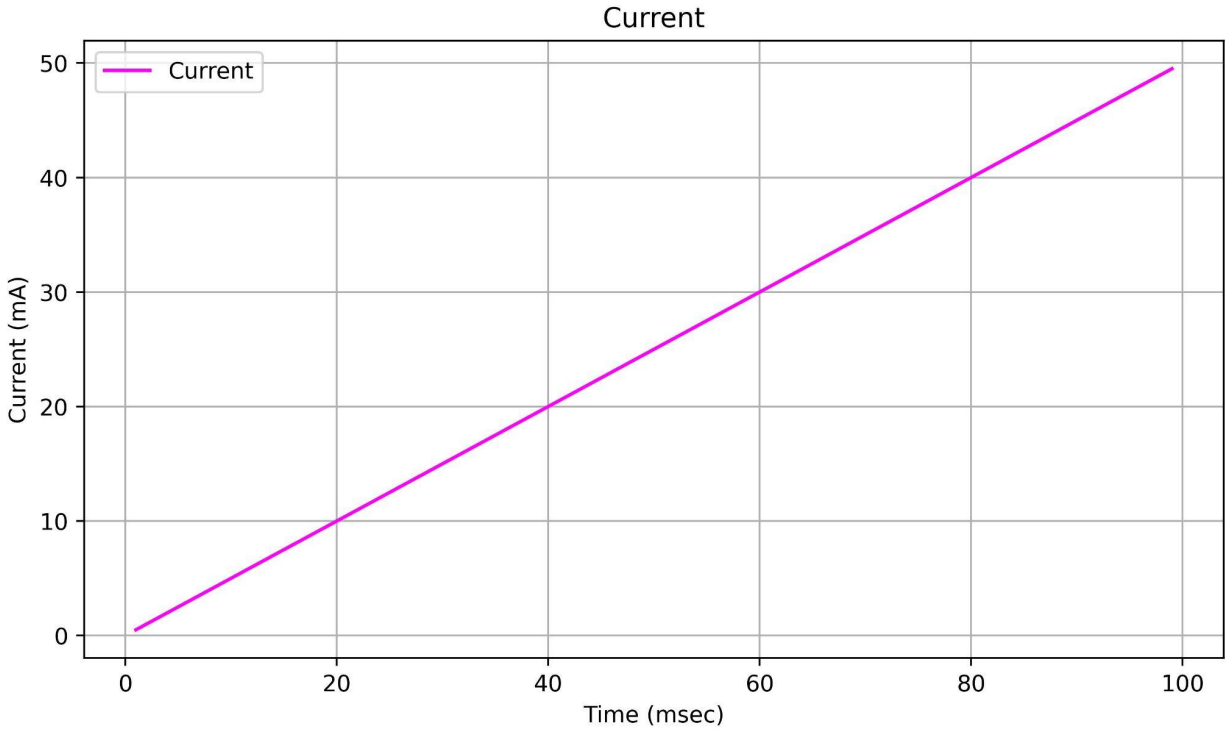
مثال 3: جریان ورودی تصادفی V_treshold=-40 ,b=1, theta_r_h=0.1

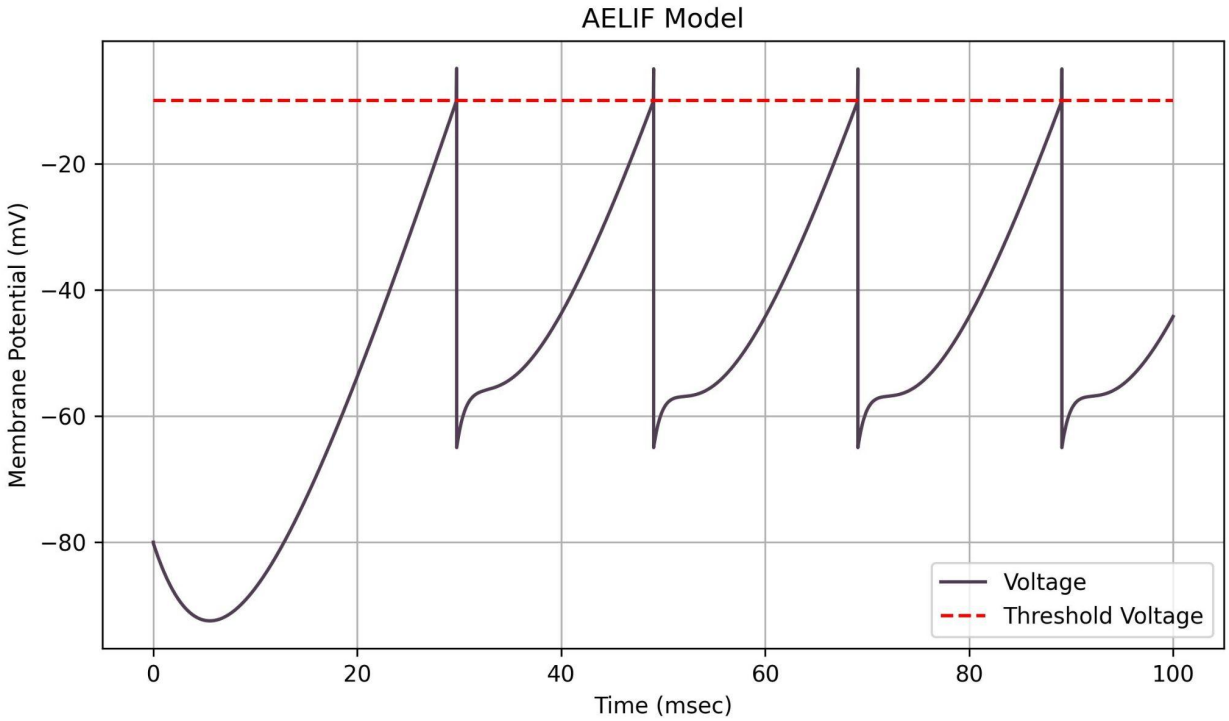


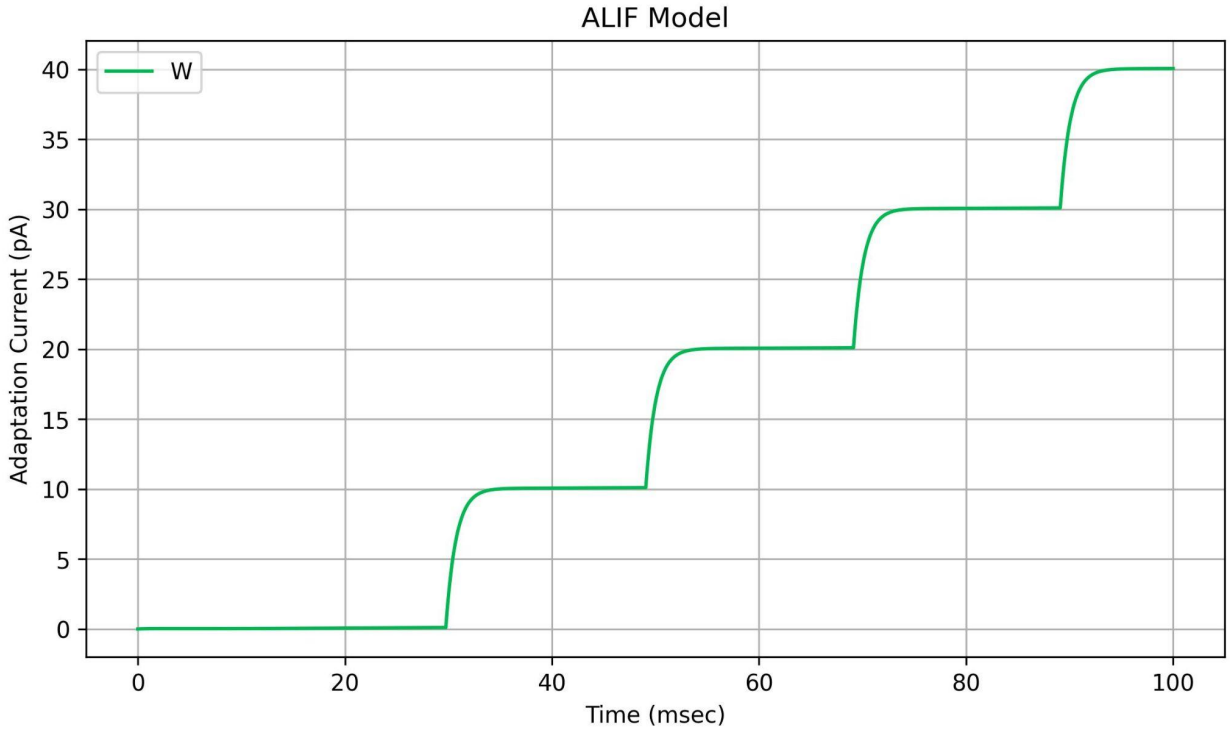

AELIF Model
Voltage
Threshold Voltage
Membrane Potential (mV)
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−70
−80
0
20
40
60
80
100
Time (msec)


AELIF Model
W
Adaptation Current (pA)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
80
100
Time (msec)

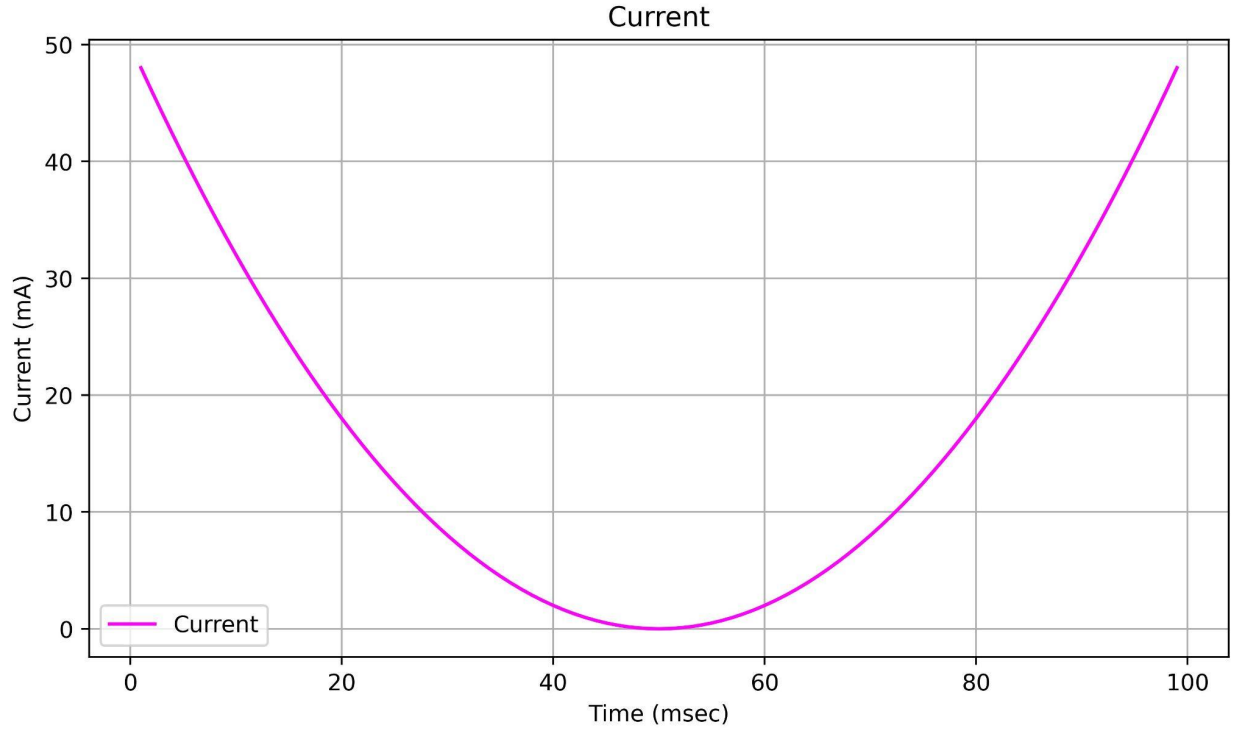
مثال 4: جریان خطی با تنظیمات متفاوت V_rest=-120, V_treshold=-10., a=0.001, b=10, theta_r_h=-10

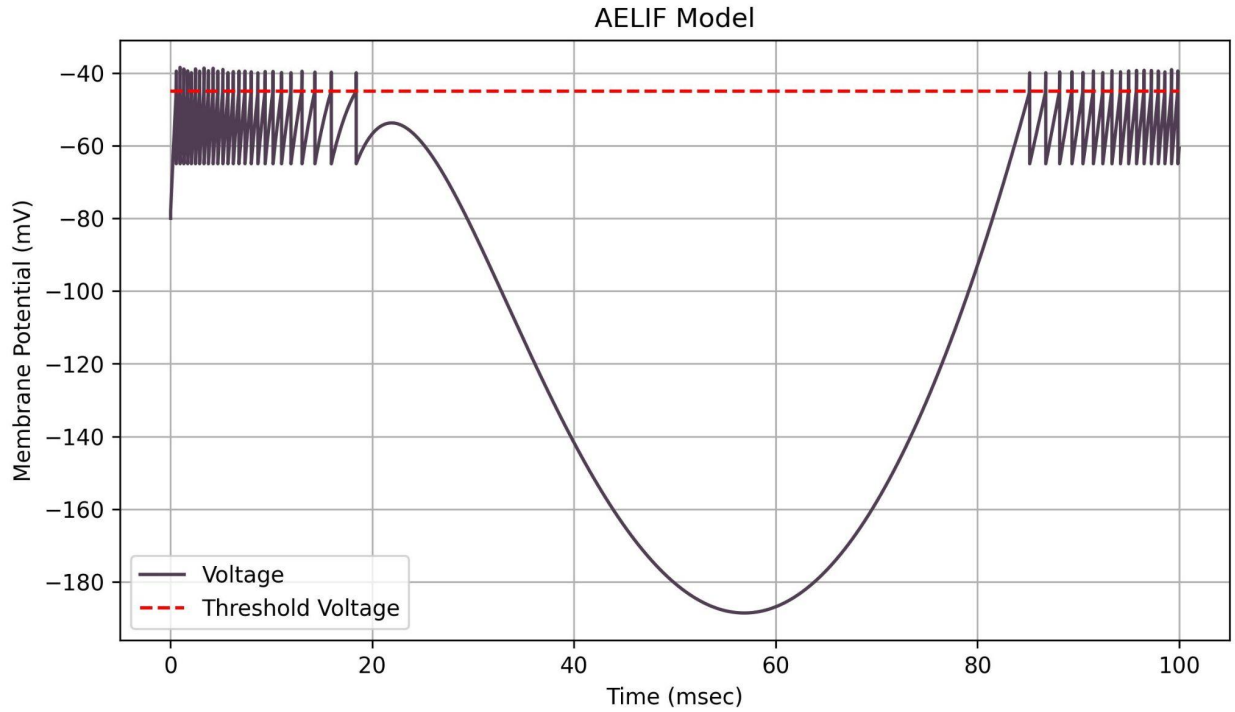


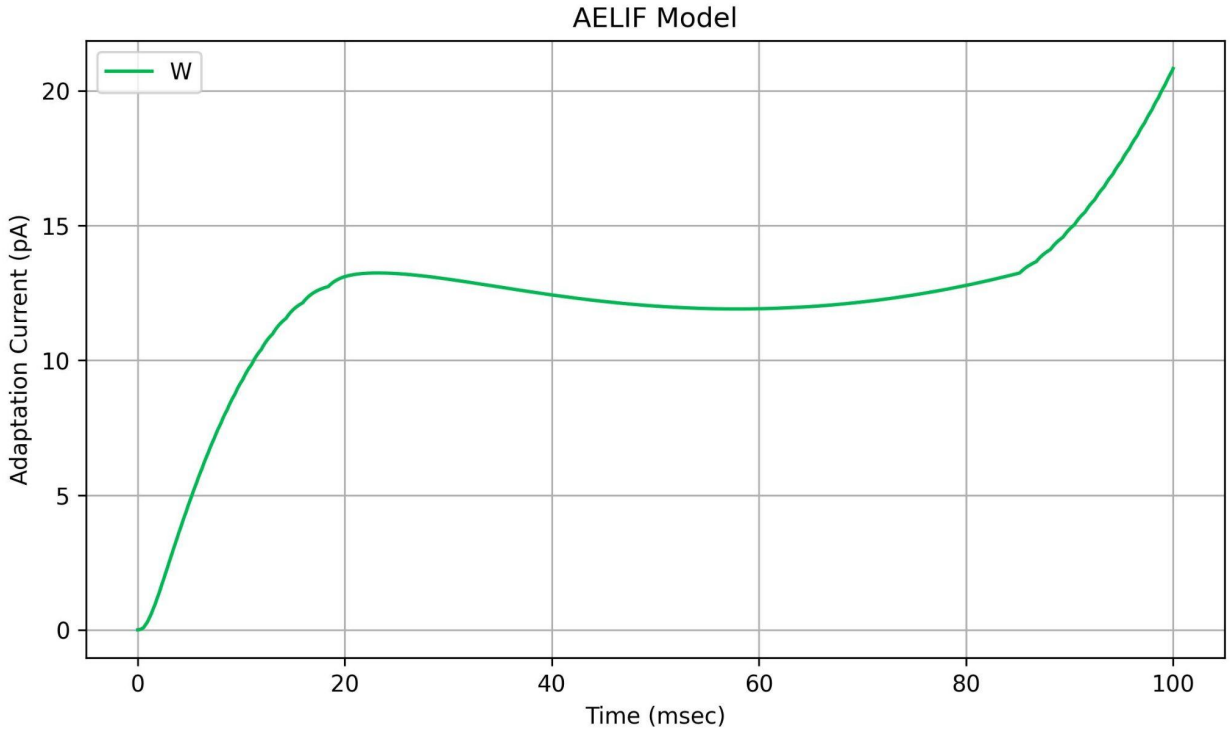




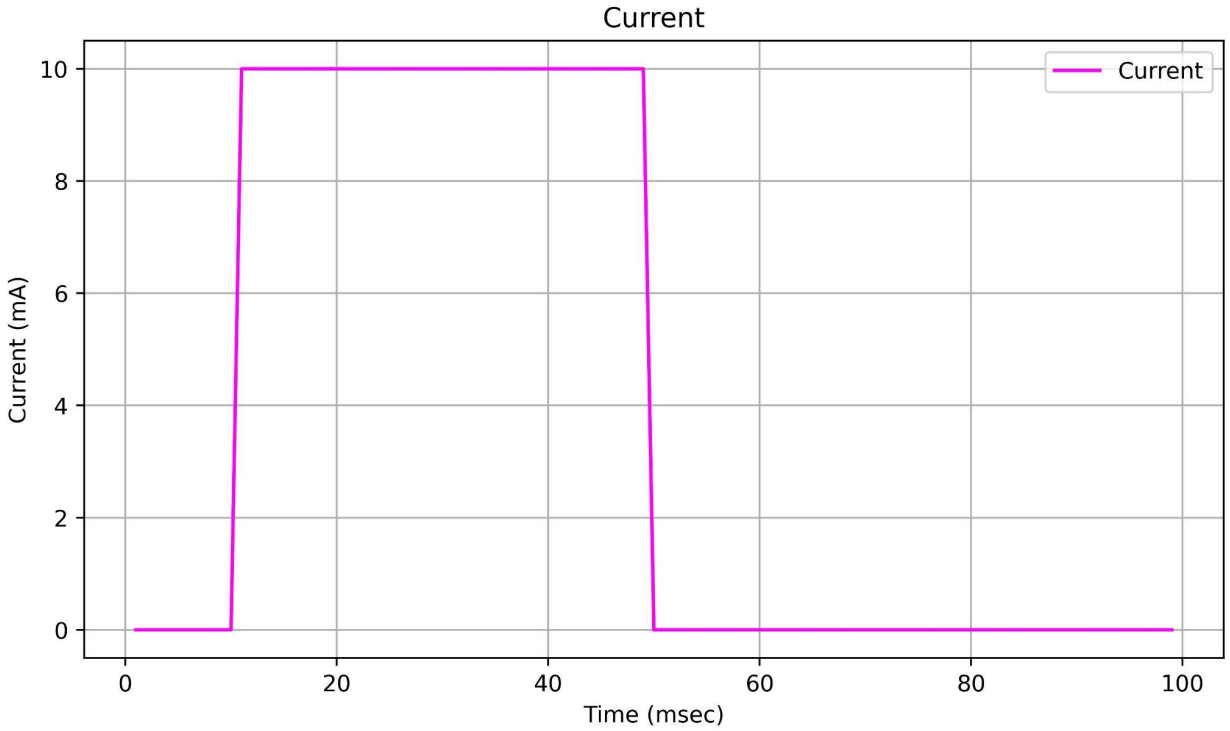
مثال 5: جریان ورودی سهمی با تنظیمات مثال 1 و theta_r_h=-10

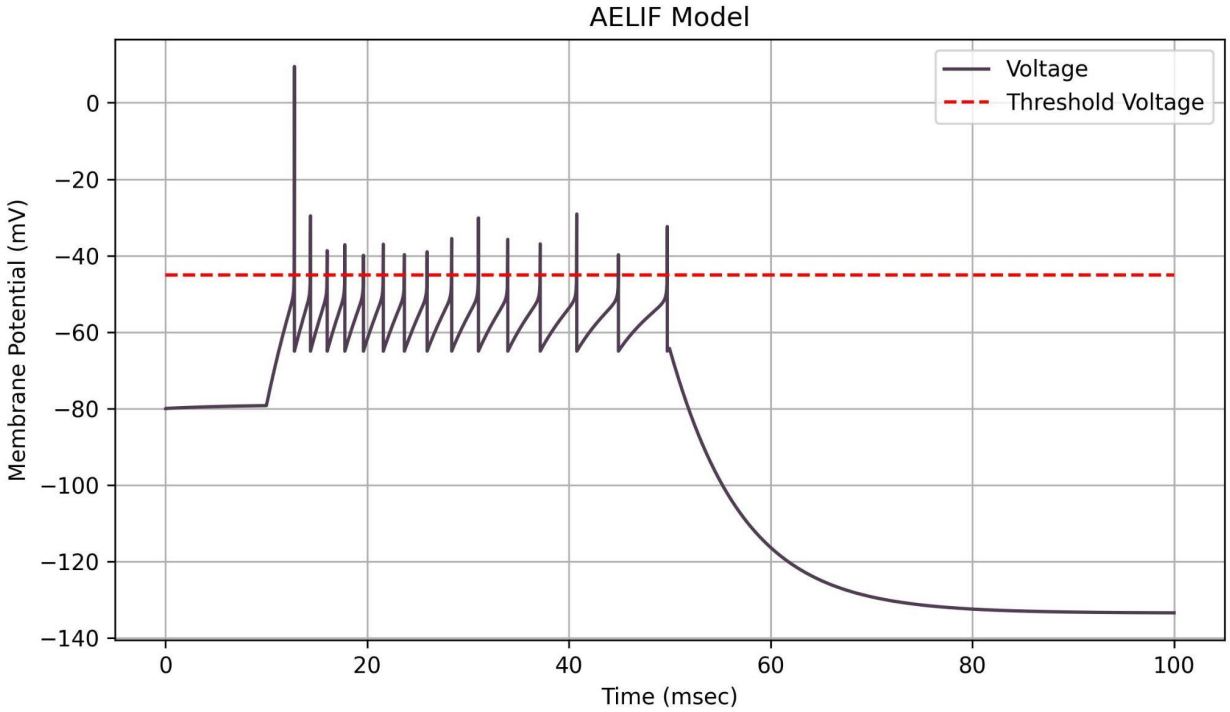


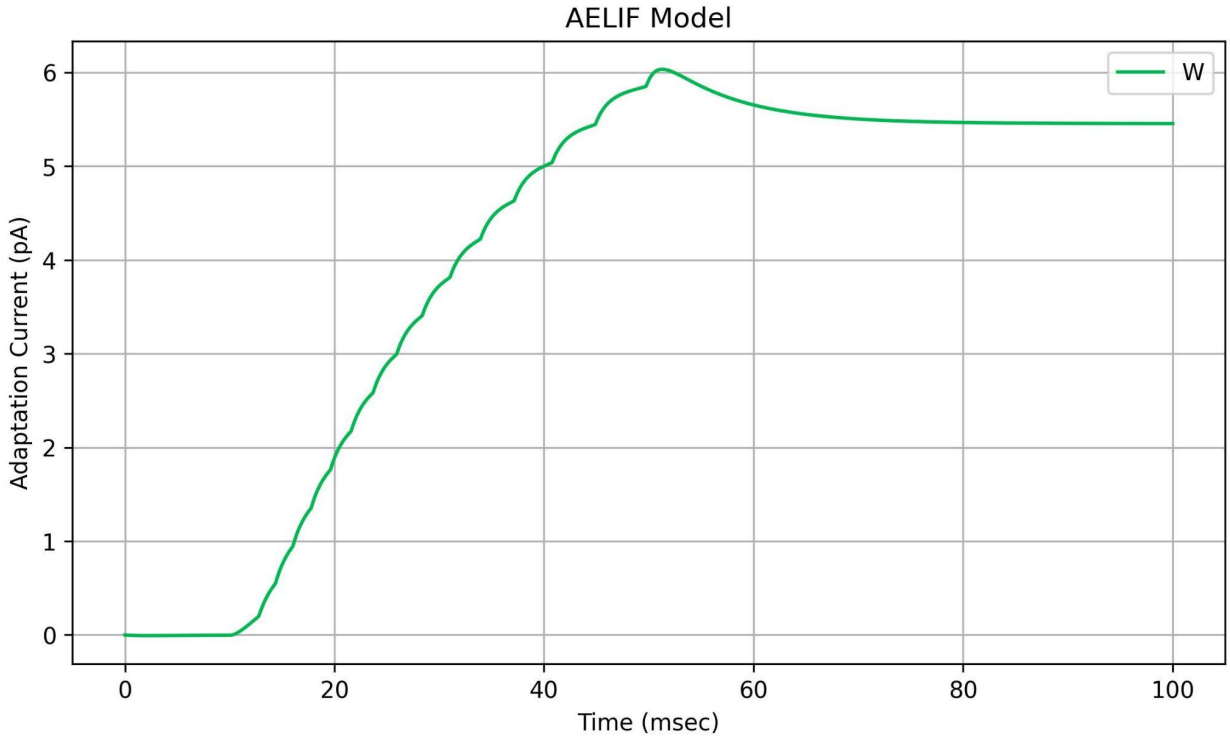

AELIF Model
Membrane Potential (mV)
Time (msec)
Voltage
Threshold Voltage
−40
−60
−80
−100
−120
−140
−160
−180
0
20
40
60
80
100

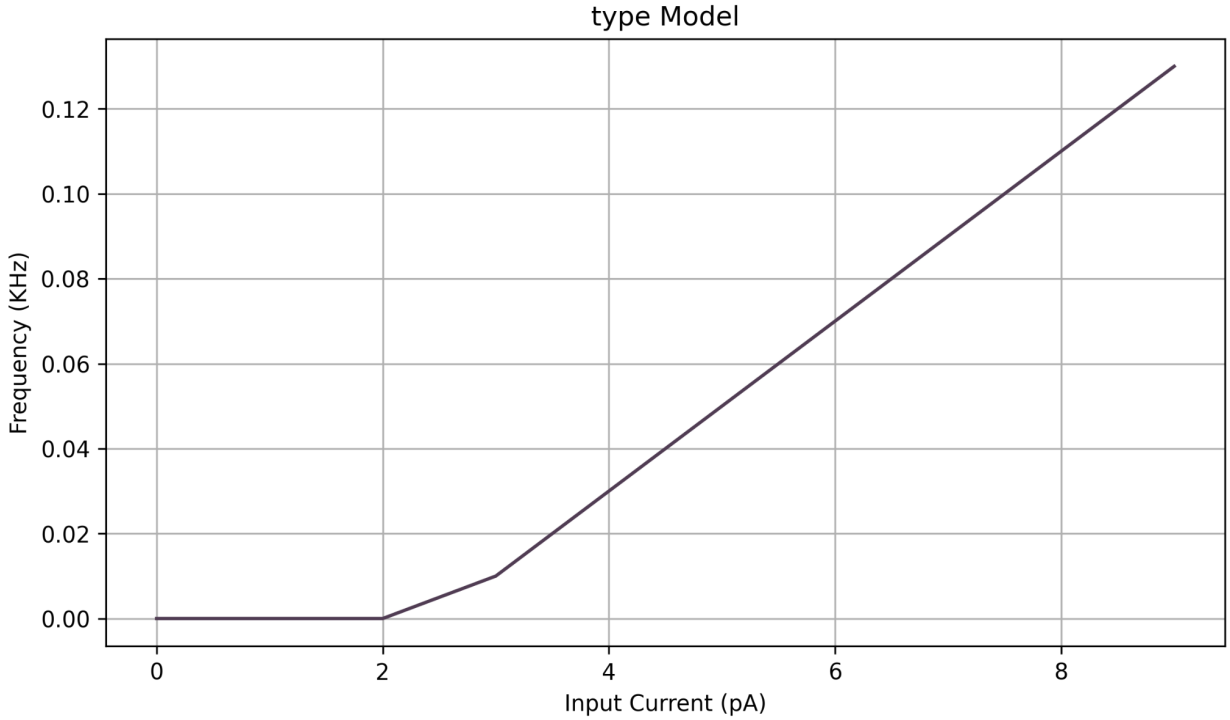

AELIF Model
Adaptation Current (pA)
Time (msec)
W
20
15
10
5
0
0
20
40
60
80
100

مثال 6: جریان ورودی پله ای







نمودار frequency:

دلیل اینکه برخلاف ALIF در ثانیه 2 تابع صعودی شده، خاصیت exponential بودن مدلمان است که در ابتدا چند spike با قدرت زیاد رخ می دهد.