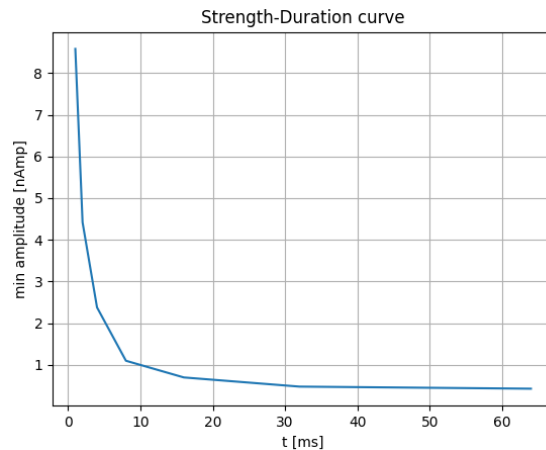


[Exercise 2.2]

전류의 지속시간(duration)에 따라 firing하는 진폭(amplitude)이 달라진다.

1.2.1. duration = [1,2,4,8,16,32,64]에 대한 min_amp list를 찾아보자. [그래프1]을 참고하면 수월하게 찾을 수 있다.



[Figure 1] – 전류 지속시간에 따른 firing 하는 최소 진폭

: duration에 대한 min_amp list를 찾아보면 [8.58, 4.42, 2.34, 1.31, .80, .56, .46]와 같은 결과가 나옴을 확인할 수 있다.

[Exercise 4.2]

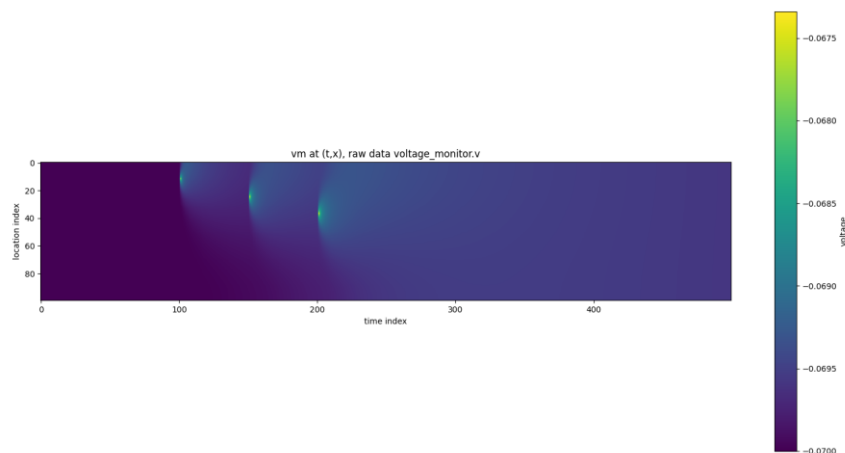
Pulse 신호를 다음과 같이 세 번 줘보자. 이 때 cable length는 800μM이다.

A: (t=1.0ms, x=100um)

B: (t=1.5ms, x=200um)

C: (t=2.0ms, x=300um)

Pulse input: 100us duration, 0.8nA amplitude



[Figure 2] – Pulse를 세 번 주었을 때의 3D plot

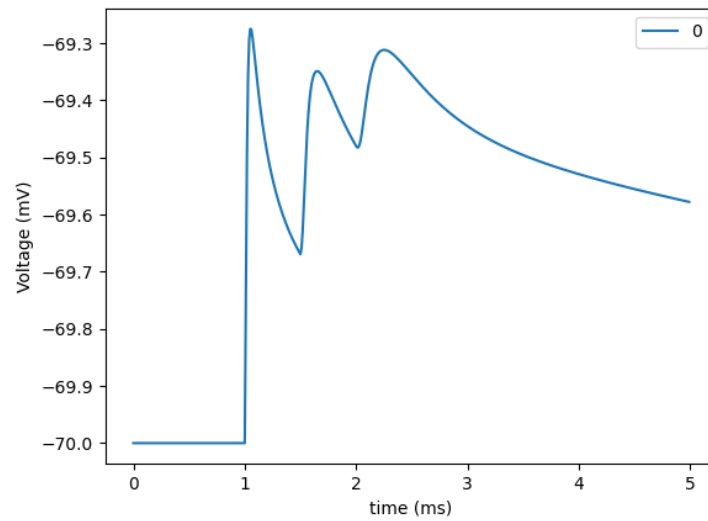
4.2.1. 다음과 같이 바꿔서 신호를 줘보자. Soma(x=0)에 가해지는 voltage는 얼마인가?

C: (t=1.0ms, x=300um)

B: (t=1.5ms, x=200um)

A: (t=2.0ms, x=100um)

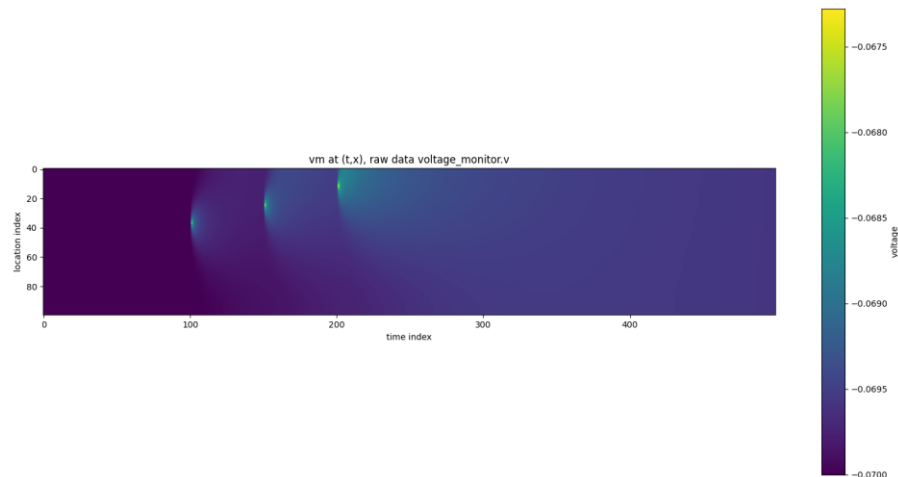
a. Pulse가 {A: (t=1.0ms, x=100um), B: (t=1.5ms, x=200um), C: (t=2.0ms, x=300um)} 일 때 soma에 가해지는 voltage를 구해보자.



[Figure 3] – soma에 가해지는 voltage

: Pulse 신호를 다음과 같이 주었을 때 {A: (t=1.0ms, x=100um), B: (t=1.5ms, x=200um), C: (t=2.0ms, x=300um)} soma에 가해지는 voltage는 [Figure 3]과 같다.

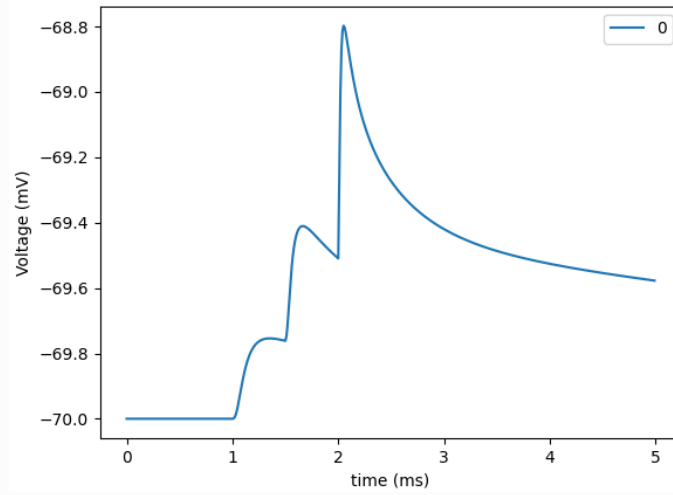
b. Pulse를 {C: (t=1.0ms, x=300um), B: (t=1.5ms, x=200um), A: (t=2.0ms, x=100um)}으로 바꿔주어 보자.



[Figure 4] – Pulse 를 {C: (t=1.0ms, x=300um), B: (t=1.5ms, x=200um), A: (t=2.0ms, x=100um)}으로

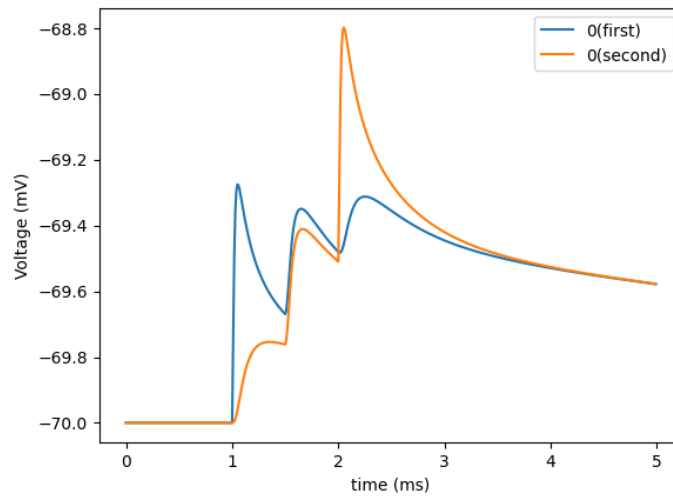
바꿔주었을 때의 3D plot

c. Pulse가 {C: (t=1.0ms, x=300um), B: (t=1.5ms, x=200um), A: (t=2.0ms, x=100um)} 일 때 soma에 가해지는 voltage를 구해보자.



[Figure 5] - soma 에 가해지는 voltage

: [Figure 5]에서는 [Figure 4]에서와 달리 pulse 신호가 합쳐져서 더 커지는 것을 확인할 수 있다. [Figure 6]을 통해서 더 정확히 비교해볼 수 있다.



[Figure 6] - soma 에 가해지는 voltage 비교

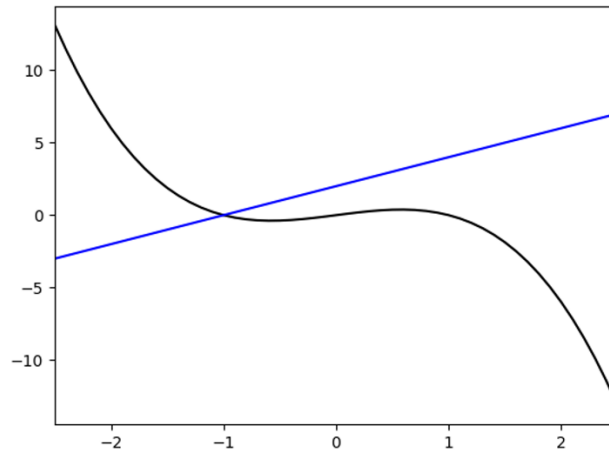
[Exercise 6.1]

Fitzhugh-Nagumo model에 대해서 알아보자.

6.1.1. Eq.1을 이용하여 u, w plane에 null cline를 그려보자. 이 때 $I=0$, $\varepsilon=0.1$ 로 한다.

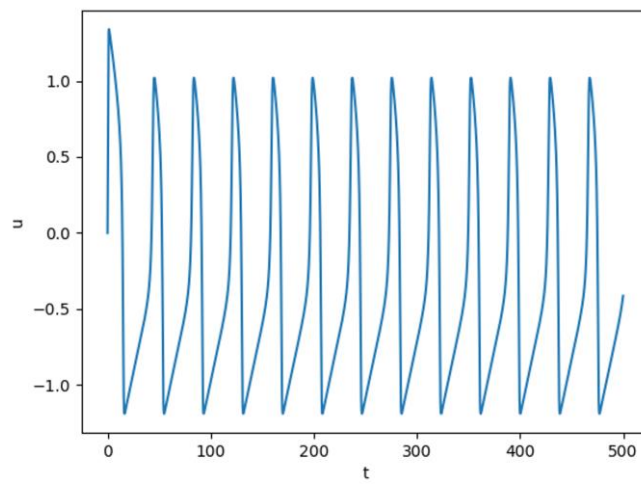
$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = u(1-u^2) - w + I \equiv F(u, w) \\ \frac{dw}{dt} = \varepsilon(u - 0.5w + 1) \equiv \varepsilon G(u, w), \end{cases}$$

Eq.1

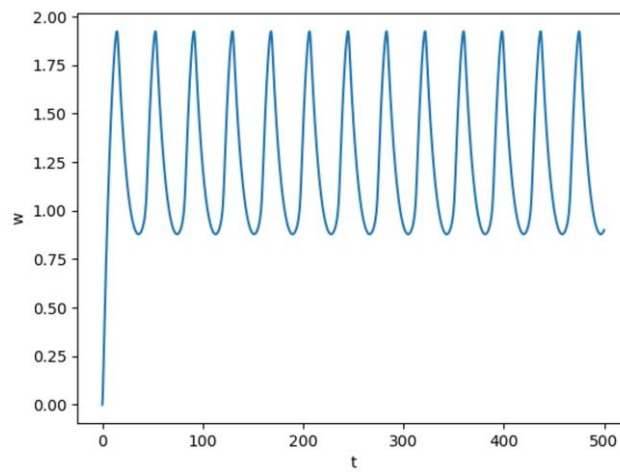


[Figure 7] – $I=0$ 일 때 null cline

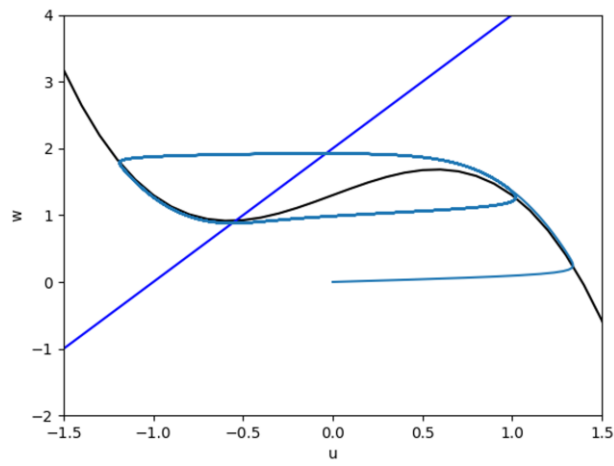
6.1.2. $I=1.3$ 일 때, u_0, t 그래프, w_0, t 그래프를 그려보고, 주어진 I 에 대하여 u, w plane에서 nullcline을 그려보자.



[Figure 8] – $I=1.3$ 일 때 u_0, t 그래프

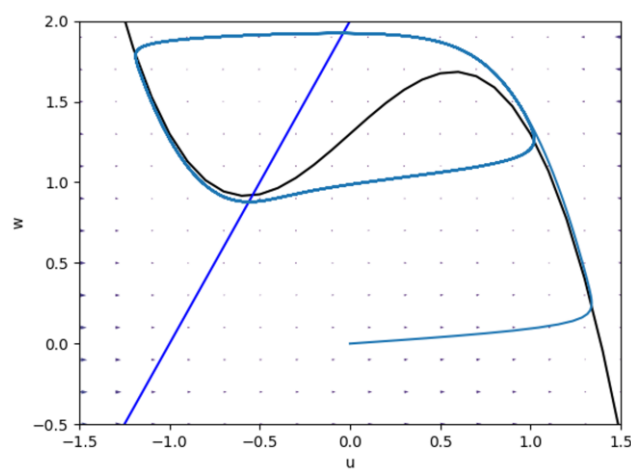


[Figure 9] – $I=1.3$ 일 때 w_0, t 그래프



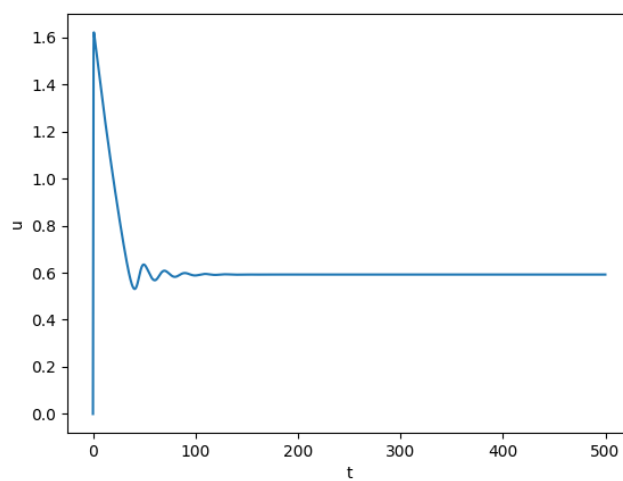
[Figure 10] – $I=1.3$ 일 때 nullcline

6.1.3. `plot_flow` 함수를 사용하여 flow를 추가해 보자.

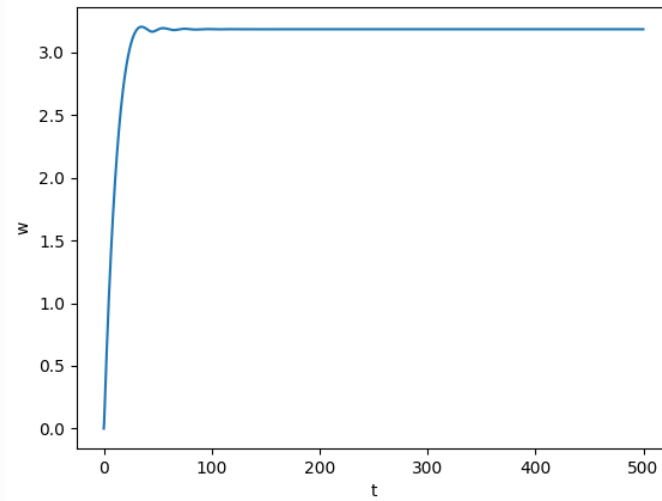


[Figure 11] – flow 를 추가했을 때의 nullcline

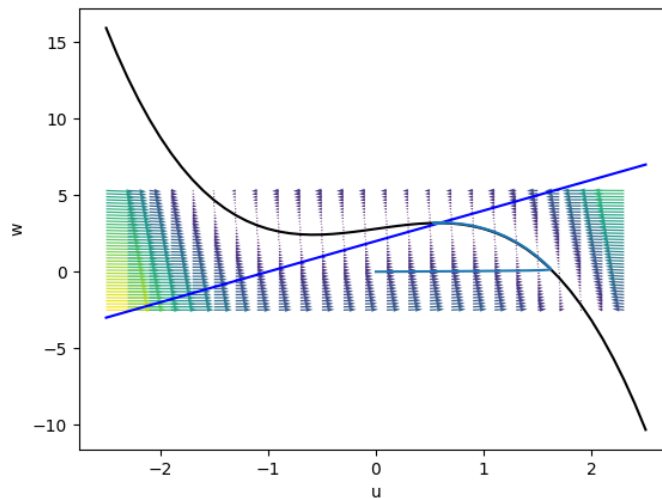
6.1.4. I 를 바꿔보며 stability가 바뀌는 부분을 찾아보자.



[Figure 12] – $I=2.8$ 일 때 u_0, t 그래프



[Figure 13] – $I=2.8$ 일 때 w_0, t 그래프



[Figure 14] – $I=2.8$ 일 때 nullcline

: I 를 천천히 증가시켜 보며, u_0, t 그래프, w_0, t 그래프, 그리고 u, w plane에서의 nullcline을 그려보면, I 가 2.8일 때 stability가 변하는 것을 확인할 수 있다.

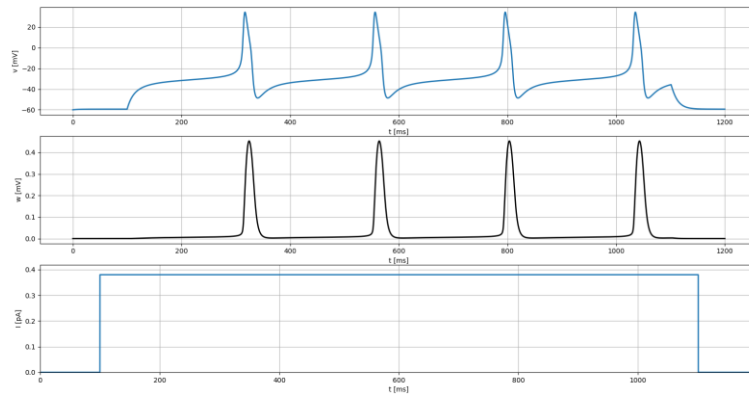
[Exercise 8.2]

Type 1과 Type 2 모델의 $f-I$ curve를 그려보자.

8.2.1. 발화율(firing rate)을 얻어보자. 발화율은 spike사이 interval값 평균의 역수를 이용하면 구할 수 있다. 또는 `spike_tools.pretty_print_spike_train_stats` 함수를 써도 된다.

a. Type 1

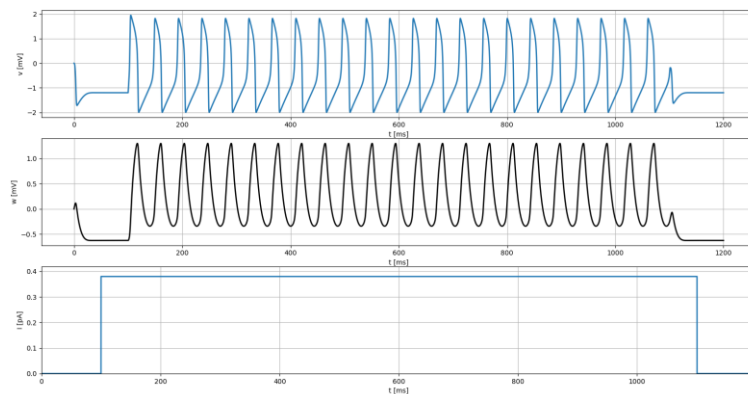
```
(bmn) jangliwon@DESKTOP-MAH90UK:~/CompNeuro$ python3 8.2.1.py
[0.3124 0.5519 0.7913 1.0308] s
4
[239.5 239.4 239.5] ms
239.4666667 ms
4.17594655 Hz
nr of spikes: 4
mean ISI: 0.23946666666666663
ISI variance: 2.22222222222242e-09
spike freq: 4.1759465479841875
spike times: [0.3124 0.5519 0.7913 1.0308] s
ISI: [239.5 239.4 239.5] ms
(array([0.3124, 0.5519, 0.7913, 1.0308]) * second, array([239.5, 239.4, 239.5]) * msecond, 239.4666667 * msecond, 4.17594655 * hertz, 2222.2222222 * usecond2)
```



[Figure 15] – Type 1의 firing rate

b. Type 2

```
(bmn) jangjiwon@DESKTOP-M4HG0UK:~/CompNeuro$ python3 8.2.1.py
[0.1035 0.1484 0.1917 0.2351 0.2785 0.3219 0.3652 0.4086 0.452 0.4954
0.5387 0.5821 0.6255 0.6689 0.7122 0.7556 0.799 0.8424 0.8857 0.9291
0.9725 1.0159 1.0592] s
23
[44.9 43.3 43.4 43.4 43.4 43.3 43.4 43.4 43.4 43.3 43.4 43.4 43.4 43.3
43.4 43.4 43.3 43.4 43.4 43.4 43.3] ms
43.44090909 ms
23.01977608 Hz
nr of spikes: 23
mean ISI: 0.04344090909090909
ISI variance: 1.0332644628098885e-07
spike freq: 23.019776080359946
spike times: too many values
ISI: too many values
(array([0.1035, 0.1484, 0.1917, 0.2351, 0.2785, 0.3219, 0.3652, 0.4086,
0.452 , 0.4954, 0.5387, 0.5821, 0.6255, 0.6689, 0.7122, 0.7556,
0.799 , 0.8424, 0.8857, 0.9291, 0.9725, 1.0159, 1.0592]) * second, array([44.9, 43.3, 43.4, 43.4, 43.4, 43.3, 43.4, 43.4, 43.4, 43.3, 43.4,
43.4, 43.4, 43.3, 43.4, 43.4, 43.3, 43.4, 43.4, 43.3]) * msecond, 43.44090909 * msecond, 23.01977608 * hertz, 0.10332645 * msecond2)
```

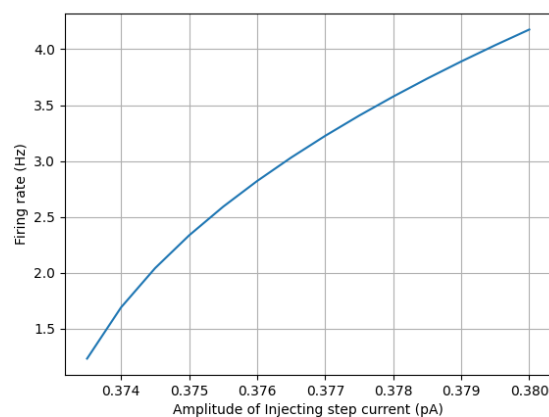


[Figure 16] – Type 2의 firing rate

: Type 2의 firing rate가 더 큰 것을 확인할 수 있다.

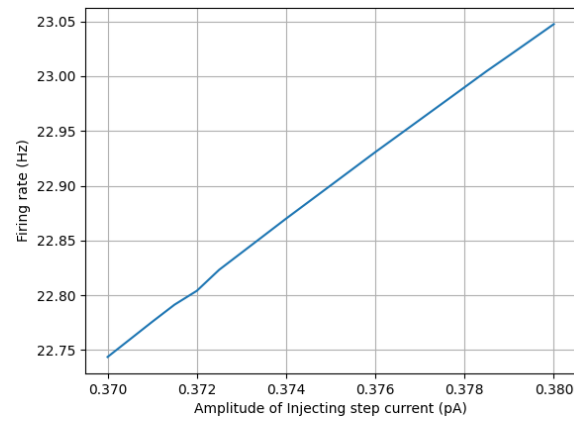
8.2.2. f-I curve를 그려보자.

a. Type 1



[Figure 17] – Type 1의 f-I curve

b. Type 2



[Figure 18] – Type 2의 f-I curve

: Type 1에서는 0Hz 근처에서 시작하지만, Type 2에서는 22Hz 근처에서 시작함을 확인할 수 있다. 이는 Type 1은 Saddle-node bifurcation하고, Type 2는 Hopf bifurcation하기 때문이다.