

## Спайковые НС

**Spike Response Model.** Spike Response Model (SRM) - наиболее популярная модель спайкового нейрона. SRM своей популярностью обязана простотой математической интерпретации - вся динамика нейрона описывается одним уравнением вида  $u(t)$ , которое описывает напряжение на мембране нейрона и, по сути, является решением дифференциального уравнения для моделей типа *Integrate and fire*. Динамику моделей *Integrate and fire* можно описать так: нейрон суммирует входные сигналы и по достижению определенного порога, производит спайк, после чего нейрон переходит в состояние рефракторности, находясь в котором, вероятность нового спайка крайне мала.

Поведение описанное выше можно поэтапно собрать в одну формулу:

1. *Функция описывающая напряжение на синапсах.* В качестве такой функции можно взять альфа функцию с экспоненциальным подъёмом и спадом, причем подъем и спад наиболее натуральным будет взять быстрым и медленным соответственно. Типичный график подобной функции можно посмотреть на рисунке ниже:

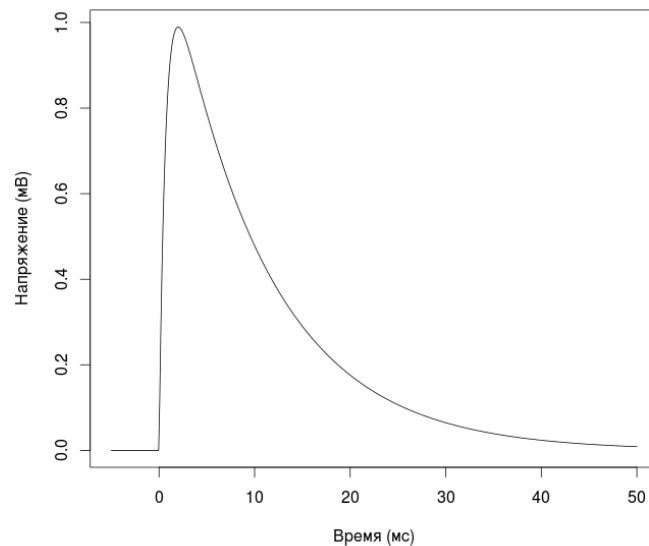


Рис. 1: Потенциал на синапсах

Такая функция задается формулой:

$$\epsilon(t) = e_0(\exp(-t/t_m) - \exp(-t/t_s)), \quad (1)$$

где  $e_0 = 1.3\text{мВ}$  - константа задающая масштаб потенциала,  $t_m = 0.7\text{мс}$  - константа отвечающая подъём,  $t_s = 10\text{мс}$  - константа отвечающая спад.

2. *Функция описывающая рефракторность нейрона.* Основное требования к такой функции в том, чтобы напряжение на нейроне резко падало вниз, и потом медленно восстанавливалось. График подобной функции можно увидеть на рисунке ниже:

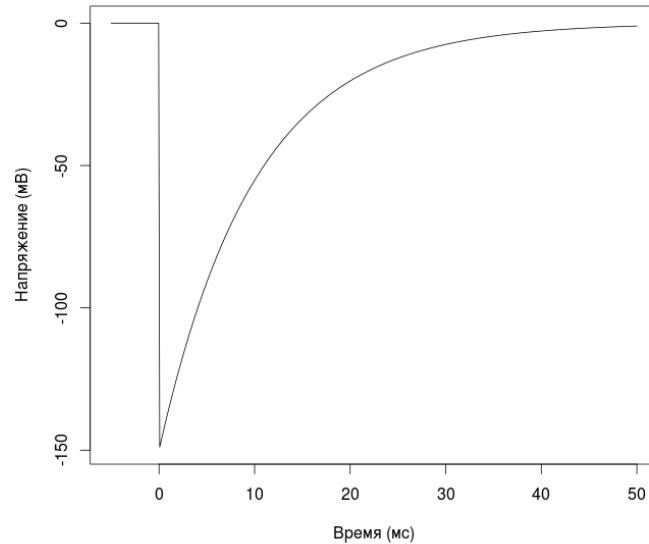


Рис. 2: Рефракторность нейрона

Здесь используется данная функция:

$$\eta(t) = \eta_0(-\exp(-t/t_m)), \quad (2)$$

где  $\eta_0 = -150\text{мВ}$  - константа описывающая минимальное напряжение на мембране, от которого идёт медленное восстановление,  $t_m$  - скорость восстановления можно взять из функции синаптического потенциала, для простоты.

В итоге, используя эти функции, можно записать уравнение, которое будет описывать напряжение на мембране нейрона, причём:

- Пусть нейрон  $i$  имеет  $N$  синапсов и у каждого синапса есть вес  $w_i$ , тогда напряжение на мембране в данный момент времени  $t$  будет взвешенной суммой синаптических потенциалов:  $\sum_{j=1}^N w_j \sum_{f_j} \epsilon_j(t - f_j)$ , где  $f_j$  - время спайка на синапсе  $j$ .
- Рефракторность нейрона будет простой суммой по всем спайкам, которые произвел нейрон  $i$ :  $\sum_{f_i} \eta(t - f_i)$
- Нейрон имеет т.н. потенциал покоя. Биологические нейроны имеют разнообразные значения этого потенциала, как правило берут  $u_{rest} = 70 \text{ мВ}$ .

Таким образом получаем формулу, которая объединяет все вышеописанные особенности:

$$u(t) = u_{rest} + \sum_{j=1}^N w_j \sum_{f_j} \epsilon_j(t - f_j) + \sum_{f_i} \eta(t - f_i), \quad (3)$$

Типичный график иллюстрирующий работу функции 3 ниже:

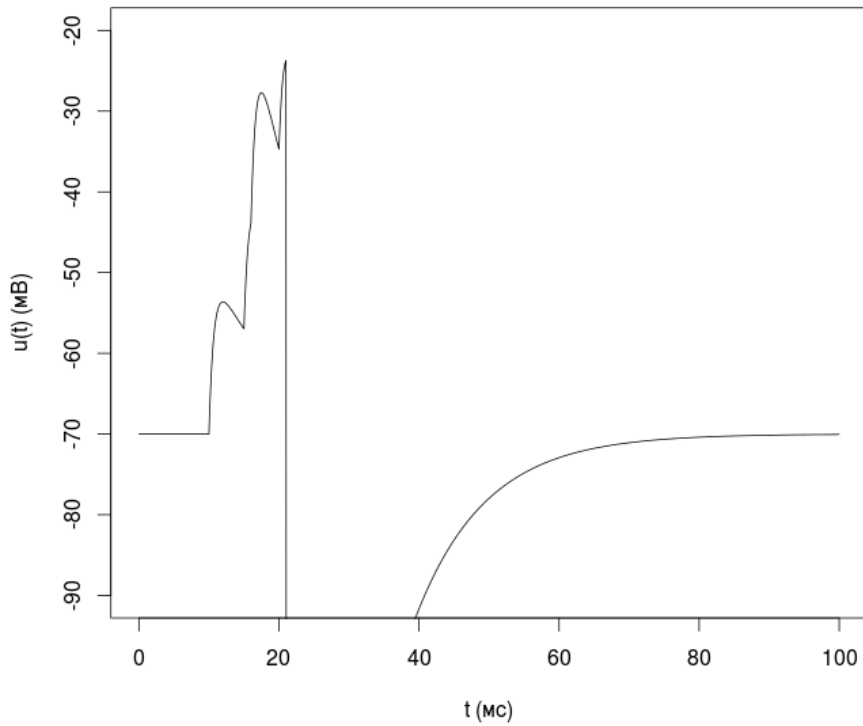


Рис. 3: Потенциал нейрона

На рисунке представлен случай когда произошли спайки на двух синапсах во времена  $f_1 = \{10, 16\}$  и  $f_2 = \{15, 20\}$ , которые заставили нейрон произвести спайк в  $f_i = \{21\}$ . Веса были выбраны большими, для наглядности графика.