

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Кафедра информационной безопасности

Мирпулатов Исломбек Пулат-угли

Моделирование импульсных нейроморфных сетей с онлайн обучением

Нейроморфные системы

Лабораторная работа 2

Москва, 2023

1 Постановка задачи

Рассмотрим сеть, состоящую из одного нейрона ($m=1$, поэтому индекс j в дальнейшем опускается) с 64 синапсами. Динамическая система имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_i}{dt} = \begin{cases} F_X \left(\frac{V_{te}(\tau) - V_{int}}{R_i}, V_{te}(\tau) - V_{int}, x_i \right), & V_g^i(t) > 0, \\ 0, & V_g^i(t) = 0, \end{cases} \\ \frac{dV_{int}}{dt} = \frac{1}{C_{int}} \left[\sum_{i=1}^n \frac{\hat{V}_{te}(\tau) - V_{int}}{R_i^i(t) > 0} - \frac{V_{int}}{R_{int}} \right] - \delta(V_{int} - V_{th}) V_{int}, \\ \frac{d\tau}{dt} = 1 - \delta(V_{int} - V_{th}) \tau, \\ R_i = F_R(x_i, V_{te}(\tau) - V_{int}), \\ x_i(0) = \text{rand}[0, 1], V_{int}(0) = 0, \tau(0) > \max(\tau_r, \tau_{out}) \\ i = \overline{1, n}. \end{array} \right.$$

где

$$F_X(I, v, x) = \begin{cases} \mu_v \frac{V_p}{D^2} \exp\left(\frac{R_{on}}{V_p} I\right), & v \geq V_p, \\ \mu_v \frac{V_n}{D^2} \exp\left(\frac{R_{on}}{V_n} I\right), & v \leq V_n, \\ \mu_v \frac{R_{on}}{D^2} I, & V_n < v < V_p, \end{cases} \quad F_R(x, v) = R_{on}x + R_{off}(1 - x).$$

$$V_{te}^j = \begin{cases} V_{te}^+, \tau_j \leq \tau_s, \\ 0, \tau_s < \tau_j \leq \frac{\tau_r}{2}, \\ V_{te}^-, \frac{\tau_r}{2} < \tau_j \leq \frac{\tau_r}{2} + \tau_s, \\ 0, \frac{\tau_r}{2} + \tau_s < \tau_j \leq \tau_r, \\ V_{te}^0, \tau_r < \tau_j, \end{cases}$$

$$V_{out}^j = \begin{cases} V_{out}^+, \tau_j \leq \tau_{out}, \\ 0, \tau_{out} < \tau_j \end{cases}$$

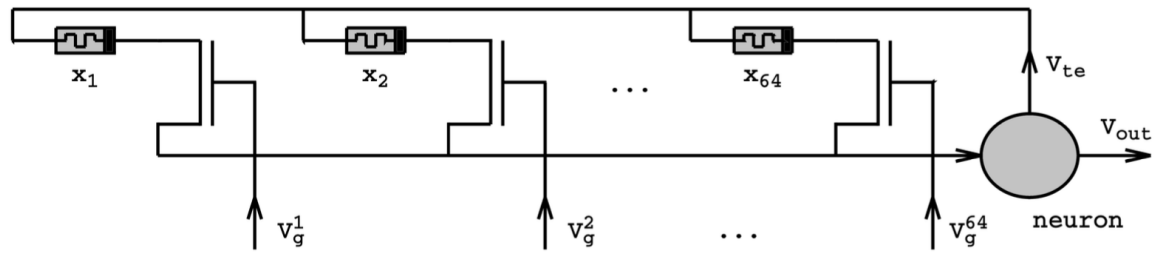
Значения параметров: $n = 64$, $R_{on} = 25$ кОм, $R_{off} = 250$ кОм, $\mu_v = 10^{-14}$, $V_p = 1.5$ В, $V_n = -1$ В, $D = 20$ нМ, $R_{int} = 1$ кОм, $C_{int} = 45$ КФ, $V_{te}^+ = 2.5$ В, $V_{te}^- = -1.6$ В, $V_{te}^0 = 20$ мВ, $V_{out}^+ = 2$ В, $V_{th} = 1$ мВ, $\tau_r = 20$ мс, $\tau_s = 1$ мс, $\tau_{out} = 10$ мс. Значения R_{int}, C_{int} были определены из условия, что бы время релаксации ($= R \cdot C$), было равно 45 мс.

В качестве решателя использовался метод Эйлера.

Использовалось дискретное распределение шума:

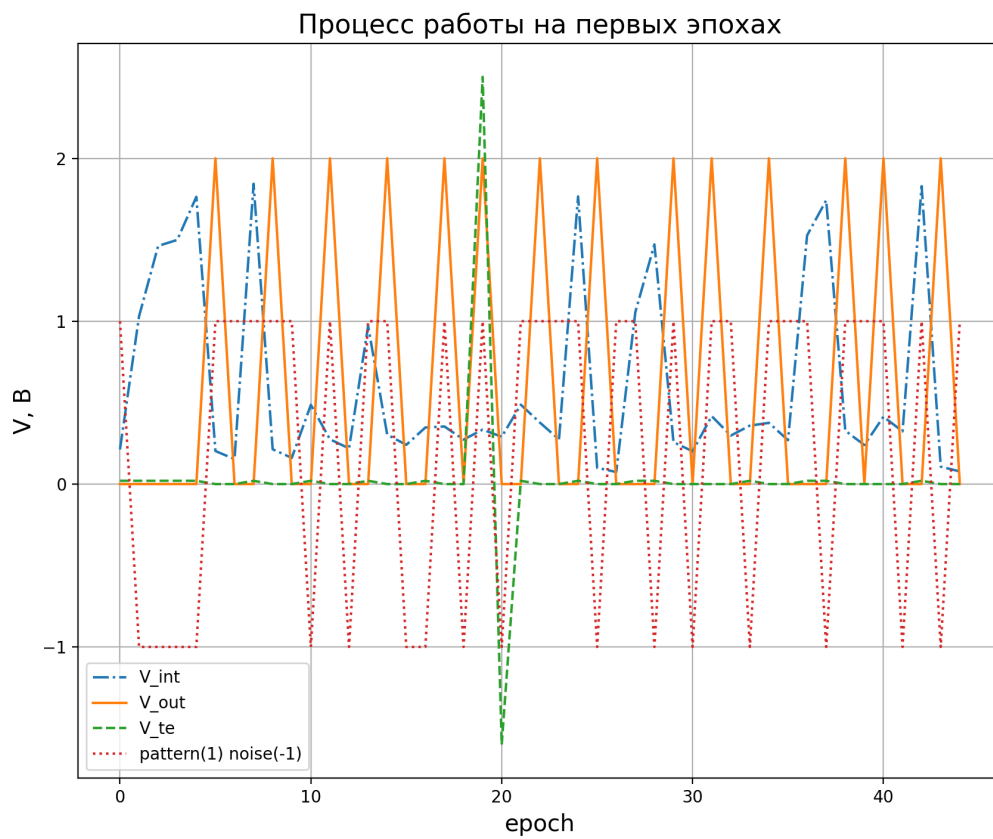
V_g^i	0 В	2 В
P	0.875	0.125

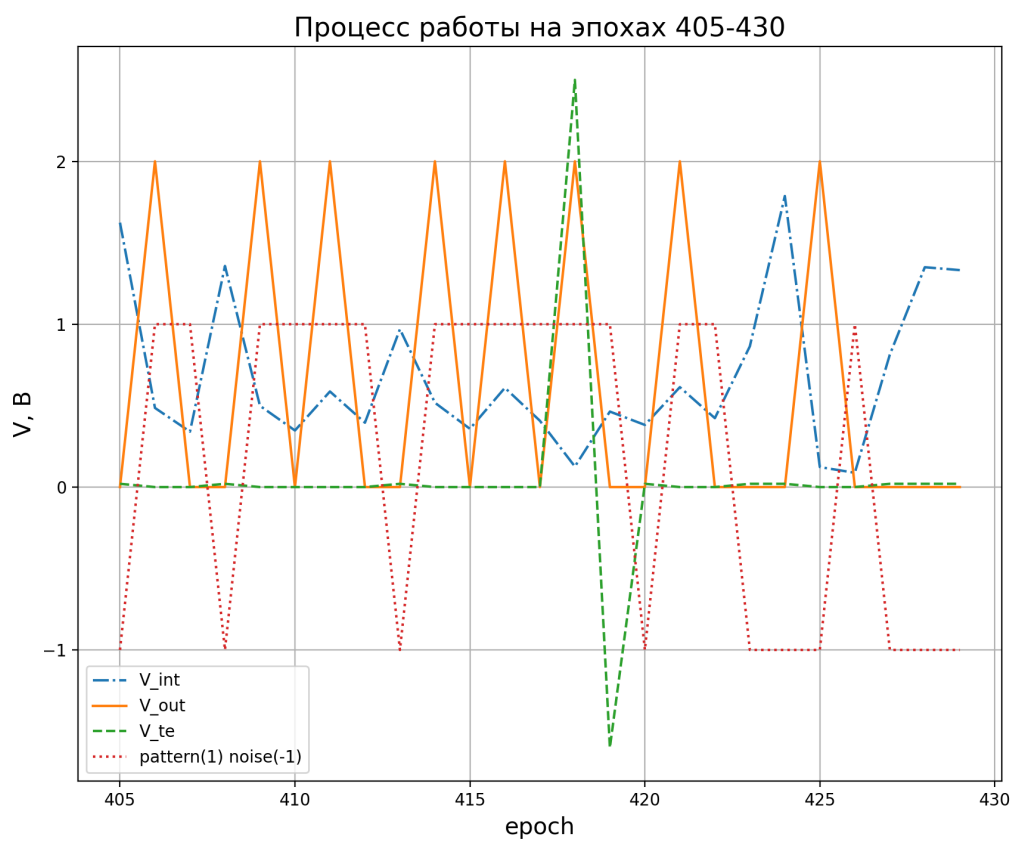
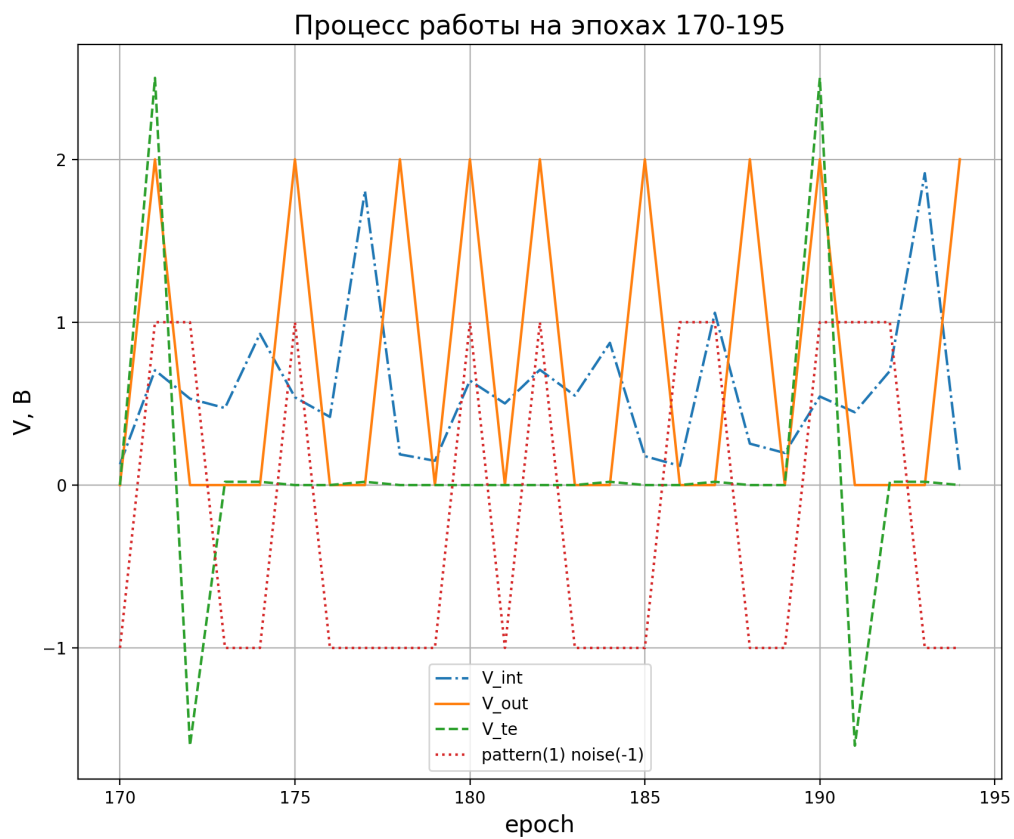
Архитектура использованной нейронной сети

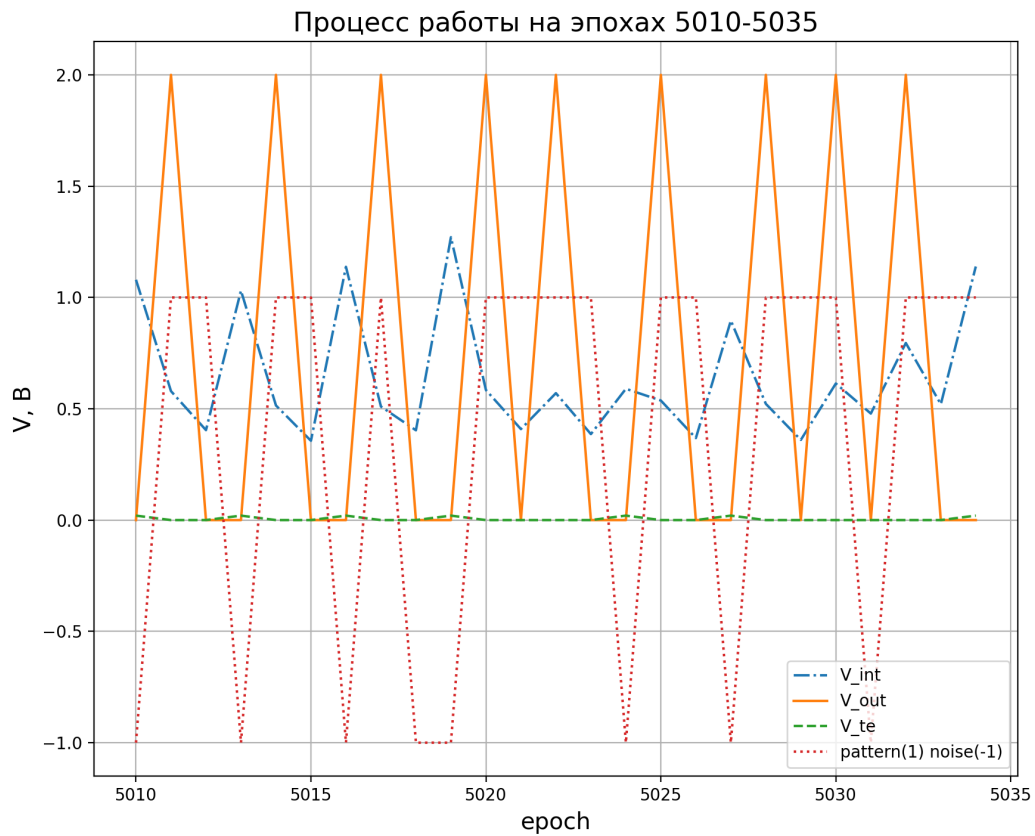


2 Решение

Далее приведены результаты обучения и параметры моделирования на разных эпохах обучения для шаблона номер 1:

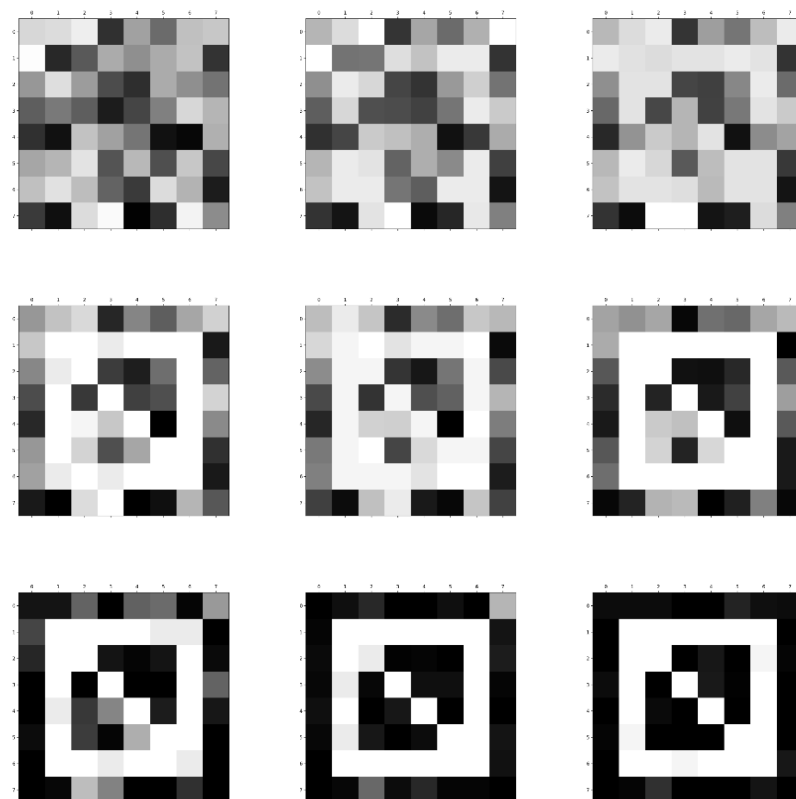




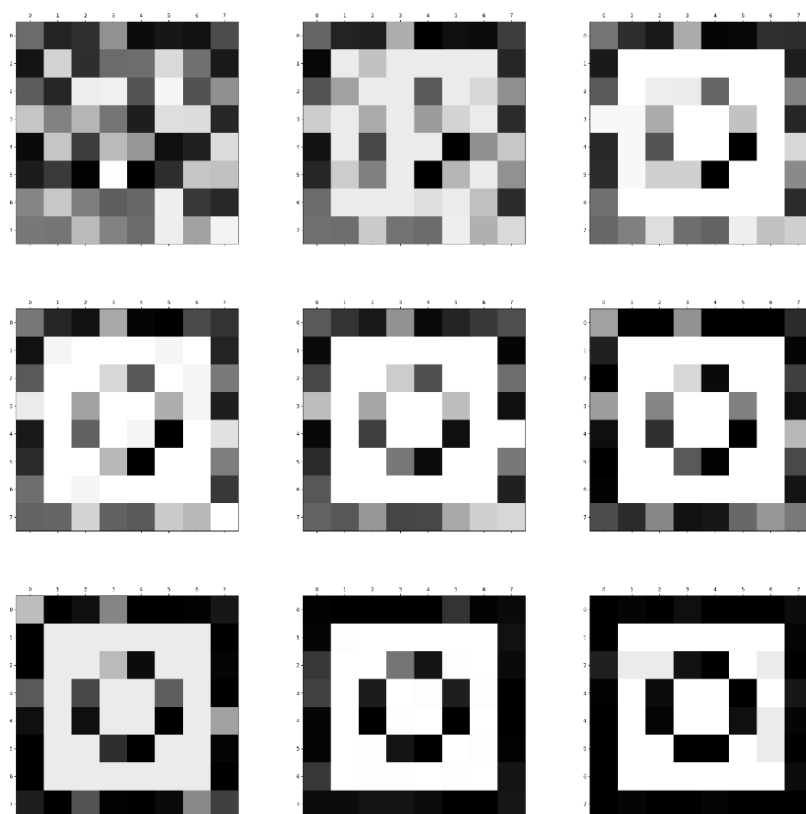


Далее приведены результаты моделирования на четырех шаблонах:

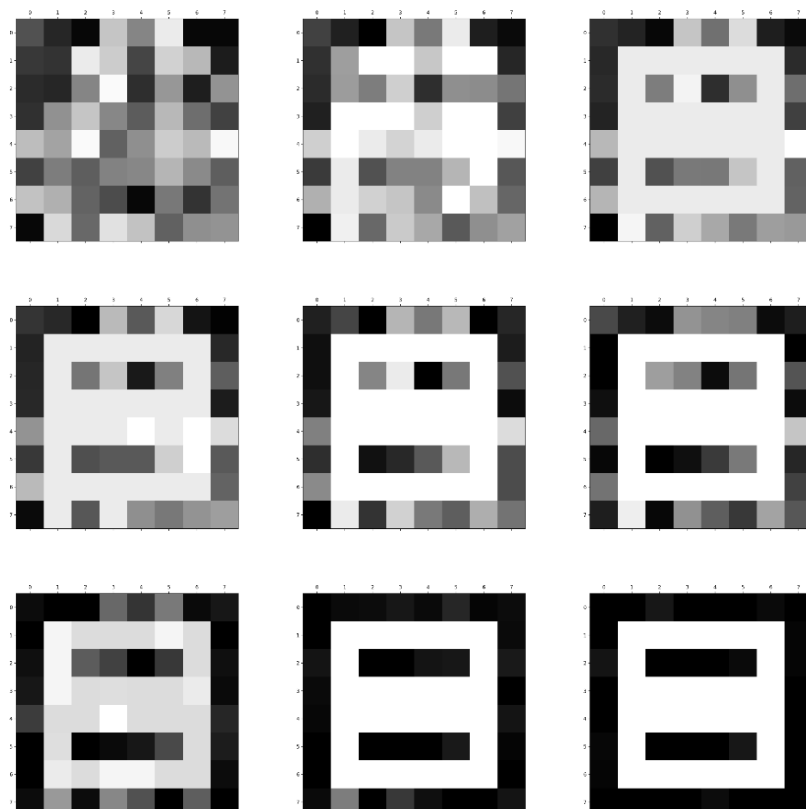
Шаблон 1 на эпохах 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3500, 5050:



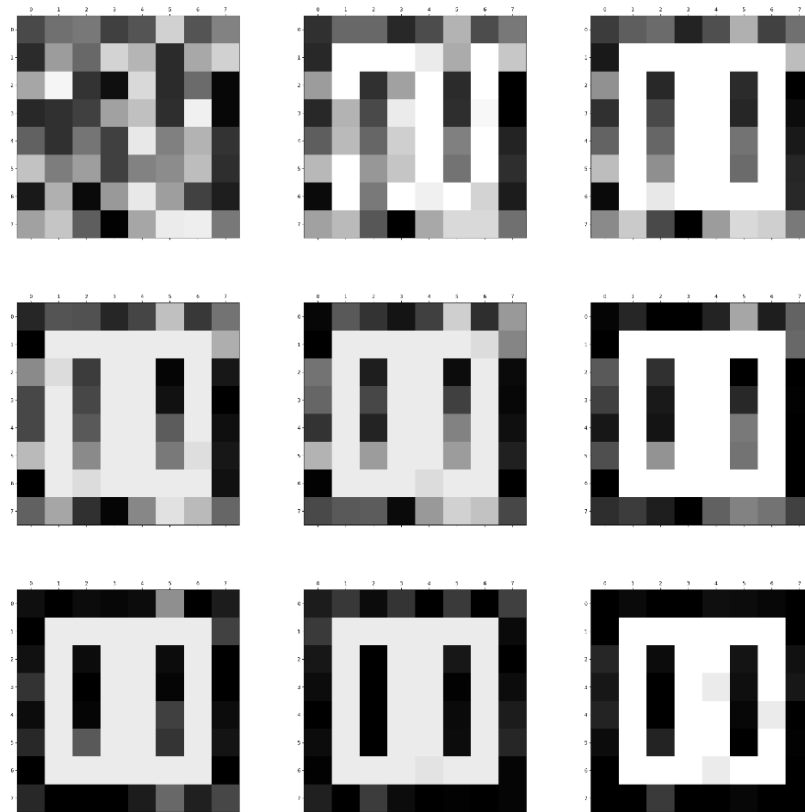
Шаблон 2 на эпохах 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3500, 5050:



Шаблон 3 на эпохах 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3500, 5050:



Шаблон 4 на эпохах 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3500, 5050:



Литература:

- [1] Моделирование импульсных нейроморфных сетей с онлайн обучением - Семинар 3
- [2] Alexander Yu. Morozova, Karine K. Abgaryan, Dmitry L. Reviznikov - Mathematical model of a neuromorphic network based on memristive elements
- [3] А. Ю. Морозов, К. К. Абгарян, Д. Л. Ревизников - Математическое моделирование аналоговой самообучающейся нейронной сети на основе мемристивных элементов с учетом стохастической динамики переключения