

# **Изучение модели ТСП/AQM в сетевых системах**

**Анализ управления очередями в ТСП**

Мугари Абдеррахим

# Изучение модели ТСП/AQM в сетевых системах

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Цель работы</b>                           | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Задание</b>                               | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Теоретическое введение</b>                | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>Выполнение лабораторной работы</b>        | <b>7</b>  |
| 4.1      | Реализация в xcos . . . . .                  | 7         |
| 4.2      | Настройка переменных окружения . . . . .     | 7         |
| 4.3      | Параметры моделирования . . . . .            | 7         |
| 4.4      | Начальные условия интеграторов . . . . .     | 8         |
| 4.5      | Настройка задержки . . . . .                 | 9         |
| 4.6      | Выражение для производной очереди . . . . .  | 9         |
| 4.7      | Настройка регистрирующих модулей . . . . .   | 10        |
| 4.8      | Сборка схемы модели ТСП/AQM: . . . . .       | 12        |
| 4.9      | Графики моделирования . . . . .              | 12        |
| 4.10     | Влияние изменения параметров . . . . .       | 13        |
| 4.11     | Реализация модели в OpenModelica . . . . .   | 14        |
| 4.12     | Настройка модели . . . . .                   | 14        |
| 4.13     | Параметры симуляции . . . . .                | 15        |
| 4.14     | Графики результатов* . . . . .               | 16        |
| 4.15     | Изменение параметра в OpenModelica . . . . . | 17        |
| <b>5</b> | <b>Выводы:</b>                               | <b>19</b> |
|          | <b>Список литературы</b>                     | <b>20</b> |

# Список иллюстраций

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.1  | Переменные окружения . . . . .   | 7  |
| 4.2  | Параметры моделирования . . . . .  | 8  |
| 4.3  | Установка начального значения интегратора . . . . .  | 8  |
| 4.4  | Установка начального значения интегратора . . . . .  | 9  |
| 4.5  | Установка задержки . . . . .   | 9  |
| 4.6  | Параметры блока Expression . . . . .   | 10 |
| 4.7  | Параметры CSCOPXY . . . . .  | 11 |
| 4.8  | Параметры CSCOPE . . . . .   | 11 |
| 4.9  | Модель TCP/AQM в xcos . . . . .  | 12 |
| 4.10 | Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$                            | 12 |
| 4.11 | Фазовый портрет $(W, Q)$ . . . . .   | 13 |
| 4.12 | Переменные окружения, изменение . . . . .  | 13 |
| 4.13 | Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$<br>при $C = 0.9$ . . . . . | 14 |
| 4.14 | Фазовый портрет $(W, Q)$ при $C = 0.9$ . . . . .   | 14 |
| 4.15 | Модель TCP/AQM в OpenModelica . . . . .  | 15 |
| 4.16 | Установка симуляции OpenModelica . . . . .   | 16 |
| 4.17 | Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$                            | 16 |
| 4.18 | Фазовый портрет $(W, Q)$ . . . . .   | 17 |
| 4.19 | Изменение параметра $C$ . . . . .  | 17 |
| 4.20 | Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$<br>при $C = 0.9$ . . . . . | 18 |
| 4.21 | Фазовый портрет $(W, Q)$ при $C = 0.9$ . . . . .   | 18 |

# 1 Цель работы

Основной задачей данной лабораторной работы является реализация модели TCP/AQM с использованием инструментов xcos и OpenModelica.

## 2 Задание

- Разработать модель ТСП/AQM в средах xcos [1] и OpenModelica.
- Построить график, демонстрирующий динамику изменения очереди и ТСП-окна.
- Построить фазовый портрет, отображающий взаимосвязь между размером очереди и ТСП-окном.

### 3 Теоретическое введение

Рассмотрим упрощённую модель поведения ТСП-подобного трафика с регулируемой некоторым AQM алгоритмом динамической интенсивностью потока [2].

$W(t)$  - средний размер ТСП-окна (в пакетах, функция положительна),

$Q(t)$  - средний размер очереди (в пакетах, функция положительна),

$R(t)$  - время двойного оборота (Round Trip Time, сек.)

$C$  - скорость обработки пакетов в очереди (пакетов в секунду)

$N(t)$  - число ТСП-сессий

$p(t - R(t))$  - вероятностная функция сброса (отметки на сброс) пакета, значения которой лежат на интервале  $[0, 1]$ .

Примем  $N(t) \equiv N$ ,  $R(t) \equiv R$ , т. е. указанные величины положим постоянными, не изменяющимися во времени. Также положим  $p(t - R(t)) = KQ(t)$ , т.е. функция сброса пакетов пропорциональна длине очереди  $Q(t)$ .

Тогда получим систему

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R} - \frac{W(t)W(t-R)}{2R} KQ(t-R) \quad (3.1)$$

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{NW(t)}{R} - C, & Q(t) > 0, \\ \max\left(\frac{NW(t)}{R} - C, 0\right), & Q(t) = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

## 4 Выполнение лабораторной работы

### 4.1 Реализация в xcos

### 4.2 Настройка переменных окружения

Сначала определим переменные окружения:  $N = 1, R = 1, K = 5.3, C = 1, W(0) = 0.1, Q(0) = 1$ .

Для этого сначала определяем переменные окружения. (рис. 4.1).

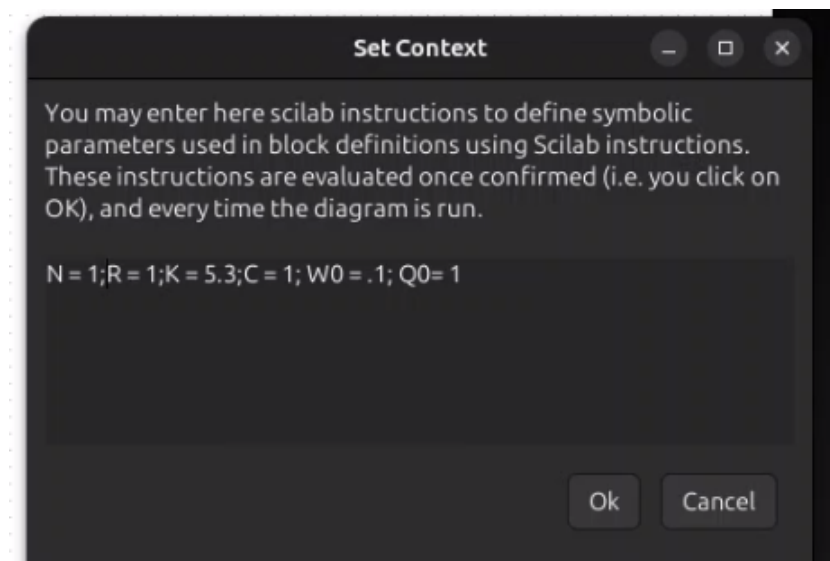


Рис. 4.1: Переменные окружения

### 4.3 Параметры моделирования

Так же устанавливаем время моделирования (100 единиц времени). (рис. 4.2).

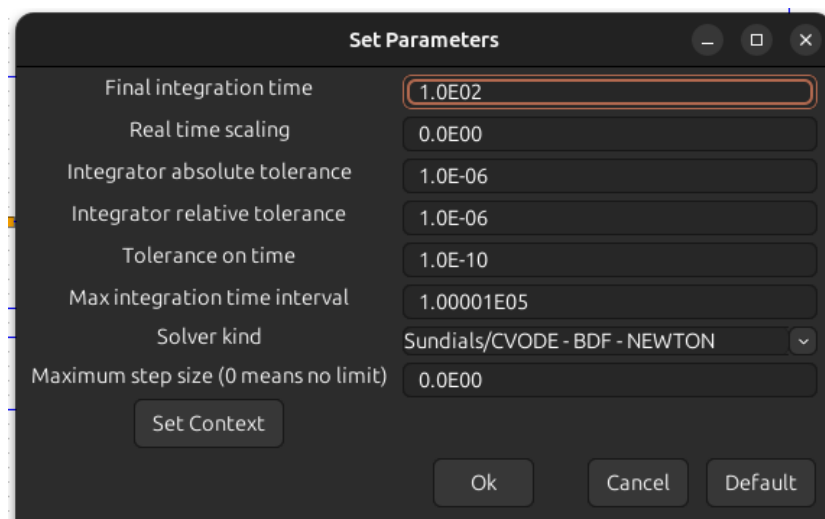


Рис. 4.2: Параметры моделирования

## 4.4 Начальные условия интеграторов

Зададим стартовые значения для интеграторов (рис. 4.3, 4.4).

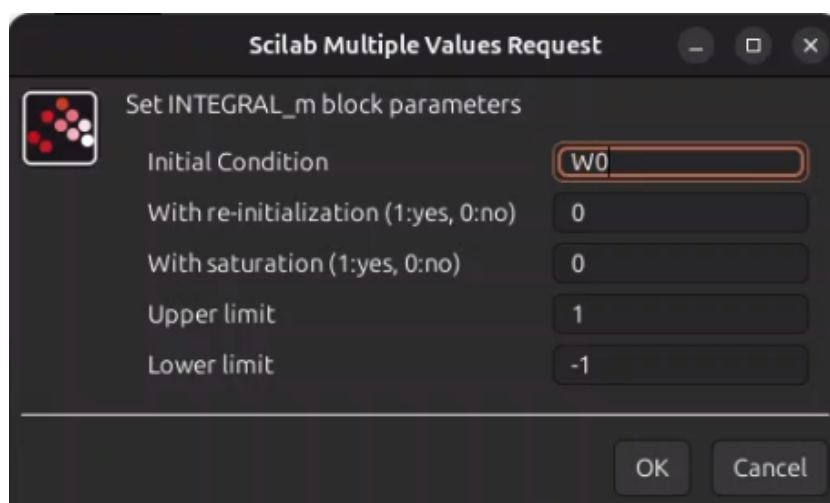


Рис. 4.3: Установка начального значения интегратора



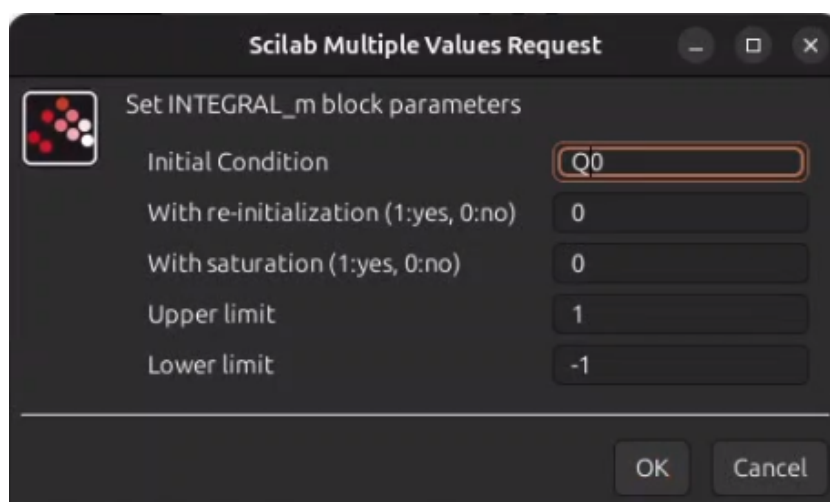


Рис. 4.4: Установка начального значения интегратора

## 4.5 Настройка задержки

Определим параметр задержки (рис. 4.5).

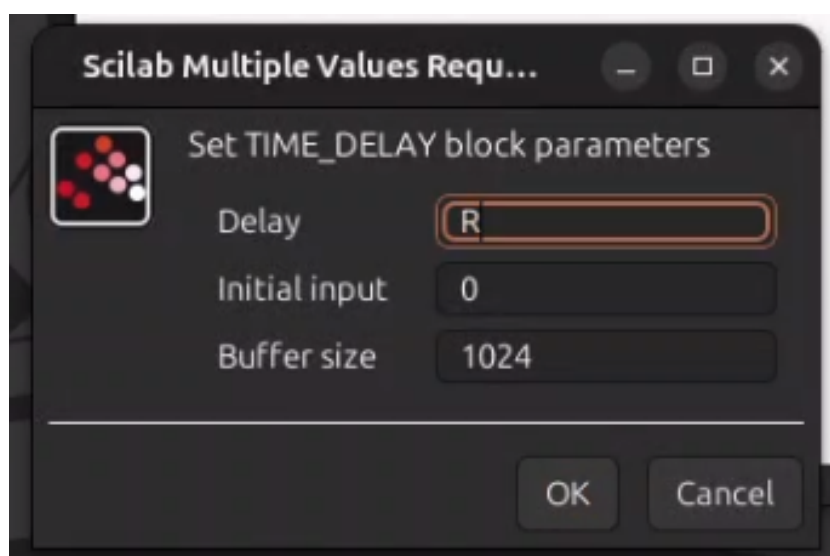


Рис. 4.5: Установка задержки

## 4.6 Выражение для производной очереди

В блоке Expression вводим формулу для  $\dot{Q}(t)$  (рис. 4.6).

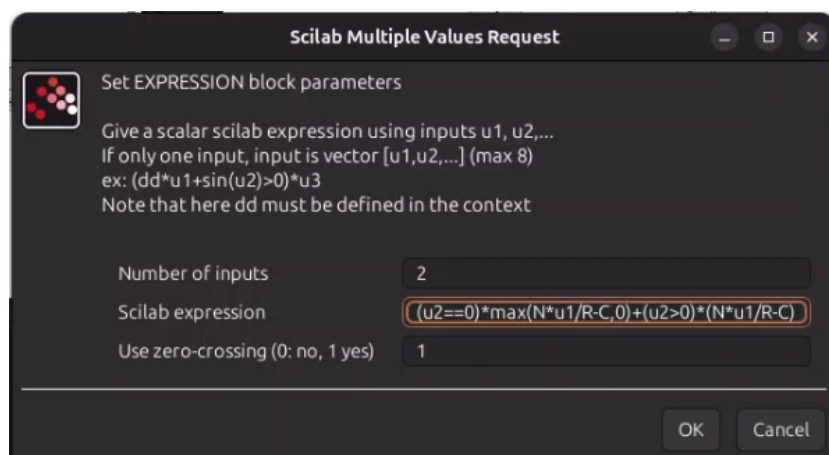


Рис. 4.6: Параметры блока Expression

## 4.7 Настройка регистрирующих модулей

Для корректного отображения графиков устанавливаем параметры регистрирующих устройств. В частности, в блоке CSCOPE задаем значение `refresh period` = 100, что позволяет отображать результаты моделирования за 100 секунд модельного времени (рис. 4.7, 4.8).

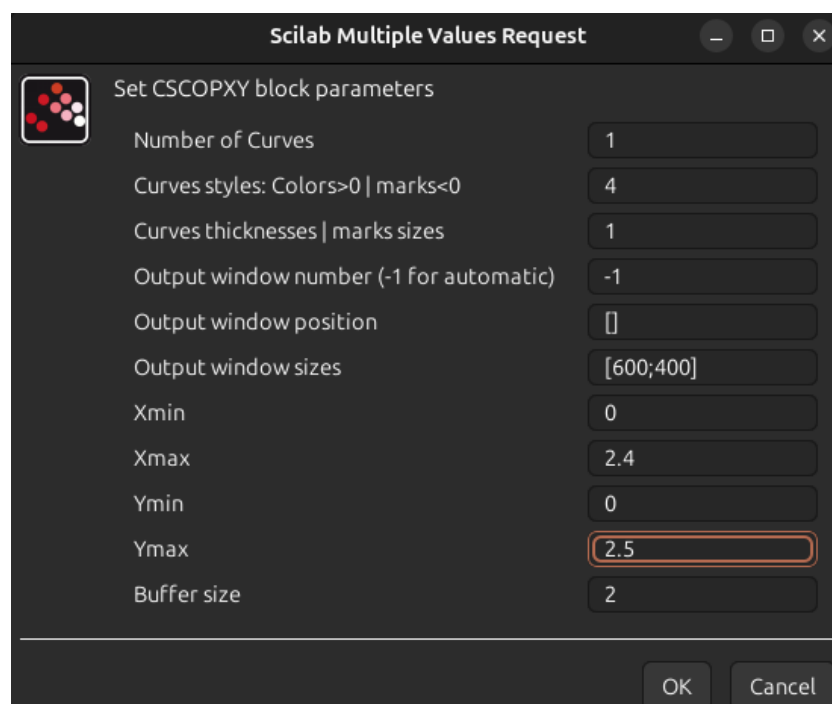


Рис. 4.7: Параметры CSCOPXY

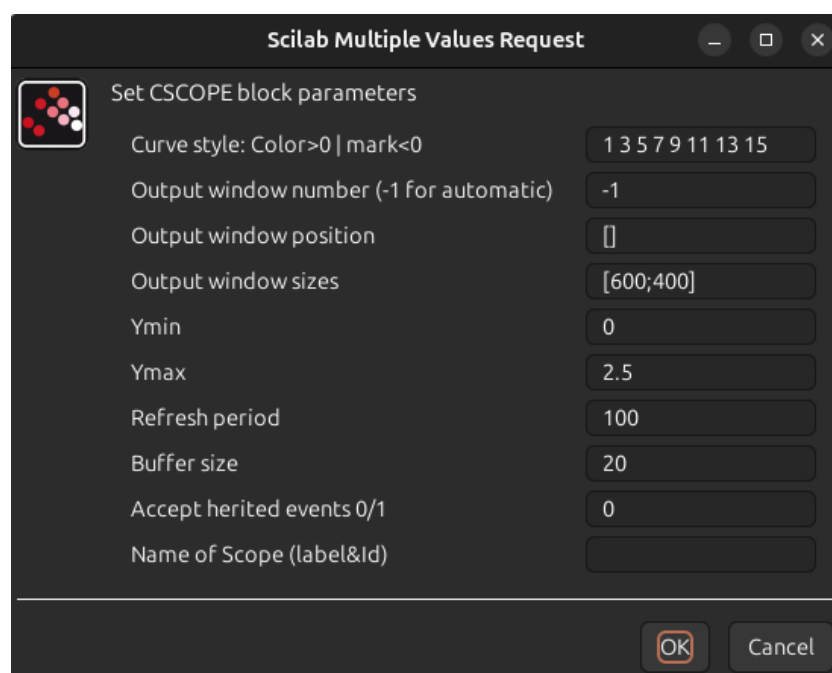


Рис. 4.8: Параметры CSCCOPE

## 4.8 Сборка схемы модели ТСП/AQM:

Реализуем модель ТСП/AQM [3], подключив регистрирующие блоки CSCOPE для отображения графиков изменения ТСП-окна и очереди, а также блок CSCOPXY для построения фазового портрета (рис. 4.9).

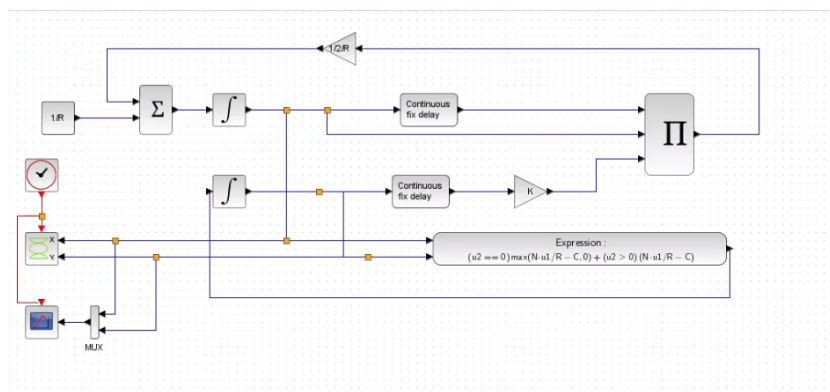


Рис. 4.9: Модель ТСП/AQM в xcos

## 4.9 Графики моделирования

В результате получаем следующие графики: - Динамика изменения размера ТСП-окна  $W(t)$  (отмечена зелёной линией) и очереди  $Q(t)$  (чёрная линия) (рис. 4.10, 4.11)

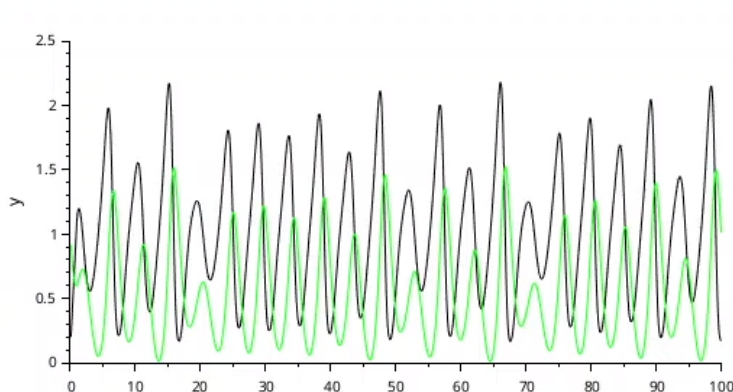


Рис. 4.10: Динамика изменения размера ТСП окна  $W(t)$  и размера очереди  $Q(t)$

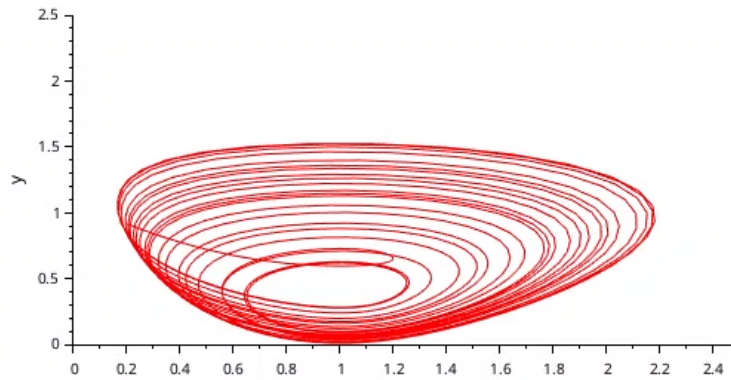


Рис. 4.11: Фазовый портрет ( $W, Q$ )

## 4.10 Влияние изменения параметров

При уменьшении значения скорости обработки пакетов  $C$  до 0.9 наблюдаются более выраженные автоколебания, что видно по графикам:

- Динамика ТСП-окна  $W(t)$  и очереди  $Q(t)$  при  $C = 0.9$  (рис. 4.12)
- Фазовый портрет системы при  $C = 0.9$  (рис. 4.13)

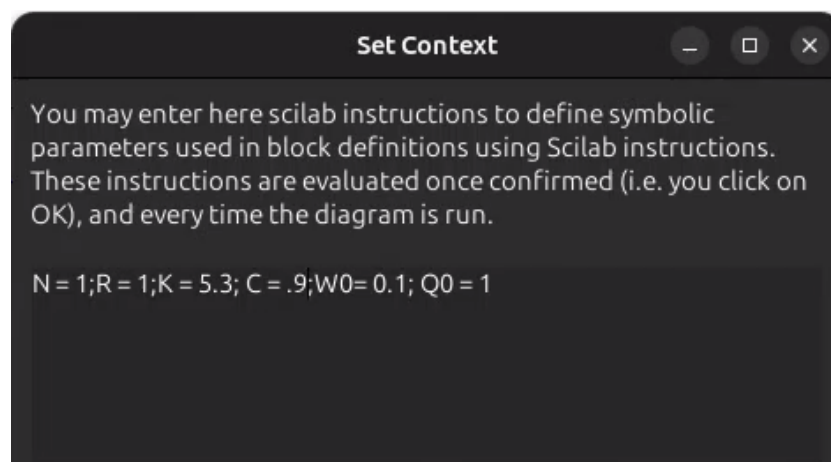


Рис. 4.12: Переменные окружения, изменение

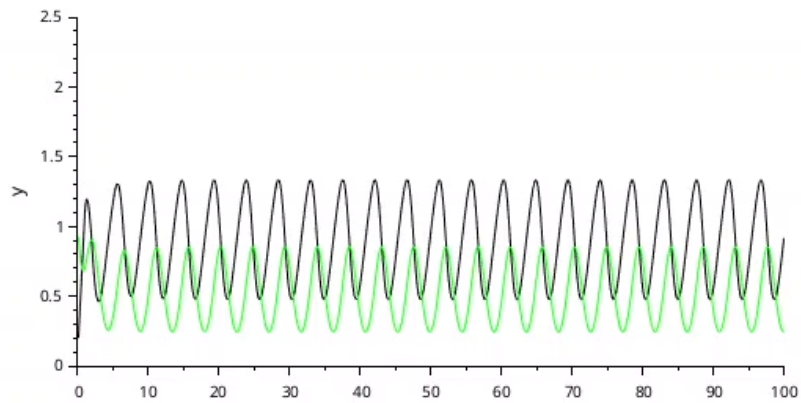


Рис. 4.13: Динамика изменения размера TCP окна  $W(t)$  и размера очереди  $Q(t)$  при  $C = 0.9$

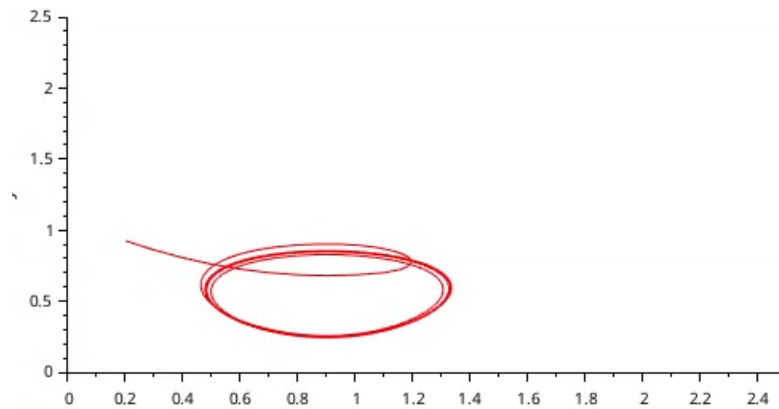


Рис. 4.14: Фазовый портрет  $(W, Q)$  при  $C = 0.9$

## 4.11 Реализация модели в OpenModelica

## 4.12 Настройка модели

Перейдем к реализации модели в OpenModelica [4]. Зададим параметры, начальные значения и систему дифференциальных уравнений (рис. 4.15).

```

model lab8

parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=1;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;

Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);

equation
der(W)= 1/R-W*delay(W,R)*K*delay(Q,R)/(2*R);
der(Q) = if Q > 0 then N*W/R-C else max(N*W/R-C,0);

end lab8;

```

Рис. 4.15: Модель TCP/AQM в OpenModelica

## 4.13 Параметры симуляции

Устанавливаем время симуляции равным 100 единицам модельного времени (рис. 4.16).

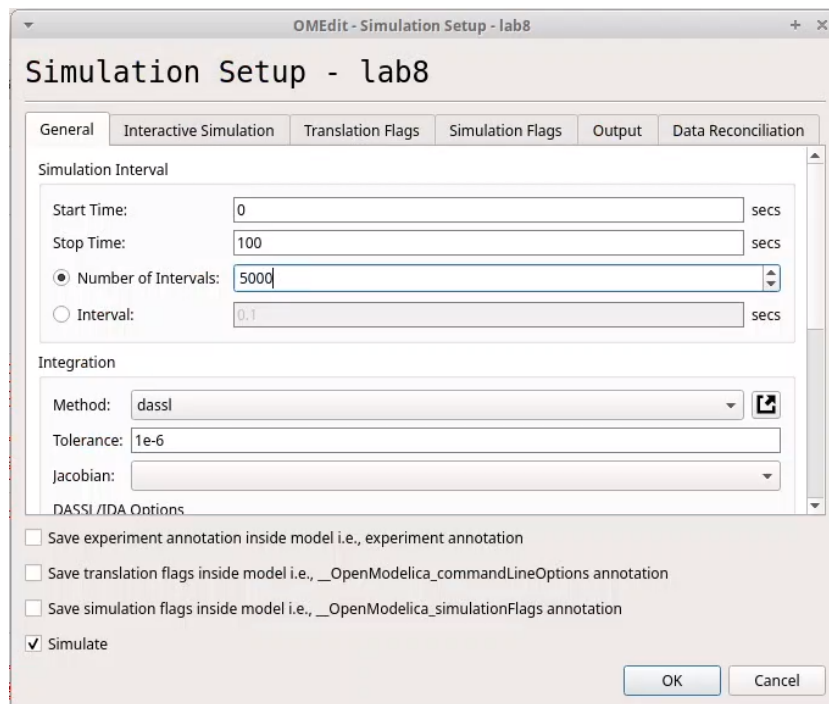


Рис. 4.16: Установка симуляции OpenModelica

## 4.14 Графики результатов\*

Полученные результаты демонстрируют: - Динамику изменения размера ТСП-окна [2].  $W(t)$  (красная линия) и очереди  $Q(t)$  (синяя линия) (рис. 4.17). - Фазовый портрет, подтверждающий наличие автоколебаний, где фазовая траектория осциллирует вокруг стационарной точки (рис. 4.18).

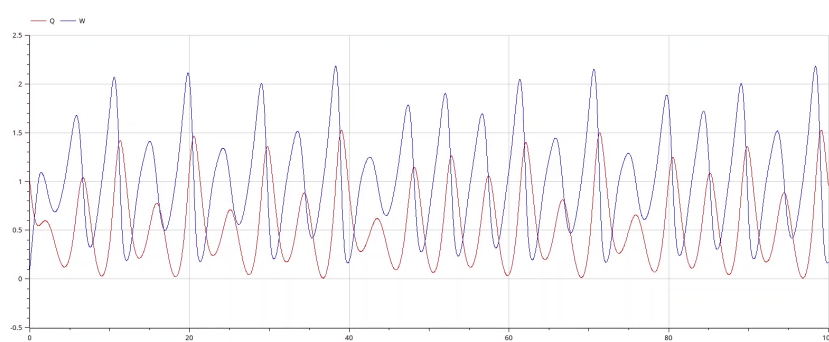


Рис. 4.17: Динамика изменения размера ТСП окна  $W(t)$  и размера очереди  $Q(t)$



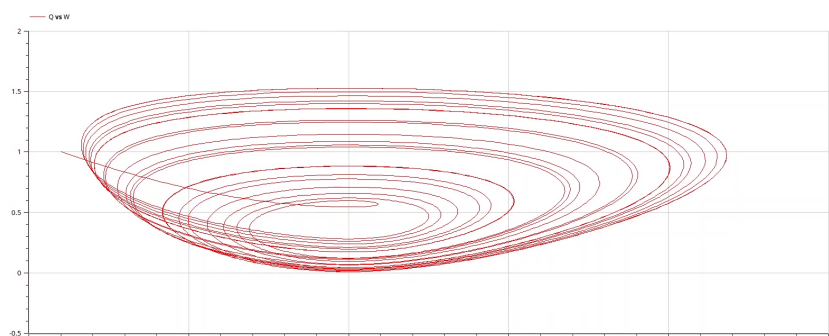


Рис. 4.18: Фазовый портрет (W, Q)

## 4.15 Изменение параметра в OpenModelica

Изменяем скорость обработки пакетов  $C$  до 0.9. Результаты показывают, что автоколебания стали более выраженными, что видно по графикам: - Динамика ТСП-окна и очереди при  $C = 0.9$  (рис. 4.19). - Фазовый портрет при  $C = 0.9$  (рис. 4.20).

```

model lab8

parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=0.9;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;

Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);

equation
der(W)= 1/R-W*delay(W,R)*K*delay(Q,R)/(2*R);
der(Q) = if Q > 0 then N*W/R-C else max(N*W/R-C,0);

end lab8;

```

Рис. 4.19: Изменение параметра  $C$

Точно так же увидим, что автоколебания стали более выраженными (рис. 4.20, 4.21).

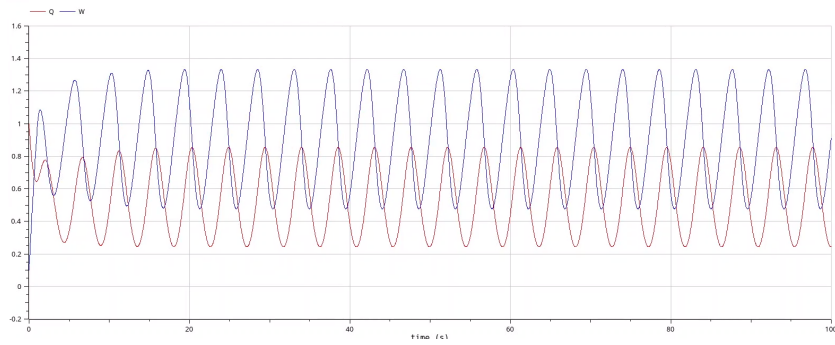


Рис. 4.20: Динамика изменения размера TCP окна  $W(t)$  и размера очереди  $Q(t)$  при  $C = 0.9$

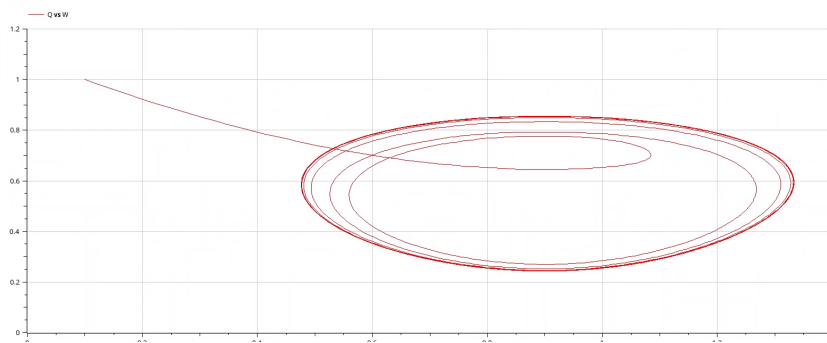


Рис. 4.21: Фазовый портрет  $(W, Q)$  при  $C = 0.9$

## 5 Выводы:

В результате выполнения лабораторной работы была успешно разработана и реализована модель TCP/AQM с использованием инструментов xcos и OpenModelica. Анализ графиков показал наличие автоколебаний в системе, которые усиливаются при уменьшении скорости обработки пакетов  $C$

## Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Компонентное моделирование. Scilab, подсистема xcos [Электронный ресурс].
2. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Лабораторная работа 8. Модель TCP/AQM [Электронный ресурс].
3. Hollot C.V. и др. A Control Theoretic Analysis of RED // Proceedings IEEE INFOCOM. 2001. С. 1510–1519.
4. Fritzson P. Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 3.3: A Cyber-Physical Approach. Wiley, 2014.