

# Технико-физическая документация: RC-Simulator

Власов Даниил Николаевич (группа Р3213)

Юсупова Алиса Ильясовна (группа Р3213)

Научный руководитель:

Хвастунов Николай Николаевич

(доцент, кандидат физико-математических наук)

Июнь 2025

## 1 Введение

RC-Simulator — это программное приложение, разработанное для моделирования и визуализации поведения RC-цепи (резистор-конденсатор) с учётом неидеального источника питания. Программа позволяет пользователям задавать параметры цепи, такие как ёмкость конденсатора, сопротивление резистора, электродвижущая сила (ЭДС) источника, внутреннее сопротивление, температурный коэффициент и температура окружающей среды, а также тип источника (постоянный или переменный ток). Приложение предоставляет интерактивный графический интерфейс для ввода параметров, отображения графиков напряжения и тока, анимации процесса зарядки/разрядки и сохранения результатов в формате CSV или PNG.

Целью проекта является создание инструмента для образовательных и инженерных задач, позволяющего изучать динамику RC-цепей в различных условиях, включая влияние температуры и внутреннего сопротивления источника.

## 2 Физические принципы

RC-цепь состоит из резистора ( $R$ ) и конденсатора ( $C$ ), соединённых последовательно, подключённых к источнику питания с ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением  $R_{\text{int}}$ . Поведение цепи зависит от типа источника (DC или AC) и режима работы (зарядка или разрядка).

## 2.1 Постоянный ток (DC)

Для режима зарядки напряжение на конденсаторе ( $V_C$ ) и ток ( $I$ ) описываются следующими уравнениями:

$$V_C(t) = E (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

$$I(t) = \frac{E}{R + R_{\text{int}}} e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

где  $\tau = (R + R_{\text{int}}) \cdot C$  — постоянная времени цепи.

Для режима разрядки:

$$V_C(t) = E e^{-t/\tau}, \quad (3)$$

$$I(t) = -\frac{E}{R + R_{\text{int}}} e^{-t/\tau}. \quad (4)$$

## 2.2 Переменный ток (AC)

Для переменного тока с угловой частотой  $\omega = 2\pi f$  (где  $f$  — частота, по умолчанию 50 Гц) импеданс цепи ( $Z$ ) вычисляется как:

$$Z = \sqrt{(R + R_{\text{int}})^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}. \quad (5)$$

Напряжение на конденсаторе и ток:

$$V_C(t) = \frac{E \sin(\omega t)}{\sqrt{1 + (\omega(R + R_{\text{int}})C)^2}}, \quad (6)$$

$$I(t) = \frac{E}{Z} \sin\left(\omega t - \arctan\left(\frac{1}{\omega(R + R_{\text{int}})C}\right)\right). \quad (7)$$

Фазовый сдвиг между током и напряжением:

$$\phi = \arctan\left(\frac{1}{\omega(R + R_{\text{int}})C}\right). \quad (8)$$

## 2.3 Энергетические характеристики

Энергия, накопленная в конденсаторе:

$$E_C = \frac{1}{2} C V_C^2. \quad (9)$$

Средняя мощность тепловых потерь:

$$P = \text{mean}(I^2(R + R_{\text{int}})). \quad (10)$$

## 2.4 Влияние температуры

Сопротивление корректируется с учётом температуры ( $T$ ) и температурного коэффициента ( $\alpha$ ):

$$R_{\text{total}} = (R + R_{\text{int}})(1 + \alpha(T - 25)). \quad (11)$$

### 3 Функциональность приложения

RC-Simulator предоставляет следующие возможности:

- Ввод параметров цепи: ёмкость ( $C$ , мкФ), сопротивление ( $R$ , Ом), ЭДС ( $E$ , В), внутреннее сопротивление ( $R_{\text{int}}$ , Ом), температурный коэффициент ( $\alpha$ ,  $1/^\circ\text{C}$ ), температура ( $T$ ,  $^\circ\text{C}$ ).
- Выбор типа источника (DC или AC) и режима (зарядка или разрядка).
- Визуализация графиков напряжения на конденсаторе ( $V_C$ ) и тока ( $I$ ) с анимацией.
- Отображение схемы цепи с анимированным индикатором тока и уровня заряда.
- Экспорт данных в CSV с настраиваемой точностью и разделителем.
- Сохранение графиков в формате PNG.
- Справочное окно с описанием физических принципов и формул.
- Журналирование для диагностики и отладки.

### 4 Техническая реализация

Приложение реализовано на языке Python с использованием следующих библиотек и технологий:

- **PyQt6**: для создания графического интерфейса.
- **NumPy**: для численных расчётов, включая массивы времени, напряжения и тока.
- **Matplotlib**: для построения графиков и анимации.
- **Logging**: для отладки и журналирования ошибок.

#### 4.1 Структура проекта

Проект состоит из следующих модулей:

- `rc_calculator.py`: Выполняет расчёты параметров RC-цепи, включая напряжение, ток, энергию и тепловые потери.
- `plot_widget.py`: Отображает графики напряжения и тока с анимацией.
- `rc_simulator.py`: Главное окно приложения, объединяющее ввод параметров, управление симуляцией и экспорт данных.

- `circuit_diagram.py`: Визуализирует схему RC-цепи с анимацией тока и заряда.
- `help_window.py`: Отображает справочную информацию с формулами в формате LaTeX.
- `main.py`: Точка входа в приложение.

## 4.2 Пользовательский интерфейс

Интерфейс включает:

- Форму для ввода параметров с валидацией (выделение красным при некорректных значениях).
- Выпадающие списки для выбора типа источника и режима.
- Ползунок для настройки скорости анимации (10–200 мс).
- Таблицу для отображения результатов (ёмкость, сопротивление, энергия и т.д.).
- Кнопки для запуска симуляции, паузы/возобновления анимации, экспорта данных, сохранения графиков и вызова справки.

## 4.3 Алгоритм работы

1. Пользователь вводит параметры цепи через графический интерфейс.
2. Параметры проверяются на корректность (положительные значения, за исключением  $R_{\text{int}}$ , которое может быть 0).
3. Модуль `RCCalculator` выполняет расчёты для заданного временного диапазона ( $t_{\text{max}} = 5\tau$ ).
4. Результаты передаются в `PlotWidget` для построения графиков и в `CircuitDiagram` для обновления анимации.
5. Пользователь может сохранить данные в CSV или график в PNG, а также просмотреть справочную информацию.

## 5 Требования к установке

Для работы приложения необходимы:

- Python версии 3.8 или выше.
- Библиотеки:
  - PyQt6 (версия 6.0 или выше);
  - matplotlib (версия 3.2 или выше);
  - numpy (версия 1.20 или выше).

## 5.1 Инструкция по установке

1. Клонировать репозиторий:

```
git clone https://github.com/username/rc-simulator.git  
cd rc-simulator
```

2. Создать виртуальное окружение (рекомендуется):

```
python -m venv venv  
source venv/bin/activate # Windows: venv\Scripts\activate
```

3. Установить зависимости:

```
pip install -r requirements.txt
```

4. Запустить приложение:

```
python main.py
```

## 5.2 Файл зависимостей (requirements.txt)

```
PyQt6>=6.0.1  
matplotlib>=3.2.0  
numpy>=1.20.0
```

## 6 Использование приложения

Для работы с приложением выполните следующие шаги:

1. Запустите приложение командой `python main.py`.
2. Настройте параметры цепи:
  - **Ёмкость (мкФ):** Например, 1 для 1 мкФ.
  - **Сопротивление (Ом):** Например, 1000.
  - **ЭДС (В):** Например, 10.
  - **Внутреннее сопротивление (Ом):** Например, 0.
  - **Тип источника:** DC или AC.
  - **Режим:** Зарядка или Разрядка.
  - **Температурный коэффициент (1/°C):** Например, 0.0001.
  - **Температура (°C):** Например, 25.
  - **Точность экспорта:** Количество знаков после запятой (1–12).
  - **Десятичный разделитель:** Точка (.) или запятая (,).
3. Настройте скорость анимации с помощью ползунка (10–200 мс).

4. Нажмите кнопку **“Запустить симуляцию”** для запуска моделирования.

5. Используйте кнопки для управления:

- **Пауза/Возобновить:** Управление анимацией.
- **Предпросмотр CSV:** Просмотр данных перед экспортом.
- **Экспорт в CSV:** Сохранение до 1000 точек данных.
- **Сохранить график:** Экспорт графика в PNG.
- **Справка:** Просмотр инструкций и формул.
- **Выход:** Закрытие приложения.

## 6.1 Примеры экспорта в CSV

Пример для режима зарядки (точность=6, разделитель=точка):

```
Time (s); Voltage (V); Current (A)
0;0;0.01
0.000001;0.00995;0.009901
0.000002;0.0198;0.009802
...
0.005;9.932621;0.000067
```

Пример для режима разрядки (точность=4, разделитель=запятая):

```
Time (s); Voltage (V); Current (A)
0;10;-0,01
0,000001;9,9901;-0,0099
0,000002;9,9802;-0,0098
...
0,005;0,0674;-0,0001
```

## 7 Ограничения и допущения

- Частота переменного тока фиксирована (50 Гц).
- Максимальное количество точек для экспорта в CSV ограничено 1000.
- Точность экспорта ограничена диапазоном 1–12 знаков после запятой.
- Источник питания предполагается идеальным синусоидальным для АС.
- Температурные эффекты учитываются только для сопротивления.

## 8 Заключение

RC-Simulator — это мощный инструмент для изучения и анализа RC-цепей, сочетающий точные физические расчёты с удобным интерфейсом. Приложение подходит как для образовательных целей, так и для предварительного моделирования в инженерных задачах. В будущем возможно расширение функциональности, включая поддержку других типов цепей (например, RL или RLC) и дополнительные параметры источника питания.