

Направление подготовки: 140400 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электрический транспорт

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Дисциплина:

"Электрооборудование и системы управления электроподвижным составом"

Комаров В.Г. Практическая работа 5 16.04.2026 г.

Тема: Имитационные испытания ШИМ-инвертора электросилового агрегата электроподвижного состава

1. Моделирование импульсных процессов в электрических цепях электросиловых агрегатов

Электроподвижной состав обладает большой механической инерцией, поэтому электромеханические характеристики электрических машин при импульсном регулировании определяются средним значением импульсных величин.

Для построения блок-схемы модели электрической цепи фазы электросилового агрегата воспользуемся схемой замещения (рис. 1).

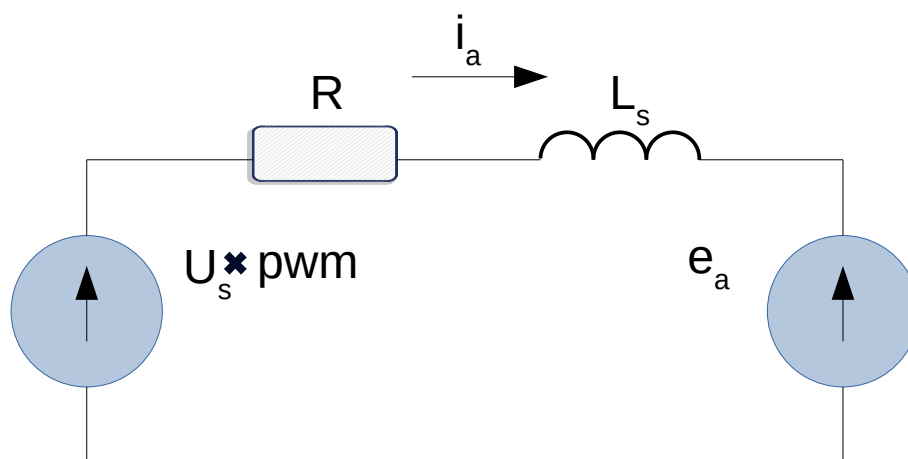


Рис. 1. Схема замещения электрической цепи обмотки фазы якоря

В соответствии со схемой замещения и со вторым законом Кирхгофа можно записать следующее уравнение

$$U_s \cdot pwm - e_a = i_a \cdot R + L_s \frac{di_a}{dt} ,$$

где U_s - напряжение источника питания регулировочной обмотки, В;

pwm - импульсная функция ШИМ;

R - активное сопротивление обмотки фазы якоря, Ом;

L_s - индуктивность рассеяния обмотки фазы якоря (собственная индуктивность фазы), Гн.

Для управления силовыми импульсными ключами используется широтно-импульсный модулятор (ШИМ). Он может быть построен, как на основе аналоговых сигналов, так и цифровых.

2. Полная модель цепи якоря ШИМ-инвертора

Полная блок-схема модели цепи якоря при питании от источника постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и инвертированием приведена на рис. 2.

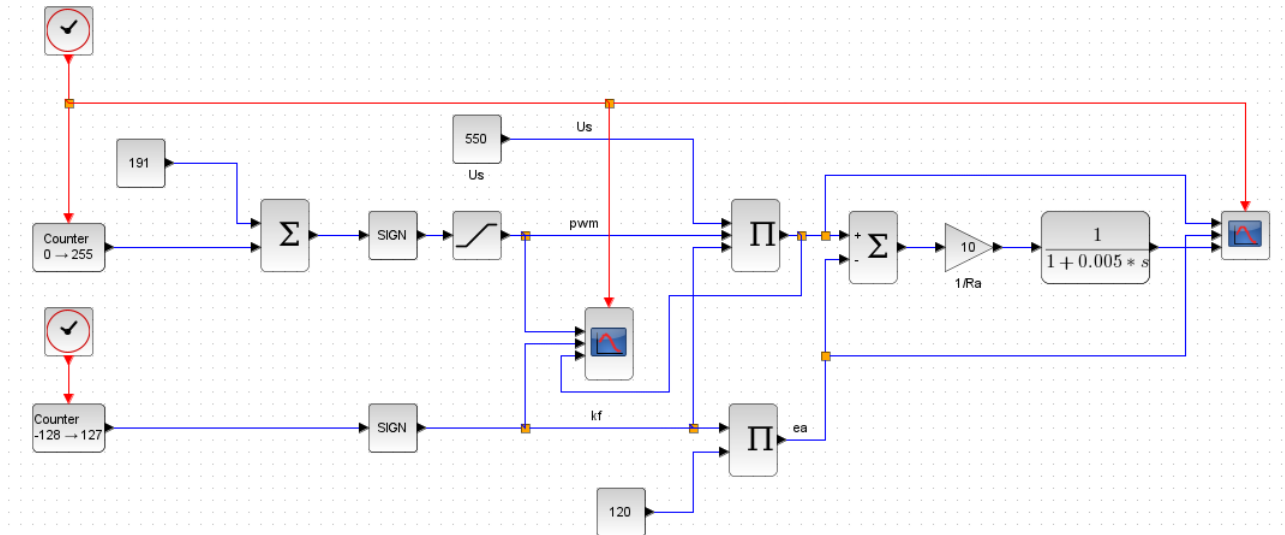


Рис. 2.

Блок-схема состоит из следующих основных узлов:

- Цифрового восьмиразрядного ШИМ;
- Узла управления инвертированием на восьмиразрядном счётчике;
- Модуля силовых импульсных ключей, реализующих переключение силовой цепи в соответствии с ШИМ-сигналом и инвертирование напряжения U_s источника постоянного напряжения;
- Эмулятора эдс якоря;
- Модели якорной цепи.

Уравнение якорной цепи при использовании инвертирования (функция kf), составленное по второму закону Кирхгоффа, имеет вид

$$U_s \cdot pwm \cdot kf = i_a \cdot R_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e_a ,$$

где U_s — напряжение источника питания, В;

pwm — единичная импульсная функция ШИМ;

kf - коммутационная функция инвертирования;

R_a - активное сопротивление цепи якоря, Ом;

L_a - собственная индуктивность цепи якоря, Гн;

i_a — ток якоря, А;

e_a - ЭДС якоря, В.

В соответствии с этим уравнением ток якоря в операторной форме будет описываться выражением

$$i_a(s) = \frac{u_a - e_a}{R_a} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_a} ,$$

где $T_a = \frac{L_a}{R_a}$ - постоянная времени якорной цепи, с.

Установленные параметры блоков показаны на рис. 3...13.

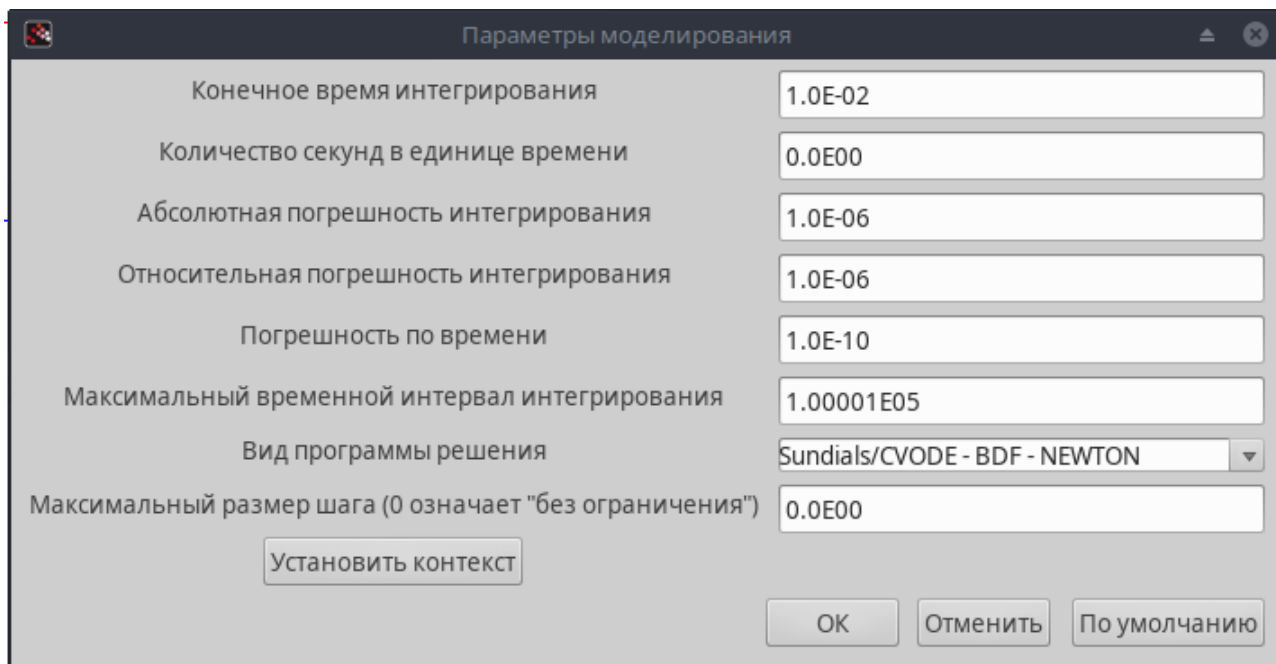


Рис. 3.

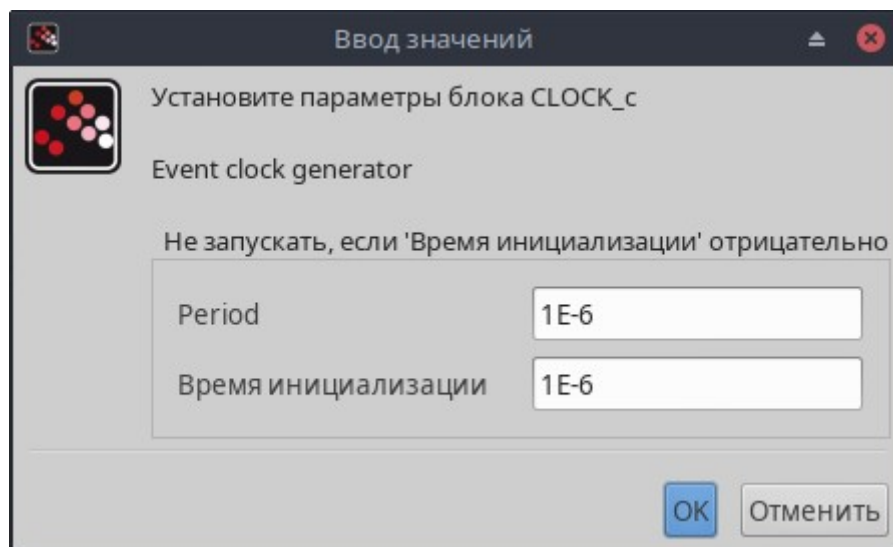


Рис. 4.

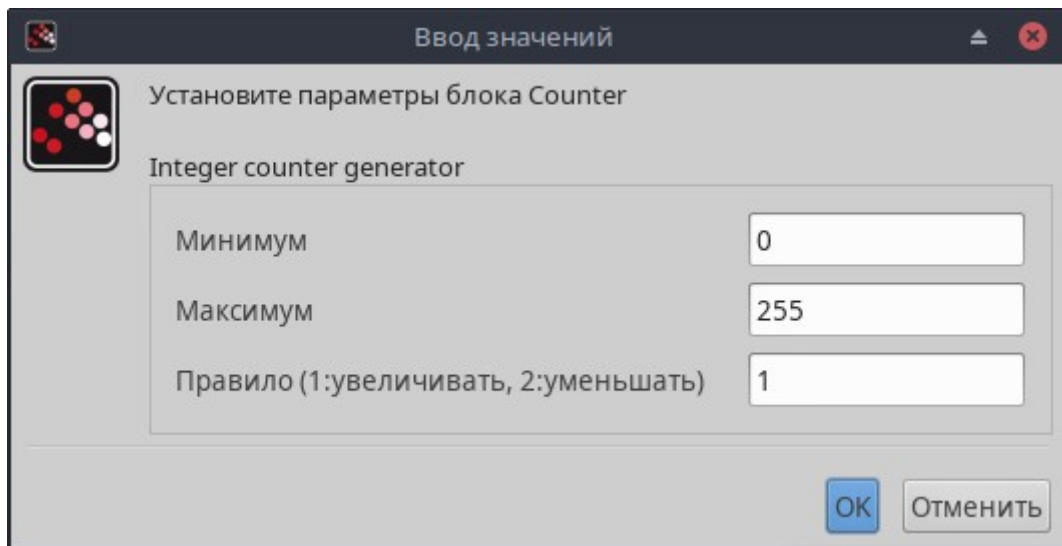


Рис. 5.

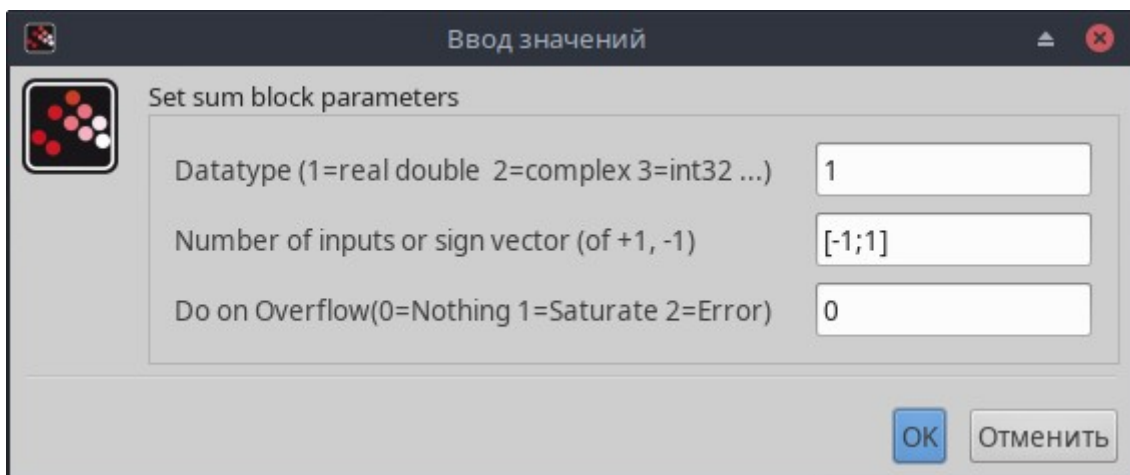


Рис. 6.

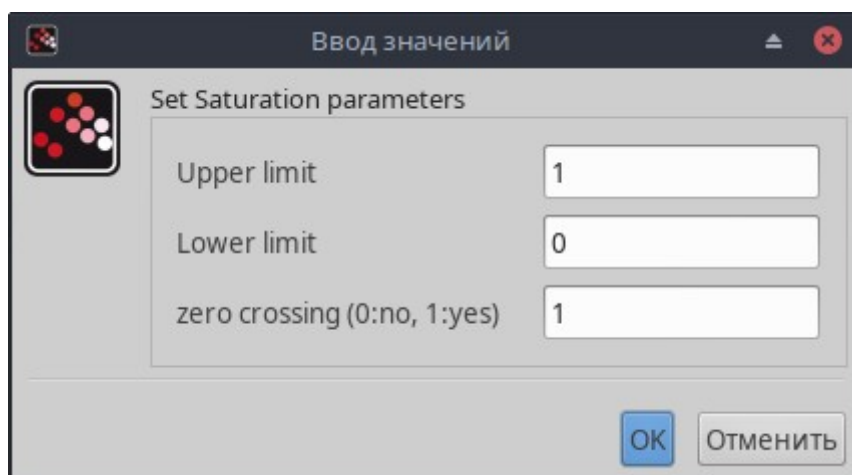


Рис. 7.

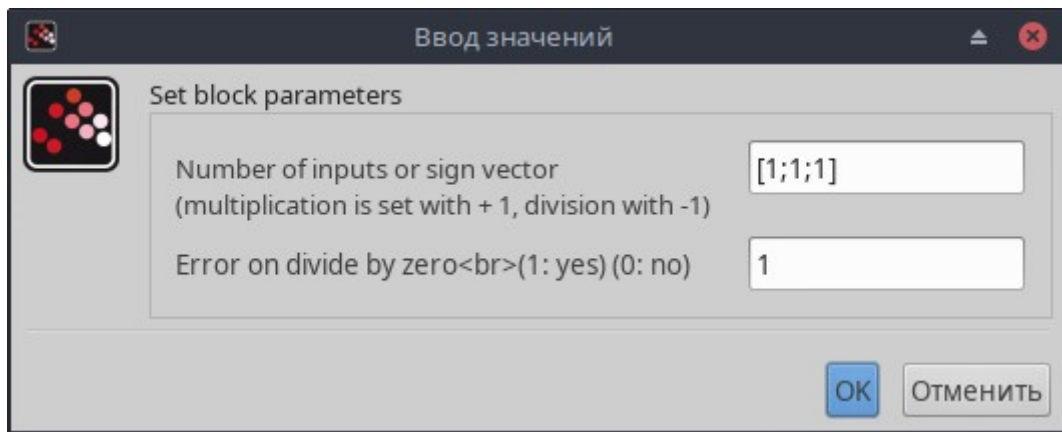


Рис. 8.

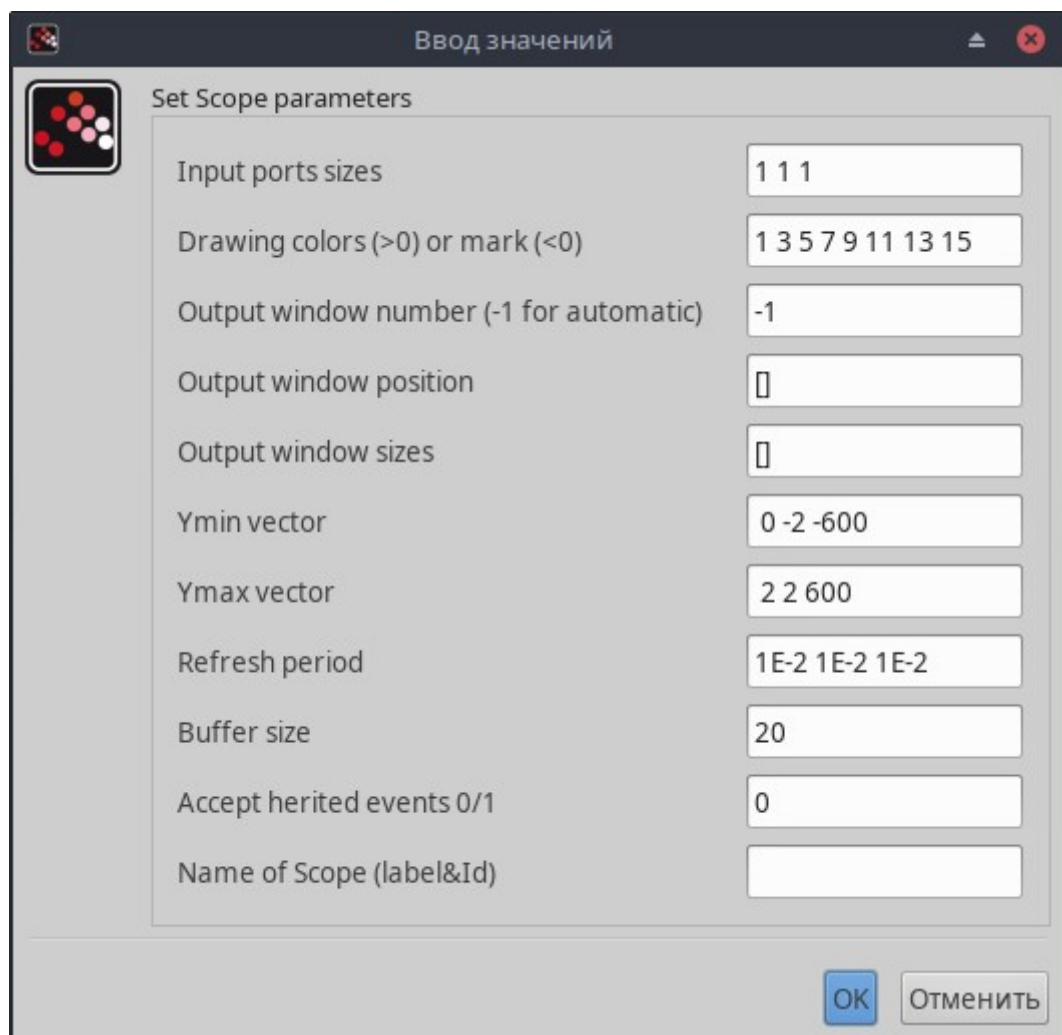


Рис. 9.

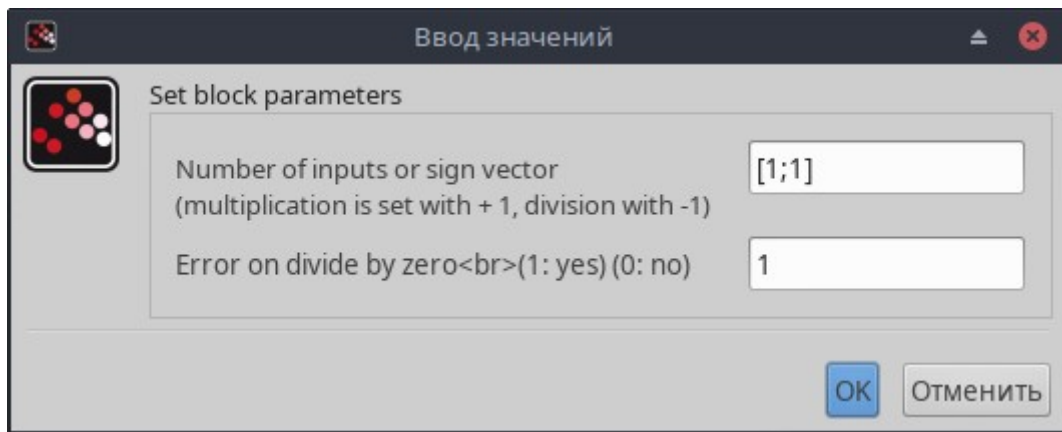


Рис. 10.

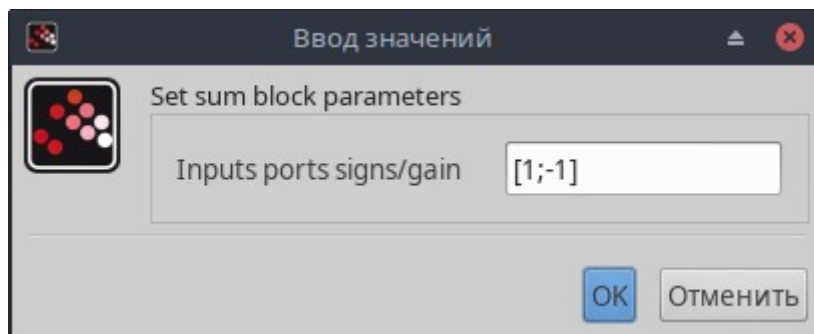


Рис. 11.

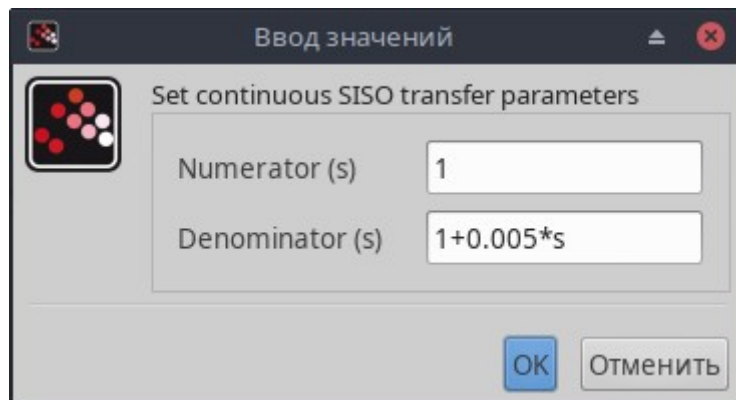


Рис. 12.

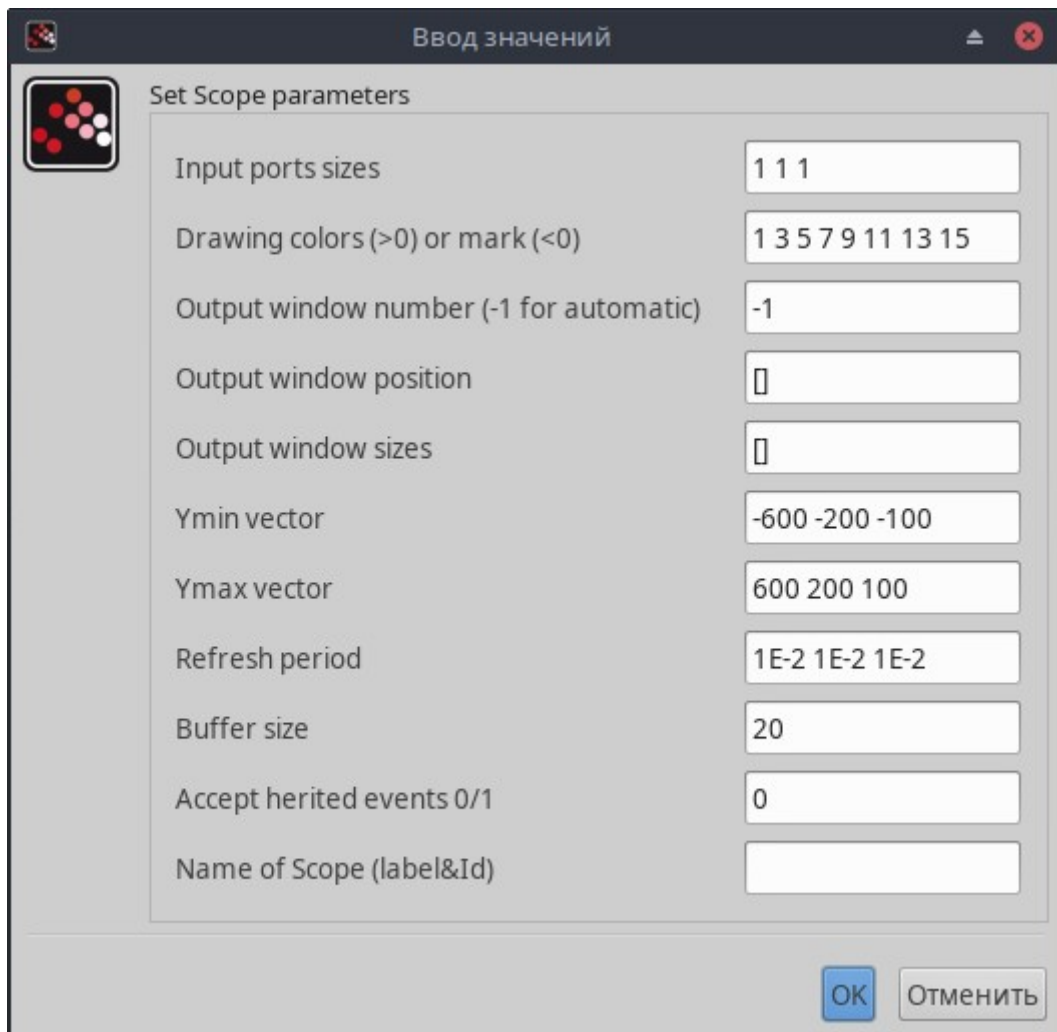


Рис. 13.

Результаты моделирования показаны на рис. 14 и 15.

Увеличив собственную индуктивность L_a и, соответственно постоянную времени T_a , якорной цепи можно уменьшить величину пульсаций тока якоря.

3. Модель фазы ШИМ-инвертора с использованием обратной связи по току якоря

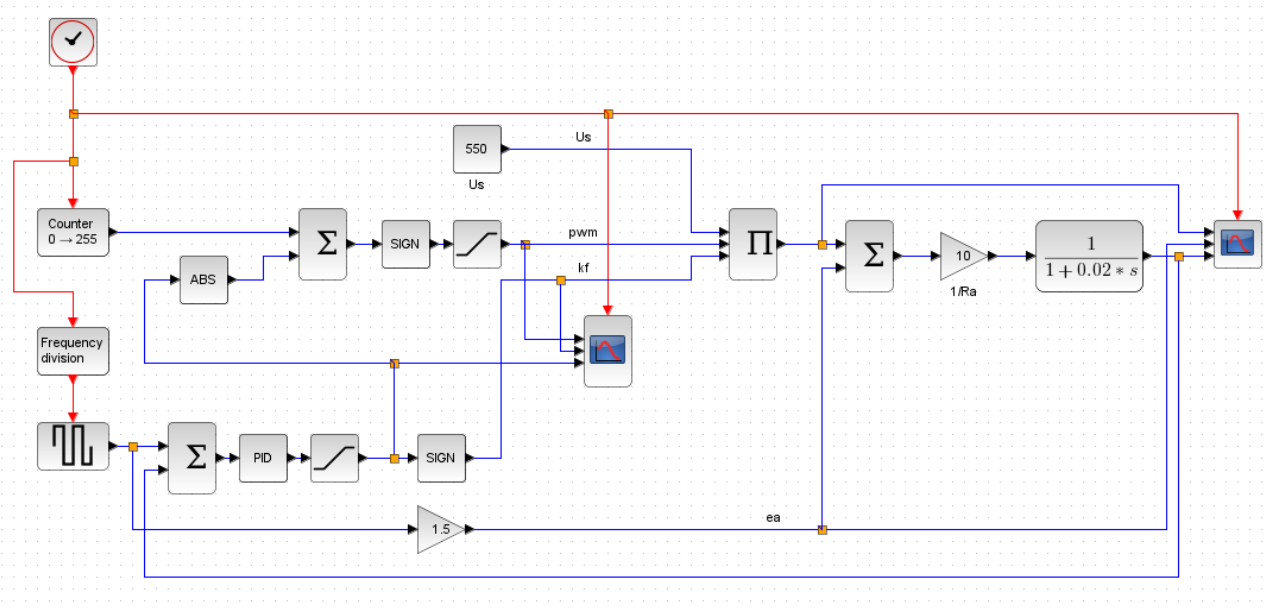


Рис. 16. Фаза ШИМ-инвертора с линейной модуляцией с обратной связью по току.

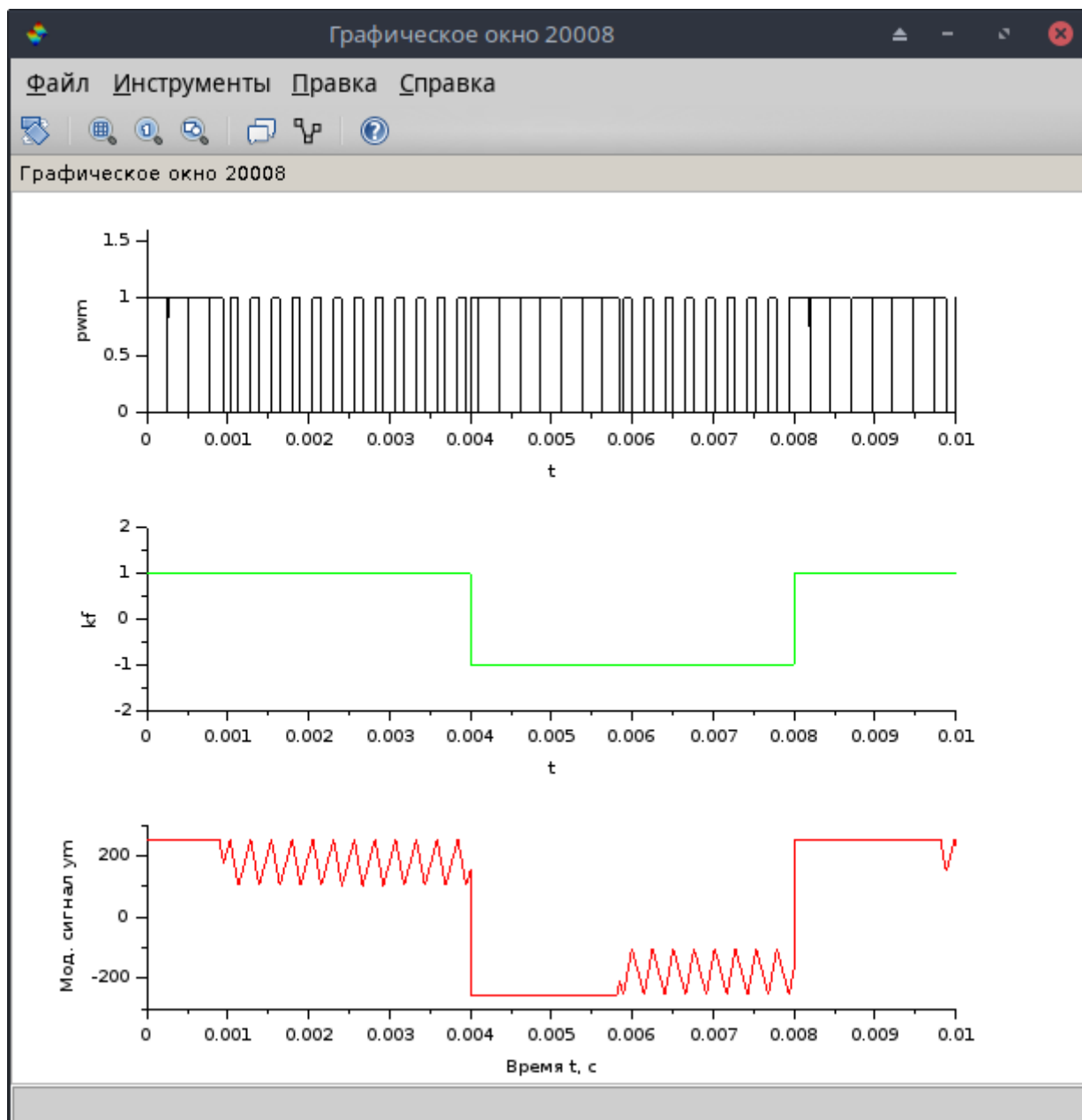


Рис. 17.

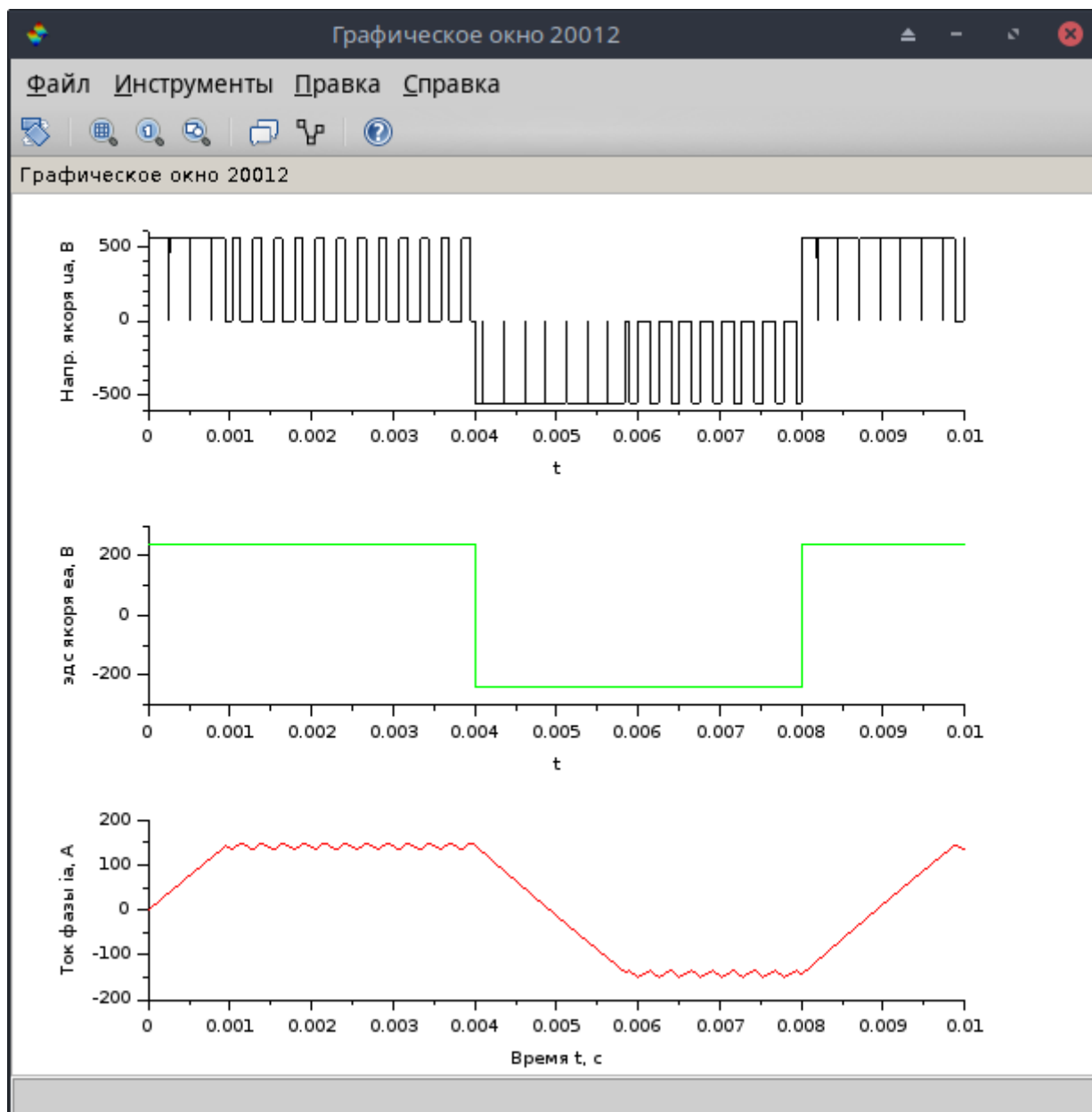


Рис. 18.

4. Модель фазы ШИМ-инвертора с синусоидальной модуляцией

Блок-схема модели синусоидальной модуляции в одной фазе инвертора без обратной связи приведена на рис. 19.

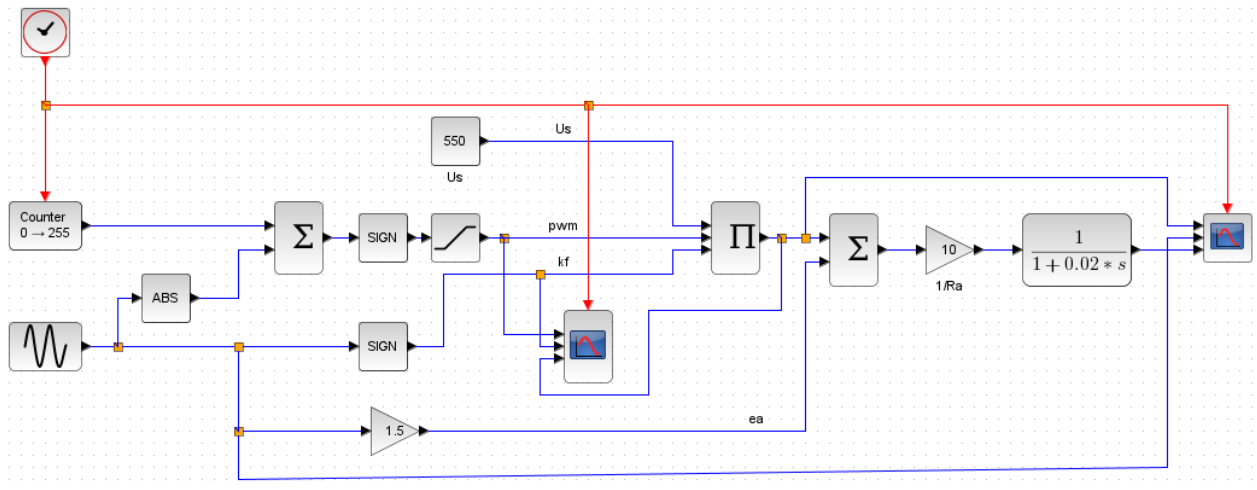


Рис. 19.

В результатах моделирования, представленных на рис. 20 и 21 видим большой фазовый сдвиг тока фазы якоря от напряжения якоря, что приводит к уменьшению $\cos \varphi$ за счёт увеличенной реактивной составляющей тока якоря. Попробуем исправить этот факт, применив обратную связь по току якоря в соответствии с блок-схемой рис. 22.

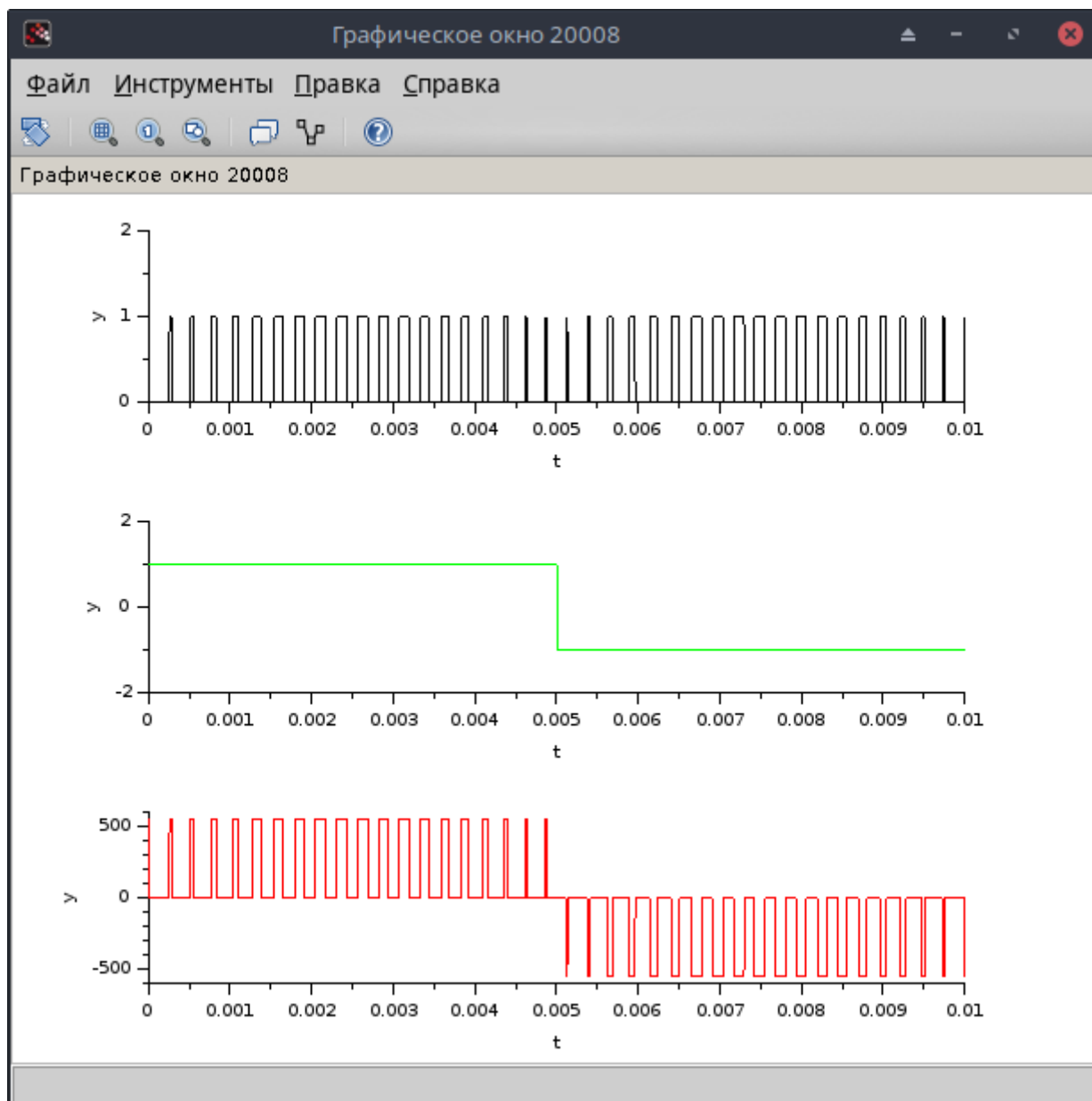


Рис. 20.

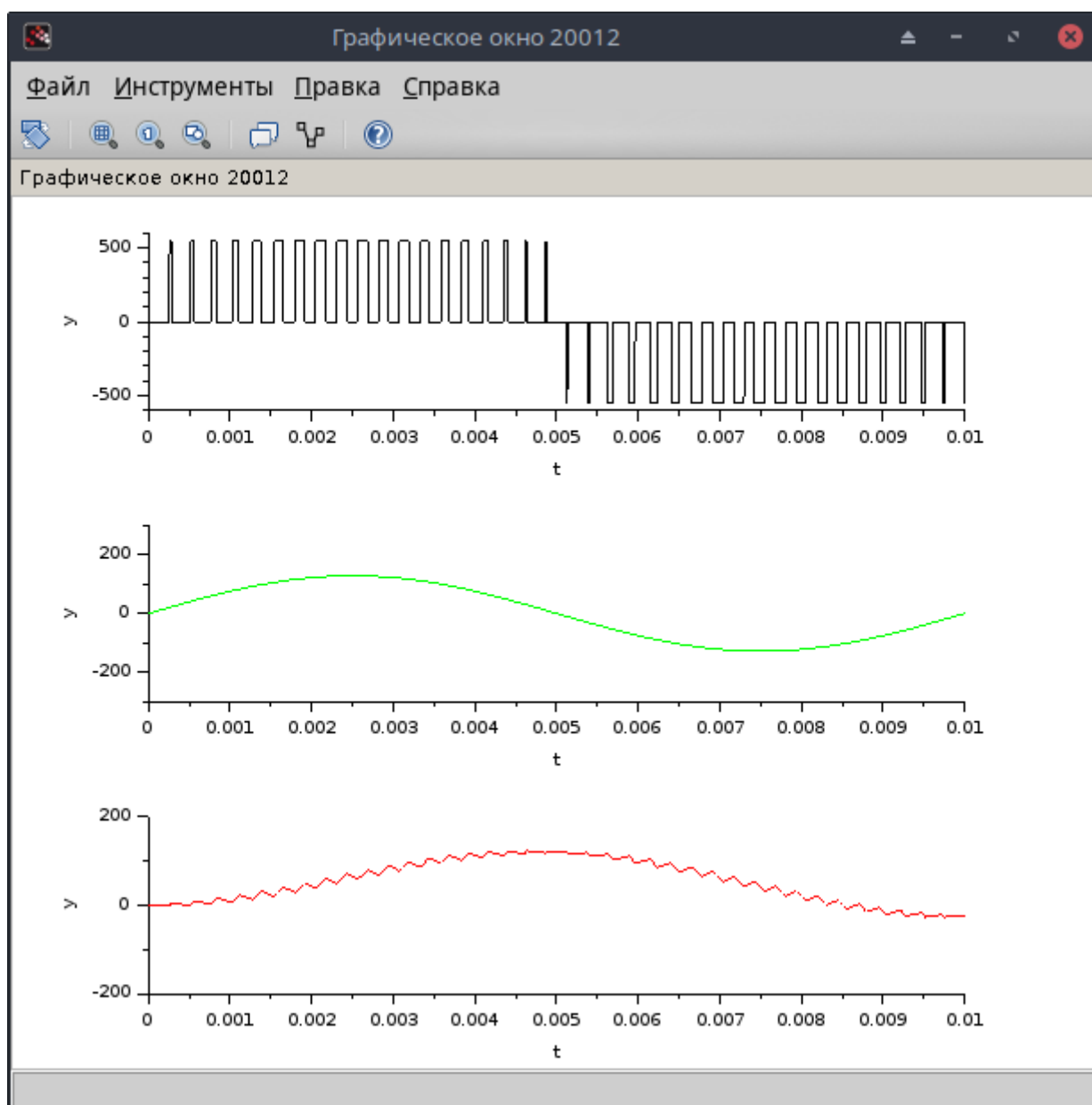


Рис. 21.

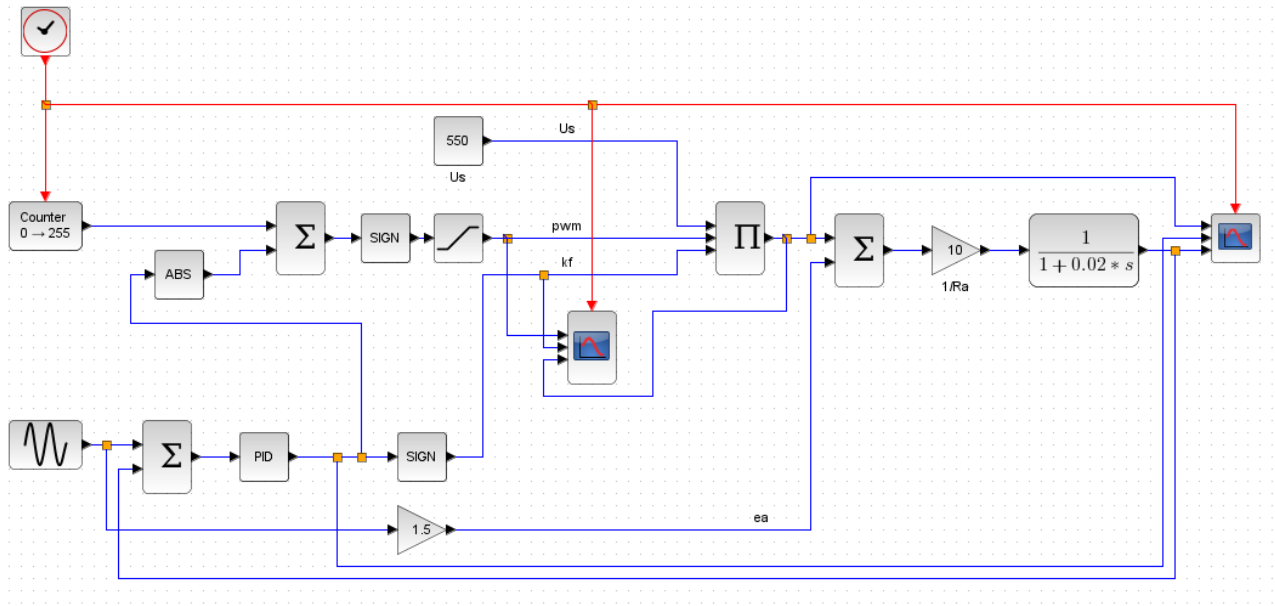


Рис. 22.

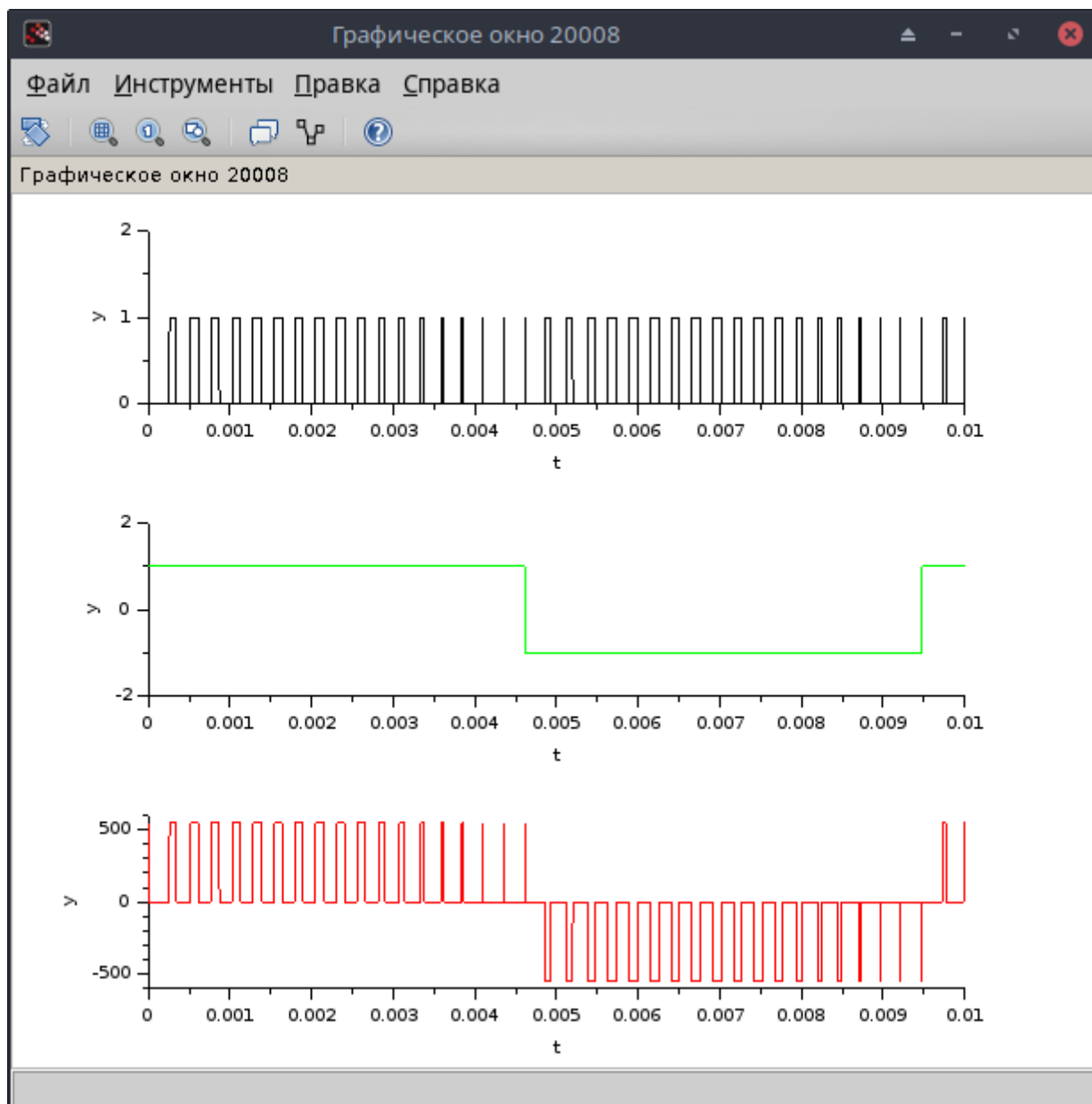


Рис. 23.

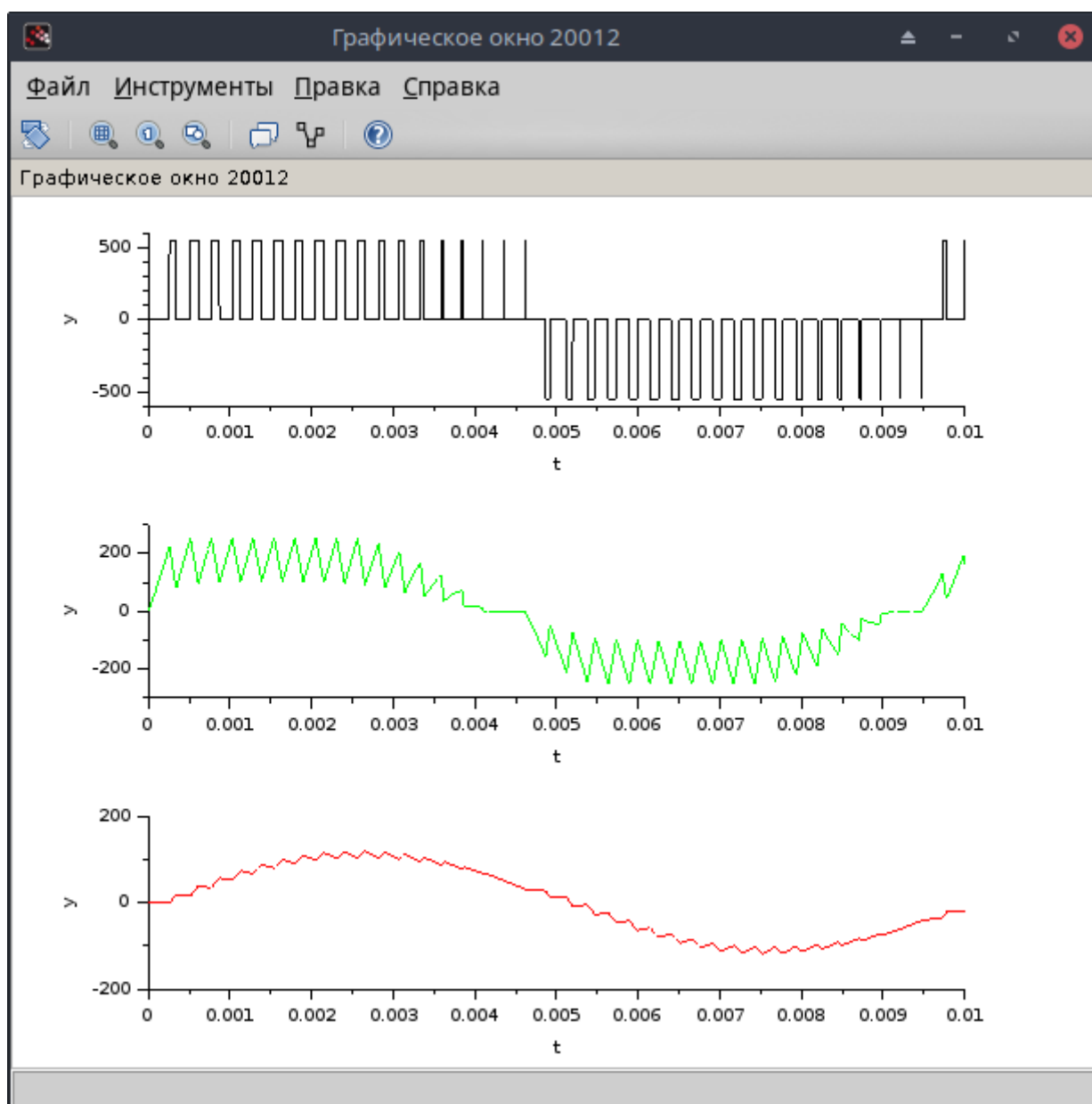


Рис. 24.

Как видно из рис. 24 сдвиг по фазе тока якоря существенно уменьшился.