

Создание модели распределительной сети для испытаний алгоритмов защиты от однофазного замыкания на землю

Дехтяр Сергей Александрович

Ведущий инженер кафедры Автоматизированных электрических систем ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

2023 / 5–6 июля

Москва / Конгресс-центр ЦМТ



VIII Международная
научно-техническая конференция

«Развитие и повышение надежности
распределительных электрических сетей»

ОРГАНИЗАТОРЫ



Проблема и задачи

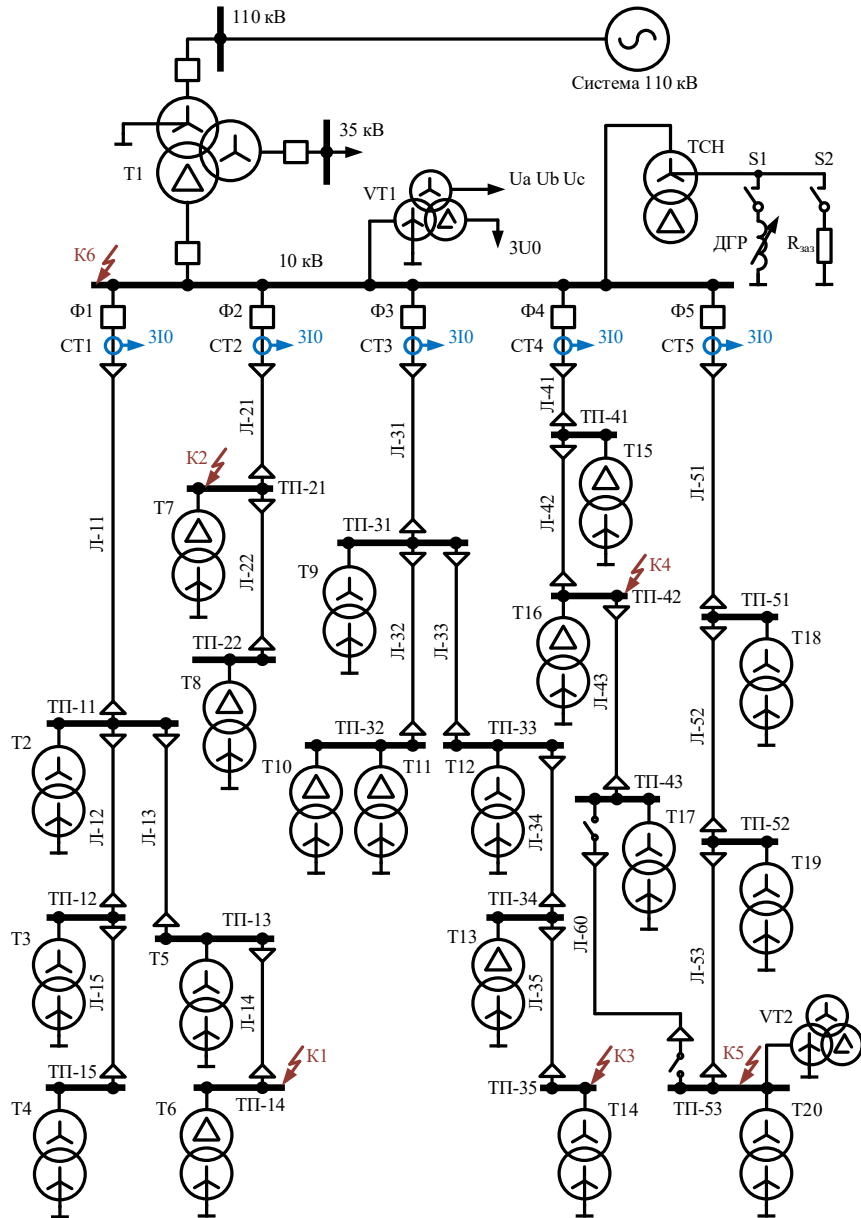
Проблема

- Отсутствие свободно распространяемой модели распределительной сети для испытаний алгоритмов защиты от однофазного замыкания на землю (ОЗЗ)
- Отсутствие возможности проверить работу существующих и разрабатываемых алгоритмов защиты от ОЗЗ на единой общепризнанной модели

Задачи

- Создание модели распределительной сети в среде Matlab\Simulink, предназначенной для исследования переходных процессов при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ)
- Создание пользовательского блока замыканий, реализующего глухие замыкания на землю, дуговые замыкания на землю по теории Петерсена, по теории Петерса и Слепяна с возможностью регулирования параметров замыкания.

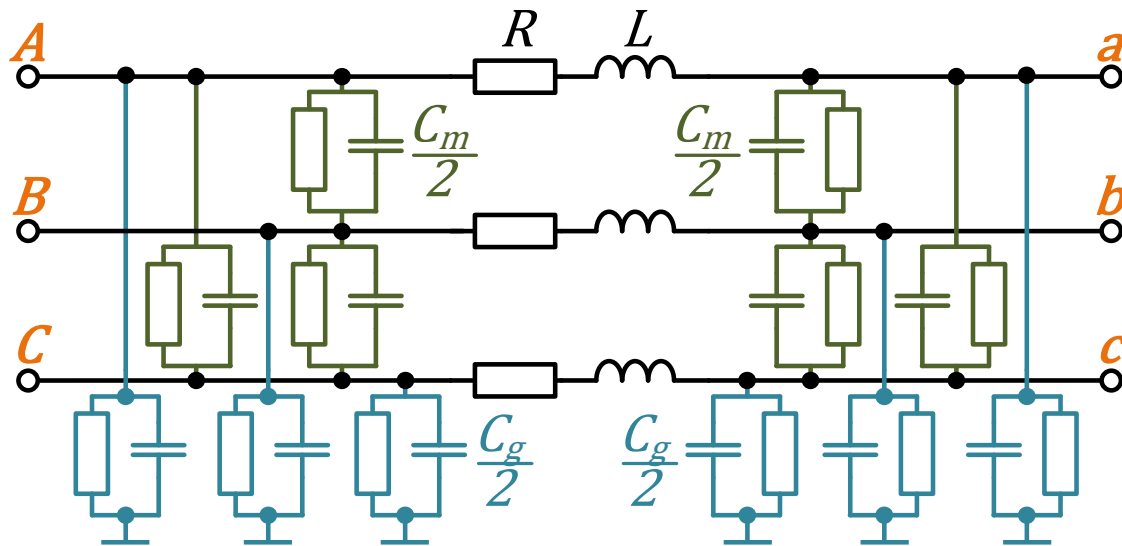
Схема распределительной сети для испытаний защит от ОЗЗ



СТО «ФСК ЕЭС» 56947007-29.120.70.241-2017 «Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА»

- Возможность моделирования:
сети с изолированной нейтралью,
сети с компенсированной нейтралью,
сети с нейтралью, заземленной через
низкоомное или высокоомное
сопротивление
- Реализована возможность моделирования
глухих ОЗЗ, дуговых ОЗЗ с гашением дуги по
теории Петерсена, по теории Петерса и
Слепяна

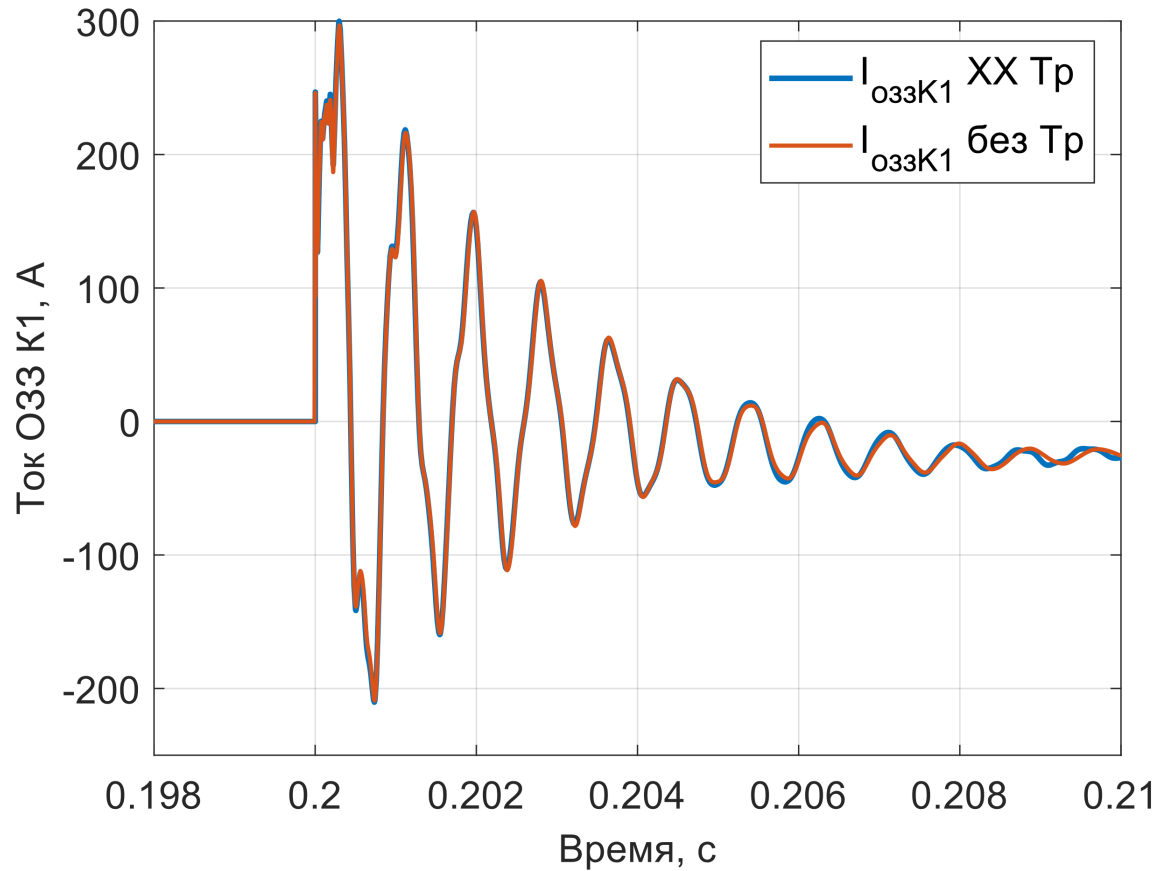
Модель линии электропередачи



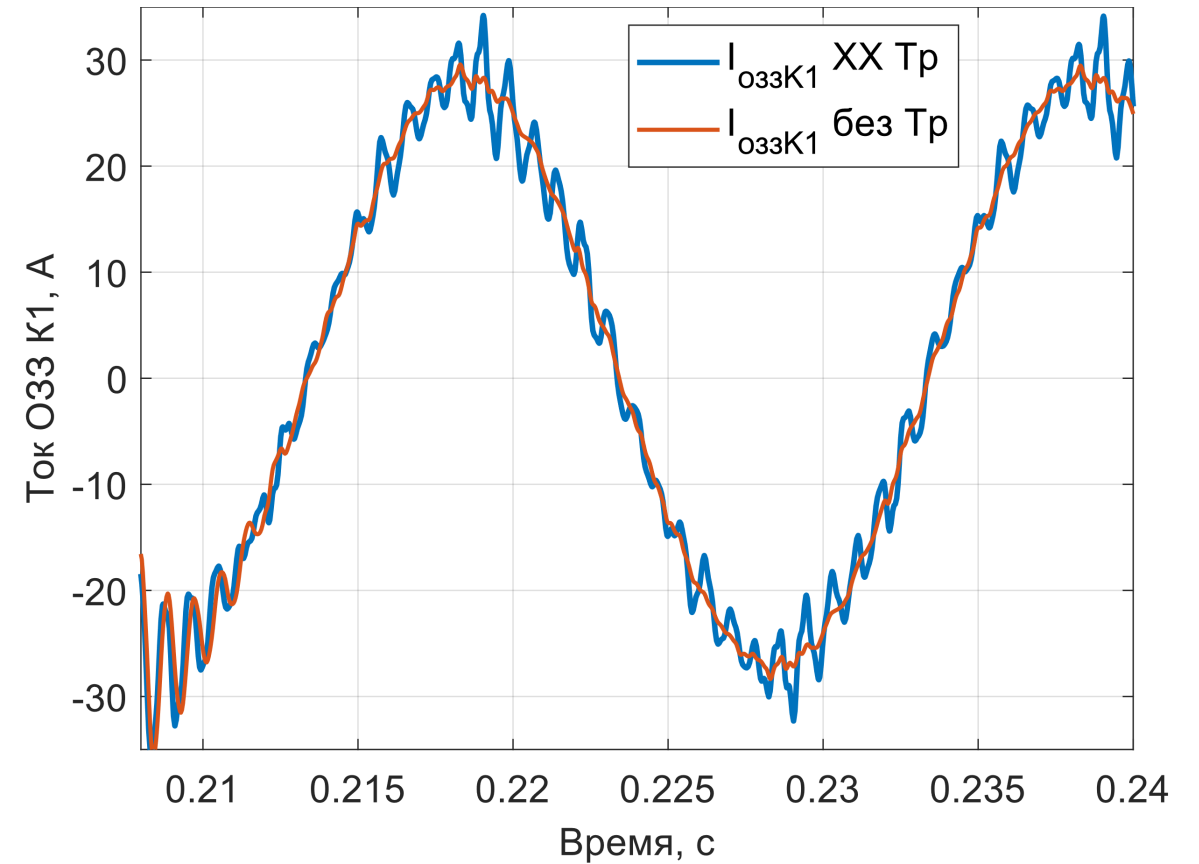
П-образная схема замещения линии

- Параметры взяты из справочных данных в соответствии с заданным сечением
- Включает междуфазные емкости и емкости на землю
- Включает активные потери в изоляции в соответствии с заданным тангенсом угла диэлектрических потерь
- Представлена двумя последовательными секциями

Влияние трансформаторов на переходный процесс при ОЗЗ



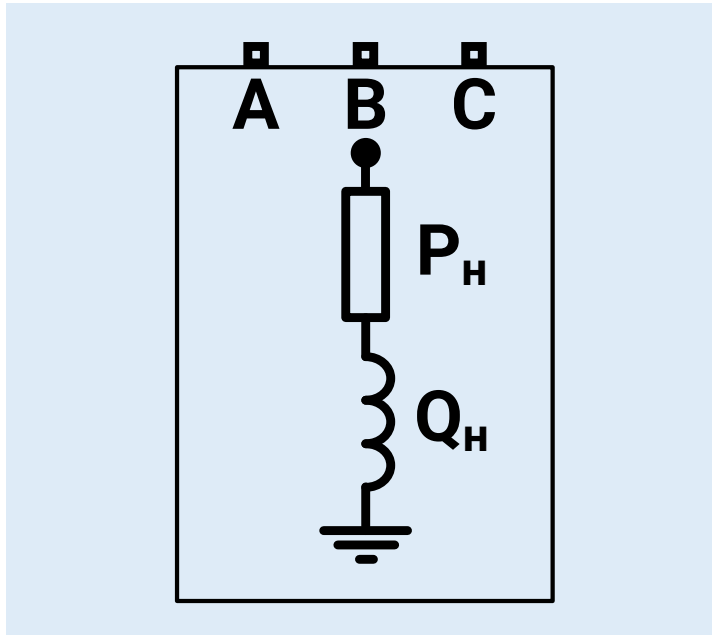
ВЧ-составляющая тока при ОЗЗ в точке К1, [0, 10] мс



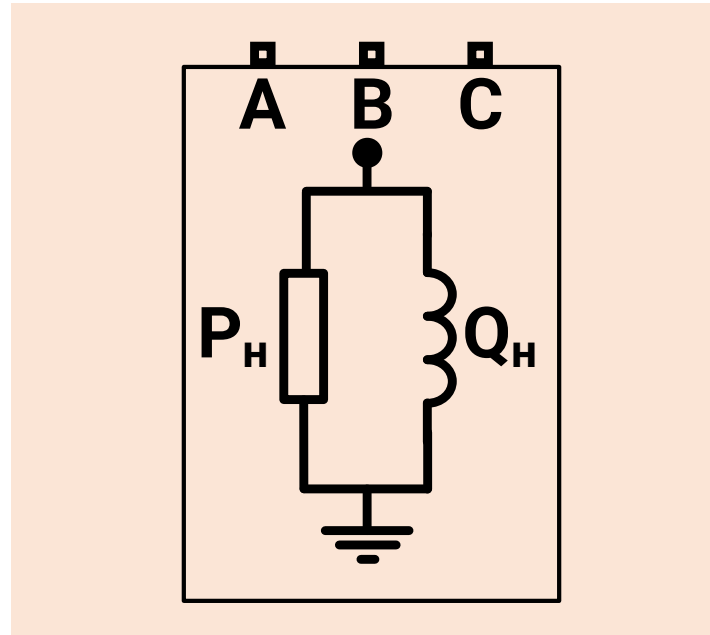
Установившийся ток при ОЗЗ в точке К1, [10, 40] мс

- Шаг расчета принят 1 мкс

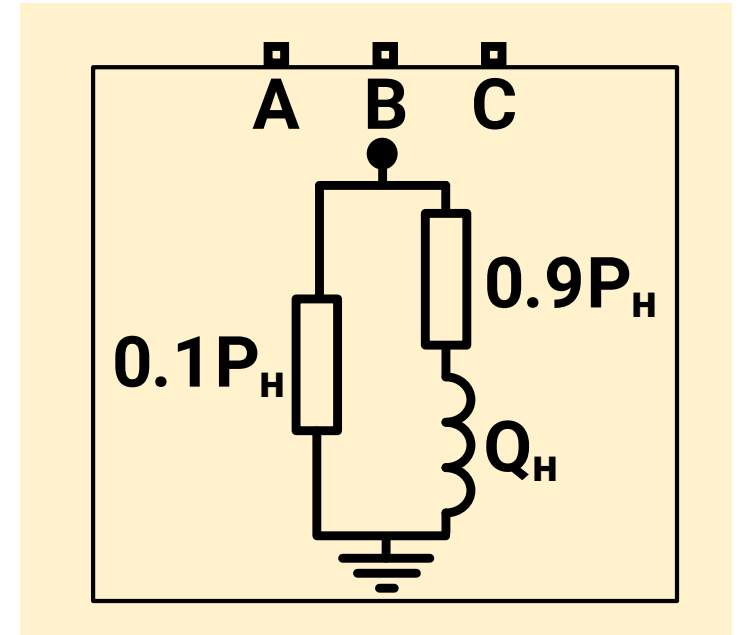
Влияние типа нагрузки на переходный процесс при ОЗЗ



Активно-индуктивная нагрузка,
соединенная параллельно

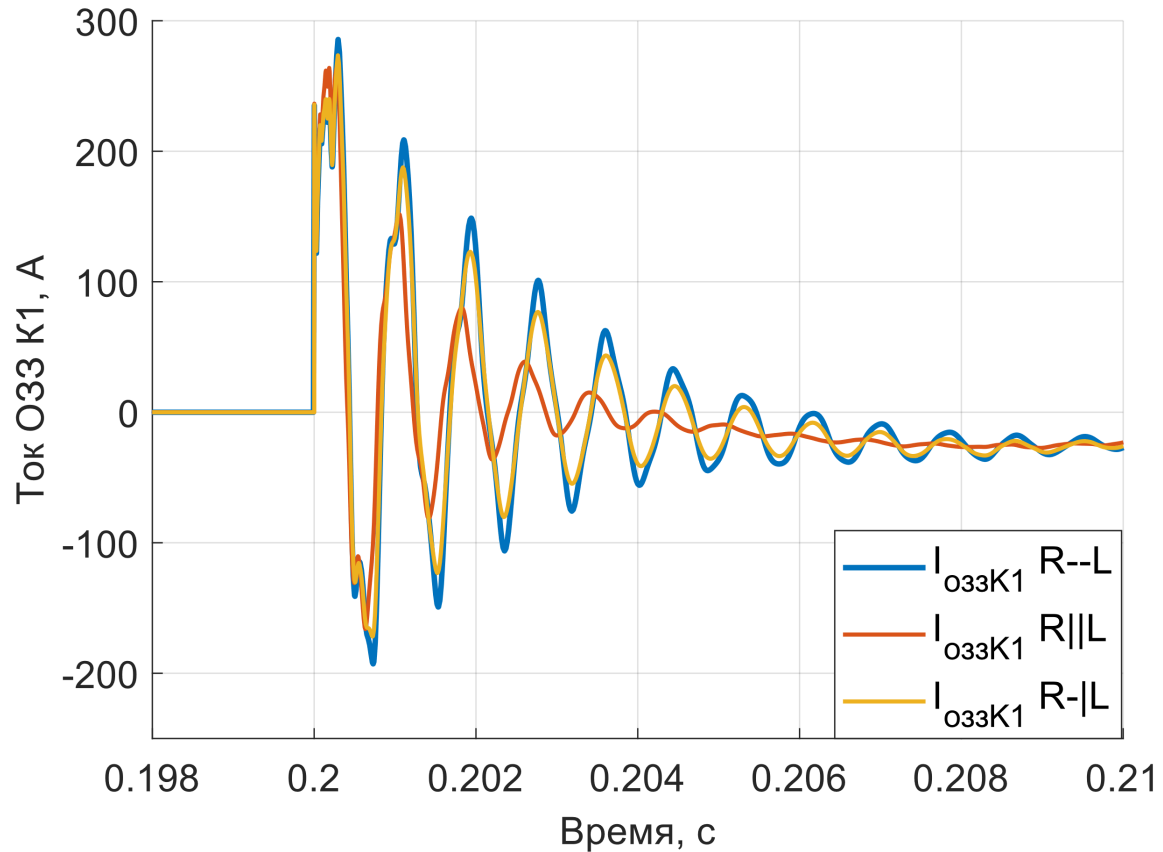


Активно-индуктивная нагрузка,
соединенная последовательно

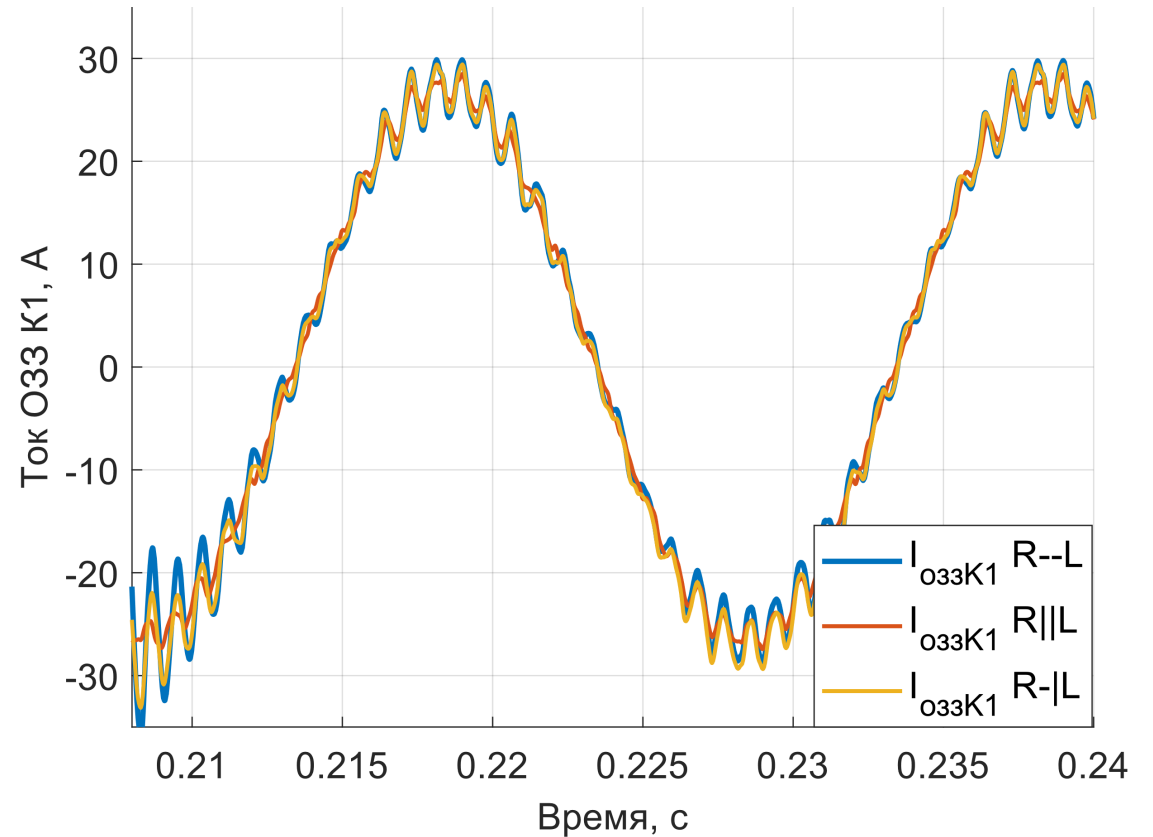


Активно-индуктивная нагрузка,
последовательно 90% от $P_{ном}$,
параллельно 10% от $P_{ном}$

Влияние типа нагрузки на переходный процесс при ОЗЗ



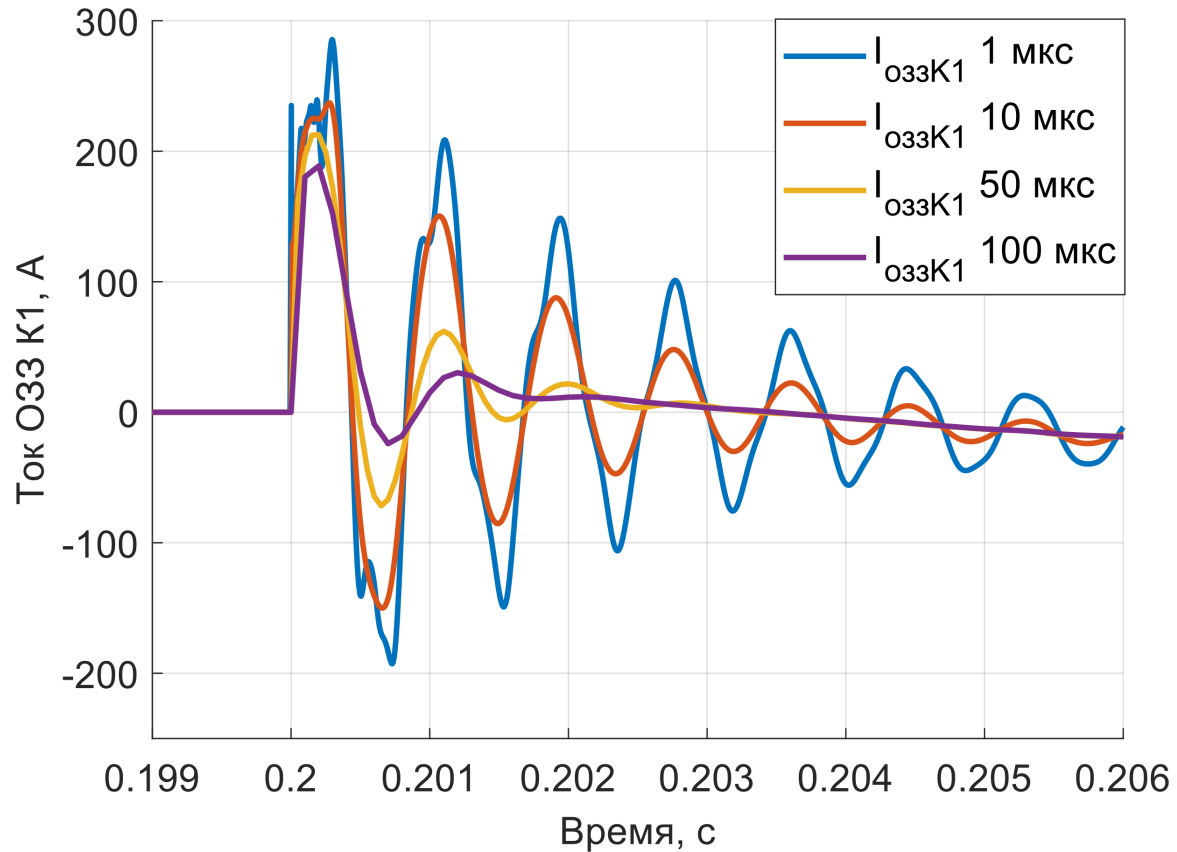
ВЧ-составляющая тока при ОЗЗ в точке К1, [0, 10] мс



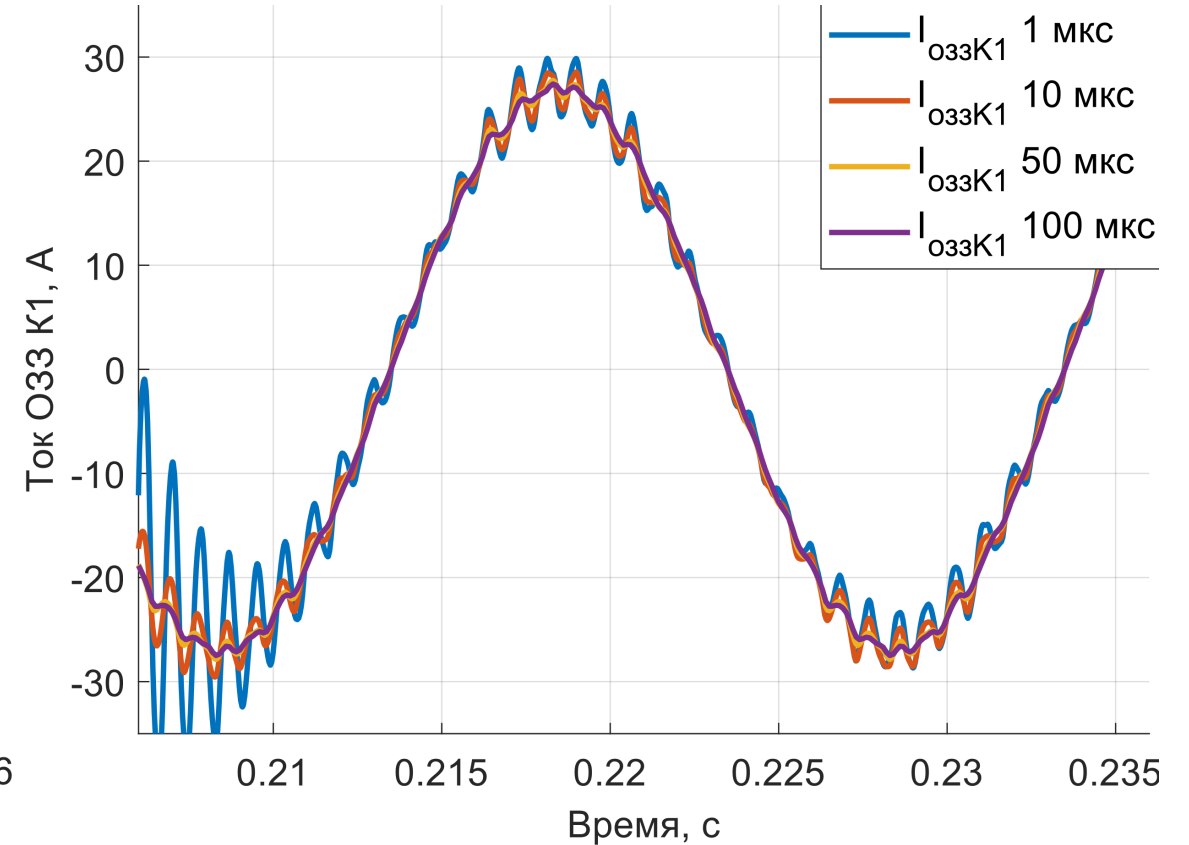
Установившийся ток при ОЗЗ в точке К1, [10, 40] мс

- Шаг расчета принят 1 мкс

Влияние частоты дискретизации расчета переходного процесса



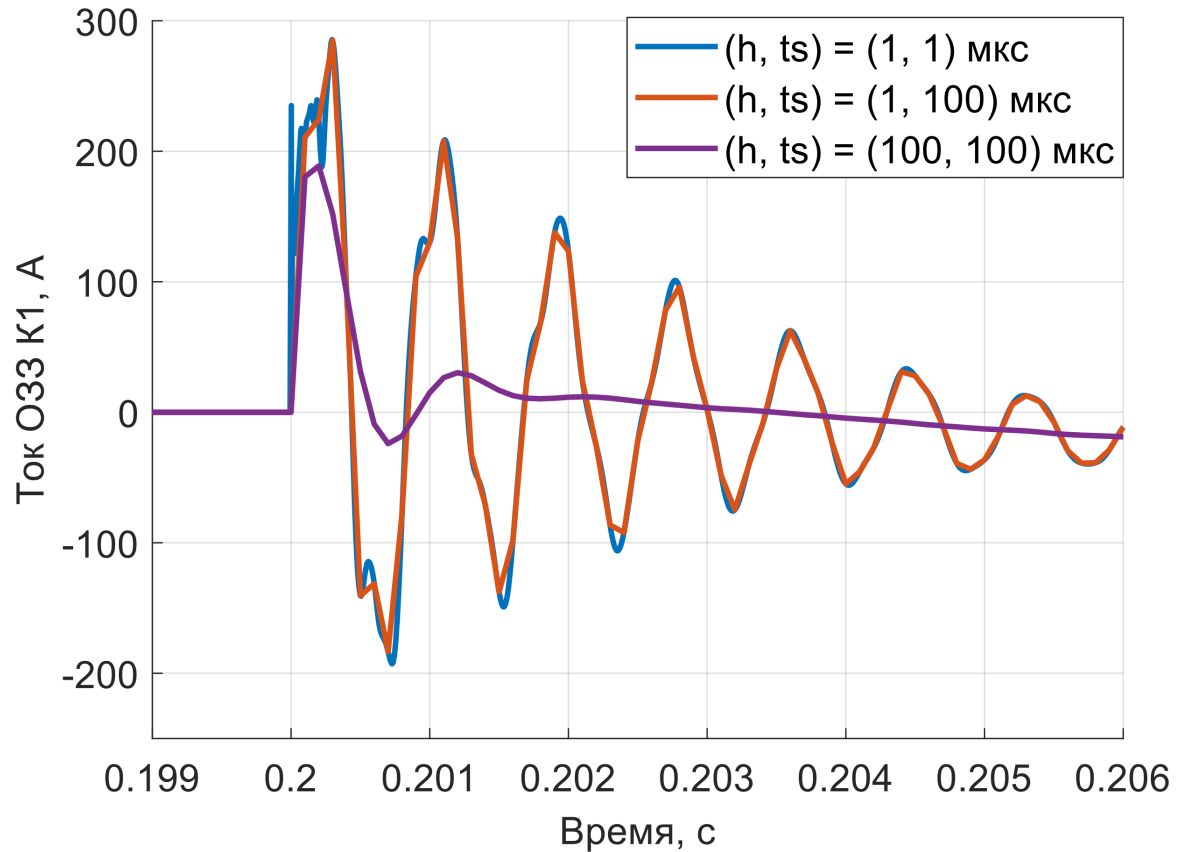
ВЧ-составляющая тока при ОЗЗ в точке К1, [0, 6] мс



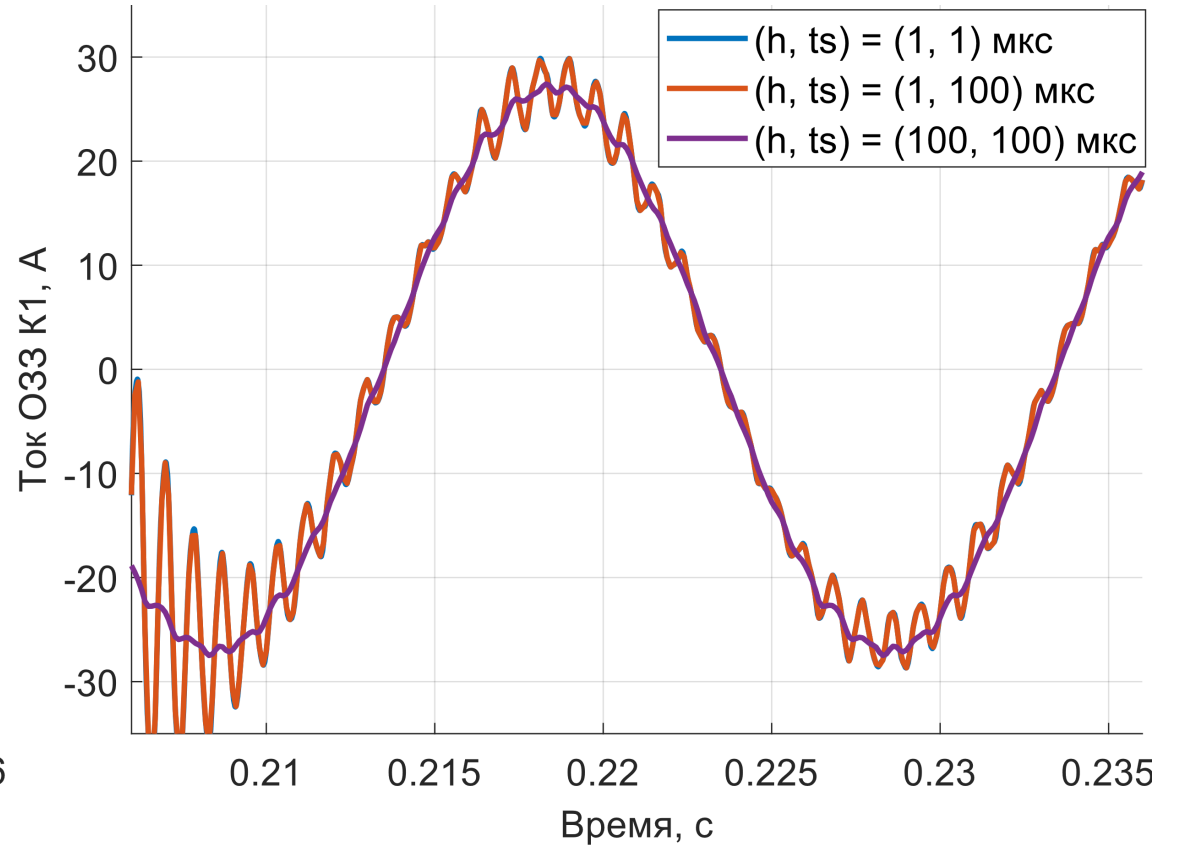
Установившийся ток при ОЗЗ в точке К1, [6, 36] мс

- Частота дискретизации сигнала, принятая Стандартом не менее 10 кГц (100 мкс)

Влияние частоты дискретизации расчета переходного процесса



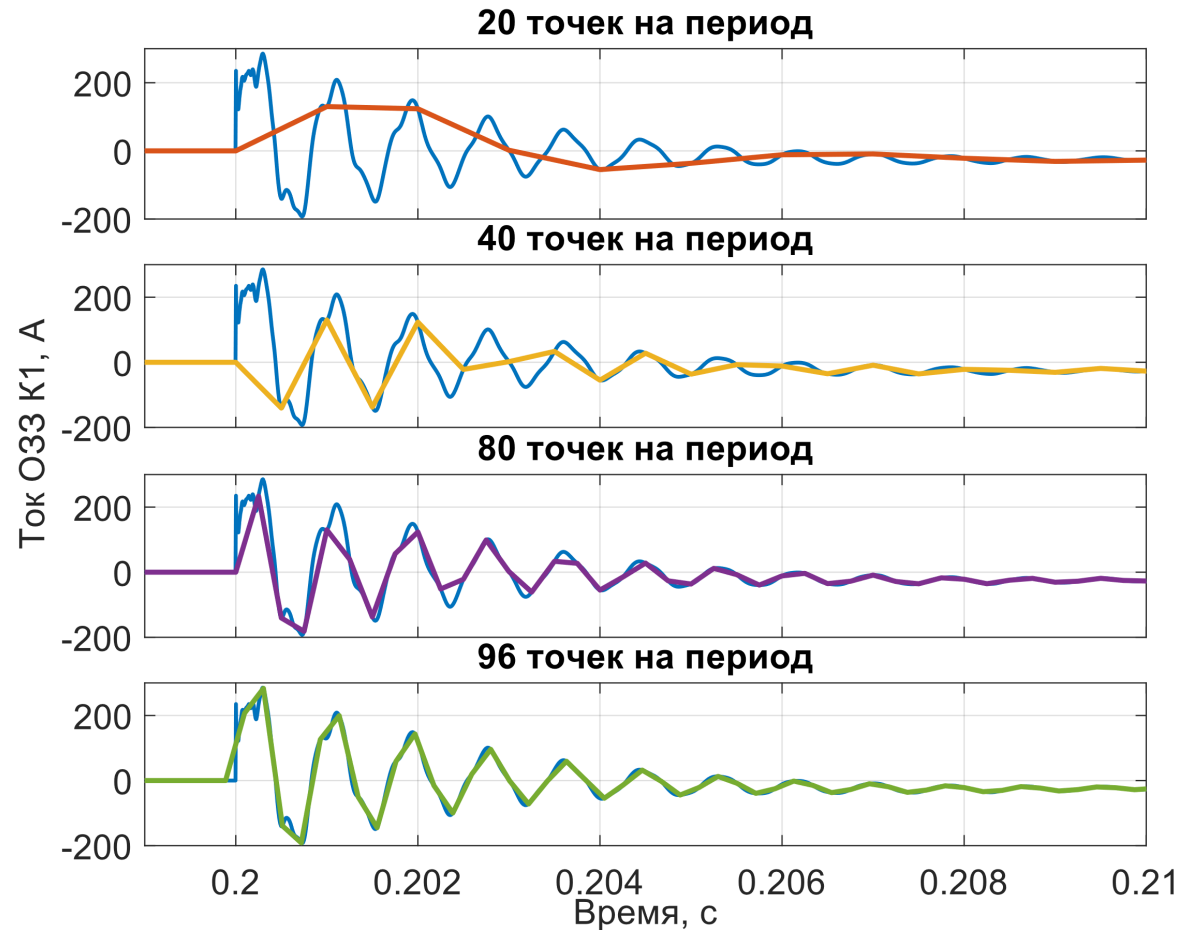
ВЧ-составляющая тока при ОЗЗ в точке К1, [0, 6] мс



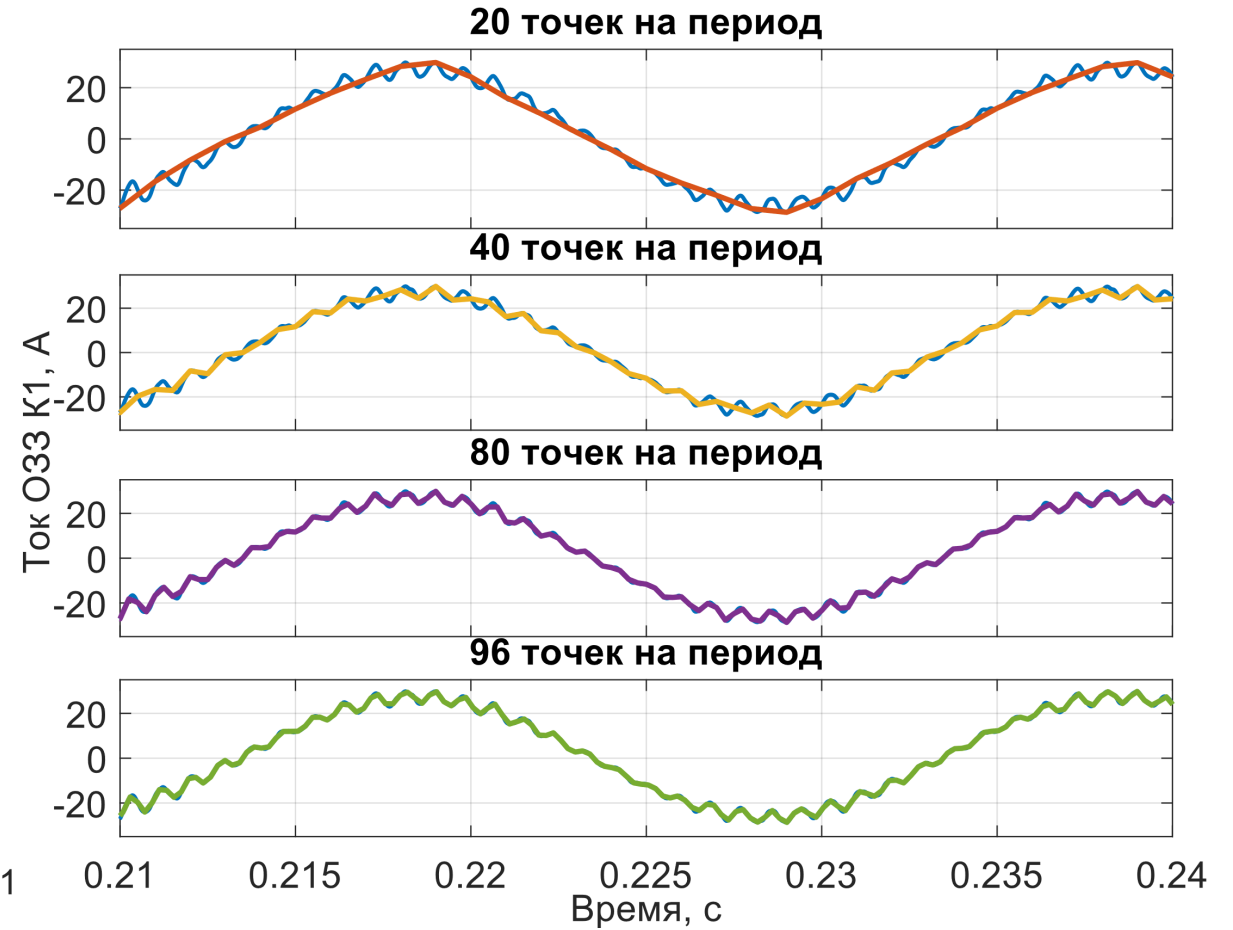
Установившийся ток при ОЗЗ в точке К1, [6, 36] мс

- h – шаг расчета, ts – шаг дискретизации

Влияние частоты дискретизации устройства РЗА на форму сигнала

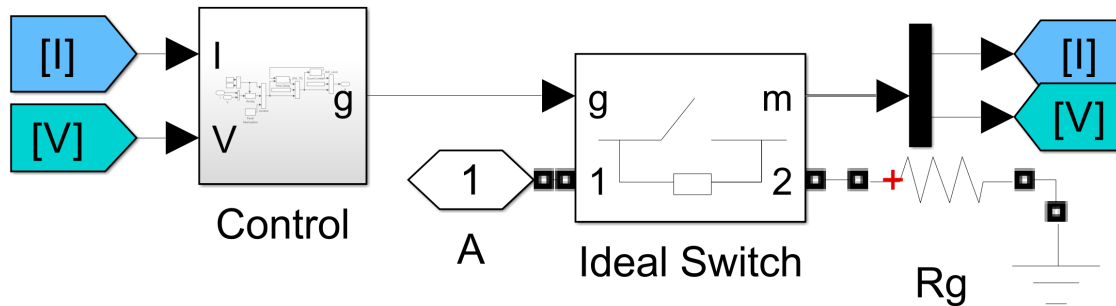


ВЧ-составляющая тока при ОЗЗ в точке К1, [0, 10] мс

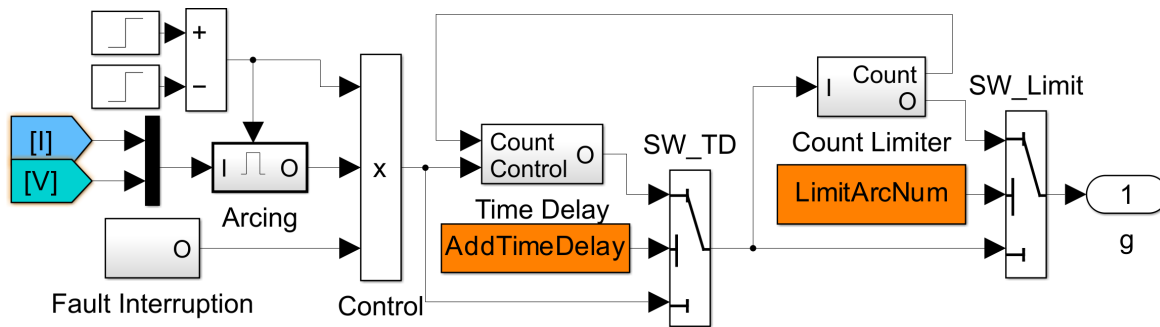


Установившийся ток при ОЗЗ в точке К1, [10, 40] мс

Пользовательский блок 033



Структурная схема блока 033



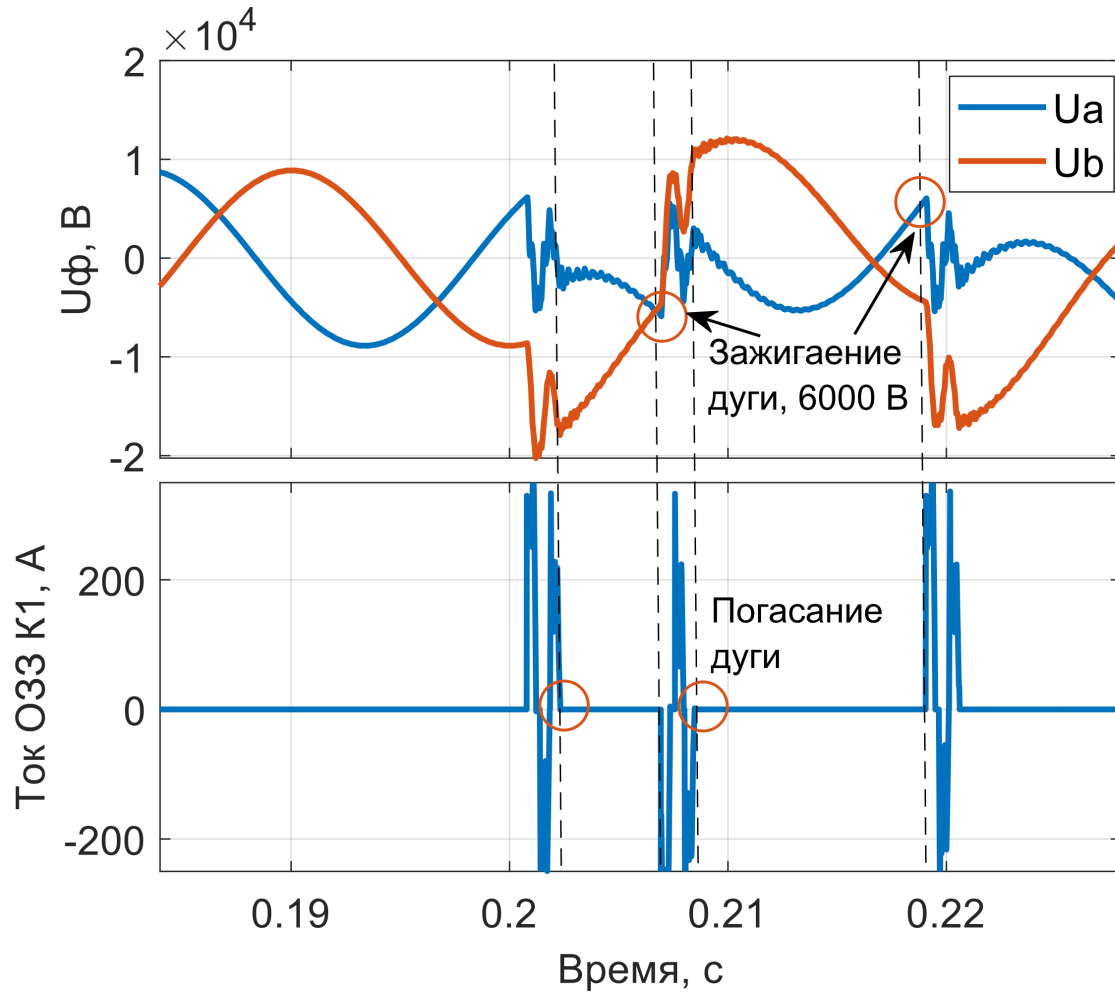
Структурная схема блока управления 033

Блок 033 основан на идеальном ключе. В маске блока реализованы возможности:

- Выбора фазы замыкания на землю*
- Задание времени замыкания
- Учет величины напряжения зажигания дуги
- Дуговые замыкания по различным теориям
- Ограничения количества последовательных дуговых замыканий
- Реализована возможность прерывания дуговых замыканий в соответствии с заданным паттерном или произвольно

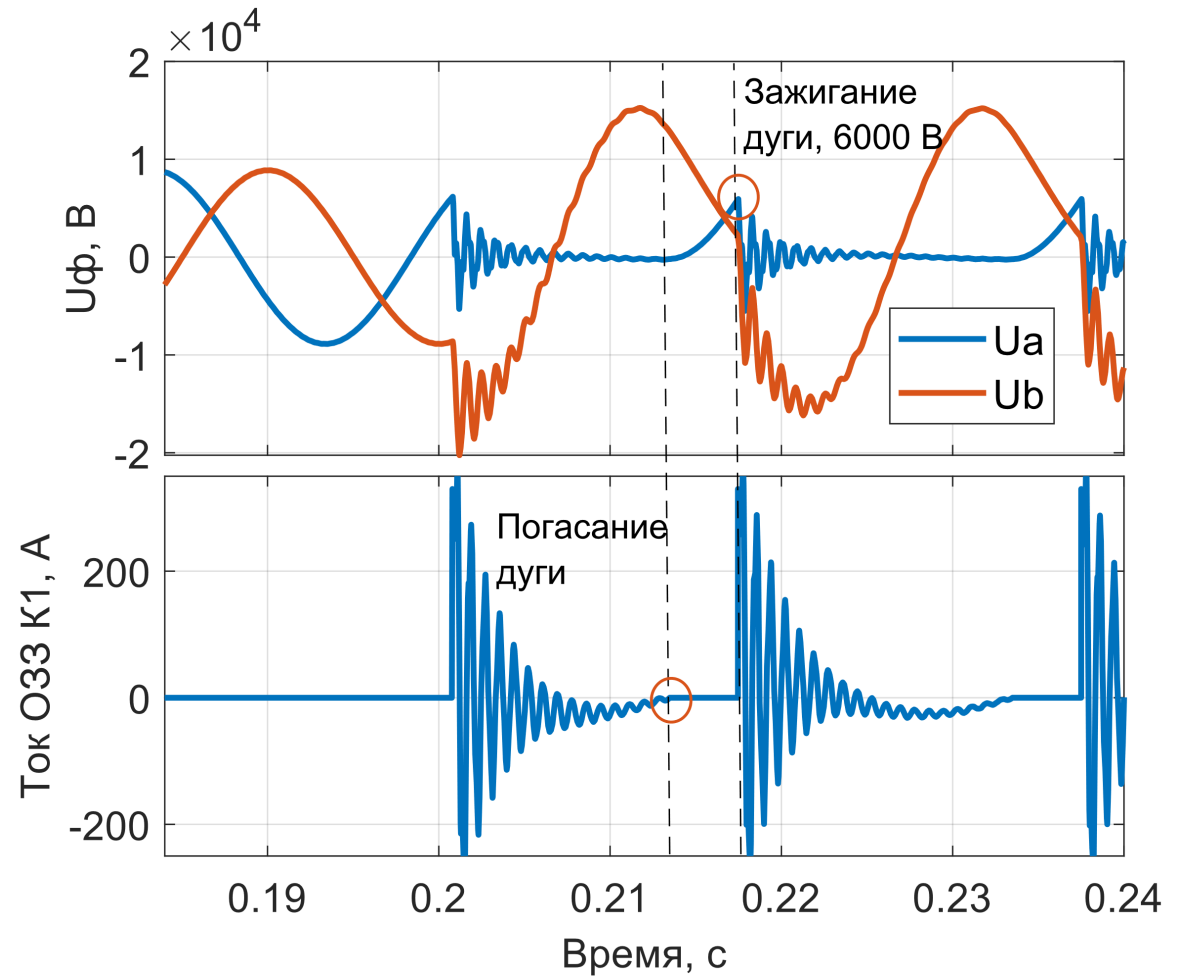
*На рисунке показана только одна фаза короткозамыкателя

Дуговые замыкания



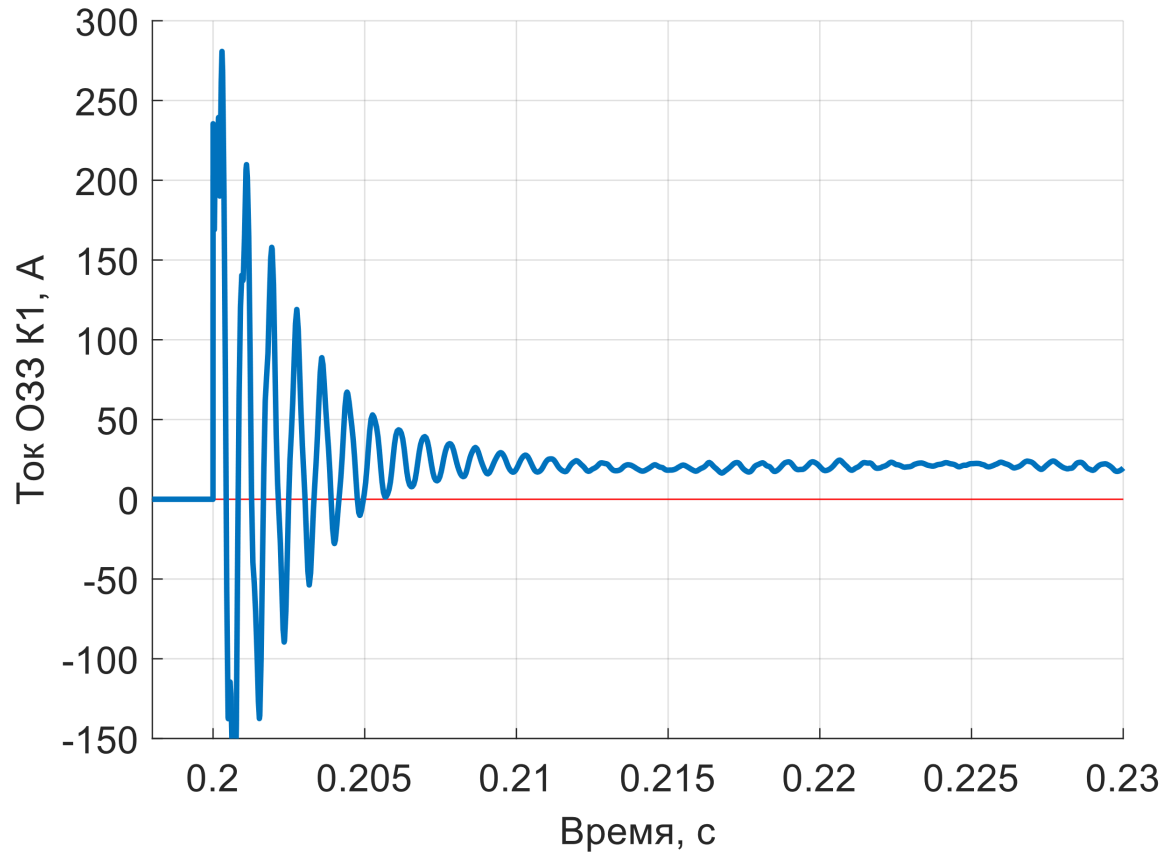
Дуговое замыкание по теории Петерсена

- Сеть с изолированной нейтралью



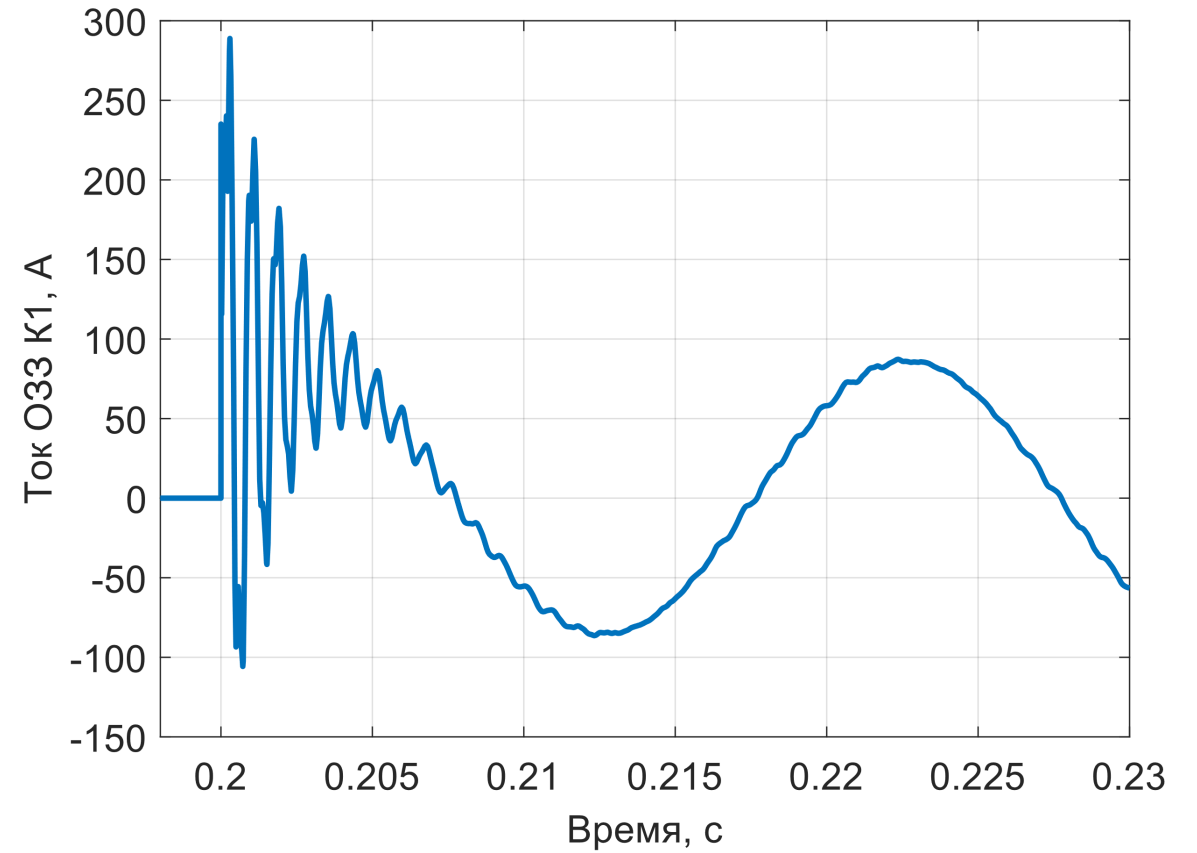
Дуговое замыкание по теории Петерса и Слепяна

Переходный процесс при ОЗЗ при различных типах нейтрали



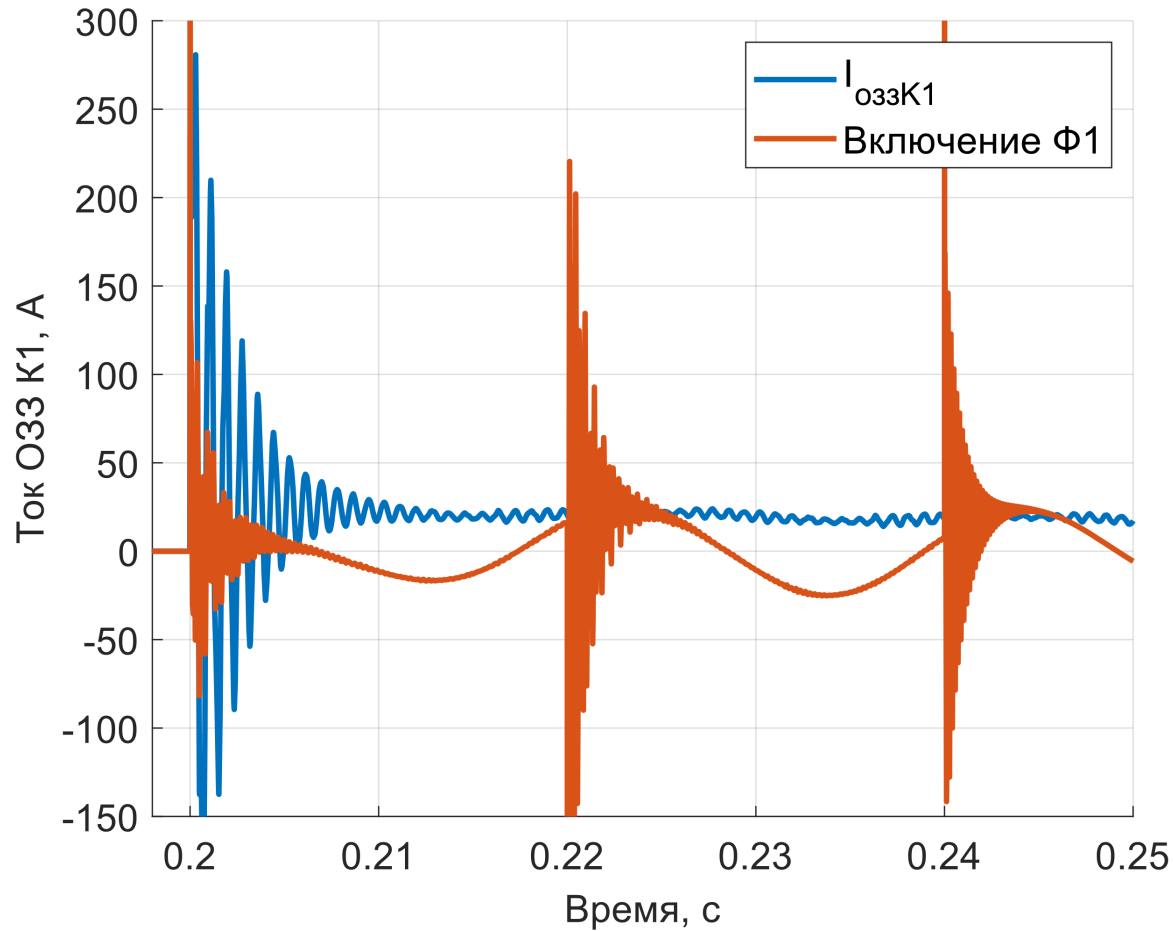
ОЗЗ в сети с компенсированной нейтралью*

*Апериодическая составляющая тока затухает через 0.5 с

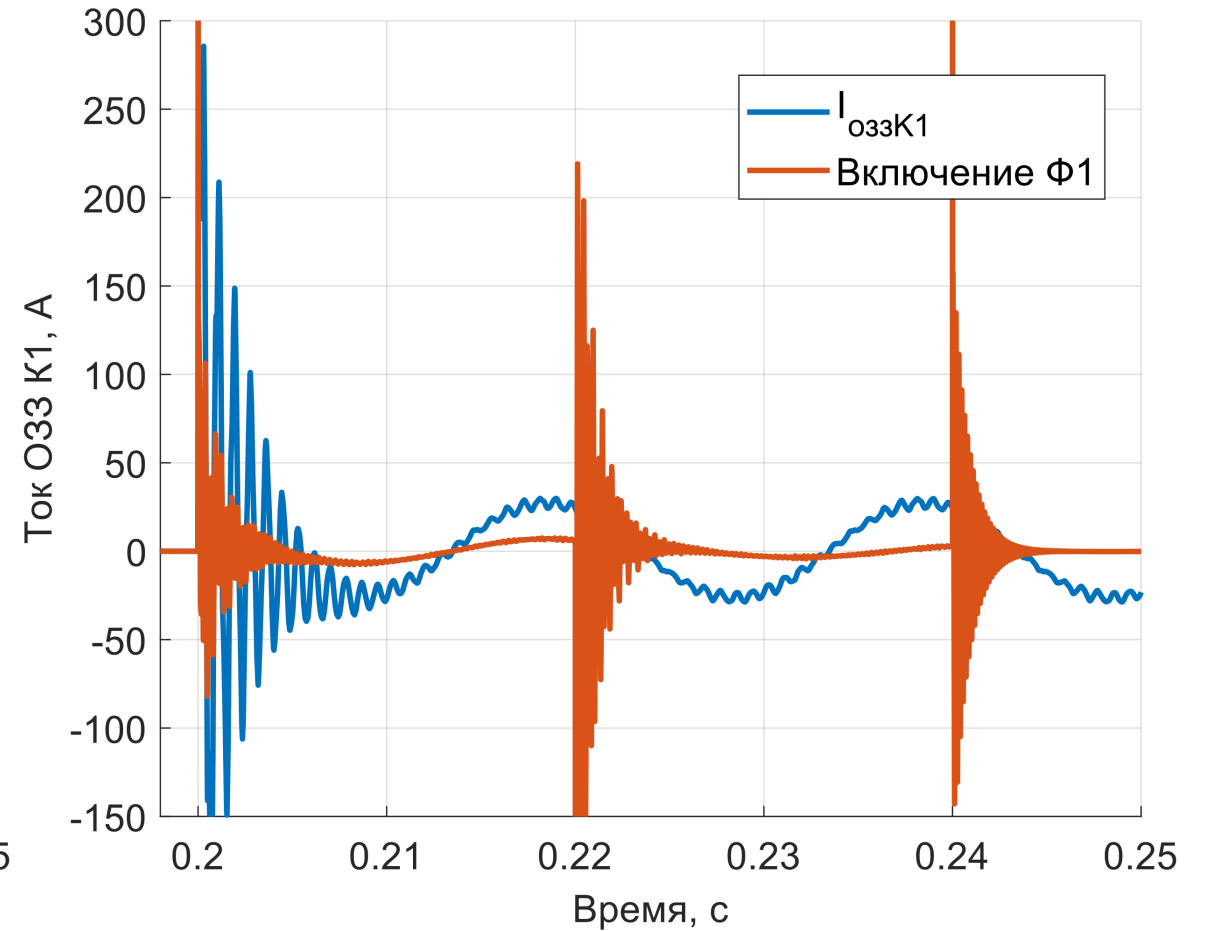


ОЗЗ в сети с нейтралью, заземленной через низкоомное сопротивление

Переходный процесс при ОЗЗ при различных типах нейтрали



Сеть с компенсированной нейтралью



Сеть с изолированной нейтралью

Модель размещена на GitHub



Структура проекта

Models – папка с размещенными моделями

Scopes – папка с сохраненными осциллограммами в формате comtrade и .mat, которые соответствуют всем опытам Стандарта

Scripts – папка со скриптами

README.md – инструкция использования и описание модели

LICENSE.md – условия использования модели в собственных публикациях

Спасибо за внимание!

