

**УДК 621.316.9**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Абазоков И.А., Белойванов М.С., Притоманов В.В.

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ г. Шахты

Трансформаторные подстанции являются основным звеном системы электроснабжения промышленных предприятий, гражданских объектов. В связи с этим моделирование переходных процессов, протекающих в двухтрансформаторной подстанции, является важной и актуальной задачей. Результаты моделирования позволят правильно выбрать оборудование, оценить влияние различных переходных процессов на качество электроснабжения, выбрать компенсирующие устройства и т.д. В работе рассмотрено построение и моделирование двухтрансформаторной подстанции, как наиболее распространенной. Также в работе проанализирована применимость полученной модели в реальных условиях проектирования систем электроснабжения.

В статье рассматривается построение модели двухтрансформаторной подстанции в программной среде Matlab Simulink, прикладной библиотеке SymPowerSystems. В работе проводится расчет переходных процессов при одновременной работе трансформаторов, а также рассчитываются уравнительные токи трансформаторов.

Ключевые слова: трехфазное короткое замыкание, моделирование, трансформатор.

## **SIMULATION OF TRANSITION PROCESSES IN A TWO-TRANSFORMER SUBSTATION**

Abazokov I.A., Beloyvanov M.S., Pritomanov V.V.

Institute of Service and Entrepreneurship (Branch) of DSTU

Transformer substations are the main link in the power supply system of industrial enterprises and civilian objects. In this connection, the modeling of the transient processes taking place in the two-transformer substation is an important and urgent task. The results of modeling will allow to choose the right equipment, assess the influence of various transient processes on the quality of power supply, choose compensating devices, etc. In this paper, the construction and modeling of a two-transformer substation as the most common one is considered. Also, the applicability of the obtained model in real conditions for the design of power supply systems is analyzed.

The article considers the construction of a two-transformer substation model in the Matlab Simulink software environment, the application library of SymPowerSystems. The work calculates transient processes with simultaneous operation of transformers, and equalizing currents of transformers are calculated.

Keywords: three-phase short circuit, simulation, transformer.

В системах электроснабжения промышленных предприятий наибольшее распространение получили двухтрансформаторные подстанции. Основным достоинством таких подстанций является возможность резервирования электроснабжения. В нормальных режимах для уменьшения токов короткого замыкания два трансформатора работают

отдельно, т.е. секционный выключатель разомкнут. В случае исчезновения напряжения на шинах потребителя срабатывает система автоматического ввода резерва. Она отключает вводной выключатель секции без напряжения и только потом включает секционный выключатель, т.е. подключает нагрузку к оставшемуся в работе трансформатору.

При восстановлении напряжения схема возвращается в исходное состояние, при этом некоторое время трансформаторы работают параллельно. В свою очередь, для включения трансформатора необходимо выполнить ряд условий, а именно: трансформаторы должны принадлежать одной группе соединения; иметь одинаковые коэффициенты трансформации; иметь одинаковые напряжения короткого замыкания.

Таким образом, создание модели для изучения особенностей параллельной работы трансформаторов представляет определенный интерес. В статье рассматривается ситуация, когда трансформаторы работают параллельно и коэффициенты трансформации неравны.

Для решения поставленных задач собирается модель, которая представлена на рисунке 1 (силовая часть) и рисунке 2 (измерительная часть). Параметры трехфазных источников и трансформаторов подстанции такие же как у источника и трансформатора из [1]. Активное сопротивление всех выключателей равно 0,00014 Ом. Во всех выключателях задаем время коммутации равное 15с. В выключателях **CB\_1** и **CB\_2** устанавливаем начальное состояние – **closed**, в остальных – **open**. Время расчета задаем равным 0,024с. Решатель выбран **ode23tb(stiff/Tr-BDF2)**, задаем относительную точность **1e-6** запускаем модель. На рисунке 2 представлены результаты расчета работы трансформаторов на холостом ходу.

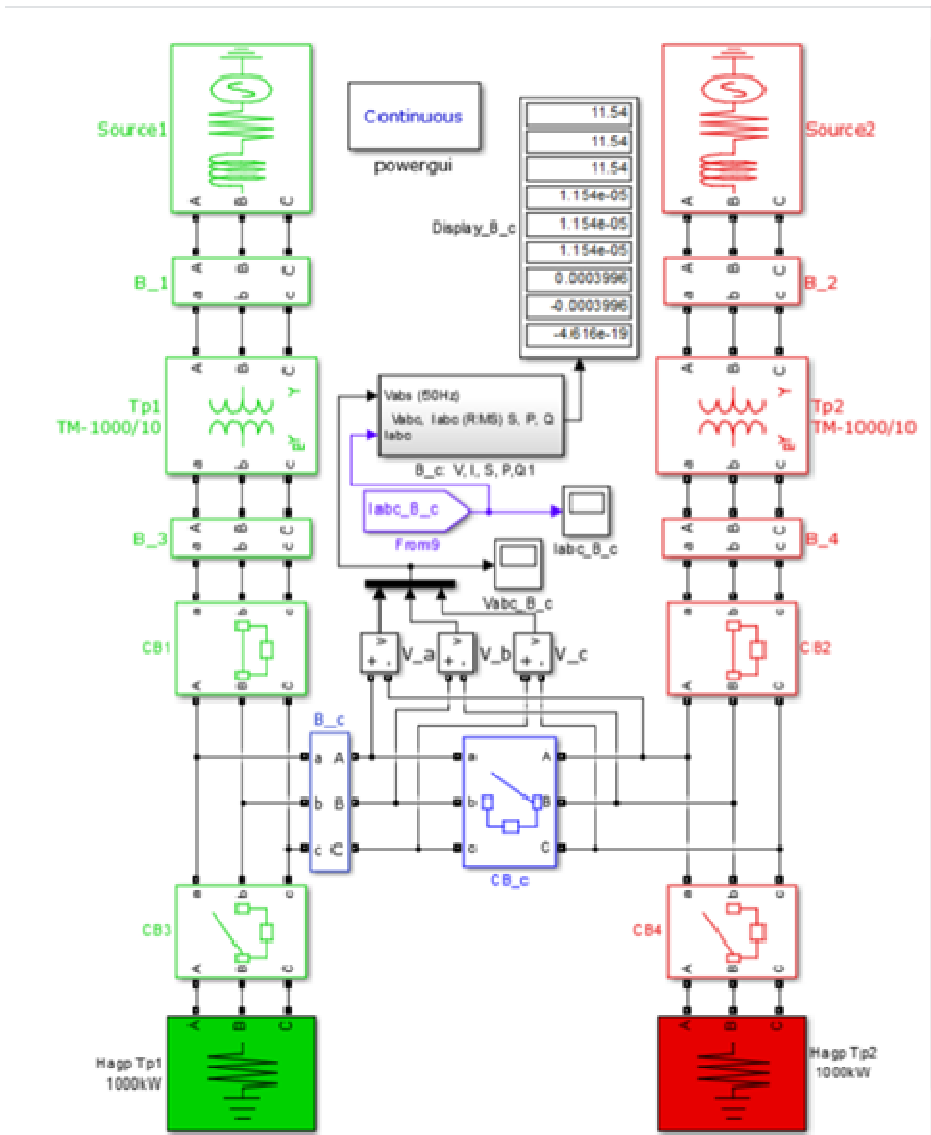


Рисунок 1- Модель двухтрансформаторной подстанции

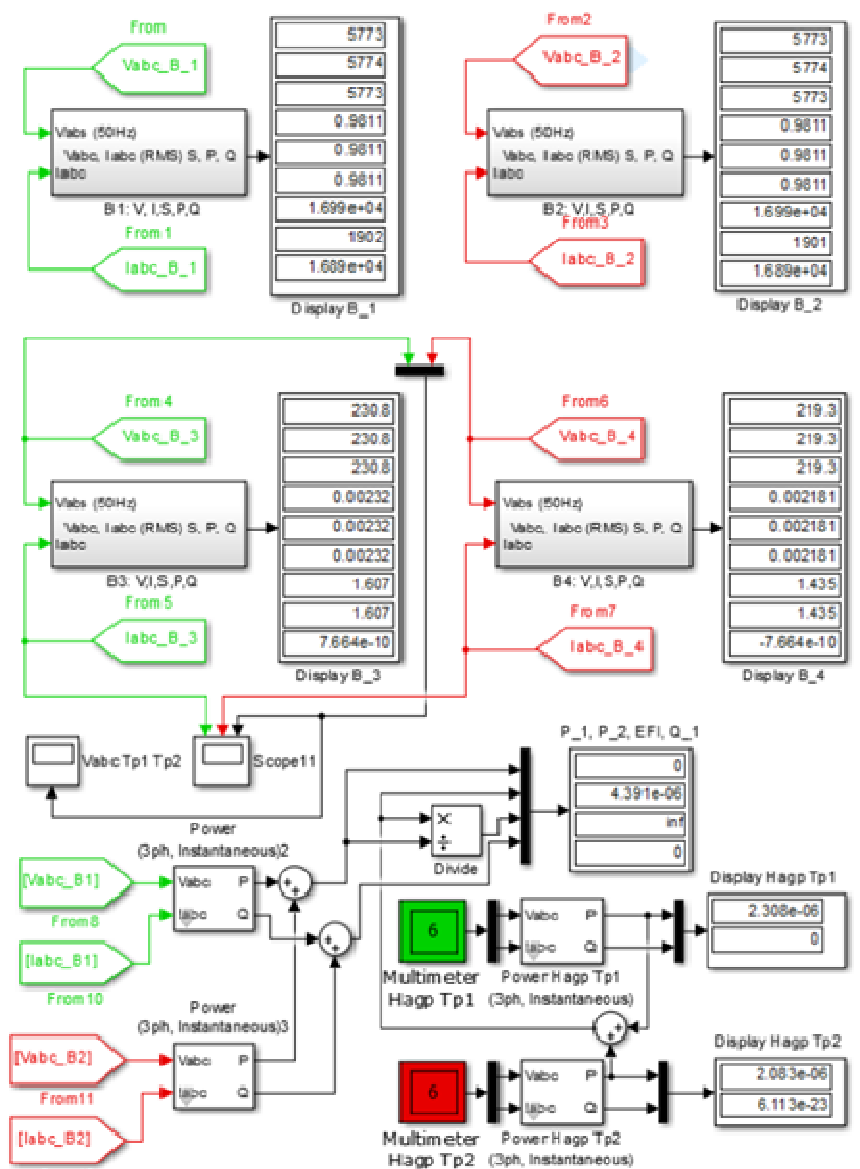


Рисунок 2 — Измерительная часть модели двухтрансформаторной подстанции

Показания **Display B\_1** и **Display B\_2** по активной мощности свидетельствуют о хорошей сходимости, поскольку расчетные значения потерь холостого хода трансформаторов соответственно равны **1902Вт** и **1901Вт**, а паспортное значение – **1900Вт**.

Согласно данным, показанным на дисплеях **Display B\_3** и **Display B\_4**, вторичные напряжения трансформаторов отличаются и равны **230.8** и **219.3**.

Используемые в модели четыре подсистемы для вывода напряжений [2], токов и мощностей **B1: V,I,S,P,Q**, **B2: V,I,S,P,Q**, **B3: V,I,S,P,Q**, **B4: V,I,S,P,Q** и **B\_c: V,I,S,P,Q** имеют в своем составе блоки, представленные на рисунке 3.

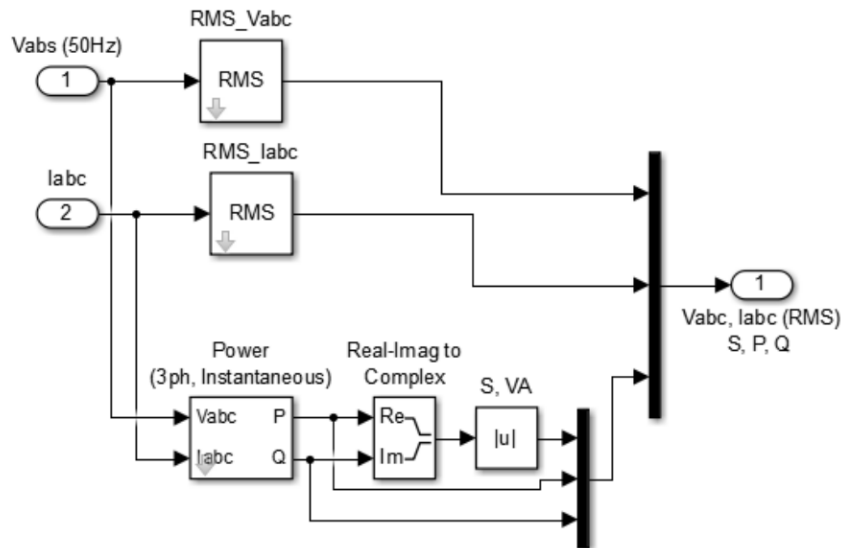


Рисунок 3 — Подсистема вывода напряжений, токов и мощностей.

Для определения уравнительных токов необходимо перевести выключатели **CB\_1** и **CB\_2** в состояние **closed**, секционный выключатель **CB\_c** в состояние **open** [3]. Время коммутации последнего выбирается (0.025 0.16).

Время срабатывания выключателей **CB\_3** и **CB\_4** выбирается равным (0.16), а первоначальное состояние **open**. Время расчета увеличивается до 0.15 и после запуска модели получают значения, представленные на рисунке 4.

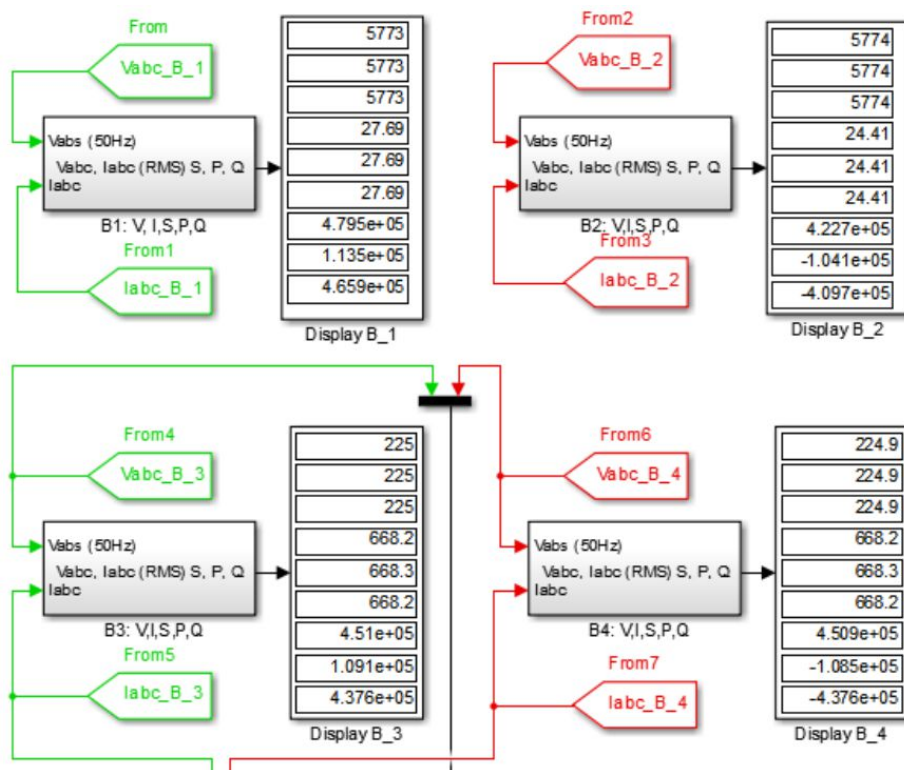


Рисунок 4 — Результаты расчета уравнительных токов при независимой работе трансформаторов

Уравнительные токи, протекающие во вторичных обмотках трансформаторов, одинаковы и равны 668.2 А. Вторичные напряжения практически равны 225 В и 224.9 В.

Токи в первичных обмотках трансформаторов отличаются на величину намагничивающего тока [4]. При этом потери в трансформаторах составили величину  $1.135e+5 - 1.041e+5 = 9400$  Вт, что превышает общие потери трансформаторов на холстом ходу, т.е. 3800 Вт.

Для определения токов при параллельной работе трансформаторов и номинальной нагрузке в выключателях СВ\_3 и СВ\_4 изменяем время коммутации на (0.03). В результате получаем следующие значения токов: 46,19 А, 33,26 А – токи в первичных обмотках трансформаторов; 1138 А, 891,5 А – токи во вторичных обмотках трансформаторов (рисунок 5).

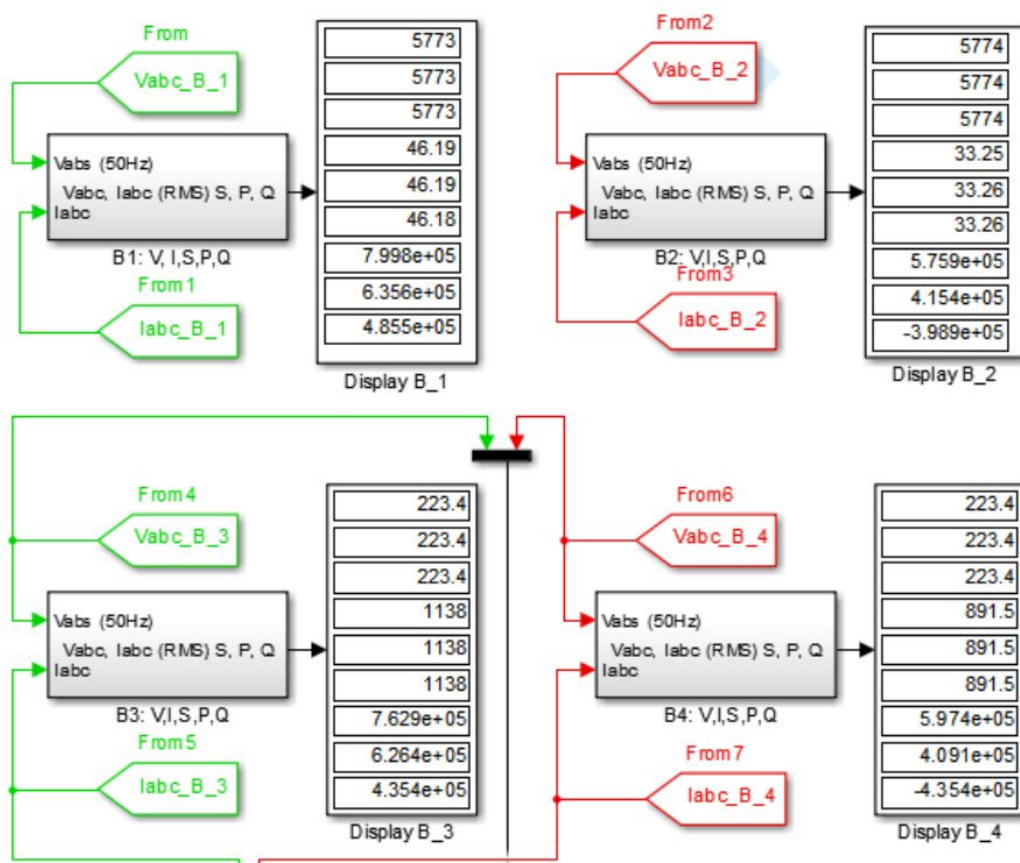


Рисунок 4 — Результаты расчета уравнивающих токов при параллельной работе трансформаторов

Достаточно интересная картина переходных процессов получается при работе трансформаторов на холстом ходу [5], включении ( $t = 0.02$  с) и отключении ( $t = 0.06$  с) секционного выключателя, при включении ( $t = 0.08$  с) секционного выключателя с последующим набросом ( $t = 0.1$  с) нагрузки (рисунок 5).

На отрезке от  $t = 0.02$  с до  $t = 0.06$  с видно, что уравнивающие токи в трансформаторах равны и находятся в противофазе. При набросе нагрузки ( $t = 0.1$  с) происходит её неравномерное распределение между трансформаторами. Больше нагружается трансформатор с большим вторичным напряжением, т.е. с меньшим коэффициентом трансформации.

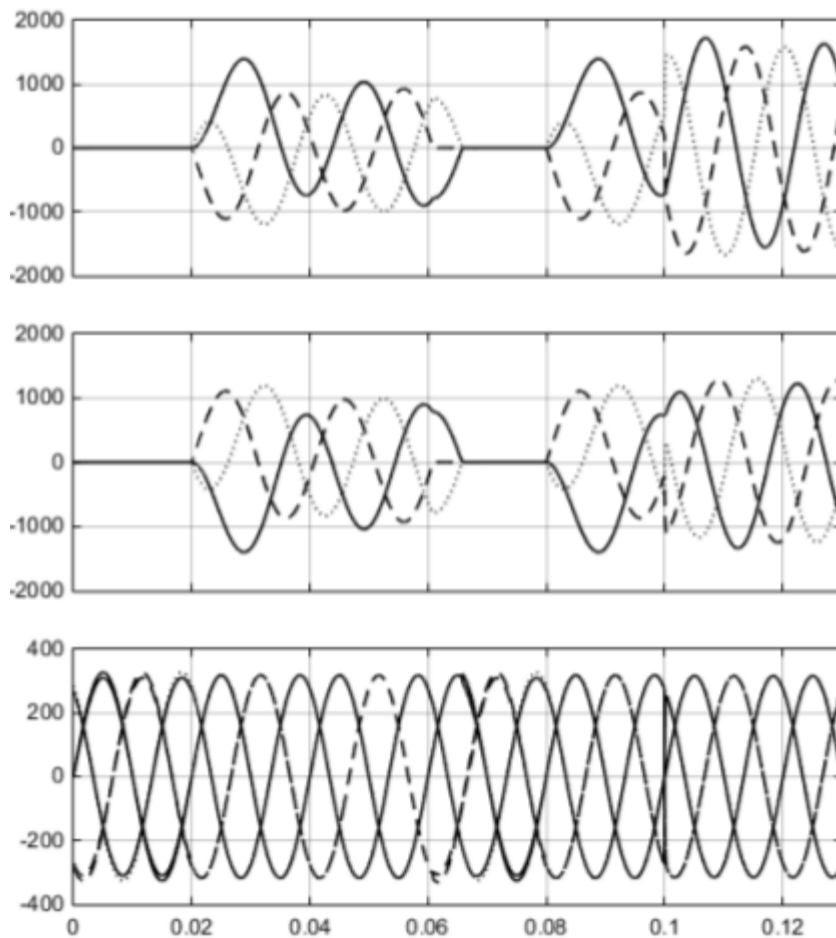


Рисунок 5 — Переходные процессы при параллельной работе на холостом ходу

В более крупном масштабе, на рисунке 6 представлен процесс выравнивания напряжений на уровне кривых напряжений.

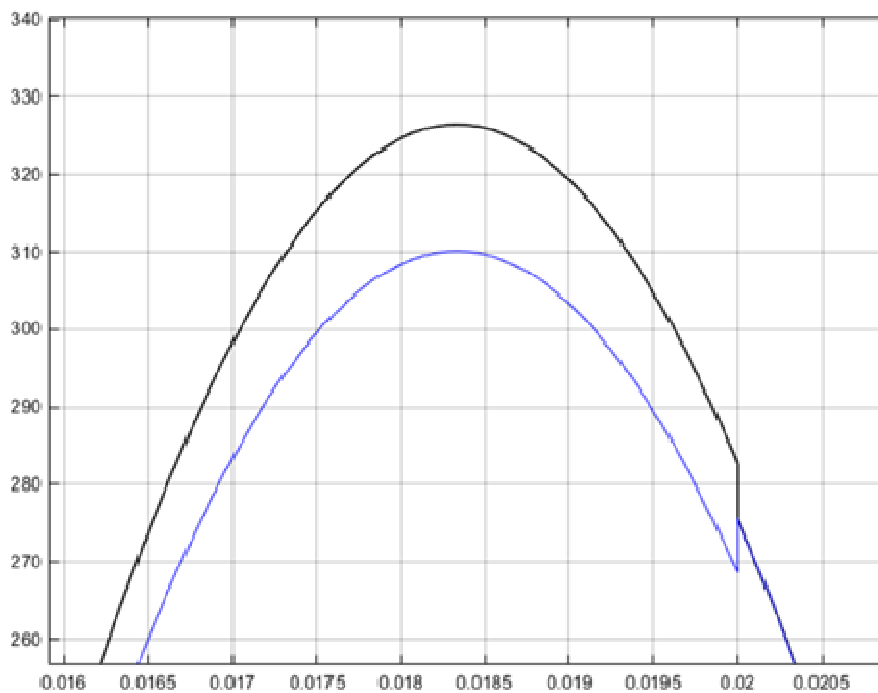


Рисунок 6 — Выравнивание напряжений на уровне кривых напряжений

Здесь верхняя кривая это часть синусоиды вторичного напряжения первого трансформатора, а другая кривая – второго трансформатора. При  $t = 0.02$  с происходит включение секционного выключателя и выравнивание напряжений. Для получения таких кривых задаем время расчета 0.13 с и следующие интервалы коммутации выключателей: СВ\_с – (0.02 0.06 0.08); СВ\_3 и СВ\_4 – (0.1).

Результаты моделирования показывают, что Simulink позволяет качественно и количественно оценивать переходные процессы в двухтрансформаторной подстанции, проводить расчет переходных процессов при коротких замыканиях, набросе и сбросе нагрузки. Это может упростить выбор оборудования, помочь оценить влияние различных переходных процессов на качество электроснабжения, выбрать компенсирующие устройства и улучшить понимание процессов, происходящих при коммутациях энергетических сетей в процессе обучения.

### **Список литературы**

1. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин. –М.: : Высш. шк., 2001 г.
2. Черных, И В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М: ДМК Пресс; Питер, 2008.
3. Дьяконов, В. П., Пеньков, А. А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. – М: Горячая линия-Телеком, 2009.
4. Валюкевич Ю.А., Алепко А.В., Дубовсков В.В., Яковенко Д.М. Анализ влияния конструктивных параметров манипулятора с параллельной структурой на точность позиционирования схвата опубликована в журнале "Фундаментальные исследования" № 11 (часть 4) 2016, стр. 687-690.
5. Валюкевич Ю.А., Алепко А.В., Дубовсков В.В., Яковенко Д.М. Определение параметров движения схвата параллельного манипулятора с гибкими звеньями под действием на груз внешней возмущающей силы "Фундаментальные исследования" № 2 (часть 1) 2016, стр. 28-32.