

И.Х. Холиддинов, PhD,
Х. Ньѣматжонов, С.Комолддинов,
Ферганский политехнический институт,
E-mail: i.xoliddinov@ferpi.uz

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕСИММЕТРИИ И ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ

В статье рассмотрена проблема качества электроэнергии, в частности несимметричных режимов работы в низковольтных электрических сетях. Предлагается применение прибора «Малика-01» для измерения показателей качества электроэнергии. Показано моделирование определения значений мощностей, напряжений и токов и, соответственно их симметричных составляющих, с использованием пакета Simulink в программе MatLab.

Ключевые слова: качество электроэнергии, несимметричные режимы, метод симметричных составляющих, коэффициент несимметрии по обратной последовательности, коэффициент несимметрии по нулевой последовательности, потери мощности, MatLab.

I. X. Kholiddinov, Ph.D.,
H. Nematjonov, S. Komolddinov,
Fergana Polytechnic Institute

MODELING OF ASYMMETRY FACTOR AND POWER LOSSES IN 0.4 KV ELECTRIC NETWORKS

The article deals with the problem of the quality of electricity, in particular, asymmetric modes of operation in low-voltage electrical networks. It is proposed to use the device "Malika-01" for measuring indicators of the quality of electricity. The modeling of the determination of the values of powers, voltages and currents and, accordingly, their symmetric components, using the Simulink package in the MatLab program is shown.

Key words: power quality, asymmetric modes, method of symmetric components, asymmetry coefficient in negative sequence, asymmetry coefficient in zero sequence, power losses, MatLab.

На сегодняшний день в мировой практике в сфере энергетики значительное внимание уделяется повышению эффективности и качества генерации, передачи и потребления электроэнергии. Одной из актуальных задач – снабжение потребителей бесперебойной качественной электроэнергией и снижение потерь, возникающих вследствие ухудшения качества электроэнергии [1].

Стандарты качества электрической энергии в электрических сетях систем переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым подключены электрические сети или электроустановки потребителей, устанавливаются ГОСТ 13109-97 [2].

Несимметрия является одним из факторов, увеличивающих потери в сетях и элементах распределения электрической энергии. Экономический ущерб в результате несбалансированных токов и напряжений вызван ухудшением энергетических характеристик и сокращением срока службы электрооборудования, общим снижением

надежности электрических сетей, увеличением потерь активной мощности и потреблением активной и реактивной мощности [3].

Автором создано инновационное устройство [4,1], выполненное на современной микропроцессорной базе. Задачей измерителя «Malika-01» (рис. 1) является измерение сертифицированных параметров показателей качества электроэнергии [2], обеспечение внутренней памяти и регистрация дополнительных потерь электроэнергии, а также повышение функциональных возможностей устройства.

В результате использования данного устройства получаем информацию об отклонениях одного из основных показателей качества электроэнергии – несимметрии напряжения и тока в сети.

Несимметричные значения фазных напряжений приводят к дополнительным потерям мощности в электрических сетях. В этом случае срок службы асинхронных двигателей значительно уменьшается из-за дополнительного теплового нагрева ротора и статора, из-за того, что ток отрицательной последовательности накладывается на ток положительной последовательности. В этом случае целесообразно выбирать двигатели с более высокой номинальной мощностью, чем требуется [3].

Несимметрия фазных напряжений в электрических машинах переменного тока эквивалентна появлению магнитных полей, векторы магнитной индукции которых вращаются в противоположном направлении с удвоенной синхронной частотой, что может нарушать технологические процессы.

Если напряжение сети, используемое для питания синхронных двигателей, не сбалансировано, могут возникнуть опасные вибрации. Если существует значительная несимметрия в фазном напряжении, колебания могут быть настолько значительными, что существует риск разрушения фундамента, на котором установлены двигатели, и повреждения сварных соединений.



Рис. 1. Измерительное устройство «Malika-01»

Несимметрия фазных напряжений заметно влияет на работу силовых трансформаторов, вызывая сокращение их срока службы.

Анализ работы трехфазных силовых трансформаторов показал, что при номинальной нагрузке и коэффициенте несимметрии тока 10% срок службы изоляции трансформатора снижается на 16% [6].

Несимметрия напряжения характеризуется коэффициентами несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям. Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной

последовательности в точках общего присоединения к электрическим сетям составляют 2,0 и 4,0% соответственно [2, 7, 8].

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} [1, 5, 6]:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $U_{2(1)}$ —действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений; U_1 —напряжение прямой последовательности.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} [2, 7, 8]:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_1} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где $U_{0(1)}$ —действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений; U_1 —напряжение прямой последовательности.

В данном исследовании в программе MatLab была создана виртуальная модель схемы питания (рис. 2). Модель основана на готовых стандартных блоках Simulink, необходимых для определения значений мощностей, напряжений и токов и, соответственно, их симметричных составляющих [9].

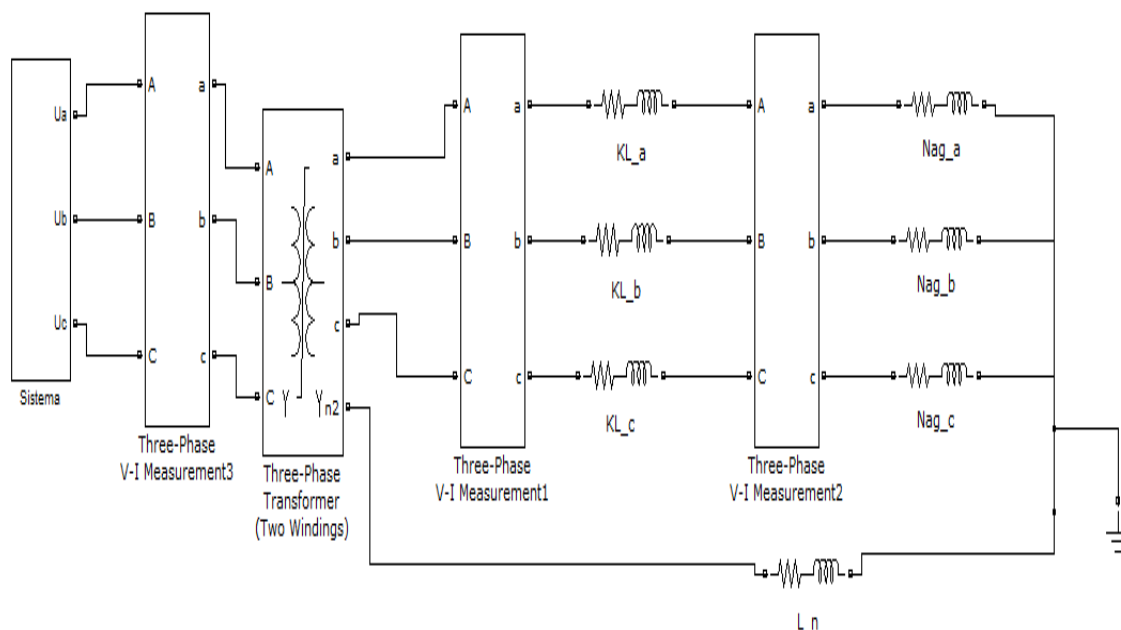


Рис.2. Имитационная модель системы электроснабжения в Matlab (Simulink)

На рис.3 в качестве примера приведена схема подсистемы модели низких боковых параметров, определяющих уровни напряжения и тока в точке относительно начала линии, которая осуществляет расчет параметров качества электрической энергии, значений активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности и уровней симметричных составляющих напряжения и тока.

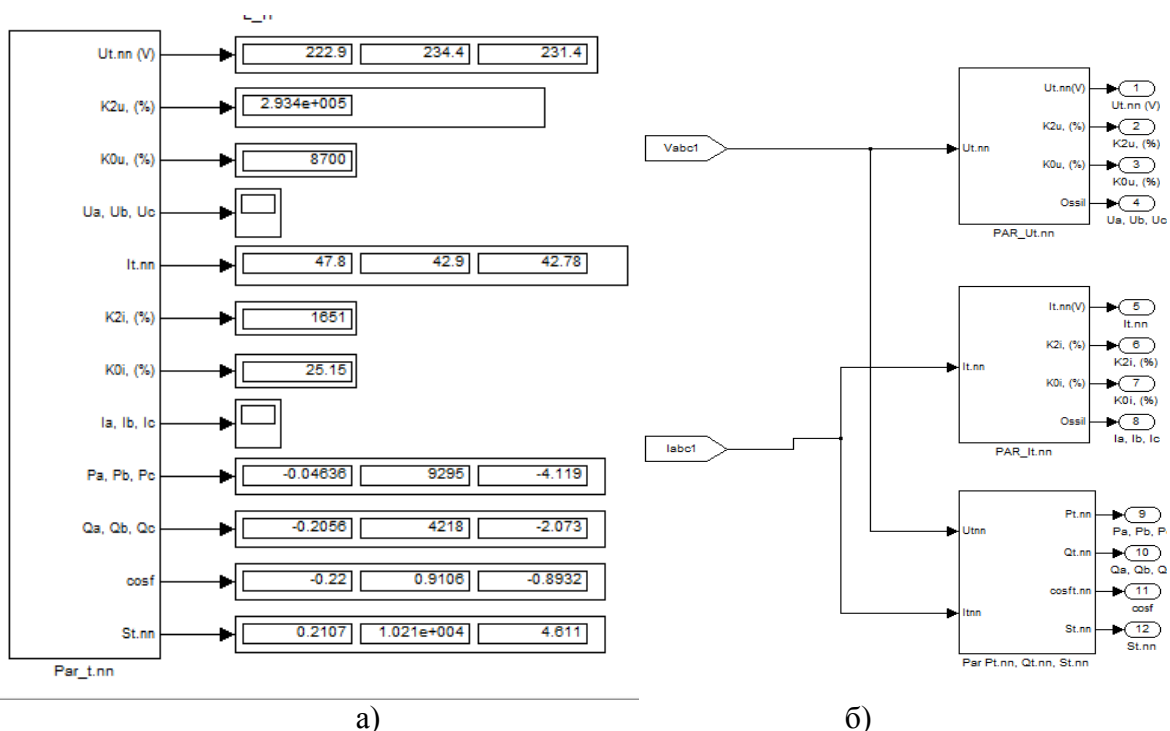


Рис.3. Структурная схема модели: а) параметры на стороне низкого напряжения, б) под системы

Для расчета коэффициентов несимметрии напряжения в соответствии с (1) и (2) была сформирована модель из блоков, показанных на рис. 4, которые получают значения симметричных составляющих напряжения с помощью 3-Phase Sequence Analyzer [9, 10, 11].

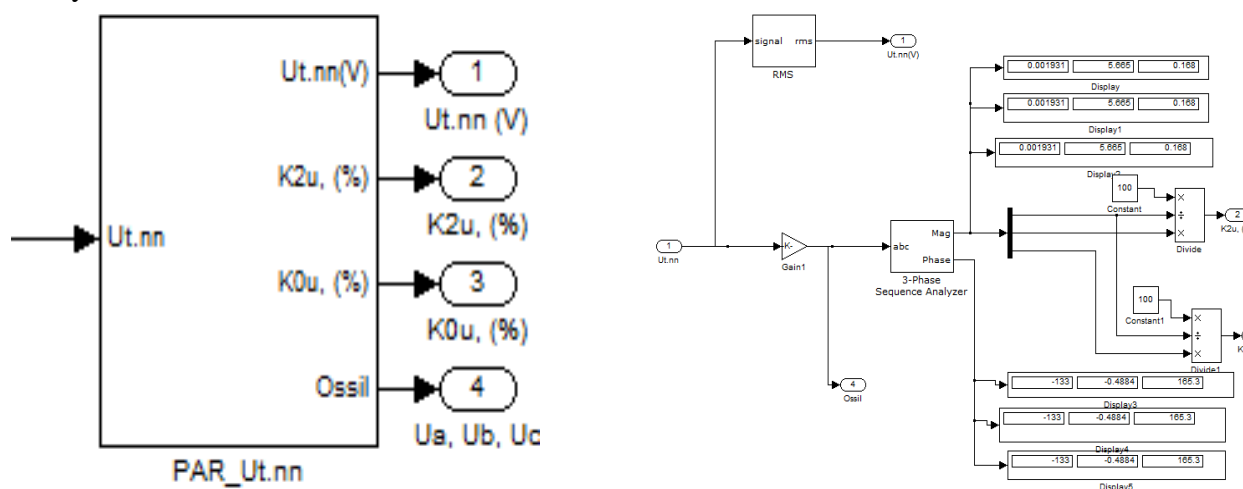


Рис.4 Структурная схема для определения параметров коэффициентов несимметрии токов и напряжений

Активная и реактивная мощности в блоке «Параметры» $P_{т.нн}$, $Q_{т.нн}$, $S_{т.нн}$ определяется в соответствии с выражениями (рис. 5):

$$P_{(Вт)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos(\varphi); \quad (3)$$

$$Q_{(Вар)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sin(\varphi); \quad (4)$$

где U_m – амплитуда фазного напряжения; I_m – амплитуда фазного тока; φ – сдвиг фаз между векторами напряжения и тока.

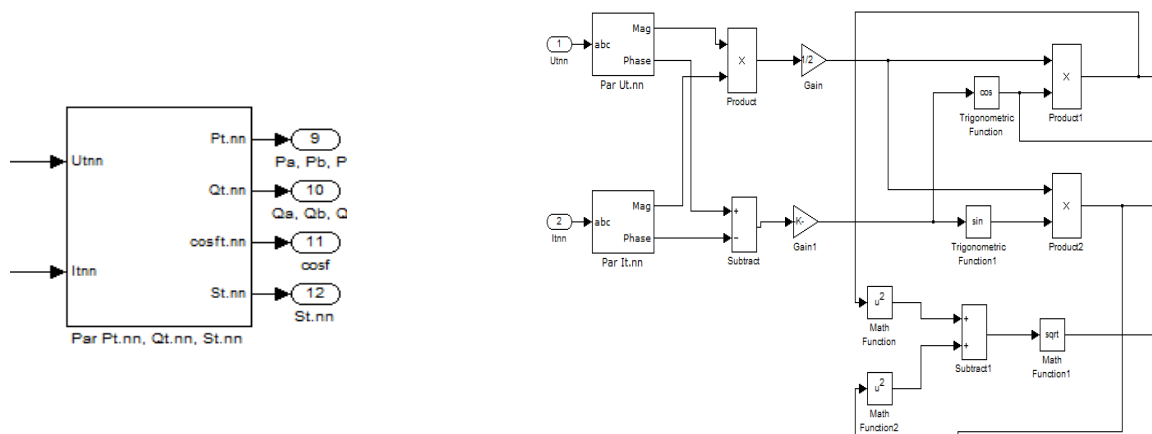


Рис. 5. Схема модели для определения параметров мощностей на стороне низкого напряжения трансформатора

Данная модель позволяет для каждой из фаз осуществлять в любой точке измерения следующие величины: напряжения (U) и токи (I), активные (P), реактивные (Q) и полные мощности (S), коэффициенты мощности ($\cos\varphi$), симметричные составляющие напряжения (U_1, U_2, U_0) и токов (I_1, I_2, I_0), коэффициенты несимметрии напряжений и токов по обратной (K_{2U}, K_{2I}) и нулевой последовательностях (K_{0U}, K_{0I}).

Таким образом, модель пригодна для изучения и исследования несимметричных режимов работы участка сети действующей системы электроснабжения, основанных на данных, полученных в результате измерения показателей качества электроэнергии. В этой модели с использованием алгоритма, основанного на блоках управляемых источников напряжения и управляемых источников тока для моделирования, задаются реальные графики нагрузки, полученные в ходе экспериментальных измерений основных показателей качества электроэнергии действующей системы электроснабжения.

Литература:

1. **А-Аллаев, К.Р.** Холиддинов И.Х. и др.: Обеспечение качества электрической энергии [Текст] // Монография. Т.: Илд-во «Fan va texnologiya», 2019. 207 с.
2. **Аллаев, К.Р.** Патент UZ FAP №01166. Устройство для регистрации дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок в низковольтных электрических сетях. [Текст] / С.Э. Шаисматов, И.Х. Холиддинов // Расмий ахборотнома. –2016, – № 12. – С. 36. 22.05.2015.
3. **Дед, А.В.** Имитационное моделирование в Matlab длительных несимметричных режимов систем электроснабжения [Текст] / А.В. Дед, С.В. Бирюков, А.В. Паршукова // Омский Научный Вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 248-251. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
4. **Каргашев, И.И.** Управление качеством электроэнергии [Текст] / В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.// под ред. Ю. В. Шарова. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 320 с.: ил.
5. **Холиддинов, И.Х.** Влияние несимметричных режимов на величину потерь мощности в электрических сетях распределительных систем электроснабжения. [Текст] / О.И. Пономаренко // Энергетик, 2015. – № 12. – С. 6-8.1.
6. **Холиддинов, И.Х.** Обеспечение приборной базы системы контроля качества электроэнергии в современных системах электроснабжения. [Текст] / О.И.

- Пономаренко // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2016. №8(29). URL:<http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3527>
7. **Черных, И.В.** Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных // М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
 8. **Kholiddinov, I.** and oth. Influence of asymmetrical modes on the value of additional power losses in low-voltage electrical networks. Journal of Tianjin University Science and Technology 2021, p. 532-541
 9. **Kholiddinov I.X.** et al. Analysis of the impact of electric energy quality indicators on the energy efficiency of asynchronous motors [Text] // Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 2. – С. 15-22.
 10. **Kholiddinov I.K.** et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) [Text] // The American Journal of Applied sciences. – 2020. – Т. 2. – №. 10. – С. 33-37.