

ПРИНЦИП ИСКЛЮЧЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ВКЛАДОВ ЛИНЕЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИСКАЖЕНИЙ В ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОЧКЕ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Саенко Ю. Л.¹, Калужный Д. Н.²

¹Приазовский государственный технический университет,

²Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

Рассмотрен способ математического исключения в математической модели распределения фактических вкладов линейных источников искажений в несимметрию и отклонение напряжений.

Постановка проблемы. Наличие искажений напряжений в системе электроснабжения (СЭС), которые принято нормировать показателями качества электроэнергии (ПКЭ) [1, 2], приводят к таким негативным последствиям, как [3] увеличение потерь активной мощности и электроэнергии, сокращению срока службы оборудования, увеличению капитальных вложений в систему электроснабжения, увеличению потребления реактивной мощности, нарушению нормального хода технологического процесса. В конечном счете все это является причиной финансовых убытков, ежегодная величина которых для отдельных стран составляет порядка 10-20 млрд дол. США [1]. Учитывая, что взаимоотношения между поставщиком и потребителем электрической энергии (ЭЭ) являются договорными [4], то нарушения норм качества электроэнергии (КЭ) в точке ее продажи создает не менее актуальную проблему определения фактического вклада (ФВ) каждого участника договора в понижение КЭ в точке их общего присоединения (ТОП).

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день существующие методы определения ФВ в понижение КЭ [5] позволяют решать поставленную задачу по двум основным направлениям. Первое из них предполагает измерение и анализ параметров режима работы сети и ПКЭ со всеми источниками искажений (ИИ) в ТОП. Второе направление основано на оценке ФВ в понижение КЭ путем физического включения/отключения потребителей электрической энергии в ТОП.

Наибольшее количество методов определения ФВ в понижение КЭ разработано по первому направлению. Несмотря на это присущий данным методам ряд существенных недостатков [5] значительно ограничивает область их использования, которая сводится к случаям наличия в ТОП одного явно выраженного доминирующего ИИ. Второе направление, представленное единственным методом с одноименным названием «включения/отключения потребителя» [6], не смотря на свое наглядное решение, требует физического отключения и включения потребителя, что в рамках методики измерения ПКЭ по [7] (табл. 1) ограничивает его практическое применение и сводит к случаю предварительного анализа влияния на КЭ нового присоединения.

Таблица 1 – Интервалы измерений и усреднения результатов измерений основных нормируемых ПКЭ

ПКЭ	Интервал измерения i -го значения ПКЭ, с	Интервал усреднения, с
K_U	Не более 0,33 (3/9)	3
$K_{U(n)}$	Не более 0,33 (3/9)	3
K_{2U}	Не более 0,33 (3/9)	3
K_{0U}	Не более 0,33 (3/9)	3
δU_y	Не более 3,33 (60/18)	60

Учитывая недостатки существующих методов определения ФВ присоединений в понижение КЭ в ТОП, актуальной задачей остается совершенствование методов решения данной проблемы. Основой для этого является разработка новых математических моделей распределения ФВ ИИ в искажения напряжений в СЭС.

Цель статьи. Разработать математическую модель распределения ФВ линейных ИИ в искажения напряжений в СЭС в пространстве фазных составляющих с учетом их распределенного характера, основанную на математическом исключении искажающих частей ИИ.

Основные материалы исследования. Рассмотрим СЭС с линейными ИИ, под которыми будем понимать любой элемент СЭС или его составную часть, вызывающий в ней линейные изменения напряжений, приводящие к несимметрии и отклонению напряжений.

К основным ИИ несимметрии напряжений отнесем несимметричную нагрузку потребителей ЭЭ и несимметричное напряжение источника питания (ИП) СЭС, а к ИИ отклонения напряжения мы можем отнести: электрическую нагрузку потребителей ЭЭ в том случае если она превышает проектную или договорную величину; электрическую сеть, в том случае если ее пропускная способность не соответствует передаваемой мощности; ИП СЭС при неудовлетворительном уровне регулирования напряжения в электрической сети (ЭС).

Рассмотрим установившийся режим работы СЭС двух потребителей ЭЭ (П) (рис. 1), состоящей из ИП, обобщенной ЭС, линии электропередачи (ЛЭП) и силового трансформатора (Т).

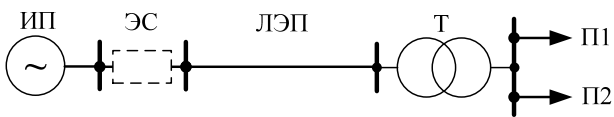


Рисунок 1 – СЭС двух потребителей ЭЭ

Схема замещения рассматриваемой СЭС по одной фазе, с отдельно выделенными искажающими частями ИИ, приведена на рис. 2. Все пассивные продольные элементы СЭС с ИИ, например ЭС, представлены в виде последовательного соединения двух комплексных сопротивлений ($Z_{\Phi ЭС}^{неиск}$ и $Z_{\Phi ЭС}^{иск}$), каждое

из которых характеризует их неискажающую и искажающую части. Поперечные элементы СЭС с ИИ, к которым относятся П1 и П2, представлены в виде параллельного соединения двух комплексных проводимостей ($Y_{\Phi П1}^{неиск}$ и $Y_{\Phi П1}^{иск}$), каждая из которых также характеризует их неискажающую и искажающую части. Активный элемент СЭС, к которому относится ИП, представлен в виде одной ЭДС ($E_{\Phi ИП}^{неиск}$), которая по аналогии с пассивными элементами характеризует только неискажающую часть данного элемента.

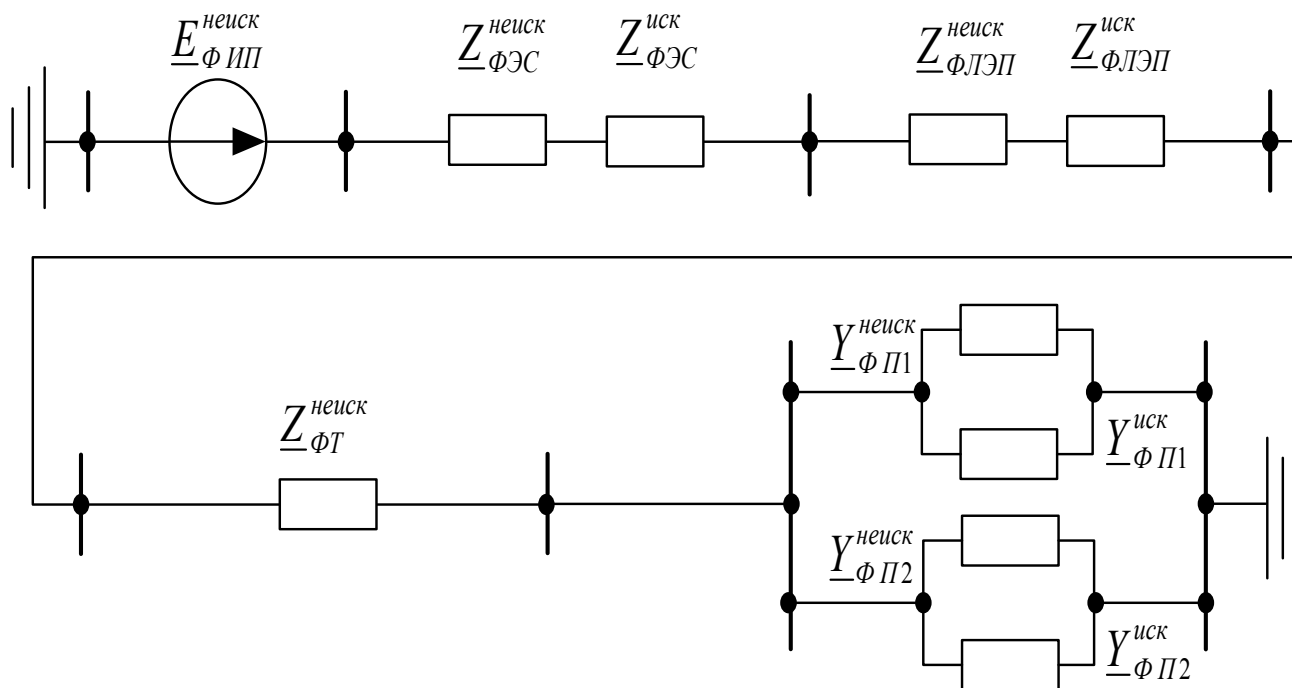


Рисунок 2 – Схема замещения СЭС двух потребителей ЭЭ с отдельно выделенными искажающими частями ИИ

Поясним принцип разделения элементов схемы замещения СЭС на неискажающую и искажающую части. Предположим, что параметры схемы замещения (сопротивления, проводимости и ЭДС) всех элементов СЭС известны а также известны те элементы, которые являются ИИ. Тогда, в случае распределения ФВ ИИ в искажение напряжений по несимметрии напряжений, неискажающая часть должна характеризовать некоторое симметричное состояние элемента, а отклонение элемента от его симметричного состояния будет определять искажающую часть. При распределении ФВ ИИ в искажение напряжений по отклонению напряжений аналогично: неискажающая часть должна характеризовать то состояние элемента, которое не приводит к появлению недопустимой величины отклонения напряжения; искажающая часть определяет отклонение элемента от его неискажающего состояния.

Рассмотрим матричное уравнение узловых потенциалов [8] применительно к трехфазной СЭС (рис. 1), схема замещения которой приведена на рис. 2

$$\mathbf{Y} \times \Phi = \mathbf{I}, \quad (1)$$

где \mathbf{Y} – квадратная матрица узловых проводимостей;

\mathbf{I} – матрица-столбец узловых токов;

Φ – матрица-столбец неизвестных узловых потенциалов.

С учетом выделенных в схеме замещения СЭС ее неискажающих и искажающих частей выражение (1) запишем в следующем виде

$$(\mathbf{Y}_{неиск} + \mathbf{Y}_{иск}) \times (\Phi_{неиск} + \Phi_{иск}) = \mathbf{I}_{неиск}, \quad (2)$$

где $\mathbf{Y}_{неиск} + \mathbf{Y}_{иск} = \mathbf{Y}$ и $\Phi_{неиск} + \Phi_{иск} = \Phi$ – суммы матриц неискажающих и искажающих узловых про-

водимостей и потенциалов, определенные в соответствии с выделенными неискажающими и искажающими частями элементов СЭС и П (рис. 2).

Решение уравнения (2) относительно $\Phi_{иск}$ имеет вид

$$\Phi_{иск} = (Y_{неиск} + Y_{иск})^{-1} \times I_{неиск} - \Phi_{неиск}. \quad (3)$$

Наличие множителя $(Y_{неиск} + Y_{иск})^{-1}$ в правой части уравнения (3) не позволяет представить узловые потенциалы в виде некоторой суммы, где каждое слагаемое определялось бы действием искажающей части отдельного ИИ

$$\sum_{i=1}^n \Phi_{иск}^{IIIi} \neq f \left(\sum_{i=1}^n Y_{иск}^{IIIi} \right), \quad (4)$$

где n – общее количество ИИ в СЭС и со стороны потребителей ЭЭ.

Для оценки ФВ отдельного ИИ в общем искажении узловых потенциалов применим способ математического исключения его искажающей части

$$\Delta \Phi_{иск}^{IIIi} = \Phi_{иск} - \Phi_{иск}^{искл IIIi}, \quad (5)$$

где $\Phi_{иск}^{искл IIIi}$ – решение уравнения (2), в котором в матрице $Y_{иск}$ исключены проводимости искажающей части i -го ИИ.

Умножив слева матрицу $\Delta \Phi_{иск}^{IIIi}$ на транспонированную матрицу инцидентий (A) получим ФВ i -го ИИ в общем искажении напряжений в СЭС

$$U_{иск}^{IIIi} = A^T \times \Delta \Phi_{иск}^{IIIi}. \quad (6)$$

Таким образом, используя принцип математического исключения искажающих частей i -го ИИ последовательно для всех ИИ можно определить их ФВ в общем искажении напряжений в СЭС.

Выводы. Разработана математическая модель распределения ФВ линейных ИИ в искажения напряжений в СЭС, основанная на математическом исключении искажающих частей ИИ. Отличительными особенностями предлагаемой математической модели являются: отсутствие необходимости физического включения/отключения потребителя ЭЭ в ТОП; ее разработка в пространстве фазных составляющих с учетом распределенного характера ИИ в СЭС.

Список использованных источников

1. Жежеленко И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
2. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: учеб. пособие / О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, Д. Н. Калюжный и др. – Харьков: Харьк. нац. акад. город. хоз-ва, 2006. – 272 с.
3. Шидловский А. К. Экономическая оценка последствий снижения качества электрической энергии

в современных системах электроснабжения: Препринт – 253 / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов, В. Г. Николаенко. – К.: ИЭД АН УССР, 1981. – 49 с.

4. Правила користування електричною енергією: [Затверджено Постановою НКРЕ від 31.07.96 N 28 (у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 N 910). За-реєстровано в Міністерстві юстиції України 2 серпня 1996 р. за № 417/1442].

5. Саенко Ю. Л. Анализ методов определения фактических вкладов в понижение качества электрической энергии по несимметрии и несинусоидальности напряжений / Ю. Л. Саенко, Д. Н. Калюжный // Электрификация транспорта. – 2015. – № 9. – С. 123–133.

6. Железко Ю. С. Присоединение потребителей к электрическим сетям общего назначения и договорные условия в части качества электроэнергии / Ю. С. Железко // Технологии электромагнитной совместимости. – 2003. – № 1. – С. 22–30.

7. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – Введ. 1999-01-01. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 33 с.

8. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов / Л. А. Бессонов. – 6 изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.

Аннотация

ПРИНЦИП ВИКЛЮЧЕННЯ В МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ФАКТИЧНИХ ВНЕСКІВ ЛІНІЙНИХ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕНЬ У СПОТВОРЕННЯ НАПРУГ У ТОЧЦІ ЗАГАЛЬНОГО ПРИСДНАННЯ

Саенко Ю. Л., Калюжный Д. М.

Розглянуто спосіб математичного виключення в математичній моделі розподілу фактичних внесків лінійних джерел спотворень у несиметрію й відхилення напруг.

Abstract

EXCLUSION PRINCIPLE IN MATHEMATICAL MODEL OF DISTRIBUTION OF THE FACTUAL CONTRIBUTION OF THE LINEAR SOURCE OF DISTORTION IN VOLTAGE DISTORTION AT THE POINT OF COMMON COUPLING

Y. Sayenko, D. Kalyuzhniy

The article describes the method of mathematical exclusion in the mathematical model the distribution of the factual contributions of linear distortion source in asymmetry and deviation voltage.