

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Атрощенко В. А., Кабанков Ю. А., Дьяченко Р. А., Лоба И. С.

*ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет, Краснодар
Россия (350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2А) emessage@rambler.ru*

Проведены исследования, связанные с вопросами моделирования межрегиональных электроэнергетических сетей с целью обозначения актуальных вопросов оптимизации электрических потерь. Последовательно формулируются задачи исследования, сложившаяся классификация мер по снижению потерь при передаче по высоковольтным линиям межрегиональных распределительных сетей, а также выделяются наиболее острые проблемы в отрасли. Введено понятие энергокластера, который определяется территориально, по количеству элементов и подчиненности определенному административному делению. Предложен метод моделирования межрегиональной распределительной сети по энергокластерам. Для построения аналитической модели используются эквивалентные схемы замещения участков линий электропередач с различными номинальными напряжениями, трехфазных двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов при равенстве соотношений баланса мощностей в эквивалентной и реальной схемах. При разработке отдельных схем описываются допущения, в целом не влияющие на качество полученных моделей. На примере одного из энергокластеров показан подход к моделированию, описаны его результаты и рассмотрены варианты дальнейшего использования для построения информационных моделей систем мониторинга.

Ключевые слова: модель, распределительная сеть, энергокластер, эквивалентная схема.

ON THE CONSTRUCTION OF AN ANALYTICAL MODEL OF INTER-REGIONAL DISTRIBUTION NETWORKS TO OPTIMIZE THE ELECTRICAL LOSSES

Atroschenko V. A., Kabankov Y. A., Djachenko R. A., Loba I. S.

*Kuban State Technological University, Krasnodar
Russia (350072, Krasnodar, Moskovskaya street, 2A) emessage@rambler.ru*

The research related to the modeling issues of interregional electricity networks to refer relevant issues to optimize electrical losses. Consistently formulated objectives of the research, the current classification of the measures to reduce transmission losses on high-voltage lines of interregional distribution networks, as well as stand out the most pressing problems in the industry. Described the term of power cluster, which is defined geographically, the number of elements and submission to the administrative division. Described the method of modeling interregional distribution network power cluster. In order to construct an analytical model used equivalent circuit sections of transmission lines with different nominal voltages, three-phase two-winding and three-winding transformers with equal balance of power relations in the equivalent circuit and the real. In developing the single circuits are described assumptions, generally do not affect the quality of the models. On the example of a power cluster shows the modeling approach described in the results and consideration of options for the future use of building information models of monitoring systems.

Key words: model, distribution network, power cluster, equivalent circuit.

Ужесточающиеся требования к внедрению энергосберегающих технологий во всех областях производства и распределения электроэнергии, дефицит мощностей, повышение цен на услуги, связанные с транспортировкой электроэнергии, заставляют искать пути экономии электроэнергии, снижения потерь в распределительных сетях, повышения энергоэффективности производства, передачи и распределения электроэнергии.

Все меры снижения потерь и повышения эффективности электроснабжения подразделяются на три группы [1]:

- технические мероприятия, направленные на реконструкцию, модернизацию и строительство сетей;
- мероприятия по совершенствованию учета электроэнергии;
- организационные мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизация их схем и режимов.

Первое направление эффективно только при проектировании и строительстве новых сетей. Второе направление связано с внедрением АСКУЭ, которое все шире внедряется в настоящее время в электроэнергетических сетях, и связано с учетом и контролем расходования электроэнергии в текущий момент времени или за определенный промежуток времени, т.е. осуществляется фиксация потерь в линии.

Наиболее перспективным направлением является третий путь, который связан с совершенствованием системы эксплуатации и оптимизации схем распределительных сетей и их режимов на основе информационной системы мониторинга и прогнозирования параметров распределительных электроэнергетических сетей.

Основной задачей информационной системы является оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет перераспределения энергетических потоков по линиям электропередач.

Известно [2, 6], что перераспределение тока по параллельным ветвям с одинаковыми значениями сопротивлений линий вдвое снижает суммарные потери электроэнергии в цепи.

Поэтому суть оптимизации потерь сводится к перераспределению потоков электроэнергии по различным линиям электропередач для электроснабжения одного потребителя в пиковые моменты нагрузки в соответствии с графиком нагрузок.

В настоящее время существуют методики расчета электрических потерь в линиях электропередач [1, 7, 5, 8], которые сводятся к расчету постоянных потерь, не зависящих от тока в линии и нагрузочных потерь в фиксированные моменты времени.

Перспективным направлением оптимизации электрических потерь является создание интеллектуальных электрических сетей Smart Grid, под которыми понимается комплекс электрооборудования, подключенных к источникам и потребителям, использующих новые принципы, технологии передачи и управления потоками электроэнергии [4, 9]. При создании таких сетей предполагается объединение на технологическом уровне электрических сетей, потребителей и производителей электроэнергии в единую автоматизированную систему, обладающую свойствами прогнозирования, самодиагностики, самовосстановления и способностью управлять перераспределением потоков электрической энергии в зависимости от графиков нагрузок потребителей.

Для создания единой интеллектуальной системы необходимо создать единое инфор-

мационное пространство на отдельных территориях – так называемые энергокластеры.

С точки зрения информационной системы мониторинга и прогнозирования параметров распределительных электроэнергетических сетей энергокластер – это отдельный территориальный участок распределительной сети с элементами преобразования и передачи электроэнергии и компьютерная сеть для обработки, хранения и передачи информации о параметрах электроэнергии и их прогнозирования по соответствующим алгоритмам.

Для оценки влияния параметров сети на её энергетические показатели необходимо разработать аналитическую модель энергокластера распределительной сети. На рисунке 1 представлен пример энергокластера, состоящего из линий электропередач различного напряжения, двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов и пяти потребителей электроэнергии, характеризующимися соответствующими графиками нагрузки.

Для разработки аналитической модели энергокластера необходимо отдельные элементы распределительной сети представить их эквивалентными схемами.

При разработке эквивалентных схем отдельных элементов и межрегиональной распределительной сети в целом сделаем следующие допущения:

- все сети с глухозаземленной нейтралью, а, следовательно, все ветви связаны между собой нулевым проводом;
- нагрузка по всем фазам симметричная, поэтому расчет ведется для одной фазы;
- частота сети не изменяется, а, следовательно, индуктивные сопротивления постоянны;
- потери холостого хода для всех режимов работы постоянны;
- емкостная энергия, наводимая коронным разрядом, постоянная;
- потери холостого хода и емкостная энергия учитываются при анализе потерь в сети как постоянные величины на своих участках.

В межрегиональных распределительных сетях большинства районов России протяженность линий электропередач между трансформаторными подстанциями и потребителями не превышает 80 – 100 км. Поэтому при построении аналитической модели сети распределенности параметров можно не учитывать и использовать сосредоточенные параметры активного и реактивного сопротивления линии $R_{л}$ и $X_{л}$ [10].

Эквивалентное активное сопротивление определяется по формуле

$$R_{л} = r_0 L, \tag{1}$$

где r_0 – удельное сопротивление, Ом/км, при температуре провода +20°C, определяемое по таблицам в зависимости от поперечного сечения;

L – длина линии, км.

где $r_{\text{пр}}$ – радиус провода, см;

$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA}}$ – среднегеометрическое расстояние между фазами, см;

D_{AB}, D_{BC}, D_{CA} – расстояния между проводами фаз А, В и С соответственно.

Емкостная проводимость линии $B_{л}$, обусловленная емкостями между проводами разных фаз и емкостью провод-земля для сетей 110–220 кВ, учитывается как реактивная мощность, генерируемая емкостью линий [1]. Половина емкостной (зарядной) мощности линии в Мвар определяется выражением

$$Q_b / 2 = 3I_b U_{\phi} \quad (5)$$

где U_{ϕ} фазное напряжение, кВ;

I_b – емкостной ток на землю.

С учетом вышеизложенного схема замещения линий электропередач представляется схемой, представленной на рисунке 2.

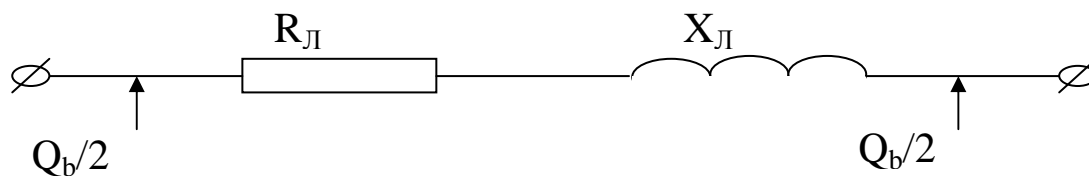


Рисунок 2. Схема замещения линии электропередач

Для воздушных линий напряжением 35 кВ и ниже емкостную мощность можно не учитывать [1].

Потери активной мощности в ЛЭП делятся на потери холостого хода ΔP_{XX} (потери на корону) и нагрузочные потери (на нагрев проводов) ΔP_H [1]

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{XX} + \Delta P_H = \Delta P_{KO} L + \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_{л} \quad (6)$$

Потери реактивной мощности тратятся на создание магнитного потока внутри и вокруг провода

$$\Delta Q_{л} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X_{л} \quad (7)$$

Одним из основных элементов любой распределительной сети являются трансформаторные подстанции, включающие двухобмоточные, трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы. В аналитических моделях используются приведенные трансформаторы [3], у которых обе обмотки приводятся к одному числу витков.

Используя уравнения для приведенного трансформатора [3], реальный трансформатор можно заменить эквивалентной схемой. Наиболее распространенной схемой замещения

трансформатора является T-образная схема замещения. Потери в цепи намагничивания относятся к потерям холостого хода и не зависят от тока нагрузки.

К потерям холостого хода также относятся потери на активном и индуктивном сопротивлении первичной обмотки ΔS_{M1}

$$\Delta S_{M1} = I_0 (R_1 + jX_1) \quad (8)$$

К потерям холостого хода относятся добавочные потери, которые обусловлены конструктивными и технологическими особенностями сердечника трансформатора и составляют 15–20 % от потерь в стали [3].

С учетом вышеизложенного потери холостого хода будут определяться выражением

$$\Delta S_{XX} = \Delta P_C + \Delta S_{M1} + \Delta P_{ДОБ} = \Delta P_{XX} + j\Delta Q_{XX} . \quad (9)$$

Исходя из вышеизложенного, двухобмоточный трансформатор можно представить упрощенной схемой замещения, представленной на рисунке 3.

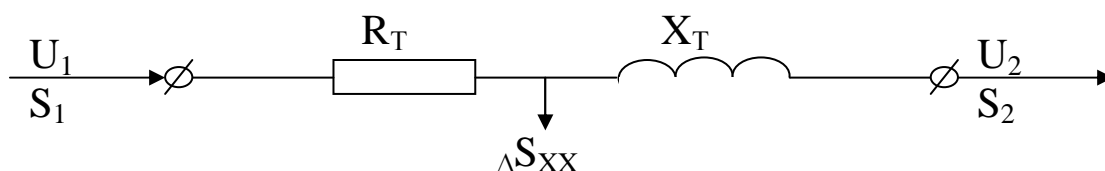


Рисунок 3. Схема замещения одной фазы двухобмоточного трехфазного трансформатора

На рисунке 3 обозначено: S_1 – полная входная мощность фазы, S_2 – полная выходная мощность фазы, $R_T = R_1 + R_2'$ – активное эквивалентное сопротивление одной фазы трансформатора, $X_T = X_1 + X_2'$ – реактивное эквивалентное сопротивление одной фазы трансформатора, ΔS_{XX} – потери холостого хода трехфазного трансформатора.

Потери холостого хода для каждого трансформатора можно взять из паспортных данных или рассчитать из опыта холостого хода [3].

Применяя к трехфазному трехобмоточному трансформатору допущения и методику получения эквивалентной схемы замещения двухобмоточного трехфазного трансформатора, их эквивалентная схема замещения будет иметь вид, представленный на рисунке 4.

На рисунке обозначены: S_o, S_c, S_H – полные мощности обмоток высшего, среднего и низшего напряжения, $R_{ТВ}, R_{ТС}, R_{ТН}, X_{ТВ}, X_{ТС}, X_{ТН}$ – активные и реактивные сопротивления обмоток высшего, среднего и низшего напряжения, U_B, U_C, U_H – напряжения обмоток высшего, среднего и низшего напряжения.

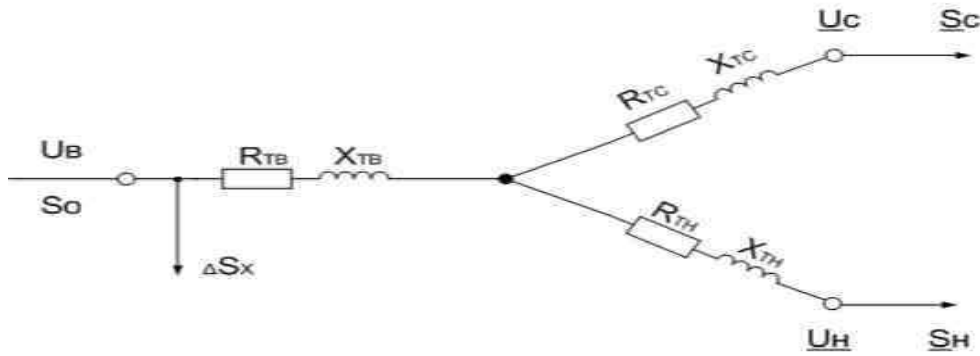


Рисунок 4. Эквивалентная схема замещения трехфазного трехобмоточного трансформатора (для одной фазы)

На рисунке обозначены: S_0 , S_C , S_H – полные мощности обмоток высшего, среднего и низшего напряжения, R_{TB} , R_{TC} , R_{TH} , X_{TB} , X_{TC} , X_{TH} – активные и реактивные сопротивления обмоток высшего, среднего и низшего напряжения, U_B , U_C , U_H – напряжения обмоток высшего, среднего и низшего напряжения.

Для энергокластера, представленного на рисунке 1, эквивалентная схема замещения с учетом эквивалентных схем элементов сети, полученных выше, будет иметь вид, представленный на рисунке 5.

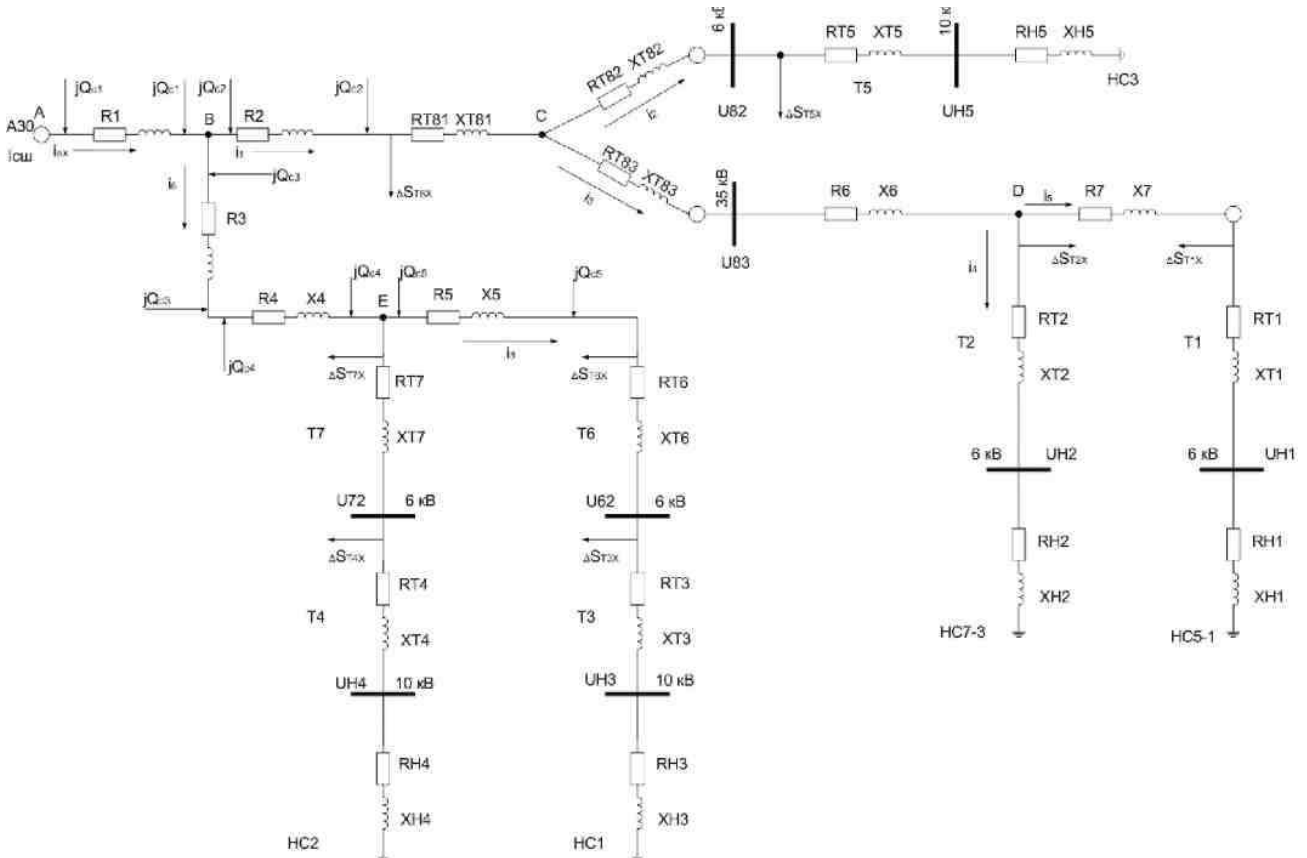


Рисунок 5. Эквивалентная схема энергокластера

Вся эквивалентная схема разбита на ряд последовательных цепей, в каждой из кото-

рых протекает характерный ток. Это позволяет упростить расчеты параметров цепи и потери на отдельных участках цепи.

Все электроэнергетические процессы, проходящие в эквивалентной схеме, а также баланс мощностей идентично отражают электроэнергетические процессы и передачу мощностей реальной распределительной сети энергокластера.

В результате исследования предметной области построения аналитической модели межрегиональной распределительной сети для построения информационной системы мониторинга параметров и оптимизации потерь при передаче электроэнергии можно сделать следующие выводы:

1. Аналитическую модель межрегиональной распределительной сети целесообразно строить по кластерам, ограниченным территориально, количеством элементов сети и подчиненных определенному административному делению.
2. Для построения аналитической модели использовать эквивалентные схемы замещения участков линий электропередач с различными номинальными напряжениями, трехфазными двухобмоточными и трехобмоточными трансформаторами при равенстве соотношений баланса мощностей в эквивалентной и реальной схемах.
3. Передачу электроэнергии к конкретным электроприемникам осуществлять путем перераспределения потоков электроэнергии по различным ветвям сети путем оптимизации потерь в линиях электропередач и элементах сети на основе исследования и анализа аналитической модели межрегиональной распределительной сети.

Список литературы

1. Вороницкий В. Э., Калинкина М. А., Апрыткин В. Н. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях электроснабжающих организаций. – www.rtp3.ru/files/6.doc.
2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 528.
3. Костенко М. П. Электрические машины: Машины постоянного тока, трансформаторы / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – Л.: Энергоиздат, 1964. – С. 548.
4. Марченков Д. В. Модель управления данными электросетевой компании.
5. Методика расчета нормативных потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям в базовом периоде. – <http://www.minprom.gov.ru/ministry/dep/energy/docs/3/25>
6. Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники: в 2 т. Учебник для вузов / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчан. – Л.: Энергоиздат, 1981. – Т. 1. – С. 536.

7. Передача и распределение электрической энергии. – <http://www.treugoma.ru>.
8. Приказ №21 от 03.02.2005 Министерства промышленности и энергетики РФ «Об утверждении методики расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях».
9. Умные сети и интеллектуальные энергетические системы. – <http://venture-biz/energetika-energoberezhnie/290-intellektualnye-seti>.
10. Характеристика и параметры элементов электрических сетей. Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях. – <http://electrolibray.narod.ru/3/38.htm>.

Рецензенты:

Шевцов Ю. Д., доктор технических наук, профессор кафедры информатики, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

Сингаевский Н. А., доктор технических наук, профессор кафедры информатики, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.