

Интеллектуальные распределительные сети 10 – 20 кВ с гексагональной конфигурацией

Лоскутов А. Б., доктор техн. наук, Соснина Е. Н., канд. техн. наук,
Лоскутов А. А., Зырин Д. В., аспиранты

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Рассмотрена задача построения новой конфигурации распределительных сетей 20 кВ. Предложены принципы формирования гексагональных сетей с активно-адаптивной системой управления узлами нагрузки. Приведены результаты моделирования сетей в программе Matlab на примере распределительных сетей Нижнего Новгорода.

Ключевые слова: гексагональная конфигурация распределительных сетей, активно-адаптивная система управления, равномерно распределенная сеть 20 кВ, PLC модем, интерфейс, интеллектуальные сети.

В современных городах с населением 1 млн чел. и более часто возникают проблемы электроснабжения, связанные с постоянным увеличением нагрузок, несоответствием сетевой инфраструктуры потребностям в электрической энергии и мощности, значительными (до 16 %) потерями электроэнергии в распределительных сетях, физическим и моральным износом электрооборудования. Отсутствие в существующих распределительных сетях 6 – 10 кВ возможности реализации автоматического управления распределением и потреблением электроэнергии на всех уровнях напряжения обуславливает технический предел использования систем питания и распределения и как следствие — снижение надежности электроснабжения потребителей и аварии. Переход от сетей 6 – 10 кВ к сетям 20 кВ с радиально-магистральной конфигурацией не даст ожидаемых результатов. Новое направление — создание интеллектуальных сетей (Smart Grid) — предусматривает модернизацию всей отрасли электроэнергетики, в процессе которой должны быть решены следующие основные задачи:

обеспечение и повышение надежности распределительной сети;

автоматическое управление элементами сети по адаптивным алгоритмам;

управление режимами сети и локализация повреждений.

Единая технологическая и информационная платформа позволяет перейти от жесткой радиально-магистральной архитектуры сети к более гибкой адаптивной равномерно распределенной сети, при этом каждый ее узел является активным элементом, позволяющим переконфигурировать сеть в соответствии с оптимальным режимом работы. Примером такой сети служит равномерно распределен-

ная электрическая сеть гексагонального типа (рис. 1), позволяющая реализовать концепцию гибких распределительных сетей [1 – 3]. Гексагональная сеть — это совокупность территориально равномерно распределенных узлов нагрузки (УН), соединенных между собой проводниками одинакового сечения, имеющая топологию в виде правильных шестиугольников (сотовая конфигурация электрической сети).

При построении такой сети необходимо определить ее шаг, т. е. расстояние между УН (распределительными пунктами — РП). Выбор шага сети между подстанциями на основе плотности нагрузки позволяет связать количество и мощность трансформаторов на РП с площадью рассматриваемой территории города. Исходя из этого, шаг сети (рис. 2) рассчитывают по следующей формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4\Theta_{\text{гор}}}{3\sqrt{3}n_{\text{РП}}}} = \sqrt{\frac{4\Theta_{\text{гор}}S_{\text{РП}}}{3\sqrt{3}S_{\text{расч}}}} = \sqrt{\frac{4\Theta_{\text{гор}}S_{\text{T}}n''_{\text{T.узла}}}{3\sqrt{3}S_{\text{расч}}}}, \quad (1)$$

где d — шаг сети, км; $S_{\text{расч}}$ — расчетная мощность потребления электроэнергии рассматриваемого района, МВ · А; $\Theta_{\text{гор}}$ — площадь рас-

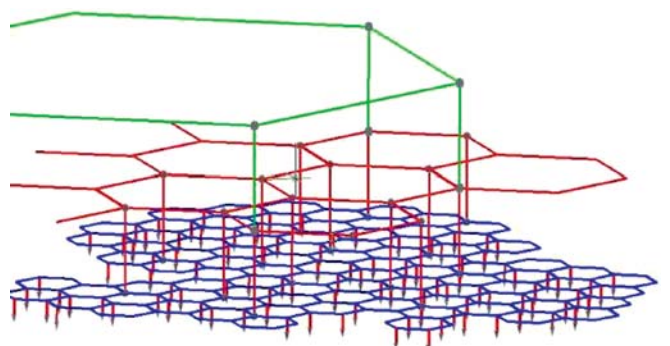


Рис. 1. Структура гексагональной распределительной сети разных уровней напряжения

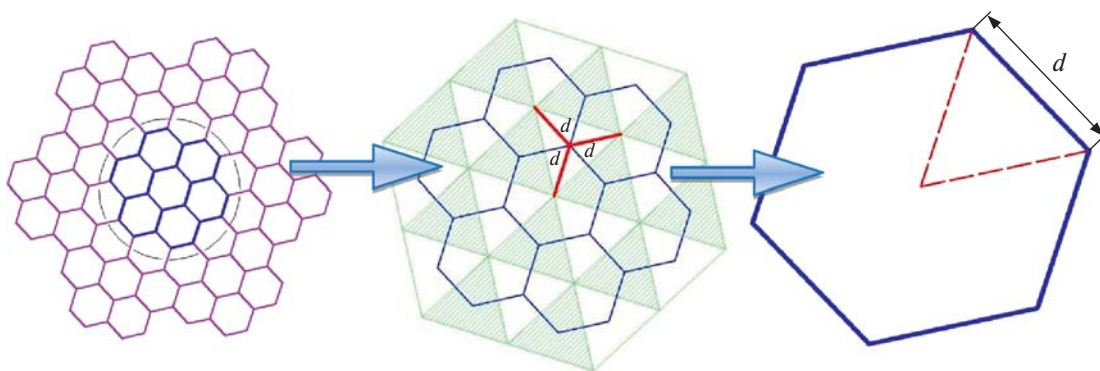


Рис. 2. Схема выбора шага сети

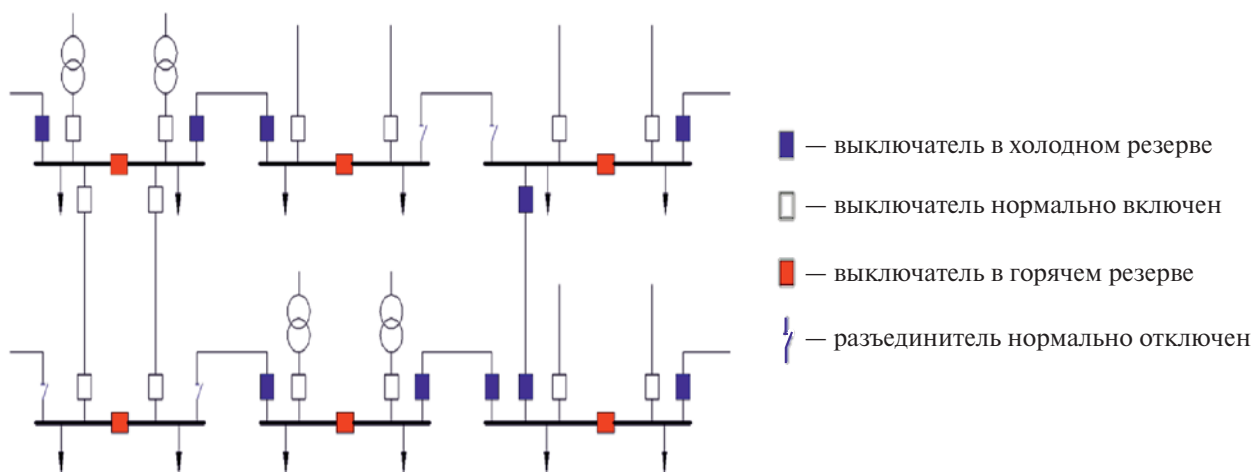


Рис. 3. Пример организации схемы электроснабжения (питающие подстанции и распределительные пункты 6 – 10 кВ)

сма­три­вае­мой тер­ри­то­рии го­ро­да, км^2 ; $n_{\text{РП}}$ — чис­ло РП; $S_{\text{РП}}$ — еди­ни­ч­ная мо­щ­ность РП, $\text{МВ} \cdot \text{А}$; $n''_{\text{т.узла}}$ — чис­ло транс­фор­ма­то­ров, пи­таю­щих­ся от РП; $S_{\text{т}}$ — еди­ни­ч­ная мо­щ­ность транс­фор­ма­то­ра, $\text{МВ} \cdot \text{А}$.

Ес­ли пред­став­ить “по­кры­вае­мую” УН пло­щадь в ви­де рав­но­сто­рон­не­го тре­уголь­ни­ка, то в его пре­делах рас­сто­я­ние от УН до по­тре­би­те­ля бу­дет все­гда наи­мень­шим.

Су­ще­ст­вую­щие мно­го­крат­но ре­кон­ст­руи­руе­мые го­род­ские ра­ди­аль­ные рас­пре­де­ли­тель­ные се­ти име­ют ме­жду РП 6 – 10 кВ боль­ше ко­личес­тво ре­зерв­ных свя­зей (ре­зерв­ных пе­ре­мыч­ек), ко­то­рые в нор­маль­ном ре­жи­ме от­клю­че­ны (рис. 3), по­сколь­ку при ав­ри­ях пе­ре­мыч­ки ча­сто не обес­пе­чи­ва­ют по­сле­ав­ри­й­ный ре­жи­м, и на­деж­ность се­ти в и­то­ге низ­кая.

Учас­тни­ки мно­го­чис­лен­ных дис­кус­сий о пе­ре­хо­де в рас­пре­де­ли­тель­ных се­тях на на­пря­же­ние 20 кВ не при­хо­дят к кон­сен­су­су в ре­ше­нии во­про­са, ка­кие кон­фи­гу­ра­ции се­тей брать за ос­но­ву. При­ме­ром за­ру­беж­но­го опы­та со­ору­же­ния се­тей 20 кВ яв­ляе­тся схе­

ма рас­пре­де­ли­тель­ной се­ти Па­ри­жа (см. рис. 4), в ко­то­рой ис­поль­зо­ва­ны ко­ле­цевые пе­ре­мыч­ки для ре­зервиро­ва­ния.

По­иск раз­но­об­раз­ных схе­мных ре­ше­ний на­прав­лен на соз­да­ние схе­м, по­зво­ляю­щих ав­то­ма­ти­зи­ро­вать про­цесс управ­ле­ния ими. В пред­ла­гае­мых на­ми **гек­са­го­наль­ных се­тях** мож­но ре­шить эту про­бле­му и пе­рей­ти к чет­кой си­стем­ной кон­фи­гу­ра­ции се­ти, в ко­то­рой все ка­бель­ные ли­нии ме­жду РП на­хо­дят­ся в ра­бо­те, а са­ми РП пи­таю­тся по тре­м ли­ни­ям. Это даст воз­мож­ность сде­лать се­ть бо­лее гиб­кой к ве­де­нию ре­жи­ма и уве­личить на­деж­ность элек­троснаб­же­ния по­тре­би­те­лей. Каж­дый узел в гек­са­го­наль­ной се­ти — уни­вер­саль­ный, сле­до­ва­тель­но, ал­го­рит­мы управ­ле­ния та­ки­ми узла­ми то­же уни­вер­саль­ны.

При пе­ре­хо­де к гек­са­го­наль­ным се­тям сле­ду­ет учи­ты­вать воз­мож­ность па­рал­лель­ной ра­бо­ты пи­таю­щих ис­точ­ни­ков. Это при­водит к уве­личе­нию то­ков КЗ (ТКЗ), что недо­пус­ти­мо для не­ко­то­рых ус­тройств ис­хо­дя из ус­ло­вия обес­пе­че­ния ди­намичес­кой ус­той­чи­во­сти. Кро­ме то­го, для ин­же­нер­но­го рас­че­та

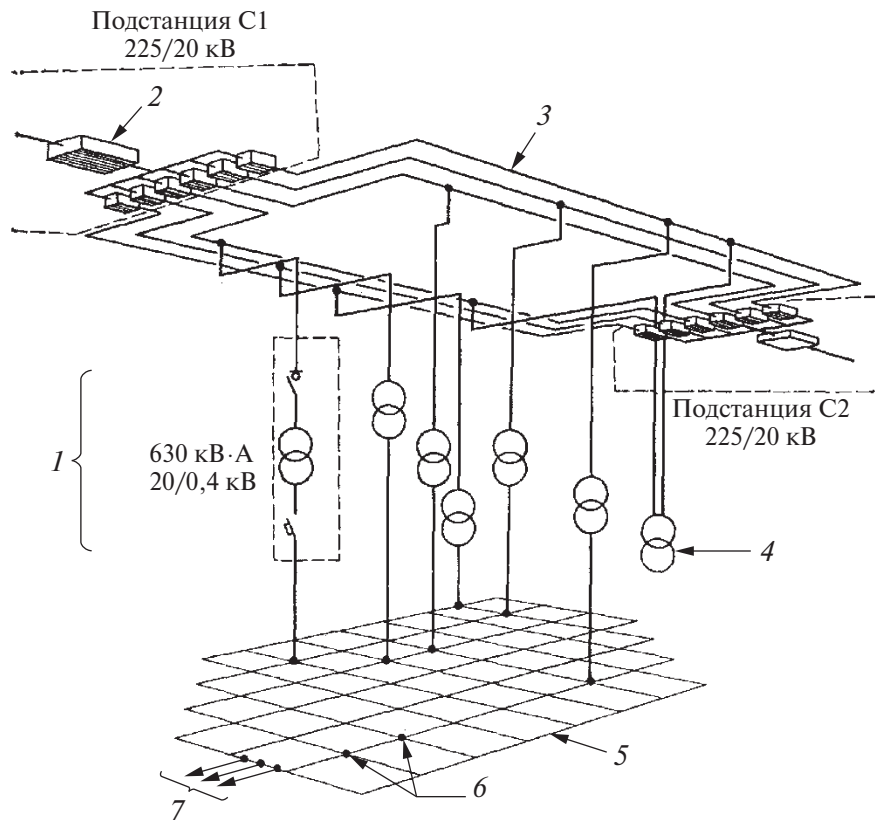


Рис. 4. Распределительная сеть Парижа (разветвленная сеть НН питается от магистральной линии 20 кВ):

1 — типовая подстанция СН/НН; 2 — линейный выключатель; 3 — половина магистральной линии СН; 4 — потребитель СН; 5 — разветвленная сеть НН; 6 — распределительные коробки сетей НН (на углах улиц); 7 — подключения сетей зданий

ТКЗ в гексагональных сетях неприемлемы существующие методики. В действующем ГОСТ Р 52735–2007 “Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ” содержится инженерная методика расчета ТКЗ в радиальных схемах. Для более сложных схем применяют методы контурных токов и узловых потенциалов [4, 5]. Однако данные методики удобно использовать в научных исследованиях, но не при выборе гексагональных распределительных сетей. Поэтому была поставлена задача создать оптимальную методику инженерного расчета ТКЗ в этих сетях, а также определить их оптимальную конфигурацию.

С целью исследования режимов работы гексагональных сетей разработали однолинейные Simulink-модели сети для района Нижнего Новгорода, имеющего среднюю плотность нагрузки $9 \text{ МВ} \cdot \text{А}/\text{км}^2$. Параметры сети при различных режимах рассчитывали для рабочих линейных напряжений 10 и 20 кВ. Питающие узлы задавали исходя из возможной перспективы развития городской сети высокого напряжения.

В ряде моделей для инженерного расчета ТКЗ в гексагональных распределительных сетях используется упрощенная методика. На рис. 5 приведена эквивалентная схема замещения гексагональной сети, для построения которой необходимо на графе от каждого источника питания (ИП) определить минимальное расстояние до точки КЗ, т. е. число линий N_i единичной длины (равных шагу сети). Ток КЗ i -го узла равен току $I_{\text{КЗ}}$, рассчитанному по эквивалентной схеме замещения согласно формуле

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{k \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{\text{сист}} + Z_i N_i} \right]^{-1}}, \quad (2)$$

где E_i — напряжение i -го питающего узла, В; N_i — число единичных линий i -й эквивалентной ветви; k — коэффициент ветвления, учитывающий удаленность точки КЗ от ближайшего ИП; $Z_{\text{сист}}$ — эквивалентное сопротивление системы, Ом; Z_i — сопротивление единичной линии, Ом.

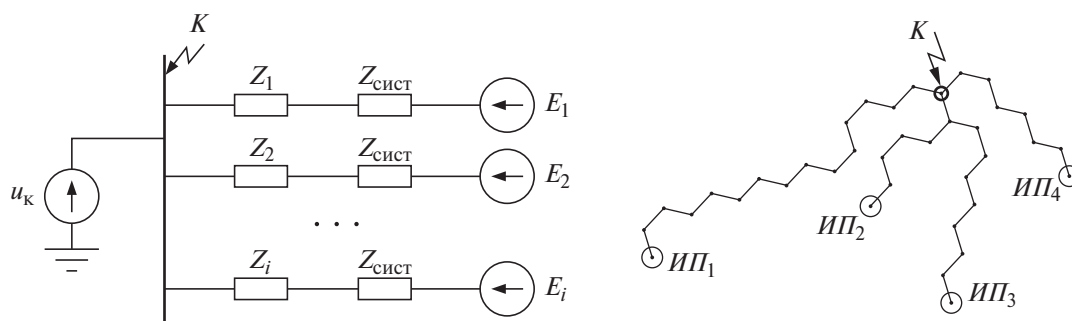


Рис. 5. Расчетная схема ТКЗ в гексагональных сетях

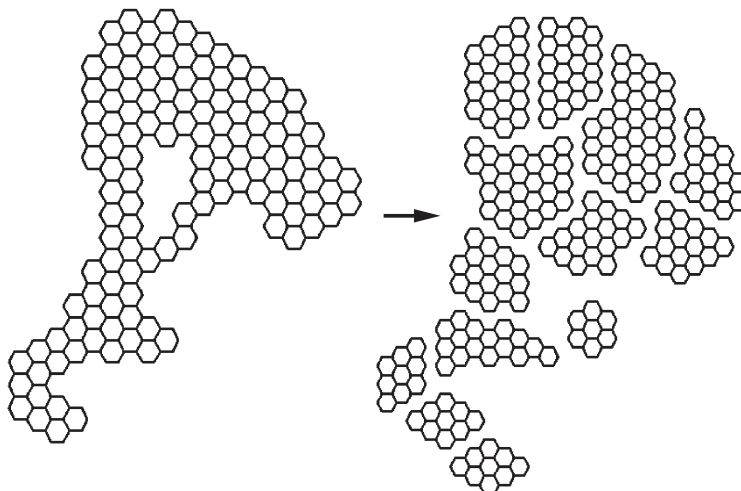


Рис. 6. Схемное представление единой сети, состоящей из отдельных зон

Расчет ТКЗ в компьютерных моделях разными методами показал, что их значения, определенные по упрощенной инженерной методике, находятся в пределах 5 %-ной погрешности относительно результатов, полученных в имитационной модели и вычисленных матричным методом сингулярных ветвей. Также установлено, что значения ТКЗ при числе питающих узлов в сети более двух превышают коммутационную способность выключателей 10 (20) кВ, вследствие чего возникает необходимость установки токоограничивающих реакторов в цепи “трансформатор 110/10 (20) кВ — шины питающего узла 10 (20) кВ”.

В ходе экспериментов выявлены следующие факторы, влияющие на значение ТКЗ в гексагональных сетях:

- конфигурация сети;
- число параллельно работающих ИП;
- единичная мощность питающего источника.

Ряд моделей гексагональной сети прямо привязан к “форме” города, что негативно отражается на топологии сети: появляются участки со слабыми связями, причем с уменьшением шага сети таких элементов ста-

новится больше. Рациональнее использовать сети эллиптической формы, которые можно получить, поделив единую сеть на зоны (рис. 6), имеющие резервные связи (по кабельным линиям) в горячем резерве. Данные связи позволят питать потребителей от соседней зоны при потере у них источника питания.

Переход от единой сети к сети, состоящей из отдельных зон, позволяет снизить уровень ТКЗ. Кроме того, появляется возможность использовать кабельные линии, соединяющие распределительные пункты, меньшего сечения.

Уменьшение единичной мощности питающих узлов и применение одного понижающего трансформатора 110/10 (20) кВ снижает риск распространения аварий при повреждениях. Наряду с этим в отдельных зонах можно более точно учитывать уровень загрузки района, а уменьшая шаг сети, повысить ее гибкость.

Гексагональная распределительная сеть, в узлах которой предполагается располагать интеллектуальные цифровые подстанции, имеет четкие алгоритмы управления, общее

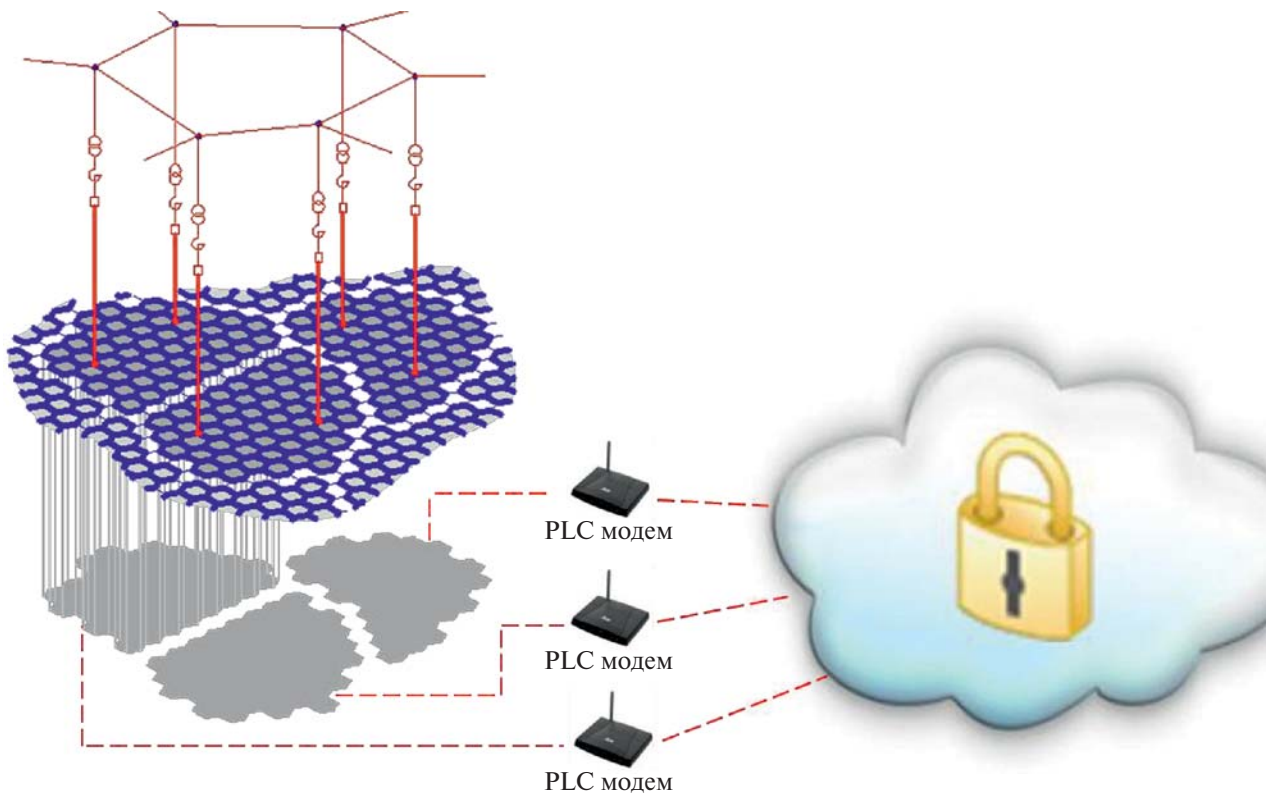


Рис. 7. Единое информационное корпоративное сетевое пространство гексагональной сети

корпоративное информационное пространство, которое используется для целей управления, защиты, мониторинга, позволяет сделать ее очень гибкой, что значительно повысит качество и надежность электроснабжения потребителей (рис. 7).

Создание гексагональных распределительных сетей способствует реализации автоматического управления распределением и потреблением электроэнергии, выведению энергетики на новый уровень, соответствующий современным мировым стандартам и запросам потребителей. Реализация гексагональных сетей возможна только при использовании оборудования узлов нагрузки с цифровым управлением.

Список литературы

1. Лоскутов А. Б., Соснина Е. Н., Лоскутов А. А. Новый подход к построению электрических распределительных сетей России. — Научно-теоретический журнал “Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова”, 2011, № 3.
2. Лоскутов А. Б., Соснина Е. Н., Лоскутов А. А. Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ. — Промышленная энергетика, 2012, № 5.
3. Пат. 118133 РФ, МПК⁷ H02J 3/00 (2006 01). Система передачи электрической энергии / А. Б. Лоскутов, Е. Н. Соснина, А. А. Лоскутов. — Оpubл. в бюл., 2012, № 19.
4. ГОСТ Р 52735–2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
5. РД 153-34.0-20.527–98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.

loskutov@nntu.nnov.ru