

УДК 004.052:621.31

## ИЗБИТОЧНАЯ СЕТЕВАЯ ЕДИНИЦА КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**А. Ю. Свистунов,**  
руководитель отдела внедрения  
ООО «РСМ-Системы», г. Москва

Рассматривается задача повышения надежности электрических распределительных сетей за счет объединения трансформаторных подстанций в избыточные сетевые единицы.

**Ключевые слова** — электрические распределительные сети, избыточная сетевая единица, надежность сетей.

Техническое развитие человечества привело к тому, что сегодня окружающий нас мир стал сетевым. Сетевые решения характерны не только в сфере обеспечения информационных потребностей людей (Интернет, сетевое телевидение, сети распространения периодических изданий), в сфере обеспечения людей товарами и услугами (сетевая торговля, сети обеспечения услугами), но и в сфере обеспечения жизнедеятельности (водопроводные, газовые, электрические сети).

При разнице функционального назначения перечисленных сетей в них можно выделить общие основные инфраструктурные решения [1–3] и два возможных характера взаимодействия в структуре — непрерывный и дискретный. Это позволяет предположить, что лучшие разработанные модели поведения одних сетей, а также модели обеспечения надежности их функционирования применимы для других сетей [4].

В данной статье рассматривается метод повышения надежности компьютерных сетей [5, 6] применительно к электрическим распределительным сетям [7, 8], базирующийся на введении избыточной сетевой единицы [9].

### Модель электрической сети.

Упрощенная модель компьютерной сети [9] (рис. 1) применима для моделирования электрической распределительной сети: *МОИ* соответствуют подстанциям (ПС), которые получают электричество от системы генерации и понижают напряжение; *МВС* — воздушным линиям электропередачи (ВЛЭП) и распределительным устройствам (РУ), отвечающим за передачу и распределение электроэнергии; *МРС* — трансформатор-

ным подстанциям (ТП), отвечающим за доставку электроэнергии конечному потребителю.

Сравнение объектов компьютерных и электрических сетей, способов их функционирования и условий, при которых они становятся подобными в части выполнения основной задачи — обеспечения коммуникации источника и приемника, рассмотрены в работе [4].

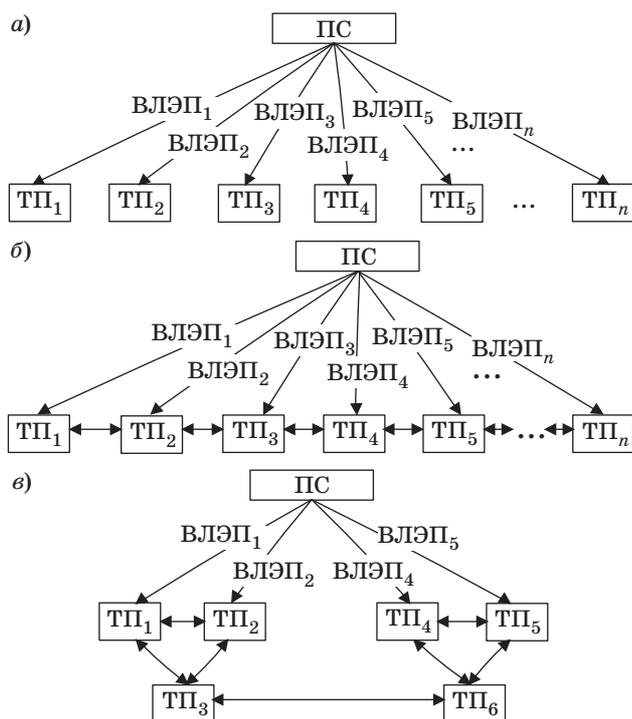
Стандартная организация распределительной электрической сети (рис. 2, а) — параллельное присоединение потребителей  $ТП_i$  ( $i = 1, n$ ) к источнику питания — подстанции. Отказ одного любого канала связи (ВЛЭП<sub>*i*</sub>) между ПС и  $ТП_i$  приводит к недополучению электроэнергии потребителями, присоединенными к этой ТП.

Одним из вариантов решения задачи повышения надежности в приведенной структуре сети является создание дополнительных связей между ее элементами — в данном случае это последовательное соединение [10] ТП (рис. 2, б).

Для приведенной модели введем понятие «пути» от ПС к ТП — это совокупность возможных последовательно объединяемых связей, обеспечивающих их соединение. В случае организации фрагмента сети с использованием последова-



■ **Рис. 1.** Упрощенная модель локальной вычислительной сети



■ **Рис. 2.** Модель фрагмента распределительной электрической сети: *а* — стандартная организация; *б* — с последовательным соединением подстанций; *в* — с использованием избыточной сетевой единицы

тельного соединения каждый потребитель имеет по шесть путей от источника, причем элементы  $ТП_1$  и  $ТП_n$  имеют всего по два пути на своем уровне фрагмента сети. Таким образом, минимальное количество связей, отказ которых приводит к неработоспособности сети, равен двум.

**Введение избыточной сетевой единицы.**

Избыточность как метод повышения надежности применяется в большинстве технических систем. Среди методов повышения надежности взаимодействия и соединения в компьютерных сетях одним из действенных является метод избыточной маршрутизации, который служит для борьбы с разрывами связей вследствие отказа одного из каналов передачи данных. Аналогом для энергосистем является приведенное выше создание дополнительных связей (их резервирование), направленное на исключение недопоставок электроэнергии потребителям при отказе одной или нескольких связей, хотя традиционно выделяются еще три вида избыточности [7]: совершенствование конструкций и материалов; технического обслуживания и ремонтов; систем контроля и управления процессами.

При построении компьютерных сетей достаточно эффективно используется избыточная сете-

вая единица, применение которой описано в работе [9]. Здесь между тремя модулями сети используется три связи: именно эта сетевая единица обеспечивает избыточность маршрутизации.

Введение в структуру распределительной сети избыточных сетевых единиц, роль которых будет играть совокупность трех ТП с тремя связями (рис. 2, *в*), дает значения показателей минимального количества связей, приводящих к отказам, равного трем, и количества путей от источника к каждому потребителю, равного девяти. Из рисунка следует, что объединение ТП в сетевые единицы не меняет исходную модель распределения электроэнергии в сети.

Аналогично повышения надежности методом избыточной сетевой единицы можно добиться для фрагмента распределительной электрической сети более высокого уровня — генерирующего оборудования и ПС более высокого класса напряжения — 500, 220, 110 кВ.

**Литература**

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — СПб.: Питер, 2001. — 672 с.
2. Амато Вито. Основы организации сетей Cisco. Т. 2. — Вильямс, 2002. — 464 с.
3. Справочник по проектированию электрических сетей. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Под ред. Д. Л. Файбисовича. — М.: ЭНАС, 2009. — 390 с.
4. Свистунов А. Ю. О применимости моделей построения и управления компьютерными сетями к сетям электрическим // Научная сессия ГУАП: сб. докл. в 3 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2012. С. 145–146.
5. Глазунов Л. П., Грабовецкий В. П., Щербаков О. В. Основы надежности автоматических систем управления. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 208 с.
6. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. — СПб.: Питер, 2005. — 479 с.
7. Савоськин Н. Е. Надежность электрических систем: учеб. пособие/ПГУ. — Пенза, 2004. — 102 с.
8. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. — М.: Дрофа, 2008. — 241 с.
9. Бритов А. Г. Методы повышения надежности сетевых технологий для корпоративных информационных систем: дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: ГУАП, 2007. — 140 с.
10. Зорин В. В., Тисленко В. В. Надежность систем электроснабжения: учеб. пособие для вузов. — Киев: Выща шк., 1984. — 192 с.