

Выводы

1. Мероприятия по снижению максимума нагрузки являются альтернативой усилению электрических сетей крупного города.
2. Реализация таких направлений разгрузки электрических сетей, как внедрение энергосберегающих технологий, устройств малой генерации и компенсация реактивной мощности, в условиях мегаполиса по удельной стоимости сопоставима с новым электросетевым строительством. Реализация этих направлений должна быть первоочередной, так как они обладают позитивными социальными последствиями.
3. Для выравнивания графиков нагрузки необходимо всестороннее содействие более широкому переходу на зонные системы тарификации и постепенному увеличению разницы между стоимостью электроэнергии в часы максимума и минимума нагрузки.
4. Эффективность предлагаемых методов по снижению максимума нагрузки и мероприятий по выравниванию графика нагрузки существенно зависит от проведения разъяснительной компании в СМИ с привлечением РЭК.
5. Созрела необходимость разработки проекта создания городской энергокомпании, занимающейся проблемами распределённой генерации.

Автоматизация проектирования вторичных цепей электрических станций и подстанций

Трофимов А. В., канд. техн. наук

• Московский энергетический институт (ТУ)

Рассмотрены методы автоматизации проектирования вторичных цепей электроустановок. Дано описание состава проектной документации и последовательности её разработки с помощью системы автоматизированного проектирования. Показано, как на основе полных принципиальных схем могут быть сформированы монтажные схемы (кабельные связи, задание заводу на нетиповые низковольтные комплектные устройства, схемы подключения рядов зажимов).

Ключевые слова: проектирование электроустановок, вторичные цепи, САПР, базы данных, автоматизация проектирования.

При проектировании электрической части электрических станций и подстанций различают электрические схемы первичных и вторичных цепей. Первичные цепи определяют состав элементов силового оборудования и связь между ними. Вторичные цепи включают в себя приборы и устройства управления, автоматики, измерения, защиты и сигнализации для элементов первичного электрооборудования.

Выполнение вторичных цепей и их подключение к устройствам электроустановок осуществляются по чертежам-схемам электрических соединений вторичных цепей. По назначению схемы делятся на принципиальные (полные) и схемы соединений (монтажные). В принципиальных схемах указывается полный состав аппаратов и связей между ними и даётся детальное представление о принципах работы установки. На монтажных схемах показаны соединения составных частей установки, приведены сведения о проводах, жгутах, кабелях, которыми осуществляются эти соединения [1].

Проектирование вторичных цепей связано с разработкой большого количества схемотехнических и конструкторских документов, и для их создания целесообразно использовать средства автоматизации проектирования. Это обусловлено тем,

что наряду с творческой инженерной частью проекта, связанной с разработкой принципиальных электрических схем и компоновкой аппаратуры на металлоконструкциях, всегда присутствует большой объём рутинной работы по подготовке монтажных схем. Системы автоматизации проектирования позволяют существенно повысить производительность труда и качество проекта за счёт предоставления конструктору удобных средств для разработки документации на принципиальные схемы и практически автоматического создания документов по монтажу.

Часто под автоматизацией проектирования понимается лишь черчение принципиальных и монтажных схем в среде универсального графического редактора (наиболее распространён Autocad). Но использование компьютера лишь в качестве автоматизированного кульмана для подготовки отдельных чертежей не даёт большого эффекта. Значительного повышения производительности можно добиться при использовании специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР).

В данной статье рассматриваются методы автоматизированного проектирования вторичных цепей, реализованные в системе автоматизированного проектирования цепей вторичной коммутации электроустановок (САПР ЦВК) [2 – 4]. Эта систем

ма применяется в ряде проектных организаций энергетического профиля и на заводах, выпускающих щитовые изделия.

В настоящее время на российском рынке представлен ряд САПР, предназначенных для автоматизации проектирования электротехнических устройств в различных отраслях (машиностроение, автомобильная или авиационная промышленность и др.). Примеры таких систем – ElectriCS (Consistent Software), PCschematic® Elautomation, CADElectro (НПП “ТЕХНИКОН”), E3.CADDy (компания “ПОИНТ”), САПР-АЛЬФА (ООО “Фирма САПР-АЛЬФА”), EPLAN (группа компаний “ТермоКул”). Однако отраслевая специфика затрудняет их использование в электроэнергетике.

На рис. 1 показаны основные виды и последовательность разработки документации на цепи вторичной коммутации.

Принципиальные электрические схемы, отражающие принципы работы оборудования, являются основой для разработки всех видов документов. По заданию завода, содержащему принципиальные схемы, общие виды, схемы соединения рядов зажимов для нетиповых низковольтных комплектных устройств, осуществляются изготовление и поставка комплектных устройств.

Схемы кабельных соединений и кабельные журналы отражают номенклатуру, длины, трассы прокладки и адреса привязки кабелей. Схемы присоединений рядов зажимов определяют непосредственное подключение жил кабелей к рядам зажимов устройств.

Проектирование цепей вторичной коммутации электроустановок начинается с разработки принципиальных электрических (полных) схем. Из-за сложности электроустановок разработка принципиальных схем на вторичные цепи ведётся по функциональным группам. Кроме того, для крупных функциональных групп (например, генератор, общестанционный трансформатор, трансформатор с.н.) для облегчения восприятия принципиальные схемы разделяются на группы по назначению: управление, защита, блокировка и др.

На основе принципиальных схем выполняются практически все дальнейшие проектные процедуры. Разработка этого вида документа – сложная инженерная задача, опирающаяся на удачные технические решения ранее спроектированных образцов, учитывающая накопленный опыт их изготов-



Рис. 1. Структура проектной документации

ления. При этом обрабатываются большие объёмы информации, сложной по структуре и разнообразной по содержанию.

С другой стороны, реализация схем осуществляется в виде низковольтных комплектных устройств (НВУ, типовых или нетиповых), на которых размещаются аппараты схемы, и кабелей, объединяющих соответствующие цепи. Поэтому на следующем этапе проектирования на основе принципиальных схем ведётся разработка документации на нетиповые НВУ, формируются схемы кабельных соединений и кабельные журналы. На заключительном этапе разрабатываются схемы подключения рядов зажимов.

Важной особенностью схемотехнической документации является многократное присутствие одной и той же информации в различных документах. Так, проставленная на принципиальной схеме марка цепи, соединяющей различные устройства, затем проставляется:

в соответствующих клеммах рядов зажимов всех соединённых устройств (как в задании завода, так и схемах присоединений);

в соответствующих кабелях на схемах кабельных связей;

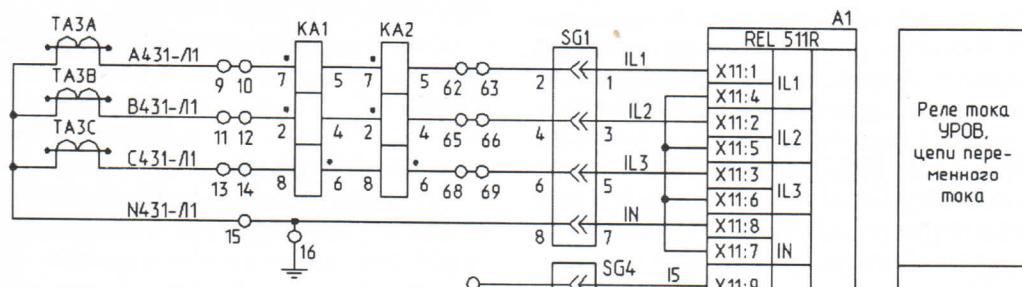


Рис. 2. Фрагмент принципиальной схемы

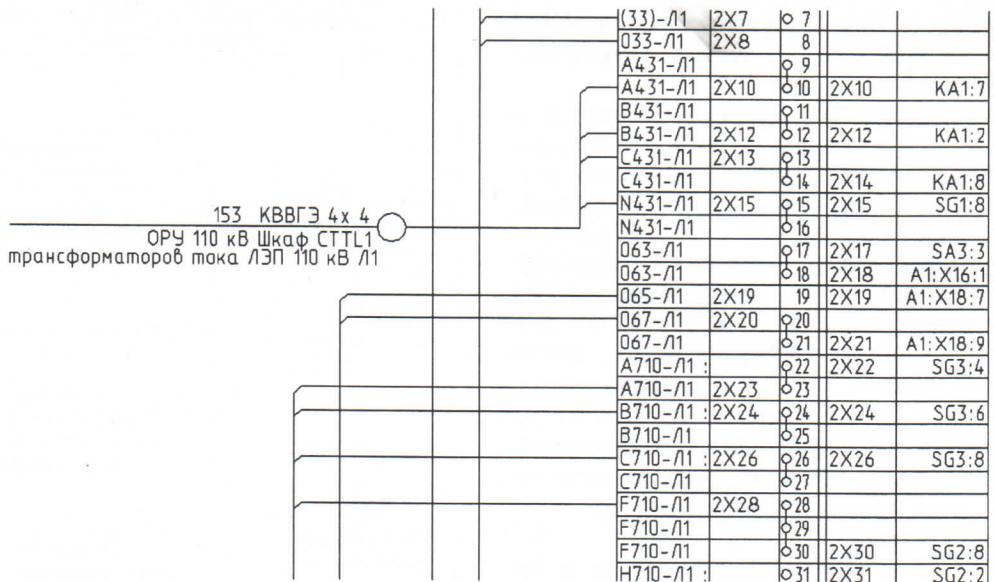


Рис. 3. Фрагмент схемы подключения рядов зажимов

у контактов всех аппаратов, подключённых к этой цепи, на монтажно-коммутационной схеме.

Таким образом, если соединены только два аппарата на различных НКУ, то марка цепи присутствует на чертежах ещё в пяти местах. Аналогичная ситуация наблюдается с номерами контактов.

На рис. 2, 3 показаны фрагменты чертежей принципиальной схемы и схемы подключения ряда зажимов, которые позволяют увидеть взаимосвязь проектно-конструкторской документации.

Многократное участие одинаковой информации в разных документах при ручном проектировании приводит к большому объёму рутинной работы и является одним из основных источников ошибок. Так как процесс проектирования итерационный, то внесение изменений в один документ требует переработки большого количества взаимосвязанных документов. Средства автоматизации, которые обеспечили бы одноразовый ввод данных в документы-первоисточники и их автоматическую прорисовку в зависимых документах, позволили бы существенно повысить эффективность и качество процесса проектирования.

С другой стороны, требования к монтажной документации строго регламентированы нормативными документами, что позволяет формировать её с высокой степенью автоматизации и проводить корректировку автоматически. Использование средств автоматизации позволяет изменить сам процесс проектирования. Так, проектировщик может сосредоточиться только на разработке первичных документов (принципиальные схемы и общие виды нетиповых НКУ), а затем быстро получить зависимые документы на основе хорошо проработанных данных из единственного источника. Кроме того, изменения в документы могут вноситься автоматически, что исключает ошибки.

Логика работы схемы формируется с помощью элементов аппаратов, обеспечивающих различные

функции (замыкающий или размыкающий контакт, катушка реле, пакет переключателя и др.). Включение элемента в нужную цепь осуществляется через контакты аппарата, к которым он подключен. В настоящее время всё более широко используются микропроцессорные системы управления, в которых реализуется логика работы оборудования. Но с точки зрения схемотехники они также включаются в принципиальную схему с помощью подключения контактов, хотя изображаются обычно в виде "чёрных" ящиков.

По сути дела, если иметь данные по всем контактам, участвующим в схемах, то можно говорить о возможности автоматизированного формирования монтажной документации. Эти данные должны включать:

номер контакта;

позиционное обозначение аппарата;

принадлежность аппарата к НКУ и монтажной единице;

марку цепи, к которой подключен контакт.

Фактически все эти данные есть на принципиальной схеме, и при упрощённом рассмотрении можно сказать, что:

если все контакты с одинаковой маркой цепи расположены в одном НКУ, то они соединяются перемычками с такой маркой;

если несколько контактов с одинаковой маркой цепи расположены в разных НКУ, то эти НКУ соединяются кабелем, содержащим жилу с такой маркой, и один из контактов в каждом НКУ выводится на ряд зажимов.

Понятно, что такое решение без учёта конструктивных особенностей всех составляющих проекта будет далеко не оптимальным. Оптимизация проектных решений осуществляется в ходе разработки монтажных схем. В качестве обобщённого критерия оптимизации может быть предложен ми-

нимум целевой функции, характеризующей суммарные затраты на реализацию вторичных цепей.

$$S = \min_{TT} \left[\sum_{i=1}^{N_a} C_{ai} + \sum_{j=1}^{N_{ky}} (C_{p.ky\ j} + C_{raz.ky\ j}) + \sum_{k=1}^{N_k} C_{kk} \right],$$

где C_{ai} – стоимость i -го аппарата; $C_{p.ky\ j}$, $C_{raz.ky\ j}$ – стоимость реализации (металлоконструкция и внутренний монтаж) и размещения j -го комплектного устройства соответственно; C_{kk} – обобщённая стоимость (включая прокладку и монтаж) k -го кабеля; N_a , N_{ky} , N_k – число аппаратов, комплектных устройств и кабелей соответственно; TT – множество технических требований.

Базовой информацией является компоновка оборудования вторичных цепей (шкафов, панелей) по помещениям (распределительные устройства, оперативный и неоперативный контуры щитов управления и др.). Компоновка аппаратов внутри устройств определяется при разработке схем общего вида. Для создания этого документа необходима информация о габаритах аппаратов и конструкции устройства. По результатам компоновки появляются сведения о размещении аппаратов (точки вставки), на основе которых может формироваться оптимальная последовательность соединения проводов каждой цепи. Информация о последовательности соединения должна храниться в базе данных и является основой для создания монтажно-коммутационных схем. Для рядов зажимов должны храниться сведения о последовательности и типах клемм, о подключаемых к клеммам кабелях. Информация о кабелях должна содержать сведения об их типах и длинах, направлениях, марках прокладываемых цепей.

На рис. 4 показана логическая схема автоматизированного проектирования.

Основой системы автоматизированного проектирования являются:

библиотека условных графических обозначений элементов схем, графическо-текстовые базы данных электрических аппаратов, библиотеки проводов, кабелей, наконечников проводов;

система управления проектом, которая обеспечивает простую и логичную последовательность этапов проектирования, сокращая время получения выходной документации, а также систематизированное хранение информации с быстрым доступом к документам.

Подготовленная в САПР полная схема является не просто набором чертежей, но и содержит информацию о соединениях всех элементов. С перечнем аппаратуры связаны данные о зонах обслуживания аппаратов. Это позволяет использовать её для создания других документов.

При проектировании НКУ, после подготовки принципиальной схемы, выбирается металлоконструкция и производится компоновка аппаратов (размеры аппаратов хранятся в базе данных проекта, и контуры аппаратов автоматически заносятся в чертёж) для формирования общего вида НКУ. По схеме и общему виду программа формирует ряды

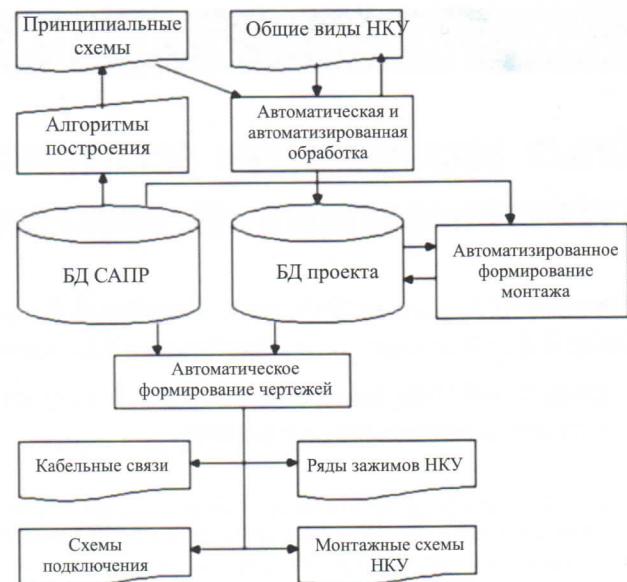


Рис. 4. Логическая схема автоматизированного проектирования

зажимов, которые при необходимости могут быть откорректированы. Монтажная схема выдаётся автоматически. После распределения аппаратов по НКУ автоматически формируются кабельные связи, которые в дальнейшем могут быть скорректированы проектировщиком. По ним автоматически создаются чертежи кабельных связей, схемы подключения рядов зажимов, кабельный журнал.

Вывод

Использование средств автоматизации проектирования:

позволяет существенно повысить производительность труда проектировщиков вследствие снижения трудозатрат на разработку документации и качество выпускаемых документов за счёт снижения вероятности появления ошибок и использования типовых решений;

увеличивает привлекательность труда проектировщика из-за возможности сосредоточиться на инженерной деятельности, поскольку рутинную работу выполняет компьютер.

Список литературы

- Лезнов С. И., Фаерман А. Л., Махлина Л. Н. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- Брызгалов Ю. Н., Трофимов А. В. Автоматизированная подготовка и ведение документации на вторичные цепи электроустановок. – Электрические станции, 1997, № 4.
- Брызгалов Ю. Н., Новиков А. А., Трофимов А. В. Автоматизированное проектирование электротехнических устройств в среде САПР цепей вторичной коммутации электроустановок. – Электро, 2004, № 6.
- Брызгалов Ю. Н., Новиков А. А., Трофимов А. В. Автоматизированное проектирование принципиальных и монтажных схем оперативной блокировки разъединителей в САПР цепей вторичной коммутации электроустановок. – Электрические станции, 2006, № 11.