

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РАСЧЕТЕ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

И. Ю. Чака

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель А. Г. Ус

Комплексный расчет позволяет на основе конкретных конфигурационной и информационной моделей об электрической сети получить максимум полезной информации о сети и распределении электрической энергии по ней. Широкий круг задач, решаемых на основе полученной информации можно классифицировать на задачи эксплуатационного характера, решаемые в процессе эксплуатации на базе существующих электрических сетей, и задачи, решаемые при проектировании новых электрических сетей до 1 кВ.

При проектировании электрических сетей: расчет электрических нагрузок и токораспределения в электрической сети; выбор по допустимому нагреву сечения проводов и кабелей (силовые сети); выбор сечения проводников по допустимой потере напряжения (осветительные сети – минимум затрат на проводниковый материал), проверка каналов передачи электроэнергии по допустимой потере напряжения; расчет однофазных, двухфазных, трехфазных металлических и дуговых токов короткого замыкания; выбор защитных аппаратов электрической сети; согласование выбранного сечения проводника с защитным аппаратом; определение чувствительности защитного аппарата; определение потерь мощности и энергии в электрической сети и ее отдельных элементах; распределение реактивной мощности компенсирующих установок в электрических сетях.

При эксплуатации электрических сетей: определение и контроль нагрузки на каждом участке электрической сети; управление компенсацией реактивной мощно-

сти, т. е. определение экономически целесообразных величин реактивной мощности компенсирующих устройств и корректировка данных величин в процессе эксплуатации; управление напряжением на шинах трансформаторной подстанции (определение рациональной величины напряжения на шинах трансформаторной подстанции – для этого выполняется расчет потерь мощности, энергии, напряжения во всех элементах электрической сети, включая электрприемники); расчет токов короткого замыкания в узлах электрической сети и контроль их значений, чтобы обеспечить термическую стойкость оборудования и успешность срабатывания защитных аппаратов.

В рамках комплексного расчета определение токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ выполняется для выбора коммутационной аппаратуры, шинопроводов, кабелей и другого электрооборудования с целью проверки их по условиям термической и динамической стойкости, а также для выбора уставок устройств релейной защиты и проверки их чувствительности. Кроме того, короткие замыкания в сетях данного класса напряжения являются одними из наиболее опасных аварийных режимов, так как являются первопричиной пожаров в электроустановках и кабельном хозяйстве. Следовательно, значения токов короткого замыкания необходимы при проектировании новых и реконструкции существующих сетей электропитания.

На сегодняшний день для расчета токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ применяются следующие компьютерные программы: «Ветoes KZ», «Аврал», «TKZdo1kV», «OKЗ», «kz1000», «LineNet 0,4-10».

Изучив данные программы, можно сказать, что расчеты, выполняемые в них, соответствуют стандарту ГПО «Белэнерго» «Методические указания по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги» и положениям ГОСТ 28249–93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ», ГОСТ 30323–95 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания». Поэтому после получения соответствующего разрешения от правообладателя конкретной программы она может применяться в организациях на территории Республики Беларусь. Методика расчета токов короткого замыкания в версиях данных программ на 2015 г. содержит все необходимые дополнения, которые отсутствовали в ранних версиях: учет уменьшения тока КЗ вследствие нагрева проводников рабочим током нормального режима и током КЗ; учет синхронных и асинхронных электродвигателей; учет комплексной нагрузки; учет влияния дуги путем введения переходного сопротивления дуги в схему замещения. В расчетах, выполняемых вышеназванными программами, существуют следующие допущения: внешняя сеть по отношению к месту КЗ упрощается, и индивидуально учитываются только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ; не учитывается ток намагничивания трансформаторов; не учитывается насыщение магнитных систем электрических машин; принимаются коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней, которые связывают трансформаторы, при этом используется следующая шкала средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ; не учитывается влияние асинхронных двигателей, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета асинхронных двигателей. Вышеназванные допущения при расчете токов короткого замыкания для практических целей являются приемлемыми, так как они искажают результаты расчета незначительно: около 1 %. В то же время погрешность задания

исходных данных составляет около 5 %, что объясняется невозможностью более точно оценить параметры электрооборудования, меняющиеся на протяжении всего срока эксплуатации. Кроме того, даже новое электрооборудование имеет допустимый разброс характеристик, хотя в исходных данных задается среднее значение параметра. Следовательно, методика определения токов короткого замыкания в компьютерных программах не требует совершенствования, так как она имеет значительно меньшую погрешность по сравнению с погрешностью исходной информации.

При выполнении расчетов в данных программах были выявлены следующие недостатки: отсутствует простое и наглядное представление расчетной схемы в памяти программы, что особенно важно при расчете сложных, разветвленных сетей, содержащих большое количество электрооборудования; отсутствует пошаговое заполнение исходных данных для формирования схемы замещения, что увеличивает вероятность ошибки при вводе информации; малый объем базы данных программы по элементам схемы замещения, что усложняет ввод информации пользователем и возникает необходимость использования дополнительной справочной литературы.

Основываясь на приведенных недостатках, можно предложить следующие направления модификации программ по расчету токов короткого замыкания, реализованные в разработанной нами программе.

Во-первых, применение метода «вторых адресных отображений» (ВАО) для представления схемы электрической сети в памяти программы. В данном методе схема электрической сети разбивается на участки. Участки выбираются таким образом, чтобы их параметры просто описывались математическими функциями или физическими величинами. Границам участков присваиваются названия. Для описания конкретного участка схемы требуется только названия его начала и конца. В памяти программы полная схема электрической сети представляется последовательным сложением отдельных участков (рис. 1).

Начало участка 1:	Конец участка 1:	Участок 1	Начало участка 2:	Конец участка 2:	Участок 2
0	0	1	0	0	2
Начало участка 5:	Конец участка 5:	Участок 5	Начало участка 6:	Конец участка 6:	Участок 6
0	0	5	0	0	6
Начало участка 9:	Конец участка 9:	Участок 9	Начало участка 10:	Конец участка 10:	Участок 10
0	0	9	0	0	10

Рис. 1. Фрагмент главного окна программы

Во-вторых, пошаговое заполнение исходных данных для формирования схемы замещения, что снизит вероятность ошибок при вводе информации. Изначально заполняются данные по конфигурации электрической сети (см. рис. 1), а затем данные по каждому участку сети (рис. 2). Аналогично заносятся данные по каждому конкретному элементу участка, например по трансформатору (рис. 3).

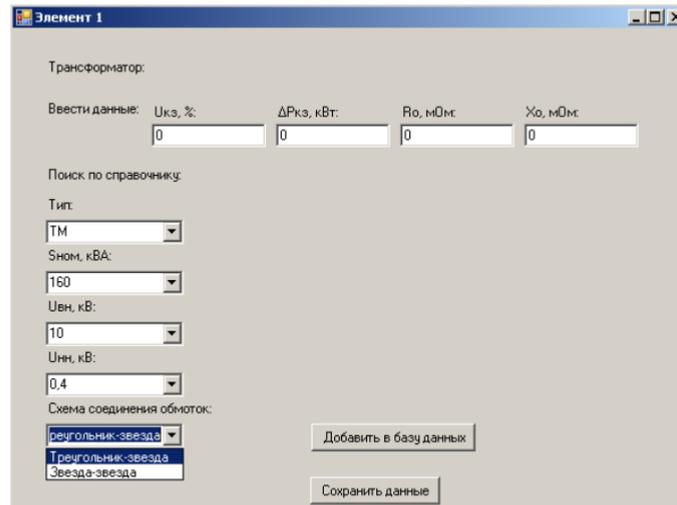
Количество контактов рубильников на участке 1, шт.:

6

Элементы участка 1:

Элемент 1 Элемент 2 Элемент 3 Элемент 4 Элемент 5 Элемент 6 Элемент 7

Рис. 2. Фрагмент окна программы «Участок 1»



Элемент 1

Трансформатор:

Ввести данные: $U_{кз}, \%$ $\Delta P_{кз}, \text{кВт}$ $R_0, \text{мОм}$ $X_0, \text{мОм}$

0 0 0 0

Поиск по справочнику:

Тип: ТМ

Сном, кВА: 160

Увл, кВ: 10

Увл, кВ: 0,4

Схема соединения обмоток:
треугольник-звезда
Треугольник-звезда
Звезда-звезда

Добавить в базу данных

Сохранить данные

Рис. 3. Фрагмент окна программы «Элемент 1–Трансформатор»

В-третьих, большой объем базы данных программы по элементам схемы замещения с возможностью обновления встроенных справочников программы по сети интернет, что упростит ввод информации пользователем и исключит необходимость использования дополнительной литературы по электрооборудованию (см. рис. 3).