

УДК 658.26:621

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

А. Г. УС, И. Ю. ЧАКА

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

В. С. БЕЛОШЕДОВ

Государственное учреждение образования «Средняя
школа № 9 г. Светлогорска», Республика Беларусь

Введение

Инженеру-энергетику в процессе своей профессиональной деятельности очень часто приходится выполнять множество сложных расчетов параметров электрических сетей, построение схем, выбирать различное оборудование. Данная работа отнимает много времени. Однако существует множество полезных программ, которые автоматизируют выполнение этих задач. Основная цель данных программ – значительно упростить работу, сведя к минимуму время, потраченное на выполнение расчетов, черчение схем. На сегодняшний день для расчета токов короткого замыкания (КЗ) в сетях напряжением до 1 кВ применяются следующие программы для ПЭВМ: «Beroes KZ», «Аврал», «TKZdo1kV», «OK3», «kz1000», «LineNet 0,4-10».

Целью исследования является разработка новой компьютерной программы с учетом достоинств и недостатков существующих программ.

Основная часть

Расчет участка сети электроснабжения. Перечисленные выше компьютерные программы были применены для расчета токов КЗ для участка сети электроснабжения деревообрабатывающего цеха, приведенного на рис. 1.

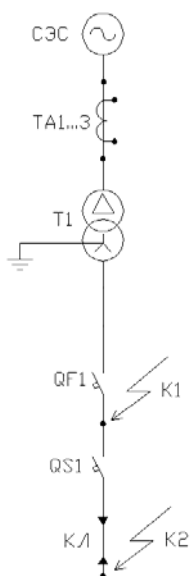


Рис. 1. Участок сети электроснабжения деревообрабатывающего цеха

Значения токов КЗ, полученные с применением компьютерных программ: «Beroes KZ», «Аврал», «TKZdo1kV», «ОКЗ», «kz1000», «LineNet 0,4-10», сведены в табл. 1–6 [3]–[7], [9].

Таблица 1

Результаты расчета участка сети в программе «Beroes KZ»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА
К ₁	15,23	10,23	34,60	13,2	8,98	26,06	15,66	10,33	28,71
К ₂	7,14	5,28	10,60	6,17	4,81	12,18	4,04	3,31	7,41

Таблица 2

Результаты расчета участка сети в программе «Аврал»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА
К ₁	15,23	10,24	34,63	13,28	8,91	26,03	15,64	10,31	28,75
К ₂	7,17	5,27	10,63	6,14	4,83	12,17	4,05	3,32	7,44

Таблица 3

Результаты расчета участка сети в программе «TKZdo1kV»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА
К ₁	15,23	10,24	34,67	13,22	8,90	26,04	15,61	10,34	28,71
К ₂	7,13	5,21	10,65	6,19	4,83	12,15	4,03	3,34	7,46

Таблица 4

Результаты расчета участка сети в программе «ОКЗ»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА
К ₁	15,23	10,28	34,64	13,23	8,98	26,06	15,66	10,33	28,71
К ₂	7,15	5,27	10,62	6,13	4,89	12,17	4,06	3,37	7,44

Таблица 5

Результаты расчета участка сети в программе «kz1000»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	i_{UD} , кА
К ₁	15,22	10,26	34,62	13,28	8,97	26,05	15,65	10,34	28,75
К ₂	7,15	5,24	10,61	6,16	4,83	12,16	4,03	3,38	7,43

Результаты расчета участка сети в программе «LineNet 0,4-10»

Вид КЗ	Трехфазное КЗ			Двухфазное КЗ			Однофазное КЗ		
	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	$i_{уд}$, кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	$i_{уд}$, кА	I_{KM} , кА	I_{KD} , кА	$i_{уд}$, кА
K_1	15,23	10,24	34,62	13,23	8,95	26,09	15,63	10,36	28,72
K_2	7,16	5,21	10,69	6,14	4,82	12,13	4,02	3,37	7,43

Примечание. I_{KM} , I_{KD} , $i_{уд}$ – соответственно металлический, дуговой, ударный токи трехфазного КЗ, кА.

Значения токов КЗ, полученные с применением компьютерных программ: «Beroes KZ», «Аврал», «TKZdol1kV», «OK3», «kz1000», «LineNet 0,4-10», приведенные, соответственно, в табл. 1–6, имеют абсолютную погрешность, не превышающую сотые доли килоампера. Такая погрешность допустима для выполнения практических расчетов по проверке оборудования на термическую стойкость и проверке селективности действия аппаратов защиты [8, с. 233].

Расчеты, выполняемые программами, 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 КЗ 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 [10, с. 378]. В расчетах, выполняемых вышеперечисленными 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 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 (АД), если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД [1, с. 6].

Вышеуказанные допущения при расчете токов КЗ 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 [2, с. 118]. Следовательно, методика определения

токов КЗ в компьютерных программах не требует совершенствования, так как она имеет значительно меньшую погрешность по сравнению с погрешностью исходной информации.

На сегодняшний день основными направлениями модификации данных программ для расчета токов КЗ являются:

1. Простое и наглядное представление расчетной схемы в памяти программы, что особенно важно при расчете сложных, разветвленных сетей, содержащих большое количество электрооборудования.

2. Пошаговое заполнение исходных данных для формирования схемы замещения, что снизит вероятность ошибки при вводе информации.

3. 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.

Разработка компьютерной программы. Разработанная программа позволяет рассчитывать разомкнутые трехфазные электрические сети напряжением до 1 кВ промышленной частоты, присоединенные к энергосистеме или к автономным источникам электроэнергии, с учетом параметров синхронных и асинхронных машин, трансформаторов, реакторов, кабельных и воздушных линий, шинопроводов и комплексной нагрузки в соответствии с действующими нормативными документами, приведенными выше.

Алгоритм работы компьютерной программы представлен на рис. 2. Описание данного алгоритма дано в табл. 7. На рис. 3–5 показаны изображения интерфейса ввода данных компьютерной программы.

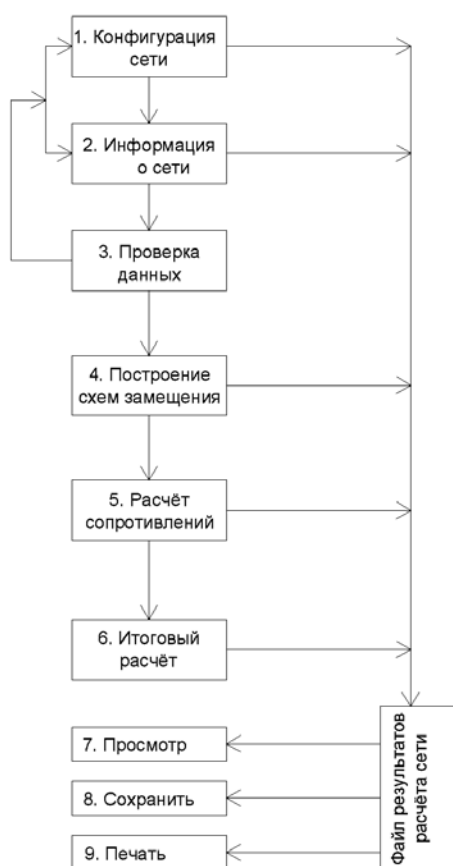


Рис. 2. Алгоритм работы компьютерной программы

Описание алгоритма компьютерной программы

Описание модуля алгоритма
1. Представление пользователем схемы замещения сети в памяти программы
2. Ввод исходных данных пользователем по элементам схемы сети
3. Проверка программой полноты и правильности ввода данных пользователем, поиск в своей базе данных, корректировка
4. Построение программой схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательности
5. Расчет программой сопротивлений элементов электроустановки
6. Расчет программой токов КЗ и дополнительных параметров электрической сети
7. Открытие файла результатов расчета в текстовом редакторе
8. Сохранение файла результатов расчета в формате «.txt»
9. Печать файла результатов расчета на принтере

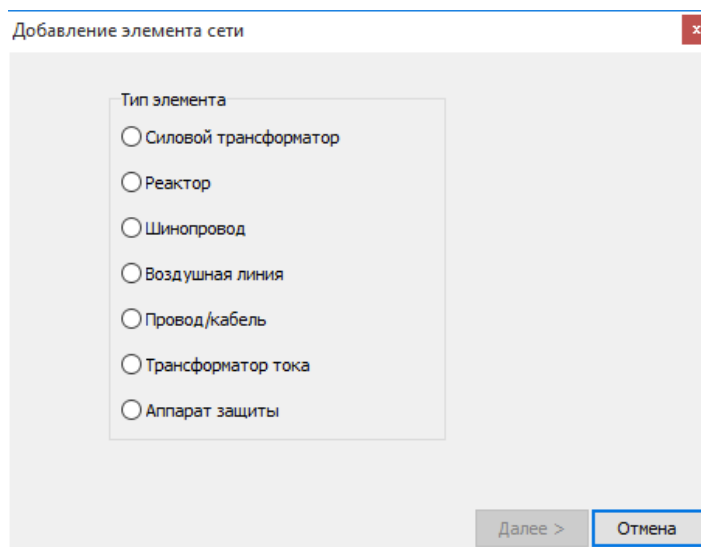


Рис. 3. Окно программы «Добавление элемента сети»

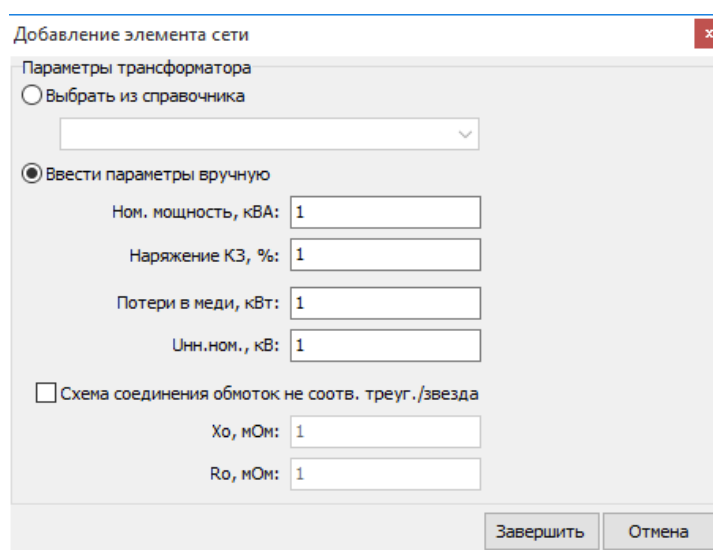


Рис. 4. Окно программы «Параметры трансформатора»

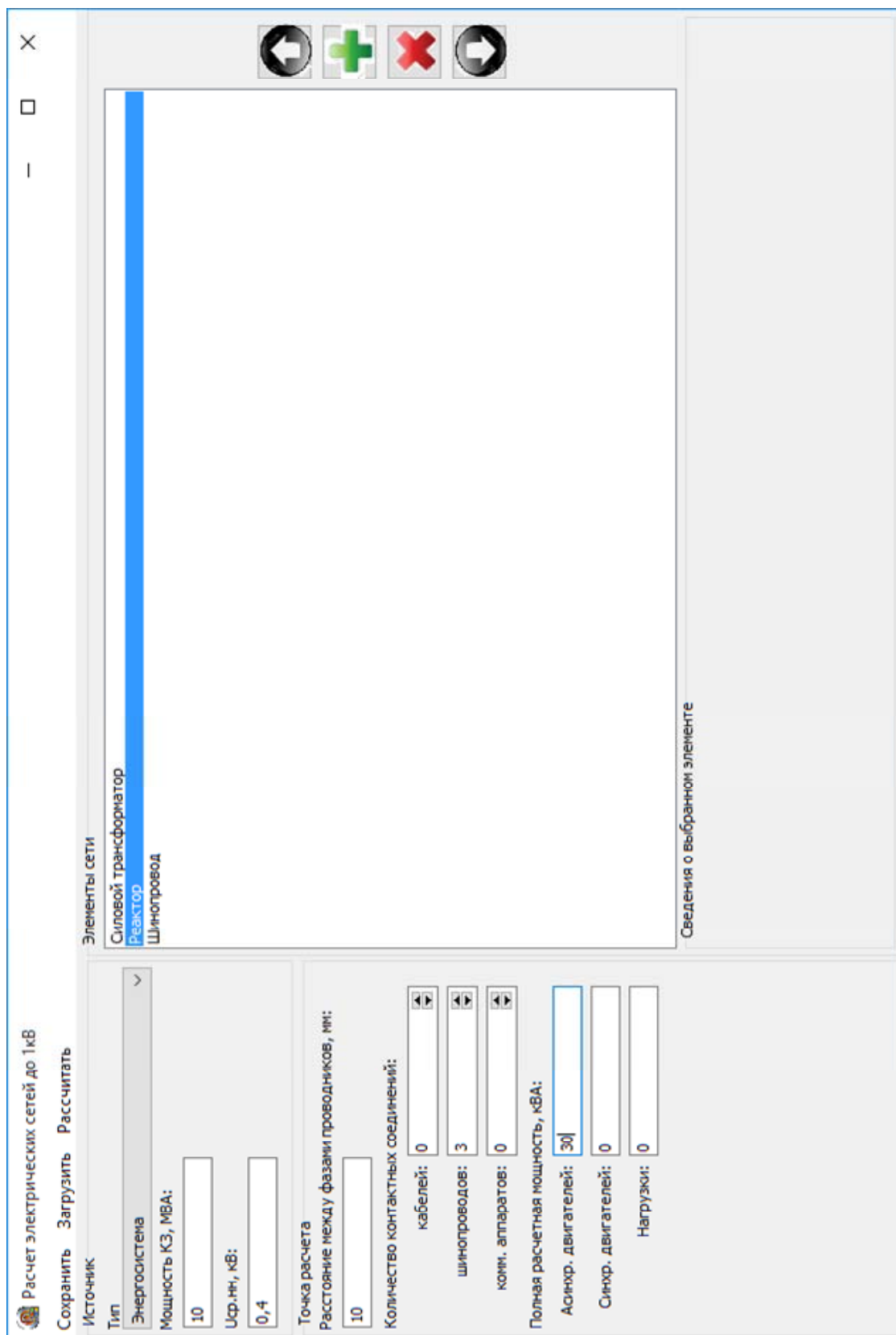


Рис. 5. Главное окно программы

Расчет участка сети в разработанной программе. На рис. 6 представлен участок сети электроснабжения.

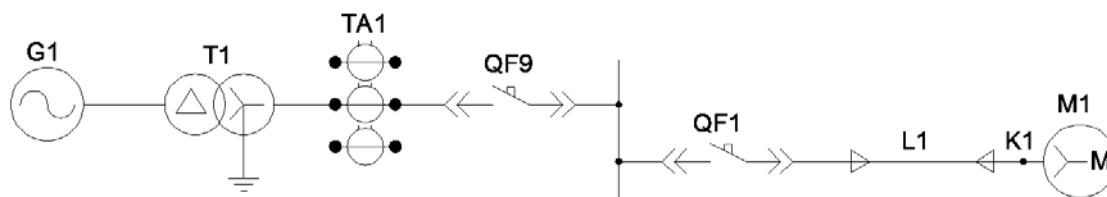


Рис. 6. Ветвь G1-K1

В главное окно программы (рис. 5) вносятся данные об источнике питания. В данном случае это – энергосистема, для которой заполняются параметры: мощность КЗ ($200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$) и среднее номинальное напряжение стороны с точкой КЗ ($0,4 \text{ кВ}$). Далее заполняются параметры точки расчета. Расстояние между фазами проводников в предполагаемом месте КЗ соответствует расстоянию между зажимами в клеммной коробке M1 и составляет 60 мм . Количество контактных соединений на одну фазу в соответствии со схемой на рис. 6 составляет: для кабелей – 2 шт.; для коммутационных аппаратов – 4 шт. К точке K1 подключен один асинхронный электродвигатель M1 с полной расчетной мощностью $50 \text{ кВт} \cdot \text{А}$.

Затем вносится информация о каждом элементе, стоящем в цепи между источником питания и точкой расчета. Первый элемент в данной цепи – силовой трансформатор T1. После нажатия на кнопку «Добавить элемент» появляется меню выбора элемента сети (рис. 3), в котором выбирается пункт «силовой трансформатор» и нажимается кнопка «Далее». В открывшемся окне «Параметры трансформатора» (рис. 4) выбирается из справочника силовой трансформатор ТМЗ-250/10 и нажимается кнопка «Завершить». Силовой трансформатор T1 добавлен в память программы. Аналогично заносятся в память программы оставшиеся элементы сети: трансформаторы тока (ТА1), автоматические выключатели (QF9 и QF1), кабельная линия (L1).

После заполнения данных о каждом элементе ветви G1-K1 вверху главного окна программы (рис. 5) нажимается кнопка «Расчитать» – программа выполняет расчет заданного участка сети и формирует файл результатов расчета (рис. 7), который сохраняется с именем «G1-K1.txt».

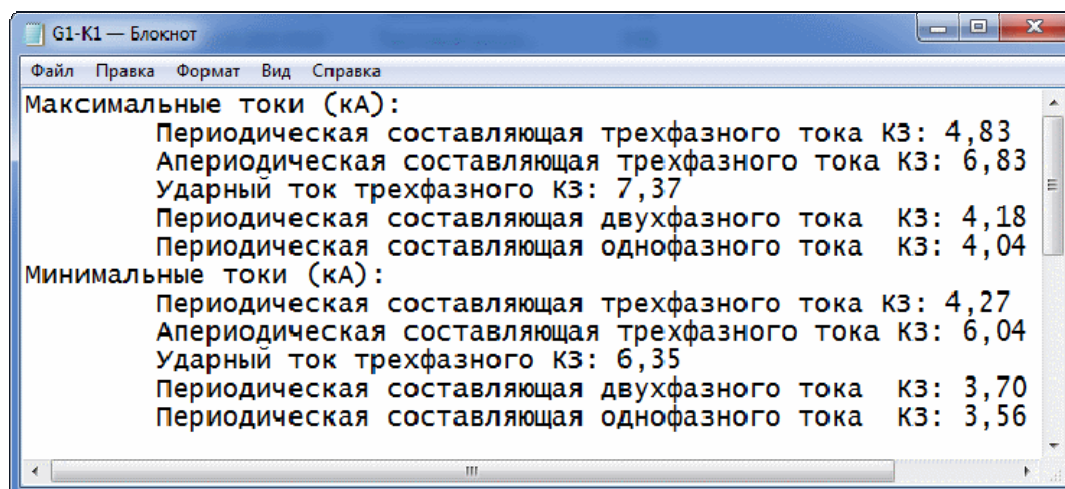


Рис. 7. Файл результатов расчета «G1-K1.txt»

Заключение

Разработанная компьютерная программа не исчерпывает весь спектр проблематики расчета токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Однако при ее разработке учтены достоинства и недостатки существующих аналогичных программ. Интерфейс ввода данных является наглядным и простым, что исключает ошибки при вводе данных о расчетном участке сети. При этом расчет выполняется с погрешностью, не превышающей погрешность исходных данных. Встроенный справочник по элементам сети имеет большой объем информации и автоматически обновляется через глобальную сеть интернет.

Применение разработанной программы для расчета электрических сетей до 1 кВ повышает качество выполняемых расчетов и сокращает время на их выполнение, что, в свою очередь, позволяет рационально выбирать электрооборудование и аппараты защиты. Правильный выбор оборудования электрических сетей сокращает затраты на монтаж и эксплуатацию, а также исключает возникновение аварий, что является ключевым звеном для развития промышленных предприятий, и в итоге способствует повышению стабильности в производственно-экономическом секторе Республики Беларусь.

Литература

1. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 53 с.
2. Жуков, В. В. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ / В. В. Жуков. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 192 с.
3. Гузов, В. Г. Выполнение расчетов в программе «Beroes KZ» / В. Г. Гузов. – 2014. – Режим доступа: <http://systproject.narod.ru/okz.html>. – Дата доступа: 22.03.2015.
4. Коваль, С. П. Программа «ОКЗ» / С. П. Коваль. – 2014. – Режим доступа: <http://systproject.narod.ru/okz.html>. – Дата доступа: 17.04.2015.
5. Леончиков, А. И. Программа расчета сетей 0,4 кВ на потери напряжения и токи короткого замыкания «LineNet04» / А. И. Леончиков. – 2013. – Режим доступа: http://www.1001soft.com/soft/linenet_04-27009.html. – Дата доступа: 11.02.2015.
6. Мельянчук, А. А. Модификация программы «TKZdol1kV» для расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ / А. А. Мельянчук, М. Г. Горячко // Актуальные проблемы энергетики : тез. докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 21–22 апр. 2013 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : Техн. лит., 2014. – С. 108–110.
7. Обух, В. Э. Инструкция по работе в программе «Аврал» / В. Э. Обух. – 2014. – Режим доступа: <http://avralsoft.ru/programma-raschyota-tokov-korotkogo-zamyukaniya-avral>. – Дата доступа: 15.03.2015.
8. Ус, А. Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А. Г. Ус, Л. И. Евминов. – Минск : ПИОН, 2002. – 457 с.
9. Шевеленко, С. Г. Применение программы «KZ1000» / С. Г. Шевеленко. – 2013. – Режим доступа: <http://rzd2001.narod.ru/kz.html>. – Дата доступа: 19.01.2015.
10. Щербаков Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. – М. : Науч.-издат. центр ИНФРА-М, 2015. – 596 с.

Получено 16.06.2016 г.