

11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА.

11.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Надежность энергоснабжения в значительной степени зависит от быстрого устранения возникших повреждений на линиях электропередачи. В то же время до устранения повреждения это место нужно еще разыскать. Это представляет трудную задачу для работников, обслуживающих электрические сети. До места повреждения нужно добраться часто по бездорожью, в то же время длина линии может измеряться сотнями километров. Поэтому, наличие средств определения места повреждения является обязательным для любой электросети. Директивными материалами наличие дистанционных средств определения места повреждения требуется обязательно для линий 110 кВ и выше длиной более 20 км. Однако эти средства желательно иметь для линий любой протяженности и любого напряжения. Поэтому, имеется множество разработок приспособлений и программ для определения места повреждения.

Часть из этих средств не относятся к компетенции служб релейной защиты и устройств, которые они эксплуатируют.

К ним относятся указатели протекания тока короткого замыкания (УТКЗ), которые расставляются вдоль линии. Они срабатывают при протекании тока КЗ на данном участке линии. Указатели устанавливаются вблизи проводов и на жилах силовых кабелей. При обходе устанавливают место, где сработал последний указатель. Место КЗ расположено между последним сработавшим и первым не работавшим указателями. Широко применяются указатели «УКЗ», бывшего Рижского завода «Энергоавтоматика». Кроме того, подобные указатели изготавливаются различными предприятиями Украины, в том числе электросетями.

К ним относятся также специальные переносные приборы, например «Волна» и «Квант», производящиеся в России. Имеются также специальные генераторы для поиска МП в силовых кабелях, позволяющие без раскопки кабелей определить место повреждения специальными приборами, фиксирующими наличие поля генератора. Местом повреждения считается место, где сигнал исчезает.

Однако самая значительная часть средств ОМП эксплуатируется службами РЗА. Для определения места повреждения они используют параметры короткого замыкания ток, напряжение, сопротивление. Место повреждения по этим данным должно быть вычислено по соответствующим программам, или же определено по специальным, предварительно рассчитанным таблицам.

Параметры, необходимые для расчета, должны быть измерены в момент короткого замыкания и зафиксированы в памяти прибора или устройства защиты. Для этого могут быть использованы автоматические осциллографы, пока еще применяемые в сетях, микропроцессорные регистраторы, например «Нева», «Регина», «РЕКОН», фиксирующие приборы, предназначенные специально для ОМП – ФИП, ЛИФП, ФИС, ФВП-01, МФИ, а также микропроцессорные защиты, в состав функций большинства которых входит запоминание параметров короткого замыкания. Все современные микропроцессорные устройства могут иметь встроенные осциллографы.

Разработаны методики расчета мест повреждения по параметрам аварийного режима, которые можно разделить на 2 группы: по одностороннему и двухстороннему измерению. Методы двухстороннего измерения считаются более точными, но для их использования необходимо собрать результаты измерений в одно место, где и выполнить расчеты. Результаты одностороннего измерения находятся в одном месте, и, поскольку все данные на месте, расчет просто автоматизировать, вплоть до того, что можно получить уже рассчитанный результат в «км».

Камнем преткновения для расчетов является получение точных данных, необходимых для расчетов – длина, сечение, расстояние между проводами, между ними и землей, между ними и проводами соседних линий, влияющих на ток короткого замыкания. Эти данные всегда приблизительные, следовательно, появляется погрешность в расчетах, зависящая от точности предварительно введенных данных для расчетов. Считается приемлемой точность 7% для линий 110–150 кВ, и 5% для ВЛ 330 кВ. Это совсем не мало, т. к. место, где нужно искать повреждение (зона обхода), для линии 110 кВ длиной 100 км, составляет ± 7 км или всего 14 км. При расхождении данных расчетов с действительной величиной расстояния более чем на 7% необходимо установить и устранить причину расхождения. Контроль за точностью ОМП возлагается на службы электросетей, которые должны обеспечить регистрацию случаев определения места повреждения и точности их определения. За счет корректировки параметров, входящих в формулу, часто удается достигнуть погрешности менее 1%.

Чем меньше длина линии электропередачи, тем меньше точность определения места повреждения. Директивными материалами [Л16] требуется оснащение средствами ОМП линий 110-750 кВ. На линиях более низкого напряжения 6-35 кВ так же целесообразно использование средств ОМП. Несмотря на более низкую точность средств ОМП на линиях такого напряжения, эти средства все равно позволяют сократить зону обхода и ускорить определение места повреждения на линии.

11.2 ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КЗ ПО ДВУХСТОРОННЕМУ ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

Двухсторонние измерения позволяют определить только место несимметричного КЗ с большим током. Место трехфазных КЗ, обрыва проводов и замыканий одной фазы на землю в сети с изолированной нейтралью рассматриваемыми методами определить невозможно. Теоретически можно было бы опре-

делить место двухфазного КЗ в сети 6–35 кВ, но практически это используется редко из экономических соображений.

Теорию двухстороннего ОМКЗ можно пояснить с помощью рис. 11.1, на котором приведена поясняющая схема одиночной ЛЭП: -рис. 11.1, а), схема замещения обратной (ОП) или нулевой (НП) последовательности, рис. 11.1, б) и эпюра напряжений этой последовательности рис. 11.1, в). Максимум напряжения находится в точке КЗ (источник ОП и НП находится в точке несимметрии). Отметим, что под U и I ниже понимаются модули (абсолютные значения) электрических величин, безотносительно к их фазе и направлению.

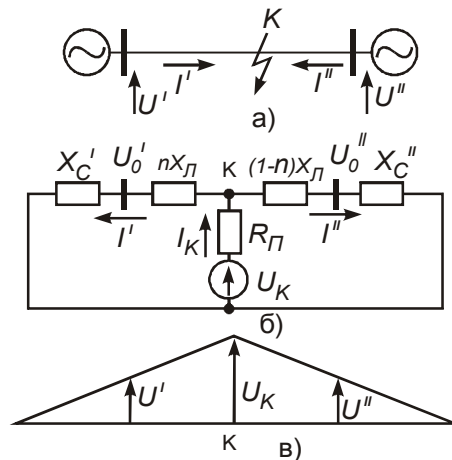


Рис. 11.1 К пояснению принципа двухстороннего ОМКЗ

Предположим, что еще во время КЗ приборы зафиксировали (запомнили) четыре величины: U' , I' , U'' , I'' . Непосредственно из эпюры рис. 11.1, в) можно записать выражения для напряжения в точке КЗ при движении слева и справа (от шин левого и правого концов ЛЭП) к точке КЗ:

$$U_K = U' + I'nX_L \quad (11.1)$$

$$U_K = U'' + I''(1-n) \cdot X_L$$

где

X_L – сопротивление ЛЭП в схеме данной последовательности;

nX_L – сопротивление от левого конца ЛЭП до места КЗ.

Обращаем внимание, что выражения записаны для модулей, но не для комплексов – в них не учтен сдвиг по фазе между током и напряжением.

Приравняв правые части выражений и решая полученное уравнение относительно nX_L , получаем:

$$nX_L = \frac{U'' - U' + I'X_L}{I' + I''} \quad (11.2)$$

Практически производится измерение величин НП или ОП, а решение ищется относительно расстояния до места КЗ:

$$I' = nL = \frac{nX_L}{X_{y0}} \quad (11.3)$$

где

X_{y0} – сопротивление 1 км ЛЭП в схеме данной последовательности;

L – полная длина ЛЭП.

Расчетные формулы имеют вид:

$$I' = \frac{3U_0'' - 3U_0' + 3I_0''X_{0y0}L}{(3I_0'' + 3I_0')X_{0y0}} \quad (11.4)$$

$$I' = \frac{U_2'' - U_2' + I_2''X_{1y0}L}{(I_2' + I_2'')X_{1y0}}$$

Отметим ряд особенностей формул и самого метода расчета по двухстороннему измерению:

1. В формулах участвуют модули токов и напряжений. Фаза и направление токов не имеют значения. Это предопределяет относительную простоту выполнения фиксирующих приборов.
2. При выводе не учитывался вид КЗ: одной или двух фаз на землю при расчете по составляющим НП, и дополнительно двухфазного без земли при расчете по составляющим ОП. Схема на рис. 11.1, б) и эпюра на рис. 11.1, в) не зависят от вида замыкания. Для расчетов не требуется знать вид КЗ, что позволяет приступить к расчетам немедленно после считывания показаний приборов.
3. В расчете не участвует переходное сопротивление в месте КЗ. Теоретически двухстороннее измерение полностью исключает влияние переходного сопротивления. Практически это верно до тех пор, пока из-за переходных сопротивлений значения токов и напряжений при КЗ не станут так малы, что приборы выйдут за пределы необходимой точности измерения. В частности, приборы плохо работают

в районах вечной мерзлоты и в районах со скальным фундаментом, где значительные переходные сопротивления при КЗ на землю затрудняют работу как РЗ ЛЭП, так и фиксирующих приборов.

4. На расчет не влияют составляющие токов нагрузочного режима. Объясняется это тем, что ведется фиксация величин ОП или НП, отсутствующих в нагрузочном режиме. Если бы фиксировались составляющие прямой последовательности, избавиться от влияния нагрузок было бы невозможно.

5. Относительно несложные расчеты.

Все перечисленные особенности носят положительный характер, что и предопределило внедрение методов двухстороннего измерения. Недостатком является сама необходимость получения данных с двух концов ЛЭП, необходимость передачи данных с одного конца ЛЭП на другой, или вышестоящему диспетчеру. Имеются системы с телепередачей данных и автоматическим проведением расчетов. Однако они относительно сложны и не получили широкого распространения. Все формулы выведены без учета активных сопротивлений ЛЭП, что само по себе вносит некоторую погрешность.

Для расчетов требуются фиксирующие амперметры на каждой ЛЭП и фиксирующие вольтметры на системах шин.

В ЭЭС преимущественное распространение получили методы определения места КЗ, основанные на измерении параметров НП, несмотря на то, что при этом невозможно определить место междуфазного КЗ. Подобное положение определяется следующими причинами:

- высоким удельным весом КЗ на землю (однофазных и двухфазных), составляющих на ВЛ 80–90% всех случаев КЗ;
- независимостью сопротивления НП сетей, примыкающих к контролируемой ЛЭП, от токов нагрузки, что существенно при расчетах по показаниям двух или трех приборов;
- простотой обеспечения измерений токов и напряжений НП (нет необходимости в использовании специальных фильтров ОП);
- меньшей погрешностью фильтров НП по сравнению с фильтрами ОП (1,5–2% против 4–6%).

Необходимо, однако, отметить, что на ЛЭП, имеющих сложную электромагнитную связь между собой, а также на ЛЭП с большой долей междуфазных КЗ целесообразно использовать параметры ОП.

11.3 ДВУХСТОРОННЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ НА ЛЭП СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Параллельные ЛЭП с взаимной индукцией по всей длине. Поясняющая схема для двух параллельных ЛЭП и схема замещения НП приведены на рис.11.2. На этих схемах обозначены: $X_{y\partial m}$ – удельное сопротивление взаимной индукции; I'_n , I''_n – токи НП в поврежденной ЛЭП; I'_n , I''_n – токи НП в неповрежденной ЛЭП. Участки ЛЭП, имеющие взаимную индукцию, заменены в схеме замещения эквивалентными трехлучевыми звездами с выносом взаимной индукции в одну из ветвей звезды. Для этой схемы относительно напряжения U_K можно записать два уравнения:

$$U_K = U' + X_{y\partial m} L'(I'_n + I''_n) + (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) \cdot L'I'_n \quad (11.5)$$

$$U_K = U'' + X_{y\partial m} (L - L')(I'_n + I''_n) + (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) (L - L')I''_n$$

Токи на двух концах неповрежденной ЛЭП имеют одинаковые значения: $I'_n = I''_n$. Для исключения этого тока из уравнений можно записать уравнение на основе обхода контура, образованного на схеме замещения двумя ЛЭП:

$$(X_{y\partial} - X_{y\partial m}) L'I'_n - (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) LI'_n - (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) (L - L')I'_n = 0 \quad (11.6)$$

$$LI'_n = L'(I'_n + I''_n) - LI'_n$$

Путем преобразования формул 11.5 и 11.6 получаем решение для расстояния L' до места КЗ.

$$L' = \frac{3U''_0 - 3U'_0 + (X_{0y\partial} - X_{y\partial m}) 3I''_{0n} L}{(X_{0y\partial} + X_{y\partial m}) (3I'_{0n} + 3I''_{0n})} \quad (11.7)$$

Для расчета по этому выражению требуются показания четырех фиксирующих приборов. В приборах на неповрежденной ЛЭП нет необходимости. Однако следует помнить, что при выводе выражения (11.5) исключение тока неповрежденной ЛЭП произведено после записи уравнения обхода замкнутого контура из двух ЛЭП. То есть выражение верно лишь при параллельной работе двух ЛЭП. Если вторая ЛЭП отключена, то следует принимать $X_{y\partial m} = 0$, и (11.7) совпадет с аналогичным выражением (11.5)

для одиночной ЛЭП. Если параллельная ЛЭП отключена и заземлена с двух сторон или две ЛЭП находятся в режиме раздельной работы по концам, или одна из ЛЭП включается на КЗ при опробовании ее напряжением, следует пользоваться другими формулами выведенными специально для этого режима.

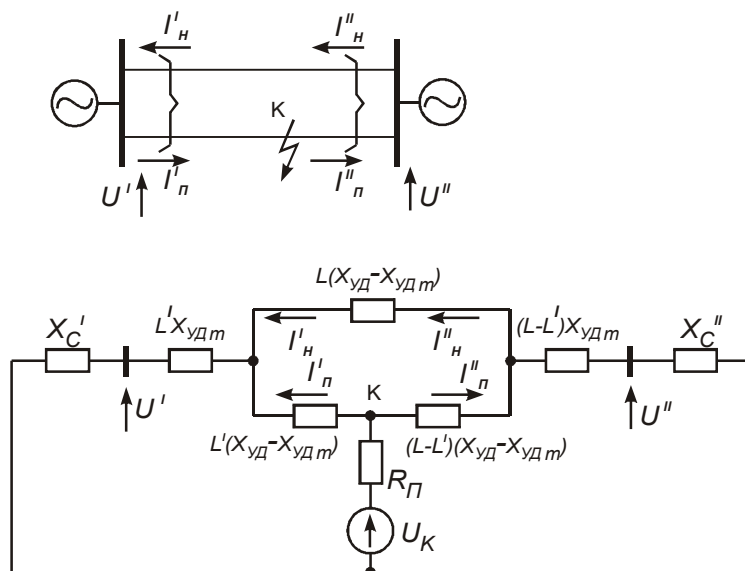


Рис. 11.2 Параллельные ВЛ с взаимной индукцией и их схема замещения НП.

Вывод указанных формул не входит в объем данной книги. Сведения о порядке расчета в сложных случаях можно почерпнуть из Л17. Добавление нескольких линий резко усложняет расчеты до такой степени, что их нецелесообразно проводить вручную. В этом случае следует переходить на расчет по составляющим обратной последовательности, т. к. в этом случае не требуется учитывать влияние смежных линий, или использовать специальные программы. Так например, в комплекс программ института электродинамики V-VI-50 упоминавшемся в п. 1.6. входит программа определения места повреждения для линий любой сложности. Эти программы не исключают величину переходного сопротивления в месте КЗ, как делалось в ранее приведенных формулах, а учитывают его величину при расчете. Сопротивление подбирается таким образом, чтобы совпали замеры приборов с расчетными данными. Программа выдает таблицы спадов, т. е. линия разбивается на заданное число точек и производится расчет показаний приборов в каждой точке, для каждой величины переходного сопротивления в месте КЗ. Указанные таблицы удобны для оперативного персонала, который, не владея сложными программами, может по ним определить расчетное место короткого замыкания.

Из вышеприведенных данных можно сделать вывод о сложности расчетов места повреждения по показаниям приборов с двух сторон линии. Даже выше рассмотренные случаи трудно доступны оперативному персоналу, который, находясь на смене, должен собрать данные, выполнить расчеты и отправить бригаду на поиски рассчитанного места повреждения. Поэтому, персонал оперативно диспетчерских служб непосредственно использует таблицы, специальные программы расчета адаптированные к нуждам диспетчера. Такие программы или таблицы имеют обычно все диспетчера энергосистем и предприятий сетей.

Учитывая техническую и организационную сложность определения места повреждения по двухсторонним показаниям, параллельно разрабатывались и методы одностороннего определения повреждения. В этом случае не требуется сбор сведений, расчет проводится на месте работы защиты, возможен прямой расчет и выдача данных непосредственно в километрах.

11.4 УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ ОДНОСТОРОННЕГО ИЗМЕРЕНИЯ

Упрощенные способы одностороннего измерения используются в сетях 6–35 кВ, в которых на первый план выходят простота оборудования и малые затраты на приобретение и обслуживание приборов. Для примера рассмотрим три упрощенных способа.

Определение места повреждения по уровню тока КЗ

Способ применяется в сетях 6–10 кВ, в основном при наличии ВЛ, питающих сельскохозяйственную нагрузку. Отличительная особенность таких ВЛ сравнительно большая протяженность при малом сечении проводов (иногда даже стальных). Это приводит к резкому падению уровня тока КЗ по мере удаления места повреждения от питающей ПС.

Для приближенной оценки расстояния на питающей ПС на вводе от трансформатора устанавливаются приборы, фиксирующие при КЗ значения фазных токов. Показания приборов сравниваются с заранее рассчитанными ожидаемыми токами при КЗ в различных точках ВЛ, на основании чего и делается вывод о расстоянии до точки замыкания. Очевидно, точность подобного способа ОМКЗ невелика (значение тока КЗ зависит от напряжения нагрузочного режима, от наличия переходного сопротивления, а при стальных проводах – и от нагрева провода), но какие-то выводы о расстоянии сделать можно.

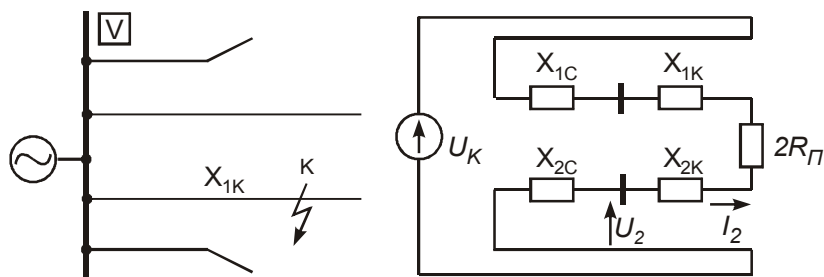


Рис. 11.3 Поясняющая схема и схема замещения аварийного режима при двухфазном КЗ на одной из ВЛ.

Измерение напряжения обратной последовательности на питающей подстанции

Способ применяется в сетях 6–35 кВ на ВЛ с односторонним питанием. На питающей ПС ставится один фиксирующий вольтметр, измеряющий при КЗ напряжение ОП.

Схема замещения аварийного режима при двухфазном КЗ на ВЛ показана на рис. 11.3. В схеме имеется один источник ЭДС, равной напряжению предшествующего нагрузочного режима в точке КЗ. Если все сопротивления в схемах ОП равны соответствующим сопротивлениям в схеме прямой последовательности (ПП), то в месте КЗ напряжение ОП равно половине приложенной ЭДС, а ток ОП связан и известным напряжением U через сопротивление системы:

$$U_{2K} = \frac{U_n}{2} \quad (11.8)$$

$$I_2 = \frac{U_2}{X_{2c}}$$

Соотношения записаны для модулей величин, без учета знаков. Учитывая сказанное, можно записать выражение для неизвестного сопротивления до места КЗ:

$$X_{2K} = \frac{0,5U_n - U_2}{U_2} \cdot X_{2c} \quad (11.9)$$

Обычно сопротивление ОП ЭЭС известно с достаточной точностью, и расчет можно производить. Очевидно, скудость исходной информации приводит к погрешностям из-за наличия переходного сопротивления в месте КЗ, неточности в определении напряжения нагрузочного режима, неучета в расчетной схеме нагрузок смежных ЛЭП.

Зато используется минимум оборудования (один вольтметр позволяет определять расстояние до КЗ на всех ЛЭП, отходящих от ПС). К тому же есть вероятность, что измерение произойдет даже при трехфазных КЗ, поскольку обычно трехфазное КЗ начинается с двухфазного, а приборы действуют достаточно быстро.

Наиболее эффективным для одностороннего ОМП является использование дистанционного принципа, так как дистанционные реле замеряют непосредственно сопротивление от места установки до места КЗ.

11.5 НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

Измерительные органы ДЗ – реле сопротивления реагируют на комплекс отношения напряжения к току: $Z = \frac{U}{I}$. При трехфазном металлическом КЗ на одиночной ЛЭП (см. рис. 11.1) очевидно соотношение:

$$U' = I'Z_{1K} = I'Z_{1\gamma\delta}X \quad (11.10)$$

где

- x – расстояние до места КЗ;
- $Z_{1\gamma\delta}$ – удельное сопротивление ВЛ в схеме ПП;
- Z_{1K} – сопротивление ВЛ до места КЗ.

Поделив напряжение на ток, получаем $Z_{1\gamma\delta}X$, т. е. замер дистанционного устройства пропорционален расстоянию до места КЗ. Принято анализировать поведение дистанционных устройств в комплексной плоскости сопротивления “на зажимах”. Такая плоскость с осями R и jX показана на рис. 11.4. Сопротивления “на зажимах” при металлических КЗ лежат на “оси сопротивления ВЛ”, расположенной под углом $\varphi_{Л}$ к оси R . Угол $\varphi_{Л}$ определяется соотношением активной и индуктивной составляющей удельного сопротивления ВЛ. Например, угол $\varphi_{Л}$ для ВЛ 110 кВ лежит в пределах от 35° (провод марки АС-50) до 78° (провод марки АСО-400), для ВЛ 220 кВ от 73° (провод марки АСО-240) до 84° (провод марки АСО-500), для ВЛ 500 кВ от 84° до 87°. Среднее значение $\varphi_{Л}$ для 110 кВ равно 65°, для 220 кВ – 75°.

При КЗ в направлении срабатывания ДЗ вектор сопротивления на рис. 11.4 лежит в первом квадранте плоскости, при КЗ “за спиной” – в третьем квадранте плоскости; при переходе КЗ на смежные ЛЭП сопротивление уходит вверх за точку $Z_{1л}$.

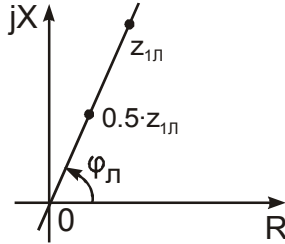


Рис. 11.4 Сопротивления на зажимах дистанционного устройства при металлических КЗ на ВЛ.

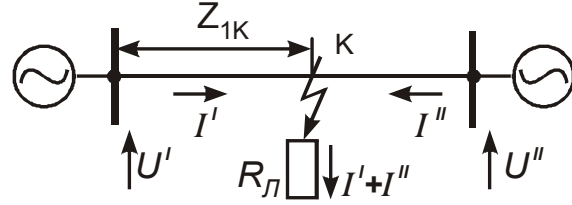


Рис. 11.5 Короткое замыкание через переходное сопротивление.

На дистанционном принципе работают дистанционные защиты (ДЗ) ВЛ. Измерительный орган такой защиты от междуфазных КЗ содержит три реле сопротивления, включенные на три петли междуфазных КЗ: первое на напряжение U_{AB} и ток $(I_A - I_B)$ второе на U_{BC} и $(I_B - I_C)$, третье на U_{CA} и $(I_C - I_A)$. Измерительный орган ДЗ от КЗ на землю содержит три реле, включенных на три петли: фаза–земля (U_{ϕ} и $(I_{\phi} + kI_0)$). Такой метод обеспечивает при металлическом замыкании на землю замер, равный сопротивлению ВЛ до места КЗ в схеме ПП $Z_{жк}$, следовательно, дистанционный принцип сам по себе обеспечивает одностороннее измерение расстояния до места КЗ, но только при металлических замыканиях.

При КЗ через переходное сопротивление пропорциональность между сопротивлением на зажимах и расстоянием исчезает. Напряжение U'' в схеме рис. 11.5 можно получить сложением напряжения в точке К с падением напряжения в сопротивлении ВЛ $Z_{1к}$: $U'' = (I' + I'')R_n + I'Z_{1к}$. Сопротивление, измеренное дистанционным устройством, равно:

$$\dot{Z} = \dot{U}' / \dot{I}' = \dot{Z}_{1к} + \frac{\dot{I}' + \dot{I}''}{\dot{I}'} R_n = \dot{Z}_{1к} + \Delta \dot{Z}$$

Как видим, из-за переходного сопротивления появляется вектор ΔZ , значение которого определяется не только током своего конца ВЛ, но и током противоположного конца ВЛ. Однозначная зависимость между результатами измерения устройства и расстоянием до КЗ исчезает.

Направление вектора ΔZ зависит от фазных соотношений между протекающими в R_n токами (само R_n имеет активный характер). Общая закономерность следующая (рис. 11.6). Если отсутствуют составляющие токов нагрузочного режима (например, КЗ на ВЛ с односторонним питанием), то вектор ΔZ горизонтален (вектор $\Delta Z'$ на рис. 11.6). На передающем конце ВЛ (например ВЛ отходит от ЭС) вектор уходит вниз (вектор $\Delta Z''$ на рис. 11.6). На приемном конце ВЛ вектор уходит вверх ($\Delta Z'''$ на рис. 11.6).

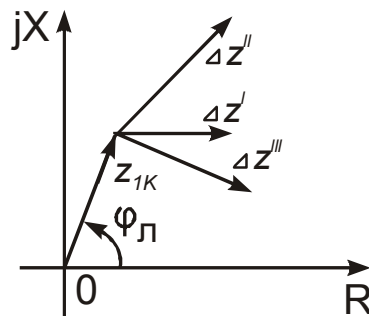


Рис. 11.6 Положение вектора ΔZ на плоскости.

Величину вектора ΔZ можно определить по следующим формулам:

$$\Delta \dot{Z}^{(1)} = \frac{3 \dot{I}_{0к} R_{\Pi}}{\dot{I}_{\phi} + k \dot{I}_0}; \quad (11.11)$$

$$\Delta \dot{Z}^{(2)} = \frac{j \sqrt{3} \dot{I}_{2кA} R_{\Pi}}{\dot{I}_R - \dot{I}_C} \quad (11.12)$$

Исключение влияния переходных сопротивлений и является основной трудностью при одностороннем измерении.

11.6 ТЕОРИЯ ОДНОСТОРОННЕГО ИЗМЕРЕНИЯ НА ЛИНИИ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Первым из приборов одностороннего измерения, работающих на дистанционном принципе, был прибор ФИС, выпускавшийся в небольших количествах в начале 80-х годов. Проблема устранения влияния переходного сопротивления в нем решалась тем, что прибор реагировал на реактивную составляющую сопротивления “на зажимах”: $X = U_{\phi} / (I_{\phi} + kI_0)$. Непосредственно из рис. 11.5 можно за-

ключить, что влияние переходного сопротивления исключалось только либо на ненагруженных ВЛ, либо на ВЛ с односторонним питанием. Для расширения области применения делались попытки осуществлять измерение в режиме каскадного включения ВЛ при неуспешном АПВ. Однако это не являлось полноценным решением проблемы.

Положение изменилось только после появления разработки Рижского политехнического института (А.С. Саухатас) прибора МФИ, реализовавшего новые принципы. Рассмотрим теоретические основы действия прибора.

Замер дистанционного устройства Z складывается из сопротивления ВЛ до места КЗ Z_{1K} и вектора ΔZ . Длины двух указанных векторов неизвестны. Но известны их направления: вектор Z_{1K} направлен вдоль оси сопротивления ВЛ; направление вектора ΔZ можно найти почти точно используя формулы (11.10) или (11.11). Например: для однофазного КЗ, если считать переходное сопротивление чисто активным, то направление ΔZ определяется соотношением токов I_{0K} и $(I_\phi + kI_0)$ – Токи I_ϕ и I_0 можно измерить на данном конце ВЛ. Ток I_{0K} существует только в месте замыкания. Однако к этому току весьма близок по фазе ток НП I_0 , поскольку токораспределение по схеме НП мало меняет фазу токов в отдельных элементах.

Для угла, под которым вектор ΔZ наклонен к горизонтали, можно написать формулу:

$$\begin{aligned} \text{arc}\Delta Z &= \text{arc}[I_{0K}/(I_\phi + kI_0)] = \\ &= \text{arc}[I_0/(I_\phi + kI_0)] - \text{arc}[I_0/I_{0K}] = \alpha - \beta \end{aligned}$$

где $\alpha = \text{arc}[I_0/(I_\phi + kI_0)]$; $\beta = \text{arc}[I_0/I_{0K}]$

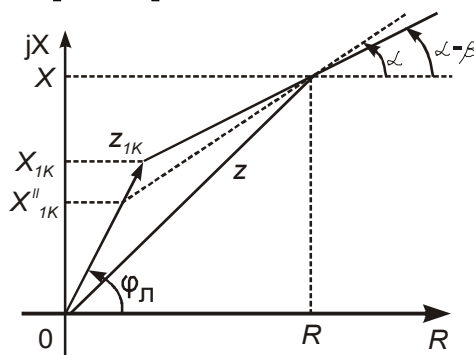


Рис. 11.7. К пояснению принципа одностороннего ОМКЗ.

Угол α может быть сосчитан по измерениям на одном конце. Угол β очень мал, им иногда можно пренебречь.

Графическое решение задачи определения Z_{1K} пояснено на рис. 11.7. На комплексной плоскости построены вектор Z и ось сопротивления ВЛ. Затем через точку конца вектора ΔZ проведена прямая под углом $(\alpha - \beta)$ к горизонтали. Пересечение прямой с осью Z_{1K} сопротивления дает точку конца вектора Z_{1K} в частности, реактивное сопротивление до места КЗ X_{1K} .

Возможно получение аналитической формулы для X_{1K} путем решения треугольника.

Расчетная формула имеет вид:

$$X_{1K} = \frac{X - R \cdot \text{tg}(\alpha - \beta)}{\text{tg}\varphi_L - \text{tg}(\alpha - \beta)} \cdot \text{tg}\varphi_L \quad (11.13)$$

В формуле известно все, кроме угла β , который нельзя измерить на одном конце ВЛ. Приближенное решение предполагает пренебрежение углом. Тогда аналитическая формула приобретает вид:

$$X_{1K}'' = \frac{X - R \cdot \text{tg}\alpha}{\text{tg}\varphi_L - \text{tg}\alpha} \cdot \text{tg}\varphi_L \quad (11.14)$$

Графическая интерпретация приближенного решения показана на рис. 16: если через конец вектора Z провести прямую не под углом $(\alpha - \beta)$, а под углом α , то получим не точное решение X_{1K} , а приближенное X'' . Следовательно, одностороннее измерение оказалось возможным потому, что направление тока I_{0K} приняли совпадающим с направлением тока I_0 .

Определение места по мгновенным значениям токов и напряжений

Способы одностороннего ОМКЗ, рассмотренные выше, основаны на расчетах по интегральным параметрам электрических величин (токов, напряжений). Термин интегральные параметры появился с внедрением ЭВМ в технику РЗ для того, чтобы отличить мгновенные значения синусоидальных электрических величин I , U от характеризующих эти величины в любой момент времени параметров I , U . Употребляется термин в том смысле, что ЭВМ получает интегральные параметры путем измерения и обработки ряда мгновенных значений, т. е. после суммирования-интегрирования информации о мгновенных значениях.

Однако известны и способы ОМКЗ на основе операций с мгновенными значениями токов и напряжений. Первый из них предложен во Франции. Основы его следующие:

Пусть однофазное КЗ через сопротивление R_n произошло на расстоянии l на ВЛ с удельными параметрами R_{y0} , L_{y0} . Мгновенное значение напряжения на данном конце ВЛ равно:

$$u = l \left(R_{y0} i + L_{y0} \frac{di}{dt} \right) + R_n i_k$$

удельное падение напряжения на 1 км ВЛ равно:

$$\Delta u = R_{y0} i + L_{y0} \frac{di}{dt} = (i_\phi + k I_0) Z_{1y0}$$

Если выбрать момент, когда ток в месте КЗ I_k равен нулю, то в формуле для напряжения исчезнет слагаемое, содержащее R_n . Тогда получим простую формулу:

$$l = \frac{u}{\Delta u} \text{ при } i_k = 0 \quad (11.15)$$

т. е. для определения расстояния достаточно измерить напряжение U и ток $i = (i_\phi + k I_0)$ в момент перехода тока I_k через нулевое мгновенное значение. Поскольку ток I_k неизвестен, достаточно взять почти совпадающий с ним по фазе ток I_0 .

Подобный принцип ОМП заложен в микропроцессорном устройстве MiCOM P142-143.

Микропроцессорные фиксирующие приборы МИР, ФПМ, ИМФ производят замер мгновенного значения сопротивления в момент перехода через 0 по формуле:

$$l = \frac{\operatorname{Im} \left[\frac{\dot{U}_\phi}{\dot{I}_0} \right]}{\operatorname{Im} \left[\frac{(i_\phi + k \dot{I}_0) \dot{Z}_{y0}}{\dot{I}_0} \right]} \quad (11.16)$$

В формуле измерение мгновенных значений u и Δu в момент перехода тока I_0 через нулевое мгновенное значение заменено на расчет проекции на мнимую ось, перпендикулярную вектору I_0 , интегральных величин U_ϕ и ΔU_ϕ .

Все перечисленные способы применимы и при двухфазных КЗ без земли при замене параметров петли фаза–земля на параметры петли фаза–фаза.

11.7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

При расследовании случаев нарушения нормального режима очень важно иметь информацию о том, как началось и как развивалось нарушение. Информацию о том, какие устройства защиты и автоматики сработали, персонал получает по электромеханическим указателям (блинкерам), которые, согласно требованиям ПУЭ, устанавливаются на каждом устройстве защиты и автоматики. Указательное реле (ЭС-21, РУ-21, РЭУ-11) имеет флажок, который выпадает после подачи тока (напряжения) на катушку реле и остается в этом положении до его возврата вручную. После записи выпавших флажков их поднимают в исходное положение. Реле снабжены контактами, которые замыкают цепь сигнализации в выпавшем положении и выдают сигнал на щит управления.

У микроэлектронных и некоторых простых микропроцессорных устройствах защиты для целей информации используются светодиоды, которые загораются при срабатывании соответствующих им устройств защиты и остаются гореть до их квитирования кнопкой на передней панели, или дистанционно, подачей напряжения на дискретный вход.

Более сложные микропроцессорные устройства, которые имеют много функций, используют внутреннюю память (ППЗУ) в которую записывается событие с точной (до 1мс) регистрацией времени события. Эта информация сохраняется длительно, так как память может сохранить множество событий - 100, 1000 и более. Если эта память переполняется, обычно последняя информация вытесняет первую. Информация, полученная с помощью блинкеров (светодиодов) не привязана ко времени и фактором времени является время записи события в оперативном журнале. Это не дает возможности оценивать последовательность событий, что затрудняет анализ произошедших нарушений. Зная точное время каждого события, можно представить в каком порядке работали те или другие устройства и, таким образом, выявить последовательность событий, что очень важно для анализа аварии.

Существенным дополнением к информации о происшествии являются осциллограммы, с помощью которых можно установить порядок развития повреждения, величину тока и напряжения, фазу, длительность протекания тока, переход короткого замыкания из одного вида в другой. Для этого уже длительное время используются регистрирующие приборы и автоматические осциллографы.

Регистрирующие приборы в состоянии записать только относительно медленно протекающие процессы, но они беспомощны в случае, если необходимо записать, например короткое замыкание, отключенное быстродействующими защитами. Поэтому регистрирующие приборы дают в основном статистические сведения, и записывают процессы, длящиеся минутами. Один час времени на ленте регистратора обычно занимает 60 мм, т.е. скорость протяжки равна 1 мм в минуту. Зато такой ленты хватает на 1 неделю, после чего ее нужно заменить на новую. Существовали регистрирующие приборы с уско-

рением, при аварии происходило ускорение записи в несколько десятков раз. Удавалось даже записывать синусоидальный ток и напряжение.

На смену регистрирующим приборам пришли автоматические осциллографы, записывающие непосредственно синусоидальный ток и напряжение, а также переходные процессы, проходящие в электрических цепях. В основу осциллографа был положен светолучевой принцип: в магнитном поле находилась катушка, через которую протекает исследуемый ток. К катушке было прикреплено зеркальце, которое отбрасывало луч света на специальный фотоматериал, который протягивался перед зеркалами. Это изделие называлось вибратором. Автоматический осциллограф Н-11 использовал 35 мм фотопленку и имел 8 шлейфов (вибраторов). В настоящее время такие осциллографы уже не используются. Автоматический осциллограф Н-13 использует фотобумагу шириной 120мм и имеет 12 шлейфов (вибраторов). Такие осциллографы широко применяются и в настоящее время совместно с электромеханическими защитами.

Осциллограф управляется специальным пусковым устройством, например УПО1. Это устройство пускает осциллограф при появлении несимметрии, или глубокой посадке напряжения. Осциллограф оснащен часами, которые под управлением того же пускового устройства фотографируются на бумаге.

Процесс записи осциллограммы происходит следующим образом: Вибраторы постоянно находятся под током и напряжением, однако бумага остановлена, и лампа осциллографа не горит. При появлении пускового сигнала или несимметрии напряжения загорается лампа и разворачивается механизм протяжки; для преодоления инерции, а значит и задержки в отображении сигнала, лентопротяжный механизм и электролампа форсируется за счет кратковременной подачи повышенного напряжения. С помощью таких мер обеспечивается начало записи через 20-40мс после начала процесса. Фотобумага протягивается со скоростью 200-400мм в сек. После окончания процесса фотобумага останавливается, гаснет лампа осциллографа, происходит короткая протяжка, после чего включается освещение часов, часы фотографируются, еще одна короткая протяжка подводит под шлейфы осциллографа незавершенный участок фотобумаги. Осциллограф готов к следующей записи. После этого кассету с фотобумагой вынимают, и после проявки и высыхания, осциллограмма готова для анализа. Изображение представляет собой синусоиды, размах которых измеряется, умножается на коэффициент, после чего определяются величины токов и напряжений. Осциллограф также фиксирует переходные процессы в токах и напряжениях, что иногда бывает очень важно для анализа. В состав пускового устройства входит 2 реле времени; одно из них ограничивает время записи аварийного процесса, а второе - послеаварийного. Первое реле времени обеспечивает экономию бумаги в случае если пуск осциллографа длительный и достаточно более короткой записи. Второе реле обеспечивает запись паузы между событиями, например: паузы АПВ. В кассету входит 20м фотобумаги, что дает возможность записи до 100сек при скорости записи 200мм/сек.

Как уже говорилось, несмотря на принятые меры по форсировке пуска начало записи задерживается на 20-40 мсек, Таким образом, само начало процесса не видно, а оно часто очень важно для представления о том, как началось повреждение, что позволяет судить о его причинах. Было бы очень важно знать о состоянии сети и режиме, предшествовавшем аварии. Поэтому, были разработаны специальные приставки для предварительной записи аварийного процесса. Чаще всего для этого использовался магнитный барабан, вращавшийся непрерывно, на который записывался процесс. Пока место с записью на барабане проходило от записывающей до воспроизводящей головки, проходило время, которое и являлось временем задержки записи на осциллограф. С воспроизводящей головки запись происходила уже на осциллограф. Барабан вращался непрерывно, и на вход осциллографа постоянно подавались задержанные во времени токи и напряжения. При возникновении аварии пускался осциллограф и производил запись, задержанную во времени. Затем запись на барабане стиралась, и снова место записи подавалось под записывающую головку. На таком принципе работал специально выпущенный для этой цели осциллограф с предварительной записью Н-22. По мере развития электронной техники для этой цели начали применять специальные линии задержки, которые делали то же самое, но без участия сложного механизма.

Автоматические светолучевые осциллографы имеют очевидные недостатки, связанные со сложной механикой, оптикой. От момента события до его анализа проходит время нужное для доставки экспонированного фотоматериала в лабораторию, его проявки и просушки. После чего, через несколько часов, можно приступить к анализу события. Фотобумага стоит достаточно дорого, и большая часть ее расходуется зря, т.к. только некоторые записи нужны для анализа. Поэтому, с появлением микропроцессорной техники появились и цифровые регистраторы. Развитие регистраторов шло по 2 направлениям.

Первое и самое главное касается микропроцессорных защит, которые, как правило, имеют встроенные функции регистраторов дискретных сигналов и осциллографов. Все события записываются в память и могут быть в любой момент получены из устройства либо непосредственно от реле, либо дистанционно через локальную сеть, модем или даже интернет. Поэтому, анализ происшествия может быть начат немедленно из любого места. Событие четко привязывается по времени, что облегчает сопоставление данных, взятых из разных устройств и объектов. Исключается необходимость замера величин, их пересчет. Это все делает компьютер, выдавая на экран уже рассчитанные данные. После заполнения памяти первое событие замещается последующим, поэтому, исчезает возможность потери информа-

ции из-за переполнения памяти, а ее достаточный объем позволяет записать нужные процессы полностью. Само собой разумеется, осциллографы оснащены предварительной записью. Электромеханические и аналоговые устройства РЗА таких возможностей не имели, и поэтому для них разработаны и выпускаются цифровые регистраторы, имеющие все перечисленные преимущества цифровых устройств. В настоящее время ведется целенаправленная работа по замене светолучевых осциллографов цифровыми регистраторами.

11.8. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Регистрация события – это запись какого-то дискретного сигнала, появляющегося в виде замыкания контакта (сухой контакт), или появления напряжения определенного уровня на дискретном входе. В цифровом устройстве сигналы событий, кроме этого, могут быть сформированы внутри устройства, или получены через интерфейс локальной сети. Каждый сигнал должен получить свой код, по которому его можно будет распознать в последующем. Код, в конце концов, представляет собой цифру, которая записывается в память устройства. По цифре, полученной из регистратора при анализе можно получить сведения, что означает данный сигнал. Понятно, что каждый раз лазить в список неудобно, и эту задачу выполняет программное обеспечение компьютера, в который должно быть занесено соответствие каждого кода, конкретной функции. Появляется задача программирования этих названий, которые часто являются индивидуальными для каждого объекта и устройства. Это должно производиться в процессе его наладки непосредственно на объекте.

Отметка времени события тоже исключительно важна для последующего анализа. Поэтому цифровые регистраторы, входящие в состав микропроцессорного реле и отдельные регистраторы фиксируют время события с точностью до 1 мс. Поэтому, не представляет никакой трудности сопоставить время события, записанные внутри одного реле или регистратора. Однако в случае сопоставления данных, находящихся в разных реле или регистраторах возникают сложности. Дело в том, что часы, встроенные в устройства хотя и очень точные, но все таки имеют точность для нашей цели недостаточную. Даже точность одна секунда в сутки приводит к тому, что показания часов через месяц разойдутся на 1 минуту, а за год - на 12. Где уж тут сопоставить с точностью до 1 мсек. Поскольку часы могут корректироваться и через локальную сеть, необходимо чтобы такая функция была возложена на верхний уровень управления. Существуют спутниковые системы точного времени, с помощью которых можно синхронизировать указанные устройства с очень большой точностью. И они иногда используются для синхронизации часов в микропроцессорной релейной аппаратуре. Ну а мы, не имея такой возможности, пытаемся синхронизировать события по предполагаемому течению событий, считая, например, что короткое замыкание приводит к одновременному росту тока и посадке напряжения во всей прилегающей сети.

Точность воспроизведения осциллограммы или регистрации величины зависит от двух элементов: входных преобразователей и аналого-цифрового преобразователя. С достаточной точностью должны регистрироваться как малые, так и большие токи, а диапазон токов, с которым имеет дело аппаратура РЗА, колеблется от 100 до 20000-40000А. Входной преобразователь должен точно передавать величин во всем этом диапазоне токов. Характеризуя АЦП, говорят о его разрядности и частоте выборок. Применительно к защите, эти вопросы рассматривались ранее в главе 3, и они полностью относятся и регистраторам аналоговых сигналов и цифровым осциллографам.

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 до 2000 Гц. Для осциллографирования требуется еще большая частота выборок, которая у высокочастотных устройств защиты доходит до 5000 Гц. Цифровое устройство с частотой выборок 2000 Гц эквивалентно осциллографу с полосой пропускания 0—1000 Гц. Оно имеет 40 выборок за период. Ограничившись 10 гармоникой, мы можем сказать, что минимально допустимая частота выборок составляет 1000 Гц или 20 выборок за период.

Второй важной характеристикой АЦП является разрядность формируемого им двоичного числа. Ток при нормальном режиме работы электроустановки находится в пределах 0 - $I_{ном}$, а в аварийных — достигает $(10 \div 30)I_{ном}$. Для преобразования с погрешностью не более 2—5% требуемое число ступеней квантования τ должно быть $3000 \div 4000$, т. е. требуется АЦП с разрядностью не менее $p = 12$ плюс знак поляриности полувольты. Итого, не менее 13 разрядов.

11.9. ЦИФРОВЫЕ РЕГИСТРАТОРЫ СИГНАЛОВ

Как уже говорилось, многие производители выпускают регистраторы переходных процессов для последующего анализа работы устройств РЗА. Эти устройства предназначены для регистрации аварийных, переходных и установившихся процессов во вторичных цепях устройств релейной защиты и автоматики на электрических станциях и подстанциях.

Функции устройства:

- регистрация напряжений и токов любой формы по 3-м фазам;
- пуск регистратора по изменению токов и напряжений, по изменению состояния любого из дискретных входов;
- отображение текущих значений напряжений и токов на индикаторе (опция);
- отображение текущих состояний дискретных входов с помощью светодиодов;

- дистанционное управление, синхронизация, контроль и диагностика регистратора по локальной сети;
- программное обеспечение доступа, анализа и сервиса, функционирующее в среде Windows 98/NT/2000/XP, Linux.

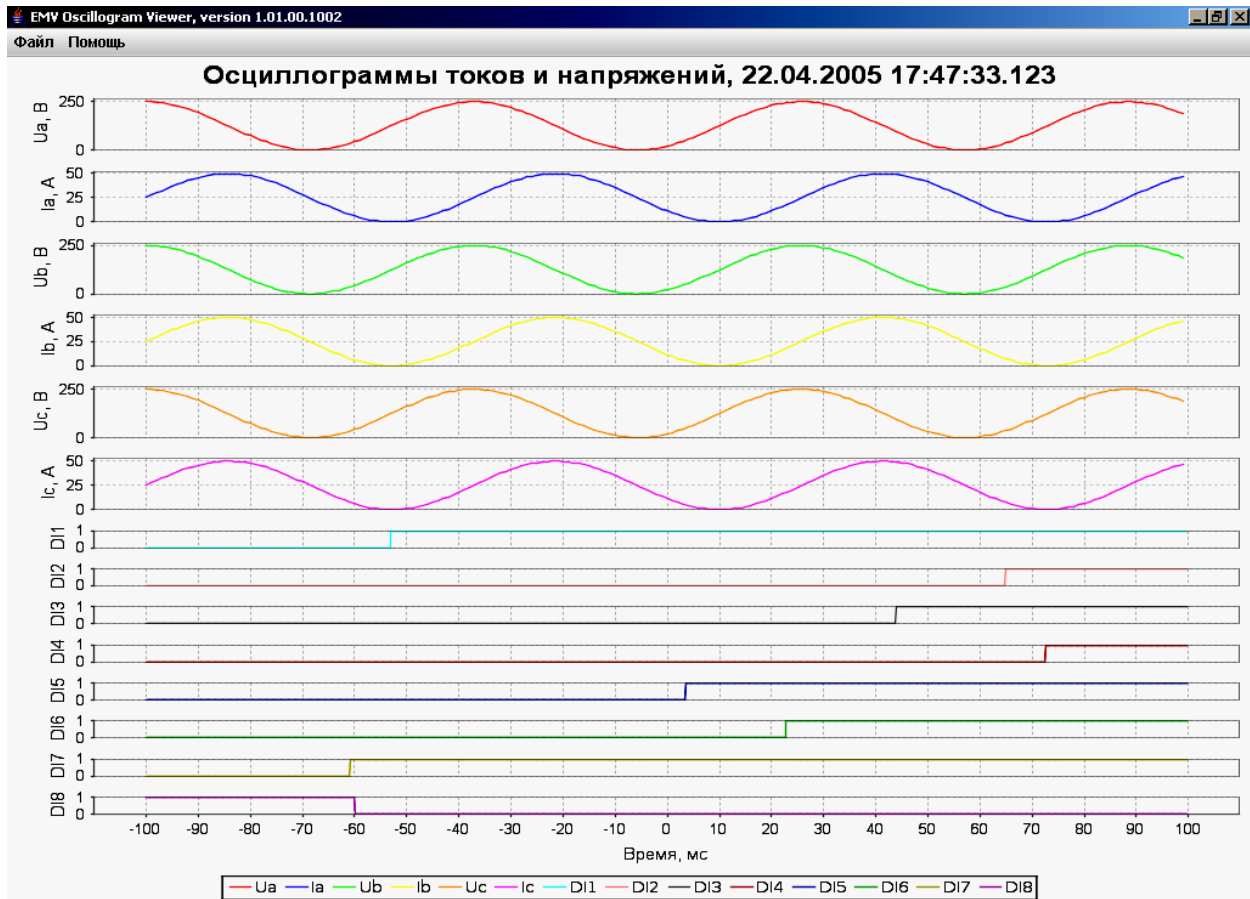
Устройство требует оперативного питания $\approx \pm 220 \pm 20\%$ В, но сохраняют работоспособность в течении 2 с после исчезновения питания. При этом вся зарегистрированная информация хранится в энергонезависимой памяти.

Минимальные параметры регистратора.

Технические характеристики:

количество аналоговых каналов измерения	6
частота преобразования	32-64 точ./пер (1600-3200 Гц)
разрядность АЦП	16
номинальный ток	5А
номинальное напряжение	100 В
диапазон регистрации по току	0,1-200 А
разрешающая способность по току	0,01 А
диапазон регистрации по напряжению	0,1-200 (400)В
разрешающая способность по напряжению	0,02 В
пуск по приращению тока	$\Delta I = 20\% I_{ном}$
пуск по снижению напряжения	$\Delta U = 20\% U_{ном}$
число осциллограмм	8 по 8/4/2 с
число дискретных входов	8
передача информации	RS485 по протоколу MODBUS
скорость передачи информации	2,4 – 115,2 кбод
обслуживание	ЖК дисплей и клавиатура
рабочий диапазон температур	от -25° до $+50^{\circ}\text{C}$
степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-80	IP40
габариты регистратора	160x140x90 мм
масса регистратора, не более	2,5 кг

Программное обеспечение для считывания информации должно работать под управлением ОС Windows 98/NT/2000 и позволять получать данные через последовательный порт компьютера, сохранять их в файле, анализировать на экране, определять максимальные, минимальные и средние значения для любой из сохранённых или исчисленных величин за любой интервал времени. Возможен вывод на печатающие устройства нескольких видов документов: итоговых протоколов, графиков сохранённых или исчисленных величин и гистограмм. На рисунке показан примерный вид экрана компьютера при работе с программой.



Программная обработка результатов измерений позволяет отобразить следующие функции измерения:

- действующее значение напряжения переменного тока по трем каналам,
- действующее значение силы переменного тока по трем каналам,
- частоту,
- активная мощность по трем каналам,
- реактивная мощность по трем каналам,
- полная мощность по трем каналам,
- длительность перерывов в электроснабжении.

Ниже приводятся описание трех групповых комплексов регистраторов украинского производства наиболее распространенных на Украине. Все комплексы используются совместно с электромеханическими или аналоговыми устройствами защиты, не имеющими встроенных средств регистрации и осциллографирования. Они разрабатывались отдельно для разных целей, хотя постепенно их возможности сближались.

КРАС разрабатывался для распределенных объектов с небольшим объемом информации в каждом. Он состоит из блоков регистрации распределенных по объектам, концентратора и персонального компьютера, на который передаются данные и, с помощью которого, они обрабатываются. Компьютер может одновременно использоваться для других целей, быть отключенным. Данные накапливаются в самом регистраторе, и после включения компьютера через концентратор передаются в него, где записываются, обрабатываются, и оттуда могут быть переданы в другое место по телефонному модему. Память самих регистраторов невелика, и ее может не хватить при многочисленных событиях в течение выходных или праздничных дней, когда нет возможности передать ее на верхний уровень.

РЕКОН разрабатывался как совершенно автономное устройство для установки на необслуживаемых объектах и предназначался в первую очередь для замены светолучевых осциллографов Н13. РЕКОН оснащается символьным дисплеем, и дисководом для дискеты. На нее можно записать накопившуюся информацию, которую затем обработать на компьютере. Само собой разумеется, что эта информация может быть передана по локальной сети или коммутируемому телефонному каналу. РЕКОН оснащен «флеш» памятью, которая позволяет сохранить значительный объем информации (до 1500сек). Встроенный дисплей позволяет получить на месте всю необходимую информацию за исключением осциллограммы. РЕКОН имеет развитое программное обеспечение.

РЕГИНА с самого начала разрабатывалась как групповое устройство для крупных объектов. Это обеспечивалось большим количеством аналоговых (32) и дискретных (256-512) входов. В качестве устройства памяти применен винчестер, объем которого настолько велик, что полностью снял вопрос о количестве записей и их длительности. Его хватит на многие годы. В качестве дискретного сигнала используется сухой контакт, но разработаны специальные блочки, содержащие герконовые реле, которые могут подключаться на напряжение или ток. Для передачи большого количества дискретных сигналов по

малому количеству жил кабеля разработаны диодные матрицы. Для анализа полученных данных может быть использован стационарный или переносной компьютер. В последующем был разработан упрощенный вариант для небольших объектов с меньшим количеством регистрируемых данных. Данные могут быть переданы по локальной сети или телефонному модему. Программное обеспечение для анализа полученных данных очень развито.

При использовании перечисленных устройств отпадает необходимость в установке дополнительных фиксирующих приборов для определения места повреждения, ОМП является стандартной функцией программного обеспечения.

КОМПЛЕКС РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ КРАС

Комплекс представляет собой распределенную систему сбора информации о состоянии технологического оборудования и состоит из подсистемы центрального уровня и локальных подсистем, число которых определяется количеством обслуживаемых объектов.

Локальная подсистема включает модули регистраторов, накапливающие информацию о состоянии, как правило, одного - двух присоединений.

Подсистема центрального уровня - концентратор, осуществляет, в автоматическом режиме, сбор данных зафиксированных регистраторами, обработку, диагностику, визуализацию информации о зарегистрированных событиях, а также ее каталогизацию, архивацию на HDD? или ?POB?, вывод на печать и при необходимости передачу через модем (или другое сетевое устройство) на удаленный сервер (уровень ГПЭО, ПЭО, ПЭС/РЭС).

Последовательный интерфейс между подсистемами центрального и локального уровня - общая для всех регистраторов трехпроводная магистраль.

Блоки питания регистраторов подключаются к аккумуляторной батарее и цепям переменного напряжения, с гальваническим разделением цепей и автоматическим переключением.

Основные технические данные

- количество аналоговых каналов каждого из регистраторов 16;
- датчики для сигналов переменного и постоянного тока, ВЧ сигналов, тока приёма, тока ротора, напряжения ротора, напряжения аккумуляторной батареи;
- количество дискретных каналов "сухой контакт" синхронно записываемых с аналоговыми сигналами для регистратора 16А/32Д-1М и регистратора 16А/64Д-1М - 32 и 64 соответственно;
- отдельно производится запись и хранение последних 4000 дискретных событий;
- возможно увеличение записываемых дискретных сигналов блоками по 128;
- частота дискретизации, Гц 900 - 1800;
- длительность записи регистратора - около 34 - 40с (по 14-15 событий длительностью 2,2-2,6 сек каждое);
- автоматическая передача регистраторами зафиксированных событий в концентратор позволяет фиксировать практически не ограниченное число аварийных событий.
- продолжительность до аварийной записи, не менее 5-и периодов;
- относительная погрешность измерения аналоговых сигналов <3% в динамическом диапазоне токов до 50 дБ.

Условия пуска регистратора:

- по любой несимметрии на контролируемой системе шин, 3U₀, 3I₀, U₂;
- по внешнему сигналу устройства пуска;
- возможен пуск по любым контролируемым аналоговым и дискретным сигналам.

- удаленность по каналу связи, не более 3,0 км;
- время хранения информации при полном исчезновении основного и резервного питания 7 суток;
- встроенные календарь и часы.

Наиболее подходящая область применения использование на распределенной системе объектов с большим расстоянием между ними.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ «РЕКОН»

Комплексы "РЕКОН" состоят из автономных регистраторов, связанных с объектами сигнальными цепями, и программного обеспечения для подробного анализа и документирования процессов в среде персональных компьютеров, удаленных от объектов наблюдения на произвольные расстояния. Особенно-стями изделия являются:

- универсальность его аналоговых каналов (АК), т.е. способность обрабатывать ток или напряжение (пост./перем.) одним и тем же каналом по выбору пользователя;
- фиксация текущей промышленной частоты входных сигналов, измеренной встроенным быстродействующим частотомером;
- способность выполнять прикладную обработку данных: определять место повреждения для линий электропередачи, выполнять анализ аварийной ситуации и генерировать сообщение оперативному персоналу. идентифицирующее аварийное нарушение с указанием поврежденного элемента, работавших устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА);

Все перечисленные функции выполняются автоматически без применения внешних ПЭВМ и т.н. концентраторов, однако предусмотрено использование регистраторов в автоматизированных информационно-управляющих системах, реализованных в виде локальной вычислительной сети промышленных объектов.

Аппаратная часть комплекса - регистратор "РЕКОН-07БС" - выполнен в моноблочном корпусе (190х480х400) и стационарно размещается на щитах подстанций, блоков электростанций и др. в том числе и на необслуживаемых объектах.

Регистратор оснащен символьным ЖК дисплеем, клавиатурой оперативного управления и встроенным дисководом. Для сбора информации об объекте регистратор подключается непосредственно к вторичным сигналам напряжения, тока, аналоговым и дискретным цепям аппаратуры РЗА и т.п. Для связи с удаленными получателями информации к регистратору подключают: телефонную "пару", локальную сеть и т.д. Возможна автономная эксплуатация, когда информация снимается при помощи дисковода, или считывается с ЖК дисплея: текущие уровни сигналов, состояние пусковых факторов, файл экспресс-информации и т.п. На объекте несколько регистраторов могут объединяться локальной сетью в автономную группу без ПЭВМ, и осуществлять информационный обмен с удаленными пользователями через телефонный канал одного из регистраторов.

Технические данные:

- пуск фиксации аномального режима по трем группам пусковых факторов симметричных составляющих с индивидуальными уставками для каждой, по повышению или снижению частоты и изменению дискретных сигналов;
- к-во каналов: аналоговых - 32 (28, 24, 20, 16), дискретных - 96 (128, 160, 192, 224);
- приведенная погрешность регистрации/восстановления сигналов АК не более 1%;
- входной ток дискретных каналов - 10 мА;
- частота дискретизации (Рд) 900, 1800, 2400 Гц;
- суммарное время сохраняемых в постоянной памяти процессов не менее 1500 сек;
- тип постоянной памяти - "флеш";
- определение аварийной ЛЭП, места повреждения, а также ФИП всех ЛЭП;
- создание файла экспресс-информации с данными о событии, месте повреждения, и работе РЗА;
- питание регистратора осуществляется от сети пост./перем. тока -220/110 В;
- диапазон рабочих температур: 5-45°С.
- Информация в регистраторе защищена от уничтожения, а гарантированный срок ее хранения, даже при обесточенном регистраторе, не менее 10-ти лет.

ПО комплекса позволяет:

- при работе по каналам связи: настроить регистраторы, в произвольный момент времени выполнить фиксацию данных текущего режима, осуществить выбор информационных файлов из «архива регистратора» и принять данные;
- проанализировать данные: измерить сигналы и временные интервалы, выполнить векторный анализ, построить графики симметричных составляющих 3-фазных систем, произвольных функций от сигналов, мощностей, отфильтровать ВЧ и постоянные составляющие, проанализировать спектральную плотность сигналов и их гармонический состав, прокомментировать осциллограммы и распечатать их на бумаге;
- экспортировать данные в формат «COMTRADE».

ИНФОРМАЦИОННО ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «РЕГИНА»

Предназначен для регистрации аналоговых и дискретных сигналов, анализа развития аварийных ситуаций, оценки функционирования устройств релейной защиты и автоматики, определения места повреждения при коротких замыканиях на линиях электропередачи, определения остаточного ресурса высоковольтных выключателей, построения суточной ведомости режимов, проведения фазового и гармонического анализа синусоидальных сигналов, выделения симметричных составляющих в трехфазных сетях переменного напряжения, вывода информации в виде текстовых сообщений, графиков и таблиц на экран дисплея и на печать, а также передачи зарегистрированной и обработанной информации на любые высшие уровни управления.

Базовым элементом комплекса являются распределенные по объекту регистраторы аналоговых и дискретных сигналов. Число регистраторов определяется количеством аналоговых и дискретных сигналов, подлежащих обработке. Регистраторы фиксируют электрические сигналы переменного и постоянного тока и напряжения, а также дискретные сигналы типа "сухой контакт" или потенциальные.

Технические характеристики регистратора:

количество аналоговых входов: 16 — 32;

количество дискретных входов: 224, 448, 672;

частота дискретизации: 1000 - 5000 Гц;

длительность регистрации одного события: не ограничена;

количество регистрируемых событий не ограничено;

продолжительность регистрации доаварийного режима: 200 мс;

режим регистрации дискретных сигналов: непрерывный;

переход на регистрацию аварийного режима:

- при изменении состояния любых (выбранных заказчиком) дискретных сигналов;
- при выходе за пределы уставок любых (выбранных заказчиком) аналоговых сигналов;
- при внешнем пуске.

Программное обеспечение ИДК "РЕГИНА" выполняет следующие функции:

- формирование массивов аварийной информации;

- фиксация начала аварийной ситуации;
- привязка файла аварийной информации к энергосистеме, объекту, присоединению;
- формирование библиотеки аварийных событий;
- быстрый поиск в архиве необходимого файла аварийной информации;
- просмотр в сжатом виде всего файла аварийного процесса в виде осциллограммы на экране дисплея;
- оперативный доступ к любому участку осциллограммы для детального его рассмотрения;
- ступенчатое изменение масштаба по амплитуде и по времени рассматриваемого участка осциллограммы (до представления на экране одного периода синусоидального сигнала частотой 50 Гц);
- вывод на печать рассматриваемого в заданном масштабе участка осциллограммы;
- измерение мгновенных и действующих величин аналоговых сигналов на любом участке осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и на печати;
- измерение углов между синусоидальными величинами;
- гармонический анализ аналоговых сигналов;
- измерение временных интервалов между любыми точками осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и на печати;
- формирование произвольно выбранной группы аналоговых и дискретных сигналов для совмещения их на экране дисплея и вывода на печать;
- выбор произвольного числа графиков для совмещения на одной временной оси (до 4);
- использование цветности для выделения графиков аналоговых сигналов;
- определение места повреждения при коротких замыканиях на линиях электропередачи;
- определение остаточного ресурса высоковольтных выключателей;
- автоматическое формирование экспресс-информации по результатам регистрации аварийной ситуации;
- представление записей аварийной информации в формате COMTPADE;
- передача экспресс-информации на высшие уровни управления.