

УДК 621.311

DOI: 10.35211/2500-0586-2024-2-47-31-35

*О. И. Елфимова, П. Д. Кутейников***ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ВИДОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

olgai-karpenko@yandex.ru, suhanov.pavel@inbox.ru

Автор, ответственный за переписку:

Ольга Ивановна Елфимова, olgai-karpenko@yandex.ru

В настоящее время актуальным является вопрос надежности систем электроснабжения потребителей. В современных электрических сетях наиболее подверженным повреждениям элементом являются линии электропередачи. Повреждение линий электропередачи сильнее всего влияет на бытовых и промышленных потребителей. Поэтому для защиты данных элементов систем электроснабжения принято применять наиболее серьезную защиту. В данной статье рассмотрено повышение надежности электроснабжения различных потребителей при применении дистанционной релейной защиты.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, релейная защита и автоматика, дистанционная релейная защита, линии электропередачи

*O. I. Elfimova, P. D. Kuteynikov***INFLUENCE OF THE USE OF REMOTE TYPES OF RELAY PROTECTION
ON THE RELIABILITY OF CONSUMER POWER SUPPLY SYSTEMS****Volgograd State Technical University**

Nowadays, the issue of reliability of power supply systems for consumers is relevant. In modern electrical networks, the most susceptible element to damage is power lines. Damage to power lines has the greatest impact on residential and industrial consumers. Therefore, to protect these elements of power supply systems, it is customary to use the most serious protection. This article discusses increasing the reliability of power supply to various consumers when using distance relay protection.

Keywords: reliability of power supply, relay protection and automation, distance relay protection, power lines

Введение

В наши дни электроэнергетические системы состоят из множества элементов, и среди них линии электропередачи наиболее подвержены повреждениям. Аварии на линиях электропередачи влияют на промышленность сильнее всего, поэтому для защиты данных элементов предпринимаются наиболее серьезные меры в виде применения различных устройств. Их применение зависит от различных факторов, таких как конфигурация сети, класс напряжения линий, режима заземления силовых трансформаторов и др.

Распространенные в наши дни устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) выделяются по сравнению с более старшими аналогами множеством преимуществ, основными среди которых можно назвать multifunctional многоканальные системы, предназначенные для обеспечения взаимосвязи различных систем друг с другом, а также с элементами защищаемой энергосистемы. В связи с этим прослеживается необходимость рассмотрения

надежности и эффективности данных устройств в зависимости от режимов работы энергосистемы.

Устройствам релейной защиты и автоматики предъявляются не только обычные требования по надежности, но и серьезные к чувствительности и селективности.

Нарушения данных требований принято считать отказами функционирования защит. Отказы могут быть следующими [1]:

- а) ложные срабатывания (при отсутствии аварии в зоне защиты);
- б) излишние срабатывания (при аварии вне зоны защиты);
- в) отказ в срабатывании (при аварии на защищаемом объекте).

Для вышеперечисленных видов отказов защиты показатели надежности необходимо рассматривать отдельно. Основными критериями корректного функционирования устройств РЗА являются селективность, чувствительность и надежность. В связи с этим при расчете необходимо учитывать три различных режима работы:

1) В режиме дежурства, который выделен промежутком времени до возникновения сигнала на срабатывание, происходит оценка вероятности ложных срабатываний;

2) В режиме внутренних коротких замыканий, которые возникают внутри защитной зоны, происходит оценка вероятности отказа работы защиты;

3) В режиме внешних коротких замыканий, которые возникают за пределами защитной зоны, происходит оценка вероятности ложных срабатываний.

Перед началом расчетов для каждого из перечисленных режимов строится структурная схема, в которой наглядно показана различная взаимосвязь элементов системы в зависимости от режимов.

Для защиты линий электропередачи используется множество видов релейной защиты, обеспечивающей резервирование, среди которых токовая отсечка (ТО), максимальная токовая защита (МТЗ), дистанционная защита, токовая защита нулевой последовательности.

Токовая отсечка и максимальная токовая защита обычно используются для релейной защиты незамкнутых сетей с тупиковыми линиями либо воздушными линиями, однако если источников питания несколько или система представляет из себя магистраль с несколькими линиями, соединенными последовательно, вышеперечисленные защиты не представляется возможным выполнить селективными.

При питании сети электроснабжения от двух и более источников и номинальном напряжении от 35 кВ принято использовать дистанционную защиту, причем наиболее эффективно ее использование именно в кольцевых схемах, которые широко распространены в настоящее время в нашей стране. Во всех сетях, в которых установлена дистанционная защита, она является основным видом защиты.

Однако дистанционные виды защит являются наиболее сложными устройствами в релейной защите и автоматике, поскольку почти во всех из них используются сложные алгоритмы обработки информации. Они зависят, как минимум, от двух комплексных переменных, например векторов тока и напряжения [2].

Сейчас дистанционные виды защит широко распространены. Причиной является высокая степень чувствительности и селективности их элементов, учитывая также полноценное использование информации об основных параметрах защищаемого участка [2].

Свое название типы дистанционной защиты получили в связи с тем, что они предназначены для мониторинга комплексного сопротивления. Этот параметр пропорционален расстоянию между местом повреждения и местом непосредственной установки защиты.

У дистанционных видов защит есть возможность выбирать уставки срабатывания, количество которых зависит от количества используемых в них реле сопротивления. Как правило, данное количество не менее трех. Дистанционные защиты предназначены для мониторинга определенной области системы электроснабжения, разделенной на зоны. Для каждой зоны определено свое время срабатывания. Данное время срабатывания определяется равным сопротивлению до точки повреждения в защищаемой зоне.

Электромеханические виды дистанционных защит состоят из множества отдельных элементов. Среди них обычные реле, трансформаторы и др. Данные элементы размещаются на отдельной панели. Микропроцессорные варианты дистанционных защит, более распространенные сегодня, занимают меньше места – для них достаточно одного терминала. На данном терминале в непосредственной близости расположены другие виды защит. Их функции дополнены возможностью мониторить срабатывания защит, работу блокировок, записывать осциллограммы аварийных процессов. Возможность размещения дистанционных микропроцессорных защит на одном терминале с другими видами является неоспоримым преимуществом, обеспечивающим большее удобство эксплуатации.

Основные элементы дистанционной защиты показаны на рис. 1 [3].

При наличии повреждений в зоне действия 1 ступени происходит срабатывание реле 1, 2 и 3 ступеней ($KZ1$, $KZ2$ и $KZ3$). Триггерные сигналы передаются на умножающие логические элементы. При этом на остальные входы схемы поступают сигналы на блокировку от перепадов AKB и блокировку от нарушения напряжения цепей KBV .

Элемент блокировки разрыва цепи напряжения KBV предназначен для подачи сигнала о запрете включения защиты в случае разрыва цепи напряжения, поскольку в случае автоматического выключателя или предохранителя существует возможность ложного срабатывания всей защиты, так как в этом режиме снижается напряжение, подаваемое на реле сопротивления.

Блокировка от качаний АКВ предназначена для создания сигнала о запрете срабатывания защиты в случае неустойчивости в энергосистеме.

Элементы логического умножения формируют на выходе сигнал, который направляется на выходное реле KL , которое, в свою очередь, направляет на выключатель, а также на реле времени KT_2 и KT_3 , команду на срабатывание без выдержки времени.

Рассмотрим теперь факт повреждения в зоне действия второй ступени защиты. В данном случае срабатывают реле второй и третьей ступени. Срабатывание выключателя происходит только после выдержки времени при помощи реле KT_2 0,4–0,5 сек.

Третья ступень срабатывает при выходе из строя по тем или иным причинам первой или второй ступени защиты или при выходе из строя защиты соседних присоединений.

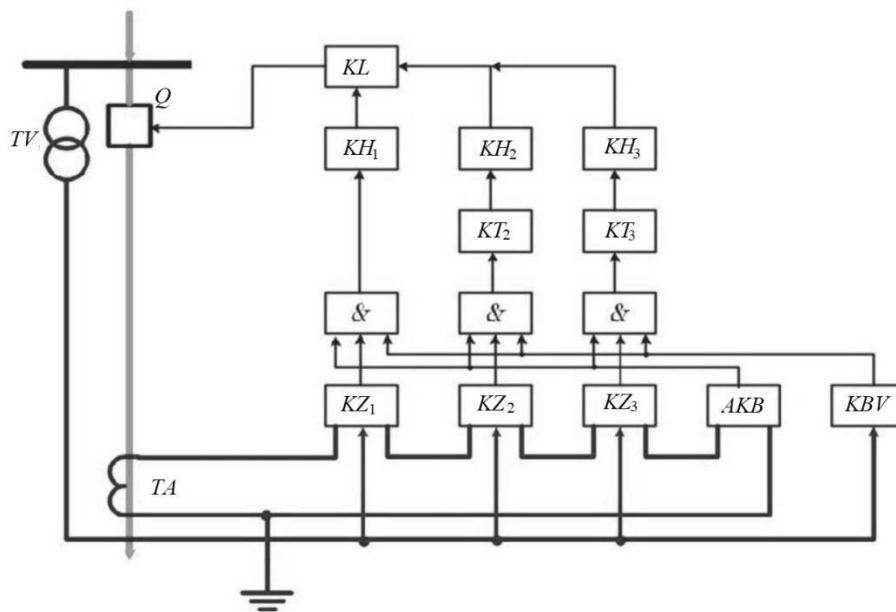


Рис. 1. Структурная схема дистанционной защиты:

Q – выключатель; TA – трансформатор тока; TV – трансформатор напряжения; KZ – реле сопротивлений; KT – реле времени; KH – элемент сигнализации; KL – промежуточное реле защиты; AKB – реле блокировки от качаний; KBV – реле блокировки от нарушения цепей напряжения

Корректно рассчитать надежность устройства защиты возможно только при наличии значений показателей надежности элементов, входящих в данные устройства, которые в реальных условиях подвержены более серьезным воздействиям, чем в справочниках. Вот почему в формуле (1) принята эксплуатационная интенсивность отказов [4]:

$$\lambda_3 = \lambda_0 \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

где m – число факторов, от которых зависит безотказная работа элементов; K_i – поправочный коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора.

Факторами m могут быть приняты различные внешние условия, такие как коэффициент нагрузки, температура, степень жесткости условий эксплуатации и др.

В качестве примера для рассмотрения порядка расчета надежности релейной защиты принята дистанционная защита ВЛЭП 110 кВ (рис. 1).

1. Рассмотрим режим дежурства. В нем невозможно ложное срабатывание устройств релейной защиты и автоматики из-за отказов основных измерительных приборов (трансформаторов тока и напряжения), проводов, а также срабатывание блокировки от нарушения цепей напряжения. При повреждении названных элементов рабочий ток, протекающий в линиях, слишком мал для активизации защиты. Однако они могут быть вызваны неправильной работой реле защиты от раскачивания (AKB).

Защита будет работать корректно только при условии исправной работы каждого из реле, представленных на рис. 2.

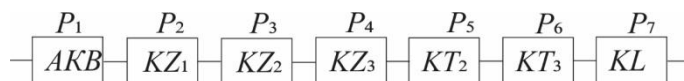


Рис. 2. Структурная схема надежности ДЗ для режима дежурства

В этом режиме дежурства вероятность работы с отсутствием ложных срабатываний рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{л.с.}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (2)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента, λ_i – интенсивность отказа i -го элемента (1/год), $t = 1$ год.

$$P_{\text{л.с.}} = 0,997.$$

2. Режим внутренних коротких замыканий

а) Некорректную работу устройства защиты в режиме однофазного короткого замыкания может вызвать такая аварийная ситуация, как обрыв кабельной линии, короткие замыкания вторичных, оперативных цепях и цепях напряжения.

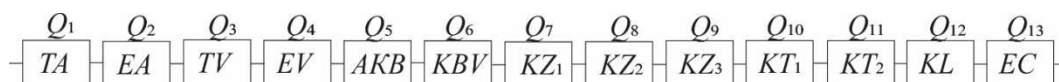


Рис. 3. Структурная схема надежности ДЗ для режима внутреннего однофазного КЗ в защищаемой зоне: ЕА – токовые цепи; EV – цепи напряжения; ЕС – оперативные цепи

Получается, что в отличие от режима ожидания на корректную работу системы защиты влияет уже надежность трансформаторов тока и напряжения, соединительных проводов (рис. 3).

$$P_{\text{л.с.}} = 0,991.$$

Отказ вышеперечисленных реле не обязательно приводит к отказу всей системы. Защита может сработать корректно, если до момента аварии произойдет восстановление отказавшего реле. По этой причине данный режим характеризуется основным расчетным показателем – коэффициентом готовности защиты:

$$k_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad (3)$$

где λ_i – интенсивность отказов функционирования защиты; μ_i – интенсивность восстановления.

б) Режимы двух- или трехфазного короткого замыкания характеризуются взаимным резервированием пусковых органов защиты, а именно трансформаторов тока и реле сопротивления, на защищаемом участке линии. Структурная схема надежности для данного режима включает в себя два или три параллельных участка (рис. 4 и 5).

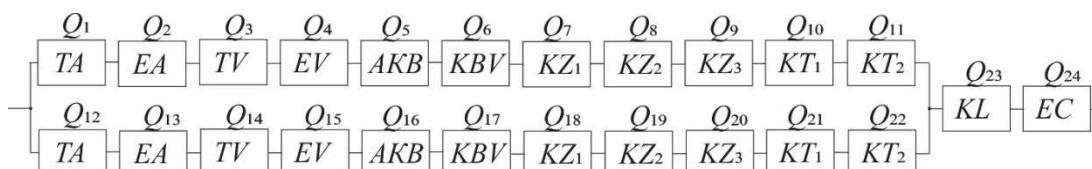


Рис. 4. Структурная схема надежности ДЗ для режима двухфазного КЗ

$$P_{\text{л.с.}} = (1 - q_{1-11} \cdot q_{12-22}) p_{23} \cdot p_{24} \quad (4)$$

$$P_{\text{л.с.}} = 0,984.$$

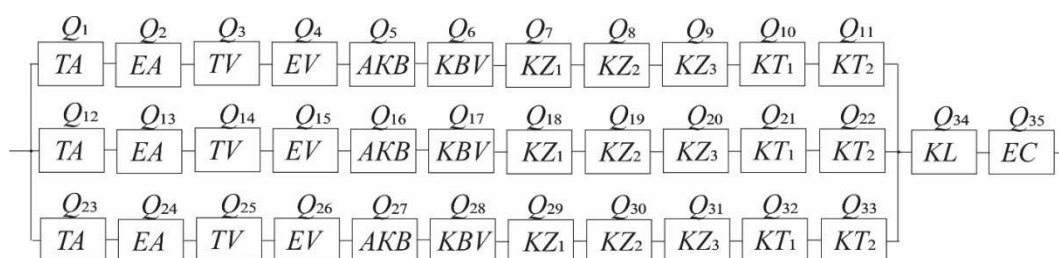


Рис. 5. Структурная схема надежности ДЗ для режима трехфазного КЗ

$$P_{\text{л.с.}} = (1 - q_{1-11} \cdot q_{12-22} \cdot q_{23-33}) p_{34} \cdot p_{35} \quad (5)$$

$$P_{\text{л.с.}} = 0,976.$$

3. Режим внешних коротких замыканий

Для него существует вероятность неселективного срабатывания релейной защиты только при неправильной установке уставки срабатывания на реле времени. Следовательно, модель (схема надежности) для данного режима содержит в себе только один элемент (рис. 6).

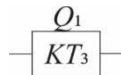


Рис. 6. Структурная схема надежности для режима внешнего КЗ

$$P_{\text{л.с.}} = P_1 = e^{-t\lambda_{\text{КТЗ}}} \quad (6)$$

$$P_{\text{л.с.}} = 0,9995.$$

В приведенном примере расчета заметно, что опасность отказа всей системы электроснабжения потребителей существует только при совпадении аварийного режима работы системы и отказа работы системы релейной защиты и автоматики. При невыполнении данного условия неработоспособность цепей защиты может остаться незамеченной.

Именно эта особенность является главной при определении надежности систем электроснабжения. Устройства релейной защиты и автоматики принято считать «сервисными» по отношению к участку защиты систем электроснабжения. В случае, если предприняты все необходимые меры по обслуживанию устройств релейной защиты, а также сама команда на срабатывание «обслужена» должным образом, вне зависимости от исправности РЗиА система электроснабжения не пострадает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеметов, А. Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / А. Н. Шеметов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2006. – 141 с.
2. Кузьмин, И. Л. Микропроцессорные устройства релейной защиты: учебное пособие / сост.: И. Л. Кузьмин, И. Ю. Иванов, Ю. В. Писковацкий. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 310 с.
3. Копьев, В. Н. Релейная защита: учебное пособие / В. Н. Копьев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
4. Боровиков, С. М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Н. Троян; под ред. С. М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.