Для наблюдения сигнала в режиме реального времени необходима высокая вычислительная мощность компьютера, поскольку поток данных от АЦП весьма интенсивен, а частота обновления информации на экране монитора во многом зависит от быстродействия ПК. Если плата АЦП не оснащена устройством, осуществляющим предварительную обработку и коммутацию цифрового потока, то данные функции приходится выполнять центральному процессору ПК, что приводит к его практически полной загрузке.

При повышении тактовой частоты АЦП и его разрядности с возросшим потоком с трудом справляются даже современные высокопроизводительные универсальные процессоры. Для решения этой проблемы используются цифровые сигнальные процессоры (DSP). Программируемая логика позволяет работать с высокоскоростными потоками, но, поскольку ее управление реализовано аппаратно, реконфигурация системы становится весьма трудоемкой.

Цифровые сигнальные процессоры, несмотря на определенные ограничения, попрежнему остаются одним из наиболее перспективных средств обработки сигналов. В этой связи использование DSP в платах АЦП, безусловно, является следующим шагом в развитии современных систем аналогового ввода.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *А.Е.Козярук*

УДК 621.316.9:621.366.925:621.315.3

Ю.М.БОРОДЯНСКИЙ
Горно-электромеханический факультет,
студент группы ЭР–97–2, ассистент профессора

ВЫБОР УСТАВОК ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ ПРОВОДАМИ

Анализ научно-технических достижений в области передачи и распределения электрической энергии среднего напряжения показал, что одним из основных способов повышения надежности и экономичности воздушных линий 6(10) кВ является замена в них неизолированных проводов на защищенные и установка соответствующих устройств защиты от перенапряжений и перегрузок по току. При этом уменьшаются вероятность возникновения многофазных КЗ и однофазных замыканий на землю. Однако под действием термических и грозовых воздействий изоляция может разрушаться, а провода оплавляться, что потребует значительных затрат на восстановление электроснабжения. Поэтому при применении защищенных проводов необходимо повышение чувствительности, быстродействия и надежности средств релейной защиты и сетевой автоматики распределительных сетей, что достигается использованием цифровых реле.

Токовая отсечка, построенная на электромеханических реле, может использоваться при определенных условиях в качестве дополнительной защиты совместно с максимальной токовой защитой (МТЗ). Отсечка действует без выдержки времени ($t_{р.з}$ = 0) и предохраняет только часть зоны, защищаемой МТЗ, вместе с тем она быстро отключает самые большие и опасные для изолированных проводов токи КЗ (вблизи питающей электроподстанции).

Наиболее перспективными с точки зрения защиты воздушных линий с защищенными проводами от двух- и трехфазных КЗ являются цифровые (микропроцессорные) реле защиты электроустановок. Цифровые реле обладают широкими функциональными возможностями при малой массе и габаритах, имеют высокую точность и производят непрерывную диагностику и самодиагностику.

The analysis of achievements of science and engineering in the field of electric power transmission and distribution of average voltage has shown the substitution of uninsulated wiring for the insulated one in the aerial transmission lines and the installation of suitable protection overvoltage and current overload devices to be one of the ways of the reliability and efficiency increase of 6(10) kV lines, thus reducing the probability of the initiation of polyphase short circuit and single-phase earth that result from all this. However, the isolation may fail and wiring fuse from exposure to heat and lightning whereas power supply restoration will require considerable expenses.

Therefore while using insulated wiring it is needed to increase the sensitivity, speed of response and reliability of the relay protection means and that of control relays of distributing mains that can be achieved by applying digital relays.

Current cut-off, constructed with the use of electromechanical relays, can be made the most of under certain conditions as additional protection combined with the highest possible current protection (HPCP). The cut-off operates without time delay ($t_{p.d} = 0$) and functions within the protected by HPCP zone only. At the same time, it turns off quickly the highest and the most dangerous for wiring short circuit currents (close to an energizing power station).

A digital (microprocessor) relay to protest electrical installations is the most promising from the point of view of protecting aerial from two-and-three-phase short circuits lines with insulated wiring.

Digital relays possess a wide range of functional potentialities with a small mass and overall dimensions. They also have high accuracy, as well as they carry out continuous diagnostics and self-diagnostics.

Надежность электроснабжения предприятий в значительной мере определяется надежностью воздушных линий (ВЛ) напряжением 6(10) кВ.

Наиболее распространенными видами повреждений ВЛ 6(10) кВ являются междуфазные короткие замыкания (КЗ), обрывы проводов, однофазные замыкания на землю. Восстановление и ликвидация последствий отказов требует больших затрат, поэтому особую важность приобретает повышение надежности ВЛ 6(10) кВ.

Анализ научно-технических достижений в области передачи и распределения электрической энергии среднего напряжения показал, что одним из основных способов повышения надежности и экономичности ВЛ 6(10) кВ является замена в них неизолированных проводов на защищенные и установка соответствующих устройств защиты от перенапряжений и перегрузок по току. При этом уменьшаются вероятность возникновения многофазных КЗ и однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Однако в результате термических и грозовых воздействий может иметь место разрушение изоляции и оплавление проводов, что потребует значительных затрат на восстановление электроснабжения. Поэтому при применении защищенных проводов требуется повышение чувствительности, быстродействия и надежности средств релейной защиты и сетевой автоматики распределительных сетей, что достигается использованием цифровых реле.

Цифровые защиты выполняются, как правило, трехфазными, двух- или трехступенчатыми. Первая ступень 3I >>> – отсечка, вторая ступень 3I >> – отсечка с выдержкой времени, третья ступень 3I > – максимальная токовая защита (МТЗ). Ток срабатывания отсечек значительно больше, чем у МТЗ. Поэтому токовые отсечки относят к «грубым» ступеням защиты, а МТЗ – к «чувствительной» ступени. Ток срабатывания МТЗ выбирается по трем условиям:

1) несрабатывание защиты после отключения КЗ на предыдущем участке;

2) согласование чувствительности защит последующего и предыдущего участков, причем в радиальных сетях уставки защит согласовываются попарно;

3) обеспечение требуемой чувствительности в основной зоне и зонах дальнего резервирования.

В соответствии с первым условием для предыдущей зоны ток срабатывания защиты

$$I_{\text{с.з}} = \frac{K_{\text{н}} K_{\text{сзп}}}{K_{\text{в}}} I_{\text{раб.max}}, \qquad (1)$$

где $I_{\text{раб.max}}$ – максимальный рабочий ток в конце защищаемой зоны; $K_{\text{н}}$ и $K_{\text{сзп}}$ – коэффициенты надежности и самозапуска; $K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, для цифровых реле $K_{\text{в}} = 0{,}96$.

При отсутствии в составе нагрузки электродвигателей напряжением 6(10) кВ и времени срабатывания МТЗ более 0,3 с принимается $K_{\text{сзп}} \geq 1{,}1 \div 1{,}3$. Максимальное значение коэффициента $K_{\text{сзп}}$ определяется условиями пуска полностью заторможенных двигателей.

По второму условию ток срабатывания последующей защиты является модулем комплекса $I_{\text{с.з.посл}}$, который определяется из уравнения

$$I_{\text{с.з.посл}} = k_{\text{н.с}} \times$$

$$\times \left[\text{MAX}\left(\sum \vec{I}_{\text{с.з.пред.max}}\right) + \sum_{i=1}^{N-n} \vec{I}_{\text{раб.max}\,i} \right], \quad (2)$$

где $k_{\text{н.с}} = 1{,}1$ – коэффициент надежности согласования чувствительности ступени МТЗ; $\text{MAX}\left(\sum \vec{I}_{\text{с.з.пред.max}}\right)$ – модуль наибольшей из геометрических сумм токов срабатывания максимальных токовых защит параллельно работающих предыдущих элементов; $\sum_{i=1}^{N-n} \vec{I}_{\text{раб.max}}$ – геометрическая сумма максимальных значений рабочих токов всех предыдущих элементов (N), за исключением тех, которые входят в наибольшую геометрическую сумму токов срабатывания максимальных токовых защит параллельно работающих предыдущих элементов (n).

Для проверки реализации третьего условия определяется коэффициент чувствительности по первичным значениям тока КЗ и срабатывания защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{k.\min}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1{,}5, \quad (3)$$

где $I^{(2)}_{k.\min}$ – ток двухфазного КЗ в минимальном режиме, который может быть принят равным $0{,}45I^{(3)}_{\max}$.

Выдержка времени последующей ступени МТЗ определяется из уравнения

$$t_{\text{с.з.посл.}} = t_{\text{с.з.пред}} + \Delta t. \quad (4)$$

Ступень селективности Δt для цифровых защит принимается 0,15-0,2 с. В цифровых защитах при выполнении согласования уставок имеется возможность выбора и изменения времятоковых характеристик.

При выборе характеристики должны быть определены кратность тока, время срабатывания защиты при этой кратности и «временной» коэффициент k по формуле

$$k = \frac{t_{\text{с.з}}(I_*^{\alpha} - 1)}{\beta}, \quad (5)$$

где $I_* = I_k / I_{\text{с.з}}$ – кратность тока КЗ 1к по отношению к току срабатывания защиты; $t_{\text{с.з}}$ – время срабатывания защиты, с.

Для различных типов времятоковых характеристик постоянные коэффициенты α и β имеют следующие значения: $\alpha = 0{,}02$, $\beta = 0{,}14$ – «нормальная»; $\alpha = 1{,}0$, $\beta = 13{,}5$ – «очень зависимая»; $\alpha = 2{,}0$, $\beta = 80{,}0$ – «экстремально зависимая»; $\alpha = 1{,}0$, $\beta = 120{,}0$ – «зависимая с очень продолжительным временем».

При согласовании селективности действия защиты в сетях 6(10) кВ рассматриваются следующие ситуации:

- предыдущим элементом является трансформатор 10/0,4 кВ, защита которого выполнена плавкими предохранителями, а последующим элементом воздушной линии с изолированными проводами (ВЛИ) – защита на цифровом реле;
- на предыдущей линии установлена защита на электромеханическом реле с обратнозависимой времятоковой характеристикой, а на последующей ВЛИ – защита на цифровом реле;
- на предыдущей линии установлена защита на электромеханическом реле, для которого введена токовая отсечка, а на последующей ВЛИ – защита на цифровом реле;
- на предыдущей линии установлена защита на цифровом реле с обратнозависимой времятоковой характеристикой, а на последующей ВЛИ установлена МТЗ с независимой характеристикой;
- предыдущий участок представляет собой сеть с параллельно работающими линиями, а на последующем участке установлена цифровая защита на реле с обратнозависимой времятоковой характеристикой.

После выбора выдержек времени максимально-токовых защит по условию селективности необходимо выполнить проверку проводов ВЛИ на термическую стойкость.

В тех случаях, когда МТЗ не обеспечивает термической стойкости изолированных проводов, применяются токовые отсечки. Время срабатывания токовой отсечки, определенное с учетом действия автоматического повторного включения (АПВ) и подпитки ТКЗ электродвигателями напряжением свыше 1 кВ, должно удовлетворять уравнению

$$t_{П} \le \frac{I_{T}^{2} t_{T}}{K_{ПД} I_{k}^{(3)}}. \qquad (6)$$

В тех случаях, когда выбранные характеристики и уставки защит воздушной линии с защищенными проводами (ВЛЗ) не удовлетворяют требованиям термостойкости, должно быть выполнено одно из следующих мероприятий:

- ограничена величина тока короткого замыкания путем реактирования линии;
- уменьшен максимальный рабочий ток линии;
- увеличено сечение изолированного провода;
- увеличен ток $I_{k.\min}^{(2)}$ путем уменьшения длины защищаемой основной зоны с помощью установки автоматических секционирующих выключателей;
- исключено АПВ или максимально возможно ускорено действие защиты при АПВ;
- обеспечена отстройка неселективной отсечки от бросков тока намагничивания трансформаторов 6(10)/0,4(0,69) кВ;
- разрешено неселективное срабатывание МТЗ линии при малых значениях тока КЗ при внутренних КЗ трансформаторов 6(10)/0,4(0,69) кВ, подключенных к ВЛЗ через плавкие предохранители;
- разрешено невыполнение дальнего резервирования при КЗ в конце длинного предыдущего участка ВЛЗ.

Токовая отсечка, построенная на электромеханических реле, может использоваться, при определенных условиях, в качестве дополнительной защиты совместно с МТЗ. Отсечка действует без выдержки времени ($t_{р.з} = 0$) и только на части зоны, защищаемой МТЗ, но зато быстро отключает самые большие и опасные для изолированных проводов токи КЗ (вблизи питающей электроподстанции).

Наиболее перспективными, с точки зрения защиты ВЛЗ от двух- и трехфазных КЗ, являются цифровые (микропроцессорные) реле защиты электроустановок, обладающие широкими функциональными возможностями при малом весе и габаритах, имеющие высокую точность и производящие непрерывную диагностику и самодиагностику.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *Б.Н.Абрамович*