

*В.Т. Заика, д-р техн. наук, Г.М. Бажин, канд. техн. наук,  
А.С. Румянцев, П.В. Немер  
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМАХ ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

По статистическим данным ежегодно на шахтах Украины происходит от 50 до 80 подземных пожаров [1], ущерб от которых, для предприятий отрасли составляет от 20 до 40 млн. грн. в год. Основная причина пожаров в угольных шахтах опасных по газу и пыли – однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) в подземных электрических сетях. Причем в сетях напряжением 6 кВ наиболее опасными, с точки зрения инициирования пожаров, являются дуговые ОЗЗ в кабелях.

На данный момент не существует универсальной селективной защиты от ОЗЗ в сетях с изолированной нейтралью, которая бы соответствовала установленным требованиям [2]. Следует также отметить низкую селективность существующих направленных защит от ОЗЗ, которые применяются в комплектных распределительных ячейках типа КРУВ–6. К тому же данная защита выполнена на устаревшей элементной базе.

Поэтому возникла необходимость в усовершенствовании существующей защиты от ОЗЗ, в частности, использование микропроцессорных устройств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ методов выявления ОЗЗ в сетях с изолированной нейтралью;
- выявить информационные признаки, необходимые для распознавания ОЗЗ;
- оценить эффективность программной идентификации ОЗЗ в подземных электрических сетях угольных шахт.

В подземных электрических сетях угольных шахт особую опасность представляют перемежающиеся ОЗЗ.

Из-за опасности, которую несут ОЗЗ в подземных условиях, исследования аварийных режимов в системе подземного электроснабжения угольных шахт чрезвычайно затруднены. Поэтому для определения параметров режима ОЗЗ и проверки алгоритма работы защиты использованы общепринятые методы моделирования систем электроснабжения. Для конкретных исследований создана модель участка СПЭП. Параметры элементов модели определены применительно к схеме участка подземной электрической сети шахты «Герновская» ОАО «Павлоградуголь» (рис. 1). Данные расчетов приведены в табл. 1.

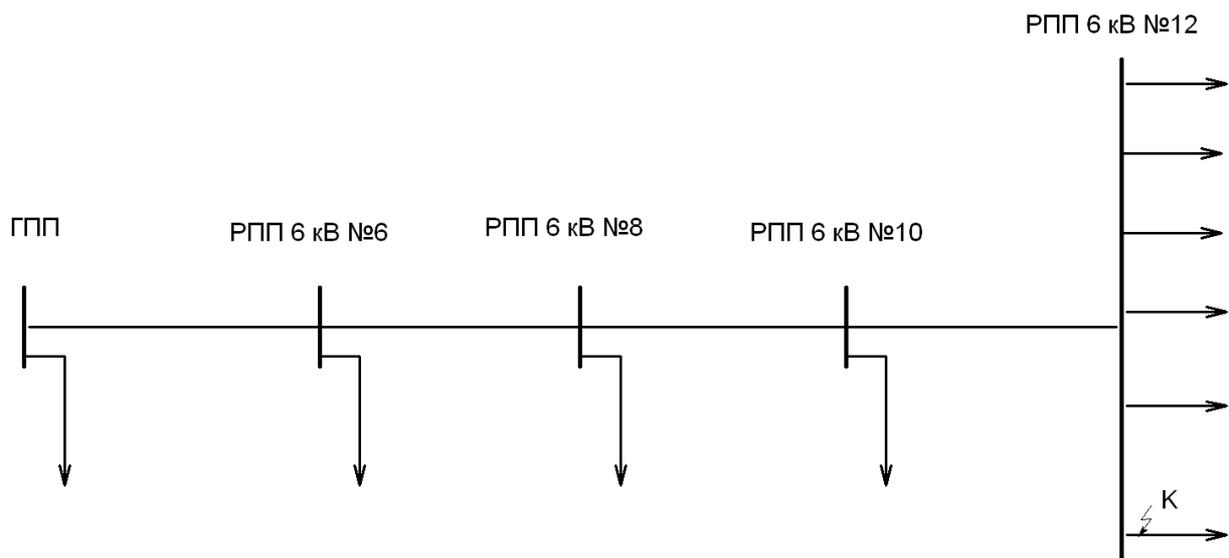


Рис. 1. Участок моделируемой сети

Таблица 1

**Параметры элементов системы электроснабжения**

| Участок                     | Сечение, мм <sup>2</sup> | Длина, м | R, Ом | X, Ом/м*10 <sup>-4</sup> | C, мкФ/км |
|-----------------------------|--------------------------|----------|-------|--------------------------|-----------|
| ГПП-ЦПП                     | 3x95                     | 450      | 0,29  | 1,8                      | 0,12      |
| ЦПП-РПП№6                   | 3x50                     | 1640     | 1,05  | 6,58                     | 0,46      |
| РПП 6 кВ №6-<br>РПП 6 кВ №8 | 3x50                     | 320      | 0,21  | 1,28                     | 0,09      |
| РПП №8- РПП<br>№10          | 3x50                     | 900      | 0,58  | 3,61                     | 0,25      |
| РПП №10-РПП<br>№12          | 3x50                     | 1200     | 0,65  | 4,09                     | 0,29      |
| Присоединения<br>РПП №12    | 3x50                     | 1250     | 0,8   | 5,02                     | 0,35      |
|                             | 3x50                     | 75       | 0,05  | 3,01                     | 0,02      |
|                             | 3x50                     | 1510     | 0,97  | 6,06                     | 0,42      |
|                             | 3x50                     | 1100     | 0,71  | 4,41                     | 0,31      |
|                             | 3x50                     | 385      | 0,25  | 1,54                     | 0,11      |
|                             | 3x50                     | 780      | 0,5   | 3,13                     | 0,22      |

При исследовании на модели имитировалось повреждение на одном из отходящих присоединений РПП 12. В результате моделирования были получены осциллограммы следующих аварийных режимов:

- «металлическое» ОЗЗ;
- ОЗЗ через перемежающуюся симметричную дугу;
- ОЗЗ через перемежающуюся несимметричную дугу.

Для случая с перемежающейся несимметричной дугой – самый сложный для идентификации, характер переходного процесса в поврежденном присоединении показан на рис. 2 и 3. Замыкание происходит в фазе А в момент перехода тока через 0 (на осциллограммах соответствует абсциссе 0,1 с) – в этом случае апериодическая составляющая тока замыкания максимальна и переходный процесс самый «тяжелый». Общее время моделирования аварийного про-

цесса составляет 0,3 с.

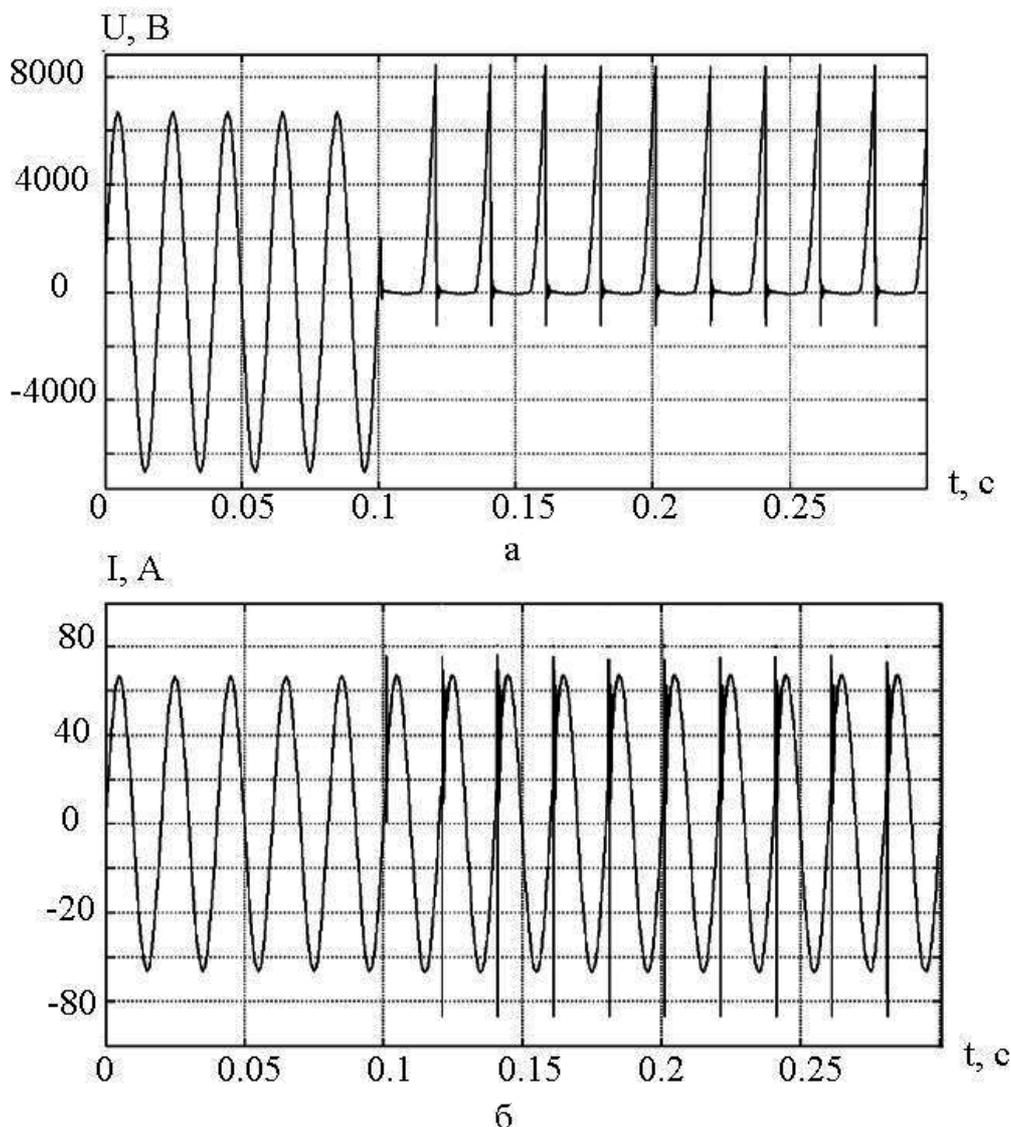


Рис. 2. Осциллограммы перемежающегося несимметричного ОЗЗ:  
а – напряжение поврежденной фазы;  
б – ток поврежденной фазы.

Полученные результаты показывают, что при перемежающемся ОЗЗ в сети за каждый период дуга зажигается и гаснет. Время затухания апериодической составляющей тока составляет 0,005 с (рис. 3,в). Такой режим опасен для оборудования систем электроснабжения из-за возникновения перенапряжений. Следует отметить, что при этом режиме напряжение и ток нулевой последовательности сдвинуты на  $90^\circ$ , что указывает на направление мощности нулевой последовательности (НП) в поврежденном присоединении. В таких присоединениях мощность НП является отрицательной, а в неповрежденных – положительной. Поэтому в дополнение к известным [2, 3], этот признак может быть использован для выделения присоединения с ОЗЗ.

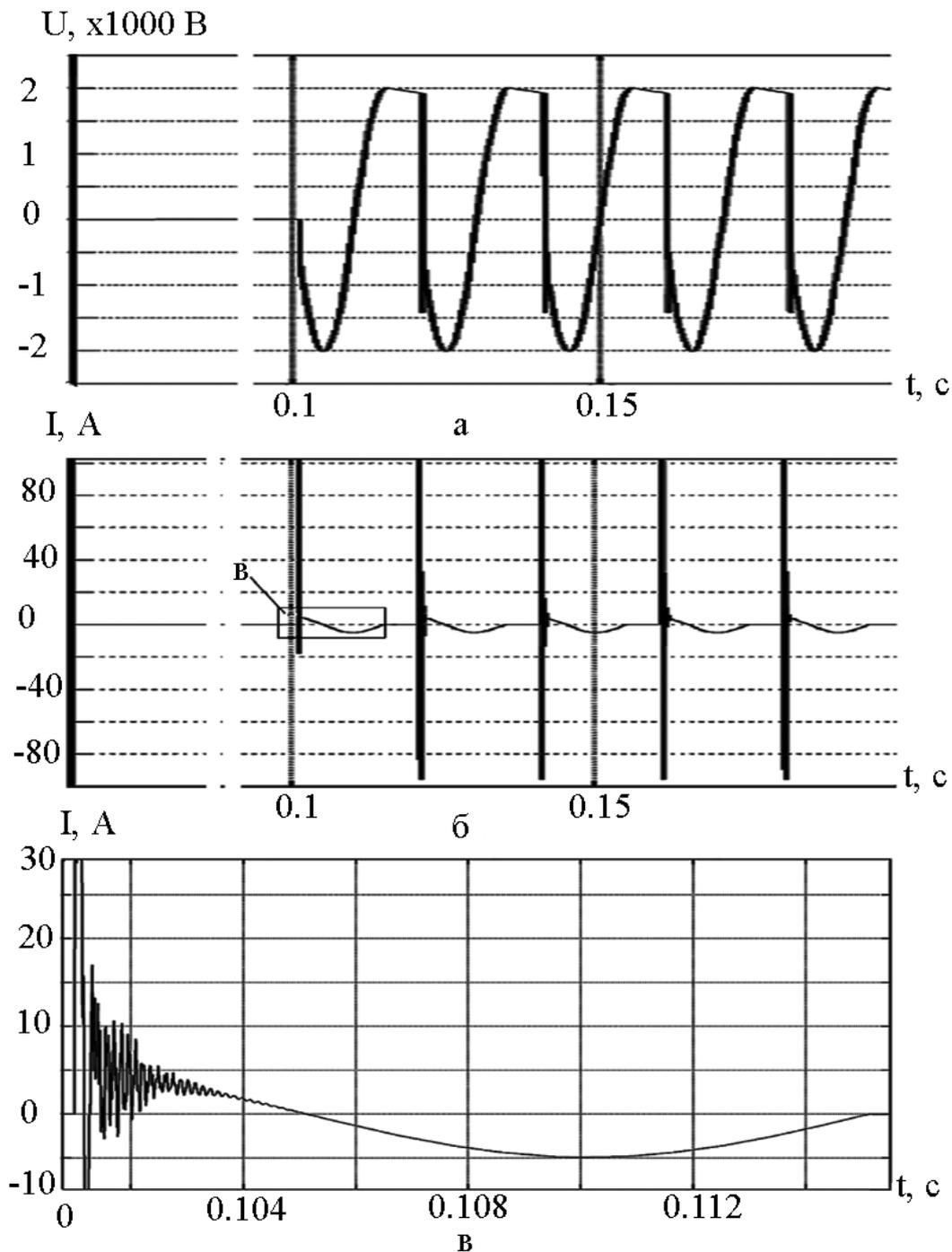


Рис. 3. Осциллограммы перемежающегося несимметричного ОЗЗ:  
 а – напряжение нулевой последовательности:  
 б – ток нулевой последовательности:  
 в – ток нулевой последовательности (увеличено).

Исследования и опыт применения защит от ОЗЗ показали, что защитные устройства, реагирующие на параметры установившегося или переходного процесса, имеют ряд недостатков. Те из них, которые реагируют на параметры установившегося режима, практически не срабатывают в случае замыкания через перемежающуюся дугу, а реагирующие на параметры переходного режима, имеют низкую селективность и большое число ложных срабатываний. Повысить эффективность устройств защиты от ОЗЗ возможно, если в дополнение к

способу сравнения амплитуд переходных токов в фазах отходящих присоединений применить определение знака мгновенной мощности нулевой последовательности.

Определение амплитуд токов в фазах отходящих присоединений производится с помощью известных методов и технических средств, а определение направления токов (напряжений) чаще выполняется на основе разложения в ряд Фурье. Данный метод требует больших вычислений. Более эффективным является метод фазовой демодуляции [4]. Идея метода определения фазы сигнала состоит в перемножении входного сигнала с двумя опорными сигналами, которые имеют одинаковую частоту, но сдвинуты по фазе один относительно другого на  $90^\circ$ . Полученные сигналы снова перемножают и интегрируют. На выходе системы напряжение пропорционально сдвигу фазы входного сигнала относительно опорного. Приняв фазу опорного сигнала равной нулю, можем определить фазу входного сигнала.

Для оценки эффективности данного способа при распознавании ОЗЗ в электрических сетях было проведено моделирование алгоритма работы защиты, основанного на методе фазовой демодуляции.

Суть алгоритма определения возникновения сводится к следующему.

При превышении током одной из фаз заданной уставки по току определяются знаки напряжения и тока нулевой последовательности (т.е. определяется направление мощности нулевой последовательности). Если значение мощности нулевой последовательности на данном присоединении отрицательно, то вырабатывается сигнал на отключение данного присоединения.

Результаты, полученные при моделировании аварийных режимов, были использованы при проверке алгоритма распознавания ОЗЗ. Сигнал об ОЗЗ выдавался во всех режимах. На рис. 4 изображен сигнал об отключении перемежающегося несимметричного ОЗЗ (характер переходного процесса для этого случая показан на рис. 2 и 3). Сигнал на отключение подается через 0,006 с после возникновения аварийного режима, т.е. после окончания переходного процесса в первый период промышленной частоты, что обусловлено необходимостью отстройки от апериодической составляющей для уменьшения числа ложных срабатываний защиты. В неповрежденных присоединениях сигнал на отключение не выдавался, что говорит о достаточно высокой селективности работы защиты, основанной на данном методе. При металлическом ОЗЗ и ОЗЗ через симметричную перемежающуюся дугу сигнал об отключении также вырабатывается. Такой же результат получается при замыканиях в моменты, когда ток повреждаемой фазы не равен нулю.

Алгоритм работы защиты от однофазных замыканий на землю, основанный на совместном использовании амплитуд переходных токов и знака мощности нулевой последовательности апробирован на математических моделях, что свидетельствует о возможности его применения для создания эффективных устройств защиты от ОЗЗ.

Предлагаемый алгоритм имеет ряд преимуществ по сравнению с имеющимися методами идентификации ОЗЗ:

- является достаточно быстродействующим

- сигнал о наличии ОЗЗ выдается через 0,06 с после возникновения аварийного режима, что соответствует требованиям, предъявляемым к устройствам защиты для угольных шахт;

- позволяет идентифицировать любой вид ОЗЗ;

- не требует больших вычислений;

- реализуется как аппаратно, так и программно.

Таким образом, данный подход может быть использован для создания современных микропроцессорных устройств защиты для угольных шахт.

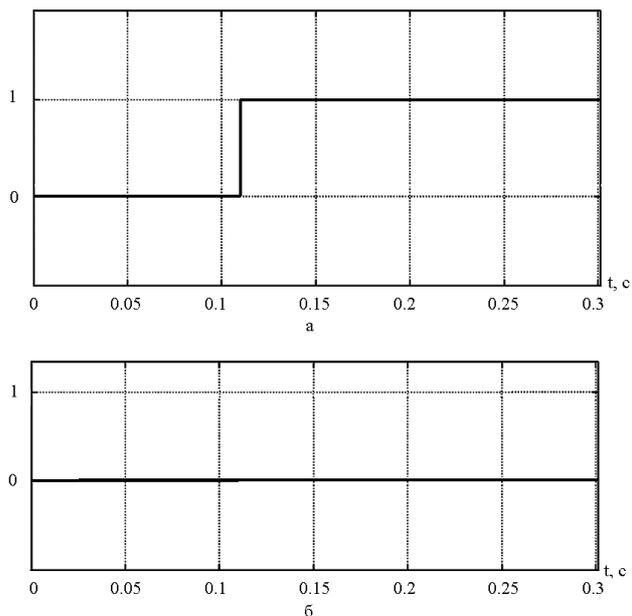


Рис. 4. Сигнал на отключение перемежающегося ОЗЗ: а – поврежденное присоединение; б – неповрежденное присоединение

#### Список литературы

1. Товстик Ю. В. Оценка пожаробезопасности участка угольной шахты с обособленным электроснабжением сети 6 кВ. //Новини енергетики. – 2005. – №7. – С. 17.
2. Назаров В. В. Защита от однофазных замыканий на землю. - К.: Либідь, 1992.-124 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 679 с.
4. Базилевич М. В., Сабадаш І. О. Мікропроцесорна система розпізнавання замикання на землю за знаковими функціями сигналів//Новини енергетики. – 2005. – №3. – С. 20.