

Рис. 5 Графіки залежностей $K_{U(n)}$ від α при використанні уточнених моделей:
1 – $K_{U(3)}$; 2 – $K_{U(5)}$; 3 – $K_{U(7)}$; 4 – $K_{U(9)}$

Висновки. На основі отриманих залежностей можна зробити висновок, що розглянута математична модель мережі низької напруги з навантаженням у вигляді випрямляча дозволяє визначити викривлення синусоїдальних кривих напруги мережі НН з навантаженням, що зосереджено в одному вузлі.

Список літератури

1. Barton T.H. Rectifiers, Cycloconverters and AC Controllers / T.H. Barton – Oxford: Clarendon Press, 1994. – 670 p.
2. Абакумов П.Н. Фильтр-стабилизатор переменного напряжения для питания переносного компьютера [Текст] / П.Н. Абакумов, С.А.Баранов // Электротехника, 1993. – №1. – с. 57-61
3. Шидловский А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях [Текст] / А.К. Шидловский, А.Ф. Жарин. – К.: Наук. думка, 2005. – 216 с.

Рекомендовано до друку доц. Азюковським О.О.

УДК 621.316.9

А.Н. Гребенюк канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет")

ПРИНЦИП ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ПРИ ОБРЫВЕ ПРОВОДА ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

При обрыве фазного провода в воздушных карьерных распределительных сетях напряжением 6 кВ, в зависимости от места разрыва провода по отношению к опоре ЛЭП, возможны три режима замыкания [1, 2, 3]:

- замыкание на землю со стороны источника (классическое однофазное замыкание на землю);
- замыкание на землю со стороны электроприемника (касание земли проводом, связанным только с потребителем);
- замыкание на землю в двух точках, со стороны источника и со стороны электроприемника.

Выполненные исследования процессов и характеристик аварийных токов при замыканиях на землю при обрыве провода карьерных ЛЭП, а также анализ результатов исследований работоспособности средств защиты показали, что вероятно несрабатывание штатных и даже наиболее перспективных устройств защиты от замыканий на землю при определенных аварийные режимы. К таким аварийным режимам можно отнести замыкания на землю со стороны электроприемника, которые характеризуются уменьшением практически в два раза по сравнению с классическим видом замыкания напряжения и токов нулевой последовательности при прочих равных условиях. Если при этом учесть переходное сопротивление в точке замыкания (особенно в сухую или морозную погоду), то вероятность несрабатывания устройств защиты резко возрастает [4, 5, 6].

Длительное существование однофазного замыкания на землю (не отключение аварийного режима) как правило, сопровождается появлением более тяжелых для оборудования систем электроснабжения и более опасных для технологического персонала аварийных режимов. Исходя из этого, в общем случае основной целью защиты от замыканий на землю в распределительных сетях систем электроснабжения предприятий с передвижными электроустановками является предотвращение дальнейшего развития аварии и появления, наиболее опасных для обслуживающего персонала двойных замыканий на землю [7].

Целью работы является обеспечение необходимого уровня электробезопасности в карьерных сетях при возникновении аварийных режимов связанных с обрывом и падении провода.

Обеспечить необходимый уровень электробезопасности в карьерных сетях в рассматриваемых условиях представляется возможным исключив появления опасных процессов. Для исключения появления в карьерных распределительных сетях аварийных режимов связанных с обрывом фазного провода воздушной ЛЭП и предотвращения дальнейшего развития аварии предлагается использовать принцип защитного (опережающего) отключения. Указанное мероприятие при соответствующей его реализации способно предотвратить появления режима замыкания на землю при обрыве фазного провода воздушной ЛЭП за счет отключения линии от источника питания до момента касания оборванным проводом земли.

Для оценки возможности реализации принципа защитного (опережающего) отключения в условиях карьерных распределительных сетей следует исследовать временные интервалы, связанные с процессами обнаружения обрыва и прекращения подачи рабочего напряжения на аварийную линию с одной стороны, и процесса движения оборванного провода до момента касания его земли или оборудования. В общем случае время отключения аварийной линии в случае обрыва фазного провода определяется выражением:

$$t_{\text{отд}} = t_{\text{н.с}} + t_{\text{г.с}} + \Delta t, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{с.з}}$ - собственное время срабатывания устройства защитного (опережающего) отключения, которое тратится на обнаружение разрыва и формирование управляющей команды (до 0,1 с);

$t_{\text{о.в}}$ - время срабатывания на отключение силового выключателя, установленного в начале линии на карьерной подстанции или карьерном распределительном пункте и составляет не более 0,2 с;

Δt – возможная выдержка времени устройства защитного (опережающего) отключения. Учитывая, что карьерные линии относятся, как правило, к последней ступени системы распределения электроэнергии, указанное время принимается равным нулю.

Падение оборванного (разорванного) провода воздушной ЛЭП в общем случае в зависимости от натяжения провода и других факторов будет осуществляться по сложной траектории, близкой к параболической, что увеличивает время до момента касания с землей. Минимальное, хотя и не реальное, время падения соответствует вертикальному падению. Интервал времени от момента разрыва фазного провода до касания его с землей со стороны источника K_1 и со стороны электроприемника K_2 (время падения провода) в соответствии с рис.4.1 по упрощенной методике (падение вертикальное) определится формулой:

$$t = \left(2 \cdot h \cdot g^{-1}\right)^{0,5}, \quad (4.2)$$

где h - высота подвески фазного провода карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ (6 м);
 g - ускорение свободного падения.

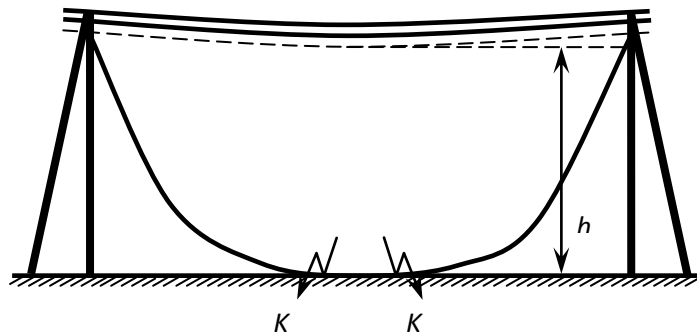


Рис. 1. Обрыв фазного провода воздушной ЛЭП.

Выполненные для указанных физических параметров карьерных воздушных ЛЭП расчеты показали, что интервал времени от момента разрыва провода до момента касания его с землей составляет 1,1 с, а время отключения аварийной линии в случае обрыва фазного провода составит не более 0,3 с.

Електропостачання та електроустаткування

Из сказанного следует, что существует реальная возможность с помощью специального устройства защиты от обрыва фазного провода карьерной воздушной ЛЭП предотвратить режим замыкания на землю.

Один из предполагаемых способов обнаружения обрыва фазного провода воздушной ЛЭП является исчезновение тока в поврежденной фазе. Для обеспечения выполнения требования надежности действия (исключения ложного срабатывания) предлагаемого устройства защитного отключения при обрыве фазного провода необходимо проанализировать следующие возможные причины кратковременного отсутствия рабочих токов в одной из фаз в линии:

- обрыв провода одной фазы ЛЭП;
- одновременный обрыв проводов двух фаз ЛЭП;
- несимметричное отключение линии силовым выключателем (разновременность размыкания контактов);
- несимметричное включение нагруженной линии (разновременность замыкания контактов);
- неполнофазный режим распределительной сети.

Обозначим возможные логические состояния воздушной линии распределительной сети карьера в виде функции f_i с устойчивыми значениями переменных x_1, x_2, x_3 , которые отражают состояние соответствующих фаз ЛЭП и принимают значения 0 или 1, где 1 - наличие тока в соответствующей фазе; 0 - отсутствие тока в соответствующей фазе. Три переменных x_1, x_2, x_3 , отражающих состояние могут иметь двенадцать наборов значений единиц и нулей, которые представлены в таблице 1.

На основе таблицы имеем следующие логические состояния линии и выключателя в начале линии:

- $f_1 (1,1,1)$ - наличие тока во всех трех фазах одновременно, выключатель включен;
- $f_2 (0,1,1), f_3 (1,0,1), f_4 (1,1,0)$ - отсутствие тока соответственно в фазах A, B и C , выключатель включен;
- $f_5 (0,0,1), f_6 (0,1,0), f_7 (1,0,0)$ - отсутствие тока в двух фазах соответственно в фазах A, B и C , выключатель включен;
- $f_8 (0,0,0)$ - отсутствие тока во всех трех фазах линии одновременно, выключатель включен;
- $f_9 (0,0,0)$ - отсутствие тока во всех трех фазах линии одновременно, выключатель отключен;
- $f_{10} (0,0,1)$ - отсутствие тока в фазах A и B при наличии тока в одной фазе C , выключатель отключен;
- $f_{11} (0,1,0)$ - отсутствие тока в фазах A и C при наличии тока в одной фазе B , выключатель отключен;
- $f_{12} (1,0,0)$ - отсутствие тока в фазах B и C при наличии тока в одной фазе A , выключатель отключен.

Функция f_1 реализует нормальный режим работы линии и наличие нагрузки в каждой фазе (отсутствие разрыва). Состояния f_2, f_3, f_4 воздушной ЛЭП, которым соответствует замкнутое состояние силового выключателя, являются рабочими, а отсутствие тока в одной из фаз возможно при обрыве (разрыве) фазного провода или разновременность замыкания контактов выключателя при включении линии.

Таблица 1.

Таблица состояний воздушной ЛЭП и ее выключателя

Состояние линии f_i	x_1	x_2	x_3	Состояние выключателя F
f_1	1	1	1	Включен
f_2	0	1	1	
f_3	1	0	1	
f_4	1	1	0	
f_5	0	0	1	
f_6	0	1	0	
f_7	1	0	0	
f_8	0	0	0	
f_9	0	0	0	Отключен
f_{10}	0	0	1	
f_{11}	0	1	0	
f_{12}	1	0	0	

Функциям состояния f_5, f_6, f_7 , и f_8 соответствует замкнутое состояние силового выключателя при одновременном обрыве проводов двух фаз карьерной линии сопровождающееся, как правило, двухфазным коротким замыканием.

Функциям состояния $f_9, f_{10}, f_{11},$ и f_{12} соответствует разомкнутое состояние силового выключателя или режим несимметричного отключения линии силовым выключателем (разновременность размыкания контактов).

Защита от обрыва фазного провода карьерной ЛЭП должна срабатывать при отсутствии тока в одной из фаз линии или его резком уменьшении, что соответствует обрыву провода одной фазы. Одновременный обрыв проводов двух фаз карьерной линии сопровождается, как правило, двухфазным коротким замыканием, при котором действует на отключение максимальная токовая защита или токовая отсечка. Несимметрия токов в фазах обусловленная работой силовых коммутационных аппаратов (как при включении так и при отключении выключателя) составляет не более двадцати миллисекунд и устройство защитного отключения при обрыве фазного провода должно отстраиваться от таких режимов.

В качестве принципа действия обнаружения обрыва фазного провода в воздушной ЛЭП и реализации устройства защитного отключения принимаем явление обесточивания одной из фаз контролируемой линии. Для контроля токов в фазах линии в качестве первичных датчиков предлагается использовать линейные трансформаторы тока, включенные в начале линии.

Учитывая, что устройство работает по принципу только контроля наличия токов в фазах (а не измерения), для получения адекватного сигнала для использования его в логической части схемы устройства, на вторичные обмотки трансформаторов тока включают трансреакторы, вторичные обмотки которых нагружены высокоомными входами согласующих элементов схемы логического блока.

На выходе трансреакторов появляется ЭДС пропорциональная значению первичного тока соответствующей фазы. Отсутствие выходного сигнала соответствует отсутствию тока в соответствующей фазе контролируемой линии по причине обрыва провода, отключения всех потребителей, либо по причине отключения всей линии (источника питания). Применение трансреакторов позволяет резко повысить чувствительность устройства и контролировать даже токи холостого хода маломощных электроприемников.

в ячейках карьерных распределительных устройств напряжением 6 - 35 кв штатные трансформаторы тока, которые также могут быть использованы для целей реализации защитного отключения при обрыве провода, установлены только в двух фазах.

При этом контроль наличия тока в фазе без трансформатора тока может быть обеспечен использованием трех трансреакторов и соответствующим их подключением к трансформаторам тока (рис. 2).

На рисунке 2 представлены: а) функциональная схема устройства защитного отключения воздушной ЛЭП при обрыве фазного провода на основе двух трансформаторов тока; б) векторная диаграмма первичных токов в линии при отсутствии обрыва на линии; в) векторная диаграмма вторичных токов (в первичных обмотках трансреакторов) опять же при отсутствии разрыва фазного провода; г) векторная диаграмма вторичных токов (в первичных обмотках трансреакторов) при разрыве провода фазы, на которой отсутствует трансформатор тока.

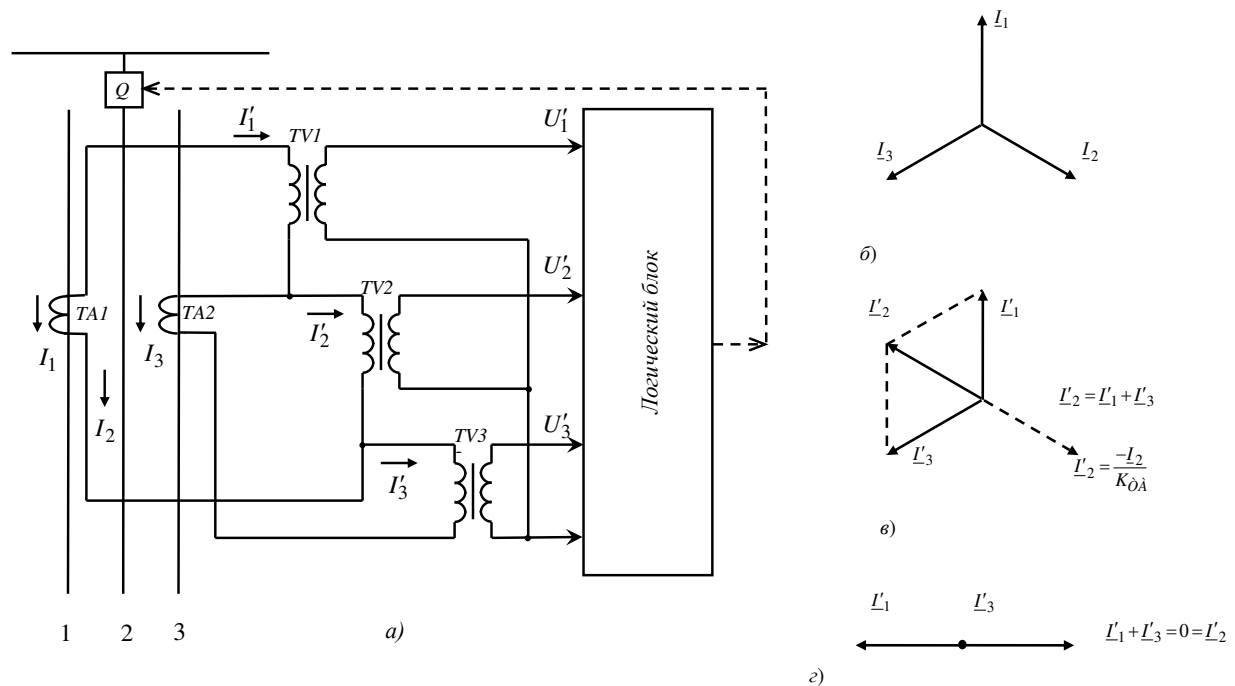


Рис.2. Реализация устройства защитного отключения при обрыве фазного провода на линии с двумя трансформаторами тока

Выводы:

1. Существует реальная возможность при обрыве провода воздушной линии электропередач карьерных распределительных сетей отключения напряжения до падения провода на землю.
2. В качестве принципа действия для обнаружения обрыва фазного провода в воздушной ЛЭП распределительной сети и реализации устройства защитного отключения принимаем явление исчезновения или резкого и глубокого снижения тока в одной из фаз контролируемой линии.

Список литературы

1. Гребенюк А.Н. Особенности эксплуатации линий электропередачи в сложных погодных условиях / А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика//Наук. техн. збірник – 2003. №71. -С 19-22.
2. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. -М.: Недра, 1993. – 192 с.
3. Самойлович И.С. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров. -М.: Недра, 1976. -175 с.
4. Сирота И.М. Защита от замыканий на землю в электрических системах. -К.: Из-во АН Украинской ССР, 1955. - 208 с.
5. Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей. -К.: Наукова думка, 1985. - 264 с.
6. Пивняк Г.Г. Аварийные токи при обрыве фазного провода воздушной ЛЭП / Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец, А.А. Дворников // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 9-15.
7. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок / В.П. Колосюк. — М.: Недра, 1987. — 407 с.

Рекомендовано до друку проф. Шкрабцем Ф.П.

УДК 622.62-83:621.33.21

Е.И. Хованская, канд. техн. наук; Н.М. Полишко.

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОГО РЕЖИМА ТЯГОВОЙ СЕТИ ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ ЭЛЕКТРОВОЗАМИ

Современное состояние угольных шахт Украины характеризуется наличием целого ряда факторов, негативно сказывающихся на безопасности их эксплуатации. В частности, упомянутые причины проявляются и в функционировании шахтного рельсового транспорта. Поэтому повышение безопасности электровозной откатки является актуальной задачей. Перспективным в этом отношении видится применение бесконтактных электровозов повышенной частоты, особенно на грузонапряженных направлениях, поскольку позволяет повысить безопасность транспортировки благодаря безыскровому токосъему.

Постановка проблемы. Одним из основных элементов рассматриваемого транспорта, обеспечивающим направленную передачу энергии электровозу, является тяговая сеть, параметры режимов которой должны соответствовать требованиям области применения. Разные способы моделирования режимов сети дают результаты, характерные для частных случаев, однако важным остается выбор способа моделирования, который смог бы учесть главные особенности нагруженного режима [1].

Анализ результатов последних исследований. В работах [2-4] рассмотрены основные задачи моделирования режимов работы транспорта с индуктивной передачей энергии и показаны различные подходы к их решению. Исследование нагруженного режима тяговой сети является непростой задачей в силу особенностей работы транспорта, что обусловлено сложностью математического описания нестационарной нагрузки, включенной на работающую в квазиустановившемся режиме линию [3,4].

Цель и задачи исследований. В данной статье ставится задача обоснования способа моделирования нагруженной тяговой сети.

Изложение основного материала. Рассмотрим модель, полученную на основе описания процессов, происходящих в тяговой сети, в виде классической системы «телеграфных уравнений», дополненной элементами, которые учитывают особенности объекта [2,4]:

$$\begin{cases} -\partial u / \partial x = L_0 \cdot \partial i / \partial t + R_0 \cdot i + F_1(x, t); \\ -\partial i / \partial x = C_0 \cdot \partial u / \partial t, \end{cases} \quad (1)$$