

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, РАСПОЗНАЮЩИЕ ОБРЫВЫ ПРОВОДОВ НА УЧАСТКАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Асанова С.М.

Кыргызский Государственный Технический Университет им. И.Раззакова,
Кыргызстан, e-mail: asm009@rambler.ru

Введение. Воздушные линии, имеющие большую протяженность, являются наименее надежными элементами энергосистемы. Как показывает статистика, в сетях среднего напряжения годовое количество повреждений исчисляется сотнями, а в питающихся от нее абонентских сетях – тысячами. Большую часть повреждений воздушных линий составляют короткие замыкания и обрывы. Причиной их возникновения могут быть как естественные, так и искусственные условия. При этом определение места повреждения (ОМП) и восстановление поврежденных участков электросети являются наиболее сложными и длительными технологическими операциями.

Особо остро эта проблема стоит для линий электропередач напряжением 6-35 кВ. Затруднения возникают из-за того, что в распределительных электрических сетях применяется режим изолированной нейтрали, кроме того, они имеют разветвленную древовидную топологию. Поэтому методы диагностики, успешно используемые для линий напряжением 110 кВ и выше, имеющих глухозаземленную нейтраль, в данном случае неприменимы.

Главным требованием при ОМП в электрических сетях является скорейшее восстановление питания отключившихся токоприемников при минимизации затрат труда, времени и средств на осуществление поиска. Поэтому необходима действенная система оперативной диагностики и постоянного мониторинга состояния электрических сетей в сочетании со своевременным профилактическим ремонтом линий, которая приведет к сокращению количества аварий и времени ОМП и, следовательно, к уменьшению финансовых потерь из-за недоотпуска электроэнергии потребителям.

Анализ информации из советско-российской и зарубежной технической литературы показал, что ни в России, ни в странах СНГ, ни за рубежом проблема оперативной диагностики состояния распределительных электрических сетей в настоящее время до конца не решена [1]. Разнообразие видов и характеров повреждений пока не позволило найти какой-либо универсальный метод диагностики, который бы одинаково успешно обнаруживал короткие замыкания и обрывы проводов линий электропередач и другие неисправности. Отсутствие прогрессивных методов дистанционного ОМП с использованием последних достижений науки и техники затрудняет оперативное обнаружение повреждений линий электропередачи. Поэтому актуальна разработка действенного метода диагностики и мониторинга состояния электролиний распределительных сетей напряжением 6-35 кВ. При этом необходимо, чтобы метод был дистанционным, оперативным, универсальным и многофункциональным.

В настоящей работе рассматривается задача проектирования распределительных электрических систем, распознающих обрывы проводов на участках линий электропередач, с использованием многофункционального провода с изолированной жилой [2].

Многофункциональный провод с изолированной жилой. В работе [2] был предложен многофункциональный провод с изолированной жилой (рис.1), использование которого позволяет:

- обнаруживать обрывы в линиях электропередач;
- обнаруживать место замыкания на землю в линии;
- обнаруживать появление перемежающейся электрической дуги;

- определять величину нагрузки (электрического тока) в линии без его разрыва и анализировать режим передачи электрической энергии, используя новый способ измерения электрического тока [3];

- при необходимости, легко определять текущее значение сопротивления линии и температуру провода, а также оценивать состояния контактов в месте соединения проводов в линии и т.д.,

т.е. использование проводов и кабелей с предлагаемой конструкцией жилы позволит очень просто и дешево решать множество проблем электроэнергетики без использования дорогостоящего оборудования.

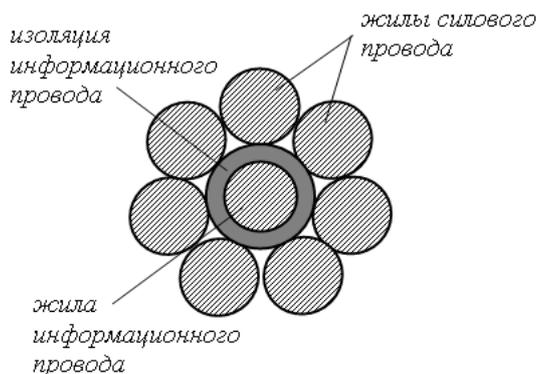


Рис. 1. Конструкция провода с изолированной жилой

В данной работе многофункциональный провод, состоящий из двух составляющих (рис.1):

- жил силового провода, предназначенных для передачи электрической энергии от узлов питания к узлам нагрузки;

- жилы информационного провода, изолированного от силового,

используется для реализации распределительных электрических систем (рис.2), распознающих обрывы проводов на участках линий электропередач за счет того, что данный провод обладает тем свойством, что при обрыве силового провода обрывается и информационный.

Постановка задачи. Исходной информацией для проектирования распределительных электрических систем, распознающих обрывы проводов на участках линий электропередач, является структура распределительной электрической сети. Пусть анализируемая распределительная электрическая сеть состоит из множества n -проводных участков, соединенных соответствующими узлами, и имеет разомкнутую структуру. Состояние каждого участка сети (i_1, i_2) , соединяющего узлы i_1 и i_2 , характеризуется переменной $x_{i_1, i_2} \in \{0, I_{i_1, i_2}\}$, где $x_{i_1, i_2} = 0$ – обрыв; $x_{i_1, i_2} = I_{i_1, i_2}$ – нет обрыва; I_{i_1, i_2} – ток участка сети (i_1, i_2) . Задачей проектирования является разработка таких схем соединения информационных проводов участков сети и соединения информационных проводов в узлах питания к источнику постоянного напряжения U_0 (см. рис.2), при которых значения токов $I_0^1, I_0^2, \dots, I_0^n$, являющиеся функциями состояния x_{i_1, i_2} всех участков (i_1, i_2) сети, однозначно отражали бы обрывы проводов соответствующих участков.

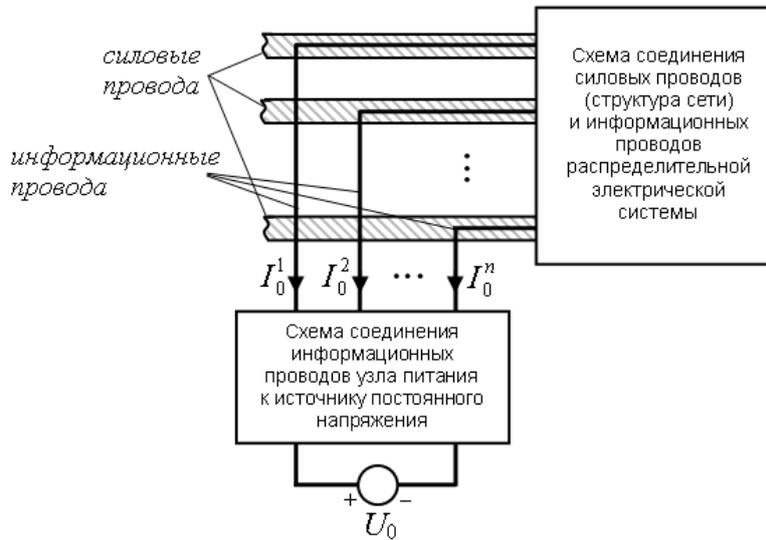


Рис. 2. Структура распределительной электрической системы

Рассмотрим задачу обнаружения обрыва в двухпроводной (однофазной) линии электропередачи. На рис. 3,а приведена схема соединения силовых и информационных проводов двухпроводных (однофазных) участков линий электропередач, а на рис. 3,б – принципиальная схема замещения информационных проводов. Между фазами информационных проводов установлены, на определенном расстоянии, настраиваемые сопротивления R_1, R_2, \dots, R_k , через которые протекает электрический ток ΔI . При этом токи соседних участков сети отличаются на величину ΔI . В случае обрыва провода на некотором участке (i_1, i_2) сети, ток в узле питания I_0^1 уменьшится на соответствующую величину, что позволит оперативно и дистанционно определить участок сети, где произошел обрыв.

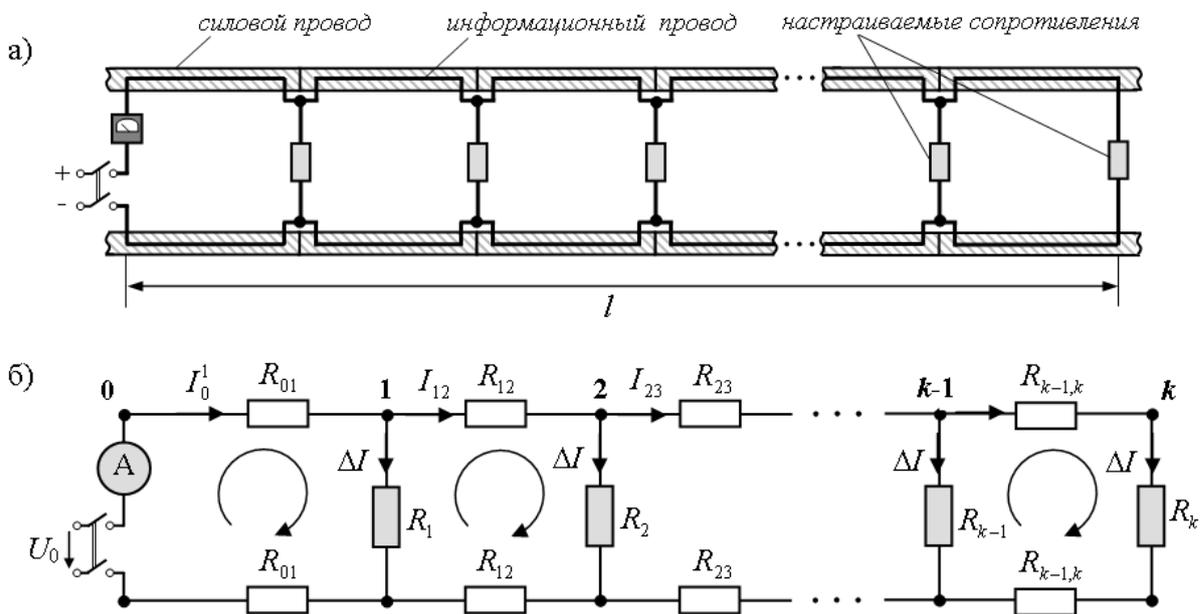


Рис. 3. Схема соединения силовых и информационных проводов двухпроводных (однофазных) участков линий электропередач (а), принципиальная схема соединения информационных проводов (б)

Алгоритм расчета параметров сети. При заданных значениях: постоянного напряжения - U_0 , В; длины провода - l , км; внутренних сопротивлений на участках

информационного провода - $R_{01} = R_{12} = \dots = R_{k-1,k}$, Ом/км; токов, протекающих через настраиваемые сопротивления - $I_1 = I_2 = \dots = I_k = \Delta I$, мА, нужно определить величину настраиваемых сопротивлений - R_1, R_2, \dots, R_k , для того, чтобы токи, протекающие через них, были одинаковыми и равными ΔI , что позволит однозначно определять обрывы проводов на участках линий электропередач.

Ток узла питания I_0^1 и токи на каждом участке линии $I_{12}, I_{23}, \dots, I_{k-1,k}$ по I закону Кирхгофа будут равны:

$$I_0^1 = \Delta I + \Delta I + \dots + \Delta I = k \cdot \Delta I,$$

$$I_{12} = I_0^1 - \Delta I, \quad I_{23} = I_{12} - \Delta I, \quad \dots \quad I_{k-1,k} = I_{k-1} - \Delta I.$$

Составим уравнение по II закону Кирхгофа для 1-го контура: $2R_{01}I_0^1 + R_1\Delta I = U_0$, отсюда

$$R_1 = \frac{U_0 - 2R_{01}I_0^1}{\Delta I},$$

для 2-го контура: $2R_{12}I_{12} + R_2\Delta I - R_1\Delta I = 0$, отсюда

$$R_2 = \frac{R_1\Delta I - 2R_{12}I_{12}}{\Delta I},$$

и т.д., для k -го контура: $2R_{k-1,k}I_{k-1,k} + R_k\Delta I - R_{k-1}\Delta I = 0$, отсюда

$$R_k = \frac{R_{k-1}\Delta I - 2R_{k-1,k}I_{k-1,k}}{\Delta I}.$$

На примере двухпроводной (однофазной) линии электропередачи, длина которой 5 км, с параметрами $U_0 = 220$ В; $R_{01} = R_{12} = \dots = R_{k-1,k} = 13$ Ом/км; $\Delta I = 100$ мА, путем моделирования процесса обрыва (обрыв провода на рис. 4 имитируется с помощью коммутационных аппаратов), получим таблицу (см. ниже) соответствия значений тока узла питания I_0^1 и обрыва провода на участках 1 – 5. Моделирование производилось с помощью программы Electronics Workbench (рис.4). Из таблицы видно, что при значении тока $I_0^1 = 412$ мА обрыв произошел на участке 1, при значении тока $I_0^1 = 315$ мА – на участке 2 и т.д.

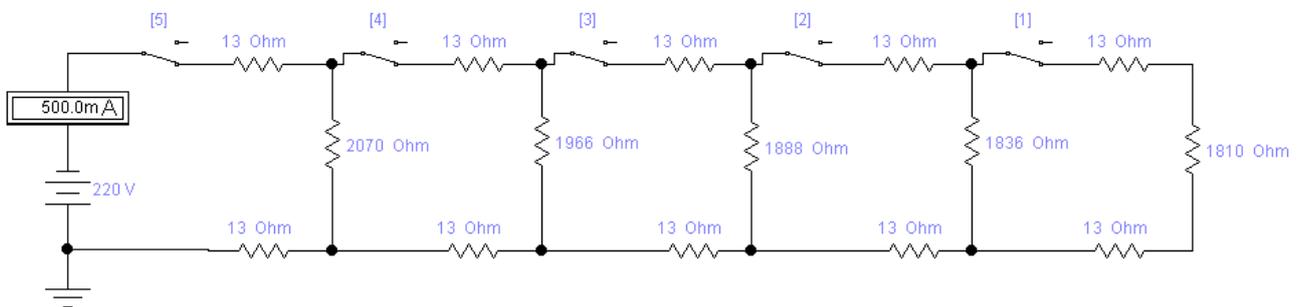


Рис. 4. Моделирование процесса обрыва провода на участках в двухпроводной (однофазной) линии электропередачи

Таблица.

Соответствие значений тока узла питания I_0^1 и обрывов проводов на участках сети

	Отсутствие обрыва	Обрыв на участке				
		1	2	3	4	5
Показание мА	500	412	315	211	105	0

На рис. 5 приведен закон изменения тока I_0^1 при обрыве провода на участках 1 – 5. Из таблицы и рис. 5 видно, что данная схема соединения информационных проводов участков позволяет однозначно распознать, по значению тока I_0^1 , участок, где произошел обрыв.



Рис. 5. Закон изменения тока I_0^1 при обрыве провода на участках 1 – 5

Заключение. В данной работе:

- сформулирована общая постановка задачи проектирования распределительных электрических систем, распознающих обрывы проводов на участках линий электропередач.
- рассмотрена частная задача проектирования распределительной электрической системы, обнаруживающей обрывы проводов на участках в двухпроводной (однофазной) линии электропередачи.
- получена, путем моделирования, таблица и график соответствия значений тока узла питания I_0^1 и обрывов проводов на участках в двухпроводной (однофазной) линии электропередачи.

Таким образом, разработан действенный метод диагностики и мониторинга состояния линий распределительных электрических сетей, который не требует больших затрат и позволяет обслуживающему персоналу, находясь на подстанции, оперативно и дистанционно обнаруживать повреждения (обрывы) проводов на участках линий электропередач и расстояние до него, с тем, чтобы ремонтная бригада была направлена точно к месту повреждения, что позволит повысить надежность электроснабжения потребителей.

Кроме того, при «веерных» отключениях, что имеет место в нашей республике, когда обесточен силовой провод, в сельских районах часто совершаются кражи проводов сети, а использование данного метода обнаружения обрывов участков сети, позволит быстро среагировать и предотвратить такие кражи, т.к. информационный провод имеет независимый источник питания и тем самым, позволяет контролировать сеть в любое время.

Дальнейшее развитие. Вышеизложенный метод обнаружения повреждения (обрыва) проводов на участках в двухпроводных (однофазных) линиях электропередач можно обобщить также и для сложных n -проводных разветвленных распределительных электрических систем.

Литература:

1. Минулин Р.Г., Петрушенко Ю.Я., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика линии электропередач. IX Симпозиум «Электротехника 2030», Российская Федерация. 2007 г.
2. Сатаркулов К.А., Асанова С.М. и др. Токопроводящая жила проводов и кабелей. – Патент KG № 1187. 2009 г.
3. Сатаркулов К.А. и др. Способ измерения электрического тока в проводах линий электропередач. – Патент KG № 596. 2003 г.