



УДК 621.317.333.6

## **ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА ДЛЯ ПОФИДЕРНОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОТ ЗЕМЛИ СЕТЕЙ**

***К.Ю. Соломенцев, В.И. Лачин, А.А. Ховпачев***

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

***Я.К. Соломенцев***

Московский физико-технический институт (государственный университет)

При разработке устройств пофидерного контроля электрических сетей, изолированных от земли, возникает ряд трудностей. Одна из них связана с наличием больших по величине емкостей фаз контролируемого фидера относительно земли. Возникающие при этом токи затрудняют измерение той составляющей тока, которая протекает через сопротивление изоляции. В статье предложено инжектировать в контролируемую сеть относительно земли переменное напряжение частотой 1 Гц, что приводит к снижению емкостных токов. Кроме этого, в статье кратко рассмотрены другие возникающие трудности и описаны пути их решения.

**Ключевые слова:** пофидерный контроль, ток утечки.

## **APPLICATION OF THE LOW-FREQUENCY SIGNAL FOR POSITIONAL MONITORING OF NETWORKS ISOLATED FROM THE GROUND**

***K.Yu. Solomentsev, V.I. Lachin, A.A. Khovpachev,***

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

***Ya.K. Solomentsev***

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

When creating per-feeder control of electrical networks isolated from the ground, a number of problems arise. One of the problems associated with the capacitance of the phases of the controlled feeder relative to the ground. In this case, capacitive currents arise, which make it difficult to measure the current component that flows through the insulation resistance. The article proposed to inject an alternating voltage of 1 Hz frequency into the controlled network with respect to the ground, which allows to reduce capacitive currents. In addition, the article briefly discusses other problems arising during the feeder control, and describes ways to solve them.

**Key words:** feeder control, leakage current.

### **Введение**

Для обеспечения надежной и бесперебойной работы электроэнергетических объектов важным является непрерывный контроль состояния изоляции [1]. Одной из актуальных задач в области контроля изоляции является пофидерный контроль электрических сетей, изолированных от земли. Существуют системы, контролирующие токи утечки с частотами 50 Гц или с частотой инжектируемого низкочастотного сигнала, например, частотой 2.5 Гц. Однако существующие системы не могут контролировать токи утечки, при сопротивлении изоляции свыше 300 кОм, а также при большой величине ёмкости контролируемого фидера относительно земли.

### **Описание задачи и путей решения**

Как показано в [2], ток нулевой последовательности фидера содержит емкостную (мнимую) составляющую и активную (действительную) составляющую:



$$\dot{I}_\phi = \text{Im}(I_\phi) + \text{Re}(I_\phi).$$

Причем, если сопротивление изоляции высокое, мнимая составляющая может на несколько порядков превышать действительную, что затрудняет выявление токов утечки, связанных с сопротивлением изоляции.

В современных системах пофидерного контроля в контролируемую сеть относительно земли инжектируется переменное напряжение низкой (инфразвуковой) частоты. Например, фирма Schneider Electric использует частоту 2,5 Гц. Чем ниже частота инжектируемого напряжения, тем меньше будет мнимая составляющая тока. Это связано с тем, что емкостное сопротивление зависит от частоты:

$$X_c = 1/j\omega C,$$
$$\text{Im}(I_\phi) = E_{\text{инж}}/X_c = E_{\text{инж}} \cdot j\omega C,$$

где  $E_{\text{инж}}$  – инжектируемое напряжение,  $\omega$  – циклическая частота,  $\omega = 2\pi \cdot f$ ,  $C$  – суммарная емкость фидера относительно земли.

При снижении частоты инжектируемого напряжения повышается погрешность трансформаторов тока нулевой последовательности, используемых для контроля. Как известно [3], вторичная обмотка должна работать в режиме короткого замыкания. Тем не менее, в контуре вторичной обмотки имеется омическое сопротивление проводов, индуктивность рассеивания и входное сопротивление измерительного устройства. В идеальном случае эти сопротивления должны быть равны нулю, но, так как они не равны нулю, требуется некоторая ЭДС вторичной обмотки для создания тока вторичной обмотки. ЭДС вторичной обмотки зависит от начальной магнитной проницаемости сердечника и связана с производной потокосцепления  $d\Psi/dt$ , то есть, при снижении частоты ЭДС будет уменьшаться. В связи с этим, применение сверхнизких частот повлечет недопустимо большую погрешность. Экспериментальные исследования показали, что использование сердечника из нанокристаллического материала АМАГ-170 позволяет использовать частоту инжектируемого напряжения 1 Гц.

Следующая трудность, которую необходимо устранить, это выделение активной составляющей тока на фоне большой мнимой. Для выделения по отдельности реальной и мнимой составляющей необходима точная привязка по фазе к переменному напряжению, которое инжектируется в сеть относительно земли. Для этой цели необходимо передавать сигналы синхронизации от генератора инжектирующего напряжения к схеме датчика тока. Например, каждый раз в самом начале положительного полупериода передавать определенный сигнал. Микроконтроллер датчика тока должен при получении этого сигнала начинать измерения мгновенных значений тока. Наиболее целесообразно применять периодические измерения с помощью АЦП, с некоторым шагом дискретизации. Причем использовать шаг дискретизации 20 мс или 10 мс, что позволяет уменьшить влияние помех частотой 50 Гц. Полученный ряд точек необходимо подвергнуть математической обработке. Например, с помощью метода наименьших квадратов выделить синусоидальную и косинусоидальную



составляющие. Тем самым будут получены реальная и мнимая составляющие тока. Работа трансформатора тока неизбежно приводит к некоторому фазовому сдвигу между входным и выходным током. Причем на низких частотах фазовые искажения возрастают. Поэтому для точного выделения реальной составляющей фазовые искажения трансформатора тока должны быть сведены к минимуму [3].

Еще одна трудность, которую необходимо устранить, это влияние помех на результаты измерений. Высокочастотные помехи можно подавить простым RC-фильтром, включенным в тракте преобразования аналогового сигнала. Помехи частотой 50 Гц можно подавлять, выбрав шаг дискретизации АЦП 20 мс или 10 мс.

При контроле сетей переменного тока, за счет незначительной несимметрии емкостей фаз относительно земли может возникать ток нулевой последовательности частотой 50 Гц. При этом в измеряемом сигнале появляется помеха частотой 50 Гц. Теоретически возможно предусмотреть экранирование проводников, предохраняющее от помехи частотой 50 Гц, но в настоящее время такие конструкции не разработаны.

### **Заключение**

Проведенные предварительные испытания разрабатываемых трансформаторов тока различной конструкции показали, что возможны измерения тока 50...100 мкА частотой 1 Гц. Этой чувствительности явно не достаточно, как показано в [2] для эффективного контроля состояния изоляции необходимо измерять реальную составляющую тока порядка 5 мкА на фоне мнимой составляющей порядка 1...2 мА. Описанные в статье пути решения указанных трудностей позволяет достичь таких показателей.

### **Список цитируемой литературы**

1. Лачин В.И, Соломенцев К.Ю. Методы и устройства контроля состояния электроэнергетических объектов с дискретно-распределенными параметрами: монография. Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. 342 с.
2. В.И. Лачин, К.Ю. Соломенцев, А.А. Ховпачев, О.Ю. Демидов, К ВОПРОСУ О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ТОКОВ УТЕЧКИ. // Кибернетика энергетических систем : сб. материалов XXXIX сессии семинара по тематике "Диагностика энергооборудования", г. Новочеркасск., 2018 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2018.
3. В.И. Лачин, К.Ю. Соломенцев, О.Ю. Демидов. Особенности конструкции трансформаторов тока для пофидерного контроля. // Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства: материалы 18-й Национал. молодежной науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 30-31 июля 2018 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск : Лик, 2018. - С. 111-112.