

# ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЁННОГО ДАТЧИКА

А.А.Дворников

Факультет автоматики и вычислительной техники

## АННОТАЦИЯ

В работе проводится обзор способов измерения характеристик переменного тока в низковольтных сетях электроснабжения, рассматривается новое решение, использующее пространственно-распределённый датчик для вычисления характеристик в низковольтной силовой сети переменного тока, приводятся достоинства и недостатки нового подхода, сферы его применения.

## ВВЕДЕНИЕ

Задача измерения характеристик переменного тока в системах электроснабжения на сегодняшний день является актуальной в связи с нарастающим спросом на системы интеллектуального энергоснабжения. Ставшие классическими способы, использующие контактное измерение мгновенного значения переменного тока, всё ещё не теряют своей популярности, хотя и создают определённые сложности при монтаже устройств измерения. Необходимость разрыва линии электропередачи для установки устройства измерения, использующего шунт как датчик тока, является одним из основных и наиболее существенных недостатков контактного измерения тока.

В работе проведён обзор существующих на сегодняшний день способов измерения мгновенного значения напряжения переменного тока — величины, необходимой для получения многих характеристик переменного тока, а также рассмотрено новое решение, использующее пространственно-распределённый датчик тока и не требующее внесения серьёзных изменений в линию электропередачи. Рассмотрены достоинства и недостатки нового решения, сферы его применения.

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

### *Измерение тока с использованием шунта*

Измерение получается косвенным путём из закона Ома, при условии, что сопротивление шунта постоянно и известно заранее.

Способ прост в реализации, но не обеспечивает гальваническую развязку от силовой сети. Способ позволяет измерять постоянную составляющую. Требуется разрыва линии электропередачи.

### *Измерение тока с использованием токового трансформатора [1]*

Требуется использования токового трансформатора, который зачастую имеет большие габаритные размеры. Способ не требует электрического контакта с измеряемой цепью, обеспечивает гальваническую развязку от силовой сети, но не способен измерять постоянную составляющую. Есть возможность реализации паразитного питания. Необходимо учитывать влияние

первичной обмотки трансформатора на измеряемую цепь, так как она является реактивной нагрузкой.

### *Измерение тока с использованием датчика Холла [2]*

Косвенное измерение тока, основанное на бесконтактном измерении магнитного поля вокруг проводника с током. Метод на настоящий момент всё ещё дорог, и подвержен влиянию внешних магнитных полей. Метод способен измерять постоянную составляющую.

Как видно из обзора, наиболее перспективными методами измерения тока являются методы, использующие токовый трансформатор и датчик Холла, так как они не требуют разрыва линии электропередачи.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЁННЫЙ ДАТЧИК ТОКА

Пусть на линии электропередачи в точках А и В (Рис. 1), установлены два измерителя, объединенных линией связи.

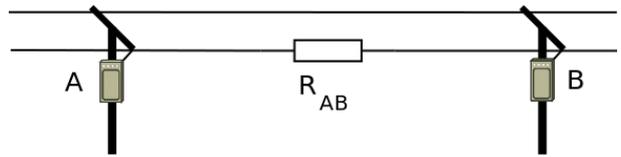


Рис. 1. Схематическое изображение пространственно-распределённого датчика тока

На больших расстояниях сам отрезок линии электропередачи может играть роль шунта с сопротивлением  $R_{AB}$ , где два измерителя А и В — электроды измерительного прибора.

При расстоянии между измерителями А и В порядка 1 км (что является достижимым даже для большинства беспроводных линий связи), медном проводнике линии электропередачи с сечением 95 мм<sup>2</sup> падение напряжения на отрезке линии электропередачи на отрезке между измерителями А и В при протекании тока в 22,72 мА (амплитудная мощность порядка 5 Вт при амплитудном напряжении системы электроснабжения 220 В) составит порядка 4,18 мВ.

Пусть имеется двоичный аналогово-цифровой преобразователь с разрядностью 18 бит и линейный преобразователь, позволяющая измерять напряжения от 220 до -220 В. Тогда разрешающая способность по напряжению такого прибора составит порядка 1,68 мВ. Следовательно, возможно измерение протекающего на отрезке линии электропередачи А и В тока с точностью более 22,72 мА.

Вычисление амплитудного значения тока с использованием пространственно-распределённого датчика определяется выражением (1).

$$I = \frac{U_A - U_B}{R_{AB}} \quad (1)$$

, где  $I$  — амплитудное значение тока на отрезке линии электропередачи между измерителями А и В,  $U_A$  и

$U_B$  — амплитудные значения напряжений, измеренных измерителями А и В соответственно,  $R_{AB}$  — сопротивление отрезка линии электропередачи между измерителями А и В.

Вычисление мгновенного значения тока усложняется ввиду появления задержки в передаче данных по линии связи между измерителями А и В. Вычислить мгновенное значение тока можно по выражению (2).

$$i_{AB}(t) = \frac{u_A(t - \Delta t) - u_B(t)}{R_{AB}} \quad (2)$$

, где  $i_{AB}$  — мгновенное значение тока, вычисленное измерителем А с использованием данных от измерителя В.  $u_A$  и  $u_B$  — мгновенные значения тока, измеренные измерителями А и В соответственно,  $R_{AB}$  — сопротивление линии электроснабжения на отрезке между измерителями А и В,  $\Delta t$  — задержка при передаче мгновенного значения напряжения с измерителя В на измеритель А.

Так как задержка при передаче данных  $\Delta t$  между устройствами непостоянна, измеритель А должен иметь буфер, в котором будут храниться значения, измеренные ранее.

Вычисление значения тока возможно только в том случае, если каждый измеритель будет заранее знать точное значение сопротивления каждого своего отрезка линии электропередачи. Для этого должен быть разработан специализированный метод калибровки измерителей.

Необходимо также решение задачи синхронизации часов [3] между измерителями, так как часы двух измерителей должны идти синхронно при обмене мгновенными значениями напряжений.

Достоинства:

- Достаточно знать значение напряжения для вычисления значения тока.
- Упрощение монтажа измерителей за счёт отказа от использования методов измерения, требующих внесения больших изменений в линию электропередачи.

Недостатки:

- Усложнение цепи измерения напряжения.
- Небольшое увеличение точности измерения тока требует большого увеличения точности измерения напряжения.
- Необходима синхронизация часов.
- Необходима калибровка измерителей.

Данный метод хорошо подходит для использования в системах интеллектуального электроснабжения для упрощения монтажа и уменьшения стоимости всей системы.

При использовании других методов измерения тока данный метод может быть использован как вспомогательный для диагностики возможных проблем в линии электроснабжения, вызванных повышенным падением напряжения на отдельных её участках.

Рассмотренный метод может быть использован в

сенсорных сетях различного назначения для вычисления значений тока при достаточном падении напряжения на проводнике.

Планируется произвести первые экспериментальные вычисления после изготовления макета устройства-узла для организации интеллектуальных систем электроснабжения, о котором упоминалось в предыдущих работах [4].

Планируется изготовление специальной версии макета устройства-узла для организации интеллектуальных систем электроснабжения, с использованием распределённых датчиков с достаточной точностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произведён обзор существующих решений для измерения характеристик низковольтной силовой сети переменного тока, приведено новое решение, основанное на использовании распределённого датчика, указаны достоинства и недостатки нового метода, указаны сферы применения.

Необходимо разработать механизм синхронизации часов измерителей.

Необходимо разработать механизм калибровки измерителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерительные токовые трансформаторы, высокочастотный суммирующий токовый трансформатор. Трансформатор токовой защиты. – URL : [http://www.entel.ru/switch/type/measure/prestation\\_CT/](http://www.entel.ru/switch/type/measure/prestation_CT/). Дата обращения : 15.01.2012.
2. Энциклопедия магнетизма – Датчики магнитного поля. – URL : [http://www.valtar.ru/Magnets4/mag\\_4\\_17.htm](http://www.valtar.ru/Magnets4/mag_4_17.htm). Дата обращения : 15.01.2012.
3. Лекция 4. Операционные системы распределённых вычислительных систем: Синхронизация в распределённых системах | parallel.ru. – URL : <http://parallel.ru/krukov/lec4.html>. Дата обращения : 15.03.2011.
4. Дворников А.А. Разработка платформы для «Умного электроснабжения». Научно-техническая конференция студентов, аспирантов специалистов МИЭМ. Тезисы докладов. - М. ~: МИЭМ, 2011. - 420.