

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

стью около 5 см. График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для данного образца горной породы представлен на рисунке 7.

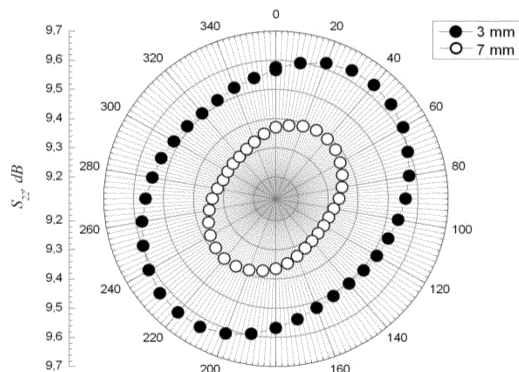


Рисунок 7 - График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для образца горной породы Кс-4/70 на частоте 37,668 ГГц при различных расстояниях L между зеркалом и исследуемым образцом.

Анализ полученных результатов

Из приведенных графиков видно, что с увеличением расстояния между зеркалом и исследуемым плоским образцом значение S_{22}

уменьшается, а коэффициент анизотропии возрастает. Следовательно, возникает необходимость выбора оптимального расстояния для диагностики анизотропии горной породы. Результаты исследования образца Хр-1/1 согласуются с предыдущими исследованиями данного образца СВЧ-рефлектометром в диапазоне 8-12 ГГц [2]. Применение открытого резонатора повышает чувствительность и точность, а переход на более высокие частоты позволяет увеличить локальность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвериков, Л. И. Оценка анизотропии геологических объектов / Л. И. Четвериков // Вест. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2000. – Вып. 9. – С. 26–31.
2. Бадьин, А. В. Исследование поляризационной зависимости отражения электромагнитной волны плоским образцом горной породы / А. В. Бадьин, Г. Е. Дунаевский // Изв. вузов. Физика. – 2012. – № 8/2. – С. 274-275.

Аспирант **А.В. Бадьин** тел. (382-2)41-39-73, Alex001@sibmail.com; д.т.н., проф. **Г. Е. Дунаевский** - Национальный исследовательский Томский государственный университет, кафедра Радиоэлектроники, proecs@mail.tsu.ru (382-2)52-95-78.

УДК 621.317.33

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.А. Миронов

В статье рассматривается новый метод определения частоты по мгновенным значениям гармонических сигналов, обеспечивающий повышение точности измерения. Предлагается средство измерения, реализующее метод. Приводятся результаты анализа влияния погрешности квантования на результирующую погрешность определения частоты.

Ключевые слова: частота, гармонический сигнал, мгновенные значения, фазосдвигающий блок, квантование, погрешность.

Состояние проблемы

Контроль электрических параметров гидро- и турбогенераторов, силовых подстанций, высоковольтных линий электропередачи общего назначения предусматривает измерение частоты. Особенностью перечисленных выше энергообъектов является то, что сигналы в их измерительных цепях имеют форму, близкую к гармонической.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с определением параметров гармонических сигналов, включая и частоту, по отдельным мгновенным значениям сигналов, не связанным с их периодом,

что позволяет значительно сократить время измерения [1].

Дальнейшее сокращение времени измерения параметров обеспечивают методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных по фазе, и использовании мгновенных значений как основных, так и дополнительных сигналов [2].

В [3] авторами предложен метод измерения частоты гармонического сигнала, использующий формирование дополнительного сигнала, сдвинутого относительно входного по фазе на угол 90° в сторону опережения, и

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013

сравнение основного и дополнительного сигналов.

Недостатком метода, является частотная погрешность фазосдвигающего блока (ФСБ), производящего сдвиг входного сигнала на угол 90° . При изменении частоты угол сдвига фазы ФСБ будет отличаться от 90° . Кроме того, при реализации метода возникает дополнительная погрешность, обусловленная наличием погрешности по напряжению (по модулю) фазосдвигающего блока, в результате которой амплитудное значение дополнительного сигнала будет отличаться от амплитуды входного сигнала.

Предлагаемое решение

Эти недостатки устраняются в разработанном методе измерения частоты, в котором используется формирование дополнительного сигнала, сдвинутого относительно входного на произвольный (в общем случае) угол $\Delta\alpha$. Метод заключается в том, что в момент перехода дополнительного сигнала через ноль измеряют мгновенное значение входного сигнала напряжения; в момент перехода входного сигнала через ноль измеряют мгновенное значение дополнительного сигнала; через образцовый интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения обоих сигналов и определяют частоту по измеренным значениям.

Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рисунке 1.

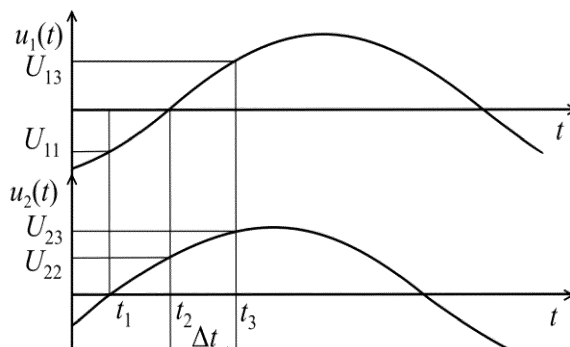


Рисунок 1 – Временные диаграммы, поясняющие метод

Если амплитудные значения сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ не равны, то входной и дополнительный сигналы напряжения будут иметь вид:

$$u_1(t) = U_{m1} \sin \omega t \text{ и } u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \Delta\alpha)$$

где U_{m1} , U_{m2} - амплитуды входного и дополнительного сигналов;
 ω - угловая частота входного сигнала.

В момент времени t_1 , когда дополнительный сигнал переходит через ноль, выражение для мгновенного значения входного сигнала примет вид: $U_{11} = U_{m1} \sin(-\Delta\alpha)$.

В момент перехода входного сигнала через ноль (момент времени t_2) выражение для мгновенного значения дополнительного сигнала будет равно $U_{22} = U_{m2} \sin \Delta\alpha$.

Через образцовый интервал времени Δt (в момент времени t_3) мгновенные значения сигналов имеют следующий вид:

$$U_{13} = U_{m1} \sin \omega \Delta t ; U_{23} = U_{m2} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)$$

Определим коэффициент отклонения амплитуд сигналов:

$$k = \left| \frac{U_{22}}{U_{11}} \right| = \frac{U_{m2}}{U_{m1}}$$

Используя данный коэффициент, можно произвести коррекцию мгновенных значений дополнительного сигнала:

$$U'_{22} = \frac{U_{22}}{k} = U_{m1} \sin \Delta\alpha ;$$

$$U'_{23} = \frac{U_{23}}{k} = U_{m1} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t).$$

С учетом мгновенных значений сигналов частота входного сигнала будет равна:

$$f = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arccos \left| \frac{U'^2_{23} - U'^2_{13} + U'^2_{22}}{2U'_{23}U'_{22}} \right|.$$

(1)

Анализ выражения (1) показывает, что изменение угла сдвига фазы ФСБ $\Delta\alpha$ и различие амплитуд входного и дополнительного сигналов не приводят к возникновению дополнительных погрешностей.

Схема реализующего метод средства измерения (СИ) приведена на рисунке 2.

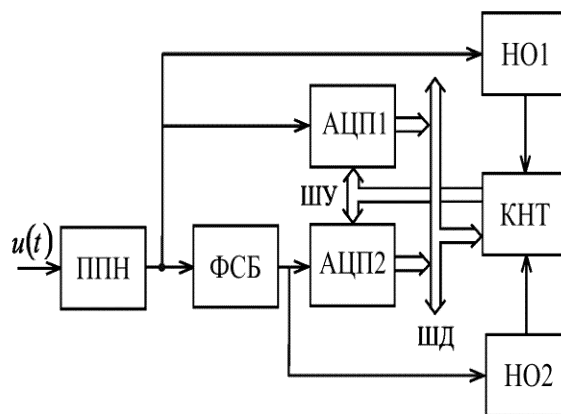


Рисунок 2 – Средство измерения, реализующее метод

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

В состав СИ входят: первичный преобразователь напряжения ППН, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2, нуль-органы НО1 и НО2, фазосдвигающий блок ФСБ, осуществляющий сдвиг входного сигнала на угол $\Delta\alpha$, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

СИ работает следующим образом.

В момент перехода дополнительного сигнала через ноль срабатывает нуль-орган НО1, на выходе которого формируется импульс, поступающий на вход прерывания КНТ. Контроллер запускает АЦП1, на входе которого действует сигнал U_{11} . АЦП1 преобразует этот сигнал в код, который записывается в оперативную память КНТ.

В момент перехода входного сигнала через ноль срабатывает нуль-орган НО2, на выходе которого формируется импульс, поступающий на вход прерывания КНТ. Контроллер запускает АЦП2, на входе которого действует сигнал U_{22} . АЦП2 преобразует этот сигнал в код, который поступает в память КНТ.

После этого контроллер запускает программу временной задержки на интервал времени Δt .

В момент времени $t_3 = t_2 + \Delta t$ КНТ одновременно запускает АЦП1 и АЦП2, на входах которых действуют сигналы U_{13} и U_{23} . Данные сигналы преобразуются в коды, которые записываются в память КНТ.

В контроллере производятся вычисления в соответствии с выражением (1).

Реализация цифровых методов измерения, использующих мгновенные значения сигналов, неизбежно приводит к возникновению погрешности квантования. Для анализа влияния погрешности квантования на результирующую погрешность определения частоты можно воспользоваться известным подходом, заключающимся в оценке погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с помощью дифференциала этой функции, считая, что предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют погрешностям квантования мгновенных значений сигналов [4].

Если считать, что основной погрешностью аналого-цифровых преобразователей является абсолютная погрешность квантования, то максимальное значение погрешности аргументов будет равно:

$$\Delta U = U_{np} / 2^n,$$

где U_{np} – максимально допустимое напряжение на входе АЦП; n – число двоичных разрядов.

В этом случае абсолютная погрешность измерения частоты в соответствии с (1) примет вид:

$$\Delta f = \left[\left| (f)'_{U_{13}} \right| + \left| (f)'_{U_{22}} \right| + \left| (f)'_{U_{23}} \right| \right] \Delta U; \quad (2)$$

Используя выражения (1) и (2) и считая, что максимальные значения погрешностей обоих АЦП равны, можно определить относительную погрешность определения частоты сигнала:

$$\delta_f = \frac{T}{\Delta t} \left| \sin\left(\frac{2\pi\Delta t}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi\Delta t}{T} + \Delta\alpha\right) \sin\Delta\alpha \right| 2^n \times \left[\left| \sin\left(\frac{2\pi\Delta t}{T}\right) \right| + \left| \sin\left(\frac{2\pi\Delta t}{T} - \Delta\alpha\right) \right| + \left| \sin\Delta\alpha - 2 \sin\left(\frac{2\pi\Delta t}{T} + \Delta\alpha\right) \cos\left(\frac{2\pi\Delta t}{T}\right) \right| \right], \quad (3)$$

где T – период входного сигнала.

Анализ выражения (3) показывает, что погрешность зависит от отношений образцового интервала времени Δt к периоду сигнала T и угла сдвига фазы ФСБ $\Delta\alpha$.

На рисунке 3 приведены графики зависимости относительной погрешности измерения частоты от $2\pi\Delta t/T$ и $\Delta\alpha$ при $n=12$.

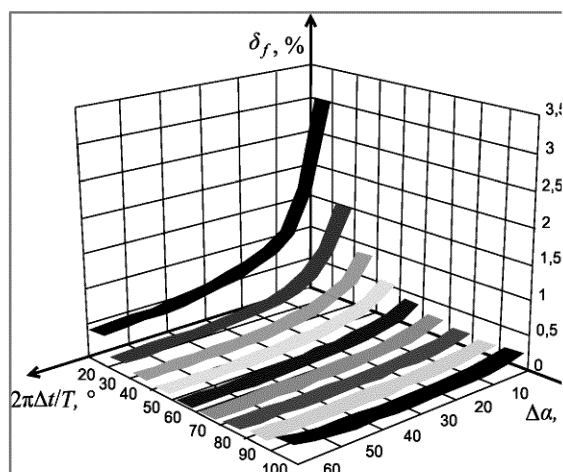


Рисунок 3 – Графики зависимости погрешности измерения частоты от $\Delta t/T$ и $\Delta\alpha$

Анализ рисунка 3 показывает, что погрешность измерения частоты уменьшается при увеличении угла сдвига ФСБ. Однако при $\Delta\alpha > 90^\circ$ погрешность снова начинает воз-

УСТАНОВКА С СИЛОВЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

растать. Кроме того, меньшие значения погрешности имеют место при $50^\circ < \Delta\alpha < 100^\circ$

Выводы

В разработанном методе время измерения частоты зависит от длительности интервала времени между моментом начала измерения и моментом перехода дополнительного сигнала через ноль и образцового интервала времени Δt .

Реализация метода обеспечивает исключение частотной погрешности и погрешности по напряжению (по модулю) фазосдвигающего блока.

Результаты анализа погрешности, обусловленной влиянием квантования мгновенных значений сигналов, на погрешность результата определения частоты позволяют оптимально выбирать параметры измерительного процесса в зависимости от требований по точности и быстродействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-08-00173).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров

- периодических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.–240с.
2. Мелентьев, В.С. Метод определения интегральных характеристик гармонических сигналов по мгновенным значениям напряжения и тока, сдвинутым в пространстве / В.С. Мелентьев, Е.Г. Кожевникова // Измерение, контроль, автоматизация: Матер. 12-ой Международ. науч.-техн. конф. – Барнаул: АГТУ, 2011. - С. 115-118.
3. Мелентьев, В.С. Методы измерения частоты на основе сравнения гармонических сигналов, сдвинутых в пространстве и разделенных во времени / В.С. Мелентьев, А.Е. Синицын, А.А. Миронов // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: СамГТУ, 2013. - №1(8). - С. 62-66.
4. Батищев, В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Зав. кафедрой, д.т.н., доцент В.С. Мелентьев – vs_mel@mail.ru; с.н.с., к.т.н. Ю.М. Иванов – fuego27@rambler.ru; аспирант А.А. Миронов - axtronart@yandex.ru - Самарский государственный технический университет, кафедра информационно-измерительной техники, ims@samgtu.ru, (486)337-05-45.

УДК: 620.178.4.6

УСТАНОВКА С СИЛОВЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Ю. Шелковников, А.И. Кириллов, С.М. Ефремов, Т.Л. Рединова, А.А.Тимофеев, Т.Ю. Метелева

В работе рассмотрены особенности разработки установки для изучения прочностных характеристик пломбировочных материалов. Показано, что созданная установка позволяет определять прочностные характеристики исследуемых образцов в процессе периодического изменения воздействующей силы, имитирующей жевательный процесс. Приведено описание структурной схемы и алгоритма работы разработанной установки на основе силового пьезоэлектрического преобразователя

Ключевые слова: прочностные характеристики, диаграммы деформирования, пломбировочный материал, пьезоэлектрический преобразователь, тензорезистор

Введение

Качество пломбировочного материала определяется безотказностью работы пломбы на его основе. С этой точки зрения отказ означает либо разрушение пломбы, ее ограниченное повреждение, либо накопление чрезмерных деформаций. При этом важнейшими показателями качества материала являются характеристики сопротивления деформированию и разрушению. В то же время

установить зависимость поведения пломбировочного материала в условиях эксплуатации от указанных механических характеристик расчетным путем можно лишь в первом и довольно грубом приближении по следующей причине. Механические характеристики носят условный характер и определяются в упрощенных условиях, не соответствующих эксплуатационным по геометрии исследуемых образцов, законам нагружения, видам