

ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВАМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Работа №3.7. Измерение угла фазового сдвига

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков измерения угла фазового сдвига, знакомство с устройством и характеристиками цифрового фазометра.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы повторите вопросы обработки и представления результата прямых и косвенных измерений и ознакомьтесь [4, 5, 6, 10, 14, 15] со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Измерение угла фазового сдвига методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении угла фазового сдвига.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронных (аналоговых и цифровых) фазометров.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

Фазой гармонического напряжения $U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ называется аргумент функции $U(t)$, описывающей колебательный процесс. Фаза гармонического напряжения является линейной функцией времени. Угол сдвига фаз представляет собой модуль разности фаз двух гармонических сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ одинаковой частоты. Таким образом, если $U_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$, а $U_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$, то согласно определению угол сдвига фаз $\Delta\varphi$ равен $\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|$.

Если φ_1 и φ_2 постоянны во времени, то $\Delta\varphi$ от времени не зависит. При

$\Delta\varphi = 0$ гармонические напряжения называются синфазными, при $\Delta\varphi = \pm\pi$ – противофазными. Выбор метода измерения угла сдвига фаз зависит от диапазона частот, амплитуды сигнала и, главным образом, от требуемой точности измерения. Измерение угла сдвига фаз может выполняться как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения. Результат измерения выражается либо в градусах, либо в радианах. Измерительные приборы, специально предназначенные для измерения угла сдвига фаз, называются фазометрами. Угол сдвига фаз может быть измерен также с помощью осциллографа.

Измерение угла сдвига фаз методом непосредственной оценки может быть выполнено с помощью фазометров различных типов.

При измерении на низких частотах в промышленных цепях удобно использовать электромеханические фазометры на основе электродинамических и ферродинамических логометров. Однако они имеют сравнительно низкий класс точности от 0,5 до 2,5, и их показания заметно зависят от частоты.

Электронные аналоговые фазометры используют принцип преобразования фазового сдвига во временной интервал. Этот временной интервал формируется в приборе так, что его длительность оказывается пропорциональна значению измеряемого угла сдвига фаз. В течение этого временного интервала через магнитоэлектрический измерительный механизм (ИМ) прибора протекает постоянный ток фиксированного значения, в результате показания ИМ оказываются пропорциональными значению измеряемой величины. Электронные аналоговые фазометры могут использоваться в различных цепях и позволяют измерять угол сдвига фаз в диапазоне частот от десятков герц до единиц мегагерц. Относительная погрешность таких фазометров составляет 1 – 2%, разрешающая способность примерно 1^0 , им присущи общие для аналоговых приборов недостатки.

В лабораторных условиях в маломощных цепях для измерения угла сдвига фаз методом непосредственной оценки удобно использовать осциллограф. Такие измерения (см. работу № 3.5) могут выполняться методом линейной развертки или методом эллипса (фигур Лиссажу). В первом случае на экране получают изображение двух кривых $U_1(t)$ и $U_2(t)$, взаимное расположение которых несет искомую информацию (рис. 3.5.2), во втором случае на экране

осциллографа наблюдается эллипс, форма которого определяется значением измеряемого угла сдвига фаз (рис.3.5.3). Измерение угла сдвига фаз с помощью осциллографа можно выполнять в широком диапазоне частот, но их точность невелика.

Осциллограф можно также использовать для выполнения измерений угла сдвига фаз методом компенсации (см. работу 3.5). При равенстве фаз между исследуемыми напряжениями на экране осциллографа вместо эллипса будет наблюдаться отрезок прямой (рис.3.5.3б). Этот метод измерений заметно точней, чем предыдущий. Диапазон рабочих частот в этом случае определяется главным образом частотными характеристиками фазовращателя.

В диапазоне частот от долей герца до десятков мегагерц наилучшие результаты по точности дает цифровой фазометр. Такие фазометры рекомендуется применять в маломощных цепях, а также при искаженной форме напряжения.

В настоящей работе для измерения угла сдвига фаз используется именно цифровой фазометр, рассмотрим принцип его действия.

В основе работы цифровых фазометров всех систем лежит принцип преобразования измеряемого угла сдвига фаз во временной интервал, длительность которого пропорциональна значению измеряемой величины. Длительность временного интервала определяется при этом методом дискретного счета непосредственно, или с промежуточным преобразованием длительности временного интервала в пропорциональное ему значение величины напряжения постоянного тока.

Фазометры с непосредственным преобразованием значения длительности временного интервала в код в свою очередь подразделяются на две группы: с измерением за один период входных напряжений и с измерением за несколько периодов входных напряжений. Фазометры первой группы называются фазометрами мгновенного значения, а второй группы – фазометрами среднего значения. Фазометры среднего значения, называемые также фазометрами с постоянным временем измерения, благодаря хорошим характеристикам получили наибольшее распространение.

На рис.3.7.1 приведена структурная схема такого фазометра.

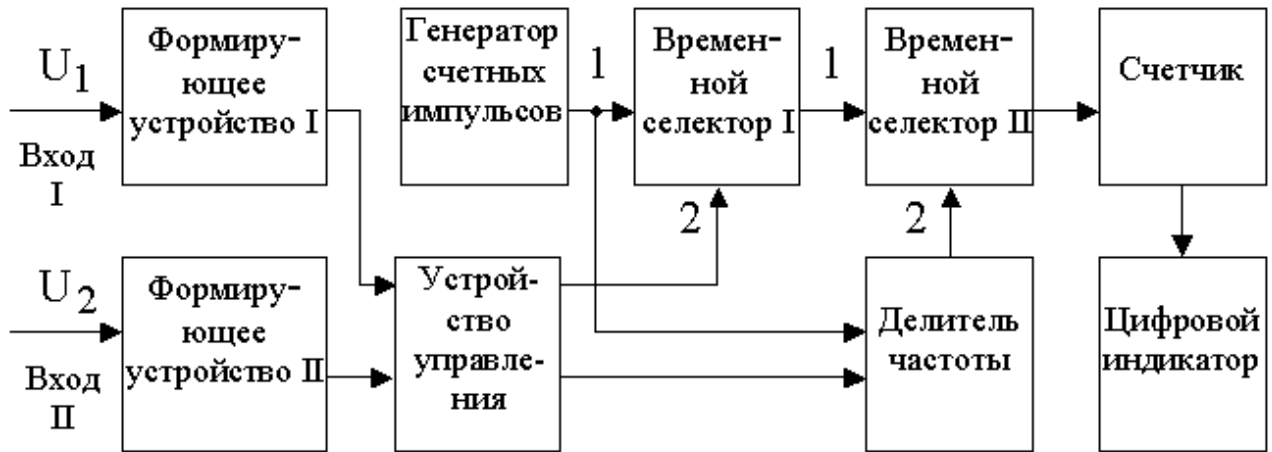


Рис. 3.7.1 Структурная схема цифрового фазометра с усреднением

Входные синусоидальные напряжения U_1 и U_2 с помощью формирующих устройств преобразуются в периодические последовательности коротких импульсов, сдвинутые относительно друг друга на временной интервал

$$\Delta T = \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \times T. \text{ Эти импульсы, попадая на два входа устройства управления,}$$

формируют на его выходе последовательность прямоугольных импульсов длительностью ΔT и с периодом следования T . Полученные прямоугольные импульсы подаются на вход 2 (управляющий) временного селектора I, а на его вход 1 (сигнальный) подается последовательность коротких импульсов с выхода генератора счетных импульсов, период следования которых равен $T_{сч}$. В результате на выходе временного селектора I формируется последовательность пачек счетных импульсов (рис.3.7.2). При условии, что $\Delta T > T_{сч}$, число импульсов n в каждой пачке, без учета погрешностей, может быть подсчитано по формуле:

$$n = \frac{\Delta T}{T_{сч}} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \times \frac{T}{T_{сч}}. \quad (3.7.1)$$

Эти пачки счетных импульсов подаются, в свою очередь, на вход 1 временного селектора II. На его вход 2 с выхода формирователя, в качестве которого работает делитель частоты, подается прямоугольный импульс длительностью $T_{изм}$. В результате, на выходе временного селектора II образуется конечная последовательность пачек счетных импульсов (рис.3.7.1. и 3.7.2).

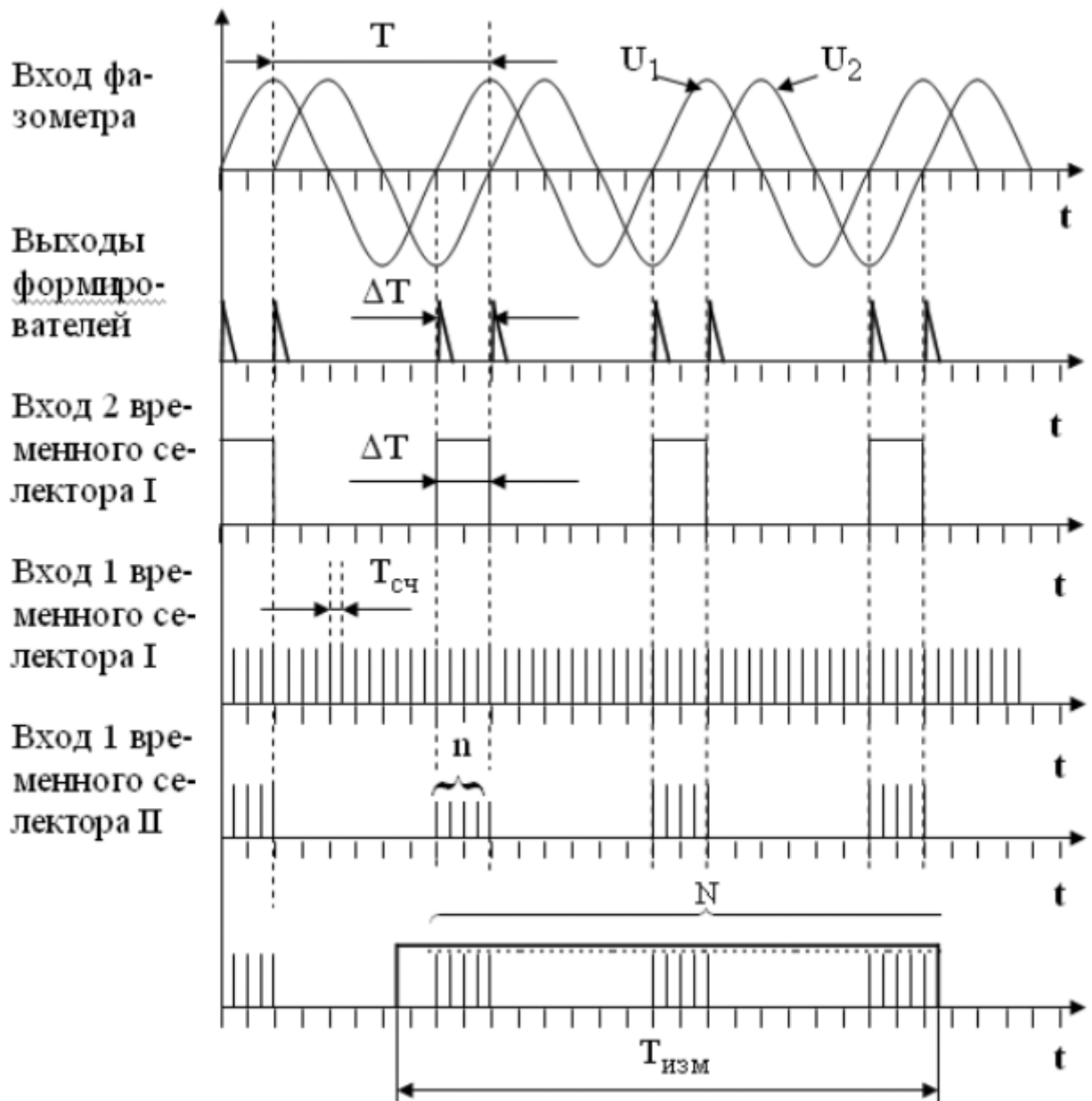


Рис. 3.7.2 Временные диаграммы работы цифрового фазометра

Длительность одного цикла измерений $T_{изм}$ выбирается так, чтобы

$$T_{изм} \gg T_{нижн}, \quad (3.7.2)$$

где $T_{нижн}$ – период самого низкочастотного напряжения, исследуемого фазометром. При выполнении этого условия общее количество счетных импульсов N , попавших на вход счетчика, можно определить по формуле:

$$N = n \times \frac{T_{изм}}{T} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \times \frac{T_{изм}}{T_{сч}}. \quad (3.7.3)$$

Погрешность в определении N по формуле (3.7.3), тем меньше, чем больше число импульсов n в каждой пачке, и чем лучше выполняется условие (3.7.2).

Код числа N с выхода счетчика поступает на цифровой индикатор.

Если длительность одного цикла измерений выбрать в соответствии с выражением $T_{\text{изм}} = \frac{KT_{\text{сч}}}{2}$, где K – коэффициент деления частоты, то выражение (3.7.3) можно записать в виде:

$$N = n \times \frac{T_{\text{изм}}}{T} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \times \frac{T_{\text{изм}}}{T_{\text{сч}}} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \times \frac{K}{2} = \frac{K \times \Delta\varphi}{720^0}. \quad (3.7.4)$$

Значение величины K выбирают, как правило, из условия $K = 720 \times 10^m$, где $m=0; 1; 2$ и т. д.

В этом случае для значения угла сдвига фаз получаем:

$$\Delta\varphi = 10^{-m} N = qN, \quad (3.7.6)$$

где q – значение единицы младшего разряда цифрового отсчетного устройства фазометра.

При $m=0$ имеем $q = 1^0$, при $m=1$ – соответственно $q = 0,1^0$, при $m=2$ – соответственно $q = 0,01^0$ и т. д.

Видно, что такой цифровой фазометр является прямопоказывающим, это одно из его достоинств. Важная особенность цифрового фазометра с усреднением состоит в том, что его погрешность дискретности имеет две составляющие: одна связана с ограниченным числом импульсов в каждой пачке, а другая – с ограниченным числом пачек, попадающих в интервал $T_{\text{изм}}$. С изменением частоты входных напряжений влияние этих двух составляющих погрешности дискретности изменяется в противоположных направлениях. С увеличением частоты количество импульсов в каждой пачке уменьшается, но количество подсчитанных пачек возрастает, с уменьшением частоты происходит противоположный процесс. Возрастание одной составляющей погрешности дискретности при уменьшении n лимитирует верхнюю границу частотного

диапазона фазометра, а возрастание другой составляющей при уменьшении числа пачек – нижнюю границу. Можно показать, что для рассмотренных фазометров, значение абсолютной погрешности измерений в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц обычно составляет от $0,1^0$ до $0,5^0$ и быстро растет по мере уменьшения или роста частоты за указанные пределы.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рис. 3.7.3) находятся модели калибратора фазового сдвига (далее калибратора) и цифрового фазометра (далее фазометра).

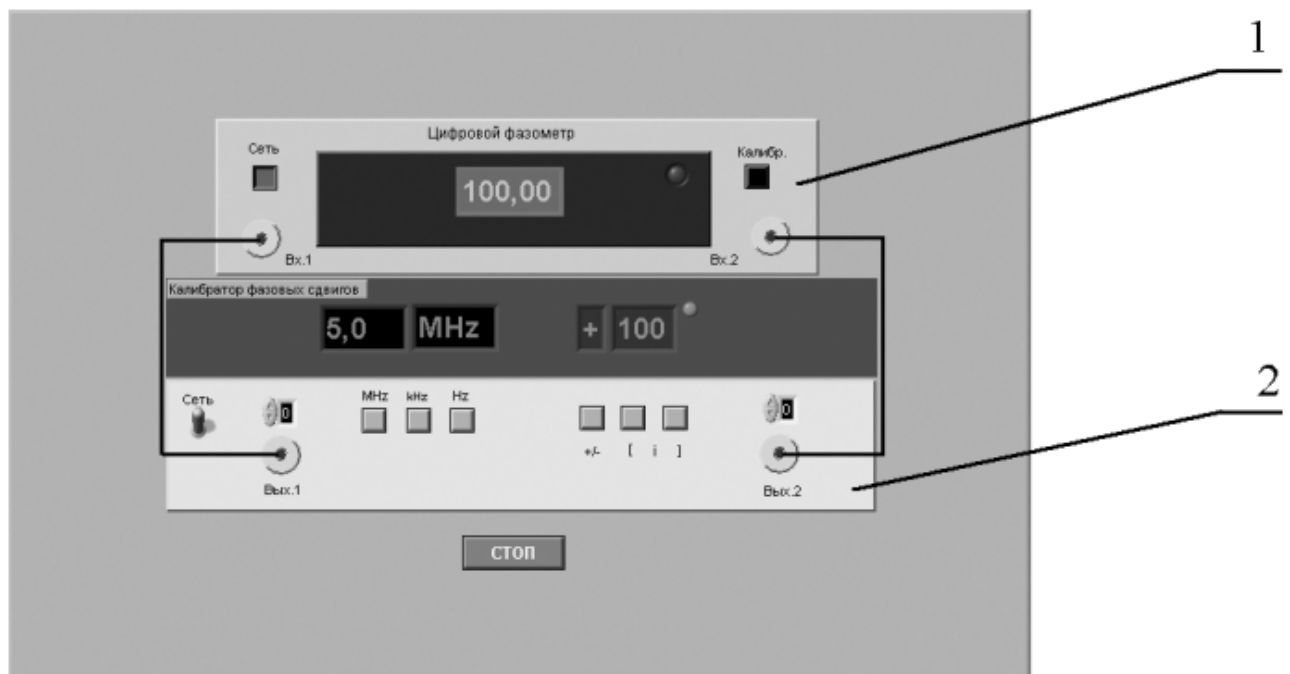


Рис. 3.7.3 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы № 3.7 (1-цифровой фазометр, 2-калибратор фазовых сдвигов)

Модель калибратора используется для моделирования работы многозначной меры, воспроизводящей углы фазового сдвига между двумя синхронными гармоническими электрическими сигналами.

Модель цифрового фазометра используется при моделировании процесса измерения угла фазового сдвига между двумя синхронными гармоническими напряжениями с цифровым отображением информации.

Схема включения приборов при выполнении измерений приведена на рис. 3.7.4.

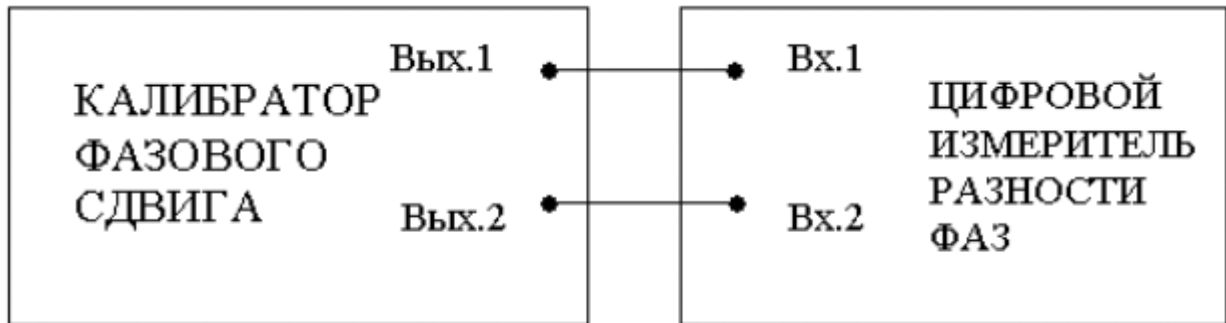


Рис.3.7.4. Схема электрического соединения калибратора и цифрового фазометра при выполнении работы № 3.7

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Запустите программу-оболочку лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 3.7 «Измерение угла фазового сдвига» в группе работ «Измерение электрических величин». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рис. 3.7.3) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования определите возможность изменения частоты сигналов на выходе калибратора и фазового сдвига между ними. Далее установите напряжения на выходе калибратора равным примерно 1В и убедитесь в том, что показания фазометра меняются по мере изменения фазового сдвига между сигналами на выходе калибратора.

4.3. После того, как Вы убедитесь в работоспособности приборов, подготовьте к работе модель фазометра и модель калибратора:

- Включите фазометр и калибратор (после включения на лицевых панелях моделей загорятся табло индикации).
- Установите регуляторы выходных напряжений калибратора в среднее положение.
- Установите значение угла фазового сдвига между сигналами на выходах

калибратора, равным 0 градусов.

- Откалибруйте фазометр, удерживая кнопку «Калибр.» до появления нулевых показаний. После отпускания кнопки фазометр автоматически переходит в режим измерений.

4.4. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1 Измерение угла фазового сдвига на фиксированной частоте.

- a. Установите значение угла фазового сдвига на выходе калибратора, равным 0 градусов, а значение частоты выходных сигналов равным 10 кГц.
- b. Повторно откалибруйте фазометр.
- c. Снимите показания фазометра.
- d. Запишите в отчет показания фазометра, а также сведения о его классе точности.
- e. Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе калибратора, повторите измерения, выбирая фазовый сдвиг между сигналами на выходе калибратора, равным последовательно 10, 30, 60, 90, 120, 150 и 180 градусов.
- f. Повторите измерения согласно п.п. (a-e), оставляя неизменной амплитуду сигналов на выходе калибратора и установив их частоту, равной 0,5Гц или 5МГц.

Задание 2 Измерение угла фазового сдвига на различных частотах.

- a. Установите значение угла фазового сдвига на выходе калибратора, равным 10 градусов, а значение частоты выходных сигналов равным 0,5Гц.
- b. Повторно откалибруйте фазометр.
- c. Снимите показания фазометра.
- d. Запишите в отчет показания фазометра, а также сведения.
- e. Оставляя неизменными амплитуду и фазовый сдвиг между сигналами на выходе калибратора, повторите измерения, выбирая частоту сигналов на выходе калибратора, равной последовательно 50 Гц, 500 Гц, 50 кГц, 0,5 МГц, 5 МГц.
- f. Повторите измерения согласно п.п. (a-e), оставляя неизменной амплитуду сигналов на выходе калибратора и установив разность фаз, равной 60 градусов или 90 градусов.

4.5. Сохраните результаты.

4.6. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении, а также содержать:

- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений от результатов измерений (при фиксированной частоте и при фиксированном фазовом сдвиге) с выделенными на них полосами допустимых погрешностей;

Рекомендованная форма таблиц для записи результатов приведена ниже.

Таблица 3.7.1

Результаты измерений угла фазового сдвига с помощью цифрового фазометра (частота сигналов 10 кГц)

Фазовый сдвиг на выходе калибратора, град.	Показания фазометра, град.	Абсолютная погрешность фазометра, град		Относительная погрешность фазометра, %		Результат измерений, град.
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	

Таблица 3.7.2

Результаты измерений угла фазового сдвига ___ градусов на различных частотах с помощью цифрового фазометра

Частота сигнала на выходе калибратора, Гц	Показания фазометра, град	Абсолютная погрешность фазометра, град		Относительная погрешность фазометра, %		Результат измерений
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Требуется измерить угол фазового сдвига между двумя гармоническими электрическими сигналами, ориентировочно равный 1 (10, 30, 90, 175) градусам с погрешностью не превышающей 1% (1 градуса). Как это лучше сделать, если частота сигналов равна 1 Гц (100 Гц, 100 кГц, 10 МГц, 1 ГГц)?

© МИРЭА

© Кафедра информационных систем

- 6.2 В каком случае гармонические напряжения называют противофазными?
- 6.3 Какой метод реализуется при измерении сдвига фаз электродинамическим или ферродинамическим логометром?
- 6.4 Какие преобразования претерпевает измеряемая величина в аналоговых электронных фазометрах?
- 6.5 В каком диапазоне частот работают аналоговые электронные фазометры?
- 6.6 Какие фазометры обеспечивают наивысшую точность в диапазоне частот от нескольких герц до десятков мегагерц?
- 6.7 За счет чего при использовании цифровых фазометров удается обеспечить высокую точность измерений как в области высоких, так и в области низких частот?
- 6.8 Чем отличаются друг от друга цифровой фазометр с усреднением и без усреднения? Когда они используются?
- 6.9 В каком для измерения угла фазового сдвига следует выбрать электронный осциллограф?