

Федеральное агентство по образованию

Томский Государственный Университет Систем Управления
и Радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра электронных систем автоматизации
и управления (ЭСАУ)

Лабораторная работа № 5

Измерение разности фаз электрических сигналов

Томск 2012г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ФАЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

1. Цель работы.

Целью настоящей работы является изучение некоторых методов измерения фазовых сдвигов электрических сигналов, анализ точности измерений, определение систематических и случайных погрешностей измерений.

2. Основные положения.

2.1. Фазовым сдвигом φ называется модуль разности аргументов двух синусоидальных сигналов одинаковой частоты ω :

$$U_1 = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (2.1)$$

$$U_2 = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2), \quad (2.2)$$

где U_{m1}, U_{m2} - амплитуды сигналов;

φ_1, φ_2 - начальные фазы сигналов.

Разность фаз сигналов одинаковой частоты определится как разность их начальных фаз

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.3)$$

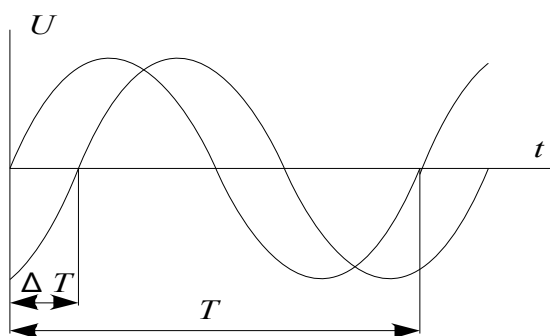


Рис. 2.1

Фазовый сдвиг является величиной постоянной и не зависит от момента отсчета. Обозначая через ΔT (рис. 2.1) интервал времени между моментами, когда сигналы находятся в одинаковых фазах, например при переходах через нуль от отрицательных к положительным значениям, то фазовый сдвиг определится:

$$\varphi = 360^\circ \frac{\Delta T}{T} \quad \text{или} \quad \varphi = \omega \Delta T = 2\pi \frac{\Delta T}{T}; \quad (2.4)$$

2.2. В данной лабораторной работе исследуются 2 метода измерения фазового сдвига: метод непосредственной оценки с помощью фазометра и косвенный метод с применением осциллографа.

2.2.1. Измерение разности фаз методом непосредственной оценки производится фазометром типа Ф2-16, работа которого основана на преобразовании фазового сдвига в импульсную последовательность, постоянная составляющая которой, пропорциональная измеряемому фазовому сдвигу, измеряется вольтметром. Подробное описание принципа работы фазометра приведено в техническом описании и инструкции по эксплуатации прибора Ф2-16.

2.2.2. Измерение фазового сдвига косвенным методом производится с помощью осциллографа способом линейной и синусоидальной разверток. При способе линейной развертки на каналы вертикального отклонения двухканального осциллографа подают измеряемые сигналы (2.1) и (2.2). В осциллографе включается линейная развертка; амплитуды изображений сигналов уравниваются изменением коэффициентов усиления каналов. При этом осциллограмма будет иметь вид рис. 2.1. Фазовый сдвиг вычисляют по формуле 2.4, подставляя длины отрезков ΔT и T . Для более точного измерения увеличивают скорость развертки с таким расчетом, чтобы на экране было изображение немногим более половины периода (рис.2.2).

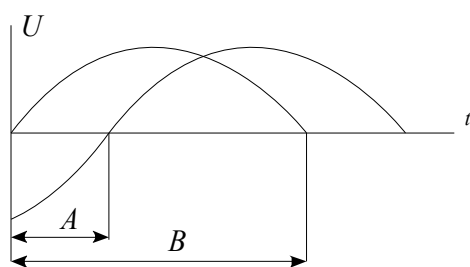


Рис.2.2

Измеряя отрезки A и B , производят вычисление фазового сдвига по формуле:

$$\varphi = \frac{A}{B} 180^\circ \quad (2.5)$$

2.2.3. Измерение фазового сдвига при способе синусоидальной развертки осуществляется в режиме использования вертикальных и

горизонтальных отклоняющих пластин для сигналов со сдвигом фазы. Подавая в канал вертикального отклонения сигнал (2.1), а в канал горизонтального отклонения сигнал (2.2), получим на экране изображение эллипса (рис. 2.3).

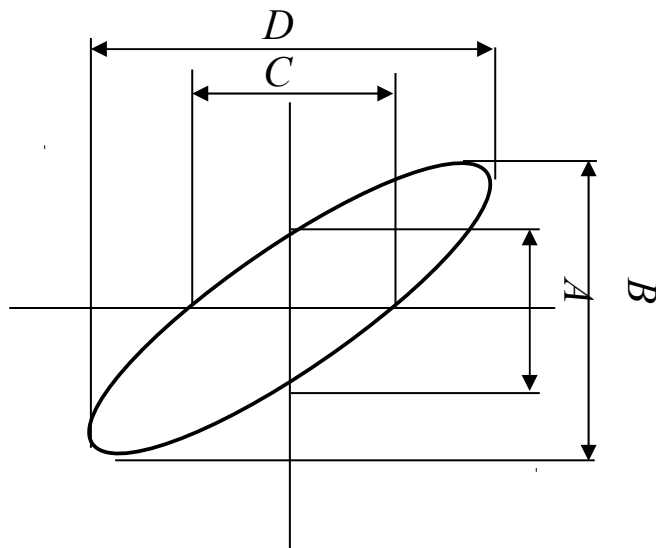


рис. 2.3.

Уравнение эллипса в полярных координатах запишется:

$$y = \frac{B}{D}(x \cos \varphi + \sqrt{(0,5D)^2 - x^2} \sin \varphi) \quad (2.6)$$

Как следует из рис. 2.3 при $x=0$ $y = \frac{A}{2}$ и, подставляя в формулу 2.6, получим вертикальный отрезок $A = B \sin \varphi$ и, соответственно при $y=0$, получим $C = D \sin \varphi$. Для измерения фазового сдвига измеряют по осциллограмме отрезки A , B , C и D , после чего фазовый сдвиг определяют по формуле:

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{A}{B} = \pm \arcsin \frac{C}{D} \quad (2.7)$$

Способ синусоидальной развертки не позволяет определить фазовый сдвиг однозначно. Когда оси эллипса совпадают с осями координат, фазовый сдвиг равен 90° или 270° ; если большая ось эллипса располагается в первом и третьем квадрантах, то фазовый сдвиг $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ или $270^\circ < \varphi < 360^\circ$; если во втором и в четвертом квадрантах, то $90^\circ < \varphi < 180^\circ$ или $180^\circ < \varphi < 270^\circ$. Для устранения неоднозначности следует ввести дополнительный сдвиг 90° , и по изменению вида осциллограммы легко определить действительный фазовый сдвиг.

Например, получили фазовый сдвиг, равный 30° или 330° . Ввели дополнительный фазовый сдвиг $+90^\circ$. Если осциллограмма осталась в

прежних квадрантах, то $\varphi=330^0$; если переместилась во второй и четвертый, то $\varphi=30^0$.

3. Приборы, используемые в работе.

3.1. Осциллограф двухканальный INSTEK GOS - 620FG.

3.2. Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112.

3.3. Измеритель разности фаз Ф2-16.

3.4. Вспомогательные цепи: соединительные провода и кабели, макет с фазосдвигающими цепями.

4. Домашнее задание.

4.1. Изучить принцип действия, структурную схему и назначение функциональных узлов фазометра Ф2-16.

4.2. Ознакомиться с методами измерения разности фаз с помощью осциллографа.

4.3. Рассчитать фазовый сдвиг дифференцирующей и интегрирующей цепей по заданным преподавателем значений R , C и f .

4.4. Уяснить основные источники систематических и случайных погрешностей измерений с помощью осциллографа, фазометра Ф2-16, а также их оценки для каждого метода измерений.

5. Контрольные вопросы.

5.1. Как производится измерение разности фаз одноканальным осциллографом с применением линейной развертки?

5.2. Как производится измерение разности фаз двухканальным осциллографом с применением линейной развертки?

5.3. Как производится измерение разности фаз методом эллипса?

5.4. Какой способ измерения разности фаз с применением линейной развертки на осциллографе дает более точные результаты: способ измерения, используя полный период измеряемого сигнала или его половину? Пояснить на примере.

5.5. Какому осциллографическому методу (с точки зрения точности) отдадите предпочтение: методу линейной развертки или методу эллипса при измерении фазового сдвига 10^0 ; 45^0 ; 80^0 ?

5.6. Какие виды методических погрешностей возникают при измерении фазового сдвига с помощью осциллографа; с использованием фазометра Ф2-16?

5.7. Для чего при измерениях фазовых сдвигов необходима калибровка измерительных приборов? Конкретно: осциллографа, генератора, фазометра?

6. Лабораторное задание.

6.1. Установить на макете фазосдвигающей цепочки величины сопротивления и емкости из варианта (табл. 6.1), заданного преподавателем.

Табл. 6.1.

Вариант	Сопротивление R , кОм	Емкость C , нФ	Частота f , кГц
1	0,85	2,31	90,0
2	1,14	3,29	30,0
3	1,50	2,31	50,0
4	6,17	3,29	8,00
5	6,85	2,31	8,00
6	11,4	3,29	4,00
7	12,9	2,31	5,00
8	17,7	3,29	3,00
9	21,9	2,31	2,50
10	35,5	3,29	2,00
11	43,9	2,31	1,50

6.2. Измерить фазовые сдвиги используемых цепочек с помощью реального осциллографа INSTEK GOS - 620FG теми же способами, что и в пункте 6.2. Рассчитать методические погрешности и внести поправку в измерения. В каждом из шести измерений оценить точность измерения.

6.3. Измерить фазовые сдвиги исследуемой цепочки измерителем разности фаз Ф2-16. Рассчитать методические погрешности и внести поправку в измерения. Оценить точность измерения, используя технические характеристики фазометра.

6.4. Результаты всех измерений свести в таблицу 6.2.

Табл. 6.2.

Объект измерения	Метод измерения	Результат измерения	Погрешность измерения
Интегрирующая цепочка	Измерителем разности фаз Ф2-16		
	Осциллографом INSTEK GOS-620FG:		
	1. Метод линейной развертки		
	а) за полный период		
	б) за половину периода		
	2. Метод эллипса		
Дифференцирующая цепочка	Измерителем разности фаз Ф2-16		
	Осциллографом INSTEK GOS-620FG:		
	1. Метод линейной развертки		
	а) за полный период		
	б) за половину периода		
	2. Метод эллипса		

7. Методические указания к выполнению работы.

7.1. Теоретический расчет фазового сдвига.

Фазовый сдвиг интегрирующей и дифференцирующей цепей (рис. 7.1) может быть рассчитан по формуле 7.1.

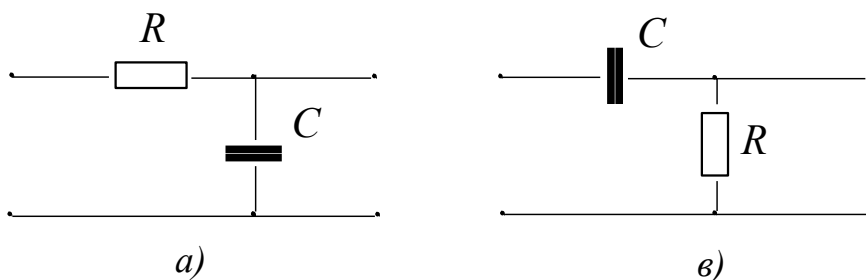


Рис. 7.1.

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(K(j\omega))}{\operatorname{Re}(K(j\omega))} \quad (7.1),$$

где $\operatorname{Im}(K(j\omega))$ и $\operatorname{Re}(K(j\omega))$ — мнимая и действительная части коэффициента передачи RC -цепи на частоте $\omega=2\pi f$.

Коэффициент передачи может быть определен с использованием соотношений $K(j\omega)=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ или $K(j\omega)=Z_{\text{вых}}/Z_{\text{вх}}$,

где $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ - входное и выходное напряжения RC -цепи;
 $Z_{\text{вх}}$ и $Z_{\text{вых}}$ - входное и выходное сопротивления RC -цепи.

Числовые данные R , C и f подставляются только после окончательного вывода формулы фазового сдвига интегрирующей и дифференцирующей цепей. Проверкой правильности полученных результатов является соотношение $|\varphi_{\text{инт}}| + |\varphi_{\text{дифф}}| = 90^\circ$.

7.2. Измерение с применением двухканального осциллографа INSTEK GOS – 620FG.

Для проведения измерений используется макет фазосдвигающей цепочки (рис 7.2). Установка резисторов производится галетным переключателем S_1 , конденсаторов — тумблером S_4 . Тумблер S_2 производит переключение вида фазосдвигающей цепочки, тумблер S_3 производит включение фазового сдвига.

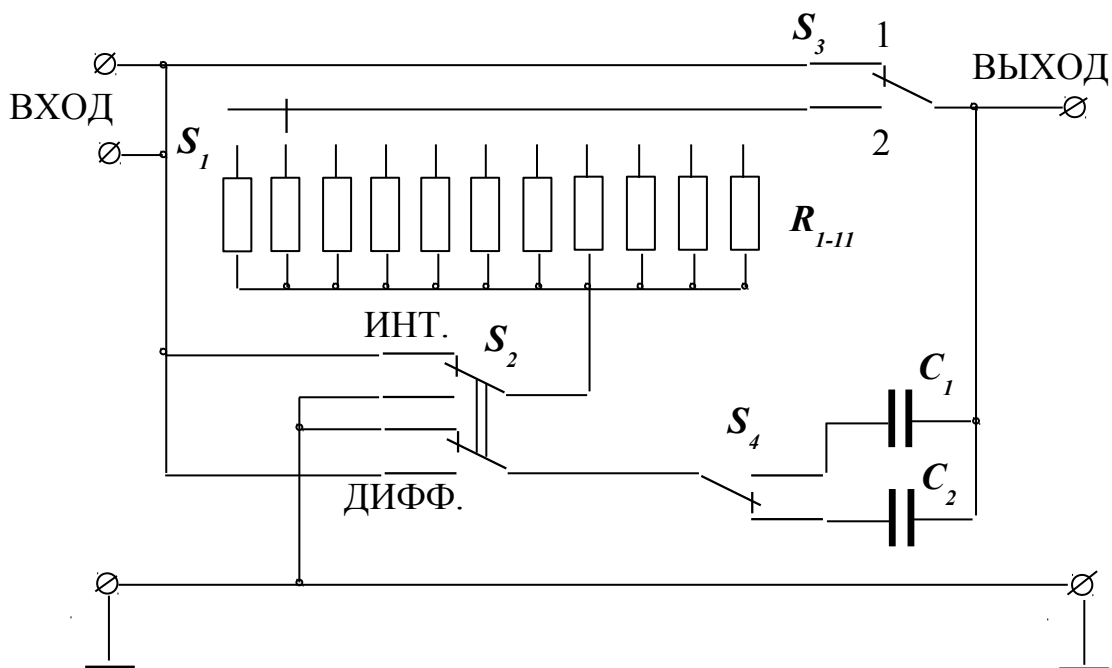


Рис. 7.2.

7.2.1 Измерение фазового сдвига с применением линейной развертки .



Рис.7.3.

Для проведения измерений собрать схему рис 7.3. Опорный сигнал амплитудой не менее 1 В подключить к входу 1, а выходной к входу 2 осциллографа. Включить внутреннюю синхронизацию первого канала. Включить двухканальный режим работы осциллографа (п. 3.3 технического описания осциллографа).

Измерение **способом за полный период** производится в следующем порядке: отключив сигнал, включить линейную развертку и установить по вертикали лучи обоих каналов точно в середине экрана; тумблером S_2 включить в схеме интегрирующую цепочку; подключить сигнал, поставить тумблер S_3 в положение 2 и, регулировкой уровня синхронизации и усиления каналов установить на экране изображение одного неподвижного периода синусоидального сигнала с амплитудой не менее 30мм. Поставив тумблер S_3 в положение 1, усилением канала 2 установить амплитуду выходного сигнала также не менее 30мм. При этом на экране будет получена осциллограмма рис. 2.1. **Отключив сигнал, проверить нулевое положение луча.** Измерив отрезки ΔT и T , определить фазовый сдвиг по формуле 2.4. Аналогичные измерения провести для дифференцирующей цепочки, установив тумблер S_2 в положение «ДИФФ».

Для измерения **способом за половину периода** следует при тех же установках синхронизации и усиления каналов изменением скорости развертки получить на экране изображение половины периода синусоидального сигнала рис. 2.2. Измерив отрезки A и B полученной осциллограммы, вычислить фазовый сдвиг по формуле 2.5. Измерение провести как для интегрирующей, так и для дифференцирующей цепочек.

7.2.2 Измерение методом эллипса.

Не изменяя установок при предыдущих измерениях, перевести осциллограф в режим независимого использования каналов (п. 3.6 технического описания осциллографа). **Отключив сигнал, установить луч в центр экрана.** Регулируя усиление каналов, получить на экране изображение эллипса размером не менее 0,9 максимального размера экрана как по горизонтали, так и по вертикали (рис.2.3). Измерив отрезки A , B , C и D , вычислить фазовый сдвиг по формуле 2.7. Измерение провести как для интегрирующей, так и для дифференцирующей цепочек.

7.3. Измерение с помощью фазометра Ф2-16.

Подать входной и выходной сигналы фазосдвигающей цепочки на входы А и В фазометра. Произвести измерение фазового сдвига в соответствии с инструкцией по эксплуатации фазометра Ф2-16.

8. Оценка точности измерений.

8.1. Методические погрешности измерения разности фаз реальными приборами (осциллограф, фазометр).

Как известно из курса метрологии, методические погрешности возникают от несовершенства метода измерений, могут быть определены теоретически в каждом конкретном случае и внесены в результат измерения в виде поправки. В данном случае при измерении фазового сдвига методические погрешности возникают за счет подключения измерительного прибора (осциллограф, фазометр) к выходу измеряемой цепочки.

Для теоретического определения методической погрешности измерения фазового сдвига используется закон определения погрешностей при косвенных измерениях. Для этого в качестве основы используется формула 7.1, где наиболее удобным является определение коэффициента передачи по формуле $K(j\omega) = Z_{\text{вых}} / Z_{\text{вх}}$. Подключая к выходу фазосдвигающей цепочки измерительный прибор, импеданс которого представлен параллельным соединением входного сопротивления $R_{\text{вх}}$ и входной емкости $C_{\text{вх}}$, получим новые значения $Z'_{\text{вых}}$ и $Z'_{\text{вх}}$, и соответственно $K^1(j\omega)$. Следовательно изменится и фазовый сдвиг, определяемый по формуле 7.1. Анализ показывает, что методические погрешности при измерении фазового сдвига как интегрирующей, так и дифференцирующей цепочек определяются по формулам

$$\Delta\varphi_{MC} = -\arctg(\operatorname{tg}\varphi \cdot \delta C), \quad \Delta\varphi_{MR} = \arctg(\operatorname{tg}\varphi \cdot \delta R), \quad (8.1)$$

$$\text{где } \delta C = C_{\text{вх}} / C : \quad \delta R = R / R_{\text{вх}} ,$$

$\Delta\varphi_{MC}$ - методическая погрешность, обусловленная влиянием входной емкости,

$\Delta\varphi_{MR}$ - методическая погрешность, обусловленная влиянием входного сопротивления.

8.2 Оценка точности измерения разности фаз с применением осциллографа.

8.2.1. Определить методическую погрешность согласно п. 8.1 и внести поправку в результат измерения. Данные входного импеданса взять из технических характеристик осциллографа. Емкость соединительного кабеля принять равной 50 пФ.

8.2.2 При измерении фазовых сдвигов косвенным методом с помощью осциллографа с использованием линейной развертки наиболее точным является способ измерения за половину периода (рис. 2.2), поскольку уменьшается относительная погрешность измерения отрезков **A** и **B**. При снятии показаний возникает случайная погрешность отсчета

линейных размеров A и B на экране осциллографа. При этом погрешности по фазе, обусловленные неточностью отсчета, составят:

$$\Delta\varphi_A = \varphi \cdot \delta A, \quad \Delta\varphi_B = \varphi \cdot \delta B, \quad (8.2)$$

где φ — измеренный фазовый сдвиг,

δA , δB — погрешности отсчета отрезков A и B соответственно.

В свою очередь визуальная погрешность измерения отрезка по ГОСТ на электронно-лучевые осциллографы составляет

$$\delta A = \frac{0,4q}{A}; \quad \delta B = \frac{0,4q}{B} \quad (8.3)$$

где q — толщина луча на экране в мм,

A и B — измеренные отрезки в мм.

Суммарная абсолютная погрешность измерения фазового сдвига составит

$$\Delta\varphi = \sqrt{\Delta\varphi_A^2 + \Delta\varphi_B^2} \quad (8.4)$$

8.2.3 При измерении фазового сдвига методом эллипса по формуле (2.7) определение случайной визуальной погрешности производится согласно теории нахождения погрешностей при косвенных измерениях. Анализ показывает, что эта погрешность определится по формуле:

$$\Delta\varphi = \operatorname{tg}\varphi \sqrt{\Delta\varphi_A^2 + \Delta\varphi_B^2}; \quad \text{или} \quad \Delta\varphi = \operatorname{tg}\varphi \sqrt{\Delta\varphi_C^2 + \Delta\varphi_D^2} \quad (8,5)$$

где φ — фазовый сдвиг, измеренный по формуле (2.6);

$\Delta\varphi_A$, $\Delta\varphi_B$, $\Delta\varphi_C$, $\Delta\varphi_D$ — погрешности по фазе, определяемые по формулам (8.1) (8.2);

A , B , C , D — измеренные отрезки согласно полученной осциллограммы (рис 2.3).

8.3 Оценка точности измерения разности фаз фазометром Ф2-16.

8.3.1 Определить методическую погрешность согласно п. 8.1 и внести поправку в результат измерения. Данные входного импеданса фазометра взять из технических характеристик. Емкость соединительного кабеля принять равной 50 пФ.

8.3.2 Определить случайную погрешность измерения фазового сдвига, используя технические характеристики фазометра Ф2-16 (п.п. 2.4; 2.5; 2.6; 2.7). Данные нелинейных искажений сигнала взять из технического описания генератора Г3-112; амплитудное соотношение входных сигналов фазометра измерить с помощью осциллографа.