**Измерение угла сдвига фаз**

**[Электрические измерения](http://forum220.ru/em.php%22%20%5Co%20%22%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%20%D0%B2%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%BB%20%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F)**

Фаза характеризует моментальное значение гармонического сигнала в определенный момент времени. Единица измерения фазы электрический градус или радиан. Определение сдвига фазы происходит двумя основными методами: непосредственной оценки и сравнения.

К фазометрам непосредственной оценки относят аналоговые электромеханические приборы с логометрическим механизмом, аналоговые электронные фазометры и цифровые фазометры.

Измерение методом сравнения производят по средствам осциллографа. Такой метод применяется в маломощных цепях, при небольшом уровне измеряемых сигналов, когда не требуется высокой точности. Для более точных результатов применяют компенсационный метод, где осциллограф служит индикатором равенства фаз.

При измерениях в диапазоне частот сигналов от нескольких десятков до 6-8 кГц применяют логометрические приборы, что позволяет измерять сигналы большой амплитуды с невысокой точностью и большим собственным потреблением прибора.

**Аналоговые электронные фазометры**. В основу работы двухканальной схемы, аналогового электронного фазометра положено преобразование угла сдвига, между сигналами, в интервалы времени между импульсами *Т*, с последующим преобразованием в разность токов *Icp*, среднее значение которой пропорционально этому углу.



Формула, выражающая зависимость угла сдвига от выходного тока схемы, записывается в следующем виде:

   *Ψ=(180\*Icp)/Iм;*

где *Ψ* – угол сдвига фаз;
*Icp* – среднее значение разности токов на выходе схемы;
*Iм* – амплитуда выходных импульсов.

Гармонические сигналы *U1* и *U2* подаются соответственно на опорный и сигнальный входные элементы схемы. Входной элемент представляет собой усилитель-ограничитель входного сигнала и служит для преобразования сигналов синусоидальной формы в серию импульсов с постоянной крутизной фронта.

Синхронизированные мультивибраторы под воздействием входного сигнала вырабатывают импульсы прямоугольной формы (график 3). Выходные сигналы мультивибраторов имеют постоянную длительность *Т/2* и сдвинуты друг относительно друга на время *ΔТ*, пропорциональное углу *ψ*.

Выходной сигнал с опорной и сигнальной части схемы подаются на специальный дифференцирующий элемент, на выходе которого вырабатываются остроконечные сигналы. Положительные импульсы преобразуются в фронты, отрицательные – в срезы (график 4).

На выходные мультивибраторы поступают следующие сигналы. Выходной *МВ*опорного канала: положительный импульс опорного канала и отрицательный импульс измерительного канала. Выходной МВ измерительного канала: положительный импульс измерительного канала и отрицательный импульс опорного канала.

При этом на выходе опорного *МВ* получается сигнал длительностью *(Т/2+ΔТ)*, а на выходе измерительного *МВ–(Т/2-ΔТ)*.

Измерительный микроамперметр, включенный на разность импульсов выходных МВ, показывает среднее значение разности токов:

   *Icp=(2ΔТ/Т)Iм;*

Если в данное выражение подставить формулы *ψ=ωΔТ, ω=2π/Т*, получим:

   *ψ=360ºΔТ/Т=(180ºIcp)/Iм;*

Шкала амперметра градуируется в единицах измерения угла сдвига фаз. Погрешность при использовании данного метода зависит от класса точности прибора.

**Цифровые фазометры**. Принцип работы этих цифровых приборов основан на зависимости *ψ=360ºΔТ/Т*, но вместо множителя *ΔТ/Т* в формуле участвует значение количества образцовых импульсов *N*. Работа цифрового фазометра пояснена рисунком 2.



Время открытого состояния временного селектора зависит от измеряемого периода *Т*. За этот промежуток времени, через временной селектор проходит сигнал образцовой частоты *fo* и образцовой продолжительности *То*, выдаваемый генератором меток времени. Число импульсов *N* за период *Т* составит:

   *N=Т/То;*

Входные сигналы *U1* и *U2* посредствам формирователя строб-импульсов преобразуются в серию импульсов, сдвинутых во времени на *ΔТ*, пропорциональное сдвигу фаз сигналов. Время открытого состояния временного селектора равно *ΔТ*, а число пропущенных импульсов образцовой частоты равно:

   *n=ΔТ/То;*

Тогда зависимость *ψ* от частоты и количества импульсов образцовой частоты запишется так:

   *ψ=360ºn/N* или *ψ=360º(fo/f)n;*

Такие частотомеры применяют при условии, что образцовая частота более чем в 1000 раз превосходит частоту сигнала.

Для измерения среднего значения сдвига фаз, в схему цифрового фазометра добавляют еще один временной селектор, управляемый делителем напряжения. В данном случае через два последовательно включенных временных селектора пройдет несколько групп импульсов, пропорциональных по величине углу сдвига.

**Измерение методом сравнения**. Для определения сдвига фаз методом сравнения применяют электронный осциллограф. Сдвиг фаз *ψ* находят по параметрам фигур изображенным на экране осциллографа, работающего в режиме линейной или круговой развертки.

При использовании двухлучевого осциллографа на вертикально-отклоняющие пластины подают два сигнала одинаковой частоты, между которыми измеряют сдвиг фаз. При совмещении горизонталей двух сигналов на экране осциллографа наблюдается диаграмма рис 3. По измеренным в масштабе отрезкам *ab* и *ac* определяют:

   *ψ=360ºΔТ/Т=360º[ab/ac]*.

Погрешность такого метода заключается в неточности определения отрезков *ab* и *ac*, неточном совмещении горизонталей, и толщине светового луча на экране.

При измерении *ψ* по [фигурам Лиссажу](http://forum220.ru/frequency-measurement.php) измеряемые напряжения подаются на горизонтальный и вертикальный входы осциллографа. На экране появляется фигура в виде эллипса.

Центр эллипса совмещают с центром системы координат. Измерив по экрану величину отрезков *А* и *В*, сдвиг фаз находят по формуле:

   *ψ=arctg(A/B);*

Погрешность измерений *ψ* методом фигур Лиссажу составляет 5-10%. Еще одним недостатком метода является измерение сдвига фаз без определения знака.

Этот недостаток решается следующим образом: напряжение *u2* подается одновременно на горизонтальные пластины и на модулятор электронно-лучевой трубки со сдвигом по фазе 90°. При этом в области положительных значений *ψ* - ярче светится верхняя часть эллипса, а при отрицательных – нижняя.

Наиболее точные определения *ψ* выполняют методом компенсации. Для этого применяют образцовый фазовращатель (RC–цепочка, мостовая или трансформаторная схема), включенный в цепь одного из напряжений. Фазовращатель вносит сдвиг по фазе равный, но противоположно направленный измеряемому *ψ*.

При сдвиге *ψ* на экране осциллографа наклонная линия будет отклонена вправо от вертикали. Если линия будет отклонена влево – сдвиг равен *(180º-ψ)*.