

Благодарим за то, что вы воспользовались Иммерсивным средством чтения. Поделитесь с нами своим мнением.

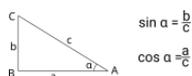


Синус это не только тригонометрия. Или электротехника и тригонометрия.

Статья большей частью рассчитана, пожалуй на старшеклассников. И на тех, кто не очень в школе дружил с математикой и физикой, но потом увлекся электроникой, или просто стал интересоваться. Я постараюсь говорить упрощенно, но без примитивизма. Наглядно, но опираясь на то, что читатель что то запомнил из школьных курсов математики и физики.

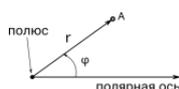
Синус, как и косинус, вместе всякими тангенсами, являются неотъемлемой частью тригонометрии. А тригонометрия это наука о треугольниках. Какое отношение треугольники могут иметь к электротехнике? Самое прямое.

Сначала нам потребуются треугольники, это же тригонометрия. О треугольниках я писал статью "[Сага о треугольниках](#)", но сейчас нас будут интересовать только прямоугольные треугольники и буквально пара формул



Да, все стандартно. Синус это отношение противолежащего катета к гипотенузе, а косинус это отношение прилежащего катета к гипотенузе. Пока ничего имеющего отношения к электричеству не наблюдается.

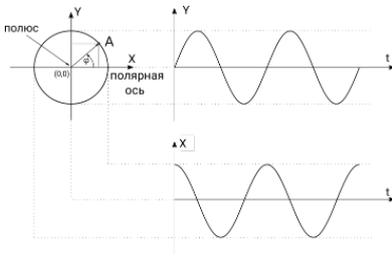
Теперь нам потребуется система координат. Но не привычная всем декартова, а полярная. О системах координат у меня тоже есть статья "[Этюд о координатах](#)", но из всего там написанного нам нужна только полярная система координат



Вместо двух привычных координат x и y , в полярной системе координаты задаются длиной вектора r и углом между полярной осью и вектором. Причем угол считается положительным при вращении против часовой стрелки. То есть, координаты точки A будут (r, φ) . Все еще не видно ничего имеющего отношение к электричеству.

А теперь давайте заставим точку бегать, **с постоянной скоростью**, по окружности. По единичной окружности, когда радиус равен 1. Бегать точка будет против часовой стрелки. И возьмем сразу две системы координат, причем точку начала координат $(0,0)$ декартовой системы совместим с полюсом полярной. Полярная ось будет совпадать по направлению с осью X декартовой системы.

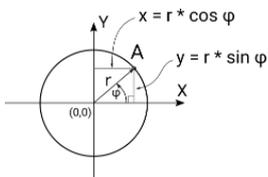
А сами будем наблюдать за проекциями точки на координатные оси декартовой системы. Да, вы угадали, мы сейчас нарисуем синусоиду.



Проекция точки A на ось Y, в зависимости от времени (фактически, угла φ) дает нам синусоиду, а на ось X косинусоиду, которая не отличима от синусоиды, только начинается она не с 0, а с 1. И этот момент мы скоро рассмотрим поподробнее. Вот теперь уже становится видна некоторая связь с электричеством.

На самом деле, синусоида связана не только с круговым движением. Многие вспомнят, что синусоида это и развертка во времени колебаний маятника (груз на нити), и груза на пружине, и волны на воде. Но нам важна именно связь с круговым движением.

Давайте внимательнее посмотрим на движение точки и убедимся, что тригонометрия там действительно есть.

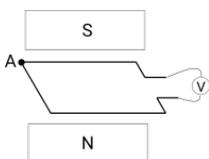


Но поскольку у нас окружность единичная, то $r=1$ и мы получаем простые и привычные формулы

$$y = \sin(\varphi)$$

$$x = \cos(\varphi)$$

Тем не менее, мы по прежнему не вышли за границы чистой математики, тригонометрии. Что бы сделать следующий шаг давайте представим, что наша точка A это точка на проволочной рамке вращающейся в магнитном поле.



Фактически, это обычный генератор переменного тока, который изучают в школьном курсе физики. В начальном состоянии рамка может быть повернута на любой угол. А выходное напряжение генератора может быть любым. Однако, оставим неизменным то, что рамка у нас вращается с постоянной скоростью.

Скорость это изменение угла поворота рамки за единицу времени, а не число оборотов в минуту, как это часто делают в обычной жизни. Такую скорость называют угловой.

$$\omega = \varphi / t$$

Однако, математики и физики решили, что пользоваться обычными градусами (окружность делится на 360 градусов) не интересно и скучно. Поэтому стали пользоваться радианами. А

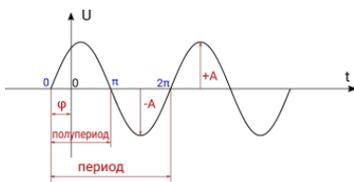
что бы совсем стало не скучно решили, что полная окружность состоит из 2π радиан.

Таким образом, 360 градусов, полный оборот точки, равен 2π радиан, половина оборота, 180 градусов, равняются π радиан, четверть оборота, 90 градусов, равняются $\pi/2$ радиан.

Но поскольку нам нужен именно угол, а не угловая скорость, то

$$\varphi = \omega * t, \text{ или просто } \omega t$$

И теперь мы готовы записать формулу для выходного напряжения нашего генератора



$$u = A * \sin(\omega t + \varphi)$$

Здесь нужно сделать одно важное замечание. На иллюстрации я показал **фрагмент** синусоиды в некоторый момент времени, а не в момент начала вращения рамки. Просто 0 на шкале времени соответствует то же положение точки A, которое она имела в начальный момент времени. Эта оговорка специально для тех, кто обязательно будет утверждать, что в момент пуска генератора форма сигнала будет несколько иной.

Итак, в этой формуле A это амплитуда нашей синусоиды. И, как видно из иллюстрации, она соответствует минимальным и максимальным значениям, в данном случае, напряжения.

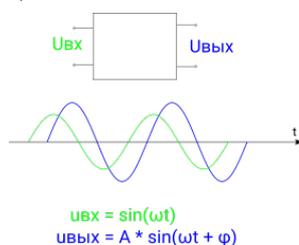
ωt , как мы уже выяснили ранее, это текущий угол поворота рамки. Только выраженный через угловую скорость и время. φ это начальный сдвиг фазы. В случае генератора этот сдвиг можно условно считать углом начального положения ротора. В случае синусоиды в общем случае, это просто смещение во времени точки перехода через ноль относительно начального момента времени.

На самом деле, начальный угол сдвига фазы чаще используется не сам по себе, а для указания сдвига фазы между двумя, и более, сигналами.



Мы можем принять, что у, например, синей синусоиды начальная фаза (начальный сдвиг) равна нулю. Тогда зеленая синусоида опережает синюю на угол φ . Или просто, сдвиг фазы между сигналами равен φ .

Но это далеко не все. При прохождении сигнала через любое устройство, любую цепь, приводит к изменению и амплитуды, и фазы сигнала. Эти изменения могут быть и чрезвычайно малы, и очень велики.



В данном случае, мы видим усилитель, который усиливает входной сигнал в A раз и сдвигает, задерживает, его фазу на φ .

Такой вот сдвиг фазы зачастую зависит от частоты, что может привести к проблемам при наличии обратных связей. На определенных частотах могут сложиться условия для самовозбуждения схемы.

Вообще, здесь нет никаких констант, никаких постоянных коэффициентов. Любой член формулы сам может быть формулой. Например, если A изменяется с частотой гораздо ниже, чем ω , то мы получаем амплитудную модуляцию. Если у нас изменяется ω , то мы получаем частотную модуляцию. А если изменяется φ , то модуляция будет фазовой.

Простая формула из тригонометрии позволяет описать так много различных случаев и процессов. При том, что эти электрические процессы не имеют, на первый взгляд, никакого отношения к треугольникам, которыми тригонометрия занимается.

Но и это еще не все. Дело в том, что мы пока упускали из виду, что синус является периодической функцией. А наша синусоида является графиком этой функции. И как мы уже знаем, период равен 2π . Причем это никак не зависит от частоты сигнала. А значит, мы можем сделать еще один шаг - абстрагироваться от формы сигнала. При этом остается неизменным условие периодичности.



Да, теперь у нас пропал синус. И тригонометрии, в явном виде, нет. Но наследие бегущей по окружности точки осталось в виде сдвига фазы.

Но и это еще не все. На самом деле в таких вот прямоугольных импульсах синус все таки присутствует! Пусть и усиленно прячется от постороннего взгляда.

Что бы понять, где он скрывается, нужно разобраться с гармониками. Гармониками называется синусоидальный сигнал, частота которого кратна частоте основного сигнала. Например, в 2, 3, 5, 20, и т.д. раз. Обратите внимание, я не зря сказал, что сигнал синусоидальный. Вот тут то синус и спрятался.

Мы можем любой сигнал, любой формы, представить как совокупность синусоидальных сигналов. Вот пример того, так из гармоник начинает формироваться прямоугольный сигнал (черная кривая).

