

продолжаться до тех пор, пока очередная из откладываемых последовательно квинт не попадет в начальную точку и процесс замкнется. Сколько же квинт (сколько точек и различных нот на окружности) мы отложим, пока не вернемся в исходную точку (т.е. совершим целое число оборотов)? Запишем для этого условие возвращения k -й квинты в начальную точку после l оборотов:

$$k\alpha_q = 2\pi l,$$

или

$$\frac{k+l}{k} = \log_2 3.$$

Но $\log_2 3$ – иррациональное число, которое не может быть представлено в виде отношения двух целых чисел. Поэтому желаемое равенство никогда не будет достигнуто, и бесконечное число точек последовательно откладываемых нами квинт заполнит в конце концов всю окружность (см. рис.4,а). Значит, нужно вводить бесконечное число нот либо жертвовать цикличностью или симметрией нашей нотной системы?

Темперация. Выход из этого сложно-го положения оказался удивительно простым, но человечеству понадобилось более 20 веков, пока в середине XVII века он не был найден органистом Андреем Веркемейстером. (Заметим, что до него этой задачей занимались такие ученые, как Кеплер и Эйлер.) Он предложил следующее решение: раз на целом числе окружностей не укладывается целое число квинт, значит, нужно подправить квинту так, чтобы укладывалось. Оказывается, что двенадцать квинт примерно равны семи октавам, и, отложив двенадцать точек, мы совершаем примерно семь оборотов по окружности и почти попадаем в

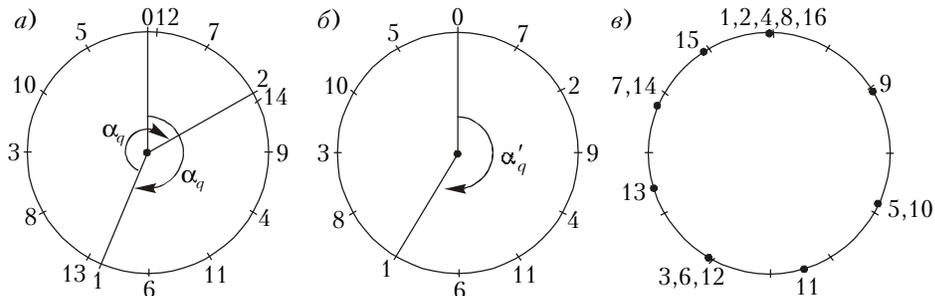


Рис.4. а) Последовательно откладываемые на окружности «чистые» квинты. Нулевая точка соответствует исходной ноте. б) Последовательно отложенные «исправленные» квинты. Двенадцатая точка попадает в начальную, и круг замыкается. в) Основной тон и первые 15 обертонов исходной ноты (точки) на фоне построенной нотной системы (черточки). Точкам, возле которых написано несколько чисел через запятую, отвечают все соответствующие обертоны

исходную точку (см. рис.4,а). Изменим величину квинты так, чтобы это попадание было точным. Тогда исправленная квинта будет соответствовать углу

$$\alpha'_q = 2\pi \cdot \frac{7}{12} \approx 2\pi \cdot 0,583.$$

Двенадцать последовательно отложенных квинт точно разбивают окружность на 12 равных частей (см. рис.4,б). Полученные точки соответствуют нотам таблицы 1, а угловой интервал $\pi/6$ между соседними точками соответствует минимальному музыкальному интервалу (полтона). Замена натуральных природных квинт искусственными и введение соответствующего приближенного строя называется темперацией (от латинского temperatio – соразмерность).

Остальные обертоны. Следующие, более высокие, обертоны звука довольно хорошо укладываются в нотную систему, построенную нами только на первых двух обертонах. Рисунок 4,в показывает

положение основного тона и первых его пятнадцати обертонов на фоне введенной нотной системы. Видно, что большинство обертонов с хорошей точностью соответствуют определенным нотам. Благодаря этому, предложенный нотный строй кажется нам естественным и гармоничным в звучании. С помощью рисунка 4,в можно также объяснить, почему одни музыкальные интервалы: прима, малая и большая терции, малая и большая сексты и октава ($n = 0, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12$) считаются консонансами, т.е. более благозвучными, а другие интервалы: малая и большая секунды, тритон, малая и большая септимы ($n = 1, 2, 6, 10, 11$) – диссонансами, т.е. менее благозвучными. Поворачивая построенную картину обертонов на окружности на угол $\pi/6$, можно увидеть, что для n , соответствующим консонансам, повернутые обертоны согласуются с исходными лучшим образом, чем для n , соответствующим диссонансам.

Эффективное напряжение в сети переменного тока

В.ЛАНГЕ

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ электрической энергии в технике и быту стала очевидной еще в начале XIX века, а в конце его началась настоящая война между сторон-

никами постоянного и переменного тока. В ней, однако, не было ни победителей, ни побежденных, так как для одних целей оказывается необходимым постоянный ток (например, при

электролизе), в других случаях целесообразнее использовать переменный (в особенности, при передаче электроэнергии на большие расстояния). Уместно напомнить, что сейчас существуют простые установки, позволяющие легко преобразовывать один вид тока в другой.

В соответствии с названием, в сетях *постоянного* тока напряжение остается неизменным, а в сетях *переменного* тока оно со временем меняется. Обычно изменение напряжения происходит по синусоидальному закону $U = U_0 \sin \omega t$, где ω – циклическая частота, связанная с периодом T соотношением $\omega = 2\pi/T$, а U_0 – амплитудное значение напряжения. Графически характер изменения напряжения со временем показан на рисунке 1,а.

Предположим, что необходимо рас-