

Предисловие

Децибел — единица, которой оперируют специалисты отраслях связи, энергетики, теле- и инфокоммуникационного оборудования, исследователи в области акустики и многих других направлений науки и техники.

Казалось бы, эта единица является общеизвестной. Однако многообразие ее использования и особенно в технике связи показывает, что не всегда есть ее понимание в различии абсолютных значений оцениваемой величины, абсолютного и относительного ее уровней, и особенно в связи с вводимыми для современной техники многовариантными индексациями обозначений децибелов.

В данном учебно-справочном пособии рассматриваются не только основные положения для определения значений *децибелов*, но и разъясняются особенности использования абсолютных значений оцениваемой величины, абсолютного и относительного ее уровней с характеристикой вводимых для них обозначений. При этом основной акцент делается применительно к системам связи и их электрическим сигналам.

1 Классификация и характеристики величины сигналов

Одним из параметров сигналов является его величина (размер, уровень). Поскольку сигналы бывают различных видов и их величина может характеризоваться различными единицами измерений, то и определение величины сигналов должно осуществляться с учетом этих различий. Поэтому определение величины сигнала должно проводиться для конкретного вида сигналов.

Проведем анализ и классификацию видов сигналов для характеристик, определяющих их величину, и возможных изменений этой величины в устройствах и трактах передачи техники связи. Результаты такой оценки сигналов позволят определить уровневое сравнение одного сигнала с другим.

Передача информации в системах связи в большинстве случаев осуществляется с помощью электрических сигналов. *Сигнал* — это электрическое колебание, отображающее передаваемое сообщение. В зависимости от условий распространения и требований к помехоустойчивости сигналов в канале связи, определяется *величина* (размер) *сигнала*, которая может характеризоваться его *мощностью* («энергетической» величиной) P , или *напряжением* U , или *током* I («силовыми» величинами).

Эти величины в свою очередь должны конкретизироваться для заданного вида сигналов.

Виды сигналов

В системах связи используются следующие виды сигналов.

Сигналы первичного преобразования сообщения в электрические колебания. Они могут быть *аналоговыми* (например, при преобразовании звука с помощью микрофона в электрический сигнал) или *дискретными* (например, при преобразовании в электрические сигналы набираемого текста на компьютере).

Модулированные сигналы, в которых используется сигнал несущей частоты с изменением (по закону модулирующего сигнала) или амплитуды (при амплитудной модуляции — АМ), или частоты (при частотной модуляции — ЧМ), или фазы (при фазовой модуляции — ФМ), или совместное использование этих видов модуляции. Эти сигналы также могут быть *аналоговыми* и *дискретными* в соответствии с видом модулирующих (первичных) сигналов. Из дискретно модулированных сигналов следует выделить *сигналы цифровой модуляции* (когда несущее колебание модулируется цифровым битовым потоком).

Такое многообразие видов сигналов, как отмечалось выше, должно соответствующим образом учитываться при определении величин P , U и I .

Определение величины сигналов

Сигналы в системах связи можно рассматривать как электрические колебания произвольной случайной формы или в виде суммы гармонических составляющих, определяемых спектром сигнала. Сигнал в заданный момент времени t_i будет определяться значениями напряжения и тока в этот момент — $u(t_i)$ и $i(t_i)$. Гармонический сигнал характеризуется изменениями во времени t напряжения и тока по синусоидальному закону:

$$u(t) = U_m \sin \omega t \text{ и } i(t) = I_m \sin \omega t,$$

где U_m и I_m — амплитуды напряжения и тока; $\omega = 2\pi f$ — частота.

Среднеквадратичное значение переменного напряжения за период T будет определяться выражением

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707U_m \quad (1.1)$$

и аналогично для тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707I_m. \quad (1.1')$$

Эти величины характеризуют *действующие*, или *эффективные* значения напряжений и токов.

При определении мощности сигналов необходимо учитывать не только их вид — являются ли они чисто *синусоидальными* или *несинусоидальными*, т. е. с произвольной формой (со спек-

тром из множества гармоник), но также и характер нагрузки — *активный, реактивный или комплексный*. И оценка должна производиться комплексными величинами (переменными), учитывающими амплитуду, частоту и фазу сигнала.

Для обоих видов этих сигналов *мгновенная мощность* в заданный момент времени t_i будет определяться для мгновенных значений напряжения и тока в виде

$$P_{\text{МГН}}(t_i) = u(t_i)i(t_i). \quad (1.2)$$

Заметим, что используемое обозначение мощности P отличается от обозначения, которое представляется в зарубежной литературе в виде символа W .

Мощность гармонических сигналов

Для гармонических сигналов при активной нагрузке можно определить *среднюю мощность* за период сигнала T :

$$\begin{aligned} P_{\text{акт}} &= \frac{1}{T} \int_0^T P_{\text{МГН}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin \omega t I_m \sin \omega t dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T U_m I_m \sin^2 \omega t dt = \frac{U_m I_m}{2} = UI. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Эта мощность является *активной* и измеряется в Дж/с или в соответствии с производными единицами системы измерений (СИ) — в ваттах (Вт).

Если нагрузка кроме активной составляющей содержит также реактивные составляющие (с наличием емкостей и индуктивностей), то для гармонических сигналов должен учитываться коэффициент мощности $\cos \varphi$, характеризующий разницу фаз φ между током и напряжением, и в этом случае *мощность* будет *комплексная*, измеряемая в вольт-амперах (ВА) и определяемая комплексной величиной

$$\underline{P}_s = P_s e^{j\varphi} = P_{\text{акт}} + jP_{\text{реакт}} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = UI e^{j\varphi}, \quad (1.4)$$

где $P_s = UI$ — модуль этой комплексной величины, который равен *полной* (кажущейся) *мощности*, определяемой соотношением

$$P_s = \sqrt{P_{\text{акт}}^2 + P_{\text{реакт}}^2}; \quad (1.5)$$

U и I — действующие значения напряжения и тока; $P_{\text{акт}} = UI \times \cos \varphi$ — активная составляющая (*активная мощность*), развиваемая в резистивных нагрузках (поглощаемая электрической цепью) и измеряемая, как указывалось выше, в ваттах. Эту мощность, согласно (1.3), также можно характеризовать как *среднюю мощность* $P_{\text{ср}} = P_{\text{акт}}$; $P_{\text{реакт}} = UI \sin \varphi$ — *реактивная составляющая* (реактивная мощность), возвращаемая электрической цепью обратно в источник и измеряемая в ВАР — вольт-ампер реактивная.

Заметим, что использованные здесь обозначения мощностей P_s , $P_{\text{акт}}$ и $P_{\text{реакт}}$ отличаются от обозначений, часто используемых в технической литературе и представляемых соответственно символами \underline{S} , P и Q .

Мощность сигналов, обладающих спектрами с множеством гармонических составляющих

Выше приведены соотношения для гармонических сигналов. При сигналах со спектрами с множеством гармонических составляющих необходимо учитывать изменения величины спектральных составляющих в полосе частот спектра сигнала, определяемого на основе представления его в виде ряда Фурье.

Оценку этим спектральным составляющим можно дать с помощью спектральной функции [1]:

$$\underline{U}(jn\omega) = \int_0^T u(t)e^{-jn\omega t} dt, \quad (1.6)$$

где $\omega = 2\pi f$ — частота первой гармоники; $u(t)$ — изменение сигнала во времени.

Выражение для n -й комплексной амплитуды будет иметь вид

$$\underline{A}_n = \frac{2}{T} U(jn\omega) \quad (1.7)$$

с модулем комплексной амплитуды

$$A_n = \frac{2}{T} U(n\omega).$$

Эти выражения позволяют вычислить амплитуды гармонических составляющих спектра сигнала, учитывая при этом, что спектральная функция в показательной форме $U(jn\omega) = U(n\omega)e^{-j\psi(n\omega)}$ содержит информацию о модуле спектральной