

тером движения структурных частиц (атомов, молекул) и наличием или отсутствием упорядоченной структуры вещества. Разл. кристаллич. Ф. могут отличаться друг от друга типом кристаллич. структуры, электропроводностью, электрич. и магн. свойствами, наличием или отсутствием *сверхпроводимости* и т. д. Жидкие Ф. отличаются друг от друга концентрацией компонентов, наличием или отсутствием *сверхтекучести*, анизотропией упругих и электрич. свойств (у жидких кристаллов) и т. д. В твёрдых сплавах Ф. кристаллич. структуры могут отличаться плотностью, модулями упругости, темп-рой плавления и др. свойствами.

В большинстве случаев Ф. пространственно однородны, однако известен ряд исключений: смешанное состояние сверхпроводников 2-го рода, ферромагнетики в слабых магн. полях (см. *Домены*) и др.

Лит. см. при ст. *Термодинамика*.

ФАЗА КОЛЕБАНИЙ — аргумент периодически изменяющейся ф-ции, описывающей колебат. или волновой процесс. В гармонич. колебании

$$u(x, t) = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $\omega t + \varphi_0 = \varphi$ — Ф. к., A — амплитуда, ω — круговая частота, t — время, φ_0 — начальная (фиксированная) Ф. к. (в момент времени $t=0$, $\varphi = \varphi_0$). В случае бегущей волны $\varphi = \omega t \pm kx + \varphi_0$, где k — волновое число. Ф. к. определяется с точностью до произвольного слагаемого, кратного 2π . Термин «Ф. к.», строго говоря, относится только к периодич. колебаниям, но его применяют также и к др. процессам. В случае квазипериодич. волнового процесса выделение амплитуды и фазы возможно лишь при условии медленности изменений амплитуды в масштабе пространственного или временного периода колебаний, т. е. когда

$$\frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} \ll \frac{\partial \varphi}{\partial t} \sim \omega = \frac{2\pi}{T}$$

или

$$\frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \ll \frac{\partial \varphi}{\partial x} \sim k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

(где T — период колебания, λ — длина волны).

Лит. см. при статье *Колебания*, *Волны*. М. А. Миллер.

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА — см. *Диаграмма состояния*.

ФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ФМ) — целенаправленное изменение фазы колебат. процесса во времени (см. *Колебания*). Широко используется для передачи информации путём установления соответствия передаваемой информации с фазой колебат. процесса. Для электрич. колебаний

$$U(t) = U_0 \sin \psi(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \Phi(t) + \Phi_0), \quad (1)$$

где U_0 — амплитуда модулированного колебания; $\psi(t)$ — полная фаза колебаний; ω_0 — частота несущей; Φ_0 — нач. фаза; $\Phi(t)$ — составляющая полной фазы колебаний, изменяющаяся в процессе модуляции. Мгновенная частота модулированного по фазе колебания $\omega(t)$ является производной по времени полной фазы колебаний:

$$\omega(t) = \frac{d\psi}{dt} = \omega_0 + \frac{d\Phi(t)}{dt}. \quad (2)$$

При модуляции гармоническим сигналом с частотой Ω

$$\Phi(t) = m \sin \Omega t. \quad (3)$$

Амплитуда изменения фазы m наз. индексом угл. модуляции или девиацией фазы. Макс. отклонение частоты, определяемое из (2) и (3) как $\Delta\omega = m\Omega$, наз. девиацией частоты. При гармонической модуляции фазомодулированное колебание с индексом модуляции m полностью совпадает с частотно-модулированным колебанием с девиацией частоты $\Delta\omega = m\Omega$. Различие между фазовой и частотной модуляцией обнаруживается при модуляции спектром частот. При фазовой модуляции индекс модуляции не зависит от частоты модуляции ($m = \text{const}$), а девиация частоты пропорц. частоте модуляции ($\Delta\omega = m\Omega$). При частот-

ной модуляции девиация частоты не зависит от частоты модуляции ($\Delta\omega = \text{const}$), а индекс модуляции обратно пропорц. частоте модуляции $m = \Delta\omega/\Omega$.

Спектр фазомодулированного колебания даже при модуляции гармоническим сигналом состоит из бесконечного числа боковых составляющих, симметрично отстоящих от частоты несущей ω_0 на величины, кратные частоте модуляции Ω . Амплитуды боковых составляющих A_n выражаются через Бесселя функции первого рода n -го порядка (см. *Цилиндрические функции*):

$$A_n = J_n(m) A_0, \quad (4)$$

где A_0 — амплитуда немодулированного колебания. Следовательно, сигнал при ФМ занимает бесконечную полосу частот. Большая часть энергии спектра фазомодулированного колебания сосредоточена в ограниченной полосе частот. При малых индексах модуляции ($m \ll 1$) осн. энергия спектра сосредоточена в полосе частот $2\Omega_B$, где Ω_B — наивысшая частота спектра ф-ции изменения фазы (модулирующей ф-ции). При больших индексах модуляции ($m \gg 1$) ширина спектра фазомодулированного сигнала близка к удвоенной девиации частоты.

Для передачи информации, заданной в цифровой форме, могут использоваться разл. методы ФМ. К простейшим из них относится дискретная ФМ, или фазовая манипуляция (ФМн), при к-рой производится дискретное переключение фазы колебат. процесса. Составляющая полной фазы колебаний в (1) в этом случае периодически через каждые T секунд переключается в соответствии с передаваемым цифровым сигналом. Тактовый интервал T определяет скорость передачи информации. Внутри тактового интервала $\Phi(t) = \text{const}$. Кол-во допустимых фазовых состояний n определяет позиционность ФМн. Мин. фазовый сдвиг при n -позиционной ФМн составляет $\Phi = 2\pi/n$ рад. При двухпозиционной ФМн ($n=2$) фаза несущего колебания принимает одно из двух значений (0° или 180°) и соответствует передаваемому биту информации. При четырёхпозиционной ФМн ($n=4$) фаза несущего колебания принимает одно из четырёх возможных значений, отстоящих друг от друга на 90° . При этом каждое из фазовых состояний соответствует двум битам передаваемой информации.

Разновидностями ФМн являются абсолютная и относительная ФМн. При абс. ФМн передаваемой информации ставится в соответствие абс. фаза ВЧ-сигнала. Для выделения информации на приёмной стороне должна быть известна нач. фаза ВЧ-сигнала Φ_0 . При относ. ФМн передаваемой информации ставится в соответствие изменение фазы ВЧ-сигнала относительно фазы предыдущей посылки. На приёмной стороне информация выделяется путём сравнения фаз двух соседних посылок.

Осн. характеристики метода модуляции — энергетические и спектральные. Энергетич. характеристикой метода модуляции является его помехоустойчивость, определяющаяся минимально необходимым отношением ср. энергии сигнала в одном бите информации $E_{\text{бит}}$ к спектральной плотности мощности шума на входе приёмного устройства N_0 ($E_{\text{бит}}/N_0$), при к-ром обеспечивается приём информации с заданной достоверностью. К спектральным характеристикам метода модуляции относятся минимально необходимая полоса пропускания, требуемая для передачи информации с заданной скоростью, и уровень излучения вне этой полосы. Первая характеристика определяет «компактность» спектра модулированного сигнала, вторая — характеризует его эл.-магн. совместимость (ЭМС).

Дискретная ФМ, и в особенности двухпозиционная ФМн, обладают высокой помехоустойчивостью, что объясняется существенным различием сигналов в двух возможных состояниях (рис. 1).

Особенностью ФМн является наличие скачков фазы на границах тактовых интервалов, к-рые могут достигать 180° . Скачки фазы — причина расширения спектра ВЧ-сигнала. Медленное спадание спектра ФМ сигнала ухудшает его спектральные характеристики. Улучшенные характеристики ЭМС достигаются при использовании методов модуляции со сдвигом (оффсетные методы модуляции). Эти