

ниями от нулевого положения, но в одинаковой фазе (в то время как в бегущей волне, наоборот, колебания всех точек происходят с одинаковыми отклонениями, но в разл. фазах); 2) в нелинейных оптич. средах колебания вынуждающей волны нелинейной поляризации

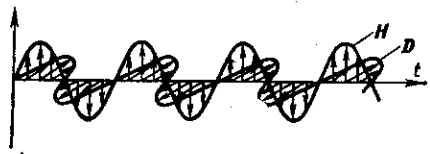


Рис. 2.

и, напр., возбуждаемой ею волны поля второй гармоники при наличии т. н. фазового (волнового) синхронизма. При отсутствии синхронизма, т. е. при наличии волновой расстройки, С. волн поляризации и поля исчезает, в результате чего возникают пространственные биения.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, [3 изд.], М., 1981; Основы теории колебаний, 2 изд., М., 1988. Т. И. Соловьева.

**СИНХРОБЕТАТРОННЫЙ РЕЗОНАНС** — резонансное возбуждение колебаний частиц в циклич. ускорителях на комбинац. частотах, составленных из частот бетатронных и синхротронных колебаний. Возникает при выполнении условия

$$m_x \omega_x + m_z \omega_z + m_c \omega_c = n \omega_0,$$

где  $\omega_{x,z}$  — частоты радиальных и аксиальных (вертикальных) бетатронных колебаний (по осям  $x$  и  $z$ ),  $\omega_c$  — частота синхротронных колебаний,  $\omega_0$  — частота обращения частиц в ускорителе,  $m_x, m_z, m_c, n$  — целые числа.

К возникновению С. р. приводят несколько причин: зависимость частот бетатронных колебаний от импульса частиц (т. н. хроматизм ускорителя), зависимость прироста энергии, получаемой частицами при прохождении ускоряющих промежутков, от радиальной координаты, отклонение плоскости бетатронных колебаний от нормальной к равновесной орбите, а также локализация возмущений. Для компенсации первого эффекта в магн. структуру ускорителей вводят секступольные линзы, для компенсации второго стараются располагать ускоряющие станции на участках с небольшой (лучше всего с нулевой) дисперсионной ф-цией (описывающей зависимость радиального положения частицы от её импульса).

С. р. налагает серьёзные ограничения на изготовление накопительных колец ускорителей. Обычно частоты колебаний должны быть удалены от С. р. С. р. может заметно ограничить светимость ускорителей со встречными пучками (коллайдерами).

Лит. см. при ст. Синхротрон электронный.

**СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ** — согласование частот, фаз или др. характеристик сигналов, генерируемых взаимодействующими колебательными системами. Различают в а и м н у ю С. к., когда парциальные подсистемы перестраивают режим колебаний друг друга, и в е ш н ю ю (вынужденную) С. к., когда характеристики колебаний системы (систем) изменяются под действием внеш. силы. Вынужденную синхронизацию по частоте колебаний, т. е. навязывание системе, характеризующейся в автономном режиме одной частотой колебаний, др. частоты, определяемой внеш. силой, называют *захватыванием частоты*. Захватывание частоты — простейший пример явления синхронизации, к-рый был описан ещё Х. Гюйгенсом (Ch. Huygens) в связи с ускорением или замедлением хода часов, висящих на независимо колеблющейся балке (см., напр., [1]).

Наиб. полно развита теория С. к. для квазигармонических колебаний в слабо нелинейных системах [2—4].

В частности, усреднённые по периоду внеш. силы ур-ния для комплексной амплитуды  $a$  нелинейного генератора с одной степенью свободы, находящегося под действием слабой гармонической силы, имеют вид:

$$\dot{a} = \mu[a(1 - |a|^2) + i\beta|a|^2 a + a_{внеш} + i\xi a], \quad (1)$$

где  $\mu, \beta, \xi$  — действительные параметры:  $\xi$  — расстройка между частотой автоколебаний и частотой внеш. силы,  $\mu$  — коэф. усиления в автономном генераторе,  $\beta$  — нелинейный сдвиг частоты. Режиму С. к. соответствует устойчивое положение равновесия системы (1). В исходном же (3-мерном) фазовом пространстве режиму С. к. отвечает устойчивый предельный цикл. При увеличении  $\xi$  режим С. к. либо перестает существовать (при слабых внеш. сигналах), либо теряет устойчивость (в случае сильных сигналов). Область значений расстроек, для к-рых реализуется режим С. к., наз. полосой захватывания. Граница полосы захватывания находится из (1): из условия существования режима С. к. ( $\dot{a} = 0$ ) устанавливается резонансная кривая

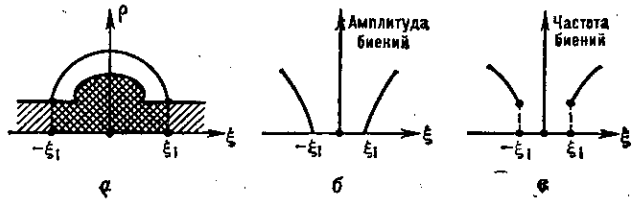


Рис. 1.

$\rho = \rho(\xi)$ , где  $\rho = |a_0(\xi)|^2$  — интенсивность автоколебаний в режиме С. к., и по линеаризованному ур-нию определяется устойчивость этого режима. На рис. 1 показаны полосы захватывания в случаях слабых и сильных сигналов. На рис. 2 изображены последовательности фазовых портретов на плоскости  $(\text{Re } a, \text{Im } a)$ , отвечающих (1) при разных значениях расстройки. При

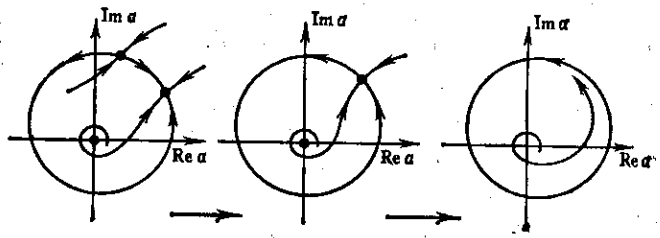


Рис. 2.

переходе через границу захватывания режим С. к. сменяется режимом биений — наблюдается бифуркация Андронова — Хопфа (при сильных сигналах) или бифуркация рождения предельного цикла из петли сепаратрисы седло — узел (при слабых сигналах). В исходном (3-мерном) фазовом пространстве переходу к режиму биений отвечает рождение притягивающего двумерного тора с квазипериодич. обмоткой. Аналогичным образом можно исследовать С. к. ансамбля генераторов, находящихся под действием одной и той же внеш. гармонической силы [5, 6].

Явление взаимной синхронизации генераторов квазигармонических колебаний в простейшем случае бигармонического резонанса ( $\omega_2 = 2\omega_1 + \xi$ ) может быть исследовано в рамках системы ур-ний для комплексных амплитуд  $a_1, a_2$ , взаимодействующих мод в автогенераторе с двумя степенями свободы:

$$\begin{aligned} \dot{a}_1 &= h_1[1 - (|a_1|^2 + \rho_{12}|a_2|^2)] + \sigma_1 a_2 a_1^* \exp i\xi, \\ \dot{a}_2 &= h_2[1 - (|a_2|^2 + \rho_{21}|a_1|^2)] - \sigma_2 a_1^2 \exp i\xi, \end{aligned} \quad (2)$$