

пока $n_2 < n_1$ условия самовозбуждения ω_2 более благоприятны, чем ω_1 , и если колебания в генераторе погаснут, а затем снова возбудить, то опять установятся колебания с частотой ω_2 . При дальнейшем увеличении n_2 ($n_2 > n_1$) условия самовозбуждения становятся более благоприятными для частоты ω_1 (рис. 2, а, где $R_{1эвк} > R_{2эвк}$), но, по-прежнему, генерируется частота ω_2 , поскольку колебания на этой частоте уже существуют. В точке *b* (рис. 2, б) колебания частоты ω_2 скачком переходят в колебания частоты ω_1 , т. к. здесь перестают выполняться условия существования колебаний с частотой ω_2 , и при дальнейшем росте n_2 колебания будут происходить на частоте ω_1 . Изменяя n_2 в обратном направлении, от больших значений к меньшим, можно осуществить 3. ч. ω_1 в области $a < n_2/n_1 < 1$. При дальнейшем уменьшении частоты n_2 второго контура в точке *a* (рис. 2, б) происходит обратный перескок частоты автоколебаний от ω_1 к ω_2 и тем самым замыкается петля гистерезиса 3. ч.

Образом 3. ч. в фазовом пространстве, мин. размерность к-рого равна 3, служит картина с двумя устойчивыми предельными циклами и одним неустойчивым — седловым циклом. Устойчивая сепаратриса седлового цикла разделяет области притяжения устойчивых периодич. движений. Скачкообразной смене режима колебаний соответствует бифуркация слияния (с последующим исчезновением) одного из устойчивых циклов с седловым периодич. движением.

3. ч. во мн. случаях — вредное явление, т. к. в процессе настройки генератора при изменении к.н. параметра может произойти изменение частоты. Чтобы избежать 3. ч., надо уменьшить обратную связь между контурами или уменьшить добротность второго контура.

Лит.: Конторович М. И., Нелинейные колебания в радиотехнике, М., 1973; Основы теории колебаний, М., 1978; Рабинович М. И., Трубецков Д. И., Введение в теорию колебаний и волн, М., 1984.

В. Н. Бельх, М. И. Рабинович.

ЗАХВАТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА в полупроводниках — переход электрона из зоны проводимости на примесный уровень в запрещенной зоне полупроводника либо с примесного уровня в валентную зону (последний случай удобнее рассматривать как переход дырки из валентной зоны на примесный уровень; см. *Зонная теория*). Скорость r_3 3. н. з. из зоны проводимости пропорциональна концентрации n носителей в зоне, концентрации N_t примесных уровней и вероятности того, что данный уровень с энергией \mathcal{E}_t не заполнен:

$$r_3 = \alpha_3 n N_t [1 - f(\mathcal{E}_t)].$$

Здесь $f(\mathcal{E}_t)$ — вероятность заполнения данного уровня, α_3 — коэф. захвата, связанный с эффективным сечением захвата S соотношением:

$$\alpha_3 = Sv_T,$$

где v_T — ср. скорость теплового движения носителей заряда.

Наряду с процессом 3. н. з. происходит обратный процесс — их выброс с примесных уровней в зону. Скорость этого процесса равна:

$$g_3 = \beta_3 N_t f(\mathcal{E}_t).$$

Согласно *детального равновесия принципу*, в состоянии термодинамич. равновесия $g_3 = r_3$, откуда $\beta_3 = \alpha_3 n_1$, где $n_1 = (g_0/g_1) N_c \exp(-I/kT)$, g_0, g_1 — статистич. веса соответственно пустого и заполненного уровня, N_c — эффективная плотность состояний в зоне проводимости, I — энергия ионизации примесного уровня. Суммарная скорость захвата электронов равна:

$$R_3 = r_3 - g_3 = \alpha_3 N_t [n(1-f) - n_1 f].$$

Аналогичные ф-лы имеют место для захвата дырок, характеризующего соответствующими величинами r_d, α_d, g_d, R_d .

3. н. з. может явиться первым этапом процесса *рекомбинации носителей заряда* через примесные центры: захват электрона из зоны проводимости и последующий захват дырки на тот же уровень (либо наоборот). Если для данного уровня $\alpha_3 \gg \alpha_d$, то электрон, захваченный на этот уровень, прежде чем рекомбинировать с дыркой, может быть много раз выброшен обратно в зону проводимости и захвачен снова. Такие примесные уровни наз. уровнями прилипания или ловушками для электронов; уровни, для к-рых $\alpha_3 \sim \alpha_d$, наз. уровнями рекомбинации. При захвате обоих носителей заряда на уровни прилипания с низким темпом выброса (малые β_3 и β_d) неравновесное состояние может сохраняться очень долго, особенно при низких темп-рах.

Лит.: Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г., Физика полупроводников, М., 1977; Аут И., Генцов Д., Герман К., Фотоэлектрические явления, пер. с нем., М., 1980. Э. М. Эпштейн.

ЗАХВАТЫВАНИЕ ЧАСТОТЫ — явление, состоящее в том, что автоколебательная система (автогенератор) при воздействии на неё периодически изменяющейся во времени внеш. силы совершает колебания не с частотой автоколебаний ω_a , а с частотой ω_b внеш. воздействия. 3. ч. осуществляется лишь благодаря нелинейности и диссипативности и имеет место при условии, что частоты ω_a и ω_b не слишком отличаются друг от друга, т. е. для некого ограниченного диапазона частотных расстройек, называется *полосой захвата*.

Полоса захвата зависит от свойств автогенератора и от амплитуды внеш. силы. В частности, при возрастании амплитуды внеш. силы полоса захвата, как правило, увеличивается. 3. ч. может наблюдаться в автоколебат. системах любой физ. природы и при различных периодич. внеш. воздействиях. Впервые же оно было обнаружено и объяснено для темпсовского генератора с синусоидальным воздействием. Другой распространённый термин для 3. ч. — *синхронизация автогенератора* внеш. силой.

Как 3. ч., так и процессы, сопутствующие ему, часто моделируются неавтономным ур-нием:

$$\ddot{x} + f(x, \dot{x})\dot{x} + g(x) = h(t) \quad (1)$$

[t — время, $g(x)$ — возвращающая сила, f — знак-переменная ф-ция с фазовым пространством (x, \dot{x}, t) . Образом 3. ч. в фазовом пространстве служит устойчивый предельный цикл периода $2\pi/\omega_b$, делающий один оборот в плоскости (x, \dot{x}) за период. Этот цикл при слабом воздействии расположен на торе, а при сильном — он притягивает все траектории (1).

Вне полосы захвата в зависимости от свойств автогенератора и характера воздействия могут наблюдаться след. типы колебаний: а) периодич. колебания, напр. при близости частот ω_a и $(p/q)\omega_b$, где p, q — целые числа; их образы в фазовом пространстве — предельные циклы, расположенные при слабом воздействии на торе с числом вращения, равным q/p ; б) квазипериодич. колебания, их образ в фазовом пространстве — незамкнутая обмотка тора, напр. при несоизмеримых ω_a и ω_b при слабом воздействии; в) *стохастические колебания*, их образ в фазовом пространстве — либо *странный аттрактор*, либо сложные устойчивые траектории.

Явление, при к-ром для некого интервала значений $|\omega_a - p\omega_b|$ (при $p > 1$) происходит периодич. колебания с частотой ω_b , наз. ультрагармоническим 3. ч. Образ этого явления в фазовом пространстве есть предельный цикл периода $2\pi/\omega_b$ с p оборотами в плоскости (x, \dot{x}) . Число вращения на торе при слабом воздействии в этом случае равно $1/p$. Если автоколебат. система описывается ур-нием (1), где нелинейность f и внеш. сила h малы, то это ур-ние с помощью асимп-