

го детектирования не чувствительны ни к частоте, ни к фазе, ни к углу падения на фотокатод несущей оптич. волны. Информативным параметром при прямом детектировании является только амплитудная модуляция несущей принимаемой волны. В нек-рых системах оптич. связи несущая модулируется по интенсивности высокочастотной поднесущей, к-рая, в свою очередь, модулируется информац. сигналом.

Эффективность устройств Д. с. оценивают величиной отношения сигнала к шуму (с/ш). Предельное значение отношения

$$c/\text{ш} = \frac{\eta P_c}{h\omega_c \Delta F}, \quad (1)$$

где η — квантовый выход приёмника, P_c — ср. мощность несущей волны на поверхности фотокатода, ω_c — круговая частота несущей волны, ΔF — полоса пропускания радиотехн. обрабатывающего устройства. Это значение достигается в случае т. н. фотонного ограничения, когда отсутствует фоновое излучение, а всеми др. шумами, кроме фотонного шума, можно пренебречь. Величина отношения с/ш, так же как и величина среднего выходного тока приёмника, не зависит от степени пространственной когерентности принимаемого излучения.

Гетеродинирование. В устройствах Д. с., работающих по принципу гетеродинирования, принимаемое оптич. излучение $E_c(t)$ комбинируется на фотокатоде приёмника с опорным излучением $E_{оп}(t)$ (рис. 1). В идеализиров. случае обе волны можно считать плоскими монохроматическими:

$$\left. \begin{aligned} E_c(t) &= E_{c,0} \cos(\omega_c t + \varphi_c), \\ E_{оп}(t) &= E_{оп,0} \cos\left(\omega_{оп} t + \varphi_{оп} - \frac{\omega_{оп}}{c} x \cdot \sin \alpha\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь $E_{c,0}$ и $E_{оп,0}$, ω_c и $\omega_{оп}$, φ_c и $\varphi_{оп}$ — амплитуды, круговые частоты и нач. фазы соответственно принимаемой (сигнальной) и опорной волны, c — скорость света. Учтено, что сигнальная волна падает нормально к фотокатоду, а опорная волна — под углом α к нему (рис. 2). Фоновое излучение принято пренебрежимо малым.

Результирующее поле на фотокатоде $E(t) = E_c(t) + E_{оп}(t)$, а ток I приёмника, усреднённый за время, малое по сравнению с периодом биений $2\pi(\omega_{оп} - \omega_c)^{-1}$, но большое по сравнению с периодом $T = 2\pi/\omega_c$, и по площади фотокатода приёмника, пропорционален E^2 и содержит переменную составляющую на разностной частоте $\Delta\omega = \omega_{оп} - \omega_c$. В случае, если фотокатод однороден и имеет форму квадрата со стороной a , выражение для фототока имеет вид

$$I(t) = \frac{\kappa}{a^2} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} [E_c(t) + E_{оп}(t)]^2 dx dy = \kappa \left\{ \frac{E_{c,0}^2 + E_{оп,0}^2}{2} + E_{c,0} \cdot E_{оп,0} \cdot \cos\{(\omega_{оп} - \omega_c)t + (\varphi_{оп} - \varphi_c)\} \frac{\sin\left(\frac{\omega_c}{2c} a \sin \alpha\right)}{\frac{\omega_c}{2c} a \sin \alpha} \right\}, \quad (3)$$

где κ — коэф. усиления фотоприёмника.

Из этого выражения видно, что при гетеродинном приёме переменная составляющая выходного сигнала несёт информацию не только об амплитуде, но также о частоте и фазе принимаемой волны при условии, что амплитуда, частота и фаза опорного излучения известны. Эффективность гетеродинирования существенно зависит от степени когерентности сигнального и опорного излучений, а также от степени совмещения их волновых фронтов, т. к. величина переменной составляющей

зависит от угла α . Она максимальна при $\alpha=0$ и уменьшается до нуля при $\sin \alpha = \frac{2\pi c}{\omega_c a}$, что при характерных значениях $\omega_c \approx 2 \cdot 10^{15}$ рад/с и $a = 10^{-2}$ м составляет всего лишь $\alpha \approx 10^{-4}$ рад ($\approx 6''$). Т. о., для того чтобы добиться эффективного гетеродинирования, необходимо

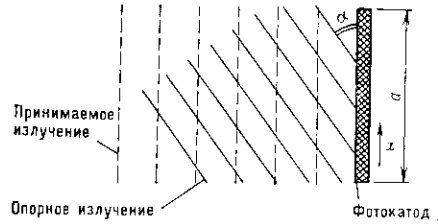


Рис. 2. Сложение сигнальной и опорной волн на фотокатоде приёмника гетеродинного устройства.

выполнять жёсткое требование на пространственное согласование двух волн на поверхности фотокатода, к-рое тем выше, чем меньше длина волны излучения. Однако, несмотря на это усложнение, гетеродинирование широко используется, т. к. даёт возможность выделять очень слабые оптич. сигналы, даже при наличии внутренних тепловых шумов приёмника, путём повышения интенсивности опорного излучения. (Это следует из того, что амплитуда переменной составляющей пропорциональна произведению амплитуд сигнальной и опорной волн.)

Отношение с/ш гетеродинного устройства определяется выражением

$$c/\text{ш} = \frac{2\pi\eta P_c}{h\omega_c \Delta F (1 + P_c/P_{оп})}, \quad (4)$$

где $P_{оп}$ — ср. мощность опорной волны. При возрастании $P_{оп}$ отношение с/ш достигает предельной величины, в два раза большей, чем в случае прямого детектирования. При уменьшении $P_{оп}$ отношение с/ш при $P_c/P_{оп} \approx 1$ достигает значения, к-рое имеет место при прямом детектировании.

Возможность гетеродинирования света впервые обсуждалась в 1947 г. С. Гореликом, экспериментально реализована в 1955 А. Т. Форрестером (А. Th. Forrester) с сотрудниками, впервые наблюдавшими дублетное расщепление (вследствие эффекта Зеемана) линии ртути $\lambda = 546,1$ нм. В этом опыте наблюдаемое абсолютное спектральное разрешение по частоте было $\approx 10^{10}$ Гц (относит. разрешение $R = \frac{\omega_c}{\Delta\omega} \approx 10^5$).

Гетеродинирование с помощью лазеров. Большое распространение метод гетеродинирования получил после

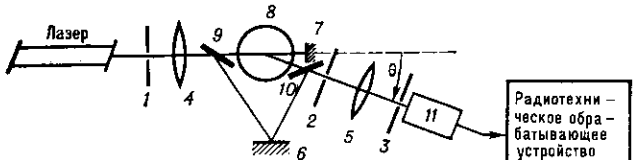


Рис. 3. Схема гетеродинного лазерного спектрометра: 1—3 — диафрагмы; 4, 5 — линзы; 6, 7 — глухие зеркала; 8 — объект; 9, 10 — поворотные зеркала; 11 — фотоприёмник.

создания лазеров. Высокая степень когерентности, монохроматичность и направленность лазерного излучения позволяют получать высокую эффективность гетеродинирования со сверхвысоким частотным разрешением выходного сигнала ($R \sim 10^{14}$), что особенно важно в лазерной спектроскопии светорассеяния. В гетеродинных спектрометрах рассеянное на исследуемом образце лазерное излучение смешивается с опорным излучением, в качестве к-рого обычно используется либо часть излучения зондирующего лазера, как это показана