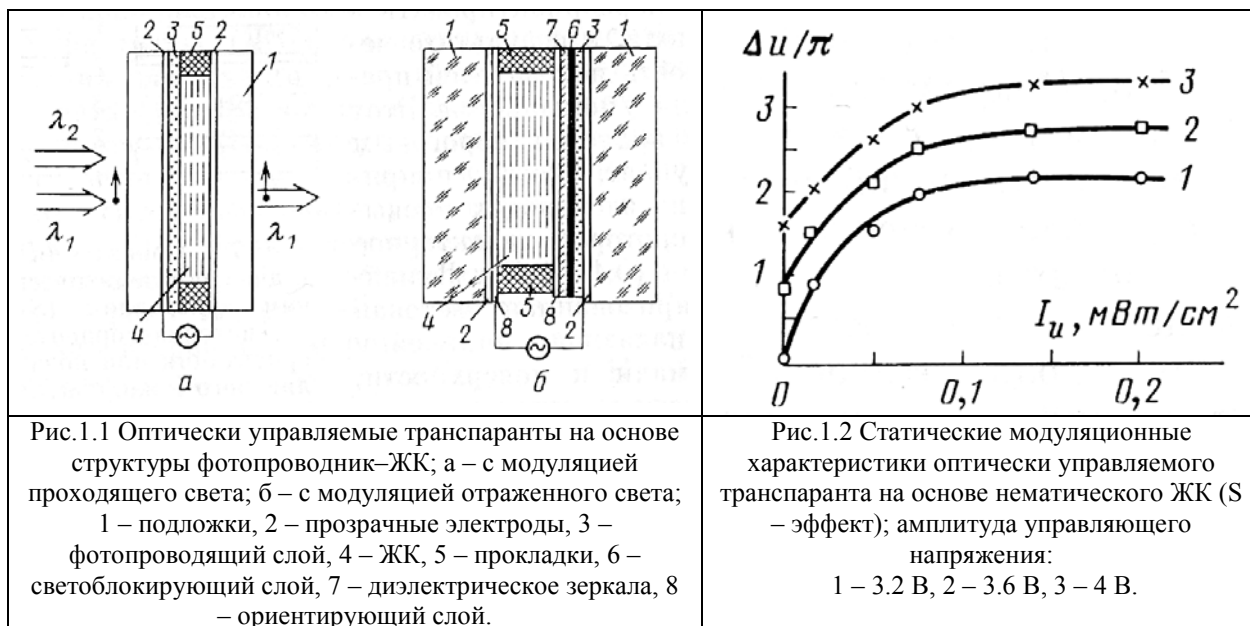


Лекция 13. Адаптивные системы с оптической обратной связью

1. ЖК-транспаранты с оптическим управлением. Устройство, характеристики.
2. Система с фазовым «ножом».
3. Система со сдвиговым интерферометром и голографическим фильтром.

1. ЖК-транспаранты с оптическим управлением. Устройство, характеристики.

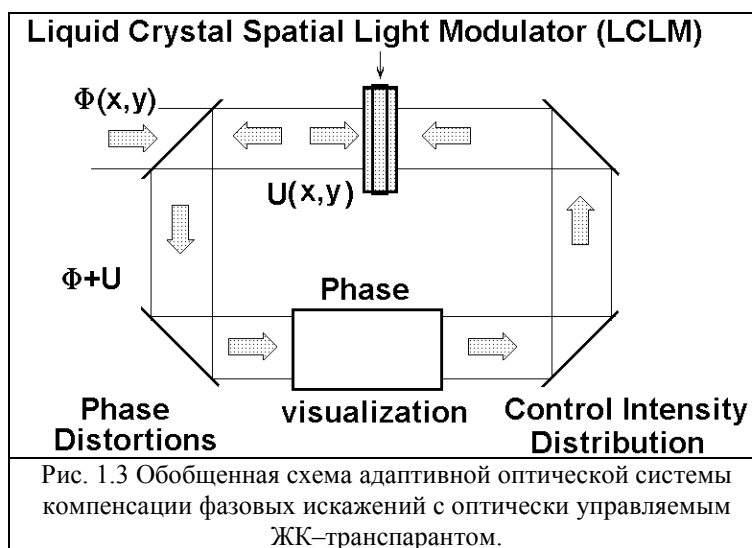
Количество субапертур адаптивных зеркал – до 10^2-10^3 . Эффективное количество субапертур ЖК-транспарантов – $10^4 - 10^5$.



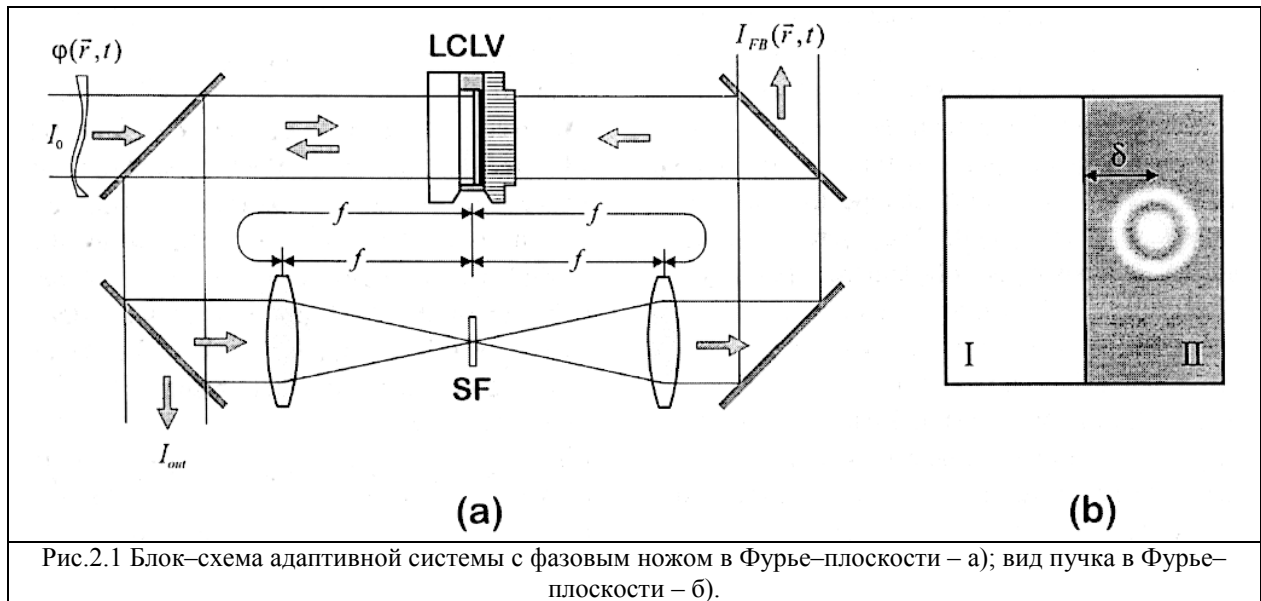
Набег фазы u , вносимый ЖК-транспарантом:

$$T_0 \frac{\partial u}{\partial t} + u = I_d^2 \Delta u + G(I) \tag{1.1}$$

где T_0 – постоянная времени транспаранта, $G(I)$ – его статическая модуляционная характеристика, I – управляющее распределение интенсивности.



2. Система с фазовым «ножом».



2.1 Аналог из радиотехники. Амплитудная модуляция:

$$A(t) = A_0(1 + q \sin \omega t) = A_0 \left[1 + \frac{1}{2} q e^{i(\omega t - \frac{\pi}{2})} + \frac{1}{2} q e^{-i(\omega t - \frac{\pi}{2})} \right]. \quad (2.1)$$

Фазовая модуляция:

$$B(t) = B_0 e^{iq \sin \omega t} = B_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_m(q) e^{im\omega t}. \quad (2.2)$$

При малых q можно оставить члены с $m=-1, 0, 1$ и воспользоваться асимптотикой функций Бесселя:

$$B(t) \cong B_0 \left[1 + \frac{1}{2} q e^{i\omega t} - \frac{1}{2} q e^{-i\omega t} \right]. \quad (2.3)$$

Из сравнения (2.1) и (2.2) – при малой глубине модуляции отличие амплитудной модуляции от фазовой – лишь в сдвиге фаз гармоник на π (-1).

2.2 Подавление гармонических фазовых неоднородностей. Входная и вносимая фаза:

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= a_0 \cos \nu x, \\ u(x, t) &= b_1(t) \cos \nu x + b_2(t) \sin \nu x. \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\nu > \nu_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\delta}{F}.$$

Здесь $\delta > 0$ – поперечный сдвиг ножа в фокальной плоскости, благодаря чему визуализируются гармоники с частотами $\nu > \nu_0$. Модуляционный член в формуле (1.1) в линейном приближении:

$$I = -I_0 \eta g(x, t) = -Kg. \quad (2.5)$$

η – коэффициент пропускания пассивных оптических элементов. Из (2.4) для g получим:

$$g(x, t) \approx \bar{g} + 2[b_2 \cos \nu x - (a_0 + b_1) \sin \nu x]. \quad (2.6)$$

Из (1.1) и (2.6) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} T_0 \frac{dc_1}{dt} = -\rho c_1 + 2Kc_2 + \rho a_0, \\ T_0 \frac{dc_2}{dt} = -\rho c_2 - 2Kc_1, \end{cases}$$

$$\rho = 1 + (v_0 l_d)^2, \quad (2.7)$$

$$c_1 = b_1 + a_0, \quad c_2 = b_2.$$

Устойчивая точка системы:

$$\bar{c}_1 = \frac{a_0}{1 + (2K/\rho)^2}, \quad \bar{c}_2 = -\frac{2K}{\rho} \cdot \frac{a_0}{1 + (2K/\rho)^2}. \quad (2.8)$$

Амплитуда выходной фазы:

$$\sigma_{out} = \sqrt{\frac{\bar{c}_1^2 + \bar{c}_2^2}{2}} = \frac{\sigma_{in}}{\sqrt{1 + (2K/\rho)^2}}, \quad \sigma_{in} = \frac{a_0}{\sqrt{2}}. \quad (2.9)$$

Для фазовых искажений с пространственными частотами $1/l_d \gg v > v_0$ величина $\rho \approx 1$ и амплитуда фазы выходного сигнала тем меньше, чем больше K . **Ограничения:** малая амплитуда входных фазовых возмущений.

3. Система со сдвиговым интерферометром и голографическим фильтром.

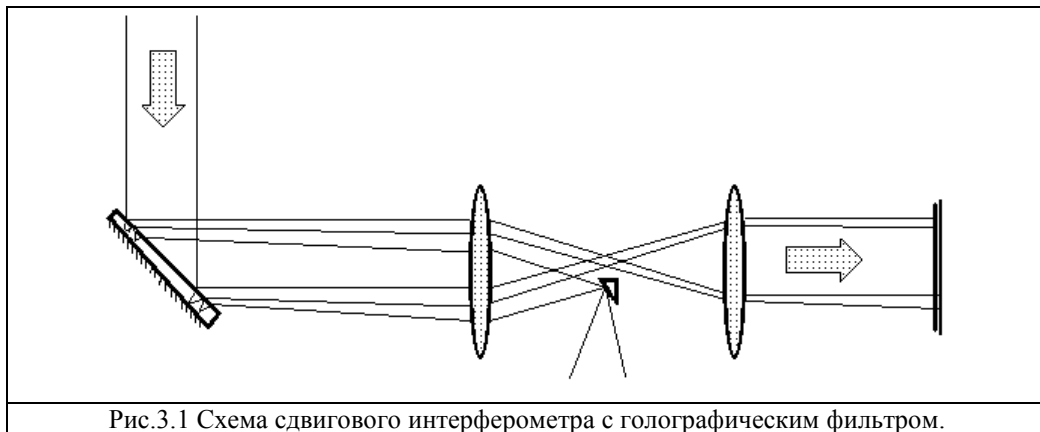


Рис.3.1 Схема сдвигового интерферометра с голографическим фильтром.

Интерференция двух плоских пучков на выходе клиновидной пластинки (выходная фокальная плоскость второй линзы):

$$I = (I_1 + I_2)(1 + \gamma_0 \cos \theta x), \quad (3.1)$$

Здесь I_1 и I_2 – интенсивности пучков, γ – контраст, θ – пространственная частота:

$$\theta = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha} \sin \beta, \quad (3.2)$$

n – коэффициент преломления пластинки, α – угол падения пучка на пластинку, β – угол между поверхностями пластинки–клина. Зарегистрируем распределение (3.1) на фотопластинку, проявим и “вернем пластинку на место”, получим коэффициент пропускания:

$$B(x) = B_0(1 + \gamma_0 \cos \theta x) \quad (3.3)$$

Теперь интенсивность света за пластинкой:

$$I = B(x + \Delta x)(I_1 + I_2) \{1 + \gamma \cos [H(x + S) - H(x) + \theta x]\}, \quad (3.4)$$

где Δx – сдвиг пластинки в поперечном к пучку направлении, H - фаза пучка на входе интерферометра, S – поперечный сдвиг между пучками:

$$S \cong \frac{2d \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}, \quad (3.5)$$

Усреднение за счет диффузии заряда в фотопроводнике даст:

$$\langle I \rangle \approx B_0 (I_1 + I_2) (1 + \gamma \cos(\Delta H + \Delta_0)),$$

$$\Delta_0 = \theta \Delta x. \quad (3.5)$$

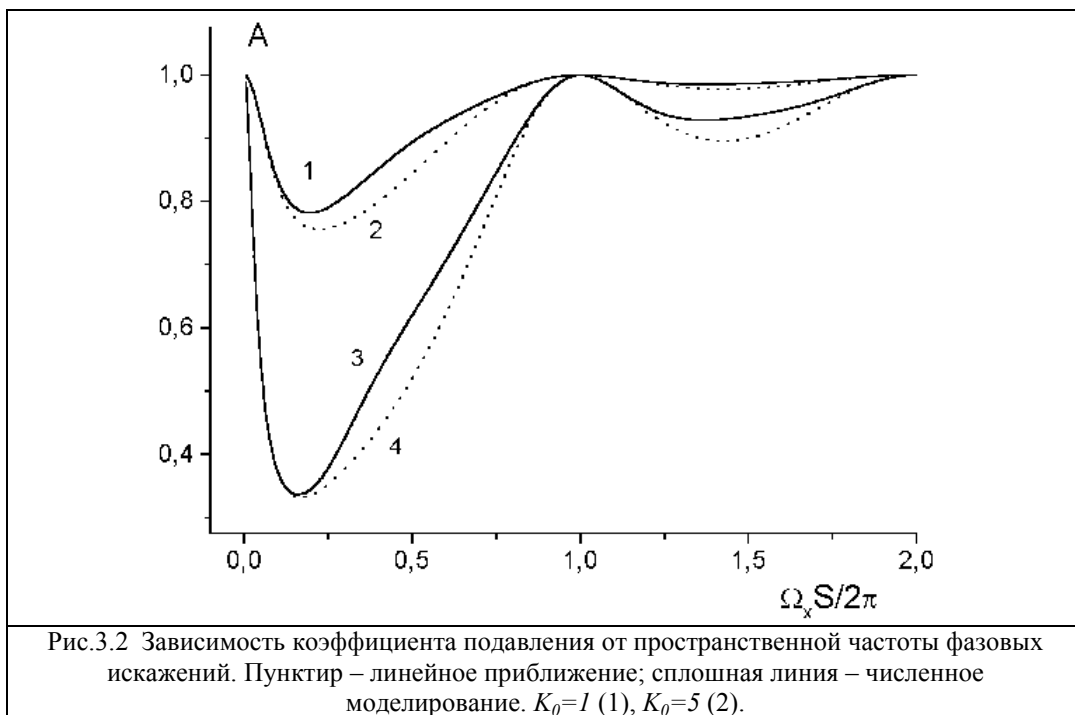
Для линеаризованной системы без учета граничных условий стационарный коэффициент подавления гармонических фазовых искажений:

$$A = \left| \frac{\bar{U} + \bar{F}}{\bar{F}} \right| = \frac{D}{\sqrt{D^2 + 2K_0(K_0 + D)(1 - \cos \Omega_x S)}}$$

$$D = 1 + l_d^2 (\Omega_x^2 + \Omega_y^2),$$

$$K_0 = -kB_0 (I_1 + I_2) \gamma^2 \sin \Delta_0. \quad (3.6)$$

K_0 – коэффициент обратной связи.



Задания по Лекции 13.

1. Вывести формулы (2.1) и (2.3).
2. Вывести уравнения (2.7) и найти решение (2.8).

Вопросы по Лекции 13.

1. Обобщенная схема адаптивной системы с оптической обратной связью. Обзор методов «визуализации» фазовых искажений. Устройство и характеристики ЖК-транспаранта с оптическим управлением. Основное уравнение.
2. Устройство и характеристики АО системы с «фазовым ножом».

3. Устройство и характеристики АО системы со сдвиговым интерферометром и голографическим фильтром.