Общность методов исследования систем, служащих для преобразования сигналов — ф-ций времени (временны́х фильтров), и оптич. систем, служащих для преобразования световых полей — ф-ций координат (пространств. фильтров), обусловлена общностью закономерностей, управляющих процессами в системах радиоэлектроники и оптики, общностью, заложенной в универсальности максвелловских ур-ний электродинамики. И тем и другим системам присущи (в достаточно широкой области применений) такие фундаментальные свойства, как линейность и инвариантность. Это позволяет удобно и просто описывать их поведение единым образом, используя универсальный аппарат теории линейной фильтрации и преобразования Фурье.

Основные понятия и соотношения Ф.-о. В радиоэлектронике систему, преобразующую сигналы, принято изображать в виде схемы (рис. 1, *а*), где внеш. воздействие $f(t)$ есть входной сигнал фильтра, а результат этого воздействия $g(t)$ — выходной сигнал (или отклик) фильтра. Примером временно́го фильтра является колебат. контур (рис. 1, *б*), в к-ром внеш. эдс — входной сигнал, а воз-

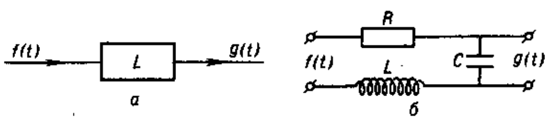

Рис. 1.

никающие изменения напряжения на обкладках конденсатора — отклик фильтра. Тот факт, что ф-ция $g(t)$ является откликом на входное воздействие $f(t)$, записывают в виде операторного равенства

$$L[f(t)]=g(t).$$

Волновые (в частности, оптические) явления характеризуются как временно́й зависимостью, так и пространственной, т. е. зависимостью от координат. В Ф.-о. интерес представляет именно пространств. структура волны, к-рая описывается (в случае гармонич. волн фиксированной частоты ω) комплексной амплитудой волны $f(x, y, z)$, являющейся решением ур-ния Гельмгольца:

$$\Delta f+k^2 f=0 \qquad (1)$$

($k=\omega/c$ — волновое число). [Комплексная амплитуда, определяющая распределение амплитуд и фаз колебаний является входным и выходным сигналом когерентной оптич. системы. При некогерентном освещении говорят о картинах интенсивности (а не об амплитудах) во входной и выходной плоскостях.]

В процессе распространения волны через оптич. систему её пространств. структура изменяется. Такая система рассматривается как пространственный фильтр, преобразующий входной сигнал (комплексную амплитуду волны во входной плоскости оптич. системы) в выходной сигнал (комплексную амплитуду волны в выходной плоскости оптич. системы). На рис. 2 представлена схема пространств. фильтра (*а*) и пример простейшей оптич. системы (*б*), где $f(x, y)$ — комплексная амплитуда волны во

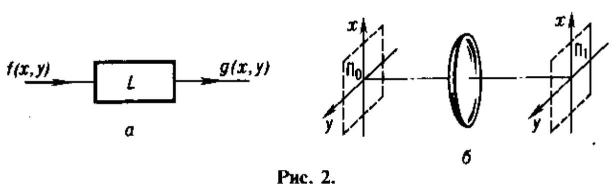

Рис. 2.

входной плоскости Π_0, $g(x, y)$ — комплексная амплитуда в выходной плоскости Π_1. Соответствующее операторное равенство имеет вид

$$L[f(x, y)]=g(x, y).$$

В радиоэлектронике свойства линейного фильтра характеризуются импульсным откликом $h(t, \tau)$ — откликом фильтра на входной δ-импульс:

$$L[\delta(t-\tau)]=h(t, \tau).$$

Здесь $h(t, \tau)$ — ф-ция времени t, параметр τ указывает, что речь идёт об отклике на δ-импульс, возникающий на входе в момент времени $t=\tau$.

Аналогом δ-импульса, возбуждающего колебания в линейном фильтре, в задачах пространств. фильтрации является точечный источник света $\delta(x-\xi, y-\eta)$, расположенный в точке $x=\xi$, $y=\eta$ входной плоскости xy. При этом в выходной плоскости возникает нек-рое световое поле с комплексной амплитудой $h(x, y; \xi, \eta)$, являющейся ф-цией координат x, y в выходной плоскости. Поле $h(x, y; \xi, \eta)$ наз. функцией рассеяния точки и является аналогом импульсного отклика линейного временно́го фильтра.

Временны́е фильтры подчиняются принципу причинности: сигнал на выходе фильтра не может появиться раньше входного сигнала, импульсный отклик $h(t, \tau)$ отличен от нуля лишь при $t\geqslant\tau$. Различие в физ. смысле переменных (времени t и координат x, y) приводит к важному различию временны́х и пространств. фильтров: принцип причинности в задачах пространств. фильтрации не выполняется: точечный источник света, расположенный в начале координат $x=0$, $y=0$ входной плоскости, приводит к возникновению светового поля в выходной плоскости как при $x,y>0$, так и при $x,y<0$.

Если изменение момента появления δ-импульса на входе не меняет вид ф-ции импульсного отклика, а лишь сдвигает её во времени $h(t, \tau)=h(t-\tau)$, то временно́й фильтр наз. стационарным. Примером является колебат. контур с постоянными, не зависящими от времени параметрами *L*, *C*, *R*.

Аналогичное свойство пространств. фильтра наз. изопланатичностью: сдвиг точечного источника во входной плоскости приводит лишь к сдвигу ф-ции рассеяния в выходной плоскости:

$$h(x, y; \xi, \eta)=h(x-\xi, y-\eta).$$

Как правило, изопланатичность оптич. систем выполняется лишь при малых значениях параметров ξ, η. Стационарный временно́й фильтр, а также изопланатичный пространств. фильтр наз. инвариантными фильтрами.

Если известен импульсный отклик временно́го линейного фильтра, то задача фильтрации (нахождение отклика по заданному входному сигналу) решается с помощью интеграла суперпозиции:

$$g(t)=\int f(\tau)h(t, \tau)d\tau. \qquad (2)$$

Аналогично решается задача *пространственной фильтрации* — нахождение комплексной амплитуды волны в выходной плоскости по заданному полю во входной плоскости:

$$g(x, y)=\iint f(\xi, \eta)h(x, y; \xi, \eta)d\xi\, d\eta. \qquad (3)$$

Если речь идёт об инвариантных фильтрах, то вместо (2) и (3) имеем

$$g(t)=\int f(\tau)h(t-\tau)d\tau, \qquad (4)$$

$$g(x, y)=\iint f(\xi, \eta)h(x-\xi, y-\eta)d\xi\, d\eta. \qquad (5)$$

Интегральная операция в (4) или (5) наз. свёрткой функций $f(t)$ и $h(t)$ в (4) или двумерной свёрткой ф-ций $f(x, y)$ и $h(x, y)$ в (5). Символически операции свёртки (4) и (5) записываются в виде

$$g(t)=f(t)\otimes h(t),$$

$$g(x, y)=f(x, y)\otimes\otimes h(x, y).$$

Инвариантность линейных фильтров позволяет перейти к спектральному описанию. Используя известную теорему фурье-анализа о фурье-образе свёртки, связь между спектрами (фурье-преобразованиями) входного и выходного