

Отсюда видно, что масштаб неоднородностей комплексной фазы совпадает с поперечным масштабом неоднородностей  $\Delta\epsilon$ .

Корреляционная функция комплексной фазы тесно связана с корреляционной функцией комплексного поля и, следовательно, с угловым энергетическим спектром.

Как показал Келлер [5], при довольно общих предположениях о характере случайного поля корреляционная функция комплексного поля равна

$$\rho_E(\xi, \eta) = \frac{E(x, y, z)E^*(x + \xi, y + \eta, z)}{E(x, y)E^*(x, y)} = e^{R_\Phi(\xi, \eta) - R_\Phi(0, 0)} \quad (11)$$

а ее фурье-сопряженное, как известно, представляет собой угловой энергетический спектр [6].

Формула (9) не содержит фактора  $\kappa^2 v(L_1) / k_0^2$ , так как при сложении  $R_A$  и  $R_S$  он выпадает. Таким образом, корреляционная функция комплексной фазы и, следовательно, корреляционная функция комплексного поля (11) при  $l \gg \lambda$  не зависят от расстояния между точкой наблюдения ( $z=L_1$ ) и краем рассеивающего слоя ( $z=L_0$ ), т. е. не зависят от толщины  $L_1-L_0$  той части неоднородного слоя, в котором нет случайных неоднородностей. Сохранение  $\rho_E(\xi, \eta)$  может быть показано при помощи простых рассуждений [6].

В этой связи необходимо заметить, что корреляционная функция комплексной фазы (10) при  $l \gg \lambda$  практически совпадает с тем, что дает приближение геометрической оптики [7]. Это указывает на то, что область применимости формул для функции  $\rho_E(\xi, \eta)$  и углового энергетического спектра, полученных методами геометрической оптики, определяется только неравенством  $l \gg \lambda$ .

Автор признателен В. Л. Гинзбургу за замечания, сделанные им при чтении рукописи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Чернов, Распространение волн в среде со случайными неоднородностями, изд. АН СССР, М., 1958.
2. В. И. Татарский, ДАН СССР, **107**, 245 (1956).
3. В. И. Татарский, ДАН СССР, **120**, 289 (1958).
4. Я. Л. Альперт, В. Л. Гинзбург, Е. Л. Фейнберг, Распространение радиоволн, ГИТТЛ, М., 1953.
5. G. Keller, Astron. J., **58**, 113 (1953).
6. Д. Ж. Ратклифф, сб. Проблемы современной физики, вып. 10, ИЛ, М., 5, 1957.
7. H. Scheffler, Zs. f. Astrophys., **45**, 113 (1958).

Исследовательский радиофизический институт  
при Горьковском университете

Поступила в редакцию  
13 февраля 1959 г.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИБОРА В КОРРЕЛЯТОРЕ

В. И. Шмальгаузен

При исследовании некоторых процессов в колебательных системах и системах автоматического регулирования нужно экспериментально определять корреляционные функции случайных сигналов.

Для измерения коэффициента корреляции двух стационарных процессов обычно усредняют их произведение по достаточно большому интервалу времени. В некоторых установках [1-3] для этой цели применяются специальные электронные схемы (перемножающие и интегрирующие). Вследствие этого вся конструкция получается довольно сложной. Однако практически возможно использовать и значительно более простые устройства; одно из них описано в данной работе. Возможность применения этого прибора объясняется тем, что в корреляторе не нужно получать мгновенное значение произведения, а достаточно определить лишь его среднюю величину.

Описываемый ниже перемножающий и усредняющий блок коррелятора работает по принципу электродинамического прибора. Подвижная рамка находится в поле двух неподвижных катушек. Благодаря инерции системы и действию связанного с ней демпфера угол отклонения рамки определяется средним моментом действующих на нее сил. Иными словами, усреднение производится с помощью электромеханического фильтра низких частот.

Как известно, работа всякого усредняющего устройства сводится к относительному уменьшению дисперсии сигнала. Соответствующий анализ позволяет приписать фильтру некоторое эффективное время усреднения  $T_u$ . При этом среднеквадратичная неточность  $\delta_T$ , вызванная ограниченностью времени усреднения, дается обычной формулой:

$$\delta_T^2 = \frac{[f(t) - \bar{f}]^2}{\bar{f}^2} \frac{T_k}{T_u} \quad (T_u \gg T_k).$$

Здесь  $f(t)$  — исследуемый стационарный процесс,  $T_k$  — его время корреляции, чертой сверху обозначено статистическое усреднение.

Для линейного фильтра

$$T_u = \frac{\Phi^2(0)}{1/\pi \int_0^\infty |\Phi(\omega)| d\omega} = \frac{\left\{ \int_0^\infty g(\tau) d\tau \right\}^2}{\int_0^\infty g^2(\tau) d\tau},$$

где  $\Phi(\omega)$  — частотная характеристика фильтра, а  $g(\tau)$  — его реакция на единичный импульс.

Различные фильтры, имеющие одно и то же время  $T_u$ , будут равноценны в смысле среднеквадратичной ошибки усреднения.

В частности, для RC-фильтра  $g(\tau) = \exp(-\tau/\tau_0)$  и  $T_u = 2\tau_0$ . Следует иметь в виду, что время, затрачиваемое на каждое измерение среднего значения, определяется длительностью переходного процесса фильтра и, в принципе, всегда больше, чем  $T_u$ .

На практике оказалось более удобным непосредственно не измерять угол поворота рамки, а применить автоматическую компенсацию вращающего момента. В этом случае средний момент измеряется компенсирующим током. Такая система обеспечивает удобную регулировку времени усреднения  $T_u$  и дает возможность получить выходную величину в виде электрического напряжения.

Прибор (рис. 1) состоит из электромеханического перемножающего элемента  $a$ , цепи обратной связи  $b$ , дополнительного фильтра низких частот  $c$  и входных усилителей  $d$ . Подвижная система перемножающего элемента содержит две рамки — основную 1, помещенную в поле двух катушек 2, и компенсирующую 3, которая находится в поле постоянного магнита. Рамки жестко связаны с масляным демпфером 5 и зеркальцем 4. Луч света от осветителя 7 попадает на зеркальце подвижной системы и, отразившись, на мост из двух фотосопротивлений 6. При смещении подвижной системы из положения равновесия мост выходит из баланса, и на выходе цепи обратной связи появляется ток, стремящийся вернуть рамку в исходное состояние. Цепь обратной связи содержит усилитель постоянного тока и корректирующий RC-контур для обеспечения устойчивости системы.

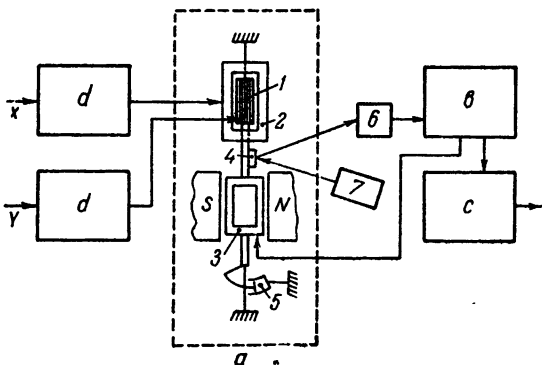


Рис. 1. Блок-схема перемножающего и усредняющего устройства.

Перемножающий элемент  $a$  вместе с цепью обратной связи  $b$  и фильтром низких частот  $c$  образует электромеханический усредняющий фильтр. Его характеристики выбираются, исходя из требуемой величины  $T_u$ .

Входные усилители (рис. 2) должны обеспечить пропорциональность тока через обмотки прибора приложенному входному напряжению. Для того, чтобы исключить появление разности фаз между каналами  $X$  и  $Y$ , оба усилителя сделаны одинаковыми, а индуктивности  $L_k$  и сопротивления  $R_k$  обеих обмоток соответственно уравниваются с помощью дополнительных элементов. Наивысшая рабочая частота ограничена влиянием распределенной емкости катушки прибора  $C_k$ . С помощью специальной коррекции ( $r_1, C_1, C_2$ ) диапазон частот может быть доведен до  $\omega_b \approx \omega_0/2$ , где  $\omega_0$  — собственная частота катушки.

Описанное перемножающее устройство работало с коррелятором, предназначенным

для звуковых или инфранизких частот. Задержка сигналов по времени осуществляется с помощью записи их на магнитную ленту и последующего воспроизведения разнесенными приемниками (аналогично способу, описанному в работах [2, 3]). При работе в области инфразвуковых частот применялась амплитудная модуляция. Область рабочих частот перемножающего и усредняющего блока 0 — 15 кГц.

Работа электромеханического устройства с коррелятором показала, что оно вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к прибору средней точности. В нашем случае погрешность перемножающего устройства была значительно меньше погрешностей других узлов коррелятора. Аналогичные приборы могут быть применены и при ряде других измерений.

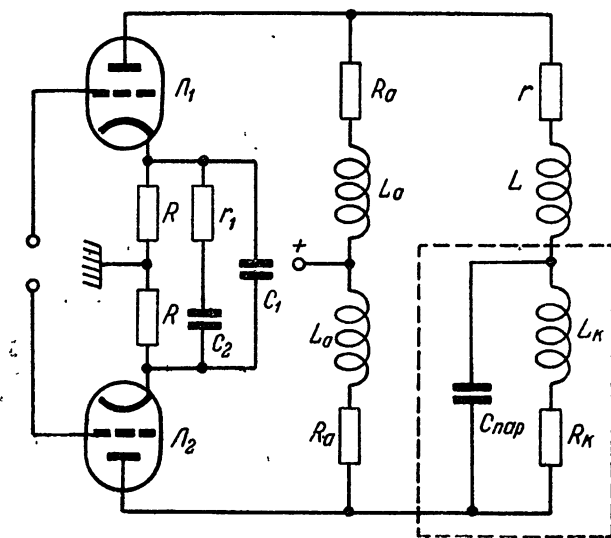


Рис. 2. Схема усилителя:

$L_k, R_k, C_k$  — эквивалентные параметры одной из обмоток перемножающего элемента, лампы  $\Lambda_1, \Lambda_2$  типа 6П9 в триодном включении;  $R = 1$  ком,  $R_a = 3$  ком;  $L_a/R_a = (L + L_k) / (r + R_k)$ , цепочка  $r, C_1, C_2$  подбирается при наладке.

В заключение автор выражает глубокую благодарность С. П. Стрелкову за внимание и помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Солодовников, Введение в статистическую динамику систем автоматического управления, ГИТТЛ, М.—Л., 1952.
2. Ю. В. Новиков, Магнитный коррелограф, сер. Приборы и стенды, тема № 6, № ПС, 55—504, 1956.
3. J. N. Holmes, J. M. C. Duce, Proc. IEE, 101, 225 (1954).

Московский государственный университет

Поступила в редакцию  
22 декабря 1958 г.

#### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

В. М. Лопухин

Целью настоящей заметки является изучение электромагнитных волн в системе электронных потоков, имеющих различные направления. Решение одной из частных задач этого типа было ранее дано в работе [1]. В настоящем письме задача решается с помощью более общего метода, основанного на совместном решении линеаризованного кинетического уравнения для функции распределения  $f$  и уравнения Пуассона:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \operatorname{grad}_r f + \frac{eE}{m} \operatorname{grad}_v f_0 = 0; \quad (1)$$

$$\operatorname{div} E = \frac{-1}{\epsilon_0} \rho; \quad (2)$$