

Н. А. БУХАРИН, В. Ю. ПЕТРУНЬКИН, С. А. РОГОВ,
С. В. РОЗОВ, В. Г. САМСОНОВ, А. Г. ТКАЧЕНКО
(Ленинград)

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТООПТОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИГНЕРА

При исследовании сигналов все большее применение находят совместные частотно-временные представления [1]. Они позволяют получать распределение энергии сигналов по времени и частоте и могут быть использованы для распознавания речи, демодуляции и распознавания сигналов [2], в радиолокации, при исследовании динамических спектров излучения плазмы в СВЧ-диапазоне. Наиболее универсальным с математической точки зрения среди других частотно-временных представлений является распределение Вигнера, из которого могут быть получены любые другие характеристики сигнала [3].

Получение распределения Вигнера связано с преобразованием Фурье и требует значительного объема вычислений. При ограничении времени на анализ здесь могут оказаться полезными оптические методы. В [4] было предложено два оптических метода получения так называемого локального спектра, близкого к распределению Вигнера, в которых используется движение окна гауссовой формы относительно пространственной записи исследуемого сигнала. Получение распределения Вигнера в реальном масштабе времени было предложено осуществлять в акустооптическом устройстве [5], однако рассмотренный вариант такой системы имеет сравнительно низкий уровень выходного сигнала, что может помешать ее практическому использованию. Нами была исследована возможность получения распределения Вигнера в акустооптоэлектронном устройстве, схема которого приведена на рис. 1.

Устройство представляет собой акустооптический анализатор спектра с заданной функцией окна $g(x)$. Интегрирующая оптика (L_1, L_2, L_3) сконструирована таким образом, чтобы выходные оптические сигналы проецировались на одну строку матричного фотоприемника на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС-фотоприемников). Остальные строки матрицы закрыты для оптического излучения. По мере поступления сигнала в акустооптический модулятор АОМ зарядовый рельеф, пропорциональный интенсивности оптического сигнала в выходной плоскости устройства, сдвигается с помощью управляющих импульсов, формируемых ПЗС-контроллером [6] в затененную часть матрицы, используемую как сверхоперативное аналоговое запоминающее устройство. После заполнения всей матрицы информация с нее считывается в буферное запоминающее устройство ЭВМ для последующего анализа, при этом регистрация

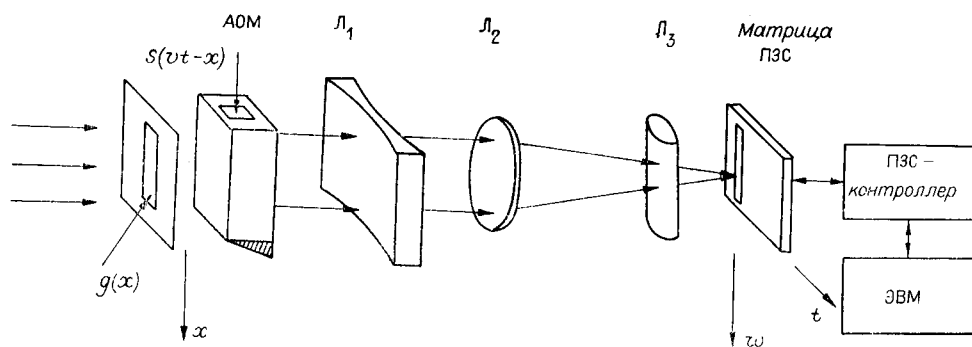


Рис. 1

новых сигналов не производится. Максимальное число отсчетов формируемого в матрице частотно-временного распределения определяется по частоте числом элементов в строках матрицы, по времени — числом строк матрицы.

Пусть на вход системы подается сигнал, пространственная реплика которого в АОМ есть $s(x_0 - x)$, где $x_0 = vt$ — сдвиг сигнала в звукопроводе АОМ, v — скорость ультразвуковых волн. Пренебрегая дискретной структурой выходного сигнала ПЗС-фотоприемника, для момента времени $t = \frac{x_0}{v}$ можно записать

$$U_{\text{вых}}(x_0, \omega) \propto \left| \int_{-\infty}^{\infty} s(x_0 - x) g(x) e^{j\omega x} dx \right|^2, \quad (1)$$

$$\times g^* \left(x_0 - x + \frac{x'}{2} \right) e^{-j\omega x'} dx dx'. \quad (2)$$

Рассматривая интеграл по x' в (2) как преобразование Фурье от произведения двух функций и используя определение распределения Вигнера [3]

$$W_s(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s \left(x + \frac{x'}{2} \right) s^* \left(x - \frac{x'}{2} \right) e^{-j\omega x'} dx',$$

нетрудно показать, что для вещественной функции окна $g(x)$ выходной сигнал системы пропорционален свертке распределения Вигнера от сигнала $W_s(x, \omega)$ с распределением Вигнера от функции окна $W_g(x, \omega)$:

$$U_{\text{вых}}(x_0, \omega) \propto \widetilde{W}_s(x_0, \omega, g) = \iint_{-\infty}^{\infty} W_s(x, \omega') W_g(x_0 - x, \omega - \omega') dx d\omega'. \quad (3)$$

Аналогично выражению, полученному в [4] для окна гауссовой формы, величина $\widetilde{W}_s(x_0, \omega, g)$ может быть названа локальным спектром сигнала или модифицированным распределением Вигнера. Выражение (3) справедливо для произвольной функции окна, что позволяет в общем виде проанализировать ее влияние на результаты исследования сигнала с помощью модифицированного распределения Вигнера и осуществлять ее выбор применительно к условиям конкретной задачи. Известно, например, что для получения квадрата модуля спектра сигнала из распределения Вигнера достаточно проинтегрировать это распределение по временной координате [3]. Проведя аналогичную операцию над модифицированным распределением Вигнера, после соответствующих вычислений получим

$$\int_{-\infty}^{\infty} \widetilde{W}_s(x_0, \omega, g) dx_0 = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega')|^2 |G(\omega - \omega')|^2 d\omega', \quad (4)$$

где $S(\omega)$, $G(\omega)$ — спектры сигнала и функции окна. Как видно из выражения (4), модифицированное распределение Вигнера позволяет получать свертку квадрата модуля спектра сигнала с квадратом модуля спектра функции окна. Очевидно, что в этом случае точность измерения спектральных характеристик сигнала возрастает при использовании окна большей ширины.

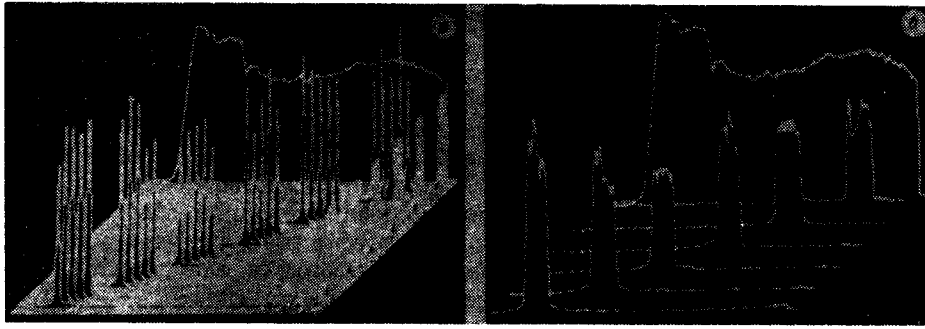


Рис. 2

Интегрирование распределения Вигнера по частоте позволяет получать мгновенную мощность сигнала, являющуюся характеристикой его формы (3). В случае модифицированного распределения Вигнера получаем

$$\int_{-\infty}^{\infty} \bar{W}_s(x_0, \omega, g) d\omega \sim \int_{-\infty}^{\infty} |s(x)|^2 |g(x_0 - x)|^2 dx. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что для точного воспроизведения мощности сигнала в рассматриваемой системе желательно иметь узкое окно типа δ -функции. Используя выражение (3) и математический аппарат преобразования Вигнера, можно оценить влияние функции окна и на другие характеристики сигнала.

Экспериментальная проверка рассмотренной акустооптической системы проводилась с использованием ЛЧМ-сигнала, сформированного с помощью генераторного блока характеристикографа Х1-42. Длительность сигнала составляла ~ 2 мс, девиация — 100 МГц. В схеме использовалось окно с функцией прозрачности П-образной формы. Выходные сигналы матрицы ПЗС-фотоприемника после аналого-цифрового преобразования поступали в память ЭВМ, а затем выводились через цифроаналоговый преобразователь на экран графического дисплея.

Частотно-временное распределение сигнала, полученное в эксперименте, представлено на рис. 2, а. Здесь горизонтальная ось соответствует частоте, а ортогональная — времени. Вдоль каждой строки построен спектр мощности отдельной временной выборки сигнала. Вместо части выходных сигналов системы на график выведены частотные метки (справа). Их положение определяет точку частотной оси, соответствующую 168 МГц. Последний временной отсчет использован для вывода спектра, полученного интегрированием в ЭВМ двумерного распределения по частотной оси. Его ширина по уровню половинной мощности равна 100 МГц.

Как видно из рис. 2, а, система позволяет получить частотно-временное распределение входного сигнала (локальный спектр).

С помощью программируемого ПЗС-контроллера можно гибко управлять режимом съема информации в рассматриваемой системе. В частности, изменяя скорость сдвига зарядов в ПЗС-матрице, можно менять масштаб распределения по временной оси (с одновременным изменением разрешения), что позволяет вести обработку сигналов в широком диапазоне длительностей. Максимальная скорость сдвига строк определяется при этом максимальной тактовой частотой управления ПЗС и составляет 5—10 МГц.

При медленном сдвиге зарядового рельефа ПЗС-матрицы (по сравнению с изменениями выходного оптического сигнала) следует учитывать дискретный характер съема информации фотоприемником. В этом случае для получения распределения выходного сигнала по частотной оси в каждый временной отсчет следует проинтегрировать выражение (3)

за время накопления. На рис. 2, б представлено частотно-временное распределение того же ЛЧМ-сигнала при снижении скорости смещения зарядов в ПЭС-матрице в ~ 10 раз по сравнению с первым экспериментом. Видно, что в данном случае каждый временной отсчет распределения содержит значительную часть спектра исследуемого сигнала.

Таким образом, нами была теоретически и экспериментально исследована схема акустооптоэлектронного устройства, позволяющего формировать в реальном масштабе времени модифицированное распределение Вигнера. Получено выражение для выходного сигнала системы при произвольной функции окна. Эксперименты подтвердили возможность применения данного устройства для анализа реальных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Escudie B., Grea J. Joint representation (JR) in signal theory (ST) and Hilbertian analysis: a powerful tool for signal analysis // Proc. IEEE Int. Conf. San Diego, 1984.
2. Bouchache B., Rodriguez F. Recognition of time-varying signal in the time-frequency domain by means of the Wigner distribution // Ibit.
3. Claasen T. A. C. M., Meeklenbrüker W. F. G. The Wigner distribution — a tool for time-frequency signal analysis // Philips J. of Research.— 1980.— V. 35, N 3.— P. 217—250.
4. Bartelt H. O., Brenner K.-H., Lohmann A. W. The Wigner distribution function and its optical production // Opt. Comm.— 1980.— V. 32, N 1.— P. 32—38.
5. Athale R. A., Lee J. N., Robinson E. L., Szu H. H. Acousto-optic processors for real-time generation of time-frequency representations // Opt. Lett.— 1983.— V. 8, N 3.— P. 166—168.
6. Водоватов И. А., Высоцкий М. Г., Петрунькин В. Ю. и др. Система регистрации и обработки оптических сигналов на основе ПЭС-структур и микроЭВМ «Электроника 60М» // Автометрия.— 1985.— № 6.

Поступила в редакцию 30 июля 1986 г.

УДК 534.08 : 621.373.826

Х. Т. АБЕЙНАЯКЕ, В. А. КОМОЦКИЙ

(Москва)

ИЗМЕРЕНИЕ ОТРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН (ПАВ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ОПОРНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ (ОДР)

Метод оптического зондирования ПАВ с опорной дифракционной решеткой ранее был использован для измерения амплитуды [1, 2] и фазовых распределений ПАВ [3, 4]. В настоящей работе мы рассматриваем возможность его применения для измерения модуля и фазы коэффициента отражения ПАВ от границ либо от отражающих структур. На рис. 1 изображена оптическая схема зондирования. Световой пучок от лазера пересекает ОДР, отражается от звукопровода ПАВ и вторично пересекает ОДР. Период ОДР (Λ_p) равен длине волны Λ . Из образовавшейся дифракционной картины мы выделяем нулевой порядок и направляем его на фотодетектор. Интенсивность дифрагированного светового пучка промодулирована с частотой ПАВ (Ω), ее переменная, составляющая I_0^Ω , имеет амплитуду, пропорциональную амплитуде бегущей ПАВ, а фаза связана с фазой бегущей волны. Величину I_0^Ω мы будем называть полезным сигналом. Переменная составляющая тока фотодетектора i_0^Ω , пропорциональная I_0^Ω , используется для амплитудных и фазовых измерений.