

А. Б. ЕГОРОВ, И. П. ЗАХАРОВ, В. Н. ЖЕНДУБАЕВ

АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА И НАГРУЗКИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

В технике, в научных исследованиях, в сложных физических экспериментах все большее распространение получают динамические режимы работы измерительных приборов и систем [1]. В диапазоне СВЧ с такими режимами связаны не только быстроедействие и расширение динамического диапазона средств измерения, но и его многофункциональность, поскольку одновременно необходимо измерять несколько параметров нестационарной нагрузки и сигнала, как функций времени [2]. В статье описаны алгоритмы динамических измерений падающей $P_{пад}$, отраженной $P_{отр}$ и проходящей $P_{пр}$ мощности, а также модуля Γ и фазы Φ коэффициента отражения нагрузки в диапазоне частот.

В основу алгоритмов положен метод дискретной измерительной линии (ДИЛ) [3], который связан с осуществлением пространственной дискретизации распределения электрической составляющей электромагнитного поля в линии передачи по направлению его распространения. Последующие расчеты измеряемых параметров производятся по значениям поля в точках дискретизации. В общем случае для измерения достаточно четырехзондовой ДИЛ. Увеличение числа зондов ведет к уменьшению методической и одновременному росту инструментальной погрешности измерения, а также увеличению объема аппаратуры. Вопрос о выборе числа элементов связи ДИЛ в зависимости от их типа, количества измеряемых параметров и диапазона частот является достаточно сложным и требует более глубокого изучения.

В измерительной системе, структурная схема которой показана на рис. 1, реализованы алгоритмы определения параметров сигнала и нагрузки для шестизондовой эквидистантной ДИЛ. Здесь 1 — емкостной зонд; 2 — малоинерционный преобразователь мощности; 3 — усилитель, 4 — аналоговое запоминающее устройство; 5 — формирователь калибровочных напряжений; 6 — коммутатор; 7 — генератор стробирующих импульсов; 8 — микроЭВМ; 9 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП);

10 — переключатель частоты дискретизации; 11 — цифроречающее устройство (ЦПУ); 12 — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); 13 — переключатель вида исследуемого сигнала. Измерительная система (ИС) представляет собой зондовую измерительную линию с шестью идентичными электрическими связями и каналами детектирования, усиления и дискретизации по времени с заданной частотой. Электрическую составляющую поля в любой точке линии передачи можно представить в виде $E = E_{\text{пад}} \cos \omega t + E_{\text{отр}} \cos(\omega t + \Phi)$, где $E_{\text{пад}}$, $E_{\text{отр}}$ — амплитуды электрических составляющих падающей и отраженной волн; ω — частота колебаний. Считая, что зонды ДИЛ представляют собой чисто емкостные элементы связи, а преобразователи мощности обладают

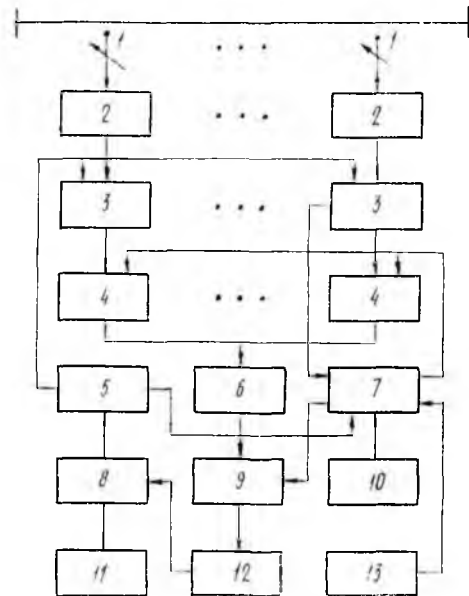


Рис. 1

линейными вольт-ваттными характеристиками, напряжения на выходах последних будут определяться соотношением

$$U_i = 0,5 K_i E_{\text{пад}}^2 [1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\Phi + 3\theta - i\theta)], \quad (1)$$

где K — коэффициент пропорциональности; $i=1, 2..6$ — номер зонда; θ — фазовый сдвиг между зондами, $\theta=4\pi l/\lambda$; λ — длина волны в линии передачи; l — расстояние между зондами.

Систему уравнений (1) решаем относительно фазового сдвига между зондами:

$$\theta = \begin{cases} (U_2 - U_6)/2(U_3 - U_5) & \text{при } |U_2 - U_4| < |U_3 - U_5|; \\ (U_1 - U_5)/2(U_2 - U_4) & \text{при } |U_2 - U_4| > |U_3 - U_5|. \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \begin{cases} (U_2 - U_6)/2(U_3 - U_5) & \text{при } |U_2 - U_4| < |U_3 - U_5|; \\ (U_1 - U_5)/2(U_2 - U_4) & \text{при } |U_2 - U_4| > |U_3 - U_5|. \end{cases} \quad (3)$$

Выражения (2), (3) идентичны и переходят одно в другое циклической перестановкой зондов, поэтому в дальнейшем будем пользоваться только выражением (3), из которого следует, что

$$\omega = \frac{C}{2l} \arccos \frac{U_1 - U_5}{2(U_2 - U_4)}, \quad (4)$$

где C — скорость света в свободном пространстве.

Фаза коэффициента отражения определяется согласно следующим уравнениям:

если $U_1 - 2U_3 + U_5 = 0,$

$$\Phi = \begin{cases} \pi/2 & \text{при } U_2 - U_4 > 0; \\ -\pi/2 & \text{при } U_2 - U_4 < 0, \end{cases} \quad (5)$$

если $U_1 - 2U_3 + U_5 < 0,$

$$\Phi = \arctg \left[-\sqrt{4(U_2 - U_4)^2 - (U_1 - U_5)^2} / (U_1 - 2U_3 + U_5) \right], \quad (6)$$

если $U_1 - 2U_3 + U_5 > 0,$

$$\Phi = \begin{cases} \pi + \arctg \left[-\sqrt{4(U_2 - U_4)^2 - (U_1 - U_5)^2} / (U_1 - 2U_3 + U_5) \right], & U_2 \geq U_4; \quad (7) \\ -\pi + \arctg \left[-\sqrt{4(U_2 - U_4)^2 - (U_1 - U_5)^2} / (U_1 - 2U_3 + U_5) \right], & U_2 < U_4. \quad (7) \end{cases}$$

Используя известные соотношения между измеряемыми параметрами сигнала и нагрузки линии передачи, получаем алгоритмы вычисления

$$P_{\text{пад}} = \frac{1}{4K} (\sqrt{A + 2B} + \sqrt{A - 2B})^2; \quad (8)$$

$$P_{\text{отр}} = \frac{1}{4K} (\sqrt{A + 2B} - \sqrt{A - 2B})^2; \quad (9)$$

$$P_{\text{пр}} = \frac{1}{K} \sqrt{A^2 - 4B^2}; \quad (10)$$

$$\Gamma = (\sqrt{A + 2B} - \sqrt{A - 2B}) / (\sqrt{A + 2B} + \sqrt{A - 2B}), \quad (11)$$

где $A = \frac{(U_1 + U_3)U_4 - (U_3 + U_5)U_2}{U_1 - U_5 - 2(U_2 - U_4)}, \quad (12)$

$$B = (U_4 - U_2) / 4 \sin \Phi \sin \theta. \quad (13)$$

Напряжения $U_1 \dots U_6$ в каждый дискретный момент времени с помощью аналогового коммутатора и АЦП преобразуются в цифровой код, накапливающийся в ОЗУ. Вычисленные значения распечатываются ЦПУ.

Кроме режима «измерение» в ИС имеется режим «калибровка», предназначенный для коррекции аддитивной и мультипликативной составляющих систематической погрешности низкочастотной части каналов измерения и реализующий метод образцовой меры. Алгоритмы работы ИС в режимах «калибровка» и «измерение» представлены на рис. 2, 3 соответственно. В режиме «калибровка» формирова­тель калибровочных напряжений формирует на входе каждого усилителя 8 значений U_{kj} (j — номер такта калибровки).

В соответствии с последовательностью формирования U_{kj} коммутатором производится опрос аналоговых запоминающих устройств (АЗУ) каналов большого или малого уровня непрерывного (НК) или импульсного (ИК) сигналов. Для каждого U_{kj} производится опрос всех $i=1 \dots 6$ измерительных каналов, преобразование выходных напряжений АЗУ в цифровой код

и запись в ОЗУ. По окончании последнего такта калибровки содержимое ОЗУ поступает в ЭВМ, где рассчитываются коэффициенты преобразования и начальные смещения измерительных каналов.

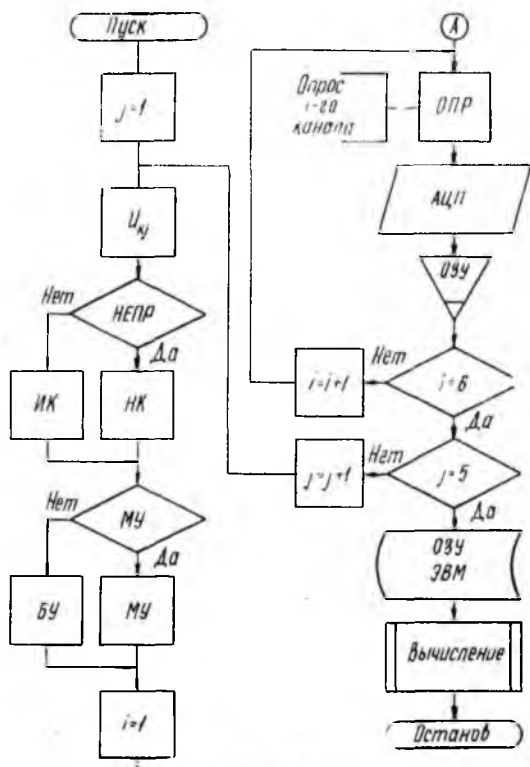


Рис. 2

В режиме «измерение» устанавливаются период временной дискретизации и вид исследуемого сигнала (непрерывный или импульсный). При одиночном входном импульсе генератор стробирующих импульсов (ГСИ) системы запускается от переднего фронта исследуемого импульса, при непрерывном сигнале — от внешнего синхроимпульса, в случае периодического воздействия осуществляется стробоскопическая дискретизация с синхронизацией от передних фронтов исследуемых импульсов.

После запуска ГСИ вырабатывает 100 импульсов выборки с заданной частотой следования. Номер выборки определяет значение переменной k . В момент выборки в каждом из шести каналов измерения производится определение уровня входного сигнала (малый или большой) и занесение его признака в ОЗУ. По этому признаку произойдет опрос необходимого канала АЗУ, после чего будет произведено аналого-цифровое преобразование напряжений АЗУ, занесение их значений в ОЗУ с последующим

(после реализации сотой выборки) вычислением ЭВМ измеряемых параметров.

Наличие в составе ИС ЭВМ позволяет гибко изменять алгоритм ее функционирования, корректировать вычисление параметров с учетом отклонения реальных характеристик устройства,

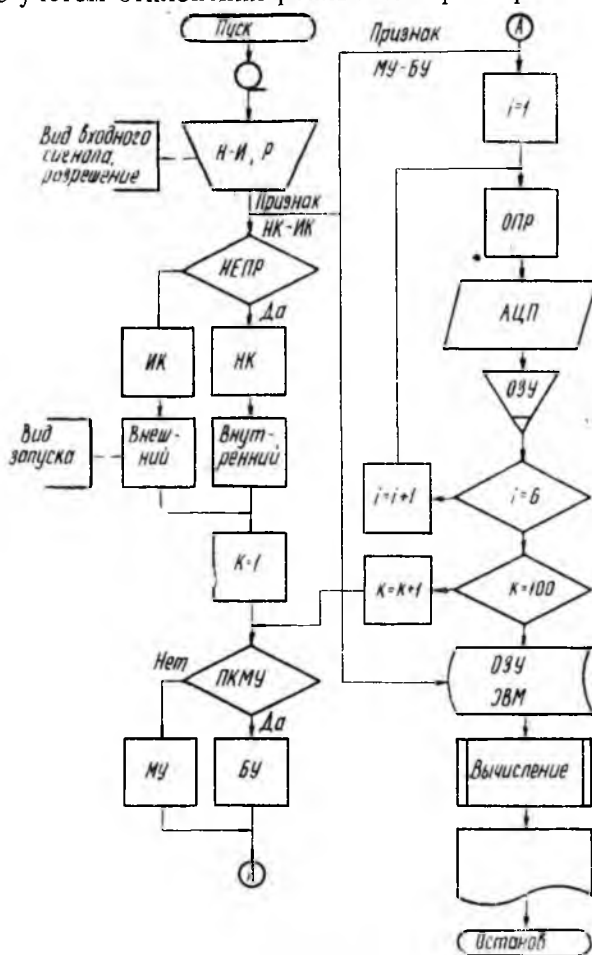


Рис. 3

входящих в систему, от заданных, автоматизировать процесс калибровки и проводить статистическую обработку результатов измерений.

Список литературы: 1. Грановский В. А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения. Л., 1984. 224 с. 2. Автоматизированная система для измерения параметров сигнала и нагрузки в рассогласованных линиях передачи/А. Б. Егоров, И. П. Захаров, Ю. П. Белокурский, В. Н. Жендубаев//Радиотехника, 1986. Вып. 77. С. 26—35. 3. Бондаренко И. К., Дейнега Г. А., Магачев З. В. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. М., 1969. 304 с.

Поступила в редакцию 18.06.86