

быть определена на основе использования известной статистики по отказам элементов:

$$P_{m2} = \frac{\sum_{i=1}^{m_1} \lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i},$$

где  $\lambda_i$  — интенсивность отказов  $i$ -го элемента ОД;  $m$  и  $m_1$  — соответственно общее количество и количество контролируемых элементов.

Поскольку тест представляет собой совокупность входных воздействий и ответных реакций и является логической конструкцией, то для перехода от теста к алгоритму необходимо учесть особенности реальной структуры и элементов, из которых построен ОД (разное время срабатывания различных типов реле, одновременно используемых в схеме, наличие времязадающих элементов и т. д.). Для определения достоверности алгоритма  $P_{m2}$  в случае тестового контроля может быть рекомендовано следующее выражение:

$$P_{m2} = \frac{M - \left( \sum_{i=1}^N \gamma_i + \sum_{i=1}^L \gamma_i \right)}{M},$$

где  $N$  — число групп элементов ОД, в которых может возникнуть хоть одна неразличимая неисправность;  $L$  — число групп элементов ОД, не контролируемых из-за невозможности доступа к ним;  $\gamma_i$  — число элементов в группе;  $M$  — общее число возможных неисправностей ОД.

Следует заметить, что при определении  $M$  необходимо учитывать условия проведения проверки и вероятность возникновения неисправностей [3].

## Выводы

При определении методической достоверности следует учитывать достоверность как метода, так и алгоритма диагностики.

Достоверность алгоритма диагностики зависит от способа построения и конструктивных особенностей объекта диагностики (трудность доступа, невозможность локализации неисправного элемента).

## ЛИТЕРАТУРА

1. К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
2. В. П. Калявин, Г. Г. Костанди, А. В. Мозгалевский, Ю. Г. Смирнов. Решение задач технической диагностики с применением информационного критерия. — Изв. ЛЭТИ, вып. 102. Л., «Энергия», 1971.
3. П. П. Пархоменко. О технической диагностике. М., «Знание», 1969.

*Поступило в редакцию 3 августа 1971 г.*

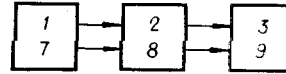
УДК 621.317.373

А. А.-Б. АХМАДОВ, В. П. КАШЛЕВ  
(Киев)

## ШИРОКОПОЛОСНОЕ ПРЕЦИЗИОННОЕ ФАЗОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

Для реализации широкополосного фазометрического устройства, лишенного недостатков «классической» схемы и не содержащего перестраиваемые по частоте элементы, предложено [1, 2] в качестве преобразователей частоты, сохраняющих фазовые соотношения, применять фазокомпенсационные однополосные модуляторы (ФОМ).

В диапазоне частот спектр выходного напряжения реального ФОМ, кроме основной частоты составляющей, содержит высшие гармоники. Приведем краткий анализ работы широкополосного фазометрического устройства, функциональная схема которого приведена на рисунке.



Пусть на входы соответствующих ФОМ 2, 8 через согласующие устройства 1, 7 поступают измеряемое и опорное напряжения

$$u_x(t) = \cos(\omega t + \varphi_x);$$

$$u_0(t) = \cos \omega t$$

и напряжения фиксированной частоты  $\Omega$  от генератора 6 с известной разностью фаз  $\theta$ , обеспечиваемой образцовым фазовращателем 4.

Так как частота и фаза основных частотных составляющих выходных напряжений каждого ФОМ представляет собой алгебраическую сумму частот и фаз его входных напряжений, то, ограничивая эти напряжения по амплитуде с помощью ограничителей 3, 9, получим на их выходах соответственно:

$$u'_x(t) = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{k} \sin k [(\omega + \Omega)t + \varphi_x + \theta + M \cos(vt + \xi)];$$

$$u'_0(t) = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{k} \sin k [(\omega + \Omega)t + M \cos vt],$$

где  $M$  — индекс паразитной фазовой модуляции с частотой  $v$  и начальной фазой  $\xi$ . Эти сигналы поступают на фазочувствительный нуль-индикатор 5, например перемножитель, постоянная и низкочастотная составляющие выходного напряжения которого определяются выражением

$$U_{\text{пер}} = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{k^2} \cos k \{ \varphi_x + \theta + M [\cos(vt + \xi) - \cos vt] \}. \quad (1)$$

Пользуясь известным соотношением, последнее выражение можно представить следующим образом:

$$U_{\text{пер}} = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{k^2} \left\{ \cos [k(\varphi_x + \theta)] \cos k \left[ m \sin \left( vt + \frac{\xi}{2} \right) \right] + \right.$$

$$\left. + \sin [k(\varphi_x + \theta)] \sin k \left[ m \sin \left( vt + \frac{\xi}{2} \right) \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $m = 2M \sin \xi/2$ . Раскладывая это выражение в ряд Бесселя и опуская, ввиду воздействия фильтра нижних частот, входящего в состав нуль-индикатора, функции с порядком выше нулевого, окончательно получим

$$U_{\text{пер}} = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{k^2} J_0(km) \cos k(\varphi_x + \theta). \quad (3)$$

Можно показать, что если амплитуда мешающего напряжения на выходе ФОМ каждого канала не превышает 90% амплитуды напряжения основной частоты (для реальных ФОМ выполняется минимум с десятикратным запасом), суммарный индекс паразитной фазовой модуляции меньше 2,4 рад., т. е.  $J_0(m) > 0$  [4]. В этом случае выражение (3) представляет собой уравнение периодической кривой с нулями в точках  $\varphi_x + \theta = n \frac{\pi}{2}$  ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ).

Следовательно, погрешность измерения приведенным устройством определяется только точностью задания компенсирующего фазового сдвига и принципиально не зависит от качества смесителей, входящих в состав преобразователя частоты.

Этот вывод подтвержден экспериментально. При проверке фазометров на диапазон 20 Гц — 100 кГц [5] основная погрешность измерения не превышала 0,05°.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. А.-Б. Ахмадов и В. П. Кашлев. Электронный фазометр. Авт. свидетельство № 301639.— ИПОТЗ, 1971, № 14.
2. А. А.-Б. Ахмадов и В. П. Кашлев. Электронный компенсационный фазометр. Авт. свидетельство № 309313.— ИПОТЗ, 1971, № 22.
3. М. В. Верзунов, И. В. Лобанов, А. М. Семенов. Однополосная модуляция. М., «Связь», 1962.
4. Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш. Специальные функции. М., «Наука», 1964.
5. А. А.-Б. Ахмадов, Н. П. Зимин, Ю. А. Иловайский, В. П. Кашлев. Особенности построения компенсационных фазометрических устройств на диапазон 20 Гц — 100 кГц.— Тезисы докладов на XX Республиканской конференции, посвященной Дню радио. Киев, 1970.

*Поступило в редакцию 25 декабря 1970 г.,  
окончательный вариант — 21 января 1972 г.*

УДК 681 : 327.5.21

**И. М. САХАРОВ**  
(Новосибирск)

### О СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ШУМА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Автоматические устройства кодирования и ввода в ЭВМ изображений, в которых сканирующий узел выполнен на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) высокого разрешения, получили в настоящее время широкое распространение. Точность таких систем ввода определяется суммарной погрешностью, которая обусловлена шумами датчика света, шумами приемника света (ФЭУ), шумами носителя информации (кино- и фотоматериала), а также погрешностями квантования и интерполяции. Знание составляющих погрешности позволяет определить потенциальные возможности и оптимизировать параметры системы ввода. Исследованию отдельных составляющих суммарной погрешности: шумов ФЭУ, погрешности квантования и интерполяции — посвящено много работ. Известны же из литературы сведения о шумах люминофора ЭЛТ ограничены и противоречивы. Так, в [1] шум ЭЛТ на выходе ФЭУ принимается равномерным. В [2] указано, что шум ЭЛТ с мелкозернистым люминофором имеет максимум в области пространственных частот  $m=0,6\div 6$  лин/мм.

В статье изложены результаты измерений спектральных характеристик шума ЭЛТ и определены их зависимости от диаметра сканирующего луча и скорости сканирования.

Принцип измерения спектра шума ЭЛТ основан на преобразовании пространственного шума ЭЛТ в шумоподобный электрический сигнал и измерении последнего путем узкополосной частотной фильтрации. Для определения двумерного пространственного спектра по одномерному временному (электрическому) спектру необходимо проводить сканирование пространственным фильтром типа «щель», ширина которого меньше полупериода самой высокочастотной составляющей пространственного спектра [3]. Известно, что размер зерен ЭЛТ высокого разрешения [2, 4] меньше 3 мкм. Таким образом, для измерения пространственного спектра необходима щель шириной менее 3 мкм. Создать на экране штрих шириной 3 мкм технически трудно. Кроме того, с уменьшением ширины щели коэффициент передачи фильтра уменьшается и шум ЭЛТ на выходе ФЭУ становится соизмеримым с шумом ФЭУ, что затрудняет измерения шума.

В данной работе сканирование осуществлялось круговой разверткой ( $f_1=14,7$  Гц;  $f_2=67$  Гц) лучом, имеющим закон распределения плотности тока луча близким к нормальному. Структурная схема экспериментальной установки измерения спектральных характеристик шума ЭЛТ показана на рис. 1. Фокусировка, коррекция астигматизма и измерения радиуса луча ЭЛТ осуществлялись при отклонении луча ЭЛТ на расстояние, равное радиусу круга сканирования. Радиус луча ЭЛТ измерялся объективным способом [5] с помощью оптической решетки с шагом 96 мкм путем сканирования по строке длиной 2 мм.

Для исключения влияния на результаты измерения неравномерности чувствительности ФЭУ по поверхности фотокатода применен конденсор. Спектр шума измерялся анализатором спектра типа С4-14 (при измерении характеристик шума ЭЛТ полупрозрачное зеркало 3 из оптического канала выводилось). На рис. 2, 3 приведены