

ВИДЕОАНАЛИЗАТОР ВК-2

МЕТРОЛОГИЯ ПРИБОРА

VIDEO ANALYZER ВК-2: METROLOGICAL ASPECTS

д.т.н. Дворкович В.П. (V. Dvorkovitch), к.ф.-м.н. Дворкович А.В. (A. Dvorkovitch), Макаров Д.Г. (D. Makarov), к.т.н. Басий В.Т. (V. Basiy), ФГУП НИИР

Эта статья является продолжением статьи, опубликованной в КИПС № 5, 2006 г. [1].

Метрологическое программное обеспечение (ПО) видеоанализатора используется при настройке его характеристик и обеспечивает цифровую коррекцию аппаратных и методических погрешностей генератора и анализатора ВК-2. С помощью этого ПО обеспечивается настройка:

- группового времени задержки (ГВЗ) и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ),
- уровней ТВ измерительного сигнала (ТВ ИС),
- крутизны амплитудной характеристики, параметров ТВ ИС, коррекция переходной характеристики, коррекция методических погрешностей анализа искажений ТВ ИС.

Метрологическое обеспечение ВК-2 использует два прецизионных измерительных прибора: мультиметр, имеющий $8\frac{1}{2}$ десятичных разрядов с максимальным разрешением 10 нВ [2], и термopреобразователь, обладающий погрешностью преобразования в диапазоне до 10 МГц не более $\pm 0,11\%$ [3].

НАСТРОЙКА ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУППОВОГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ И АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Настройка направлена на минимизацию искажений импульсной характеристики (ИХ), группового времени задержки (ГВЗ) и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) при преобразовании аналогового ТВ ИС в цифровой поток в узле АЦП и при преобразовании цифрового потока сигнала в аналоговый ТВ ИС в узле ЦАП платы ввода-вывода информации.

Применяются программные корректирующие цифровые фильтры, управляющие коэффициенты которых определяются индивидуально для каждого конкретного прибора в процессе минимизации искажений ИХ (по параметрам ПБ, ТП и КП) и искажений ГВЗ и АЧХ. Полученные значения коэффициентов для корректирующих фильтров хранятся в реестре операционной системы компьютера видеоанализатора.

При коррекции ИХ используется программный рекурсивный фильтр (максимально с тремя рекурсиями, используемыми коэффициенты $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ и α_3, β_3):

$$Z_n = x_n + \sum_{i=1}^3 \beta_i (y_{n-i} - x_n), \quad (1)$$

где $y_n = x_n + \alpha_i (y_{n-1} - x_n)$, $y_{0i} = 0$, n — номер выборки сигнала, x_n — отсчеты корректируемых сигналов, Z_n — отсчеты сигналов после коррекции.

Коррекция ИХ — параметров ПБ (перекос импульса В2), КП (К-фактор), ТП (тянущиеся продолжения среза импульса В2) и размаха импульса «белого» — осуществляется с помощью технологической программы «Коррекция уровня, фронта на выходе генератора» и стенда (рис. 1) с использованием системы визуального программирования измерительных процессов и разработанных в этой среде специальных технологических программ на языке VEE [4].



Рис. 1. Структурная схема стенда для настройки генератора ВК-2

В генераторе ВК-2 формируется специальный ТВ ИС — сигнал I [5], позволяющий проводить его измерение с помощью прецизионного стробоскопического преобразователя (СП), например, положенного в основу автоматического измерителя качественных показателей ТВ тракта [6].

Более удобным является использование прецизионного СП с использованием мультиметра [2]. Этот СП имеет разрешение 16 бит при полосе 12 МГц и апертурном времени 2 нс. Управление мультиметром и передача измеренных данных в компьютер ВК-2 осуществляется по интерфейсу GPIB, для чего в компьютер видеоанализатора встраивается плата 82350A GPIB PCI card.

Определение оптимальных корректирующих коэффициентов проводится циклически путем их подбора непо-

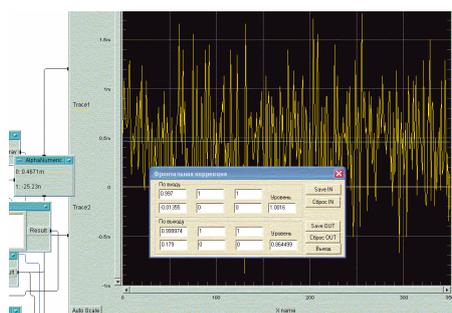


Рис. 2. Измерение параметра ПБ

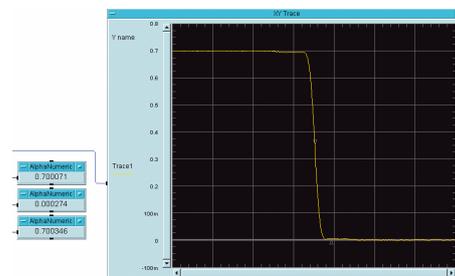


Рис. 3. Измерение параметра ТП

средственно в меню с последующей генерацией до достижения желаемого минимума.

Полученные корректирующие коэффициенты автоматически сохраняются.

На рисунках 2-4 даны фрагменты работы программы VEE при измерении параметров генератора ВК-2: ПБ, ТП и размаха импульса В2 (ИБ).

На экране виртуального осциллографа программы VEE (рис. 2) отображаются выборки импульса В2, искаженные флуктуационной помехой (осциллограмма желтого цвета), мгновенные значения которой изменяются в диапазоне от минус 0,8 до 2,0 мВ. Для определения ПБ используется линейная регрессия, линия регрессии отображается осциллограммой голубого цвета.

Значения параметров ПБ, ТП и ИБ генератора после коррекции:

- ПБ = $-0,00002523$ мВ ($3,571 \cdot 10^{-9}\%$),
- ТП = $0,274$ мВ ($3,914 \cdot 10^{-2}\%$),
- ИБ = $699,915$ мВ ($1,214 \cdot 10^{-2}\%$).

НАСТРОЙКА АЧХ ГЕНЕРАТОРА

Для настройки АЧХ эталонного генератора ВК-2 используется технологическая программа «Генерация и измерение синусоидальных сигналов», позволяющая формировать синусоидальные сигналы с заданной амплитудой и частотой.

На рис. 5 приведена структурная схема стенда для измерения и коррекции АЧХ генератора ВК-2.

В эталонном генераторе с помощью меню формируется синусоидальный сигнал частоты 0,32 МГц с амплитудой примерно 500 мВ, при которой получается близкое к максимальному напряжению на выходе термopреобразователя и, соответственно, реализуется высокая разрешающая способность мультиметра. Переменное напряжение с выхода генератора преобразуется в постоянное, измеряется мультиметром и фиксируется как опорное для регулятора АЧХ на всех остальных частотах.

Коррекция АЧХ эталонного генера-

тора осуществляется циклически путем подбора корректирующих коэффициентов непосредственно в меню программы с последующей генерацией сигнала заданной частоты до достижения желаемого значения выходного напряжения термопреобразователя.

КОРРЕКЦИЯ ОСТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА

Коррекция остальных параметров генератора осуществляется с помощью технологической программы «Коррекция элементов генератора» и стенда (рис. 1) с использованием системы VEE и разработанных специальных программ.

При обработке данных, полученных в результате СП элементов ТВ ИС, используются методы выделения яркостной и цветовой компонент ТВ ИС и их обработки, основанные на использовании ТВ ИС с многофазной радиоимпульсной (цветовой) компонентой [7] и наиболее удобные для обработки с помощью СП компьютера.

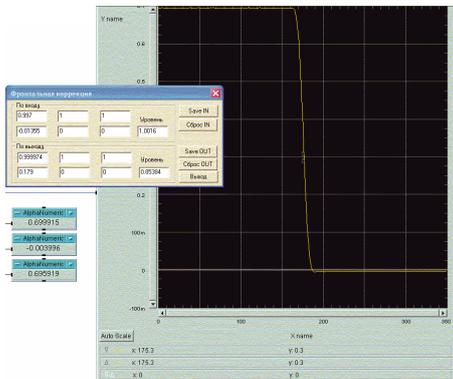


Рис. 4. Измерение параметра ИБ

При коррекции дифференциальной фазы (ДФ) и дифференциального усиления (ДУ) используется специальный ТВ ИС — сигнал III [5], формируемый в ТВ строке, все остальные ТВ строки содержат уровень «черного». Последовательно формируются ТВ ИС с четырьмя вариантами фаз цветовой поднесущей, смещенных на 90° [7]:

$$G_k(t) = A(t) + B(t) \sin \left[\omega t + k \frac{\pi}{2} \right], \quad (2)$$

где $A(t)$ — яркостная компонента ТВ ИС, $B(t)$ — огибающая компоненты цветности ТВ ИС, $k \in 0, 3$.

СП на основе мультиметра Agilent 3458A синхронизируется по фронту импульса В2 и производит измерение максимально 350 точек ТВ ИС (ограничение по объему памяти платы 82350A GPIB PCI card) на участках цветовой поднесущей для каждого варианта ТВ ИС.

При коррекции ДФ стробируются участки ТВ ИС, начала и концы которых расположены симметрично относи-



Рис. 5. Структурная схема стенда для измерения и коррекции АЧХ генератора ВК-2

тельно переходов яркостной компоненты пятиступенчатого сигнала D2, шаг стробирования 18 нс.

На рис. 6 приведен фрагмент четырех реализаций данных ТВ ИС, полученные при стробировании перехода от нулевой к первой ступеньке. Аналогично получают данные о цветовой поднесущей опорной фазы в сигнале IV (элемент E) [5].

Эти данные обрабатываются в соответствии с формулой (3) [7], которая может быть записана для дискретных выборок обрабатываемых сигналов, с учетом преобразования $\omega t \Rightarrow i\omega\Delta t$ (i — номер выборки, Δt — интервал дискретизации), в виде:

$$\varphi(i) = \begin{cases} \arctg \frac{U_{\sin}(i)}{U_{\cos}(i)} & \text{при } |U_{\sin}(i)| < |U_{\cos}(i)| \\ \text{arctgctg} \frac{U_{\cos}(i)}{U_{\sin}(i)} & \text{при } |U_{\sin}(i)| \geq |U_{\cos}(i)| \end{cases}, \quad (3)$$

где $U_{\cos}(i) = [G_3(i) - G_1(i)] = 2B(i) \cos(i\omega\Delta t)$, $U_{\sin}(i) = [G_0(i) - G_2(i)] = 2B(i) \sin(i\omega\Delta t)$, $G_k(i)$ — дискретные значения соотношений (2).

Усредненные значения огибающей разности фаз на нулевой ($\Delta\varphi_0$) и первой ($\Delta\varphi_1$) ступеньках ТВ ИС относительно опорной фазы, рассчитанные по формуле (3), соответственно составляют

$$\Delta\varphi_0 = \frac{1}{150} \sum_{i=1}^{149} \Delta\varphi_i = -0,267^\circ \text{ и}$$

$$\Delta\varphi_1 = \frac{1}{150} \sum_{i=200}^{349} \Delta\varphi_i = 0,067^\circ.$$

Результирующее значение измеренного параметра — дифференциальной фазы на первой ступеньке $\text{ДФ1} = -0,334^\circ$.

После измерения в генераторе с помощью технологической программы «Коррекция элементов генератора» осуществляется компенсация отклонения от нуля параметра ДФ1, и производится повторно генерация сигнала, его СП и измерение параметра ДФ1. Эти действия производятся до тех пор, пока параметр ДФ1 станет не более $0,05^\circ$.

Аналогично корректируются параметры ДФ2, ДФ3, ДФ4 и ДФ5.

При коррекции ДУ производится измерение размахов цветовой поднесущей на нулевом уровне сигнала яркости специального ТВ ИС - сигнал III [5] и на каждой из пяти его ступенек путем обработки выборок сигнала по формуле (4) [6]:

$$B(i) = \frac{1}{2} \sqrt{[U_{\cos}(i)]^2 + [U_{\sin}(i)]^2}. \quad (4)$$

На рис. 7 даны результаты измерений размахов цветовой поднесущей $B(i)$ на нулевом уровне сигнала яркости ТВ ИС и на первой ступеньке, отображаемые графиками соответственно красного и зеленого цвета. Отклонение усредненных значений $B(i)$ на первой ступеньке от усредненных значений $B(i)$ на нулевом уровне сигнала яркости является параметром ДУ1 генератора. Проводится многократное измерение с последующим усреднением результатов измерений для уменьшения влияния флуктуационной помехи.

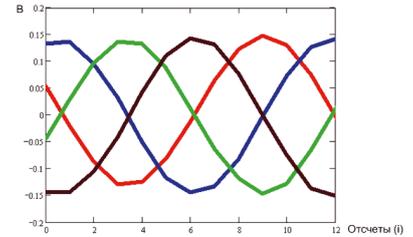


Рис. 6. Фрагмент данных, используемых при коррекции ДФ генератора

Коэффициенты коррекции по этим результатам подбираются так, чтобы размахи цветовой поднесущей на всех уровнях ТВ ИС стали равными размаху цветовой поднесущей на нулевом уровне сигнала яркости ТВ ИС. Эти действия производятся до тех пор, пока параметр ДУ1 станет не более $0,05\%$.

Аналогично корректируются параметры ДУ2, ДУ3, ДУ4 и ДУ5.

КОРРЕКЦИЯ АНАЛИЗАТОРА

Коррекция анализатора проводится с помощью настроенного генератора, ТВ ИС с выхода которого подается на измерительный вход анализатора.

Коррекция ГВЗ и АЧХ анализатора производится в автоматическом режиме с помощью технологической программы «Коррекция ГВЗ и АЧХ на входе анализатора», минимизирующей сначала ГВЗ с допуском $\delta_{\text{ГВЗ}} = \pm 1$ нс, а затем АЧХ с допуском $\delta_{\text{АЧХ}} = \pm 0,1\%$. Допустимые значения и глубина статистической обработки результатов измерения ГВЗ и АЧХ задаются при настройке.

При проведении коррекции ГВЗ проводится быстрое преобразование Фурье ТВ ИС и по действительной a и мнимой b частям спектра ТВ ИС определяются величины задержки $\tau_i = \varphi_i / \omega_i = 1 / \omega_i \arctg(a_i / b_i)$ высокочастотной составляющей ТВ ИС для всех частот f_i ТВ ИС и для частоты $1,5$ МГц $\tau_{1,5\text{МГц}}$, по которым строится характеристика ГВЗ, определяемая вектором $\tau_i - \tau_{1,5\text{МГц}}$, нс. После сравнения ГВЗ с заданным допуском $\delta_{\text{ГВЗ}}$ программа формирует таблицу корректирующих коэффициентов ГВЗ, приближающих фазы $\tau_i - \tau_{1,5\text{МГц}}$ к $\delta_{\text{ГВЗ}}$, и вновь проводит измерение ГВЗ, по полученным данным таблицу корректирующих коэффициентов ГВЗ изменяется так, чтобы минимизировать отклонение ГВЗ от $\delta_{\text{ГВЗ}}$. Выполнение условия $|\delta_{\text{ГВЗ}} - (\tau_i - \tau_{1,5\text{МГц}})| < 1$ нс останавливает работу программы. На рис. 8 приведена характеристика ГВЗ сквозной измерительной цепи прибора после коррекции ГВЗ.

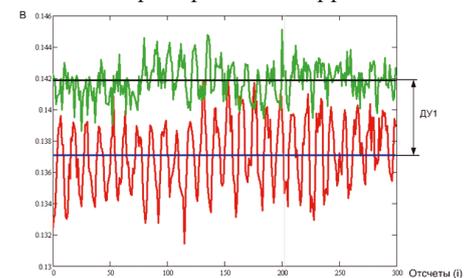


Рис. 7. Данные, полученные при измерении параметра ДУ1 генератора

При проведении коррекции АЧХ из ТВ ИС выделяется огибающая высокочастотной составляющей и измеряется ее размах A_i для всех частот f_i ТВ ИС и для частоты 1,5 МГц $A_{1,5\text{МГц}}$, по которым строится характеристика АЧХ, определяемая вектором

$$\frac{A_i - A_{1,5\text{МГц}}}{A_{1,5\text{МГц}}} \times 100, \%$$

После сравнения АЧХ с заданным допуском $\delta_{\text{АЧХ}}$ программа формирует таблицу корректирующих коэффициентов АЧХ, приближающих АЧХ к $\delta_{\text{АЧХ}}$, и вновь проводит измерение АЧХ, по полученным данным таблица корректирующих коэффициентов АЧХ изменяется так, чтобы минимизировать отклонение АЧХ от $\delta_{\text{АЧХ}}$. Выполнение условия

$$\left| \delta_{\text{АЧХ}} - \frac{A_i - A_{1,5\text{МГц}}}{A_{1,5\text{МГц}}} \times 100 \right| < 0,1\%$$

останавливает работу программы. На рис. 9 приведена характеристика АЧХ сквозной измерительной цепи эталонного прибора после коррекции АЧХ.

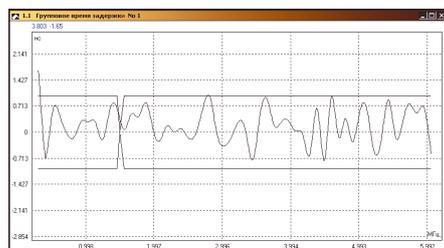


Рис. 8. ГВЗ сквозной измерительной цепи после коррекции

Коррекция ИХ анализатора и крутизны его амплитудной характеристики осуществляется с помощью технологической программы «Коррекция уровня, фронта на входе анализатора» и производится путем подбора соответствующих корректирующих коэффициентов до достижения параметров ИБ, ПБ и ТП не более $\pm 0,05\%$, и параметра КП — не более 0,3%.

Коррекция аппаратных и методических погрешностей анализатора осуществляется с помощью технологической программы «Коррекция измерительной системы».

Коррекция производится в автоматическом режиме. Допустимые значения и глубина статистической обработки результатов измерения параметров анализатора задаются при настройке. Допустимые значения при настройке анализатора устанавливаются на уровне $\pm 0,05$ соответствующих размерностей.

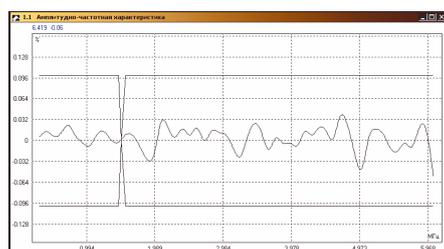


Рис. 9. АЧХ сквозной измерительной цепи после коррекции

Очевидно, что настройка приборов с использованием описанного метрологического обеспечения трудоемка. Поэтому при настройке серийного прибора используется технологический эталонный прибор.

Коррекция ГВЗ и АЧХ серийного генератора проводится с помощью анализатора технологического прибора, а коррекция серийного анализатора проводится с помощью генератора технологического прибора в автоматическом режиме. При коррекции используются технологические программы «Коррекция ГВЗ на выходе генератора», «Коррекция АЧХ на выходе генератора» и «Коррекция ГВЗ на входе анализатора», «Коррекция АЧХ на входе анализатора».

Коррекция импульсной характеристики серийного прибора и крутизны амплитудной характеристики осуществляется с помощью технологических программ «Коррекция уровня, фронта на выходе генератора» и «Коррекция уровня, фронта на входе анализатора», путем подбора соответствующих корректирующих коэффициентов до достижения параметров ИБ, ПБ и ТП не хуже $\pm 0,05\%$, и параметра КП — не хуже 0,2%.

Коррекция аппаратных и методических погрешностей серийного прибора осуществляется с помощью технологической программы «Коррекция измерительной системы» в автоматическом режиме при подаче на его вход сигнала с выхода технологического генератора прибора.

По результатам измерений генерируется протокол.

Графическая информация, содержащая трафарет 2Т-импульса и осциллограммы испытательных строк, которая может быть добавлена к протоколу, показана на рис. 10-14.

Таким образом, трудоемкость настройки серийного прибора значительно снижается и обеспечивается практическая идентичность метрологических характеристик, приближающихся к параметрам эталонного прибора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.П. Дворкович, А.В. Дворкович, Д.Г.Макаров, В.Т. Басий, С.Е. Шлеев. Видеоанализатор ВК-2 — прибор нового поколения измерений и контроля качественных показателей каналов передачи телевизионных сигналов. — «Контрольно-измерительные приборы и системы», 2006, № 5.
2. Agilent Technologies 3458A Multimeter. User's Guide. 8 March 2001.
3. New Product 1395B Thermal Voltage Converter. Материалы фирмы Ballantine Laboratories, Inc.
4. VEE Pro User's Guide. Руководство пользователя. Agilent Technologies.
5. ГОСТ 18471-83. Тракт передачи изображения вещательного телевидения. Звенья тракта и измерительные сигналы.
6. А.С. 604188 СССР, МКИ2 Н 04 N

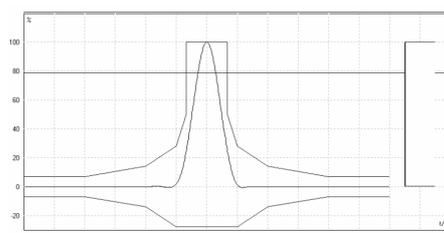


Рис. 10. Трафарет 2Т-импульса

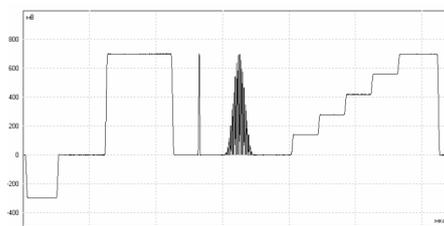


Рис. 11. Испытательная строка I

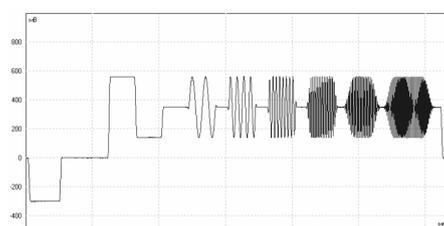


Рис. 12. Испытательная строка II

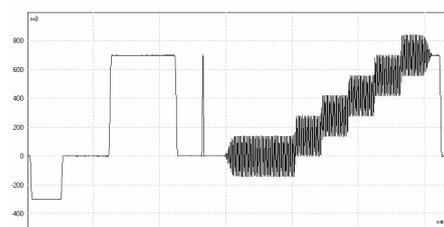


Рис. 13. Испытательная строка III

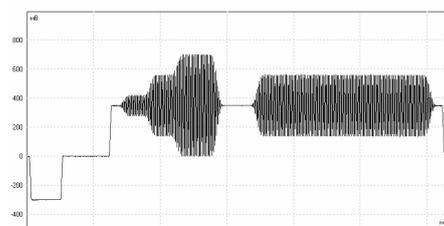


Рис. 14. Испытательная строка IV

7/02. Автоматический измеритель качественных показателей телевизионного тракта / М.И. Кривошеев, Ю.А. Медведев, В.П. Дворкович, В.Т. Басий, Р.Л. Марейн, А.Н. Галичановский, С.Г. Плаксюк. — Приоритет 04.08.75. — Оpubл. 25.04.78, Бюл. N 15.

7. В.Т. Басий, Л.Б. Березовская, О.В. Гофайзен. Измерительные сигналы с многофазной радиоимпульсной компонентой для телевизионной метрологии. — «Техника кино и телевидения», 1994, №11, с. 58-63. □

Metrological software of video analyzer BK-2 is described in this article. The procedures and techniques of device adjustment and parameters correction are represented.