

~~~~~

# **В О П Р О С Ы РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

~~~~~

Серия

**ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ (ТТ)**

Отдельный оттиск

УДК 621.397.001.57

*Доктор техн. наук Л. Н. Щелованов и инженер Е. М. Доронин*

### О ВОЗМОЖНОСТЯХ СМЕШАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ

Описаны метод смешанного моделирования, сочетающий физическое и машинное моделирование, и этапы реализации моделирования этого вида. Рассмотрен случай применения смешанного моделирования для анализа апертурных искажений анализирующего устройства фототелевизионной системы и переходных искажений усилительного тракта.

Методы машинного моделирования весьма перспективны для исследования и проектирования электронных систем [1—3].

В общем случае процесс машинного моделирования включает в себя моделирование как входных сигналов, так и самой системы. Возможны случаи, когда входной сигнал и некоторые звенья системы нецеле-



Рис. 1. Структурная схема, поясняющая принцип смешанного моделирования

сообразно моделировать машинным способом из-за сложности описания физических процессов, происходящих в датчиках сигнала. Тогда можно поступить иначе — входной сигнал и часть звеньев системы моделировать не машинным методом, а физически, используя входные воздействия, вырабатываемые соответствующей аппаратурой. Остальная часть системы при этом моделируется машинным способом. Такой метод сочетает физическое и машинное моделирование и поэтому может быть назван смешанным моделированием.

Смешанное моделирование предусматривает наличие дополнительных устройств, служащих для сопряжения физических моделей с математическими, т. е. аппаратуры, образующей сигнал, с ЦВМ, создающей математические модели (рис. 1).

Таковыми дополнительными сопрягающими устройствами являются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП) и устройство для согласования АЦП и ЦАП с ЦВМ.

Основные этапы реализации смешанного моделирования:

- выбор метода машинного (цифрового) моделирования,
- согласование характеристик входного сигнала с характеристиками АЦП и ЦВМ в соответствии с выбранным методом машинного моделирования.

Метод машинного моделирования должен обеспечить получение машинных (цифровых) моделей отдельных звеньев системы, подобных физическим моделям и способных «принимать сигнал» произвольного вида. Кроме того, необходимо, чтобы машинные модели отражали структурные и другие особенности моделируемых физических звеньев (наличие нелинейных элементов, изменение параметров звена в процессе его работы и др.). Также желательно, чтобы метод обладал свойством универсальности, т. е. алгоритмы, описывающие отдельные звенья, независимо от их типа и структуры должны быть одинаковы. Такая универсальность облегчает программирование и создает возможность получения машинных моделей сложных многозвенных систем.

Перечисленным требованиям отвечает алгоритмический (машинный) метод моделирования, основанный на применении рекуррентных соотношений [2, 3].

При моделировании анализирующих устройств аппаратуры электрической передачи изображений (телевизионной, фототелевизионной, фототелеграфной) возникают большие трудности. Поэтому целесообразно осуществить физическое моделирование датчика видеосигнала, а звенья усилительного тракта моделировать машинным методом.

Пусть усилительный тракт представляет собой многокаскадный видеоусилитель, состоящий из четырех однотипных каскадов с простой схемой коррекции. Требуется определить форму сигнала на выходе усилительного тракта.

Общий вид рекуррентного соотношения, являющегося математической моделью линейного звена, имеет вид [3]:

$$y[nT] = \frac{1}{B_l} \left\{ \sum_{v=0}^l A_{l-v} x[nT - vT] - \sum_{v=1}^l B_{l-v} y[nT - vT] \right\},$$

где  $A_{l-v}$  и  $B_{l-v}$  — коэффициенты, зависящие от структуры звена,  
 $x[nT - vT]$  — значение входного сигнала произвольного вида в данный и предыдущие моменты времени ( $T$  — период дискретизации),

$y[nT - vT]$  — значения выходного сигнала в предыдущие моменты времени.

Коэффициенты рекуррентного соотношения определяются путем перемножения матрицы перехода  $S_k$  от обычного преобразования Лапласа к  $z$ -преобразованию на матрицу-столбец  $A_k^0$ , составленную из коэффициентов передаточной функции моделируемого звена [3]:

$$A_k = S_k A_k^0 = \begin{bmatrix} S_{00} & S_{01} & \dots & S_{0k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{l0} & S_{l1} & \dots & S_{lk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{k0} & S_{k1} & \dots & S_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{T}{2}\right)^k a_0 \\ \dots \\ \left(\frac{T}{2}\right)^{k-i} a_i \\ \dots \\ a_k \end{bmatrix}.$$

Так, коэффициент  $A_i$  равен произведению  $i$ -й строки матрицы  $S_k$  на матрицу-столбец  $A_k^0$ :

$$A_i = \left(\frac{T}{2}\right)^k s_{i0} a_0 + \left(\frac{T}{2}\right)^{k-1} s_{i1} a_1 + \dots + \frac{T}{2} s_{i, k-1} a_{k-1} + s_{ik} a_k. \quad (1)$$

Такой же вид имеют коэффициенты  $B_i$ , но вместо  $a_k$  (коэффициентов числителя передаточной функции) они содержат  $b_k$  (коэффициенты знаменателя передаточной функции).

Для каскада видеоусилителя с простой схемой коррекции (рис. 2) рекуррентное соотношение соответственно имеет вид:

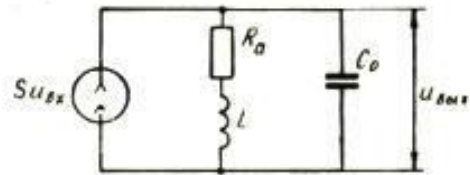


Рис. 2. Схема замещения видеоусилителя с простой схемой коррекции

$$u_{\text{вых}} [nT] = \frac{1}{B_2} \left\{ \sum_{\nu=0}^2 A_{2-\nu} u_{\text{вх}} [nT - \nu T] - \sum_{\nu=1}^2 B_{2-\nu} u_{\text{вых}} [nT - \nu T] \right\},$$

где коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$  можно определить в результате перемножения матриц  $S_2$  и  $A_2^0$ :

$$A_2 = S_2 A_2^0 = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & -1 & 1 \\ \frac{10}{3} & 0 & -2 \\ \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{T}{2}\right)^2 a_0 \\ \frac{T}{2} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$ , найденные из передаточной функции каскада видеоусилителя:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1; & a_1 &= R_a C_0 K; & a_2 &= 0; \\ b_0 &= 1; & b_1 &= R_a C_0; & b_2 &= R_a^2 C_0^2 K, \end{aligned}$$

где  $R_a$  — анодная нагрузка,  
 $C_0$  — суммарная паразитная емкость,

$K = \frac{L}{R_a^2 C_0}$  — коэффициент коррекции, причем  $L$  — корректирующая индуктивность.

Используя соотношения (1) и (2), находим:

$$\begin{aligned} A_0 &= 1 - 6K\eta; & A_1 &= 10; & A_2 &= 1 + 6K\eta; \\ B_0 &= 1 - 6\eta + 12K\eta^2; & B_1 &= 10 - 24K\eta^2; & B_2 &= 1 + 6\eta + 12K\eta^2, \end{aligned}$$

где  $\eta = \frac{R_a C_0}{T}$ .

Рассмотрим характерные для смешанного моделирования специфические моменты, связанные с согласованием характеристик входного сигнала с характеристиками АЦП и ЦВМ в соответствии с выбранным методом машинного моделирования. Согласование следует произвести таким образом, чтобы не исказить реальные процессы, происходящие в подобной системе, из-за неправильного выбора характеристик преобразования (частоты дискретизации, числа уровней квантования) в блоках как физического, так и машинного моделирования.

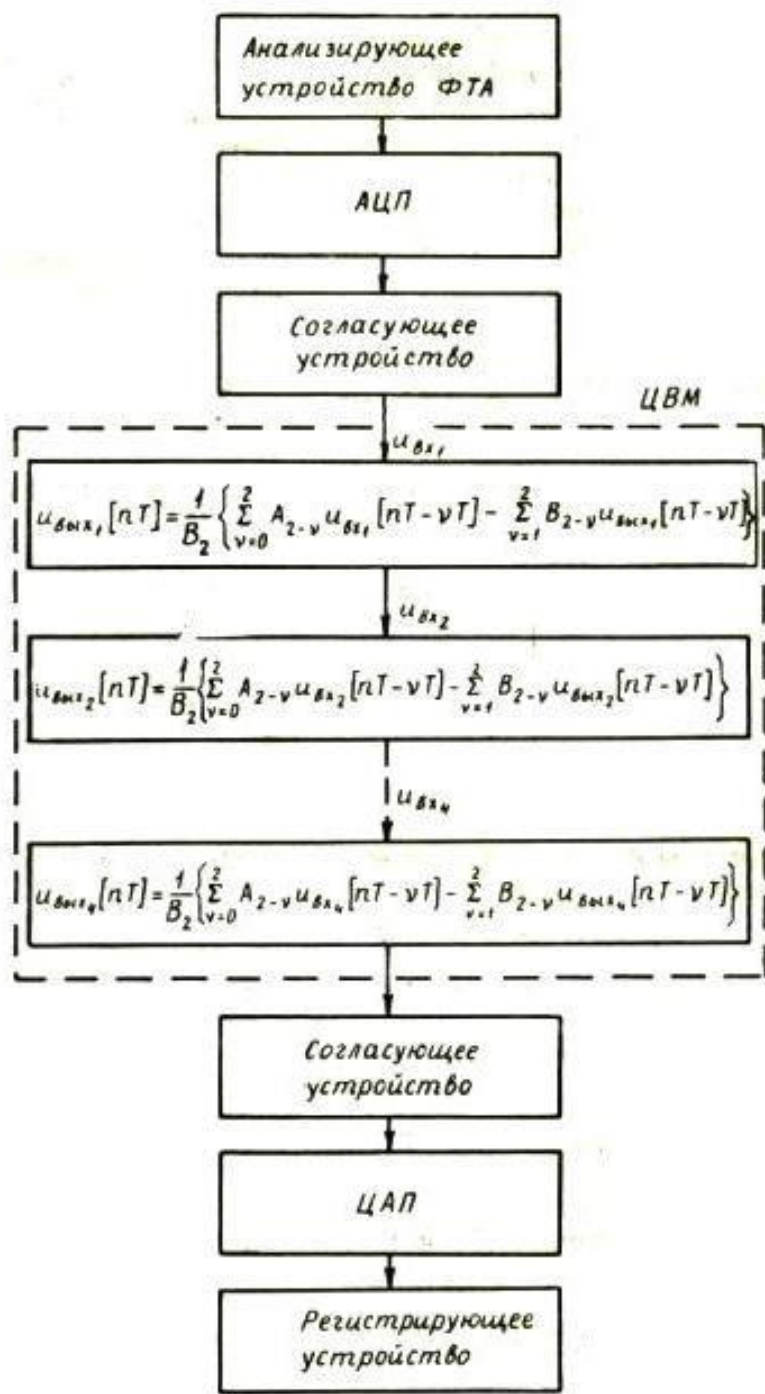


Рис. 3. Структурная схема смешанного моделирования исследуемой системы

При анализе изображения, содержащего мелкие детали, вносятся апертурные искажения, которые можно оценивать апертурно-временной характеристикой анализирующего устройства, получаемой при анализе черно-белой границы. Частоту дискретизации АЦП следует выбирать из условия, чтобы на фронт апертурно-временной характеристики приходилось достаточное число периодов дискретизации (10—50).

Как известно [4], длительность фронта апертурно-временной характеристики равна размеру апертюры  $\tau_a$  (в масштабе времени). Поэтому период дискретизации можно найти по формуле:

$$T = \frac{\tau_a}{10 \div 50}.$$

Период дискретизации  $T$ , входящий в рекуррентные соотношения, должен быть таким же, как и период дискретизации АЦП и ЦАП.

В рассматриваемом примере видеосигнал создается анализирующим устройством фототелеграфного аппарата (ФТА), а звенья усилительного тракта относятся к фототелевизионной системе. Поэтому для правильного согласования (выбора периода дискретизации  $T$ ) следует брать  $\tau_a$ , исходя из соотношения  $\tau_a = T_{\text{стр}} / z$ , где  $T_{\text{стр}}$  — длительность строки, а  $z$  — количество элементов разложения в строке фототелевизионной системы.

В соответствии со структурной схемой исследуемой системы (рис. 3) было осуществлено моделирование для случаев, когда анализировалось поле яркости вида:

- черно-белой границы,
- последовательности штрихов разных размеров.

В качестве датчика видеосигнала использовалось анализирующее устройство фототелеграфного аппарата «Нева», а в качестве регистрирующих устройств — осциллограф ЭНО-1 и алфавитно-цифровое печатающее устройство. В первом случае результат фиксировался в виде временной диаграммы, а во втором — в виде таблицы. Смешанное моделирование было реализовано в машинном масштабе времени. Результаты моделирования представлены на рис. 4 и 5.

Для оценки влияния цифровых моделей, составленных по структурной схеме рис. 3, на соответствующих рисунках приведены формы сигналов: на выходе анализирующего устройства ( $u_{\text{вх}1}$ ), на выходе второго ( $u_{\text{вых}2}$ ) и четвертого звеньев ( $u_{\text{вых}4}$ ). При анализе штриховых групп (три штриха в группе) размеры штрихов  $\delta_1$  и промежутки между ними  $\delta_2$  были равны.

При вводе сигнала в ЦВМ аналого-цифровой преобразователь настраивался таким образом, что при переходе апертюры анализирующего устройства с белого поля на черное число уровней квантования  $N$  изменялось приблизительно от 0,1 до 0,9 максимального числа уровней квантования преобразователя  $N_{\text{макс}}$ , равного  $2^l$ , где  $l$  — количество разрядов преобразователя ( $l=7$ ).

На рис. 4 и 5 по оси абсцисс отложены номера отсчетов  $n = t/T$ , где  $t$  — текущее время.

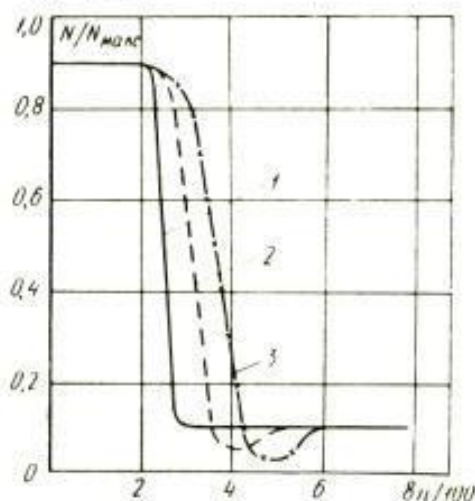


Рис. 4. Формы выходных сигналов при анализе черно-белой границы  
1)  $u_{\text{вх}1}$ , 2)  $u_{\text{вых}2}$ , 3)  $u_{\text{вых}4}$

Расчет производился при следующих значениях параметров элементов, входящих в отдельные звенья:  $K=0,525$ ;  $\eta=50$ .

Результаты машинного и физического моделирования отражают процессы, происходящие при анализе штриховых групп и прохождении сигналов от мелких деталей по электрическому тракту фототелевизионной аппаратуры, причем имеется возможность количественно оценить величину вносимых искажений на выходе как отдельных звеньев, так и

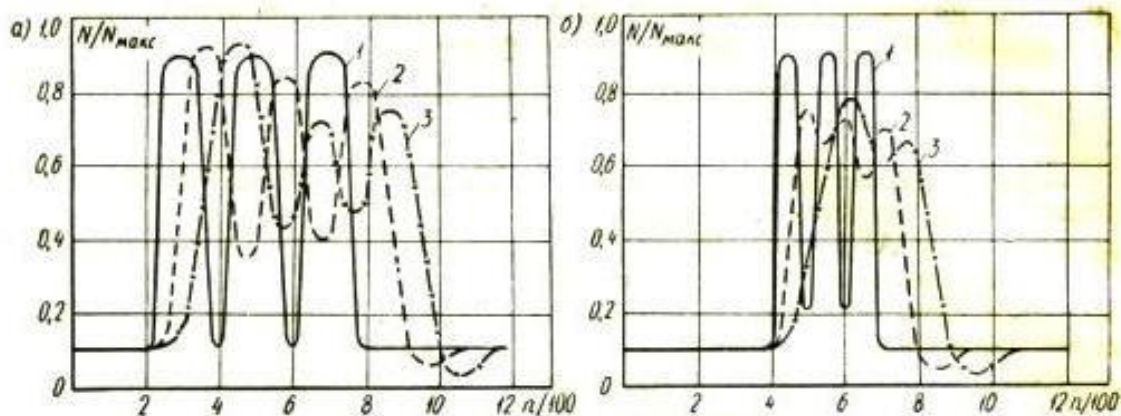


Рис. 5. Формы выходных сигналов при анализе штриховых групп с  $\delta_1 = \delta_2 = 0,56$  мм (а) и с  $\delta_1 = \delta_2 = 0,36$  мм (б)

1)  $u_{vx1}$ , 2)  $u_{vyx2}$ , 3)  $u_{vyx4}$

системы в целом. Так, при заданных параметрах каскадов видеоусилителей и величине штрихов 0,36 мм (рис. 5 б) провал в сигнале, соответствующий промежутку между первым и вторым штрихами, на выходе 2-го звена уменьшился в 7 раз, а на выходе 4-го звена полностью исчез.

В заключение можно сделать вывод о целесообразности использования метода смешанного моделирования для исследования временных характеристик фототелевизионных систем, когда необходимо учитывать реальные искажения, вносимые анализирующим устройством при передаче мелких деталей. Данный метод расширяет возможности чисто машинного метода моделирования и имеет преимущества перед физическим моделированием, так как сложные электронные устройства в этом случае заменяются математическими моделями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М., «Сов. радио», 1971.
2. Щелованов Л. Н. и Доронин Е. М. Алгоритмический метод расчета процессов в разомкнутых и замкнутых системах передачи изображений при произвольном воздействии. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. «Техника телевидения», 1970, вып. 3, стр. 3.
3. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. Алгоритмический метод анализа и синтеза видеоусилителей. «Изв. ВУЗов СССР. Радиоэлектроника», 1971, вып. 3, стр. 243.
4. Рыфтин Я. А. Телевизионная система. М., «Сов. радио», 1967.

Статья поступила 29 марта 1974 г.