

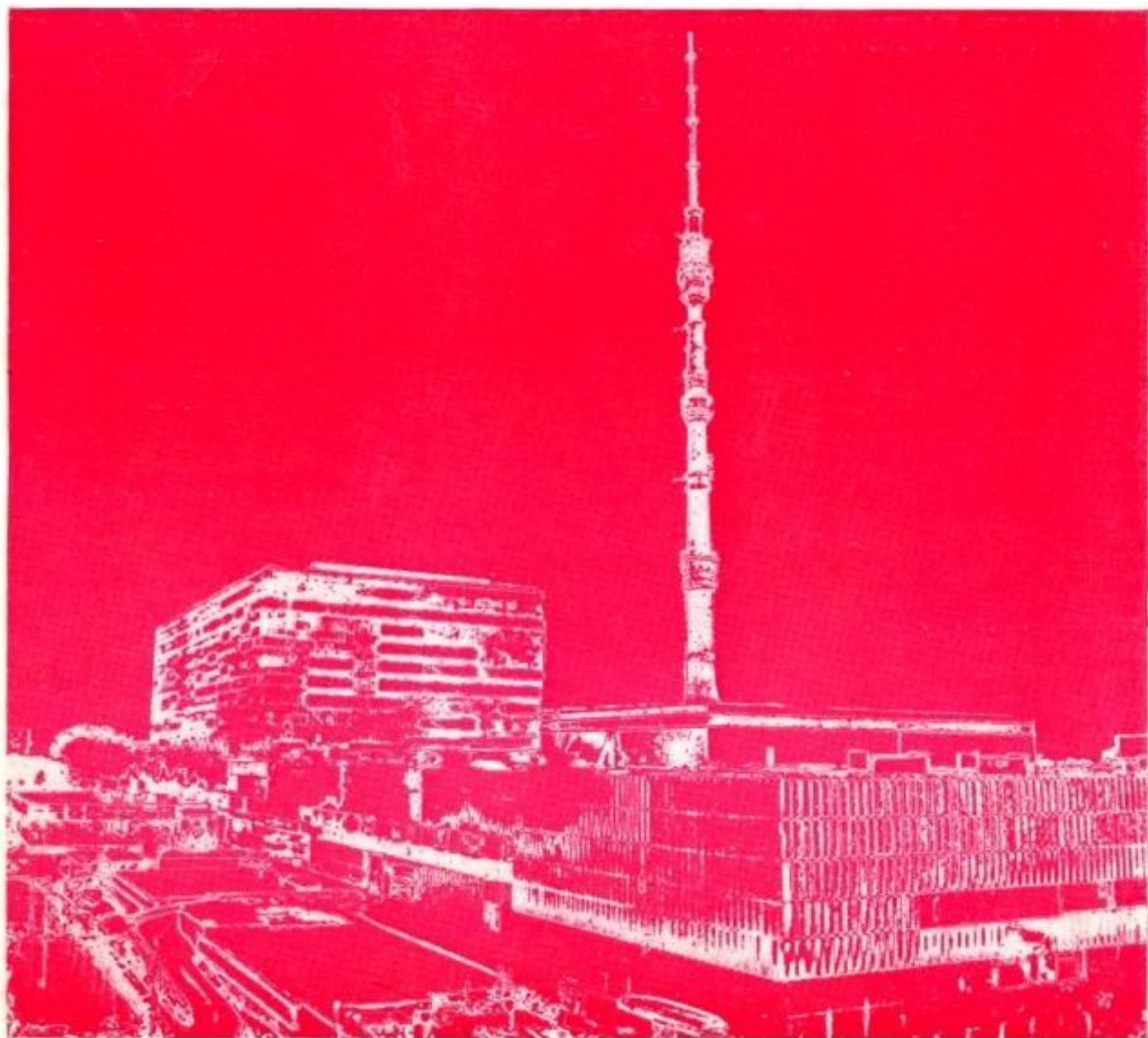
Электросвязь

2 1981

«ПРОДОЛЖИТЬ ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕТИ СВЯЗИ СТРАНЫ НА БАЗЕ НОВЕЙШИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, РАЗВИВАТЬ ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ И СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ. ШИРЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОПРОГРАММНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ, ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ С УДАЛЕННЫМИ РАЙОНАМИ, ПЕРЕДАЧИ ПОЛОС ЦЕНТРАЛЬНЫХ ГАЗЕТ ФОТОТЕЛЕГРАФНЫМ СПОСОБОМ».

Из проекта ЦК КПСС «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года»

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ
ПО ПРОВОДНОЙ И РАДИОСВЯЗИ,
ТЕЛЕВИДЕНИЮ, РАДИОВЕЩАНИЮ



Е. М. Доронин

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ В ФАКСИМИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Общие сведения. Системы факсимильной связи, предназначенные для передачи полутоновых изображений, содержат корректоры, которые должны обеспечивать требуемую контрастную чувствительность системы в заданном диапазоне яркостей, а также улучшение воспроизведения градаций яркости при наличии шумов [1]. Амплитудная характеристика корректора рассчитывается с учетом нелинейностей конечных звеньев (анализирующего и синтезирующего устройств) и, как правило, имеет нелинейный вид. Полутоновый корректор может быть выполнен как на аналоговых (АК), так и на цифровых (ЦФК) элементах. В первом случае полутоновый корректор следует рассматривать как нелинейное инерционное звено, во втором — как нелинейное безынерционное звено.

Обеспечивая требуемую передачу полутонов (воспроизведение крупных деталей), нелинейная амплитудная характеристика корректора приводит к нелинейным искажениям мелких деталей, что может вызвать ухудшение распознавания объектов на репродукции.

Методика исследования. Для анализа влияния нелинейностей факсимильной аппаратуры на воспроизведение мелких деталей можно применить аппаратно-машинное моделирование, которое сочетает физическое и машинное (цифровое) моделирование [2]. В качестве физических моделей следует использовать элементы факсимильной системы, например фотоэлектрические преобразователи анализирующего устройства и устройство записи изображений. Математическое моделирование таких элементов приводит к неоправданно большим затратам машинного времени из-за сложности процессов, протекающих в элементах.

При моделировании вырабатываемый датчиком видеосигнал вводится в ЭВМ и в цифровой форме поступает на математические модели линейных и нелинейных звеньев факсимильной аппаратуры.

Математическое описание АК и ЦФК. Для математического описания звеньев может быть рекомендован алгоритм моделирования, основанный на применении рекуррентных соотношений [3, 4]. В случае использования этого метода для расчета процессов в нелинейном звене (полутоновый АК) характеристика нелинейного элемента аппроксимируется кусочно-ломаной линией и для каждого участка в электронной схеме замещения корректора решается задача с ненулевыми начальными условиями.

Составив систему дифференциальных уравнений в операторном виде и решив ее относительно напряжения на выходе $u_{\text{вых}}(p)$, а затем перейдя к z -преобразованию, получим

$$u_{\text{вых}}(p) \approx \frac{A_l + A_{l-1}z^{-1} + \dots + A_0z^{-l}}{B_l + B_{l-1}z^{-1} + \dots + B_0z^{-l}} \times \\ \times u_{\text{вх}}(p) + \dots + \\ + \frac{A_{l,n} + A_{l-1,n}z^{-1} + \dots + A_{0n}z^{-l}}{B_l + B_{l-1}z^{-1} + \dots + B_0z^{-l}} \times \\ \times e_n(p).$$

По изображению $u_{\text{вых}}(p)$ можно легко найти оригинал в виде рекуррентного соотношения

$$u_{\text{вых}}[nT] = \frac{1}{B_l} \left\{ \sum_{v=1}^l (A_{l-v,0} u_{\text{вх}}[nT - vT] + A_{l-v,1} e_1[nT - vT] + \dots + A_{l-v,k} e_k[nT - vT] + \dots + A_{l-v,n} e_n[nT - vT]) - \sum_{v=1}^l B_{l-v} u_{\text{вых}}[nT - vT] \right\}, \quad (1)$$

где $u_{\text{вых}}[nT]$ — сигнал на выходе звена; $u_{\text{вх}}[nT]$ — входное воздействие сигнала; $A_{l-v,k}$; B_{l-v} — коэффициенты, зависящие от

структуры звена; $e_1[nT], \dots, e_k[nT], \dots, e_n[nT]$ — ненулевые начальные условия на реактивных элементах инерционного нелинейного звена и дополнительные ЭДС e_d , возникающие при переходе с одного участка вольт-амперной характеристики нелинейного элемента на другой (на рис. 1 смена ненулевых начальных условий, параметров корректора и e_d показана пунктирной линией) [4].

Выражение (1) позволяет определить напряжение на выходе полутонового АК $u_{\text{вых}}[nT]$ по предыдущим значениям выходного напряжения $u_{\text{вых}}[nT - vT]$, значениям входного напряжения $u_{\text{вх}}[nT - vT]$, напряжения на реактивных элементах и дополни-

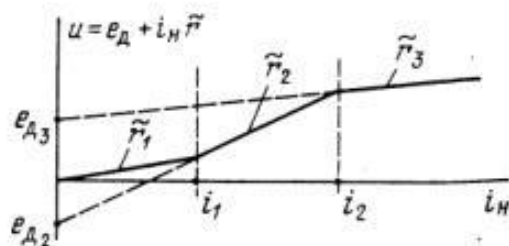


Рис. 1

тельных ЭДС e_d [$nT - vT$] в данный и предыдущие моменты времени.

Если нелинейное звено безынерционное (полутонный ЦФК), то алгоритм, описывающий процесс в нелинейном звене, будет полностью определяться нелинейной амплитудной характеристикой корректора $u_{\text{вых}} = f(u_{\text{вх}})$. Программа для моделирования ЦФК на ЭВМ составляется в соответствии с алгоритмом функционирования корректора, выполненного на цифровых микросхемах. Например, при кусочно-линейной аппроксимации амплитудной характеристики корректора в памяти ЭВМ достаточно иметь двумерный массив, содержащий координаты узлов аппроксимации. Тогда для заданного входного воздействия в данный момент времени по формуле линейной интерполяции можно найти

$$u_{\text{вых}} [nT] = \frac{u_{\text{вых } i+1} - u_{\text{вых } i}}{u_{\text{вх } i+1} - u_{\text{вх } i}} (u_{\text{вх}} [nT] - u_{\text{вх } i}) + u_{\text{вых } i},$$

где $u_{\text{вх } i}$, $u_{\text{вх } i+1}$, $u_{\text{вых } i}$, $u_{\text{вых } i+1}$ —

координаты узлов аппроксимации i -го линейного участка характеристики, в пределах которого находится входной сигнал.

Результаты расчета процесса в нелинейном видеотракте поступают из ЭВМ на синтезирующее устройство, что позволяет оценить воспроизведение мелких деталей по факсимильной копии непосредственно в яркостной форме.

Пример составления математической модели АК. Рассмотрим рекуррентное соотношение для анализа переходных процессов в нелинейном инерционном звене (рис. 2). Уравнение нелинейной вольт-амперной характеристики при кусочно-линейной аппроксимации на отдельном участке (см. рис. 1) имеет вид $u = e_d + i_n r$, где r и e_d скачкообразно изменяются при переходе на соседний участок. Составим операторное уравнение для приведенной схемы:

$$U_{\text{вых}}(p) = \left[S U_{\text{вх}}(p) + e_d(p) \frac{1}{R_n} \right] \times \frac{R_n p^{-1}}{p^{-1} + R_n C} + e(p) \frac{R_n C}{p^{-1} + R_n C}. \quad (2)$$

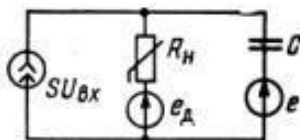


Рис. 2

Переходя от L -преобразования к z -преобразованию путем подстановки

$$p^{-1} = \frac{T}{2} \times \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad \text{в (2), получим}$$

$$\frac{T}{2} [U_{\text{вых}}(p) - e_d(p) - S R_n U_{\text{вх}}(p) + U_{\text{вых}}(p) z^{-1} - e_d(p) z^{-1} - S R_n U_{\text{вх}}(p) z^{-1}] = R_n C [e(p) - U_{\text{вых}}(p)] (1 - z^{-1}). \quad (3)$$

Рекуррентное соотношение для (3) будет иметь вид

$$u_{\text{вых}} [nT] = \frac{1}{B_1} \left\{ \sum_{v=0}^1 (A_{1-v, 0} u_{\text{вх}} [nT - vT] + A_{1-v, 1} e [nT - vT] + A_{1-v, 2} e_d [nT - vT]) - B_0 u_{\text{вых}} [nT - vT] \right\}, \quad (4)$$

$$\text{где } A_{0, 0} = A_{1, 0} = \frac{T}{2} R_n S;$$

$$A_{0, 1} = -R_n C; \quad A_{1, 1} = R_n C;$$

$$A_{0, 2} = A_{1, 2} = \frac{T}{2}; \quad B_0 = \frac{T}{2} - R_n C;$$

$$B_1 = \frac{T}{2} + R_n C.$$

Выражение (4) является математической моделью полутонного АК. Так как входной сигнал $u_{\text{вх}}[nT]$ может быть произвольного вида, данная математическая модель легко сопрягается как с физическими моделями, так и с математическими моделями исследуемой системы. При использовании рекуррентного соотношения (4) для каждого дискретного значения времени сравнивается напряжение на нелинейном сопротивлении с величиной напряжения по вольт-амперной характеристике. При переходе на соседний аппроксимированный участок вольт-амперной характеристики производится смена коэффициентов рекуррентного соотношения, зависящих от R_n , ненулевых начальных условий и ЭДС e_d , обусловленной изменением направления характеристики.

В соответствии с (4) была составлена программа расчета на ЭВМ процессов в полутонном корректоре. Программа включает в себя выполнение следующих этапов. Сначала по заданной амплитудной характеристике корректора рассчитывается вольт-амперная характеристика нелинейного элемента, затем осуществляется моделирование процессов, происходящих в корректоре. При этом с помощью полученной вольт-амперной характеристики определяются значения сопротивления нелинейной нагрузки, которые необходимы для дальнейшего расчета коэффициентов рекуррентного соотношения (4) каждого из аппроксимирующих участков характеристики.

Аппаратурный комплекс для моделирования был реализован на базе ЭВМ «Минск-32». В качестве физических моделей датчика и приемника видеосигнала исполь-

зовались анализирующее устройство и устройство фотозаписи передающего и приемного аппаратов «Нева» соответственно. Ввод видеoinформации в ЭВМ производился с помощью устройства ввода с перфоленты, вывод — через устройство вывода на перфоленту. Для аналого-цифрового преобразования был установлен преобразователь типа Ф4222, синхронный и синфазный ввод (вывод) видеосигнала с фототелеграфного аппарата обеспечивался блоком сопряжения по командам из ЭВМ.

Согласование характеристик входного сигнала с характеристиками АЦП и ЭВМ в соответствии с выбранным методом машинного моделирования следует осуществлять таким образом, чтобы не исказить реальных процессов, происходящих в подобной системе, из-за неправильного выбора характеристик преобразования (частоты дискретизации, числа уровней квантования) в блоках как физического, так и машинного моделирования.

При исследовании изображения, содержащего мелкие детали, вносятся апертурные искажения, которые можно оценивать апертурно-временной характеристикой анализирующего устройства, получаемой при анализе черно-белой границы. Частоту дискретизации АЦП целесообразно выбирать из условия, чтобы приходилось достаточное число периодов дискретизации (10—50) на апертурно-временную характеристику. Так как длительность последней равна размеру апертур τ (в масштабе времени), период дискретизации T , входящий в рекуррентное соотношение (4), и период дискретизации АЦП и ЦАП определяются [2] как $T = \tau / (10 \div 50)$.

В рассматриваемом комплексе видеосигнал создается анализирующим устройством фототелеграфного аппарата (ФТА), а математическая модель корректора (4) может относиться к различным факсимильным системам. Поэтому для правильного согласования (выбора периода дискретизации T) величина τ должна уточняться из соотношения $\tau = T_{стр} / z$, где $T_{стр}$ — длительность строки, а z — количество элементов разложения в строке факсимильной системы.

Число уровней квантования видеосигнала при его обработке выбирается таким образом, чтобы избежать потерь градационной информации в результате дискретизации [1]. В рассматриваемом комплексе максимальное число уровней квантования равно $N = 2^i$, где i — количество разрядов аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей ($i = 7$).

Результаты моделирования. Для исследований была изготовлена специальная штриховая мира, содержащая группы тройных штрихов разных размеров от $d = 0,56$ мм до $d = 0,12$ мм с шагом $\Delta d = 0,04$ мм (рис. 3).

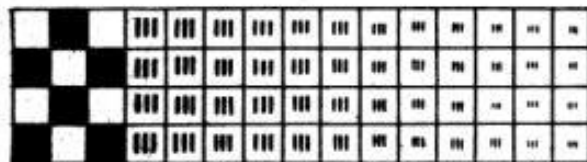


Рис. 3

Размеры штрихов и промежутки между ними равны. На мире также имеются крупные детали (прямоугольники), оптическая плотность которых равна оптической плотности штрихов. Было исследовано прохождение штриховых групп через модель АК (см. рис. 2) с числовыми параметрами $S = 10$ мА/В; $C = 50$ пФ и цифровой корректор, включенные в тракт высокоскоростной факсимильной системы ($T_{стр} = 20$ мс, $z = 4000$). Амплитудная характеристика имела вид показательной функции $u_{вых} = u_{вх}^\gamma$, величина γ менялась от 0,1 до 10 (рис. 4).

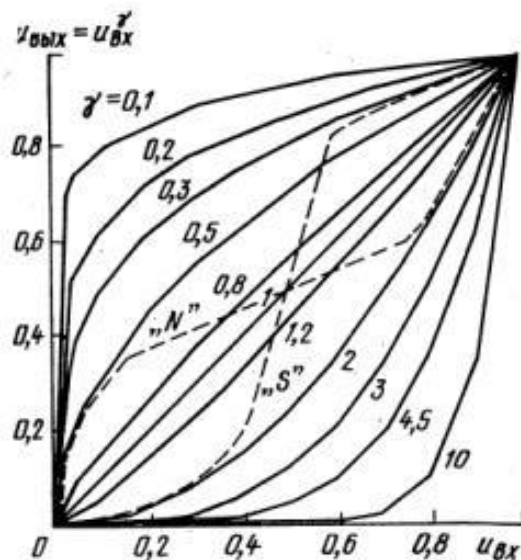


Рис. 4

Моделирование было реализовано в машинном масштабе времени. Для его сокращения через математическую модель нелинейного звена «пропускалась» одна строка штрихового изображения. Последнее при выводе из ЭВМ на ФТА синтезировалось путем повторения промоделированной строки соответствующее число раз по специальной программе.

На рис. 5 приведены временные диаграммы для сигнала, поступающего с выхода анализирующего устройства ФТА на вход математической модели полустрокового корректора при передаче группы штрихов ($u_{вх}$), и сигналов на выходе АК для γ , равных 0,3; 1 и 3. Из приведенных графиков видно, что вид нелинейности амплитудной характеристики корректора сильно влияет на форму выходного сигнала. Например, для $\gamma < 1$ уменьшается величина «провала» (контрастности) между импульсами ΔU и увеличивается длительность сигнала при передаче штриха $t_{шт}$. Для $\gamma > 1$ величина ΔU максимальна, однако уменьшается максимальное значение сигнала U_m и уменьшается $t_{шт}$. Следует отметить, что для ЦФК величины ΔU и U_m не зависят от γ , изменяется только асимметричность сигналов при передаче штрихов и промежутков (отношение $t_{шт}/t_{пр}$).

На рис. 6 представлены графики, показывающие, как изменяются относительная величина «провала» $\Delta U / U_m$, отношение $t_{шт}/t_{пр}$ и относительная длительность фронта сигнала $t_{ф}/t_{ф \gamma=1}$ при анализе черно-белой границы (крупная деталь) в зависимости от

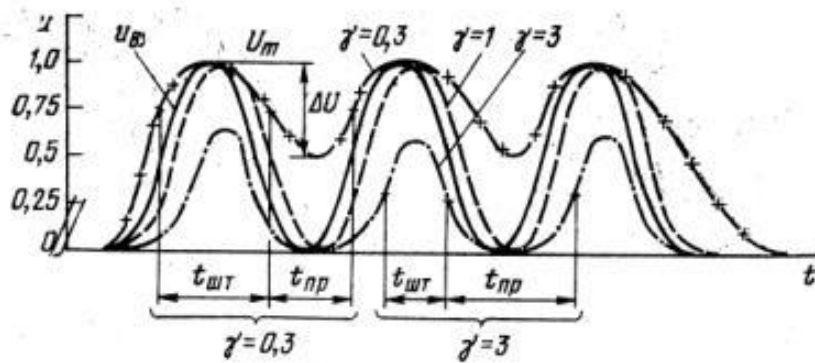


Рис. 5

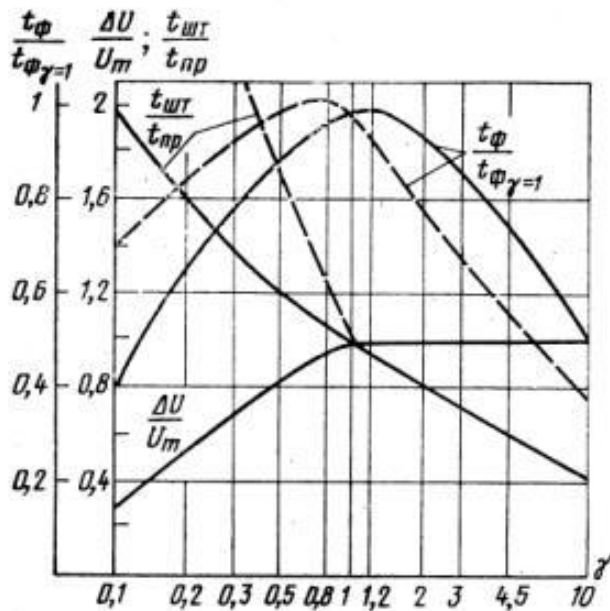


Рис. 6

формы амплитудной характеристики корректора. Из сравнения результатов моделирования следует, что отношения $t_{шт}/t_{пр}$ и $t_{ф}/t_{ф\gamma=1}$ для АК (сплошные линии) и ЦФК (пунктирные линии) отличаются. Например, асимметричность сигналов при передаче штрихов и промежутков для $\gamma < 1$ у АК вследствие переходных процессов меньше, чем у ЦФК.

Для N- и S-образных амплитудных характеристик (см. рис. 4) результаты моделирования соответственно равны:

$$\frac{t_{фN}}{t_{ф\gamma=1}} = 1,1; \quad \frac{t_{фS}}{t_{ф\gamma=1}} = 0,5 \text{ для АК};$$

$$\frac{t_{фN}}{t_{ф\gamma=1}} = 1,4; \quad \frac{t_{фS}}{t_{ф\gamma=1}} = 0,48 \text{ для ЦФК}.$$

Выводы: 1. Полутоновый корректор оказывает большое влияние на изменение величины контрастности между штрихами и формы сигнала при передаче и воспроизведении мелких деталей (штрихов).

2. При амплитудной характеристике корректора, аппроксимированной показательной функцией $u_{внх} = u_{вх}^\gamma$, изменение величины контрастности больше для $\gamma < 1$ и составляет, например, между штрихами с размером

$d = 0,22$ мм для моделируемой схемы корректора 70% при изменении γ от 1 до 0,1.

3. Изменение γ от 1 до 0,1 при передаче группы штрихов увеличивает ширину штрихов и уменьшает промежуток между ними, что может привести к ухудшению различимости и даже полному слиянию штрихов. Изменение γ от 1 до 10 уменьшает ширину штрихов и увеличивает промежуток между ними, что улучшает различимость штрихов и в итоге распознавание объектов.

4. Замена полутонового аналогового корректора линейным инерционным звеном ($\gamma = 1$) при анализе переходных процессов не соответствует реальным искажениям, имеющим место в нелинейной факсимильной системе.

5. Рассмотренный метод моделирования целесообразно использовать при исследовании нелинейных факсимильных систем, когда необходимо учитывать реальные искажения, вносимые анализирующим и синтезирующим устройствами. При этом алгоритмический метод, применяемый для составления математических моделей, удобен в случае моделирования как аналоговых, так и цифровых звеньев системы, что позволяет осуществить выбор характеристик корректоров с учетом их влияния на воспроизведение мелких деталей (уменьшение контрастности и изменение формы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Орловский Е. Л. и др. Воспроизведение полутонов в крупных деталях телевизионного изображения. — Техника кино и телевидения, 1965, № 8.
2. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. О возможностях смешанного моделирования для исследования фототелевизионных систем. — Вопросы радиоэлектроники, серия «Техника телевидения», 1975, вып. 3.
3. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. Алгоритмический метод анализа и синтеза видеоусилителей. — Известия вузов СССР, серия «Радиоэлектроника», 1971, № 3.
4. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. Машинный метод анализа переходных процессов в нелинейном видеотрактате телевизионной системы. — Известия вузов СССР, серия «Радиоэлектроника», 1975, № 7.

Статья поступила в редакцию
9 января 1980 г.