

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Радиоэлектроника



ТОМ XVIII
7
1975

ИЗДАНИЕ
КИЕВСКОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМЕНИ 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОЙ
ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ

Л. Н. ЩЕЛОВАНОВ, Е. М. ДОРОНИН

МАШИННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНОМ ВИДЕОТРАКТЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Описан машинный метод исследования переходных процессов в многозвенных системах, содержащих инерционные нелинейные звенья, при произвольном воздействии. Приведена математическая модель многозвенного нелинейного видеотракта. Исследовано влияние инерционных нелинейных звеньев видеотракта на воспроизведение мелких деталей.

Для решения задачи исследования переходного процесса в многозвенном видеотракте, содержащем инерционные нелинейные звенья, необходимо уметь рассчитывать переходный процесс в инерционном нелинейном звене при произвольном входном воздействии. В этом случае легко обеспечивается «сопряжение» отдельных направленных звеньев

(линейных и нелинейных) при анализе процессов в сложной многозвенной системе.

Уравнение нелинейной вольт-амперной характеристики при кусочно-линейной аппроксимации на отдельном участке (рис. 1) имеет вид:

$u = e_d + i_n \tilde{r}$, где e_d и \tilde{r} — скачкообразно изменяются при переходе на соседний участок.

Для расчета процесса в инерционном нелинейном звене можно воспользоваться методом, позволяющим рассчитать процесс в

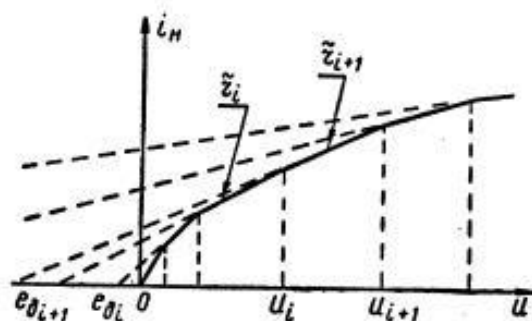


Рис. 1.

линейной цепи с ненулевыми начальными условиями и произвольном воздействии [2, 3]. Распространим метод [2, 3] на общий случай, когда в системе имеется много возмущений произвольного вида. Если для этого случая составить систему дифференциальных уравнений в операторном виде, решить ее относительно $y_k(p)$ и затем перейти к z -преобразованию [3], то получим

$$y_k(p) \approx \frac{A_1 + A_{l-1}z^{-1} + \dots + A_0z^{-l}}{B_1 + B_{l-1}z^{-1} + \dots + B_0z^{-l}} x_1(p) + \dots +$$

$$+ \frac{A_{ln} + A_{l-1,n}z^{-1} + \dots + A_{0n}z^{-l}}{B_1 + B_{l-1}z^{-1} + \dots + B_0z^{-l}} x_n(p).$$

По изображению $y_k(p)$ можно легко найти оригинал в виде рекуррентного соотношения

$$y_k[nT] \approx \frac{1}{B_i} \left\{ \sum_{v=0}^i (A_{i-v} x_1[nT-vT] + \dots + A_{i-v} x_k[nT-vT] + \dots + A_{i-v} X_N \times X_N[nT-vT]) - \sum_{v=1}^i B_{i-v} y_k[nT-vT] \right\}. \quad (1)$$

Рекуррентное соотношение (1) позволяет определить выходную переменную $y[nT]$ по предыдущим значениям выходной переменной $y[nT-vT]$ и значениям произвольных входных воздействий $x_k[nT]$, $x_k[nT-vT]$ в данный и предыдущий моменты времени.

Для определения матриц B_k (A_k), из которых находятся коэффициенты рекуррентных соотношений B_i , (A_i), производится [3] перемножение квадратной матрицы, которую обозначим C_k , на матрицу-столбец G_k , $B_k = C_k \cdot G_k$. Матрица-столбец G_k , в свою очередь, находится в результате перемножения матрицы V_k , определяющей связь между L -преобразованием и z -преобразованием, на матрицу-столбец B_k^0 , составленную из коэффициентов при p^k алгебраической дроби уравнения выходной переменной: $G_k = V_k B_k^0$.

Можно, однако, сократить объем вычислений, если произвести некоторые преобразования, так как $B_k = C_k G_k$, а $G_k = V_k B_k^0$, то $B_k = C_k V_k B_k^0$. При соответствующем k , независимо от вида анализируемой системы, элементы матрицы C_k и V_k не меняются. Поэтому имеет смысл ввести новые матрицы $S_k = C_k V_k$.

Тогда

$$A_k = S_k A_k^0, \quad B_k = S_k B_k^0. \quad (2)$$

При введении матриц S_k для определения B_i достаточно умножить i -строку матрицы S_k на матрицу-столбец B_k^0 :

$$B_k = S_k B_k^0 = \begin{bmatrix} S_{00} & S_{01} & \dots & S_{0k} \\ S_{10} & S_{11} & \dots & S_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{i0} & S_{i1} & \dots & S_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{k0} & S_{k1} & \dots & S_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{T}{2}\right)^k b_0 \\ \left(\frac{T}{2}\right)^{k-1} b_1 \\ \dots \\ \left(\frac{T}{2}\right)^{k-i} b_i \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix};$$

$$B_i = \left(\frac{T}{2}\right)^k S_{i0} b_0 + \left(\frac{T}{2}\right)^{k-1} S_{i1} b_1 + \dots + \frac{T}{2} S_{i, k-1} b_{k-1} + S_{ik} b_k \quad (3)$$

Такой же вид имеют коэффициенты A_i , но вместо b_k они содержат a_k . Для пояснения порядка расчета процесса в нелинейном звене воспользуемся схемой расчета, изображенной на рис. 2, и соотношением (1).

Рекуррентные соотношения, сгруппированные около различных линейно-аппроксимированных участков вольтамперной характеристики нелинейного элемента, имеют различные коэффициенты A_i , B_i .

Любая группа рекуррентных соотношений обеспечивает расчет искомой выходной переменной, тока, протекающего через нелинейное сопротивление или напряжения на нем (контрольной функции), и величин, характеризующих изменение ненулевых начальных условий в исследуемой системе.

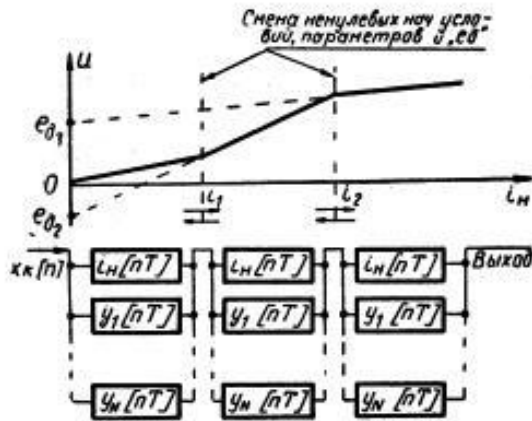


Рис. 2.

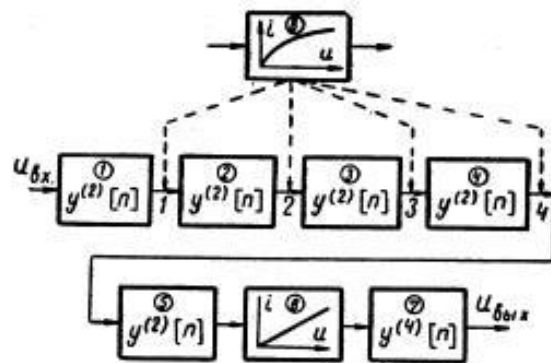


Рис. 3.

В процессе счета при каждом новом значении n производится сравнение рассчитанной величины контрольной функции с током (напряжением) вольтамперной характеристики нелинейного элемента. Когда величина контрольной функции достигнет границы следующего участка вольтамперной характеристики, то начинается счет по рекуррентным соотношениям с другими коэффициентами A_i и B_i и с другими величинами, характеризующими ненулевые начальные условия, и e_{d_i} .

Рассмотрим многозвенный видеотракт передающей фототелевизионной системы (рис. 3), состоящей из видеоусилителей (1—5) с простой схемой коррекции, видеоусилителя со сложной схемой коррекции 7, нелинейных звеньев 6 и 8.

Амплитудная характеристика корректора полутонов находится из условия [4] улучшения воспроизведения градаций яркостей (крупных деталей). Воспроизведение же мелких деталей системой, содержащей нелинейные звенья, зависит от переходных процессов, происходящих в ней.

Используя рассмотренный метод, осуществим машинное моделирование нелинейного видеотракта (рис. 3) и произведем оценку влияния нелинейного звена на воспроизведение мелких деталей. Для этого найдем математические модели отдельных звеньев и видеотракта в целом.

Коэффициенты рекуррентного соотношения, являющегося математической моделью линейного звена, находятся по коэффициентам его передаточной функции [3]. Так, передаточная функция видеоусилителя с простой схемой коррекции [5] равна

$$W(p) = \frac{a_0 p^{-2} + a_1 p^{-1}}{b_0 p^{-2} + b_1 p^{-1} + b_2}$$

где $a_0 = 1$; $a_1 = R_a C_0 k$; $b_0 = 1$; $b_1 = R_a C_0$;

$$b_2 = R_a^2 C_0^2 k; \quad k = \frac{L}{R_a^2 C_0}$$

В соответствии с приведенными выше правилами, используя соотношения (2), (3), находим:

$$A_0 = 1 - 6k\eta; \quad A_1 = 10; \quad A_2 = 1 + 6k\eta;$$

$$B_0 = 1 - 6\eta + 12k\eta^2; \quad B_1 = 10 - 24k\eta^2; \quad B_2 = 1 + 6\eta + 12k\eta^2;$$

$$\eta = \frac{R_0 C_0}{T}.$$

Математическая модель видеоусилителя с простой схемой коррекции представляет собой рекуррентное соотношение

$$y^{(2)}[n] = \frac{1}{B_2} \left\{ \sum_{v=2}^2 A_{2-v} x[n-v] - \sum_{v=1}^2 B_{2-v} y[n-v] \right\}. \quad (4)$$

Аналогично находится математическая модель видеоусилителя со сложной схемой коррекции [3]

$$y^{(4)}[n] = \frac{1}{B_4} \left\{ \sum_{v=0}^4 A_{4-v} x[n-v] - \sum_{v=1}^4 B_{4-v} y[n-v] \right\}. \quad (5)$$

Нелинейное звено (корректор полутонов) представляет собой усилитель с нелинейной нагрузкой (рис. 4), характеристика которой изображена на рис. 1. В рассматриваемом примере искомая выходная переменная является одновременно и функцией, контролирующей изменение величины нелинейного сопротивления. Из уравнения, составленного по методу узловых потенциалов для схемы рис. 4, находим

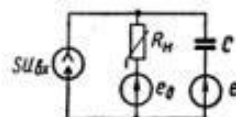


Рис. 4.

$$U_{\text{вых}}(p) = \left[S U_{\text{вх}}(p) + e_d(p) \frac{1}{R_n} \right] \frac{R_n p^{-1}}{p^{-1} + R_n C} + e(p) \frac{R_n C}{p^{-1} + R_n C}. \quad (6)$$

В рассматриваемом случае выходную переменную $u_{\text{вых}}[nT]$ в виде рекуррентного соотношения можно определить, если сначала перейти к z -преобразованию путем подстановки $p^{-1} \approx \frac{T}{2} \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}$ в уравнение (6), а затем найти оригинал

$$u_{\text{вых}}[nT] = \frac{TR_n}{2N} (S u_{\text{вх}}[nT] + S u_{\text{вх}}[nT-T]) + \frac{D}{N} u_{\text{вых}}[nT-T] + \frac{R_n C}{N} (e[nT] - e[nT-T]) + \frac{T}{2N} (e_d[nT] + e_d[nT-T]), \quad (7)$$

где $D = R_n C - \frac{T}{2}$; $N = R_n C + \frac{T}{2}$.

Выражение (7) является математической моделью нелинейного звена. Так как входная переменная $u_{\text{вх}}[nT]$ может быть произвольного вида, то найденная математическая модель легко сопрягается с другими звеньями многозвенного видеотракта.

Исследуем влияние нелинейного звена на воспроизведение мелких деталей. Рассмотрим случай, когда передаются два штриха, расположенные на локальном фоне при различной яркости фона. В этом случае на выходе анализирующего устройства с прямоугольной апертурой об-

разуются трапецеидальные импульсы рис. 5, а. С изменением яркости фона изменяется величина «подставки», на которой эти импульсы расположены. Высота трапецеидальных импульсов сохранялась постоянной.

В соответствии с рекуррентными соотношениями (4), (5), (7) была составлена программа расчета процесса в нелинейном видеотракте при передаче двух штрихов. Расчет производился при следующих числовых

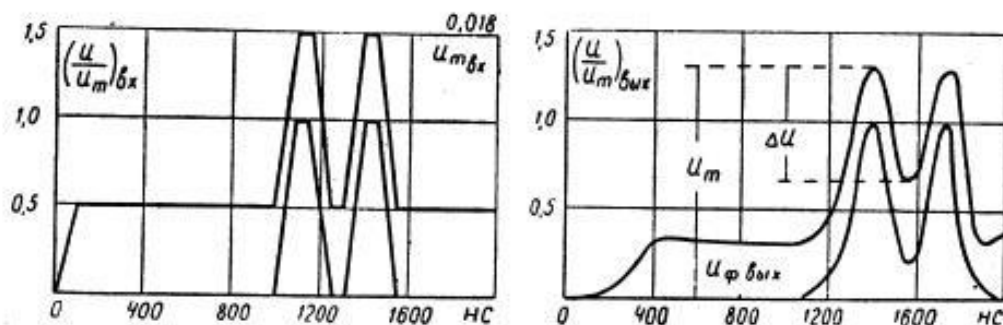


Рис. 5.

значениях параметров линейных и нелинейных звеньев видеотракта: параметры видеоусилителя с простой схемой коррекции: $k=0,525$; $\eta=50$; коэффициент усиления $k_{yc}=2$; параметры видеоусилителя со сложной схемой коррекции: $k=0,126$; $k_1=0,536$; $k_2=0,0815$; $x=0,6$; $\eta=30$; коэффициент усиления $k_{yc}=10$; параметры корректора полутонов (нелинейного звена): $C=30$ пф; $S=10$ мА/В (нелинейное звено δ); $T=1$ нс; $S=6$ мА/В (нелинейное звено δ на рис. 3). Вольтамперная характеристика последнего при расчете линеаризовалась.

Машинный эксперимент включал:

анализ изменения величины «провала» между двумя трапецеидальными импульсами при изменении положения импульсов относительно характеристики нелинейного элемента за счет увеличения величины «подставки» (яркости фона);

исследование влияния положения инерционного нелинейного звена в многозвенном видеотракте на величину «провала» между двумя импульсами;

сравнение качества воспроизведения парных импульсов (мелких деталей) линейной и нелинейной системами.

Результаты исследований представлены в виде соответствующих графиков. На рис. 5 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие изменение формы трапецеидальных импульсов на выходе многозвенного нелинейного видеотракта, при двух значениях напряжения «подставки». Форма импульсов на входе видеотракта приведена на рис. 5, а, а на выходе — на рис. 5, б.

Изменение величины «провала» между импульсами в зависимости от места положения парных импульсов по отношению к характеристике нелинейного элемента (относительной величины «подставки»), приведено на рис. 6, а (кривая 1). При расчете этой характеристики инерционное нелинейное звено находилось между 4-м и 5-м линейными звеньями (рис. 3). Кривая 2 соответствует случаю, когда в инерционном нелинейном звене производилась замена нелинейного сопротивления линейным.

Из полученных зависимостей видно, что инерционное нелинейное

звено с нелинейностью вида рис. 1 оказывает большое влияние на изменение величины «провала» между двумя импульсами (на воспроизведении мелких деталей). При заданной нелинейности с увеличением напряжения «подставки» u_{Φ} (яркости фона B_{Φ}) величина «провала» уменьшается. Замена инерционного нелинейного звена линейным инерционным

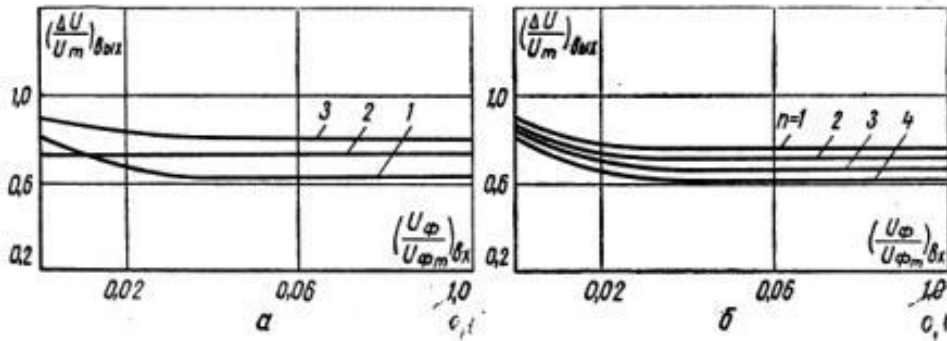


Рис. 6.

звеном, что делают при анализе качества воспроизведения мелких деталей системами с нелинейными звеньями, не отражает действительной картины, происходящей в подобных системах. Для чисто линейной системы величина «провала» между импульсами не зависит от напряжения «подставки» рис. 6, а. Этот вывод очевиден. Для большей части динамического диапазона при заданной нелинейности рис. 1 величина «провала» между импульсами на выходе нелинейного видеотракта меньше, чем в случае, когда видеотракт линейный. На том же графике показано, что при наличии в видеотракте безынерционного нелинейного звена ($C=0$) с той же нелинейной характеристикой величина «провала» между импульсами увеличивается (кривая 3).

При включении инерционного нелинейного звена в различные точки многозвенного видеотракта (рис. 3) производилось согласование сигнала на входе нелинейного звена с его характеристикой, для чего динамический диапазон нелинейной характеристики выбирался таким, при котором входной сигнал перемещался в пределах этой характеристики, когда напряжение «подставки» (фона) изменялось от «0» до максимального значения $u_{\Phi m} 0,1В$.

При выполнении этого условия и сохранении закона изменения характеристики нелинейного элемента графики изменения величины «провала» между импульсами от величины «подставки» опускаются по мере увеличения количества звеньев, находящихся перед нелинейным звеном (рис. 6, б). Такая зависимость объясняется изменением усредненного сопротивления нелинейного элемента, происходящим вследствие компрессии вольтамперной характеристики, вызванной реализацией условия расположения входных импульсов в пределах характеристики нелинейного элемента.

Таким образом, произведенное исследование подтвердило эффективность предложенного машинного метода анализа нелинейных систем, в которых имеют место переходные процессы. Появилась возможность правильно оценить искажающие действия инерционных нелинейных звеньев на форму сигнала, соответствующего передаче мелких деталей, что очень важно при проектировании систем электрической передачи изображений высокого разрешения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А. Нелинейные электрические цепи. М., «Высшая школа», 1964.
2. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. Алгоритмический метод расчета процессов в разомкнутых и замкнутых системах передачи изображений при произвольном воздействии.— «Вопросы радиоэлектроники», Сер. ТТ, 1970, № 3.
3. Щелованов Л. Н., Доронин Е. М. Алгоритмический метод анализа и синтеза видеоусилителей.— «Изв. вузов СССР — Радиоэлектроника», 1971, 14, № 3, стр. 243.
4. Орловский Е. Л. и др. Теоретические основы электрической передачи изображений. М., «Советское радио», 1962.
5. Лурье О. Б. Усилители видеочастоты. М., «Советское радио», 1961.

Поступила в редакцию
27 VI 1972 г.,
после переработки
28 XI 1972 г.



ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СССР
по разделу

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

В журнале освещаются результаты научно-исследовательских работ, передовой отечественный и зарубежный опыт, определяющий направление и развитие научных исследований в области радиотехники и радиоэлектроники, публикуются материалы научных конференций и совещаний, информации о научной работе советских и зарубежных вузов, хроникальные и библиографические материалы.

ЖУРНАЛ ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ

1. Теория радиоэлектронных цепей.
2. Помехоустойчивость радиотехнических систем и теория сигналов.
3. Радиопередающие и радиоприемные устройства.
4. Радиоэлектронные измерения.
5. Антенные и волноводные устройства.
6. Высокочастотная электроника и электродинамика.
7. Электронные приборы и микроэлектроника.
8. Квантовая радиоэлектроника.
9. Радиотехнические системы. Импульсная техника.
10. Применение ЭВМ для исследования и проектирования радиоэлектронных устройств и систем.
11. Применение радиоэлектроники в народном хозяйстве и медицине.
12. Конструирование и производство радиоаппаратуры.

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав высших учебных заведений, научный и инженерно-технический персонал промышленных предприятий, а также научно-исследовательских учреждений радиотехнической и электронной промышленности и электросвязи, аспирантов и студентов старших курсов.

Перевод журнала на английский язык издается фирмой RCS Journals, Inc. (США) под названием Radio Electronics and Communications Systems. Цена перевода одного выпуска журнала 40 долл. США, стоимость подписки 160 долл. США.

ЖУРНАЛ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ ТОЛЬКО ПО ПОДПИСКЕ

Подписка принимается без ограничения всеми отделениями Союзпечати, конторами, отделениями и агентствами связи, общественными уполномоченными по проведению подписки на предприятиях и учреждениях.

Подписная цена на год 9 руб. 60 коп., на полугодие — 4 руб. 80 коп. Периодичность журнала — 12 номеров в год. Индекс журнала в каталоге «Союзпечати» — 70375.

По просьбе читателей редакция высылает наложенным платежом комплекты и отдельные выпуски журналов с 1967 по 1974 гг.

Адрес редакции: г. Киев-56, Брест-Литовский проспект, 39, Киевский политехнический институт, редакция журнала «Известия высших учебных заведений СССР» по разделу «Радиоэлектроника».

