ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 213 1972

КОРРЕКЦИЯ КАСКАДА ВИДЕОУСИЛИТЕЛЯ ЦЕПЬЮ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В КАТОДЕ

Д. И. СВИРЯКИН

(Представлена профессором-доктором В. И. Горбуновым)

Анализ высокочастотной катодной коррекции в каскадах видеоусилителей проводился многими авторами. В качестве корректирующих элементов большинство из них использовали цепочки $R_к C_к$, а в некоторых работах [1,2] использовались контуры $L_к C_к R_к$ (рис. 1). В данной работе еще раз анализируется схема катодной коррекции контуром $L_к C_к R_к$, выявлены основные функциональные зависимости между параметрами каскада и параметрами переходной характеристики и проведено сравнение анализируемой схемы со схемой коррекции цепью $R_к C_к$. Результаты, полученные в работе, во многом расходятся с результатами работ [1,2], так как в данном случае анализ проводился с учетом влияния временного изменения входной и выходной динамических емкостей на переходную характеристику. Последнее обстоятельство несколько усложнило анализ схемы, но зато обеспечило получение результатов, лучше совпадающих с результатами эксперимента.

Принципиальная и эквивалентная схемы каскада даны соответственно на рис. 1 и 2. Анализ проводится в предположении, что выходной сигнал с анода первой лампы подается в цепь управляющей сетки второй (однотипной с первой), катодная цепь которой содержит такие же элементы, как и первая. Это обусловливает одинаковый характер зависимостей емкостей $C_{ск}$ и $C_{ак}$ от времени и позволяет входную динамическую емкость $C_{вх}$ второй лампы объединить с выходной динамической емкостью $C_{вых}$ первой [3] и обозначить их на эквивалентной схеме рис. 2 как одну емкость C'_1. Монтажная суммарная емкость на схемах обозначена через C'_0. Корректирующими элементами в первом каскаде являются конденсатор $C_к$, индуктивность $L_к$ и резистор $R_к$ (на принципиальной схеме соответственно $C_{к1}, L_{к1}$ и $R_{к1}$). Величина резистора $R_к$ определяется необходимым напряжением смещения, поэтому в дальнейших рассуждениях величина $R_к$ будет предполагаться постоянной, а параметры коррекции будут изменяться за счет изменения $L_к$ и $C_к$.

Для эквивалентной схемы рис. 2 теми же приемами, что и в работе [3], было получено операторное изображение переходной характеристики.

$$M(p) = \frac{A(p)}{B(p)} = \frac{1 + a_1 p + a_2 p^2}{1 + b_1 p + b_2 p^2 + b_3 p^3}, \qquad (1)$$

где $p = j\omega C_0 R_a$, $j = \sqrt{-1}$, ω — циклическая частота,

$$a_1 = q, \quad a_2 = q \cdot \kappa_к,$$

$$b_1 = 1 - x + \kappa_к(1-b) + b(q+xm) + xb,$$
$$b_2 = \kappa_к[1 - x(1-b)] + b\kappa_к(q+xm-1) + b[q+xm(1-x)],$$
$$b_3 = b\kappa_к[q+xm(1-x)].$$

В свою очередь

$$b = \frac{1}{1+SR_к}, \qquad m = \frac{R_к}{R_a}, \qquad x = \frac{C_1'}{C_0},$$
$$\kappa_к = \frac{L_к}{C_0R_aR_к}, \qquad q = \frac{C_кR_к}{C_0R_a},$$
$$C_0 = C_0' + C_1', \qquad C_1' = C_{вых} + C_{вх}, \qquad C_0' = C_{мвых} + C_{мвх}.$$

Переходная характеристика каскада, согласно теореме разложения, определяется выражением

$$h(\tau) = \frac{A(0)}{B(0)} + \sum_1^к e^{p_к\tau}\cdot\frac{A(p_к)}{p_кB'(p_к)},$$

где $\tau = \dfrac{t}{C_0R_a}$ — относительное время (t — время в секундах),

$p_к$ — к-й корень характеристического уравнения

$$1 + b_1p + b_2p^2 + b_3p^3 = 0,$$

$к$ — целое положительное число, принимающее в данном случае значения 1, 2, 3.

$A(0)$ и $B(0)$ — полиномы соответственно числителя и знаменателя выражения (1) при $\omega = 0$,

$B'(p_к)$ — производная полинома $B(p_к)$.

Переходные характеристики рассматриваемого каскада могут быть с выбросами и без выбросов. Интерес представляют только характеристики, имеющие выбросы, так как в этих случаях время установления меньше, чем у характеристик без выбросов. В подавляющем большинстве случаев выбросы на переходных характеристиках появляются при комплексных корнях характеристического уравнения. Вещественные отрицательные корни указывают в основном на монотонный характер переходного процесса, то есть колебательность характеристики в этом случае минимальная. Об этом же говорят выражения для переходных характеристик. Так, при двух сопряжениях комплексных и одном вещественном корнях $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega$, $p_3 = -\beta$ — переходная характеристика имеет вид

$$h(\tau) = 1 - A_0e^{-\beta\tau} + Ae^{-\alpha\tau}\sin(\omega\tau + \varphi), \tag{2}$$

где

$$A_0 = \frac{1 - a_1\beta + a_2\beta^2}{b_3\beta[(\beta-\alpha)^2+\omega^2]},$$
$$A = \frac{1}{\omega b_3}\sqrt{\frac{[1 - a_1\alpha + a_2(\alpha^2-\omega^2)]^2 + \omega^2(a_1 - 2\alpha a_2)^2}{(\alpha^2+\omega^2)\cdot[(\beta-\alpha)^2+\omega^2]}},$$
$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{\omega(a_1 - 2\alpha a_2)}{1 - \alpha a_1 + (\alpha^2-\omega^2)a_2} - \operatorname{arc\,tg}\frac{\omega}{\alpha} - 2\operatorname{arc\,tg}\frac{\omega}{-\alpha}.$$

В случае вещественных (отрицательных) корней переходная характеристика определяется выражением:

$$h(\tau) = 1 + A_1e^{p_1\tau} + A_2e^{p_2\tau} + A_3e^{p_3\tau}, \tag{3}$$

где

$$A_1 = \frac{1 + a_1 p_1 + a_2 p_1^2}{b_3 p_1 (p_1 - p_2)(p_1 - p_3)}, \qquad A_2 = \frac{1 + a_1 p_2 + a_2 p_2^2}{b_3 p_2 (p_2 - p_1)(p_2 - p_3)},$$

$$A_3 = \frac{1 + a_1 p_3 + a_2 p_3^2}{b_3 p_3 (p_3 - p_1)(p_3 - p_2)}.$$

При вычислении параметров переходных характеристик (2) и (3) исходными параметрами каскада являлись b, m и x, параметрами коррекции $\kappa_к$ и q. В качестве искомых были приняты только параметры переходных характеристик: обобщенное время установления $Y = \frac{t_у}{C_0 R_a}$, (где $t_у$ — время установления в сек.), первый δ_1, второй δ_2 и третий δ_3 выбросы и обобщенные времена появления этих выбросов соответственно τ_{m1}, τ_{m2}, τ_{m3}.

Кроме того, для каждого варианта подсчитывался выигрыш по формуле $В = \left(\frac{2{,}2b}{Y} - 1\right) \cdot 100\%$.

Значения исходных параметорв каскада были следующими: $b = 0{,}4$; $0{,}5$; m=0,2; x=0,4. Параметры коррекции варьировались в пределах следующих дискретных значений: $\kappa_к$ =0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; q=0,5;

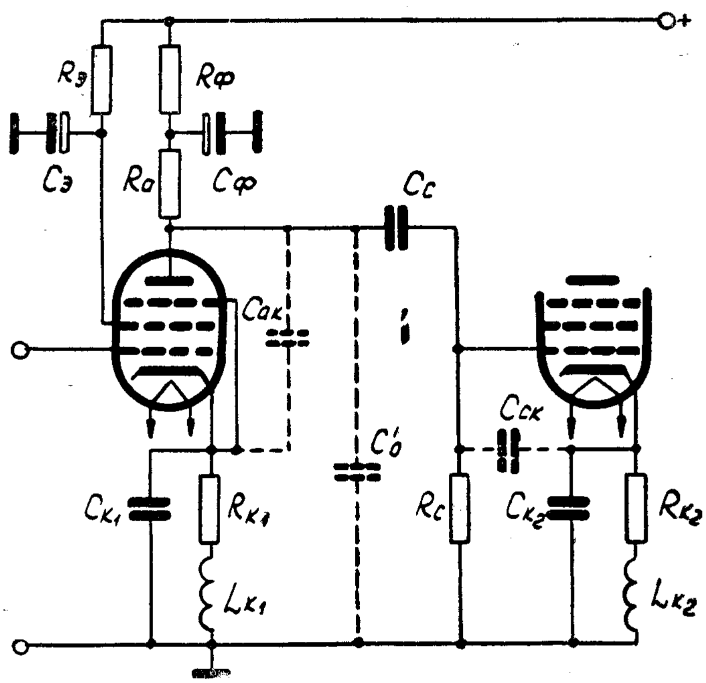

Рис. 1. Принципиальная схема каскада с катодной коррекцией контуром

0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,15; 1,2; 1,25; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0. Таким образом, число сосчитанных вариантов равнялось числу сочетаний $\kappa_к$ и q. Анализ полученных данных позволил определить как оптимальные сочетания параметров коррекции, так и близкие к ним.

Кроме того, расчетным путем были выявлены зависимости вышеперечисленных параметров переходных характеристик от исходных параметров b, m, x при изменении последних в довольно широких пределах. Дискретные значения этих параметров, при которых проводились вычисления, были следующие: $b=0{,}2$; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; $m=0{,}02$; 0,04; 0,08; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0; $x=0{,}2$; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8. Все вычисления проводились на электронной вычислительной машине М-20.

Если принять в качестве оптимальной переходную характеристику, первый выброс которой равен 2%, а второй выброс не превышает 1% при наименьшем для этих величин выбросов времени установления, то при параметрах каскада $b=0{,}4$; $x=0{,}4$; $m=0{,}2$ наиболее удачным, по материалам вычислений, следует считать сочетание коэффициентов коррекции $\kappa_к=0{,}3$ и $q=1{,}1$. При этом $Y=0{,}06817$, $\delta_1=2{,}162\%$, $\delta_2=0{,}142\%$, $\tau_{m1}=1{,}516$, $\tau_{m2}=3{,}449$, $В=29{,}08\%$.

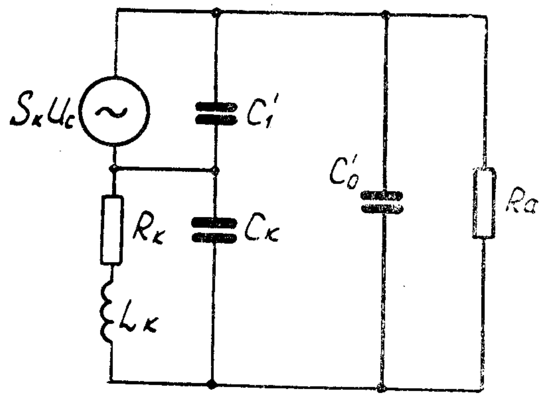

Рис. 2. Эквивалентная схема

Сравнительный анализ параметров переходных характеристик, полученных в результате вычислений, показал, что при указанных выше исходных параметрах практический интерес могут представить в основном варианты, получающиеся при сочетании значений параметров коррекции, варьируемых в пределах $q=0{,}9\div2{,}0$. $\kappa_к=0\div0{,}4$.

При $\kappa_к=0$ анализируемый каскад превращается в каскад с емкостной коррекцией в катоде, материалы исследований которого представлены в работе [4]. Поэтому сравнение результатов вычислений, выполненных для для вариантов данной задачи при $\kappa_к$ с результатами работы [4] служило проверкой правильности полученных выше формул и программы вычислений на машинке М-20. Помимо того, это сравнение показало, что коррекция контуром $L_к C_к R_к$ более эффективна, чем коррекция цепью $R_к C_к$ только при малых выбросах. При больших выбросах ($\delta_1>30\%$) обе схемы коррекции дают почти одинаковые результаты.

Так, например, в варианте при $\kappa_к=0$ и $q=0{,}8$ выигрыш равен 17,8% при выбросах $\delta_1=2{,}69\%$ и $\delta_2\approx0$. Почти такой же выброс $\delta_1=2{,}16\%$ и малозаметный второй выброс $\delta_2=-0{,}14\%$ в варианте $\kappa_к=0{,}3$ и $q=1{,}1$ позволяют получить выигрыш $В=29{,}1\%$. То есть при малых значениях первого выброса схема коррекции контуром $L_к C_к R_к$ за счет появления небольшого второго выброса дает по сравнению с коррекцией цепью $R_к C_к$ увеличение выигрыша более, чем на 12%.

Теперь рассмотрим область больших выбросов. Для этого сравним два варианта: $\kappa_к=0$, $q=2{,}5$, где $В=83{,}4\%$, $\delta_1=38{,}2\%$, $\delta_2=-0{,}09\%$ и $\kappa_к=0{,}6$, $q=3{,}0$, где $В=87{,}3\%$, $\delta_1=39{,}8\%$, $\delta_2=-0{,}56\%$.

Видим, что существенное увеличение выиграша во втором варианте в основном объясняется несколько большим выбросом δ_1. Второй выброс в обоих вариантах практически можно не учитывать. Таким образом, введение индуктивности $L_к$ в катодную цепь в сочетании с конденсатором $C_к$ эффективно только при небольших выбросах переходной характеристики каскада. В каскадах, где допустимы большие выбросы, можно ограничиться введением только корректирующей цепи $R_к$ $C_к$.

По результатам вычислений были построены графики. Так, на рис. 3 изображены зависимости $В=f(\delta_1)$ и $\delta_2=f(\delta_1)$ при значениях коэффициента $\kappa_к=0$; 0,2; 0,3; 0,4 и изменяющемся в пределах $0{,}7\div3{,}0$ коэффициенте q. Для того, чтобы иметь представление о величине коэффициента q при заданном значении выброса δ_1, на графики $В=f(\delta_1)$ и $\delta_2=f(\delta_1)$ нанесены кривые равных значений q. Графики показывают, что с возрастанием допустимой величины выброса δ_1 увеличивается выигрыш, обеспечиваемый данной схемой коррекции. Второй выброс при $\delta_1 > 5\%$ даже для $\kappa_к = 0,4$ сравнительно мал и его можно не учитывать. Увеличение коэффициента коррекции $\kappa_к$ при малых выбросах δ_1 ведет

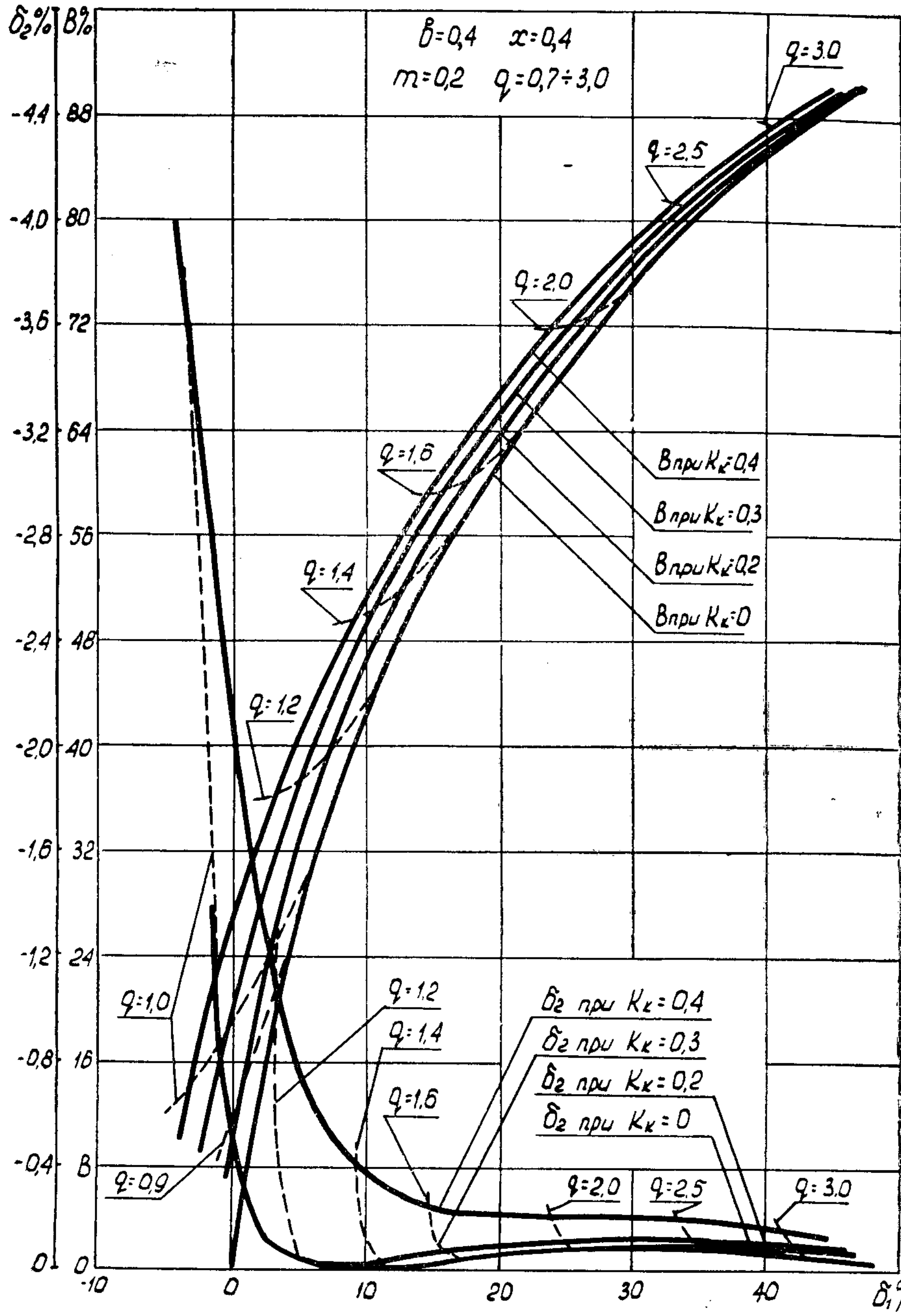

Рис. 3. Графики $B = f(\delta_1)$ и $\delta_2 = f(\delta_1)$ при $b = 0,4$, $x = 0,4$, $m = 0,2$

к заметному увеличению выигрыша, но происходит это за счет повышения колебательности переходной характеристики, или, иными словами, за счет увеличения второго (отрицательного) δ_2, а также третьего (положительного) δ_3 выбросов.

Если судить по графикам рис. 3, то несколько лучшим, в сравнении с вышеуказанным, по величине выигрыша значением коэффициента коррекции $\kappa_к$ является 0,35 при $q=1,12$. Выигрыш при $\delta_1=2\%$ для $\kappa_к=0,35$ примерно равен 31 %, а второй выброс $\delta_2\approx-0,9\%$.

Аналогичные графики приведены и на рис. 4, не только для $b=0,5$. Этими графиками так же, как и на рис. 3, представлены зависимости

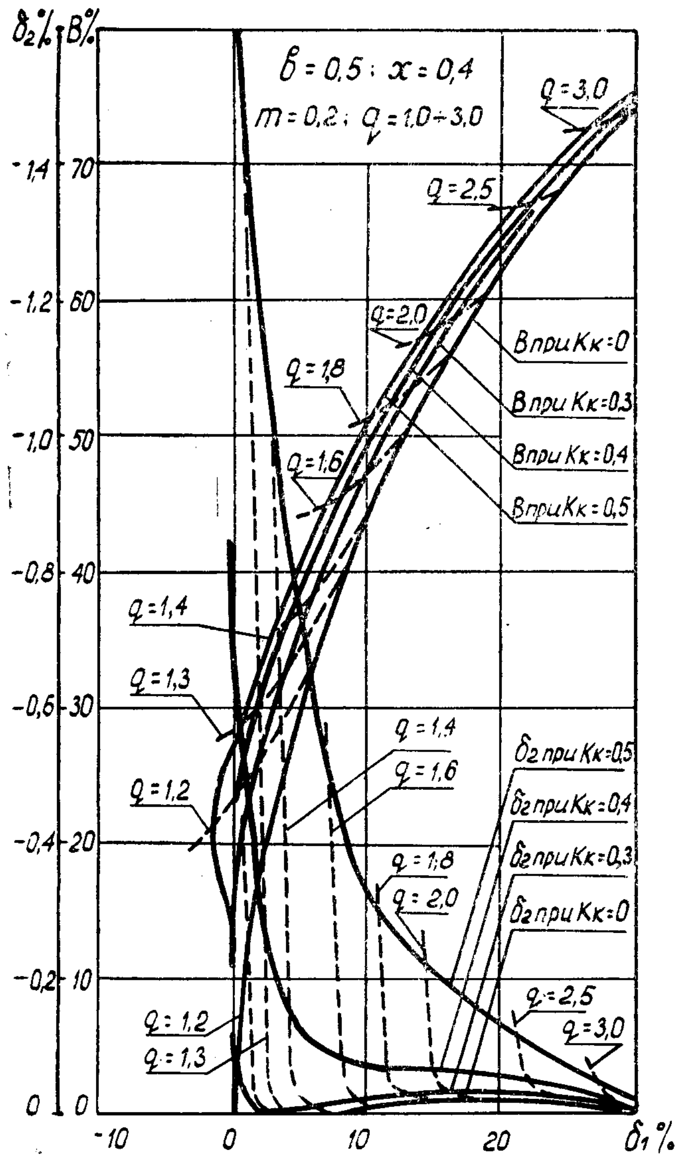

Рис. 4. Графики $B=f(\delta_1)$ и $\delta_2=f(\delta_1)$ при $b-0,5$, $x=0,4$, $m=0,2$

$B=f(\delta_1)$ и $\delta_2=f(\delta_1)$, на которые пунктиром нанесены кривые равных значений коэффициента q. Графики показывают, что и при $b=0,5$ первый экстремум переходных характеристик для $\kappa_к=0,5$ может не достигать единичного уровня. На графике $B=f(\delta_1)$ это представлено отрицательными значениями δ_1. Так, например, при $q=1,2$ и $\kappa_к=0,5$ первый выброс $\delta_1=-1,56\%$, выигрыш $B=21,1\%$, а второй выброс $\delta_2=-2,37\%$ (на графике он вышел за пределы рисунка). Следует заметить, что, как при $b=0,5$ (рис. 4), так и при $b=0,4$ (рис. 3) переходные характеристики с отрицательными значениями δ_1 практически никогда не используются, так как выигрыш в этих случаях несмотря на значительную величину δ_2 всегда меньше, чем при положительных значениях первого выброса.

Ориентируясь на ранее принятый критерий оптимальности переходной характеристики и принимая во внимание графики рис. 4, можно считать для $b=0,5$; $x=0,4$; $m=0,2$ значения коэффициентов коррекции $q=1,33$ и $\kappa_к=0,45$ близкими к оптимальным, так как при этом $\delta_1=2\%$, $B\approx 31\%$, а $\delta_2=-0,85\%$.

Выигрыш при увеличении допустимого выброса δ_1 можно получить и гораздо большей величины, чем $30\div32\%$. Как видно из графиков $B=f(\delta_1)$ рис. 3 и 4, достигнуть этого можно увеличением коэффициента q, а если допустимо возрастание и выброса δ_2, то и увеличением коэффициента $\kappa_к$.

Заметим, что повышение выигрыша за счет увеличения $\kappa_к$-при неизменном q невозможно, так как в этом случае, как показывают рисунки, увеличение $\kappa_к$ ведет к возрастанию δ_2, уменьшению δ_1 и снижению выигрыша. То есть, желая повысить выигрыш, мы должны одновременно с увеличением $\kappa_к$ увеличить q, или же увеличивать коэффициент q, оставляя $\kappa_к$ неизменным. В последнем случае наряду с повышением B увеличивается выброс δ_1, а выброс δ_2 уменьшается или же остается приблизительно постоянным.

Как меняются величины выбросов δ_1 и δ_2 с изменением коэффициента q при некоторых постоянных значениях $\kappa_к$, показывает рис. 5. Здесь график $\delta_2=f(q)$ для $\kappa_к=0$ вообще отсутствует, так как коррекция цепью $R_к$ $C_к$ дает очень малый второй выброс. График же $\delta_1=f(q)$ для $\kappa_к=0$ проходит выше всех аналогичных графиков для $\kappa_к>0$. Это говорит о том, что введение в катод индуктивности $L_к$ приводит при неизменном q к уменьшению δ_1 за счет появления δ_2. Причем вторые выбросы имеют максимальную величину при минимальных значениях первых выбросов ($\delta_1=1\div5\%$) за исключением случаев, где $\kappa_к\leqslant0,2$.

Следует обратить внимание на то, что при увеличении коэффициента $\kappa_к$ выше значений 0,2 переходная характеристика корректируемого каскада может иметь при некоторых значениях q отрицательный первый выброс. То есть численное значение нормированной переходной характеристики в точке первого перегиба не достигает единичного уровня, и величина первого выброса показывает в процентах, на сколько это значение меньше единицы. Сочетания коэффициентов коррекции, при которых получаются отрицательные первые выбросы, почти никогда не используются в практике, поэтому графики рис. 5 для $\kappa_к>0,2$ ограничиваются осью q.

Какие же значения q и $\kappa_к$ обеспечивают переходную характеристику с оптимальными параметрами? Обратимся к рис. 6, на котором даны графики $Y=f(q)$ для некоторых значений $\kappa_к$. На графике $Y=f(q)$ нанесены кривые равных выбросов для нескольких значений δ_1 (1, 5, 10, 15, 20%). Увеличение $\kappa_к$, как показывает рисунок, вызывает смещение кривых $Y=f(q)$ вверх и вправо, то есть при постоянном q вызывает возрастание Y. Но это не значит, что включение в катод индуктивности $L_к$ привело к ухудшению параметров переходной характеристики каскада. В процентном отношении время установления возросло не так сильно, как уменьшилась величина первого выброса. Это, например, можно проследить по рисункам 5 и 6 для случая, когда $q=1,2$, а $\kappa_к$ изменяется скачком от 0 до 0,2.

Если обратить внимание на взаимное расположение кривых равных выбросов (рис. 6), то можно заметить, что при одновременном увеличении $\kappa_к$ и q получается наибольший эффект коррекции. Особенно это заметно при малых δ_1. Так, например, для $\kappa_к=0$ и $q=0,9$ время установления равно 0,693 при $\delta_1=5\%$, а для $\kappa_к=0,8$ и $q=1,27$ время уста-

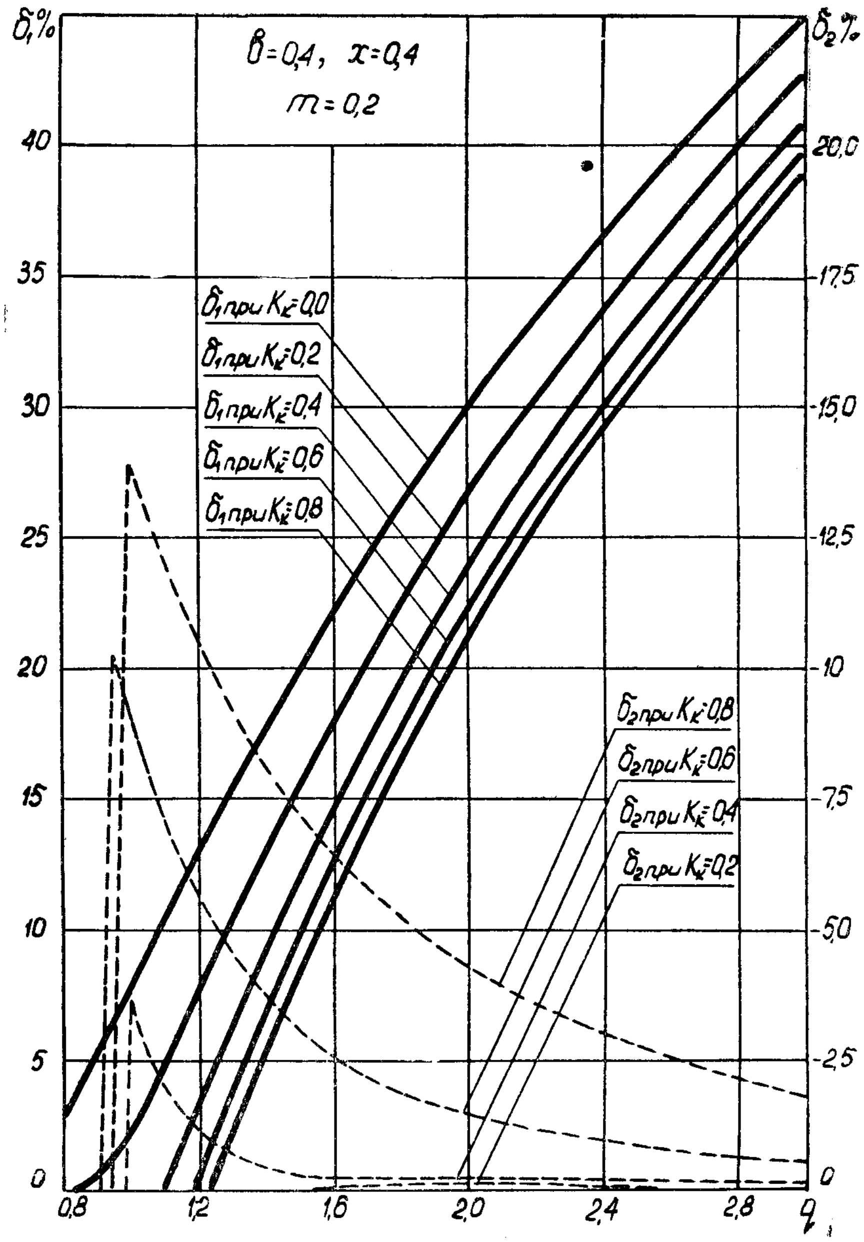

Рис. 5. Графики зависимостей величин первого и второго выбросов от коэффициента q при постоянных значениях коэффициента $\kappa_к$

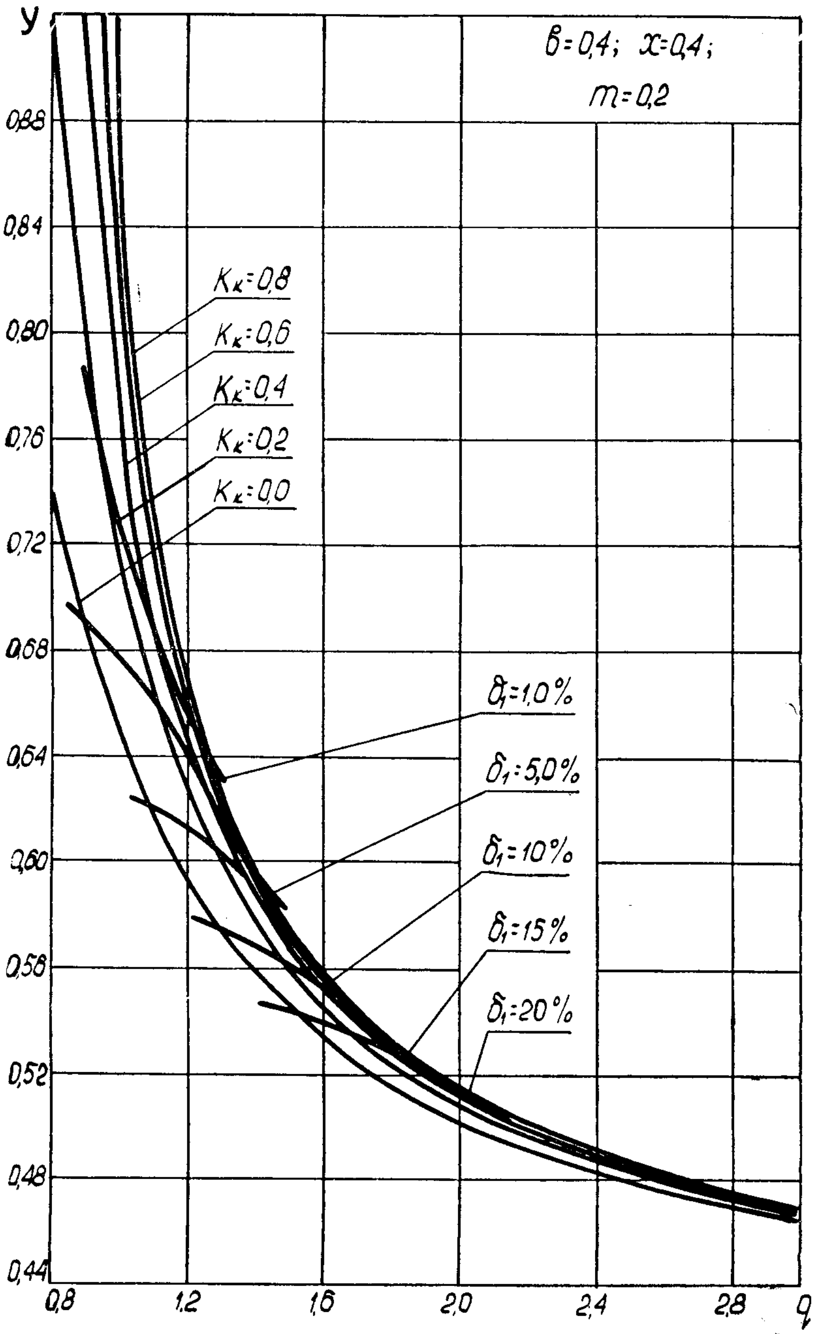

Рис. 6. Графики $Y=f(q)$ с кривыми равных выбросов

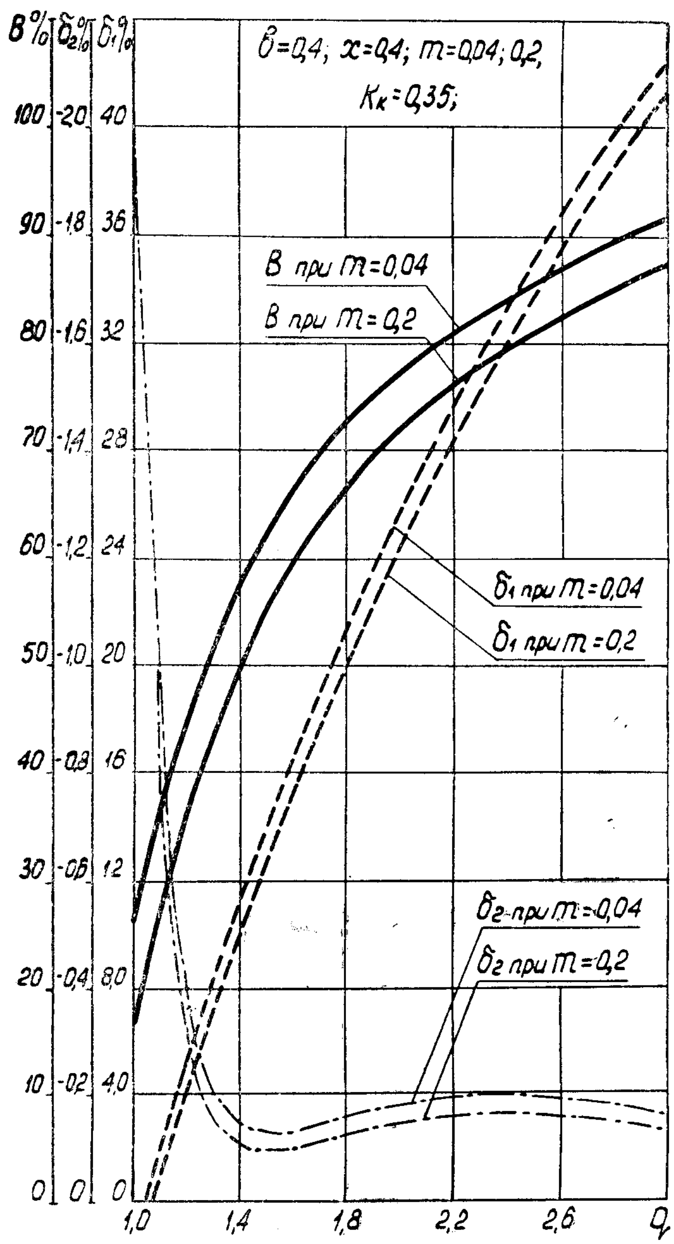

Рис. 7. Графики $B = f(q)$, $\delta_1 = f(q)$ и $\delta_2 = f(q)$ при $в = 0{,}4$ и $x = 0{,}4$

новления равно 0,64 при $\delta_1=1\%$. Однако в первом случае $\delta_2=0$, а во втором $\delta_2=9{,}5\%$. То есть фактором, ограничивающим увеличение коэффициентов коррекции, а следовательно и выигрыша, является второй выброс. Если величины первого и второго выбросов наперед заданы

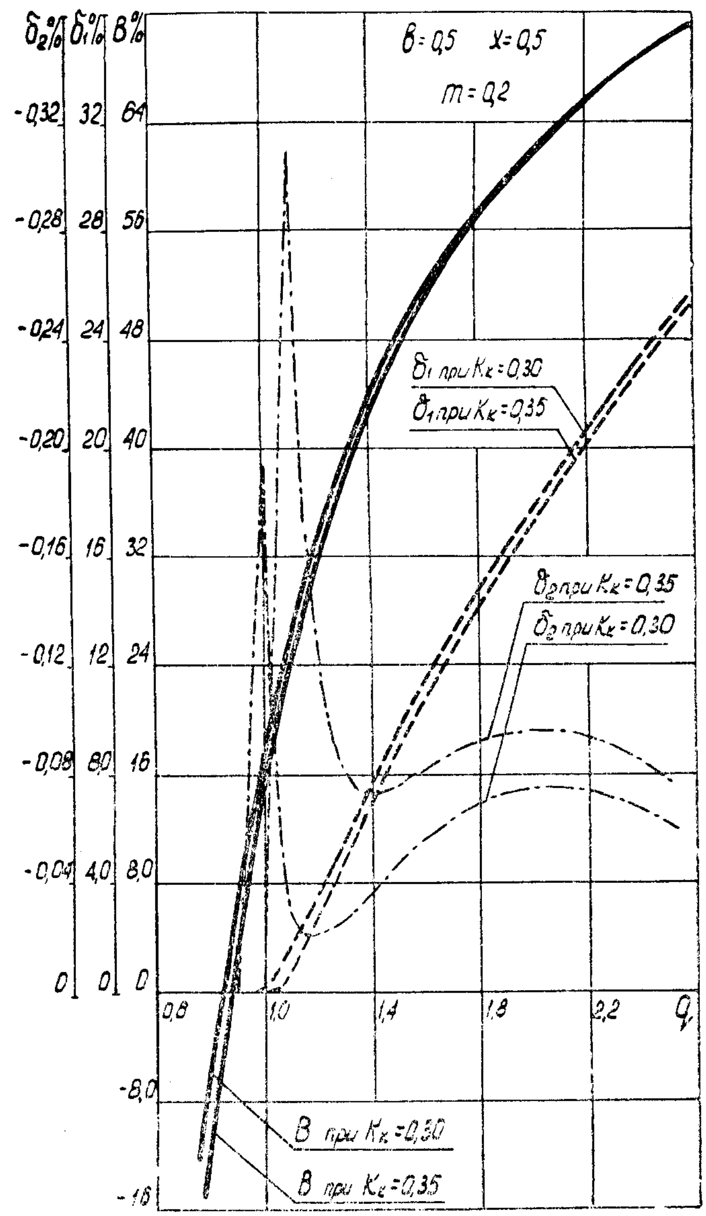

Рис. 8. Влияние подбора коэффициента $\kappa_к$ на форму графиков $в=0{,}5$ $x=0{,}5$ и $m=0{,}2$ при $B=f(q)$, $\delta_1=f(q)$ и $\delta_2=f(q)$

(так же, как заданы и исходные параметры b, x, и m), то для анализируемой схемы коррекции существует только одно сочетание значений коэффициентов коррекции, которые обеспечат минимальное время нарастания переходной характеристики.

Таким сочетанием, как указывалось выше (см. рис. 3), для $b=0{,}4$. $x=0{,}4$ и $m=0{,}2$ являются $q=1{,}12$ и $\kappa_к=0{,}35$. Дополнительные вычисления, проведенные для тех же значений b, x, m и $\kappa_к$, но при $q=1{,}15$ дали следующие результаты: $\delta_1=2{,}52\%$, $\delta_2=-0{,}55\%$, δ_3 практически равен нулю, $B=32{,}5\%$ и соответственно $Y=0{,}6639$. Несколько лучшие

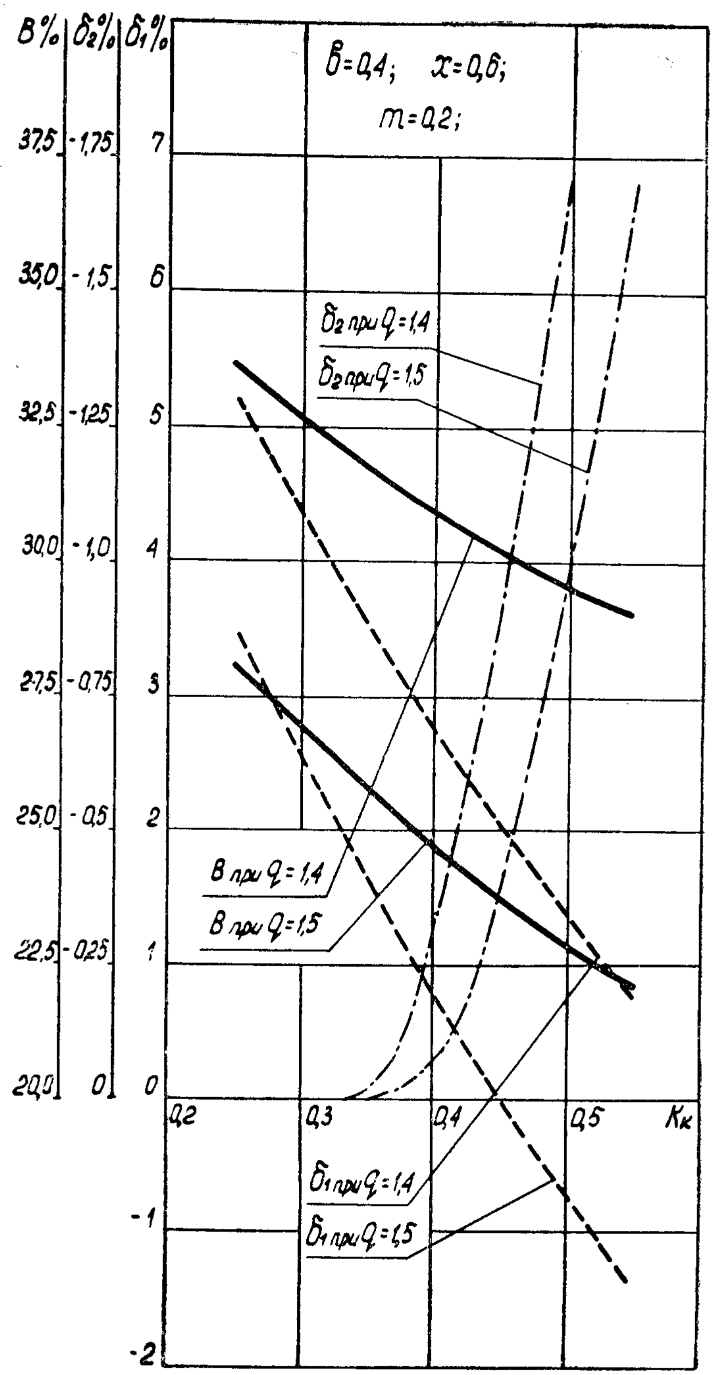

Рис. 9. Влияние варьирования коэффициентов $\kappa_к$ и q на величины выбросов и выигрыша, обеспечиваемого схемой

результаты получены для $m=0{,}04$ при тех же $b=0{,}4$, $x=0{,}4$, $\kappa_к=0{,}35$, но для $q=1{,}1$. Для этого варианта $Y=0{,}6438$, $\delta_1=1{,}88\%$, $\delta_2=-0{,}93\%$, $\delta_3=0$ и $В=36{,}7\%$. Рис. 7 своими графиками $\delta_1=f(q)$, $\delta_2=f(q)$, и $В=f(q)$ подтверждает это положение. На нем построены кривые для $m=0{,}04$ и $m=0{,}2$. Благодаря этому можно выяснить, как влияет изменение параметра m на переходную характеристику усилителя. Видим, что переход от $m=0{,}04$ к $m=0{,}2$ наиболее заметно отразился на величине В, особенно при малых допустимых выбросах, то есть в интервале значений q от 1,0 до 1,2. Величины выбросов δ_1 и δ_2 изменяются при этом не так сильно. Кроме того, на рис. 7 видно, что графики всех вышеуказанных зависимостей в интервале $q=1{,}0\div1{,}2$ имеют максимальную крутизну.

Как влияет подбор коэффициента $\kappa_к$ на форму графиков $В=f(g)$, $\delta_1=f(q)$ и $\delta_2=f(q)$ при $в=0{,}5$, $x=0{,}5$ и $m=0{,}2$, показывает рис. 8. Величина выигрыша наиболее сильно зависит от коэффициента $\kappa_к$ только в области своих отрицательных значений. Отрицательный выигрыш говорит о том, что каскад при $q<0{,}9$ становится хуже некорректированного. В области же значений В, представляющих практический интерес, наиболее сильному изменению при переходе от $\kappa_к=0{,}3$ к $\kappa_к=0{,}35$ подвержен второй выброс. Первый выброс и выигрыш при этом почти не меняется. Но это не значит, что введение коэффициента коррекции $\kappa_к$ привело только к появлению этого выброса. При варьировании этого коэффициента в бóльших, чем указано выше, пределах, (рис. 9), выигрыш тоже заметно изменяется. Но наиболее существенные изменения претерпевают выбросы δ_1 и δ_2. Причем δ_1, как и выигрыш, при увеличении $\kappa_к$ уменьшается, а δ_2 возрастает. Как видно из рис. 7, 8 и 9, появление второго выброса обусловлено не только величиной коэффициента $\kappa_к$, но и значениями параметра m и коэффициента коррекции q. В процессе исследования каскада с анализируемой схемой коррекции было выявлено, что на появление и величину второго выброса, а также на величины выигрыша и первого выброса оказывают такое же заметное влияние и параметры b и x. Поэтому для осуществления оптимальной коррекции необходимо при каждом конкретном сочетании параметров b, m и x подбирать вполне определенное сочетание коэффициентов коррекции. И, благодаря тому, что при введении коэффициента коррекции $\kappa_к$ первый выброс в процентном отношении уменьшается быстрее, чем выигрыш, а второй выброс появляется только при некотором значении $\kappa_к$ (рис. 9) и имеет на графиках $\delta_2=f(q)$ заметно выраженный минимум (рис. 7,8), выигрыш, даваемый каскадом с высокочастотной коррекцией контуром $L_кC_к\,R_к$, получается в отдельных случаях в два раза выше, чем при коррекции цепью $R_к\,C_к$. Особенно заметна эта разница при значениях $\delta_1<10\%$. Введение в каскад индуктивности $L_к$, естественно, несколько усложнило схему и ее настройку.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Катюхин. Коррекция в видеоусилителе. Техника кино и телевидения. № 10, 1965.
2. В. Е. Катюхин, В. М. Кирпичников. Усилитель со сложной коррекцией в катоде. Радиотехника (Изв. вузов, МВ и ССО СССР), т. IX, № 3, 1966.
3. И. А. Суслов, Д. И. Свирякин. Влияние временных изменений динамических проводимостей на характеристики усилителя видеочастоты с корректирующей емкостью в катодной цепи и параллельной индукивной коррекцией в цепи анода. Изв. ТПИ, том 105, 1960.
4. Д. И. Свирякин. К расчету каскада видеоусилителя с катодной коррекцией. Тр. ТИРиЭТА, том № 7, 1972.