

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ТРАЕКТОРИИ КОРНЕЙ

Ю. С. МЕЛЬНИКОВ, А. П. ПАРАМЗИН

(Представлена научным семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Как известно, для улучшения качества работы силовой следящей системы (ССС) может быть использована специальная корректирующая следящая система (КСС) [1, 2, 3]. В такой двухканальной следящей системе сигнал ошибки КСС подается на вход усилителя силовой системы (рис. 1). Ряд работ [1, 2 и др.] был посвящен исследованию условий компенсации ошибок в установившихся режимах при различных типовых воздействиях на входе двухканальной системы. Оказалось, что при соответствующем выборе параметров КСС удастся сравнительно легко компенсировать некоторые составляющие полной ошибки ССС, например, ошибки

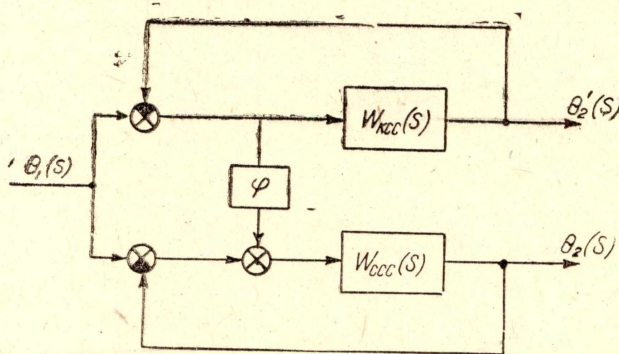


Рис. 1. Структурная схема двухканальной следящей системы

по первой и второй производным от задающего воздействия. Если принять передаточные функции ССС и КСС в разомкнутом состоянии соответственно равными

$$W_{\text{ccc}}(s) = \frac{K}{s(A_0s^2 + A_1s + 1)}, \quad (1)$$

$$W_{\text{kcc}}(s) = \frac{K_d}{s(As + 1)}, \quad (2)$$

тогда передаточная функция замкнутой ССС с учетом связи по ошибке КСС имеет вид

$$W(s) = \frac{\Theta_2(s)}{\Theta_1(s)} = \frac{K[s(As + 1)(1 + \varphi) + K_d]}{[s(A_0s^2 + A_1s + 1) + K] \cdot [s(As + 1) + K_d]}. \quad (3)$$

Условия компенсации ошибок ССС по первой и второй производным от задающего воздействия [3]:

$$\varphi = \frac{K_d}{K}, \quad A = A_1 + \frac{1}{K_d}. \quad (4)$$

В случае, когда поведение КСС в разомкнутом состоянии описывается уравнением третьего порядка, условия компенсации указанных ошибок остаются неизменными (4).

В [1] коротко рассматривался вопрос о динамических свойствах двухканальной системы, в частности, о возможности приближения качества работы ССС к качеству работы КСС. Было установлено, что одновременное удовлетворение требований компенсации ошибок по первой и второй производным от задающего воздействия и идентичности качества работы ССС и КСС невозможно, так как при этом получаются несовместные условия.

В работе одного из авторов [3] было отмечено, что при выборе параметров КСС только из условий компенсации некоторых составляющих ошибки ССС задача имеет неоднозначное решение. Действительно, оказывается возможным удовлетворить условия компенсации ошибок (4) при различных соотношениях параметров КСС. Было показано, что при синтезе параметров КСС необходимо учитывать не только выполнение условий (4), но и поведение системы в динамике.

Известно, что поведение любой динамической системы в переходных режимах однозначно определяется расположением полюсов и нулей ее передаточной функции на комплексной плоскости корней. Одним из наиболее эффективных корневых методов, который может быть использован при исследовании двухканальной следящей системы, является метод корневого годографа [4]. При исследовании движения корней по траекториям в зависимости от свободного параметра (например, коэффициента усиления ССС или КСС) для каждого множителя характеристического уравнения и полинома числителя передаточной функции (3) можно построить траектории. Таким образом, удается легко проследить движение основных полюсов (корней характеристического уравнения ССС) и вносимых нулей и полюсов КСС при изменении любых параметров ССС и КСС, т. е. проследить изменения динамических свойств системы в области устойчивости при условиях компенсации некоторых составляющих ошибки ССС.

Из выражения (3) видно, что на комплексной плоскости корней можно выделить три группы корней двухканальной следящей системы. Первая группа определяется уравнением

$$s(A_0s^2 + A_1s + 1) + K = 0, \quad (5)$$

вторая

$$s(As + 1) + K_d = 0, \quad (6)$$

а третья

$$s(As + 1) \cdot (1 + \varphi) + K_d = 0. \quad (7)$$

Траектории корней, построенные по уравнениям (6) и (7), совпадают. Разница лишь в том, что при равных действительных частях мнимые части нулей двухканальной системы меньше мнимых частей соответствующих полюсов КСС. В данной статье траектории нулей передаточной функции системы не приводятся.

При анализе семейств траекторий корней, построенных при различных фиксированных значениях параметров A_0 , A_1 и A , когда в качестве свободных параметров выбраны коэффициенты усиления ССС (K) и КСС (K_d), оказалось, что больший интерес представляют не сами траектории корней, а кривые, проведенные через точки траекторий, соответствующие постоянному значению коэффициента усиления (K или K_d). Далее эти кривые будем называть эквикоэффициентными.

На рис. 2 приведены траектории корней для различных A_1 и семейство эквикоэффициентных кривых, построенные по уравнению (5)

для $A_0 = 84 \cdot 10^{-5}$. Это значение A_0 , полученное для конкретной системы, при проведении исследований оставалось неизменным. Поскольку уравнение (5) имеет один вещественный и два комплексно-сопряженных корня, достаточно было рассмотреть траектории одного из комплексно-сопряженных корней. При этом влияние вещественного корня на поведение системы всякий раз оценивалось.

Из рис. 2 видно, что полюса характеристического уравнения ССС для различных значений A_1 и K расположены в секторе, ограниченном осями координат и дугой окружности радиусом $R = \sqrt{\frac{1}{A_0}}$. Эта окружность является геометрическим местом начальных точек траекторий корней для различных значений A_1 и $K=0$.

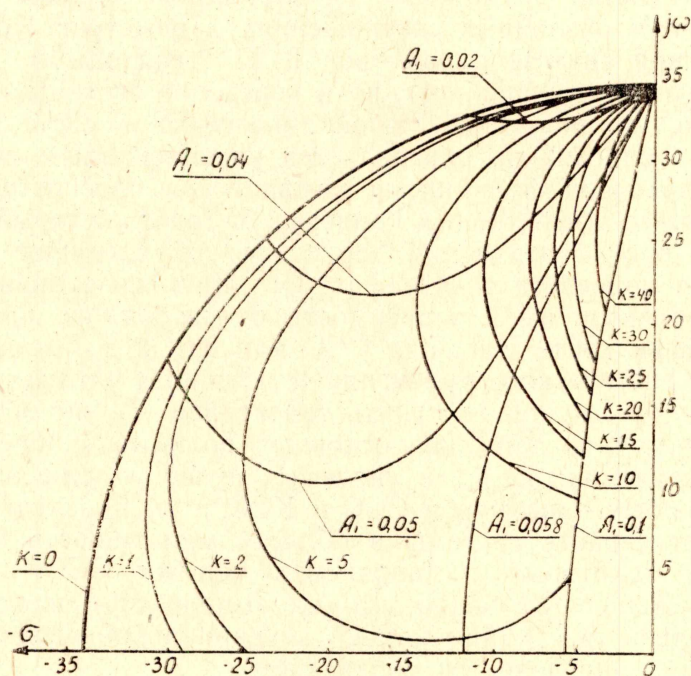


Рис. 2

При построении траекторий полюсов КСС по уравнению (6) учитывалось выполнение условий (4) компенсации ошибок ССС, поэтому для удобства использования на рис. 3 проведены кривые, соединяющие точки корневых годографов, соответствующие $A_1 = \text{const}$. Кроме того, построено семейство эквикоэффициентных кривых для значений K_g , равных значениям K эквикоэффициентных кривых рис. 2. Каждая эквикоэффициентная кривая (рис. 3) есть дуга окружности радиусом, равным коэффициенту усиления, которому соответствует данная кривая. Все окружности проходят через начало координат и имеют центры, расположенные на вещественной оси. Отмеченное обстоятельство существенно упрощает построение семейства эквикоэффициентных кривых для КСС.

Участки траекторий корней уравнения (6) при выполнении условий компенсации ошибок ССС (4) расположены в секторе, ограниченном осью ординат и прямой линией, соответствующей $A_1 = 0$. Угол между этой прямой и осью ординат равен 30° .

Все отмеченное выше относительно траекторий корней уравнения (6) справедливо и для траекторий нулей, построенных по уравне-

нию (7). В этом случае радиусы окружностей равны $\frac{K_d}{1+\varphi}$, а линия, соответствующая $A_1=0$, расположена под углом β к мнимой оси, где

$$\beta = \text{arctg} \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{1+\varphi} - 1}} \quad (8)$$

Относительно узкий сектор возможного расположения полюсов характеристического уравнения КСС при малом значении ее декремента затухания указывает на то, что КСС будет оказывать существенное влияние на поведение ССС в переходных процессах. Это усугубляется еще тем, что вносимые нули системы расположены достаточно близко к началу координат, что может приводить к значительному увеличению перерегулирования в ССС. Попытка синтезировать параметры КСС таким образом, чтобы вносимые нули компенсировали комплексно-сопряженные полюса ССС, т. е., чтобы качество ССС было эквивалентно качеству КСС, была безуспешной. Это еще раз подтвердило результаты, полученные в [1]. Следовательно, при синтезе параметров двухканальной следящей системы нужно выбирать, по возможности, такое положение основных полюсов ССС и вносимых полюсов и нулей КСС в пределах, полученных на рис. 2 и 3 ограниченных зон, чтобы наряду с выполнением условий компенсации ошибок получить удовлетворительное поведение системы в переходных режимах.

Для оценки влияния положения корней КСС на поведение ССС на аналоговой вычислительной машине проведена серия опытов, в которых для ряда фиксированных положений основных корней ССС при изменении положения вносимых корней КСС и выполнении условий (4) были сняты осциллограммы переходных процессов при скачкообразном задании входного угла. В данную статью включена лишь часть полученных экспериментальных данных. На рис. 4 приведены зависимости относительно увеличения перерегулирования ССС ($\delta_{дсс}$) при введении сигнала ошибки КСС ($\frac{\delta_{дсс}}{\delta_{ксс}}$) от $\Delta\varphi$ для различных положений основных корней ССС, где

$$\Delta\varphi = \varphi_{осн} - \varphi_{внос},$$

$$\varphi_{осн} = \text{arctg} \frac{\sigma}{\omega} \quad \text{— для основного полюса ССС,}$$

$$\varphi_{внос} = \text{arctg} \frac{\sigma}{\omega} \quad \text{— для вносимого полюса КСС.}$$

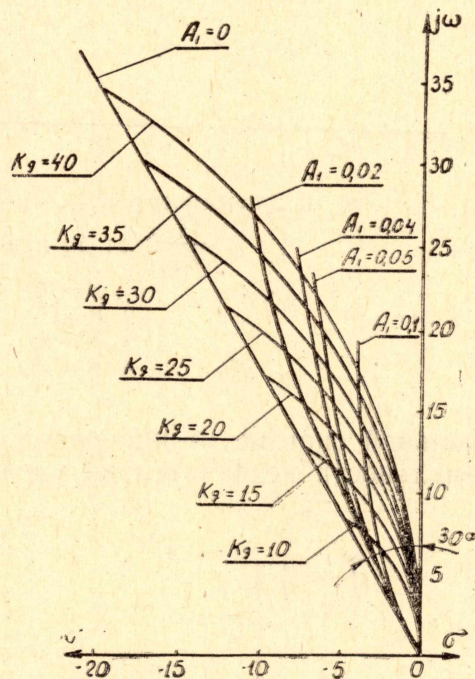


Рис. 3

Из рис. 4 видно, что при фиксированном положении полюса ССС и перемещении полюса КСС отношение $\left(\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}\right) \approx \text{const}$, т. е. наблюдается пропорциональная зависимость перерегулирования ССС в двух-

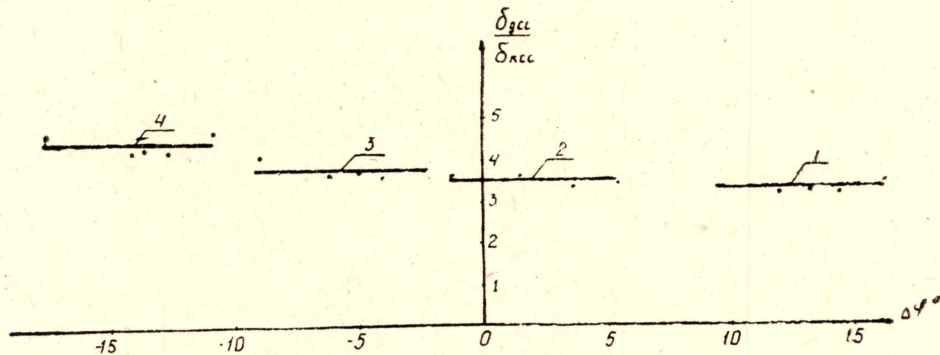


Рис. 4. Зависимости относительно увеличения перерегулирования

$\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}$ от $\Delta\varphi$ при $A_1 = 0,04$

- | | |
|------------|-------------------------------|
| 1. $K=10,$ | $\delta_{\text{ссс}} = 5\%,$ |
| 2. $K=15,$ | $\delta_{\text{ссс}} = 15\%,$ |
| 3. $K=20,$ | $\delta_{\text{ссс}} = 25\%,$ |
| 4. $K=30,$ | $\delta_{\text{ссс}} = 57\%.$ |

канальной системе от перерегулирования КСС. Коэффициент пропорциональности незначительно увеличивается при увеличении перерегу-

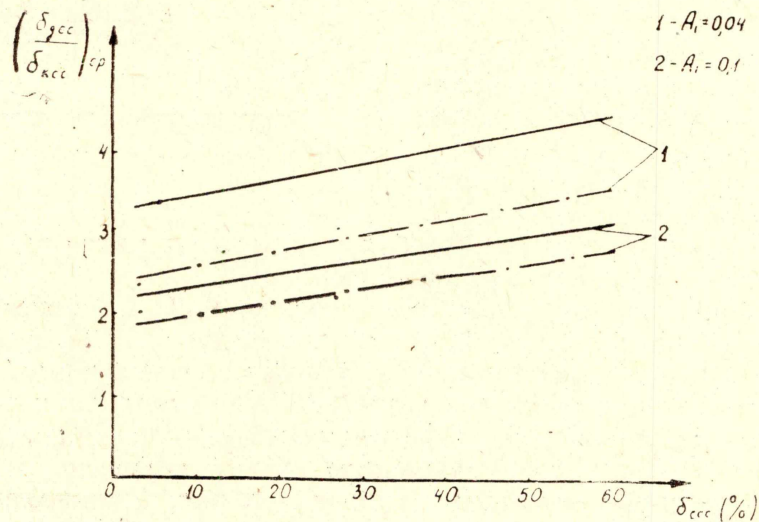


Рис. 5. Зависимости среднего относительного увеличения перерегулирования $\left(\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}\right)_{\text{ср}}$ от перерегулирования ССС

— для $W_{\text{ксс}}(s) = \frac{K_{\text{д}}}{s(As+1)},$

- - - для $W_{\text{ксс}}(s) = \frac{K_{\text{д}}}{s(As^2+Bs+1)}$

лирования исходной ССС, т. е. при уменьшении ее декремента затухания. Для иллюстрации этого на рис. 5 приведены зависимости усред-

ненного относительного увеличения перерегулирования ССС $\left(\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}\right)_{\text{ср}}$ от перерегулирования исходной ССС. Значение $\left(\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}\right)_{\text{ср}}$ определялось по характеристикам $\left(\frac{\delta_{\text{дсс}}}{\delta_{\text{ксс}}}\right) = f(\Delta\varphi)$ для каждого $\delta_{\text{ссс}} = \text{const}$.

Из рис. 5 следует, что увеличение перерегулирования ССС при введении сигнала ошибки КСС в основном определяется перерегулированием КСС и в значительно меньшей степени зависит от перерегулирования исходной ССС. Увеличение перерегулирования ССС при использовании КСС третьего порядка несколько меньше, чем при КСС второго порядка.

Полученные результаты будут использованы при разработке методики синтеза двухканальных следящих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Новоселов. К вопросу улучшения качества силовой следящей системы сигналом по ошибке специальной корректирующей системы. «Электричество», № 8, 1966.
2. Б. В. Новоселов. О построении одного типа силовой следящей системы комбинированного регулирования. «Автоматика и телемеханика», № 12, 1967.
3. Ю. С. Мельников, А. А. Звонцов. Некоторые вопросы улучшения качества работы объединенных следящих систем. Известия ТПИ, т. 208 (в печати).
4. Г. А. Бендриков, В. И. Огородникова. Исследование трехканальной системы автоматического управления с антисимметричными перекрестными связями методом траектории корней. «Автоматика и телемеханика», № 9, 1968.