

## АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХКАНАЛЬНОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ С ДИНАМИЧЕСКИМ ВЗАИМОВЛИЯНИЕМ КАНАЛОВ

*Н.Н.Ляпа, адъюнкт*

*(Сумский военный институт артиллерии)*

Актуальной задачей автоматического управления является повышение точности следящих систем в широком диапазоне регулирования скоростей вращения нагрузки, вплоть до нулевой активной скорости.

Повышение точности следящих систем рассмотрено в работе [3]. Отмеченные в этой работе два полезных качества двухканальных следящих систем (ДСС) - высокая динамическая точность и широкий диапазон плавно изменяемых угловых скоростей - являются характеристиками установившегося режима работы. Вместе с тем, для систем углового сопровождения не менее важным является обеспечение высоких показателей качества переходных процессов, и, в первую очередь, уменьшение времени регулирования и величины перерегулирования. Поведение ДСС в переходных режимах имеет свои особенности, отрицательно влияющие на показатели качества её переходных процессов. В реальных системах с механическим дифференциалом всегда имеется взаимовлияние между силовыми частями каналов. Это взаимовлияние проявляется в силах реакции, действующих на солнечные колёса дифференциала со стороны сателлитов, на которые, в свою очередь, воздействует возмущающий момент со стороны другого канала и нагрузки.

Для оценки зависимости устойчивости ДСС от взаимовлияния каналов рассмотрим систему рисунка 1.

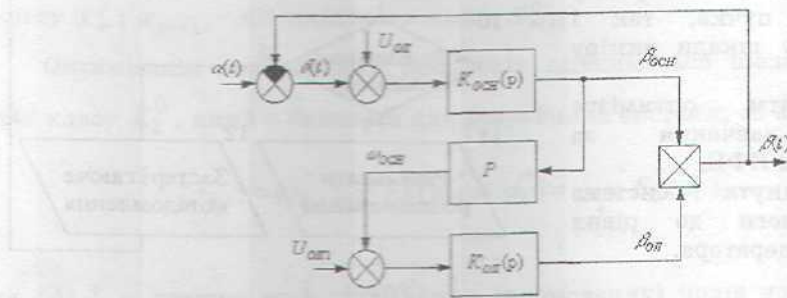


Рисунок 1

Пусть  $U_{on} = U_{on1} = 0$ ,  $K_{osc}(p) = K_1(p)$ ,  $K_{on}(p) = K_2(p)$ , и передаточные функции (ПФ) каналов описаны выражениями:

$$K_{osc}(p) = \frac{K_{osc}}{(T_{osc}p + 1)p}, \quad K_{on}(p) = \frac{K_{on}}{(T_{on}p + 1)p}. \quad (1)$$

Для системы рисунка 1 с учётом взаимовлияния каналов можно записать:

$$\begin{aligned} \beta_1(t) &= K_1(p)[\alpha(t) - \beta(t) + B'_1(p)M_{B1}(t)], \\ \beta_2(t) &= K_2(p)[p\beta_1(t) + B'_2(p)M_{B2}(t)], \end{aligned} \quad (2)$$

Те функции  $B_1(p)$  и  $B_2(p)$  характеризуют влияние возмущающих моментов  $M_{B1}(t)$  и  $M_{B2}(t)$  на соответствующие каналы ДСС. Учитывая, что

$$\begin{aligned} M_{B1}(t) &= M_B(t) - I_H p^2 \beta_2(t) = 2F_1 R, \\ M_{B2}(t) &= M_B(t) - I_H p^2 \beta_1(t) = 2F_2 R, \end{aligned} \quad (3)$$

вводя обозначения

$$\begin{aligned} B_1(p) &= I_H p^2 B'_1(p), \\ B_2(p) &= I_H p^2 B'_2(p), \end{aligned} \quad (4)$$

систему уравнений (2) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \beta_1(t) &= K_1(p)[\alpha(t) - \beta(t) - B_1(p)\beta_2(t) + B'_1(p)M_B(t)], \\ \beta_2(t) &= K_2(p)[p\beta_1(t) - B_2(p)\beta_1(t) + B'_2(p)M_B(t)]. \end{aligned} \quad (5)$$

В системах уравнений (2) и (5):  $K_1(p)$  и  $K_2(p)$  - ПФ автономных каналов ДСС (рис. 1), найденные для каждого канала при заторможенном выходном вале другого канала; функции  $B_1(p)$  и  $B_2(p)$  характеризуют динамическое влияние каналов друг на друга. Таким образом, в рассматриваемой ДСС каналы связаны между собой через момент инерции нагрузки (объекта регулирования).

При отсутствии внешнего возмущающего момента ( $M_B(t)=0$ ) и наличии взаимовлияния между каналами из системы рисунка 1 можно получить взаимосвязанную ДСС, описанную уравнениями (5) и изображенную на рисунке 2.

Для устойчивости данной системы в целом недостаточно, чтобы каждый канал в автономном состоянии был устойчив, поскольку динамическое влияние каналов друг на друга может сделать ДСС неустойчивой. Покажем это на системе рисунка 2. ПФ  $B_1(p)$  и  $B_2(p)$  рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} B_1(p) &= \frac{I_H}{i_1^2 (I_{\partial 1} + \frac{I_H}{i_1^2})} p^2 T_1 B_H, \\ B_2(p) &= \frac{I_H}{i_2^2 (I_{\partial 2} + \frac{I_H}{i_2^2})} p^2 T_2 B_H, \end{aligned} \quad (6)$$



где  $B_H$  - коэффициент, равный в рассматриваемом случае единице.

Формулы (6) упрощаются при  $\frac{I_H}{i_2} \gg I_\partial$ , что соответствует существенному влиянию каналов ДСС друг на друга:

$$\begin{aligned} B_1(p) &= T_1 p^2, \\ B_2(p) &= T_2 p^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Влиянием первого канала на второй можно пренебречь по следующим причинам. Во-первых, инерционность первого канала (постоянная времени) в несколько раз меньше, чем второго, опорного, так как первый, основной канал должен обеспечивать передачу высокочастотной части спектра задающего воздействия; во-вторых, паразитная связь первого канала со вторым частично скомпенсирована скоростной положительной связью с ПФ  $K(p) = p$ . Поэтому при дальнейшем анализе будем полагать  $B_2(p) = 0$ .

Найдём ПФ ДСС со связью  $B_1(p)$  в разомкнутом состоянии  $K_P(p)$ . Для этого запишем для выходных величин каналов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , используя выражения (5):

$$\beta_2(p) = K_1(p)K_2(p)\theta(t) - K_1(p)K_2(p)B_1(p)B_2(t), \quad (8)$$

$$\beta_2(t) = \frac{K_1(p)K_2(p)}{1 + K_1(p)K_2(p)pB_1(p)} \theta(t), \quad (9)$$

$$\beta_1(t) = [K_1(p) - \frac{K_1^2(p)K_2(p)pB_1(p)}{1 + K_1(p)K_2(p)pB_1(p)}] \theta(t), \quad (10)$$

$$\beta(t) = \beta_1(t) + \beta_2(t) = \frac{K_1(p) + K_1(p)K_2(p)p}{1 + K_1(p)K_2(p)pB_1(p)} \theta(t), \quad (11)$$

$$K_P(p) = \frac{K_1(p) + K_1(p)K_2(p)p}{1 + K_1(p)K_2(p)pB_1(p)} = K_{P_0} \frac{1}{1 + K_1(p)K_2(p)pB_1(p)}, \quad (12)$$

где  $K_{P_0}(p)$  - ПФ ДСС в разомкнутом состоянии без взаимовлияния между каналами.

Покажем, каким образом связь с ПФ  $B_1(p)$  влияет на устойчивость ДСС. Пусть

$$K_1(p) = \frac{D_1(p)}{F_1(p)}, \quad K_2(p) = \frac{D_2(p)}{F_2(p)}, \quad B_1(p) = \frac{V_1(p)}{Q_1(p)}. \quad (13)$$

Используя соотношения (13), перепишем (12) в виде

$$K_P(p) = \frac{Q_1(p)[D_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)P]}{F_1(p)F_2(p)Q_1(p) + D_1(p)D_2(p)V_1(p)P} = \frac{D(p)}{F(p)}. \quad (14)$$

ПФ ДСС в замкнутом состоянии:

$$K_B(p) = \frac{D(p)}{F(p) + D(p)} = \frac{Q_1(p)[D_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)P]}{F_1(p)F_2(p)Q_1(p) + D_1(p)D_2(p)V_1(p)P + Q_1(p)[D_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)P]}. \quad (15)$$

Числитель  $V_1(p)$  и знаменатель  $Q_1(p)$  ПФ связи  $B_1(p)$  входят в характеристический полином  $F(p) + D(p)$  замкнутой ДСС в виде множителей слагаемых, т.е. не являются общими множителями знаменателя (15). Это приводит к изменению расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости, что, в свою очередь, влияет на устойчивость ДСС. Естественно ожидать, при определённых параметрах каналов  $K_1, K_2, T_1, T_2$ , потерю системой устойчивости из-за силового влияния второго канала на первый. Даже если ДСС со связью  $B_1(p)$  будет устойчива, то показатели качества её переходного процесса (время регулирования, перерегулирования) могут превышать допустимые пределы. В любом случае, когда выполняются следующие условия:

- жёсткость механических характеристик приводов (каналов ДСС) незначительна, и в пределах номинальных моментов вращения двигателей влиянием нагрузки и приводов друг на друга пренебречь нельзя;

- приведенный к валу двигателей момент инерции нагрузки значительно превышает моменты инерции роторов двигателей:

$$\frac{I_H}{i_{1,2}^2} \gg I_{дв1,2}, \quad (16)$$

т.е. когда каналы ДСС неавтономны, паразитные связи между ними затягивают переходный процесс, приводят к увеличению его колебательности.

Исследование динамического взаимовлияния каналов ДСС, а также зависимости её динамики от изменения соотношения параметров каналов показало, что эти факторы влияют на устойчивость системы, а следовательно, на показатели качества её переходного процесса. Анализ требований, предъявляемых к быстродействию систем автосопровождения по углу, приводит к постановке задачи получения переходного процесса, близкого к монотонному и заканчивается за время, не больше заданного. Эта задача приближается по своему содержанию к задачам оптимального управления. Поэтому дальнейшие исследования, направленные на выбор и обоснование способа коррекции динамических свойств ДСС в переходном режиме, близкого к оптимальному по быстродействию управлению, являются важной и актуальной задачей.

## SUMMARY

*This article is oriented forward to the problem of mathematical analysis of dynamical interworking channels of two-channel follow-up system. Touching upon the problem of interworking channels of dynamical research of two-channel follow-up system, this article devotes considerable more attention to facts which influence to automatic stability and quality index.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осмоловский П.Ф. Итерационные многоканальные системы автоматического управления. - М.: Сов.радио, 1969. - 256с.
2. Зайцев Г.ф. Теория автоматического управления и регулирования. -2-е изд., перераб. и доп. - К.: Выща шк. Головное издательство, 1989. - 431с.
3. А.Н. Кобяков, Н.Н. Ляпа. Двухканальные следящие системы как разновидность комбинированных систем // Вісник Сумського державного університету, 1999. - №1(12). - С. 96-99.

Поступила в редколлегию 27 января 1999 г.