Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XX, вып. 1, 1976 г.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД СИНТЕЗА САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПРИ УПРУГИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ

А.С.СОЛОВЬЕВ

Формирование ускорений и динамических моментов в электроприводах с подчиненным регулированием приводит к тому, что упругие деформации в элементах трансмиссии начинают существенно сказываться на законе движения выходного (исполнительного) вала. Поэтому углубленному изучению динамики электромеханических систем, включающих упругие связи, уделяется особое внимание [2]. Динамика таких электроприводов исследуется с помощью логарифмических частотных характеристик, на основании которых определяются коэффициенты обратных связей (ОС) и передаточные функции корректирующих звеньев, обеспечивающих оптимизацию переходных процессов [1, 2, 3].

Синтез САУ по заданным показателям переходного процесса рассматривается исходя из типовых уравнений [4, 5]. В качестве базовой принята система электропривода с подчиненным регулированием (рис.1), содержащего упругий элемент (УЭ). Принятые обозначения: $k_м$ и T_μ – передаточный коэффициент и постоянная времени контура регулирования момента электропривода; J_1 и J_2 – моменты инерции маховых масс до и после УЭ; c – жесткость УЭ; $U_з$ – сигнал заданной скорости; M_{c1} и M_{c2} – моменты сопротивления, приложенные до и за УЭ; ω_1 и ω_2 – скорости масс J_1 и J_2; k_{c1} и k_{c2} – коэффициенты обратных связей по скорости ω_1 и ω_2; $W_{1гос}(p)$ и $W_{2гос}(p)$ – передаточные функции гибких ОС по скорости ω_1 и ω_2; $W_{р.с}(p)$ – передаточная функция регулятора скорости.

Рассмотрим систему только с жесткой ОС по скорости ω_1, т.е. положим $W_{1гос}(p) = W_{2гос}(p) = k_{c2} = 0$. Если принять пропорциональный регулятор скорости, т.е. $W_{р.с}(p) = k_{р.с\infty}$, а также пренебречь инерционностью контура регулирования момента ($T_\mu = 0$) [2], то передаточная функция по управляющему сигналу

$$W_y(p) = \frac{\Delta\omega_2(p)}{\Delta U_з(p)} = \frac{k_{c1}^{-1}}{J_\Sigma T_{12}^2 k^{-1} p^3 + \gamma T_{12}^2 p^2 + J_\Sigma k^{-1} p + 1}, \qquad (1)$$

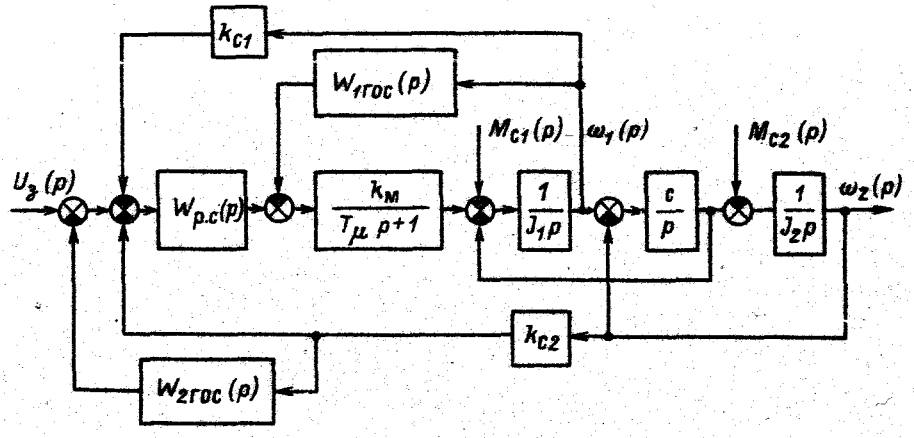


Рис. 1. Структурная схема исследуемого электропривода

где

$$J_\Sigma = J_1 + J_2 ; \quad T_{12} = \left[J_1 J_2 c^{-1} (J_1 + J_2)^{-1}\right]^{0,5} ;$$

$$\gamma = (J_1 + J_2) J_1^{-1} ; \quad k = k_м k_{c1} k_{р.с} .$$

Чтобы переходные процессы в системе удовлетворяли критерию технического оптимума, необходимо характеристический полином [5] привести к виду

$$A(p) = a^3 p^3 + 1{,}75 a^2 p^2 + 2{,}15 a p + 1 . \qquad (2)$$

Легко показать, что такое условие удовлетворяется при

$$\gamma = 3{,}76; \qquad k_{рс} = 0{,}316 J_\Sigma \Omega_{12} ,$$

где $\Omega_{12} = T_{12}^{-1}$ – собственная частота двухмассовой системы.

Как видно, при $\gamma = 3{,}76$ оптимизации переходного процесса можно добиться только за счет соответствующей настройки регулятора скорости. В этом смысле указанную величину можно назвать оптимальной, обозначив ее $\gamma_{опт}$ [2]. Если $\gamma > \gamma_{опт}$, то необходима дополнительная корректирующая связь, в качестве которой может быть принята гибкая ОС по скорости, действующая на вход контура регулирования момента. Считая дифференцирующее звено идеальным, т.е.

$$W_{1гос}(p) = T_c(p) , \qquad (3)$$

получим при прежних остальных допущениях

$$W_у(p) = \frac{k_{c1}^{-1}}{J_{1\Sigma} T_{112}^2 k^{-1} p^3 + \gamma_1 T_{112}^2 p^2 + J_{1\Sigma} k^{-1} p + 1} , \qquad (4)$$

где

$$J_{1\Sigma} = (J_1 + k_M T_C) + J_2 \; ; \; \gamma_1 = (J_1 + k_M T_C + J_2)(J_1 + k_M T_C)^{-1} ;$$

$$T_{1\,12} = (J_2 c^{-1} \gamma_1^{-1})^{0,5} .$$

Как видно из полученных формул, введение данной корректирующей связи снижает величину γ_1, так как

$$\gamma_1 = 1 + \frac{J_2}{J_1 + k_M T_C} , \qquad (5)$$

позволяя довести ее до оптимального значения. Предполагая в выражении (5) $\gamma_1 = \gamma_{опт}$, получим требуемый параметр настройки гибкой ОС

$$T_C = \frac{J_1 (\gamma - \gamma_{опт})}{k_M (\gamma_{опт} - 1)} , \qquad (6)$$

что совпадает с имеющимся выводом [2].

Рассмотрим более сложный пример электропривода с гибкой ОС по скорости ω_1, сигнал которой подается в контур регулирования момента, и жесткой ОС по ω_2. Соответствующая этому случаю структурная схема может быть получена из рис.I, если принять $W_{2гос}(p) = k_{c1} = 0$. Учтем также, что дифференцирующее звено является реальным, т.е.

$$W_{1гос}(p) = \frac{k_{гос} T_C p}{T_C p + 1} . \qquad (7)$$

Тогда передаточная функция по управлению

$$W_у(p) = \frac{k_M (T_C p + 1) W_{р.с}(p)}{\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} T_1^2 p^2 + 1\right)(T_\mu' p + 1)\gamma J_1 p + k J_1 \left[(\gamma - 1) T_1^2 p^2 + 1\right] p + k_M k_{c2} (T_C p + 1) W_{р.с}(p)} , \qquad (8)$$

где

$$T_1 = (J_1 c^{-1})^{0,5} ; \quad k = k_M k_{гос} T_C J_1^{-1} ;$$

$$T_\mu' = T_\mu + T_C .$$

Величиной $T_\mu T_C$ пренебрегаем ввиду ее малости.

Если принять

$$W_{р.с}(p) = \frac{k_{р.с}}{k_M k_{c2} (T_C p + 1)} ,$$

то выражение (8) примет вид

$$W_у(p) = \frac{k_{c2}^{-1}}{J_1 T_1^2 T_\mu' (\gamma - 1) k_{р.с}^{-1} p^4 + J_1 T_1^2 (\gamma - 1)(1 + k) k_{р.с}^{-1} p^3 + J_1 T_\mu' \gamma k_{р.с}^{-1} p^2 + J_1 (\gamma + k) k_{р.с}^{-1} p + 1} . \qquad (9)$$

Для получения переходного процесса, отвечающего критерию технического оптимума, характеристический полином должен отвечать типовому уравнению [5]

$$a^4 p^4 + 2{,}1 a^3 p^3 + 3{,}4 a^2 p^2 + 2{,}7 a p + 1 , \qquad (10)$$

откуда

$$k_{pc} = 0{,}326 J_1 \sqrt{(\gamma + k)^3 \left[(\gamma - 1)(1 + k) T_1^2\right]^{-1}} ;$$

$$T_c = 1{,}43 \gamma^{-1} \sqrt{(\gamma - 1)(1 + k)(\gamma + k) T_1^2} - T_\mu ;$$

$$k_{гос} = 1{,}64 \gamma J_1 \left[(\gamma - 2{,}64) k_м T_c\right]^{-1} .$$

Как видно из осциллограммы на рис.2, качество переходного процесса вполне удовлетворительное. Фильтр вида $\frac{1}{T_c p + 1}$, имеющийся в регуляторе скорости и в канале гибкой ОС, ограничивает темп изменения тока I и момента в упругом элементе $M_{уз}$, сглаживая переходный процесс. Очевидно, значение T_c должно быть соизмеримо со значением T_{12}, что и подтверждается расчетами.

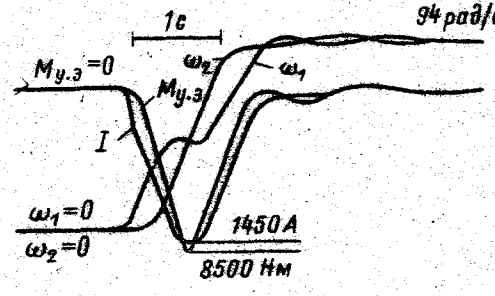


Рис.2. Осциллограмма пуска электропривода с гибкой ОС по скорости ω_1 при $\gamma = 5$

Данная настройка реализуется при условии $\gamma > 2{,}64$ $(J_2 > 1{,}65 J_1)$, что возможно в приводах достаточно инерционных механизмов. При меньших значениях изменение скорости массы J_2 мало сказывается на скорости ω_1, вследствие чего действие гибкой обратной связи по скорости ω_2 неэффективно. Гибкая связь, выравнивая скорость двигателя, снижает коэффициент электромеханической связи; это не позволяет реализовать демпфирующие свойства электропривода.

Из осциллограммы, представленной на рис.3, видно, что в приводе возникают слабозатухающие колебания скорости ω_2, причем включение гибкой обратной связи (ГОС) препятствует демпфированию.

Рассмотрим коррекцию электропривода с помощью гибкой ОС по ω_2. Структурная схема для этого случая может быть получена из рис.1, если принять $k_{c1} = W_{1гос}(p) = 0$. Считая гибкую ОС реальным звеном с передаточной функцией (7) и приняв пропорциональный регулятор скорости с коэффициентом передачи $k_{рс}$, получим передаточную функцию по управлению

$$W_y(p) = \frac{k_{c2}^{-1}}{\frac{T'_\mu (\gamma - 1) J_1 T_1^2}{k} p^4 + \frac{(\gamma - 1) J_1 T_1^2}{k} p^3 + \frac{T'_\mu \gamma J_1}{k} p^2 + \left(\frac{\gamma J_1}{k} + k_{гос} T_c + T_c\right) p + 1} , \qquad (11)$$

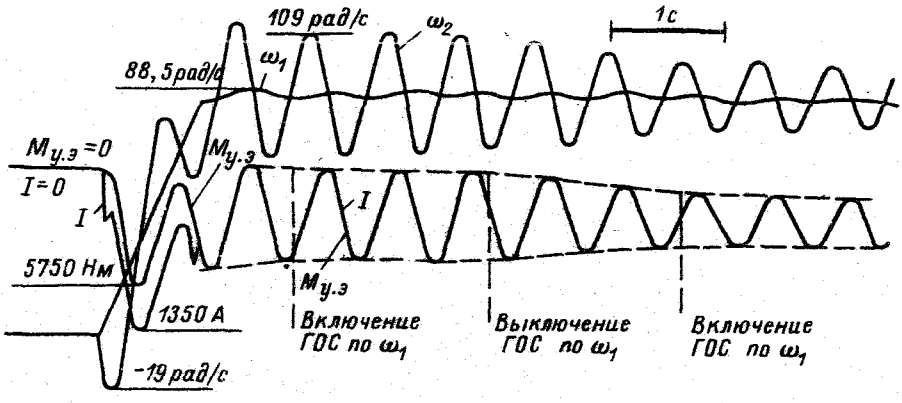


Рис.3. Влияние гибкой ОС по скорости ω_1 на динамику электропривода при $\gamma = 1,5$

где

$$k = k_{р.с}\, k_{м}\, k_{с2} .$$

Чтобы характеристический полином этой передаточной функции удовлетворял виду (10), необходима следующая настройка:

$$T_c = 0,87T_{12} - T_\mu ; \quad k_{р.с} = \frac{0,0755\gamma J_1}{T_{12}\, k_м\, k_{с2}} ; \quad k_{гос} = -\left(1 + 8,3\frac{T_{12}}{T_c}\right) .$$

Знак минус означает, что гибкая ОС по скорости ω_2 должна быть положительной. Переходный процесс для этого случая иллюстрирует осциллограмма (рис.4).

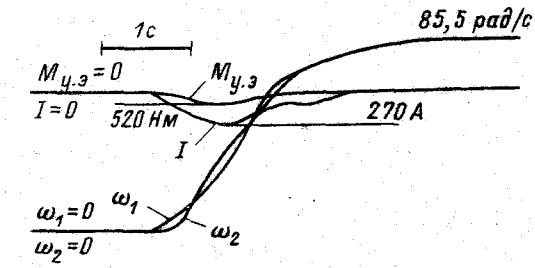


Рис.4. Осциллограмма коррекции электропривода при положительной гибкой ОС по ω_2

Требованию положительной гибкой ОС по скорости может быть дано следующее объяснение. Если при ускорении массы J_2 под действием внешних сил масса J начнет замедляться, то это приведет к увеличению деформации УЭ, увеличению запаса потенциальной энергии деформации в нем и усилению колебаний. Наоборот, если массе J_1 также сообщить некоторое ускорение, то запас потенциальной энергии в УЭ не будет значительно возрастать, что приведет к успокоению колебаний.

Метод типовых уравнений дает возможность достаточно просто определять настройку регуляторов САУ, исследовать условия и границы применимости того или другого метода коррекции динамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борцов Ю.А., Бычков А.Н. Обобщенные оценки влияния упругих звеньев на динамику электроприводов и настройку унифицированных систем. – „Электротехническая промышленность". Серия „Электропривод", вып. 7 (24). М., изд. Информэлектро, 1973.

2. Динамика автоматизированного электропривода с упругой механической связью. – „Электричество", 1973, № 3. Авт.: В.И.Ключев, В.И.Яковлев, Л.Я.Теличко, А.Л.Усманов, Ю.А.Борцов, Г.Г.Соколовский.

3. Коррекция САР электроприводов секций бумагоделательных машин. – Тр.СЗПИ, вып. 26. Л., 1974. Авт.: В.Д.Барышников, Б.П.Красильников, В.Ю.Кренц, Н.И.Чичерин, В.М.Шестаков, А.В.Шабарова.

4. Проектирование инвариантных следящих приводов. М., „Высшая школа", 1963. Авт.: В.Н.Яворский, А.А.Бессонов, А.И.Коротаев, А.М.Потапов.

5. Рудаков В.В., Мартикайнен Р.П. Синтез электроприводов с последовательной коррекцией. Л., „Энергия", 1972.

Л Г П
Библиотека

115633