

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

УДК681.5.017(045)

А. К. Аблесимов, канд. техн. наук, проф.

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Рассмотрены принципы построения последовательных форсирующих контуров и преобразования ими сигналов управления автоматических систем.

Вступление и постановка задачи. Для придания системам автоматического управления (САУ) необходимых показателей качества в их состав вводятся специальные корректирующие устройства. Необходимость корректирующих устройств может быть обусловлена и тем, что исходная система неработоспособна вследствие своей структурной неустойчивости.

Корректирующие устройства делятся на параллельные и последовательные.

Параллельное корректирующее устройство, или дополнительная обратная связь, связывает выход какого-либо элемента системы с его входом или с входом одного из предыдущих элементов и обеспечивает необходимое изменение динамических свойств звеньев, охваченных ею. При этом обратная связь может быть жесткой или гибкой. Выбором соответствующей обратной связи и ее параметров можно обеспечить требуемое изменение динамических свойств звена или цепочки звеньев. Поскольку введение жестких отрицательных обратных связей сопровождается не только уменьшением коэффициента усиления системы, но и уменьшением запасов ее устойчивости, более целесообразно вводить гибкие обратные связи.

Параллельные корректирующие устройства получили весьма широкое применение в системах автоматического управления. Однако их недостатком является необходимость обеспечения в предварительном усилителе большого коэффициента усиления, а также сравнительная сложность некоторых элементов, обеспечивающих введение корректирующих обратных связей.

Последовательные корректирующие устройства включаются непосредственно в прямую цепочку элементов САУ. Они обеспечивают дополнительное преобразование управляющего сигнала, не изменяя динамических свойств звеньев.

Последовательные корректирующие устройства с позиций технической реализации обладают некоторым преимуществом по сравнению с параллельными. В ряде случаев они могут быть осуществлены в виде простых пассивных контуров. Вместе с тем эффективность их действия существенно зависит от стабильности параметров и характеристик элементов системы.

В схемах электронных усилителей САУ получили применение последовательные корректирующие устройства, обеспечивающие желаемый характер изменения амплитуды и фазы суммарного сигнала управления исполнительными приводами.

Последовательный форсирующий контур (ПФК) используется для введения в закон регулирования производной от сигнала управления. Электрическая и структурная схемы контура показаны на рис. 1.

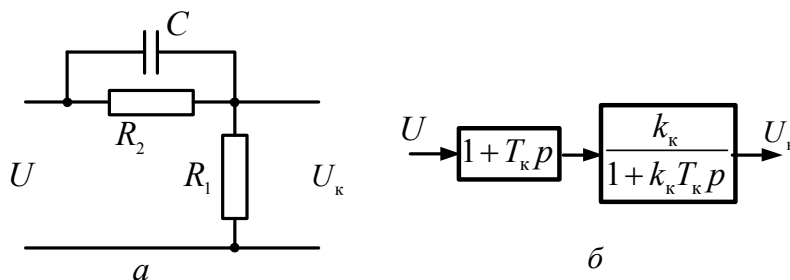


Рис. 1. Последовательный форсирующий контур:
а – электрическая схема; б – структурная схема

Передающая функция контура имеет вид

$$W_k(p) = \frac{U_k}{U} = \frac{k_k(1 + T_k p)}{1 + k_k T_k p}, \quad (1)$$

где $k_k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} < 1$ – передаточный коэффициент контура; $T_k = R_2 C$ – постоянная времени контура.

Последовательный форсирующий контур эквивалентен идеальному форсирующему звену, включенному последовательно с инерционным звеном первого порядка. Первая составляющая $(1 + T_k p)$ обеспечивает введение в закон регулирования производной от входного сигнала и является полезной частью структуры, вторая $\frac{k_k}{1 + k_k T_k p}$ – определяет амплитудные и фазовые ошибки контура.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика ПФК

$$W_{п.к.к.}(j\omega) = \frac{k_k(1 + k_k T_k^2 \omega^2) + j k_k T_k \omega (1 - k_k)}{1 + k_k^2 T_k^2 \omega^2}$$

представляет собой полуокружность, (рис. 2), расположенную в первом квадранте комплексной плоскости $U : jV$.

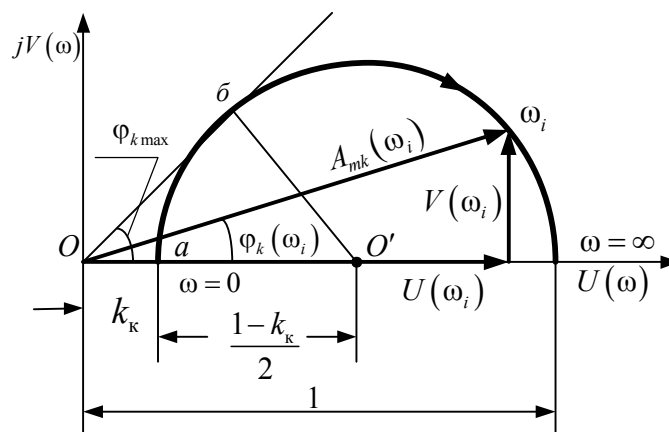


Рис. 2. Амплитудно-фазовая частотная характеристика

Радиус полуокружности равен $\frac{1-k_k}{2}$, а центр имеет координаты $\left(k_k + \frac{1-k_k}{2}\right); j0$.

Амплитудно-частотная $A_{mk}(\omega) = k_k \sqrt{\frac{1 + \omega^2 T_k^2}{1 + k_k^2 T_k^2 \omega^2}}$ и фазочастотная $\varphi_k(\omega) = \arctg \frac{(1-k_k)T_k \omega}{1 + k_k^2 T_k^2 \omega^3}$

характеристики контура приведены на рис. 3 в безразмерном масштабе $T_k \omega$ для различных значений передаточного коэффициента k_k .

Анализ частотных характеристик показывает, что при $\omega = 0$ последовательный форсирующий контур ослабляет входной сигнал в k_k раз, а при изменении частоты входного сигнала от 0 до ∞ амплитуда сигнала на выходе контура изменяется от $A_{mk}(0) = k_k$ до $A_{mk}(\infty) = 1$. При этом сигнал на выходе контура опережает по фазе входной сигнал на угол $\varphi_k(\omega)$, который при изменении частоты от 0 до ∞ сначала возрастает от нуля до $\varphi_{k\max}$, а затем вследствие собственной инерционности контура вновь уменьшается до нуля при $\omega = \infty$.

Максимальное значение опережения по фазе $\varphi_{k \max} = \arcsin\left(\frac{1-k}{1+k}\right) = \operatorname{arctg} \frac{1-k}{2\sqrt{k}}$ может быть найдено как угол прямоугольного треугольника $O\delta O'$ (рис. 2), или как максимум функции $\varphi_k(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{(1-k_k)T_k \omega}{1+k_k T_k^2 \omega^3}$.

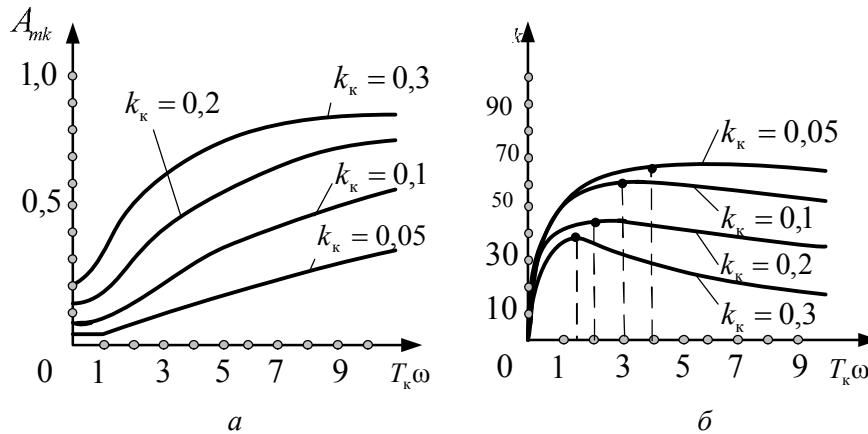


Рис. 3. Частотные характеристики последовательного форсирующего контура:
а – амплитудные; б – фазовые

Для обеспечения положительного фазового сдвига выходного сигнала в широком диапазоне частот параметры контура следует выбирать так, чтобы $k_k T_k \ll 1$. Фазовые частотные характеристики показывают, что при этом условии величина угла $\varphi_k(\omega)$ быстро нарастает и длительно сохраняется на уровне, близком к максимальному. Обычно передаточный коэффициент контура принимают равным $k_k \cong 0,07 - 0,1$. Ослабление амплитуды сигнала, которое в этом случае будет наблюдаться, компенсируется соответствующим увеличением передаточных коэффициентов каскадов предварительного усилителя.

Преобразование контуром сигнала управления рассмотрим на примере САУ, в которой реализуется закон управления $M = k_\varphi (\varphi_3 - \varphi_0) + k_\varphi p \varphi_0$.

Выразим сигнал U_1 на входе электронного усилителя через сигналы датчиков U_y углового положения и U_c скорости отклонения объекта управления

$$U_1 = C_o (C_y U_y + C_c U_c),$$

где C_o, C_y, C_c – передаточные коэффициенты контура суммирования.

Принимая во внимание уравнения движения [1] датчиков $U_y = k_{\text{в.т.у.}} (\varphi_3 - \varphi_0)$;

$$U_c = -k_{\text{в.т.с.}} \frac{\frac{H}{C_t} p}{T_4^2 p^2 + T_3 p + 1} \varphi_0, \text{ получаем}$$

$$U_1 = C_o C_y k_{\text{в.т.у.}} \varphi_3 - C_o C_y k_{\text{в.т.у.}} \left(1 + \frac{C_c k_{\text{в.т.с.}} \frac{H}{C_t} p}{T_4^2 p^2 + T_3 p + 1} \right) \varphi_0.$$

Так как в схемах электронных усилителей ПФК включаются между фазочувствительным каскадом и усилителем мощности, то сигнал на его входе будет равен

$$U = k_{y.n.} k_{\phi.c.k.} U_1 = k_{y.n.} k_{\phi.c.k.} \left\{ C_o C_y k_{B.T.y.} \varphi_3 - C_o C_y k_{B.T.y.} \left(1 + \frac{C_c k_{B.T.c.} \frac{H}{C_T} p}{C_y k_{B.T.y.} (T_4^2 p^3 + T_3 p + 1)} \right) \varphi_o \right\},$$

где $k_{y.n.}$ – передаточный коэффициент усилителя напряжения; $k_{\phi.c.k.}$ – передаточный коэффициент фазочувствительного каскада.

Умножая U на передаточную функцию (1), имеем сигнал U_k на выходе форсирующего контура

$$U_k = \frac{k_k k_{y.n.} k_{\phi.c.k.} C_o C_y k_{B.T.y.}}{1 + k_k T_k p} \left\{ (1 + T_k p) \varphi_3 - \left[1 + \frac{C_c k_{B.T.c.} \frac{H}{C_T}}{C_y k_{B.T.y.} (T_4^2 p^2 + T_3 p + 1)} + T_k \right] p + \frac{\frac{H}{C_T} T_k}{T_4^2 p^2 + T_3 p + 1} p^2 \right\} \varphi_o. \quad (2)$$

Анализируя выражение (2), можно сделать вывод, что последовательный форсирующий контур выполняет следующие функции при формировании сигнала управления САУ:

- 1) вводит в закон регулирования составляющую, пропорциональную скорости изменения $p\varphi_3$ управляющего сигнала;
- 2) увеличивает составляющую обратной связи по абсолютной угловой скорости $p\varphi_o$, что в первом приближении эквивалентно увеличению сигнала датчика скорости;
- 3) вводит в закон регулирования составляющую $p^2\varphi_o$, пропорциональную угловому ускорению объекта управления.

Введение в сигнал управления производной $p\varphi_3$ приводит к форсировке переходных процессов при наведении, что особенно важно при управлении объектами с большой инерционностью. При наличии форсировки разгон и торможение объекта управления происходят более интенсивно.

Влияние дополнительных составляющих сигнала, пропорциональных угловой скорости $p\varphi_o$ и угловому ускорению $p^2\varphi_o$ объекта управления, можно пояснить волновыми диаграммами (рис. 4). Диаграммы построены для случая, когда $\varphi_3 = 0$ и объект управления совершает низкочастотные синусоидальные колебания. На рис. 4, а показаны составляющие сигнала управления на входе контура, а на рис. 4, б – составляющие сигнала управления на его выходе.

Дополнительная составляющая сигнала по угловой скорости (кривая 4) суммируется с сигналом датчика скорости (кривая 2), что приводит к увеличению эквивалентного сигнала по скорости (кривые 2 – 4).

Составляющая, пропорциональная ускорению (кривая 5), противоположна по фазе сигналу по углу (кривая 1). Следовательно, введение сигнала по ускорению эквивалентно уменьшению сигнала по углу (кривая 1 – 5). В результате суммарный управляющий сигнал получает дополнительный положительный сдвиг по фазе на угол φ_k .

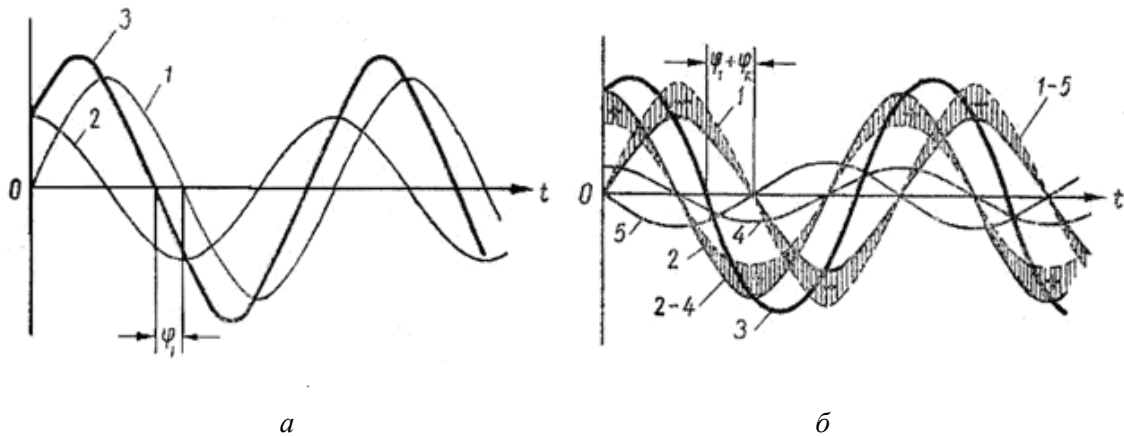


Рис. 4. Волновые диаграммы сигналов управления при: *а* – отсутствии; *б* – наличии контура:
 1 – составляющая сигнала по углу; 2 – составляющая сигнала по скорости; 3 – суммарный сигнал;
 4 – дополнительная составляющая по скорости; 5 – составляющая по ускорению

Выводы. Параметры последовательного форсирующего контура целесообразно выбирать такими, чтобы начальный участок его амплитудно-фазовой частотной характеристики (участок *аб* на рис. 2) соответствовал рабочему диапазону частот угловых колебаний подвижного основания для объекта управления. Если последовательный форсирующий контур работает на данном участке амплитудно-фазовой частотной характеристики, то с увеличением частоты положительный фазовый угол $\varphi_k(\omega)$ увеличивается, что обеспечивает компенсацию запаздывания сигналов управления, обусловленную инерционностью остальных элементов САУ.

Список литературы

1. Аблесімов О. К., Александров Є. Є., Александрова І. Є. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2008. – 443 с.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. – СПб. Изд-во “Профессия”, 2004. – 752 с.
3. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К., Брицкий О. І. Теорія автоматичного управління. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.

О. К. Аблесімов

Коригувальні пристрої систем автоматики

Розглянуто принципи побудови послідовних форсувальних контурів і перетворення ними сигналів керування автоматичних систем.

A. K. Ablesimov

The adjusting devices for automatic control systems

Principles of construction of consecutive forcing contours and transformations by them the signals of operating the automatic control systems are considered.