

## Использование аналого-цифрового сервомеханизма в металлорежущих станках

проф. Мамаджанов А.М., асс.Жўраева Н.А.

*Ташкентский государственный технический университет им.  
И.Каримова, Ташкент*

### АННОТАЦИЯ

Цифровые сервомеханизмы управления гидроаппаратами [1] целесообразно использовать для дистанционного управления и в станках с ЧПУ, однако в системах автоматического регулирования (САР) их применение ограничено.

*Ключевые слова: высокая производительность, автоматизированное производство, обработка деталей*

Вырабатываемое цифровыми САР регулирующее воздействие имеет вид ступенчатой функции, огибающая которой является требуемым выходным сигналом. Чем меньше величина ступеней, тем реальный выходной сигнал ближе к требуемому. Число ступеней регулирующего воздействия за один период управляющего воздействия  $S=2A/h$ , где  $A$  — предельная амплитуда управляющего воздействия;  $h$  — величина ступени.

Таким образом, в течение одного периода управляющего воздействия с предельной амплитудой сервомеханизм должен совершить  $S$  переключений. Следовательно, частота переключений младшего разряда сервомеханизма  $f' = Sf$  где  $f$  — частота управляющего воздействия; поскольку амплитуда максимальна,  $S$  есть полное число состояний сервомеханизма.

Если для управления сервомеханизмом используется прямой двоичный код, то  $S=2^n$  (где  $n$  число двоичных разрядов), а предельно допустимая частота управляющего воздействия

$$f'_{\max} = f_{\max} / 2^n \quad (1)$$

где  $f'_{\max}$  - предельно допустимая частота переключений младшего разряда.

Очевидно, что увеличение числа разрядов, с одной стороны, приближает форму регулирующего воздействия к требуемой, а с другой стороны, ведет к

уменьшению быстродействия сервомеханизма. Этому недостатка лишены аналоговые сервомеханизмы электромагнитного типа, у которых ход якоря пропорционален величине сигнала. Основная структурная единица таких сервомеханизмов - одинарный пропорциональный электромагнитный элемент, представляющий собой электромагнит, в котором тем или иным способом (например, с помощью упругой подвески) обеспечивается устойчивое перемещение якоря пропорционально величине тока в обмотке. При этом из-за нелинейной статической характеристики одинарных элементов из них формируют дифференциальные либо поляризованные магнитные системы [2].

Однако и дифференциальные, и поляризованные магнитные системы сервомеханизмов имеют ряд существенных недостатков. Точность их перемещения в значительной степени зависит от требуемого полезного усилия и величины полного хода якоря. В связи с этим используют два каскада усиления, а для повышения точности и уменьшения гистерезиса статической характеристики (т. е. зависимости хода якоря от тока в обмотке) вводят внутреннюю обратную связь. Все это усложняет конструкцию сервомеханизмов и снижает их надежность.

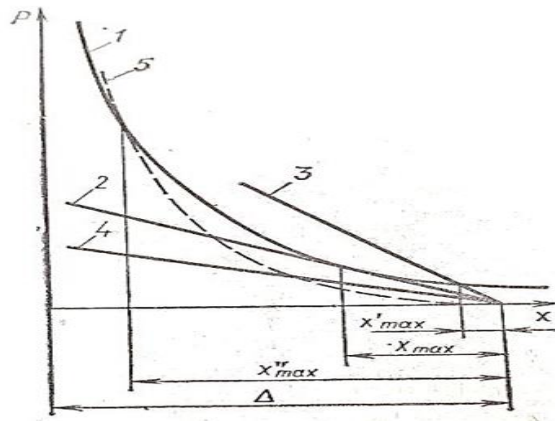
Конструктивно такой аппарат представляет собой сервомеханизм с суммирующим устройством [1], в котором два младших цифровых разряда заменены одинарным пропорциональным Заэлектромагнитным элементом. Полный рабочий ход последнего равен ходу якоря младшего из оставшихся цифровых разрядов.

При этом согласно формуле (1) быстродействие аппарата возрастает в 4 раза, а требования к точности одинарного элемента снижаются, так как полный рабочий ход его составляет лишь малую часть полного хода всего сервомеханизма (для аппарата с тремя цифровыми разрядами ход одинарного элемента хода). Составляет всего 12% полного хода).

Кроме того, разработана методика выбора характеристики пружины одинарного элемента, линеаризующей его статическую характеристику и увеличивающей рабочий участок хода якоря. Это позволило уменьшить габарит сервомеханизма, упростить его конструкцию и повысить надежность.

Зависимость электромагнитной силы  $P$  от хода  $x$  якоря для различных значений тока  $I$  в обмотке выражается семейством квадратичных гипербол [3]; одна из них приведена на рис. 1 (кривая 1):

$$P(x) = kl^2 / x^2, \quad (2)$$



**Рис.1. Зависимость электромагнитной силы от рабочего хода якоря при различных характеристиках возвратной пружины.**

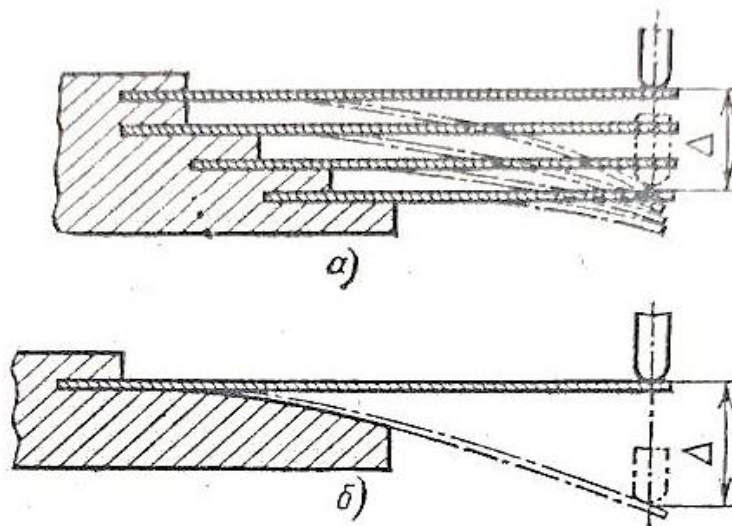
где  $k$  - коэффициент, характеризующий величину магнитной проводимости и форму магнитопровода.

Поскольку в положении статического равновесия якоря электромагнитная сила и упругая сила пружины равны, то положение якоря при различных значениях тока определяется точками пересечения семейства кривых  $I$  с характеристикой пружины (например, прямой 3 на рис. 1). Максимальный ход  $x_{max}$  якоря определяется точкой пересечения этой характеристики с кривой  $P(x)$  при максимальном значении тока  $I$ .

Из рис. 1 ясно, что величина максимального хода якоря при одном и том же максимальном токе зависит от характеристики пружины и увеличивается при уменьшении ее жесткости (в случае пружин с линейной характеристикой). Допустимый максимальный ход наиболее велик, когда жесткость пружины такова, что ее характеристика (прямая 2) касательна к кривой  $P(x)$  при максимальном токе. При этом соблюдается соотношение [4]  $x_{max} \approx \Delta/3$ , где  $\Delta$  - полный ход якоря.

При увеличении жесткости пружины, но при сохранении линейной характеристики (прямая 3) максимальный рабочий ход  $x'_{max}$  уменьшается, а при уменьшении жесткости пружины (прямая 4) в случае возрастания тока в обмотке до максимального якорь теряет устойчивость, и электромагнитный элемент перестает работать в пропорциональном режиме, так как при любом значении хода электромагнитная сила превышает усилие возвратной пружины.

Максимальный рабочий ход якоря можно существенно увеличить (до значения  $x_{max}$ ), используя пружину



**Рис.2.Конструкция возвратной пружины приближенно (а) и точно (б) реализующей пребуемый закон изменения жесткости**

С нелинейной характеристикой (кривая 5). Кроме того, выбрав характеристику пружины определенным образом, можно получить линейную статическую характеристику пропорционального электромагнитного элемента:

$$x = \Delta - cI, \quad (3)$$

где  $c = \Delta / I_{\max}$ , причём  $I = I_{\max}$  при  $x=0$ . Тогда выражение (3) приобретает вид

$$I = I_{\max}(l - x / \Delta). \quad (4)$$

Множеству фиксированных положений якоря (определяемых значениями  $x_i$  хода) соответствует множество значений  $I_i$  тока в обмотке, а последнему - множеству значений  $P_i$  электромагнитной силы, причём  $x_i = ix_1$ ;  $I_i = I_{\max}(l - ix_1 / \Delta)$ ;  $P_i = kl_{\max}^2(l - ix_1 / \Delta)^2 / x_i^2$ ;  $i=1, 2, \dots, m$ ;  $m$  - выбранное число фиксированных положений якоря.

Для соблюдения равенства (4) необходимо, чтобы множество усилий  $F_i$ , развиваемых возвратной пружиной, было эквивалентно множеству сил  $P_i$  при фиксированных значениях  $x_i$ , т.е. для того чтобы якорь находился в равновесии при заданном ходе  $x_i$ , должно соблюдаться равенство усилия возвратной пружины и электромагнитной силы при данном  $x_i$ . Тогда

$$F_i = kl_{\max}^2 \left( \frac{1}{ix_1} - \frac{1}{\Delta} \right). \quad (5)$$

Учитывая, что  $x_1 = \Delta / m$ , равенство (5) можно записать следующим образом:  $F_i = kl_{\max}^2 (m/i - l)^2 / \Delta^2$ . Эта зависимость усилия возвратной пружины от хода якоря приближенно (в виде кусочно-линейной функции) реализуется

пакетом плоских пружин (рис. 2, а), а точно — плоской пружиной переменного вылета (рис. 2, б).

Испытания опытного образца комбинированного сервомеханизма показали, что аппарат способен пропустить сигналы частотой выше 10 Гц, кроме того, более чем в 2 раза увеличилась разрешающая способность (по сравнению с цифровым сервомеханизмом).

Использование одинарного пропорционального электромагнитного элемента в аналоговой части сохранило простоту конструкции и надежность, присущие цифровому сервомеханизму. Все это позволяет рекомендовать разработанный сервомеханизм для использования в гидравлических САР металлорежущих станков.

#### Использованная литература

1. Автоматизация технологического оборудования микроэлектроники / Под ред. А.А. Сазонова. — Высшая школа, 1991. — 344 с.
2. СТО 70238424.27.140.010-2010. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС И ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования. – Введ. 2010-09-30. – М.: НП ИНВЭЛ, 2010. – 56 с.