

$$h_c(t_i) = \frac{y(t)}{A}, \quad i = \overline{1, n}$$

Полученные значения можно использовать либо для построения графика, либо аналитической аппроксимации.

Для определения АЧХ –  $A_c(\omega)$  и ФЧХ –  $\varphi_c(\omega)$  на вход измерительного канала подают испытательный сигнал вида:  $x(t) = A_{\sin \omega t}$  с постоянной

амплитудой  $A = \text{const}$  и переменной частотой  $\omega$ . Устанавливая значения частоты  $\omega_i$ , измеряют амплитуду входного сигнала  $y(\omega_i)$ , после чего

$$A_c(\omega_i) = \frac{y(\omega_i)}{A}, \quad i = \overline{1, n}$$

На этих же частотах определяют значения фазочастотной характеристики  $\varphi_c(\omega)$

Выбор метода определения ДХ ИК зависит от требуемой точности.

При оценке точности ДХ ИК следует учитывать не только неопределенность показаний, но и отклонения воспроизводимого испытательного сигнала от номинального значения.

Если значения ДХ сопровождаются разбросами, необходимо провести многократное определение искомой характеристики и полученные результаты усреднить.

### 3.5. Расчетные методы определения МХ ИИС

Необходимость применения расчетных методов определения МХ систем по МХ компонентов обусловлена агрегатным принципом их построения.

Поскольку расчетные методы предполагают идеализацию свойств системы и требуют большего объема априорной информации, их использование должно быть обосновано технико-экономическими причинами.

Методы распространяются на ИК, состоящие из последовательно включенных линейных аналоговых компонентов, а также на ИК, содержащие дискретные компоненты, влиянием дискретности которых на неопределенность показаний ИК можно пренебречь.

Для того чтобы правильно предоставить исходные данные для расчета в виде функциональных зависимостей, связывающих МХ с входным (выходным) сигналом, нужно выбрать математическую модель компонента.

Как правило, в НД отсутствуют полные данные, необходимые для построения модели. Поэтому при использовании расчетных методов необходимо провести исследования и работы по построению модели и проверке ее адекватности.

В общем случае расчет номинальной функции преобразования, характеристик неопределенности показаний ИК основан на последовательном приведении к выходу канала функции преобразования и составляющих неопределенности показаний ИК и последующим их суммировании.

Рассмотрим методику расчета статических МХ на примере определения номинальной функции преобразования ИК.

Исходные данные:

N- количество компонентов в канале;

$f_{sai}(x)$  - номинальная функция преобразования каждого компонента ( $i=1,2,\dots,N$ ) задается в виде линейной функции входного сигнала.

$$f_{sai}(x) = A_i x + a_i ,$$

где  $A_i$  и  $a_i$  - мультипликативная и аддитивная составляющие функции преобразования, определяющие наклон и смещение  $f_{sai}$ .

Мультипликативная составляющая функции преобразования определяется по формуле

$$A^{(i)} = \prod_{j=i+1}^N A_j \quad \text{при } i=1,2,\dots,N$$

Аддитивная составляющая функции преобразования канала определяется из выражения

$$a = \sum_{i=1}^N a_i \prod_{j=i+1}^N A_j .$$

Тогда для канала в целом

$$f_{sai}(x) = A_x^{(0)} + a , \quad \text{где} \quad A^{(0)} = A^{(i)}|_{i=0} .$$

Например, для ИК, состоящего из трех последовательно соединенных компонентов,  $k_1, k_2, k_3$  аддитивные и мультипликативные функции преобразования, которых обозначим  $A_1, a_1, A_2, a_2, A_3, a_3$ , соответственно, расчет номинальной функции преобразования производится следующим образом. Сигнал на выходе  $K_1$  можно записать в виде

$$x_1 = A_1 x + a_1$$

Этот сигнал является входным для компонента  $k_2$  выходной сигнал, которого можно получить из выражения

$$x_2 = A_2 x_1 + a_2 = A_2 (A_1 x_1 + a_1) + a_2 = A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2.$$

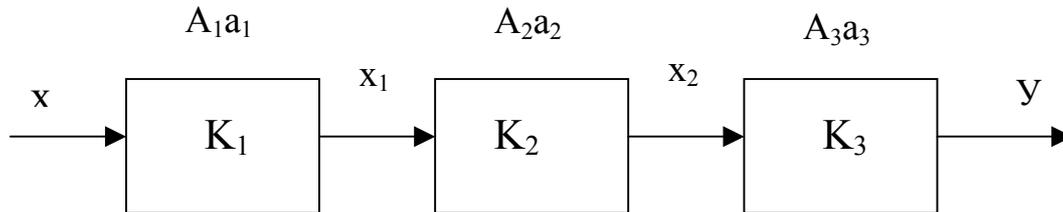


Рис.3.3. Простейшая линейная модель ИК

Для компонента  $K_3$ :

$$y = A_3 x_2 + a_3 = A_3 (A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2) + a_3 = A_1 A_2 A_3 x + A_2 A_3 a_1 + A_3 a_2 + a_3,$$

что соответствует формуле для  $f_{sa}(x)$ .

Исходными данными для расчета динамических характеристик ИК являются:

$A_{ai}(\omega)$  - номинальная АЧХ компонента;

$\Delta\varphi_{ai}(\omega)$  - номинальная ФЧХ компонента;

$\Delta A_{ai}(\omega)$ ,  $\Delta\varphi_{ai}(\omega)$  - наибольшие допускаемые отклонения АЧХ и ФЧХ от номинального значения.

Номинальную АЧХ ИК и  $\Delta A_{ai}(\omega)$ , рассчитывают по формулам :

$$\Delta A_{ai}(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta A_i(\omega) \prod_{i=1}^{i-1} A_{ai}(\omega) \prod_{i+1}^N A_{ai}(\omega)$$

Номинальную ФЧХ и наибольшие допускаемые отклонения от нее рассчитывают по формулам :

$$\varphi_a(\omega) = \sum_{i=1}^N \varphi_{ai}(\omega), \quad \Delta\varphi_a(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta\varphi_i(\omega).$$

Данные соотношения можно использовать при двух следующих условиях:

- ИК состоит из линейных аналоговых компонентов, либо включает дискретные компоненты, нелинейными инерционными свойствами которых можно пренебречь;

- в ИК имеет место стационарный динамический режим, когда математическое ожидание и дисперсия измеряемого сигнала не зависят от времени, а корреляционная функция зависит от разности времени.

В большинстве случаев ИК ИИС содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который осуществляет дискретизацию во времени и квантование по амплитуде непрерывного сигнала  $y(t)$  на выходе аналоговой части ИК системы.

При построении моделей ИК ИИС исходят из предположения, что АЦП – идеальный квантователь. Однако, при широкополосных сигналах, а также измерении и регулировании быстро меняющихся величин динамическая модель будет выглядеть, как это представлено на рис.3.4.

ИК представлен как последовательное соединение аналоговых компонентов ИИС, включающих входные устройства АЦП (аналоговая линия часть ИК), с дискретной нелинейной частью, в которой выполняются операции дискретизации во времени и квантованием по уровню.

В этом случае динамические свойства аналоговой части ИК ИИС описываются ее амплитудно- и фазочастотными характеристиками, определенными изложенными выше методами с учетом АЧХ линейной части АЦП, а динамические свойства дискретной части – средней задержкой отсчета и апертурным временем – характеристиками динамических свойств АЦП.

При этом задержка ( опережение) отсчета - разность между заданным и действительным моментами отсчета, имеет систематическую составляющую ( постоянный сдвиг)  $t_{3,c}$ , который всегда можно учесть как поправку и случайную составляющую  $\Delta t_{3,0}$  т.е.

$$t_{3,0} = t_{3,c} + \Delta t_{3,0}$$

Числовая характеристика распределения задержки отсчета  $P_{(\Delta t_{3,0})}$  названа апертурным временем  $t_a$  . Поскольку  $t_{3,0}$  зависит от уровня и скорости изменения входного сигнала АЦП, распределение  $P_{(\Delta t_{3,0})}$  и, соответственно,  $t_a$  наряду с АЧХ аналоговой части канала могут быть использованы для расчета динамической погрешности канала.

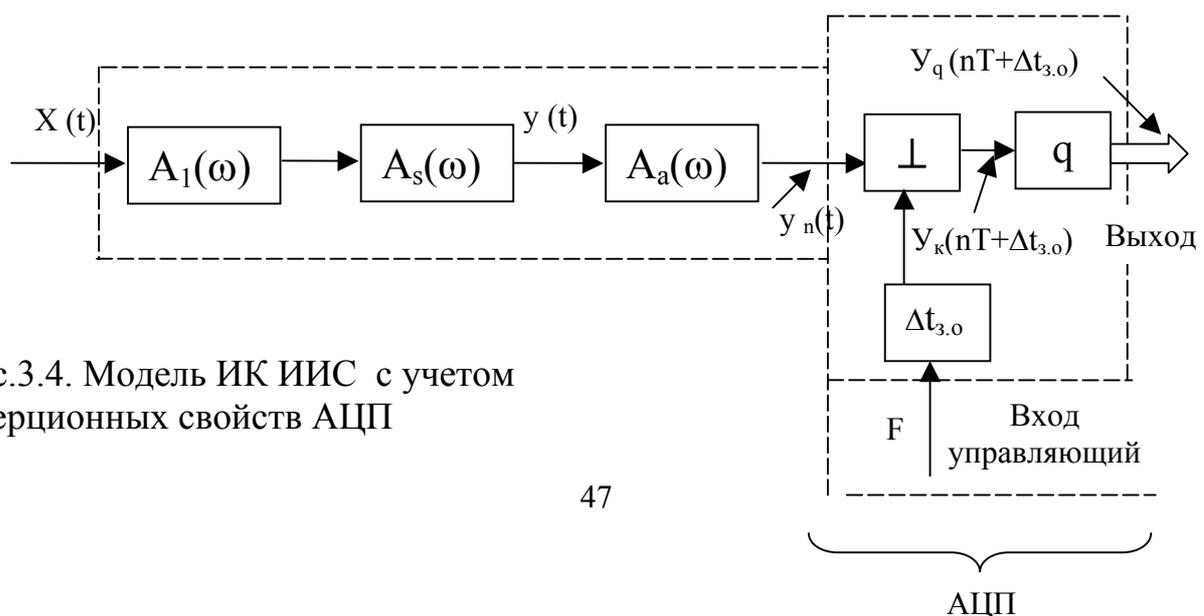


Рис.3.4. Модель ИК ИИС с учетом инерционных свойств АЦП

Математическое описание преобразования выходного сигнала  $x(t)$  со спектром  $S_x(\omega)$  аналоговой части канала имеет вид:

$$y_k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) \prod_{i=1}^s A_{a_i}(\omega) A_{ay}(\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

где  $A_{a_i}(\omega)$  - АЧХ аналоговых линейных компонентов;

$A_{ay}(\omega)$  - АЧХ аналоговой части АЦП.

Сигнал на выходе дискретизатора:

$$y_k(nT + \Delta t_{3.0}) = \int_{nT - \alpha}^{nT + \alpha} y_k(t) \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta[t - (nt + \Delta t_{3.0})] dt,$$

где  $\alpha$  - интервал интегрирования слева и справа от заданного временного положения  $n$ -го отсчета;  $T$  - период дискретизации. Сигнал на выходе квантователя и ИК в целом может быть представлен с помощью нелинейной пилообразной функции  $\epsilon(y_k)$  в виде:

$$y_g(nT + \Delta t_{3.0}) = y_k(nT + \Delta t_{3.0}) - \epsilon_g(y_k).$$

Тогда динамическая погрешность равна

$$\Delta y_k = \frac{y'_g}{nT} \Delta t_{3.0}.$$

На основании этой формулы по конкретным значениям временного ряда, полученного в результате измерений, можно вычислить оценку погрешности в каждый момент времени и  $nT$ .

Если известны статические характеристики  $y_k(t)$  и  $\Delta t_{3.0}$  можно найти общую оценку неопределенности показаний ИК и стандартное отклонение.

Однако расчет ДХ по приведенным выше выражениям затруднен из-за сложности вычислений.

Для случаев, когда учет инерционных свойств дискретных компонентов необходим, можно рекомендовать метод математического моделирования с использованием модели канала, представленный на рис 3.4.

### 3.6. Определение МХ программ вычислений

При метрологической аттестации алгоритмов исследуются три основные группы показателей: точности, устойчивости и сложности.