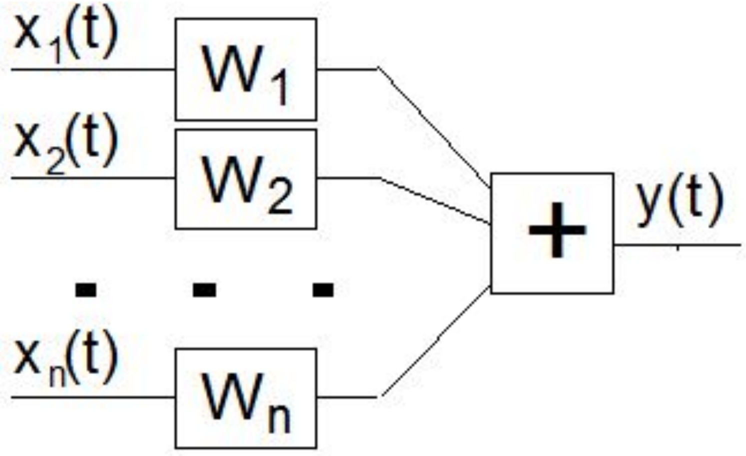
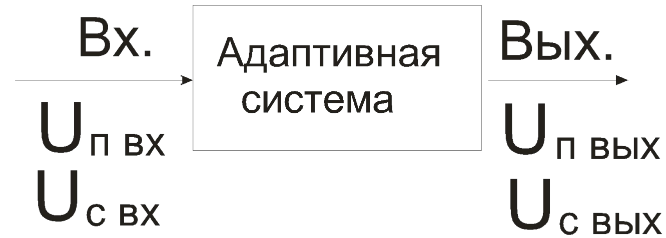
Лекция 5
Эффективность адаптивной системы и факторы, которые на неё влияют

1. Эффективность адаптивной системы
2. Факторы, снижающие эффективность
3. Обобщённый взгляд на место и назначение адаптивной системы с весовой обработкой сигнала

Оценка эффективности адаптивной системы





Вводится понятие коэффициент подавления помехи:

$$K_{под}=\frac{\overline{U^2_{пвх}}}{\overline{U^2_{пвых}}},$$

и коэффициент усиления сигнала:

$$K_{ус}=\frac{\overline{U^2_{свых}}}{\overline{U^2_{свх}}}$$

Эффективность адаптивной системы

$$K_{эф}=K_{под}K_{ус}=\frac{\overline{U^2_{пвх}}}{\overline{U^2_{пвых}}}\cdot\frac{\overline{U^2_{свых}}}{\overline{U^2_{свх}}}$$

Коэффициент усиления сигнала, как правило, не велик и примерно равен 1. В основном эффективность определяется коэффициентом подавления помехи. Эффективность практических систем может достигать 10 000.

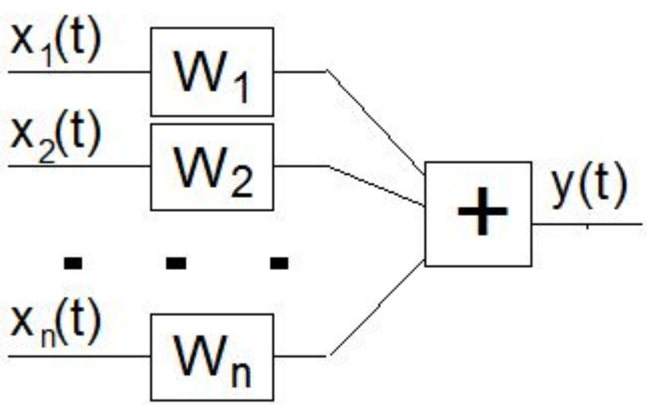
Факторы, снижающие эффективность

1. Превышение количества источников помех над количеством каналов в схеме с весовой обработкой.
2. Шум.
3. Погрешность при установке коэффициентов.
4. Неидентичность каналов схемы с весовой обработкой.
5. Мультипликативная помеха.
6. Погрешность при формировании опорного сигнала.
7. Сложная структура помехи.
8. Влияние полезного (информационного) сигнала.

Превышение количества источников помех над количеством каналов в схеме с весовой обработкой

Ранее рассматривался один единственный источник помехи, сигнал от которого с различными фазами и амплитудами поступал на различные входы устройства весовой обработки. Но источников помех может быть несколько. Пусть в индексе $U_{\Pi im}(t)$ i – номер входа, на который воздействует помеха, m - номер источника помехи. В общем случае каждая из помех может воздействовать на каждый вход.

Предположим, что оптимальное значение весовых коэффициентов W найдено. Тогда поведение схемы с весовой обработкой можно записать в виде системы уравнений:



$$\begin{cases} [w]^T[s(t)] = d(t) \\ [w]^T[U_{\Pi 1}(t)] = 0 \\ \dots \\ [w]^T[U_{\Pi i}(t)] = 0 \end{cases}$$

Превышение количества источников помех над количеством каналов в схеме с весовой обработкой

$$\begin{cases} [w]^T[s(t)] = d(t) \\ [w]^T[U_{П1}(t)] = 0 \\ \dots \\ [w]^T[U_{Пi}(t)] = 0 \end{cases}$$

В данной системе m верхних уравнений обеспечивают равенство нолю каждого из m независимых источников помех, а нижнее уравнение обеспечивает равенство опорному сигналу суммы полезных сигналов со всех входов. Для того, чтобы система имела решение, количество переменных должно быть равно количеству уравнений. Количество переменных равняется количеству входов, т. е., n. Следовательно, система имеет решение, если

$$m \le n - 1.$$

Это означает, что количество независимых источников помех должно быть хотя бы на единицу меньше, чем количество каналов обработки. Для эффективного подавления 1 источника помех нужно как минимум 2 канала обработки, для 2 помех – 3 и т. д.

Превышение количества источников помех над количеством каналов в схеме с весовой обработкой

Если это условие не выполняется, то эффективность системы падает. Физически это означает, что количество степеней свободы системы не будет хватать для того, чтобы одновременно обеспечить и подавление всех помех, и нужное прохождение полезного сигнала.

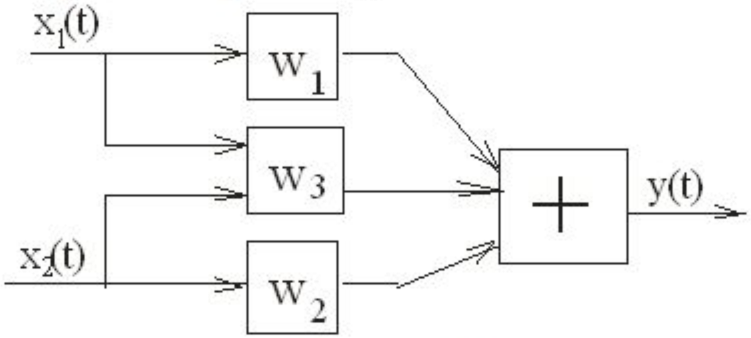


Рисунок 5.1

Попытка «искусственно» увеличить количество каналов обработки за счёт увеличения количества управляемых коэффициентов как, например, показано на рис. 5.1 не приведёт к хорошему результату.

Полученная таким образом смесь на входе усилителя W_3 физически не будет содержать в себе никакой новой информации. Математически это будет означать, что уравнения системы окажутся линейно зависимыми.

Влияние шума.

Шум – полностью случайный процесс.

Пусть кроме сигналов и помех на входы воздействуют шумы со значением СКО σ_i:

$$X'_1(t)=S_1(t)+U_{п1}(t)+n_1(t) = X_1(t) + n_1(t)$$

$$X'_2(t)=S_2(t)+U_{п2}(t)+n_2(t) = X'_2(t) + n_2(t)$$

$$\ldots.$$

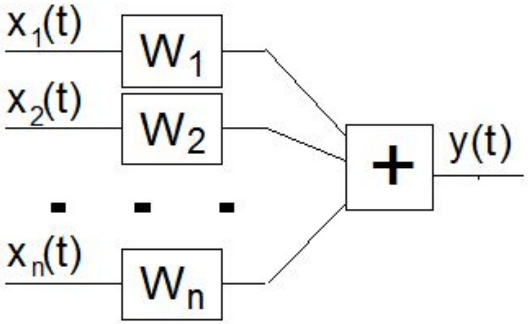
$$X'_n t)=S_n(t)+U_{пn}(t)+n_n(t) = X'_n(t) + n_n(t)$$

При вычислении корреляционной матрицы учтём, что

$$\overline{n_i(t)\cdot n_i(t)} = 0 \quad \text{при} \quad i \neq j$$

$$\overline{n_i(t)\cdot n_i(t)} = \sigma^2 \quad \text{при} \quad i = j$$

Влияние шума.



$$\overline{n_i(t)\cdot n_i(t)} = 0 \quad \text{при} \quad i \neq j$$

$$\overline{n_i(t)\cdot n_i(t)} = \sigma^2 \quad \text{при} \quad i = j$$

Это означает, что шумы на разных входах разные и их взаимное произведение равно нолю. А шум с одного и того же входа при возведении в квадрат увеличивает значение соответствующего элемента матрицы на величину его энергии. Следовательно,

$$\overline{x'_i(t)x'_j(t)} = \overline{x_i(t)x_j(t)} + \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \sigma_i^2 & i = j \end{cases}$$

Тогда корреляционная матрица с учётом шума будет иметь вид:

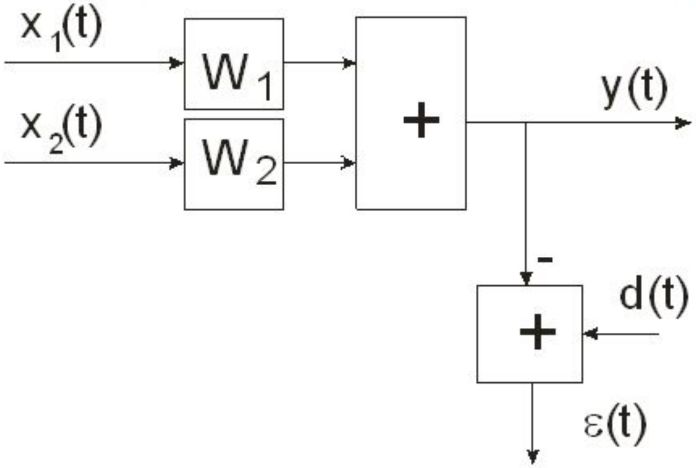
$$[R_{xx}]' = [R_{xx}] + \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & .. & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & .. & 0 \\ . & .. & .. & . \\ 0 & 0 & .. & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

Влияние шума.

Ошибка при расчёте корреляционной матрицы приведёт к погрешности расчёта весовых коэффициентов.

Возьмём пример из Лекции № 2 и дополним входную смесь шумом.

Пусть значение СКО у шума на обоих входах одинаков и составляет 0,1 В. (т.е., отношение сигнал/шум около 10). Остальные условия не меняем.



$x_1 = U_c \cos \omega_c t + U_n \cos \omega_n t + n_1(t)$

$x_2 = 2U_c \cos \omega_c t + U_n \cos \omega_n t + n_2(t)$

$d(t) = U_c \cos \omega_c t$

$\omega_c \approx \omega_n,\ U_c = U_n = 1$

Найдём коэффициенты w_1 и w_2, которые обеспечивали бы минимуму ошибки на выходе системы.

С учётом выражения (5.1)

$$[R_{xx}]' = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 \\ 1.5 & 2.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.01 & 1.5 \\ 1.5 & 2.51 \end{bmatrix}$$

Влияние шума.

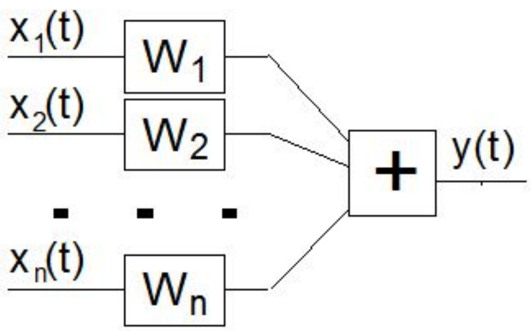
$$[W_{опт}]=[R_{xx}]^{-1}\cdot[r_{xd}]$$

$$[W]^{-1}\frac{1}{2.535-2.25}\begin{bmatrix}2.51 & -1.5\\ -1.5 & 1.01\end{bmatrix}=\frac{1}{0.285}\begin{bmatrix}2.51 & -1.5\\ -1.5 & 1.01\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}8.81 & -5.26\\ -5.26 & 3.54\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}8.81 & -5.26\\ -5.26 & 3.54\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.5\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-0.885\\ 0.91\end{bmatrix}.$$

В Лекции №2 в идеальных условиях значение коэффициентов были $\begin{bmatrix}-1\\ 1\end{bmatrix}$. Естественно, что такое отклонение коэффициентов от истинного значения приведёт к существенному снижению эффективности адаптивной системы.

Погрешность при установке коэффициентов



Реальный весовой коэффициент это усилитель с регулируемым коэффициентом усиления.

При осуществлении математических выводов и расчётов весовых коэффициентов предполагается, что именно эти рассчитанные значения и будут установлены в качестве коэффициентов усиления в схеме с весовой обработкой сигналов. К сожалению, на практике часто имеет место погрешность, вызванная неточностью калибровки усилителей, нелинейностью управляющих характеристик и другими факторами, из-за которых рассчитанные значения W могут отличаться от реально выставленных.

$[\Delta w]$ - погрешность установки [w]

$$[w]=[w_{опт}]+[\Delta w]$$

Погрешность при установке коэффициентов

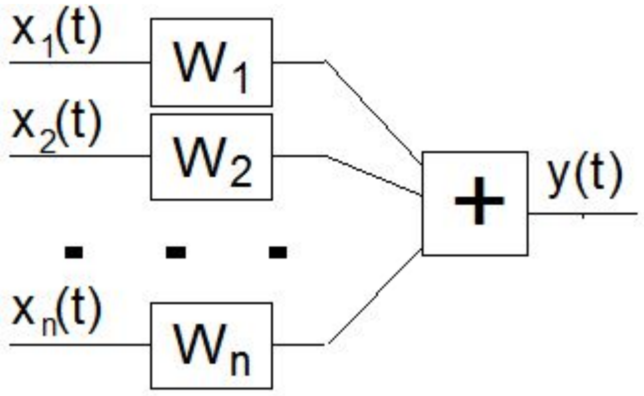
$$[w] = [w_{опт}] + [\Delta w]$$

$$y'(t) = [w]^T [x(t)] = ([w_{опт}] + [\Delta w])^T [x(t)] = d(t) + \varepsilon_{ост}(t) +$$
$$+ [\Delta w]^T [x(t)]$$

Следует заметить, что снижение эффективности за счёт погрешности при установке весовых коэффициентов в большей мере характерно для метода НОМ. В этом методе, как известно, не предусмотрено обратной связи. Напротив, в градиентом методе присутствует обратная связь, поэтому погрешность при установке W будет скомпенсирована.

При увеличении числа коэффициентов, влияние погрешности их установки уменьшается.

Неидентичность частотных и временных характеристик каналов



Реальный весовой коэффициент это усилитель с регулируемым коэффициентом усиления.

Снижает эффективность работы адаптивных систем неидентичность характеристик каналов. С увеличением числа каналов влияние их неидентичности снижается. Наихудший случай – это когда всего два канала и они разные. Допустимая неидентичность характеристик определяется шириной спектра сигнала (чем шире спектр, тем жёстче требования по идентичности).

Мультипликативная помеха

Если во входной смеси присутствует мультипликативная помеха, которая в отличии от аддитивной не складывается

$$s_i(t) + U_{\Pi i}(t),$$

а перемножается с полезным сигналов

$$s_i(t) \cdot \lambda \cdot U_{\Pi i}(t) + U_{\Pi i}(t),$$

(аддитивная составляющая, естественно, сохраняется). В этом случае помеха «проникает» в матрицу $[r_{xd}]$

$$[r_{xd}] = \left[\overline{d(t) \cdot (s_i(t) \cdot \lambda \cdot U_{\Pi i}(t) + U_{\Pi i}(t))}\right]$$

Устройство с весовой обработкой сигнала не способно подавлять мультипликативную помеху.

Погрешность при формировании опорного сигнала

Если опорный сигнал сформирован с погрешностью $\Delta d(t)$, то искажённый опорный сигнал

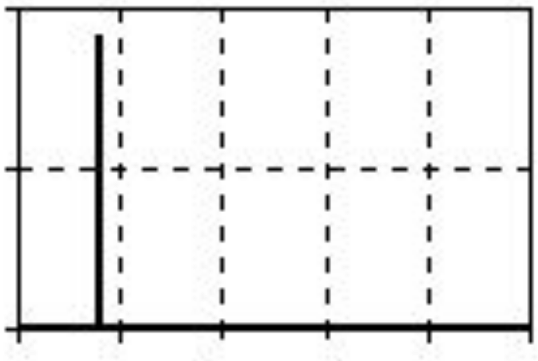
$$d'(t) = d(t) + \Delta d(t),$$

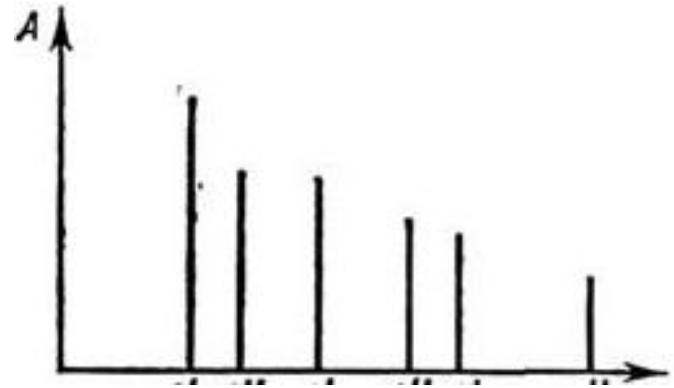
приведёт к формированию искажённой матрицы [r_{xd}].

$$[r_{dx}] = (d(t) + \Delta d(t)) \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_n(t) \end{bmatrix} = [r_{dx}] + [\Delta r_{dx}]$$

В «идеальном» случае на выходе схемы с весовой обработкой будет сформирован сигнал, близкий к искажённом опорному. Чаще всего это приводит к снижению эффективности подавления помех.

Сложная спектральная структура помехи





Во всех рассмотренных выше примерах помеха рассматривалась как узкополосное гармоническое колебание. Так бывает далеко не всегда. Даже непреднамеренные помехи редко бываю узкополосными, а если помеха ставится намеренно, то и тем более. Наличие в помехе множества спектральных составляющих приводит к тому, что каждая её составляющая может быть представлена как отдельная помеха, а, как известно, для подавления n источников помех требуется n+1 весовых коэффициентов.

Влияние полезного (информационного) сигнала

Информационный, принимаемый сигнал для адаптивной системы с весовой обработкой является помехой.

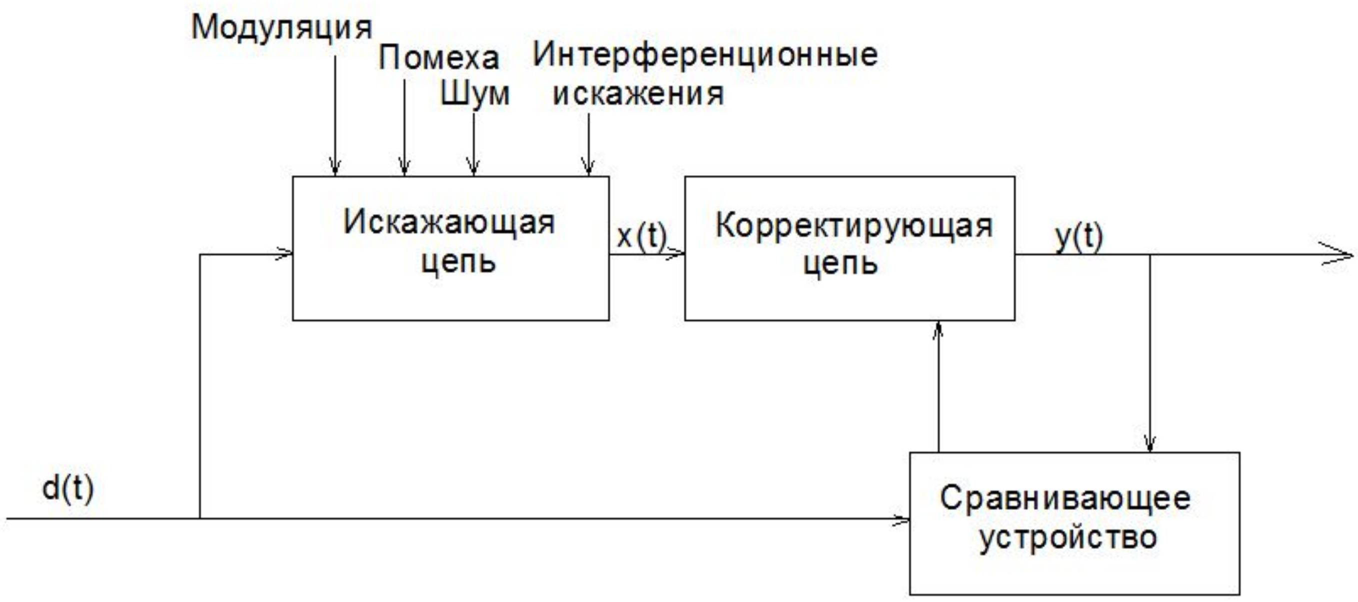
Возможны 2 ситуации:

- наличие информационного сигнала приводит к возникновению ошибки между принимаемым и опорным сигналом. Далее можно рассматривать случай погрешности при формировании опорного сигнала.

- если информационный сигнал имеет сложную структуру, его компоненты будут восприниматься как помеха и подавляться. (Можно рассматривать случай сложной помехи).

Обобщённый взгляд на место и назначение адаптивной системы с весовой обработкой сигнала

В общем случае место адаптивной системы в процессе «восстановления» опорного сигнала можно представить в виде рис. 5.3. Здесь искажающая цепь – подразумевает все воздействия на опорный сигнал. И модуляция, и шум, и помехи оказываются в одном ряду.



Основное в лекции

1. Существует три способа формирования опорного сигнала и ещё два способа обойтись без опорного сигнала.

2. Эффективность адаптивной системы определяется эффективность подавления помех и может достигать 10^4.

3. Восемь факторов, снижающих эффективность адаптивных систем.

4. Среди прочего и информационный сигнал затрудняет работу адаптивной системы.