

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЕНСАТОРА ВНЕПОЛОСНЫХ ПОМЕХ

Гуцол Т. Д.

Подольский государственный аграрно-технический университет (г. Камянец-Подольский)

Для подавления внеполосных помех в радиометрическом приемнике для дистанционного анализа состояния животных был рассмотрен метод инженерного расчета и проектирования адаптивного компенсатора. Предлагаемый метод расчета параметров адаптивного компенсатора внеполосных помех позволил: определить необходимое время переходных процессов; требуемую точность и степень подавления помех; обеспечить согласование параметров компенсатора с параметрами выходных сигналов; максимально упростить аппаратное решение компенсатора.

Постановка проблемы. Общие требования к собственным техническим параметрам и рекомендации по их обеспечению являются основой инженерного расчета и проектирования адаптивного компенсатора внеполосных помех и направлены на совершенствование точностных динамических характеристик компенсаторов при их аппаратной реализации [1]. При этом с помощью оптимально выбранных радиоэлементов и их параметров должно обеспечиваться выполнение требований, предъявляемых к адаптивному компенсатору: необходимого времени установления переходных процессов; требуемой точности и степени подавления помех; максимального аппаратного упрощения; согласования параметров компенсатора с параметрами входных сигналов [2].

Целью статьи является обоснование метода расчета оптимальных параметров фильтра для подавления внеполосных помех

Основная часть. Схема адаптивного компенсатора подавления внеполосной помехи приведена на рис. 1 [3].

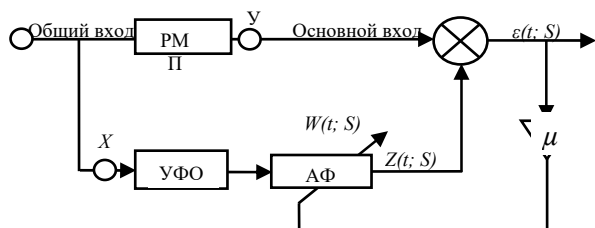


Рисунок 1 – Общая функциональная схема аналогового АКВП:

УФОС – устройство формирования опорного сигнала; АФ – адаптивный фильтр; S – аргумент преобразования Лапласа.

Структурная схема имеет один общий (для основного и опорного входов) вход, представляющий собой основной вход для компенсирующей схемы. На этот вход поступает полезный сигнал и частотно-разделимые (внеполосные по отношению к полезному) помехи. В устройстве формирования опорного сигнала (УФОС) полезный сигнал фильтруется, на вход адаптивного фильтра (АФ) адаптивного компенсатора помех (АКВП) будут поступать помехи, коррелированные только с помехами в основном входе.

В работе [4] показано, что предельно достижимая точность (минимальная погрешность) перестройки АФ определяется погрешностью за счет шумов градиента ω_1 и погрешностью за счет запаздывания перестройки АФ ω_2 . Выражение для определения данных величин можно записать в виде [4]:

$$\omega_1 = k_{\omega 1} \mu M(t), \quad (1)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\mu} \frac{k_{\omega 2} \sigma_{II}^2}{4 \sigma_{II \min}}, \quad (2)$$

где σ_{II} , $\sigma_{II \min}$ – соответственно среднеквадратическое отклонение помех и минимальная среднеквадратическая ошибка адаптации (в случае оптимального винеровского фильтра); $k_{\omega 2} + k_{\omega 1}$ – коэффициент пропорциональности; $M(t)$ – уровень помех на опорном входе АКВП.

Суммарную погрешность $\omega_2 + \omega_1$ можно минимизировать правильным выбором коэффициента усиления в цепи обратной связи μ , определяющего устойчивость и сходимость процесса адаптации. Величину определим, используя выражения (1) и (2) следующим образом [4]:

$$\mu_{opt} = \sqrt{\frac{k_{\omega 2} \sigma_{II}}{4 k_{\omega 1} \sigma_{II \min} M(t)}}. \quad (3)$$

Коэффициент, кроме того, определяет быстродействие. Быстродействие определяет возможности использования компенсаторов в РПУ с нестационарными входными воздействиями (в сложной ЭМО) и оценивается по величине постоянной времени адаптации τ_A с помощью выражения вида [4]

$$\tau_A = \frac{1}{4 \mu M(t)}. \quad (4)$$

Значение коэффициента μ для достижения требуемого быстродействия τ_{ATP} определяют из формулы (4). При этом выбор должен быть таким, чтобы обеспечивалось неравенство $\tau_{ATP} < \tau_A$ $\tau_{ATP} < \tau_A$ для каждого конкретного случая построения АКВП. Изменение

спектра за счет прохождения сигнальной составляющей в опорный вход можно оценить по формуле [4]:

$$\{S\}_{ВЫХ} = \{S\}_{ОС ВХ} \varrho_{ОС} \varrho_{ОП}, \quad (5)$$

где $\{S\}_{ВЫХ}$, $\{S\}_{ОС ВХ}$ – спектр компенсируемых помех на выходе АКВП и на выходе линейной части РПУ, соответственно.

Определим влияние аппаратурной погрешности на точность компенсации. Для оценки реальной точности подавления помех определим ухудшение отношения сигнал/шум μ на выходе АФ следующим образом:

$$q = \frac{\left[\frac{P_{\Pi}}{P_{\Delta H \min}} \right]}{\left[\frac{P}{(P_{\Delta H \min} + P_{\Delta H \Pi})} \right]}, \quad (6)$$

где P_{Π} , $P_{\Delta H \min}$, $P_{\Delta H \Pi}$ – мощность компенсируемых помех на выходе АФ, суммарная мощность шумов градиента интегрирования и мощность дополнительных шумов аппаратурной погрешности АКВП.

По аналогии с результатами работ для реальной точности подавления σ_P запишем следующее выражение:

$$\sigma_P = \sigma_{ПОТ} \left(1 + \frac{P_{\Delta H \Pi}}{P_{\Delta H \min}} \right)^2, \quad (7)$$

где σ_P – среднеквадратическая ошибка адаптации с учетом аппаратурной погрешности; $\sigma_{ПОТ}$ – среднеквадратическая ошибка адаптации за счет погрешности алгоритма.

Тогда суммарная мощность приведенных шумов на выходе АФ не должна превышать некоторой допустимой величины $P_{ВН \text{ ДОП}}$, т. е.:

$$P_{ВН} = P_Y + P_{1ПЕР} + P_{ИФ} + P_{2ПЕР} \leq P_{ВН \text{ ДОП}}, \quad (8)$$

где P_Y , $P_{1ПЕР}$, $P_{ИФ}$, $P_{2ПЕР}$ – соответственно мощность приведенных шумов усилителя в цепи обратной связи, первого перемножителя, интегрирующего фильтра: и второго перемножителя.

Однако условие (8) не является достаточным для достижения требуемой точности компенсации, поскольку в величину $P_{ВН}$ на выходе АФ в реальной схеме существенный вклад вносит шум интегратора $P_{ИНТ}$, величину которого можно определить по формуле:

$$P_{ИНТ} = \frac{k_{\omega 2} \sigma_{\Pi}^2}{4\mu}. \quad (9)$$

На выход АФ шум интегрирования проходит усиленный в K_2 раз (где K_2 – коэффициент передачи второго перемножителя). С учетом этого, при условии, что [6]:

$$P_{ИНТ} K_2 \gg (P_{1ПЕР} + P_{ИФ}), \quad (10)$$

для допустимой величины $\sigma_{ДОП}$ можно записать [87]:

$$P_{ИНТ} K_2 \leq P_{ВН} \leq P_{\Delta H} \min \left(\frac{\sigma_{ДОП}}{\sigma_{ПОТ} - 1} \right). \quad (11)$$

Поскольку коэффициент μ в нестационарных условиях при отсутствии априорных сведений о компенсируемых сигналах определяет величину избыточного шума интегрирования, то используя выражение (9), определим значение $\sigma_{ДОП}$, обеспечивающее точность компенсации не хуже допустимой:

$$\mu_{\sigma \text{ ДОП}} \leq \frac{k_{\omega 2} K_2 \sigma^2}{4 \left[P_{\Delta H} \min \left(\frac{\sigma_{ДОП}}{\sigma_{ПОТ} - 1} \right) - P'(t) \right]}, \quad (12)$$

где $P'(t) = P_{2ПЕР}(t) + P_Y(t)$.

Например, если условию (11) соответствует максимально допустимая величина шумов интегрирования $P_{ИНТ \text{ ДОП}} = 80$ мкВт, то используя выражения (9) и (10), можно определить величину коэффициента μ , удовлетворяющего условию (11). Для $P_{ИНТ \text{ ДОП}} = 80$ мкВт коэффициент μ должен превышать значение $\mu > 0,003$, если $P_{ИНТ \text{ ДОП}} = 40$, то $\mu \geq 12$.

Определим влияние внутренних шумов радиоэлементов на эффективность функционирования компенсатора которая, согласно [4], определяется из выражения:

$$\varrho = \frac{\varrho_{ОС ВХ}}{\varrho_{ОП ВХ}}. \quad (13)$$

Здесь в качестве величин $\varrho_{ОС ВХ}$ и $\varrho_{ОП ВХ}$ используются отношения:

$$\varrho_{ОС ВХ} = \frac{P_{ВН \text{ ПТ}}}{P_K} \text{ и } \varrho_{ОП ВХ} = \frac{P_{ВН}}{P_K}, \quad (14)$$

где $P_{ВН \text{ ПТ}}$, $P_{ВН}$ – соответственно, мощность внутренних шумов на выходе РПУ (на основном входе АКВП) и мощность внутренних шумов АКВП, пересчитанных на его опорный вход; P_K – мощность компенсируемых внеполосных помех на основном входе.

Так как внутренние шумы на выходе РПУ и шумы собственно АКВП не коррелированы с выходными и входными сигналами АКВП, то выражение для его эффективности, совпадает с формулой для эффективности идеального АКВП при воздействии на его входы внешних некоррелированных сигналов [4]:

Список использованных источников

1. Бристод Т. А. Применение адаптивных компенсаторов помех для радиосвязи и радиолокации: Экспресс – информация / Т. А. Бристод // Радиотехника сверхвысоких частот, 1980. – № 22. – С. 16–20.

2. Биховений М. А. Применение многоканальных компенсаторов помех в каналах связи / М. А. Биховений // М.: Радиотехника, 1984. – № 12. – С. 9–16.

3. Косулина Н. Г. Теоретический анализ открытой электродинамической системы измерения хемиллюминесценции для дистанционной диагностики биообъекта, находящегося под воздействием ЭМП / Н. Г. Косулина, А. Д. Черенков // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, 2015. – № 1 (3). – С. 58–60.

4. Максимов М. В. Защита от радиопомех / М. В. Максимов. – М.: Сов. радио, 1976. – 495 с.

5. Черенков А. Д. Теоретический анализ флуктуационных процессов в генераторе миллиметрового диапазона на основе фазовой подстройки частоты / А. Д. Черенков, О. Ю. Хандола, // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. Общегосударственный научно-производственный журнал. – 2014. – № 12 (82). – С. 55–61.

Анотація

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ І ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЕНСАТОРУ ПОЗАСМУГОВИХ ПЕРЕШКОД

Гуцол Т. Д.

Для придушення позасмугових завад у радіометричному приймачі для дистанційного аналізу стану тварин був розглянутий метод інженерного розрахунку та проектування компенсатора. Метод розрахунку параметрів адаптивного компенсатора дозволив: визначити необхідний час перехідних процесів; необхідну точність і ступінь придушення перешкод; забезпечити узгодження параметрів компенсатора з параметрами вихідних сигналів; максимально спростити апаратне рішення компенсатора.

Abstract

THE SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF CALCULATION AND DESIGNING OF THE COMPENSATOR OF EXTENDED INTERFERENCE

T. Gutsol

To suppress out-of-band interference in a radiometric receiver for remote analysis of the condition of the animals was the method of calculation and designing of the compensator. method of calculation of parameters of the adaptive compensator allowed: to determine the time of transition processes; the required accuracy and the degree of suppression; to provide the parameters of the compensator with parameters of output signals; hardware to simplify the solution of the compensator.

$$\Theta = \frac{[q_{\text{ОСН ВХ}} + 1][q_{\text{ОП ВХ}} + 1]}{q_{\text{ОСН ВХ}} + q_{\text{ОП ВХ}} q_{\text{ОСН ВХ}} + q_{\text{ОП ВХ}}}. \quad (15)$$

Как показано в работе [4], где проведен анализ формулы (15), подавление помех, поступающих на вход АКВП, осуществляется до тех пор, пока их уровень превышает уровень собственных шумов АКВП. Если это условие не выполняется, то величина $\Theta=1$, что физически эквивалентно "отключению" компенсатора и означает, что его внутренние шумы не приводят к снижению качества функционирования РПУ, т.е. к снижению его реальной чувствительности. Это обстоятельство подтверждает широкие возможности и высокую эффективность применения АКВП в РПУ.

Учет реальных условий функционирования при проектировании АКВП означает необходимость согласования параметров входных воздействий с собственными параметрами АФ. Определим, при каких условиях собственная рабочая полоса АКВП будет превышать полосу проходящих по побочным каналам приема помех на примере зеркального канала с полосой ΔF_3 при наличии нескольких узкополосных помех, приводимых к одной сосредоточенной. Очевидно, при этом собственная полоса частот $A_{\text{лк}}$ АКВП должна перекрывать полосу частот ΔF_3 , т.е.:

$$\Delta f_{\text{АК}} \geq \sum_{i=1}^n \Delta f_i \approx \Delta F_3. \quad (16)$$

Учитывая условие (16), определим необходимые требования к полосам отдельных элементов АКВП: устройству вычитания, усилителю в цепи обратной связи (ЦОС) и адаптивному фильтру. Для того, чтобы обеспечить точное подавление помех по зеркальному каналу, а также снизить до минимума искажения полезного сигнала на выходе АКВП, полоса устройства вычитания $\Delta f_{\text{УВ}}$ должна выбираться:

$$\Delta f_{\text{УВ}} \geq \sum_{i=1}^n \Delta F_3. \quad (17)$$

Полоса рабочих частот усилителя в ЦОС $\Delta f_{\text{У}}$, согласно, определяет полосу всего АКВП. Поэтому требование к величине полосы $\Delta f_{\text{У}}$, очевидно, следует определить следующим образом:

$$\Delta f_{\text{У}} \geq \Delta f_{\text{УВ}} \geq \Delta F_3. \quad (18)$$

Выводы. Разработаны основы инженерного расчета и проектирования АКВП, которые позволяют реализовать устройства с параметрами: величина собственного динамического диапазона АКВП до 60 дБ; диапазон рабочих частот от единиц до десятков ГГц; ширина рабочих частот до 100 МГц; значение верхней границы динамического диапазона АКВП до 10 В; уровень собственных шумов АКВП от 100 нВ до 10 мкВ.