

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ В ЗАДАЧАХ РАДИОУРОВНЕМЕТРИИ

Болонин В.А., Витязев В.В., Гусинский И.С., Иванов С.В.

ООО «Контакт-1».
390010, г.Рязань, ГСП, пр.Шабулина, 18.
Тел.: (0912) 53-17-36; Факс: 21-42-18.

Реферат – Рассматривается способ удаления фазовых скачков из разностного сигнала ЧМ-радиоуровнемера. Показывается возможность использования методов линейного предсказания для решения этой задачи.

Введение и постановка задачи. Основопологающим принципом работы ЧМ-радиоуровнемера является оценка значения уровня (дальности) на основе информации, содержащейся в т.н. разностном сигнале, или сигнале биений [1]. Этот сигнал содержит как полезную составляющую, так и ряд мешающих составляющих. Полезная составляющая на временных отрезках, соответствующих половине периода модуляции ЛЧМ-сигнала, представляет собой синусоидальный сигнал, несущий информацию о значении уровня (дальности) в своей частоте. В число мешающих компонент входят: 1) низкочастотная паразитная амплитудная модуляция (ПАМ), 2) отклики от других (ложных) целей, 3) шумовые сигналы небольшой мощности. Метод, позволяющий фактически устранить влияние ПАМ, разработан на основе адаптивного компенсатора помех [2]. Для разделения откликов всех присутствующих целей и выделения полезной составляющей можно использовать набор полосовых фильтров, разбивающих диапазон частот, соответствующий диапазону измерения уровнемера на несколько частотных каналов [3]. Затем выбирается канал, мощность сигнала в котором наибольшая, и оценивается частота этого сигнала.

Решению задачи разделения целей препятствует то, что разностный сигнал имеет существенный недостаток: в нем присутствуют скачки фазы, соответствующие моментам переключения пилообразного модулирующего сигнала с прямого хода на обратный и наоборот (см. рис.1).

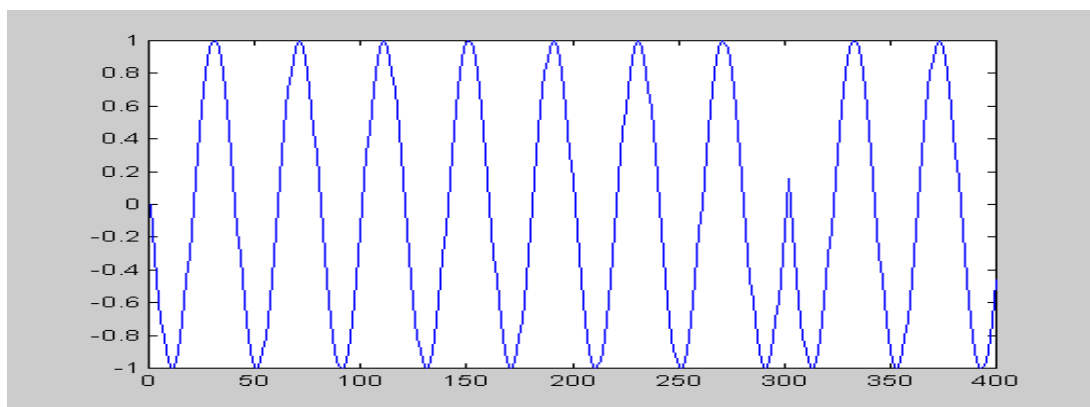


Рис.1. Сигнал биений с присутствием в нем скачка фазы.

Это приводит к расширению и несимметричности спектра сигнала, что снижает точность оценки частоты этого сигнала. Если такой сигнал подвергнуть узкополосной фильтрации, то в моменты фазовых скачков возникнут провалы амплитуды сигнала (в худшем случае почти до нулевой отметки). Таким образом, возникает дополнительная паразитная амплитудная модуляция, также сильно влияющая на точность оценки частоты разностного сигнала. Самым простым решением данной проблемы было бы оценивать частоту сигнала на отрезке времени, соответствующем половине периода модуляции ЛЧМ-сигнала. Недостаток такого способа заключается в том, что на малых расстояниях, соответствующих низким частотам, при сравнительно небольшом числе периодов сигнала на данном интервале, точность оценки частоты сильно падает. Проблему скачков фазы можно решить при помощи т.н. метода “сшивки”, когда переключение модулирующего сигнала происходит в момент достижения разностным сигналом экстремума [4]. Но на точность этой операции сильно влияет то обстоятельство, что после прохождения входных цепей разностный сигнал получает некоторый фазовый сдвиг.

Таким образом, для повышения точности измерения частоты разностного сигнала, необходимо с помощью цифровых методов устранить влияние скачков фазы в этом сигнале.

Метод удаления скачков фазы из разностного сигнала на основе алгоритма линейного предсказания. Предположим, что изменение частоты излучаемого сигнала на временном отрезке, соответствующем половине периода модуляции, является строго линейным с априорно известным значением крутизны. В этом случае разностный сигнал обладает постоянством частоты, и из него можно вырезать любой участок.

Решить задачу удаления фазовых скачков из разностного сигнала может устройство, основной частью которого является адаптивный предсказывающий фильтр (см. рис.2).

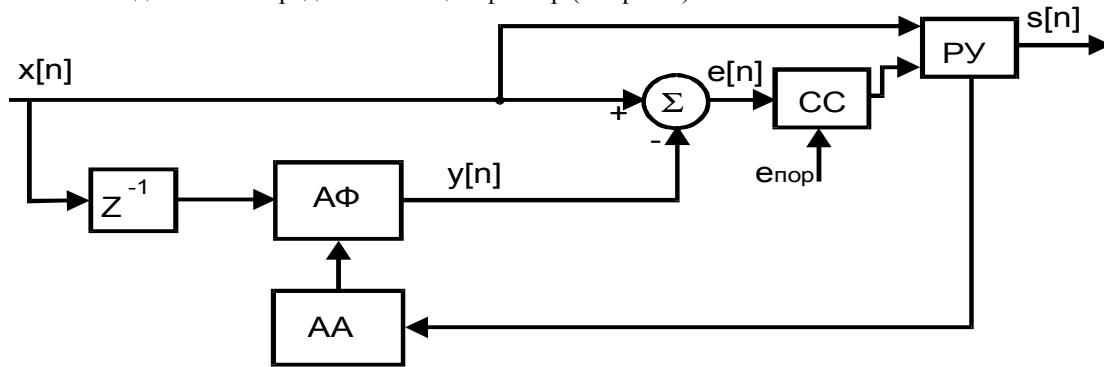


Рис.2. Устройство “сшивки” разностного сигнала на основе фильтра с линейным предсказанием.

На рисунке : АФ –адаптивный фильтр, АА – адаптивный алгоритм, СС –схема сравнения, РУ – решающее устройство, $x[n]$ – входной сигнал, $y[n]$ – выходной сигнал адаптивного фильтра, $e[n]$ – ошибка предсказания, $e_{пор}$ – пороговое значение ошибки, $s[n]$ – выходной сигнал устройства.

Порядок адаптивного фильтра равен 2. В этом случае после кратковременного переходного процесса сигнал на выходе адаптивного фильтра $y[n]$ близок к предсказываемому сигналу $x[n]$ [2]. В момент времени, соответствующий скачку фазы, происходит рассогласование сигналов $x[n]$ и $y[n]$. Значение ошибки предсказания $e[n]$ возрастает. Это значение поступает на вход схемы сравнения (СС), где сравнивается с некоторым пороговым значением $e_{пор}$. В случае превышения этого значения решающее устройство (РУ) дает сигнал на остановку предсказания, и одновременно на запрещение передачи на выход данного отсчета входного сигнала. Последнее значение выходного сигнала АФ (назовем его y_1) сохраняется и сравнивается с каждым вновь пришедшим значением входного сигнала. Если ошибка превышает пороговое значение – отсчет отбрасывается. Так продолжается до тех пор, пока разность между y_1 и очередным пришедшим отсчетом входного сигнала не станет меньше $e_{пор}$. В этом случае решающее устройство разрешает передачу данного отсчета на выход и одновременно вновь разрешает предсказание входного сигнала. Таким образом, из массива входного сигнала удаляется участок, содержащий фазовый скачок. На рис.3 показан сигнальный массив, получающийся на выходе устройства “сшивки”, если на его вход подать сигнал, показанный на рис.1.

Работа устройства “сшивки” в условиях влияния шумов. Вышеописанное устройство успешно работает в случае, когда влияние шумов незначительно (соотношение сигнал / шум не менее 60 дБ). При более низких соотношениях необходимо усовершенствование метода “сшивки”. Во-первых, необходимо уменьшить влияние шумов на входной сигнал. Для этого, перед подачей на устройство “сшивки”, он пропускается через адаптивное устройство подавления помех [2]. Одна из разновидностей устройства подавления помех изображена на рис.4.

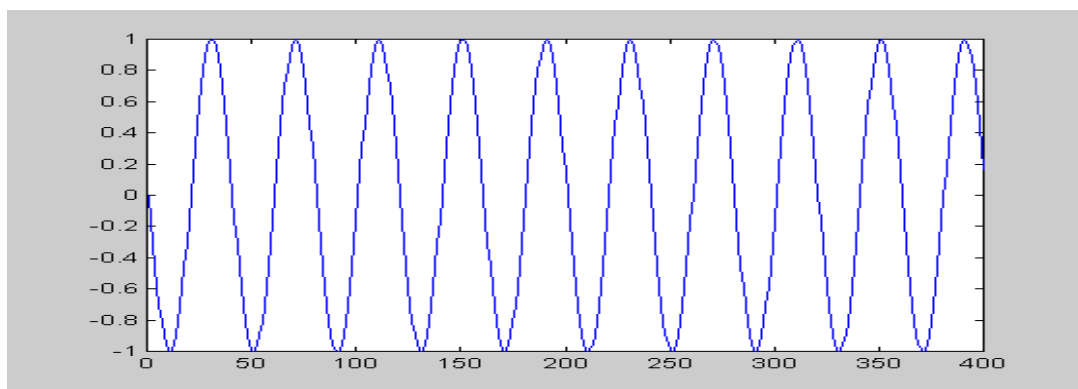


Рис.3. Сигнал на выходе устройства “сшивки”.

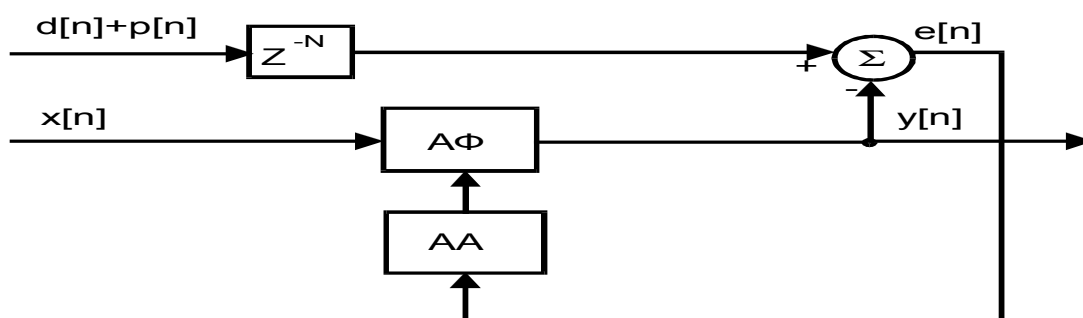


Рис.4. Адаптивный подавитель помех.

На рисунке: АФ – адаптивный фильтр, АА – адаптивный алгоритм, $d[n]+p[n]$ – полезный сигнал + шум, $x[n]$ – входной сигнал АФ, $y[n]$ – выходной сигнал АФ, $e[n]$ – ошибка адаптации, Z^{-N} – задержка, обусловленная АФ.

Входной сигнал $x[n]$ является коррелированным с полезным сигналом $d[n]$. При этом на выходе адаптивного фильтра в установившемся режиме образуется сигнал $y[n]$, близкий к полезному $d[n]$ по критерию минимума среднеквадратической ошибки. В этом сигнале влияние шумов и помех значительно ослаблено, и именно он снимается с выхода подавителя помех. В данном случае в качестве сигнала $x[n]$ используется сигнал с выхода поискового устройства, представляющего собой набор полосовых фильтров, разбивающего диапазон частот полезного сигнала на каналы [3], и решающего устройства, выбирающего канал, мощность сигнала в котором наибольшая. На вход этого устройства подается сигнал $d[n]+p[n]$. Полученный сигнал не является точной копией сигнала $d[n]$, поскольку имеют место провалы амплитуды сигнала в моменты фазовых скачков, о которых говорилось выше. Поэтому он подается на вход адаптивной системы, приводящей сигнал $x[n]$ на своем входе к сигналу, близкому к $d[n]$ на своем выходе. Моделирование показало, что данное адаптивное устройство обеспечивает ослабление шума на своем выходе до 20–40 дБ.

Поскольку полностью устранить влияние шумов не удастся, устройство “сшивки” (рис.2) усложняется. Вводится два порога – нижний епор1 и верхний епор2 . Область значений ошибки предсказания разделяется на 3 зоны: зона действия шума – нижняя зона ($e[n] < \text{епор1}$), зона фазовых скачков – верхняя зона ($e[n] > \text{епор2}$), и зона неопределенности ($\text{епор1} < e[n] < \text{епор2}$). Если значение ошибки попадает в нижнюю зону, отсчеты входного сигнала передаются на выход устройства. В эти моменты АФ продолжает предсказывать значения входного сигнала. При попадании в верхнюю зону происходит вырезание из сигнального массива участка со скачком фазы при помощи метода, представленного выше. Если значение ошибки предсказания таково, что из нижней зоны происходит перемещение в зону неопределенности, то на выход устройства передается предсказанное значение $y[n]$, а решение принимается на следующем шаге. При наличии фазового скачка значение ошибки переместится в верхнюю зону, процесс предсказания останавливается, и происходит вырезание участка сигнала $x[n]$. Если имеет место скачок ошибки, вызванный влиянием шума, то произойдет возвращение в нижнюю зону, и в этом случае значения $x[n]$ передаются на выход.

Вывод. Цифровое устройство “сшивки” на основе фильтра с линейным предсказанием позволяет устранить влияние скачков фазы разностного сигнала на точность оценки частоты этого сигнала, уменьшая при этом погрешность измерения ЧМ-радиуровнемера.

Список литературы:

1. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. – М.: Советское радио, 1968.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.
3. Витязев В.В. Цифровая частотная селекция сигналов. – М.: Радио и связь, 1993.
4. Атаянц Б.А., Болонин В.А., Езерский В.В., Кагаленко Б.В. Адаптивный частотно-модулированный уровнемер // VI МНТК “Радиолокация, навигация, связь”, Воронеж, 2000.

USING THE METHODS OF LINEAR PREDICTION IN FM RADOLOCATION LEVEL-METER

Bolonin V.A., Vityazev V.V., Gusinsky I.S., Ivanov S.V.

“Contact-1”

390010, Ryazan, Shabulina,18.
Tel. (0912) 53-17-36, Fax 21-42-18.

Referat - It is considered the way of removing the phase jumps from beatings signal of FM level-meter. Appears the possibility of use the methods of linear prediction for decision of this problem.

Introduction and statement of the problem. Background principle of working FM level-meter is estimation of level on base of information, kept in signal of beatings. This signal contains as useful forming, so and row disturbing component. Useful forming on temporary lengths, corresponding to half of period of inflexion LFM-signal, presents itself harmonic signal, carrying information on importance of level in its frequency. In number disturbing component enter: 1) low-frequency stray amplitude modulation (LFSAM), 2) responses from other (false) whole, 3) noise signals to small power. The method, allowing practically avoid the influence to LFSAM, is developed on base of adaptive compensator of disturbing signals. For division of responses all being present whole and separations useful forming possible use set of passband filters, splitting range of frequencies, corresponding to range of level-meter measurements on several frequency channels [1]. Then the channel, power of signal in which most, is chosed, and frequency of this signal is estimated. Decision of problem of division whole prevents that beatings signal has essential defect: in it is present jump of phase, corresponding to moments of switching modulating signal with direct move on inverse conversely. This brings about expansion and asymmetries of spectrum of signal that reduces accuracy of estimation of frequency of this signal. Processing by narrow-band filter leads to collapses of signal amplitude at moments of phase jumps.

Thereby, for increasing the accuracy of beatings signal frequency measurement, necessary by means of digital methods to avoid the influence of phase jumps in this signal.

The method of removing the phase jumps from beatings signal on base of algorithm of linear prediction. Solve problem of removing the phase jumps from beatings signal can device, which main part is adaptive predicting filter [2]. After short transitional process a signal on output of the adaptive filter close to predicted signal. At moment of time, corresponding to jump of phase, occurs the unbalance of these signals. Value of prediction mistake increases. This value enters on the scheme of comparison, where is compared with some threshold value. In the event of excess of this importance solving device gives the signal to stop of prediction, and simultaneously on prohibition to send the input value to output. The last value of adaptive filter output signal is saved and compared with each newly received by value of input signal. If mistake exceeds threshold value – output value is rejected. So lasts until difference between saved value and the next input signal value does not become less threshold value. In this case solving device allows the issue of output value and simultaneously newly allows the prediction of input signal. Thereby, from array of input signal is deleted the area, containing phase jump.

Functioning the device in conditions of noise influence. The above-mentioned device successfully works when influence of noises is small (the signal / noise attitude not less than 60 dB). Under more low correlations necessary improvement of this method. First, necessary to reduce the influence of noises on input signal. For this, before presenting on the main device, it is missed through adaptive device of noise cancelling [2]. The input signal of adaptive filter is correlated with useful signal. Adaptive filter is formed the output signal, close to useful signal on criterion of minimum an average square of mistake. In this signal an influence of noises and disturbing signals vastly weakened, and it send to the output. In this instance as input signal is used the signal from the output of the search device, presenting itself set of bandpass filters, separating range of frequencies of useful signal on channels [1], and solving devices, choosing channel, power of signal in which most. Modeling has shown that given adaptive device provides the weakening of noise on its output before 20 - 40 dB.

Since completely avoid the influence of noises does not manage, device must be complicated. There are two thresholds in it - lower threshold and upper threshold. The area of mistake values divides on 3 zones: zone of noise action - lower zone, zone of phase jumps - upper zone, and zone of uncertainty. If value of mistake falls into lower zone (less than lower threshold), we send the input signal to the output. In these moments adaptive filter continues to predict values of input signal. At hit in upper zone (more than upper threshold) proceeds removing from signal array of area with phase jump by method, presented above. If value of mistake such a that from lower zone occurs displacement in zone of uncertainties then on leaving the device is sent predicted value. On the following step on entry adaptive filter is given predicted it value, and decision is taken on this step exactly. At presence phase jump value of mistake will move in upper zone, process of prediction stops, and occurs cutting the area of input signal. If exists the jump of mistake, caused by influence of noise, that will occur return in lower zone, and in this case input values are sent to the output.

Results. The digital device on base of filter with linear prediction allows to avoid the influence of phase jumps of beatings signal on frequency estimation accuracy of this signal, reducing at inaccuracy of FM level-meter measurements.

The list of literature:

1. Vityazev V.V. Digital frequency signal selection. – М.: Radio & communication, 1993.
2. Widraw B., Stearns S. Adaptive signal processing. – М.: Radio & communication, 1989.