

ТРЕБОВАНИЯ К ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО ЧМ-УРОВНЕМЕРА

Атаянц Б.А., Болонин В.А., Езерский В.В., Мирошин С.В.

ООО “Контакт-1”.

390010, г.Рязань, ГСП, пр.Шабулина, 18.

Тел.: (0912) 53-17-36; Факс: 21-42-18.

Реферат - Рассмотрены требования к параметрам цифрового устройства формирования и обработки сигналов ЧМ-уровнемера, адаптивного к внешним условиям работы.

В работе [1] рассмотрена схема и описан алгоритм работы адаптивного ЧМ-уровнемера. В основу работы прибора заложен принцип отказа от неизменности модулирующего напряжения. Модулирующее напряжение симметричной треугольной формы целесообразно изменять в соответствии с изменяющимися внешними условиями таким образом, чтобы сохранялась постоянная средняя крутизна изменения частоты излучаемого сигнала, и отсутствовали скачки фазы в сигнале разностной частоты. Для этого достаточно управлять амплитудой модулирующего напряжения и определённым образом выбирать моменты переключения треугольного напряжения с прямого хода на обратный.

Скачки фазы будут отсутствовать в сигнале биений, если производить такие переключения в моменты достижения сигналом разностной частоты $U_p(t)$ одного из своих экстремумов. Таким образом происходит процесс, который можно назвать “сшиванием” фазы $U_p(t)$ на границах полупериодов модулирующего напряжения $U_m(t)$. Чтобы при этом сохранялась неизменной крутизна изменения частоты излучаемого сигнала, переключение необходимо производить после того, как эта частота достигнет одной из двух заранее заданных частот F_n или F_g . Одновременно необходимо поддерживать постоянным интервал времени, в течение которого частота изменится от F_n до F_g или наоборот.

При таком управлении модулирующим напряжением сигнал разностной частоты представляет собой практически непрерывную синусоиду. Если модуляционная характеристика (МХ) генератора является линейной, то частота этой синусоиды F_p будет постоянной, пропорциональной расстоянию до контролируемой поверхности. Очевидно, что такой сигнал можно фильтровать узкополосным фильтром. В случае нелинейной МХ разностная частота F_p изменяется в пределах каждого полупериода модуляции и информация о дальности заключается в её среднем значении.

Измерить среднюю частоту непрерывного отфильтрованного сигнала можно с любой достаточно высокой точностью, задавая соответствующую длительность интервала измерения.

Рассмотрим особенности сигналов такого уровнемера, его основных узлов и требования к цифровой реализации исходя из того, что формирование модулирующего сигнала и обработка сигнала разностной частоты производятся в цифровом виде.

1. Обычно диапазон изменения дальности до продукта такой, что динамический диапазон сигнала разностной частоты достигает 60 дБ.
2. Кроме полезного сигнала на входе схемы обработки присутствуют так называемый сигнал паразитной амплитудной модуляции (ПАМ), вызванный несогласованностью СВЧ тракта и превышающий в некоторых случаях полезный сигнал на 20 дБ, мешающие сигналы, вызванные отражениями от стенок бункера и элементов его конструкции, а также флюктуационные шумы.
3. Форма сигнала ПАМ достаточно сложная, период повторения совпадает с периодом модуляции и, следовательно, спектр ПАМ содержит множество гармоник, кратных частоте модуляции F_m .
4. Диапазон частот полезного сигнала зависит от девиации частоты СВЧ генератора ΔF и диапазона измеряемой дальности и в большинстве случаев лежит в пределах от F_m до $200F_m$, т.е. перекрывается со спектром ПАМ.
5. Точность “сшивания” фазы влияет на погрешность измерения дальности [1] и не должна быть хуже нескольких градусов.
6. Модулирующее напряжение СВЧ модуля зависит от используемого типа варактора, и чаще всего может изменяться в пределах 5...20 в.
7. Средняя крутизна МХ для большинства используемых варакторов лежит в пределах (60±100) МГц/в.
8. Требуемая точность измерения дальности зависит от технических требований к уровнемеру и может изменяться от нескольких сантиметров до нескольких миллиметров, т.е. допустимая относительная погрешность может достигать значений 10^{-4} . Такая точность может быть достигнута при отношении сигнал/шум не менее 60 дБ.
9. Измеряемая величина изменяется во времени сравнительно медленно, что позволяет использовать невысокие частоты модуляции.

Отмеченный выше динамический диапазон полезного сигнала в 60 дБ и его соотношение с сигналом ПАМ –20 дБ, позволяют утверждать, что для достаточно верного представления отсчётов смеси сигнала с помехой и шумом необходимо использовать шестнадцатиразрядный АЦП. При этом даже на максимальной дальности для цифрового представления полезного сигнала остаётся 6 разрядов полной разрядной сетки.

Требуемое количество разрядов для формирования модулирующего пилообразного напряжения определяется исходя из заданной точности измерения расстояния. Расстояние вычисляется по следующей формуле:

$$R = \frac{cf_p}{8K_f},$$

где: c - скорость распространения радиоволн в рабочей среде, f_p - измеренная частота разностного сигнала, K_f - крутизна изменения частоты излучаемого сигнала.

Отсюда ясно, что необходимо с требуемой точностью поддерживать K_f . В связи с тем, что $K_f = (F_g - F_n) / T_{\text{вн}}$, где $T_{\text{вн}}$ - интервал времени, в течение которого частота изменится от F_n до F_g , необходимо с требуемой точностью поддерживать интервал времени $T_{\text{вн}}$. Если считать независимыми изменения частоты и интервала $T_{\text{вн}}$, можно относительную стабильность этих величин задавать одинаковой и равной 10^{-4} . В рассматриваемом приборе [1] управление отмеченным интервалом времени производится с помощью изменения $U_M(t)$. Поэтому необходимо иметь возможность с таким минимальным шагом изменять $U_M(t)$. Требуемое количество уровней квантования напряжения при цифро-аналоговом преобразовании должно быть не менее, чем:

$$N = \frac{U_M}{\Delta U_M},$$

где: $\Delta U_M = 2U_M F_M \Delta t$ - требуемый дискрет изменения напряжения,

$$\Delta t = T_{\text{вн}} \cdot 10^{-4}.$$

Считая, что $T_{\text{вн}} \approx 1/2F_M$, получим $N=10^4$, что с запасом обеспечивается шестнадцатиразрядным

ЦАП.

Оценка минимального объёма памяти или необходимого времени измерения разностной частоты может быть получена исходя из требуемой точности измерения и частоты дискретизации разностного сигнала.

Для достижения погрешности измерения порядка 10^{-4} практически возможно отфильтровать полезный сигнал от ПАМ начиная с частот не менее $5F_M$, и дискретная ошибка при счетном измерении частоты сильнее всего сказывается при минимальной дальности, то необходимо время измерения

$$T_{\text{ИЗМ}} = 2 \cdot 10^3 / F_M.$$

Возможно измерение F_p с помощью цифровой обработки сигнала на основе спектральных методов.

В этом случае для хранения обрабатываемых отсчетов необходимо иметь число ячеек памяти

$$K_{\Pi} = \frac{1}{F_M T_D},$$

где: $T_D = 1/4 \cdot 200F_M$ - период дискретизации разностного сигнала с коэффициентом запаса, равным 4 (получен по результатам моделирования обработки на ЭВМ). В результате получаем объем памяти, равный 1,6 кбайт.

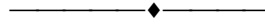
Требования к точности “сшивания” фазы задают точность определения экстремума разностного сигнала и, следовательно приводят к увеличению частоты дискретизации. При реализации заданной погрешности 10^{-4} ошибка “сшивания” фазы не превосходит 4...5 градусов [1] и частота дискретизации возрастает до значений $70...90 F_p$. Такие значения частоты дискретизации неприемлемы из-за ужесточения требований к быстродействию процессора, поэтому целесообразнее использовать иные методы поиска экстремума.

Наличие сигнала ПАМ приводит к необходимости цифровой фильтрации его гармоник (что сделать чрезвычайно сложно из-за перекрытия спектров ПАМ и разностного сигнала) или цифровой компенсации.

Таким образом, для практической реализации цифрового адаптивного ЧМ-уровнемера с погрешностью измерения 10^{-4} необходимы шестнадцатиразрядные ЦАП, АЦП и процессор, имеющий высокое быстродействие, зависящее от требуемого времени выдачи результата измерения. При этом алгоритм цифровой обработки сигнала разностной частоты представляет собой серию достаточно сложных процедур, требующих значительных временных и вычислительных затрат.

Список литературы:

1. Атаянц Б.А., Болонин В.А., Езерский В.В., Кагаленко Б.В. Адаптивный частотно-модулированный уровнемер // VI МНТК "Радиолокация, навигация, связь", Воронеж, 2000.



REQUIREMENTS TO DIGITAL REALIZATION ADAPTIVE FM LEVEL-METER

Atayanz B.A., Bolonin V.A., Ezerski V.V., Miroshin S.V.

"Kontakt-1"

390010, g.Ryazan, Shabylina, 18.

Тел.: (0912) 53-17-36; The Fax: 21-42-18.

The Abstract - is considered requirements to parameters of digital device of shaping and processing the signals FM level-meter adaptive to external environment of work.

In work [1] is considered scheme and is described algorithm of work adaptive FM level-meter. Switching triangular modulating voltages with direct move on inverse is produced at moments of achievement by signal of beatings $U_p(t)$ of one of the their own extremums. In total are absent the jumps of phase of signal of beatings. For conservation of unchangeable steepness of change the frequency of radiated signal, switching necessary to produce after this frequency will reach one of the two beforehand given frequencies F_n or F_g . Simultaneously necessary to support the constant time lag, during which frequency will change from F_n before F_g or on the contrary.

At, signal of beatings presents itself practically unceasing harmonic. Measure its frequency possible with any enough pinpoint accuracy, assigning corresponding to duration of interval of measurement.

The Particularities of signals such level-meter and its main nodes:

1. The Dynamic range of signal of beatings reaches 60 dB.
2. Except useful signal at the input schemes of processing is present the signal to LFSAM exceeding in some cases useful signal on 20 dB, disturbing signals from walls of bunker, as well as noises.
3. The form of signal to LFSAM enough complex and its spectrum contains the ensemble of harmonicas, multiple frequency to inflexions F_m .
4. The range of frequencies of useful signal in most cases lies within from F_m before $200F_m$ i.e. it is overlaid with spectrum to LFSAM.
5. Accuracy phases link-ups influences upon inaccuracy of measurement to range [1] and must not be worse several degree.
6. Modulating voltage СВЧ module depends on used type варактора, and most often can change within 5...20 v.
7. The average steepness modulation feature (60...100) MHz/v
8. Required relative accuracy of measurement to range can reach values 10^{-4} .

Noted above dynamic range of useful signal in 60 db and its correlation with signal to LFSAM -20 db bring about need to use 16-bit ADC required amount of cathegories for shaping modulating voltage is defined minimum at a walk with which necessary to change modulating voltage. Required amount of levels of slicing of voltage at numeral-analog transformation must be not less, than:

$$N = \frac{U_m}{\Delta U_m}, ,$$

where: $\Delta U_m = 2U_m F_m \Delta t$ - required change the voltage, $\Delta t = T_{\text{вн}} \cdot 10^{-4}$.

Considering that $T_{\text{вн}} \approx \frac{1}{2F_m}$, will get $N=10^4$ that with spare is provided the 16-bit DAC.

For achievement of inaccuracy of measurement of order practically possible to filter useful signal from LFSAM as from frequencies not less $5F_M$, and discrete mistake under counting measurement of frequency strong whole tells under minimum range, that necessary time of measurement

$$T_{ИЗМ} = 2 \cdot 10^3 / F_M.$$

Measurement F_p by means of digital processing the signal on base of spectral methods requires a number of cells of memory for keeping of processed counting out

$$K_{\Pi} = \frac{1}{F_M T_{\Delta}},$$

where: $T_{\Delta} = 1/4 \cdot 200F_M$ - period of sampling the signal of beatings with factor of spare, equal 4 (is received on results of modeling of processing on computer). As a result we get the volume of memory, equal 1,6 kbytes.

Requirements to accuracy phases link-ups increase sampling frequency before values 70...90 F_p . Such values of frequency sampling unacceptable because of tightening the requirements to speed of processor, so expedient to use other methods of searching for of extremum.

Presence of signal to LFSAM brings about need of digital filtration of its harmonicas (that do exceedingly in a complicated way because of overlapping of spectrums to LFSAM and the signal of beatings) or digital compensation.

The List of literature:

1. Atayanz B.A., Bolonin V.A., Ezerski V.V., Kagalenko B.V. Adaptive frequency-modulated level-meter // VI ISTC "Radar, navigation, communication", Voronezh, 2000.