

УДК 681.846.73:531.76

В.К. Железняк, М.В. Лауфер, А.В. Мачульский

В О П Р О С Ы П О В Ы Ш Е Н И Я Т О Ч Н О С Т И И З М Е Р Е Н И Й
К О Л Е Б А Н И Й С К О Р О С Т И Д В И Ж Е Н И Я Н О С И Т Е Л Я З А П И С И

Показано, что при измерении колебаний скорости движения носителя записи путем преобразования частотно-модулированного (ЧМ) сигнала в частотно-импульсно-модулированный (ЧИМ) сигнал с последующей фильтрацией составляющих последнего имеют место погрешности измерений, обусловленные изменениями среднего значения частоты измерительного сигнала и частоты колебаний скорости. Предложены пути практического исключения указанных погрешностей.

Большинство современных приборов для измерения колебаний скорости основано на принципе преобразования входного ЧМ-сигнала в ЧИМ-сигнал с последующей частотной селекцией составляющих последнего, пропорциональных колебаниям скорости.

Рассмотрим сигнал на выходе фильтра нижних частот, применяемо-

го в качестве частотного селектора. Ограничимся при этом допущением, что колебания скорости представляют собой детерминированный, более того гармонический процесс. Тогда сигнал на выходе фильтра нижних частот может быть представлен в виде:

$$u = u_0 + u_m \sin(\Omega t + \varphi). \quad (1)$$

Постоянная составляющая сигнала равна

$$u_0 = u_u \tau f_0, \quad (2)$$

где f_0 - частота измерительного сигнала;
 τ - длительность импульсов ЧИМ-сигнала;
 u_u - амплитуда импульса ЧИМ-сигнала.

Амплитуда переменной составляющей, исходя из работы [1], равна

$$u_m = u_u K_v \frac{f_0}{\pi F_m} \sin \frac{\Omega \tau}{2}, \quad (3)$$

где K_v - коэффициент колебаний скорости;
 F_m, Ω - частота и круговая частота колебаний скорости соответственно.

Выражение (3) можно представить в виде:

$$u_m = u_u K_v f_0 \tau \frac{\sin \frac{\Omega \tau}{2}}{\frac{\Omega \tau}{2}}. \quad (4)$$

Это дает возможность констатировать зависимость амплитуды переменной составляющей от частоты колебаний скорости, т.е. наличие частотной погрешности измерений колебаний скорости. Выражением

$$\frac{\Omega \tau}{2} \leq 0,1 \quad (5)$$

определяется условие практического отсутствия указанной погрешности, так как из формулы (4) получаем:

$$U_{m1} = U_u f_0 \tilde{\tau} K_V. \quad (6)$$

Из выражения (5) очевидна необходимость уменьшения длительности импульсов ЧИМ-сигнала для расширения диапазона частот измеряемых колебаний скорости за счет уменьшения погрешности измерений в области высоких частот. С другой стороны, из выражения (6) очевидно, что для увеличения чувствительности, определяемой по следующей формуле:

$$k = \frac{U_m}{K_V} = U_u f_0 \tilde{\tau}, \quad (7)$$

необходимо увеличение длительности импульсов ЧИМ-сигнала.

Таким образом, оптимальный выбор длительности импульсов ЧИМ-сигнала определяется условием получения максимально допустимой погрешности измерений, определяемой в области высоких частот колебаний скорости.

Частотная погрешность измерений колебаний скорости определяется как разность выражений (6) и (4), т.е.:

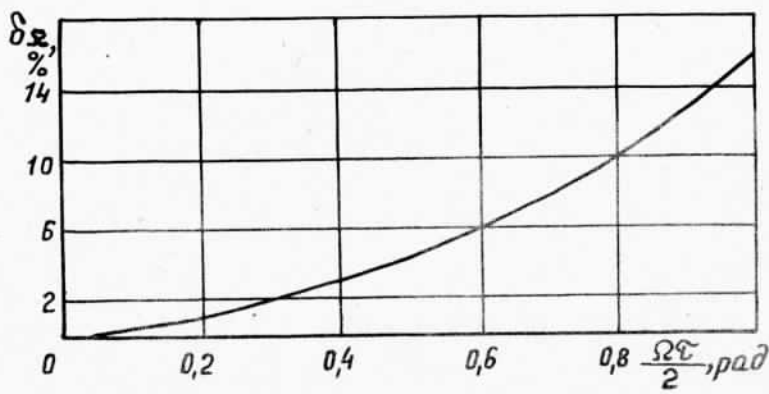
$$\Delta U_m = \frac{U_u K_V}{Q} \left(1 - \frac{\sin \frac{\Omega \tilde{\tau}}{2}}{\frac{\Omega \tilde{\tau}}{2}} \right), \quad (8)$$

где Q - скважность импульсов ЧИМ-сигнала.

Относительная частотная погрешность будет:

$$\delta_{\Omega} = \frac{\Delta U_m}{U_{m1}} = 1 - \frac{\sin \frac{\Omega \tilde{\tau}}{2}}{\frac{\Omega \tilde{\tau}}{2}}. \quad (9)$$

Зависимость относительной погрешности от $\frac{\Omega \tau}{2}$ представлена на рисунке.



Зависимость относительной погрешности δ_{Ω} от $\frac{\Omega \tau}{2}$.

Можно рекомендовать величину $Q_{\text{мин}} = 2$.

Из выражения (4) очевидно также наличие погрешности, обусловленной изменением среднего значения частоты измерительного сигнала, так как длительность импульсов ЧИМ-сигнала задается параметрами преобразователя и остается постоянной. Эта погрешность определяется выражением:

$$\Delta U_{m_{\Omega}} = U_u K_v \tau \frac{\sin \frac{\Omega \tau}{2}}{\frac{\Omega \tau}{2}} \Delta f_0, \quad (\text{I0})$$

где Δf_0 - прирост среднего значения частоты измерительного сигнала.

Относительная погрешность будет:

$$\delta_f = \frac{\Delta U_{m_{\Omega}}}{U_m} = \frac{\Delta f_0}{f_0}. \quad (\text{II})$$

Изменения среднего значения частоты измерительного сигнала, а следовательно, и погрешность измерений, обуславливают сколько-нибудь скорости и различие в значениях средней скорости движения носителя в аппаратуре записи измерительной сигналограммы и в про-

веряемой аппаратуре. Наличие указанной погрешности является существенным недостатком ряда отечественных и зарубежных детонометров [2], например, КВУ-13 (СССР), ЕМТ-421 (ФРГ) и др., так как в соответствии с действующим ГОСТ 11948-66 [3] допускается отклонение частоты измерительного сигнала детонометра $\pm 10\%$, что имеет следствием такую же погрешность измерений колебаний скорости.

Устранение погрешности, обусловленной отклонением частоты измерительного сигнала от номинального значения, можно обеспечить применением каскада с регулируемым с помощью управляющего напряжения коэффициентом передачи. Это техническое решение реализовано в серийно выпускаемых детонометрах III группы ГОСТ 11948-66 типа 4И и детонометрах II группы упомянутого стандарта типа 3И [4]. Погрешность, обусловленная изменениями среднего значения частоты измерительного сигнала в пределах, предусмотренных ГОСТ 11948-66, практически не влияет на результаты измерений указанных приборов.

Литература

1. Сифоров В.И., Дробов С.А., Ширман Ф.Д., Железнов И.А. Теория импульсной радиосвязи, ЛКВВИА, Л., 1951.
2. Бессчетлов Е.А. Характеристики частотных детекторов детонометров при нестабильной частоте измерительного сигнала. "Техника кино и телевидения", 1970, №12.
3. Прибор для измерения коэффициента детонации аппаратуры для записи и воспроизведения звука. Технические требования, ГОСТ 11948-66.
4. Мачульский А.В., Лауфер М.В., Железняк В.К., Сагайдак В.А. Устройство для измерения колебаний скорости сигналограммы. Авт. свид. СССР №241130. "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки СССР", 1968, №13.