А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 2 1972

УДК 621.317.759 : 621.376.58

М. Б. НИКИФОРОВ, Г. О. ПАЛАМАРЮК
(Рязань)

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА

Разработка информационных измерительных систем для частотно-импульсных сигналов (ЧИС) с предварительной их математической обработкой обусловлена, с одной стороны, успехами создания частотных датчиков различных электрических и неэлектрических величин [1], частота следования импульсов которых пропорциональна контролируемому параметру, с другой стороны — возможностью предварительной математической обработки ЧИС без промежуточного преобразования информации, средствами техники частотно-импульсного моделирования [2]. В настоящее время разработан широкий круг решающих [3, 4] и измерительных устройств [5] для ЧИС. Предлагаемая статья посвящена разработке и исследованию устройств для измерения первой производной ЧИС по невременному аргументу, заданному также в виде частоты следования импульсов.

Известен способ получения первой производной ЧИС по невременному аргументу [6], заключающийся в дифференцировании функции $F_y(t)$ и аргумента $F_x(t)$ по времени и в последующем делении полученных сигналов

$$F_z(t)=\frac{dF_y(t)}{dF_x(t)}=\frac{dF_y(t)}{dt}:\frac{dF_x(t)}{dt}. \tag{1}$$

Формируемый сигнал $F_z(t)$ измеряется каким-либо частотомером [5], в выходном регистре которого будет храниться код, пропорциональный первой производной $\frac{dF_y(t)}{dF_x(t)}$.

Недостатком, резко ограничивающим возможности применения данного метода, является ограничение, накладываемое на закон изменения аргумента $F_x(t)$ во времени. Для подтверждения сказанного рассмотрим работу устройства, реализующего алгоритм (1), при воздействии на его входы сигналов (рис. 1, *а*). Пусть для простоты рассуждений сигналы $F_y(t)$ и $F_x(t)$ связаны линейной зависимостью, т. е. $F_y(t)=kF_x(t)$; тогда

$$F_z(t)=\frac{dF_y(t)}{dF_x(t)}\equiv k, \tag{2}$$

что и показано на рис. 1, *б*. Если сигнал $F_x(t)$ примет постоянное значение $F_{x_1}=k_1t_1$ в течение некоторого интервала t_1-t_2, то и сиг-

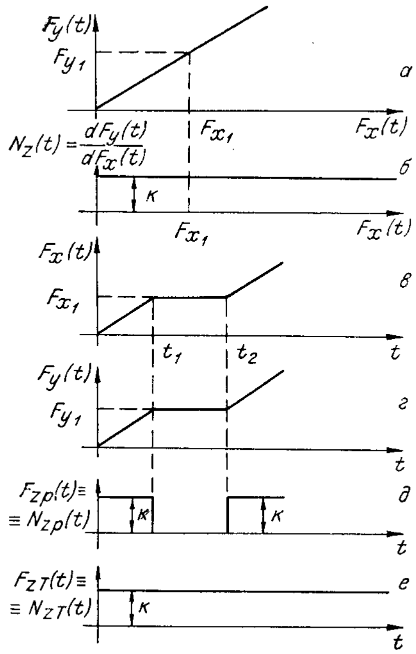

Рис. 1.

нал $F_y(t)$ в указанном интервале будет иметь постоянное значение $F_{y1}=kk_1t_1$. В этом случае производные постоянных сигналов F_{y_1} и F_{x_1} по времени равны нулю и их деление в соответствии с алгоритмом (1) дает неопределенность, вычисление которой с помощью односторонней производной слева дает величину k, как и должно быть в соответствии с рис. 1, *б* и *е*, а деление на реальных частотно-импульсных устройствах [4, 6] дает нулевой выходной сигнал $F_{zp}(t)$ (см. рис. 1, *д*), т. е. приводит к формированию неверного результата.

Вторым недостатком рассмотренного метода является необходимость измерения полученного сигнала $F_z(t)$ с помощью какого-либо частотомера, что влечет за собой появление дополнительных динамических ошибок и возрастание аппаратурных затрат.

Возможно построение устройства для измерения первой производной ЧИС, устраняющего оба рассмотренных недостатка. Устройство (рис. 2) представляет собой частотно-импульсную следящую систему [3], которая состоит из реверсивного счетчика РС$_1$ и двоичного умножителя ДУ$_1$ [7] и в цепь обратной связи которой включены делитель частоты ДЧ и устройство для интегрирования ЧИС по невременному параметру [6] (последнее содержит устройство для дифференцирования ЧИС $F_x(t)$ по времени (Диф. у), множительное устройство МУ и собственно интегратор — РС$_2$ и ДУ$_2$). Управление режимом работы реверсивных счетчиков и вычитающего устройства (ВУ) осуществляется коммутаторами К.

Входной сигнал $F_y(t)$ сравнивается на ВУ с сигналом обратной связи $F_{о.с}(t)$, и их разность поступает на суммирующий вход РС$_1$. Выходная частота, пропорциональная коду

$$F_z(t)=N_z(t)\frac{F_{01}}{2^{n_1}}=\frac{N_z(t)}{T_1} \tag{3}$$

(здесь F_{01} — опорная частота ДУ$_1$; n_1 — количество разрядов РС$_1$; T_1 — постоянная времени следящей системы), через делитель ДЧ с коэффициентом деления m поступает на вычитающий вход РС$_1$. Код РС$_1$, представляющий собой модуль выходного сигнала, равен интегралу алгебраической суммы поступающих на его входы частот, или в операторной форме

$$N_z(p)=\frac{1}{p}\left[F_y(p)-F_{о.с}(p)-\frac{F_z(p)}{m}\right]. \tag{4}$$

Сигнал $F_{о.с}(t)$ связан с кодом РС$_2$ выражением, аналогичным (3):

$$F_{о.с}(p)=N_{РС_2}(p)\frac{F_{02}}{2n_2}=\frac{N_{РС_2}(p)}{T_2}, \tag{5}$$

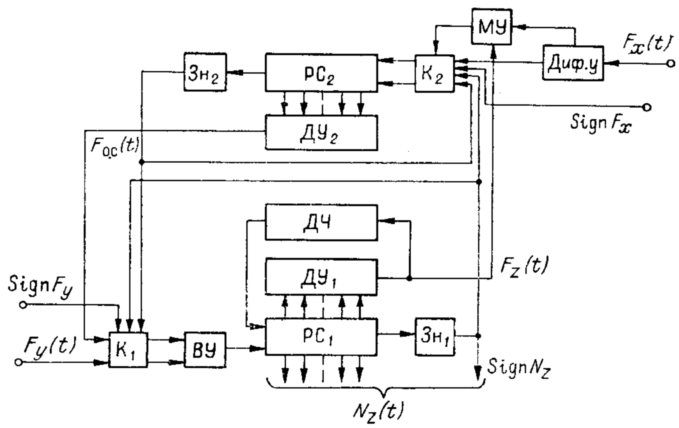

Рис. 2.

а код $N_{\text{РС}_2}(p)$ есть интеграл поступающего на его вход сигнала

$$N_{\text{РС}_2}(p) = \frac{1}{p} F_z(p)\, pF_x(p)\, T_3\,, \tag{6}$$

где T_3 — постоянная времени дифференцирующего устройства Диф. у.

Решая уравнения (3) — (6) совместно, получим операторную запись значения выходного кода

$$N_z(p) = \frac{pF_y(p)}{p^2 + \frac{p}{mT_1} + \frac{T_3}{T_1T_2}\, pF_x(p)}\,. \tag{7}$$

Преобразуя (7), можно записать

$$N_z(p) = \frac{T_1T_2}{T_3}\, \frac{\dot F_y(p)}{\dot F_x(p)} \left[1 - \frac{p^2 + \frac{p}{mT_1}}{p^2 + \frac{p}{mT_1} + \frac{T_3}{T_1T_2}\dot F_x(p)}\right]. \tag{8}$$

В выражении (10), определяющем выходной сигнал как функцию входных сигналов $F_y(t)$ и $F_x(t)$ и параметров устройства T_1, T_2, T_3, второй член представляет собой теоретическую погрешность

$$\Delta N_z(p) = \frac{T_1T_2}{T_3}\, \frac{\dot F_y(p)}{\dot F_x(p)} \left[\frac{p^2 + \frac{p}{mT_1}}{p^2 + \frac{p}{mT_1} + \frac{T_3}{T_1T_2}\dot F_x(p)}\right], \tag{9}$$

имеющую место во время переходного процесса. Погрешность для большинства входных сигналов имеет вид гармонической помехи, наложенной на значение производной $C\frac{dF_y(t)}{dF_x(t)}$, амплитуда которой уменьшается по экспоненциальному закону. Начальная амплитуда помехи зависит от всех параметров устройства и значения производных входных сигналов по времени $\frac{dF_y(t)}{dt}$ и $\frac{dF_x(t)}{dt}$, а скорость затухания колебаний зависит только от параметров следящей системы и коэффициента деления делителя, варьируя которыми можно обеспечить заданный коэффициент затухания погрешности.

При подаче на входы разработанного устройства (см. рис. 2) сигналов (см. рис. 1) в интервале времени от 0 до t_1 по окончании переходного процесса установится постоянный выходной код $N_z(t) = \text{const} = kC$, и постоянная частота $F_x(t)$, умножаясь на постоянную величину, соответствующую $\frac{dF_x(t)}{dt} = k_1$, формирует постоянную частоту на входе $РС_2$. Сигнал $F_{о.с}(t)$ при этом будет линейно возрастающей
на входе $РС_2$ не изменяется, и сигнал $F_{о.с}(t)$ равен

$$F_{о.с}(t) = kk_1 t + k_0 ; \tag{10}$$

вычитание последнего из постоянного сигнала F_{y1} даст прежнюю постоянную величину, обработка которой не изменит выходной код следящей системы, т. е. в интервале $t_1 — t_2$ устройство будет выдавать верное значение первой производной.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Новицкий, В. Г. Кнорринг, В. С. Гутников. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., «Энергия», 1970.
2. Г. О. Паламарюк. Частотно-импульсные вычислительные устройства.— В сб. «Теория аналоговых и комбинированных вычислительных машин, методы математического моделирования». М., «Наука», 1969.
3. Г. И. Тахванов, Ю. Ш. Шхалахов. К вопросу построения импульсных моделей с обратной связью.— В сб. «Вычислительная техника». Труды МВТУ им. Баумана, № 4. М., «Машиностроение», 1964.
4. Г. О. Паламарюк, Л. Н. Костяшкин, М. Б. Никифоров. Частотно-импульсное множительно-делительное устройство разомкнутого типа. Авторское свидетельство № 287505.— ОИПОТЗ, 1970, № 35.
5. Г. О. Паламарюк, И. И. Холкин. Цифровой сглаживающий частотометр для знакопеременных импульсных сигналов.— Измерительная техника, 1967, № 7.
6. Р. Г. Карпов. Техника частотно-импульсного моделирования. М., «Машиностроение», 1969.
7. Ян Си-Зен. Определение максимальной погрешности двоичного умножителя.— Автоматика и телемеханика, 1960, № 7.

Поступила в редакцию
6 июля 1971 г.