

можно оценивать среднеквадратичное отклонение по формуле

$$\sigma = kQ, \quad (14)$$

где k — константа, зависящая только от закона распределения. Можно показать, что

$$Q = 0,5[s(\mu_{11} - \mu_1) + (1-s)(\mu_1 - \mu_{10})], \quad (15)$$

где

$$s = \int_{\mu_1}^b dF(x) \quad (16)$$

— константа, имеющая тот же характер, что и k . Кроме того, величина

$$\log[(\mu_{11} - \mu_1)(\mu_1 - \mu_{10})^{-1}] \quad (17)$$

может служить мерой асимметрии для широкого класса распределений.

Используя свойства взаимной однозначности и линейности (5), можно применять систему чисел $\{\mu_i\}$ для распознавания законов распределения.

Располагая числами $\{\mu_i\}$ и сведениями в виде закона распределения можно определить его параметры $\{\theta_i\}$, относительно которых нужно решить систему уравнений вида

$$\mu_i = \frac{1}{p_i} \int_{\alpha_i}^{\beta_i} x dF(x, \theta_1, \theta_2, \dots). \quad (18)$$

В заключение следует отметить, что в выражении (2) удобно принять $\gamma[n] = \text{const}$ [3], что максимально упрощает вычисление текущих оценок $\{\mu_i^*\}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Я. Мирский. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов М., «Энергия», 1972.
2. Я. З. Цыпкин. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., «Наука», 1968.
3. А. Г. Сенин. К оценке среднего значения случайной величины рекуррентным алгоритмом с постоянным шагом. — Автотметрия, 1972, № 2.

Поступило в редакцию 14 октября 1974 г.

УДК 681.325.3

С. С. ВАНДЕР, Ю. Д. ДОЛИНСКИЙ, К. К. ПОЛЯКОВ
(Ленинград)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТА — КОД

Повышение точности преобразования частоты в код путем подсчета числа периодов преобразуемой частоты за фиксированный временной интервал достигается обычно умножением преобразуемой частоты, что при большом коэффициенте умножения и широком диапазоне частот является сложной технической задачей [1, 2].

В статье исследуется уравнение работы преобразователя частота — код, в котором высокая точность преобразования достигается без умножения частоты. Описаны блок-схемы, иллюстрирующие возможность реализации исследуемого уравнения.

Решая очевидное тождество

$$f = \frac{1}{\tau} (N + tf)$$

относительно частоты, получаем

$$f = \frac{N}{\tau} \frac{1}{1 - \frac{t}{\tau}}, \quad (1)$$

где f — преобразуемая частота; N — максимальное количество целых периодов преобразуемой частоты, укладывающихся в фиксированном временном интервале τ ; $t = \tau - \frac{N}{f}$.

Поскольку $t < \tau$, то (1) можно переписать в виде

$$f = \frac{N}{\tau} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{t}{\tau} \right)^i. \quad (2)$$

Учитывая n первых членов ряда, получим уравнение работы преобразователя

$$f = \frac{N}{\tau} \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{t}{\tau} \right)^i. \quad (3)$$

Использование приближенного выражения (3) вместо точного равенства (2) приводит к появлению методической погрешности, которую легко получить с помощью (2) и (3):

$$\delta f_M = - \left(\frac{t}{\tau} \right)^n,$$

где δf_M — относительная методическая погрешность преобразования. Поскольку $0 \leq t < \frac{1}{f}$, то $-\left(\frac{1}{\tau f}\right)^n < \delta f_M < 0$.

В преобразователях интервал τ , как правило, формируется путем пересчета определенного числа периодов эталонной частоты. Выберем эту частоту так, чтобы выполнялось соотношение

$$\tau = M^p T, \quad (4)$$

где T — период эталонной частоты; M — основание системы счисления, в которой работает преобразователь; p — целое число.

При синхронизации начала интервала τ с импульсом преобразуемой частоты измерение промежутка времени t производится подсчетом количества m периодов эталонной частоты, укладывающихся между последним в интервале τ импульсом преобразуемой частоты и концом этого интервала. Поэтому

$$t = mT. \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в (3), получаем

$$f = \frac{N}{\tau} \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{m}{M^p} \right)^i. \quad (6)$$

В этих условиях операция деления каждого слагаемого на величину M^{pi} реализуется сдвигом на pi M -ичных разрядов, а для вычисления степеней m^i можно воспользоваться соотношением

$$m^i = m + \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{i-1} C_i^j k^j. \quad (7)$$

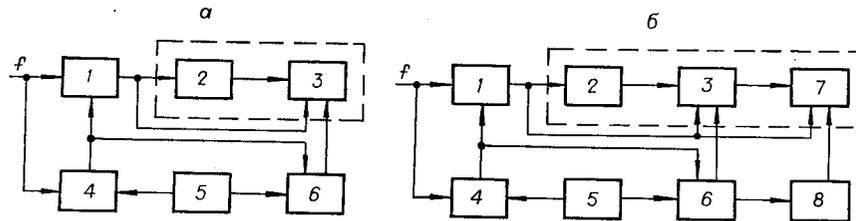
Для получения (7) достаточно обе части бинома Ньютона $(k+1)^i = \sum_{j=0}^i C_i^j k^j$ про- суммировать по k в пределах от 1 до $m-1$.

При вычислении каждого последующего члена суммы (6) используются результаты вычисления предыдущих членов. Поэтому учет очередного члена требует добавления определенных узлов в схему преобразователя, но не меняет связи между узлами, служащими для учета предыдущих членов. Это позволяет создать ряд преобразователей с разными точностными характеристиками. В частности, из (3) видно, что при $n=1$ получаем преобразователь, подсчитывающий количество периодов преобразуемой частоты за фиксированный временной интервал.

При $n=2$ из (6) и (7) получаем

$$f = \frac{1}{\tau} \left(N + \frac{Nm}{M^p} \right). \quad (8)$$

Блок-схема преобразователя для этого случая показана на рисунке: a — схема с учетом линейного члена; b — схема с учетом квадратичного члена. Схема совпадения 1, счетчик 2, формирователь временного интервала 4 и генератор эталонной частоты 5 образуют хорошо известную схему преобразователя, работающего по принципу счета числа периодов преобразуемой частоты в течение фиксированного временного интервала [2]. По окончании этого интервала в счетчике 2 оказывается первое слагаемое правой части (8). По каждому импульсу, поступающему от генератора 5 через схему совпадения 6 на управляющий вход накапливающего сумматора 3, число, определяемое состоянием счетчика 2, суммируется само с собой в сумматоре 3. Импульсы преобразуемой частоты с выхода схемы совпадения 1 поступают на сброс сумматора 3 в нулевое со-



стояние. Поэтому по окончании интервала τ в сумматоре 3 остается второе слагаемое правой части (8). Счетчик 2 и сумматор 3 в совокупности образуют регистр, в котором по окончании процесса преобразования оказывается цифровой эквивалент преобразуемой частоты.

При $n=3$ (6) и (7) приводятся к виду

$$f = \frac{1}{\tau} \left[N + \frac{Nm}{M^p} + \frac{N}{M^{2p}} \left(2 \sum_{k=1}^{m-1} k + m \right) \right]. \quad (9)$$

Два первых слагаемых в правой части этого равенства совпадают с правой частью (8). Для реализации третьего слагаемого блок-схема рисунка а дополняется накапливающим сумматором 7 и элементом задержки 8 (см. рисунок б). В соответствии с (9) в сумматоре 7 по каждому выходному импульсу схемы совпадения б (кроме последнего) производится двукратное сложение числа, находящегося в этот момент в сумматоре 3. После окончания интервала τ в сумматор 7 необходимо еще раз добавить число, накопленное в сумматоре 3. Элемент задержки 8 необходим для того, чтобы операции в сумматоре 7 происходили после завершения операций в сумматоре 3. Регистр преобразуемой частоты образуется счетчиком 2 и сумматорами 3 и 7.

Вычисление членов более высоких порядков значительно усложняет схему преобразователя.

Во многих случаях учет второго члена оказывается не только достаточным, но даже дает точность выше требуемой. В таких случаях можно сократить число разрядов сумматора 3. При исключении r младших разрядов этого сумматора работа преобразователя описывается выражением

$$f = \frac{1}{\tau} \left[N - M^r E \left(\frac{N}{M^r} \right) \frac{m}{M^p} \right],$$

где $E \left(\frac{N}{M^r} \right)$ — целая часть числа N/M^r .

Сравнивая это выражение с (8), получаем, что при этом вносится дополнительная методическая погрешность

$$\delta f_{\text{м доп}} = \frac{M^r}{\tau f} \left[E \left(\frac{N}{M^r} \right) - \frac{N}{M^r} \right] \frac{t}{\tau},$$

где $\delta f_{\text{м доп}}$ — дополнительная относительная методическая погрешность преобразования.

Поскольку $0 \leq \frac{N}{M^r} - E \left(\frac{N}{M^r} \right) < 1$, то $-M^r \left(\frac{1}{\tau f} \right)^2 < \delta f_{\text{м доп}} < 0$.

Кроме исследованных составляющих методической погрешности существует еще и инструментальная погрешность преобразования, порождаемая главным образом погрешностью формирования временного интервала τ (вследствие нестабильности эталон-

Параметры преобразователей частота—код	Ядерно-прецессионный магнитометр	Квантовый магнито- метр
Диапазон преобразуемой магнитной индукции, нТ	20 000 ÷ 100 000	20 000 ÷ 80 000
Диапазон входных частот преобразователя, кГц	0,8 ÷ 4,0	70 ÷ 280
Шаг квантования, нТ	0,2	0,1
Время преобразования, с	0,474	0,143
Методическая погрешность, нТ	0,14	0,0002
Дополнительная методическая погрешность, нТ	—	0,02
Инструментальная погрешность, нТ	0,15	0,1
Эталонная частота, МГц	2,12	7,0

ной частоты и несовпадения импульсов преобразуемой и эталонной частот, в результате чего невозможно добиться точной синхронизации начала интервала τ с импульсом преобразуемой частоты) и погрешностью измерения промежутка времени t . Эти составляющие инструментальной погрешности могут быть исследованы известными способами (см., например, [1]). Для уменьшения их следует увеличивать эталонную частоту и стабильность генератора этой частоты.

Блок-схема рисунка *a* легла в основу преобразователей частота — код для ядерно-прецессионных и квантовых магнитометров, которые по принципу действия являются преобразователями магнитной индукции в цифровой код с промежуточным преобразованием в частоту. Результат преобразования в магнитометрах должен быть выражен в единицах магнитной индукции, поэтому основные параметры вышеупомянутых преобразователей, приведенные в таблице, также выражены в этих единицах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Гитис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., «Энергия», 1970.
2. П. В. Новицкий и др. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., «Энергия», 1970.

*Поступило в редакцию 2 апреля 1973 г.;
окончательный вариант — 26 июня 1974 г.*

УДК 681.327

В. И. ГУБАНОВ, Н. С. ЗАРЕЦКИЙ, С. Г. КОРНИЛОВА, А. И. ЧЕРЕМНЫХ
(Якутск)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ТАБУЛЯТОР ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время разработаны [1—3] специализированные автоматические и полуавтоматические устройства для преобразования графической информации в электрический сигнал. В данной работе приводится описание автоматической установки, созданной на базе серийно выпускаемых приборов: аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и фототелеграфного аппарата (ФТА).

Установка состоит из фототелеграфного аппарата; электронного преобразователя ординаты в электрический сигнал; преобразователя «аналог — код»; перфоратора.

В устройстве применяется развертывающий метод считывания с последующей регистрацией результата на перфоленте [1]. В фототелеграфном аппарате используется только анализирующее устройство [4], в преобразователе «аналог — код» исключается собственно система преобразования непрерывной величины в дискретную.

При оцифровке ленты с графиком закрепляется на барабане анализирующего устройства ФТА, причем нулевая линия совмещается с моментом формирования строчного импульса. Считывающий луч перемещается по рабочей ленте, укрепленной на боковой поверхности барабана, по винтовой линии. Свет, отраженный от анализируемого элемента ленты, направляется оптической системой на фотопреобразователь ФЭУ. При пересечении считывающим лучом линии графика на нагрузке ФЭУ в анализирующем устройстве формируется импульс-отметка. Интервал времени между строчным импульсом и импульсом-отметкой заполняется счетными импульсами. Затем эта пачка импульсов фиксируется счетчиками аналого-цифрового преобразователя и регистрируется перфоратором.

Электронный преобразователь состоит из следующих функциональных узлов: усилителя T_1 , T_2 ; триггера управления T_3 , T_4 ; генератора счетных импульсов T_5 , T_6 и ключа T_7 (см. рисунок).

Строчным импульсом, поданным на базу транзистора T_4 , перебрасывается триггер (T_3 отпирается; T_4 запирается). При этом с выхода I продифференцированным сигналом осуществляется установка на нуль показаний счетчиков «аналога — кода», и, кроме того, ключ T_7 переводится из закрытого состояния в открытое.

Возникающий на нагрузке ФЭУ импульс-отметка подается на вход I и через усилитель — на триггер управления, возвращая его в исходное состояние. С выхода 2 прекращается поступление импульсов на счетчик, и сигналом с выхода I производится запуск регистрации результата измерения.

Устройство позволяет осуществить считывание графиков в ортогональной системе координат, записанных на бумажной диаграммной ленте шириной до 480 мм. Толщина линии графика должна быть не менее 0,5 мм. Максимальный угол наклона кривой не