4. **Петух А. М.** Измерение низкой частоты с высокой точностью.— Отбор и передача информации, 1971, № 6.
5. **Доронина О. М., Карпинец И. В., Петух А. М.** Графический метод определения максимальных погрешностей цифрового интегратора последовательного переноса.— Автометрия, 1975, № 2.

Поступило в редакцию 23 апреля 1979 г.

УДК 621.317.76

Д. Т. ОБОДНИК, Н. М. ПАНИЧ, А. М. ПЕТУХ, Ю. Н. УЖВАК

(Винница)

НЕРАВНОМЕРНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Для преобразования двоичного кода в частоту следования импульсов, представленную в виде импульсов, появляющихся в тактовые моменты времени, наибольшее распространение получили два метода, основанные на применении цифровых интеграторов.

Цифровой интегратор последовательного переноса формирует выходную частотно-импульсную последовательность в виде суммы составляющих частотно-импульсных последовательностей, соответствующих «весам» разрядов управляющего кода. Особенностью таких преобразователей является существенная неравномерность выходной последовательности импульсов, приводящая к дополнительной погрешности [1, 2].

Цифровой интегратор параллельного переноса [3] преобразует управляющий код в скорость изменения фазы во времени, причем результирующая скорость представляется как сумма скоростей, соответствующих «весам» разрядов управляющего кода. Такой интегратор вносит погрешность от неравномерности в выходную частотно-импульсную последовательность ввиду того, что импульсы на выходе могут быть сформированы лишь в тактовые моменты времени.

Уравнение преобразования двоичного кода в частоту следования импульсов по приведенным методам имеет вид

$$F_y = NF_\text{т}/2^n,$$

где N — значение управляющего двоичного кода, $F_\text{т}$ — входная тактовая частота следования импульсов, F_y — выходная частота следования импульсов, n — число разрядов управляющего кода.

Устройства, реализующие такое уравнение преобразования, не являются универсальными по коэффициенту преобразования $F_\text{т}/2^n$.

Однако для организации движения между двумя точками дискретного координатного пространства по прямой необходимо обеспечить коэффициент преобразования, равный отношению $F_\text{т}$ к большему приращению одной из координат, и попадание в конечную точку, что может быть реализовано описанными методами лишь в частных случаях. Организация такого движения требует наиболее равномерного формирования N импульсов меньшего приращения одной координаты за M тактовых импульсов большего приращения другой координаты. В этом случае уравнение преобразования кода в частоту следования импульсов будет иметь вид

$$F_y = NF_\text{т}/M.$$

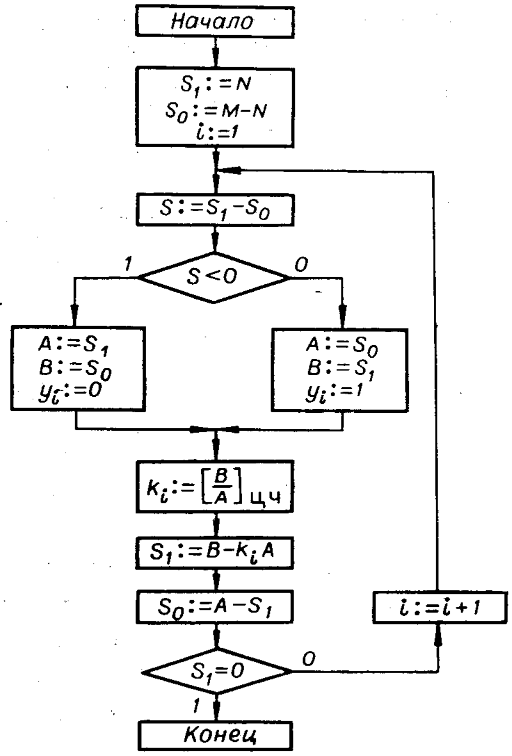
Целью настоящей статьи является определение структуры частотно-импульсных последовательностей, удовлетворяющих приведенным выше требованиям.

Основной задачей приближения выходной частотно-импульсной последовательности к равномерной является определение мест расстановки импульсов в тактовые моменты времени. При N импульсах за M тактов $M-N$ тактов останутся без импульсов, а разность $N-(M-N)$ определит своим знаком преобладание импульсов или пропусков. В случае равенства количеств импульсов и пропусков $F_y = F_\text{т}/2$.

Импульсы и пропуски назовем соответственно единичными и нулевыми элементами первого порядка неравномерности.

Когда количество импульсов преобладает, последовательность характеризуется отношением $N/(M-N)$, при целочисленном значении которого она состоит из групп, содержащих $N/(M-N)$ импульсов и один пропуск. В других случаях последовательность состоит из двух видов групп, содержащих k_1 и k_1+1 импульсов и один пропуск, где k_1 равно целой части отношения $N/(M-N)$.

Когда в последовательности преобладают пропуски, она характеризуется отношением $(M-N)/N$, определяющим количество пропусков на один импульс в соответствующих группах.



Группы, содержащие k_1+1 и k_1 элементов первого порядка на один противоположный элемент первого порядка, назовем соответственно единичным и нулевым элементами второго порядка неравномерности.

Общее количество элементов второго порядка неравномерности равно числу тех элементов первого порядка, которых в последовательности меньше, так как каждый из элементов второго порядка содержит только один такой элемент первого порядка. Число единичных элементов второго порядка неравномрности равно разности общего количества преобладающих элементов первого порядка и суммарного числа этих элементов, содержащихся в элементах второго порядка при условии, что все элементы второго порядка были бы нулевыми. Тогда число нулевых элементов второго порядка равно разности общего количества элементов второго порядка и количества единичных элементов второго порядка.

Неравномерностными характеристиками последовательности импульсов назовем переменные, определяющие: 1) количество элементов одного типа, приходящихся на один противоположный элемент в меньших группах; 2) тип преобладающих элементов в группе; 3) порядок неравномерности.

Поскольку неравномерностные характеристики элементов второго порядка аналогичны неравномерностным характеристикам элементов первого порядка, можно перейти к единому алгоритму определения неравномерностных характеристик последовательности импульсов независимо от порядка неравномерности. Для i-го порядка неравномерности единичным и нулевым элементами i-го порядка назовем соответственно группы, содержащие $k_{i-1}+1$ и k_{i-1} одних элементов $(i-1)$-го порядка на один противоположный элемент $(i-1)$-го порядка.

Граф-схема алгоритма определения неравномерностных характеристик последовательности импульсов показана на рисунке. Здесь i — индекс, представляющий порядок неравномерности; S_1 — количество единичных элементов на каждом порядке неравномерности; S_0 — количество нулевых элементов на каждом порядке неравномерности; A — меньшее количество элементов одного типа на каждом порядке неравномерности; B — большее количество элементов одного типа на каждом порядке неравномерности; k_i — количество элементов i-го порядка, приходящихся на один противоположный элемент в нулевом элементе $(i+1)$-го порядка; y_i — условное обозначение преобладающих элементов i-го порядка, причем 1 представляет единичные элементы, а 0 — нулевые.

Покажем, что процесс определения неравномерностных характеристик конечен. Действительно, при фиксированных значениях M и N целочисленный знаменатель дроби B/A с каждым шагом уменьшается и в пределе стремится к единице. Процесс может закончиться и тогда, когда отношение B/A становится целым числом.

По приведенному алгоритму каждой паре M и $N(M>N)$ можно поставить в соответствие набор k_i, y_i и i, а при постоянном M каждому $N(0<N<M)$ соответствует свой набор k_i, y_i и i. Это дает возможность характеристики k_i, y_i и i расценивать как представление числа. Отметим, что один и тот же набор характеристик k_i, y_i и i может соответствовать разным парам N и M, но лишь таким, для которых отношение N/M равно одной и той же несокращающейся дроби N'/M'. Отсюда следует, что по набору характеристик k_i, y_i и i возможно однозначное определение лишь N' и M'.

Неравномерностные характеристики k_i, y_i и i задают структуру частотно-импульсных последовательностей, обеспечивающих коэффициент преобразования $F_т/M$ и попадание в конечную точку при организации движения по прямой между двумя точками дискретного координатного пространства. Применение этих характеристик для реализации последовательности импульсов, управляющей движением изображающей точки в дискретном координатном пространстве, требует в качестве основных операционных элементов использование лишь счетчиков. Это позволит проектировать быстродействующие программные устройства с применением относительно медленнодействующих микропроцессоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Си-Зен Ян.** Определение максимальной погрешности двоичного умножителя.— **Ав-**

УДК 621.317.18

В. Д. ШЕВЕЛЕНКО

(Оренбург)

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Измерительные и функциональные преобразователи спектрально-импульсного типа, обладающие достаточно высокой точностью [1] и большим диапазоном преобразования [2-3], находят все более широкое применение.

Однако их быстродействие обусловлено конечной скоростью формирования изменений частотных компонентов при скачкообразном изменении параметров импульсного процесса и ограничено скоростью переходных процессов в избирательных системах, используемых для извлечения измерительной информации из изменений амплитуды и фазы n-й гармоники.

Уменьшение добротности последних с целью уменьшения времени переходного процесса сопровождается попаданием в полосу пропускания, кроме необходимой для осуществления преобразования гармоники с номером n конечного числа гармоник с номерами $n \pm k$ ($k = 1, 2, \ldots$), что вызывает увеличение погрешности измерения вследствие модуляции амплитуды n-й гармоники.

Поэтому представляет интерес анализ преобразований над последовательностями импульсов, позволяющих увеличить быстродействие рассматриваемого класса устройств при сохранении высокой точности регистрации информационных изменений параметров импульсов.

В процессе осуществления импульсных видов модуляции изменение параметров импульсов носит скачкообразный характер в силу дискретности моментов времени, в которые устанавливается однозначное соответствие между значением модулирующей функции и значением модулируемого параметра последовательности импульсов. Изменения параметров импульсов сопровождаются изменениями уровня постоянной составляющей и амплитуд гармоник частоты повторения, зависящими от вида модуляции.

Для оценки скорости регистрации изменения параметров последовательности импульсов рассмотрим влияние на спектр возмущения в виде скачкообразного изменения параметра в момент времени t_0, предположив, что к моменту времени t_0 спектр был дискретным.

Тогда в силу линейности преобразования Фурье текущий спектр последовательности импульсов, подвергнутых изменению параметра, представляет собой сумму дискретного спектра невозмущенной последовательности импульсов и текущего спектра $\delta l_0(t)$, где $\delta l_0(t)$ — вариация функции времени, описывающей периодическую последовательность импульсов, в момент времени $t = t_0$. Таким образом, для оценки скорости регистрации изменения параметра, приводящего к вариации функции $l_0(t)$ на $\delta l_0(t)$, достаточно оценить скорость регистрации $\delta l_0(t)$.

Обозначим $\delta l_0(t) = \varphi(t)$, где $\varphi(t)$ — функция времени, определенная на сегменте $[0, \tau]$ и представимая интегралом Фурье, т. е. для всех $-\infty < \omega < \infty$ существует

$$F_0(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t)\, e^{-j\omega t} dt. \tag{1}$$