

ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 621.317.795.2

О. М. КОЛОМИЕЦ, Е. М. ПРОШИН
(Рязань)

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОДНОКРАТНЫХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ С ЦИФРОВОЙ АДАПТАЦИЕЙ

Рассматривается устройство, осуществляющее цифровую адаптацию счетной частоты при измерении длительностей однократных и периодических процессов в широком динамическом диапазоне измерения; при этом цикл приспособления совмещен с циклом измерения.

В существующих электронно-счетных измерителях длительности измеряемый интервал заполняется импульсами с известным периодом следования. Подсчет числа импульсов позволяет однозначно определить измеряемый интервал. Результат измерения при этом равен

$$T = \frac{N}{f_0}, \quad (1)$$

где N — число импульсов калиброванной частоты за измеряемый интервал T ;

f_0 — известная калиброванная частота следования импульсов.

Текущая относительная погрешность измерения определяется

$$\delta_T = \delta_N + \delta_f.$$

В настоящее время погрешность калиброванной частоты δ_f может быть снижена до величин порядка $10^{-7} - 10^{-9}$. Погрешность из-за дискретности счета δ_N зависит в первую очередь от входной измеряемой величины. Если входная величина меняется, то

$$\delta_{\min} \leq \delta_N \leq \delta_{\max},$$

где

$$\delta_{\min} = \frac{\Delta N}{N_{\max}}; \quad (2)$$
$$\delta_{\max} = \frac{\Delta N}{N_{\min}};$$

N_{\max} , N_{\min} соответствуют предельным значениям измеряемых интервалов времени;

ΔN — абсолютная погрешность из-за дискретности счета ($\Delta N = \pm 1$).

Как видно из выражения (2), при малых значениях измеряемой величины текущая относительная погрешность может достигать весьма большого значения. Требуемый же коэффициент перекрытия измеряемых величин

$$A = \frac{T_{\max}}{T_{\min}} = \frac{N_{\max}}{N_{\min}} \quad (3)$$

может достигать нескольких тысяч. При этом

$$\delta_{\max} = \delta_{\min} A, \quad (4)$$

т. е. погрешность изменяется во столько же раз.

Таким образом, требование получения малой относительной погрешности находится в противоречии с необходимостью большого перекрытия по диапазону входа.

Вопрос получения погрешности δ_N меньше заданной во всем диапазоне изменения входной величины может быть решен наложением ограничения $\delta_{\text{зад}} \leq \delta_{\max}$ ($\delta_{\text{зад}}$ — заданная погрешность), но это ведет к усложнению измерителей (необходимо увеличить быстродействие и емкость счетчика).

Кроме того, наложение ограничения $\delta_{\text{зад}} \leq \delta_{\max}$ влечет за собой получение избыточной информации, а это неприемлемо при использовании измерителей в централизованных системах, так как ведет к перегрузке каналов связи и элементов памяти [1].

Существующие электронно-счетные измерители разрешают отмеченные противоречия лишь для измерения длительностей, порядок которых заранее известен, декадным переключением (ручным) частоты заполнения. При этом погрешность δ_N лежит в пределах

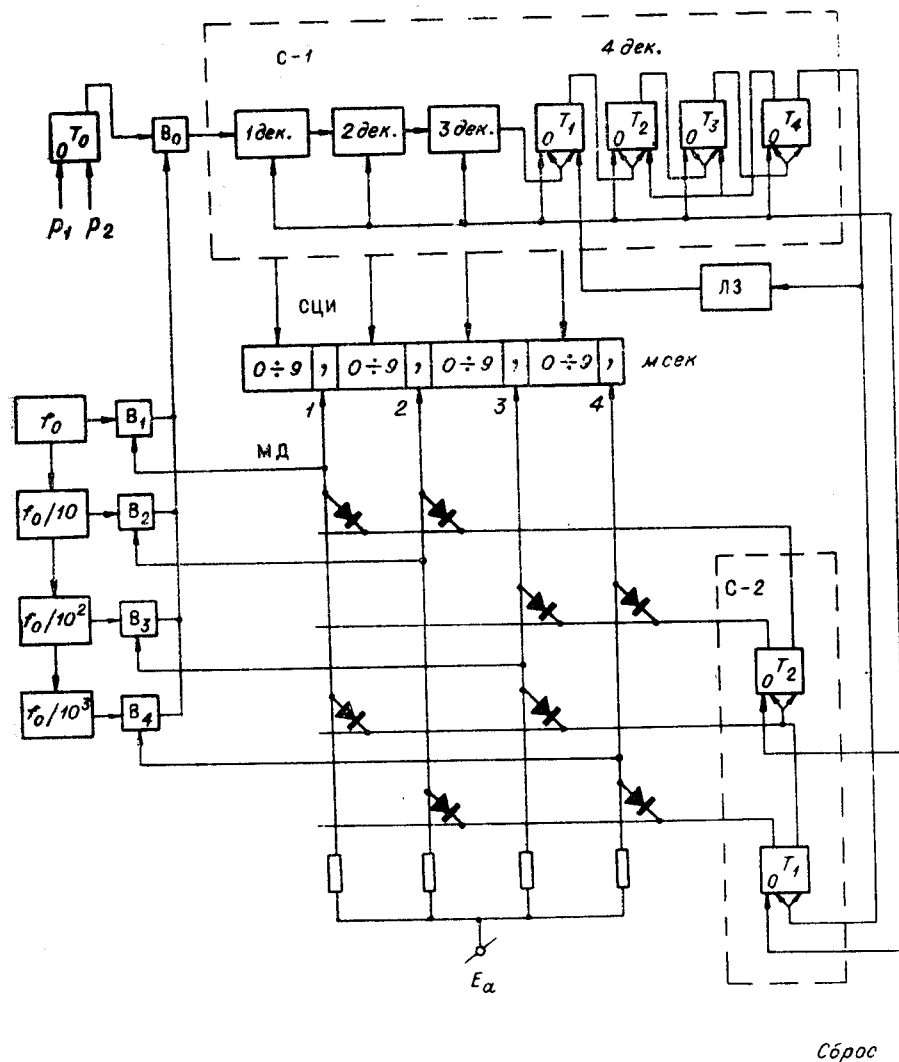
$$\delta_{\min} \leq \delta_N \leq 10 \delta_{\min}. \quad (5)$$

Для случая однократных или же быстроменяющихся от периода к периоду длительностей это противоречие существующие приборы не разрешают.

Поэтому представляют интерес устройства, осуществляющие цифровую адаптацию (приспособляемость) счетной частоты при измерении длительностей однократных и периодических процессов в широком динамическом диапазоне изменения, т. е. устройства, автоматически переключающие счетную частоту в зависимости от измеряемого интервала.

Функциональная схема подобного устройства приведена на рисунке. Устройство имеет триггер формирования импульса измеряемого временного интервала T_0 , декадный счетчик С-1, генератор калиброванной частоты f_0 , ряд делителей частоты $f_0/10$, $f_0/100$, $f_0/1000$, вентиль разрешения счета B_0 , вентили опорных частот B_1 — B_4 , матричный дешифратор МД, счетчик числа переполнений С-2, линию задержки ЛЗ и систему цифровой индикации результата измерения СЦИ.

На триггер формирования T_0 поступают импульсы начала p_1 и конца p_2 измеряемого временного интервала. Прямоугольный импульс с вы-



хода T_0 открывает вентиль B_0 , давая доступ к счетчику С-1 импульсам опорной частоты. В каждый момент открывается один из вентилях B_1 — B_4 , давая доступ к счетчику лишь одной опорной частоте. Открытие того или другого вентиля определяется кодом, записанным в счетчике числа переполнений С-2. Зависимость открывания вентилях от состояния триггеров T_1 и T_2 счетчика С-2 приведена в кодовой таблице.

Схема матричного дешифратора построена таким образом, чтобы в исходном состоянии триггеров счетчика числа переполнений был открыт вентиль B_1 . При этом на основной счетчик С-1 будет поступать самая высокая частота заполнения интервала f_0 . Частота f_0 выбирается такой, чтобы заполнение счетчика С-1 было достаточно полным для малых временных интервалов начала диапазона.

Для автоматического переключения критерием выбора счетной частоты является запись искомого кода, соответствующего измеряемой

Число импульсов переполнения	T_1		T_2		Номер шины высокого потенциала	Открыт вентиль
0	0	1	0	1	1	B_1
1	1	0	0	1	2	B_2
2	0	1	1	0	3	B_3
3	1	0	1	0	4	B_4

величине, во всех разрядах счетчика С-1. Заполнение счетчика при этом будет колебаться от 10 до 100% его полной емкости.

В зависимости от измеряемого интервала возможны два случая.

1. Измеряемый временной интервал таков, что частотой f_0 счетчик заполнится меньше чем на 100% полной его емкости $[(10 - 100\%) N_{\max}]$. Относительная погрешность из-за

дискретности счета будет колебаться в пределах

$$\frac{\Delta N}{N_{\max}} \leq \delta_N \leq \frac{\Delta N}{0,1 N_{\max}} \quad (6)$$

2. Измеряемый временной интервал таков, что счетчик С-1 переполнится. Это говорит о том, что частота заполнения f_0 интервала слишком велика. Таким образом, импульс переполнения счетчика С-1 будет сигналом к переключению частоты заполнения на более низкую. С выхода счетчика С-1 импульс переполнения подается на первый триггер счетчика С-2; при этом в соответствии с кодовой таблицей открывается вентиль B_2 и на вход основного счетчика С-1 начнут поступать импульсы с частотой $f_0/10$, т. е. на порядок ниже. Кроме того, тот же импульс переполнения проходит через линию задержки ЛЗ на первый триггер последней декады основного счетчика С-1 и записывает единицу старшего разряда. Тогда показания счетчика будут такими же, как при заполнении частотой $f_0/10$ с начала временного интервала. Иначе говоря, устройство продолжает измерять, создавая иллюзию, что счетчик заполняется частотой $f_0/10$ с самого начала временного интервала.

Изменение масштаба при смене частоты индицируется переносом запятой на табло системы цифровой индикации. Для этого к шинам 1—4 матричного дешифратора подключены неоновые лампочки подсвета соответствующей запятой. Так как в каждый момент высокий потенциал имеет лишь одна шина, то гореть будет только одна лампочка.

Для заполнения частотой $f_0/10$ возможны те же два случая. Если частота заполнения окажется снова слишком высокой, то процесс перезаписи и понижения частоты заполнения повторится в пределах возможностей измерителя, которые целиком определяются количеством опорных частот.

Для n опорных частот коэффициент перекрытия измеряемых интервалов, относительная погрешность из-за дискретности счета которых будет колебаться лишь в пределах $\delta_{\min} \leq \delta_N \leq 10 \delta_{\min}$, можно определить из выражения

$$A = 10^n \quad (7)$$

Необходимо отметить, что в данном устройстве при каждом измерении заново повторяется весь процесс приспособления; для этого перед началом измерения осуществляется сброс не только счетчика С-1, но и счетчика числа переполнений С-2. Сброс может осуществляться по-

разному, в зависимости от конкретного использования данного устройства. В частности, в качестве импульса сброса можно использовать импульс, задержанный относительно импульса конца измеряемого временного интервала.

Учитывая сказанное выше, можно утверждать, что в данном устройстве цикл приспособления совмещен с циклом измерения, поэтому устройство одинаково точно измеряет временные интервалы, как периодически следующие, где вслед за большим интервалом может идти малый и наоборот, так и одиночные временные интервалы, порядок следования которых неизвестен.

Оценим параметры устройства, соответствующего функциональной схеме приведенного рисунка для следующих данных:

- 1) емкость счетчика С-1 $N_{\max} = 10^4$;
- 2) количество опорных частот $n = 4$;
- 3) калиброванная частота $f_0 = 1$ МГц.

Для этих данных 1) коэффициент перекрытия $A = 10^4$; 2) диапазон измерения длительностей с учетом критерия полноты заполнения

$$T_{\min} = \frac{0,1 N_{\max}}{f_0} = 10^{-3} \text{ сек}; \quad T_{\max} = \frac{N_{\max} 10^{n-1}}{f_0} = 10 \text{ сек};$$

$$1 \text{ мсек} \leq T \leq 10\,000 \text{ мсек};$$

3) относительная погрешность из-за дискретности счета при измерении длительностей в указанном диапазоне лежит в пределах $0,01\% \leq \delta_N \leq 0,1\%$.

В электронно-счетных измерителях длительностей абсолютная погрешность из-за дискретности счета определяется обычно единицей младшего разряда. Поэтому необходимо выяснить, не приведет ли временная задержка в элементах схемы в моменты переключения в данном устройстве к тому, что на электронный счетчик С-1 за это время поступит часть «лишних» импульсов, которые введут дополнительную погрешность. Для этого оценим требования к быстродействию элементов рассматриваемого устройства. Введем обозначения: t_0 — время с момента прихода на вход счетчика С-1 импульса, который вызовет переполнение счетчика, до момента переключения вентилей V_1 на V_2 ; t_1 — задержка в счетчике С-1; t_2 — задержка в счетчике С-2; t_3 — время переключения вентилей V_1 на V_2 . Тогда

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3. \quad (8)$$

В течение времени t_0 все еще открыт клапан V_1 , хотя должен быть открыт клапан V_2 . Поэтому на счетчик С-1 за это время поступит число «лишних» импульсов, равное

$$z = f_0 t_0. \quad (9)$$

Чтобы не допустить прохождения «лишних» импульсов на счетчик, необходимо и достаточно выполнить условие

$$z < 1,$$

или

$$t_0 < \frac{1}{f_0}. \quad (10)$$

Условие (10) накладывает требования на длительности фронтов импульсов переключения, с учетом которого сумма длительностей фронтов не должна превышать величины t_0 .

Имеются следующие пути уменьшения временной задержки t_0 , необходимой для выполнения условия (10).

1. Величина t_0 прежде всего определяется временем t_1 — задержкой в счетчике С-1. Для уменьшения времени t_1 наилучшим выходом является использование сквозного переноса импульса переполнения [2]. Тогда время t_1 становится временем задержки импульса в открытых вентилях. Это время может быть доведено до величины порядка нескольких единиц наносекунд.

2. Время t_0 наиболее опасно при переключении высшей частоты. Поэтому целесообразно оценить временную задержку t_2 в первом триггере счетчика числа переполнений С-2. Известно, что время установления триггера зависит от параметров схемы и может быть доведено сравнительно простыми средствами до величины порядка долей микро-секунд и менее [2].

3. Задержка t_3 переключения вентилях V_1 на V_2 может быть также доведена до величины менее 0,1 мксек.

Таким образом, в реальных устройствах первая составляющая общей задержки чрезвычайно мала по сравнению с оставшимися, поэтому ею можно пренебречь. Тогда

$$t_0 \approx t_2 + t_3. \quad (11)$$

Из этого выражения легко определить оптимальное быстродействие триггеров счетчика числа переполнений С-2 и вентилях опорных частот. Так, например, при наивысшей частоте $f_0/1$ Мгц время переключения не должно превышать 1 мксек, что легко достигается даже не очень быстродействующими элементами.

При оценке характеристик делителей частоты необходимо прежде всего учитывать, что в отсутствие сбоя их фазовые сдвиги не повлекут за собой дополнительные погрешности, если

$$t_\phi < t_0, \quad (12)$$

где t_ϕ — фазовая задержка в первом делителе частоты.

Из последнего выражения видно, что задержка переключения имеет некоторое положительное значение, так как при наличии этой задержки не требуется жесткой фазовой характеристики делителей частоты.

Итак, если выполнить условие

$$t_\phi < t_0 < \frac{1}{f_0}, \quad (13)$$

то дополнительные элементы приспособления в рассматриваемом устройстве не внесут погрешности в измерение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Е. Темников. Теория разветвляющихся систем. М., Госэнергоиздат, 1963.
2. Е. А. Дроздов, А. П. Пятибратов. Автоматическое преобразование и кодирование информации. М., изд-во «Советское радио», 1964.

Поступила в редакцию
29 ноября 1965 г.,
окончательный вариант —
3 мая 1966 г.