емкости счетчика (хотя имеются специальные меры для ликвидации этого недостатка). При использовании простого двоичного счетчика, заполняемого импульсами стабильной частоты 100 *кгц*, можно без каких-либо дополнительных усложнений использовать счетчик емкостью в 17—18 двоичных разрядов, т. е. измерять процессы длительностью до 1 *сек.*

ЛИТЕРАТУРА

1. I. R. Cox, D. H. Glauser. A quantizing encoder. IEEE Trans. on Electr. Computers, 1964, v. EC — 13, № 3.
2. Г. П. Шлыков. Цифровой вольтметр с параллельно-последовательной отработкой.— Приборостроение, 1966, № 3.
3. М. П. Цапенко. О классификации цифровых измерительных приборов.— Измерительная техника, 1960, № 5.
4. Э. И. Гитис. Методы построения многоканальных преобразователей напряжения в код.— В сб. «Вычислительная техника в управлении». М., «Наука», 1964.
5. М. И. Лернер, Г. П. Шлыков, В. М. Шляндин. Цифровой полупроводниковый интегратор интервалов времени ЦИВ-1.— Передовой научно-технический и производственный опыт, № 4—65—1990/67. М., ГОСИНТИ, 1965.

Поступило в редакцию
29 ноября 1966 г.,
окончательный вариант —
11 марта 1967 г.

УДК 621.317.72

Г. Г. МАТУШКИН

(Новосибирск)

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОГОВ СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВ СРАВНЕНИЯ НА МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ТАКТОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ В НЕРАВНОМЕРНО-СЛЕДЯЩИХ ДЕСЯТИЧНЫХ АЦИП

В [1] был рассмотрен вопрос о выборе порогов срабатывания устройств сравнения десятичных неравномерно-следящих автоматических цифровых измерительных приборов (АЦИП) при числе устройств сравнения K, равном числу десятичных разрядов N, а также при $K=N+1$, поскольку в настоящее время эти случаи наиболее широко применяются на практике. В этой же работе приведены выражения для определения максимального числа тактов уравновешивания при одном измерении в случае, когда формирование компенсационной величины осуществляется ступенями, равными сумме весовых значений разрядов, соответствующих сработавшим пороговым устройствам сравнения. Подобный метод формирования компенсационной величины был описан еще в 1957 году [2]. Однако в настоящее время описаны реализации неравномерно-следящих АЦИП, в которых компенсационная величина формируется ступенями, равными весовым значениям разрядов (см., например, [3]). Поэтому представляет интерес рассмотреть зависимость максимального числа тактов уравновешивания от изменения порогов срабатывания устройств сравнения также и для этого случая. Кроме того, целесообразно определить ее и в том и в другом случае при относительном уменьшении порогов срабатывания устройств сравнения не только от весовых значений разрядов, как это было принято в [1], а и от соответствующих значений ступеней компенсационной величины.

В данном сообщении приводятся выражения, полученные путем анализа процесса уравновешивания неравномерно-следящих АЦИП. По ним можно определить максимальное число тактов уравновешивания при всех упомянутых выше случаях. Анализ процесса уравновешивания основывается на следующих соображениях. Если $K=N+1$, то при равенстве порогов срабатывания устройств сравнения соответствующим ступеням компенсационной величины максимальное число тактов для формирования компенсационной величины любой i-й ступенью в худшем случае будет равно 9, так как если бы величина рассогласования требовала бы компенсационной величины, равной 10 ступеням, то включилась бы $(i+1)$-я ступень. Следовательно, общее максимально возможное число тактов уравновешивания в этом случае не превысит $9N$.

Если величина порогов срабатывания устройств сравнения составит 90% от значений соответствующих ступеней компенсационной величины, т. е. если $A_{пор_i}=0{,}9\Delta_i A_к$, то число тактов уравновешивания, очевидно, будет максимальным при $A_x < A_{пор_{N+1}}$, т. е. когда измеряемая величина будет меньше порога срабатывания устройства сравнения старшего разряда. (В противном случае устройство сравнения старшего разряда срабатывало бы и уравновешивание происходило бы «сверху» от значения, равного $\Delta_{N+1} A_к$, а так как $\Delta_{N+1} A_к > A_x > 0{,}9\,\Delta_{N+1} A_к$, то число тактов уравновешивания потребовалось бы меньшее.) При этом максимальное количество тактов, которое может потребоваться для формирования компенсационной величины i-й ступенью, в худшем случае будет равно 8, поскольку, если бы потребовалось 9 тактов, то это означало бы, что величина рассогласования равна или больше $9\Delta_i A_к$. Но при этом сработает $(i+1)$-е устройство сравнения и общее количество тактов, требующихся для полного уравновешивания измеряемой величины, уменьшится. Это не относится к младшему разряду, поскольку в худшем случае, при

$A_{пор_1} < A_x - \sum\limits_{i=2}^{N} 8\Delta_i A_к$ младшая ступень компенсационной величины, равная 1 Δ, где Δ — единица дискретности шкалы, может суммироваться 9 раз. Таким образом, в наихудшем случае общее максимально возможное число тактов уравновешивания при $A_{пор_i} = 0{,}9\,\Delta_i A_к$ будет равно $8N+1$.

Если величина порогов срабатывания составит 80% от значений соответствующих ступеней компенсационной величины ($A_{пор_i} = 0{,}8\,\Delta_i A_к$), то, рассуждая подобным же образом, придем к соответствующему выражению для определения суммарного максимально возможного числа тактов уравновешивания, имеющему вид $n_{max} = 7N + 1$. Аналогично при $A_{пор_i}=0{,}7\,\Delta_i A_к$ $n_{max}=6N+1$; при $A_{пор_i}=0{,}6\,\Delta_i A_k$ $n_{max} = 5N + 1$.

При $A_{пор_i} = 0{,}5\,\Delta_i A_к$ наибольшее число тактов уравновешивания потребуется уже в том случае, когда значение измеряемой величины превысит порог срабатывания устройства сравнения старшего разряда, т. е. $A_x \geqslant A_{пор_{N+1}}$, и процесс уравновешивания в каждой декаде меняет свое направление. При этом необходим один такт для включения самой старшей ступени компенсационной величины $\Delta_{N+1} A_к$ и по 5 тактов для суммирования или вычитания всех остальных ступеней. Поэтому выражение для максимально возможного числа тактов уравновешивания определится так же, как $n_{max} = 5N + 1$.

Когда $K=N$, к общему числу требуемых тактов добавляется число тактов, которое необходимо иметь дополнительно для формирования компенсационной величины максимальными по величине ступенями. При формировании компенсационной величины ступенями, равными весовым значениям разрядов, следует предусматривать в десятичных АЦИП дополнительно 9 тактов, а при формировании ступенями, равными суммам весовых значений разрядов,— 8 тактов.

Более сложная картина хода процесса уравновешивания получается при оптимальных порогах срабатывания устройств сравнения [1], определяемых выражением

$$A_{пор_i} = \frac{\Delta_{i-1} A_к + \Delta_i A_к}{2}$$

или, поскольку в десятичных АЦИП $\Delta_{i-1} A_к = 0{,}1\,\Delta_i A_к$, выражением

$$A_{пор_i} = 0{,}55\,\Delta_i A_к.$$

Здесь $A_{пор_i}$ – порог срабатывания i-го устройства сравнения; $\Delta_i A_к$ — ступень компенсационной величины, суммируемая на данном такте с уже набранным ее значением $A_к$.

Анализ показывает, что при оптимальном выборе порогов срабатывания в наихудшем случае число тактов, требующихся при формировании компенсационной величины отдельно каждым номиналом ступени (кроме младшей), может быть равно либо 4, либо 5, причем эти числа чередуются между собой по мере убывания величины сту-

Отклонение порогов срабатывания устройств сравнения $A_{пор_i}$ от исходных значений, равных соответствующим ступеням компенсационной величины $\Delta_i A_к$ в %	Максимальное число тактов уравновешивания n_{max} при формировании компенсационной величины ступенями, равными			
	весовым значениям разрядов		суммам весовых значений младших разрядов	
	$K=N+1$	$K=N$	$K=N+1$	$K=N$
0	$9N$	$9N$		$9N$
-10	$8N+1$	$8N+2$	$8N+1$	$8N+1$
-20	$7N+1$	$7N+3$	$7N+1$	$7N+2$
-30	$6N+1$	$6N+4$	$6N+1$	$6N+3$
-40	$5N+1$	$5N+5$	$5N+1$	$5N+4$
-45	$5N-\left[\frac{N-1}{2}\right]^*$	$(5N+1)\left[\frac{N}{2}\right]^*$	$5N+1-\left[\frac{N-1}{2}\right]^*$	$(5N+1)\left[\frac{N}{2}\right]^*$
-50	$5N+1$	$5N+5$	$5N+1$	$5N+4$

Примечание. Квадратные скобки показывают, что надо брать целую часть числа.

пени. Число тактов, требующихся для формирования компенсационной величины младшей ступенью, будет равно 5 при ступенях, равных весовым значениям разрядов, и 6 — при ступенях, равных суммам весовых значений разрядов.

Полученные выражения для всех рассматриваемых случаев сведены в таблицу. Следует отметить, что рассматривать случаи уменьшения порогов срабатывания устройств сравнения более чем на 50% от включаемых ими ступеней компенсационной величины не имеет смысла, поскольку в АЦИП, пороги срабатывания устройств сравнения которых выбраны подобным образом, возникают автоколебания в соответствующих разрядах.

ВЫВОДЫ

При $K=N+1$ уменьшение максимального числа тактов уравновешивания одинаково как для формирования компенсационной величины ступенями, равными весовым значениям разрядов, так и для случая, когда ступени равны суммам весовых значений разрядов. Исключением является оптимальный выбор порогов срабатывания, при котором максимальное число тактов уравновешивания при первом способе формирования компенсационной величины всегда будет на единицу меньше, чем при втором.

При $K=N$ максимальное число тактов уравновешивания в случае формирования компенсационной величины первым способом будет на единицу больше, чем при втором. Исключечием является также оптимальный выбор порогов срабатывания, при котором максимальное число тактов уравновешивания будет одинаковым.

Следовательно, в большинстве случаев второй способ формирования компенсационной величины более предпочтителен.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Клисторин, Г. Г. Матушкин. О выборе порогов срабатывания устройства сравнения цифрового измерительного прибора неравномерного следящего уравновешивания.— Автометрия, 1967, № 2.
2. М. П. Цапенко. Автоматические измерительные компенсаторы с декадными магазинами сопротивлений.— Приборостроение, 1957, № 1.
3. G. R. Cox, D. H. Glaeser. A Quantizing Encoder.—IEEE Trans., 1964, v. EC-13, № 3.

Поступило в редакцию
29 декабря 1967 г.