

И. Ф. КЛИСТОРИН, Г. Г. МАТУШКИН

(Новосибирск)

**О ВЫБОРЕ ПОРОГОВ  
СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА СРАВНЕНИЯ  
ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА  
НЕРАВНОМЕРНОГО СЛЕДЯЩЕГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ\***

Анализируются некоторые способы неравномерного следящего уравнивания автоматических цифровых измерительных приборов. Показывается, что быстродействие ЦИП рассматриваемого типа зависит от настройки порогов срабатывания его устройства сравнения. Определяются зоны допустимого дрейфа порогов срабатывания без уменьшения быстродействия прибора.

Известно [1], что цифровые измерительные приборы (ЦИП) по способу проведения измерения делятся на приборы, основанные на методе совпадения, и приборы, основанные на том или ином методе уравнивания (поразрядного, следящего или развертывающего).

Однако в последнее время уделяется большое внимание разработке ЦИП комбинированного типа, в которых совместно используются различные методы проведения процесса измерения. Подобная структура в ряде случаев позволяет увеличить быстродействие измерительного прибора, уменьшить его погрешность или сделать его более удобным для применения в тех или иных устройствах [2—7]. Одним из весьма перспективных приборов такого типа, на наш взгляд, является ЦИП неравномерного следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения, работа которых основана на сочетании метода совпадения и метода следящего уравнивания [4—6].

В этих приборах используются все преимущества следящего уравнивания: непрерывное слежение за изменением измеряемой величины, увеличение помехоустойчивости, исключение возможности ложного отсчета — и в то же время устраняется основной недостаток приборов обычного следящего уравнивания — длительность процесса уравнивания при скачкообразных изменениях измеряемой величины. Поэтому представляет интерес сравнить возможные методы построения цифровых измерительных приборов неравномерного следящего уравнивания по их быстродействию и оценить оптимальный их вариант.

\* Материал доложен на VIII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1966 года в Новосибирске.

Значительное увеличение быстродействия ЦИП неравномерного следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения определяется тем, что его устройство сравнения имеет несколько релейных элементов, как правило, соответственно числу применяемых десятичных разрядов, настроенных на различные пороги срабатывания. Эти релейные элементы в зависимости от величины рассогласования подают счетные импульсы на одну или одновременно несколько десятичных ячеек управляющего счетчика прибора. Следовательно, следящее уравнивание в таких приборах осуществляется ступенями компенсационного напряжения переменной величины. Величина ступеней и последовательность их включения зависят как от величины максимального порогового напряжения сработавших релейных элементов устройства сравнения, так и от струк-

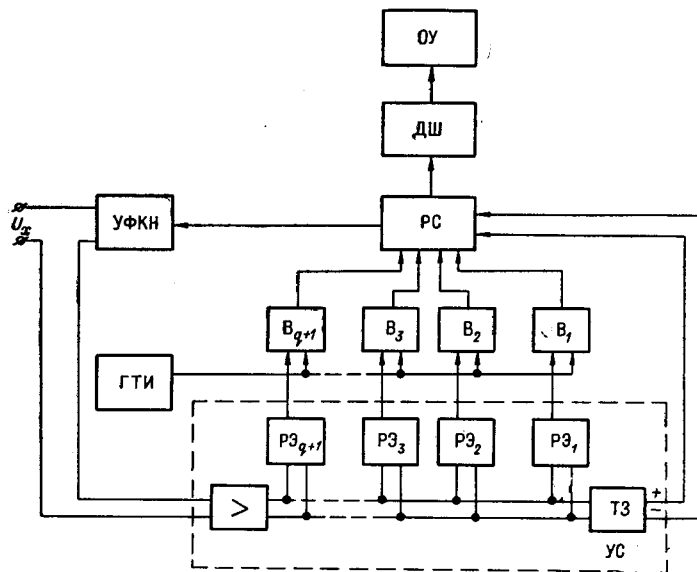


Рис. 1.

туры схемы управления прибором, осуществляющей ту или иную закономерность формирования компенсационного напряжения.

Общая структурная схема цифровых измерительных приборов неравномерного следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения показана на рис. 1. Измеряемое напряжение  $U_x$  сравнивается с компенсационным напряжением, которое вырабатывается устройством формирования компенсационного напряжения (УФКН), и напряжение рассогласования подается на вход устройства сравнения (УС). Устройство сравнения состоит из усилителя и ряда релейных элементов (РЭ): РЭ<sub>1</sub> — РЭ<sub>q+1</sub>, настроенных на определенные пороги срабатывания. Релейные элементы РЭ управляют вентилями В<sub>1</sub> — В<sub>q+1</sub>, через которые тактовые импульсы уравнивания от генератора тактовых импульсов (ГТИ) поступают на входы декадных ячеек двоично-десятичного реверсивного счетчика (РС). Таким образом, в зависимости от числа сработавших РЭ тактовые импульсы уравнивания могут поступать на вход РС либо на одну младшую декадную ячейку, либо одновременно на несколько декадных ячеек, а следовательно, УФКН, управляемый состоянием счетчика, может формировать компенсационное напряжение

ступенями переменной величины, максимальная из которых равна сумме ступеней компенсационного напряжения всех разрядов.

Направление счета РС в зависимости от знака напряжения рассогласования определяется либо триггером знака (ТЗ), либо введением двухполярных РЭ.

Расшифровка состояния РС производится дешифратором (ДШ), а индикация значения измеряемой величины производится при помощи отсчетного устройства (ОУ).

Известно несколько схем цифровых измерительных приборов, основанных на этом методе следящего уравнивания [5, 7]. Различие между ними заключается в последовательности включения ступеней компенсационного напряжения. Так, если в одном из типов приборов [7] при наличии напряжения рассогласования работают все декады параллельно (за исключением тех старших декад, которые не принимают участия в уравнивании при данном значении измеряемой величины или величины рассогласования), то в другом [5] — уравнивание младшей декады осуществляется только после окончания параллельной работы участвующих в уравнивании старших декад. И в том и в другом случае РЭ настроены на пороги срабатывания, равные напряжениям ступени дискретности соответствующих декад.

Отметим, что при настройке порогов срабатывания РЭ (кроме первого) на величины, равные сумме ступеней компенсационного напряжения соответствующего разряда и всех более младших разрядов ( $11\Delta$  для второго релейного элемента,  $111\Delta$  для третьего,  $1111\Delta$  для четвертого, где  $\Delta$  — единица дискретности младшей декады), получается прибор неравномерного развертывающего уравнивания, не требующий реверсивной схемы управления и в то же время обладающий быстродействием значительно большим, чем приборы развертывающего уравнивания обычного типа (27 тактов уравнивания для трехразрядного прибора) [6].

Однако подобная настройка не является наилучшей. Дело в том, что при выборе напряжений срабатывания релейных элементов равными ступеням компенсационного напряжения соответствующих декад не полностью используются возможности приборов следящего уравнивания, а именно: возможность изменения направления процесса уравнивания измеряемой величины. Действительно, при такой настройке пороговых уровней максимальное количество тактов для уравнивания одной декады равно девяти, поскольку только при значении  $U_x$ , равном десяти ступеням компенсационного напряжения соответствующей декады, срабатывает следующий релейный элемент. В то же время, если начать уменьшать напряжения срабатывания РЭ, то до определенного предела максимальное количество тактов, необходимых для уравнивания каждой декады, будет уменьшаться, поскольку подход к состоянию равновесия «снизу» будет осуществляться за меньшее количество тактов. Надо отметить, что это не относится к первому РЭ, поскольку изменение его напряжения срабатывания может повлиять на точность прибора, но не отразится на его быстродействии. С другой стороны, известно [8], что выбор напряжения срабатывания РЭ устройства сравнения ЦИП равномерного следящего уравнивания величиной, меньшей половины единицы дискретности шкалы прибора, влечет за собой возможность возникновения в нем автоколебаний. Аналогично можно показать, что в ЦИП неравномерного следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения нельзя настраивать пороги срабатывания РЭ на величины, меньшие половины суммы ступеней компенсационного напря-

жения всех разрядов (или равные ей), участвующих в процессе уравновешивания данного разряда (0,5Δ для РЭ<sub>1</sub>; 5,5Δ для РЭ<sub>2</sub>; 55,5Δ для РЭ<sub>3</sub>; 555,5Δ для РЭ<sub>4</sub> и т. д.), поскольку это также может привести к неустойчивой работе ЦИП, что проявляется в непрерывном чередовании двух соседних цифр этого разряда.

Следовательно, увеличение количества тактов при подходе к состоянию равновесия в каждом разряде «сверху» не скажется на максимальном количестве тактов уравновешивания, поскольку оно будет всегда меньше, чем число тактов, требующихся в наилучшем случае при подходе снизу.

Таким образом, максимальное число тактов при уравновешивании снизу в каждом разряде всегда будет определять общее максимальное число тактов уравновешивания прибора рассматриваемого типа.

Анализ работы ЦИП неравномерного следящего уравновешивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения при пропорциональном изменении напряжения срабатывания РЭ позволил получить выражение (см. в таблице графу а) для определения максимального количества требуемых тактов уравновешивания в зависимости от числа разрядов ( $q$ ) прибора. Следует отметить, что весь анализ проводился для наилучшего случая, когда на вход ЦИП подается напряжение  $U_x$  в виде единичного скачка.

Таким образом, в оптимальном случае для трехразрядного прибора максимальное число требуемых тактов уравновешивания равно 16. Но и при этом уравновешивание старшей декадой ведется только снизу, что является нецелесообразным при измеряемой величине, большей улягеренной суммы единиц дискретности всех разрядов, поскольку число тактов при уравновешивании старшей декады сверху будет меньше.

Однако для того чтобы вести уравновешивание старшей декады сверху, необходимо в УС ввести дополнительный РЭ и в блоке формирования компенсационного напряжения предусмотреть включение еще одной ступени, равной сумме всех существующих ступеней компенсационного напряжения. Тогда выражения для определения максимального значения числа тактов уравновешивания приобретают вид, приведенный в графе б таблицы. Например, для трехразрядного ЦИП максимальное число тактов уравновешивания будет равно 16 (при  $U_x = 606 \Delta$ ).

Представляет несомненный интерес определить диапазоны изменения напряжения срабатывания РЭ устройства сравнения, при которых максимальное число тактов уравновешивания ЦИП, определяемых по выражениям для оптимального случая (см. таблицу) остается неизменным, т. е. в пределах которых время уравновешивания не увеличивается.

Анализ показывает, что зона максимального времени уравновешивания двухразрядного ЦИП при изменениях напряжения срабатывания релейных элементов РЭ<sub>1</sub> ( $U_{пор1}$ ) и РЭ<sub>2</sub> ( $U_{пор2}$ ) определяется внутренней плоскостью, ограниченной многоугольником  $ABCD$  (рис. 2).

Выход того или другого напряжения срабатывания РЭ за указанные пределы влечет за собой увеличение числа тактов уравновешивания на одно измерение, т. е. уменьшение быстродействия прибора.

Для трехразрядного ЦИП зона допустимых отклонений напряжений срабатывания

Отклонение напряжений срабатывания РЭ от величин, равных единицам дискретности соответствующих декад, %	Максимальное число тактов уравновешивания	
	а) при числе РЭ = $q$	б) при числе РЭ = $q+1$
+10	$9q$	—
0	$8q+1$	—
-10	$7q+2$	$7q+1$
-20	$6q+3$	$6q+1$
-30	$5q+4$	$5q+1$
-40	$5q+4$	$5q+1$

РЭ определяется в оптимальном случае внутренним объемом многогранника, изображенного на рис. 3.

При изменении  $U_{пор_1}$  в диапазоне от  $0,5 \Delta$  до  $1 \Delta$  и дрейфе  $U_{пор_2}$  в пределах 16% (от  $5,51 \Delta$  до  $6,51 \Delta$ ) дрейф напряжения срабатывания РЭ<sub>3</sub> ( $U_{пор_3}$ ) может достигать 26% (от  $55,51 \Delta$  до  $71,51 \Delta$ ) без уменьшения быстродействия прибора. При расширении диапазона изменения  $U_{пор_2}$  до  $7,51 \Delta$  (т. е. при условии допустимого дрейфа  $U_{пор_2}$ , равного 30%) дрейф  $U_{пор_3}$  для обеспечения условия оптимального быстродействия не должен превышать 16,5% (допустимый диапазон изменения  $U_{пор_3}$  при этом от  $55,51 \Delta$  до  $61,51 \Delta$ ). При выходе дрейфа  $U_{пор_2}$  за

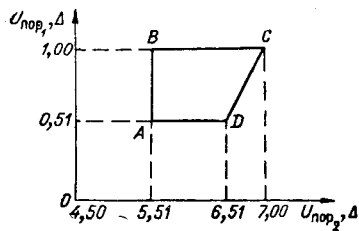


Рис. 2.

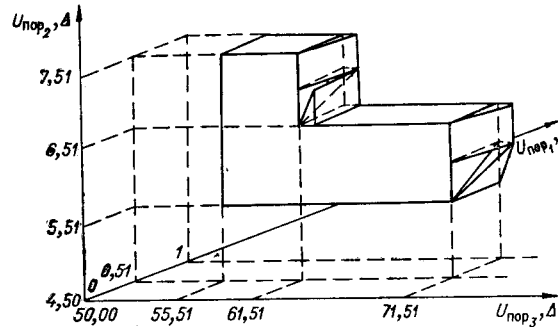


Рис. 3.

пределы 30% максимальное число тактов уравнивания при определенном  $U_x$  может увеличиться на единицу даже при полном отсутствии дрейфа напряжения срабатывания РЭ<sub>3</sub>.

Некоторое расширение объема допустимых изменений напряжений срабатывания РЭ можно получить, связав их дрейф определенной зависимостью. В сторону увеличения  $U_{пор_3}$  эти зависимости отображены соответствующими объемными фигурами на рис. 3 (при  $61,51 \Delta < U_{пор_3} \leq 62 \Delta$  и  $71,51 \Delta < U_{пор_3} \leq 72 \Delta$ ).

Для четырехразрядного прибора подробных исследований зоны допустимых отклонений напряжений срабатывания всех четырех РЭ не проводилось, однако предварительный анализ показывает, что при  $U_{пор_1} = 0,5 \Delta \div 1 \Delta$  и  $U_{пор_2} = 6 \Delta$  изменение  $U_{пор_3}$  на 24% (в пределах от  $55,51 \Delta$  до  $70 \Delta$ ) не влечет за собой увеличения времени уравнивания ЦИП даже при изменении  $U_{пор_1}$  на 27% (в диапазоне от  $55,51 \Delta$  до  $727 \Delta$ ). Если же дрейф  $U_{пор_3}$  доходит до 35% (диапазон изменения от  $55,51 \Delta$  до  $80 \Delta$ ), то допустимый дрейф  $U_{пор_1}$  без увеличения времени уравнивания прибора не должен превышать 12% (в диапазоне от  $55,51 \Delta$  до  $627 \Delta$ ). Дрейф  $U_{пор_3}$  более 35% влечет за собой уменьшение быстродействия прибора в любом случае.

При изменении  $U_{пор_3}$  в пределах 10% (от  $55,5 \Delta$  до  $61,51 \Delta$ ) и  $U_{пор_1}$  в пределах 25% (от  $55,51 \Delta$  до  $71,51 \Delta$ ) или изменении  $U_{пор_3}$  в пределах 25% (от  $55,51 \Delta$  до  $71,51 \Delta$ ), а  $U_{пор_1}$  в пределах 10% (от  $55,51 \Delta$  до  $61,51 \Delta$ ) быстродействие прибора не уменьшается при любых допустимых изменениях  $U_{пор_1}$  и  $U_{пор_2}$ , т. е. в пределах от  $0,5 \Delta$  до  $1 \Delta$  для  $U_{пор_1}$  и в пределах от  $5,5 \Delta$  до  $10 \Delta$  для  $U_{пор_2}$  (площадь прямоугольника ABCDE на рис. 4).

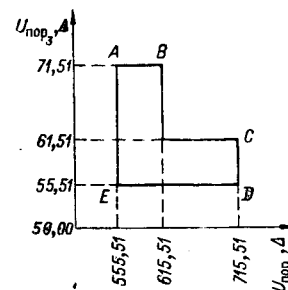


Рис. 4.

Следует заметить, что теоретически максимальное число требуемых тактов уравнивания для ЦИП, имеющих более двух десятичных разрядов (даже и с числом, равным  $q+1$ ), может быть еще меньше. Так, например, для трехразрядного ЦИП максимальное число тактов уравнивания может быть доведено до 15. Однако при этом предъявляются весьма жесткие требования к дрейфу напряжений срабатывания РЭ, что практически трудно выполнимо. Так, дрейф напряжения срабатывания РЭ<sub>4</sub> в этом случае не должен превышать 4,5% (от 607 Δ до 616 Δ).

В заключение приведем многоугольники распределения числа тактов уравнивания трехразрядного ЦИП неравномерного следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения, полученных при условии равномерного распределения приращений измеряемого напряжения. На рис. 5, 1

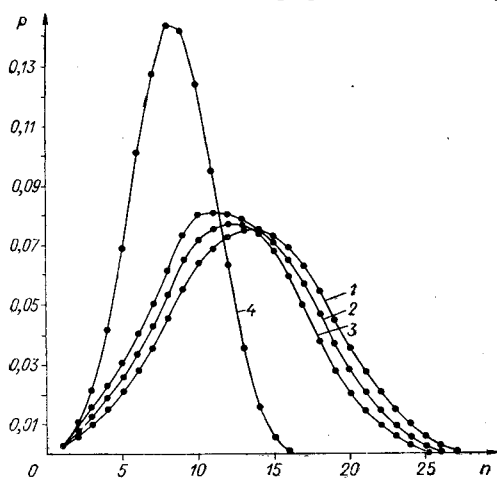


Рис. 5.

приведены вероятности числа тактов уравнивания в случае, когда напряжения срабатывания РЭ<sub>1</sub>, РЭ<sub>2</sub> и РЭ<sub>3</sub> выбраны равными 1 Δ, 11 Δ и 111 Δ соответственно [6] (максимальное число тактов уравнивания равно  $n_{\max} = 27$ , а среднее —  $n_{\text{ср}} = 13,5$ ). Рис. 5, 2 показывает распределение числа тактов уравнивания при  $U_{\text{пор}_1} = 1 \Delta$ ,  $U_{\text{пор}_2} = 10 \Delta$  и  $U_{\text{пор}_3} = 100 \Delta$ , но для отдельного уравнивания младшего разряда [5] ( $n_{\max} = 26$ ,  $n_{\text{ср}} = 12,7$ ).

На рис. 5, 3 изображены вероятности числа тактов уравнивания при той же настройке порогов срабатывания, но с параллельной работой всех декад прибора [7] ( $n_{\max} = 25$  и  $n_{\text{ср}} = 10,9$ ). И, наконец, на рис. 5, 4 приведены вероятности числа тактов уравнивания в оптимальном случае с четырьмя РЭ, напряжения срабатывания которых равны:  $U_{\text{пор}_1} = 1 \Delta$ ;  $U_{\text{пор}_2} = 6 \Delta$ ;  $U_{\text{пор}_3} = 60 \Delta$  и  $U_{\text{пор}_4} = 600 \Delta$ . Значения максимального и среднего числа тактов уравнивания соответственно будут равны:  $n_{\max} = 16$  и  $n_{\text{ср}} = 8,39$ .

## ВЫВОДЫ

Быстродействие цифровых измерительных приборов неравномерно следящего уравнивания с параллельно-последовательным включением ступеней компенсационного напряжения зависит от настройки пороговых уровней устройства сравнения.

При введении дополнительного РЭ в устройство сравнения и одной ступени компенсационного напряжения разряда, следующего за старшим, можно дополнительно повысить быстродействие измерительного прибора следящего уравнивания.

Быстродействие рассматриваемых ЦИП не снижается при дрейфе напряжений срабатывания РЭ в определенных, довольно значительных пределах.

## ЛИТЕРАТУРА

4. В. М. Шляндин. Электроизмерительные цифровые приоры прямого уравновешивания.— Измерительная техника, 1965, № 7.
5. А. А. Маслов, Ю. Г. Пурлов. Электромеханический цифровой вольтметр.— Приборостроение, 1962, № 5.
6. Г. П. Шлыков. Цифровой вольтметр с параллельно-последовательной работой.— Приборостроение, 1966, № 3.
7. А. Б. Белослюдов, Г. П. Крылова. О возможности применения параллельно-последовательного следящего кодирования в цифровых вольтметрах.— Автоматический контроль и методы электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, 1966.
8. Е. А. Дроздов, А. П. Пятибратов. Автоматическое преобразование и кодирование информации. М., «Советское радио», 1964.

*Поступила в редакцию  
20 октября 1966 г.*

---

**I. Ph. Klistorin, G. G. Matushkin**

**ON CHOICE OF COMPARATOR THRESHOLDS  
OF IRREGULAR SERVOBALANCE DIGITAL INSTRUMENT**

Some techniques used in automatic digital instruments for irregular servobalance are analysed. It is demonstrated that time to reading of the instruments is dependent upon adjustment of comparator thresholds. Thresholds tolerances without decrease in fast-response of instrument are determined.

---