

УДК 621.317

Г. А. Оборский, д-р техн. наук,
В.И. Ковальков, канд. техн. наук,
В.Н. Тихенко, д-р техн. наук

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СРАВНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются устройства, совмещающие функции сравнения и преобразования. Благодаря частотно-временному характеру их выходных сигналов предлагаемые устройства могут применяться в цифровых компенсационных измерительных системах.

Ключевые слова: сравнивающие устройства, преобразователи, измерительные системы.

G.A. Oborsky, ScD.,
V.I. Kovalkov, PhD.,
V.N. Tikhenko, ScD.

FUNCTIONAL DEVICES OF VOLTAGE COMPARISON OF COMPENSATION MEASURING SYSTEMS

Devices combining the functions of comparison and conversion are considered. Due to the frequency-temporal nature of their output signals, proposed devices can be used in digital measuring systems of compensation.

Keywords: comparing devices, transducers, measurement systems.

Г. А. Оборський, д-р техн. наук,
В. І. Ковальков, канд. техн. наук,
В. Н. Тихенко, д-р техн. наук

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ПОРІВНЯННЯ НАПРУГИ КОМПЕНСАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглядаються пристрої, що поєднують функції порівняння і перетворення. Завдяки частотно-часовому характеру їх вихідних сигналів пропонувані пристрої можуть застосовуватися в цифрових компенсаційних вимірювальних системах.

Ключові слова: порівнюючі пристрої, перетворювачі, вимірювальні системи.

Устройства сравнения являются чуть ли не основными метрологическими узлами компенсационных измерительных систем, определяющими их погрешность и динамические свойства. Однако попытки снизить погрешности, вносимые сравнивающими устройствами, обычно отрицательно сказываются на устойчивости замкнутых систем. Поэтому разработка функциональных устройств сравнения, совмещающих функции сравнения и преобразования [1,4], представляет значительный практический интерес.

Выделение дифференциального значения сравниваемых напряжений либо токов и преобразование его в выходной сигнал с модулированными частотно-временными параметрами значительно облегчает кодирование измерительной информации и построение цифровых измерительных приборов компенсационного типа [2, 5]. Такие сравнивающие

устройства по сути обладают интегрирующими свойствами, что придаёт устойчивость замкнутым автоматическим системам.

Вместе с тем сегодня примеров применения функциональных устройств сравнения (ФУС) в измерительных системах почти не встречается, что объясняется трудностями их схемотехнической реализации. Как правило, функции сравнения и преобразования в системах выполняются отдельными автономными устройствами, что не только усложняет систему, но и ухудшает её характеристики. Доказывается целесообразность выполнения функциональных сравнивающих устройств на базе дифференциальных каскадов. Для придания им дополнительных функций на них можно вводить различные виды обратных связей [4, 5].

Рассмотрим примеры конкретных схемных реализаций подобных устройств. Их отличительной особенностью является то, что здесь невозможно выделить отдельные авто-

© Оборский Г.А., Ковальков В.И.,
Тихенко В.Н., 2012

номные узлы, самостоятельно выполняющие функции сравнения либо преобразования. Такие устройства работоспособны лишь при совместной работе входящих в них узлов.

Известны генераторы гармонических сигналов на дифференциальных усилителях с модулируемой частотой выходного сигнала. Но они не способны управлять частотой генерируемых колебаний и имеют низкую чувствительность. В работах [1, 2] показано, что в широком диапазоне девиацию частоты выходного напряжения генераторов можно обеспечить введением на элементы их фазирующей цепи дополнительной регулируемой обратной связи (РОС). Эта идея реализуется в управляемом генераторе гармонических колебаний на дифференциальном каскаде (рис. 1).

Для модуляции частоты генерируемых колебаний с помощью разности сравниваемых напряжений на каскад вводится дополнительная Г-образная фазирующая RC-цепь на элементах 5–9. Если при этом выход дополнительного инвертирующего каскада на транзисторе 4 подключить к базе транзистора 3 – источника тока каскада, то замкнется положительная обратная связь (ПОС) генератора. Вместе с цепочкой инерционной отрицательной обратной связи (ООС) на нелинейном элементе 10 такое устройство будет представлять собой мостовой генератор Вина.

Нелинейный элемент 10, подключаемый через конденсатор 11 между эмиттером транзистора 3 и базой транзистора 4, замыкает цепь частотно-независимой инерционной ООС этого мостового генератора. Выходная частота выходных сигналов в таком генераторе будет зависеть от разности напряжений на базах транзисторов 1 и 2. С изменением значений этой разности будет также меняться и глубина РОС, вводимой на элементы фазирующей цепи. Изменение знака дифференциального напряжения между входами Vx1 и Vx2 каскада вызовет эквивалентное изменение параметров фазирующей RC-цепи генератора и соответствующее повышение либо понижение частоты его выходного сигнала.

Стабильность функции преобразования разности входных напряжений в частоту в таком устройстве будет определяться не только стабильностью параметров элементов ПОС, но и стабильностью самого дифференциального

каскада, зависящей от идентичности транзисторов 1 и 2. Но разброс и дрейф параметров сравнивающих транзисторов, благодаря их дифференциальному включению, в значительной мере компенсируется.

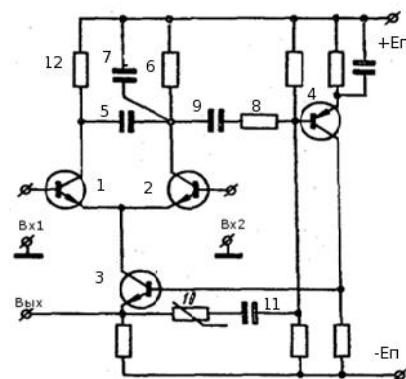


Рис. 1. Функциональное устройство сравнения с частотным выходом

Нестабильность же режима по постоянному току и уровни сравниваемых напряжений мало сказываются на функциях преобразования устройства. Путем подбора оптимального соотношения параметров элементов фазирующей цепи ПОС можно получить хорошую линейность и высокую крутизну функции преобразования. Например, изменение разности входных напряжений всего лишь на ± 25 мВ может вызывать пятикратное изменение частоты выходного сигнала.

На рис. 2 показана схема функционального устройства сравнения с непосредственным преобразованием дифференциального значения напряжений в период повторения импульсов, а на рис. 3 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип его работы.

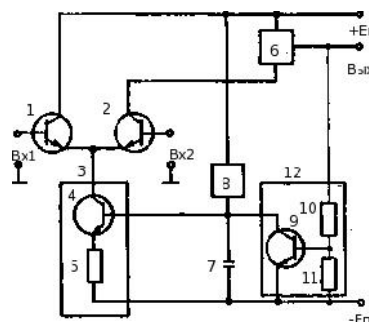


Рис. 2. Устройство сравнения с преобразованием «напряжение–время»

Устройство содержит схему сравнения – несимметричный балансный каскад на транзисторах 1 и 2, источник стабильного тока 3 на

транзисторе 4 и резисторе 5, пороговый элемент 6, конденсатор 7, токозадающий элемент 8, источник питания E_p и ключ 12. Работает это устройство таким образом. При выключенном транзисторном ключе 12 конденсатор 7 с емкостью C через токозадающий элемент 8 заряжается постоянным током I_c . В течение времени t_{np} заряда конденсатора 7 выходной ток I_r стабилизатора 3, выполненном на транзисторе 4 и резисторе 5, линейно нарастает:

$$I_r = \frac{U_c - U_{бэ}}{R_5} \approx \frac{U_c}{R_5} = I_c \frac{t_{np}}{R_5 C}, \quad (1)$$

Где R_5 – сопротивление резистора 5; U_c – напряжение заряда конденсатора 7; $U_{бэ}$ – падение напряжения на базно-эмиттерном переходе транзистора 4, которое обычно намного меньше напряжения U_c .

Ток стабилизатора достигает такого значения, при котором коллекторный ток I_{K2} транзистора 2 возрастает до порогового значения тока I_n элемента 6, вызывающем его срабатывание (рис. 3, б, в). Это приводит к срабатыванию ключа 12 и быстрому разряду через него конденсатора 7. Ток генератора I_r , а следовательно и ток I_{K2} , уменьшаются практически до нуля, что приводит к возвращению порогового элемента 6 в исходное состояние и запиранию ключа 12. На выходе преобразователя формируется короткий импульс длительностью t_u (рис. 3, г), после чего процесс повторяется сначала.

Поскольку $t_u \ll t_{np}$, то период повторения импульсов преобразователя, исходя из (1), можно определить

$$T \approx t_{np} = R_5 C = \frac{I_{IT}}{I_c} \quad (2)$$

Ток стабилизатора 3 представляет собой сумму коллекторных токов транзисторов 1 и 2

$$I = I_{K2} + I_{K1} = I_{II} + I_{K1}.$$

Считая транзисторы 1 и 2 идентичными, можно записать

$$\frac{I_{K2}}{I_{K1}} = \frac{I_{II}}{I_{K1}} = \exp \frac{U_{10} - U_9}{\mu \varphi_T} - 1, \quad (3)$$

где φ_T – тепловой потенциал транзистора; $\mu = 1 \dots 2$ – постоянный для конкретного типа транзистора коэффициент.

Подставляя значение I_{2m} в (2) окончательно с учетом (3)

$$T = T_0 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\exp \frac{U_9 - U_{10}}{\mu \varphi_T} + 1} \right], \quad (4)$$

где T_0 – исходное значение периода выходных импульсов устройства при $U_9 = U_{10}$.

В случае небольших значений дифференциального напряжения, т.е. если $(U_2 - U_1) \leq \varphi_T$, период повторения импульсов на выходе преобразователя будет пропорциональным разности сравниваемых напряжений. Расчеты и эксперименты показывают, что с изменением дифференциального напряжения в пределах 15 мВ, период повторения выходных импульсов устройства будет изменяться в диапазоне 35 % от исходного значения. В таком диапазоне зависимость между разностью сравниваемых напряжений и периодом повторения выходных импульсов сохраняется близкой к линейной. Выбором режима работы устройства, т.е. значений I_c , R_5 и I_{II} , можно обеспечить 3 ... 8 – кратное изменение периода.

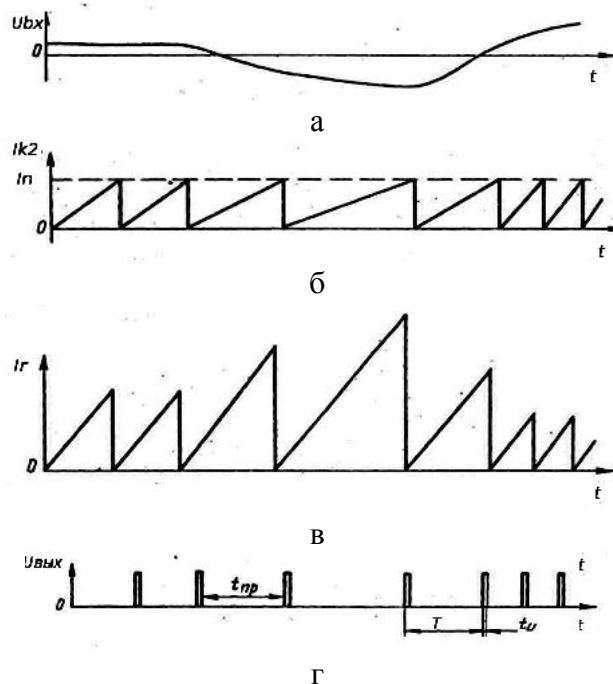


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений ФУС «напряжение-период»: а – дифференциальное входное напряжение; б – коллекторное напряжение транзистора 2; в – напряжение заряда конденсатора 7; г – выходные импульсы ФУС

В экспериментальном функциональном сравнивающем устройстве этого типа амплитуда выходных импульсов устройства составляла 15 В, а уровни сравниваемых напряжений – около 5 В. Временная нестабильность частоты не превышала 0,01 %, а её дополнительная температурная погрешность достигала 1–3 %. Потребляемая мощность устройства не превышала 100 мВт.

Принципиальная электрическая схема устройства с преобразованием разности входных сравниваемых напряжений в длительность выходных импульсов на базе дифференциального каскада показана на рис. 4. Формирование выходных импульсов в нем обеспечивается с помощью туннельного диода 5 и однопереходного транзистора 8. Устройство работает следующим образом. Конденсатор 7 заряжается от стабилизатора тока 9, поэтому напряжение на нем линейно нарастает. Когда оно достигает значения напряжения включения однопереходного транзистора 8, то тот открывается и конденсатор 7 через него быстро разряжается. После этого транзистор 8 возвращается в исходное состояние и процесс повторяется. Длительность прямого хода линейно изменяющегося напряжения заряда будет пропорционально емкости конденсатора 7.

Пилообразное импульсное напряжение подается на базу транзистора 3 и преобразуется в пилообразные импульсы коллекторного тока. Ток транзистора 3 перераспределяется между транзисторами 1 и 2 в соответствии со знаком и значением разности сравниваемых напряжений, подаваемых на входные шины 10 и 11. Амплитуда коллекторного тока транзистора 3 подстраивается с помощью сопротивления 4 таким образом, чтобы при равенстве входных напряжений устройство находилось на грани срабатывания.

Когда напряжение на входе 10 сравнивающего устройства отрицательно относительно входа 11, то туннельный диод 5 находится в состоянии высокой проводимости. Напряжение на выходной шине 14 будет близким нулю. Если же напряжение на входе 10 становится положительным относительно напряжения входа 11, то туннельный диод 5 переключится в состояние с высоким

падением напряжения при достижении его пикового значения коллекторным током транзистора 3. Ключ 6 отпирается и на выходе *Вых* появляется потенциал, близкий напряжению источника питания на шине +Еп. Длительность прямоугольных выходных импульсов будет определяться дифференциальным значением напряжений на входах 10 и 11. При малых значениях напряжения эта зависимость близка к линейной.

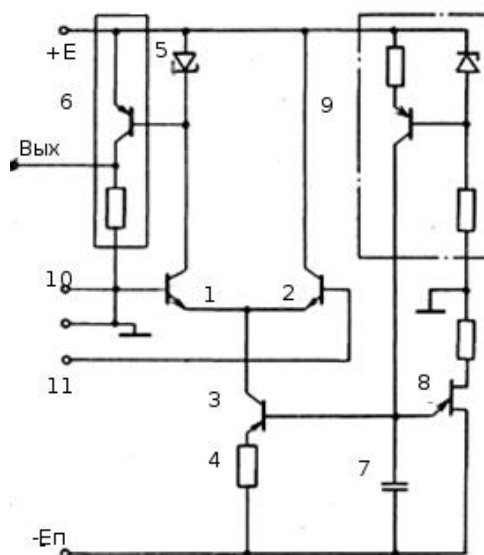


Рис. 4. Сравнивающее устройство с модулированной длительностью выходных периодических импульсов

В замкнутых системах регулирования сигналы, поступающие с датчиков либо с дифференциальных узлов, обычно мало мощны и нуждаются в предварительном усилении. Устройство сравнения с преобразованием напряжения в скважность импульсов на базе дифференциального каскада [1] обладают высокой чувствительностью, поэтому усиления сигнала не требуется. Можно значительно повысить входное сопротивление и увеличить линейный участок модуляционных характеристик рассмотренных функциональных сравнивающих устройств, реализуя дифференциальные каскады на полевых транзисторах. Но при этом уменьшается крутизна функций преобразования устройств сравнения и растут погрешности от их смещения и дрейфа «нуля». Проводимый анализ источников погрешностей предлагаемых устройств показывает возможные схем-

ные пути их снижения и дальнейшего улучшения их технических характеристик.

Результаты экспериментальных исследований предлагаемых функциональных устройств сравнения показали высокую надежность и хорошую повторяемость их основных метрологических характеристик.

Список использованной литературы

1. Ковальков В. И. О расширении функциональных возможностей сравнивающих устройств. – Проблемы создания преобразователей форм информации. Труды IV Все-союзного симпозиума / В. И. Ковальков. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 157–161.

2. Ковальков В. И. Некоторые вопросы теории частотных датчиков параметров электрических цепей / В. И. Ковальков, В. А. Азаркин // Приборы и системы управления. – М.: Машиностроение. – 1971. – № 5. – С. 30 – 35.

3. Ковальков В. И. О некоторых принципах построения преобразователей выходной информации параметрических датчиков / В. И. Ковальков // Вісник Черкаського інженерно-технологіч.ін-ту. – Черкаси: – 1999. – № 3. – С. 69–72.

4. Садовский Г. А. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Г. А. Садовский. – М.: Приборостроение, 2008. – 480 с.

5. Чинков В. М. Цифрові вимірювальні прилади / В. М Чинков. – Харків: Нац. техн.ун-т «ХПІ», 2008.

Получено 28.05.201

References

1. Kovalkov V. I. About expansion of functional possibilities of comparing devices. are Problems of creation of transformers of forms of information. Collection IV the All-union symposium / V. I. Kovalkov – Kyiv: Scientific thinking. – 1980. – P. 157–161 [in Russian] .

2. Kovalkov V. I. Some questions of theory of frequency sensors of parameters electric chain / V. I. Kovalkov, V. A. Azarkin // Devices

and control system. – Moscow: – Engineer, – 1971. – № 5. – P. 30–35 [in Russian] .

3. Kovalkov V. I. About some principles of construction of transformers of output information of self-reactance sensors / V. I. Kovalkov, //Announcer Cherkasy engineering technological, Cherkasi. – Cherkasy: – 1999. – № 3, – P. 69– 72 [in Russian].

4. Sadovskij G. A. Theoretical bases of informatively-measuring technique / G. A. Sadovskij.– Moscow: Instrument-making, 2008. — 480 p. [in Russian].

5. Chinkov V. M. Digital measuring devices / V. M. Chinkov. – Kharkiv: Kharkiv: National Technical University “Kharkov Polytechn. Institut”, 2008 [in Ukrainian].



Оборский

Геннадий Александрович,
д-р техн. наук, зав.каф.
металлорежущих станков,
метрологии и сертификации
Одесск. нац. политех.ун-та,
тел. (048) 734-8-302



Ковальков

Владимир Ильич,
к.т.н., доц. каф.
металлорежущих станков,
метрологии и сертификации
Одесск. нац. политех.ун-та,
e-mail nukkk@mail.ru
тел. (048) 734-85-55



Тихенко

Валентин Николаевич,
д-р техн. наук, доц. каф.
металлорежущих станков,
метрологии и сертификации
Одесск. нац. политех. ун-та,
тел. (048) 734-85-55