

3. И, наконец, находим две составляющие погрешности, обусловленные зависимостью напряжения стабилизации стабилитрона D_1 от температуры ($TKU = \pm 10^{-3}\%/^{\circ}C$)

$$\gamma'' = \pm 10^{-2} \%, 10^{\circ}C$$

Сравнивая γ'_{Σ} , γ''_{Σ} и γ'''_{Σ} , можно видеть, что главную роль играют погрешности, вызванные температурной зависимостью сопротивления проволочных резисторов. Экспериментально определенная погрешность старшего разряда в диапазоне температур $20 \pm 10^{\circ}C$ составляла 0,07%, что согласуется с результатом расчета.

Проведенный анализ погрешностей схемы показывает, что при современной элементной базе (стабильные мощные резисторы, высокочастотные мощные транзисторы и диоды, высококачественные опорные диоды и операционные усилители) вполне возможно построение цифро-аналоговых преобразователей с выходным током порядка ампера с погрешностью, близкой к погрешности маломощных преобразователей, обусловленной главным образом температурной нестабильностью проволочных резисторов.

Поступило в редакцию
6 сентября 1971 г.

УДК 621.376.53

В. Е. БОРЗЫХ, А. Н. ШЕСТЕРКИН
(Рязань)

ЛИНЕЙНЫЙ ИНТЕРПОЛЯТОР НА УПРАВЛЯЕМЫХ ГЕНЕРАТОРАХ ТОКА

В многоканальных системах передачи информации, в импульсных системах автоматического управления и регулирования сигналы подвергаются дискретизации по времени. В связи с этим очень часто приходится по дискретным отсчетам восстанавливать исходный непрерывный сигнал. Как известно, одним из возможных способов решения этой задачи является линейная интерполяция отсчетов.

Несмотря на простоту идеи линейной интерполяции и значительный выигрыш в точности восстановления некоторых сигналов [1, 2] по сравнению с другими способами демодуляции, известные схемные реализации интерполяторов имеют существенные недостатки. Например, в [3] предложено устройство, по своему принципу действия основанное на вычислении первых разностей от входной последовательности модулированных по амплитуде импульсов, запоминании их на период следования и интегрировании результата. Недостатком такого способа построения линейного интерполятора является то, что выходной интегратор включается в разомкнутую систему и, следовательно, любая помеха, присутствующая на его входе, приводит к неустраняемому смещению по уровню выходного сигнала. Аналогичный недостаток имеет и двухканальная схема линейного интерполятора с формированием треугольных импульсов [4]. Кроме этого, наличие двух каналов приводит к большой аппаратной избыточности.

Линейный интерполятор, свободный от этих недостатков (рис. 1), работает следующим образом. Входные модулированные импульсы $x(nT_0)$ проходят через ключ 1 и запоминаются в устройстве 2, а импульсы обратной связи $y(nT_0)$, амплитуды которых равны напряжению емкости C_1 в моменты замыкания ключа 6, запоминаются в 5. Ключи 1 и 6 открываются импульсами устройства синхронизации 7, имеющими постоянные амплитуды и длительности и совпадающими по времени с входными импульсами

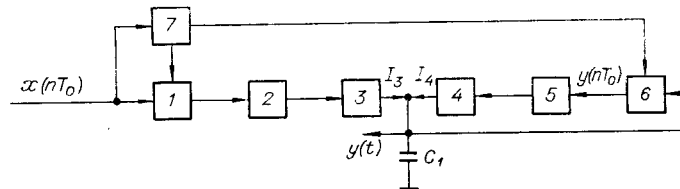


Рис. 1.

$x(nT_0)$. Сигналы ступенчатой формы с запоминающих устройств 2, 5 поступают на управляемые генераторы положительного и отрицательного тока 3, 4. Через интегрирующую емкость C_1 протекает постоянный на данном отрезке T_0 ток $\Delta I(n_0)$, величина которого равна

$$\Delta I(nT_0) = I_3(nT_0) - I_4(nT_0), \quad (1)$$

где $I_3(nT_0)$, $I_4(nT_0)$ — амплитуды ступеней токов на выходах генераторов 3, 4, соответствующие $x(nT_0)$ и $y(nT_0)$.

Обозначим коэффициент передачи элемента с номером i через k_i ; тогда с учетом (1) найдем величину приращения напряжения на емкости C_1 за время T_0 в следующем виде:

$$\Delta U_c = \frac{x(nT_0) k_2 k_1 k_3 - y(nT_0) k_1 k_5 k_6}{C_1} T_0. \quad (2)$$

На практике всегда с достаточной степенью точности можно обеспечить равенство $k_1 k_2 k_3 = k_4 k_5 k_6 = k$.

С другой стороны, при линейной интерполяции должно выполняться условие

$$\Delta U_c = x(nT_0) - y(nT_0). \quad (4)$$

Подставив (3) в (2) и учитывая (4), запишем уравнение

$$kT_0 = C_1, \quad (5)$$

позволяющее найти один из трех неизвестных параметров k , T_0 , C_1 . Два других параметра должны быть заданы.

Принципиальная схема линейного интерполятора представлена на рис. 2. Функциональные узлы, обведенные штрихами, обозначены в соответствии с блок-схемой. На вход ключа 1, выполненного на основе диодного моста ($D_1 - D_4$), который коммутируется ге-

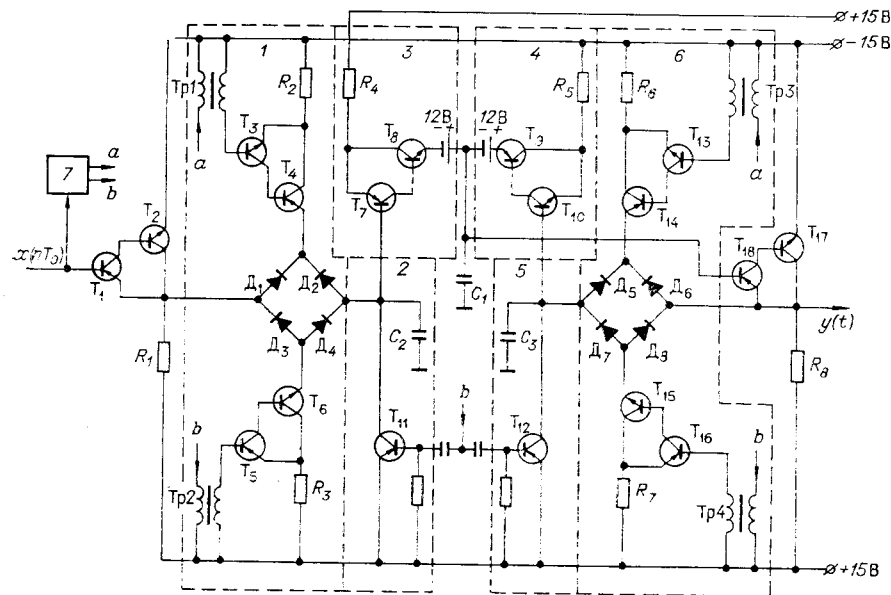


Рис. 2.

нераторами токов (T_3, T_4, T_5, T_6), поступают через эмиттерный повторитель (T_1, T_2) импульсы, модулированные по амплитуде. В свою очередь, генераторы токов открываются синхроимпульсами, которые подаются через трансформаторы $Tr 1$ и $Tr 2$. Запоминающая емкость C_2 заряжается (разряжается) по линейному закону за время синхроимпульса до уровня входного сигнала током одного из генераторов. Равенство токов генераторов обеспечивается подбором величин резисторов R_2, R_3 . Транзистор T_{11} , отпираемый передним фронтом синхроимпульса, обеспечивает разряд запоминающего конденсатора C_2 . Это исключает возможность запирающего согласующего эмиттерного повторителя в том случае, когда напряжение на запоминающей емкости будет меньше амплитуды очередного входного сигнала. Управляемый генератор тока выполнен на транзисторах T_7, T_8 . Использование составного транзистора обеспечивает большое входное сопротивление схемы и постоянство тока заряда интегрирующей емкости C_1 .

Экспериментальные исследования показали, что с высокой степенью точности можно принять $k_1 = k_2 = 1$, а $k_3 = 1/R_4$.

Блоки 4, 5, 6 выполнены аналогично, поэтому условие (5) правильной настройки интерполятора можно преобразовать так:

$$RC_1 = T_0, \quad (6)$$

где $R = R_4 = R_5$. Если $RC_1 > T_0$, то реакция устройства на единичный скачок будет монотонной, а при обратном неравенстве переходный процесс будет колебаться.

Данное устройство проверялось на работоспособность при изменении температуры окружающей среды от 20 до 80° С. В этом диапазоне температур снималась амплитудная характеристика устройства при изменении входного сигнала от -6 до +6 В. Экспериментальные данные подвергались линеаризации по методу наименьших квадратов. Вычислялись коэффициент передачи устройства k и среднеквадратическое отклонение σ амплитудной характеристики, снятой экспериментально от линеаризованной. Результаты обработки экспериментальных данных сведены в таблицу.

t , °С	k	σ , В
20	-0,993	0,028
50	-0,996	0,025
80	-0,993	0,040

Таким образом, предложенная схема линейного интерполятора замкнутого типа, обладая достоинствами систем с обратной связью, имеет высокую линейность амплитудной характеристики и стабильный коэффициент передачи в широком диапазоне изменения температур. Симметрия принципиальной схемы относительно интегрирующей емкости, применение однотипных узлов улучшает условия производства, настройки и эксплуатации устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Хлистунов. О погрешности аппроксимации дискретных методов измерения.— Приборостроение, 1960, № 5.
2. В. Н. Хлистунов. О применимости теоремы Котельникова к дискретной измерительной технике.— Измерительная техника, 1961, № 3.
3. T. I. Mitchell, V. J. Phillips. A Waveform Regenerator for Amplitude Sampled Systems.— Electronic Engineering, 1966, T-9, September.
4. Б. Н. Митяшев. Метод повышения точности демодуляции импульсов.— Радиотехника, 1958, т. 13, № 5.

Поступило в редакцию
13 сентября 1971 г.