

И. Э. БОКК, Х. И. КЛЯУС, Е. И. ЧЕРЕПОВ
(Новосибирск)

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВА ДВОЙНОЙ КОРРЕЛИРОВАННОЙ ВЫБОРКИ

Двойная коррелированная выборка (ДКВ) используется для обработки сигнала, в частности, на выходе мультиплексоров многоэлементных фотоприемных устройств в целях борьбы с шумом сброса выходного узла [1], который обычно представляет собой стробируемый интегратор заряда. Полезный сигнал на входе устройства ДКВ дискретизован во времени, но кроме него постоянно присутствует шум, связанный с различными источниками (например, низкочастотный шум, вносимый цепями питания; белый шум зарядочувствительного усилителя и т. д.). Спектр частот входного видеосигнала больше чем на порядок превышает частоту импульсов управления. Это налагает жесткие требования на быстродействие элементов устройства ДКВ. Поэтому вместе с полезным входным сигналом ДКВ обрабатывает и высокочастотный шум, который переводится в низкочастотный диапазон в результате наложения [2], тем самым дополнительно ухудшая отношение сигнал/шум. Для анализа воздействия ДКВ на шум, вносимый предшествующими цепями, нужно знать частотную характеристику устройства ДКВ для непрерывного входного сигнала, но этот вопрос до сих пор практически не освещен. Приведенный в [1] анализ объясняет лишь наличие нуля частотной характеристики в начале координат. Целью данной работы является определение частотной характеристики устройства ДКВ.

На рис. 1, а показана упрощенная схема типового устройства ДКВ, подключенного к выходной зарядочувствительной цепи прибора с зарядовой связью (ПЗС), представляющей собой стробируемый интегратор заряда. Зарядовый пакет переносится в выходной узел ПЗС (обычно это обратносмещенный диод) один раз в тактовый период T . Перед поступлением очередного зарядового пакета предыдущий зарядовый пакет сбрасывается кратковременным замыканием ключа сброса (обычно $t_{\text{см}} \ll T$), который восстанавливает тем самым опорный уровень напряжения $E_{\text{оп}}$ на выходном узле и вносит шум сброса на этот узел, имеющий среднеквадратичное значение kT/C_0 (C_0 — эквивалентная емкость выходного узла; k — постоянная Больцмана; T — температура). Сразу после сброса, но до прихода следующего зарядового пакета кратковременно замыкается ключ фиксатора уровня, благодаря чему усиленный шум сброса запоминается на конденсаторе связи $C_{\text{св}}$. После переноса заряда в выходной узел замыкается на короткое время ключ выборки. В результате выходное напряжение будет пропорционально разности входных уровней напряжения во время срабатывания ключа фиксатора уровня и во время выборки. Предполагается, что все постоянные времени цепей, связанных с перезарядкой $C_{\text{св}}$ и $C_{\text{хр}}$, незначительны по сравнению с временем замыкания ключа. Шум сброса устраняется, поскольку он полностью коррелирован во временном интервале между фиксацией и выборкой. Для компенсации

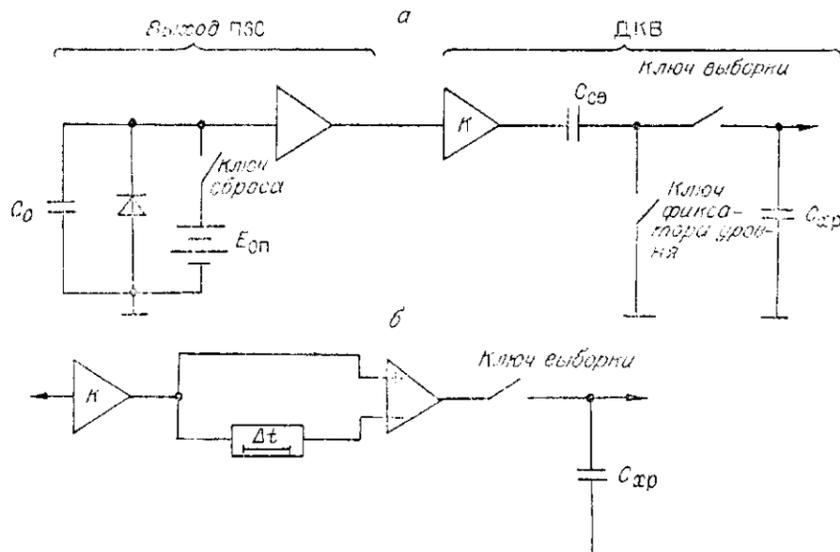


Рис. 1

шума, вносимого ключами ДКВ, перед ними в схеме обычно вводится малошумящий предварительный усилитель с коэффициентом усиления K .

На рис. 1, б показана эквивалентная схема ДКВ [3]. Эквивалентная схема содержит идеальную линию задержки с временем задержки Δt , которое соответствует временному интервалу между срабатыванием ключа фиксатора уровня и ключа выборки. Вычитание осуществляет идеальный дифференциальный усилитель с единичным коэффициентом усиления.

Пусть предварительный усилитель имеет единичный коэффициент усиления и однополюсную частотную характеристику с граничной частотой ω_0 по уровню -3 дБ. Тогда коэффициент передачи предварительного усилителя равен

$$K(j\omega) = 1/(1 + j\omega/\omega_0). \quad (1)$$

Согласно теореме о спектральной характеристике смещенной функции, коэффициент передачи устройства без цепи выборки-хранения можно записать

$$H_1(j\omega) = \frac{1 - \exp(-j\omega\Delta t)}{1 + j\omega/\omega_0}. \quad (2)$$

Коэффициент передачи схемы выборки-хранения при длительности выборки, много меньшей длительности тактового периода, определяется выражением [2]

$$H_2(j\omega) = \frac{2 \sin \frac{T\omega}{2}}{\omega \exp\left(j \frac{T\omega}{2}\right)}. \quad (3)$$

Запишем передаточную характеристику всего устройства в виде

$$H(j\omega) = H_1(j\omega) H_2(j\omega) = \frac{2(1 - \exp(-j\omega\Delta t)) \sin \frac{T\omega}{2}}{\omega(1 + j\omega/\omega_0) \exp\left(j \frac{T\omega}{2}\right)}. \quad (4)$$

Для $\omega/\omega_0 \ll 1$ модуль этого выражения определяется как

$$H(\omega) = \frac{4}{\omega} \sin \frac{\omega\Delta t}{2} \sin \frac{T\omega}{2}. \quad (5)$$

На рис. 2 приведена частотная характеристика ДКВ для трех значений Δt . Пунктиром показана характеристика предварительного усилителя ($\omega/\omega_0 \ll 1$).

Как видно из рис. 2, частотная характеристика предварительного усилителя не определяет огибающую характеристики всего устройства вопреки тому, что приведено в [1]. В связи с тем, что частотная характеристика имеет нули на частотах, кратных тактовой частоте, при использовании ДКВ отпадает необходимость фильтрации тактовой частоты и ее гармоник. На рис. 2 также можно заметить сильную зависимость вида кривой от Δt . Отсюда следует вывод, что, изменяя Δt , можно влиять на отношение сигнал/шум. Так, например, уменьшая Δt , можно увеличить подавление шума $1/f$, что видно из рисунка. Анализ возможности повышения отношения сигнал/шум для конкретного прибора с помощью выбора Δt надо проводить совместно с экспериментальными данными спектра его шумов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые формирователи сигналов изображений/Под ред. П. Йеспера, Ф. Ван де Виле, М. Хайта.— М.: Мир, 1979.
2. Маркьюс Ж. Дискретизация и квантование.— М.: Энергия, 1969.
3. Robert J. Kansy. Response of a correlated double sampling circuit to $1/f$ noise // IEEE J. Solid-State Circuits.— 1980.— SC-15, N 3.— P. 373.

Поступило в редакцию 4 июля 1988 г.

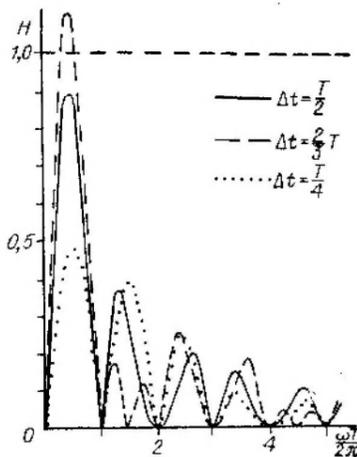


Рис. 2