

УДК 681.325

Ю. В. Шалагинов

(Новосибирск)

ЦИФРОАНАЛОГОВОЕ ПЕРЕМНОЖЕНИЕ И МАСШТАБИРОВАНИЕ
ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Для расширения полосы преобразуемых сигналов цифроаналоговых перемножителей и масштабирующих усилителей на основе быстродействующих ЦАП на переключателях токов предложено использовать внешний широкополосный операционный усилитель взамен внутреннего узкополосного усилителя ЦАП, обеспечивающего его стабильность. Рассмотрены возможности реализации широкого диапазона коэффициентов усиления в такой структуре путем комбинации токовых выходов ЦАП и управления величиной корректирующей емкости усилителя.

При построении различного рода измерительно-вычислительной аппаратуры возникает необходимость цифроаналогового перемножения и масштабирования сигналов. Такие задачи встречаются, например, при аналого-цифровом гетеродинировании сигналов и создании цифровых измерительных устройств с большим динамическим диапазоном. В последнем случае для общего представления о сигнале аналого-цифровое преобразование осуществляется без дополнительного усиления, а при изучении тонкой структуры сигнала на отдельных его участках используется значительное усиление сигнала. При этом производится вычитание из сигнала некоторого пьедестала с тем, чтобы усиленный сигнал не превышал динамического диапазона измерителя.

Значительные трудности возникают при проектировании устройств для обработки широкополосных сигналов, когда традиционные цифроаналоговые перемножители типа К572ПА1 и К572ПА2 оказываются непригодными. При разработке таких устройств приходится находить сложный компромисс по полосе сигналов, уровню шума и быстродействию при перегрузке (выходе из ограничения).

В связи с этим было проведено исследование возможности построения цифроаналоговых перемножителей на основе быстродействующих ЦАП на переключателях токов типа К1118ПА3, «Виргуле», AD9768, AD9712.

Как известно, ЦАП на переключателях токов содержит ряд генераторов взвешенных токов, которые с помощью токовых ключей подсоединяются к

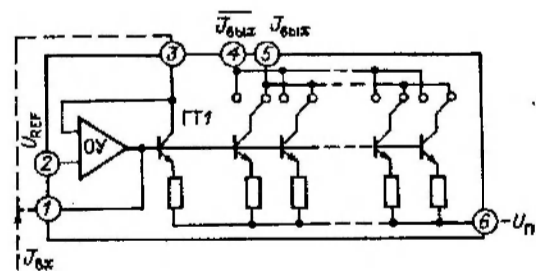


Рис. 1

одному из выходов ЦАП (рис. 1). Выходы ЦАП на рисунке обозначены как $J_{\text{вых}}$ и $\bar{J}_{\text{вых}}$ (соответственно прямой выход и инверсный). Дополнительный генератор тока ГТ1 используется для стабилизации токов ЦАП с помощью операционного усилителя (ОУ) по внешнему (или внутреннему) опорному источнику. Заметим, что значение дополнительного тока в известных ЦАП обычно составляет 1/4 от его максимального тока.

Такие ЦАП, в принципе, могут быть использованы непосредственно в качестве перемножителей (путем подачи перемножаемого аналогового сигнала на вход U_{REF} вместо напряжения опорного источника). Однако из-за недостаточного быстродействия внутреннего операционного усилителя, обеспечивающего стабильность ЦАП на постоянном токе, полоса преобразуемых сигналов оказывается недостаточной. Для ЦАП AD9712 она составляет около 400 кГц, а для AD9768 — 200 кГц. Несколько лучшие результаты позволяют получить специальные перемножающие ЦАП на переключателях токов, имеющие более широкополосный усилитель. Но из-за недостаточного быстродействия этих ЦАП полоса преобразуемых сигналов не превышает 2 МГц (типичные представители таких приборов DAC-08, DAC-10, DAC-312).

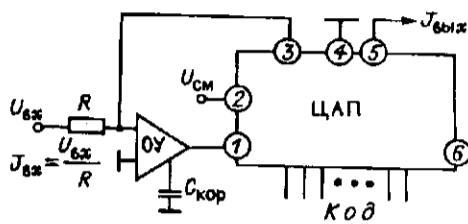


Рис. 2

Основная идея расширения полосы частот сигналов, преобразуемых быстродействующими ЦАП, заключается в замене медленного внутреннего усилителя на быстродействующий внешний. Внутренний усилитель при этом запирается специальным смещением $U_{см}$. На рис. 2 показана основная конфигурация такого включения. При использовании ЦАП К1118ПА3 и операционного усилителя, подобного описанному в [1], без затруднений удастся получить полосу преобразуемых сигналов до 15 МГц.

Следует заметить, что в некоторых случаях, например для ЦАП AD9768, при цифроаналоговом перемножении можно обойтись без операционного усилителя путем непосредственного подключения входного токового сигнала к эмиттерному переходу компенсационного транзистора (генератора тока), как это показано на рис. 1 штриховой линией. Этот способ описан в [2].

В более точных ЦАП (например, AD9712) цепь компенсационного генератора для повышения точности содержит дополнительный транзистор, поэтому включение их без ОУ на постоянном токе невозможно. И единственным приемлемым способом расширения полосы такого ЦАП (с сохранением постоянной составляющей) является включение его по схеме, приведенной на рис. 2.

При построении масштабирующих усилителей возможны другие способы включения подобных ЦАП на переключателях тока в зависимости от требуемого диапазона изменения коэффициента масштабирования. Поскольку ЦАП имеет три токовых выхода (выводы 3, 4, 5 на рис. 1), то один из этих выходов можно, например, использовать для включения в цепь обратной связи внешнего усилителя, а другие — для получения выходного масштабированного тока. Разные комбинации включения выходов обеспечивают разные коэффициенты масштабирования.

Если требуется обеспечить увеличение коэффициента передачи в десятки раз, то приемлема схема, приведенная на рис. 3. Поскольку ток компенсационного транзистора составляет четверть от полной шкалы ЦАП, коэффициент его передачи по току определяется выражением

$$K = \left[\frac{0,25N_{\max} + N_b}{N_{\max} - N_b} \right],$$

где N_{\max} — максимальное значение кода; N_b — выбранное значение кода, задающее коэффициент усиления.

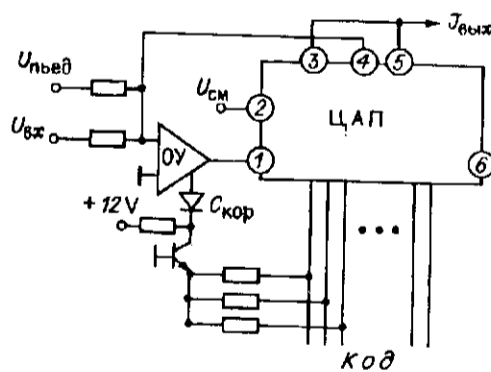


Рис. 3

Нетрудно видеть, что при $N_b = 0$ выходной ток $J_{\text{вых}}$ поступает только с выхода компенсационного транзистора ЦАП, а весь ток с рабочих транзисторов (генераторов тока) — в цепь обратной связи. Коэффициент передачи при этом равен $1/4$.

В рассматриваемой конфигурации значение глубины обратной связи сильно зависит от изменения коэффициента масштабирования. Поэтому для обеспечения устойчивости устройства целесообразно изменять значение емкости конденсатора коррекции (варикапа) в соответствии с установленным коэффициентом передачи. Это можно осуществить с помощью малоразрядного ЦАП, подключаемого к шинам кода коэффициента передачи (в простейшем случае используя взвешенные резисторы, как показано на рис. 3).

Если требуется обеспечить значительное понижение коэффициента передачи в широких пределах, то выходной сигнал следует снимать с вывода 4, а выводы 3 и 5 подключить к цепи обратной связи. В этом случае также целесообразно осуществлять управление величиной корректирующей емкости. Коэффициент передачи в такой схеме определяется выражением

$$K = \left[\frac{N_{\text{max}} - N_b}{0,25N_{\text{max}} + N_b} \right].$$

По диапазону изменения коэффициента передачи эта схема ненамного превышает схему, приведенную на рис. 2, но обеспечивает более глубокую отрицательную связь на малых коэффициентах передачи.

Отметим некоторые особенности практической реализации масштабирующего усилителя, основанного на вышеописанном принципе. Был спроектирован масштабирующий широкополосный усилитель на основе ЦАП К1118ПА3, предназначенный для системы аналого-цифрового преобразования сигналов с фотоприемных матриц ИК-диапазона. За основу принята схема, приведенная на рис. 3, выбор которой обусловлен динамическим диапазоном сигналов на входе усилителя ($0 + 2$ В). В связи с жесткими требованиями по быстродействию (заданное время цикла измерения 200 нс) необходимо при больших коэффициентах усиления, когда осуществляется вычитание пьедестала, обеспечить быстрый выход усилителя из ограничения. С этой целью осуществлено тщательное согласование уровней ограничения сигнала на входе ЦАП (вывод 1) с его рабочим диапазоном. Применение операционного усилителя, подобного описанному в [1], позволило без дополнительных затрат выполнить требуемое ограничение. Такой усилитель имеет внутренние уровни ограничения выходного сигнала, которые выбираются при расчете режима его работы.

Другим важным моментом является минимизация уровня собственных шумов усилителя. Поэтому помимо выбора соответствующей схемы операционного усилителя потребовалось ограничить полосу усилительного тракта на уровне минимально необходимой (10 МГц).

В качестве устройства, задающего уровень вычитаемого пьедестала, применен ЦАП К572ПА2 с операционным усилителем К140УД17 на его выходе.

Разработанный блок масштабирования имеет следующие параметры: диапазон $0 + 2$ В; полосу до 10 МГц; число уровней усиления 256; число уровней смещения пьедестала 256; размах шума, приведенного ко входу, 50 мкВ.

Описанная структура на основе быстродействующего ЦАП с внешним операционным усилителем позволяет создавать широкополосные аналого-цифровые перемножители и масштабирующие усилители. При построении масштабирующих усилителей такая структура обеспечивает возможность реализации широкого диапазона коэффициентов масштабирования путем комбинации токовых выходов ЦАП. Управление величиной корректирующей емкости внешнего усилителя в подобных структурах позволяет сохранить неизменной частотную характеристику при различных коэффициентах масштабирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вьюкин В. Н. Многоцелевой операционный усилитель // ПТЭ. 1992. № 5.
2. Data Converter Reference Manual: Analog Device, 1992. V. 1.

Поступило в редакцию 27 июня 1994 г.

Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!