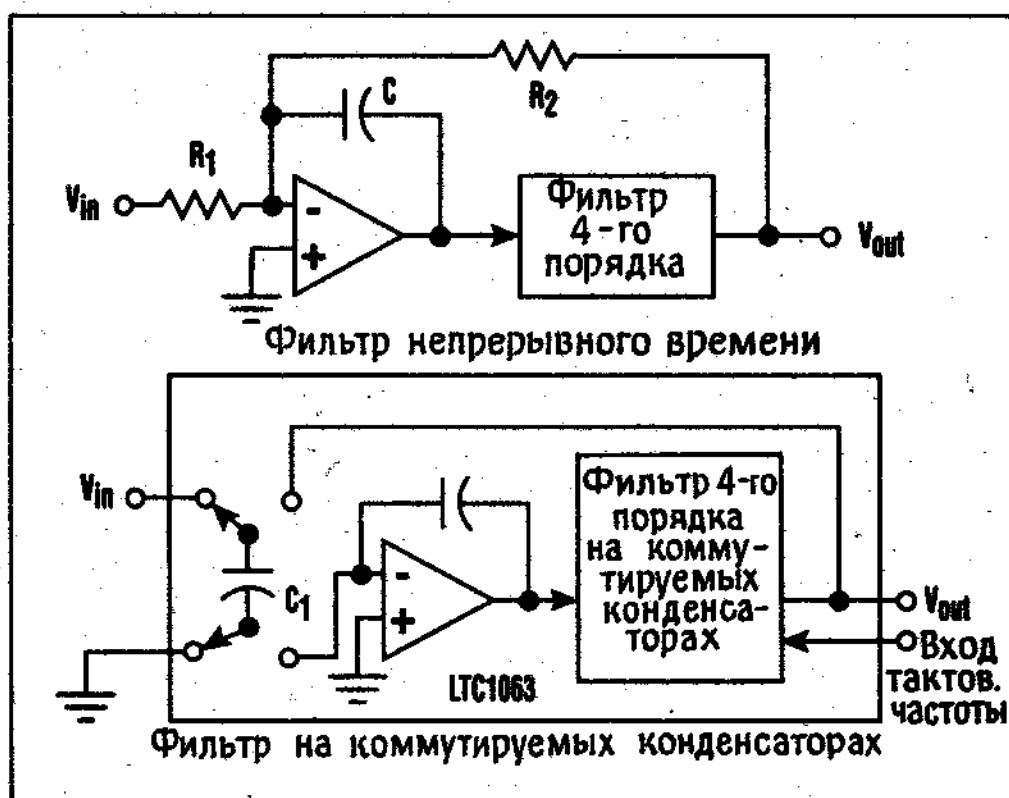


ИС фильтра на коммутируемых конденсаторах с пониженным напряжением сдвига

Интегральные фильтры на коммутируемых конденсаторах, параметры которых определяются значением тактовой частоты, отличаются точным воспроизведением заданной формы частотной характеристики и простотой установки частоты среза, значение которой может быть выбрано пользователем. Вместе с тем, для них характерны существенно большие, чем у фильтров непрерывного времени на резисторах, конденсаторах и операционных усилителях (ОУ), погрешности сдвига постоянного уровня. Пытаясь уменьшить такие погрешности, разработчик компании Linear Technology Corp. (LTC, Милпитас, шт. Калифорния) Нелло Севастополус предложил и запатентовал новую архитектуру, в которой при сохранении всех преимуществ схем на коммутируемых конденсаторах напряжение сдвига близко по величине к показателям фильтров непрерывного времени (см. рисунок).

Напряжение сдвига в обычной ИС фильтра на коммутируемых конденсаторах составляет несколько десятков милливольт, что обусловлено присущим



МОП-технологии плохим согласованием входных транзисторов, расположенных на кристалле ОУ, а также зависящей от напряжения инжекцией заряда, вызываемой МОП-ключами. В схеме с коммутируемыми конденсаторами МОП-технология необходима для изготовления ключей, однако операционные усилители на МОП-транзисторах характеризуются большими напряжениями сдвига. В одной из прежних разработок Севастополус решил проблему погрешностей передачи постоянных уровней с помощью расположенной вне кристалла дискретной RC-цепи, которая разделяла в фильтре каналы передачи постоянных и переменных сигналов. Подобная цепь используется выпускаемым фирмой LTC фильтром нижних частот с характеристикой Баттерворта пятого порядка LT1062.

В фильтре новой структуры входной ОУ суммирует и интегрирует как входной, так и выходной сигналы (см. рисунок). Сдвиг выходного напряжения зависит только от сдвига во входном интеграторе, тогда как отношение сопротивлений резисторов R_2 и R_1 и коэффициент усиления ОУ без обратной связи определяет погрешности коэффициента усиления постоянных сигналов. Более того, инвертирующая входная схема не обрабатывает высокочастотных компонент синфазного напряжения, что повышает ее собственное быстродействие. Входной интегратор с постоянной времени R_2C повышает порядок фильтра нижних частот с четырех до пяти.

Простой математический алгоритм, представленный в описании новой схемы (патент США 4857860), позволяет проектировать фильтры нижних частот с одними полюсами, например фильтры Баттерворта, Чебышева или Бесселя.

Параметры показанной на рисунке схемы фильтра непрерывного времени нельзя изменять перестройкой тактовой частоты. Она отличается теми же ограничениями, что и предыдущая схема Севастополуса. Однако такой входной интегратор легко заменить интегратором на коммутируемых конденсаторах, постоянная времени которого соответствует частотным параметрам внутреннего фильтра.

Поскольку интеграторы на коммутируемых конденсаторах расширяют возможности ИС за счет перестройки параметров при изменении тактовой частоты, предложенная новая схема отличается дополнительными преимуществами. В частности, допускается работа в неинвертирующем включении с коэффициентом усиления больше единицы даже в том случае, когда входной ОУ работает как инвертор. В результате устраняется проблема подавления синфазного сигнала. Кроме того, не требуют согласования сопротивления резисторов R_1 и R_2 (для единичного усиления их номиналы должны быть согласованы), поскольку входной и выходной сигналы считываются одним конденсатором C_1 . Наконец, коэффициент усиления для постоянных уровней и низких частот равен единице, что обеспечивает согласование любых двух фильтров по усилению.

Специалисты компании LTC реализовали на базе подобной архитектуры ИС LTC1063 — пятиполюсный фильтр нижних частот Баттерворта. Сдвиг в этой схеме определяется только величиной сдвига во входном интеграторе и инжекцией заряда входного коммутируемого конденсатора. Сдвиг выходного напряжения подстраивается в процессе производства,

причем его типичное значение составляет менее 1 мВ и не меняется при увеличении частоты среза фильтра до 10 кГц. В типичном случае выходной сдвиг возрастает до 2 или 3 мВ в диапазоне частот среза от 10 до 40 кГц.

В этой ИС отношение тактовой частоты к частоте среза равно 100. Иначе говоря, для частот среза 1 и 10 кГц требуются тактовые частоты соответственно 100 кГц и 1 МГц. На кристалле расположен собственный тактовый генератор, выходная частота которого определяется одним конденсатором. Можно использовать также внешний сигнал с изменяемой частотой, если требуется подстройка параметров тактовой последовательности. Погрешность коэффициента усиления фильтра на постоянных уровнях не превосходит $\pm 0,01$ дБ, что соответствует точности согласования сопротивлений резисторов в пределах 0,1%.

Технические условия на фильтры с коммутируемыми конденсаторами обычно не содержат данных относительно коэффициента ослабления синфазного сигнала (КОСС). Однако для выполнения предписанных операций любой фильтр должен сохранять заданное значение напряжения сдвига при воздействии больших входных сигналов (практически все фильтры непрерывного времени имеют ограниченный динамический диапазон). Новая схема при питании от источников с напряжениями ± 5 В при воздействии входного сигнала от +4 до -4 В обеспечивает типичное значение КОСС, равное 78 дБ. Иными словами, при изменении входного уровня от +4 до -4 В выходной сдвиг изменяется меньше чем на милливольт.

Благодаря хорошим параметрам для постоянных уровней и низких частот этот фильтр может использоваться в тех системах, где требуется согласование амплитуд и фаз сигналов в различных каналах. Более того, при этом удалось сохранить и высокий уровень параметров для переменных сигналов. Например, для входного колебания с частотой 1 кГц при измерении суммарного коэффициента нелинейных искажений и шума и построении графика зависимости этого параметра от входной амплитуды оказалось, что фильтр может обрабатывать колебания со среднеквадратическим уровнем 4 В при отношении сигнал/шум, равном 93 дБ, и коэффициенте нелинейных искажений менее 0,02%.

Дополнительную информацию можно получить у Нелло Севастополуса в компании LTC по тел. (408) 954-8400, доб. 729 [ED, 1992, No. 26, p. 32].

Фрэнк Гудинаф