

## ФИЛЬТРЫ ЧАСТОТ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ НА ТРАНЗИСТОРАХ

*В. М. Рудой, В. И. Долгов, А. И. Долгов*

Харьков

Известные фильтры частот следования импульсов строятся на основе использования схем регистров сдвига [1]. Однако фильтрам такого типа присущ целый ряд недостатков. К самым существенным из них следует отнести: зависимость граничной частоты фильтра  $f_0$  от момента прихода входного импульса по отношению к тактовому, наличие задержки между входными и соответствующими им выходными импульсами. Кроме того, регистровые схемы требуют специального генератора тактовых импульсов, который должен обеспечить возможность перестройки граничной частоты фильтра  $f_0$ , высокую стабильность частоты, если требуется поддерживать значение частоты  $f_0$  с большой точностью.

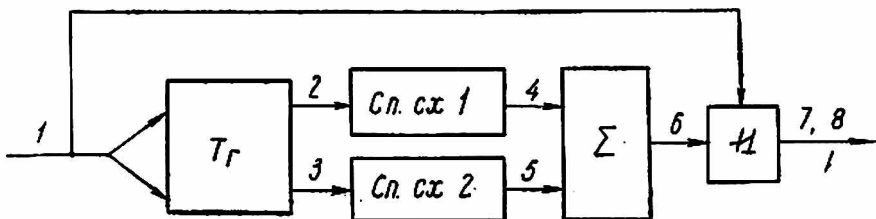


Рис. 1.

Рассматриваемые ниже фильтры частот следования импульсов не обладают указанными недостатками. Блок-схема фильтра нижних частот следования импульсов приведена на рис. 1.

С целью повышения коэффициента прямоугольности характеристики и увеличения стабильности граничной частоты фильтра в нем используется триггер  $T_r$ , который управляет двумя схемами формирования задержки Сп. сх 1 и Сп. сх 2. Эти схемы позволяют создать управляющее напряжение на выходе сумматора  $\Sigma$  для управления схемой совпадения И, пропускающей входные импульсы с частотой следования  $f < f_0$ .

Принцип формирования задержки основан на частичном перезаряде переходной емкости в цепи базы транзистора [2]. Однако в отличие от указанной схемы в данном случае преобразователь работает при постоянстве амплитуд воздействующих на его вход импульсов. На рис. 2 представлены эпюры напряжений в различных точках схемы фильтра.

Работа фильтра сводится к следующему. На счетный вход триггера  $T_r$  поступает последовательность коротких импульсов (эпюра 1). Запуск триггера осуществляется по их задним фронтам. На выходе триггера образуется две последовательности прямоугольных импульсов (эпюры 2 и 3), которые снимаются с его противофазных выходов и поступают на схему формиро-

вания задержек СП. сх 1 и СП. сх 2. Эти схемы совершенно одинаковы по устройству и принципу действия, поэтому рассмотрим работу одной из них (рис. 3).

Пусть первоначально на вход схемы формирования задержки подается напряжение  $U_{вх} = 0$ . Это соответствует тому случаю, когда напряжение снимается с коллектора открытого транзистора Тг. Транзистор ПТ нахо-

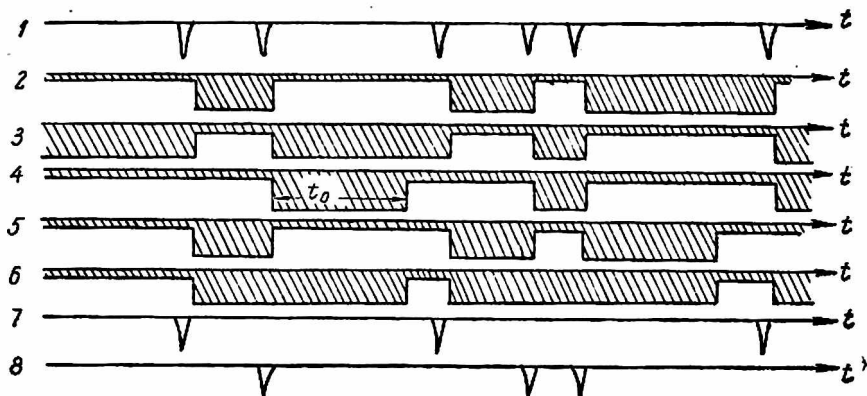


Рис. 2.

дится в режиме насыщения за счет отрицательного смещения, подаваемого на его базу с помощью сопротивления  $R_б$ . Поэтому напряжение  $U_{вых}$  на коллекторе транзистора ПТ равно нулю (эпюра 4, рис. 2). Заметим, что напряжение на конденсаторе  $C$ , присоединенном к коллектору открытого транзистора триггера, также близко нулю.

При поступлении импульса на вход триггера ранее открытый транзистор закроется и напряжение, снимаемое с его коллектора на вход схемы формирования задержки, скачком возрастет до величины напряжения коллекторного питания ( $U_{вх} = -E_к$ ). Это приведет к быстрому заряду конденсатора  $C$  до уровня входного сигнала через малое сопротивление эмиттер — база открытого транзистора ПТ и малое сопротивление нагрузки Тг. Триггер будет находиться в таком состоянии до прихода на его вход следующего импульса. В течение этого времени потенциал заряженного конденсатора  $C$  компенсирует напряжение  $U_{вх}$  и на выходе схемы формирования задержки напряжение  $U_{вых}$  по-прежнему остается равным нулю.

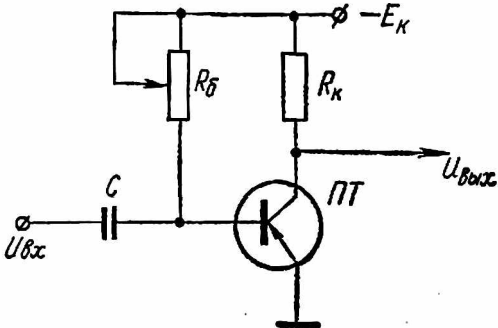


Рис. 3.

В момент прихода очередного импульса Тг вернется в исходное состояние и напряжение  $U_{вх}$  станет снова равным приблизительно нулю. Это вызовет разряд конденсатора  $C$  через малое сопротивление эмиттер-коллектор открытого транзистора Тг и большое сопротивление  $R_б$ . Напряжение на базе транзистора ПТ скачком изменит свой знак, транзистор перейдет в режим отсечки, и в его коллекторной нагрузке образуется перепад напряжения  $U_{вых} = -E_к$ . Сопротивление эмиттер — база транзистора ПТ, запертого положительным напряжением на конденсаторе  $C$ , во много раз больше сопротивления  $R_б$  и практически мало влияет на постоянную времени раз-

ряда конденсатора  $C$ . Разряд конденсатора происходит до тех пор, пока напряжение на нем не достигнет напряжения отпирания транзистора ПТ. Так как транзистор работает в ключевом режиме, в его коллекторной нагрузке образуется перепад напряжения прямоугольной формы длительностью  $t_0$  (эпюра 4). Существенно отметить, что время разряда конденсатора  $C$ , а следовательно и время  $t_0$ , определяется некоторой постоянной времени, которая зависит как от величины емкости  $C$ , так и от величины переменного сопротивления  $R_6$ , устанавливающего напряжение на базе транзистора ПТ, при котором он открывается. Более подробное описание этого процесса приведено в работе [3].

В зависимости от прихода следующего импульса на вход Тг возможны следующие ситуации:

1. Входной импульс поступит после того, как разряд конденсатора  $C$  окончен и схема формирования задержки возвратилась в свое исходное состояние.

В этом случае на выходе транзистора ПТ уже сформировался прямоугольный импульс длительностью  $t_0$  и работа схемы повторится в описанной выше последовательности.

2. Выходной импульс поступит прежде чем схема формирования задержки придет в исходное состояние. Это приведет к опрокидыванию триггера, в результате чего на вход схемы формирования задержки будет подано напряжение  $U_{вх} = -E_k$ . При этом транзистор ПТ скачком откроется, напряжение на его выходе  $U_{вых}$  станет равным нулю, а конденсатор  $C$  быстро дозарядится до уровня входного сигнала через малое сопротивление эмиттер — база открытого триода ПТ и сопротивление нагрузки триггера Тг. Дальнейшая работа схемы формирования задержки уже рассмотрена.

Выходные напряжения схем формирования задержки (эпюры 4 и 5) суммируются по логике элемента ИЛИ. Напряжение с выхода сумматора  $\Sigma$  (эпюра 6) используется для управления потенциально-импульсной схемой совпадения И, которая пропускает входные импульсы на выход фильтра только тогда, когда на ее потенциальный вход подается напряжение  $U_{вх} = 0$  (эпюра 7). При указанном принципе действия схем формирования задержки это бывает лишь в том случае, когда временной интервал между входными импульсами  $t > t_0$ , что соответствует частоте  $f < f_0$ .

Отметим, что по такому же принципу можно создать и фильтр верхних частот следования импульсов. При этом схема будет содержать те же элементы, что и фильтр нижних частот. Работа триггера Тг, схем формирования задержки Сп. сх 1 и Сп. сх 2, а также сумматора ничем не будет отличаться от их работы в составе фильтра нижних частот.

Различие заключается лишь в логике работы потенциально-импульсной схемы И, которая в данном случае должна пропускать входные импульсы на выход фильтра лишь тогда, когда на ее потенциальный вход подан низкий уровень напряжения (эпюра 8). При указанной логике работы на выход схемы И пройдут лишь импульсы с частотой  $f > f_0$  ( $f_0 = \frac{1}{t_0}$ ). Для четкой работы фильтра верхних частот необходимо обеспечить длительность входных импульсов  $\tau < \tau_0$ , где  $\tau_0$  — время опрокидывания Тг.

Применение рассмотренных выше схем в различных сочетаниях позволяет синтезировать режекторные и полосовые фильтры следования импульсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство № 652183. Бюллетень изобретений № 14, Москва, 1959.
2. Авторское свидетельство № 141512. Бюллетень изобретений № 20, Москва, 1966