

Г. А. АСАЕВИЧ

(Львов)

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ

Рассматривается вопрос о путях повышения помехозащищенности транзисторных частотомеров, что имеет решающее значение при проектировании этих устройств.

При измерении низких частот с помощью автоматических широкополосных цифровых частотомеров возникает проблема защиты от высокочастотных помех, проникающих на вход прибора вместе с измеряемым сигналом. Особенно заметным мешающее действие помех становится в случае, если рабочий диапазон частот прибора достигает 1 Мгц и более. Высокочастотные помехи могут вызвать грубые искажения результатов измерения. Вопрос этот настолько серьезен, что разработчикам цифровых частотомеров пришлось защитить себя следующей формулировкой в технических характеристиках прибора: «Входное напряжение может иметь любую форму при обязательном условии наличия не более двух экстремальных значений в течение периода». Строгое соблюдение такого условия привело бы к тому, что пользование прибором для измерения низких частот было бы существенно ограничено, так как на практике очень редко встречаются сигналы, свободные от гармоник и помех, т. е. свободные от многих экстремальных значений за период.

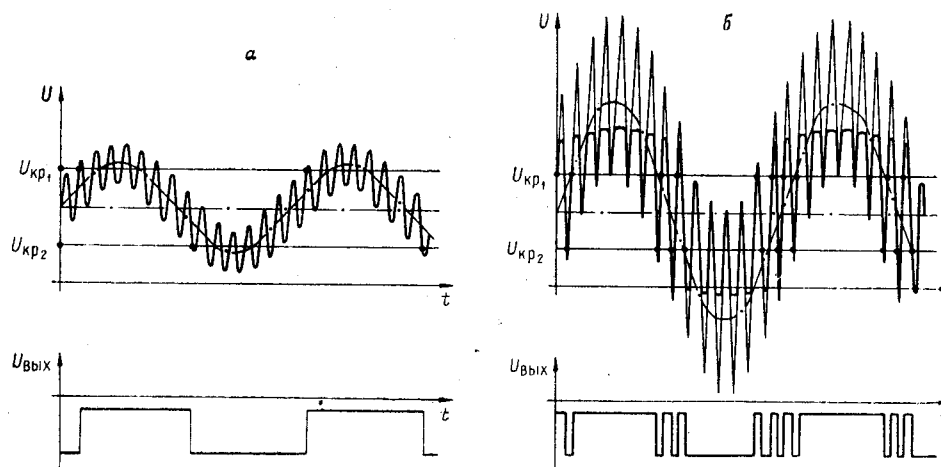


Рис. 1.

В настоящей статье рассматривается несколько способов обеспечения надежной работы частотомера при наличии высокочастотных помех. Представляется целесообразным оценивать помехозащищенность прибора величиной допустимого напряжения помех [1] в абсолютном (в милливольтгах) или относительном (в процентах от минимального уровня полезного сигнала) выражении. Из рис. 1, иллюстрирующего работу входного формирующего устройства при наличии помех, следует, что получившая некоторое распространение оценка помехозащищенности допустимым отношением $U_{\text{пом}} : U_{\text{сигн}}$ не может считаться удовлетворительной. Так, при одном и том же отношении $U_{\text{пом}} : U_{\text{сигн}}$, но различных абсолютных уровнях в первом случае (см. рис. 1, а) помехи не вызывают изменения количества импульсов на выходе формирующего устройства с уровнями срабатывания $U_{\text{кр1}}$ и $U_{\text{кр2}}$, а во втором случае (см. рис. 1, б), изображающем сигнал и помеху на входе формирователя с теми же уровнями срабатывания, несмотря на ограничение перегруженным усилителем, помехи увеличивают количество выходных импульсов, искажая результат измерения.

Из рис. 1 видно также, что уменьшение полосы гистерезиса $U_{\text{г}} = U_{\text{кр1}} - U_{\text{кр2}}$ приводит к увеличению чувствительности прибора к помехам. В связи с этим следует отметить, что в [2] дано превратное представление о работе электронно-счетного частотомера. Невозможно обеспечить сколько-нибудь уверенную работу прибора, если принять, как заявляет автор, что «уровень срабатывания формирующего устройства на входе прибора обычно устанавливается равным нулю».

Помехозащищенность частотомера обеспечивается прежде всего соответствующим выбором напряжения гистерезиса формирователя. На рис. 1 показано, что правильная работа прибора будет обеспечена при заданном уровне высокочастотных помех, если принять

$$U_{\text{г}} = U_{\text{кр1}} - U_{\text{кр2}} \geq 2k U_{\text{м}}, \quad (1)$$

где k — коэффициент усиления входного усилителя;
 $U_{\text{м}}$ — амплитудное значение напряжения помех.

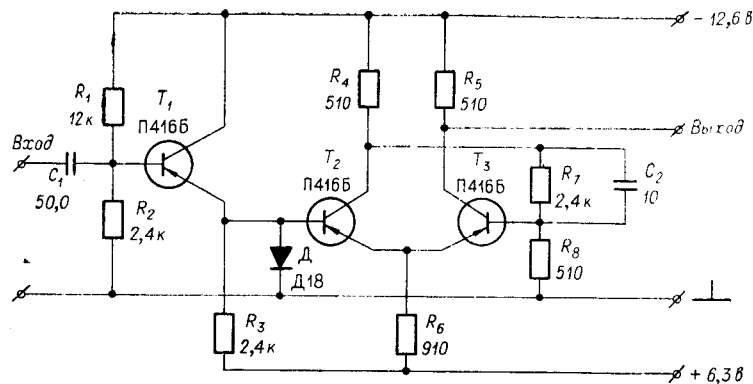


Рис. 2.

Напряжение гистерезиса, однако, не может быть очень большим и ограничено схемой формирователя. Как правило, формирующее устройство включает усилитель и выходную ступень — собственно формирователь, служащий для преобразования входного сигнала в импульсы с

крутыми фронтами. На рис. 2 представлен один из вариантов выходной ступени формирующего устройства, состоящей из эмиттерного повторителя (T_1) и триггера Шмитта (T_2, T_3). Величина напряжения гистерезиса определяется режимом и параметрами триггера. Так, согласно [1], выражение для напряжения гистерезиса триггера, представленного на рис. 2, имеет вид

$$U_{\Gamma} = \frac{I'_k R_4 R_8}{R_4 + R_7 + R_8} + 2U_{\text{см}}, \quad (2)$$

где I'_k — ток транзистора, при котором начинается процесс опрокидывания;

$U_{\text{см}}$ — напряжение смещения открытого транзистора.

В открытом состоянии ток транзистора определяется исходным режимом триггера

$$I_k = \frac{E_k \frac{R_8}{R_4 + R_7 + R_8} + E_9}{R_6}. \quad (3)$$

Входной сигнал уменьшает ток I_k вплоть до значения I'_k . Легко показать, что соотношение между этими токами определяется выражением

$$I' = I_k \frac{1 + \frac{U_{\text{см}}}{E_9} - \frac{E_k}{E_9} \frac{R_8}{R_4 + R_7 + R_8}}{1 + \frac{U_{\text{см}}}{E_9} - \frac{E_k}{E_9} \frac{R_8}{R_4 + R_7 + R_8} + \frac{I_k}{E_9} \frac{R_4 R_8}{R_4 + R_7 + R_8}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{см}}$ — напряжение смещения транзистора, находящегося на грани перехода в закрытое или открытое состояние.

Выражения (2) — (4) дают возможность определить статические состояния триггера. Частотные свойства схемы определяются выбранным типом транзисторов и постоянной времени коллекторных и базовых цепей. Нормальная работа триггера Шмитта, собранного по схеме рис. 2, обеспечивается до частоты примерно 3—4 Мгц. При более высокой частоте начинает сказываться инерционность системы; изменение входного сигнала происходит быстрее, чем установление критических уровней на электродах транзисторов. Заметным становится, по-видимому, и прямое прохождение сигнала на выход триггера через междоэлектродные емкости. Все это приводит к эквивалентному уменьшению напряжения гистерезиса и, следовательно, снижению помехозащищенности. Для расширения частотного диапазона триггера Шмитта необходимо в первую очередь заменить транзисторы типа П416Б триодами с большим быстродействием.

Расширения частотного диапазона можно достигнуть путем применения формирующего устройства с туннельным диодом. Типичная триггерная характеристика туннельного диода позволяет формировать импульсы с очень крутыми фронтами. К сожалению, напряжение гистерезиса туннельного диода невелико (около 0,5 в) и приходится применять усилители, которые ограничивают частотный диапазон формируемых сигналов. Подобная схема формирователя представлена на рис. 3,а. На выходе эмиттерного повторителя (T_1) включается цепь

туннельного диода (D_1), а далее усилитель-ограничитель (T_2, T_3). В исходном состоянии напряжение на эмиттере T_1 (около 0,7 в) и нагрузочное сопротивление (R_4) обеспечивают рабочую точку на первой восходящей ветви диода (ток 7 ма и напряжение менее 0,1 в). Отрицательная полуволна сигнала переводит рабочую точку на вторую вос-

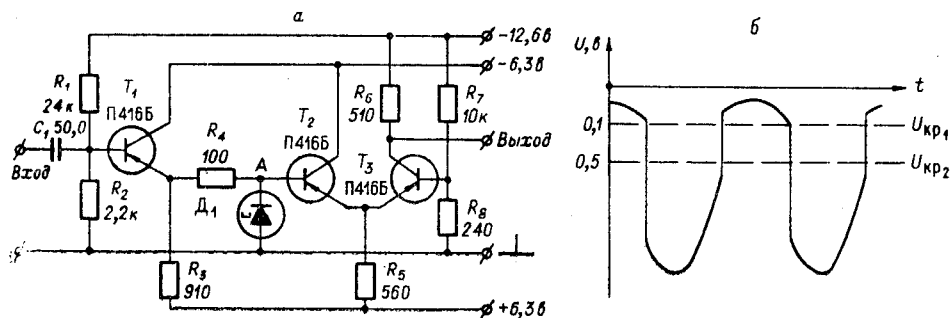


Рис. 3.

ходящую ветвь характеристики диода, а далее с уменьшением сигнала происходит скачкообразный возврат на первую восходящую ветвь. Разность двух критических уровней, измеренных в точке А (см. рис. 3, б) составляет для некоторых типов диодов около 0,4 в. Это напряжение должно приниматься в расчет при определении помехозащищенности схемы. Усилитель-ограничитель T_2, T_3 обеспечивает получение на выходе схемы прямоугольных импульсов с амплитудой около 5 в. Формирователь (см. рис. 3, а), как показали испытания, не снижает помехозащищенности до частот 12—13 Мгц.

Защищенность прибора от высокочастотных помех может быть повышена путем включения на входе прибора фильтра нижних частот (например, RC -фильтра). Наиболее простым путем реализации этого способа является включение фильтра вручную. При этом, однако, от оператора требуются определенные навыки, позволяющие выбрать подходящее звено фильтра. К сожалению, на практике этот способ не получил большого распространения.

Фильтр нижних частот можно включать автоматически при работе с прибором на низких частотах. На рис. 4 представлена схема автома-

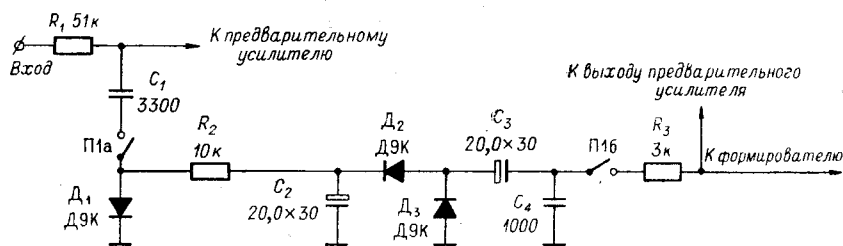


Рис. 4.

тического включения фильтра нижних частот. Схема включена параллельно предварительным каскадам усиления входного формирующего устройства. При работе в области низких частот значительный уровень сигнала выпрямляется детектором D_3 , и постоянный ток, проходящий по диоду D_1 (через диод D_2), включает емкость фильтра C_1 . На более высокой частоте сигнал значительно ослабляется цепью R_3C_4 , диод D_1

остается запертым и, таким образом, емкость фильтра C_1 остается отключенной. Звенья фильтров R_1C_1 и R_3C_4 выбираются в соответствии с выбранной границей раздела частотного диапазона. Повышение помехозащищенности частотомера с помощью схемы автоматического включения входного фильтра подтверждается данными, сведенными в

	помехозащиты, мв	помехозащиты, мв	помехозащиты, мв	защиты, мв
100	100	220	100	340
300	90	310	100	700
500	60	280	60	700
700	54	310	44	700
800	52	340	50	850
1000	70	500	60	850

Из рассмотрения таблицы, в частности, следует, что допустимая величина помехи, при которой прибор сохраняет правильные показания, практически не зависит от величины сигнала; вследствие неравномерности частотной характеристики тракта эта величина колеблется в пределах ± 2 дБ. Эффективность помехозащиты велика в особенности в области высокочастотных помех, когда допустимый уровень помех превышает напряжение полезного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Швецкий. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом. Киев, изд-во «Техніка», 1964.
2. В. П. Жуков. Систематические погрешности электронно-счетного частотомера, вызванные шумами.—ИВУЗ, Радиотехника, 1964, № 6.

*Поступила в редакцию
9 февраля 1966 г.*