

И.Н. БОГАТЫРЕВ, ст. преп. НТУ "ХПИ"

В.И. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ"

С.С. МУРАТОВ, студент НТУ "ХПИ"

В.С. ТРОЙНИКОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ"

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ЦИФРОВОГО ПИК-ВОЛЬТМЕТРА

У статті приведені результати моделювання оригінальної схеми вимірювача амплітудного значення сигналу з використанням швидкодіючих компаратора та лічильника.

In this article the results of simulation of the original scheme for measuring amplitude value signal with the use of high-speed comparator and counter.

В работах [1, 2] были описаны пик-вольтметры импульсов напряжения, позволяющие измерять амплитуду как аperiodического, так и синусоидального затухающего сигнала любой заранее известной полярности. Эти измерители уже более 5-ти лет успешно эксплуатируются в составе измерительных комплексов ИК-1 и ИКП-1 по исследованию электромагнитной обстановки на энергообъектах Украины. Актуальность таких исследований в последние годы весьма широко обсуждается в научно-технических изданиях, поэтому мы не станем лишним раз останавливаться на этом вопросе.

Тогда перед коллективом разработчиков стояла задача в кратчайшие сроки создать компактный, надежный, экономичный измеритель с относительной погрешностью измерения не хуже 10% в диапазоне температур от 0°C до +40°C, что и было реализовано в моделях ВИ-1 (затухающая синусоида до 2-х МГц с максимумом на отрицательной полуволне) и ВИ-6 (положительный аperiodический импульс с фронтом 1,2 мкс). Диапазон измерения обеих моделей от 0,5 В до 200 В разбит на 3 поддиапазона. Вес измерителя с элементом питания G6F22 ("Крона") не превышает 250 г, что не создаёт оператору большой нагрузки в течение всего рабочего дня.

Тем не менее, годы эксплуатации выявили и некоторые недостатки приборов. Во-первых, достаточно большое время установления показаний (до 10 секунд), что обусловлено аналоговой природой измерителя. Тем же обусловлен и второй недостаток: невозможность измерения амплитуд одиночных импульсов. И, в-третьих, хотелось бы повысить точность измерений.

Целью настоящей работы является исследование возможностей устройства фиксации экстремальных значений полярограмм [3] применительно к задаче измерения амплитуды импульсного сигнала. Структурная схема устройства приведена на рис. 1, а на рис. 2 приведены диаграммы, поясняющие принцип его работы.

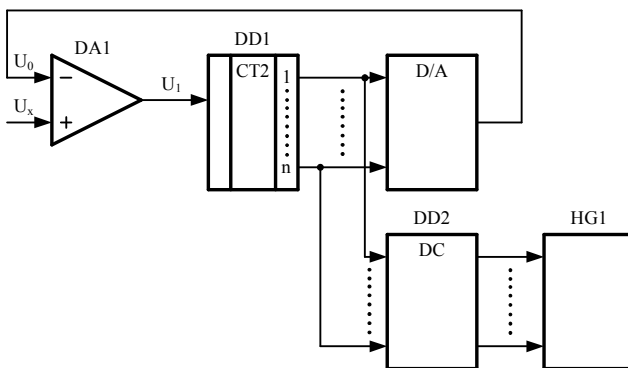


Рис. 1. Структурная схема измерителя амплитуды сигнала

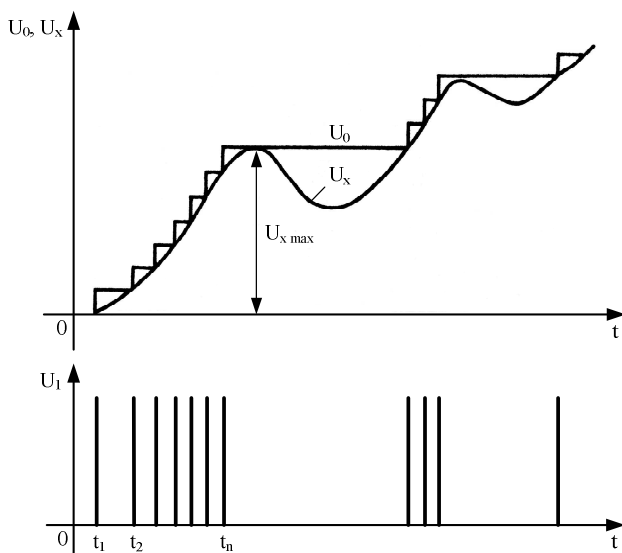


Рис. 2. Диаграммы напряжений в схеме измерителя амплитуды сигнала

Устройство работает следующим образом. В начальный момент времени счетчик $DD1$ находится в обнулённом состоянии и напряжение U_0 на выходе преобразователя код-напряжение D/A равно нулю. В момент времени t_1 , когда входное напряжение U_x становится больше нуля, на выходе компаратора $DA1$ появляется импульс, который записывает единицу в счётчик $DD1$. При этом на выходе преобразователя код-напряжение D/A появляется напряжение U_0 , равное ΔU , где ΔU – шаг дискретизации измеряемого напряжения по уровню, причём U_0 становится больше U_x и компаратор $DA1$ воз-

вращается в исходное состояние. При дальнейшем возрастании входного сигнала U_x до момента времени t_2 , когда U_x становится равным U_0 , на выходе преобразователя код-напряжение D/A сохраняется напряжение $U_0=U_x$, соответствующее единице счёта счётчика $DD1$. В момент времени t_2 на выходе компаратора $DA1$ появляется импульс, который увеличивает число, записанное в счётчик $DD1$ на единицу. Соответственно при этом напряжение U_0 на выходе преобразователя код-напряжение D/A становится равным $2\Delta U$. Этот процесс продолжается до тех пор, пока U_x не достигнет своего максимального значения $U_{x\max}$ и рост U_0 при этом прекратится.

Для любого момента времени t_n , напряжение $U_x=U_0=N\Delta U$, где N – число импульсов, поступившее в счётчик. Таким образом, устройство отслеживает входное напряжение U_x с максимальной погрешностью ΔU , а число N пропорционально входному напряжению U_x . Дешифратор $DD2$ преобразует код счётчика $DD1$, в двоично-десятичный код, отображаемый на индикаторе $HG1$.

Очевидно, что быстродействие данного измерителя напрямую зависит от группового времени срабатывания компаратора $DA1$, счётчика $DD1$ и преобразователя код-напряжение D/A . Другими словами, если к моменту прихода прибавки напряжения обратной связи U_0 на ΔU вызванного предыдущим импульсом компаратора U_1 , входное напряжение U_x возрастёт на величину больше чем ΔU , процесс накопления импульсов остановится. Таким образом, решающим фактором здесь является ёмкость (разрядность) счётчика $DD1$, так как с увеличением количества его разрядов практически пропорционально увеличивается время его установления. Если в качестве преобразователя код-напряжение применить резистивную матрицу типа $R-2R$ с номиналами резисторов не более сотен Ом или единиц килоОм, то его время установления будет много меньше времени установления счётчика, но учитывать его всё равно необходимо.

Как видим, здесь мы имеем стандартное для цифровых схем противоречие между точностью измерения, что достигается увеличением разрядности счётчика, и быстродействием, где количество разрядов счётчика играет прямо противоположную роль.

Для моделирования основного ядра схемы – компаратор, счётчик, преобразователь код-напряжение, – были выбраны следующие недорогие микросхемы: быстродействующий компаратор AD8561 (26грн.), быстродействующий двоичный счётчик 74НС393 (2грн.).

Последний содержит два независимых 4-х разрядных двоичных счётчика, которые в нашем случае соединились последовательно, что дало суммарную ёмкость счётчика $2^8=256$.

Моделирование было проведено в среде Micro-Cap 8.1.1.0 с указанными микросхемами. 8-ми разрядная резистивная матрица была собрана из резисторов с точностью $\pm 1\%$ и номиналами 1 кОм и 2 кОм.

На вход U_x подавался синусоидальный сигнал амплитудой 4 В. Таким образом разрешающая способность ΔU составила $4 \text{ В}/256=15,6 \text{ мВ}$. То есть, сигнал с амплитудой 0,5 В может быть измерен с относительной погрешностью $(15,6 \text{ мВ}/500 \text{ мВ})100\%=3,125\%$. Приведенная относительная погрешность будет составлять в этом случае $(15,6 \text{ мВ}/4000 \text{ мВ})100\%=0,39\%$. Максимальная амплитуда входного сигнала величиной 4 В ограничена напряжением питания счетчика 5 В и его нагрузочной способностью. При максимально допустимой нагрузке по выходам счётчика эта величина должна быть снижена до величины не более 3,7 В.

Максимальное быстродействие схемы определялось путем увеличения частоты входного сигнала при неизменной амплитуде 4 В. Такой величиной оказалась частота 5,5 кГц. Это соответствует максимальной скорости нарастания входного сигнала 140 В/мс. Диаграмма для этого случая приведена на рис. 3.

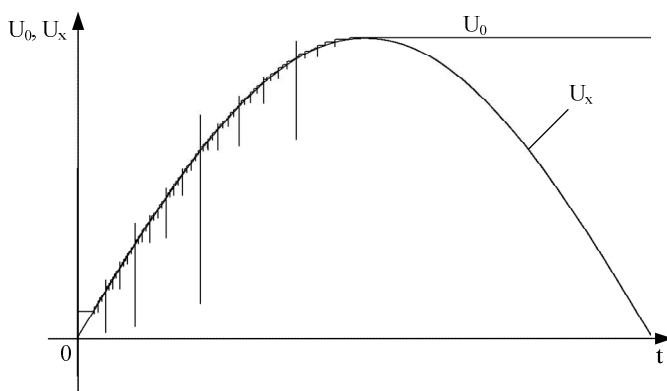


Рис. 3. Диаграмма напряжений измерителя амплитуды сигнала при частоте 5,5 кГц

Таким образом, минимальная длительность фронта измеряемого одиночного импульса должна составлять не более 1,4 миллисекунды.

Замечательной особенностью этой схемы является возможность измерения амплитуд импульсов с микросекундными фронтами, но это должны быть повторяющиеся импульсы. В худшем случае, когда на каждом фронте повторяющихся импульсов будет добавляться в счетчик лишь один импульс, для измерения максимальной амплитуды понадобится 256 импульсов, что в случае генератора ИКП-1 займет время около 25 секунд. Такой режим работы иллюстрируется рис. 4.

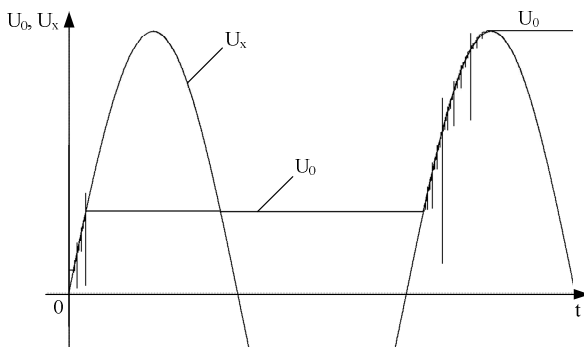


Рис. 4. Диаграмма измерителя амплитуды сигнала при частоте больше 5,5 кГц

Всплески и провалы сигнала U_0 обусловлены процессом переключения разрядов счётчика $DD1$. Их амплитуда зависит от количества одновременно переключаемых разрядов, т. е. времени переключения группы разрядов из состояния логической единицы в состояние логического нуля при переполнении. Причём наибольший провал наблюдается в момент переполнения младшего 4-х разрядного счётчика и переноса единицы в старший 4-х разрядный счётчик.

Выводы.

1. Измерение амплитуд одиночных импульсов рассмотренным способом реально лишь при длительности фронта не менее 1,4 мс (при максимальной амплитуде).
2. Измерение амплитуд импульсов микросекундного диапазона возможно только для последовательности импульсов.
3. Относительная приведенная погрешность измерения не превышает $\pm 0,4\%$, что является отличным результатом для практического использования.
4. На основе исследованной схемы можно весьма просто построить недорогой пик-вольтметр, практически по всем характеристикам превосходящий ныне выпускаемые аналоговые импульсные вольтметры ВИ-1 и ВИ-6.

Список литературы: 1. Доценко В.И., Колушко Г.М., Недзельский О.С. Измерители амплитуды микросекундных импульсов напряжения с большой скажностью // Вестник НТУ «ХПИ». – 2004. №35, – С. 111 – 115. 2. Доценко В.И., Недзельский О.С. Улучшение термостабильности измерителя амплитуды микросекундных импульсов напряжения с большой скажностью // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. №49, – С. 94 – 96. 3. А. с. 914992 (СССР). Устройство фиксации экстремальных значений полярogramм / И.Н. Богатырев, В.Г. Воронов, Т.Г. Мащенко. – Опубл. в Б. И., 1985. №37.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ «ХПИ» Дербуновичем Л.В.

Поступила в редакцию 24.03.2010