

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ С НЕЗАВИСИМЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ АМПЛИТУДЫ И КРУТИЗНЫ ФРОНТА И СПАДА

© 2011 г. В. Ф. Тарасов

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КНЦ РАН
Россия, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7

Поступила в редакцию 27.10.2010 г.

Описан простой формирователь трапецеидальных импульсов с независимым регулированием крутизны как фронта, так и спада импульса и его амплитуды. Схема может работать также в режиме непрерывной генерации треугольных импульсов. Максимальная крутизна фронта и спада 1 В/мкс при максимальной амплитуде импульса 5 В.

Современная тенденция формирования импульсных сигналов произвольной формы состоит в цифровом синтезе сигнала с использованием быстродействующего многоразрядного цифро-аналогового преобразователя (ц.а.п.). Однако такой сигнал неизбежно представляет собой последовательность быстрых скачков напряжения с минимальной амплитудой скачка, определяемой числом разрядов ц.а.п. Если крутизну фронта импульса необходимо менять в широких пределах, применение фильтров низкой частоты для сглаживания этих скачков напряжения неэффективно.

В то же время существуют процессы, характеристики которых определяются именно скоростью изменения какого-либо параметра. Характерным примером является адиабатическое быстрое прохождение резонансных условий в магнитном резонансе. Для исследования таких процессов необходимы аналоговые генераторы трапецеидальных импульсов, крутизна фронта и амплитуда которых могут независимо регулироваться в широких пределах. Цифровые синтезаторы импульсов не могут применяться в подобных исследованиях ввиду ступенчатой формы синтезированного сигнала.

В статье представлен простой аналоговый формирователь трапецеидальных импульсов для управления величиной магнитного поля в спектрометре электронного парамагнитного резонанса. В отличие от формирователя [1], данная схема позволяет независимо регулировать крутизну как фронта, так и спада импульса.

Принципиальная схема формирователя приведена на рис. 1. Основным элементом, формирующим импульс, является интегратор, собранный на операционном усилителе M_3 . Управление работой интегратора осуществляется ключами M_2 . Ключ M_{2-1} управляется RS -триггером M_{7-1} и от-

крывается на время формирования фронта импульса, а ключ M_{2-2} управляется RS -триггером M_{7-2} и открывается на время формирования спада импульса.

Ключ M_{2-3} шунтирует интегрирующую емкость C_1 в промежутке между импульсами, сохраняя нулевое напряжение на выходе формирователя до прихода управляющего импульса.

Процесс формирования импульса происходит следующим образом. Запускающий прямоугольный импульс (рис. 2а) через элемент M_{5-1} закрывает ключ M_{2-3} , а его фронт устанавливает RS -триггер M_{7-1} в состояние, открывающее ключ M_{2-1} . При этом на выходе последнего появляется напряжение отрицательной полярности амплитудой U_1 . Емкость интегратора C_1 начинает заряжаться током $I_1 = U_1/R_1$, который определяет крутизну фронта формируемого импульса $dU/dt = U_1/R_1C_1$. В результате на выходе формирователя появляется линейно возрастающее напряжение, которое через повторитель напряжения M_4 и T_1 подается на выход формирователя.

Выходное напряжение контролируется двумя компараторами M_{9-1} и M_{9-2} . На опорный вход компаратора M_{9-1} через операционные усилители M_{8-1} и M_{8-2} подается управляющее напряжение U_3 , которое задает порог срабатывания компаратора при возрастании выходного напряжения и, следовательно, определяет амплитуду формируемого импульса. При срабатывании компаратора M_{9-1} триггер M_{7-1} устанавливается в исходное состояние и формирование фронта заканчивается. Это состояние длится до окончания запускающего импульса.

Спад запускающего импульса устанавливает триггер M_{7-2} в состояние, открывающее ключ M_{2-2} . В результате начинается разряд емкости C_1 током $I_2 = U_2/R_2$ и выходное напряжение формировате-

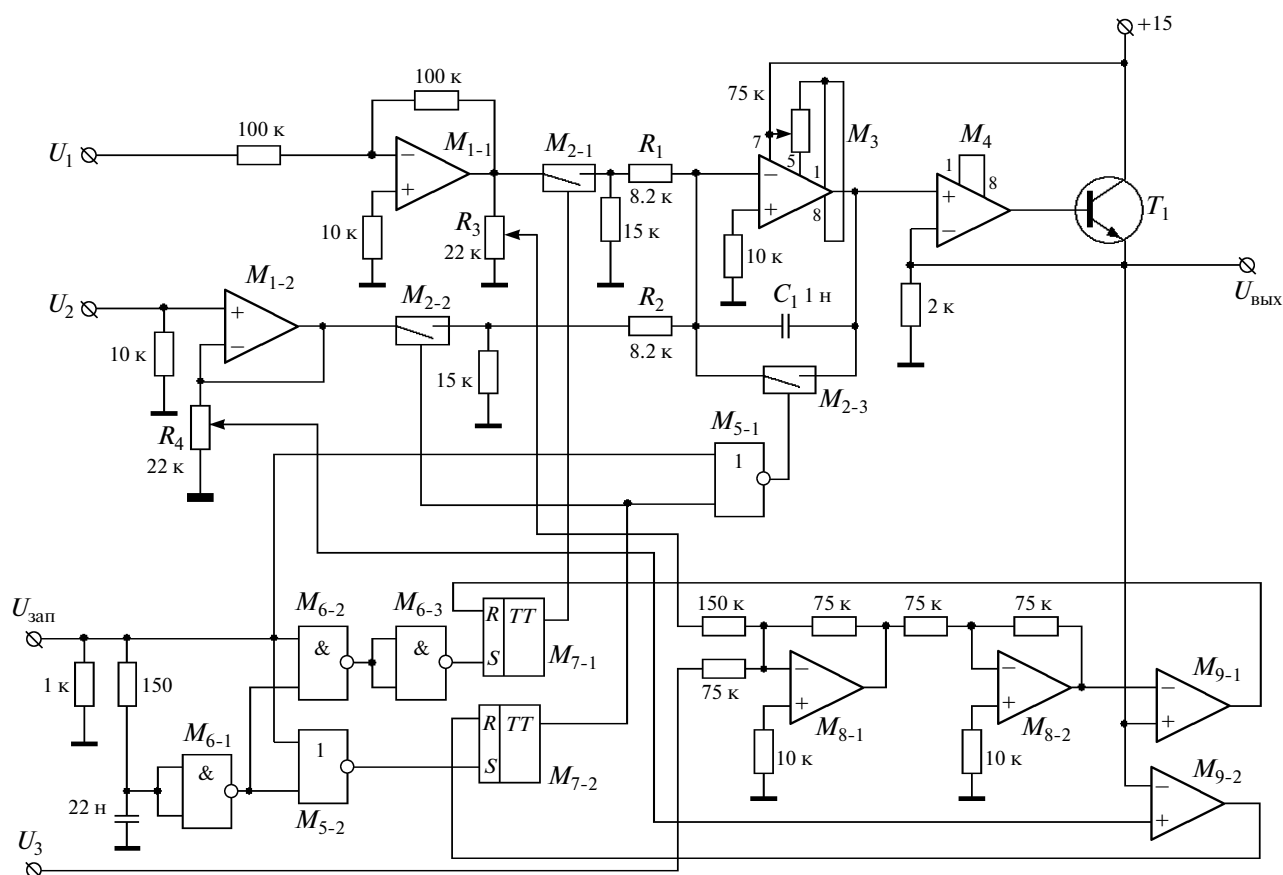


Рис. 1. Принципиальная схема формирователя импульсов. M_1, M_8 – КР544УД2, M_2 – К284КН1, M_3, M_4 – КР574УД2, M_5 – КР1533ЛЕ2, M_6 – КР1533ЛА3, M_7 – КР1533ТР2, M_9 – К140СА1; T_1 – КТ3102А.

ля линейно снижается со скоростью, пропорциональной U_2 . При уменьшении выходного напряжения до заданного значения компаратор M_{9-2} возвращает триггер M_{7-2} в исходное состояние, ключ M_{2-3} замыкается, и процесс формирования импульса заканчивается.

На опорные входы компараторов подается корректирующее напряжение с движков потенциометров R_3 и R_4 , чтобы повысить точность регулирования амплитуды импульса и избежать искажений его спада. Дело в том, что имеется временное запаздывание δt между моментом времени t_0 , когда напряжения на входах компаратора сравниваются, и временем t_1 , когда ток, заряжающий или разряжающий емкость C_1 , отключается.

При отсутствии корректирующего напряжения компаратор сработает в момент времени t_0 (рис. 2б). Однако в течение времени δt рост выходного напряжения будет продолжаться. В результате амплитуда формируемого импульса превысит напряжение U_3 на величину δU , зависящую от крутизны фронта. При формировании спада импульса конечность времени δt приведет к формированию отрицательного выброса напряже-

ния, величина которого будет зависеть от крутизны спада.

Для предотвращения указанных искажений компараторы M_{9-1} и M_{9-2} должны срабатывать в момент времени t_{-1} , опережающий время t_0 на величину δt . При этом выходное напряжение должно быть равно $U_3 - \delta U_1$ и δU_2 соответственно, как показано на диаграмме рис. 2в.

Очевидно, что необходимая величина корректирующих напряжений δU_1 и δU_2 пропорциональна крутизне фронта и спада импульса и соответственно напряжениям U_1 и U_2 . Поэтому на опорные входы компараторов M_{9-1} и M_{9-2} достаточно подать компенсирующее напряжение, пропорциональное соответственно U_1 и U_2 . Величина компенсирующих напряжений регулируется потенциометрами R_3 и R_4 , положение движков которых подбирается при настройке формирователя.

Следует отметить, что влияние конечного времени запираания ключей заметно сказывается на форме импульса только при работе с максимальной крутизной фронтов. При использованной нами элементной базе время $\delta t = 0.5$ мкс. Поэтому при работе без коррекции опорного напряжения и

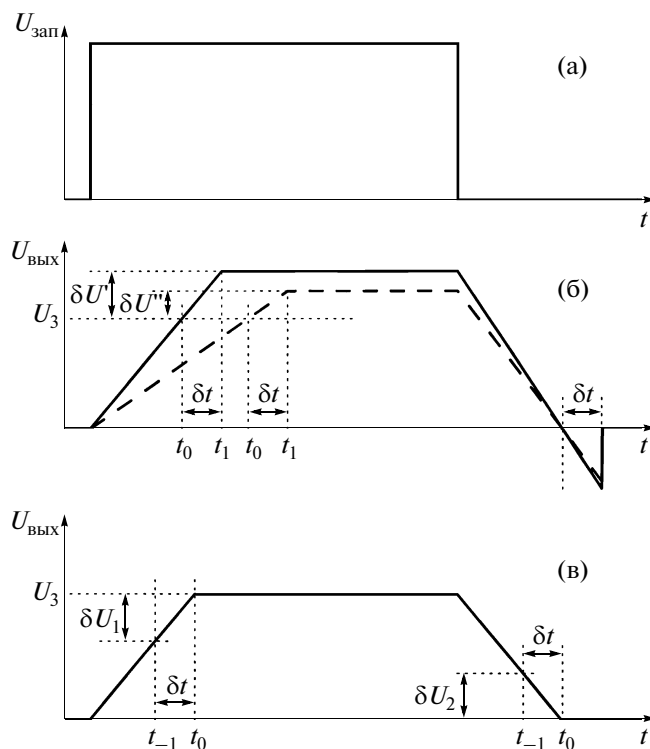


Рис. 2. Временные диаграммы, характеризующие работу формирователя: **а** – запускающий импульс; **б** – форма импульса без использования корректирующих напряжений (показаны два импульса, совпадающие по временам начала фронта и спада, но имеющие разную крутизну последних); **в** – форма импульса с использованием корректирующих напряжений.

максимальной для данной схемы крутизне фронта 1 В/мкс максимальная погрешность выходного напряжения составляет 0.5 В. Погрешность уменьшается при уменьшении крутизны фронта и спада и может стать несущественной при работе в другом диапазоне крутизны фронта и спада импульса. Тогда схему формирователя можно упростить, исключив суммирующий усилитель M_{8-1} и инвертор M_{8-2} . При этом управляющее напряжение U_3 подается непосредственно на опорный вход M_{9-1} , а опорный вход M_{9-2} заземляется.

Данная схема может работать также в режиме непрерывной генерации пилообразного сигнала с независимым управлением амплитудой и скоро-

стью нарастания и спада напряжения. При этом ключи M_{2-1} и M_{2-2} управляются одним триггером M_{7-1} , для чего управляющий вывод ключа M_{2-2} соединяют с инверсным выходом триггера M_{7-1} , а выход компаратора M_{9-2} вместо входа R триггера M_{7-2} подключают к входу S триггера M_{7-1} . Ключ M_{2-3} должен быть постоянно закрыт, поэтому его управляющий вход необходимо заземлить.

Работа поддержана проектом РФФИ № 09-07-97006 и грантом Президента РФ НШ-6267.2010.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спириденков Э.М., Тимофеев Н.А. // ПТЭ. 1979. № 4. С. 174.