

## СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ ИЗМЕНЯЕМОЙ ФОРМЫ

Е. Л. СОБАКИН

(Представлена научным семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Задача формирования напряжения сложной формы возникает во многих практических случаях, например, в аналоговой вычислительной технике при моделировании различных процессов во время, в импульсной технике при формировании импульсных сигналов заданной формы, в измерительной технике при поверке электронных цифровых вольтметров переменного тока или при исследовании стабилизаторов напряжения, частотных фильтров и т. д. Для этих целей применяются специальные генераторы, позволяющие получать периодические колебания напряжения сложной формы.

Известны различные принципы построения подобных генераторов, однако, наибольшее распространение получил принцип, при котором сложное колебание получается в результате суммирования какого-либо числа элементарных сигналов с изменяемыми параметрами. В зависимости от вида суммируемых элементарных сигналов генераторы напряжения сложной формы можно разделить на гармонические синтезаторы [1], в которых элементарными сигналами являются синусоидальные колебания различной частоты с изменяемой фазой и амплитудой, и генераторы с суммированием импульсов напряжения прямоугольной формы. В последнем случае предусматривается определенная последовательность суммируемых прямоугольных импульсов, у которых амплитуда может изменяться пропорционально ординате заданной кривой напряжения, а длительность остается постоянной [2, 3], или амплитуда и длительность остаются постоянными, но меняется последовательность их суммирования за счет регулируемых линий задержек.

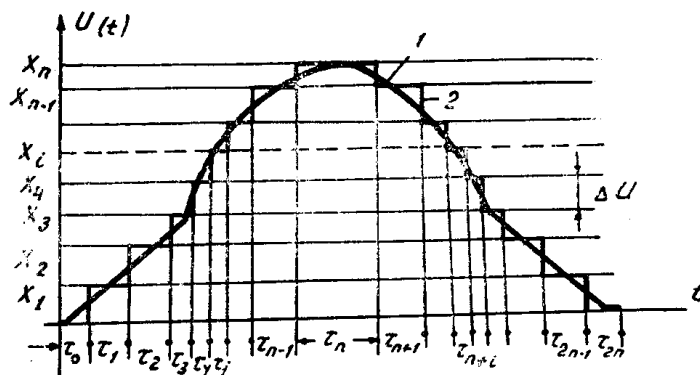
Перечисленным генераторам присущи различные недостатки. В частности, для гармонических синтезаторов — сложность настройки на заданную форму, ибо необходимо одновременно менять три параметра: частоту гармонических составляющих, их фазу и амплитуду. Для генератора, описанного в [2], — необходимость в двух дополнительных генераторах; а для генератора [3] — невозможность перестройки на другую частоту. Недостаток генераторов с суммированием прямоугольных импульсов постоянной длительности и амплитуды и регулируемыми задержками заключается в невозможности настройки формы переднего и заднего фронтов выходного импульса независимо друг от друга, а также необходимость в дополнительном генераторе импульсов.

В данной статье предлагается несколько иной способ, следуя которому, можно создать генератор импульсов напряжения сложной формы, в известной степени лишенный указанных недостатков.

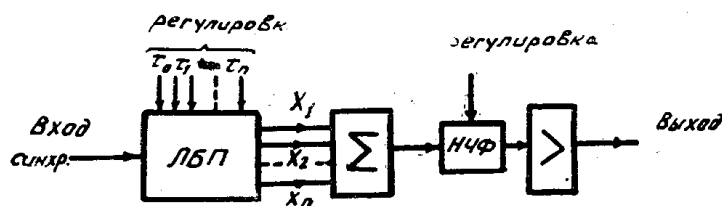
В основу способа положен метод представления импульса сложной формы через ступенчатую кривую, получаемую в результате квантова-

ния заданной кривой по уровню. Используя низкочастотный фильтр (НЧ-фильтр), ступенчатая кривая может быть сглажена и, тем самым, получена непрерывная кривая, приближенно соответствующая заданной форме выходного импульса. Естественно, что точность воспроизведения заданной формы будет тем выше, чем больше выбрано число уровней квантования.

Поясним сказанное на примере. Пусть требуется получить импульс с формой, изображенной на рис. 1, а (кривая 1). Импульс заданной



а)



б)

Рис. 1

формы можно приближенно заменить импульсом с огибающей ступенчатой кривой 2. Степень приближения кривой 2 к заданной кривой 1 будет тем выше, чем больше уровней квантования  $X_i$ . Из рисунка видно, что ступенчатую кривую 2 можно получить путем суммирования отдельных прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды, равной шагу квантования  $\Delta U$ . Число этих импульсов определяется числом уровней квантования  $n$ , а порядок их появления и окончания — характером кривой 1. Для кривых  $U(t)$ , имеющих один максимум, последовательность появления этих импульсов следующая: сначала появляется импульс, соответствующий первому уровню квантования  $X_1$ , затем импульс, соответствующий второму уровню квантования  $X_2$ , и так далее до импульса  $X_n$ . Последовательность же окончания этих импульсов обратная (рис. 1, а). Для импульсов с огибающей  $U(t)$ , имеющей несколько максимумов (минимумов), эти последовательности соответствующим образом изменяются.

Изменяя отдельные задержки в появлении импульсов квантования ( $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_{n-1}$ ), а также задержки в окончании этих импульсов ( $\tau_{n+1}, \tau_{n+2}, \dots, \tau_{n+i}, \dots, \tau_{2n}$ ) независимо друг от друга, получим возможность независимо друг от друга регулировать форму переднего и заднего фронтов выходного импульса. Регулируя задержку  $\tau_n$  на окончание  $X_n$ -го импульса квантования, можно изменять длительность вершины выходного импульса.

Таким образом, для построения генератора импульсов изменяемой формы можно предложить блок-схему, приведенную на рис. 1, б.

На этом рисунке ЛБП — логический блок переключений, в функцию которого входит генерирование в определенной последовательности прямоугольных импульсов квантования с регулируемыми задержками при их появлении и окончании. Этот блок может работать в автоколебательном и ждущем режимах.

$\Sigma$  — сумматор. Он суммирует импульсы с блока ЛБП и формирует импульс ступенчатой формы.

НЧФ — низкочастотный фильтр с регулируемыми параметрами, фильтр сглаживает ступенчатую кривую и может выполняться на интегрирующих  $RC$ -цепях. Степень сглаживания ступенчатой кривой может регулироваться, что обеспечивает дополнительное изменение формы с целью выбора лучшего варианта.

Конечный усилитель обеспечивает необходимую амплитуду выходного импульса.

Выбор принципиальных решений сумматора, фильтра и усилителя не вызывает затруднений. Поэтому синтез генератора сводится к синтезу блока ЛБП.

Функциональная и принципиальная схемы блока ЛБП могут быть найдены при помощи логических методов синтеза с использованием результатов теории релейных устройств и конечных автоматов.

Рассмотрим пример синтеза блока ЛБП для генератора импульсов напряжения с огибающей, имеющей один максимум. Для простоты примем число уровней квантования импульса, равное четырем, а затем результаты синтеза обобщим на большее число уровней. В этом случае ЛБП будет иметь один вход и четыре выхода. Синтез указанного блока проведем по следующим условиям:

1. Требуется синтезировать устройство, имеющее один вход  $a$  и четыре выхода  $X_1, X_2, X_3, X_4$ . Устройство должно работать циклически (автоколебательный режим) при подаче на его вход потенциального сигнала и осуществлять один цикл переключений, если на вход подается импульсный сигнал (ждущий режим).

2. Выходные сигналы должны появляться при подаче входного воздействия в следующей последовательности: через интервал времени  $\tau_0$  после момента подачи входного сигнала выходной сигнал  $X_1$  должен принять единичное значение, через интервал  $\tau_1$  после момента появления сигнала  $X_1$  выходной сигнал  $X_2$  принимает единичное значение, через интервал времени  $\tau_2$  после появления сигнала  $X_2$  принимает значение 1 выходной сигнал  $X_3$  и через интервал  $\tau_3$  после момента появления сигнала  $X_3$  принимает единичное значение сигнал  $X_4$ .

3. Нулевые значения должны принимать выходные сигналы в обратной последовательности с задержками соответственно в:  $\tau_4$  после момента включения сигнала  $X_4$ ,  $\tau_5$  после

отключения сигнала  $X_4$ ,  $\tau_6$  после отключения сигнала  $X_3$ ,  $\tau_7$  после отключения сигнала  $X_2$ , и в исходное состояние устройство должно перейти через интервал времени  $\tau_8$  после отключения сигнала  $X_1$ .

Таблица 1

$s$	$a$		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	Длительность состояний
	0	1					
1	<1>	2	0	0	0	0	—
2	3	3	0	0	0	0	$\tau_0$
3	4	4	1	0	0	0	$\tau_1$
4	5	5	1	1	0	0	$\tau_2$
5	6	6	1	1	1	0	$\tau_3$
6	7	7	1	1	1	1	$\tau_4$
7	8	8	1	1	1	0	$\tau_5$
8	9	9	1	1	0	0	$\tau_6$
9	10	10	1	0	0	0	$\tau_7$
10	1	2	0	0	0	0	$\tau_8$



4. В устойчивое исходное состояние, в котором все выходные сигналы имеют нулевые значения, устройство должно перейти только тогда, когда цикл переключений закончен и входной сигнал имеет нулевое значение.

Используя математический аппарат, предложенный в [4], и метод синтеза по Д. А. Хаффмену, проектирование блока ЛБП ведем в следующем порядке.

1). По заданным условиям составляем первичную таблицу состояний (табл. 1). Эта таблица составляется путем условного выделения внутренних состояний синтезируемого устройства, их нумерации, записи значений выходных сигналов в этих состояниях и записи переходов устройства из одного состояния в последующие при соответствующих значениях входного сигнала. Отличие таблицы от известных [5, 6] заключается в дополнительном учете длительностей внутренних состояний и записи соответствующих длительностей в отдельной графе.

2). Упрощая структуру синтезируемого устройства, выбираем в качестве промежуточных выходные элементы  $X_1, X_2, X_3, X_4$ . В таком случае для реализации заданной табл. 1 последовательности изменений выходных сигналов необходим дополнительный промежуточный элемент  $U$ , который бы включался при подаче входного сигнала, осуществлял задержку  $t_0$  при включении выходного элемента  $X_1$  и выключался при включении выходного элемента  $X_4$ , осуществляя задержку на его отключение. С учетом этого дополнительного элемента строим вторичную таблицу состояний (табл. 2.), в которой, сохраняя заданную последовательность выходных сигналов, кодируем внутренние состояния устройства значениями статических и импульсных переменных [4]. Длительность состояний задаем задержками в переходах от одного внутреннего состояния к другому.

3). Используя табл. 2 и матрицы для потенциально-импульсных функций [4], строим матрицу переходов устройства рис. 2.

4). Заменяя номера последующих состояний в матрице переходов соответствующими значениями статических переменных, взятых из табл. 2, можно построить матрицы для выходных функций  $X_1, X_2, X_3, X_4$  и для промежуточной функции  $U$ . Из-за ограниченного объема статьи соответствующие матрицы не приводятся.

5). Из матриц функций по правилам, приведенным в [4], находим их алгебраические выражения:

$$\begin{aligned} Y &= ax_{18} + yx_{18}, \\ X_1 &= y + x_{27}, \\ X_2 &= yx_{18} + x_{36}, \\ X_3 &= yx_{27} + x_{45}, \\ X_4 &= y + x_{36}. \end{aligned} \quad (1)$$

Полученные выражения задают функциональную схему блока ЛБП. С целью реализации выражений (1) на бесконтактных приборах (транзисторах) несколько их преобразуем; тогда они примут следующий вид:

$$Y = ax_{18} + y + x_{45}, \quad (2)$$

$$X_1 = y + (y) + x_{27}, \quad (3)$$

s	a		$X_1$ $x_1, x_{1c}, x_{1c'}$		$X_2$ $x_2, x_{2c}, x_{2c'}$		$X_3$ $x_3, x_{3c}, x_{3c'}$		$X_4$ $x_4, x_{4c}, x_{4c'}$		$Y$ $y, y_c, y_{c'}$	
	0	1										
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	7	7	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
7	8	8	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
8	9	9	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
9	10	10	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
10	11	11	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
11	12	12	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
12	13	13	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
13	14	14	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
14	15	15	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
15	16	16	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	17	17	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	18	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	19	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\uparrow 1^{\tau_1}$  (rows 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)  
 $\downarrow 1^{\tau_2}$  (rows 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)  
 $\uparrow 1^{\tau_3}$  (rows 9, 10, 11, 12)  
 $\downarrow 1^{\tau_4}$  (rows 11, 12)  
 $\downarrow 1^{\tau_5}$  (rows 13, 14, 15, 16)  
 $\downarrow 1^{\tau_6}$  (rows 15, 16)  
 $\downarrow 1^{\tau_7}$  (rows 17, 18, 19)

$$X_2 = \overline{\overline{y + (x_1)^{\tau_1} + x_3^{\tau_3}}}, \quad (4)$$

$$X_3 = \overline{\overline{y + (x_2)^{\tau_2} + x_4^{\tau_4}}}, \quad (5)$$

$$X_4 = \overline{\overline{y^{\tau_4} + (x_3)^{\tau_3}}}. \quad (6)$$

При реализации этих выражений на транзисторах типа  $p-n-p$  за единичный сигнал принимается отрицательный потенциал. Для построения схемы совпадений на два отрицательных сигнала в этом случае потребуется два транзистора. Чтобы сократить число транзисторов в проектируемом устройстве, в выражении (2) за единичное значение переменных  $a$  и  $x_1^{\tau_1}$  примем положительный (нулевой) потенциал, тогда схему совпадений можно выполнить на резисторах и диодах. При этом запуск статического триггера, описываемого выражением (2), будет осуществляться положительными сигналами.

С учетом сделанных замечаний по формулам (2) ÷ (6) построена функциональная схема блока ЛБП, показанная на рис. 3. Преобразования первоначальных структурных формул устройства (1) и условные обозначения логических элементов на рис. 3 выполнены согласно правилам и обозначениям, принятым в работе [4].

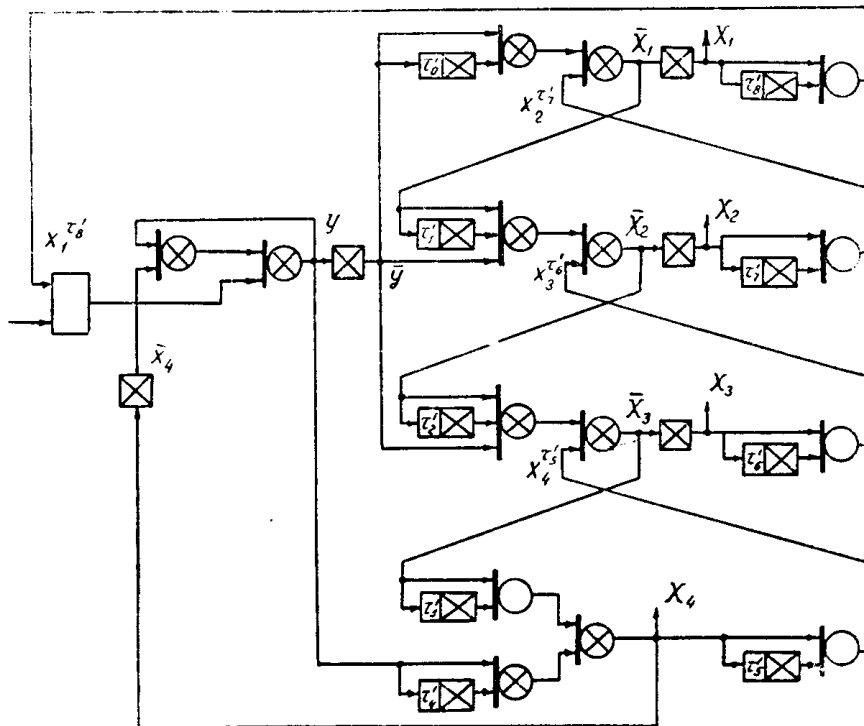


Рис. 3.

Рассматривая формулы (2) ÷ (6), нетрудно их обобщить на случай, когда при квантовании импульса принимается  $n$  уровней. При этом потенциально-импульсные логические функции, описывающие работу подобного блока ЛБП, будут иметь следующий вид:

$$Y = a \cdot \overline{\overline{x_1^{\tau_1} + x_n}},$$

$$\begin{aligned}
X_1 &= \overline{\overline{y}} + (\overline{y})_{\tau_0}' + x_2^{\tau_{2n-1}}, \\
X_2 &= \overline{\overline{y}} + (\overline{x_1})^{\tau_1} + x_3^{\tau_{2n-2}}, \\
&\dots \\
X_i &= \overline{\overline{y}} + (\overline{x_{i-1}})^{\tau_{i-1}} + x_{i+1}^{\tau_{2n-i}}, \\
&\dots \\
X_{n-1} &= \overline{\overline{y}} + (\overline{x_{n-2}})^{\tau_{n-2}} + x_n^{\tau_{n+1}}, \\
X_n &= (\overline{x_{n-1}})^{\tau_{n-1}} + \overline{y}^{\tau_n}.
\end{aligned}$$

Путем выбора конкретных вариантов реализации указанных выражений на транзисторах была получена принципиальная схема генератора, приведенная на рис. 4, с учетом восьми уровней квантования.

В ждущем режиме генератор обеспечивает получение импульсов напряжения с линейно-нарастающими фронтами, прямоугольных импульсов различной длительности, импульсов самой разнообразной ступенчатой формы и импульсов с выпукло-вогнутыми фронтами. Запуск генератора может производиться от любого стандартного генератора положительными импульсами с амплитудой не менее  $(7 \div 8)$  вольт и длительностью не менее четырех микросекунд.

В автоколебательном режиме генератор воспроизводит периодические колебания различных форм: синусоидальных, треугольной, трапецидальных, пилообразной, прямоугольной, ступенчатой различных вариантов и других колебаний неправильной формы. Длительность выходных импульсов в ждущем режиме и частота колебаний в автоколебательном режиме могут изменяться путем изменения суммарной величины задержек и зависят от выбора параметров схем задержек. Для изготовленного образца частота периодических колебаний без изменения их формы регулировалась в пределах  $\approx (50 \div 250)$  гц. Генерирование синусоидальных колебаний возможно от 50 до  $\approx 400$  гц, а прямоугольных — от 200 гц до 25 кгц.

На рис. 5 приведены некоторые осциллограммы выходного напряжения генератора, работающего в автоколебательном режиме. Настройка генератора на заданную форму кривой выходного напряжения производилась визуально по осциллографу, но может производиться по шкалам на переменных резисторах, регулирующих отдельные задержки. Для этого необходимо составить таблицы, показывающие номера положений движков регулируемых резисторов для каждой формы кривой, и поставить эти движки в соответствующие положения. Чтобы изменить частоту колебаний при заданной форме, необходимо все задержки изменить пропорционально в ту или иную сторону.

Спроектированный генератор обладает по сравнению с известными рядом преимуществ:





- 1) не требует дополнительных генераторов,
- 2) прост в настройке на выбранную форму колебаний.

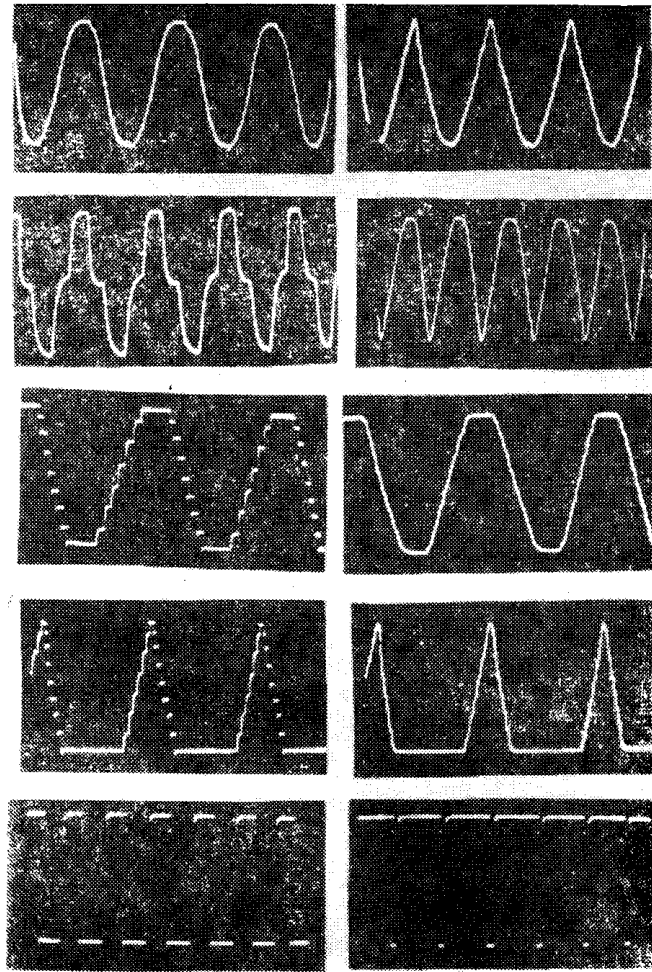


Рис. 5.

- 3) допускает возможность изменения формы колебаний на любом участке кривой независимо от других регулировок,
- 4) позволяет изменять частоту колебаний без изменения их формы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Ванд. Новый гармонический синтезатор на мультивибраторах с эмиттерной связью. Экспресс-информация. «Приборы и элементы автоматки», вып. 23, реф. 127, 1965.
2. Н. Ф. Воллернер, В. П. Бережной, В. А. Шувалов. Генератор видеопульсов произвольной формы. Изв. вузов, «Радиотехника», т. 8, № 3, 1965.
3. Ward John Joseph. Electric impedance waveform generator, Пат. США, кл. 328—186, № 3249879.
4. Е. Л. Собакни. К использованию логических методов для синтеза и анализа потенциально-импульсных релейных устройств. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, г. Томск, ТПИ, 1967.
5. Н. П. Васильева, И. Гашковец. Логические элементы в промышленной автоматике. Биб-ка по автоматике, вып. 68, ГЭИ, 1962.
6. С. Колдуэлл. Логический синтез релейных устройств. Изд-во ИЛ, 1962.