

С. Б. Кащеев, Ю. А. Леман

ГЕНЕРАТОР ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ

При проектировании оптимальной метеорной РЛС одной из наиболее сложных проблем является повышение помехоустойчивости и электромагнитной совместимости. Практически все работающие в настоящее время импульсные метеорные РЛС излучают периодические последовательности импульсов, отличающиеся только длительностью импульсов и частотой повторения.

Опыт эксплуатации мощного радиолокационного комплекса [1] и измерения в районе экватора на РЛС средней эффективной чувствительности [2] показали, что одним из основных источников помех являются помехи от сигналов возвратно-наклонного экранирования (ВНЭ). Эти сигналы не отличимы от сигналов, отраженных от метеорного следа; их большая длительность с продолжительными замираниями вызывает многократные ложные запуски регистрирующих устройств. При излучении периодической последовательности импульсов невозможно использовать то обстоятельство, что  $R_{\text{ВНЭ}} \gg R_{\text{м}}$ . Реально регистрируется величина одного порядка с  $R_{\text{м}}$ , равная

$$R_{\text{ВНЭ}}^* = R_{\text{ВНЭ}} - nR_0,$$

где  $R_{\text{ВНЭ}}^*$  — кажущаяся дальность до метеорного следа;

$R_0$  — расстояние, соответствующее периоду повторения зондирующих импульсов;

$n$  — целое число.

Используемые в метеорной аппаратуре дискретные обнаружители пакетов импульсов избирательны по отношению к периоду повторения. Задача разделения метеорных сигналов и сигналов ВНЭ может быть решена в том случае, если излучать непериодическую последовательность, а в качестве обнаружителя использовать устройство, избирательное к постоянной задержке импульсов пакета относительно зондов. При этом наиболее естественно использовать последовательность импульсов с интервалом между соседними импульсами  $t_i$ , распределенным либо равномерно в некотором интервале ( $t_{\text{мин}}$ ;  $t_{\text{макс}}$ ), либо экспоненциально (псевдопуассоновский поток).

Для реализации генератора импульсов, распределенных во времени случайным образом, необходим датчик случайных чисел и преобразователь кода во временной интервал. В настоящее время используются два типа датчиков случайных чисел: физические и алгоритмические.

Физический метод получения случайных чисел заключается в организации выборки из некоторого стандартного флуктуационного процесса. Использование физических датчиков связано с целым рядом трудностей. Одна из основных заключается в следующем: точное повторение реализации процесса в силу истинно случайной природы исходных воздействий оказывается возможным лишь с помощью перезаписи процесса. Кроме того, ряд флуктуационных процессов, широко используемых на практике из-за своей доступности, имеет неудовлетворительные статистические характеристики, которые можно определить лишь апостериорно.

Алгоритмический метод использует программные способы создания последовательности чисел, напоминающей по статистическим свойствам последовательность случайных чисел. Созданные алгоритмическим датчиком числа принято называть псевдослучайными, так как по своей сути они являются детерминированными. Этот метод позволяет получить одну и ту же последовательность чисел сколь угодно большое число раз. Статистические характеристики такой последовательности чисел, как правило, можно определить априорно.

Алгоритмические датчики, в свою очередь, делятся на три группы: эмпирические, теоретико-числовые, автоматные. Первые две группы датчиков применяются при создании псевдослучайных чисел на вычислительной машине. Автоматный датчик позволяет генерировать числа без участия ЭВМ. Он представляет собой сдвиговый регистр с обратными связями, включенными определенным образом. Количество состояний регистра, составляющих полный период событий, вычисляется по формуле,

$$N = 2^n - 1$$

( $n$  — число каскадов (триггеров) сдвигового регистра).

На  $n$  накладывается условие  $n \geq 3$ .

Работа автоматов в матричной форме имеет вид [3]

$$x[i] = Tx[i - 1],$$

где  $x[i]$  — вектор состояний автомата в  $i$ -м такте;

$T$  — квадратная матрица размерностью  $n \times n$ , характеристический полином которой определяет включение обратных связей в сдвиговом регистре.

Известно [4], что линейный автомат генерирует линейную рекуррентную последовательность (линейную последовательность сдвигового регистра максимальной длительности) при

условии, что характеристический полином матрицы неприводим и примитивен.

Для нормального функционирования метеорной РЛС требуется средняя частота посылок зондирующих импульсов порядка 300 гц (т. е. среднее расстояние между импульсами  $t_{\text{ср}} = 3,33$  мсек). Для обеспечения однозначного отсчета дальности необходимо, чтобы отраженный импульс от метеора принимался до следующего зонда, т. е. требуемое расстояние между двумя соседними зондирующими импульсами должно быть не менее  $t_{\text{мин}} = 2$  мсек (соответствует наклонной дальности 300 км). Поскольку распределение псевдослучайных чисел и соответствующих им временных интервалов равномерное, то минимальное и среднее расстояния между импульсами однозначно определяют максимальный интервал  $t_{\text{макс}} = 4,66$  мсек.

Устройство предварительной обработки сигналов метеорной РЛС обеспечивает привязку сигналов к дискретной временной шкале с шагом  $t_{\text{кв}} = 33,3$  мксек. Очевидно, что псевдослучайному временному интервалу следует присвоить тот же уровень квантования, ибо делать шаг квантования меньшим не имеет смысла, так как при приеме будет происходить присвоение значения с шагом 33,3 мксек, а делать уровень квантования больше, чем в обнаружителе, нецелесообразно, так как при этом понижается разрешающая способность.

Для перекрытия интервала ( $t_{\text{мин}}$ ;  $t_{\text{макс}}$ ) при выбранном шаге квантования требуется следующее количество чисел:

$$N' = \frac{t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}}{t_{\text{кв}}} \approx 80.$$

Можно положить сдвиговой регистр состоящим из шести каскадов. При этом ПСП чисел будет иметь следующие характеристики:

1) период повторения

$$N = 2^n - 1 = 63;$$

2) минимальное генерируемое число равно 1; максимальное 63;

3) дисперсия ПСП равна 330;

4) дополнительный максимум корреляционной функции на плоскости ( $\tau$ ,  $\Omega$ ) не превосходит 0,126.

Включение обратных связей в сдвиговом регистре определяется по примитивному неприводимому полиному шестой степени:

$$p(\lambda) = \lambda^6 + \lambda + 1.$$

Функциональная схема регистра приведена на рис. 1.

С выхода регистра псевдослучайное число подается на устройство преобразования кода во временной интервал, которое одновременно производит операцию сложения числа с констан-

той, соответствующей минимально допустимому интервалу между импульсами.

В качестве такого устройства использован двоичный семиразрядный счетчик. В его младшие шесть разрядов заносится псевдослучайное число. Затем на вход подаются импульсы с частотой 30 кГц. В зависимости от внесенного кода импульс на выходе шестого разряда появится через 1—63  $t_{кв}$ . Данный импульс, поступив на вход седьмого разряда, опрокинет его.

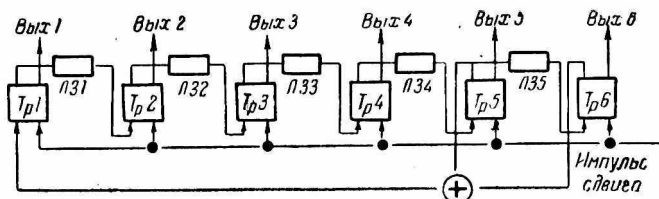


Рис. 1. Функциональная схема сдвигового регистра.

К этому моменту первые шесть разрядов полностью очищаются от псевдослучайного кода и продолжают счет импульсов естественным образом, т. е. следующий импульс на выходе шестого разряда появится через 64  $t_{кв}$ . Он вторично опрокинет триггер седьмого разряда. На выходе образуется импульс, который будет отстоять от предыдущего на 65—127  $t_{кв}$ . Таким образом, в устройстве преобразования осуществляется сложение псевдослучайного кода с числом 64. При этом выходной импульс будет находиться в интервале 2,16 мсек — 4,26 мсек при средней частоте зондирования 313 Гц. Период повторения ПСП равен

$$T_{псп} = \frac{N}{F_{ср}} \approx 0,2 \text{ сек.}$$

Полная функциональная схема генератора импульсов, распределенных во времени псевдослучайным образом, приведена на рис. 2. Эта схема была реализована авторами.

Кратко остановимся на работе схемы. Эмиттерный повторитель ЭП1 служит для повышения входного сопротивления генератора. Преобразователь код — временной интервал собран на триггерах ТР1-ТР7 и на логических схемах И1-И6. Сдвиговый регистр образован триггерами ТР8-ТР13, линиями задержки ЛЗ1-ЛЗ5 и логическими схемами И7, И8, ИЛИ.

Выходной импульс преобразователя поступает на эмиттерный повторитель-обостритель ЭП2.

С него импульс длительностью порядка 0,3—0,6 мсек поступает на сдвиговый регистр и устанавливает его в нулевое состояние.

Если на каком-либо триггере регистра была записана единица, то на входе соответствующей линии задержки появится

отрицательный перепад напряжения, который через 0,8—1,0 мксек опрокинет следующий триггер, записав на нем единицу. Этот же импульс запускает мультивибратор МВ2, формирующий импульс длительностью 3 мксек.

Отрицательный импульс с мультивибратора поступает на выходной эмиттерный повторитель ЭП3, служащий для согласования с нагрузкой.

Положительный импульс с другого плеча мультивибратора своим задним фронтом запускает другой мультивибратор МВ1, который также вырабатывает импульс длительностью 3 мксек.

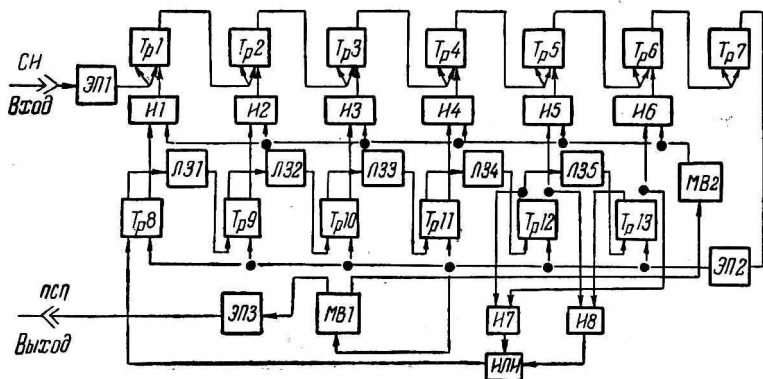


Рис. 2. Функциональная схема автоматического генератора псевдослучайной последовательности импульсов.

Этот импульс отрицательной полярности (так называемый импульс опроса) поступает на каскады совпадения И1 — И6, на второй вход которых подан код псевдослучайного числа со сдвигового регистра. При записи нуля на каком-либо триггере регистра отрицательный импульс с МВ1 проходит на соответствующий триггер счетчика и опрокидывает его. При записи единицы импульс опроса через каскад совпадения не пройдет. Таким образом осуществляется переход от потенциального кода псевдослучайного числа к импульсному, что требуется для навязывания этого кода триггерам счетчика.

Задержка импульса опроса относительно фронта выходного импульса преобразователя требуется для формирования в сдвиговом регистре следующего псевдослучайного числа и окончания переходных процессов.

Каскады И7, И8 и ИЛИ производят сложение по модулю два кодов, записанных на триггерах ТР12, ТР13.

Псевдослучайный код исследовался на УВМ УМ1-НХ. Полученные статистические характеристики соответствуют найденным априорно:

- 1) дисперсия ПСП равна 330;
- 2) дополнительный максимум корреляционной функции не превосходит 0,0962.

Описанный выше цифровой автомат псевдослучайной последовательности импульсов был реализован на элементах ЦВМ «Днепр».

В процессе лабораторных исследований генератора был также поставлен эксперимент по проверке электромагнитной совместимости излучаемой последовательности с телевизионным сигналом, что необходимо знать при работе радиолокационной аппаратуры в городских условиях. Проверялась возможность срыва кадровой и строчной разверток в телевизионном изображении в связи с тем, что несущие в РЛ и ТС близки.

Ожидался также зрительный и звуковой эффекты от применения псевдослучайной последовательности импульсов по отношению к периодической, которая вызывает на экране устойчивые полосы и фон в звуковом канале. Телевизионная антенна в эксперименте находилась в зоне уверенного приема излучаемого сигнала. Срыва синхронизации кадровой развертки не происходило. Иногда наблюдался срыв строчной развертки. Вместо устойчивых полос на экране появлялись хаотически разбросанные темные метки.

Ожидаемый зрительный эффект не был достигнут, по-видимому, в связи с тем, что электронно-лучевой трубке свойственно послесвечение. Влияние на звуковой канал телевизионного приемника сказывалось в уменьшении тона звукового сигнала помехи, связанного с расширением спектра сигнала (мощность применяемого в эксперименте передатчика составляла 40 квт в импульсе).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационный комплекс для исследования слабых метеоров.— Сб. «Радиотехника». Вып. 16. Харьков, 1971, с. 11—18.
2. Б. В. К а л ь ч е н к о, Б. Л. К а щ е е в. Радионаблюдения дрейфа метеорных следов на экваторе.— «Геофизический бюллетень», 1971, № 23. М., «Наука», с. 52—55.
3. Ю. Г. П о л л я к. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. М., «Советское радио», 1971. 400 с.
4. Теория и применение псевдослучайных сигналов. М., «Наука», 1969. 256 с. Авт.: А. И. Алексеев, Г. И. Шереметьев, Г. И. Тузов и др.