

В. В. Емельянов,
О. П. Губернаторов, канд. техн. наук,
А. Н. Зеленин, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНОГО СИНТЕЗА (ЦЧС) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Фазовая и относительная фазовая манипуляции широко применяются в радиосвязи как эффективное средство повышения помехоустойчивости без повышения мощности передающих устройств. Формирование сигналов, манипулированных по фазе, является достаточно сложной технической задачей, от правильности решения которой зависит полнота реализации потенциальных преимуществ фазовой манипуляции. При решении такой задачи возникает ряд трудностей, связанных с обеспечением необходимой точности и высокой стабильности фазовых сдвигов, а также с уменьшением искажений фазоманипулированного (ФМ) сигнала, вызванных неточностью момента манипуляции фазы сигнала.

Неточность установки и нестабильность фазовых сдвигов при манипуляции воспринимаются приемником как помеха; при

этом значительно снижается помехоустойчивость системы связи. Неточность и нестабильность фазового сдвига при фазовой манипуляции $\Delta\varphi = \pm 5^\circ$ эквивалентна уменьшению мощности передатчика на 10—15% [1]. Неточность момента манипуляции фазы приводит также к проигрышу в отношении сигнал/шум [2]. Описанные в литературе [1,3—5] методы формирования фазоманипулированных колебаний наряду с положительными чертами не лишены недостатков, в первую очередь связанных с неточностью и нестабильностью фазового сдвига.

В связи с этим, на наш взгляд, целесообразно рассмотреть метод формирования высокостабильных фазоманипулированных колебаний, основанный на принципе цифрового частотного синтеза (ЦЧС) с введением в канал опорного генератора регулируемого устройства временной задержки импульсных сигналов и реализуемый блок-схемой, представленной на рис. 1.

Опорный 1 и синхронизируемый 8 генераторы представляют собой высокостабильные кварцевые генераторы. Формирующие устройства 2 и 9 выполнены по схеме триггера Шмитта и преобразуют синусоидальное напряжение опорного и синхронизируемого генераторов в прямоугольные импульсы. Делители частоты 3 и 10 собраны на триггерных ячейках и имеют соответственно коэффициенты деления K_1 и K_2 . Фазовый детектор 5 представляет собой компаратор с пилообразной характеристикой и выполнен на триггере с отдельными входами. Фильтр нижних частот 6 имеет частоту среза ниже частоты сравнения импульсных последовательностей. Управляющий элемент 7 синхронизируемого генератора содержит нелинейные емкости, величина которых является функцией приложенного к ним напряжения. Кодировочное устройство 11 позволяет обеспечить необходимый закон изменения времени T_z , соответствующий требуемому закону манипуляции фазы синхронизируемого генератора. Регулируемое устройство временной задержки импульсных сигналов 4 представляет собой квантованную линию задержки [6]. Основателем кванта линии задержки является опорный генератор 1. Для этой цели выход формирующего устройства 2 соединен со входом схемы совпадения и делителя частоты линии задержки.

Гармонический сигнал высокостабильного опорного генератора 1 поступает на формирующее устройство 2, с выхода которого импульсная последовательность с частотой $\omega_{ог}$ поступает на делитель 3. Последовательность импульсов с выхода 3

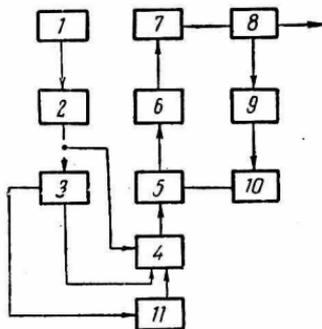


Рис. 1.

с частотой $\omega_{ог}/K_1$ подается на вход линии задержки 4, задерживающей каждый импульс входной последовательности на время T_3 . Линия задержки управляется кодирующим устройством 11 по закону, соответствующему необходимому закону манипуляции фазы синхронизируемого генератора. Полученная таким образом импульсная последовательность поступает на один из входов фазового детектора (ФД).

На другой вход ФД поступает последовательность импульсов с частотой $\omega_{ог}/K_2$, полученная путем преобразования гармонического сигнала синхронизируемого генератора с частотой $\omega_{ог}$ в процессе прохождения через формирующее устройство 9 и делитель частоты 10. Фазовый детектор, статическая характеристика которого

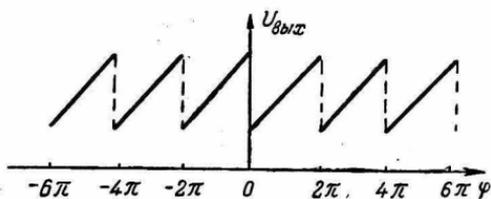


Рис. 2.

представлена на рис. 2, формирует импульс, передний фронт которого получается воздействием переднего фронта импульса канала синхронизируемого генератора, а задний фронт формируется воздействием импульса канала опорного генератора.

Таким образом, в длительности τ каждого импульса на выходе фазового детектора заключена информация о временных (фазовых) соотношениях импульсных последовательностей, поступающих на входы 5. Постоянная составляющая напряжения последовательности импульсов на выходе ФД определяется известным соотношением Фурье:

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T A dt = \frac{1}{T} A \tau,$$

где A — амплитуда импульсов на выходе ФД;

τ — длительность импульсов на выходе ФД;

T — период следования импульсов на выходе ФД.

Из выражения (1) видно, что в постоянной составляющей на выходе ФД заключена информация о длительности τ , т. е. о фазовом рассогласовании опорного и синхронизируемого генераторов. В стационарном режиме в системе поддерживается остаточная разность фаз, которой соответствует длительность импульсов на выходе ФД τ_0 . При введении в канал опорного генератора линии задержки импульсных сигналов с временем задержки T_3 на выходе ФД будут формироваться импульсы с длительностью $\tau_1 = \tau_0 + T_3$. Постоянная составляющая на выходе ФД соответственно равна

$$U_1 = \frac{A}{T} (\tau_0 + T_3).$$

Это напряжение, пройдя через ФНЧ и воздействуя на управляющий элемент, вызовет изменение частоты и фазы син-

хронизируемого генератора. По окончании переходных процессов система будет находиться в установившемся режиме и на выходе ФД сформируются импульсы с длительностью τ_0 , т. е. фазовое (временное) рассогласование импульсных последовательностей на входе ФД будет оставаться постоянным. Это означает, что замкнутая система скомпенсировала возмущающее воздействие, пропорциональное приращению постоянной составляющей на выходе ФД $\Delta U = \frac{A}{T} T_3$ путем изменения фазы синхронизируемого генератора на величину $\Delta\varphi = \omega_{сг} T_3$.

При изменении времени задержки по закону $M(t)$ фаза синхронизируемого генератора будет изменяться по закону $\varphi_{сг} = \varphi_0 \pm M(t)\Delta\varphi$. Таким образом, изменяя дискретно T_3 по закону изменения выходного напряжения кодирующего устройства, можно осуществить фазовую манипуляцию синхронизируемого генератора. Величина индекса фазовой манипуляции определяется выбором величины времени T_3 . Проведенный анализ показывает, что предлагаемый метод позволяет осуществить однократную и многократную фазовые манипуляции синхронизируемого генератора.

Точность установки фазового сдвига и стабильность индекса фазовой манипуляции в данном случае определяются стабильностью опорного и синхронизируемого генераторов, точностью и стабильностью T_3 . При экспериментальных исследованиях для повышения стабильности выходного сигнала в качестве опорного и синхронизируемого генераторов использовались выпускаемые отечественной промышленностью кварцевые генераторы типа Ч5-9 с нестабильностью частоты после двух часов прогрева: а) $5 \cdot 10^{-10}$ за сек; б) $5 \cdot 10^{-10}$ за 20 сек; в) $1,5 \cdot 10^{-9}$ за 10 мин; г) $3 \cdot 10^{-9}$ за 1 ч; д) $1 \cdot 10^{-8}$ за 24 ч.

Высокая стабильность T_3 обеспечивается использованием в качестве основателя кванта задержки опорного генератора I . Абсолютная погрешность задержки ΔT_3 не превосходит величины кванта. Относительная погрешность установки времени задержки, согласно [6], не превышает $\frac{1}{n}$, где n — число квантов. Для данного случая относительная погрешность составляет 10^{-6} .

Уменьшение неточности момента манипуляции фазы обеспечивается самим принципом ЦЧС, ибо в этом случае манипуляция фазы происходит в момент прохождения колебаний синхронизируемого генератора через нуль. Минимальная неточность момента манипуляции фазы будет определяться статизмом системы.

Для обеспечения совпадения момента включения линии задержки с передним фронтом импульсов канала опорного генератора выходное напряжение кодирующего устройства, управляющее линией задержки, формируется из импульсной последовательности канала опорного генератора.

Ниже приводятся результаты измерений изменения фазы синхронизируемого генератора относительно фазы опорного генератора для различных значений T_3 .

| $T_{3, \text{мкс}}$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|
| $\Delta\varphi^\circ_{\text{ср}}$ | -40° | -76° | -112° | -148° | +176° | +140° | +104° | +68° | +32° | -4° |

Измерения проводились фазометром типа Ф2-7. Как видно из таблицы, между временем задержки и изменением фазы син-

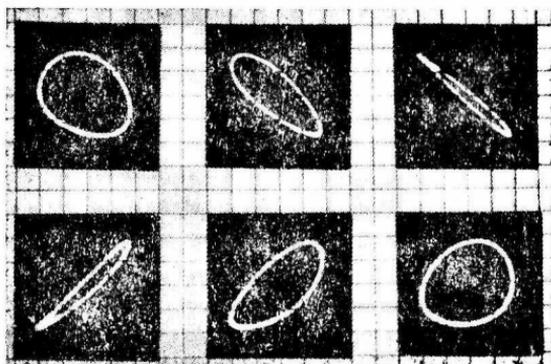


Рис. 3.

хронизируемого генератора существует линейная зависимость. На рис. 3 показаны фигуры Лиссажу, соответствующие различным значениям времени задержки в канале опорного генератора.

Таким образом, при соответствующем выборе величины времени задержки T_3 можно обеспечить формирование фазоманипулированных колебаний с любым индексом манипуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В. В., Смирнов В. А. Методы и схемы формирования фазовой телеграфии, «Фазовая и относительная фазовая телеграфия». М., «Связь», 1967, с. 104—114.
2. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М., «Советское радио», 1966, с. 599—601.
3. Ворожцов А. З. Методы и схемы фазовой телеграфии для судовых радиопередатчиков.—«Тр. ЦНИИ морского флота» 1970, вып. 124, с. 100—109.
4. Смирнов Г. И. Методы получения фазоманипулированных колебаний в системах относительной фазовой телеграфии (ОФТ).—В кн.: Материалы НТК ЛЭИС. Л., 1964, вып. 1, с. 126—135.
5. Заездный А. М., Окунев Ю. Б., Рахович Л. М. Фазоразностная модуляция. М., «Связь», 1967, с. 146—153.
6. Важенина З. П., Волкова Н. Н., Чадович И. И. Методы и схемы временной задержки импульсных сигналов. М., «Советское радио», 1971, с. 133—140.